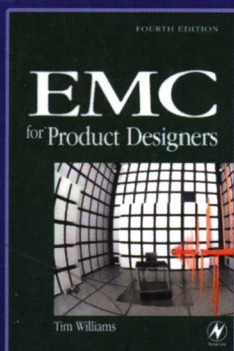


国外电子与通信教材系列



电磁兼容设计与测试 (第四版)

EMC for Product Designers
Fourth Edition



[英] Tim Williams 著

李迪 等译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

TN03/36

2008

国外电子与通信教材系列

电磁兼容设计与测试

(第四版)

EMC for Product Designers
Fourth Edition

[英] Tim Williams 著

李迪 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书由英国著名电磁兼容专家 Tim Williams 撰写, 共 16 章。第 1~5 章讨论了围绕电磁兼容指令建立起来的欧洲法令、法规的结构, 以及与电磁兼容相关的事物、无线电和电信性能要求。第 6~9 章探讨了电磁兼容测试方面的问题。第 10~16 章讨论了如何在设计阶段以最小的成本获得可接受的电磁兼容性能的各种技术。另外, 在本书最后, 列出一系列附录提供了一些参考信息, 还有几个实例分析以及对计算机辅助设计的分析和评论。

本书可以作为电子产品设计部门在电磁兼容方面的必备入门参考书, 也可以作为电子电气工程师进行电磁兼容培训和学习的标准教科书, 同时, 它还是广大电磁兼容测试工程师的良师益友。

EMC for Product Designers, Fourth Edition: Tim Williams, ISBN: 0750681705, ISBN-13: 978-0750681704. Copyright ©2007 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN: 981-259-985-1, ISBN-13: 978-981-259-985-8.

Copyright ©2008 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Printed in China by Publishing House of Electronics Industry under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由电子工业出版社与 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 在中国大陆合作出版。本版仅限在中国大陆 (不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区) 发行与销售。未经许可出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2007-3687

图书在版编目 (CIP) 数据

电磁兼容设计与测试: 第 4 版 / (英) 威廉斯 (Williams T.) 著; 李迪等译.

北京: 电子工业出版社, 2008.3

(国外电子与通信教材系列)

书名原文: EMC for Product Designers, Fourth Edition

ISBN 978-7-121-06081-6

I. 电… II. ①威… ②李… III. ①电磁兼容性-设计-教材… ②电磁兼容性-测试-教材 IV. TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 024588 号

责任编辑: 李秦华

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 26.75 字数: 685 千字

印 次: 2008 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题, 请向购买书店调换; 若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘 彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

译者序

近年来,随着电子技术的飞速发展,电磁兼容越发受到人们的广泛关注。在过去两年里,市场上涌现出大量跟电磁兼容有关的技术资料和书籍,包括各种译本和国内科技人员撰写的专著,尽管如此,本书仍不失为一本产品设计师不可多得的案头参考资料。

本书由英国著名电磁兼容专家 Tim Williams 撰写。在 2004 年,受电子工业出版社委托,本人与一位业界朋友合作翻译了第三版,没料想 Tim Williams 先生这么快就推出了新书,而这一次包括了以前没有涉及的内容,例如系统电磁兼容。与第三版相比,作者对部分章节进行了重新编排,删除了少许过时的内容,并相应地做了扩充,使得整体更加协调;新增的章节重点讨论了新指令、测试计划和系统电磁兼容的方方面面,将本书各个章节连成了一个有序的整体,使得读者可由点到面、从局部到整体地把握产品的电磁兼容设计,揭示了如何将电磁兼容规则结合到产品设计过程中去的方法,从而以最小的代价满足特定标准和法规的要求。

本书避免了繁琐、晦涩的理论推导——内容简洁、实用而通俗易懂,并且覆盖面广,从标准、测试到原理和管理,除了提供实用的公式,还增加了案例分析内容,可以作为电子产品设计部门在电磁兼容方面的必备入门参考书,也可以作为电子电气工程师进行电磁兼容培训和学习的标准教科书,还是广大电磁兼容测试工程师的良师益友。

非常感谢电子工业出版社这次约稿翻译,使我得以及时拜读 Tim Williams 先生的新作,在翻译过程中所受裨益匪浅。本人主笔翻译的内容为原书第 1 章、第 13 章至第 16 章,武韩翻译了原书第 2 章至第 4 章以及附录部分,张桂芬翻译了原书第 5 章至第 8 章,余辉翻译了第 9 章至第 12 章,最后由本人审校了全书。希望本书能为广大读者提供有力的帮助。

由于电磁兼容涉及的内容非常广泛和深入,加之译者水平所限,译文难免有不尽人意或不当之处,恳请广大读者多提宝贵意见,以正学识。

李迪

2007.11.26

前 言

广播电视信号的接收使用了无线电频谱。在数字电视之前的日子里,斑点、杂乱信号、雪花点、色彩与影像失真以及图像偶尔的彻底消失都是同一个原因——电磁干扰所引起的症状。而现在,干扰问题依然存在,但在数字图像上的表现方式有所不同——像素的部分模块化和图像完全冻结是现在的祸害,与模拟效应相比,也可能被看成是更让人恼火的问题。

当观看重要节目的时候,如果图像出现闪烁甚至消失,将会令观众非常恼火。就像一位音乐爱好者正准备从无线电广播翻录一段非常重要的节目时,却因为邻居家电钻的影响而无法找到安静的波段。在市中心内,如果紧急服务因为受到数千台计算机终端发射的无线电“烟雾”的影响,以至于信号模糊而无法通信时,那就非常危险了。

所有各种使用电磁波传递信息的无线电业务与产生电磁能量的技术过程及产品密切相关,尽管这些电磁能量是无用的副产物,但现在无线电业务的共存带来了众人所谓的电磁兼容问题。对此,折中的解决方案是:无线电业务必须允许某种程度的干扰存在,但该干扰发射应限制在某一水平,这就涉及到对干扰能量进行限制或抑制的方法,这种在经济上的妥协是与生俱来的。干扰的水平越低,则说明需要的发射机的功率越低,但抑制成本将更高。可以选择的是,若能接受大功率的发射机(频谱使用效率必然低),反过来它的抑制成本也低。在过去 10 年里,人们已经为允许的干扰水平制定了各种不同的标准,对经济上的这种平衡进行了检验。

电磁兼容问题不只限于对无线电业务的干扰。各类电子设备对外界干扰引起的故障非常敏感,这种现象已越来越引起人们的关注,这完全是因为两个原因。首先,在日常生活中的方方面面,电子设备的相互影响及其广泛深入的应用;其次,对于使用塑料外壳和微处理器的现代设备,它们的抗干扰能力相对更差。对于众多类型的电子装置,其对干扰的敏感度现在已成为一个问题,特别是那些由于安全或经济原因而必须连续运行的非常重要的设备。汽车和空间控制系统是前者的一个实例,而银行与通信网络则是后者的例子之一。

在认识到电磁兼容保护措施的必要性的情况下,为消除整个欧共体^① 范围内贸易保护主义壁垒,欧共体于 1989 年正式通过了一项指令——“各成员国就有关电磁兼容性法规达成的共识”,这就是大家所熟悉的电磁兼容指令。后来又进行了修订,在 2004 年末发布了新的版本。本书将在第 2 章中对此进行详细论述。

生产或进口电气、电子产品的每一家公司都应当有适当的措施来确保它们的产品符合指令要求。这表明企业的每一个环节都将需要了解电磁兼容。毫无疑问,电磁兼容会受到产品设计的影响。通常,从哪里开始了解电磁兼容,哪里就有设计与开发团队。电磁兼容也依赖于单个产品的装配方法,所以它对生产部门也有影响;同时,由于电磁兼容是累积起来的,也自然会影响到安装与技术服务人员以及用户文档。每一个产品单元都要确保实现电磁兼容,所以它会影响测试部门,影响产品的市场战略以及销售记录,从而影响市场与销售部门;此外,电磁兼

^① 即现在欧盟的前身——译者注。

容还极大地影响着公司的生存能力、责任和义务,所以高级管理人员必须了解电磁兼容指令。

现在有很多灌输和培养了解电磁兼容的各种方法,大多数电磁兼容培训课程及基础研讨会就是非常好的起点。尽管可以聘请顾问来解决电磁兼容符合性过程中的每一个问题,但对于大多数产品,这种做法代价太高,也非常麻烦,而且还不一定能够改善电磁兼容的初步教育和学习公司内真正需要的专家技术。派遣开发组中的每一位成员参加电磁兼容培训可能也是一种选择,这种做法肯定会促进电磁兼容的初步教育,但时间太长,可能也不那么有效。只有经过实践才可以正确理解电磁兼容技术,当然,实践的代价也很高。有些大公司有它们自己的培训计划,完全可以按照这种思路去做。

如果有可利用的资源,有一个较好的折中方案——任命一个人或者一个小组作为公司的电磁兼容专家技术中心来运作。其职责应当是实施电磁兼容指令的标准以及任何其他需要公司做的电磁兼容要求,长期地使电磁兼容的原理知识渗透到公司的每一个工作分支之中去,使它们成为分支自然而然的一部分。尽管这样做需要连续几年的教育与精心培养,但可能不再需要电磁兼容中心了。同时,它们的任务还包括:

- 为了贯彻电磁兼容原则,需要在整个开发和原型机阶段期间检视每一个新产品的的设计,必要时建议设计更改。
- 为每一个产品草拟并实施电磁兼容测试与控制计划。
- 指导和监督产品的预符合性和符合性测试,包括在公司内部以及联络外部的测试实验室。
- 继续了解、熟悉适用于公司产品的电磁兼容标准与法规。
- 与市场、销售、生产、测试、安装和服务部门保持联系,保证他们的策略与产品的电磁兼容要求一致。

上述只是对电磁兼容工程师工作范围维度所做的一个说明,这些可以比得上质量部门的任务;而的确,有时候与质量部门的工作结合在了一起。

第四版前言

在本书的第一版问世 14 年之后,第四版与大家见面了。那时候,电磁兼容指令的功能已经非常全面,大多数公司对它已很熟悉。但是,电磁兼容世界并没有停滞不前:指令已经发生了重大修订;更多新产品标准的发布;新的测试方法也已建立并已被人们学习来改善老的测试。尽管麦克斯韦方程并没有改变,但人们已对如何应用它来最大化产品的兼容性有了更深入的理解。时钟速度的加速和产品体积、封装、互连尺寸的缩小都还在继续。所以,即使你对本书较早一些版本很熟悉,在本书中仍然可以发现很多新的内容。

本书意图帮助公司电磁兼容中心的工作,现在看来它也正起着这样的作用:我非常高兴地看到本书被大范围地推荐阅读和使用。它可以作为电磁兼容工程师的参考书,或者作为不了解电磁兼容的设计师和技术人员的背景阅读材料,或者作为正在处理新工程的开发团队“军械库”中的一种武器。本书从内容上可包括三大部分。第一部分(第 1~5 章)讨论了围绕电磁兼容指令建立起来的欧洲法规的结构,以及与电磁兼容相关的事物、无线电和电信性能要求。本质上,这些章节主要是非技术性的内容。第 1 章介绍了干扰,第 2 章则接着讨论了电磁兼容指令的规定与获得符合性的方法;第 3 章回顾了 R&TTE 指令;第 4 章则详述商用标准制定结构,并描述了现有的与指令符合性相关的各种标准;第 5 章涵盖了那些较少受到 R&TTE 指令和电磁兼容指令影响的部分内容,例如汽车、军事、航空和铁路运输。

设计工程师和项目经理都需要对他们设计的产品所进行的测试有一种感觉。很可能既要作预符合性测试或全符合性测试,也要由第三方测试实验室所进行的测试。第二部分(第 6~9 章)探讨了这些问题。第 6 章包括了标准中规定的内部实验室和外部实验室都必须遵守的射频发射测试方法;第 7 章则讨论了有关抗扰度的内容:射频抗扰度、静电放电和瞬态抗扰度;第 8 章考虑的是低频技术,包括电源输入谐波电流和闪烁发射、工频磁场抗扰度和电压跌落、中断;最后,测试本身并没有开始,但是必须进行计划;第 9 章则讨论了糟糕的被忽略的电磁兼容符合性方面的问题。

第三部分(第 10~16 章)讨论了如何在设计阶段以最小的成本获得可接受的电磁兼容性能的各种技术。尽管在现成的设计上增加屏蔽或抑制元件使产品满足电磁兼容标准的做法是可行的,但这种强制性方法的成本高、时间长、效率低。相比而言,好得多的解决方案是从一开始设计,就遵循合适的设计原则,这样做产品就有机会第一次达到符合性要求;或者如果不能,修改方案实施起来也要容易得多。

第 10 章的内容包括与源到被干扰者的电磁干扰耦合有关的基本原理;第 11 章着眼于在求助于诸如屏蔽和抑制这种传统设计方法之前可以应用的技术;关注设备和印制电路板的布局、接地等;第 12 章则讨论了电路结构的选择、元器件及软件的特性;第 13 章继续详述公认的“特殊”电磁兼容技术,包括线缆的结构与端接、滤波方法和元器件以及屏蔽;有关屏蔽理论和实践(两者不一定总是相关)的内容放在第 14 章中;很多产品都是在系统内使用的,因此产品设计师需要正确评估与系统相关的电磁兼容,这些内容在第 15 章中可以看到;而第 16 章则讨

论了电磁兼容管理与控制原则;在本书的最后,集中在一起的一系列附录则提供了一些参考信息,还有几个实例分析以及对计算机辅助设计的分析和评论。

本书的大部分内容来自于为“电磁兼容设计与测试”培训准备的课堂笔记。我非常荣幸地看到产品设计人员来参加这些培训,是他们鼓励我继续改进本书的内容,而许多人都曾对它做过改进。我要特别感谢约克大学的 Andy Marvin 教授和 John Dawson 博士以及他们的同事;还要感谢 Jasper Goedbloed 博士和 Piet van der Laan 教授;我与 Schaffner 电磁兼容部门和 TÜV 产品服务公司有着长期而富有成效的合作关系。我还要继续特别感谢 David Riley, John Dearing, Ray Hughes 和 Nick Smith。在这里,我也必须要感谢 Alastair Duffy 博士,特别是我的同事 Dave Imeson, Keith Armstrong 和 Phil Carter。正是对这本书一贯的职责以及作者独到的见解,我希望读者们会发现这本书物有所值。

Tim Williams

2006 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 什么是电磁兼容	1
1.1.1 航空器中的便携式电子设备	2
1.1.2 对医疗设备的干扰	3
1.1.3 温度调节装置	5
1.1.4 嘎嘎叫的鸭子	5
1.2 系统间和系统内的兼容性	6
1.2.1 系统内的电磁兼容	6
1.2.2 系统间的电磁兼容	6
1.2.3 系统内遇到系统间问题	7
1.3 电磁兼容的范围	7
1.3.1 控制系统的故障	7
1.3.2 数据与编程处理的抗扰度	8
1.3.3 对射频接收的干扰	8
1.3.4 供电电源中的扰动	11
1.3.5 电力线通信	12
1.3.6 其他电磁兼容问题	15
1.3.7 兼容性裕量	16
1.4 电磁场与人体健康	17
1.4.1 ICNIRP 的基本限制	17
1.4.2 非热效应	18
第 2 章 电磁兼容指令	19
2.1 历史	19
2.1.1 新方法指令	19
2.1.2 立法背景	20
2.1.3 第一部电磁兼容指令	20
2.2 第 2 版电磁兼容指令	22
2.2.1 改变了什么	22
2.2.2 范围、要求和例外	22
2.2.3 CE 标志与符合性声明	26
2.2.4 生产质量评估	29
2.2.5 固定安装	30
2.2.6 系统	33
2.2.7 实施、执行与制裁	34

2.3	对指令的符合性	35
2.3.1	自我认证与内部生产控制	36
2.3.2	公告机构	38
2.3.3	测试	39
2.3.4	标准的使用	39
2.4	符合性行为	42
第 3 章	R&TTE 指令	44
3.1	R&TTE 指令的实施	44
3.1.1	范围	44
3.1.2	指令的要求	45
3.2	符合性评估程序	47
3.2.1	程序	47
3.2.2	无线电发射器的分类	48
3.2.3	公告	50
3.2.4	信息要求	51
3.2.5	设备和文档的标记	52
第 4 章	商用标准	54
4.1	标准制定组织	54
4.1.1	国际电工委员会(IEC)	54
4.1.2	CENELEC 和 ETSI	59
4.2	通用标准——发射	62
4.2.1	EN 61000-6-3:2001 + A11:2004	62
4.2.2	EN 61000-6-4:2001	62
4.3	重要的产品标准——发射	62
4.3.1	EN 55011:1998 + A1:1999 + A2:2002	62
4.3.2	EN 55014-1:2000 + A1:2001 + A2:2002	63
4.3.3	EN 55022:1998 + A1:2000 + A2:2003	63
4.4	通用标准——抗扰度	64
4.4.1	EN 61000-6-1:2001	64
4.4.2	EN 61000-6-2:2005	65
4.5	基础标准——EN 61000-3-X 和 4-X	66
4.5.1	EN 61000-3-X	66
4.5.2	EN 61000-4-X	67
4.6	产品标准	70
4.6.1	电视广播接收机及其相关设备	70
4.6.2	家用电器、电动工具及类似用途设备	72
4.6.3	照明设备	72
4.6.4	信息技术设备	73

4.6.5	专业视听和娱乐照明设备	73
4.6.6	测量、控制和实验室设备	74
4.6.7	火、入侵者及社会报警系统	74
4.6.8	电信网络设备	75
4.6.9	无线电设备	75
4.6.10	海上导航设备	76
4.6.11	医疗电设备	76
4.6.12	未来的多媒体	77
4.6.13	其他产品标准	78
4.7	和电磁兼容指令无关的其他标准	79
4.7.1	FCC 标准	79
4.7.2	测量标准	79
4.8	射频发射限值	80
第 5 章	其他标准及法规	82
5.1	汽车	82
5.1.1	汽车电磁兼容指令	82
5.1.2	ISO, CISPR 和 SAE 标准	84
5.1.3	汽车制造商	85
5.1.4	特殊要求	86
5.2	军事	86
5.2.1	DEF STAN 59-41	87
5.2.2	MIL STD 461	89
5.3	航空	90
5.3.1	DO-160/ED-14	91
5.4	铁路	92
5.4.1	铁路组标准	92
5.4.2	伦敦地铁标准	93
5.4.3	EN 50121	93
第 6 章	发射的测量	96
6.1	发射的测量仪器	96
6.1.1	测量接收机	96
6.1.2	频谱分析仪	97
6.1.3	接收机的规格	99
6.2	传感器	103
6.2.1	天线	103
6.2.2	线缆测量用的线路阻抗稳定网络和探头	107
6.2.3	近场探头	112
6.2.4	发射测试用的 GTEM 小室	114

6.3	场地和设施	115
6.3.1	辐射发射	115
6.4	测试方法	121
6.4.1	测试环境搭建	121
6.4.2	测试程序	123
6.4.3	1 GHz 以上的测试	124
6.4.4	军用发射测试	126
6.5	不确定度的来源	127
6.5.1	适用测量不确定度	127
6.5.2	不确定度的来源	128
第 7 章	抗扰度的测试	134
7.1	射频抗扰度	134
7.1.1	设备	134
7.1.2	测试设施	141
7.1.3	测试方法	143
7.1.4	传导射频抗扰度	146
7.1.5	射频抗扰度的测量不确定度	150
7.2	静电放电(ESD)和瞬态抗扰度	151
7.2.1	静电放电	151
7.2.2	电快速瞬变(EFT)脉冲群	153
7.2.3	浪涌	155
7.2.4	其他瞬态抗扰度测试	157
7.2.5	易变性的来源	158
7.2.6	瞬态测试的测量不确定度	159
7.3	军用敏感度测试	160
7.3.1	连续低频和射频敏感度	160
7.3.2	瞬态敏感度	160
第 8 章	低频测试	161
8.1	电源谐波电流与闪烁发射	161
8.1.1	测量设备	161
8.1.2	测试条件	163
8.1.3	设备分类与限值	163
8.1.4	闪烁	165
8.2	磁场与电源质量抗扰度	168
8.2.1	磁场	168
8.2.2	电压跌落和中断	170
第 9 章	测试计划	172
9.1	测试计划的必要性	172

9.1.1	鉴定认可的要求	172
9.1.2	标准的要求	172
9.1.3	客户的要求	173
9.2	测试计划的内容	174
9.2.1	待测设备(EUT)的描述	174
9.2.2	测试目的的声明	175
9.2.3	需要进行的测试	175
9.2.4	待测设备练习软件和辅助设备或仿真器	176
9.2.5	测试场地的要求	178
9.2.6	测试环境搭建的详细要求	178
9.2.7	如何评估测试结果	179
9.3	抗扰度性能判据	181
9.3.1	通用判据	181
9.3.2	通用判据的解释	182
第 10 章	干扰耦合机理	183
10.1	源与受害者	183
10.1.1	公共阻抗耦合	184
10.1.2	分布式近场耦合	186
10.1.3	电源线耦合	187
10.1.4	辐射耦合	188
10.1.5	耦合模式	190
10.2	发射	193
10.2.1	辐射发射	193
10.2.2	传导发射	196
10.3	抗扰度	199
10.3.1	辐射场	199
10.3.2	瞬态	202
10.3.3	静电放电	206
10.3.4	低频磁场	207
10.3.5	电源电压现象	209
10.4	电源谐波电流	210
10.4.1	电力供应者问题	210
10.4.2	非线性负载	210
第 11 章	布局与接地	213
11.1	设备的布局与接地	214
11.1.1	系统划分	214
11.1.2	接地	215
11.1.3	接地系统	218

11.2	PCB 的布局设计	221
11.2.1	无地平面的地布局	222
11.2.2	地平面的应用	223
11.2.3	I/O 与电路地的规划	234
11.2.4	PCB 布局规则	236
第 12 章	数字与模拟电路的设计	239
12.1	发射控制的设计	239
12.1.1	傅里叶频谱	239
12.1.2	逻辑电路产生的辐射	243
12.1.3	数字电路的去耦	250
12.1.4	模拟电路与发射	254
12.1.5	开关电源	256
12.1.6	其他电源开关电路	261
12.2	抗扰度设计	262
12.2.1	数字电路:干扰路径	262
12.2.2	逻辑电路的噪声抗扰度	268
12.2.3	信号完整性和地反弹	270
12.2.4	微处理器的看门狗电路	271
12.2.5	防御性编程	275
12.2.6	瞬态与射频抗扰度——模拟电路	278
第 13 章	接口与滤波	284
13.1	线缆与连接器	284
13.1.1	传播模式	284
13.1.2	线缆回路电流	285
13.1.3	串扰	285
13.1.4	低频时的线缆屏蔽层	287
13.1.5	射频时的线缆屏蔽层	289
13.1.6	线缆屏蔽层的类型	289
13.1.7	屏蔽线缆的连接	292
13.1.8	非屏蔽线缆	294
13.1.9	结构化线缆:UTP 与 STP	297
13.2	滤波与抑制	298
13.2.1	滤波器的结构	298
13.2.2	元件	301
13.2.3	电源滤波器	306
13.2.4	I/O 滤波(输入/输出滤波)	311
13.2.5	瞬态抑制	313
13.2.6	接触器的保护	316