



国家电工电子教学基地系列教材

单片机原理与应用

© 戴胜华 蒋大明 杨世武 赵俊慧 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



国家电工电子教学基地系列教材

单片机原理与应用

戴胜华 蒋大明 杨世武 赵俊慧 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机为主,系统地介绍了单片机的组成、基本工作原理、特殊功能寄存器,单片机的寻址方式、指令系统和汇编语言程序设计,单片机的中断系统,单片机的定时器及串行通信接口的原理与应用,单片机的系统扩展和外围接口电路的设计,DAC 和 ADC 接口设计,C51 语言及嵌入式实时操作系统基础,ZKS-03 单片机实验仪简介及使用说明,以及单片机的实验与实践。

本书每一章都安排了一定数量的习题和思考题,附录中包含有 MCS-51 指令表和 ASCII 字符表等常用图表。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

(本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。)

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用/戴胜华等编著. — 北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2005.4

(国家电工电子教学基地系列教材)

ISBN 7-81082-496-1

I. 单… II. 戴… III. 单片微型计算机-高等学校:技术学校-教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 016678 号

责任编辑:黎丹

出版者:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969 <http://www.tup.com.cn>

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

印刷者:北京东光印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:22.5 字数:500 千字

版 次:2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-81082-496-1/TP·181

印 数:1~5 000 册 定价:29.00 元

总 序

当今信息科学技术日新月异,以通信技术为代表的电子信息类专业知识更新尤为迅猛。培养具有国际竞争能力的高水平的信息技术人才,促进我国信息产业发展和国家信息化水平的提高,对电子信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新提出了富有时代特色的要求。近年来,国家电工电子教学基地对电子信息类专业的技术基础课程群进行了改革与实践,探索了各课程的认知规律,确定了科学的教育思想,理顺了课程体系,更新了课程内容,融合了现代教学方法,取得了良好的效果。为总结和推广这些改革成果,在借鉴国内外同类有影响教材的基础上,决定出版一套以电子信息类专业的技术基础课程为基础的“国家电工电子教学基地系列教材”。

本系列教材具有以下特色:

- 在教育思想上,符合学生的认知规律,使教材不仅是教学内容的载体,也是思维方法和认知过程的载体;
- 在体系上,建立了较完整的课程体系,突出了各课程内在联系及课群内各课程的相互关系,体现微观与宏观、局部与整体的辩证统一;
- 在内容上,体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系,反映当今信息科学与技术的新概念和新理论,内容阐述深入浅出,详略得当。增加工程性习题、设计性习题和综合性习题,培养学生分析问题和解决问题的素质与能力;
- 在辅助工具上,注重计算机软件工具的运用,使学生从单纯的习题计算转移到基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用,提高学习效率和效果。

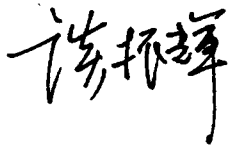
本系列教材包括:

《基础电路分析》、《现代电路分析》、《电路分析学习指导及习题精解》、《模拟集成电路基础》、《模拟电子技术》、《信号与系统》、《信号与系统学习指导及习题精解》、《信号与系统典型题解》、《电子测量技术》、《微机原理与接口技术》、《电路基础实验》、《电子电路实验及仿真》、《数字实验一体化教

程》、《数字信号处理综合设计实验》、《电路基本理论》、《现代电子线路》(含上、下册)、《电工技术》、《单片机原理与应用》。

本系列教材的编写和出版得到了教育部高等教育司的指导、北京交通大学教务处及电子与信息工程学院的支持,在教育思想、课程体系、教学内容、教学方法等方面获得了国内同行们的帮助,在此表示衷心的感谢。

北京交通大学
“国家电工电子教学基地系列教材”
编审委员会主任

A handwritten signature in black ink, appearing to read '高辉' (Gao Hui), written in a cursive style.

2005年3月

前 言

本书是为贯彻国家教委“面向 21 世界教学内容改革”的精神，适应单片机迅速发展的需要，参考了同类优秀教材和厂家原始数据资料，结合多年科研经验与讲授“单片机原理与应用”课程的教学实践编写的。全书以世界上应用最多的 MCS-51 系列单片机为主，系统地介绍了单片机的历史与发展、单片机的结构与原理、单片机指令系统、汇编语言及程序设计、定时器/计数器、串行通信接口、中断系统、单片机系统扩展设计、键盘和显示器接口设计、DAC 和 ADC 接口设计、C51 语言及嵌入式实时操作系统基础、ZKS-03 单片机实验仪简介及使用说明及 11 个单片机实验指导。

为了适应面向 21 世纪人才培养的需要，同时又要符合工科院校非计算机专业本科学生学习单片机技术基础课程教学的基本要求，本书选择以 MCS-51 单片机为基础，是因为以 MCS-51 为内核的单片机系列在世界上生产量最大、派生的品种最多，基本可以满足大多数的应用需求。MCS-51 单片机还在不断丰富与发展之中，书中包含最新接口芯片的原理与应用。单片机本身就是一门实用技术，书中包含的内容大多数都可以在实际系统中应用。本书的结构体系及内容的选取是在原教学及教材的基础上做了较大的调整与知识重构。既要体现了本学科知识结构的系统性与科学性，又要体现了本学科发展的先进性与前瞻性。从非计算机专业学生的特点出发，内容力求深入浅出，尽可能结合实例说明问题，引起学生的兴趣和好奇心。本书可一书两用，既可作为“单片机原理与应用”的教科书，同时作为“单片机原理与应用课程设计”用书。

全书以 MCS-51 单片机为主线，系统地介绍单片机的结构、原理、指令及其功能部件。本着教学体系的连贯性要求，第 1 章介绍了单片机的历史、发展及应用概况；第 2~4 章详细讲解了单片机的结构与原理、单片机指令系统、汇编语言及程序设计；第 5~7 章介绍了单片机功能部件，定时器/计数器及串行通信接口，单片机的中断系统；第 8~10 章介绍了单片机应用系统的扩展设计、键盘和显示器接口设计、DAC 和 ADC 接口设计；第 11 章介绍了目前正在流行的 C51 语言及单片机开发中具有先进性的嵌入式

实时操作系统基础；第12、13章介绍了ZKS-03单片机实验仪，先进、方便的Keil集成开发调试环境的使用，详细地给出了11个单片机的实验指导。各章节的内容基本上是根据单片机的原理与应用划分的，既考虑到各章节的内容有机结合，同时也考虑到单片机技术应用发展的最新内容。在编写过程中，尽量避免过多地介绍程序设计的方法和技巧，着重介绍硬件资源及使用方法、系统构成及连接，注重典型性和代表性，以期达到举一反三的效果。在内容安排上，力求兼顾基础性、实用性、先进性。

单片机的学习更应该注重实际应用能力的培养，书中介绍的Keil集成开发调试环境是目前单片机应用开发的主流技术平台，在没有硬件仿真器下可以用软件仿真调试，特别适合学生课下学习。书中列举了大量具有实际意义和实用价值的资料及例题、习题，配合单片机实验仪的使用和实验，不但可以培养学生运用单片机的能力，还能使学生具有参加电子设计大赛或开发单片机产品的基础。另外，在课程设计、毕业设计、研究生论文课题中，本书都具有重要而实用的参考价值。

本书在章节内容的选材编排上，既考虑到工科院校非计算机专业本科学生学习，还兼顾到不同层次学历的学生学习。本书内容全面，语言通俗易懂，逻辑性强，实例丰富，讲解详尽，对每一个问题都力求讲得清楚、详细，并且给出实例，让读者一目了然。书中各章的内容都具有相对的独立性，教、学双方可根据实际需要加以取舍。

本书可作为高等院校通信、电子、自动化及其他相关专业本、专科学生单片机教材或教学参考书，同时也可供广大从事单片机应用开发的科研人员作为参考书使用和自学用书。教学参考学时为32~48学时。

本书由戴胜华、蒋大明、杨世武、赵俊慧编写。其中第1~5章由戴胜华编写，第6、7、11章由蒋大明编写，第8、9、10章由杨世武编写，第12、13章由赵俊慧编写，全书由戴胜华统稿。

本书在编写过程中得到了多位同行和领导的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2005年3月

于北京交通大学

目 录

第 1 章 单片机概述	1
1.1 单片机的历史及发展概况	1
1.2 单片机的发展趋势	2
1.2.1 CPU 的改进	2
1.2.2 存储器的发展	2
1.2.3 片内 I/O 口的改进	2
1.2.4 集成更多的外围电路	3
1.2.5 引脚的多功能	3
1.2.6 低功耗	3
1.2.7 专用型单片机发展加快	4
1.3 单片机的应用	4
1.3.1 单片机在各类仪器仪表中的应用	4
1.3.2 单片机在工业测控中的应用	4
1.3.3 单片机在计算机网络与通信技术中的应用	4
1.3.4 单片机在日常生活及家电中的应用	5
1.4 8 位单片机的主要生产厂商和机型	5
1.4.1 单片机主要厂商	5
1.4.2 单片机主要产品	6
第 2 章 MCS-51 单片机的结构与原理	8
2.1 MCS-51 单片机的硬件功能	8
2.2 MCS-51 硬件系统结构	10
2.2.1 运算部件	11
2.2.2 控制部件	12
2.3 存储器结构	12
2.3.1 程序存储器	13
2.3.2 数据存储器	13
2.4 I/O 端口	19

2.4.1 P0 口	19
2.4.2 P1 口	21
2.4.3 P2 口	21
2.4.4 P3 口	21
2.4.5 I/O 的接口要求与负载能力	21
2.4.6 I/O 口的读—修改—写特性	22
2.5 复位电路	22
2.5.1 复位时片内各寄存器的状态	23
2.5.2 复位电路	23
2.6 CPU 时序	24
2.6.1 时钟电路	24
2.6.2 时序	25
2.7 CPU 引脚功能	27
2.8 单片机的工作方式	30
2.8.1 复位方式	31
2.8.2 程序执行方式	31
2.8.3 CHMOS 型单片机低功耗工作方式	32
2.8.4 编程和校验方式	33
习题	33
第3章 MCS-51 单片机指令系统	34
3.1 MCS-51 指令系统简介	34
3.1.1 汇编指令	35
3.1.2 指令代码的格式	35
3.1.3 指令中的常用符号	35
3.2 寻址方式	36
3.2.1 寄存器寻址方式	36
3.2.2 寄存器间接寻址	37
3.2.3 立即寻址	38
3.2.4 直接寻址	38
3.2.5 基址寄存器+变址寄存器的间接寻址	39
3.2.6 相对寻址	39
3.2.7 位寻址	40
3.3 指令系统	40
3.3.1 数据传送指令	41
3.3.2 算术运算指令	47

3.3.3 逻辑运算指令	53
3.3.4 控制转移指令	57
3.3.5 位操作指令	63
习题	65
第4章 汇编语言及程序设计	68
4.1 汇编语言及格式	68
4.1.1 汇编语言的特点	68
4.1.2 汇编语言的语句格式	69
4.1.3 伪指令	69
4.1.4 汇编语言程序的汇编	72
4.2 汇编语言程序设计	73
4.2.1 汇编语言程序设计的基本步骤	73
4.2.2 程序的基本结构	73
4.2.3 简单程序设计	74
4.2.4 分支程序设计	75
4.2.5 循环程序设计	79
4.2.6 子程序设计	83
4.3 汇编语言程序设计举例	87
4.3.1 查表程序	87
4.3.2 数制转换程序	89
4.3.3 算术运算程序	89
4.3.4 数字滤波程序	93
4.3.5 排序与检索程序	94
4.3.6 布尔处理程序	94
4.4 浮点数运算程序设计	95
4.4.1 浮点数的表示	95
4.4.2 浮点数的运算	99
习题	100
第5章 定时器/计数器	102
5.1 定时器/计数器的结构	102
5.1.1 定时方法概述	102
5.1.2 定时器/计数器的结构	103
5.2 定时器/计数器的工作方式	105
5.2.1 工作方式0	105

5.2.2 工作方式 1	106
5.2.3 工作方式 2	107
5.2.4 工作方式 3	108
5.3 定时器/计数器 T2	109
5.3.1 T2 的特殊功能寄存器	109
5.3.2 T2 的工作方式	110
5.4 定时器/计数器的编程和应用	113
5.4.1 定时器/计数器对输入信号的要求	113
5.4.2 定时器/计数器初值的求法	114
5.4.3 运行中读定时器/计数器	115
5.4.4 门控制位 GATE 的功能和使用方法	115
5.4.5 定时器/计数器的应用	116
习题	118
第 6 章 串行通信接口	120
6.1 串行通信基础	120
6.1.1 基本通信方式	120
6.1.2 异步通信和同步通信	122
6.1.3 串行接口芯片	124
6.2 串行通信总线标准及其接口	125
6.3 MCS-51 的串行接口	126
6.3.1 串行口的结构	126
6.3.2 串行口的工作方式 0	129
6.3.3 串行口的工作方式 1	131
6.3.4 串行口的工作方式 2	132
6.3.5 串行口的工作方式 3	134
6.3.6 MCS-51 串行通信的波特率	134
6.4 串行口应用举例	136
6.4.1 利用串行口工作方式 0 扩展 I/O 口	136
6.4.2 用串行口进行异步单工通信	138
6.5 多机通信	142
习题	144
第 7 章 中断系统	146
7.1 中断的定义和作用	146
7.1.1 中断的作用	147

7.1.2	中断源	147
7.1.3	中断系统的功能	148
7.2	MCS-51 单片机中断系统	149
7.2.1	MCS-51 单片机的中断系统结构	149
7.2.2	中断管理	152
7.2.3	外部中断方式的选择	153
7.2.4	中断响应时间	154
7.2.5	中断请求的撤除	155
7.2.6	MCS-51 中断系统的初始化	155
7.3	扩充外中断源	156
7.3.1	利用定时器扩充中断源	156
7.3.2	中断和查询相结合	157
7.3.3	用优先级编码器扩展外部中断源	158
7.3.4	采用 8259 扩展外部中断源	159
7.4	中断系统应用举例	159
	习题	161
第 8 章	单片机系统扩展设计	163
8.1	系统接口技术概述	163
8.1.1	并行接口设计基础	164
8.1.2	串行接口设计基础	165
8.2	存储器扩展技术	169
8.2.1	存储器扩展概述	169
8.2.2	存储器的并行扩展	171
8.2.3	存储器的串行扩展	177
8.3	输入输出(I/O)和中断扩展技术	184
8.3.1	并行扩展 I/O 接口	184
8.3.2	串行扩展 I/O 接口	186
	习题	190
第 9 章	键盘和显示器接口设计	191
9.1	I/O 接口技术概述	191
9.1.1	I/O 接口电路的功能	191
9.1.2	I/O 数据传送的控制方式	192
9.2	键盘接口技术	193
9.2.1	键盘的特点和常用接口设计	193

9.2.2 独立式按键接口设计	196
9.2.3 矩阵式键盘接口设计	198
9.3 显示器接口技术	205
9.3.1 LED 显示器接口设计	205
9.3.2 LCD 显示器接口设计	210
习题	218
第 10 章 DAC、ADC 和其他接口设计	220
10.1 数模转换器(DAC)接口技术	220
10.1.1 DAC 的构成和特性参数	220
10.1.2 DAC 芯片的选择	222
10.1.3 DAC 并行接口设计	225
10.1.4 DAC 串行接口设计	230
10.2 模数转换器(ADC)接口技术	233
10.2.1 ADC 基本构成和特性参数	233
10.2.2 ADC 并行接口设计	235
10.2.3 ADC 串行接口设计	240
10.3 其他常用接口技术	244
10.3.1 串行通信接口	244
10.3.2 开关量和功率接口	248
10.3.3 程控量程转换接口	250
10.3.4 电源电路接口	252
习题	254
第 11 章 C51 语言及嵌入式实时操作系统基础	256
11.1 C51 语言基础	256
11.1.1 C51 语言概述	256
11.1.2 C51 的数据类型及存储模式	257
11.1.3 C51 变量	258
11.1.4 C51 对中断的支持	260
11.2 开发工具 Keil Software 简介	261
11.2.1 概述	261
11.2.2 μ Vision2 集成开发环境	261
11.2.3 工具套件	262
11.2.4 开发流程	263
11.2.5 程序应用与编写优化代码	264

11.2.6 C51 编译器指示参数	265
11.3 嵌入式实时操作系统	266
11.3.1 实时操作系统的概念	266
11.3.2 实时操作系统的特点	267
11.3.3 多任务实时系统的基本特征	268
11.3.4 MCS-51 的实时操作系统 RTX51	269
11.3.5 MCS-51 的 RTX51 简单应用	269
11.4 实时系统应用——交通灯控制器	272
11.4.1 交通灯控制器命令	272
11.4.2 应用程序	273
11.4.3 实时系统仿真	279
习题	281
第 12 章 ZKS-03 单片机实验仪简介及使用说明	282
12.1 电路外观	282
12.2 系统组成	283
12.3 实验仪功能与特点	283
12.4 实验仪结构	284
12.4.1 应用接口	284
12.4.2 I/O 地址分配	286
12.4.3 跳线选择器	287
12.4.4 DP-51 单元器件简介	289
12.4.5 基本实验电路单元简介	290
12.5 实验仪使用说明	292
12.5.1 Keil C51 简介	292
12.5.2 建立第一个 Keil C51 应用程序	293
12.5.3 程序文件的编译、连接	294
12.5.4 下载	296
12.5.5 调试功能	298
12.5.6 全速运行	304
12.5.7 操作步骤	307
12.5.8 注意的问题	308
习题	309
第 13 章 MCS-51 单片机实验	310
实验一 交通信号灯控制实验	310

实验目的	310
实验内容及步骤	310
实验电路	310
程序框图	310
实验二 P1 口输入、输出实验	311
实验目的	311
实验内容与步骤	311
实验电路	312
实验说明	312
程序框图	313
实验三 外部中断实验	314
实验目的	314
实验原理	314
实验内容与步骤	314
实验电路	314
实验四 定时器/计数器实验	315
实验目的	315
实验原理	315
实验内容与步骤	315
实验电路	315
实验五 8155 并行接口实验	316
实验目的	316
实验原理	316
实验内容与步骤	317
实验电路	317
实验六 LED 数码显示实验	317
实验目的	317
实验原理	318
实验内容与步骤	318
实验电路	318
实验七 键盘扫描实验	319
实验目的	319
实验原理	319
实验内容	320
实验参考电路	320

实验参考流程图	320
实验八 步进电机控制实验	321
实验目的	321
步进电机简介	321
实验原理	322
实验内容	322
实验电路	323
实验九 电子音调实验	323
实验目的	323
实验原理	323
实验内容	324
实验电路	324
实验十 串行数/模转换实验	325
实验目的	325
实验内容	325
TLC 5620 使用简介	325
实验电路	327
编程提示	327
实验十一 串行模/数转换实验	328
实验目的	328
实验内容	328
TLC 0834 使用简介	328
实验参考电路	330
编程提示	331
附录 A ASCII 码(美国标准信息交换码)	333
附录 B MCS-51 指令功能简述表	335
参考文献	339

第 1 章 单片机概述

提要 单片微型计算机简称单片机或微控制器。它将中央处理单元 CPU、RAM、ROM、定时/计数器和多种 I/O，甚至 A/D、D/A 转换器件集成在一块大规模集成电路芯片上，这个芯片即为一台具有一定规模、功能独特的计算机。单片机种类已有几百种，从 1 位、4 位、8 位发展到 16 位、32 位单片机，集成度越来越高，功能越来越强，应用也越来越广。单片机可分为专用和通用两类，其中最常用的是 MCS-51 系列单片机。

单片微型计算机是微型计算机的一个重要分支，也是一种非常活跃且颇具生命力的机种。单片微型计算机简称单片机，特别适用于控制领域，故又称为微控制器 (Microcontroller 或 MCU)。

单片机由单块集成电路芯片构成，内部包含有计算机的基本功能部件：中央处理器 (CPU)、存储器 (MEM)、输入/输出接口 (I/O) 等。因此，单片机只需要有适当的软件和外部设备，便可组成成为一个单片机控制系统。

1.1 单片机的历史及发展概况

单片机作为微型计算机的一个分支，它的产生与发展和微处理器的产生与发展大体同步，主要分为三个阶段。

第一阶段(1974—1978)：初级单片机阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表，这个系列的单片机在片内集成了 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时器/计数器、RAM 等，无串行 I/O 口，寻址范围不大于 4KB。

第二阶段(1978—1988)：高性能单片机阶段。以 MCS-51 系列为代表，这个阶段的单片机均带有串行 I/O 口，具有多级中断处理系统，定时器/计数器为 16 位，片内 RAM 和 ROM 容量相对增大，且寻址范围可达 64KB。这类单片机的应用领域极其广泛，由于其优良的性价比，特别适合我国的国情，故在我国得到了广泛应用。

第三阶段(1988 年以后)：8 位单片机巩固、完善及 16 位单片机推出阶段。以 MCS-96 系列为代表，16 位单片机除了 CPU 为 16 位以外，片内 RAM 和 ROM 的容量进一步增大，片内 RAM 增加为 232B，ROM 为 8KB，且片内带有高速输入/输出部件、多通道 10 位 A/D