

工程电磁兼容

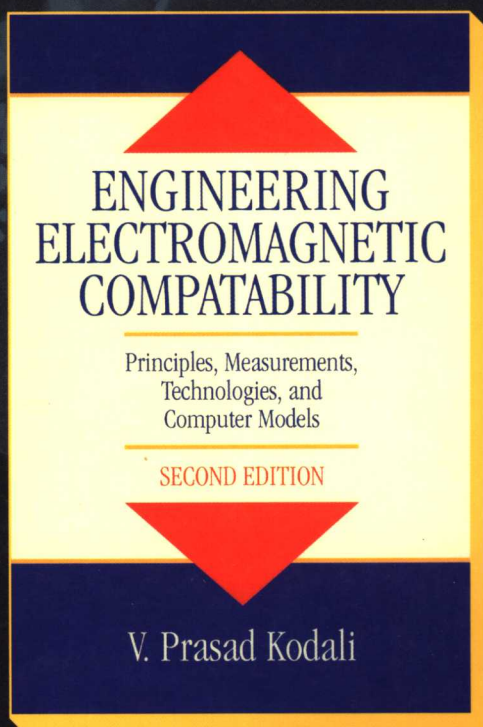
原理、测试、技术工艺及计算机模型
(第2版)

Engineering Electromagnetic Compatibility

Principles, Measurements,
Technologies,
and Computer Models
(Second Edition)

V. Prasad Kodali 著

陈淑凤 高攸纲 译
苏东林 周璧华



TURING

图灵电子与电气工程丛书

工程电磁兼容

原理、测试、技术工艺及计算机模型

(第2版)

Engineering Electromagnetic Compatibility

Principles, Measurements,
Technologies,
and Computer Models
(Second Edition)

V. Prasad Kodali 著

陈淑凤 高攸纲 译
苏东林 周璧华

ENGINEERING ELECTROMAGNETIC COMPATABILITY

Principles, Measurements,
Technologies, and
Computer Models

SECOND EDITION

V. Prasad Kodali



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

工程电磁兼容 / 柯达里 (Kodali, V. P.) 编著; 陈淑凤等译.

—北京: 人民邮电出版社, 2006.10

(图灵电子与电气工程丛书)

ISBN 7-115-15174-1

I. 工... II. ①柯...②陈... III. 电磁兼容性 IV. TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 101386 号

内 容 提 要

本书介绍了电磁兼容的基本知识, 并提供了电磁干扰源、电磁兼容/电磁干扰测量、控制电磁干扰的技术工艺、计算机仿真与设计以及国际电磁兼容标准的新信息。本书将以严格解为基础的电磁兼容基本理论与最新的实际应用相结合, 简明直观, 实用性强。

本书可供有实际经验的工程师参考, 也可作为高年级本科生及硕士研究生教材。

图灵电子与电气工程丛书

工程电磁兼容 (第 2 版)

原理、测试、技术工艺及计算机模型

-
- ◆ 著 V. Prasad Kodali
 - 译 陈淑凤 高攸纲 苏东林 周璧华
 - 责任编辑 舒 立
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
 - 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京铭成印刷有限公司印刷
 - 新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
 - 印张: 28.5
 - 字数: 558 千字 2006 年 10 月第 1 版
 - 印数: 1—5 000 册 2006 年 10 月北京第 1 次印刷
 - 著作权合同登记号 图字: 01-2005-5232 号

ISBN 7-115-15174-1/TN · 2836

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010) 88593802 印装质量热线: (010) 67129223

版 权 声 明

Original edition, entitled *Engineering Electromagnetic Compatibility: Principles, Measurements, Technologies, and Computer Models* by V. Prasad Kodali, ISBN 0-7803-4743-9, published by Wiley Publishing, Inc. Copyright © 2001 the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

All rights reserved. This translation published under license.

Translation edition published by POSTS & TELECOM PRESS Copyright 2006.

本书简体中文版由 Wiley Publishing, Inc. 授权人民邮电出版社独家出版。

版权所有，侵权必究。

本书献给我的老师、朋友和引导者：

已故的 K. Shivaram Hegde 教授

(1923 年 7 月 21 日—1998 年 11 月 25 日)

译 者 序

在科学技术突飞猛进的 21 世纪,各种电气及电子设备数量正急剧攀升,而家用电器的运用,更使这些设备遍及千家万户,用电设备密集程度越来越大。国外专家预言,50 年后空间电磁能量密度将增大 700 倍,电磁环境日益恶化。

在有限的时间、空间、频谱资源条件下,使电气及电子设备在共同的电磁环境中能正常工作而互不干扰是广大电磁兼容科技工作者的使命。

电磁兼容作为一门综合性学科,其基础理论涉及数学、电磁场理论、电路基础等很多学科,而其应用范围又涉及所有用电领域。时至今日,电磁兼容技术已形成一种产业,并在国民经济中发挥着重要作用,创造着巨大的经济效益。为增强产品在市场上的竞争能力,也为使人类在高度享受物质文明和精神文明的同时,仍能确保社会生产及生活得到安全、健康、持续有效的发展,电磁兼容知识的进一步宣传普及与电磁兼容新技术的研究开发迫在眉睫。

有鉴于此,为促进电磁兼容技术在中国进一步深入发展,我们决定翻译 Kodali 博士所著的这本书。该书取材新颖,理论结合实际,并附有很多工程应用实例,每章章末都有习题,既可供在工作岗位上的工程技术人员随时参考,又可作为高等院校在校学生的教材。

该书由本人组织相关专家翻译,其中第 1 章~第 3 章及附录、索引由周璧华教授翻译,第 4 章、第 12 章~第 15 章由苏东林教授翻译,第 5 章~第 8 章由陈淑凤研究员翻译,第 9 章~第 11 章及两版序言由本人翻译。由于译者水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎广大读者提出宝贵意见。

高攸纲

2006 年 8 月

译者简介

陈淑凤 毕业于中国科学技术大学，原航天部五院研究员，从事电磁兼容设计及测试工作达数十年，有丰富的实践经验，先后发表了多篇有关电磁兼容的学术论文，著有《电磁兼容试验技术》。

高攸纲 北京邮电大学教授、博士生导师、联合国国际信息科学院院士，USRI 电磁噪声与干扰委员会中国分会主席，IEEE 电磁兼容学会北京分会主任委员。在国内外发表 180 余篇学术论文，著有《电磁兼容总论》、《屏蔽与接地》、《高攸纲论文选集》等专著。

苏东林 北京航空航天大学电子信息工程学院教授兼副院长、赴美访问学者。研究领域包括射频电磁兼容、微波技术、天线及计算电磁学等。在国内外发表 50 余篇学术论文并有 3 本著作。

周璧华 毕业于北京邮电大学无线电通信工程专业。长期从事电磁兼容、雷电及电磁脉冲防护技术的研究，多次获得中国国家科技进步二等奖及三等奖，著有专著《电磁脉冲与工程防护》，发表多篇学术论文。

第一版序言

简介

本书可供有实际经验的工程师作为基础读物和参考书，也可作为高校本科课程的教材。

本书源自作者作为一个为期 5 年的大型跨国电磁干扰/电磁兼容项目国家负责人的工作经历。在此期间作者有机会去阅读大量图书及技术论文，通过参与实际工作获得对很多实际问题的理解，并与同事以及此领域的国际专家对课题进行深入（而且是长时间）的讨论。基于这些经验，本书介绍了电磁干扰（EMI）与电磁兼容（EMC）领域的综合概况并深入阐述了若干专题，涵盖了这些领域最新报告的成果。

本书取材自过去 10 年内发表的很多重要技术论文以及早期出版的若干经典论文。每章末尾为读者提供了简要的参考文献清单。此外专门给出了包含本领域相关技术论文、图书及标准等广泛但经过精选的参考文献。该参考文献可作为读者及研究人员所需参考资料的方便来源。

发展史

早期历史记录指出 EMI 及 EMC 首先引起电力公司及无线广播服务系统的特别关注。以后进入一个军事关注及要求为 EMI/EMC 提供发展动力的时期。由于需要在充满大量电磁能量的环境中广泛使用电气与电子设备、仪表及系统，今天 EMI/EMC 已成为全人类所关切的一项课题。

电磁兼容实践

在设计电力系统、计算机、通信、控制、工业、医疗器械、运输电子、军事设备、信息技术产品、消费电子及家用电器的电路及设备时，对 EMI/EMC 的考虑至关重要。人们普遍认为必须在电路设计（包括印制电路板以及设备与系统的组装）的开始阶段就要解决各种 EMI/EMC 问题。EMI/EMC 问题常会延误系统正常投运。克服 EMI 问题的事后设计费用非常昂贵。

各领域的专业工程师会发现本书可用作 EMI/EMC 的总体介绍，也可作为参考

资料。本书列出了大量的 EMI 源及模型（第 2 ~ 4 章）、EMI/EMC 的特性及测量步骤（第 5 ~ 8 章）及取得 EMC 的技术与工艺（第 9 ~ 12 章）。导论一章通过实际经验解释了在多种用途中 EMI/EMC 的相关事项。第 15 章包括若干国家及国际的 EMI/EMC 标准。标准是工程界非常关注的主题，但一般在工程专业课程中却很少讲授。

电磁兼容教育

本书也可作为高年级大学本科生及低年级硕士研究生的教材。本书所含资料比一个标准学期课程所含的内容超出 30%。读者可在每章末找到习题、某些领域有待进一步探讨的课题建议以及有益的文献。EMI/EMC 是工程技术的一个重要领域，这里有很多需进一步科学研究的重要的未解决课题。

致谢

本书封面只列出了作者姓名。然而在本书编写过程中获得很多人的细心配合以及热情支持。这使我在编写本书的过程中非常愉快。我对以下单位或个人表示衷心的感谢！

- 联合国开发计划署和联合国工业发展组织，它们支持了本项目
- 维多利亚大学和加拿大电信研究院，它们提供了访问学者席位，使得我有时间和机会来计划与编写本书的框架，并编写了部分手稿
- 印度 SAMEER 电磁学中心和印度电子部，它们为准备素材提供了方便
- Cahit Gurkok 和 Vijay K. Bhargava，他们给予了鼓励和有力支持
- Bruno Weinschel、Motohisa Kanda、Leo Young、Leonard B. Carlson 和 Hugh W. Denny，他们提供了有帮助的技术讨论
- B. N. Das 和 Sisir K. Das，他们帮助编写了部分手稿（B. N. Das 帮助编写了第 2 ~ 4 章和 S. K. Das 帮助编写了第 9 ~ 11 章）
- Bruno Weinschel、Andrew L. S. Drozd、K. S. Hegde、Bill Price、Frank S. Barnes 和另外两位审阅者，他们严格地审查了全部（或部分）手稿，并提出了有意义的建议
- D. Narayana Rao 和 Govind，他们校对了手稿并核实了一些数学公式
- Eric Herz、Ravi Dasari、Irving Engleson、Takashi Harada、Peter A. Lewis 和 M. Krishnamurthi，他们在不同阶段给予了有益的协助
- Bal Menon 和 LASERWORDS 公司，他们为本书的计算机排版提供了帮助
- R. Rukmani，他录入了全部的手稿

最后，我个人要对贤妻 Arati 及爱女 Mitul 与 Tara 在我编写书稿时的耐心、合作以及鼓励予以感谢。

V. P. Kodali
印度政府电子部
印度新德里

第二版序言

本书是前一版本的自然发展,大量内容来自前一版本。因此第一版中所写的序言及致谢仍然有效。在第一版出版后的6年中,电磁兼容及相关领域已取得了许多技术及工艺方面的进展。本版在适当地方对第一版内容进行了更新,在习题方面也作了某些修订。在不同章节中,为更清楚以及更易理解起见,又加进了一些解说性实例及数字实例。并添加了 EMC 计算机模型及信号完整性两章全新的内容。增加这两章是受到第一版出版后宝贵的反馈意见,特别是受 B. L. Carlson 所提意见启发的结果。

虽然我的工作经历主要在学术界以外,但8年前在维多利亚大学,2年前在堪萨斯大学的访问对本书第一版及第二版的编写帮助极大。作为第一版致谢的补充,作者衷心感谢下列单位和个人:

- 堪萨斯大学,该校为我提供了1998 Rose Morgan 客座教授的经费
- Richard K. Moore 和 James R. Rowland 教授,我在堪萨斯大学期间,获得了他们的友谊和鼓励
- Carl Leuschen、Brian Miller 和 Lara Keyeltica,我在堪萨斯大学期间,他们与我进行了技术讨论
- Raymond Chen 和 Andrew Drozd,他们分别贡献了第14章和第13章
- Hugh Denny、Andrew Drozd 和 B. Leonard Carlson,他们阅读了手稿,并提出了中肯的评价和有益的建议
- Devi Chadha、Kenneth Demarest、Hugh Denny、Prasad Gogineni、Robert Goldblum、Peter Lewis 和 Edward Wetherhold,他们提供了有益的讨论和反馈意见
- ERNET India、Gulshan Rai 和 Ram Gopal Gupta,他们提供了电子通信和其他支持
- Anvi Composers 和 Vijay Chaudhary,他们对修订版的计算机排版提供了帮助
- IEEE 出版社的 Kenneth Moore、Robert Bedford 和 Anthony VenGraitis,他们对本书的出版给予了大力支持

为保证该书迅速完成,贤妻 Arati 及爱女 Mitul 与 Tara 曾给予支持、鼓励和催促,作者在此对她们表示诚挚的谢意。

V. P. Kodali

目 录

第 1 章 导论	1	1.7.4 电路中的 EMI 源	21
1.1 电磁环境	1	参考文献	21
1.2 历史沿革	1	习题	22
1.2.1 第二次世界大战前	1	第 2 章 EMI 的自然源与核源	24
1.2.2 第二次世界大战和战后的 前 25 年	2	2.1 引言	24
1.2.3 后 25 年	4	2.2 天体的电磁噪声	25
1.3 EMI 与 EMC 概念和 有关定义	5	2.3 闪电放电	26
1.4 实际经验和有关情况	8	2.3.1 地闪	26
1.4.1 输电线	8	2.3.2 云际放电	27
1.4.2 电源线	9	2.3.3 闪电产生的电磁场	27
1.4.3 开关和继电器	9	2.3.4 闪电放电对传输线的效应	29
1.4.4 电话设备	9	2.4 静电放电	30
1.4.5 射电天文学	9	2.4.1 电荷积累与放电	30
1.4.6 生物效应	10	2.4.2 ESD 波形模型	34
1.4.7 飞机导航	10	2.4.3 ESD 等效电路	35
1.4.8 军用设备	11	2.4.4 ESD 的辐射场	35
1.4.9 安全可靠的通信	11	2.5 电磁脉冲	37
1.4.10 集成电路	12	2.5.1 表面核爆炸产生的 电磁脉冲	38
1.5 频谱管理	12	2.5.2 高空核爆炸	38
1.5.1 发射机和接收机	12	2.5.3 电磁脉冲感应电压	39
1.5.2 频谱空间	13	2.5.4 通过电缆屏蔽层的电磁脉 冲耦合	42
1.5.3 电信	14	2.6 小结	42
1.5.4 发展趋势	15	2.7 实例	42
1.6 EMI 和 EMC 综述	15	参考文献	43
1.7 分析计算举例	16	习题	44
1.7.1 非线性	16	第 3 章 设备和电路产生的 电磁干扰	46
1.7.2 电抗耦合	18	3.1 引言	46
1.7.3 导线的辐射	19		

2 目 录

3.2 电磁发射	46	4.5.1 环境电磁噪声	83
3.2.1 系统	47	4.5.2 电路中的电磁干扰	85
3.2.2 电气设备	48	4.5.3 设备发射的统计模型	85
3.3 来自继电器与开关的噪声	49	4.6 小结	85
3.3.1 电路模型	49	参考文献	86
3.3.2 噪声特性	50	习题	86
3.3.3 电磁干扰的效应	51	第5章 开阔试验场地	88
3.4 电路中的非线性	52	5.1 概述	88
3.4.1 放大器的非线性性质	52	5.2 开阔试验场地测试	88
3.4.2 调制	53	5.2.1 辐射发射测试	88
3.4.3 互调	55	5.2.2 辐射敏感度测试	89
3.4.4 交调	55	5.2.3 测试场地	90
3.5 无源互调	55	5.2.4 测试天线	90
3.6 传输线中的串扰	56	5.3 测试注意事项	92
3.6.1 多导体传输线	56	5.3.1 电磁环境	92
3.6.2 实例——三导体传输线	59	5.3.2 电磁散射体	92
3.7 输电线中的瞬变	60	5.3.3 电源和电缆的连接	92
3.7.1 感应电压与电流的计算	61	5.4 开阔试验场地	92
3.7.2 输电干线上的浪涌	62	5.4.1 固定式 EUT	93
3.8 电磁干扰	66	5.4.2 固定式天线	94
3.8.1 辐射耦合	66	5.4.3 EUT - 天线的间距	94
3.8.2 传导耦合	66	5.5 地形粗糙度	94
3.8.3 辐射与传导组合	67	5.6 归一化场地衰减	95
3.9 小结	67	5.6.1 远区电场	95
3.10 实例	68	5.6.2 场地衰减和归一化场地 衰减 (NSA)	102
参考文献	70	5.7 测试场地非理想性的测量	105
习题	71	5.8 天线系数测量	109
第4章 概率和统计物理模型	73	5.8.1 标准场地法	109
4.1 引言	73	5.8.2 注意事项	110
4.2 概率描述	73	5.9 测试误差	110
4.3 统计物理模型	74	5.10 小结	110
4.4 干扰的建模	74	5.11 实例	111
4.4.1 干扰的分类	74	参考文献	113
4.4.2 A 类干扰	75	习题	113
4.4.3 B 类干扰	78	第6章 辐射干扰测试	116
4.4.4 实例	82	6.1 引言	116
4.5 电磁干扰/电磁兼容统计模型	82		

6.2 暗室	116	7.4 设备的传导电磁干扰	156
6.2.1 暗室	116	7.4.1 传导电磁干扰的 测试设备	156
6.2.2 使用暗室进行测试	118	7.4.2 传导电磁干扰的 测试配置	159
6.2.3 测试误差的来源	120	7.4.3 共模与差模干扰的测试	163
6.3 横电磁波小室	123	7.5 传导电磁干扰抗扰度	164
6.3.1 横电磁波小室	123	7.6 检波器与测试	165
6.3.2 使用横电磁波小室 进行测试	126	参考文献	166
6.3.3 测试误差的来源	133	习题	167
6.4 混响室	136	第8章 脉冲干扰抗扰度	169
6.4.1 混响室	136	8.1 引言	169
6.4.2 使用混响室进行测试	138	8.2 脉冲电磁干扰抗扰度	169
6.5 吉赫兹横电磁波小室	139	8.3 静电放电	171
6.5.1 GTEM 小室	139	8.3.1 静电放电脉冲	171
6.5.2 使用 GTEM 小室进行电磁 兼容性评估	141	8.3.2 静电放电测试	173
6.5.3 与开闢试验场地测试结果的 比较	142	8.3.3 静电放电发生器	176
6.6 测试设施的比较	142	8.3.4 静电放电测试等级	179
6.6.1 暗室	143	8.4 电快速瞬变脉冲群	179
6.6.2 TEM 小室	144	8.4.1 电快速瞬变脉冲群	179
6.6.3 混响室	145	8.4.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度 测试的试验台	181
6.6.4 GTEM 小室	146	8.4.3 电快速瞬变脉冲 群发生器	182
6.6.5 测试不确定度	146	8.4.4 电快速瞬变脉冲群测试	184
参考文献	146	8.5 浪涌	184
习题	148	8.5.1 浪涌	184
第7章 传导电磁干扰测试	150	8.5.2 浪涌测试	185
7.1 引言	150	8.5.3 浪涌测试波形	187
7.2 传导电流/电压的特点	150	8.6 小结	190
7.2.1 共模与差模干扰	150	参考文献	190
7.2.2 共模与差模干扰举例	151	习题	191
7.3 电力线上的传导电磁噪声	153	第9章 接地、屏蔽与搭接	193
7.3.1 电力线上的瞬态干扰	153	9.1 电磁兼容技术工艺	193
7.3.2 低压交流线上浪涌信号的 传播	154	9.2 接地	193
7.3.3 舰船与飞机上的传导 电磁干扰	155	9.2.1 接地原理及实践	194
		9.2.2 接地注意事项	200

9.2.3 接地电阻的测量	202	10.3.6 泄漏电感的降低	266
9.2.4 电磁兼容中的系统接地	204	10.3.7 电源线滤波器: 设计 示例	266
9.2.5 电缆屏蔽体的接地	207	10.4 滤波器安装	268
9.2.6 设计举例	208	10.5 滤波器的评估	269
9.2.7 附加实例	210	10.6 小结	270
9.3 屏蔽	210	参考文献	270
9.3.1 屏蔽理论及屏蔽效能	211	习题	271
9.3.2 屏蔽材料	220	第 11 章 电缆、连接器及部件	273
9.3.3 在不连续处屏蔽的 完整性	221	11.1 引言	273
9.3.4 导电涂料	227	11.2 电磁干扰抑制电缆	273
9.3.5 电缆屏蔽	227	11.2.1 吸收电缆	274
9.3.6 屏蔽效能的测试	230	11.2.2 带状电缆	277
9.3.7 几个实例	234	11.3 电磁兼容连接器	277
9.4 电气搭接	235	11.3.1 尾巴效应	278
9.4.1 搭接带的形状与材料	236	11.3.2 连接器屏蔽	278
9.4.2 优良搭接的一般准则	238	11.3.3 连接器测试	279
9.5 小结	239	11.3.4 互调干扰 (生锈螺栓 效应)	282
9.6 实例	240	11.4 电磁兼容衬垫	282
参考文献	241	11.4.1 导线编织网衬垫	282
习题	242	11.4.2 金属丝屏蔽衬垫	283
第 10 章 电磁干扰滤波器	244	11.4.3 定向金属丝网栅	283
10.1 引言	244	11.4.4 导电合成橡胶	284
10.2 滤波器的特性	244	11.4.5 透明的导电窗	284
10.2.1 阻抗失配效应	246	11.4.6 导电胶	284
10.2.2 集总元件低通滤波器	246	11.4.7 导电滑脂	284
10.2.3 高通滤波器	253	11.4.8 导电涂料	285
10.2.4 带通滤波器	254	11.5 隔离变压器	285
10.2.5 带阻滤波器	256	11.6 光隔离器	288
10.2.6 介入损耗滤波器设计	257	11.7 瞬态及浪涌抑制器件	288
10.3 电源线滤波器设计	262	11.7.1 气体管浪涌抑制器	289
10.3.1 共模滤波器	263	11.7.2 半导体瞬态抑制器	293
10.3.2 差模滤波器	264	11.7.3 瞬态防护混合电路	295
10.3.3 共模差模组合滤波器	264	11.8 电磁兼容附件: 综述	296
10.3.4 电感器设计	265	11.8.1 电缆	296
10.3.5 共模扼流圈的泄漏 电感	266	11.8.2 连接器	297

11.8.3 铁氧体部件·····	297	13.4.1 数值程序外部系统建模·····	345
11.8.4 电磁兼容衬垫·····	298	13.4.2 数值程序内部系统建模·····	347
11.8.5 瞬态防护器件·····	299	13.4.3 建模和分析过程·····	348
11.8.6 小结·····	299	13.5 电磁兼容计算建模和仿真的 发展方向·····	351
参考文献·····	300	13.5.1 专家系统及其他先进软件 仿真技术的应用·····	352
第12章 频率指配和频谱节约·····	302	13.5.2 基于专家系统的电磁兼容性 软件包·····	353
12.1 引言·····	302	13.6 小结·····	354
12.2 频率分配和频率指配·····	302	参考文献·····	355
12.2.1 规定·····	302	习题·····	356
12.2.2 频谱利用·····	303	第14章 信号完整性·····	358
12.2.3 频谱利用率的评估·····	304	14.1 引言·····	358
12.3 调制技术·····	306	14.2 信号完整性问题·····	359
12.3.1 模拟调制·····	306	14.2.1 典型信号完整性问题·····	359
12.3.2 数字调制·····	308	14.2.2 信号完整性问题 会发生在哪里·····	360
12.3.3 设计折中·····	309	14.2.3 电子封装中的信号 完整性·····	360
12.3.4 实例设计考虑·····	310	14.3 信号完整性分析·····	361
12.4 频谱节约·····	310	14.3.1 设计流程中的信号完整性 分析·····	361
12.4.1 目标函数的最小化·····	311	14.3.2 信号完整性分析的 原则·····	363
12.4.2 图形标色·····	314	14.4 设计中的信号完整性问题·····	365
12.4.3 注释·····	316	14.4.1 上升时间和信号 完整性·····	365
12.4.4 启发式搜索·····	316	14.4.2 传输线、反射、串扰·····	366
12.4.5 基于线性代数的网格频率 指配方法·····	320	14.4.3 电源/地噪声·····	367
12.5 频谱节约:小结·····	322	14.5 建模和仿真·····	369
参考文献·····	324	14.5.1 电磁建模技术·····	369
习题·····	324	14.5.2 SI工具·····	370
第13章 电磁兼容计算机建模与 仿真·····	326	14.5.3 IBIS·····	371
13.1 引言·····	326	14.6 信号完整性实例·····	372
13.2 通用和全面的评估方法·····	326	参考文献·····	374
13.3 复杂系统的电磁兼容分析·····	328	第15章 EMC标准·····	376
13.3.1 建模技术、物理系统及求解 方法·····	330		
13.3.2 电磁场分析和预测 程序·····	336		
13.4 自动化的系统级EMC分析过程 描述·····	341		

15.1 引言	376	15.13.4 标准和测试程序	392
15.2 EMI/EMC 相关标准	376	参考文献	392
15.3 MIL-STD-461/462	377	第 16 章 文献选录	394
15.3.1 传导干扰控制	378	16.1 电磁干扰的实际影响及相关 内容	394
15.3.2 辐射干扰控制	379	16.2 电磁噪声：源及说明	395
15.3.3 中等暴露电平时的 敏感度	380	16.3 开阔试验场地测量	398
15.3.4 其他军用标准	380	16.4 辐射发射及辐射敏感度的 实验室测量	399
15.4 IEEE/ANSI 标准	381	16.5 传导发射及传导敏感度的 测量	401
15.5 CISPR/IEC 标准	382	16.6 脉冲干扰抗扰度的测量	401
15.6 FCC 法规	382	16.7 接地、屏蔽与搭接	402
15.7 英国标准	383	16.8 电磁兼容滤波器	405
15.8 VDE 标准	383	16.9 电磁兼容部件	406
15.9 欧洲标准	384	16.10 频谱管理及频率指配	407
15.10 日本的 EMI/EMC 标准	386	16.11 电磁兼容计算机模型	408
15.11 性能标准——一些比较	386	16.12 信号完整性 (SI)	412
15.11.1 美国军用标准	386	附录 1 EMC 专业术语	414
15.11.2 IEC/CISPR 标准	387	附录 2 EMI/EMC 单位	423
15.11.3 ANSI 标准和 FCC 规定	388	附录 3 参考文献	424
15.11.4 脉冲干扰抗扰度	389	附录 4 EMI/EMC 标准 (商用与非军用标准)	427
15.12 小结	389	附录 5 EMC 电子资源	432
15.13 更新	390	索引	433
15.13.1 美国军用标准	390		
15.13.2 ANSI/IEEE 标准	391		
15.13.3 CISPR/IEC 标准和欧洲 标准	391		