

电磁兼容技术系列

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



EMC

(电磁兼容)

设计与测试案例分析

郑军奇 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电磁兼容技术系列

EMC (电磁兼容) 设计与 测试案例分析

郑军奇 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 EMC 案例分析为主线, 通过案例描述、分析来介绍产品设计中的 EMC 技术, 向读者介绍产品设计过程中有关 EMC 的实用设计技术与诊断技术, 减少设计人员在产品的设计与 EMC 问题诊断中的误区。书中所描述的 EMC 案例涉及结构、屏蔽与接地、滤波与抑制、电缆、布线、连接器与接口电路、旁路、去耦与储能、PCB layout, 以及器件、软件与频率抖动技术等各个方面。

本书是以实用为目的, 以具有代表性的案例来说明复杂的原理, 并尽量避免拖沓冗长的理论, 可作为电子产品设计部门 EMC 方面必备的参考书, 也可作为电子和电气工程师、EMC 工程师、EMC 顾问人员进行 EMC 培训的教材或参考资料。

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

EMC(电磁兼容)设计与测试案例分析/郑军奇编著. —北京: 电子工业出版社, 2006. 12

(电磁兼容技术系列)

ISBN 7-121-03339-9

I. E… II. 郑… III. ① 电磁兼容性—设计 ② 电磁兼容性—测试 IV. TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126155 号

责任编辑: 张 榕 特约编辑: 刘汉斌

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市金马印装有限公司

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: 787×980 1/16 印张: 18.75 字数: 420 千字

印 次: 2006 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 38.00 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, 联系电话: (010)68279077; 邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@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

EMC 技术是解决电磁干扰与被干扰相关问题的一门技术。EMC 设计的目的是解决电路之间的相互干扰，防止电子设备产生过强的电磁发射及对外界干扰过度敏感等问题。近年来，EMC 设计技术的重要性日益增加。其中有两个方面的原因：第一，电子设备日益复杂，特别是模拟电路和数字电路混合的情况日见增多、电路的工作频率愈来愈高，导致了电路之间的干扰更加严重，设计人员如果不了解有关的设计技术，会导致产品开发周期过长，甚至开发失败；第二，为了保证电子设备稳定可靠地工作，减小电磁污染，越来越多的国家开始强制执行 EMC 标准，尤其是在美国和欧洲国家，EMC 性能已经成为法制性的指标，成为了电子产品厂商必须通过的指标之一。设计人员如果在设计中不考虑有关问题，则产品最终将不能通过 EMC 试验，无法顺利走向市场。

EMC 是一门实践性很强的综合而又边缘的学科，实践对于 EMC 设计显得非常重要。我国 EMC 技术起步较晚，无论是理论、技术水平，还是相关产品（测试仪器、屏蔽材料、滤波器等）制造，都与发达国家相差甚远，因此在实践方面也相对比较落后。我国在加入 WTO 以后，面对的是公平的国际竞争，各国之间唯一的贸易壁垒就是技术壁垒。而 EMC 指标往往又是众多技术壁垒中最难突破的一道。因此，作为一位专职的 EMC 顾问，有责任将自己的经验分享给广大的设计者，可使设计人员在较短的时间内，掌握 EMC 设计技术，从而充满信心地面对挑战。

对于产品开发人员而言，需要掌握的 EMC 内容有两个方面：一个是关于标准的；另一个是关于产品设计技术的。对于标准的了解，只要达到能够搞清楚标准的技术要求，从标准的要求中提炼出对设计的要求就可以了。而对设计技术则要尽量熟悉，如果能够对基本的技术融会贯通，则会在产品的开发中体会到更多成功的乐趣。

本书共分 7 章。第 1 章描述 EMC 基础知识，主要是为第 2 章~第 7 章服务。当读者在阅读时，如对一些基本概念比较模糊，则可以方便地查阅。第 2 章~第 7 章是案例部分，涉及的 EMC 案例具有典型性和代表性。案例的描述均采用同样的格式，即包含【现象描述】、【原因分析】、【处理措施】、【思考与启示】四部分。试图通过每个案例的分析，向设计人员介绍有关 EMC 的实用设计与诊断技术，减少设计人员在产品的设计与 EMC 问题诊断中的误区，使产品达到良好的 EMC 性。同时通过案例说明 EMC 的设计原理，使读者更好地理解设计的由来。【思考与启示】部分实际上是问题的总结与相关问题的注意事项，也可以作为产品设计的 EMC 检查列表。案例分为下述 6 大类。

结构、屏蔽与接地：对于大部分设备而言，屏蔽都是必要的。特别是随着电路工作频

率的日益提高，单纯依靠线路板设计往往不能满足 EMC 标准的要求。合理的屏蔽能大大加强产品的 EMC 性能，但是不合理的屏蔽设计不但不能起到预期的效果，相反可能引入一些额外的 EMC 问题。另外，接地不单有助于解决安全问题，同样对 EMC 也相当重要。许多 EMC 问题是由不合理的接地设计造成的。因为地线电位是整个电路工作的基准电位，如果地线设计不当，则地线电位就不稳，就会导致电路故障，也有可能产生额外的 EMI 问题。接地设计的目的是要保证地线电位尽量稳定，降低地压降，从而消除干扰现象。

滤波及抑制设计：对于任何设备而言，滤波与抑制都是解决电磁干扰的关键技术之一。因为设备中的导线是效率很高的接收和辐射天线，因此设备产生的大部分辐射发射都是通过各种导线实现的，而外界干扰往往也是首先被导线接收到，然后串入设备的。滤波与抑制的目的就是消除导线上的这些干扰信号，防止电路中的干扰信号传到导线上，借助导线辐射，也可防止导线将接收到的干扰信号传入电路。

电缆、布线、连接器与接口电路：电缆总是引起辐射或引入干扰的最主要通道，因为它们的长度的原因，电缆不单是“发射天线”，同时也是良好的“接收天线”。与电缆有着最直接关系的并非是连接器与接口电路。良好的接口电路设计不但可以使内部电路的噪声得到很好的抑制，使“发射天线”无驱动源，而且也同样可以滤除电缆从外界接收到的干扰信号。正确的连接器设计，又给电缆与接口电路提供了一个很好的配合通道。

旁路、去耦与储能：当器件工作时，时钟和数据信号端电平按规律发生变化时，去耦将提供给元件在时钟和数据变化期间正常工作的足够的动态电压和电流。去耦是通过在信号线和电源平面间提供一个低阻抗的电源来实现的。在频率升高到自谐振点之前，随着频率的提高，去耦电容的阻抗会越来越低。这样，高频噪声会有效地从信号线上泄放，余下的低频射频能量就没有什么影响了。最佳的实现效果可通过储能、旁路、去耦电容来达到。这些电容的值可通过特定的公式计算得到。另外，我们必须正确、适当地选择电容的绝缘材料，而不是根据过去的用法和经验来随意地选择。

PCB 设计：无论设备产生电磁干扰发射还是受到外界干扰的影响，或者电路之间产生相互干扰，PCB 都是问题的核心。无论是 PCB 中的器件布局，还是 PCB 中线路布线，都会对产品整体的 EMC 性能产生本质的影响，如接口连接器的仿真位置将影响共模电流流经的方向，布线的路径将影响电路环路的大小，这些都是 EMC 的关键。因此设计好 PCB 对于保证设备的 EMC 性能具有重要的意义。PCB 设计的目的就是减小 PCB 上的电路产生的电磁辐射和对外界干扰的敏感性，减小 PCB 上电路之间的相互影响。

器件、软件与频率抖动技术：电路由器件构成，但是器件的 EMC 性能往往被忽略掉。其实器件的封装、上升沿、引脚分布及器件本身的抗 ESD 能力都对器件所应用产品的 EMC 性能产生很大的影响。软件虽然不属于 EMC 学术范畴，但在有些情况下，利用软件提供的容错技术可避开产品对外界干扰的影响。频率抖动技术是近年来流行的一种降低电路传导骚扰和辐射骚扰的技术。但该技术也不是万无一失的。本章节中的案例详细说

明了频率抖动技术的实质及注意事项。

其实，EMC 设计犹如交通法规，不遵守不一定会出交通事故，但是必然风险大大加大。EMC 设计也是一样，有些规则不遵守或许也能在测试中过关，但是过关的风险必然大大加大，所以在产品设计中有必要引入风险的意识。EMC 设计的目的是最大限度地降低 EMC 测试风险。只有遵守所有的 EMC “交通规则”的产品才是具有最低 EMC 风险的产品。

本书的大部分内容来自于作者在实际工作中碰到的 EMC 问题，每个案例都有较详细的理论分析过程，并从中得出参考经验。这些案例是作者积累的大量 EMC 案例中的一些典型，每一个案例的结果都形成了一个或多个 EMC 设计规则，这是值得借鉴与参考的。

由于作者所从事产品类型的限制，也许不能包含各类电子、电气产品的 EMC 问题，同时也鉴于作者知识的局限性，可能出现一些描述不合理或不精确，甚至错误的地方，还望广大读者批评指正。

在此我要特别感谢为本书提出过宝贵意见及建议的钱震宇教授和吴勤勤教授（博导），同时还要感谢倪坚博士。另外，也非常感谢电子工业出版社的张榕副编审及其同事们。最后，在此书的编写期间，我也要对我的家人孙琦及同事曾玉波及刘烨所给予的支持表示感谢。

编著者

目 录

第 1 章 EMC 基础知识	(1)
1.1 什么是 EMC	(1)
1.2 传导、辐射与瞬态	(2)
1.3 EMC 测试实质	(3)
1.3.1 辐射发射测试	(3)
1.3.2 传导骚扰测试	(7)
1.3.3 静电放电抗扰度测试	(8)
1.3.4 射频辐射电磁场的抗扰度测试	(10)
1.3.5 电快速瞬变脉冲群的抗扰度测试	(12)
1.3.6 浪涌的抗扰度测试	(15)
1.3.7 传导抗扰度测试	(19)
1.3.8 电压跌落、短时中断和电压渐变的抗扰度测试	(20)
1.4 理论基础	(23)
1.4.1 共模和差模	(23)
1.4.2 时域与频域	(24)
1.4.3 电磁骚扰单位分贝 (dB) 的概念	(25)
1.4.4 正确理解分贝真正的含义	(26)
1.4.5 电场与磁场	(27)
第 2 章 结构/屏蔽与接地	(30)
2.1 概论	(30)
2.1.1 结构与 EMC	(30)
2.1.2 屏蔽与 EMC	(31)
2.1.3 接地与 EMC	(32)
2.2 相关案例分析	(34)
2.2.1 案例 1: 传导骚扰与接地	(34)
2.2.2 案例 2: 传导骚扰测试中应该注意的接地环路	(39)
2.2.3 案例 3: 辐射从哪里来?	(42)
2.2.4 案例 4: “悬空”金属与辐射	(45)
2.2.5 案例 5: 伸出屏蔽体的“悬空”螺柱造成的辐射	(48)
2.2.6 案例 6: 压缩量与屏蔽性能	(51)
2.2.7 案例 7: 开关电源中变压器初、次级线圈之间的屏蔽层对 EMI 作用有多大?	(55)

2.2.8	案例 8: 接触不良与复位	(61)
2.2.9	案例 9: 静电与螺钉	(63)
2.2.10	案例 10: 散热器与 ESD 也有关系	(63)
2.2.11	案例 11: 怎样接地才符合 EMC	(65)
2.2.12	案例 12: 散热器形状影响电源端口传导发射	(69)
2.2.13	案例 13: 数/模混合器件数字地与模拟地如何接	(74)
第 3 章 电缆、连接器与接口电路		(79)
3.1	概论	(79)
3.1.1	电缆是系统的最薄弱环节	(79)
3.1.2	接口电路是解决电缆辐射问题的重要手段	(80)
3.1.3	连接器是接口电路与电缆之间的通道	(81)
3.2	相关案例	(82)
3.2.1	案例 14: 由电缆布线造成的辐射超标	(82)
3.2.2	案例 15: “Pigtail” 有多大影响	(85)
3.2.3	案例 16: 接地线接出来的辐射	(89)
3.2.4	案例 17: 使用屏蔽线一定优于非屏蔽线吗?	(92)
3.2.5	案例 18: 音频接口的 ESD 案例	(100)
3.2.6	案例 19: 连接器选型与 ESD	(102)
3.2.7	案例 20: 辐射缘何超标	(104)
3.2.8	案例 21: 数码相机辐射骚扰问题引发的两个 EMC 设计问题	(107)
3.2.9	案例 22: 信号线与电源线混合布线的结果	(114)
3.2.10	案例 23: 电源滤波器安装要注意什么	(117)
第 4 章 滤波与抑制		(122)
4.1	概论	(122)
4.1.1	滤波器及滤波器件	(122)
4.1.2	防浪涌电路中的元器件	(127)
4.2	相关案例	(133)
4.2.1	案例 24: 由 HUB 引起的辐射发射超标	(133)
4.2.2	案例 25: 电源滤波器的安装与传导骚扰	(138)
4.2.3	案例 26: 输出口的滤波影响输入口的传导骚扰	(141)
4.2.4	案例 27: 共模电感应用得当, 辐射、传导抗扰度测试问题解决	(145)
4.2.5	案例 28: 接口电路中电阻和 TVS 对防护性能的影响	(148)
4.2.6	案例 29: 防浪涌器件能随意并联吗?	(155)
4.2.7	案例 30: 浪涌保护设计要注意“协调”	(158)
4.2.8	案例 31: 防雷电路的设计及其元件的选择应慎重	(160)
4.2.9	案例 32: 防雷器安装很有讲究	(161)
4.2.10	案例 33: 低钳位电压芯片解决浪涌问题	(164)

4.2.11	案例 34: 选择二极管钳位还是选用 TVS 保护	(167)
4.2.12	案例 35: 铁氧体磁环与 EFT/Β 抗扰度	(170)
第 5 章	旁路和去耦	(172)
5.1	概论	(172)
5.1.1	去耦、旁路与储能的概念	(172)
5.1.2	谐振	(173)
5.1.3	阻抗	(177)
5.1.4	去耦和旁路电容的选择	(178)
5.1.5	并联电容	(180)
5.2	相关案例	(181)
5.2.1	案例 36: 电容值大小对电源去耦效果的影响	(181)
5.2.2	案例 37: 芯片中磁珠与去耦电容的位置	(185)
5.2.3	案例 38: 静电放电干扰是如何引起的	(190)
5.2.4	案例 39: 小电容解决困扰多时的辐射抗扰度问题	(194)
5.2.5	案例 40: 空气放电点该如何处理?	(195)
5.2.6	案例 41: ESD 与敏感信号的电容旁路	(197)
5.2.7	案例 42: 磁珠位置不当的问题	(200)
5.2.8	案例 43: 旁路电容的作用	(202)
5.2.9	案例 44: 光耦两端的数字地与模拟地如何接	(204)
5.2.10	案例 45: 二极管与储能、电压跌落、中断抗扰度	(208)
第 6 章	PCB 设计	(214)
6.1	概论	(214)
6.1.1	PCB 是一个完整产品的缩影	(214)
6.1.2	PCB 中的环路无处不在	(214)
6.1.3	PCB 中的数字电路中存在大量的磁场	(215)
6.1.4	PCB 中不但存在大量的天线而且也是驱动源	(216)
6.1.5	PCB 中的地平面阻抗与瞬态抗干扰能力有直接影响	(216)
6.2	相关案例	(218)
6.2.1	案例 46: “静地”的作用	(218)
6.2.2	案例 47: PCB 布线不当造成 ESD 测试时复位	(223)
6.2.3	案例 48: PCB 布线不合理造成网口雷击损坏	(228)
6.2.4	案例 49: PCB 中多了 1 cm ² 的地层铜	(230)
6.2.5	案例 50: PCB 中铺“地”要避免耦合	(233)
6.2.6	案例 51: PCB 走线宽度不够, 浪涌测试中熔断	(239)
6.2.7	案例 52: PCB 走线是如何将晶振辐射带出的	(242)
6.2.8	案例 53: 地址线引起的辐射发射	(244)
6.2.9	案例 54: 环路引起的干扰	(249)

6.2.10	案例 55: 局部地平面与强辐射器件	(254)
6.2.11	案例 56: 接口布线与抗 ESD 干扰能力	(256)
第 7 章	器件、软件与频率抖动技术	(261)
7.1	器件、软件与 EMC	(261)
7.2	频率抖动技术与 EMC	(262)
7.3	相关案例	(262)
7.3.1	案例 57: 器件 EMC 特性和软件对系统 EMC 性能的影响不可小视	(262)
7.3.2	案例 58: 软件与 ESD 抗扰度	(265)
7.3.3	案例 59: 频率抖动技术带来的传导骚扰问题	(266)
7.3.4	案例 60: 电压跌落与中断测试引出电路设计与软件问题	(272)
附录 A	EMC 术语	(274)
附录 B	EMC 标准与认证	(277)

第 1 章

EMC 基础知识

1.1 什么是 EMC

关于 EMC 的基本概念，已经有大量的书籍来描述，本书中只是略提一二，一是为了保证书籍内容的完整性，二是为了在读者出现概念上的疑问时方便查阅。

EMC (Electro Magnetic Compatibility, 电磁兼容) 是指电子、电气设备或系统在预期的电磁环境中，按设计要求正常工作的能力。它是电子、电气设备或系统的一种重要的技术性能，包括以下三方面的含义。

(1) EMI (Electro Magnetic Interference, 电磁干扰)，即处在一定环境中的设备或系统，在正常运行时，不应产生超过相应标准所要求的电磁能量，相对应的测试项目有：

- 电源线传导骚扰 (CE)；
- 信号、控制线传导骚扰 (CE)；
- 辐射骚扰 (RE)；
- 谐波电流测量 (Harmonic)；
- 电压波动和闪烁测量 (Fluctuation and Flicker)。

(2) EMS (Electro Magnetic Susceptibility, 电磁抗扰度)，即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，相对应的测试项目有：

- 静电放电抗扰度 (ESD)；
- 电快速瞬变脉冲群抗扰度 (EFT/B)；
- 浪涌 (SURGE)；
- 辐射抗扰度 (RS)；
- 传导抗扰度 (CS)；
- 电压跌落与中断 (DIP)。

(3) 电磁环境，即系统或设备的工作环境。

1.2 传导、辐射与瞬态

开空调时,有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。使用吸尘器时,收音机会出现啪啦啪啦的杂音。其原因是吸尘器的电动机产生的微弱(低强度高频的)电压/电流变化通过电源线传递进入收音机,以杂音的形式放了出来。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时,这个电压/电流的变化被称为“传导干扰”。因此,为了对症下药,通常采用的方法是给发生源及被干扰设备的电源线等安装滤波器,阻止传导干扰的传输。另外,当信号线上出现噪声时,将信号线改为光纤,也可隔断传输途径。

当使用手机时,旁边的CRT电脑显示器图像会出现抖动,这是因为手机工作时的信号通过空间以电磁场的形式传输到CRT显示器内部;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、电路上,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电压/电流,造成危害的干扰称为“辐射干扰”。辐射现象的产生必然存在着天线与源。由于传播途径是空间,因此屏蔽也是解决辐射干扰的有效方法。

如上所述,干扰的根源是电压/电流产生不必要的变化,这种变化通过导线直接传递给其他设备,造成危害,就叫“传导干扰”。另外,电压/电流变化而产生的电磁波通过空间传播到其他设备中,在电路或导线上产生不必要的电压/电流,并造成危害的干扰叫“辐射干扰”。实际上并不能这样简单区分。

例如:计算机等计算设备的骚扰源,虽然是在设备内部电路上流动的数字信号的电压/电流,但这些干扰以传导干扰的方式通过电源线或信号线泄漏,直接传递给其他设备。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,而且计算机等设备本身内部电路也产生电磁波,以辐射的形式危及其他设备。

辐射干扰现象的产生总是与天线分不开的,根据天线原理,如果导线的长度与波长相等,则容易产生电磁波。例如:数米长的电源线会产生VHF频带(30~300 MHz)的辐射发射。在比此频率低的频带内,因波长较长,当电源线中流过同样的电流时,不会辐射太强的电磁波。在30 MHz以下的低频带主要是传导干扰。但是,伴随着传导干扰会在电源线周围产生干扰磁场,给AM广播等带来干扰。另外,如前所述,由于在VHF宽带内电源线泄漏的干扰能转变成电磁波扩散到空间,因此辐射干扰成为比传导干扰更主要的问题。在比此更高的频率上,比电源线尺寸更小的设备内部电路会产生辐射干扰,危害其他设备。

总而言之,当设备和导线的长度比波长短时,主要问题是传导干扰,当它们的尺寸比波长长时,主要问题是辐射干扰。

环境中还存在着一些短暂的高能脉冲干扰，这些干扰对电子设备的危害很大，一般称这种干扰为瞬态干扰。瞬态干扰可以通过电缆进入设备，也可以以宽带辐射干扰的形式对设备造成影响，如汽车点火系统和直流机电刷对收音机的干扰。产生瞬态干扰的原因主要有：雷电、静电放电、电力线上的负载通/断（特别是感性负载）和核电磁脉冲。可见，瞬态干扰指时间很短，但幅度较大的电磁干扰。常见的瞬态干扰有三种：电快速脉冲（EFT）、浪涌（SURGE）和静电放电（ESD）。

1.3 EMC 测试实质

EMC 测试根据标准的不同而有所不同，本书主要参考 IEC1000-4 系列、CISPR16 及 EN55022 标准来说明抗扰度测试及无线电骚扰测试的实质。

1.3.1 辐射发射测试

1. 辐射发射测试目的

因为 EMC 设计及 EMC 问题的分析是建立在 EMC 测试的基础上的，所以有必要对 EMC 测试做简单的阐述。测试电子、电气和机电设备及其部件的辐射发射，包括来自所有组件、电缆及连接线上的辐射发射。它用来鉴定其辐射是否符合标准的要求，以致在正常使用过程中影响同一环境中的其他设备。

2. 常用的辐射发射测试设备

根据常用传导骚扰测试标准 CISPR16 及 EN55022 的要求，辐射发射测试主要需要以下设备：

- (1) EMI 自动测试控制系统（电脑及其界面单元）；
- (2) EMI 测试接收机；
- (3) 各式天线（主动、被动棒状天线、大小形状环路天线、功率双锥天线、对数螺旋天线、喇叭天线）及天线控制单元等；
- (4) 半电波暗室或开阔场。

EMI 测试接收机是 EMC 测试中最常用的基本测试仪器，基于测试接收机的频率响应特性要求，按 CISPR16 标准规定，测试接收机应有四种基本检波方式，即准峰值检波、均方根值检波、峰值检波及平均值检波。然而，大多数电磁干扰都是脉冲干扰，它们对音频影响的客观效果随着重复频率的增高而增大，具有特定时间常数的准峰值检波器的输出特性，可以近似反映这种影响。因此，在无线广播频率领域，CISPR 所推荐的 EMC 规范采用准峰值检波。由于准峰值检波既要利用干扰信号的幅度，又要反映它的时间分布，因此准峰值检波器的充电时间常数比峰值检波器的时间常数要大，而其放电时间常数比峰值检波器的放电时间常数要小，对不同频段应有不同的充、放电时间常数，这两种检波方式

主要用于脉冲干扰测试。

天线是辐射发射测试的传感器，辐射发射测试频率范围从几十 kHz 到几十 GHz。在这么宽的频率范围内测试，所用天线种类繁多，且必须借助各种探测天线把被测场强转换成电压。在 30~300 MHz 频率范围内，常采用偶极与双锥天线，300 MHz~1 GHz 采用偶极、对数周期及对数螺旋天线，1~40 GHz 采用喇叭天线，这些天线的相关参数与理论可参考制造厂商提供的天线出厂资料。辐射发射测试用天线具有下列特点：广泛应用宽频带天线，为了提高测试速度，不得不采用宽频带天线，除非只对少数已知的干扰频率点进行测试。宽频带天线在出厂前提供校正曲线，使用时需输入此天线系数。不少测试用天线都工作在近场区，测试结果对测试距离很敏感，为此测试中必须严格按测试规定进行。其次，在近场区电场、磁场之比（波阻抗）不再是个常数，有些天线虽然给了电场、磁场的校正系数，但只有当这些天线作远场测试时才有效，测试近场干扰时，电场与磁场测试结果不能再按此换算，这是在测试中容易忽略的问题。

开阔场是专业辐射骚扰测试场地，满足标准对于测试距离的要求，在标准要求的测试范围内（无障碍区）没有与测试无关的架空走线、建筑物、反射物体，而且应该避开地下电缆，必要时应该有气候保护罩。该场地满足 CISPR16、ANSI63.4、EN50147-2 关于场地衰减的要求。半电波暗室是模拟开阔场的一个空间，除地面安装反射平面外，其余五个内表面均安装吸波材料的屏蔽室。该场地也满足 CISPR16、ANSI63.4、EN50147-2 关于场地衰减的要求。

控制单元仅仅是为了测试中各个设备之间的协调动作，自动完成辐射发射测试。

3. 辐射发射测试方法

图 1.1 是符合 CISPR16 及 EN55022 标准要求的辐射发射测试布置图。辐射发射测试时，被测设备（EUT）置于半电波暗室内部，并在转台上旋转，以找到最大的辐射点。辐射信号由接收天线接收后，通过电缆传到电波暗室外的接收机。

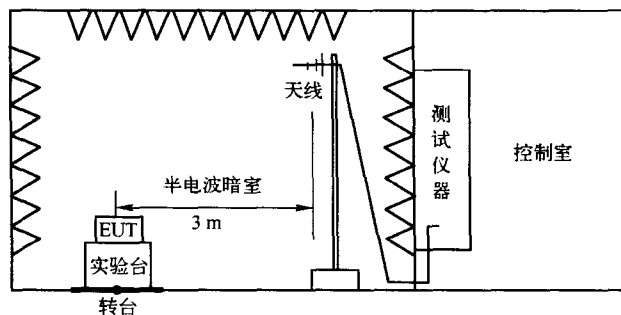


图 1.1 辐射发射测试布置图

台式被测设备的布置如图 1.2 所示，具体要求如下：

- (1) 互连 I/O 线缆距离地面不应小于 40 cm；
- (2) 除了实际负载连接外，被测设备还可以接模拟负载，但是模拟负载应符合阻抗关系，同时还要代表干扰的实际情况；
- (3) 被测设备与辅助设备 AE 电源线直接插入地面的插座，而不应将插座延长；
- (4) 被测设备同辅助设备 AE 间距为 10 cm；
- (5) 被测设备本身的控制器件（键盘等）应按照通常使用时的情况设置；
- (6) 如果被测设备本身的线缆比较多，应仔细理顺，分别处理，并且在测试报告中记录，以获得再次测试的重复性。

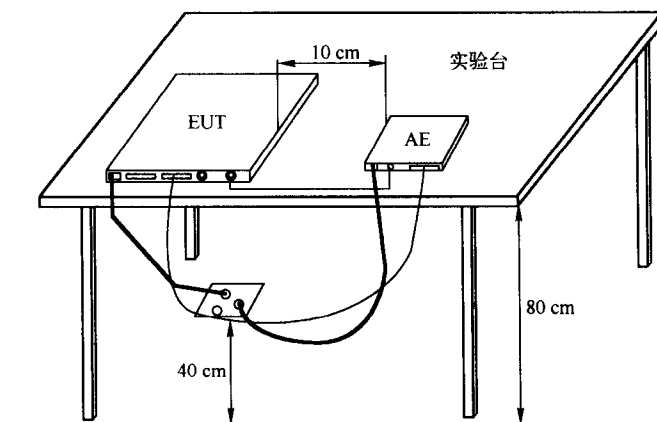


图 1.2 台式设备测试布置图

立式设备的测试布置如图 1.3 所示，具体要求如下：

- (1) 机柜之间的 I/O 互连线应自然放置，如果过长可扎成 30~40 cm 的线束；
- (2) 被测设备置于金属平面上，同金属平面绝缘间隔 10 cm 左右，接模拟负载或暗室外端口的线缆应注意其同金属平面的绝缘性；
- (3) 被测设备电源线过长，应扎成长度为 30~40 cm 的线束，或缩短到刚好够用；
- (4) 如果被测设备本身的线缆比较多，应仔细理顺，分别处理，并且在测试报告中记录，以获得再次测试的重复性。

台式、立式设备混合的测试布置如图 1.4 所示，具体要求如下：

- (1) 互连线如果很长，就应在线缆中部扎成 30~40 cm 的线束，然后放置于金属平面上；如果互连线长度不接触金属平面，那么最好将其悬挂；
- (2) 电源线自然摆放；
- (3) 接模拟负载或外接线缆注意其同金属平面的绝缘性；

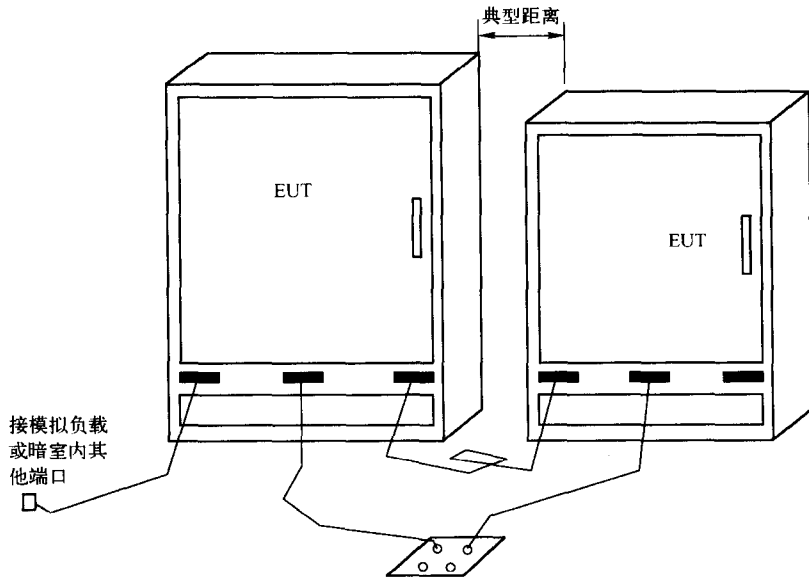


图 1.3 立式设备测试布置图

(4) 如果被测设备本身的线缆比较多, 应仔细理顺, 分别处理, 并且在测试报告中记录, 以获得再次测试的重复性。

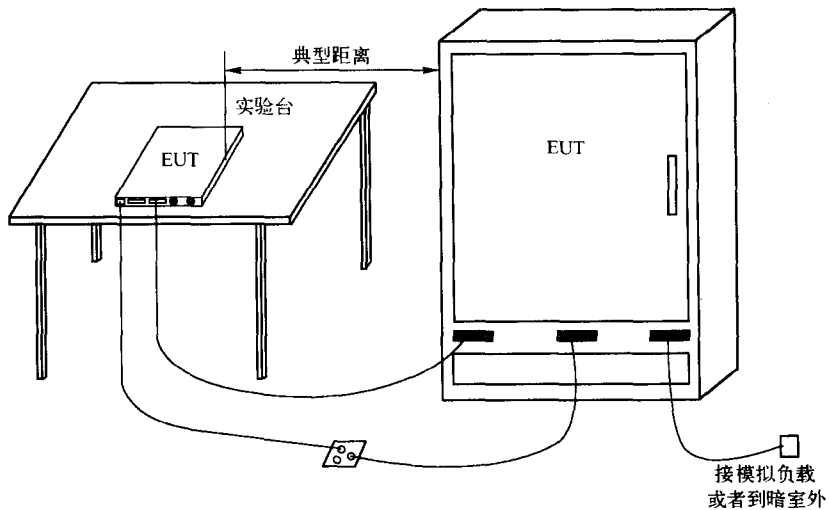


图 1.4 台式、立式设备测试布置图

1.3.2 传导骚扰测试

1. 传导骚扰测试目的

传导骚扰测试是为了衡量设备从电源端口、信号端口向电网或信号网络传输的骚扰。

2. 常用的传导骚扰设备

根据常用传导骚扰测试标准 CISPR16 及 EN55022 的要求, 传导骚扰测试主要需要以下设备:

- (1) EMI 自动测试控制系统 (电脑及其界面单元);
- (2) EMI 测试接收机 (或频谱分析仪);
- (3) 电源阻抗模拟网路 (LISN)、电流探头 (Current Probe)。

电源阻抗模拟网路是一种耦合去耦电路, 主要用来提供干净的 DC/AC 电源品质, 并阻挡被测设备骚扰回馈至电源及 RF 耦合, 同时提供特定的阻抗特性。其等效电路与阻抗特性如图 1.5 所示。

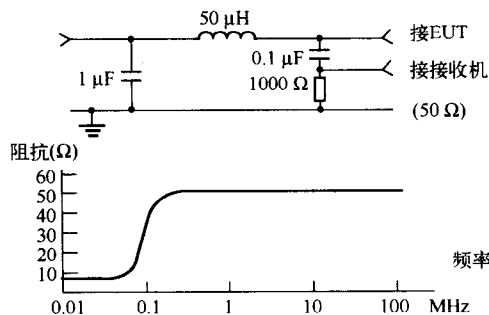


图 1.5 LISN 等效电路及阻抗特性

电流探头是利用流过导体的电流产生的磁场被另一线圈感应的原理而制得的, 通常用来对信号线进行传导骚扰测试。

3. 传导骚扰测试方法

与辐射骚扰测试相比, 传导骚扰测试需要较少的仪器。很重要的条件是需要一个 $(2 \times 2) \text{ m}^2$ 以上的参考地平面, 并超出 EUT 边界至少 0.5 m。因为屏蔽室内的环境噪声较低, 同时屏蔽室的金属墙面或地板可以作为参考接地板, 所以传导骚扰测试通常在屏蔽室内进行。图 1.6 是台式设备的电源端口传导骚扰测试配置图。LISN 实现传导骚扰信号的拾取与阻抗匹配, 再将信号传送至接收机 (具体测试的原理图在案例“传导骚扰与接地”中有描述)。对于落地式设备, 测试时, 只要将被测设备放置在离地 0.1 m 高的绝缘支架上即可。除电源端口需要进行传导骚扰测试外, 信号、通信端口也要进行传导骚扰测试。信号端口的测试方法, 相对比较复杂, 有两种方法可以测试, 即电压法与电流法, 测试结