

高等院校嵌入式系统课程适用教材

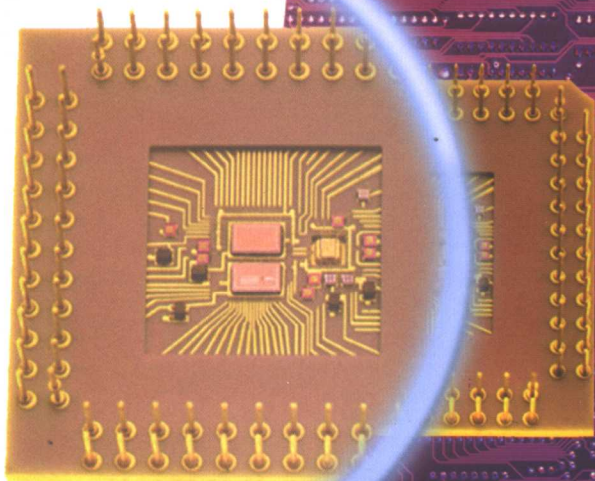
嵌入式系统

原理、设计与应用

张大波 主编

吴迪 郝军 沙毅 冯建新 编著

- ◎ 嵌入式系统的基本概念、开发原理及原则
- ◎ 嵌入式系统软、硬件结构设计原理
- ◎ 嵌入式操作系统及网络协议栈的总体构架
- ◎ 嵌入式系统设计的相关问题
- ◎ 嵌入式系统近来的重要发展和应用



机械工业出版社
China Machine Press



嵌入式系统 原理、设计与应用

张 大 波 主 编
吴 迪 郝 军 沙 毅 冯 建 新 编 著



机 械 工 业 出 版 社

本书系统讲述了嵌入式系统的基本概念、开发原理及原则、软件和硬件结构的设计、嵌入式操作系统及网络协议栈的总体构架,以及嵌入式系统近来的重要发展和应用。

本书不详细讨论某一种嵌入式处理器的原理和某一种嵌入式操作系统的原理和开发方法,而是讲述嵌入式系统的通用技术和基本原理、嵌入式产品的开发方法等内容。例如书中给出的代码属于类C语言代码,仅描述程序的框架,不针对某一种嵌入式操作系统。

通过本书的学习,不仅可以培养读者成为嵌入式系统的开发者,更重要的是培养嵌入式系统产品设计和规划等诸多方面的能力,能够带领一个课题小组独立地进行嵌入式应用开发工作。

本书适合于电气信息类专业(电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程)的大学本科高年级学生和研究生作为必修或选修教材,以及嵌入式计算方面的指导用书,也可以作为相关科技人员的指导用书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理、设计与应用/张大波主编.

-北京:机械工业出版社,2004.11

ISBN 7-111-15694-3

I. 嵌… II. 张… III. 微型计算机-系统设计 IV.TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第123079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:姜淑欣 责任编辑:王平 版式设计:侯哲芬

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年1月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·35印张·847千字

0001-4000册

定价:46.00元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话:(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书的专业背景

今天，几乎所有的电子设备中都包含了嵌入式系统。这些系统可能隐藏在手表里、录像机里、蜂窝电话里，甚至可以在烤面包机里；即使在 PC 机里，除了 CPU 主板以外，也有许多嵌入式系统，如硬盘、光驱等；在军事上可以使用嵌入式系统来引导导弹，侦测敌方的飞行物；外太空探测仪和许多医疗仪器离开嵌入式系统几乎不可能工作。总之，嵌入式系统无处不在。

嵌入式系统的开发和应用发展很快，通常嵌入式系统的开发周期在半年左右，更新时间在 3 个月左右。嵌入式系统的开发人员必须快速地更新自己的开发技术和开发能力，仅仅会长期使用一种所谓的“单片机”，注定要被时代所淘汰。因此，从事嵌入式系统研发工作的读者，不仅需要掌握基于特定的软（嵌入式操作系统）、硬件（嵌入式处理器）平台的技术研发，更需要培养系统的方案设计，软、硬件选型和快速掌握的能力，也就是说，读者将来可能担当系统分析师、系统设计师、课题负责人，参与项目的总体设计工作。基于此，本书涉及了一定的软、硬件特征比较和选型方面的知识。

出版本书的目的

目前，虽然已经有很多嵌入式系统方面的书籍出版，但是大多数书籍的定位和着眼点是某一种嵌入式处理器、单片机、微控制器的原理和应用，或者某一种嵌入式操作系统的应用开发等方面的内容，它们的共同特点是专讲一种（或几种）特定的处理器或操作系统/开发工具的使用，并且讲解得比较详细，适于软、硬件平台已经确定的产品开发者阅读。

由于嵌入式系统软、硬件种类非常多，对于嵌入式系统的开发者和在校研究生来说，不仅需要学会开发特定的某一种产品，更需要培养方案设计、软/硬件选型、系统总体设计等方面的能力。这些能力的培养不仅需要掌握单种处理器、操作系统的应用，更重要的是需要站在嵌入式系统共性的基础上，抛弃处理器和操作系统的细节差异，抽象出它们的公共属性。本书正是基于此而编写的。

本书的内容概要

本书与目前的嵌入式系统方面的图书的出发点不同，作者把多年来从事嵌入式系统的开发方面的经验进行综合，侧重于嵌入式系统的一般原理、嵌入式处理器的一般原理、嵌入式操作系统的一般原理、嵌入式系统的开发方法、开发原则和方法论方面，涉及嵌入式系统的软、硬件及其结合面方面。

本书共分 12 章。第 1 章讲述了嵌入式系统层次结构、设计方法及原则，嵌入式系统的软、硬件发展情况；第 2 章详细介绍了如何设计和开发嵌入式系统，这一章对于一般的产品开发也适用，包括产品开发过程、文档、产品开发的工程与项目管理；第 3 章讨论了

嵌入式系统的硬件设计，主要是嵌入式处理器子系统的设计方法，并给出了典型的嵌入式处理器子系统设计的例子；第4章讲述了嵌入式系统的存储器子系统；第5章阐述了嵌入式处理器的I/O子系统的原理；第6章主要讨论了嵌入式系统的软件系统的结构和原理、可移植性方法；第7章讲述了嵌入式操作系统的原理和基于多任务操作系统的软件开发过程，并介绍了常用的嵌入式操作系统的特点；第8章讲述了基于网络的嵌入式系统的设计方法和规划方法，并介绍了常用的网络协议原理；第9章讲述了嵌入式系统的软件组件，使用组件思想和良好的组件设计，可以大大提高嵌入式系统的开发效率和软件的复用性；第10章通过介绍几个应用的案例，分析了嵌入式系统产品的设计方法和设计内容；第11章讲述了嵌入式系统的低功耗设计问题；第12章讲述了嵌入式系统的电磁兼容性设计考虑的问题。这一章中，只讲述使用过程中的结论和电磁兼容性设计需要考虑的问题，不给出详细的理论证明和推导。

本书的读者对象

本书适合于电气信息类专业（电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程）的大学本科高年级学生和研究生作为必修或选修教材，以及嵌入式计算方面的指导用书，也可以作为相关科技人员的指导用书。

本书由大连理工大学张大波组织编写，并完成编写第1~2章和第7~12章，吴迪、沙毅编写第3~6章，郝军负责翻译和校对相关的外文参考资料和文献。研究生仇大伟、郭道明等对全书的文字、语法和排版格式进行了校对。

由于编者水平有限，难免有疏漏的地方，恳切欢迎读者批评指正。

编者

于大连理工大学
电子与信息工程学院

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 概述	1
1.2 嵌入式系统的概念	1
1.3 嵌入式系统及处理器的发展	2
1.3.1 嵌入式系统的发展	2
1.3.2 嵌入式处理器的发展	3
1.4 嵌入式系统的特点	4
1.5 嵌入式系统的组成	6
1.5.1 嵌入式处理器	7
1.5.2 存储器	8
1.5.3 外设	9
1.6 嵌入式系统的种类	9
1.7 嵌入式处理器与专用集成电路	10
1.8 嵌入式系统的调试方法	11
1.8.1 基于主机的调试	12
1.8.2 远程调试器与调试内核	13
1.8.3 ROM 仿真器	15
1.8.4 在线仿真 ICE	17
1.8.5 BDM	21
1.8.6 JTAG	24
1.8.7 软件仿真器	27
1.9 嵌入式系统的应用	28
1.9.1 消费类电子产品	28
1.9.2 办公自动化产品	30
1.9.3 控制系统与工业自动化	30
1.9.4 生物医学系统	30
1.9.5 现场仪器	31
1.9.6 网络通信设备	31
1.9.7 电信设备	31
1.10 嵌入式系统的发展趋势	31
1.10.1 硬件的发展	32
1.10.2 软件的发展	33
1.10.3 系统的发展	33
1.11 本章小结	35

1.12 思考题.....	35
第2章 嵌入式系统开发过程.....	36
2.1 概述.....	36
2.2 需求分析阶段.....	36
2.2.1 分析用户的需求.....	36
2.2.2 确定硬件和软件.....	40
2.2.3 检查需求分析的结果.....	41
2.2.4 确定项目的约束条件.....	42
2.2.5 概要设计.....	43
2.3 详细设计阶段.....	45
2.3.1 审查分析资料.....	46
2.3.2 体系结构设计.....	46
2.3.3 硬件与软件的划分.....	47
2.3.4 硬件和软件的设计次序.....	48
2.3.5 硬件设计.....	48
2.3.6 软件设计.....	50
2.3.7 检查设计.....	52
2.3.8 嵌入式系统设计的自动化.....	52
2.3.9 嵌入式系统设计工具的评估.....	53
2.3.10 硬件平台.....	54
2.4 实现阶段.....	54
2.4.1 选择开发平台.....	54
2.4.2 软件开发过程.....	60
2.4.3 开发阶段的文档样例.....	62
2.5 测试阶段.....	63
2.5.1 测试的原因.....	64
2.5.2 何时测试.....	66
2.5.3 测试内容.....	67
2.5.4 何时停止测试.....	67
2.5.5 选择测试实例.....	68
2.5.6 嵌入式系统的实时失败模式.....	70
2.5.7 评估测试的覆盖率.....	71
2.5.8 性能测试.....	74
2.5.9 维护和测试.....	75
2.6 本章小结.....	76
2.7 思考题.....	76

第 3 章 嵌入式处理器	78
3.1 概述.....	78
3.2 嵌入式系统硬件子系统的组成.....	79
3.2.1 嵌入式系统的方式.....	79
3.2.2 硬件子系统总体组成.....	80
3.2.3 嵌入式处理器子系统.....	81
3.2.4 嵌入式存储器子系统.....	85
3.2.5 附属电路和 I/O 子系统.....	86
3.2.6 调试子系统.....	86
3.2.7 如何选择处理单元.....	86
3.3 嵌入式处理器的技术指标.....	87
3.4 典型的嵌入式处理器.....	89
3.4.1 Microchip 系列嵌入式控制器.....	89
3.4.2 Philips LPC 嵌入式控制器系列.....	90
3.4.3 Motorola 微控制器 MC68HC08 系列.....	92
3.4.4 MCS-51 系列嵌入式控制器/处理器.....	94
3.4.5 Atmel 公司的 AVR 系列微控制器.....	96
3.4.6 80C186 系列 16 位嵌入式处理器.....	99
3.4.7 MC68HC12 系列处理器.....	102
3.4.8 PowerPC 系列 32 位嵌入式处理器.....	103
3.4.9 ColdFire 系列 32 位嵌入式处理器.....	108
3.4.10 ARM 系列.....	113
3.4.11 我国的嵌入式处理器.....	141
3.5 如何选择嵌入式处理器.....	144
3.5.1 选择处理器的总原则.....	144
3.5.2 选择嵌入式处理器的具体方法.....	145
3.6 嵌入式 CPU 子系统的设计方法.....	147
3.6.1 设计原则.....	147
3.6.2 基于微控制器的设计.....	148
3.6.3 基于微处理器的设计.....	151
3.7 本章小结.....	154
3.8 思考题.....	155
第 4 章 嵌入式系统的存储器	156
4.1 概述.....	156
4.2 嵌入式系统存储器的结构和组织.....	156
4.2.1 存储器的结构.....	156
4.2.2 嵌入式系统存储器子系统的结构.....	157

4.3	存储器的性能指标.....	158
4.4	存储器的工作时序.....	159
4.5	存储器的分类.....	163
4.6	随机存储器 RAM.....	164
4.6.1	静态 RAM.....	164
4.6.2	动态 RAM.....	167
4.6.3	双端口 RAM.....	171
4.6.4	如何选择 RAM.....	181
4.7	只读存储器 ROM.....	182
4.7.1	掩膜 ROM.....	182
4.7.2	PROM.....	182
4.7.3	EPROM.....	183
4.7.4	EEPROM.....	187
4.7.5	Flash.....	188
4.7.6	只读存储器的编程.....	194
4.8	混合类型存储器.....	197
4.9	存储器的测试.....	197
4.9.1	普通存储器的问题.....	197
4.9.2	电子线路的问题.....	198
4.9.3	无存储器的芯片.....	199
4.9.4	芯片的不正确插入.....	199
4.9.5	制定测试策略.....	199
4.10	验证只读存储器的内容.....	206
4.10.1	校验和.....	206
4.10.2	循环冗余码.....	206
4.11	系统配置数据存储.....	207
4.12	本章小结.....	208
4.13	思考题.....	209
第 5 章	嵌入式系统的 I/O 模块.....	210
5.1	概述.....	210
5.2	复位电路.....	210
5.2.1	阻容复位电路.....	210
5.2.2	手动复位电路.....	211
5.2.3	看门狗复位.....	212
5.2.4	专用复位电路.....	212
5.2.5	内部复位电路.....	213
5.2.6	软件复位.....	214

5.3	系统时钟.....	214
5.3.1	RC 时钟.....	214
5.3.2	石英晶体.....	215
5.3.3	石英振荡器.....	215
5.3.4	锁相倍频时钟.....	215
5.3.5	多时钟源处理器的优点.....	216
5.4	I/O 模块.....	216
5.4.1	I/O 接口的基本结构.....	217
5.4.2	I/O 接口的信号及其作用.....	217
5.4.3	寄存器的映射方式.....	218
5.4.4	举例：80186EB 的 I/O 电路映射方式.....	219
5.5	嵌入式系统的译码器.....	220
5.5.1	译码器的作用和种类.....	220
5.5.2	普通的译码器.....	220
5.5.3	可编程器件译码器.....	221
5.5.4	嵌入式处理器上的集成译码模块.....	221
5.5.5	举例：80186EB 的通用译码器.....	221
5.6	定时器/计数器.....	222
5.6.1	定时器/计数器的功能.....	222
5.6.2	定时器/计数器的基本结构.....	223
5.6.3	定时器/计数器的工作模式.....	224
5.6.4	举例：80186EB 定时器/计数器.....	224
5.7	SPI.....	224
5.7.1	SPI 的原理.....	224
5.7.2	SPI 的数据流动.....	226
5.7.3	SPI 的功能.....	227
5.7.4	SPI 的引脚.....	227
5.7.5	SPI 寄存器.....	228
5.8	UART.....	231
5.8.1	串行接收机 RxMachine.....	232
5.8.2	串行发送机 TxMachine.....	233
5.8.3	UART 基本特征.....	234
5.8.4	通信模式.....	234
5.8.5	UART 的编程和使用.....	235
5.9	通用并行接口.....	237
5.9.1	通用并口的基本特点.....	237
5.9.2	I/O 端口的编程结构.....	240
5.9.3	通用并口的操作.....	241

5.10	其他 I/O	241
5.11	本章小结	242
5.12	思考题	243
第 6 章	嵌入式软件系统	244
6.1	概述	244
6.2	嵌入式软件结构和组成	244
6.2.1	嵌入式系统软件的组成	245
6.2.2	初始化引导代码	245
6.2.3	板级支持包	246
6.2.4	嵌入式操作系统	246
6.2.5	网络协议栈	246
6.2.6	应用软件	247
6.2.7	图形用户接口 GUI	247
6.3	监控程序	247
6.4	BSP 概念介绍	247
6.4.1	嵌入式操作系统运行的必要条件	247
6.4.2	BSP 的运行流程	248
6.4.3	Nucleus Plus 的 BSP 和初始化	249
6.4.4	VRTX 的板级支持包和初始化	249
6.5	嵌入式软件系统的设计方法	251
6.5.1	无操作系统的嵌入式系统设计	251
6.5.2	有操作系统的嵌入式系统设计	255
6.6	软件移植	256
6.6.1	移植的必要性	256
6.6.2	裸机系统的软件移植	257
6.6.3	有操作系统的软件移植	259
6.6.4	应用软件的移植	260
6.6.5	可移植应用软件的设计原则	269
6.7	本章小结	274
6.8	思考题	274
第 7 章	嵌入式操作系统	276
7.1	概述	276
7.2	操作系统介绍	277
7.2.1	什么是操作系统	277
7.2.2	操作系统分类	278
7.2.3	操作系统结构	279
7.2.4	操作系统的功能组成	281

7.3	嵌入式 RTOS 的基本概念	284
7.4	RTOS 的关键技术指标	285
7.5	RTOS 的基本术语	286
7.6	RTOS 的要求	288
7.7	常用的嵌入式操作系统	289
7.7.1	Nucleus Plus	289
7.7.2	VxWorks	290
7.7.3	μC/OS II	292
7.7.4	嵌入式 Linux	293
7.7.5	QNX	294
7.7.6	U.S.Software	297
7.7.7	ThreadX	297
7.7.8	Windows CE	298
7.7.9	Hopen	300
7.8	利用嵌入式操作系统开发应用	302
7.8.1	初始化	311
7.8.2	任务控制	313
7.8.3	任务之间的通信	313
7.8.4	任务之间的同步	317
7.8.5	定时器	323
7.8.6	动态存储器	325
7.8.7	分区存储器	329
7.9	如何选择嵌入式操作系统	331
7.9.1	概述	331
7.9.2	选择实时操作系统的依据	332
7.10	本章小结	338
7.11	思考题	338
第 8 章	嵌入式网络与协议栈	340
8.1	概述	340
8.2	嵌入式网络	341
8.2.1	分布式嵌入式系统	341
8.2.2	基于网络的设计过程	347
8.2.3	几种常用的网络技术简介	352
8.3	最后 100m-家庭网络技术	354
8.3.1	HomePNA	354
8.3.2	HomePNA 的简介	355
8.3.3	HomePNA 的特点	356

8.3.4	HomePNA 的原理	356
8.3.5	HomePNA 的应用范围	356
8.4	工业网络与现场总线	357
8.4.1	FF 总线协议	358
8.4.2	HART 协议	361
8.4.3	Profibus 协议	362
8.4.4	CAN 协议	364
8.4.5	P-NET	366
8.4.6	Control Net	366
8.4.7	WORLDFIP	367
8.4.8	Device Net	368
8.5	嵌入式系统的联网	368
8.5.1	选择协议栈	369
8.5.2	选择网络技术	369
8.5.3	选择现成的实现方案	370
8.5.4	使用标准的应用协议	370
8.5.5	流行的网络体系结构	370
8.6	嵌入式 Internet	372
8.6.1	嵌入式 Internet 概述	372
8.6.2	嵌入式 Internet 的应用	373
8.6.3	嵌入式 Internet 的原理	374
8.6.4	嵌入式 Internet 的接入方案举例	376
8.6.5	嵌入式 Internet 接入的趋势	378
8.6.6	嵌入式 Internet 开发工具举例——EMIT 开发方法	378
8.6.7	嵌入式 TCP/IP	380
8.7	蓝牙技术	384
8.7.1	蓝牙技术及特点	384
8.7.2	蓝牙协议栈	385
8.7.3	蓝牙应用产品	386
8.8	I ² C 总线	388
8.8.1	物理层	388
8.8.2	电路接口	388
8.8.3	数据链路层	389
8.8.4	字节格式	390
8.8.5	总线属性	391
8.8.6	应用接口	391
8.9	本章小结	392
8.10	思考题	392

第 9 章 嵌入式软件组件	393
9.1 概述	393
9.2 嵌入式系统模型	393
9.3 键盘	394
9.4 LED 显示器	398
9.4.1 模型	398
9.4.2 接口函数定义与使用	400
9.4.3 内部结构实现	401
9.5 LCD 显示器	403
9.5.1 模型	403
9.5.2 接口函数	404
9.5.3 模块实现	409
9.6 日历时钟	411
9.6.1 概述	411
9.6.2 接口函数	411
9.6.3 模块实现	415
9.7 模拟量输入	416
9.7.1 模型	416
9.7.2 接口函数	417
9.7.3 读取模数转换的方法	417
9.7.4 模块组件的可移植性考虑	420
9.8 模拟量输出	421
9.8.1 模型	421
9.8.2 接口函数	421
9.8.3 模块实现	422
9.9 数字量/开关量输入	422
9.9.1 模型	422
9.9.2 接口函数	422
9.10 异步串行通信 UART	425
9.10.1 模型	425
9.10.2 模块实现	426
9.10.3 接口函数	429
9.11 其他组件模块	433
9.12 本章小结	433
9.13 思考题	433
第 10 章 案例分析	435
10.1 概述	435

10.2	PDA.....	435
10.2.1	PDA 概述.....	435
10.2.2	PDA 的硬件设计.....	437
10.2.3	PDA 的软件设计.....	441
10.3	GPS 接收机.....	443
10.3.1	GPS 概述.....	443
10.3.2	基于 ARM7 的 GPS 接收机的设计.....	444
10.3.3	接收机性能分析.....	446
10.4	水表智能抄表系统.....	446
10.4.1	水表智能抄表系统简介.....	446
10.4.2	基于 32 位机 S3C44B0X 的抄表手机的设计.....	448
10.5	防火墙.....	449
10.5.1	防火墙技术现状.....	449
10.5.2	当前国内外硬件防火墙产品技术现状.....	450
10.5.3	嵌入式防火墙的组成.....	451
10.6	信息家电.....	453
10.6.1	信息家电概述.....	453
10.6.2	信息家电的主要功能和特点.....	453
10.6.3	信息家电的分类.....	454
10.6.4	信息家电的硬件平台.....	456
10.6.5	信息家电的结构.....	456
10.6.6	嵌入式 Linux 在信息家电上的优势.....	457
10.7	本章小结.....	458
10.8	思考题.....	459
第 11 章	嵌入式计算机的功耗问题.....	460
11.1	概述.....	460
11.2	低功耗的优点.....	460
11.2.1	电池驱动的需要.....	460
11.2.2	安全的需要.....	461
11.2.3	解决电磁干扰.....	461
11.2.4	节能的需要.....	461
11.3	降低功耗的措施综述.....	462
11.3.1	功耗产生的原因.....	462
11.3.2	与系统功耗有关的因素.....	462
11.3.3	降低功耗的措施.....	463
11.4	元件工艺的低功耗.....	465
11.5	硬件系统的低功耗设计.....	469

11.5.1	选择低功耗的器件	470
11.5.2	选用低功耗电路	471
11.5.3	单电源、低电压供电	472
11.5.4	分区供电降低功耗	472
11.5.5	利用 I/O 引脚为外围器件供电	473
11.5.6	电源管理单元的设计	474
11.5.7	采用智能电源	474
11.5.8	片选信号的处理	474
11.5.9	有效利用 I/O 器件的待机方式	475
11.5.10	降低处理器的时钟频率	475
11.5.11	动态改变 CPU 的时钟	476
11.5.12	降低持续工作电流	476
11.5.13	低功耗系统设计举例	476
11.6	软件系统的低功耗设计	478
11.7	关于电池供电系统	481
11.8	本章小结	482
11.9	思考题	482
第 12 章	电磁兼容性问题	484
12.1	概述	484
12.2	电磁兼容的基本概念	484
12.3	电磁兼容的基本术语	484
12.4	电磁兼容的基本原理	485
12.4.1	常见的电磁兼容性问题	485
12.4.2	电磁环境特性	487
12.4.3	噪声耦合路径	488
12.4.4	PCB 走线的天线效应	489
12.4.5	系统内部电磁干扰产生的原因	490
12.5	考虑电磁兼容时元件的模型和特性	490
12.6	提高电磁兼容性的措施	500
12.6.1	消除地电位不均匀	500
12.6.2	接地散热器的处理	501
12.6.3	时钟源的电源滤波方法	503
12.6.4	集成电路的辐射考虑	505
12.6.5	电路的布局与布线	506
12.7	旁路和去耦	506
12.7.1	旁路和去耦概述	506
12.7.2	电源层和接地层的分布电容考虑	507

12.7.3	并联电容器	507
12.7.4	去耦电容参数的计算	508
12.7.5	安装	509
12.7.6	大电容的使用和选择	510
12.7.7	组件内电容概述	511
12.8	信号完整性与串扰	511
12.8.1	信号完整性要求	511
12.8.2	反射和衰减振荡	512
12.8.3	计算电长走线	515
12.8.4	串扰	515
12.9	PCB 走线终端	517
12.9.1	传输线效应	517
12.9.2	终端匹配方法	518
12.10	接地	524
12.10.1	概述	524
12.10.2	接地模型	524
12.10.3	接地方法	525
12.10.4	消除接地环路	528
12.10.5	消除多点接地系统中的谐振现象	530
12.10.6	电路子卡与卡架之间的场耦合	531
12.10.7	I/O 连接器的设计考虑	531
12.11	考虑电磁兼容性的其他措施	532
12.11.1	屏蔽	532
12.11.2	磁珠的使用	533
12.11.3	电源低通滤波器	533
12.11.4	其他 EMC 器件	533
12.12	控制噪声的经验小结	534
12.12.1	控制噪声源	534
12.12.2	从传输路径减小噪声的耦合	534
12.12.3	在信号接收端减小噪声的接收	535
12.13	本章小结	536
12.14	思考题	536
附录	国外高校嵌入式系统课程的体系结构举例	537
参考文献	541