



普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材

单片机原理及 应用技术

牛月兰 等编著



免费电子课件

www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014024406

TP368.1-43
290

普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材

单片机原理及应用技术

牛月兰 等编著



机械工业出版社



北航

C1712208

TP368.1-43
290

301150110

本书详细介绍了 AT89S51 单片机的硬件结构及各功能部件的工作原理、指令系统及常用程序设计,并从应用设计的角度讲述了 AT89S51 单片机的各种硬件接口设计、接口驱动程序设计以及 AT89S51 单片机应用系统设计。同时对 AT89S51 单片机应用系统设计中用到的各种新器件也进行了简单介绍。

本书可作为各类工科院校、职业技术学院电子技术、计算机、电气工程、工业自动化、机电一体化、智能仪器仪表、自动控制等专业的单片机课程教材,也可供从事单片机应用设计的工程技术人员参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师发邮件到 jinacmp@163.com 索取,或登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用技术/牛月兰等编著. —北京:机械工业出版社, 2013.8

普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-43522-8

I. ①单… II. ①牛… 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(2013)第 177198 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:吉玲 责任编辑:吉玲 王琪 刘丽敏

版式设计:常天培 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21 印张·528 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-43522-8

定价:39.80 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 网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

自 20 世纪 70 年代以来,单片机在工业测控、仪器仪表、航天航空、军事武器、家用电器等领域的应用越来越广泛,功能越来越完善。由单片机及各种微处理器、DSP 所构成的嵌入式系统设计已成为电子技术产业发展的一项重要内容。单片机技术的应用能力也成为电子技术、计算机、电气工程、工业自动化、机电一体化、智能仪器仪表、自动控制等专业必须掌握的技术之一。

单片机是一门应用设计类课程,所以本书在编写中以 ATMEL 公司的 AT89S51 单片机为例详细介绍了单片机的基础知识、基本结构、指令系统、内部资源、外部扩展等基本内容,突出了选取内容的实用性、典型性。书中的应用实例,多来自于科研工作与教学实践,各章中给出的实例内容由浅入深、循序渐进、内容丰富。所有应用实例均包含详细的硬件接线图及参考程序,力求提高学生的学习兴趣、培养学生的软硬件综合应用能力。为了配合课程设计及毕业设计环节,本书的第 13 章介绍了单片机的应用系统设计与调试。

本书内容通俗易懂,便于自学。书中各章后均附有思考题与习题,供学生巩固、理解、消化课堂所学内容之用。

全书共分为 13 章。第 1 章至第 7 章详细讲述了 51 系列单片机的硬件结构、指令系统及片内各功能部件,第 8 章至第 13 章讲述了各种类型的硬件接口及软件设计,如存储器、I/O 接口、键盘、显示器、A-D 转换、D-A 转换、大功率芯片以及各种在单片机应用设计中用到的其他接口和电路等。并对各种接口的驱动程序加以介绍。

全书的参考学时为 40~60。教师可根据实际情况,对各章讲授内容进行取舍。

本书由郑州轻工业学院的牛月兰等编著,牛月兰对全书进行了统稿,并完成了第 1 章、第 4 章的编写工作,黄河科技学院的常静完成了第 3 章、第 5 章的编写工作,朱煜钰完成了第 2 章、第 6 章的编写工作,何春霞完成了第 8 章、第 9 章的编写工作,王增胜完成了第 10 章、第 11 章的编写工作,郭晓君完成了第 7 章、第 12 章的编写工作。郑州轻工业学院黄春完成了第 13 章的编写工作。

宋寅卯审阅了全书并提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。

由于时间紧迫,书中错误及疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第1章 单片机概述 1

- 1.1 单片机的定义 1
- 1.2 单片机的发展历史 2
- 1.3 单片机的特点 3
- 1.4 单片机的应用 4
- 1.5 单片机的发展趋势 5

1.6 MCS-51 系列与 AT89C5x 系列单片机 7

1.6.1 MCS-51 系列单片机 7

1.6.2 AT89C5x(AT89S5x)系列单片机 8

1.6.3 单片机型号的含义解析 10

1.6.4 51 单片机的封装及引脚 10

1.7 其他的 51 单片机 13

1.7.1 AD μ C812 单片机 13

1.7.2 C8051Fxxx 单片机 13

1.7.3 台湾华邦公司 W78 系列和 W77

系列单片机 13

1.8 AVR 系列单片机与 PIC 系列单片机 14

1.8.1 AVR 系列单片机 14

1.8.2 PIC 系列单片机 15

1.9 各类嵌入式处理器简介 16

1.9.1 嵌入式微控制器 16

1.9.2 嵌入式数字信号处理器 16

1.9.3 嵌入式微处理器 17

1.9.4 嵌入式片上系统 SOC 18

思考题与习题 1 18

第2章 AT89S51 单片机硬件结构 19

2.1 AT89S51 单片机的硬件组成 19

2.2 AT89S51 的引脚功能 20

2.2.1 电源及时钟引脚 21

2.2.2 控制引脚 21

2.2.3 并行 I/O 口引脚 22

2.3 AT89S51 的 CPU 23

2.3.1 运算器 23

2.3.2 控制器 25

2.4 AT89S51 存储器的结构 25

2.4.1 程序存储器空间 26

2.4.2 数据存储器空间 26

2.4.3 特殊功能寄存器 27

2.4.4 位地址空间 30

2.5 AT89S51 的并行 I/O 口 32

2.5.1 P0 口 32

2.5.2 P1 口 33

2.5.3 P2 口 34

2.5.4 P3 口 35

2.5.5 P1~P3 口驱动 LED 发光二极管 36

2.6 时钟电路与时序 37

2.6.1 时钟电路设计 37

2.6.2 机器周期、指令周期与指令时序 39

2.7 复位操作和复位电路 39

2.7.1 复位操作 40

2.7.2 复位电路设计 40

2.8 低功耗节电模式 42

2.8.1 空闲模式 42

2.8.2 掉电运行模式 43

2.8.3 掉电和空闲模式下的 WDT 43

思考题与习题 2 44

第3章 AT89S51 单片机的指令系统 46

3.1 指令系统概述 46

3.2 指令格式 46

3.3 指令系统的寻址方式 46

3.3.1 寄存器寻址方式 47

3.3.2 直接寻址方式 47

3.3.3 寄存器间接寻址方式 47

3.3.4 立即数寻址方式 48

3.3.5 基址寄存器加变址寄存器间接

寻址方式 48

3.3.6 相对寻址方式 48

3.3.7 位寻址方式 49

3.4 AT89S51 指令系统分类介绍 49

3.4.1 数据传送类指令 50

3.4.2 算术运算类指令 53

3.4.3 逻辑操作类指令 57

3.4.4 控制转移类指令 60

3.4.5 位操作类指令 62

3.5 AT89S51 指令汇总 63

3.6 某些指令的说明	67	5.6.1 电平触发方式	107
3.6.1 关于并行 I/O 口的“读引脚”和 “读锁存器”指令的区别	67	5.6.2 跳沿触发方式	108
3.6.2 关于操作数的字节地址和位地 址的区分问题	67	5.7 中断请求的撤销	108
3.6.3 关于累加器 A 与 Acc 的书写 问题	67	5.8 中断服务子程序的设计	109
3.6.4 书写 2 位十六进制数据前要加 “0”	68	5.9 多外部中断源系统设计	111
思考题与习题 3	68	5.10 中断应用举例	113
第 4 章 AT89S51 汇编语言程序设计 ...	70	思考题与习题 5	115
4.1 汇编语言程序设计概述	70	第 6 章 AT89S51 单片机的定时器/ 计数器	117
4.1.1 单片机编程语言	70	6.1 定时器/计数器的结构	117
4.1.2 汇编语言语句和格式	71	6.1.1 工作方式控制寄存器 TMOD	118
4.1.3 伪指令	73	6.1.2 定时器/计数器控制寄存器 TCON	119
4.2 汇编语言源程序的汇编	75	6.2 定时器/计数器的 4 种工作方式	120
4.2.1 手工汇编	76	6.2.1 工作方式 0	120
4.2.2 机器汇编	76	6.2.2 工作方式 1	121
4.3 编程的步骤、方法和技巧	77	6.2.3 工作方式 2	122
4.3.1 编程步骤	77	6.2.4 工作方式 3	123
4.3.2 编程的方法和技巧	78	6.3 对外部输入的计数信号的要求	124
4.4 AT89S51 汇编语言程序设计举例	79	6.4 定时器/计数器的编程和应用	125
4.4.1 顺序结构程序设计	79	6.4.1 工作方式 1 的应用	125
4.4.2 子程序的设计	81	6.4.2 工作方式 2 的应用	128
4.4.3 查表程序设计	85	6.4.3 工作方式 3 的应用	131
4.4.4 关键字查找程序设计	89	6.4.4 门控位 GATE 的应用——测量 脉冲宽度	133
4.4.5 数据极值查找程序设计	90	6.4.5 实时时钟的设计	136
4.4.6 数据排序程序设计	90	思考题与习题 6	140
4.4.7 分支转移程序设计	92	第 7 章 AT89S51 单片机的串行口	141
4.4.8 循环程序设计	95	7.1 串行口的结构	141
思考题与习题 4	98	7.1.1 串行口控制寄存器 SCON	142
第 5 章 AT89S51 单片机的中断系 统	101	7.1.2 特殊功能寄存器 PCON	143
5.1 AT89S51 中断技术概述	101	7.2 串行口的 4 种工作方式	144
5.2 AT89S51 中断系统结构	101	7.2.1 方式 0	144
5.2.1 中断请求源	101	7.2.2 方式 1	146
5.2.2 中断请求标志寄存器	102	7.2.3 方式 2	147
5.3 中断允许与中断优先级的控制	103	7.2.4 方式 3	149
5.3.1 中断允许寄存器 IE	103	7.3 多机通信	150
5.3.2 中断优先级寄存器 IP	104	7.4 波特率的制定方法	151
5.4 响应中断请求的条件	106	7.4.1 波特率的定义	151
5.5 外部中断的响应时间	107	7.4.2 定时器 T1 产生波特率的计算	151
5.6 外部中断的触发方式选择	107	7.5 串行口的应用	152
		7.5.1 双机串行通信的硬件连接	153
		7.5.2 串行通信设计需要考虑的问题	155

7.5.3 双机串行通信软件编程	155	9.2 AT89S51 扩展 I/O 接口芯片 82C55 的设计	192
7.5.4 PC 与单片机的点对点串行通信接口设计	160	9.2.1 82C55 芯片简介	192
7.5.5 PC 与多个单片机的串行通信接口设计	161	9.2.2 工作方式选择控制字及 PC 口按位置位/复位控制字	194
思考题与习题 7	162	9.2.3 82C55 的 3 种工作方式	195
第 8 章 AT89S51 单片机外部存储器的扩展	164	9.2.4 AT89S51 单片机与 82C55 的接口设计	199
8.1 系统扩展结构	164	9.3 AT89S51 扩展 I/O 接口芯片 81C55 的设计	201
8.2 地址空间分配和外部地址锁存器	165	9.3.1 81C55 芯片介绍	201
8.2.1 存储器地址空间分配	165	9.3.2 81C55 的工作方式	204
8.2.2 外部地址锁存器	169	9.3.3 AT89S51 单片机与 81C55 的接口设计及软件编程	206
8.3 程序存储器 EPROM 的扩展	170	9.4 利用 74LS TTL 电路扩展并行 I/O 口	207
8.3.1 常用的 EPROM 芯片介绍	171	9.5 用 AT89S51 单片机的串行口扩展并行口	209
8.3.2 程序存储器的操作时序	173	9.5.1 用 74LS165 扩展并行输入口	209
8.3.3 AT89S51 单片机与 EPROM 芯片的接口电路设计	175	9.5.2 用 74LS164 扩展并行输出口	210
8.4 静态数据存储器 SRAM 的扩展	176	9.6 用 I/O 口控制的声音报警器接口	211
8.4.1 常用的静态 RAM 芯片介绍	176	9.6.1 蜂鸣音报警接口	211
8.4.2 外部数据存储器的读写操作时序	177	9.6.2 音乐报警接口	211
8.4.3 AT89S51 单片机与 RAM 的接口电路设计	179	思考题与习题 9	212
8.5 EPROM 和 RAM 的综合扩展	180	第 10 章 AT89S51 单片机与输入/输出外设的接口	213
8.5.1 综合扩展的硬件接口电路	180	10.1 LED 数码管的显示原理	213
8.5.2 外部存储器芯片的工作原理与软件设计	182	10.1.1 LED 数码管的结构	213
8.6 E ² PROM 存储器的扩展	183	10.1.2 LED 数码管的工作原理	214
8.6.1 并行 E ² PROM 芯片简介	183	10.2 键盘接口原理	216
8.6.2 E ² PROM 的工作方式	184	10.2.1 键盘输入应解决的问题	216
8.6.3 AT89S51 单片机扩展 E ² PROM CAT28C64B 的设计	186	10.2.2 键盘的工作原理	217
8.7 片内 Flash 存储器的编程	187	10.2.3 键盘的工作方式	220
8.7.1 通用编程器编程	187	10.3 键盘/显示器接口设计实例	221
8.7.2 ISP 编程	188	10.3.1 利用 AT89S51 单片机串行口实现的键盘/显示器接口	221
思考题与习题 8	189	10.3.2 各种专用的键盘/显示器接口芯片简介	224
第 9 章 AT89S51 单片机的 I/O 扩展	190	10.3.3 专用接口芯片 CH451 实现的键盘/显示器控制	225
9.1 I/O 接口扩展概述	190	10.4 AT89S51 单片机与液晶显示器的接口	231
9.1.1 扩展的 I/O 接口功能	190	10.4.1 LCD 的分类	231
9.1.2 I/O 接口的编址	191	10.4.2 点阵字符型液晶显示模块介	231
9.1.3 I/O 接口数据的传送方式	191		
9.1.4 I/O 接口电路	191		

绍	231	设计	272
10.4.3 AT89S51 单片机与 LCD 的接 口及软件编程	235	12.5.1 AT89S51 的 I ² C 总线扩展系 统	273
10.5 AT89S51 单片机与 BCD 码拨盘的 接口设计	238	12.5.2 I ² C 总线数据传送的模拟	273
思考题与习题 10	239	12.5.3 I ² C 总线模拟通用子程序	275
第 11 章 AT89S51 单片机与 A-D、 D-A 转换器的接口	240	思考题与习题 12	277
11.1 AT89S51 单片机与 A-D 转换器的 接口	240	第 13 章 AT89S51 单片机的应用设 计与调试	278
11.1.1 A-D 转换器简介	240	13.1 单片机应用系统的设计步骤	278
11.1.2 AT89S51 与逐次比较型 8 位 A-D 转换器 ADC0809 的接口 ...	241	13.2 单片机应用系统设计	280
11.1.3 AT89S51 与双积分型 A-D 转 换器 MC14433 的接口	244	13.2.1 硬件设计应考虑的问题	280
11.2 AT89S51 单片机与 DAC 的接口	247	13.2.2 典型的单片机应用系统	281
11.2.1 D-A 转换器简介	247	13.2.3 系统设计中的地址空间分配 与总线驱动	282
11.2.2 AT89S51 单片机与 8 位 D-A 转换器 DAC0832 的接口设计 ...	248	13.2.4 AT89S51 单片机的最小应用 系统	286
11.2.3 AT89S51 单片机与 12 位 D-A 转换器 AD667 的接口设计	254	13.2.5 应用设计举例	287
11.3 AT89S51 单片机与 V-F 转换器的 接口	259	13.2.6 软件设计考虑的问题	294
11.3.1 用 V-F 转换器实现 A-D 转换 的原理	259	13.2.7 软件的总体框架设计	294
11.3.2 常用 V-F 转换器 LMX31 简介 ...	259	13.3 单片机应用系统的仿真开发与调 试	296
11.3.3 V-F 转换器与 MCS-51 单片机 接口	260	13.3.1 仿真开发系统简介	296
11.3.4 LM331 应用举例	261	13.3.2 用户样机的仿真调试	298
思考题与习题 11	262	13.4 单片机应用系统的抗干扰与可靠 性设计	300
第 12 章 单片机的串行扩展技术	263	13.4.1 AT89S51 片内看门狗定时器 的使用	301
12.1 单总线串行扩展	263	13.4.2 指令冗余和软件陷阱	302
12.2 SPI 总线串行扩展	264	13.4.3 软件滤波	305
12.3 Microwire 总线简介	267	13.4.4 开关量输入/输出软件抗干扰 设计	309
12.4 I ² C 总线的串行扩展介绍	268	13.4.5 过程通道干扰的抑制措施	309
12.4.1 I ² C 串行总线概述	268	13.4.6 印制电路板抗干扰布线的基 本原则	312
12.4.2 I ² C 总线的数据传送	269	13.5 单片机应用系统的 I/O 功率驱动	316
12.5 AT89S51 单片机的 I ² C 串行扩展		思考题与习题 13	324
		参考文献	326

第1章 单片机概述

本章介绍单片机的基础知识、发展历史、应用领域及发展趋势。

对目前流行的 51 单片机的代表性机型美国 ATMEL 公司的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机及代表性产品 AT89S51 做详细介绍。

简要介绍其他类型的单片机。

初步了解嵌入式处理器：单片机、数字信号处理器（DSP）、嵌入式微处理器。

单片机从 20 世纪 70 年代问世以来，广泛地应用在工业自动化、自动检测与控制、智能仪器仪表、机电一体化设备、汽车电子、家用电器等各个方面。

1.1 单片机的定义

将中央处理单元、存储器、定时器/计数器、中断系统、并行 I/O 端口、串行 I/O 端口、系统时钟电路及系统总线等工作部件集成在一块集成电路芯片上，这就形成了单片微型计算机，简称单片机（Single Chip Microcomputer），如图 1-1 所示。单片机使用时，通常是处于测控系统的核心地位并嵌入其中，所以国际上通常把单片机称为嵌入式控制器（Embedded Micro Controller Unit, EMCU），或微控制器（Micro Controller Unit, MCU）。我国习惯于使用“单片机”这一名称。

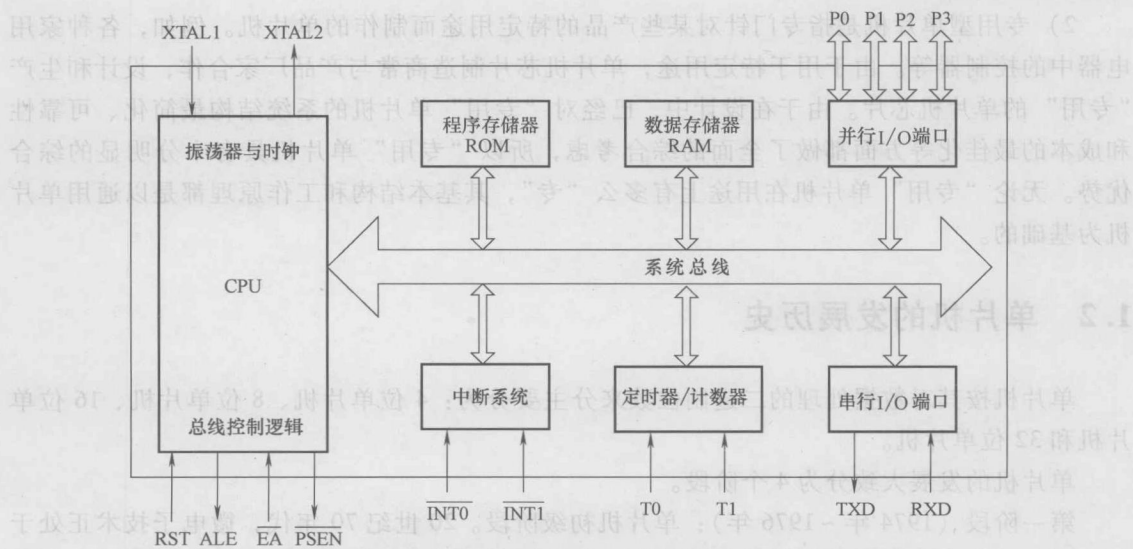


图 1-1 单片机逻辑结构

在图 1-1 中，中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）是单片机的核心部件，它由运算器和控制器组成，主要完成算术、逻辑运算和控制功能。

存储器是具有记忆功能的电子部件，分为只读存储器（Read Only Memory, ROM）和随

机器存储器 (Random Access Memory, RAM) 两类。只读存储器用于存储程序、表格等相对固定的信息, 又称程序存储器, 随机存储器用于存储程序运行期间所用到的数据信息, 又称数据存储器。

输入/输出接口是 CPU 与相应的外设 (键盘、显示器、打印机等) 进行信息交换的桥梁, 其主要功能是协调、匹配 CPU 与外设的工作。

串行 I/O 端口实现单片机和其他设备之间的串行数据传送, 它既可作为全双工异步通用收发器使用, 又可作为同步移位寄存器使用。

定时器/计数器用于实现定时或计数, 并以其定时或计数结果对操作对象进行控制。

中断系统是单片机为满足各种实时控制需要而设置的, 是重要的输入输出方式。

时钟电路主要由振荡器和分频器组成, 为系统各工作部件提供时间基准。

串行口、中断、定时器/计数器是单片机重要的内部资源, 为 CPU 控制外部设备、实现信息交流提供了强有力的支持。

系统总线 (BUS) 是单片机各工作部件之间传送信息的公共通道。总线按其功能可分为数据总线 (Data Bus, DB)、地址总线 (Address Bus, AB) 和控制总线 (Control Bus, CB) 三类, 分别传送数据信息、地址信息和控制信息。

单片机的问世是计算机技术发展史上的一个重要里程碑, 标志着计算机正式形成了通用计算机系统和嵌入式计算机系统两大分支。

单片机按其用途可分为通用型和专用型两大类。

1) 通用型单片机就是其内部可开发的资源 (存储器、I/O 等各种外围功能部件) 可以全部提供给用户。用户根据需要, 设计一个以通用单片机芯片为核心, 再配以外围接口电路及其他外围设备, 并编写相应的软件来满足各种不同需要的测控系统。通常所说的和本书介绍的都是指通用型单片机。

2) 专用型单片机是指专门针对某些产品的特定用途而制作的单片机。例如, 各种家用电器中的控制器等。由于用于特定用途, 单片机芯片制造商常与产品厂家合作, 设计和生产“专用”的单片机芯片。由于在设计中, 已经对“专用”单片机的系统结构最简化、可靠性和成本的最佳化等方面都做了全面的综合考虑, 所以“专用”单片机具有十分明显的综合优势。无论“专用”单片机在用途上有多么“专”, 其基本结构和工作原理都是以通用单片机为基础的。

1.2 单片机的发展历史

单片机按其对数据处理的二进制位数来分主要分为: 4 位单片机、8 位单片机、16 位单片机和 32 位单片机。

单片机的发展大致分为 4 个阶段。

第一阶段 (1974 年 ~ 1976 年): 单片机初级阶段。20 世纪 70 年代, 微电子技术正处于发展阶段, 集成电路属于中规模发展时期, 各种新材料新工艺尚未成熟, 单片机仍处在初级的发展阶段, 元器件集成规模还比较小, 功能比较简单, 一般只把 CPU、RAM (有的还包括了一些简单的 I/O 口) 集成到芯片上, 像美国仙童 (Fairchild) 公司研制的 F8 单片微型计算机就属于这一类型。1974 年 12 月, 美国仙童 (Fairchild) 公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8, 该机由两块集成电路芯片组成, 实际上只包括了 8 位 CPU、64B RAM 和

2个并行口。它还需配上其他的外围处理电路方才构成完整的计算机系统。类似的单片机还有 Zilog 公司的 Z80 微处理器。

第二阶段 (1976 年~1978 年): 低性能单片机阶段。1976 年, Intel 公司推出了 MCS-48 单片机, 这个时期的单片机才是真正的 8 位单片微型计算机, 并推向市场。它以体积小、功能全、价格低等优点赢得了广泛的应用, 为单片机的发展奠定了基础, 成为单片机发展史上重要的里程碑。Intel 公司的 MCS-48 单片机 (8 位) 极大地促进了单片机的变革和发展, 但这个阶段仍处于低性能阶段。

第三阶段 (1978 年~1983 年): 高性能单片机阶段。世界各大公司均竞相研制出品种多、功能强的单片机, 约有几十个系列, 300 多个品种, 此时的单片机均属于真正的单片化。1978 年, Zilog 公司推出 Z8 单片机; 1980 年, Intel 公司在 MCS-48 系列基础上推出 MCS-51 系列, Motorola 公司推出 6801 单片机。新产品的推出使单片机的性能及应用跃上新的台阶。此后, 各公司的 8 位单片机迅速发展。推出的单片机普遍带有串行 I/O 口、多级中断系统、16 位定时器/计数器, 片内 ROM、RAM 容量加大, 且寻址范围可达 64KB, 有的片内还带有 A-D 转换器。由于这类单片机的性能价格比高, 所以被广泛应用, 是目前应用数量最多的单片机。

第四阶段 (1983 年~现在): 8 位单片机巩固发展及 16 位单片机、32 位单片机推出阶段。16 位单片机典型产品是 Intel 公司的 MCS-96 系列单片机, Motorola 公司的 M68HC16 系列单片机。这类单片机的特点是: CPU 是 16 位的, 运算速度普遍高于 8 位机, 有的单片机寻址能力高达 1MB, 片内含有 A-D 和 D-A 转换电路, 支持高级语言。16 位单片机比起 8 位机, 数据宽度增加了一倍, 实时处理能力更强, 适用于更复杂的控制系统。这类单片机主要用于过程控制、智能仪表、家用电器以及作为单片机外部设备的控制器。

而 32 位单片机除了具有更高的集成度外, 其数据处理速度比 16 位单片机也高很多, 性能比 8 位、16 位单片机更加优越。这类单片机的代表产品有 Motorola 公司的 M68300 系列单片机、英国 Inmos 公司的 IM-ST414。1990 年美国 Intel 公司推出 80960 超级 32 位单片机引起了计算机界的轰动, 产品相继投放市场, 成为单片机发展史上又一个重要的里程碑。

20 世纪 90 年代是单片机制造业大发展的时期, Motorola、Intel、ATMEL、德州仪器 (TI)、三菱、日立、飞利浦、LG 等公司开发出了一大批性能优越的单片机, 极大推动单片机的应用。近年, 又有不少新型的高集成度的单片机产品涌现出来。目前, 除 8 位单片机广泛应用外, 16 位单片机、32 位单片机也得到广大用户青睐。

1.3 单片机的特点

单片机是集成电路技术与微型计算机技术高速发展的产物。它具有体积小、价格低、应用方便、稳定可靠等特点, 因此, 给工业自动化等领域带来了一场重大革命和技术进步。由于体积小, 很容易嵌入到系统之中, 以实现各种方式的检测、计算或控制, 这一点, 一般微机根本做不到。由于单片机本身就是一个微型计算机, 因此只要在单片机的外部适当增加一些必要的外围扩展电路, 就可以灵活地构成各种应用系统, 如工业自动检测监视系统、数据采集系统、自动控制系统、智能仪器仪表等。

单片机具有以下优点:

(1) 体积小、成本低、使用灵活、易于产品化。这使得能用单片机方便地组成各种智能

化的控制设备和仪器,做到机电一体化。

2) 功能齐全,应用可靠,抗干扰能力强。

3) 面向控制。单片机的硬件结构和指令系统都有很强的控制功能,可以用单片机有针对性地解决从简单到复杂的各种类型控制任务。

4) 网络功能。用单片机可以方便地构成多级或分布式控制系统,使整个系统的效率和可靠性大为提高。也可将单片机作为网络的终端。

5) 外部扩展能力强。在单片机内部的各种功能部件不能满足应用需要时,均可在外部进行扩展(如扩展ROM、RAM、I/O接口、中断系统等)。

6) 简单方便,易于普及。单片机技术是易掌握技术。应用系统设计、组装、调试已经是一件容易的事情,工程技术人员通过学习可很快掌握其应用设计技术。

7) 发展迅速,前景广阔。短短几十年,单片机经过4位机、8位机、16位机、32位机等几大发展阶段。尤其是集成度高、功能日臻完善的单片机不断问世,使单片机在工业控制及工业自动化领域获得长足发展和大量应用。目前,单片机内部结构愈加完美,片内外围功能部件越来越完善,向更高层次和更大规模的发展奠定了坚实的基础。

8) 嵌入容易、用途广泛、性能价格比高、应用灵活性强等特点在嵌入式微控制系统中具有十分重要的地位。单片机出现前,制作一套测控系统,需要用大量的模拟电路、数字电路、分立元器件完成,以实现计算、判断和控制功能,系统的体积庞大、线路复杂、连接点多,易出现故障。单片机出现后,测控功能的绝大部分由单片机的软件编程实现,其他电路则由片内的外围功能部件来代替。

1.4 单片机的应用

单片机软硬件结合、体积小,容易嵌入到各种应用系统中。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。

1. 在智能仪器仪表上的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点,广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化,且功能比起采用模拟或数字电路的仪器仪表更加强大。例如精密的测量设备(功率计,示波器,各种分析仪等)。

2. 在工业检测与控制中的应用

在工业领域,单片机的主要应用有:工业过程控制、智能控制、设备控制、数据采集和传输、测试、测量、监控等。在工业自动化领域中,机电一体化技术将发挥愈来愈重要的作用,在这种集机械、微电子和计算机技术为一体的综合技术(如机器人技术)中,单片机发挥着非常重要的作用。用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。例如工厂流水线的智能化管理,电梯智能化控制系统,各种报警系统,与计算机联网构成的二级控制系统等。

3. 在家用电器中的应用

现在的家用电器基本上都采用了单片机控制。例如,电饭煲、洗衣机、彩电、电冰箱、空调机、微波炉、加湿机、消毒柜等。嵌入了单片机后,家用电器的功能和性能大大提高,

并实现了智能化、最优化控制。

4. 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,从各类手机、电话机、程控电话交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信,再到日常工作中随处可见的调制解调器、无线电对讲机、信息网络及各种通信设备中,单片机也已经得到广泛应用。

5. 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也相当广泛,例如医用呼吸机、各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。

6. 在各种大型电路中的模块化应用

某些专用单片机设计用于实现特定功能,从而在各种电路中进行模块化应用,而不要求使用人员了解其内部结构。如音乐集成单片机,看似简单的功能,微缩在电子芯片中(有别于磁带机的原理),就需要复杂的类似于计算机的原理。如音乐信号以数字形式存于存储器中(类似于ROM),由微控制器读出,转化为模拟音乐电信号(类似于声卡)。在大型电路中,这种模块化应用极大地缩小了体积,简化了电路,降低了损坏、错误率,也便于更换。

7. 在武器装备中的应用

在现代化的武器装备中,如飞机、军舰、坦克、导弹、鱼雷制导、智能武器装备、航天飞机导航系统等,都有单片机嵌入其中。

8. 在各种终端及计算机外部设备中的应用

计算机网络终端(如银行终端)以及计算机外部设备(如打印机、硬盘驱动器、绘图机、传真机、复印机等)中都使用了单片机作为控制器。

9. 在汽车电子设备中的应用

单片机已经广泛地应用在各种汽车电子设备中,如汽车安全系统、汽车信息系统、智能自动驾驶系统、卫星汽车导航系统、汽车紧急请求服务系统、汽车防撞监控系统、汽车自动诊断系统以及汽车黑匣子等。

10. 在分布式多机系统中的应用

在较复杂多节点的测控系统中,常采用分布式多机系统。一般由若干台功能各异的单片机组成,各自完成特定的任务,它们通过串行通信相互联系、协调工作。在这种系统中,单片机往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时的测量和控制。

从工业自动化、自动控制、智能仪器仪表、消费类电子产品等方面,直到国防尖端技术领域,单片机都发挥着十分重要的作用。

1.5 单片机的发展趋势

单片机的发展趋势将是向大容量、高性能化、外围电路内装化等方面发展。为满足不同用户的要求,各公司竞相推出能满足不同需要的产品。

1. CPU 的改进

1) 增加 CPU 数据总线宽度。例如, 各种 16 位单片机和 32 位单片机, 数据处理能力要优于 8 位单片机。另外, 8 位单片机内部采用 16 位数据总线, 其数据处理能力明显优于一般的 8 位单片机。

2) 采用双 CPU 结构, 以提高数据处理能力。

2. 存储器的发展

1) 片内程序存储器普遍采用闪烁 (Flash) 存储器。可不用外扩展程序存储器, 简化系统结构。

2) 加大存储容量。目前有的单片机片内程序存储器容量可达 128KB 甚至更多。

3. 片内 I/O 的改进

1) 增加并行口驱动能力, 以减少外部驱动芯片。有的单片机可以直接输出大电流和高电压, 以便能直接驱动 LED 和 VFD (荧光显示器)。

2) 有些单片机设置了一些特殊的串行 I/O 功能, 为构成分布式、网络化系统提供方便条件。

4. 低功耗化

1) 低功耗 CMOS 化。MCS-51 系列的 8031 推出时的功耗达 630mW, 而现在的单片机普遍都在 100mW 左右。由于要求单片机功耗越来越低, 现在的各个单片机制造商基本都采用了 CMOS (互补金属氧化物半导体) 工艺, 由于 CHMOS 技术的进步, 大大地促进了单片机的 CMOS 化。CMOS 电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格。CMOS 虽然功耗较低, 但由于其物理特征决定其工作速度不够高, 而 CHMOS 则具备了高速和低功耗的特点, 这些特征, 更适合于在要求低功耗像电池供电的应用场合。

2) 低电压化。几乎所有的单片机都配置有等待状态、睡眠状态、关闭状态等省电运行工作方式。消耗电流仅在微安或纳安量级, 适于电池供电的便携式、手持式的仪器仪表以及其他消费类电子产品。允许使用的电压范围越来越宽, 一般在 3~6V 范围内工作。低电压供电的单片机电源下限已可达 1~2V。目前 0.8V 供电的单片机已经问世。

5. 低噪声与高可靠性

为提高单片机的抗电磁干扰能力, 使产品能适应恶劣的工作环境, 满足电磁兼容性方面更高标准的要求, 各单片机厂家在单片机内部电路中都采用了新的技术措施。

6. 外围电路内装化

众多外围电路全部装入片内, 即系统的单片化是目前发展趋势之一。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。例如, 美国 Cygnal 公司的 C8051F020 8 位单片机, 内部采用流水线结构, 大部分指令的完成时间为 1 或 2 个时钟周期, 峰值处理能力为 25MIPS。片上集成有 8 通道 A-D 转换器、两路 D-A 转换器、两路电压比较器, 内置温度传感器、定时器、可编程数字交叉开关和 64 个通用 I/O 口、电源监测、看门狗、多种类型的串行接口 (两个 UART、SPI) 等。一片芯片就是一个“测控”系统。

综上所述, 单片机正在向多功能、高性能、高速度 (时钟达 40MHz)、低电压 (2.7V 即可工作)、低功耗、低价格 (几元钱)、外围电路内装化以及片内程序存储器和数据存储器容量不断增大的方向发展。随着半导体集成工艺的不断发展, 单片机的集成度将更高、体积将更小、功能将更强。

1.6 MCS-51 系列与 AT89C5x 系列单片机

20 世纪 80 年代以来,单片机发展迅速,世界一些著名厂商投放市场的产品就有几十个系列,数百个品种,Intel 公司的 MCS-48、MCS-51, Motorola 公司的 6801、6802, Zilog 公司的 Z8 系列, Rockwell 公司的 6501、6502 等。此外,荷兰的 Philips 公司、日本的 NEC 公司、日立公司等也相继推出了各自的产品。

尽管机型很多,但是在 20 世纪 80 年代及 90 年代,在我国使用最多的 8 位单片机还是 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机以及与其兼容的单片机(称为 51 系列单片机)。

1.6.1 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司单片机的系列符号,如 MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列单片机。

MCS-51 系列是在 MCS-48 系列基础上于 20 世纪 80 年代初发展起来的,是最早进入我国,并在我国得到广泛应用的单片机主流品种。

MCS-51 系列单片机主要有基本型:8031/8051/8751(低功耗型 80C31/80C51/87C51),增强型:8032/8052/8752。该系列单片机已为我国广大技术人员所熟悉和掌握。在 20 世纪 80 年代和 90 年代,MCS-51 系列是在我国应用最为广泛的单片机机型之一。

MCS-51 系列品种丰富,经常使用的是基本型和增强型。

1. 基本型

典型产品:8031/8051/8751。

8031 内部包括 1 个 8 位 CPU、128B RAM, 21 个特殊功能寄存器(SFR)、4 个 8 位并行 I/O 口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器/计数器、5 个中断源,但片内无程序存储器,需外扩程序存储器芯片。

8051 是在 8031 的基础上,片内又集成有 4KB ROM 作为程序存储器。所以 8051 是一个程序不超过 4KB 的小系统。ROM 内的程序是公司制作芯片时,代为用户烧制的。

8751 与 8051 相比,片内集成的 4KB EPROM 取代了 8051 的 4KB ROM 来用作程序存储器。

2. 增强型

Intel 公司在基本型基础上,推出增强型 52 子系列典型产品:8032/8052/8752。8032 内部 RAM 增到 256B,8052 片内程序存储器扩展到 8KB,16 位定时器/计数器增至 3 个,6 个中断源,串行口通信速率提高 5 倍。

20 世纪 80 年代中期以后,Intel 公司的精力主要集中在高档 CPU 芯片的开发、研制上,慢慢淡出了单片机芯片的开发和生产。

表 1-1 列出了基本型和增强型的 MCS-51 系列单片机片内的基本硬件资源。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的片内硬件资源

	型号	片内程序 存储器	片内数据 存储器/B	I/O 口线 /位	定时器/计数器 /个	中断源 /个
基本型	8031	无	128	32	2	5
	8051	4KB ROM	128	32	2	5
	8751	4KB EPROM	128	32	2	5

(续)

	型号	片内程序 存储器	片内数据 存储器	I/O 口线 /位	定时器/计数器 /个	中断源 /个
增强型	8032	无	256	32	3	6
	8052	8KB ROM	256	32	3	6
	8752	8KB EPROM	256	32	3	6

1.6.2 AT89C5x (AT89S5x) 系列单片机

MCS-51 系列设计上的成功, 以及较高的市场占有率, 已成为许多厂家、电气公司竞相选用的对象。

Intel 公司以专利形式把 8051 内核技术转让给 ATMEL、Philips、Cygnal、ANALOG、LG、ADI、Maxim、DALLAS 等公司。

这些公司生产的兼容机与 8051 兼容, 采用 CMOS 工艺, 因而常用 80C51 系列单片机来称呼所有这些具有 8051 指令系统的单片机, 这些兼容机的各种衍生品种统称为 51 系列单片机或简称为 51 单片机。这类单片机在 8051 的基础上又增加了一些功能模块 (称其为增强型、扩展型子系列单片机)。

近年来, 世界上单片机芯片生产厂商推出的与 8051 (80C51) 兼容的主要产品见表 1-2。

表 1-2 与 80C51 兼容的主要产品

生产厂家	单片机型号
ATMEL 公司	AT89C5x 系列 (89C51/89S51、89C52/89S52、89C55 等)
Philips (飞利浦) 公司	80C51、8xC552 系列
Cygnal 公司	C80C51F 系列高速 SOC 单片机
LG 公司	GMS90/97 系列低价高速单片机
ADI 公司	AD μ C8xx 系列高精度单片机
美国 Maxim 公司	DS89C420 高速 (50MIPS) 单片机系列
台湾华邦公司	W78C51、W77C51 系列高速低价单片机
AMD 公司	8-515/535 单片机
Siemens 公司	SAB80512 单片机

在众多的衍生机型中, ATMEL 公司的 AT89C5x/AT89S5x 系列, 尤其是 AT89C51/AT89S51 和 AT89C52/AT89S52 在 8 位单片机市场中占有较大的市场份额。

ATMEL 公司 1994 年以 E²PROM 技术与 Intel 公司的 80C51 内核的使用权进行交换。

ATMEL 公司的技术优势是闪烁 (Flash) 存储器技术, 将 Flash 技术与 80C51 内核相结合, 形成了片内带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。

AT89C5x/AT89S5x 系列与 MCS-51 系列在原有功能、引脚以及指令系统方面完全兼容。

此外, 某些品种又增加了一些新的功能, 如看门狗定时器 WDT、在系统编程 (也称在线编程) ISP 及串行接口技术 SPI 等。片内 Flash 存储器允许在线 (5V) 电擦除、电写入或使用编程器对其重复编程。

另外, AT89C5x/AT89S5x 单片机还支持由软件选择的两种节电工作方式, 非常适用于低功耗的场合。

与 MCS-51 系列的 87C51 单片机相比, AT89C51/AT89S51 单片机片内的 4KB Flash 存储器取代了 87C51 片内的 4KB EPROM。AT89S51 片内的 Flash 存储器可在线编程或使用编程器重复编程, 且价格较低。

因此 AT89C51/AT89S51 单片机作为代表性产品受到用户欢迎, AT89C5x/AT89S5x 单片机是目前取代 MCS-51 系列单片机的主流芯片之一。本书重点介绍 AT89S51 单片机的原理及应用系统设计。

AT89S5x 的“S”档系列机型是 ATMEL 公司继 AT89C5x 系列之后推出的新机型, 代表性产品为 AT89S51 和 AT89S52。基本型的 AT89C51 与 AT89S51 以及增强型的 AT89C52 与 AT89S52 的硬件结构和指令系统完全相同。

使用 AT89C51 的系统, 在保留原来软硬件的条件下, 完全可以用 AT89S51 直接代换。

与 AT89C5x 系列相比, AT89S5x 系列的时钟频率以及运算速度有了较大的提高, 例如, AT89C51 工作频率的上限为 24MHz, 而 AT89S51 则为 33MHz。AT89S51 片内集成有双数据指针 DPTR, 看门狗定时器、具有低功耗空闲工作方式和掉电工作方式。目前, AT89S5x 系列已逐渐取代 AT89C5x 系列。

表 1-3 为 ATMEL 公司 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机主要产品片内硬件资源。由于种类多, 要依据实际需求来选择合适的型号。

表 1-3 ATMEL 公司生产的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机片内硬件资源

型号	片内 FLASH ROM/KB	片内 RAM /B	I/O 口线 /位	定时器/计数器 /个	中断源 /个	引脚数目 /个
AT89C1051	1	128	15	1	3	20
AT89C2051	2	128	15	2	5	20
AT89C51	4	128	32	2	5	40
AT89S51	4	128	32	2	6	40
AT89C52	8	256	32	3	8	40
AT89S52	8	256	32	3	8	40
AT89LV51	4	128	32	2	6	40
AT89LV52	8	256	32	3	8	40
AT89C55	20	256	32	3	8	44

表 1-3 中 AT89C1051 与 AT89C2051 为低档机型, 均为 20 只引脚。当低档机能满足设计需求时, 就不要采用较高档次的机型。

例如, 当系统设计时, 仅仅需要一个定时器和几位数字量输出, 那么选择 AT89C1051 或 AT89C2051 即可, 不需选择 AT89S51 或 AT89S52, 因为后者要比前者的价格高, 且前者体积小。

如对程序存储器和数据存储器的容量要求较高, 还要单片机运行速度尽量要快, 可考虑选择 AT89S51 /AT89S52, 因为它们的最高工作时钟频率为 33MHz。当程序需要 8KB 以上的空间时可考虑选用片内 Flash 容量 20KB 的 AT89C55。

表 1-3 中, “LV” 代表低电压, 它与 AT89S51 的主要差别是其工作时钟频率为 12MHz, 工作电压为 2.7~6V, 编程电压 V_{pp} 为 12V。AT89LV51 的低电压电源工作条件可使其在便携式、袖珍式、无交流电源供电的环境中应用, 特别适用于电池供电的仪器仪表和各种野外操