

“十三五”普通高等教育规划教材

单片机原理与应用

基于 AT89S51+Proteus 仿真

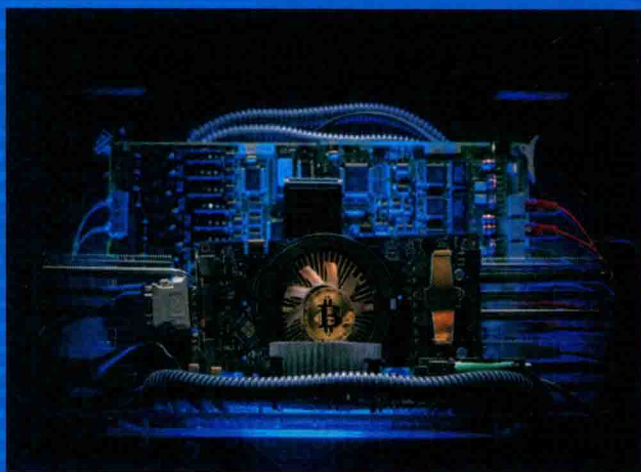
胡凤忠 高金定 廖亦凡 主编



提供电子课件

<http://www.cmpedu.com>

本书嵌入二维码，内容包括
动画演示视频和扩展知识



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”普通高等教育规划教材

单片机原理与应用

——基于 AT89S51+Proteus 仿真

胡凤忠 高金定 廖亦凡 主编
周 龙 黄 科 王 菁 参编



机械工业出版社

本书以 AT89S51/52 单片机为主体,全面、系统地介绍了 MCS-51 内核单片机的工作原理、基本应用与设计开发技术。内容包括单片机概述、单片机的结构及工作原理、单片机的指令系统与汇编语言程序设计、单片机的 C 语言程序设计、中断系统、定时/计数器、单片机的串行接口、单片机的系统扩展及单片机应用系统设计等。

本书将学习和实践单片机的两个重要工具软件 Proteus 和 Keil C 贯穿始终,编程以 C51 语言为主,便于读者理解和掌握单片机的原理与应用,也使单片机的教学不再枯燥无味。本书体系编排合理,内容精炼,实例典型,每章都有小结、习题与思考题,方便读者学习。

本书可作为高等工科院校电气与电子信息类、机械类、计算机类各专业的教材或教学参考书,也可作为单片机技术培训以及从事单片机嵌入式系统设计人员的培训教材及自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用:基于 AT89S51+Proteus 仿真/胡风忠,高金定,廖亦凡主编. —北京:机械工业出版社,2019.1

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-61780-8

I. ①单… II. ①胡… ②高… ③廖… III. ①单片微型计算机-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 037458 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:尚 晨 责任校对:张艳霞

责任印制:孙 炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2019 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·17.25 印张·417 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-61780-8

定价:55.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:(010)88379833

读者购书热线:(010)88379649

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

作为微型计算机的一个分支,单片微型计算机(简称单片机)在嵌入式应用中扮演着十分重要的角色,成为智能化电子信息系统中最重要器件之一,广泛应用于工业自动控制、仪器仪表、交通运输、通信设备、办公设备、家用电器等众多领域。

单片机的典型代表是 Intel 公司在 20 世纪 80 年代初推出的 MCS-51 系列单片机,并很快在我国得到推广并广泛应用。虽然在 20 世纪 90 年代后期 Intel 公司把主要精力集中在了 CPU 的研发和生产上,并逐步退出了单片机的市场,但 MCS-51 的核心技术仍是多家半导体公司的单片机竞相采用的内核技术。如 Atmel 公司将其优势的 Flash 存储器技术与 Intel 公司的 80C51 内核技术相结合,生产了 AT89 系列单片机,在继承 MCS-51 单片机的基础上,增加了 Flash 存储器,进一步推动了单片机市场的发展。

AT89S 系列单片机是 Atmel 公司继 AT89C 系列之后推出的可在系统编程的新产品,性能价格比进一步提高,应用更加方便、可靠。本书以 AT89S51/52 单片机为主体,系统地介绍了 MCS-51 内核单片机的片内外结构及工作原理、指令系统与汇编语言程序设计、C51 语言程序设计、中断系统、定时/计数器、串行接口、单片机系统扩展及应用设计。

随着国家工业信息化和智能化建设的迅速发展,对电子信息类专业技术人才的需求也日益扩大。为了适应这种新形式的需要,促进电子电气信息类专业课程教材的发展和改革,编者集多年教学 and 实践经验编写了本书。本书的特点是紧跟单片机技术的发展,注重单片机的实际应用,将学习和实践单片机的两个重要工具软件 Proteus 和 Keil C 贯穿始终,编程以 C51 语言为主,便于读者理解和掌握单片机的原理与实际应用,也使单片机的教学不再枯燥无味。

本书共 9 章。第 1 章介绍了单片机的概况和学习、实践单片机的两个重要软件工具;第 2 章介绍了单片机的片内外结构与工作原理;第 3 章介绍了 MCS-51 内核单片机的指令系统与汇编语言程序设计;第 4 章结合单片机并行 I/O 口的应用介绍了单片机 C51 语言程序设计;第 5 章介绍了单片机的中断系统及应用;第 6 章详细介绍了单片机的定时/计数器及其应用;第 7 章对单片机串行口及应用进行了介绍;第 8 章为单片机的系统扩展及接口设计;第 9 章为单片机应用系统的设计与开发。为方便读者学习,每章都有归纳小结和习题与思考题。

本书由胡凤忠、高金定、廖亦凡担任主编,周龙、黄科、王菁担任参编,广州粤嵌通信科技股份有限公司参与了本书的编写工作。全书由胡凤忠统稿和定稿,秦国军教授审阅了本书并提出了宝贵意见。

本书的出版得到湖南省教育厅重点科研项目“基于 FPGA 的广域电磁法接收机关键数字信号处理技术研究”(编号:15A106)、中南大学博士后研究基金项目“基于扩频技术的地电观测技术及实验装置”、湖南省自然科学基金面上项目“基于扩频技术的地电观测技术及实验装置”“《EDA 技术》教学内容与课程体系改革”教育部产学研合作协同育人项目(编号:201701067016)、“嵌入式技术校企联合实验室”教育部产学研合作协同育人项目(编号:201701067076)、“电子信息类专业化众创空间”教育部产学研合作协同育人项目(编号:

201702071155)、电子信息类专业湖南省普通高等学校创新创业教育基地建设项目（湘教通〔2016〕436号）、电子信息类专业湖南省普通高等学校创新创业教育中心建设项目（湘教通〔2018〕380号）的资助。

在本书的编写过程中，编者参阅了大量的书籍及文献，为此，对有关作者表示衷心的感谢。

本书为编者多年从事单片机教学和科研实践经验的总结，限于编者水平，书中不足之处在所难免，恳请读者批评和指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 单片机概述	1
1.1.1 什么是单片机	1
1.1.2 单片机的特点	1
1.1.3 单片机的应用领域	2
1.1.4 单片机的发展趋势	3
1.2 主流单片机系列简介	4
1.2.1 基于 MCS-51 内核的单片机	4
1.2.2 TI 公司的 MSP430 系列单片机	7
1.2.3 Microchip 公司的 PIC 系列单片机	8
1.2.4 Atmel 公司的 AVR 系列单片机	8
1.2.5 基于 ARM 芯核的 32 位单片机	9
1.3 学习单片机的两个重要软件	9
1.3.1 单片机仿真软件 Proteus 简介	9
1.3.2 程序开发软件 Keil uVision 简介	10
1.3.3 应用举例	10
本章小结	13
习题与思考题 1	13
第 2 章 单片机结构及工作原理	15
2.1 单片机内部结构	15
2.2 单片机工作原理	17
2.2.1 运算器	18
2.2.2 控制器	20
2.2.3 指令执行过程	20
2.3 单片机的引脚	21
2.4 存储器	23
2.4.1 存储器结构	23
2.4.2 程序存储器	24
2.4.3 数据存储器	25
2.4.4 特殊功能寄存器 (SFR)	28
2.5 并行 I/O 口结构	31
2.5.1 P0 口	31
2.5.2 P1 口	32

2.5.3	P2 口	33
2.5.4	P3 口	33
2.6	单片机时序及时钟电路	35
2.6.1	CPU 时序及有关概念	36
2.6.2	时钟电路	36
2.7	单片机工作方式	37
2.7.1	复位方式	37
2.7.2	低功耗方式	39
	本章小结	39
	习题与思考题 2	39
第 3 章	指令系统与汇编语言程序设计	42
3.1	指令系统概述	42
3.2	寻址方式概述	43
3.2.1	描述操作数的简记符号	43
3.2.2	寻址方式	44
3.3	指令系统	48
3.3.1	数据传送类指令	49
3.3.2	算术运算类指令	53
3.3.3	逻辑运算类指令	57
3.3.4	控制转移类指令	59
3.3.5	位操作类指令	63
3.3.6	伪指令	65
3.4	汇编语言程序设计	66
3.4.1	汇编程序设计概述	66
3.4.2	汇编程序设计举例	67
	本章小结	72
	习题与思考题 3	72
第 4 章	单片机的 C 语言程序设计	74
4.1	C51 的数据结构	74
4.1.1	C51 的数据类型	74
4.1.2	C51 的变量及存储类型	77
4.1.3	C51 的数组	79
4.1.4	C51 的指针	80
4.2	C51 语言的运算符与表达式	81
4.3	C51 语言的函数	83
4.3.1	函数的分类	83
4.3.2	函数的参数与返回值	85
4.3.3	函数的调用	85
4.3.4	中断函数	86

4.3.5 常用库函数	87
4.4 C51 的程序结构	87
4.5 C51 仿真开发环境	89
4.5.1 Keil uVision 编译环境	89
4.5.2 基于 Proteus 和 Keil C 的程序开发过程	90
4.6 并行 I/O 口的 C51 编程应用	92
4.6.1 I/O 口的简单应用	92
4.6.2 I/O 口的进阶应用	102
本章小结	107
习题与思考题 4	108
第 5 章 单片机的中断系统	110
5.1 中断的概念	110
5.2 中断控制系统	111
5.2.1 中断系统的结构	112
5.2.2 中断的允许和禁止	114
5.2.3 中断优先级的控制	115
5.3 中断处理过程	117
5.3.1 中断响应	117
5.3.2 中断服务	118
5.3.3 中断返回	118
5.4 中断的编程和应用	119
5.4.1 中断函数	119
5.4.2 中断程序设计举例	120
5.4.3 外部中断源的扩充	127
本章小结	129
习题与思考题 5	129
第 6 章 单片机的定时/计数器	131
6.1 定时/计数器的结构与工作原理	131
6.1.1 定时/计数器的结构	131
6.1.2 定时/计数器的工作原理	132
6.2 定时/计数器的控制寄存器	133
6.3 定时/计数器的工作方式	135
6.3.1 工作方式 1	135
6.3.2 工作方式 2	139
6.3.3 工作方式 0	142
6.3.4 工作方式 3	142
6.4 定时/计数器的编程和应用	143
6.5 定时/计数器 T2	148
6.5.1 T2 的寄存器	148

6.5.2 T2 的工作方式	149
6.6 定时器 T3——WDT 监视定时器	150
6.6.1 WDT 的功能及应用特点	150
6.6.2 辅助寄存器 AUXR	151
本章小结	151
习题与思考题 6	152
第 7 章 单片机的串行接口	154
7.1 串行通信概述	154
7.2 串行口结构与控制寄存器	156
7.2.1 串行口内部结构	156
7.2.2 串行口控制寄存器	157
7.3 串行口工作方式	158
7.3.1 工作方式 0	158
7.3.2 工作方式 1	161
7.3.3 工作方式 2	164
7.3.4 工作方式 3	168
7.4 多机通信	168
本章小结	173
习题与思考题 7	174
第 8 章 单片机的系统扩展	175
8.1 单片机的外部系统总线	175
8.2 并行总线存储器的扩展	178
8.2.1 程序存储器的扩展	178
8.2.2 数据存储器的扩展	181
8.3 并行 I/O 口的扩展	184
8.3.1 并行 I/O 接口概述	184
8.3.2 简单并行 I/O 口扩展	186
8.3.3 可编程并行 I/O 口扩展	189
8.4 并行输出 A-D 转换器的扩展	196
8.4.1 A-D 转换器概述	196
8.4.2 A-D 转换芯片 ADC0809	197
8.4.3 单片机与 ADC0809 接口	199
8.5 并行输入 D-A 转换器的扩展	203
8.5.1 D-A 转换器概述	203
8.5.2 D-A 转换器芯片 DAC0832	203
8.5.3 DAC0832 的接口方式与应用	205
8.6 单片机的串行芯片扩展技术	210
8.6.1 串行存储芯片的扩展	211
8.6.2 串行 A-D 转换芯片的扩展	216

8.6.3 串行 D-A 转换芯片的扩展	220
8.6.4 串行日历时钟芯片的扩展	222
本章小结	229
习题与思考题 8	230
第 9 章 单片机应用系统的设计与开发	232
9.1 单片机应用系统的一般组成结构	232
9.2 单片机应用系统的设计步骤	233
9.3 应用系统设计应考虑的问题	234
9.3.1 硬件设计应考虑的问题	234
9.3.2 软件设计应考虑的问题	235
9.4 单片机应用系统的仿真开发与调试	236
9.4.1 仿真开发系统的种类与基本功能	237
9.4.2 仿真开发系统简介	237
9.4.3 用户样机的仿真调试	239
9.5 单片机应用系统的抗干扰与可靠性设计	242
9.5.1 AT89S51 片内看门狗定时器的使用	242
9.5.2 软件滤波	243
9.5.3 开关量输入/输出软件抗干扰设计	244
9.5.4 过程通道干扰的抑制措施	244
9.5.5 印制电路板抗干扰布线的基本原则	246
9.6 单片机应用系统设计实例——智能交通灯控制器	248
本章小结	258
习题与思考题 9	258
附录	259
附录 A AT89S51/52 指令表	259
附录 B ANSI C 与 C51 的关键字	262
附录 C 常用逻辑符号对照表	264
参考文献	265

第1章 绪 论

内容指南

本章主要介绍单片机的概念、特点、应用领域和发展趋势，目前主流的单片机系列及其特点，学习和实践单片机的两个重要软件工具及仿真开发步骤。

学习目标

- 掌握单片机的概念及特点。
- 了解单片机的应用领域及目前主流的单片机系列。
- 初步了解 Proteus 和 Keil uVision 软件的功能及仿真开发步骤。

1.1 单片机概述

单片微型计算机（简称单片机）是微型计算机发展的一个分支。单片机以其体积小、控制功能强、性价比高、易于产品化等特点，在机电一体化、汽车电子、智能仪器仪表、工业实时控制、家用电器等各个领域都得到了广泛的应用，对于各个行业的技术进步和产品更新起着重要的推动作用。

1.1.1 什么是单片机

单片机是单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）的简称，是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器 CPU、随机存取存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 接口和中断系统、定时器/计数器等部件（可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A-D 转换器、D-A 转换器）集成到一块硅片上构成的一个小而完善的微型计算机。就其组成和工作原理而言，一块单片机芯片就是一台微型计算机。

单片机是微型计算机的一个发展分支，是为嵌入式应用而生的，可以嵌入各种对象（所嵌入的设备或系统）中，如家用电器、计算机外设、仪器仪表、通信设备、汽车电子等。由于其控制能力比较强和嵌入式应用的特点，单片机又称为“微控制器（Microcontroller）”或“嵌入式微控制器（Embedded Microcontroller）”，通常简称为 MCU（Micro Controller Unit）。

1.1.2 单片机的特点

单片机之所以在很多领域得到广泛的应用，是因为单片机具有以下显著的特点：

- 1) 控制能力强。单片机的指令系统中有极丰富的转移指令、I/O 口的逻辑操作以及位操作指令，实时控制功能特别强。

2) 集成度高、体积小、可靠性强。由于 CPU、存储器及 I/O 接口等功能部件集成在同一芯片内, 内部采用总线结构, 减小了体积, 不易受环境的影响, 大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。

3) 低功耗、低电压、性价比高、易于产品化。单片机大部分产品都具有低功耗、低电压的特点, 有较高的性能价格比, 从而易于产品化, 满足各个领域广泛的需要。

4) 易于进行系统扩展。单片机既可以采用并行总线进行系统扩展, 也可以采用串行总线进行系统扩展。系统配置较典型、规范, 容易构成各种规模的应用系统。

近年来推出的单片机产品, 增加了 I²C (Inter-Integrated Circuit) 串行总线、SPI (Serial Peripheral Interface) 串行接口, 内部集成有高速 I/O 口、ADC、PWM、WDT 等部件, 并在低电压、低功耗和网络接口等方面都有进一步的增强。正是由于单片机的这些特点, 使其在各个领域得到广泛的应用。

1.1.3 单片机的应用领域

单片机的应用十分广泛, 在以下领域都有着广泛的应用:

1) 智能仪器仪表。由于单片机具有超微型化的特点, 并且有无可比拟的高性能价格比。单片机用于各种仪器仪表, 一方面提高了仪器仪表的使用功能和精度, 使仪器仪表智能化, 另一方面还简化了仪器仪表的硬件结构, 从而可以方便地完成仪器仪表产品的升级换代。如各种智能电气测量仪表、智能传感器、智能数字化仪表等。

2) 机电一体化产品。机电一体化产品是集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体, 具有智能化特征的各种机电产品。单片机在机电一体化产品的开发中可以发挥巨大的作用。典型的产品如机器人、数控机床、自动包装机、点钞机、医疗设备、打印机、传真机、复印机等。

3) 工业实时控制。单片机还可以用于各种物理量的测量与控制。电流、电压、温度、液位、压力、流量等物理参数的数据采集系统和控制系统均可以利用单片机方便地实现。在这类系统中, 利用单片机作为系统控制器, 可以根据被控对象的不同特征采用不同的智能控制算法, 实现期望的控制性能指标, 从而提高生产效率和产品质量。典型应用如电动机转速控制、温度控制、自动生产线、数控机床、智能化机器人等。

4) 分布式控制系统。在较复杂的工业系统中, 经常要采用分布式测控系统完成大量的分布参数的采集。在这类系统中, 采用单片机作为分布式系统的前端数据采集模块, 系统具有运行可靠、数据采集方便灵活、成本低廉等一系列优点。

5) 家用电器。家用电器是单片机的又一重要应用领域, 前景十分广阔。如空调器、电冰箱、洗衣机、微波炉、电饭煲、热水器、遥控电视机、摄像机、数码照相机、智能充电器、各种报警器等都使用单片机进行控制。

6) 电信。单片机在电信领域的应用包括电话机、无绳电话机、投币电话机、磁卡电话机、光卡电话机、模拟或数字蜂窝移动通信手持机、无线对话机、业余无线电台、传真机、调制解调器、通话计费器、智能线路、数字滤波、电话密码锁、来电显示器等。

7) 计算机外围设备。很多外围设备使用单片机作为控制器, 使这些外围设备具有智能化功能。计算机外围设备的应用有键盘、打印机、绘图仪、智能化终端、智能扩充卡、智能化硬盘驱动器、调制解调器、外设控制板等。

8) 办公自动化。办公自动化方面的应用包括复印机、智能打字机、传真机、个人数字助理 PDA、智能终端机等。

9) 商用电子。商用电子的应用有自动售货机、自动柜员机、电子收款机、电子秤、智能卡、IC 卡读写器等。

10) 汽车电子。汽车电子的应用包括点火控制、变速控制、防滑控制、防撞控制、排气控制、最佳燃烧控制、计价器、交通控制、防盗报警、电子地图、车载通信装置等。

11) 军用电子。各种导弹和鱼雷的精确制导、智能武器、雷达系统、电子战设备等军用电子设备。

在其他领域中单片机也有着广泛的应用，如汽车自动驾驶系统、航天测控系统、精密机床、健身器械、医疗器械、玩具等。因此可以毫不夸张地说，现代人类生活中几乎所用的电子和机械产品中都会集成有单片机。

1.1.4 单片机的发展趋势

从 20 世纪 70 年代单片机诞生以来，至今已发展有 16 位单片机、32 位单片机，但一直是以 8 位机为主流机型。作为面向控制领域应用的单片微型计算机，今后的发展趋势将是进一步向着高性能、低功耗、大存储容量、外围电路集成化等几个方面发展。

1) 提高 CPU 处理能力。进一步提高单片机 CPU 的性能，包括增加数据总线的宽度，采用精简指令集 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 计算机结构和流水线技术等，大幅度提高运行速度，并加强了位处理、中断和定时控制功能。

2) 加大存储器容量。以往单片机内的 ROM 和 RAM 较小，存储器容量不够。新型单片机片内 ROM 一般可达 4 KB 至 32 KB 或更多，RAM 为 256 B~1 KB。而且，新型单片机一般采用 EEPROM 或 Flash ROM，方便读写，为在系统编程 (In System Programming, ISP) 提供了条件，方便了单片机的开发。

3) 外围电路集成化。随着芯片集成度的不断提高，有可能把众多的外围功能部件集成在芯片内。这是单片机以后发展的重要趋势。除了一般必须具有的 ROM、RAM、定时/计数器、中断系统以外，根据不同检测系统、控制功能的需求，片内还可以集成 A-D 转换器、监视定时器 WDT、D-A 转换器、脉宽调制器 PWM、DMA 控制器、锁相器、频率合成器、译码驱动电路等。

4) 低功耗、低电压。8 位单片机中大部分的产品都已经 CMOS 化，CMOS 芯片的单片机具有功耗小的优点，而且为了充分发挥低功耗的特点，这类单片机都有待机、掉电等低功耗工作方式。很多新型单片机都可以在 +5 V 电压以下工作；包括降低外时钟要求和采用引脚的电磁干扰抑制技术，明显提高了单片机的电磁兼容性。

5) 小容量、低价格。由于单片机的嵌入式特点，希望它的体积更小，价格更便宜。有的单片机系列具有 8~28 脚封装的产品。

6) 串行总线结构。随着 Philips 公司开发的 I²C (Inter-Integrated Circuit) 总线以及 Motorola 公司推出的串行外围接口 SPI (Serial Peripheral Interface) 等串行总线的引入，采用串行接口可大大减少引脚数量，简化系统结构，使得单片机应用系统中的串行扩展技术有了较大发展。此外，许多单片机已把所需要的外围器件及外设接口集成在芯片内，因此可以不要并行扩展总线，大大减少了封装成本和芯片体积，这类单片机称为非总线型单片机。

1.2 主流单片机系列简介

单片机作为微型计算机的一个重要分支，应用很广，发展很快。随着集成电路的发展，单片机已发展到 8 位、16 位、32 位，根据近年来的使用情况看，8 位单片机使用率最高，其次是 32 位。这里仅对部分主流的单片机系列进行介绍。

1.2.1 基于 MCS-51 内核的单片机

MCS-51 系列单片机是 20 世纪 80 年代由 Intel 公司推出的 8 位单片机系列。其代表产品型号是 80C51，具有 1 个 8 位 CPU、4KB ROM 存储器、128B RAM 存储器、32 位 I/O、2 个定时/计数器、1 个 UART 和 1 个含有 5 个中断源的中断系统。但后来 Intel 公司改变了市场方向，专注于通用微型计算机 CPU 的设计生产，便通过技术转让和技术交换的方式，将自己的单片机内核转让给其他公司使用，所以在市场上可以看到很多基于 MCS-51 内核的单片机。最典型的就是 Atmel 公司的 AT89 系列单片机。AT89 系列单片机的引脚和 80C51 是一样的，可以直接进行代换，新增加型号的功能是向下兼容的。AT89 系列单片机最突出的优点是采用快擦写存储器。

1. Atmel 公司的 AT89 系列

Atmel 公司通过技术交换取得了 MCS-51 的内核使用权，率先把 MCS-51 的内核与其擅长的 Flash ROM 技术相结合，推出了 AT89 系列单片机。Atmel 公司所生产的 AT89 系列单片机，是与 8051 兼容且内部含有 Flash 存储器（闪速存储器）的单片机。它是一种来源于 8051 而又优于 8051 的系列，是目前主流的 MCS-51 内核单片机系列。

Flash 存储器的使用加速了单片机技术的发展，基于 Flash 存储器的 ISP/IAP（在系统可编程/在现场可编程）技术，极大地改变了单片机应用系统的结构模式以及开发和运行条件，是 8051 单片机技术发展的一次重大飞跃。

AT89 系列单片机的主要特点如下：

1) 内部含 Flash 存储器。由于内部含 Flash 存储器，因此在应用系统的开发过程中可以十分容易地进行程序的修改，这就大大缩短了应用系统的开发周期。

2) 与 80C51 引脚兼容。AT89 系列单片机的引脚与 80C51 是兼容的，所以，当用 AT89 系列单片机取代 80C51 时，可以直接进行代换。这时，不管采用 40 引脚还是 44 引脚的产品，只要用相同引脚的 AT89 系列单片机取代 80C51 的单片机即可。

3) 错误编程亦无废品产生。一般的 OTP（One Time Program）产品，一旦错误编程就成了废品。而 AT89 系列单片机内部采用了 Flash 存储器，错误编程之后仍可以重新编程，直到正确为止，故不存在废品。

4) 可在系统编程。AT89Sxx 系列产品提供了一个通过 SPI 串行接口对内部程序存储器在系统编程 ISP，而不需要从电路板上取下器件，已经编程的器件也可以用 ISP 方式擦除或再编程。

AT89 系列单片机拥有着较庞大的家族系列，每一系列下又有多种型号，而且每一个型号下还有多个具体的型号供用户选择。由于 IC 制造技术及单片机技术的迅速发展，新的功能更全、性能更好的单片机应运而生，使一些早期的单片机产品渐渐退出市场。为了保证早

期开发的产品及应用的设备继续使用，Atmel 公司新推出的产品都会考虑与同类型早期产品的兼容性。有些早期的产品不推荐在新的产品设计中应用，可用替代产品，新产品设计中建议使用推荐产品。表 1-1 列出了部分 Atmel 公司单片机替代产品及推荐产品。

表 1-1 Atmel 公司单片机替代产品及推荐产品

序号	早期产品	产品描述	替代或推荐产品
1	AT89C51 ^①	4 KB Flash 的 80C31 系列单片机	AT89S51
2	AT89C52 ^①	4 KB Flash 的 80C32 系列单片机	AT89S52
3	AT89LV51 ^①	2.7 V 工作电压，4 KB Flash 的 8031 系列单片机	AT89LS51
4	AT89LV52 ^①	2.7 V 工作电压，4 KB Flash 的 8032 系列单片机	AT89LS52
5	AT89LV53 ^②	低电压，可直接下载 12 KB Flash 单片机	AT89S8253
6	AT89LV8252 ^②	低电压，可直接下载 8 KB Flash，2 KB EEPROM 单片机	AT89S8253
7	AT89S53 ^②	在线编程，12 KB Flash 单片机	AT89S8253
8	AT89S8252 ^②	在线编程，12 KB Flash，2 KB EEPROM 单片机	AT89S8253
9	T89C51RB2 ^①	16 KB Flash 高性能单片机	AT89C51RB2
10	T89C51RC2 ^①	32 KB Flash 高性能单片机	AT89C51RC2
11	T89C51RD2 ^①	64 KB Flash 高性能单片机	AT89C51RD2

① 不推荐在新的产品设计中应用，可用替代产品。

② 新产品设计中建议使用推荐产品。

2. Silicon Lab 公司的 C8051 系列

Silicon Lab 公司的 C8051F 系列单片机是集成的混合信号片上系统 SoC（System On Chip），具有与 MCS-51 内核及指令集完全兼容的微控制器，C8051F 系列单片机采用具有专利的 CIP-51 内核，与 MCS-51 指令系统全兼容，运行速度高达 25MIPS，除具有标准 8051 的数字外设部件之外，片内还集成了数据采集和控制系统中常用的模拟部件和其他数字外设及功能部件。

C8051F 系列单片机的功能部件包括：

- 1) 模拟多路选择器。
- 2) 可编程增益放大器。
- 3) ADC（模-数转换器）、DAC（数-模转换器）。
- 4) 电压比较器、电压基准温度传感器。
- 5) I²C、UART、SPI。
- 6) 可编程计数器/定时器阵列 PCA。
- 7) 定时器数字 I/O 端口。
- 8) 电源监视器、看门狗定时器 WDT。
- 9) 时钟振荡器等。

所有器件都有内置的 Flash 存储器和 256 B 的内部 RAM，有些器件还可以访问外部数据

存储器。有效地管理模拟和数字外设，可以关闭单个或全部外设，以节省功耗。Flash 存储器还具有在线重新编程的能力，既可用于程序存储器，又可用于非易失性数据存储应用程序。

C8051F 单片机在以下 3 个方面有突出性能：

1) 采用 CIP-51 内核大力提升 CISC 结构运行速度。在保持 CISC 结构及指令系统不变的情况下，对指令运行实行流水作业，推出了 CIP-51 的 CPU 模式。在这种模式中，废除了机器周期的概念，指令以时钟周期为运行单位。平均每个时钟可以执行完 1 条单周期指令，从而大大提高了指令运行速度，使 8051 兼容机系列进入了 8 位高速单片机行列。

2) I/O 从固定方式到交叉开关配置。在 C8051F 中，采用开关网络以硬件方式实现 I/O 端口的灵活配置，在这种通过交叉开关配置的 I/O 端口系统中，单片机外部为通用 I/O 口，如 P0 口、P1 口和 P2 口，内有输入/输出的电路单元通过相应的配置寄存器控制的交叉开关配置到所选择的端口上。

3) 从系统时钟到时钟系统。C8051F 提供了一个完整而先进的时钟系统。在这个系统中，片内设置有一个可编程的时钟振荡器（无须外部器件），可提供 2 MHz、4 MHz、8 MHz 和 16 MHz 时钟的编程设定。外部振荡器可选择 4 种方式。当程序运行时，可实现内外时钟的动态切换。编程选择的时钟输出除供片内使用外，还可从随意选择的 I/O 端口输出。

C8051F 系列单片机是真正能独立工作的片上系统 SoC，表 1-2 列出了 C8051F12x/13x 单片机主要产品。

表 1-2 Silabs 公司 C8051F12x/13x 单片机主要产品

型 号	I/O 口	Flash /KB	16×16 MAC	MIPS	12 位 100 Kbit/s ADC 输入	10 位 100 Kbit/s ADC 输入	8 位 500 Kbit/s ADC 输入	DAC	ADC 输出
C8051F120/1	64/32	128	有	100	8	—	8	12	2
C8051F122/3	64/32	128	有	100	—	8	8	12	2
C8051F124/5	64/32	128	—	50	8	—	8	12	2
C8051F126/7	64/32	128	—	50	—	8	8	12	2
C8051F130/1	64/32	128	有	100	—	8	—	—	—
C8051F132/3	64/32	64	有	100	—	8	—	—	—

3. Philips 公司的增强型 80C51 系列和 LPC 系列

Philips 公司首先购买了 8051 内核的使用权，在此基础上增加具有自身特点的 I²C 总线，推出了一系列增强型 80C51 系列单片机和 LPC 系列单片机。

Philips 公司的 8 位单片机产品具有如下特点：

- 1) 除了基本的中断功能之外特别增加了一个 4 级中断优先级。
- 2) 可以通过关闭不用的 ALE，大大改善单片机的 EMI 电磁兼容性能。不仅可以在上电初始化时静态关闭 ALE，还可以在运行中动态关闭 ALE。
- 3) 很多品种具有 6/12 Clock 时钟频率切换功能，不仅可以在上电初始化时静态切换 6/12 Clock，还可以在运行中动态切换 6/12 Clock。因此 Philips 单片机只需要较低的时钟频率即可达到同样的性能。

- 4) 特有双 DPTR 指针, 使设计查表程序更加灵活、方便。
- 5) UART 串行口增加了从地址自动识别和帧错误检测功能, 特别适合单片机的多机通信。
- 6) 可提供 1.8~3.3 V 供电电源, 适合便携式产品。
- 7) LPC 系列十分适用于要求低功耗、低价格、小引脚的应用场合。这是 Philips 单片机主要的发展趋势。
- 8) Philips 80C51 系列单片机均有 3 个定时/计数器。
- 表 1-3 列出了 Philips 公司 LPC900 系列单片机主要芯片及特性。

表 1-3 Philips 公司 LPC900 系列单片机主要芯片及特性

型 号	存储器		串行接口 UART, I ² C	I/O	中断 (外部)	比较器	ADC	DAC
	RAM/B	Flash/KB						
P89LPC901	128	1	—	6	6 (3)	1	—	—
P89LPC902	128	1	—	6	6 (3)	2	—	—
P89LPC904	128	1	UART	6	9 (3)	1	2	1
P89LPC912	128	1	—	12	7 (1)	2	—	—
P89LPC914	128	1	UART	12	10 (1)	2	—	—
P89LPC916	256	2	UART, I ² C	14	10 (1)	2	4	1
P89LPC920	256	2	UART, I ² C	18	12 (3)	2	—	—
P89LPC922	256	8	UART, I ² C	18	13 (3)	2	—	—
P89LPC924	256	4	UART, I ² C	18	13 (3)	2	4	1
P89LPC931	256	8	UART, I ² C	26	13 (3)	2	—	—
P89LPC933	256	4	UART, I ² C	26	15 (3)	2	4	1

1.2.2 TI 公司的 MSP430 系列单片机

TI 公司 (Texas Instrument, 美国德州仪器公司) 生产的 MSP430 系列是一种超低功耗类型的单片机, 它的最主要特点是超低功耗, 可长时间用电池工作, 特别适合应用电池的设备或手持设备。同时, 该系列将大量的外围模块整合到片内, 也特别适合设计片上系统。

MSP430 有丰富的不同型号器件可供选择, 给设计者带来很大的灵活性。MSP430 具有 16 位 CPU, 属于 16 位单片机。它采用 16 位的精简指令集结构, 有大量的工作寄存器与大量的数据存储器 (目前最大 2 KB RAM), 其 RAM 单元也可以实现运算。应该说, MSP430 系列在众多单片机系列中是颇具特色的。

MSP430 系列单片机具有以下特点:

- 1) 低电压、超低功耗。MSP430 系列单片机能够实现在 1.8~3.6 V 电压、1 MHz 的时钟条件下运行, 耗电电流为 0.1~400 μ A (因不同的工作模式而不同); 同时能够在实现液晶显示的情况下, 也只耗电 0.8 μ A。具有 16 个中断源, 可以任意嵌套, 用中断请求将 CPU 唤醒只需要 6 μ s, 在只有 RAM 数据保持的低功能模式下耗电 0.1 μ A。由于它的超低功耗的显