

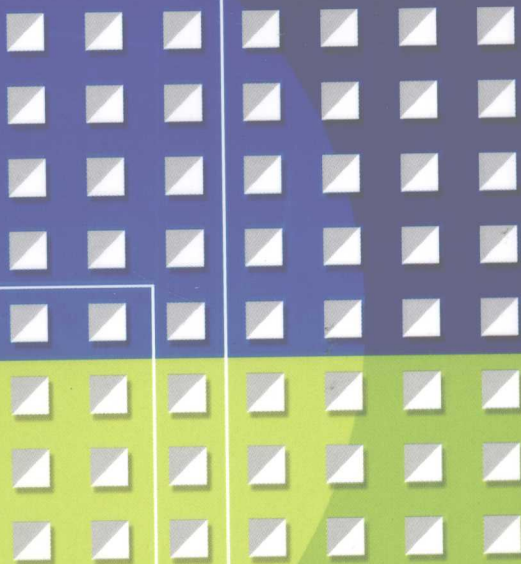


高等学校“十一五”精品规划教材

单片机原理与 应用开发技术

主编 王卫星

DANPIANJI YUANLI YU YINGYONG
KAIFA JISHU



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

单片机原理与 应用开发技术



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为高等学校“十一五”精品规划教材之一。全书分为基础篇和应用开发篇两部分,共九章,以 MCS51 系列 89C51 单片机为例,深入浅出地介绍了单片机的原理及应用开发。基础篇主要讲述了单片机概论、MCS-51 单片机硬件结构、MCS-51 单片机指令系统、汇编语言程序设计、MCS-51 单片机内部功能、MCS-51 单片机系统扩展技术及接口技术。应用开发篇介绍了 μ Vision2 集成开发环境和单片机应用系统的设计实例。本书特别讲述了 LCD 显示器接口技术、串行扩展总线接口技术以及串行 A/D、D/A 外设芯片的应用,并系统介绍了其他常用的单片机系列,如 AVR、PIC、MSP、凌阳单片机系列,内容新颖、实用。

本书可以作为高等院校电气与电子信息类专业以及其他工科专业的单片机课程教材,也可作为从事单片机产品研发的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用开发技术 / 王卫星主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2009
高等学校“十一五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-6674-3

I. 单… II. 王… 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 (2009) 第 124776 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 单片机原理与应用开发技术
作 者	主编 王卫星
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 17 印张 403 千字
版 次	2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	31.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

单片机是微型机的一个主要分支,在结构上把 CPU、存储器、定时器和多种输入/输出接口电路集成在一块超大规模集成电路芯片上。单片机具有优异的性能价格比,集成度高、体积小,控制功能强、有很高的可靠性,低功耗、低电压,系统扩展和系统配置较典型、规范等一系列优点。因此,单片机已极其广泛地应用于智能仪表、家用电器、机电一体化产品以及各行各业的实时控制中。近年来全国大学生电子设计竞赛的大多数作品也普遍采用了单片机作为控制核心。所以,学好单片机、掌握单片机应用开发技术,对高等学校工科类专业学生完成学业、走向社会显得越来越重要。

本书以 89C51 单片机为例,阐述其结构、工作原理、指令系统以及系统的应用开发技术,使读者能尽快掌握单片机的系统设计和应用开发技能。

本书由王卫星主编,邓小玲、代芬为副主编。本书第一章、第五章由俞龙编写,第二章由吴敏编写,第三章、第四章由代芬编写,第六章、第七章由邓小玲编写,第八章由孙道宗编写,第九章由姜晟编写。全书由王卫星教授统稿。洪添胜教授对全书内容进行了详尽的审核,并提出了许多有益的建议和意见。在编写本书的过程中,编者参阅和借鉴了其他相关的教材和资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免出现错误和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009 年 5 月

前言

第一部分 基 础 篇

第一章 单片机概述	1
第一节 单片机的特点及发展概况	1
第二节 单片机的应用	3
第三节 常用单片机系列介绍与比较	4
思考与练习题	14
第二章 MCS-51 单片机硬件结构	15
第一节 MCS-51 单片机结构	15
第二节 MCS-51 单片机存储器结构	27
第三节 MCS-51 单片机输入/输出端口	36
思考与练习题	41
第三章 MCS-51 单片机指令系统	43
第一节 指令系统简介	43
第二节 MCS-51 寻址方式	46
第三节 MCS-51 指令系统	50
思考与练习题	70
第四章 汇编语言程序设计	73
第一节 汇编语言源程序编辑与汇编	73
第二节 汇编语言程序设计方法	75
思考与练习题	89
第五章 MCS-51 单片机内部功能	92
第一节 中断系统	92
第二节 定时器/计数器	102
第三节 串行口	116
思考与练习题	137

第六章 MCS-51 单片机系统扩展技术	139
第一节 并行总线扩展技术	139
第二节 串行总线扩展技术	149
思考与练习题	164
第七章 单片机接口技术	166
第一节 键盘接口	166
第二节 显示器接口	170
第三节 A/D 转换器接口	186
第四节 D/A 转换器接口	196
思考与练习题	206

第二部分 应用开发篇

第八章 μ Vision2 集成开发环境	208
第一节 工程建立及设置	208
第二节 代码编译	211
第三节 调试命令	212
第四节 程序调试窗口	215
第五节 程序仿真调试	218
思考与练习题	221
第九章 单片机应用系统设计实例	222
第一节 基于单片机的频率计设计	222
第二节 基于单片机的步进电机测控系统	226
第三节 基于单片机的液体点滴测控系统 (2003 年全国大学生电子设计竞赛题目)	232
第四节 基于单片机的电动车跷跷板测控系统 (2007 年全国大学生电子设计竞赛题目)	240
第五节 基于单片机的开关稳压电源设计 (2007 年全国大学生电子设计竞赛题目)	247
思考与练习题	254
附录 A MCS-51 指令表	255
附录 B 常用单片机仿真器介绍	260
参考文献	263

第一部分 基础篇

第一章 单片机概述

第一节 单片机的特点及发展概况

一、单片机的特点

单片机又称为“微控制器 MCU”，是把中央处理器 CPU (Central Processing Unit)、存储器 (Memory)、定时器 (Timer)、I/O (Input/Output) 接口电路等一些计算机的主要功能部件集成在一块集成电路芯片上的微型计算机。中文“单片机”是由英文“Single Chip Microcomputer”直接翻译而来的。

单片机主要特点如下：

(1) 集成度高、体积小、可靠性高。单片机把各功能部件集成在一块芯片上，内部采用总线结构，减少了各芯片之间的连线，许多信号的通道均在一个芯片内，大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。另外，由于其体积小，对于强磁场环境易于采取屏蔽措施，适合在恶劣环境下工作。系统软件（如：程序指令、常数、表格）固化在 ROM 中，不易受病毒破坏，故运作时系统稳定可靠。

(2) 控制能力强。为了满足工业控制的要求，一般单片机的指令系统中均有极丰富的转移指令、I/O 口的逻辑操作以及位处理功能。

(3) 便于扩展。单片机片内具有计算机正常运行所必需的部件，片外有很多供扩展用的管脚（总线，并行和串行的输入/输出），很容易组成一定规模的计算机应用系统。外部总线增加了 I²C (Inter - Integrated Circuit) 及 SPI (Serial Peripheral Interface) 等串行总线方式，进一步缩小了体积，简化了结构。

(4) 功能强，有着丰富的内置资源。

(5) 实用性好。低功耗、低电压，便于生产便携式产品。

二、单片机的发展概况

1. 单片机技术发展的四个阶段

单片机作为微型计算机的一个重要分支，应用面很广，发展很快。如果将 8 位单片机的推出作为起点，那么单片机的发展历史大致可分为以下几个阶段。

(1) 芯片化探索阶段 (1976~1978 年)。20 世纪 70 年代，美国的 Fairchild (仙童) 公司首先推出了第一款单片机 F-8，随后 Intel 公司推出了影响面大、应用更广的 MCS48 单片机系列。MCS48 单片机系列的推出标志着 MCU 在工业控制领域进入到智能

化嵌入式应用的芯片形态计算机的探索阶段。这一时期的特点是：

1) 嵌入式计算机系统的芯片集成设计。

2) 少资源、无软件，只保证基本控制功能。

(2) 结构体系的完善阶段 (1978~1982 年)。在 MCS-48 探索成功的基础上很快推出了完善的、典型的单片机系列 MCS-51。MCS-51 系列单片机的推出，标志 Single Chip Microcomputer 体系结构的完善。它在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机的体系结构。

1) 完善的外部总线。MCS-51 设置了经典的 8 位单片机的总线结构，包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口。

2) CPU 外围功能单元的集中管理模式。

3) 体现工控特性的位地址空间及位操作方式。

4) 指令系统趋于丰富和完善，并且增加了许多突出控制功能的指令。

(3) 从 SCMC 向 MCU 化过渡阶段 (1982~1990 年)。8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出阶段，也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS96 单片机，将一些用于测控系统的模数转换器 (ADC)、程序运行监视器 (WDT)、脉宽调制器 (PWM)、高速 I/O 口等纳入片中，体现了单片机的微控制器特征。测控系统中使用的电路技术、接口技术、可靠性技术被许多电气商应用到单片机中，单片机内外围功能电路得到增强，呈现智能控制器特征。微控制器 (Microcontrollers) 成为单片机较为准确表达的名词，其特点是：

1) 满足嵌入式应用要求的外围扩展，如 WDT、PWM、ADC、DAC、高速 I/O 口等。

2) 众多计算机外围功能集成，如：提供串行扩展总线 SPI、I²C、BUS；配置现场总线接口 CAN BUS。

3) CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor，互补金属氧化物半导体) 化，提供功耗管理功能。

4) 提供 OTP (One Time Programmable，一次性可编程) 供应状态，利于大规模和批量生产。

(4) MCU 的百花齐放阶段 (1990 年)。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用，出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机，以及小型廉价的专用型单片机。这一时期的特点为：

1) 大力发展专用单片机。专用型单片机是针对某一类产品甚至某个产品需要而设计、生产的单片机。

2) 综合品质高。单片机在体系结构 (如 RISC)、电磁兼容性能 (EMC)、开发环境 (高级语言支持 ISP、IAP 等)、功耗管理等诸方面得到了提高。

3) C 语言的广泛支持。单片机普遍支持 C 语言编程，为学习和应用单片机提供了方便。

2. 单片机的发展趋势

目前，单片机正朝着高性能和多品种方向发展，趋势将是进一步向着 CMOS 化、低功耗、小体积、大容量、高性能、低价格和外围电路内装化等几个方面发展。

(1) 制作工艺 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 化。出于对低功耗的普遍要求, 目前各大厂商推出的各类单片机产品都采用了 CHMOS 工艺。80C51 系列单片机采用两种半导体工艺生产。一种是 HMOS 工艺, 即高密度短沟道 MOS 工艺; 另外一种 CHMOS 工艺, 即互补金属氧化物 HMOS 工艺。CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合, 除保持了 HMOS 的高速度和高密度的特点之外, 还具有 CMOS 低功耗的特点。例如 8051 的功耗为 630mW, 而 80C51 的功耗只有 120mW。在便携式、手提式或野外作业仪器设备上, 低功耗是非常有意义的。因此, 在这些产品中必须使用 CHMOS 的单片机芯片。

(2) 尽量实现单片化。随着集成电路技术的快速发展和“以人为本”思想在单片机设计上的体现, 很多单片机生产厂家充分考虑到用户的需求, 将一些常用的功能部件, 如 A/D (模/数转换器)、D/A (数/模转换器)、PWM (脉宽调制) 以及 LCD (液晶) 驱动器集成到芯片内部, 尽量做到单片化。同时, 用户还可以提出要求, 由厂家量身定做 (SOC 设计) 或自行设计。

(3) 共性与个性共存。在单片机家族中, 51 系列是其中的佼佼者。Intel 公司将其 MCS-51 系列中的 80C51 内核使用权以专利互换或出售形式转让给全世界许多著名 IC 制造厂商, 如 Philips、NEC、Atmel、AMD、华邦等, 这些公司都在保持与 80C51 单片机兼容的基础上改善了 80C51 的许多特性, 使得 80C51 变成有众多制造厂商支持的、发展出上百品种的大家族, 现统称为 80C51 系列。80C51 单片机已成为单片机发展的主流。个性化的产品如专用单片机等在满足用户需求方面得到了广泛的认可, 在应用领域大有后来居上的架势。它们由于先天的优势, 在 80C51 的基础上扬长避短, 以用户需要为根本, 在市场上受到了欢迎。总之, 80C51 作为共性的代表与个性化的产品相互依存, 共同发展, 将会给用户带来更大的实惠与方便。

(4) 大容量化。以往单片机内的 ROM 为 1KB~4KB, RAM 为 64~128B。但在需要复杂控制的场合, 该存储容量是不够的, 必须进行外接扩充。为了适应这种领域的要求, 需运用新的工艺, 使片内存储器大容量化。

(5) 高性能化。主要是指进一步改进 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集 (RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。目前指令速度最高者已达 100MIPS (Million Instruction Per Seconds, 即兆指令每秒), 并加强了位处理功能、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 100 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 就可以用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

第二节 单片机的应用

单片机以其卓越的性能和高性能价格比, 广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。

一、在智能仪器仪表上的应用

用单片机微处理器改良原有的测量控制仪表, 能使仪表数字化、智能化、多功能化、

综合化,功能比起采用电子或数字电路更加强,且测量仪器中的误差修正、线性化等问题也可迎刃而解,例如精密的测量设备(功率计,示波器,各种分析仪)。

二、在工业控制中的应用

单片机的实时数据处理能力和控制功能,可使系统保持在最佳工作状态,提高系统的工作效率和产品质量。用单片机可以构成形式多样的控制系统和数据采集系统,例如工厂流水线的智能化管理、电梯智能化控制、各种报警系统,以及与计算机联网构成二级控制系统等。

三、单片机在人类生活中的应用

自从单片机诞生以后,它就步入了人类生活,如洗衣机、电冰箱、电子玩具、收录机等家用电器配上单片机后,提高了智能化程度,增加了功能,备受人们喜爱。单片机将使人类生活更加方便、舒适、丰富多彩。

四、在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片机普遍具备通信接口,可以很方便地与计算机进行数据通信,为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件。现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制,如电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信,以及日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线电对讲机等。

五、单片机在医用设备领域中的应用

单片机在医用设备中的用途亦相当广泛,如医用呼吸机、各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。

此外,单片机在工商、金融、科研、教育、国防、航空航天等领域都有着十分广泛的用途。

第三节 常用单片机系列介绍与比较

一、80C51 单片机简介

虽然目前单片机的品种很多,但其中最具代表性的当属 Intel 公司的 MCS-51 单片机系列。MCS-51 以其典型的结构、完善的总线、SFR 的集中管理模式、位操作系统和面向控制功能的丰富的指令系统,为单片机的发展奠定了良好的基础。MCS-51 系列的典型芯片是 80C51 (CHMOS 型的 8051)。为此,众多的厂商都介入了以 80C51 为代表的 8 位单片机的发展,如 Philips、Siemens (Infineon)、Dallas、ATMEL 等公司,这些公司生产的与 80C51 兼容的单片机统称为 80C51 系列。近年来,80C51 系列又有了许多发展,推出了一些新产品,主要是改善单片机的控制功能,如内部集成了高速 I/O 端口、ADC、PWM、WDT 等,以及低电压、低功耗、电磁兼容、串行扩展总线、控制网络总线性能等。

ATMEL 公司研制的 89C $\times\times$ 系列是将 Flash Memory (EEPROM) 集成在 80C51 中,作为用户程序存储器,并不改变 80C51 的结构和指令系统。

Philips 公司的 83/87C7 $\times\times$ 系列不改变 80C51 结构、指令系统,省去了并行扩展总

线,属于非总线的廉价型单片机,特别适合于家电产品。

Infineon (原 Siemens 半导体) 公司推出的 C500 系列单片机在保持与 80C51 兼容的前提下,增强了各项性能,尤其是增强了电磁兼容性能,增加了 CAN 总线接口,特别适用于工业控制、汽车电子、通信和家电领域。

二、AVR 单片机简介

ATMEL 公司是有名的生产高性能、低功耗、非易失性存储器和各种数字模拟 IC 芯片的半导体制造公司。在单片机微控制器方面,ATMEL 公司有 AT89、AT90 和 ARM 三个系列的单片机产品。ATMEL 公司在其单片机产品中,融入了先进的 E²PROM 电可擦除和 Flash ROM 闪速存储器技术,使得该公司的单片机具备了优秀的品质,在结构、性能和功能等方面都有明显的优势。

由于 8051 本身结构的先天性不足和近年来各种采用新型结构和新技术的单片机的不断涌现,现在的单片机市场是百花齐放。ATMEL 在这种强大市场压力下,发挥 Flash 存储器的技术特长,于 1997 年研发并推出了全新配置的、采用精简指令集 RISC (Reduced Instruction Set CPU) 结构的 AT90 系列单片机,简称 AVR 单片机。

AVR 单片机的特点如下:

(1) 工作电压范围为 2.7~6.0V,电源抗干扰性能强。

(2) 片内集成可擦写 10000 次以上的 Flash 程序存储器。由于 AVR 采用 16 位指令,其程序存储器的存储单元为 16 位。AVR 的数据存储器还是以 8 个 Bit (位) 为一个单元,因此 AVR 还是属于 8 位单片机。

(3) 采用精简指令 RISC 结构。AVR 系列单片机是基于新的精简指令 RISC 结构的。这种结构是在 20 世纪 90 年代开发出来的,是综合了半导体集成技术和软件性能的新结构。这种结构使 AVR 单片机在 8 位微处理器市场上具有较高的 MIPS (Million Instruction Per Seconds,即兆指令每秒)/MHz 能力。

(4) 超功能精简指令。传统的基于累加器的结构单片机,如 8051,需要大量的程序代码,以实现在累加器和存储器之间的数据传送。而在 AVR 单片机中,采用 32 个通用工作寄存器组成快速存取寄存器组,用 32 个通用工作寄存器代替了累加器,从而避免了在传统结构中累加器和存储器之间数据传送造成的瓶颈现象。

(5) 采用 CMOS 工艺技术,具有高速度 (50ns)、低功耗 (μA)、SLEEP (休眠) 功能。AVR 的指令执行速度可达 50ns (20MHz),而耗电则在 $1\mu\text{A}\sim 25\text{mA}$ 之间 (典型功耗, WDT 关闭时为 100nA)。

(6) 哈佛总线结构。单片机的程序存储器和数据存储器是分开组织和寻址的,寻址空间分别为可直接访问 8MB 的程序存储器和 8MB 的数据存储器。AVR 运用 Harvard 结构概念,具有预取指令的特性,即对程序存储和数据存取使用不同的存储器和总线。当执行某一指令时,下一指令被预先从程序存储器中取出,这使得指令可以在每一个时钟周期内执行。

(7) AVR 单片机可重新设置启动复位。AVR 也有内部电源上电启动计数器,可将低电平复位 (RESET) 直接接到 V_{CC} 端。当系统上电时,利用内部的 RC 看门狗定时器可延迟 MCU 的启动及执行系统程序。这种延时可使 V_{CC} 端稳定后再执行程序,提高了单片机工作的可靠性,同时也省略了外加的复位延时电路。

(8) 具有串行异步通信 UART 硬件接口电路, 采用单独的波特率发生器, 并不占用定时器。具有 SPI 传输功能, 可以在一般标准整数频率下工作, 波特率可达 576kbps。

(9) 除了并行 I/O 口输入/输出特性与 PIC 的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入相同外, 还设定与 8051 系列内部有上拉电阻的输入端功能相似的功能, 以便适应各种实际应用特性所需 (多功能 I/O 端口)。只有 AVR 才具有真正的 I/O 口, 能正确反映 I/O 端口的输入/输出真实情况。

(10) 高档 AVR 单片机 MEGA 系列的性能更加强大。如 ATmega128 有更大容量的存储器 (Flash 128KB、E²PROM 4KB、RAM 4KB), 53 个 I/O 端口、34 个中断源、8 个外部中断、1 个 SPI 接口、1 个 UART 接口、1 个 I²C 接口、2 个 8 位定时器、2 个 16 位定时器、8 个 PWM 接口, 以及看门狗定时器、实时时钟 RTC、模拟比较器、8 路 10 位 A/D、可在线编程 (ISP) 和在应用自编程 (IAP)、片内有 RC 振荡器、上电复位延时电路和可编程的欠电压检测电路, 工作电压为 2.7~5.5V。AVR 单片机还在片内集成了可擦写 10 万次的 E²PROM 数据存储器, 等于又增加了一个芯片, 可用于保存系统的设定参数、固定表格和掉电后的数据, 既方便了使用, 减小了系统的空间, 又大大提高了系统的保密性。

AVR 单片机系列部分型号芯片的硬件资源如表 1-1 所示。

表 1-1 AVR 单片机系列部分型号芯片的硬件资源

内部资源	AT Mega 8L	AT Mega 8	AT 90LS 8515	AT 90S 8515	AT 90LS 8535	AT 90S 8535	AT Mega 16	AT Mega 32	AT Mega 64	AT Mega 128
Flash (KB)	8	8	8	8	8	8	16	32	64	128
E ² PROM (B)	512	512	512	512	512	512	512	1K	2K	4K
RAM (B)	1K	1K	512	512	512	512	1K	2K	4K	4K
快速寄存器	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
指令条数	130	130	120	120	120	120	130	130	133	133
I/O 引脚	23	23	32	32	32	32	32	32	53	53
中断数	18	18	12	12	16	16	20	20	34	34
外部中断数	2	2	2	2	2	2	3	3	8	8
SPI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UART	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
TWI	1	1	—	—	—	—	1	1	1	1
硬件乘法器	Y	Y	—	—	—	—	Y	Y	Y	Y
8 位定时器	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
16 位定时器	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
PWM	3	3	2	2	3	3	4	4	6+2	6+2
看门狗定时器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
实时时钟	Y	Y	—	—	Y	Y	Y	Y	Y	Y

续表

内部资源	AT Mega 8L	AT Mega 8	AT 90LS 8515	AT 90S 8515	AT 90LS 8535	AT 90S 8535	AT Mega 16	AT Mega 32	AT Mega 64	AT Mega 128
模拟比较器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
10 位 A/D 通道	6/8	6/8	—	—	8	8	8	8	8	8
片内振荡器	Y	Y	—	—	—	—	Y	Y	Y	Y
BOD	Y	Y	—	—	—	—	Y	Y	Y	Y
在线编程 (ISP)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
自编程 (SPM)	Y	Y	—	—	—	—	Y	Y	Y	Y
V _{CC} (V) (最低)	2.7	4.5	2.7	4.0	2.7	4.0	4.5	4.5	4.5	4.0
V _{CC} (V) (最高)	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	5.5	5.5	5.5	5.5
系统时钟 (MHz)	0—8	0—16	0—4	0—8	0—4	0—8	0—16	0—16	0—16	0—16
封装形式	28—Pin DIP	28—Pin DIP	40—Pin DIP	40—Pin DIP	40—Pin DIP	40—Pin DIP	40—Pin DIP	40—Pin DIP	64—Pin TQFP	64—Pin TQFP
	32—Pin	32—Pin	44—Pin	44—Pin	44—Pin	44—Pin	44—Pin	44—Pin		
	MLF	MLF	PLCC	PLCC	PLCC	PLCC	MLF	MLF		
	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP		

三、PIC 单片机简介

PIC (Peripheral Interface Chip) 系列单片机是美国 Microchip 公司生产的产品。Microchip 公司是一家专门致力于单片机开发、研制和生产的制造商，其产品设计起点高，技术领先，性能优越。PIC 系列单片机不是在一般微型计算机 CPU 的基础上加以改造，而是独树一帜，采用全新的流水线结构、单字节指令体系、嵌入式闪存以及 10 位 A/D 转换器，性能卓越，代表着单片机发展的新方向。

PIC 系列单片机特点如下：

(1) 哈佛总线结构。PIC 系列单片机采用哈佛总线结构，数据总线和指令总线分离，允许采用不同的字节宽度。处理器采用流水线作业方式，即在执行一条指令的同时，对下一条指令进行取指操作。

(2) RISC 技术。PIC 系列单片机的指令系统采用 RISC 技术。PIC16F877 指令集系统只有 35 条指令。此外，PIC 系列单片机全部采用单字节指令，而且除 4 条条件跳转指令外均为单周期指令，执行速度较高。

(3) 寻址方式简单、寻址空间独立。寻址方式是指令中给出操作数的方法。PIC 系列单片机只有 4 种寻址方式：寄存器间接寻址、立即数寻址、直接寻址和位寻址，它们都比较容易掌握。PIC 系列单片机的程序、数据和堆栈三者各自采用互相独立的地址空间。

(4) 功耗低。PIC 系列单片机采用 CMOS 结构，其功率消耗极低，是目前世界上最低功耗的单片机品种之一。其中有些型号在 4MHz 时钟下，耗电不超过 2mA；而在睡眠模式下，耗电可低到 1 μ A 以下。因此，PIC 系列单片机尤其适用于野外移动仪表的控制以及户外免维护的控制系统。

(5) 驱动能力强。PIC 系列单片机 I/O 端口驱动负载的能力较强, 每个输出引脚可以驱动多达 20~25mA 的负载。既能够用高电平也可以用低电平来直接驱动发光二极管 LED、光电耦合器和小型继电器等。

(6) I²C 和 SPI 串行总线端口。PIC 系列单片机的某些型号具有同步串行口, 可以满足 I²C (Inter Integrated Circuit, 主控/从动) 和 SPI (Serial Peripheral Interface, 主控) 总线要求。I²C 和 SPI 分别是 Philips 公司和 Motorola 公司研制的两种广泛流行的串行总线标准, 是一种在芯片之间实现同步串行数据传输的技术。利用 PIC 单片机串行总线端口可以方便而灵活地扩展外围器件。

(7) 外接电路简洁。PIC 系列单片机内集成了上电复位电路、I/O 引脚上拉电路、看门狗定时器等, 可以最大限度地减少或免用外接器件。

Microchip 提供的 PIC 单片机系列, 按其指令的位数可分为 3 类: 初级产品、中级产品和高级产品, 每种产品包含多种型号, 如表 1-2 所示。

表 1-2 PIC 单片机系列部分型号芯片的硬件资源

级别 层次	系列名称	子系列名称	芯片型号
初级 系列	PIC12C××× 单片机	PIC12C5××单片机	PIC12C508 (A)、PIC12C509 (A)
		PIC12CE5××单片机	PIC12CE518 (A)、PIC12CE519 (A)
	PIC16C5×× 单片机	PIC16C5×单片机	PIC16C54 (A, C)、PIC16CR54 (A, C)、PIC16C55 (A)、 PIC1666 (A)、PIC16C57 (C)、PIC16CR56A、PIC16CR57A、 PIC16CR57C、PIC16C58 (B)、PIC16CR58B
		PIC16C505 单片机	PIC16C505
		PIC16HV540 单片机	PIC16HV540
中级 系列	PIC12C××× 单片机	PIC12C6××单片机	PIC12C671、PIC12C672
		PIC12CE6××单片机	PIC12CE673、PIC12CE674 (无)
			PIC12F629/675
	PIC16C××× 单片机	PIC16C55×单片机	PIC16C554、PIC16C558
		PIC16C43×单片机	PIC16C432 PIC16C433
		PIC16C6×单片机	PIC16C62、PIC16C63、PIC16CR63、PIC16C64A、PIC16CR64、 PIC16C65A、PIC16CR65、PIC16C66、PIC16C67 PIC16C62B PIC16C63A、PIC16C65B
		PIC16C62×/64×/ 66×单片机	PIC16C620 (A)、PIC16C621 (A)、PIC16C622 (A) PIC16C662
		PIC16CE62×单片机	PIC16CE623、PIC16CE624、PIC16CE625
		PIC16F62×单片机	PIC16F627、PIC16F628
		PIC16F63×/67× 单片机	PIC16F630/676

级别 层次	系列名称	子系列名称	芯片型号
中级 系列	PIC16C××× 单片机	PIC16C71×单片机	PIC16C71、PIC16C710、PIC16C711、PIC16C715 PIC16C712、PIC16C716 PIC16C717
		PIC16C7×单片机	PIC16C72、PIC16CR72 PIC16C72A PIC16C73 (B)、PIC16C74 (B) PIC16C73A、PIC16C74A、PIC16C76、PIC16C77
		PIC16F7×单片机	PIC16F73、PIC16F74、PIC16F76、PIC16F77
		PIC16C77×单片机	PIC16C770、PIC16C771 PIC16C773、PIC16C774
		PIC16C7×5 单片机	PIC16C745、PIC16C765
		PIC16C78×单片机	PIC16C781、PIC16C782
		PIC16F8×单片机	PIC16F83、PIC16CR83、PIC16F84、PIC16CR84 PIC16F84A PIC16F85 (无 DATASHEET)、PIC16F86 (无)
		PIC16F81×单片机	PIC16F812 (无)、PIC16F816 (无)、PIC16F818/819
		PIC16F87×单片机	PIC16F870、PIC16F871、PIC16F872、PIC16F873、 PIC16F874、PIC16F876、PIC16F877、PIC16F873A、 PIC16F876A、PIC16F874A、PIC16F877A
		PIC16C9××单片机	PIC16C923、PIC16C924 PIC16C925、PIC16C926
		PIC14000 单片机	PIC14000
高级 系列	PIC17C××× 单片机	PIC17C4×单片机	PIC17C42、PIC17C42A、PIC17C43、PIC17CR43、PIC17C44
		PIC17C7××单片机	PIC17C752、PIC17C756A PIC17C762、PIC17C766
	PIC18C/F××× 单片机	PIC18C×01 单片机	PIC18C601、PIC18C801
		PIC18FO×O 单片机	PIC18FO10、PIC18FO20 PIC18FO12、PIC18FO22 (无 DATASHEET) PIC18F232、PIC18F242、PIC18F252
		PIC18C/F××2 单片机	PIC18C432、PIC18C442、PIC18C452 PIC18F6520、PIC18F8520 PIC18F6620、PIC18F6720、PIC18F8720、PIC18F8620 PIC18F258、PIC18F248
		PIC18C/F××8 单片机	PIC18F448、PIC18F458 PIC18C658、PIC18C858

PIC16FW×(A) 系列单片机是一种具有 FLASH 程序存储器的 8 位 CMOS 单片机, 各方面的功能均具有代表性, 如表 1-3 所示。

表 1-3 PIC16FWX (A) 系列单片机部分型号芯片的硬件资源

型号	振荡	FLASH 程序区 (bit)	FLASH 数据区/B	RAM (B)	电压 (V)	中断	I/O
16F187	DC~20M	2K×14	64	128	2.5~5.5	13	22
16F871	DC~20M	2K×14	64	128	2.5~5.5	13	22
16F872	DC~20M	2K×14	64	128	2.5~5.5	13	22
16F873 16F873A	DC~20M	2K×14	128	192	2.0~5.5	13	22
16F874 16F874A	DC~20M	2K×14	128	192	2.0~5.5	14	33
16F876 16F876A	DC~20M	2K×14	256	368	2.0~5.5	13	22
16F877 16F877A	DC~20M	2K×14	256	368	2.0~5.5	14	33
型号	定时器	复位 锁定	A/D 10 位	并行口	串行口	CPP 模块	封装
16F187	3	有	5		USART	1	28SP/28SO/28SS
16F871	3	有	8		USART	1	40
16F872	3	有	5		MICC/SPI	1	28SP, 28SO
16F873 16F873A	3	有	5	无	USART/ ICC/SPI	2	28SP, 28SO
16F874 16F874A	3	有	8	有	USART/ ICC/SPI	2	40P, 44L, 44PT
16F876 16F876A	3	有	5	无	USART/ ICC/SPI	2	28SO, 28SP
16F877 16F877A	3	有	8	有	USART/ ICC/SPI	2	40P, 44L, 44PT, 44PQ

四、MSP430 单片机简介

MSP430 系列单片机是美国德州仪器 (TI) 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗的混合信号处理器 (Mixed Signalprocessor), 称之为混合信号处理器, 主要是由于其针对实际应用需求, 把许多模拟电路、数字电路和微处理器集成在一个芯片上, 以提供“单片”解决方案。

MSP430 单片机的特点如下:

(1) MSP430 单片机是 16 位的单片机, 采用了精简指令集 (RISC) 结构, 只有 27 条指令, 大量的指令则是模拟指令, 众多的寄存器以及片内数据存储器都可参加多种运

算。这些内核指令均为单周期指令，功能强，运行速度快。

(2) 在运算速度方面，MSP430 系列单片机能在 8MHz 晶体的驱动下，实现 125ns 的指令周期。16 位的数据宽度，125ns 的指令周期以及多功能的硬件乘法器（能实现乘法）相配合，能实现数字信号处理的某些算法（如 FFT 等）。

(3) MSP430 系列单片机的电源电压采用 1.8~3.6V。在 1MHz 的时钟条件下运行时，芯片的电流在 200~400 μ A 之间，时钟关断模式的最低功耗只有 0.1 μ A。在 MSP430 系列中有两个不同的时钟系统：基本时钟系统和锁频环（FLL 和 FLL+）时钟系统或 DCO 数字振荡器时钟系统。有的使用一个晶体振荡器（32768Hz），有的使用两个晶体振荡器。由系统时钟系统产生 CPU 和各功能所需的时钟，并且这些时钟可以在指令的控制下打开和关闭，从而实现对总体功耗的控制。由于系统运行时打开的功能模块不同，即采用不同的工作模式，芯片的功耗有着显著的不同。在系统中共有一种活动模式（AM）和五种低功耗模式（LPM0~LPM4）。在等待方式下，耗电为 0.7 μ A，在节电方式下，最低可达 0.1 μ A。

(4) MSP430 系列其基本架构是 16 位的，同时在其内部的数据总线经过转换还存在 8 位的总线，再加上本身就是混合型的结构，形成开放型的架构，无论扩展 8 位的功能模块，还是 16 位的功能模块，包括扩展模/数转换或数/模转换这类的功能模块都是很方便的。MSP430 系列单片机的各成员都集成了较丰富的片内外设。它们分别是看门狗（WDT）、模拟比较器 A、定时器 A（Timer_A）、定时器 B（Timer_B）、串口 0（US-ART0）、串口 1（USART1）、硬件乘法器、液晶驱动器、10 位/12 位 ADC、I²C 总线直接数据存取（DMA）、端口 0（P0）、端口 1~6（P1~P6）、基本定时器（Basic Timer）等的一些外围模块的不同组合。MSP430 系列单片机的这些片内外设为系统的单片解决方案提供了极大地方便。

(5) 对于 MSP430 系列而言，由于引进了 Flash 型程序存储器和 JTAG 技术，不仅使开发工具变得简便，而且价格也相对低廉，并且还可以实现在线编程。

适应工业级运行环境 MSP430 系列器件均为工业级的，运行环境温度为一40~+85 摄氏度，所设计的产品适合用于工业环境下。

MSP430 单片机系列部分型号芯片的硬件资源见表 1-4。

表 1-4 MSP430 单片机系列部分型号芯片的硬件资源

型号	FLASH	RAM	AD	DA	DMA	LCD 段数	USART	比较器 A	硬件 乘法器	定时 器	封闭 类型	I/O
MSP430F1101A	1KB	128B	slope				软件	✓		4	20SOIC, TSSOP	14
MSP430F1111A	2KB	128B	slope				软件	✓		4	20SOIC, TSSOP	14
MSP430F1121A	4KB	256B	slope				软件	✓		4	20SOIC, TSSOP	14
MSP430F1122	4KB	256B	10bit				软件			4	20SOIC, TSSOP	14
MSP430F1132	8KB	256B	10bit				软件			4	20TSSOP	14
MSP430F1222	4KB	256B	10bit				硬件			4	28SOIC, TSSOP	22
MSP430F123	8KB	256B	slope				硬件	✓		4	28SOIC, TSSOP	22
MSP430F1232	8KB	256B	10bit				硬件 1			4	28SOIC, TSSOP	22