

DIANCI JIANRONG YUANLI
SHEJI YU YINGYONG
YIBENTONG

电磁兼容原理、设计与应用 一本通

■ 周 新 主编 ■ 文继军 李建利 副主编



一看就懂 一学就会

助你全面掌握电磁原理、设计与应用



化学工业出版社

DIANCI JIANRONG YUANLI
SHEJI YU YINGYONG
YIBENTONG

电磁兼容原理、设计与应用 一本通

■ 周 新 主编 ■ 文继军 李建利 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书全面介绍了电磁兼容设计和测试的有关技术知识和注意事项,具体内容包括电磁兼容(EMC)标准知识、电磁兼容各项试验要求、接地设计、屏蔽设计、干扰滤波、电缆及连接器的设计、瞬态干扰抑制器件、隔离器件、产品整机及电路板设计、产品的电气设计和装配、电磁兼容故障的诊断及整改措施等。书中大量设计实例和技巧都是作者自身实践经验的总结。书中还详细讲解了电子产品在电磁兼容测试过程中出现的一些常见问题以及补救方法,可以帮助读者全面了解和掌握电磁兼容设计和测试的相关知识和技能。

本书可供电子爱好者、电磁兼容检测人员阅读,也可作为中高等院校电子类及相关专业的教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容原理、设计与应用一本通/周新主编. —北京:
化学工业出版社, 2014. 7
ISBN 978-7-122-20507-0

I. ①电… II. ①周… III. ①电磁兼容性 IV.
①TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 082643 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 吴开亮
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 472 千字 2015 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 59.00 元

版权所有 违者必究



前言

电磁兼容一般指电气、电子设备在共同的电磁环境中能执行各自功能的共存状态，既要求都能正常工作又互不干扰，达到“兼容”状态。随着科技的发展，人们在生产、生活中使用的电气、电子设备越来越广泛。这些设备在工作中产生一些有用或无用的电磁能量，这些能量影响到其他设备的工作，就形成了电磁干扰。严格地讲，只要将两个以上的元件（或电路、设备、系统）置于同一电磁环境中，就会产生电磁干扰。

近年来，电磁干扰问题越来越成为电子设备或系统中的一个严重问题，电磁兼容技术已成为许多技术人员和管理人员十分重视的内容。究其原因主要有以下几点：

1. 电子设备的密集度已成为衡量现代化程度的一个重要指标，大量的电子设备在同一电磁环境中工作，电磁干扰的问题呈现出前所未有的严重性；
2. 现代电子产品的一个主要特征是数字化，微处理器的应用十分普遍，而这些数字电路在工作时，会产生很强的电磁干扰发射。不仅使产品不能通过有关的电磁兼容性标准测试，甚至连自身的稳定工作都不能保证；
3. 电磁兼容标准的强制执行使电子产品必须满足电磁兼容标准的要求；
4. 电磁兼容性标准已成为西方发达国家限制进口产品的一道坚固的技术壁垒。我国加入世贸组织后，这种技术壁垒对我们的障碍更大。

目前，国内有关电磁兼容方面的书籍很多，这些书各有特色，广泛阅读这些书籍无疑能极大地丰富电磁兼容方面的知识，培养综合运用知识的能力。

为了帮助我国的工程师们尽快提高电磁兼容设计水平，笔者根据自己多年的电子电路及电磁兼容测试经验，编写了这本书。

书中既全面介绍了电磁兼容设计的方法和注意事项，又结合实际介绍了电磁兼容测试的相关技术和标准。具体内容包括电磁兼容（EMC）标准知识、电磁兼容各项试验要求、接地设计、屏蔽设计、干扰滤波、电缆及连接器的设计、瞬态干扰抑制器件、隔离器件、产品整机及电路板设计、产品的电气设计和装配、电磁兼容故障的诊断及整改措施等。

全书编写力求通俗易懂，尽量避免大量的计算公式，并且理论联系实际，讲解了笔者自身的大量实践经验。电磁兼容测试检测工程师们可以根据本书了解电子产品电磁兼容测试的深层意义，而电子工程师可以在产品设计之初就避免出现电磁干扰的问题，提高产品的可靠性。本书中还详细地讲解了电子产品在电磁兼容测试过程中出现的一些常见问题以及补救方法，这对没有经过电磁兼容设计的产品测试是非常有帮助的。本书可供电子爱好者、电磁兼容检测人员阅读，也可作为中高等院校电子类及相关专业的教材使用。

本书由周新主编，文继军、李建利副主编，参加编写的还有刘盛荣、李洪恩、张寿庭、刘云兵、谢小刚、郭学洪、姜家勇、马高峰等。

由于时间仓促，书中不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

目录

第一章 电磁兼容概述	1
第一节 电磁兼容性的基本概念	1
一、电磁骚扰与电磁干扰	1
二、电磁兼容性	2
三、电磁兼容常用名词术语	2
第二节 干扰的“本质”	2
第三节 电磁兼容三要素	3
第四节 分贝的概念和应用	3
第五节 天线的结构和应用	4
第六节 电磁兼容相关标准	5
一、基础标准	6
二、通用标准	6
三、产品族标准	6
四、专用产品标准	6
五、电磁兼容标准的试验内容分类	6
六、电磁兼容的试验方法	7
第七节 电磁兼容的试验项目	8
一、通用标准中各试验端口的骚扰标准	8
二、通用标准中的抗扰度标准	9
第二章 电磁兼容各试验项目详解	13
第一节 辐射骚扰试验 (30MHz~1GHz)	13
一、辐射骚扰的试验目的	13
二、主要试验设备及场地	13
三、试验方法及试验布置	14
四、试验标准限值	16
第二节 传导骚扰试验	16
一、试验目的	16
二、主要试验设备	16
三、试验方法及试验布置	17
四、试验标准限值	17
第三节 谐波电流试验	18

一、试验目的	18
二、主要试验设备	18
三、试验方法及试验配置	18
四、试验标准限值	18
第四节 静电放电抗扰度试验	20
一、试验目的	20
二、主要试验设备	20
三、试验方法及试验配置	20
第五节 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	25
一、试验目的	25
二、主要试验设备	25
三、试验方法及试验配置	27
四、试验等级	30
第六节 浪涌（冲击）抗扰度试验	30
一、试验目的	30
二、主要试验设备	31
三、试验方法及试验配置	35
第七节 射频辐射电磁场抗扰度试验	42
一、试验目的	42
二、主要试验设备及场地	42
三、试验方法及试验配置	43
四、试验等级	45
五、GTEM 小室	46
第八节 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验	48
一、试验目的	48
二、试验设备	48
三、试验方法及试验配置	50
四、试验等级	51
第九节 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验	51
一、试验目的	51
二、试验设备	52
三、试验方法	54
四、试验等级	55
第三章 接地设计	57
第一节 接地概述	57
第二节 安全地	57
第三节 信号地	59
第四节 地线阻抗	60
一、导线阻抗	61
二、信号回路阻抗	62
第五节 地线干扰	63
第六节 地线环路干扰	64

一、地线环路干扰现象	64
二、地线环路问题的解决策略	66
第七节 地线公共阻抗干扰	70
一、公共阻抗干扰的原因	70
二、公共阻抗干扰的解决策略	70
第八节 地线设计原则	71
一、单点接地	71
二、多点接地	73
三、混合接地	73
第九节 电路板上的地线设计	74

第四章 屏蔽设计 76

第一节 屏蔽效能	76
第二节 电场屏蔽	77
一、电场屏蔽原理	77
二、电场屏蔽设计要点	78
第三节 磁场屏蔽	78
一、磁场屏蔽原理	79
二、磁场屏蔽的设计要点	79
第四节 电磁场屏蔽	79
第五节 机壳的屏蔽设计	80
一、孔洞泄漏	80
二、缝隙泄漏	81
三、孔缝处理	82
四、电磁密封衬垫使用指导	84
五、显示窗口的屏蔽设计	88
六、通风孔的设计	89
七、控制杆的设计	90
八、导电涂层	91
九、其他辅料	91
第六节 搭接	92

第五章 干扰滤波 95

第一节 干扰滤波的作用	95
一、辐射相关	95
二、电快速瞬变脉冲群试验	96
三、静电放电试验	97
第二节 干扰电流	97
一、共模干扰电流	97
二、差模干扰电流	98
第三节 设计电磁干扰滤波器	99
第四节 滤波器设计过程中的问题	102
第五节 滤波电容的选择	104

第六节 绕制电感	108
第七节 选择磁芯	110
第八节 电源滤波器	111
第九节 电源滤波器的设计及使用方法	113
一、器件的使用	113
二、元件布局	114
三、滤波器结构设计	115
四、滤波器的安装	116
五、正确选用滤波器	117
第十节 信号端口滤波器	118
第十一节 插入增益	121
第十二节 滤波器对脉冲干扰的抑制	122
第六章 电缆及连接器的设计	124
第一节 电缆的电磁辐射	124
第二节 电缆的电磁抗扰度问题	128
第三节 电缆的分布参数	130
第四节 电缆在产品中的位置与共模电流	130
第五节 敏感电路及干扰源的位置与产品共模电流	131
第六节 电缆中共模电流的抑制	133
一、减小共模电压	134
二、增加共模回路阻抗	135
三、共模滤波	137
四、电缆屏蔽	138
五、平衡电路	142
第七节 电缆之间的串扰	143
一、电缆串扰机理	143
二、容性耦合的对策	145
三、互感耦合	146
四、各种电缆分类	149
第八节 电磁场对电缆的影响	150
第七章 瞬态干扰抑制器件	156
第一节 气体放电管	157
一、概述	157
二、内部结构	157
三、工作原理	157
四、主要参数	158
五、参数分析	159
六、应用	160
七、气体放电管的故障	162
第二节 金属氧化物压敏电阻	162
一、内部结构	162

二、主要参数	163
三、应用原则	167
四、响应速度问题	167
五、故障模式	169
六、注意事项	169
第三节 瞬态抑制二极管 (TVS)	169
一、工作原理	169
二、主要参数	170
三、TVS 的应用	174
第四节 固体放电管	178
一、工作原理	178
二、主要参数	178
三、应用说明	180
四、故障模式	181
第五节 组合式保护器	181
一、组合式保护器件	182
二、应用说明	182
第六节 设计实例	183
一、交流电源端口防雷和防浪涌电路设计	183
二、直流电源端口防雷和防浪涌电路设计	184
三、信号端口防雷和防浪涌电路设计	186
第八章 隔离器件	189
第一节 隔离变压器	189
一、隔离变压器原理	189
二、带屏蔽隔离变压器	190
三、超级隔离变压器	191
四、实际安装	193
第二节 光电耦合器隔离	194
一、光电耦合器隔离原理	194
二、光电耦合器隔离应用	194
第三节 隔离放大器	195
第九章 产品整机及电路板的设计	196
第一节 电源线及地线上的噪声	196
一、噪声的产生	196
二、抑制噪声的方法	197
第二节 电路板上的干扰源	200
第三节 扩谱时钟	201
第四节 单层板和双层板的设计	203
一、单层板	203
二、双层板	203
三、电路板设计的一般规则	204

四、电路布局	204
五、布线	204
六、多层电路板	208
第五节 关于电路设计的建议	214
第六节 信号传输畸变及其解决方法	215
第七节 信号线滤波	217
一、信号线滤波器安装方案	217
二、信号线 EMC 滤波线路举例	217
第八节 电路板互连电缆的设计	225
第九节 电路板及设备上的开关触点的处理	227
一、开关断开时瞬态干扰形成的原理	227
二、开关切换瞬态干扰抑制	228
第十节 操作按钮与电子线路的配合	230
第十一节 电路之间的耦合	231
第十二节 电路板的局部屏蔽	232
第十三节 从时序上降低电路受干扰的概率	233
第十四节 软件抗扰措施	233
一、看门狗	234
二、其他措施	234
第十章 产品的电气设计和装配	235
第一节 电气设计的原则	235
第二节 元器件、电气配件的排布和安装	235
第三节 排布导线	236
一、排布导线注意事项	237
二、汇流排的设计安装	238
第四节 产品的安全性与可靠性	239
一、绝缘与耐压	239
二、电磁干扰与防护	240
三、产品的可靠性设计	241
第五节 机柜间电缆的处理	242
第十一章 电磁兼容故障的诊断及整改	244
第一节 产品电磁兼容定性	244
一、摸底试验配置	244
二、定性试验配置	245
第二节 产品电磁兼容故障的定位	246
一、故障判断	246
二、故障信号的测试	246
三、故障定位总结	247
四、故障排查举例（变频调速系统）	247
第三节 电磁兼容故障整改	249
一、辐射发射超标	250

二、传导发射超标	251
三、电源谐波发射超标	252
四、静电放电抗扰度不合格	253
五、射频电磁场辐射抗扰度不合格	256
六、电快速脉冲群抗扰度不合格	257
七、浪涌（冲击）抗扰度不合格	259
八、射频场感应传导抗扰度不合格	260
参考文献	262

电磁兼容概述

电磁兼容 (Electro Magnetic Compatibility, EMC) 是电子、电气设备或系统的一种重要的技术性能。其定义为: 设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力。

(1) 电磁干扰 (Electro Magnetic Interference, EMI) 是指任何在传导或电磁场伴随着电压、电流的作用而产生会降低某个装置、设备或系统的性能, 或可能对生物或物质产生不良影响的电磁现象。相对应的测试项目根据产品类型及标准不同而不同。

(2) 电磁抗扰度 (Electro Magnetic Susceptibility, EMS) 是指处在一定环境中的设备或系统, 在正常运行时, 承受相应标准、相应规定范围内的电磁能量干扰的能力。

电磁兼容 (EMC) 主要研究的是如何使在同一电磁环境下工作的各种电气电子设备和元器件都能正常工作, 互不干扰, 达到兼容状态。电磁兼容研究主要针对电气电子设备, 同时也涉及如生产中的静电放电、电磁辐射对人体的影响等方面。

第一节 电磁兼容性的基本概念

一、电磁骚扰与电磁干扰

电磁骚扰是指任何可能引起设备性能降低或对有生命物质产生损害作用的电磁现象。由机电或其他人为装置产生的电磁骚扰, 称为人为骚扰; 来源于自然现象的电磁骚扰, 称为自然骚扰。电磁干扰则是指由电磁骚扰引起的设备或传输通道性能的下降。所以骚扰和干扰的含义是不同的。从概念上讲, 骚扰是一种电磁能量, 干扰是骚扰产生的结果或后果。

电磁干扰产生于骚扰源; 大量骚扰源的存在造成电磁环境污染, 导致电磁兼容性问题尖锐化。主要表现在:

- ① 同时工作的电子设备的总数在增长, 电子设备的数量每 4~5 年增加一倍;
- ② 发射机的功率在增加, 如某些雷达的发射脉冲功率达几十兆瓦甚至几百兆瓦;
- ③ 许多无线电频段严重超载, 以致对不同类型的电子设备不得不多次反复使用同一

频段；

④ 电子设备在运行时产生的电磁骚扰电平不断提高。如某些医疗设备运行时产生的干扰电平可达每米几百伏。

二、电磁兼容性

电子设备受电磁骚扰的影响而出现故障或性能降级，就称为设备对电磁骚扰敏感。如何在设备与电磁环境之间寻求一种协调的关系和共存的条件，这就是电磁兼容性技术所要研究的重点内容。

三、电磁兼容常用名词术语

为了描述电磁骚扰与电磁兼容性，需要引入许多名词术语，这里仅介绍国家军用标准 GJB 72—1985《电磁干扰和电磁兼容性名词术语》中的一部分。

(1) 电磁兼容性 (Electro Magnetic Compatibility, EMC) 设备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其他设备的电磁发射导致不允许的降级；也不会使同一电磁环境中其他设备因受其电磁发射而导致不允许的降级。

(2) 电磁干扰 (Electro Magnetic Interference, EMI) 电磁骚扰导致电子设备相互影响，并引起不良后果的一种电磁现象。

(3) 辐射发射 (Radiated Emission, RE) 通过空间传播的、有用的或不希望有的电磁能量。

(4) 传导发射 (Conducted Emission, CE) 沿电源或信号线传输的电磁发射。

(5) 电磁敏感性 (Electro Magnetic Susceptibility, EMS) 设备暴露在电磁环境下所呈现的不希望有的响应程度。即设备对周围电磁环境敏感程度的度量。电磁敏感意味着电磁环境已经造成设备性能的降低。

(6) 辐射敏感度 (Radiated Susceptibility, RS) 对造成设备性能降级的辐射骚扰场的度量。

(7) 传导敏感度 (Conducted Susceptibility, CS) 当引起设备性能降级时，对从传导方式引入的骚扰信号电流或电压的度量。

第二节 干扰的“本质”

打开电视机时，室内的日光灯会出现瞬间变暗的现象，这是因为大量电流流向电视机，电压骤然下降，利用同一电源的日光灯受到影响。还有使用吹风机时收音机会发出“啦啦，啦啦”的噪声。原因是吹风机的电机产生微弱（低强度高频的）电压/电流变化通过电源线传递进入收音机，以噪声的形式表现出来。像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时，将这个电压/电流的变化称为“传导干扰”。“对付”这种干扰通常采用给干扰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。当信号线上出现噪声时，可将信号线改为光纤，这样也能隔断传输途径。

在使用手机时，旁边的电视机 CRT 图像会出现抖动，扬声器中也会发出“嘟嘟嘟”的噪声，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电视机内部。当汽车从附近道路经过时，电视会出现雪花状干扰，这是因为汽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。像这种通过空间传播，并且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有天线与源存在。像这种传播途径是空间的干扰，可以通过屏蔽的手段来解决。

通过上述内容不难看出，电磁干扰的根源其实就是电压/电流产生不必要的变化。但是在

实际中,干扰类型的区分并不是如此简单。

某些数字视听设备(例如液晶电视等)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的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,数字视听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和天线是紧密相连的,根据天线理论,如果导线的长度与波长相等,就容易产生电磁波。例如,数米长的电源线就会产生 30~300MHz 频带的辐射发射。比此频率低的频段,因波长较长,当电源线中流过同样的电流时,不会辐射很强的电磁波。所以在 30MHz 以下的低频段主要是传导干扰。辐射干扰是比传导干扰还要严重的问题,因为在 30~300MHz 宽带内电源线泄漏的干扰可以转变成电磁波发射到空间。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,对其他设备造成危害。

综合起来就是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量脉冲干扰,这些干扰对电子设备的危害很大,这种干扰一般称为瞬态干扰。瞬态干扰既可以通过电缆(包括电源线和信号线)进入设备,也可以以宽带辐射干扰的形式对设备造成影响。例如,汽车点火装置和直流电动机电刷产生的电火花对收音机的干扰。在现实环境中,雷电、静电放电、电力线上的负载通断(特别是感性负载)、核电磁脉冲等都是产生瞬态干扰的原因。可见,瞬态干扰是指时间很短但幅度较大的电磁干扰。设备需要通过测试验证的瞬态干扰抗扰度有三种:各类电快速瞬态脉冲(EFT)、各类浪涌(SURGE)、静电放电(ESD)。

第三节 电磁兼容三要素

产生电磁兼容(或者说电磁干扰)问题,必须同时具备以下三个条件。

- ① 骚扰源:产生干扰的电路或设备。
- ② 敏感源:受这种干扰影响的电路或设备。
- ③ 耦合路径:能够将干扰源产生的干扰能量传递到敏感源的路径。

以上三个条件就是电磁兼容的三要素,只要将这三个要素中的一个去除掉,那么,电磁干扰的问题就不复存在了。电磁兼容技术就是通过研究每个要素的特点,提出消除每个要素的技术手段,以及这些技术手段在实际工程中的实现方法。

产生电磁干扰的条件:

- ① 突变的电压或电流(即 dv/dt 或 di/dt 很大)。
- ② 辐射天线或传导导体。

当电压或电流发生迅速变化时,就会产生电磁辐射现象,导致电磁干扰。

因此,电磁干扰问题日益突出的主要原因之一就是脉冲电路的大量应用。凡是存在这种电压或电流突然变化的环境,都要考虑电磁干扰问题,例如:

- ① 数字脉冲电路,随着产品的信息化和智能化发展,这种电路无所不在;
- ② 工作在开关模式的电源(开关电源),包括 AC/DC 变换器、DC/DC 变换器;
- ③ 电感性负载的接通和断开。

第四节 分贝的概念和应用

在电磁兼容分析中,分贝(dB)是比较常用的物理量,对于 dB 有一个正确的理解是十

分必要的。例如,对传导骚扰的限值为 $\text{dB}\mu\text{V}$ 或 $\text{dB}\mu\text{A}$,对辐射骚扰的限值为 $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$,金属机箱的屏蔽效能和滤波器的插入损耗也都用 dB 来衡量等。并且,就连频谱分析仪的幅度显示刻度一般也都是以 dB 来标示的。在实际工程中,有许多错误也都是由于对 dB 的错误理解所造成的。

分贝的定义如下:

$$\text{分贝数} = 10 \lg(P_1/P_2) \text{dB}$$

式中, P_2 和 P_1 表示进行比较的两个功率值,如果 P_2 大于 P_1 ,分贝数即为正,表示有功率增益;如果 P_2 小于 P_1 ,分贝数即为负,表示功率发生损耗。

从定义中可知,分贝实际上就是两个数值的比值,分贝数只表示两个数值的比值的大小,并没有给予对数量绝对值的概念。要牢记这一点,这在电磁兼容实践中是十分重要的。

在电路分析中,电压和电流的单位用得最多,因此,常用分贝来表示电压/电流的增益。由于电压和电流的乘积对应功率,因此,对电压/电流增益使用分贝时,定义如下:

$$\text{电压增益的分贝数} = 20 \lg(V_2/V_1) \text{dB}$$

$$\text{电流增益的分贝数} = 20 \lg(I_2/I_1) \text{dB}$$

提示: 这些定义只有在相同的阻抗上测量 V_2 和 V_1 (或 I_2 和 I_1) 时才正确。

分贝也可以表示物理量的绝对数值,这里包含着一个比较基准,在使用这个物理量时,需要清楚这个基准是多少。通常,以“1”为参考值,这时常用的物理量的单位就变成用分贝表示的形式了,见表 1-1。

表 1-1 以“1”为参考值时常用物理量单位转换成用分贝表示的形式

物 理 量	单 位	参 考 值
功率	dBmW	1mW
电压	dBV	1V
	dBmV	1mV
	$\text{dB}\mu\text{V}$	$1\mu\text{V}$
电流	dBA	1A
	dBmA	1mA
	$\text{dB}\mu\text{A}$	$1\mu\text{A}$
电阻	$\text{dB}\Omega$	1Ω

第五节 天线的结构 and 应用

电子、电气设备工作时会产生一种伴随电磁辐射,这种辐射并不是设备为了完成预定的功能而必须发射的。伴随辐射是一类主要的干扰源,所有的电子设备都必须尽量消除这种辐射。为了消除这种辐射骚扰,需要了解电磁波辐射的条件。

电磁波辐射有两个必要的条件,那就是天线和流过天线的交变电流。在实际的设备中存在着许多寄生天线,这就是电气、电子设备在工作时产生伴随电磁辐射的原因。避免产生寄生天线,也是做电磁兼容设计的目的之一,分析和解决电磁兼容问题的其中一项主要内容就是发现和去除一些寄生的天线结构。如果不能彻底去除寄生天线结构,也应该避免交变电流进入天线,并降低它们的辐射效率。为了达到目的,首先需要认识一下天线的结构,也就是说什么样的结构能起到天线的作用。

电偶极和电流环是两个基本的天线结构,如图 1-1 所示。

单极天线形式是只有一根金属导体,另一根金属导体由大地或附近的其他大型金属物体充当,它是偶极天线的一种变形。单极天线的辐射效率要低一些,但是辐射特性与电偶极天线的基本相同。

电流环天线在电路中随处可见,因为任何一个电路回路都可以构成一个辐射天线。控制电流回路的面积是减小电流环辐射的有效方法。在进行线路板设计和电缆设计时也应该以此为依据。

其实之所以存在天线,实际上就是两个导体之间存在电压。单极天线就是导体和大地之间存在电压。只要去除两个导体之间的电压,或者去除导体与大地之间的电压,就能够减小辐射。屏蔽结构设计和搭接设计应该以此为依据。

电流环通常是由电路的工作回路形成的,很容易识别。电偶极和单极天线就不那么容易发现了,因为驱动这种天线的电压并不是电路的工作电压,而是一些无意产生的电压。

电子产品中常见的寄生电偶极天线和单极天线有:线路板上的地线、线路板上的外拖电缆(包括机箱外拖电缆、I/O 电缆和电源线等)、数字地与模拟地分开的线路板、线路板与机箱连接的导线、金属机箱上的孔缝、电路板上较长的悬空走线、没有接地的散热片等。在电磁兼容设计时,要尽量消除这些结构或控制它们的辐射。外界电磁场会在金属部件上感应出电流,因为当系统的地线设计不合理时,电路的地线因为外界电磁场会在金属部件上感应出电流,当系统的地线设计不合理时,电路的地线电流也会流过金属部件,电流流过阻抗较大的部位(例如金属部件之间的孔缝或搭接点)时,会产生电压,因此金属部件很容易成为电偶极或单极天线。

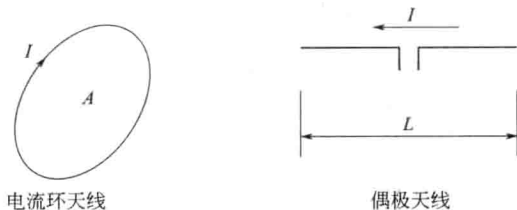


图 1-1 基本天线结构

第六节 电磁兼容相关标准

电磁兼容技术的迅速发展,也刺激了对电磁兼容标准化工作的需求。许多国家在 EMC 技术的研究、标准的制定、EMC 测试及认证方面做了不少工作,如欧盟成员国关于 EMC 法律性指令(89/336/EEC 指令)要求所有投放市场的电工电子产品均要求进行 EMC 认证,认证合格后,贴上 CE 标志。美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC)颁布了一系列有关 EMC 的法规,并进行这方面的管理,对于通信发射机、接收机、电视机、计算机、各种医疗设备均有相应的法律要求。任何想出口到美国的这些设备必须取得 FCC 的某种形式的认可。

国际电工委员会(International Electro technical Commission, IEC)专门从事电磁兼容标准化工作的有两个技术委员会,即国际无线电干扰特别委员会(CISPR)和第 77 技术委员会(TC77)。

我国的 EMC 测试及标准化工作是 20 世纪 60 年代起步的,对应于 CISPR 成立了全国无线电干扰标准化技术委员会,对应于 TC77 成立了全国电磁兼容标准化联合工作组,以促进电磁兼容 EMC 研究和标准化工作。我国的 EMC 标准化工作是在前国家技术监督局的领导下进行的。国内标准以 GB、GB/T 开头。我国自从 1983 年发布第一个 EMC 标准(GB 3907—1983)以来,至今已发布了 47 个有关的国家标准,其中 32 个强制,15 个推荐。我国的 EMC 标准绝大多数引进国际标准。

随着 EMC 标准化工作的进行,其认证工作作为市场经济发展到一个比较成熟阶段的产物,就如安全认证和环境保护的绿色认证一样,EMC 认证也将是产品的一个重要质量标志。

根据不同电磁兼容标准在电磁兼容测试中的不同地位,电磁兼容标准体系可分为基础标准、通用标准、产品族标准及专用产品标准等4级。

一、基础标准

基础标准仅对现象、环境、试验方法、试验仪器和基本试验配置等给出定义及详细描述,不涉及具体产品。该类标准不给出指令性的限值及对产品性能的直接判据,但它是编制其他各级电磁兼容标准的基础。

例如,下列标准均属于基础标准范围:

- ① GB 4365 《电磁兼容术语》;
- ② GB/T 6113 《无线电骚扰和抗扰度测量设备规范》;
- ③ GB/T 6113.2 《无线电骚扰和抗扰度测量设备规范和测量方法第二部分:骚扰和抗扰度测量方法》;
- ④ GB/T 17626 中有关产品抗扰度测量的系列标准等。

二、通用标准

通用标准给出了通用环境中的所有产品一系列最低的电磁兼容性要求(包括必须进行的试验项目和必须达到的试验要求)。通用标准中提到的试验项目及其试验方法可以在相应的基础标准中找到,通用标准中不做出任何介绍。通用标准给出的试验环境、试验要求可以作为产品族标准以及专用产品标准的编制导则。同时对于那些暂时尚未建立电磁兼容试验标准的产品,可以参照通用标准来进行其电磁兼容性性能的摸底试验。

三、产品族标准

产品族标准是根据特定产品类别而制定的电磁兼容性性能的测试标准。它主要包括产品的电磁骚扰发射和产品的抗扰度要求这两个方面的内容。产品族标准中规定的测试内容及限值应与通用标准一致,但与通用标准相比,产品族标准根据产品的特殊性,在测试内容的选择、限值及性能的判据等方面有一定的特殊性和具体性(比如提高骚扰试验的限值或增加试验的项目)。

产品族标准是电磁兼容性标准中内容最多的一类标准。例如 GB 17743、GB 4343、GB 9254 和 GB 13837 分别是关于照明工具、家用电器和电动工具、信息技术设备、声音和广播电视接收设备的无线电骚扰特性测量及限值的标准,这些标准分别代表一个大类产品对电磁骚扰发射限度的要求。

四、专用产品标准

该标准是将专门条款包含在产品的通用技术条件中,一般不单独形成电磁兼容标准。专用产品标准对电磁兼容的要求与相应的产品族标准一致,在考虑了产品的特殊性之后,也可增加试验项目以及对电磁兼容性能要求做某些改变。与产品族标准相比,专用产品标准对电磁兼容性的要求更加明确,更加具体,而且还增加了对产品性能试验的标准。

五、电磁兼容标准的试验内容分类

电磁能量从设备内传出或从外界传入设备的途径只有两个,一个是以电磁波的形式从空间传播,另一个是以电流的形式沿导线传播。因此,电磁干扰发射可以分为传导发射和辐射发射;抗扰度也可以分为传导抗扰度和辐射抗扰度。

各种电磁兼容标准测试的内容包括:传导发射、辐射发射、传导抗扰度、辐射抗扰度。电磁兼容标准的内容如图 1-2 所示。