

电磁兼容 (EMC) 工程技术丛书

电磁兼容 (EMC) 设计与测试



移动通信产品

◎ 主 编 陈立辉

◎ 副主编 朱文立 杨 林 刘群兴



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电磁兼容 (EMC) 工程技术丛书

电磁兼容 (EMC) 设计与测试



移动通信产品

主 编 陈立辉

副主编 朱文立 杨 林 刘群兴

主 审 陈 辉

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是一本关于移动通信产品电磁兼容测量与设计介绍的入门级工具书,通过浅显易懂的语言和图文并茂的方式,摒弃烦琐公式和理论,深入浅出,对电磁兼容基础知识进行了简要介绍,重点针对移动通信产品的电磁兼容测量标准及电磁骚扰和电磁抗扰度的测量原理、测量设备、试验布置试验方法及结果评价等内容进行了详细介绍,并针对容易出现电磁兼容问题的 PCB 设计、射频辐射发射设计、静电防护设计、浪涌(雷击)防护设计等方面分析产生问题的原因并提出针对性的解决方法,再通过大量的实例进行了详细的讲解,让普通的读者对电磁兼容的概念、测量和设计有一个初步的了解和认识,也为大家进一步深入研究电磁兼容技术打下基础。

本书可作为电磁兼容初学者、移动通信产品设计人员、电磁兼容测试人员及管理人士的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容(EMC)设计与测试之移动通信产品 / 陈立辉主编. —北京: 电子工业出版社, 2014.1
(电磁兼容(EMC)工程技术丛书)

ISBN 978-7-121-21757-9

I. ①电… II. ①陈… III. ①移动通信—电子产品—电磁兼容性—设计②移动通信—电子产品—电磁兼容性—测试 IV. ①TN929.5②TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 255280 号

策划编辑: 张 榕

责任编辑: 王凌燕

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 720×1 000 1/16 印张: 17 字数: 381 千字

印 次: 2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 49.80 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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。

电磁兼容 (EMC) 工程技术丛书

编
委
会

主 编:

陈立辉

副主编:

朱文立 杨 林 刘群兴

编 委:

陈 燕 陈 辉 肖 猛

郭远东 余海涛 李雪玲

李铁华 黎俊勇 张军马

宋 俊

专家介绍

张林昌

电磁兼容技术专家，北京交通大学资深教授，中国电磁兼容学科和技术的开拓者之一。在电气铁道无线电噪声的研究方面提出了测量数据的数理统计方法和对电台影响的闭环试验法等，为国家节约了大量基建投资。他主持了国内唯一进行电磁噪声统计参数的研究工作，积极推动电磁兼容测试场地的规范化和电磁兼容标准化工作，为我国电磁兼容事业的发展做出了重要贡献。获国家科技进步二等奖2项；省、部级科技进步一等奖1项、二等奖6项、三等奖4项；国家发明专利1项。曾先后获得北京市劳动模范、铁道部优秀教师、全国高校先进科技工作者、全国铁路优秀知识分子、首届詹天佑成就奖；荣获 IEEE 颁发的“第三个千年奖章”（Third Millennium Medal）；四次入选在美国出版的马奎斯世界名人录（MARQUIS：“Who’s Who in the World”）。

陈立辉

工信部电子五所副所长，实验室负责人，高级工程师。国家实验室认可委员会电气技术分委会副主任委员，全国质量监管重点产品检验方法标准化技术委员会委员兼全国质量监管重点产品检验方法标准化技术委员会信息技术类产品检验方法专业工作一组组长，长期从事电子产品、信息技术产品检测认证和技术研究工作，参与多项国家标准、行业标准的起草和修订。

朱文立

工信部电子五所检测中心质量负责人，高级工程师。全国电磁兼容标准化技术委员会（SAC/TC264）委员，全国无线电干扰标准化委员会 A 分会（SAC/TC79/SC1）委员，全国无线电干扰标准化委员会 I 分会（SAC/TC79/SC7）副主任委员，中国制造工艺协会电子分会电磁兼容制造专业委员会副主任委员，全国质量监管重点产品检验方法标委会 IT 一组（SAC/TC374/WG37）委员，IECEE 中国国家认证机构电磁兼容专家工作组（CQC-ETF10）组长，科技部国际科技合作同行专家，广东省 WTO TBT 专家，广州市质监局标准化专家库专家。参与制定电磁兼容国家标准 10 余份，审定电磁兼容国家标准 40 余份，在专业期刊公开发表专业论文 30 余篇。主编及参与合编电磁兼容专著数本。

杨林

工信部五所检测中心主任，高级工程师。从事家用电子产品开发与生产工作及电子产品检测与认证工作。历任产品检测工程师，高级工程师，产品认证工厂审核员，IECEE 国际同行评审员，熟悉音视频产品与办公设备的产品标准，了解国内外检测认证的现状，2001 年起主要担任检测认证和科研项目的管理工作。

刘群兴

工信部五所检测中心技术负责人，高级工程师。3C 认证高级工厂检查员，节能认证高级工厂检查员，全国工业产品生产许可证审查员，中国质量认证中心（CQC）项目审核工程师，CB 报告审核工程师，技术委员会委员，广东省名牌产品评审专家，WTO/TBT 技术评议专家，任国家标准化技术委员会下属的三个不同技术委员会委员。先后在电子五所从事仪器维修、电子产品设计与生产、自动控制工程研发与应用、电子电器产品质量检测与认证工作。发表专业论文 20 余篇，获使用新型专利 2 项，参与编写 4 份国家强制性标准。

陈辉

高级工程师，工信部电子五所检测中心电磁兼容实验室主任。全国电磁兼容标准化技术委员会高频现象分技术委员会委员，全国无线电干扰标准化技术委员会 B 分会委员，广东省质检机构检验员考核专家，广东省产品质量鉴定专家，中央单位政府采购评审专家，国家移动通信产品质量监督检查实施规范主编人，国家注册质量工程师，CCC 认证工厂检查员，实验室内审员。多年负责信息技术产品、音视频产品、移动电话产品、灯具及汽车电子等产品质量检测工作，参与了多项电磁兼容国家标准的审定和制定工作。

序言

《《《《《 FOREWORD

近二十余年来,随着中国经济的崛起和腾飞,电子技术高速发展并得以广泛应用,电子电器产品的生产和销售在中国得到了广泛和深入发展。在国际上,1989年欧盟发布了第一个电磁兼容指令,该指令要求任何电子电器产品,若不能满足有关电磁兼容的欧洲“协调标准”,均不能在欧盟范围内进口、销售。这一指令的发布与实施,导致了世界各国对工业产品的电磁兼容性强制性的关注。2001年中国加入了世界贸易组织(WTO),中国电子电器产品的生产与世界化的大生产融于一体,成为国际化大生产的一个链条。2001年12月国家质量监督检验检疫总局发布第5号令:《强制性产品认证管理规定》,开始了我国对产品的强制性认证工作。因此,这二十余年正是电磁兼容设计和检测技术发展最迅速的时期。

中国赛宝实验室作为国内第一批获得中国电磁兼容认证授权、中国强制性产品认证电磁兼容检测授权的实验室,目睹了这个发展过程。而且作为向企业提供第三方检测技术服务的单位,成为发展过程的一个有力的推动机构,为中国电子电器产品的质量保证做出了应有的贡献。中国赛宝实验室电磁兼容室也随着电磁兼容技术发展而快速发展,在为以珠三角为中心辐射全国的数千家企业、数万个型号的产品提供检测和认证服务的过程中,积累了大量电磁兼容检测和设计经验。

为了让这些经验更好地服务于企业和社会,使企业的产品设计和管理人员快速了解和掌握电磁兼容入门知识,保证产品的电磁兼容质量,优化我国的电磁环境,促进国际贸易;同时也为了让用户对所使用产品的电磁兼容性能有一个初步认识,更合理、更放心地使用,发挥电子电器产品应有的功能,中国赛宝实验室及其同行们组织编著了这套《电磁兼容(EMC)工程技术丛书》,将他们这些年来积累的电磁兼容测试与设计经验介绍给读者。

《电磁兼容(EMC)工程技术丛书》包括下列各分册:《电磁兼容(EMC)设计与测试之电脑及其外围产品》、《电磁兼容(EMC)设计与测试之移动通信产品》、《电磁兼容(EMC)设计与测试之汽车电子产品》、《电磁兼容(EMC)设计与测试之照明灯具设备》、《电磁兼容(EMC)设计与测试之信息技术》、《电磁兼容(EMC)设计与测试之电视电声产品》、《电磁兼容(EMC)设计与测试之家用电器》等。

《电磁兼容(EMC)工程技术丛书》具有以下特色:第一,以公众常用的电子电

器产品为主、按照产品分类各自成册，涉及面广、类别全面、与相关标准对口明确，便于读者选购。第二，各分册根据各自产品的特点介绍其对应的电磁兼容基础理论、检测标准、测量过程、设计方法、整改对策等相关知识，以便按标准的要求将测量结果直接用于指导设计与整改。这种结构的电磁兼容书籍当前并不多见。第三，尽量抛开深奥的理论和复杂的公式推导，采用浅显易懂的语言、深入浅出的方式、图文并茂的编排，伴有大量的现场照片和实例，使读者在轻松愉快的阅读中了解和学习电磁兼容的相关知识。

相信本丛书的出版与发行，将使普通的读者对电磁兼容的概念、测量和设计有一个初步的了解和认识，也将为正在电磁兼容领域工作的读者进一步深入研究电磁兼容技术奠定基础，从而为推动我国的电磁兼容检测和设计技术的发展贡献一份力量。

张林昌

前言

《《《《 PREFACE

本书是《电磁兼容（EMC）工程技术丛书》的《电磁兼容（EMC）设计与测试之移动通信产品》分册，主要针对移动通信产品及其外围设备的电磁兼容基础理论、检测标准、测量过程、设计方法、整改对策等相关知识做一个全面介绍。

本书在“电磁兼容基础篇”首先对电磁兼容的概念、研究领域、电磁干扰的危害等做一个简要介绍，告诉大家什么是电磁兼容，电磁兼容做哪些事情，为什么要实施电磁兼容等；接着分别介绍了进行移动通信产品电磁兼容测量要用到哪些测量仪器设备和测量场地；最后介绍了移动通信产品电磁兼容测量原理及测量方法。

本书在“电磁兼容测量篇”首先介绍了电磁兼容标准化的相关知识及国内、国际电磁兼容标准发展情况，并对移动通信产品的电磁兼容检测国家标准及其与国际标准的关系进行了详细介绍；在此基础上，介绍了移动通信产品的电磁骚扰及电磁抗扰度的测量，并对测量原理、测量设备、试验布置、试验方法及结果评价等内容进行了详细介绍。

本书在“电磁兼容设计与对策篇”就移动通信产品容易出现电磁兼容问题的PCB设计、射频辐射发射设计、静电防护设计、浪涌（雷击）防护设计等方面分别进行了介绍。其内容包括各自产生问题的原因及针对性的解决方法，并通过大量的实例来讲解电磁兼容设计和整改对策过程。

本书在陈立辉副所长和杨林主任及刘群兴副主任的精心组织和安排下，由朱文立负责全书的整体策划、设计和协调；陈辉负责全书统稿和审核；参与人员根据各自专长分工协作，共同编著完成。参加本书编写的还有：肖猛、李雪玲、陈燕、郭远东、黎俊勇、张军马、余海涛、李铁华、宋俊。本书是在这些作者的共同努力下完成的，没有大家的通力合作就没有此书。作为本书的主要策划人，在此对各位作者付出的辛勤劳动表示衷心的感谢！

本书编写过程中得到了电子工业出版社张榕女士及其同事的大力支持、指导和帮

助，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，不当之处，欢迎批评指正。

为了成书的技术连贯性和完整性，本书在编著过程中也吸纳了部分电磁兼容专家的技术论文和成果，在此对这些文章的作者表示衷心感谢！

本书使用了部分从网络获得的图片，部分图片几经转载，由于检索手段有限，无法获取并列原始出处，在此一并对原作者付出的劳动表示深深的感谢！

编 者

目录

CONTENTS

第一篇 电磁兼容基础篇

第1章 电磁兼容基础知识	(3)
1.1 电磁兼容的定义及研究领域	(3)
1.1.1 电磁兼容的定义	(3)
1.1.2 电磁兼容的研究领域	(5)
1.2 电磁干扰的危害	(10)
1.2.1 强电磁场对人类健康的危害	(10)
1.2.2 弱电磁场可能导致的危害	(11)
1.3 电磁兼容测量常用的单位	(12)
1.3.1 功率	(13)
1.3.2 电压	(14)
1.3.3 电流	(15)
1.3.4 磁场强度与电场强度	(15)
1.3.5 功率密度	(17)
第2章 移动通信产品电磁兼容测量场地及测量设备	(19)
2.1 移动通信产品电磁兼容测量场地	(19)
2.1.1 开阔式试验场	(19)
2.1.2 电波暗室	(21)
2.1.3 屏蔽室	(31)
2.2 移动通信产品电磁骚扰测量设备	(33)
2.2.1 测量接收机	(33)
2.2.2 频谱分析仪	(34)
2.2.3 人工电源网络	(35)
2.2.4 阻抗稳定网络	(38)
2.2.5 接收天线	(40)
2.2.6 预选放大器、衰减器和脉冲限幅器	(44)
2.2.7 电流探头	(46)
2.2.8 电压探头和示波器	(48)



2.2.9	谐波电流、电压波动和闪烁测量系统	(49)
2.2.10	带阻滤波器或点阻滤波器	(52)
2.3	移动通信产品电磁抗扰度测量设备	(53)
2.3.1	静电放电发生器	(53)
2.3.2	信号发生器	(55)
2.3.3	功率放大器	(57)
2.3.4	定向耦合器	(59)
2.3.5	功率计	(60)
2.3.6	发射天线	(61)
2.3.7	场强测量仪	(61)
2.3.8	电快速瞬变脉冲群发生器及耦合/去耦合装置	(63)
2.3.9	浪涌组合波发生器及耦合/去耦合装置	(66)
2.3.10	用于传导骚扰抗扰度测量的耦合/去耦合装置	(70)
2.3.11	电压暂降、短时中断和电压变化试验信号发生器	(73)
2.3.12	工频磁场试验发生器及感应线圈	(75)
2.3.13	车载环境抗扰性测试的试验脉冲发生器	(78)
第3章	移动通信产品电磁兼容测量原理及方法	(80)
3.1	移动通信产品电磁骚扰测量原理及方法	(80)
3.1.1	骚扰限值的含义	(80)
3.1.2	被测样品 (EUT) 工作状态的选择	(81)
3.1.3	被测样品 (EUT) 的配置	(83)
3.1.4	传导骚扰电压测量	(83)
3.1.5	辐射骚扰场强测量	(88)
3.1.6	传导杂散骚扰测量	(93)
3.1.7	辐射杂散骚扰测量	(96)
3.2	移动通信产品电磁抗扰度测量原理及方法	(97)
3.2.1	性能降低客观评价方法	(97)
3.2.2	性能降低主观评价方法	(98)
3.2.3	限值测量法	(98)
3.2.4	抗扰度性能降低分类及试验结果判别	(98)
第二篇 电磁兼容测量篇		
第4章	标准介绍	(103)
4.1	国内标准介绍	(103)
4.1.1	我国的标准化组织	(103)





4.1.2	移动通信设备无线电骚扰标准	(107)
4.1.3	移动通信设备无线电抗扰度标准	(109)
4.2	国外标准介绍	(110)
4.2.1	国际电磁兼容标准化组织	(110)
4.2.2	移动通信设备无线电骚扰标准	(118)
4.2.3	移动通信设备无线电抗扰度标准	(118)
4.3	国内外标准的关系和差异	(119)
4.3.1	与国际标准的关系	(119)
4.3.2	与国内标准的关系	(120)
4.3.3	与国际标准的差异	(121)
第5章	移动通信产品骚扰测量	(123)
5.1	概述	(123)
5.1.1	移动通信产品介绍	(125)
5.1.2	EUT 工作状态	(126)
5.1.3	EUT 测试条件和配置	(129)
5.2	移动通信产品传导连续骚扰	(130)
5.2.1	限值应用	(132)
5.2.2	试验设备	(134)
5.2.3	试验布置	(135)
5.2.4	试验方法	(137)
5.2.5	测试结果表达	(139)
5.3	移动通信产品辐射连续骚扰 (30~1000MHz)	(139)
5.3.1	限值应用	(140)
5.3.2	试验设备	(142)
5.3.3	试验布置	(143)
5.3.4	试验方法	(144)
5.3.5	测试结果表达	(145)
5.4	移动通信产品辐射连续骚扰 (1GHz 以上)	(145)
5.4.1	限值应用	(146)
5.4.2	试验设备	(146)
5.4.3	试验布置	(147)
5.4.4	试验方法	(147)
5.4.5	测试结果表达	(148)
5.5	移动通信辐射杂散骚扰	(149)
5.5.1	限值应用	(149)



5.5.2	试验设备	(150)
5.5.3	试验布置	(150)
5.5.4	试验方法	(151)
5.5.5	测试结果表达	(153)
第6章	移动通信产品抗扰度测量	(154)
6.1	概述	(154)
6.1.1	测试基本原理	(155)
6.1.2	电磁危害和抗扰度的关系	(157)
6.1.3	一般测量方法	(157)
6.1.4	性能降低评价方法	(158)
6.2	移动通信产品传导抗扰度	(160)
6.2.1	试验原理	(160)
6.2.2	性能判据	(161)
6.2.3	项目适用性	(162)
6.2.4	试验设备	(162)
6.2.5	试验方法	(163)
6.2.6	试验布置	(164)
6.3	移动通信产品辐射抗扰度	(165)
6.3.1	试验原理	(166)
6.3.2	性能判据	(166)
6.3.3	项目适用性	(167)
6.3.4	试验设备	(168)
6.3.5	试验方法	(168)
6.3.6	试验布置	(169)
6.4	移动通信产品静电放电抗扰度	(171)
6.4.1	试验原理	(171)
6.4.2	性能判据	(172)
6.4.3	项目适用性	(172)
6.4.4	试验设备	(172)
6.4.5	试验方法	(173)
6.4.6	试验布置	(174)
6.5	移动通信产品电快速脉冲群抗扰度	(175)
6.5.1	试验原理	(175)
6.5.2	性能判据	(176)
6.5.3	项目适用性	(176)

6.5.4	试验设备	(177)
6.5.5	试验方法	(177)
6.5.6	试验布置	(177)
6.6	移动通信产品浪涌(雷击)抗扰度	(178)
6.6.1	试验原理	(179)
6.6.2	性能判据	(180)
6.6.3	项目适用性	(180)
6.6.4	试验设备	(180)
6.6.5	试验方法	(181)
6.6.6	试验布置	(182)
6.7	移动通信产品电压暂降、短时中断抗扰度	(183)
6.7.1	试验原理	(183)
6.7.2	性能判据	(184)
6.7.3	项目适用性	(185)
6.7.4	试验设备	(185)
6.7.5	试验方法	(185)
6.7.6	试验布置	(187)
6.8	移动通信产品瞬变和浪涌抗扰度试验(车载环境)	(187)
6.8.1	试验原理	(188)
6.8.2	性能判据	(189)
6.8.3	项目适用性	(190)
6.8.4	试验设备	(190)
6.8.5	试验方法	(191)
6.8.6	试验布置	(192)

第三篇 电磁兼容设计与对策篇

第7章	移动通信设备的PCB设计要点	(195)
7.1	PCB设计对移动通信设备EMC性能的重要性	(195)
7.1.1	移动通信设备PCB设计的特殊性	(195)
7.1.2	移动通信设备EMC性能的决定因素分析	(196)
7.1.3	移动通信设备中的共模干扰信号	(197)
7.1.4	镜像平面在移动通信设备PCB设计中的重要性	(198)
7.2	移动通信设备的PCB布局	(199)
7.2.1	选择多层板	(199)
7.2.2	移动通信设备中特殊器件和敏感电路的布局	(200)



7.2.3	多功能的移动通信设备主电路功能模块的布局	(202)
7.2.4	移动通信设备的 I/O 口及互联端口的布局	(203)
7.2.5	移动通信设备 PCB 设计中地平面的规划	(204)
7.2.6	案例: 环路引起的干扰	(206)
7.3	移动通信设备的 PCB 布线	(207)
7.3.1	地线的敷设对移动通信设备 EMC 性能的重要性	(207)
7.3.2	电源线的敷设在移动通信设备 PCB 布线中的作用	(208)
7.3.3	移动通信设备中信号线的敷设	(209)
7.3.4	移动通信设备如何防止串扰的产生	(210)
7.3.5	移动通信设备中使用 3W 原则的价值和意义	(210)
第 8 章	移动通信设备的射频辐射发射	(212)
8.1	移动通信设备的辐射从哪里来	(212)
8.1.1	电磁兼容三要素	(212)
8.1.2	移动通信设备内的辐射骚扰源	(215)
8.1.3	窄带与宽带的概念在移动通信设备 EMC 问题解决中的运用	(215)
8.2	移动通信设备的辐射发射机理	(217)
8.2.1	寄生参数对于移动通信设备 EMC 性能的影响	(217)
8.2.2	如何减小移动通信设备中电磁骚扰的传输路径阻抗	(219)
8.2.3	移动通信设备中共模骚扰信号的传输路径	(220)
8.2.4	常见的发射天线模型可以帮助你认识移动通信设备的 EMC 辐射发射问题	(221)
8.2.5	从三要素角度看移动通信设备的 EMC 辐射发射问题	(222)
8.3	移动通信设备 EMC 问题的解决方法 and 对策	(223)
第 9 章	移动通信设备的静电防护	(225)
9.1	移动通信设备静电放电 (ESD) 的发生	(225)
9.1.1	静电荷的产生和累积	(225)
9.1.2	静电放电中电荷的泄放	(226)
9.1.3	静电放电的频谱	(227)
9.1.4	静电放电影响设备工作的干扰模式	(228)
9.1.5	静电放电对移动通信设备的特殊意义	(229)
9.2	移动通信设备的静电放电防护	(230)
9.2.1	设置低阻抗路径	(230)
9.2.2	避开敏感电路	(231)
9.2.3	采用绝缘材料	(232)
9.2.4	加装防护元件	(232)



第 10 章 移动通信设备的浪涌（雷击）防护	(235)
10.1 移动通信设备浪涌（雷击）的发生	(235)
10.1.1 移动通信设备的电磁环境	(235)
10.1.2 浪涌（雷击）产生的原因	(236)
10.1.3 浪涌（雷击）对移动通信设备带来的危害	(239)
10.1.4 移动通信设备防护浪涌（雷击）的特殊性	(240)
10.2 移动通信设备的浪涌（雷击）防护	(241)
10.2.1 常见的防护器件	(241)
10.2.2 大能量脉冲的防护思路	(243)
10.2.3 移动通信设备中使用的防护器件选型指南	(244)
10.2.4 移动通信设备推荐使用的防护电路	(248)
参考文献	(251)



第一篇

电磁兼容基础篇