

面向“十一五”无线电管理重点图书

WUXIANDIAN PINPU GUANLI YU JIANCE XILIE CONGSHU

无线电频谱管理与监测系列丛书

电磁兼容 测试技术

国家无线电监测中心 阚润田 编著



人民邮电出版社

无线电频谱管理与监测系列丛书

电磁兼容测试技术

国家无线电监测中心 阙润田 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电磁兼容测试技术 / 阚润田编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009.12

(无线电频谱管理与监测系列丛书)

ISBN 978-7-115-20418-9

I. 电… II. 阚… III. 电磁兼容性—测试技术 IV. TN03

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第020113号

内 容 提 要

本书是一本电磁兼容方面的技术图书, 书中的讨论重点是电磁兼容测试技术。全书内容共分 8 章, 比较详细地介绍了电磁兼容的基本概念、电磁兼容的理论基础、电磁干扰的解决措施、电磁兼容测试场地、电磁兼容测试设备、电磁兼容测量方法、电磁辐射的比吸收率和电磁环境评价等内容。

本书内容丰富、全面系统、实用性很强, 可以使读者快速、全面地掌握电磁兼容基础和测试的相关知识。本书既可以作为广大从事电磁兼容设计和测试等工作的工程师必不可少的工具书或者培训教材, 也可作为高等学校相关专业的教学参考书。

无线电频谱管理与监测系列丛书

电磁兼容测试技术

-
- ◆ 编 著 国家无线电监测中心 阚润田
责任编辑 梁 凝
 - ◆ 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>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.5 2009 年 12 月第 1 版
字数: 513 千字 2009 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-20418-9/TN

定价: 58.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

本书的研究工作曾受到国家“863”重大专项“射频识别应用中的通信测试技术研究（项目编号：2006AA04A106）”的项目资助。

《无线电频谱管理与监测系列丛书》编委会

主任委员：奚国华

副主任委员：刘利华 张胜利 江晓海 刘 岩

编 委：（按姓氏笔画排名）

王 健 尹纪新 田效宁 朱三保 刘九一 刘丽君

李 明 李 建 李海清 李景春 宋大勇 陈进星

陈秋林 邵起树 周 青 周鸿顺 郑维强 侯瑞庭

姜 华 顾小澄 黄 颖 谢飞波 谢远生 阚润田

薛永刚 霍 刚

主 编：李景春 李 明

序 言

信息产业部无线电管理局、国家无线电监测中心和国家无线电频谱管理中心组织编写的《无线电频谱管理与监测系列丛书》正式出版了。这是推动无线电管理系统广大干部职工深入学习、提高技术水平和业务素质的一项基础性工作，非常及时，很有意义。

无线电技术是信息产业发展的重要先导技术和推动力量，随着当前国民经济和社会的快速发展，人民物质生活水平的不断提高，各类无线电业务已经渗透到社会经济生活的各个领域，广泛应用于通信、广播、电视、国防、交通、航空、航天等行业和部门。无线电技术的飞速发展，特别是以蜂窝数字移动通信、数字集群通信、宽带无线接入、卫星数字多媒体广播等技术为代表的新技术、新业务层出不穷，极大地推动了社会经济的发展，丰富了人民群众的物质文化生活。此外，在满足农村和偏远地区通信普遍服务需求，帮助边远贫困地区跨越数字鸿沟，实现公平的信息共享方面，无线电通信技术也在发挥其特殊的作用。

随着无线电技术的广泛应用和无线电业务的逐渐普及，人们对无线电频率资源的需求与日俱增。无线电频率和卫星轨道是人类共享的有限自然资源，它与水、土地、矿藏等资源一样，是关系国民经济和社会可持续发展的重要战略资源，具有稀缺性，归国家所有。无线电频谱管理与监测的主要任务就是合理规划和分配无线电频率和卫星轨道资源，科学管理各类无线电台站，为各类无线电业务的正常开展保驾护航。做好无线电频谱的管理工作，对于保障国家安全和人民的生命财产安全，以及推动科学研究、开发和探索，促进社会与经济进步，都具有重大的意义。

为国家管好无线电频谱资源，是无线电管理工作者责无旁贷的使命和职责。长期以来，各级无线电管理机构的广大干部职工认真履行职责，坚持加强管理、保护资源、保障安全健康发展的方针，科学地规划和分配无线电频率资源，合理地审批无线电台站，加强无线电频率台站管理，加大无线电监测和干扰查处力度，在维护空中电波秩序、维护国家主权和信息安全等方面作出了积极贡献，促进了无线电事业的持续协调发展。据不完全统计，截至2004年底，全国除移动电话外的各类无线电台站总数为186万个（不包括军队），国内有关部门和单位设置卫星通信网络182个（双向、单向）、双向通信地球站1.1万个、在用静止卫星17颗、非静止卫星6颗、广播电台4万个、微波站4.3万个。

无线电频谱管理与监测工作是一项技术性、专业性很强的工作。无线电事业的繁荣发展，对无线电频谱管理与监测工作提出了更高的要求，在队伍建设、专业技术、管理能力等方面提出了新的挑战。加强广大干部职工的专业培训，培养高层次、实用型人才，已成为各级无线电管理机构面临的一项紧迫而重要的任务。近年来，信息产业部无线电管理局、国家无线电监测中心和国家无线电频谱管理中心投入大量人力、物力，组织了岗位练兵、业务培训等各类专项培训活动，有效提高了专业技术人员的技术水平和业务素质，对于推动无线电频谱

和监测工作的开展起到了积极作用。

组织编写《无线电频谱管理与监测系列丛书》，也是他们开展专业培训的一项重要内容。这套丛书立足于我国具体国情，定位于世界先进水平，注重技术应用，力求内容全面、结构合理、基础扎实、重点突出，努力为全面缩短我国无线电管理工作与世界领先水平的差距服务。丛书的出版填补了我国无线电频谱管理与监测方面长期没有适合中国国情培训教材的空白，将成为广大从事无线电管理工作的技术和行政人员不可或缺的学习教材和参考读物。这套丛书还适于各类无线电业务使用者，无线电设备生产、无线电测量、无线电监测与测向等专业的从业者阅读。

丛书的作用能否得到最大限度的发挥，关键在于应用。希望各级无线电管理机构适应新形势、新任务的要求，组织干部职工认真学习、深入研究，通过丛书提高大家的理论素养和业务能力，把从丛书中学到的知识运用到工作实践中，使丛书为提升无线电频谱管理和监测工作的技术水平，促进我国无线电事业的繁荣健康发展起到积极的作用。

是为序。

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '刘平' (Liu Ping) in a cursive style.

2005年9月19日

丛书前言

几千年来，从烽火报信、快马传书、驿站梨花，到发明电报、电话、互联网，人们追求时空通信自由的努力从未停止过。人们梦想有朝一日拥有在任何时间、任何地点与任何人的无束缚通信自由。要获得这种自由，利用无线电波进行通信必不可少。

随着电子技术的不断发展和进步，无线电业务的应用领域迅速扩大，各种移动通信、卫星通信、广播电视、雷达导航、遥测遥控、射电天文等应用遍及国防、公共安全、商用和工业等各个部门，其业务量在日益增大。

无线电业务的迅猛发展对无线电频谱的管理和监测提出了新的挑战，无线电频率和卫星轨位资源供需矛盾紧张和电磁环境日益复杂的矛盾日趋尖锐，这些都对无线电管理的技术手段提出了更高的要求。

全国无线电管理机构在各级政府的大力支持下，不断加强无线电管理，技术设施建设方面取得了巨大的成绩，同时也深刻认识到加强人才队伍建设的重要性。而对于无线电管理人才队伍的建设，各级无线电管理机构普遍反映迫切需要一套涉及各种无线电业务的基础理论与技术，覆盖应用指南和国际规则等内容，上下衔接、相互协调的培训教材。但是由于无线电管理的独特性，即具有行政、法律、经济和技术4种手段的综合性，现有理论书籍和教材都不能适合工作的需要，希望国家有关部门能够组织编写一套适用于无线电频谱管理与监测等方面的系统化丛书。

为此，信息产业部无线电管理局、国家无线电监测中心和国家无线电频谱管理中心组织国内相关领域的知名专家、学者启动了《无线电频谱管理与监测系列丛书》的编写工作。内容涉及无线电频谱管理与监测各个方面的基础理论和专业知识，主要有：电磁场基础理论、天馈线理论与应用、无线电监测与测向、无线电频谱工程和共用原理、无线电设备检测方法 with 标准、计算机网络与技术等。

这一系列丛书不同于其他专著或一般高校教材，它不仅介绍有关物理概念和基本原理，而且更着重于引导读者把概念和原理应用于实际，且论证简明扼要，避免了烦琐的数学推导。

对于支持编辑出版《无线电频谱管理与监测系列丛书》的各级领导和专家学者，我们表示衷心感谢。同时，殷切希望广大读者和各专业领域的专家、学者对今后系列丛书的建设提出宝贵意见和建议，使系列丛书日臻完善。

《无线电频谱管理与监测系列丛书》

编委会

2005年8月

前 言

随着科学技术的不断发展，在有限的时间、空间和有限的频谱资源条件下，由于各种电气、电子设备的数量与日俱增，频谱使用的密集程度越来越大，电磁干扰问题越来越受到人们的普遍关注，并已经发展为一门新的综合学科——电磁兼容（EMC）。

电磁兼容是研究在有限的空间、时间和频谱资源等条件下，各种用电设备（广义的还包括生物体）可以共存并不致引起降低性能的一门科学。目前电磁兼容已经过了40多年的发展，其基础不断深化，内容不断发展，范围不断扩大，系统不断完善。

电磁兼容学科研究的主要内容是如何使处于同一电磁环境下的各种电气、电子设备或系统能够正常工作而又互不干扰，达到所谓的“兼容”状态。电磁兼容学科涉及的理论基础主要包括数学、电磁场理论、天线与电波传播、电路理论、信号分析、通信理论、材料科学和生物医学等。电磁兼容学科包含的内容十分广泛，实用性很强，不仅仅限于电气、电子设备，而且还可以涉及自然干扰源、电磁辐射对人体的生态效应，信息处理设备电磁泄漏产生的失密，地震前电磁辐射检测预报等问题，几乎所有现代工业，包括电力、交通、通信、航天、军工、计算机、医疗卫生等都必须解决电磁兼容问题。

在电磁兼容学科所包含的众多内容中，电磁兼容测试是一个非常重要的组成部分。电磁兼容测试是按电磁兼容测量标准，在规范的电磁兼容实验室里，使用规范的测量设备，遵照标准的测量方法进行的测试。测试结束后给出受试设备（EUT）是否达到标准要求的结论，对于没有达到标准要求的EUT，还要给出超标的具体数值。

由于电磁兼容测试的重要性，电磁兼容测试人才的培养就显得十分重要。目前，广大电磁兼容测试人员迫切需要一本涉及电磁兼容测试技术，同时兼顾电磁兼容基础知识，并能与国际规则接轨和相互协调的培训教材或者参考书。因此，广大电磁兼容测试人员希望国家有关部门能够组织编写一本适合他们使用 and 学习的有关电磁兼容测试的书籍。为此，工业和信息化部无线电管理局、国家无线电监测中心和国家无线电频谱管理中心启动了《电磁兼容测试技术》一书的编写工作。

本书由国家无线电监测中心阚润田编著，作者在编写的过程中参考了不少专家和学者的著作、学术论文和经验总结等。没有这些帮助，本书是不可能顺利完成的，因此，在这里对他们表示最诚挚的谢意！由于有些学术论文和经验总结已经无法找到出处，所以未能在参考文献中列出，在此深表歉意。此外，北京邮电大学电信工程学院博士生导师李书芳教授为本书的编写作出了巨大贡献，北京市无线电监测站姜雪松为本书的编写进行了大量资料的收集和整理工作，对他们的辛勤劳动表示感谢！

由于作者的水平有限，书中难免会存在一些不足之处或者错误，恳请广大读者和相关专家批评指正。

目 录

第 1 章 电磁兼容综述	1
1.1 电磁兼容基本概念	1
1.1.1 电磁兼容的定义	1
1.1.2 电磁骚扰和电磁干扰	2
1.1.3 共模干扰和差模干扰	3
1.1.4 电磁兼容的设计	4
1.2 电磁兼容术语	5
1.3 电磁兼容的标准化工作.....	18
1.3.1 电磁兼容的标准化组织.....	18
1.3.2 电磁兼容的相关标准.....	21
1.4 电磁兼容测试.....	25
第 2 章 电磁兼容基础	27
2.1 电磁场的基本理论.....	27
2.1.1 电磁场的基本规律.....	27
2.1.2 麦克斯韦方程和电磁场的边界条件.....	29
2.1.3 静态电磁场.....	32
2.1.4 谐变电磁场.....	34
2.1.5 波导理论.....	35
2.2 电磁干扰.....	38
2.2.1 电磁干扰的性质.....	39
2.2.2 电磁干扰三要素.....	39
2.3 电磁兼容控制技术.....	42
2.3.1 传输通道抑制.....	42
2.3.2 空间分离.....	45
2.3.3 时间分隔.....	45
2.3.4 频率管理.....	46
2.3.5 电气隔离.....	46
第 3 章 电磁干扰的三大解决措施	48
3.1 接地技术.....	48

3.1.1	地的概念和种类	48
3.1.2	常见的接地方式	49
3.1.3	地回路干扰及抑制措施	52
3.1.4	接地系统设计	54
3.1.5	搭接技术	57
3.2	滤波技术	59
3.2.1	滤波技术和滤波器的分类	59
3.2.2	电源线滤波器	63
3.2.3	信号滤波器	66
3.2.4	铁氧体在抑制 EMI 中的应用	70
3.3	屏蔽技术	71
3.3.1	电磁屏蔽原理	71
3.3.2	电场屏蔽	72
3.3.3	磁场屏蔽	74
3.3.4	电磁场屏蔽	79
3.3.5	屏蔽效能	79
3.3.6	屏蔽材料	83
3.3.7	孔缝泄漏的抑制措施	86
第 4 章	电磁兼容测试场地	90
4.1	开阔试验场	90
4.1.1	开阔试验场概述	90
4.1.2	开阔试验场的组成	91
4.1.3	开阔试验场有效性校验——离散频率测量法	92
4.1.4	开阔试验场有效性校验——扫描频率测量法	97
4.2	电磁屏蔽室	98
4.2.1	电磁屏蔽室概述	98
4.2.2	屏蔽效能的定义及计算	98
4.2.3	屏蔽室的屏蔽效能	101
4.2.4	电磁屏蔽室的辅助设施	102
4.2.5	屏蔽效能校验	103
4.3	电波暗室	107
4.3.1	电波暗室概述	107
4.3.2	电波暗室的技术要求和性能指标	109
4.3.3	半电波暗室与全电波暗室的区别	112
4.3.4	半电波暗室的设计	113
4.4	横电磁波室(TEM Cell)	115
4.5	吉赫兹横电磁波室(GTEM Cell)	116

第 5 章 电磁兼容测试设备	118
5.1 测试天线	118
5.1.1 天线的基本参数	118
5.1.2 电小偶极子理论	122
5.1.3 典型的各种线天线	124
5.1.4 典型的各种面天线	131
5.2 测量接收机	134
5.2.1 测量接收机的基本原理	134
5.2.2 准峰值测量接收机	136
5.2.3 其他测量接收机	141
5.3 测量接收机的辅助测量设备	141
5.3.1 人工电源网络(AN)	141
5.3.2 人工电源网络的电路图	144
5.3.3 电流探头	146
5.3.4 电压探头	148
5.3.5 吸收式功率钳	148
5.4 骚扰分析仪	150
5.4.1 骚扰分析仪的基本特性	150
5.4.2 骚扰分析仪的一致性校验	150
5.5 频谱分析仪	153
5.5.1 实时频谱分析仪	153
5.5.2 扫频频谱分析仪	155
5.5.3 频谱分析仪的结构原理	157
5.5.4 典型的频谱分析仪简介	161
5.5.5 频谱分析仪的使用	164
5.5.6 频谱分析仪的频率测量误差	165
5.5.7 频谱分析仪的幅度测量误差	166
5.6 功率计	169
5.7 信号发生器	172
5.7.1 信号发生器概述	173
5.7.2 信号发生器的原理	174
5.7.3 信号发生器的工作检查	177
第 6 章 电磁兼容测量方法	179
6.1 传导骚扰测量	179
6.1.1 传导骚扰测量设备	179
6.1.2 传导骚扰测量方法	186
6.2 辐射骚扰测量	189

6.2.1	辐射骚扰测量设备	189
6.2.2	辐射骚扰测量方法	192
6.3	抗扰度测量	195
6.3.1	抗扰度试验准则和一般测量方法	196
6.3.2	传导信号抗扰度测量方法	197
6.3.3	辐射电磁场干扰的抗扰度测量方法	197
6.4	抗扰度试验	199
6.4.1	静电放电抗扰度试验	200
6.4.2	射频电磁场辐射抗扰度试验	205
6.4.3	电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	210
6.4.4	浪涌(冲击)抗扰度试验	215
6.4.5	射频场感应的传导骚扰抗扰度试验	222
第7章	电磁辐射的比吸收率(SAR)	226
7.1	电磁辐射暴露	226
7.1.1	人体电磁辐射暴露的问题	226
7.1.2	人体电磁辐射暴露的标准化组织	227
7.1.3	我国电磁辐射暴露标准的制定	231
7.1.4	电磁辐射暴露标准化工作的发展	231
7.2	比吸收率(SAR)	232
7.2.1	SAR的定义	232
7.2.2	SAR的限值	233
7.2.3	手持无线通信设备 SAR 值的影响因素	235
7.3	时域有限差分法计算 SAR 值	236
7.3.1	电磁场数值计算方法	236
7.3.2	时域有限差分法	239
7.3.3	FDTD 的基本原理	241
7.3.4	电磁波对人体作用的计算	252
7.3.5	手持无线设备对头部近场辐射的 SAR 值计算	253
7.4	手持无线通信设备的 SAR 值测量系统	254
7.4.1	SAR 值测量系统的通用要求	254
7.4.2	SAR 值测量设备的性能要求	256
7.4.3	SAR 值的测量方法与测量步骤	261
7.5	工程实践——偶极子天线近场辐射 SAR 实验和仿真	267
7.5.1	偶极子天线近场辐射 SAR 实验	267
7.5.2	偶极子天线近场辐射 SAR 仿真	269
7.5.3	实验结果和仿真结果比对分析	271

第 8 章 电磁环境评价基础及应用——TD-SCDMA 基站的环评	273
8.1 电磁环境评价研究的背景及意义	273
8.2 电磁环境研究的国内外动态	274
8.3 电磁环境研究的依据与标准	276
8.4 TD-SCDMA 基站环评方法	278
8.4.1 底噪测量	278
8.4.2 理论分析	278
8.4.3 现场测量	278
8.4.4 给出评价结论	280
8.5 电磁辐射环境保护对策建议	281
附录 一个 GSM900/DCS1800 手机 SAR 值的测试数据	287
参考文献	320

第 1 章

电磁兼容综述

1.1 电磁兼容基本概念

随着科学技术的不断发展，在有限的时间、空间和有限的频谱资源条件下，由于各种电气、电子设备的数量与日俱增，频谱使用的密集程度越来越大，电磁干扰问题越来越受到人们的普遍关注，并发展为一门新的综合学科——电磁兼容。

1.1.1 电磁兼容的定义

电磁兼容 (EMC, Electromagnetic Compatibility) 对于常见设备或系统的性能指标来说，可以直接翻译为“电磁兼容性”，但是作为一门学科来说，应该翻译为“电磁兼容”。美国 IEEE 学报 Transaction RFI 分册在 1964 年改名为 EMC 分册，如果以此作为电磁兼容学科形成的标志，距今已有 40 多年了。40 多年来，电磁兼容的基础不断深化，内容不断发展，范围不断扩大，系统不断完善。

电磁兼容是研究在有限的空间、时间和频谱资源等条件下，各种用电设备（广义的还包括生物体）可以共存并不致引起降级使用的一门科学。电磁兼容性是“设备（分系统、系统）在共同的电磁环境中能一起执行各自功能的共存状态，即该设备不会由于受到处于同一电磁环境中的其他设备的电磁发射导致或遭受不允许的降级，它也不会使同一电磁环境中的其他设备（分系统、系统）因受其电磁发射而导致或遭受不允许的降级”。由此可见，电磁兼容学科研究的主要内容是如何使处于同一电磁环境下的各种电气、电子设备或系统能够正常工作而又互不干扰，达到所谓的“兼容”状态。

电磁兼容学科包含的内容十分广泛，实用性很强，不仅限于电气、电子设备，而且还可以涉及自然干扰源、电磁辐射对人体的生态效应，信息处理设备电磁泄漏产生的失密，地震前电磁辐射检测预报等问题，几乎所有现代工业，包括电力、交通、通信、航天、军工、计算机、医疗卫生等都必须解决电磁兼容问题。

电磁兼容学科涉及的理论基础主要包括数学、电磁场理论、天线与电波传播、电路理论、信号分析、通信理论、材料科学和生物医学等。

电磁兼容研究的主要问题包括电磁干扰源、电磁干扰的耦合、电磁兼容控制技术、电磁兼容测量、电磁兼容分析和电磁兼容标准等。

通常，电磁兼容包括以下 3 方面的含义。

(1) 电磁环境应该是给定的或可预期的。

(2) 设备、分系统或系统不应该产生超过标准或规范所规定的电磁干扰 (EMI) 发射限值的要求。电磁干扰发射就是从干扰源向外发出电磁骚扰能量的一种现象,它是引起电磁骚扰的原因。

(3) 设备、分系统或系统应满足标准或规范所规定的电磁敏感性 (EMS) 限值或抗扰度 (即抗干扰性, Immunity) 限值的要求。电磁敏感性即在存在电磁骚扰的情况下,设备、分系统或系统不能避免的性能降低的能力;抗扰度即设备、分系统或系统面临电磁骚扰不降低其运行性能的能力。

1.1.2 电磁骚扰和电磁干扰

电磁干扰是现代电路工业面对的一个主要问题。为了克服干扰,电路设计者要么移走干扰源,要么设法保护电路不受干扰。这样做的目的都是为了使电路能够按照预期的目标来工作,即达到电磁兼容性。

一般来说,仅仅实现板级的电磁兼容性是不够的。虽然电路是在板级工作的,但是它会对系统的其他部分辐射出噪声信号,从而产生系统级的问题。另外,系统级或者设备级的电磁兼容性必须要满足某些电磁兼容标准,这样才不会影响其他设备或装置的正常工作。很多发达国家对电子设备和仪器都有严格的电磁兼容性标准,为了达到这个标准,设计者必须从板级设计开始就考虑抑制电磁干扰。

在电磁兼容的研究过程中,常常涉及电磁骚扰和电磁干扰两个概念,这两个概念是相互区别并且联系的。其中,电磁干扰 (EMI, Electromagnetic Interference) 是指电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能的下降,电磁骚扰 (Electromagnetic Disturbance) 则是指任何可能引起装置、设备或系统性能下降或者对有生命物质产生损害作用的电磁现象。可见,电磁骚扰仅仅是客观存在的一种物理现象,而电磁干扰是由电磁骚扰引起的后果,读者一定要十分注意区分这两个概念。

通常,电磁干扰的3个基本要素如图1-1所示,它们的具体含义介绍如下。

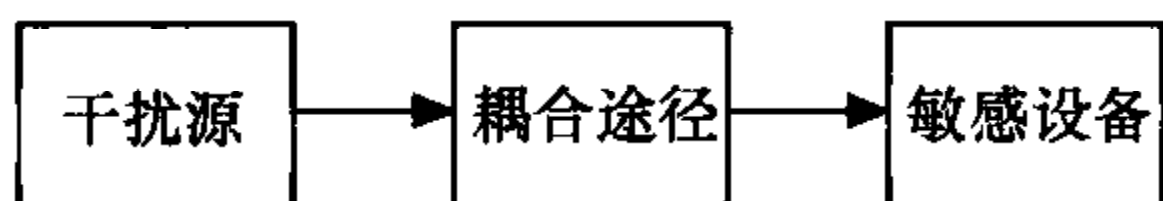


图 1-1 电磁干扰的 3 个基本要素

(1) 电磁干扰源:指产生电磁干扰的任何元件、器件、设备、系统或自然现象。

(2) 耦合途径或称耦合通道:指将电磁干扰能量传输到受干扰设备的通路或媒介。

(3) 敏感设备:指当受到电磁干扰源所发射的电磁能量的作用时,会受到伤害的人或其他生物,以及会发生电磁危害,从而导致性能降级或失效的器件、设备、分系统或系统。一般来说,许多器件、设备、分系统或系统既可以是电磁干扰源,同时也可以敏感设备。

一般来说,干扰源有多种分类方法,根据干扰的耦合途径可分为传导干扰和辐射干扰:传导干扰是指通过导体传输的干扰,一般也称为传导发射 (CE, Conducted Emission);而辐射干扰是指通过介质 (包括自由空间) 以电磁场的形式传输的干扰,一般也称为辐射发射 (RE, Radiation Emission)。

由干扰源发出的干扰电磁能量,经过耦合途径将干扰能量传输到敏感设备,使敏感设备的工作受到影响,这一作用过程也叫做电磁干扰效应。因此,为了实现电磁兼容,必须从上面3个基本要素出发,综合运用技术和组织两方面的措施。

技术措施是指从分析电磁干扰源、耦合途径和敏感设备出发,运用有效的技术手段,抑制干扰源、消除或减弱干扰的耦合、降低敏感设备对干扰的响应或增加电磁敏感性电平。

组织措施是指为了对人为骚扰进行抑制,并验证所采取技术措施的有效性为目的,制定和遵循一套完整的标准和规范,进行合理的频谱分配,控制与管理频谱的使用,依据频率、工作时间、天线方向性等规定的工作方式,分析电磁环境并选择布置地域,进行电磁兼容性管理等方面的研究。

1.1.3 共模干扰和差模干扰

一般来说,电磁干扰所造成的电磁污染、水污染和空气污染被称为当今人类社会的三大污染源。电磁干扰以辐射和传导两种方式传播:能量通过磁场或电磁耦合,或以干扰源与受扰设备间的电磁波形式传播,称为辐射干扰;能量通过电源线、数据线、公共地线等传送或接收,称为传导干扰。

传导干扰可以分为差模干扰和共模干扰两种类型:差模干扰在系统两电源线(相线与中线)间产生干扰电压,而与地线无关,差模电流从一电源线流出,由另一电源线返回;共模干扰在每一电源线与地之间产生干扰电压,共模电流从干扰源通过分布电容入地,沿地线传播,再经过每一电源线返回。

通过上面的定义可以得出:差模干扰在两导线之间传输,属于对称性干扰;共模干扰在导线与地(机壳)之间传输,属于非对称性干扰。

共模干扰表明干扰是由辐射或串扰耦合到电路中来的,而差模干扰则表明干扰是源于同一电源电路的。一般情况下,这两种干扰是同时存在的,由于线路阻抗的不平衡,两种干扰在传输中还会相互转化,所以情况十分复杂。

判断干扰方式的简便方法是采用电流探头,探头先单独环绕每根导线,得出单根导线的感应电流数值,然后再环绕两根导线(其中一根是地线)测量出其感应电流数值,如果后者的感应电流数值大于前者,说明线路中的干扰电流是共模的,反之则是差模的。

骚扰电流在导线上传输时有两种方式,分别是共模方式和差模方式,传输方式如图1-2所示。如果一对导线上流过差模电流,则两条线上的电流大小相等,方向相反;而如果一对导线上流过共模电流,则两条线上的电流大小相等,方向也相同。骚扰电流在导线上传输时可以以共模或差模的形式出现,但共模电流只有转化为差模电流后,才能对有用信号造成干扰。

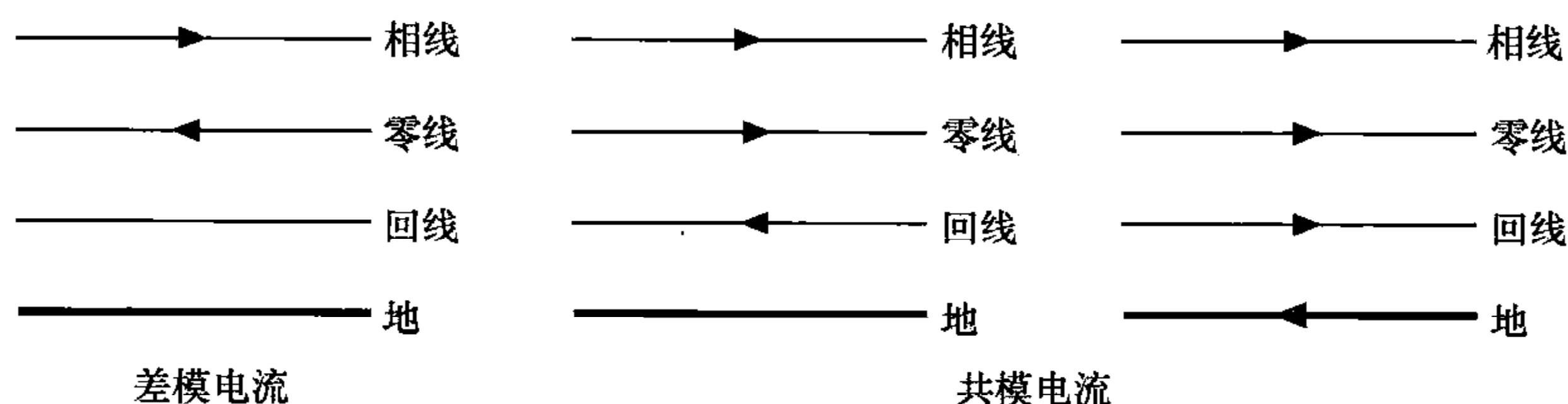


图1-2 差模电流与共模电流的传输方式

差模电流流过电路中的导线环路时,将引起差模辐射。事实上,电路中的导线环路相当于小环天线,具有很强的辐射磁场和接收磁场的的能力,因此在实际设计中必须要限制环路的大小和面积。当用小环天线产生的辐射来模拟差模辐射时,可设环电流为 I ,环面积为 S ,