

电磁兼容 (EMC) 工程技术丛书

电磁兼容 (EMC) 设计与测试



汽车电子产品

◎ 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



汽车电子产品

主 编 陈立辉

副主编 朱文立 杨 林 刘群兴

主 审 郭远东

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是一本关于汽车电子产品电磁兼容测试与设计的入门级工具书,通过浅显易懂的语言和图文并茂的方式,摒弃烦琐的公式和理论,深入浅出,对电磁兼容基础知识进行了简要介绍,重点针对汽车电子产品的电磁兼容测试标准,以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给出了详细介绍。另外,针对容易出现电磁兼容问题的 PCB 设计、射频辐射发射设计、瞬态脉冲防护设计、射频辐射抗扰度防护设计等方面,分析产生问题的原因并提出具有针对性的解决方法,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。

本书适合于电磁兼容初学者,以及从事汽车电子行业的工程技术人员使用。

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)设计与测试之汽车电子产品 / 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 978-7-121-21840-8

I. ①电… II. ①陈… III. ①汽车—电气设备—电磁兼容性—设计②汽车—电气设备—电磁兼容性—测试 IV. ①U463.6②TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 268562 号

策划编辑:张 榕

责任编辑:桑 哟

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:13.25 字数:300 千字

印 次:2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:39.80 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 zllts@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。

郭远东

工信部电子五所检测中心电磁兼容实验室高级项目工程师，赛宝质量可靠性总体解决平台首席诊断师，广东省质检协会专家组成员，广东省人力资源职业能力开发专家委员会委员。长期从事 EMC 检测、认证、设计与对策工作。现已发表论文 15 篇，参与编写著作 2 本，申请发明专利 1 项。

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能强制性的关注。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障做出了应有的贡献。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 design 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）设计与测试之汽车电子产品》分册，主要针对汽车电子产品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”中，首先对电磁兼容的概念、研究领域、电磁干扰的危害等给出了一个简要介绍，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；接着分别介绍了汽车电子产品电磁兼容测量要用到的测量仪器、设备和测量场地；最后介绍了汽车电子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”中，首先介绍了电磁兼容标准化的相关知识，以及国内、国际电磁兼容标准的发展情况，并对汽车电子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，介绍了汽车电子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”中，就汽车电子产品容易出现电磁兼容问题的PCB设计、射频辐射发射设计、瞬态脉冲防护设计、射频辐射抗扰度防护设计等方面分别进行了介绍。介绍的内容包括各自产生问题的原因及具有针对性的解决方法，并通过大量的实例来讲解电磁兼容设计和整改对策。

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；郭远东负责全书的统稿和审核；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陈辉、陈燕、肖猛、余海涛、李雪玲、李铁华、黎俊勇、张军马、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。

本书在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，欢迎读者批评指正。

为了成书的技术连贯性和完整性，在本书编写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的感谢！

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 强电磁场对人体健康的危害	(10)
1.2.2 弱电磁场可能导致的危害	(10)
1.3 电磁兼容测量的常用单位	(12)
1.3.1 功率	(12)
1.3.2 电压	(13)
1.3.3 电流	(14)
1.3.4 磁场强度	(15)
1.3.5 功率密度	(16)
第2章 汽车电子产品电磁兼容测量场地及测量设备	(18)
2.1 汽车电子产品电磁兼容测量场地	(18)
2.1.1 开阔试验场	(18)
2.1.2 半电波暗室(装有吸波材料的屏蔽室)	(20)
2.1.3 屏蔽室	(25)
2.1.4 TEM 小室	(27)
2.1.5 带状线	(29)
2.2 汽车电子产品电磁骚扰测量设备	(30)
2.2.1 测量接收机	(30)
2.2.2 人工电源网络	(31)
2.2.3 天线	(32)
2.2.4 预选放大器、衰减器和脉冲限幅器	(37)
2.2.5 电流探头	(38)
2.2.6 电压探头和示波器	(40)
2.3 汽车电子产品电磁抗扰度测量设备	(41)



2.3.1	静电放电发生器	(41)
2.3.2	信号发生器	(42)
2.3.3	功率放大器	(44)
2.3.4	定向耦合器	(46)
2.3.5	功率计	(47)
2.3.6	发射天线	(48)
2.3.7	场强测量仪	(48)
2.3.8	电流注入探头	(50)
2.3.9	车载环境抗扰性测试的试验脉冲发生器	(50)
第3章	汽车电子产品电磁兼容测量原理及方法	(52)
3.1	汽车电子产品电磁骚扰测量原理及方法	(52)
3.1.1	骚扰限值的含义	(52)
3.1.2	被测样品 (EUT) 工作状态的选择	(53)
3.1.3	被测样品 (EUT) 的配置	(54)
3.1.4	传导骚扰电压测量	(55)
3.1.5	辐射骚扰场强测量	(58)
3.2	汽车电子产品电磁抗扰度测量原理及方法	(62)
3.2.1	性能降低客观评价方法	(62)
3.2.2	性能降低主观评价方法	(62)
3.2.3	限值测量法	(63)
3.2.4	抗扰度性能降低分类及试验结果判别	(63)

第二篇 电磁兼容测量篇

第4章	标准介绍	(67)
4.1	电磁兼容标准化组织	(67)
4.1.1	EMC 国际标准化组织	(67)
4.1.2	中国 EMC 标准化组织	(68)
4.2	国际国内电磁兼容标准	(70)
4.2.1	国际电磁兼容标准	(71)
4.2.2	国家电磁兼容标准	(75)
4.2.3	欧盟 EMC 指令	(78)
4.3	汽车电子产品国内外标准介绍	(79)
4.3.1	汽车电磁兼容国际性标准	(80)
4.3.2	欧洲汽车电磁兼容标准	(81)
4.3.3	美国汽车工程学会 (SAE) 电磁兼容标准	(82)
4.3.4	国内汽车电磁兼容标准	(84)





第 5 章 汽车电子设备骚扰测量	(85)
5.1 概述	(85)
5.1.1 汽车电子产品介绍	(87)
5.1.2 汽车电子设备的工作条件	(88)
5.1.3 限值应用	(88)
5.2 汽车电子设备传导发射测试——电压法 (150kHz~108MHz)	(89)
5.2.1 限值应用	(90)
5.2.2 试验设备	(93)
5.2.3 试验布置	(95)
5.2.4 试验方法	(98)
5.2.5 测试结果表达	(99)
5.3 汽车电子设备传导发射测试——电流法 (150kHz~108MHz)	(99)
5.3.1 限值应用	(99)
5.3.2 试验设备	(102)
5.3.3 试验布置	(103)
5.3.4 试验方法	(104)
5.3.5 测试结果表达	(105)
5.4 汽车电子设备辐射发射测试 (150kHz~2500MHz)	(105)
5.4.1 限值应用	(106)
5.4.2 试验设备	(108)
5.4.3 试验布置	(110)
5.4.4 试验方法	(116)
5.4.5 测试结果表达	(117)
第 6 章 汽车电子产品抗扰度测量	(118)
6.1 概述	(118)
6.1.1 测试基本原理	(119)
6.1.2 电磁干扰和抗扰度的关系	(121)
6.1.3 一般测量方法	(121)
6.1.4 性能降低评价方法	(122)
6.2 汽车电子产品辐射场抗扰度	(123)
6.2.1 试验原理	(123)
6.2.2 性能判据	(124)
6.2.3 项目适用性	(124)
6.2.4 试验设备	(125)
6.2.5 试验方法	(125)
6.2.6 试验布置	(131)



6.3 汽车电子产品传导耦合/瞬态抗扰度	(134)
6.3.1 试验原理	(134)
6.3.2 性能判据	(136)
6.3.3 项目适用性	(136)
6.3.4 试验设备	(136)
6.3.5 试验方法	(138)
6.3.6 试验布置	(139)
6.4 汽车电子产品静电放电抗扰度	(141)
6.4.1 试验原理	(141)
6.4.2 性能判据	(142)
6.4.3 项目适用性	(142)
6.4.4 试验设备	(143)
6.4.5 试验方法	(143)
6.4.6 试验布置	(144)

第三篇 电磁兼容设计与对策篇

第7章 汽车电子产品的PCB设计要点	(149)
7.1 PCB设计对汽车电子产品EMC性能的重要性	(149)
7.1.1 汽车电子产品EMC性能的决定因素分析	(149)
7.1.2 汽车电子产品中的共模干扰信号	(150)
7.1.3 汽车电子产品的EMC设计特殊性分析	(151)
7.1.4 案例：使用多层PCB可大幅提高汽车电子产品的EMC性能	(152)
7.2 汽车电子产品的PCB布局	(153)
7.2.1 汽车电子产品电路板层数的选择	(153)
7.2.2 汽车电子产品中特殊器件和敏感电路的布局	(154)
7.2.3 汽车电子产品主电路功能模块的布局	(155)
7.2.4 汽车电子产品的I/O口及互连端口的布局	(157)
7.2.5 汽车电子产品PCB设计中地平面的规划	(158)
7.2.6 案例：减小环路面积的方法	(159)
7.3 汽车电子产品的PCB布线	(160)
7.3.1 地线敷设在汽车电子产品PCB设计中的重要性	(160)
7.3.2 汽车电子产品电源线的敷设	(161)
7.3.3 汽车电子产品信号线的敷设	(162)
7.3.4 汽车电子产品如何防止串扰的产生	(163)
7.3.5 汽车电子产品中使用3W原则的价值和意义	(163)



第 8 章 汽车电子产品的射频辐射发射	(165)
8.1 汽车电子产品的辐射从哪里来	(165)
8.1.1 电磁兼容三要素	(165)
8.1.2 汽车内的电子产品辐射骚扰源	(166)
8.1.3 窄带与宽带对解决汽车电子产品 EMC 问题的重要意义	(167)
8.2 汽车电子产品的辐射发射机理	(169)
8.2.1 寄生参数对汽车电子产品 EMC 性能的影响	(169)
8.2.2 汽车电子产品电磁干扰传输路径的阻抗	(169)
8.2.3 汽车电子产品共模干扰信号的传输路径	(170)
8.2.4 汽车电子产品常见的发射天线模型	(171)
8.2.5 站在三要素角度看待汽车电子产品的 EMC 辐射发射问题	(173)
第 9 章 汽车电子产品的瞬态脉冲防护	(174)
9.1 汽车电子产品瞬态脉冲的发生	(174)
9.2 GB/T 21437.2 中各种瞬态脉冲的形成原因和特点	(175)
9.2.1 供电系统电磁骚扰	(175)
9.2.2 发电机抛负载瞬变	(175)
9.2.3 激磁衰减瞬变	(176)
9.2.4 感性负载瞬变骚扰	(176)
9.2.5 点火系统电磁骚扰	(176)
9.2.6 触点放电骚扰	(177)
9.2.7 静电骚扰	(178)
9.2.8 电磁耦合骚扰	(178)
9.3 汽车电子产品的瞬态脉冲防护	(178)
第 10 章 汽车电子产品的射频辐射抗扰度	(182)
10.1 汽车电子产品射频辐射干扰信号的侵入	(182)
10.1.1 寻找汽车电子产品中的接收天线	(182)
10.1.2 汽车电子产品中孔、缝的影响	(183)
10.1.3 汽车电子产品中共模信号与差模信号的转换	(184)
10.1.4 射频辐射干扰造成汽车电子产品功能失效的原因	(186)
10.2 汽车电子产品的射频辐射干扰防护	(187)
10.2.1 汽车电子产品中常见的屏蔽措施	(187)
10.2.2 汽车电子产品中屏蔽线缆的使用	(188)
10.2.3 汽车电子产品中屏蔽体端口的处理	(189)
10.2.4 汽车电子产品中屏蔽体孔、缝的处理	(189)
参考文献	(191)



第一篇

电磁兼容基础篇



第1章

电磁兼容基础知识

1.1 电磁兼容的定义及研究领域

1.1.1 电磁兼容的定义

电磁兼容的英文名称为“Electromagnetic Compatibility”，通常用缩写“EMC”来表示。很多人会认为这门学科离我们的生活很远。其实，电磁现象无时无刻不在我们身边发生，产品的电磁兼容性对人们生活的影响是非常大的。消费者都非常关心汽车的安全问题，汽车的安全问题涉及很多领域，电磁兼容就是其中的重要部分。汽车的空间相对狭小，但在这狭小的空间内却集中了大量的电子设备，如导航仪、汽车音响、倒车雷达和安全气囊等。在有限的空间内，各汽车电子产品应能通过电磁兼容测试，汽车组装完毕后还要做整车电磁兼容测试，如图 1-1 所示。

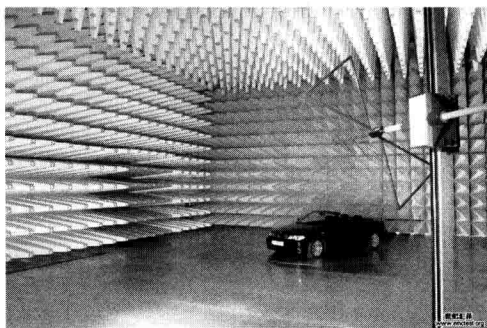


图 1-1 整车电磁兼容测试

国家标准 GB/T 4365—2003 和国家军用标准 GJB 72A—2002 中对电磁兼容分别给出了专业的定义，也有人给出了与以上两个标准不同的定义，如图 1-2 所示。