

# 单片机应用系统 电磁干扰与抗干扰技术

王幸之 王 雷 编著  
钟爱琴 王 闪



北京航空航天大学出版社

# 单片机应用系统 电磁干扰与抗干扰技术

王幸之 王 雷 编著  
钟爱琴 王 闪

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

随着单片机的广泛应用,抗干扰技术愈来愈引起人们的重视,并且贯穿于测控系统的设计、制造、安装以及运行的各个阶段。

全书分12章。主要内容包括:电磁干扰的产生机理;常用元器件的选用方法;常用硬件、软件电磁干扰控制方法;单片机测控系统中主机单元、测量单元、D/A及A/D单元、功率接口单元、人机对话单元的配置与抗干扰设计;还详细介绍了供电电源及印制板设计的抗干扰措施。

本书可供大专院校自动化、计算机应用、仪器仪表等有关专业师生以及从事单片机应用系统设计、开发和维修的广大科技人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机应用系统电磁干扰与抗干扰技术/王幸之等编  
著. —北京:北京航空航天大学出版社,2006.2

ISBN 7-81077-760-2

I. 单… II. 王… III. 单片微型计算机—电磁干  
扰 IV. TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第001906号

©2006,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制全书或部分章节内容。  
侵权必究。

### 单片机应用系统电磁干扰与抗干扰技术

王幸之 王 雷 编著  
钟爱琴 王 闪  
责任编辑 王鑫光

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:40.75 字数:1043千字

2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷 印数:5000册

ISBN 7-81077-760-2 定价:59.00元

# 前 言

随着微电子技术和计算机技术的进步,特别是单片机的出现和发展,计算机技术在工业自动化控制、家用电器、智能化仪器仪表中的应用愈来愈广泛,成为进行老设备技术改造、新产品研制与开发的重要技术手段,并取得了十分明显的技术效果和可观的经济效益。

单片机及其应用系统目前朝着快速化、高集成度方向发展,使得系统内部各电路之间,各芯片之间的相互干扰更加严重。单片机应用于工业测控系统,使得原来以强电和电器为主的电气测控设备发展成为具有智能化特点、功能完善、数字与模拟信号结合、强弱电结合的新型数字化设备。由于系统所处现场的电磁环境往往比较恶劣,干扰严重,导致输出脱离输入指令的要求,甚至引起设备事故。为了保证测控系统长期稳定运行,保证系统的输出精度,电磁干扰与控制技术的研究愈来愈引起人们的关注,并贯穿于系统的设计、制造、安装和运行的各个阶段。

本书吸收了近几年来单片机测控系统开发设计、电磁干扰及控制技术的优秀成果和成功经验,是作者多年教学、科研和工程实践的总结。以电磁干扰控制应用技术和措施为重点,理论联系实际,列举了大量实例,内容丰富,通俗易懂,实用性强。全书由四部分共计12章组成:

第一部分为基础知识,包括第1~3章,主要介绍电磁干扰的基本概念和形成机理,常用元器件的抗干扰特性及选用方法;

第二部分较详细地全面介绍了硬件、软件的电磁干扰控制的原理和方法,主要在第4章和第12章中做了详尽地阐述;

第三部分(第5~9章)是抗干扰技术的具体应用研究,将单片机测控系统分为主机板单元、测量单元、D/A和A/D单元、功率接口单元、人机对话单元,详细阐述了各个单元的抗干扰措施,并列出了大量实例予以说明;

最后部分(第10、11章)介绍了供电电源和印刷电路板的抗干扰措施及设计方法。

本书适于大专院校自动化、计算机应用、智能化仪器仪表等有关专业师生以及从事微机应用系统设计、智能化仪器仪表开发和从事微机自动化设备运行、维护的广大科技人员阅读。

本书由王幸之等集体编写。王雷撰写第1、2、3章;钟爱琴撰写第11章;王闪撰写第12章;其余章节由王幸之编写,并负责全书统稿、定稿工作。李军彩查阅整理了大量科技资料,并绘制了部分插图。

本书在编写过程中,得到北京航空航天大学出版社的大力支持和帮助,特此表示感谢。

由于水平所限,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2005年12月

于河北科技大学电气信息学院

# 北京航空航天大学出版社单片机与嵌入式系统图书推荐

(2004年8月后出版图书)

书 名	作 者	定 价	出 版 日期
<b>嵌入式系统高端教材</b>			
嵌入式系统设计与应用开发	郑灵翔	35.0	2006.02
嵌入式系统设计与实践	张晓林	29.5	2006.01
嵌入式实时操作系统 μC/OS-II 原理及应用	任 哲	22.0	2005.08
ARM 9 嵌入式技术及 Linux 高级实践教程	陈 曠	32.0	2005.06
ARM 嵌入式技术实践教程	陈 曠	29.0	2005.02
嵌入式实时操作系统及应用开发	罗 蕾	34.0	2005.01
ARM 嵌入式系统基础教程	周立功	32.0	2005.01
ARM 嵌入式系统实验教程(一)	周立功	26.0	2004.12
ARM 嵌入式系统实验教程(二)	周立功	29.0	2005.10
ARM 嵌入式系统实验教程(三)	周立功	32.0	2005.11
ARM 嵌入式系统实验教程(三)——扩展实验	周立功	29.5	2006.01
嵌入式系统开发与应用教程	田 泽	33.0	2005.03
嵌入式系统开发与应用实验教程(第2版)(含光盘)	田 泽	29.5	2005.05
嵌入式系统开发与应用	田 泽	54.0	2005.01
嵌入式控制系统及其 C/C++ 实现——面向使用 MATLAB 的软件开发者	骆丽译	32.0	2005.05
ARM & Linux 嵌入式系统教程	马忠梅	32.0	2004.10
嵌入式通信软件设计	彭甫阳译	24.0	2004.10
嵌入式系统设计	骆丽译	32.0	2004.09
<b>ARM、SoC 设计、IC 设计及其他嵌入式系统综合类</b>			
IAR EWARM 嵌入式系统编程与实践	徐爱钧		2006.02
英汉双解嵌入式系统词典	马广云等译	55.0	2006.02
嵌入式 Ethernet 和 Internet 通信设计技术	骆丽等译	39.0	2006.01
ARM 嵌入式 Linux 系统构建与驱动开发范例	周立功	38.0	2006.02
ARM 嵌入式 MiniGUI 初步与应用开发范例	周立功	26.0	2006.01
μC/OS ARM 移植要点详解	黄燕平	26.0	2005.10
嵌入式实时操作系统的多线程计算——基于 ThreadX® 和 ARM® (含光盘)	张 炯	46.0	2005.10
从 51 到 ARM—32 位嵌入式系统入门	赵墨寒	38.0	2005.11
源码开放的嵌入式实时操作系统 T-Kernel (含光盘)	周立功等译	45.0	2005.10
英汉双译 嵌入式系统词典	马广云译		2005.10
ARM 微控制寄存器基础与实战(第2版)	周立功	43.0	2005.08
深入浅出 ARM7——LPC213X/214X(上)	周立功	45.0	2005.07

书 名	作 者	定 价	出 版 日期
深入浅出 ARM7——LPC213X/214X(下)	周立功		即将出版
ColdFire 系列 32 位处理器与嵌入式 Linux 应用 (含光盘)	李晶皎	39.5	2005.06
MIPS 处理器设计透视	赵俊良译	55.0	2005.06
ARM 嵌入式系统开发——软件设计与优化	沈德化等译	75.0	2005.06
AT91 系列 ARM 微控制器体系结构与开发实例	朱义君	34.0	2005.04
ARM 嵌入式系统软件开发实例(一)	周立功	55.0	2005.01
嵌入式系统设计与开发实例详解——基于 ARM 的应用	胥 静	43.0	2005.01
大型 RISC 处理器设计——用 Verilog 设计 VLSI 芯片 (含光盘)	田泽等译	39.0	2005.01

## 嵌入式操作系统及软件开发

源码开放的嵌入式系统软件分析与实践——基于 SkyEye 和 ARM 开发平台 (含光盘)	陈 渝	18.0	2004.09
---	-----	------	---------

## DSP

高性能工业控制 DSP——ADSP 2199X 原理及应用 (含光盘)	王晓明	39.0	2005.09
电机的 DSP 控制技术及其应用	谢宝昌	39.0	2005.04
DSP 技术原理与应用教程	刘艳萍	26.0	2005.03
电动机的 DSP 控制——TI 公司 DSP 应用 (含光盘)	王晓明	35.0	2004.08

## 单片机

### 开发实例与实战

51 系列单片机设计实例(第2版)(含光盘)	楼然苗	29.5	2006.02
单片机应用系统设计与仿真调试	严天峰	28.0	2005.08
手把手教你学单片机(含光盘)	周兴华	29.0	2005.04
单片机实验与实践	周立功	19.5	2004.08

### 教材与教辅

单片机原理及接口技术(第3版)	李朝青	27.0	2005.10
单片机学习指导	李朝青	26.0	2005.10
高职高专通用教材——PIC 单片机基础教程	丁跃军	19.5	2005.06
单片机与控制技术	杨 宁	33.0	2005.03
单片机 C 程序设计实例指导	李光飞	19.5	2005.08
单片机课程设计实例指导	李光飞	19.5	2004.10

### 应用程序设计与开发

单片机 Keil C51 开发环境使用指南及 USB 固件编程与调试	尹 勇	32.0	2004.10
------------------------------------	-----	------	---------

书 名	作 者	定 价	出 版 日期
-----	-----	-----	--------

### 器件手册、应用技术选编

单片机 & DSP 外围数字 IC 技术手册(第2版)	李朝青	59.0	2005.10
单片机应用技术选编(11)	何立民	69.0	2005.09
单片机外围器件实用手册——数据传输接口器件分册(第2版)	邹宽明	59.0	2005.09
单片机外围器件实用手册——输入通道器件分册(第2版)	纪宗南	59.0	2005.06

### 51 系列单片机其他图书

单片机应用系统电磁干扰与抗干扰技术	王幸之		2006.01
单片机 C 程序设计实例指导	楼然苗	19.5	2005.08
C8051F 系列单片机开发与 C 语言编程(含光盘)	童长飞	54.0	2005.02
华邦 51 单片机原理和应用	张盛福	23.0	2005.01

### PIC 单片机

PIC 单片机实验教程	李荣正		2006.02
PIC 单片机开发应用与实验制作	陈新建		2006.02
高职高专通用教材—PIC 单片机基础教程	丁跃军	22.0	2005.08
PIC18Fxxx 单片机程序设计及应用(含光盘)	刘和平	29.0	2005.03
PIC 单片机 C 语言开发入门(含光盘)	武 锋	29.0	2005.03
PIC 单片机原理及应用(第2版)	李荣正	29.0	2005.03
PIC 单片机子程序库及运算平台(含光盘)	庞严英	35.0	2004.10

### AVR 单片机

AVR 单片机 GCC 程序设计	佟长福	28.0	2006.01
AVR 单片机高级语言 BASCOM 程序设计与应用	张茂青	22.0	2005.01
高档 8 位单片机 ATmega128 原理与开发应用指南(上)	马 潮	31.0	2004.12
AVR-GCC 与 AVR 单片机 C 语言开发(含光盘)	吴双力	28.0	2004.10
AVR 单片机与 CPLD/FPGA 综合应用入门	黄 任	18.0	2004.09

### 其他公司单片机

MCU-DSP 混合控制器技术与应用——基于凌阳 16 位单片机	刘海成	26.0	2006.01
凌阳 8 位单片机——基础篇	李学海	38.0	2005.11
华邦 51 单片机原理及应用	张盛福	23.0	2005.02
M68HC08 单片机原理及 C 语言开发实例(含光盘)	常 越	39.0	2005.09

书 名	作 者	定 价	出 版 日期
-----	-----	-----	--------

凌阳单片机在大学生电子竞赛中的应用	凌阳科技	18.0	2005.06
HOLTEK HT48 系列单片机原理及应用实例(含光盘)	李齐雄	42.0	2005.04
ST7 通用单片机原理及应用	张迎新	34.0	2004.09

### 总线技术

EZ-USB FX2 单片机原理、编程及应用	钱 峰	估 40.0	2006.03
现场总线技术应用选编(3)	郭宽明	69.0	2005.08
现场总线工业控制网络技术	夏继强	35.0	2005.05
USB2.0 与 OTG 规范及开发指南	周立功	49.5	2004.07
8051 单片机 USB 接口 VB 程序设计	许永和	估 45.0	2005.09
现场总线技术应用选编(3)	郭宽明	69.0	2005.08

### 其 它

微芯模拟和接口器件应用指南	阎永红	59.5	2005.06
蓝牙硬件电路	黄智伟	65.0	2005.08
无线通信集成电路	黄智伟	96.0	2005.07
单片机创新开发与机器人制作(含光盘)	耿德禄	23.0	2005.03
智能仪器原理与设计	周航慈	22.0	2005.04
单片无线数据通信 IC 原理与应用	黄智伟	49.0	2004.11
无线发射/接收电路设计	黄智伟	85.0	2004.06
机器人制作入门篇	崔维娜译	49.0	2005.08
机器人制作提高篇	毕术生译	39.0	2005.09
存储器函数变换技术及应用	赵明富	29.0	2004.09
智能化测量控制仪表原理与设计(第2版)	徐爱钧	34.0	2004.09
Verilog-HDL 工程实践入门(含光盘)	常晓明	35.0	2005.10
2005 年上海市高校学生嵌入式系统创新设计竞赛获奖作品论文集	竞赛评审委员会	26.0	2005.11
全国第三届 DSP 应用技术/第九届信号与信息处理联合学术会议论文集	电子学会航空学会	90.0	2005.09
2005 年全国单片机与嵌入式系统学术交流会论文集	深圳计算机行业学会	80.0	2005.08
中国西部嵌入式系统与单片机技术论坛 2005 年学术年会论文集	四川省单片机学会	50.0	2005.12
VHDL 入门·解惑·经典实例·经验总结	黄 任	22.0	2005.02
2004 年全国第五届嵌入式系统学术交流会论文集	微机专业委员会	100.0	2004.09
《单片机与嵌入式系统应用》杂志合订本(2004 年 7~12 月)		45.0	2005.06

注：表中加底纹者为 2005 年后图书。

可直接向出版社邮购以上图书。邮购通信及汇款地址：北京航空航天大学出版社邮购组(邮编 100083)。另加 3 元挂号费。  
 邮购组电话：010-82316935，传真：010-82317031。详细图书目录及内容介绍请查阅出版社网站：<http://www.buaapress.com.cn>。  
 投稿单片机与嵌入式系统图书请联系：通信：北京航空航天大学出版社第 1 编辑室(邮编 100083)。  
 电话：010-82317022、82317035、82317041。传真：010-82317012。Email: pressb@public3.bta.net.cn

# 目 录

## 第 1 章 电磁干扰控制基础

1.1 电磁干扰的基本概念 .....	1
1.1.1 噪声与干扰 .....	1
1.1.2 电磁干扰的形成因素 .....	2
1.1.3 干扰的分类 .....	2
1.2 电磁兼容性 .....	3
1.2.1 电磁兼容性定义 .....	3
1.2.2 电磁兼容性设计 .....	3
1.2.3 电磁兼容性常用术语 .....	4
1.2.4 电磁兼容性标准 .....	6
1.3 差模干扰和共模干扰 .....	8
1.3.1 差模干扰 .....	8
1.3.2 共模干扰 .....	9
1.4 电磁耦合的等效模型 .....	9
1.4.1 集中参数模型 .....	9
1.4.2 分布参数模型 .....	10
1.4.3 电磁波辐射模型 .....	11
1.5 电磁干扰的耦合途径 .....	14
1.5.1 传导耦合 .....	14
1.5.2 感应耦合(近场耦合) .....	15
1.5.3 电磁辐射耦合(远场耦合) .....	15
1.6 单片机应用系统电磁干扰控制的一般方法 .....	16

## 第 2 章 数字信号耦合与传输机理

2.1 数字信号与电磁干扰 .....	18
2.1.1 数字信号的开关速度与频谱 .....	18
2.1.2 开关暂态电源尖峰电流噪声 .....	22
2.1.3 开关暂态接地反冲噪声 .....	24
2.1.4 高速数字电路的 EMI 特点 .....	25
2.2 导线阻抗与线间耦合 .....	27
2.2.1 导体交直流电阻的计算 .....	27
2.2.2 导体电感量的计算 .....	29
2.2.3 导体电容量的计算 .....	31

2.2.4	电感耦合分析	32
2.2.5	电容耦合分析	35
2.3	信号的长线传输	36
2.3.1	长线传输过程的数学描述	36
2.3.2	均匀传输线特性	40
2.3.3	传输线特性阻抗计算	42
2.3.4	传输线特性阻抗的重复性与阻抗匹配	44
2.4	数字信号传输过程中的畸变	45
2.4.1	信号传输的入射畸变	45
2.4.2	信号传输的反射畸变	46
2.5	信号传输畸变的抑制措施	49
2.5.1	最大传输线长度的计算	49
2.5.2	端点的阻抗匹配	50
2.6	数字信号的辐射	52
2.6.1	差模辐射	52
2.6.2	共模辐射	55
2.6.3	差模和共模辐射比较	57

### 第3章 常用元件的可靠性能与选择

3.1	元件的选择与降额设计	59
3.1.1	元件的选择准则	59
3.1.2	元件的降额设计	59
3.2	电阻器	60
3.2.1	电阻器的等效电路	60
3.2.2	电阻器的内部噪声	60
3.2.3	电阻器的温度特性	61
3.2.4	电阻器的分类与主要参数	62
3.2.5	电阻器的正确选用	66
3.3	电容器	67
3.3.1	电容器的等效电路	67
3.3.2	电容器的种类与型号	68
3.3.3	电容器的标志方法	70
3.3.4	电容器引脚的电感量	71
3.3.5	电容器的正确选用	71
3.3.6	电容器使用注意事项	73
3.4	电感器	73
3.4.1	电感器的等效电路	74
3.4.2	电感器使用的注意事项	74
3.5	数字集成电路的抗干扰性能	75



3.5.1	噪声容限与抗干扰能力	75
3.5.2	施密特集成电路的噪声容限	77
3.5.3	TTL 数字集成电路的抗干扰性能	78
3.5.4	CMOS 数字集成电路的抗干扰性能	79
3.5.5	CMOS 电路使用中注意事项	80
3.5.6	集成门电路系列型号	81
3.6	高速 CMOS 54/74HC 系列接口设计	83
3.6.1	54/74HC 系列芯片特点	83
3.6.2	74HC 与 TTL 接口	85
3.6.3	74HC 与单片机接口	85
3.7	元器件的装配工艺对可靠性的影响	86

#### 第 4 章 电磁干扰硬件控制技术

4.1	屏蔽技术	88
4.1.1	电场屏蔽	88
4.1.2	磁场屏蔽	89
4.1.3	电磁场屏蔽	91
4.1.4	屏蔽损耗的计算	92
4.1.5	屏蔽体屏蔽效能的计算	99
4.1.6	屏蔽箱的设计	100
4.1.7	电磁泄漏的抑制措施	102
4.1.8	电缆屏蔽层的屏蔽原理	108
4.1.9	屏蔽与接地	113
4.1.10	屏蔽设计要点	113
4.2	接地技术	114
4.2.1	概述	114
4.2.2	安全接地	115
4.2.3	工作接地	117
4.2.4	接地系统的布局	119
4.2.5	接地装置和接地电阻	120
4.2.6	地环路问题	121
4.2.7	浮地方式	122
4.2.8	电缆屏蔽层接地	123
4.3	滤波技术	126
4.3.1	滤波器概述	127
4.3.2	无源滤波器	130
4.3.3	有源滤波器	138
4.3.4	铁氧体抗干扰磁珠	143
4.3.5	贯通滤波器	146

4.3.6	电缆线滤波连接器 .....	149
4.3.7	PCB板滤波器件 .....	154
4.4	隔离技术 .....	155
4.4.1	光电隔离 .....	156
4.4.2	继电器隔离 .....	160
4.4.3	变压器隔离 .....	161
4.4.4	布线隔离 .....	161
4.4.5	共模扼流圈 .....	162
4.5	电路平衡结构 .....	164
4.5.1	双绞线在平衡电路中的使用 .....	164
4.5.2	同轴电缆的平衡结构 .....	165
4.5.3	差分放大器 .....	165
4.6	双绞线的抗干扰原理及应用 .....	166
4.6.1	双绞线的抗干扰原理 .....	166
4.6.2	双绞线的应用 .....	168
4.7	信号线间的串扰及抑制 .....	169
4.7.1	线间串扰分析 .....	169
4.7.2	线间串扰的抑制 .....	173
4.8	信号线的选择与敷设 .....	174
4.8.1	信号线型式的选择 .....	174
4.8.2	信号线截面的选择 .....	175
4.8.3	单股导线的阻抗分析 .....	175
4.8.4	信号线的敷设 .....	176
4.9	漏电干扰的防止措施 .....	177
4.10	抑制数字信号噪声常用硬件措施 .....	177
4.10.1	数字信号负传输方式 .....	178
4.10.2	提高数字信号的电压等级 .....	178
4.10.3	数字输入信号的RC阻容滤波 .....	179
4.10.4	提高输入端的门限电压 .....	181
4.10.5	输入开关触点抖动干扰的抑制方法 .....	181
4.10.6	提高器件的驱动能力 .....	184
4.11	静电放电干扰及其抑制 .....	184

## 第5章 主机单元配置与抗干扰设计

5.1	单片机主机单元组成特点 .....	186
5.1.1	80C51最小应用系统 .....	186
5.1.2	低功耗单片机最小应用系统 .....	187
5.2	总线的可靠性设计 .....	191
5.2.1	总线驱动器 .....	191

5.2.2	总线的负载平衡 .....	192
5.2.3	总线上拉电阻的配置 .....	192
5.3	芯片配置与抗干扰 .....	193
5.3.1	去耦电容配置 .....	194
5.3.2	数字输入端的噪声抑制 .....	194
5.3.3	数字电路不用端的处理 .....	195
5.3.4	存储器的布线 .....	196
5.4	译码电路的可靠性分析 .....	197
5.4.1	过渡干扰与译码选通 .....	197
5.4.2	译码方式与抗干扰 .....	200
5.5	时钟电路配置 .....	200
5.6	复位电路设计 .....	201
5.6.1	复位电路 RC 参数的选择 .....	201
5.6.2	复位电路的可靠性与抗干扰分析 .....	202
5.6.3	I/O 接口芯片的延时复位 .....	205
5.7	单片机系统的中断保护问题 .....	205
5.7.1	80C51 单片机的中断机构 .....	205
5.7.2	常用的几种中断保护措施 .....	205
5.8	RAM 数据掉电保护 .....	207
5.8.1	片内 RAM 数据保护 .....	207
5.8.2	利用双片选的外 RAM 数据保护 .....	207
5.8.3	利用 DS1210 实现外 RAM 数据保护 .....	208
5.8.4	2 KB 非易失性随机存储器 DS1220AB/AD .....	211
5.9	看门狗技术 .....	215
5.9.1	由单稳态电路实现看门狗电路 .....	216
5.9.2	利用单片机片内定时器实现软件看门狗 .....	217
5.9.3	软硬件结合的看门狗技术 .....	219
5.9.4	单片机内配置看门狗电路 .....	221
5.10	微处理器监控器 .....	223
5.10.1	微处理器监控器 MAX703~709/813L .....	223
5.10.2	微处理器监控器 MAX791 .....	227
5.10.3	微处理器监控器 MAX807 .....	231
5.10.4	微处理器监控器 MAX690A/MAX692A .....	234
5.10.5	微处理器监控器 MAX691A/MAX693A .....	238
5.10.6	带备份电池的微处理器监控器 MAX1691 .....	242
5.11	串行 E <sup>2</sup> PROM X25045 .....	245

## 第 6 章 测量单元配置与抗干扰设计

6.1	概 述 .....	255
-----	-----------	-----

6.2	模拟信号放大器 .....	256
6.2.1	集成运算放大器 .....	256
6.2.2	测量放大器组成原理 .....	260
6.2.3	单片集成测量放大器 AD521 .....	263
6.2.4	单片集成测量放大器 AD522 .....	265
6.2.5	单片集成测量放大器 AD526 .....	266
6.2.6	单片集成测量放大器 AD620 .....	270
6.2.7	单片集成测量放大器 AD623 .....	274
6.2.8	单片集成测量放大器 AD624 .....	276
6.2.9	单片集成测量放大器 AD625 .....	278
6.2.10	单片集成测量放大器 AD626 .....	281
6.3	电压/电流变换器(V/I) .....	283
6.3.1	V/I 变换电路 .....	283
6.3.2	集成 V/I 变换器 XTR101 .....	284
6.3.3	集成 V/I 变换器 XTR110 .....	289
6.3.4	集成 V/I 变换器 AD693 .....	292
6.3.5	集成 V/I 变换器 AD694 .....	299
6.4	电流/电压变换器(I/V) .....	302
6.4.1	I/V 变换电路 .....	302
6.4.2	RCV420 型 I/V 变换器 .....	303
6.5	具有放大、滤波、激励功能的模块 2B30/2B31 .....	305
6.6	模拟信号隔离放大器 .....	313
6.6.1	隔离放大器 ISO100 .....	313
6.6.2	隔离放大器 ISO120 .....	316
6.6.3	隔离放大器 ISO122 .....	319
6.6.4	隔离放大器 ISO130 .....	323
6.6.5	隔离放大器 ISO212P .....	326
6.6.6	由两片 VFC320 组成的隔离放大器 .....	329
6.6.7	由两光耦组成的实用线性隔离放大器 .....	333
6.7	数字电位器及其应用 .....	336
6.7.1	非易失性数字电位器 x9221 .....	336
6.7.2	非易失性数字电位器 x9241 .....	343
6.8	传感器供电电源的配置及抗干扰 .....	346
6.8.1	传感器供电电源的扰动补偿 .....	347
6.8.2	单片集成精密电压芯片 .....	349
6.8.3	A/D 转换器芯片提供基准电压 .....	350
6.9	测量单元噪声抑制措施 .....	351
6.9.1	外部噪声源的干扰及其抑制 .....	351
6.9.2	输入信号串模干扰的抑制 .....	352

6.9.3 输入信号共模干扰的抑制 .....	353
6.9.4 仪器仪表的接地噪声 .....	355

## 第7章 D/A、A/D 单元配置与抗干扰设计

7.1 D/A、A/D 转换器的干扰源 .....	357
7.2 D/A 转换原理及抗干扰分析 .....	358
7.2.1 T 型电阻 D/A 转换器 .....	359
7.2.2 基准电源精度要求 .....	361
7.2.3 D/A 转换器的尖峰干扰 .....	362
7.3 典型 D/A 转换器与单片机接口 .....	363
7.3.1 并行 12 位 D/A 转换器 AD667 .....	363
7.3.2 串行 12 位 D/A 转换器 MAX5154 .....	370
7.4 D/A 转换器与单片机的光电接口电路 .....	377
7.5 A/D 转换器原理与抗干扰性能 .....	378
7.5.1 逐次比较式 ADC 原理 .....	378
7.5.2 余数反馈比较式 ADC 原理 .....	378
7.5.3 双积分 ADC 原理 .....	380
7.5.4 V/F ADC 原理 .....	382
7.5.5 $\Sigma$ - $\Delta$ 式 ADC 原理 .....	384
7.6 典型 A/D 转换器与单片机接口 .....	387
7.6.1 8 位并行逐次比较式 MAX 118 .....	387
7.6.2 8 通道 12 位 A/D 转换器 MAX 197 .....	394
7.6.3 双积分式 A/D 转换器 5G14433 .....	399
7.6.4 V/F 转换器 AD 652 在 A/D 转换器中的应用 .....	403
7.7 采样保持电路与抗干扰措施 .....	408
7.8 多路模拟开关与抗干扰措施 .....	412
7.8.1 CD4051 .....	412
7.8.2 AD7501 .....	413
7.8.3 多路开关配置与抗干扰技术 .....	413
7.9 D/A、A/D 转换器的电源、接地与布线 .....	416
7.10 精密基准电压电路与噪声抑制 .....	416
7.10.1 基准电压电路原理 .....	417
7.10.2 引脚可编程精密基准电压源 AD584 .....	418
7.10.3 埋入式齐纳二极管基准 AD588 .....	420
7.10.4 低漂移电压基准 MAX676/MAX677/MAX678 .....	422
7.10.5 低功率低漂移电压基准 MAX873/MAX875/MAX876 .....	424
7.10.6 MC1403/MC1403A、MC1503 精密电压基准电路 .....	430

**第 8 章 功率接口与抗干扰设计**

8.1 功率驱动元件 .....	432
8.1.1 74 系列功率集成电路 .....	432
8.1.2 75 系列功率集成电路 .....	433
8.1.3 MOC 系列光耦合过零触发双向晶闸管驱动器 .....	435
8.2 输出控制功率接口电路 .....	438
8.2.1 继电器输出驱动接口 .....	438
8.2.2 继电器—接触器输出驱动电路 .....	439
8.2.3 光电耦合器—晶闸管输出驱动电路 .....	439
8.2.4 脉冲变压器—晶闸管输出电路 .....	440
8.2.5 单片机与大功率单相负载的接口电路 .....	441
8.2.6 单片机与大功率三相负载间的接口电路 .....	442
8.3 感性负载电路噪声的抑制 .....	442
8.3.1 交直流感性负载瞬变噪声的抑制方法 .....	442
8.3.2 晶闸管过零触发的几种形式 .....	445
8.3.3 利用晶闸管抑制感性负载的瞬变噪声 .....	447
8.4 晶闸管变流装置的干扰和抑制措施 .....	448
8.4.1 晶闸管变流装置电气干扰分析 .....	448
8.4.2 晶闸管变流装置的抗干扰措施 .....	449
8.5 固态继电器 .....	451
8.5.1 固态继电器的原理和结构 .....	451
8.5.2 主要参数与选用 .....	452
8.5.3 交流固态继电器的使用 .....	454

**第 9 章 人机对话单元配置与抗干扰设计**

9.1 键盘接口抗干扰问题 .....	456
9.2 LED 显示器的构造与特点 .....	458
9.3 LED 的驱动方式 .....	459
9.3.1 采用限流电阻的驱动方式 .....	459
9.3.2 采用 LM317 的驱动方式 .....	460
9.3.3 串联二极管压降驱动方式 .....	462
9.4 典型键盘/显示器接口芯片与单片机接口 .....	463
9.4.1 8 位 LED 驱动器 ICM 7218B .....	463
9.4.2 串行 LED 显示驱动器 MAX 7219 .....	468
9.4.3 并行键盘/显示器专用芯片 8279 .....	482
9.4.4 串行键盘/显示器专用芯片 HD 7279A .....	492
9.5 LED 显示接口的抗干扰措施 .....	502
9.5.1 LED 静态显示接口的抗干扰 .....	502

9.5.2 LED 动态显示接口的抗干扰	506
9.6 打印机接口与抗干扰技术	508
9.6.1 并行打印机标准接口信号	508
9.6.2 打印机与单片机接口电路	509
9.6.3 打印机电磁干扰的防护设计	510
9.6.4 提高数据传输可靠性的措施	512
<b>第 10 章 供电电源的配置与抗干扰设计</b>	
10.1 电源干扰问题概述	513
10.1.1 电源干扰的类型	513
10.1.2 电源干扰的耦合途径	514
10.1.3 电源的共模和差模干扰	515
10.1.4 电源抗干扰的基本方法	516
10.2 EMI 电源滤波器	517
10.2.1 实用低通电容滤波器	518
10.2.2 双绕组扼流圈的应用	518
10.3 EMI 滤波器模块	519
10.3.1 滤波器模块基础知识	519
10.3.2 电源滤波器模块	521
10.3.3 防雷滤波器模块	531
10.3.4 脉冲群抑制模块	532
10.4 瞬变干扰吸收器件	532
10.4.1 金属氧化物压敏电阻(MOV)	533
10.4.2 瞬变电压抑制器(TVS)	537
10.5 电源变压器的屏蔽与隔离	552
10.6 交流电源的供电抗干扰方案	553
10.6.1 交流电源配电方式	553
10.6.2 交流电源抗干扰综合方案	555
10.7 供电直流侧抑制干扰措施	555
10.7.1 整流电路的高频滤波	555
10.7.2 串联型直流稳压电源配置与抗干扰	556
10.7.3 集成稳压器使用中的保护	557
10.8 开关电源干扰的抑制措施	559
10.8.1 开关噪声的分类	559
10.8.2 开关电源噪声的抑制措施	560
10.9 微机用不间断电源 UPS	561
10.10 采用晶闸管无触点开关消除瞬态干扰设计方案	564

**第 11 章 印制电路板的抗干扰设计**

11.1 印制电路板用覆铜板	566
11.1.1 覆铜板材料	566
11.1.2 覆铜板分类	568
11.1.3 覆铜板的标准与电性能	571
11.1.4 覆铜板的主要特点和应用	583
11.2 印制板布线设计基础	585
11.2.1 印制板导线的阻抗计算	585
11.2.2 PCB 布线结构和特性阻抗计算	587
11.2.3 信号在印制板上的传播速度	589
11.3 地线和电源线的布线设计	590
11.3.1 降低接地阻抗的设计	590
11.3.2 减小电源线阻抗的方法	591
11.4 信号线的布线原则	592
11.4.1 信号传输线的尺寸控制	592
11.4.2 线间串扰控制	592
11.4.3 辐射干扰的抑制	593
11.4.4 反射干扰的抑制	594
11.4.5 微机自动布线注意问题	594
11.5 配置去耦电容的方法	594
11.5.1 电源去耦	595
11.5.2 集成芯片去耦	595
11.6 芯片的选用与器件布局	596
11.6.1 芯片选用指南	596
11.6.2 器件的布局	597
11.6.3 时钟电路的布置	598
11.7 多层印制电路板	599
11.7.1 多层印制板的结构与特点	599
11.7.2 多层印制板的布局方案	600
11.7.3 20-H 原则	605
11.8 印制电路板的安装和板间配线	606

**第 12 章 软件抗干扰原理与方法**

12.1 概 述	607
12.1.1 测控系统软件的基本要求	607
12.1.2 软件抗干扰一般方法	607
12.2 指令冗余技术	608
12.2.1 NOP 的使用	609



12.2.2 重要指令冗余	609
12.3 软件陷阱技术	609
12.3.1 软件陷阱	609
12.3.2 软件陷阱的安排	610
12.4 故障自动恢复处理程序	613
12.4.1 上电标志设定	614
12.4.2 RAM 中数据冗余保护与纠错	616
12.4.3 软件复位与中断激活标志	617
12.4.4 程序失控后恢复运行的方法	618
12.5 数字滤波	619
12.5.1 程序判断滤波法	620
12.5.2 中位值滤波法	620
12.5.3 算术平均滤波法	621
12.5.4 递推平均滤波法	623
12.5.5 防脉冲干扰平均值滤波法	624
12.5.6 一阶滞后滤波法	626
12.6 干扰避开法	627
12.7 开关量输入/输出软件抗干扰设计	629
12.7.1 开关量输入软件抗干扰措施	629
12.7.2 开关量输出软件抗干扰措施	629
12.8 编写软件的其他注意事项	630
附录 电磁兼容器件选购信息	632
参考文献	633