

电磁兼容技术系列

电磁兼容 (EMC) 设计与测试

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

◎ 尚开明 编著

本书读者对象：

- ▶ 电磁兼容技术初学者
- ▶ 项目设计开发人员
- ▶ 系统测试人员
- ▶ 系统抽验及认证人员

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电磁兼容技术系列

电磁兼容 (EMC) 设计与测试

尚开明 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了电磁兼容技术，每章都提供了具有针对性的实例，进一步说明电磁兼容技术在实际工作中的应用，实现理论与实际的结合，力求达到较好的使用效果。书中从电磁兼容测试的角度进一步阐述了电磁兼容技术，通过对测试项目的介绍，分析测试整改技巧，提高实用性，增强测试针对性。

全书分为两部分，第一部分着重介绍电磁兼容设计技术，分别从接地、屏蔽、滤波、PCB 板级设计及线缆设计方面阐述，主要介绍通常采用的方法，结合错误做法进行对比分析，参照当今著名电磁兼容专家的相关著作，继承了经典知识分析，融入了作者工作中的实践思想；第二部分着重介绍电磁兼容测试方面的技术，介绍常见的测试项目、测试标准、测试方法等，着重从整改技巧方面对各个测试项目进行分析，分别处理，并结合作者的常年测试实例，结合电磁兼容理论进行分析阐述。书中包含了作者总结出来的容易出现的问题及处理整改技巧，力求使读者收到融会贯通、触类旁通、举一反三的效果。

本书既适合电磁兼容初学者学习使用，也适合设计开发人员、测试人员阅读。书中既有电磁兼容技术的普及，收集整理了大量的设计开发规范供设计开发人员参考，同时也列举了大量的实例、分析整改思想及方法，对测试人员有很好的参考价值。

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 / 尚开明编著. —北京：电子工业出版社，2013.5

（电磁兼容技术系列）

ISBN 978-7-121-19324-8

I. ①电… II. ①尚… III. ①电磁兼容性—设计②电磁兼容性—测试 IV. ①TN0

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 309794 号

策划编辑：王敬栋（wangjd@phei.com.cn）

责任编辑：徐 萍

印 刷：北京中新伟业印刷有限公司

装 订：北京中新伟业印刷有限公司

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：787×1092 1/16 印张：13.25 字数：339 千字

印 次：2013 年 5 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：35.00 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。

前 言

随着电子产品、数码产品的日益快速发展，我们的生活变得丰富多彩，有许多的电子产品供我们消遣，有许多的电子产品为我们服务，减小了我们的劳动量，也有许多的电子产品作为工具，帮助我们去探知科学的奥妙。社会的进步离不开科学技术的发展，这是科学技术带来的积极影响。

另一方面，科学技术的快速发展和电子产品的更新换代使得我们周围的环境变得日益残酷。我们的周围大量充斥着各种各样的电磁场，电磁场通过传导及辐射方式影响着我们的生活，影响着我们使用的电子产品，使得这些电子产品不能正常工作，产生意想不到的故障。科学技术是一把双刃剑，在给人们带来舒适的同时，也带来了电磁干扰。

随着国家 3C 认证的推广和加入世贸组织以后的深入，EMC 越来越被关注，EMC 的要求越来越严格，关于 EMC 方面的标准也越来越完善。EMC 将会成为一个科研方向，不但受到重视，而且得到积极发展。

复杂的环境要求我们在设计新产品的同时要考虑电磁兼容技术，一方面要让产品具有抵御外界电磁干扰的能力，保证正常工作，另一方面要使产品对环境的骚扰满足相关要求，不要影响其他设备的正常工作。

本书从电磁兼容设计入手，介绍电磁兼容设计理论，同时融入实践，从理论与实践的结合中体现设计思想，明确设计理念，避免长篇大论的理论知识而缺少实践活动的支持。书中分别从接地、屏蔽、滤波方面介绍电磁兼容设计理论，中间穿插大量丰富的实例来支撑理论知识，避免乏味与空洞，使读者在了解了一种知识理念以后，立即就能应用于实践之中，达到比较好的读书效果。

本书的另一重点就是介绍电磁兼容测试方面的一些方法、标准和问题的处理，介绍与电磁兼容测试相关的测试技巧，引导读者去处理电磁兼容问题，分析问题的原因及处理措施，从一定程度上避开电磁兼容的技术瓶颈，达到满足测试要求的效果。

本书作者长期从事电磁兼容设计及测试方面的工作，积累了一些实践经验，参加过专业教师的电磁兼容设计培训，并在工作之余大量汲取网络资源，参加论坛讨论，获得了比较好的评价。

希望本书能给读者带来一次学习革命，使读者从实践中学习理论知识，在实践中运用理论知识，获得读书的乐趣，并从书中获益。

本书拒绝深奥的理论，倡导平淡阐述，注重理论与实践相结合，体现学以致用。书中有不妥之处，敬请读者批评指正。

本书由尚开明编著，参加本书编写的还有牛冬芳、尚开卫、王利锋、程建兵、谭鹏超、刘宏伟、吕国锋、祝意、边喜有、宋海涛、贾善静、范凤南、徐凤玉和师慧平。

本书特点

1. 每章都提供对应的实例分析，学以致用

为了便于读者高效、直观地学习书中的内容，作者根据每章的重点安排了测试实例，对

测试整改过程进行分析。

2. 内容全面，设计与测试相结合

本书详细介绍了电磁兼容设计的相关技术，涉及方方面面，包括接地技术、屏蔽技术、滤波技术、PCB 板级设计、线缆设计、系统设计等，将电磁兼容技术贯穿于全书，内容丰富，适合各层次读者学习使用。

3. 结合实际，将测试整改技巧贯穿其中

结合实际测试案例，分析整改测试处理方法，阐述处理问题的途径，将测试整改技巧贯穿其中，快速帮助读者处理实际问题。

4. 语言通俗，图文并茂

本书在讲解电磁兼容技术及测试的过程中，给出了大量的图片，直观翔实。本书不仅注重基础知识，而且非常注重实践，让读者快速上手，帮助读者及时有效地解决问题。

本书内容体系

全书共 10 章，分为两部分，各部分对应的章节和具体内容介绍如下。

第 1 部分包括第 1~6 章，主要介绍电磁兼容技术的相关基础知识，从基础、基本原理入手，通过对接地技术、屏蔽技术、滤波技术、PCB 板级设计、系统设计等方面的分析，概括了电磁兼容技术，对设计开发人员有很好的指导意义。

第 2 部分包括第 7~10 章，主要介绍电磁兼容测试的相关知识，介绍电磁兼容测试的相关标准、认证，详细介绍国标要求的测试项目及其整改测试技巧，使读者能够对测试问题快速定位，帮助读者有效解决电磁兼容问题，对测试人员有很好的帮助。

本书读者对象

- 电磁兼容技术初学者；
- 项目设计开发人员；
- 系统测试人员；
- 系统抽验及认证人员。

编著者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 什么是 EMC	2
1.2 EMC 相关概念	3
1.2.1 传导与辐射	3
1.2.2 共模与差模	5
1.2.3 耦合与去耦	6
1.2.4 其他相关概念	7
1.3 EMC 三要素	8
1.3.1 电磁干扰源	8
1.3.2 电磁干扰耦合途径	11
1.3.3 电磁干扰敏感源	13
1.4 EMC 研究领域及发展趋势	13
1.4.1 研究领域.....	13
1.4.2 发展趋势.....	14
1.5 小结	15
第 2 章 接地技术	16
2.1 接地的含义	17
2.1.1 接地的作用	17
2.1.2 接地的要求	18
2.1.3 接地的种类.....	20
2.1.4 地线的接地方式	26
2.2 接地技术	31
2.2.1 接地与屏蔽	31
2.2.2 接地与滤波	35
2.2.3 接地与防雷	35
2.2.4 地线干扰抑制技术	36
2.3 接地相关实例与分析	39
2.4 小结	43
第 3 章 屏蔽技术	45
3.1 屏蔽技术基础	46
3.1.1 屏蔽的作用	46
3.1.2 屏蔽的要求	46
3.1.3 屏蔽的种类	47
3.2 屏蔽技术	54

3.2.1	屏蔽与辐射	55
3.2.2	屏蔽与线缆	56
3.2.3	屏蔽与系统	58
3.3	屏蔽技术相关实例与分析	61
3.4	小结	65
第 4 章	滤波技术	67
4.1	滤波技术基础	68
4.1.1	滤波的作用	68
4.1.2	滤波的要求	69
4.1.3	滤波的种类	69
4.2	滤波技术	76
4.2.1	滤波与电源	76
4.2.2	滤波与信号	80
4.2.3	滤波与系统	81
4.3	滤波相关实例与分析	83
4.4	小结	87
第 5 章	PCB 板级 EMC 设计	89
5.1	板级 EMC 设计概述	90
5.1.1	板级 EMC 设计基础	90
5.1.2	板级 EMC 设计方法	90
5.2	板级 EMC 设计技术	91
5.2.1	板级 EMC 设计与器件	92
5.2.2	板级 EMC 设计与布局	98
5.2.3	板级 EMC 设计与布线	101
5.3	相关实例与分析	108
5.4	小结	111
第 6 章	系统 EMC 设计	113
6.1	概述	114
6.1.1	系统 EMC 设计思想	114
6.1.2	系统 EMC 设计方法	114
6.2	系统 EMC 设计相关技术	115
6.2.1	系统 EMC 设计与装配	115
6.2.2	系统 EMC 设计与线缆	117
6.2.3	系统 EMC 设计与接地	120
6.2.4	系统 EMC 设计与屏蔽	121
6.2.5	系统 EMC 设计与滤波	122
6.2.6	系统 EMC 设计与防雷	123
6.3	相关实例与分析	125
6.4	小结	129

第 7 章 EMC 测试基础	131
7.1 EMC 测试概述	132
7.1.1 EMC 测试的标准	132
7.1.2 EMC 测试的判据	134
7.2 EMC 测试项目	134
7.2.1 EMI 测试项目	134
7.2.2 EMS 测试项目	135
7.3 EMC 测试与认证	138
7.4 小结	140
第 8 章 EMI 测试	141
8.1 传导发射测试	143
8.1.1 传导发射测试概述	143
8.1.2 测试实例分析	145
8.1.3 测试整改技巧	147
8.2 辐射发射测试	148
8.2.1 辐射发射测试概述	148
8.2.2 测试实例分析	150
8.2.3 测试整改技巧	153
8.3 小结	154
第 9 章 EMS 测试	155
9.1 静电放电抗扰度测试	156
9.1.1 静电放电抗扰度测试概述	156
9.1.2 测试实例分析	158
9.1.3 测试整改技巧	161
9.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度测试	161
9.2.1 脉冲群抗扰度测试概述	162
9.2.2 测试实例分析	164
9.2.3 测试整改技巧	166
9.3 浪涌（冲击）抗扰度测试	167
9.3.1 浪涌抗扰度测试概述	168
9.3.2 测试实例分析	169
9.3.3 测试整改技巧	171
9.4 振铃波浪涌抗扰度测试	172
9.4.1 振铃波浪涌抗扰度测试概述	172
9.4.2 测试实例分析	174
9.4.3 测试整改技巧	175
9.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度测试	175
9.5.1 射感抗扰度测试概述	175
9.5.2 测试实例分析	177

9.5.3	测试整改技巧	180
9.6	交流电源谐波抗扰度测试	180
9.6.1	交流电源谐波抗扰度测试概述	180
9.6.2	测试实例分析	182
9.6.3	测试整改技巧	182
9.7	电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度测试	182
9.7.1	电压跌落抗扰度测试概述	182
9.7.2	测试实例分析	184
9.7.3	测试整改技巧	184
9.8	射频电磁场辐射抗扰度测试	184
9.8.1	射频电磁场辐射抗扰度测试概述	184
9.8.2	测试实例分析	187
9.8.3	测试整改技巧	187
9.9	工频磁场抗扰度测试	188
9.9.1	工频磁场抗扰度测试概述	188
9.9.2	测试实例分析	189
9.9.3	测试整改技巧	189
9.10	脉冲磁场抗扰度测试	189
9.10.1	脉冲磁场抗扰度测试概述	189
9.10.2	测试实例分析	190
9.10.3	测试整改技巧	191
9.11	小结	191
第 10 章	EMC 设计与测试	193
10.1	EMC 设计与测试概述	194
10.1.1	EMC 设计思想	194
10.1.2	EMC 设计方法	194
10.2	EMC 设计与测试技术	197
10.2.1	EMC 设计技术	198
10.2.2	EMC 测试技术	199
10.2.3	EMC 设计与测试	199
10.3	测试整改技巧	200
10.4	小结	202

电磁兼容 (EMC) 设计与测试

第1章 概 述

随着电子技术的发展,越来越多的电子产品被人们所使用,种类和数量都明显增多,电子电路日益复杂。电子产品给人们的生活和工作带来便利的同时,它们还产生了大量的电磁干扰,一方面影响着其他电子设备,使其他设备产生采集错误、功能失效、故障等,另一方面也影响到人们的身体健康,使人们感觉疲惫,影响人们的调节系统,可能导致调节紊乱。因此国家出台电磁兼容类基础标准,用来约束电子产品的干扰及抗干扰问题,规定一个限值,对其他电子设备及操作人员影响较小,对电磁环境影响较小,电子产品及系统必须满足要求才能进行生产销售。各行业根据国家基础标准又分别进行了规定,形成了行业规范。

电子产品的电路日益复杂和电磁环境的恶化,使得电子产品的稳定可靠性变差,只有提高系统的电磁兼容性能,才能保证系统稳定可靠、正常工作。

电磁兼容技术就是一门处理电子产品系统的干扰及被干扰问题的技术,一方面包括电子产品系统抗干扰的性能情况,另一方面包括电子产品系统对电磁环境产生干扰的情况,两个方面都满足了相关规定,才能说电子产品的电磁兼容性能符合要求。

电磁兼容问题逐步成为影响电子产品稳定可靠运行的主要问题,电子产品在研发设计过程中融入电磁兼容设计,将节省很大一部分后期整改费用,节省比较多的人力、物力、财力。

1.1 什么是 EMC

EMC 是英文“Electro Magnetic Compatibility”的缩写，意思是电磁兼容性，是指电子产品、设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力。

在我们生活、工作的环境中，时时刻刻都存在着各种各样的电磁能量，这些电磁能量可能会使电子设备的运行产生不应有的响应。我们把电磁能量对电子设备的这种影响称为电磁干扰。电磁兼容就是研究电磁干扰的一门技术。

电磁兼容是一种相互共存的物理现象，国际电工委员会 (IEC) 对 EMC 的定义是：在不损害信号所含信息的条件下，信号和干扰能够共存。研究电磁兼容的目的是为了保证电气组件或装置在电磁环境中能够具有正常工作的能力，以及研究电磁波对社会生产活动和人体健康造成危害的机理与预防措施。

电磁兼容是电子产品或系统的一种重要性能，它与产品或系统的可靠性、稳定性密切相关。通俗的解释是：

这种技术的目的在于，使电气装置或系统在共同的电磁环境条件下，既不受电磁环境的影响，也不会给环境以这种影响。换句话说，就是它不会因为周边的电磁环境而导致性能降低、功能丧失或损坏，也不会周边环境中产生过量的电磁能量，以致影响周边设备的正常工作。

电磁兼容是电子产品的一项很重要的性能，电磁兼容问题既可能存在于系统之间，也可能存在于系统内部。电磁兼容包含如下三个方面的含义。

1. 电磁干扰度

EMI (Electro Magnetic Interference) 是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值，不应产生超过相应标准所要求的电磁能量，含义是电子设备的工作不应影响周围其他设备的工作。对设备的干扰值相关标准有明确的定义，国家基础标准为：GB 9254 规定了信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法，一般在产品的通用技术条件或检验细则有明确的要求。

2. 电磁抗扰度

EMS (Electro Magnetic Susceptibility) 是指设备对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度，含义是设备对周围环境的适应能力，设备是否能在电磁环境中正常工作，是否能抵御周围的电磁干扰。

换句话说，处在一定环境中的设备或系统，在正常运行时，设备或系统能承受相应标准规定范围内的电磁能量干扰，或者说设备或系统处于一定范围内的电磁能量环境中，能按照设计性能保持正常的运行。

3. 电磁环境

电磁环境是系统或设备的工作环境。即使相同种类的设备也可能应用在不同的电磁环境



中，对于应用在不同环境中的设备，对它们的电磁兼容要求也可能是不一样的。离开了具体的电磁环境，谈电磁兼容就没有什么实际意义。

有专业研究机构做过统计调研，越是在产品开发初期，采取抑制干扰措施越有效，而且花费的成本越少。采取抑制措施的有效性、成本与产品开发周期的关系如图 1.1 所示。

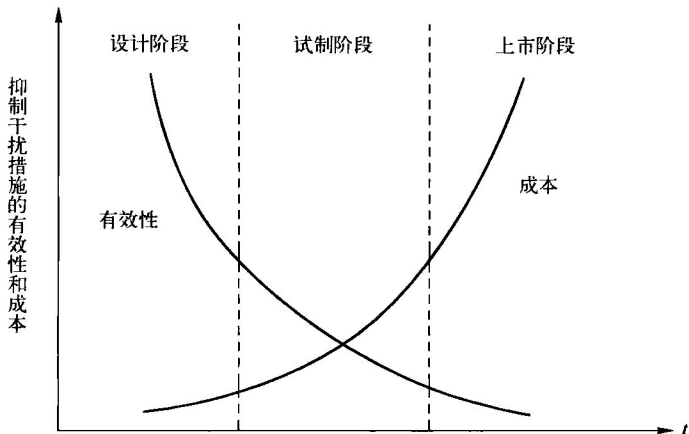


图 1.1 采取抑制措施的有效性、成本与产品开发周期的关系

1.2 EMC 相关概念

电磁兼容技术中有一些专用的术语、概念，对术语和概念的理解有助于电磁兼容技术的学习，我们先介绍常用的概念和它们之间的关系。

1.2.1 传导与辐射

当我们开空调时，室内的荧光灯会出现瞬间变暗的现象，这是因为大量电流流向空调，电压急速下降，利用同一电源的荧光灯受到影响。还有，在使用吸尘器时，收音机会出现啪啦啪啦的杂音，原因是吸尘器的电动机产生的微弱电压/电流变化，通过电源线传递进入收音机，以杂音的形式通过扬声器放了出来。这种由一个设备中产生的电压/电流通过电源线、信号线传导并影响其他设备的，将这个电压/电流的变化称为“传导干扰”。

通过给发生源及被干扰设备的电源线安装滤波器，可以阻止传导干扰的传输。当信号线上出现传导噪声时，可以选用抗干扰性能较好的传输介质，如同轴电缆、双绞线、光纤等，以减小传导干扰。

当摩托车从附近道路通过时，电视会出现雪花状干扰。这是因为摩托车点火装置的脉冲电流产生了电磁波，传到空间再传给附近的电视天线、电路，产生了干扰电压/电流。这种通过空间传播并对其他设备电路产生无用信号，造成危害的干扰称为“辐射干扰”。由于传播途径是空间，因此解决辐射干扰的主要方法是屏蔽、滤波。

传导干扰是电压/电流产生了不必要的变化，这种变化通过导线直接传递给其他设备，

造成危害。辐射干扰是由于电压/电流变化而产生的电磁波通过空间传播到其他设备，在电路或导线上产生不必要的电压/电流，并造成危害。

传导干扰通过电源线或信号线泄漏，直接对其他设备产生干扰。同时这些导线产生的电磁波以辐射干扰的形式危及附近的设备。而且设备本身内部电路也产生电磁波，以辐射干扰的形式危及其他设备。

各国政府管理部门都颁布了电子设备辐射电磁场的限值，目的在于控制辐射产生的电磁干扰，控制它们对其他电子设备的干扰。

需要指出的一点是：符合标准中的限值并不能说明发射不产生干扰，标准的目的在于限制电磁污染，使电磁干扰尽量小，对其他电子设备的影响尽量小。

传导与辐射是电磁干扰的两种方式，一般情况下，低频的干扰主要通过传导进行传播，高频的干扰除了通过线缆的传导外，还有相当大的能量通过空间辐射。

传导主要是各种线缆上的干扰，例如，电源线上的传导发射超标会影响整个电网的质量，会影响电网中其他设备的工作。涉及的测试项目有传导发射测试、射频场感应传导骚扰抗扰度测试。

辐射主要是空间的干扰，辐射测试是在特定环境下进行的，如在开阔场地或电波暗室里进行，涉及的测试项目有辐射发射测试、射频场辐射抗扰度测试。

电子环境中还存在一些瞬态干扰，其特点是持续时间短，能量高，对设备造成影响，使设备暂时失效或出现故障。常见的瞬态干扰有电快速瞬变脉冲群、浪涌、静电放电干扰。

电源线上的传导发射测试是电磁兼容测试中要求的一项测试，如图 1.2 所示，在电源回路中安装滤波器，以阻止系统产生的干扰通过电网影响其他设备。

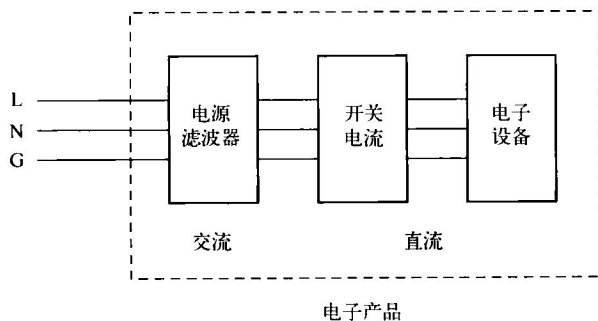


图 1.2 电源线上的传导发射路径

电子设备中各电路产生的电磁振荡、杂波、谐波等干扰，都会通过电源回路传导至电源输入侧，控制传导发射限值，就是要控制电磁发射能量，减小电子设备对电网的影响，维护电网中其他设备的正常工作。

电子产品系统的辐射是指系统对电磁空间释放的电磁能量，电磁辐射有一个电场和磁场分量的振荡，分别在两个相互垂直的方向传播能量，电磁辐射是以一种看不见、摸不着的特殊形态存在的物质。人类生存的地球本身就是一个大磁场，它表面的热辐射和雷电都可产生电磁辐射，太阳及其他星球也从外层空间源源不断地产生电磁辐射。围绕在人们身边的天然磁场、太阳光、家用电器等都会发出强度不同的辐射。电子设备辐射示意图如图 1.3 所示。

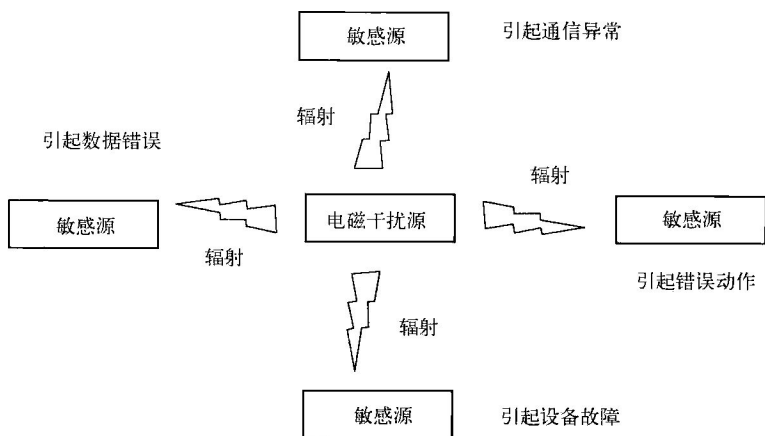


图 1.3 电子设备辐射示意图

1.2.2 共模与差模

传导干扰分为共模干扰和差模干扰两种，共模干扰称为不对称干扰或接地干扰，差模干扰称为对称干扰。共模干扰是线路中电流方向相同时产生的，差模干扰是线路中电流方向相反时产生的。为了便于理解，先介绍差模信号和共模信号。

差模信号又称为串模、线间感应和对称信号等。在两线电缆传输回路，两线对地电压用符号 V_1 和 V_2 来表示。差模信号分量是 V_{12} 。纯差模信号是： $V_1 = -V_2$ ，其大小相等，相位差为 180° ； $V_{12} = V_1 - V_2$ ，因为 V_1 和 V_2 对地是对称的，所以地线上没有电流流过。差模信号的电路如图 1.4 所示。所有的差模电流全部流过负载，差模干扰侵入往返两条信号线，方向与信号电流方向一致，一种是由信号源产生的，另一种是传输过程中由电磁感应产生的，它和信号串在一起且同相位，这种干扰一般比较难以抑制。

共模信号又称为对地感应信号或不对称信号。共模信号分量是 V_{COM} ，纯共模信号是： $V_{COM} = V_1 = V_2$ ，其大小相等，相位差为 0° ； $V_3 = 0$ 。共模信号的电路如图 1.5 所示。干扰信号侵入线路和接地之间，干扰电流在两条线上各流过 $1/2$ ，以地为公共回路。原则上讲，这种干扰是比较容易消除的，但在实际电路中由于线路阻抗不平衡，会使共模信号干扰转化为不易消除的差模干扰。

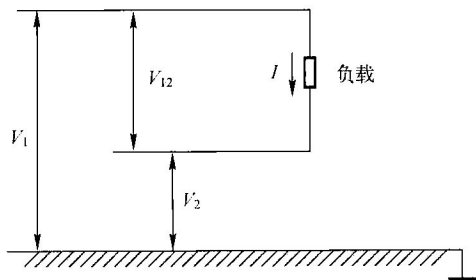


图 1.4 差模信号

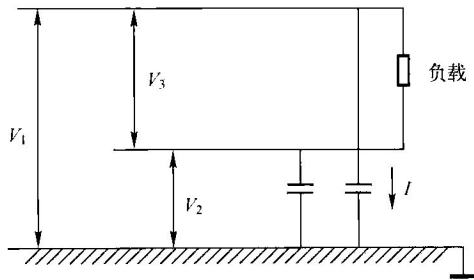


图 1.5 共模信号

共模干扰是线地之间的干扰，差模干扰是线间的干扰，通常分别进行测试，用来测试设

备抵御共模干扰与差模干扰的能力，一般线地的测试电压会高一些，线间的测试电压会低一些，如浪涌测试、振铃波浪涌测试都需要进行共模测试和差模测试。

1.2.3 耦合与去耦

去耦是防止有用能量从一个电路传到另一个电路中，阻止噪声能量传入电路中，从而提高电源的利用效率及品质质量。

去耦是通过在信号线和电源之间提供一个低阻抗通路来实现的，提供数据信号变化所需要的动态电压及电流。

去耦一般是通过旁路、去耦电容实现的，当频率低于自谐振频率时，随着频率的升高，去耦电容的阻抗会越来越小，这样可以很好地滤除信号线的高频噪声，对系统的低频有用信号没有影响。

去耦电容能提供一个局部的、电感很小的电源，把电压稳定在一个稳定的参考点，防止逻辑的错误转换，同时也能降低高频噪声，因为它提供了较小的回路面积通路，如图 1.6 所示。

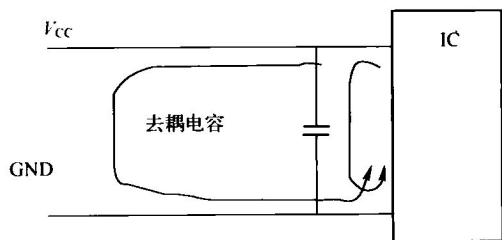


图 1.6 去耦电容的作用

电磁干扰的耦合方式有电容耦合 (C)、电感耦合 (L)、共阻抗耦合 (Z)、近场耦合 (NC)、远场辐射 (FR)，如图 1.7 所示。

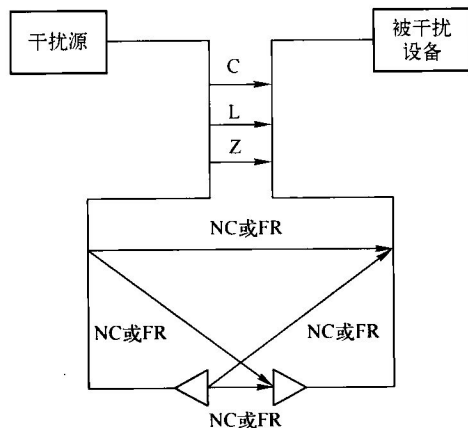


图 1.7 电磁干扰耦合方式

常见的耦合为公共阻抗耦合，各电子电路、芯片 IC 都共用电源及地回路，公共阻抗的存在会影响电路的正常工作，使电路的公共参考点发生偏移，因此需要减小公共阻抗耦合，减小公共阻抗对电路的影响。通过合理的接地技术，可以减小公共阻抗，从而降低因公共阻

抗对设备产生的影响。

1.2.4 其他相关概念

➤ 波阻抗。波阻抗的定义如下：

$$Z_w = \frac{E}{H} \quad (\Omega)$$

式中 Z_w ——波阻抗；

E ——电磁波中的电场分量 (V/m)；

H ——电磁波中的磁场分量 (A/m)。

如果电磁波中的电场分量较大，则波阻抗较高，称为电场波；如果电磁波中的磁场分量较大，则称为磁场波。在近场区中的某个位置，电磁波的波阻抗与辐射源的位置、阻抗、频率及辐射源周围的介质有关；在远场区，波阻抗等于电磁波传播介质的特性阻抗；在真空中，波阻抗为 377Ω 。

电流环和电偶极辐射的电磁波代表了典型的磁场波和电场波，它们的波阻抗如图 1.8 所示。

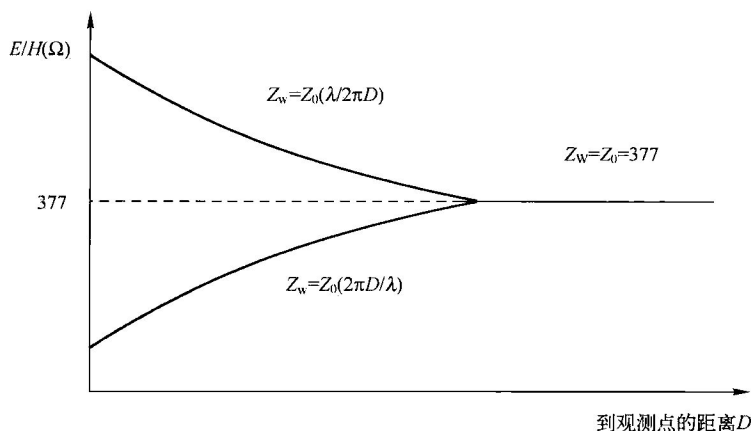


图 1.8 电流环天线和电偶极天线的波阻抗

对于电流环的辐射场，磁场的衰减比电场的衰减快，波阻抗呈现增加的趋势。对于电偶极的辐射场，磁场的衰减比电场的衰减慢，波阻抗呈现下降的趋势。

- 电磁兼容性 (Electro Magnetic Compatibility, EMC): 设备或系统在其电磁环境中正常工作且不对该环境中任何设备构成不能承受的电磁骚扰的能力。
- 受试设备 (Equipment Under Test, EUT): 有代表性的一个单元或功能上有交互作用的一组单元 (即系统)，它包括一个或多个宿主单元，也就是测试对象。一个功能模块或整个系统都可以称为 EUT。
- 耦合网络 (Coupling Network): 以规定的阻抗从一个电路到另一个电路传输能量的电路。耦合去耦网络可以组合到一个盒子中 (CDN) 或者是分立的网络中 (通常的钳注入)。

- 去耦网络 (Decoupling Network): 防止施加给受试设备的测量信号影响不被测量的其他装置、设备或系统的电路。
- 耦合/去耦网络 (Coupling/Decoupling Network, CDN): 包含耦合网络和去耦网络为一体的电路。
- 抗扰度 (Immunity): 一个装置、设备或系统在出现某种电磁骚扰时性能不降低的能力。
- 杂散辐射 (Spurious Radiation): 电气装置产生的不希望有的电磁辐射。
- 辅助设备 (Auxiliary Equipment, AE): 为受试设备正常运行提供所需信号的设备和检验受试设备性能的设备。

1.3 EMC 三要素

电磁兼容技术研究的主要内容就是围绕电磁干扰三要素进行的, 构成电磁干扰的三要素贯穿电磁兼容设计及测试的整个过程。

电磁干扰三要素为电磁干扰源、电磁干扰耦合途径、电磁干扰敏感源, 如图 1.9 所示。消除其中任何一个因素即可达到电磁兼容设计的要求。

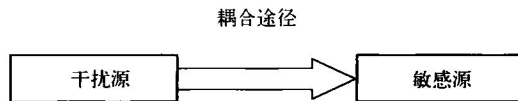


图 1.9 电磁兼容三要素

三个要素缺一不可, 少一个就构不成电磁兼容问题, 所以要解决电磁兼容问题首先就要从这三个要素着手, 有针对性地进行处理。我们注意到, 耦合途径在这三个要素中处于关键的位置。对于一个具体的电子产品, 耦合途径往往既是 EMI 信号的耦合途径, 又是 EMS 信号的耦合途径。所以耦合途径对于电磁兼容问题有着重要的意义, 切断耦合途径是最有效的电磁兼容处理措施。

1.3.1 电磁干扰源

电磁干扰源一般的定义为: 任何可能引起装置、设备、系统性能降低或对有生命物质或无生命物质产生损害的电磁现象。电磁干扰可以是电磁噪声、无用信号, 也可以是传输媒介自身的变化。

电磁干扰源种类繁多, 可按不同的方法进行分类。按照设备的干扰来源可分为自然干扰源和人为干扰源。

1. 自然干扰源

自然干扰源包括以下几类。

(1) 大气噪声干扰: 如雷电产生的火花放电属于脉冲宽带干扰, 覆盖从数赫兹到 100MHz 以上, 传播的距离相当远, 对设备的危害比较大。

(2) 太阳噪声干扰: 指太阳黑子的辐射噪声。在太阳黑子活动期, 黑子爆发, 可产生比