

## 内 容 简 介

电磁兼容(ElectroMagnetic Compatibility, EMC)作为一门新兴的综合性交叉学科正在迅速发展,它涉及到电子、计算机、通信、航空航天、铁路交通、电力、军事,以及人民生活的各个方面。本书深入浅出地介绍了电磁兼容的原理与技术。全书共分为9章:第1章电磁兼容技术概述;第2章电磁兼容理论基础;第3章干扰耦合机理;第4章滤波技术;第5章屏蔽技术;第6章印制电路板PCB的电磁兼容设计;第7章接地技术;第8章计算机系统中的电磁兼容性;第9章电磁兼容的预测与建模技术。

本书适合于电子工程、电气工程、信息和计算机技术、自动控制与机电一体化、仪器和测试技术、生物医学工程等专业作本科生和研究生教材,还可供从事电气和电子产品研发、设计、制造、质量管理、检测与维修的工程技术人员使用。

★本书配有电子教案,有需要的老师可与出版社联系,免费提供。

### 图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容原理与技术/何宏主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2008.7

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2040-4

I. 电… II. 何… III. 电磁兼容性—高等学校—教材 IV. TN03

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第062473号

策 划 寇向宏

责任编辑 寇向宏

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.625

字 数 365千字

印 数 1~4000册

定 价 22.00元

ISBN 978-7-5606-2040-4/TN·0425

**XDUP 2332001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 第 1 章 电磁兼容技术概述

## 1.1 电磁兼容概述

### 1.1.1 引言

随着科学技术的发展，人们在生产及生活中使用的电气及电子设备的数量越来越多，这些设备在工作的同时往往要产生一些有用的或无用的电磁能量，这些能量将影响其他设备的工作，从而形成了电磁干扰。例如，继电器通、断所产生的瞬态电磁脉冲使计算机工作失常；汽车驶过或飞机低空飞过住宅时，将干扰电视机的正常工作，使电视机出现杂乱的画面。严格地说，只要把两个以上的元件置于同一环境中，工作时就会产生电磁干扰。在两个系统之间会出现系统间的干扰，例如，飞机航行系统、船上电子系统、雷达系统、通信系统、电视和广播系统等。相互之间出现的干扰如图 1-1 所示。

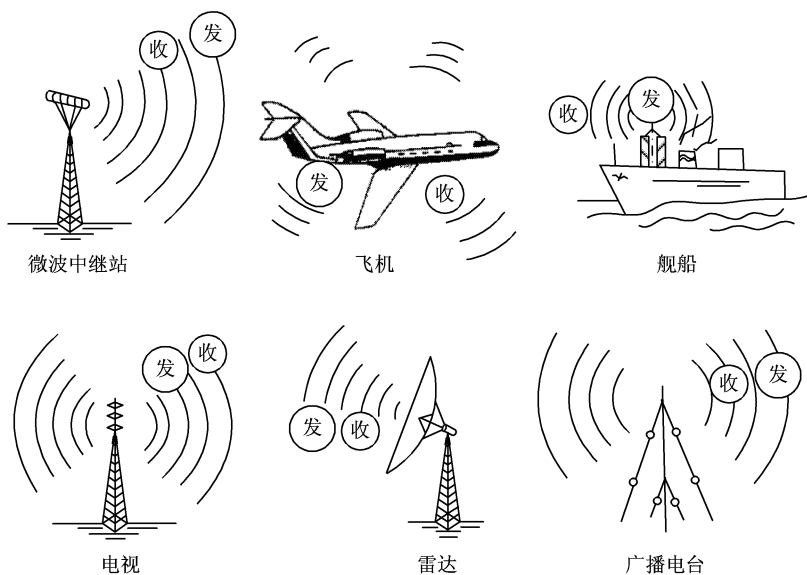


图 1-1 系统间的电磁干扰

在系统内部各设备之间也会出现设备间的干扰，称为系统内的干扰。例如，汽车内自动点火系统对车内收音机的干扰，雷达发射机对雷达接收机的干扰等。

在同一电子设备中的各部分电路间会存在干扰，即一个电路可能受其他电路的干扰，也可能干扰周围其他电路。例如，数字电路对共用同一电源的低电平模拟电路的干扰，计算机中磁带驱动器的磁场对低电平数字电路的干扰，以及无线电接收机各级电路间的干扰（如图 1-2 所示），等等。

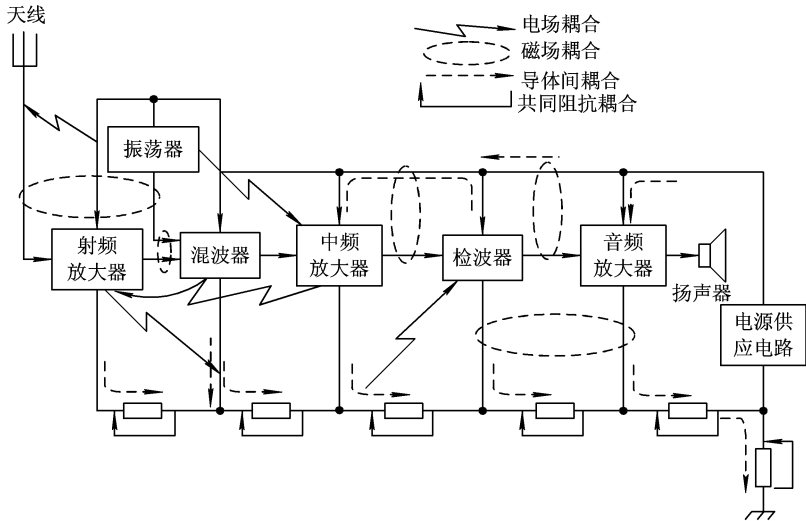


图 1-2 无线电接收机内各级电路间的干扰

在航天飞行器、飞机、舰艇中，大量的电子设备密集在狭小的空间，相互间的电磁干扰非常严重。例如，短波接收机遭到阻塞干扰，通信发射机会干扰雷达的工作，在飞机或舰艇上，一般要装备许多种雷达，当所有雷达同时工作时，一部雷达可能遭受几部雷达的干扰。在战斗中由于飞机和军舰上防御电子系统和进攻电子系统的相互干扰不能同时兼容工作，因而遭到对方发射导弹攻击的战例是屡见不鲜的。

因此，在复杂的电磁环境中，如何减少相互间的电磁干扰，使各种设备正常运转，是一个亟待解决的问题；另一方面，恶劣的电磁环境还会对人类及生态产生不良的影响。电磁兼容学正是为解决这类问题而迅速发展起来的一门新兴的综合性学科。

电磁兼容学科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系统、分系统、设备和元器件都能正常工作，互不干扰，达到兼容状态。在某种程度上也可以说是研究干扰和抗干扰的问题。但作为一门学科它的研究对象已不仅仅限于电气电子设备，而是拓宽到自然干扰源、核电磁脉冲、静电放电，频谱管理工程，电磁辐射对人体的生态效应，信息处理设备电磁泄漏产生的失密，检测地震前的电磁辐射，进行震前预报等方面。电磁兼容学科包含的内容十分广泛，实用性很强。几乎所有的现代工业如航天、军工、电力、通信、交通、计算机、医疗卫生部门等都必须解决电磁兼容问题。

### 1.1.2 电磁干扰的危害

在人们的生活中，电磁兼容效应普遍存在，形式各异。如果电磁兼容效应严重，则将导致严重的故障或事故，同时对人体健康也有影响。

## 1. 电磁干扰对设备的危害

人们将电磁干扰的危害程度分为灾难性的、非常危险的、中等危险的、严重的和使人烦恼的五个等级。

### 1) 电磁干扰会破坏或降低电子设备的工作性能

据不完全统计,全世界电子电气设备由于电磁干扰而发生故障,每年都会造成数亿美元的经济损失。例如,BP 机发射台等大功率电磁信号的干扰,影响飞机正常起降;移动电话信号干扰可使仪表显示错误,甚至可以造成核电站运转失灵。

美国航空无线电委员会(Radio Technical Commission for Aeronautics, RTCA)曾在一份文件中提到,由于没有采取对电磁骚扰的防护措施,一位旅客在飞机上使用调频收音机,使导航系统的指示偏离 $10^\circ$ 以上。因此,在国际上,对舰载、机载、星载及地面武器、弹药的电磁环境都有严格要求。1993 年美国西北航空公司曾发表公告,限制乘客使用移动电话和调频收音机等,以免骚扰导航系统。

### 2) 电磁干扰造成的灾难性后果

电磁信息泄密使企业科技和商业机密被竞争对手轻易获取,严重影响企业的生存和发展;电磁波的辐射造成国家政治、经济、国防和科技等方面的重要情报泄密,关系到国家的保密安全问题。

1976~1989 年,我国南京、茂名和秦皇岛等地的油库及武汉石化厂,均因遭受雷击引爆原油罐,造成惨剧。雷击引起的浪涌电压属于高能电磁骚扰,具有很强的破坏力。1992 年 6 月 22 日傍晚,雷电击中北京国家气象局,造成一定的破坏和损失。因为雷击有直接雷击和感应雷击两种,而避雷针只能局部地防护直接雷击,对感应雷击则无能为力,故对感应雷击应采用电磁兼容防护措施。据悉,绝大部分的雷灾事故中受损的是电视、电话、监测系统和电脑等高科技产品。在受灾单位中有寻呼台、信息计算机中心、医院和银行等。

灾情有的造成整个计算机网络系统瘫痪,有的造成通信系统不畅,有的还造成辖区大面积停电。据悉,2000 年 1 至 8 月份,广州市因雷击造成的死伤多达 67 人,其中死亡人数多达 20 人。同时,雷击已经成为酿成广州电气火灾的第二大罪魁祸首。房屋和电器等因雷击损毁也较 1999 年严重,经济损失愈亿元。

下面介绍几个由于电磁干扰造成国外航天系统故障的例子。1969 年 11 月 14 日上午,土星 V - 阿波罗 12 火箭载人飞船发射后,飞行正常。起飞后 36.5 s,飞行高度为 1920 m 时,火箭遭到雷击。起飞后 52 s,飞行高度为 4300 m 时,火箭又遭到第二次雷击。这便是轰动一时的大型运载火箭载人飞船在飞行中诱发雷击的事件。故障分析及试验研究的结果表明,此次事故是由于火箭及火箭发动机火焰所形成的导体(火箭与飞船共长 100 m,火焰折合导电长度约 200 m)在飞行中使云层至地面之间及云层至云层之间人为地诱发了雷电所造成的。1961 年秋,一系列的雷电使部署在意大利的美国丘比特导弹武器系统多次遭到严重损坏,甚至原以为系统中隔离较好而与外界环境无关的元件也受到了严重的影响。

1962 年开始进行的民兵 I 导弹战斗状态的飞行试验,前两发均遭失败。这两发导弹的故障现象相似,都是制导计算机受到脉冲干扰而失灵。经过分析,故障是由于导弹飞行到一定高度时,在相互绝缘的弹头结构与弹体结构之间出现了静电放电,它产生的骚扰脉冲破坏了计算机的正常工作而造成的。

1967年大力神ⅢC运载火箭的C-10火箭在起飞后95s,飞行高度为26km时,制导计算机发生故障。C-14火箭起飞后76s,飞行高度为17km时,制导计算机也发生了故障。经过分析,制导计算机中采用的金属网套没有接地的部分与火箭之间产生电压,当火箭飞行高度增加,气压下降到一定值时,此电压产生的火花放电使计算机发生了故障。

1964年在肯尼迪角发射场,德尔它运载火箭的Ⅲ级X-248发动机发生意外的点火事故,造成3人死亡。在塔尔萨城对德尔它火箭进行测试时,也发生过一起Ⅲ级X-248发动机意外点火事故。分析结果表明,肯尼迪角发射场的事故是由于罩在第三级轨道观测卫星上的聚乙烯罩衣,造成了静电荷的重新分布,结果使漏电流经过发动机的一个零件到达点火电爆管的壳体而引起误爆。在塔尔萨城发生的事故是由于一个技术员戴着皮手套偶然摩擦发动机吸管的塑料隔板,使发动机点火电爆管引线上感应静电荷而引起的。

综上所述,可以看到,电磁干扰有可能使设备或系统的工作性能偏离预期的指标或使工作性能出现不希望的偏差,即工作性能“降级”。甚至还可以使设备或系统失灵,或导致寿命缩短,或使系统效能发生不允许的永久性下降。严重时,还能摧毁设备或系统。

## 2. 电磁场对人体的危害

在现代社会,随着电子产品的日益增多,电磁分布也日益复杂,只要有人的地方,无处不存在着电磁场。长期受到电磁辐射将会影响人体健康并造成电磁污染。高频辐射大于一定限值时,会使人产生失眠、嗜睡等植物神经功能紊乱,以及脱发、白血球下降、视力模糊、晶状体混浊、心电图异常等症状。由于电磁骚扰的频谱很宽,可以覆盖0~40GHz频率范围,因此电磁波辐射继水源、大气和噪声之后成为第四大环境污染源,正在引起人们极大的关注。

电磁污染源很广泛,它就在我们生活的周围,几乎包括所有的家电,只是污染程度有强弱之分罢了。计算机首当其冲,是因为人们必须与它面对面地操作,而且长时间接触,不像电视机能远距离接触。据德国慕尼黑大学医学研究所自1994年以来对近万名长期操作电脑的职业女性进行的跟踪调查表明,长时间操作电脑的妇女患乳腺癌的危险性,比其他职业妇女的患病概率高出43%。研究人员用雌性白鼠在电磁场中进行模拟实验,不久发现白鼠的乳腺出现肿瘤,其成长速度与磁场强度有关。

微机等荧光屏可产生相当强的电磁辐射,对人体健康不利,对孕妇的影响更明显,对1~3个月的胎儿危害更大。据美国的一项报告,德伯特公司有12名孕妇在荧光屏前工作,一年间竟有7名孕妇流产,1名孕妇早产;国防兵役局有15名孕妇在荧光屏前工作,有7人流产,3人产下畸形婴儿。像这样的例子数不胜数。据来自美国的一项研究发现,每周操作计算机达20小时的孕妇,在妊娠3个月内流产的可能性是通常情况下的两倍。

当今世界移动通信发展迅速。我国手机用户已超过美国与日本,成为世界上手机用户最多的国家。手机持有者希望在任何地方都能获得通信服务,这就势必要求移动通信基站无处不在。

手机、无绳电话对人体的危害及其防治措施是人们日常生活中最关注,同时也是国际上最热点的问题,因为它们用天线直接对着人的脑部辐射电磁波。更为严重的是,人们都习惯于将手机紧紧贴着耳朵讲话,20%以上的辐射功率都被脑部吸收了。关于手机辐射对人体的影响,世界各国都在研究。

移动通信器材运行时接收来自基站的无线电信号，对波及范围的人影响不大，但当发话时，其顶部的发射天线附近会产生较强的高频电磁波，5~10 cm 处范围可达 100~300  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （我国规定卫生标准为 50  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ）。当手机收发信号时，头部受到电磁辐射的辐照，头部解剖组织复杂，其分层结构及形状使电磁场偏向不均匀分布，组织的比吸收率(SAR)要增大，时间一长对大脑势必造成危害，严重者可形成癌瘤以致危及生命。一位意大利企业家使用手机，工作效率大增，可 3 年后他的头部发现癌瘤，从 CT 确诊癌瘤部位恰好位于手机天线顶端习惯放置的部位。1994 年一位美国商人使用移动电话 4 年后，同样也发现了头部癌肿，经治疗无效死亡。

据(纽约时报)报道，美国研究人员赖·亨利博士在不久前布鲁塞尔召开的国际移动电话安全会议上报告说，移动电话发射的微波可导致实验室中的老鼠暂时丧失某些能力。他在一项实验中对老鼠进行了大约 45 分钟低能量辐射——大体上相当于一部移动电话发射的能量，结果发现，老鼠在接受辐射后短时间内产生了头脑混乱。他认为，移动电话很可能对哺乳动物的脑细胞造成不良影响，因为这种辐射改变了细胞组织，因此也改变了脑细胞执行任务的方法。欧洲的几位科学家同意此观点。英国政府主管放射研究的国家放射线保护委员会的科学家说，他们接受“移动电话可能改变人类细胞功能”的说法。另外，澳大利亚的研究人员在最近也发现，经常使用移动电话可能会导致淋巴瘤。

利用电磁场对人体的影响，目前产生了新式的杀伤性武器。科学家发现，当电子束以光速或接近光速的速度通过等离子体时，会产生出定向微波能量，这种微波能量比大功率雷达用的微波功率要高几个数量级。如果将这种波束能量加以会聚，就可能研制出直接杀伤对方战斗成员的电磁武器。据报道，美国已研制成功强微波发生器和高增益定向天线，可以发射出高强度的微波射束。据报道，人员直接遭到这种波束的“闪击”，可以造成神经细胞的功能混乱，出现神经错乱、晕头转向等现象；造成心房纤颤或心力衰竭，引起心脏病，甚至使心脏和呼吸功能停止，从而造成人员猝死。

### 1.1.3 电磁兼容的含义

电磁兼容(ElectroMagnetic Compatibility, EMC)一般指电气及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，即要求在同一电磁环境中的上述各种设备都能正常工作又互不干扰，达到“兼容”状态。换句话说，电磁兼容是指电子线路、设备、系统相互不影响，从电磁角度具有相容性的状态。相容性包括设备内电路模块之间的相容性、设备之间的相容性和系统之间的相容性。

我国国家军用标准 GJB72-85《电磁干扰和电磁兼容性名词术语》中给出电磁兼容性的定义为：“设备(分系统、系统)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而导致或遭受不允许的性能降级，它也不会使同一电磁环境中其他设备(分系统、系统)因受其电磁发射而导致或遭受不允许的性能降级”。可见，从电磁兼容性的观点出发，除了要求设备(分系统、系统)能按设计要求完成其功能外，还要求设备(分系统、系统)有一定的抗干扰能力，不产生超过规定限度的电磁干扰。

国际电工技术委员会(IEC)认为，电磁兼容是一种能力的表现。IEC 给出的电磁兼容性定义为：“电磁兼容性是设备的一种能力，它在其电磁环境中能完成自身的功能，而不致

于在其环境中产生不允许的干扰”。

进一步讲,电磁兼容学是研究在有限的空间、有限的时间、有限的频谱资源条件下,各种用电设备或系统(广义的还包括生物体)可以共存,并不致引起性能降级的一门学科。电磁兼容的理论基础涉及到数学、电磁场理论、电路基础、信号分析等学科与技术,其应用范围又几乎涉及到所有用电领域。由于其理论基础宽、工程实践综合性强、物理现象复杂,因此在观察与判断物理现象或解决实际问题时,实验与测量具有重要的意义。对于最后的成功验证,也许没有任何其他领域像电磁兼容那样强烈地依赖于测量。在电磁兼容领域中,我们所面对的研究对象(主要指电磁噪声)无论是时域特性还是频域特性都十分复杂。此外,研究对象的频谱范围非常宽,使得电路中的集中参数与分布参数同时存在,近场与远场同时存在,传导与辐射同时存在,为了在国际上对这些物理现象有统一的评价标准和统一实现设备或系统电磁兼容的技术要求,对测量设备与设施的特性以及测量方法等均予以严格的规定,并制定了大量的技术标准。目前,国际上正在掀起一个电磁兼容要求法规化、电磁兼容技术标准国际化及推行电磁兼容强制性认证的热潮。

#### 1.1.4 电磁干扰的三要素

电磁兼容学科研究的主要内容是围绕构成干扰的三要素进行的,即电磁骚扰源、途径和敏感设备。具体内容如下。

##### 1. 电磁骚扰源

电磁骚扰(Electromagnetic Disturbance)的定义为:“任何可能引起装置、设备或系统性能降低或对有生命或无生命物质产生损害作用的电磁现象。”电磁骚扰可能是电磁噪声、无用信号或传播媒介自身的变化。电磁噪声(Electromagnetic Noise)是指“一种明显不传送信息的时变电磁现象,它可能与有用信号叠加或组合。”例如,电气设备运行中经常产生的放电噪声、浪涌噪声、振荡噪声等不带任何有用信息。无用信号是指一些功能性的信号,例如,广播、电视、雷达等,本身是有用信号,但如果干扰其他设备的正常工作则对被干扰的设备而言它们是“无用信号”,所以电磁骚扰的含义比电磁噪声更广泛一些。有时人们常把骚扰、噪声和“干扰”混同起来,实际上“电磁干扰”是有明确定义的,即“由电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能的下降”。“骚扰”是一种客观存在,只有在影响敏感设备正常工作时才构成了“干扰”。骚扰源可分为自然骚扰源和人为骚扰源。骚扰源的研究包括其发生的机理、时域和频域的定量描述,以便从源端来抑制骚扰的发射。

##### 2. 传输途径

骚扰的传输途径有两条,通过空间辐射和通过导线传导,即辐射发射和传导发射。辐射发射主要研究在远场条件下骚扰以电磁波的形式发射的规律以及在近场条件下的电磁耦合。共模电流辐射也是重要研究的内容之一。传导发射讨论传输线的分布参数和电流的传输方式对噪声传输的影响,例如,共阻抗耦合、共模一差模电流转换等。

##### 3. 敏感设备

敏感设备即指受干扰设备。设备的抗干扰能力用电磁敏感度(Susceptibility)来表示。设备的电磁干扰敏感性电平阈值越低,即对电磁干扰越灵敏,电磁敏感度越大,抗干扰能

力越差，或称抗扰度(Immunity)性能越低。反之，接收器的电磁敏感度越低，抗干扰能力也越高。采用不同的结构和选用不同的元器件都将大大影响设备的抗干扰能力。这些都是设备或系统的设计阶段要考虑的。各种设备的抗扰度指标都可从 EMC 手册中查到。

### 1.1.5 电磁干扰(骚扰)源的分类

电磁干扰的分类可以有多种分法，例如，按传播途径分，有传导干扰和辐射干扰，其中传导干扰的传输性质有电耦合、磁耦合及电磁耦合；按辐射干扰的传输性质分，有近场区感应耦合和远场区辐射耦合；按频带分，有窄带干扰和宽带干扰；按干扰频率范围分，可细分为五种(见表 1 - 1)；按实施干扰者的主观意向分，可分为有意干扰源和无意干扰源；按干扰源性质分，有自然干扰和人为干扰(如图 1 - 3 所示)，等等。这里面主要讨论自然干扰(骚扰)和人为干扰(骚扰)。

表 1 - 1 电磁干扰的频率范围分类

根据频率范围电磁干扰的分类	频率范围	典型电磁干扰源
工频及音频干扰源	50 Hz 及其谐波	输电线 电力牵引系统 有线广播
甚低频干扰源	30 kHz 以下	雷电等
载频干扰源	10~300 kHz	高压直流输电高次谐波 交流输电及电气铁路高次谐波
射频、视频干扰源	300 kHz~300 MHz	工业、科学、医疗设备 电动机，照明电气 宇宙干扰
微波干扰源	300 MHz~100 GHz	微波炉 微波接力通信 卫星通信

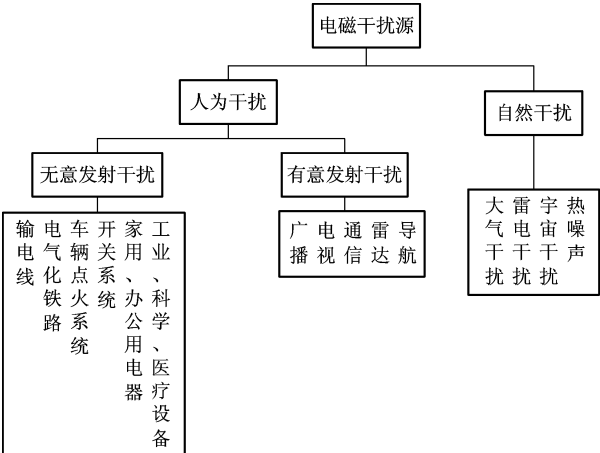


图 1 - 3 电磁干扰源的分类

## 1. 自然干扰(骚扰)源

自然电磁干扰源存在于地球和宇宙中,自然电磁现象会产生电磁噪声。由自然界的电磁现象产生的电磁噪声,比较典型的有:

- (1) 大气噪声,如雷电;
- (2) 太阳噪声,如太阳黑子活动时产生的磁暴;
- (3) 宇宙噪声,来自银河系;
- (4) 静电放电(ESD)。

## 2. 人为干扰(骚扰)源

人为干扰分为有意发射干扰源和无意发射干扰源。

有意发射干扰源是专用于辐射电磁能的设备,例如,广播、电视、通信、雷达、导航等发射设备,是通过向空间发射有用信号的电磁能量来工作的,它们对不需要这些信号的电子系统或设备将构成功能性干扰,而且是电磁环境的重要污染源。

有许多装置都无意地发射电磁能量,例如,汽车的点火系统,各种不同的用电装置和带电动机的装置,照明装置、霓虹灯广告、高压电力线、工业、科学和医用设备,以及接收机的本机振荡辐射等都在无意地发射电磁能量。这种发射可能是向空间的辐射,也可能是沿导线的传导发射,所发射的电磁能是随机的或是有规则的,一般占有非常宽的频带或离散频谱,所发射的功率可从微瓦到兆瓦量级。

任何电气电子设备都可能产生人为骚扰,这里只是列出一些容易产生骚扰的设备。

### (1) 家用电器和民用设备。

◆ 有触点电器,例如,电冰箱、电熨斗、电热被褥、电磁开关、继电器等。

◆ 使用整流子电动机的机器,例如,电钻、电动刮胡刀、电按摩器、吸尘器、电动搅拌机、牙科医疗器械等。

◆ 家用电力半导体器件装置,例如,硅整流调光器、开关电源等。

### (2) 高频设备。

◆ 工业用高频设备,例如,塑料热合机、高频加热器、高频电焊机等。

◆ 高频医疗设备,例如,甚高频或超高频理疗装置、高频手术刀、电测仪、X光机等。

### (3) 电力设备。

◆ 电力传动设备,例如,各种直流、交流伺服电动机、步进电机、电磁阀、接触器等。

◆ 电力电子器件组成的变流装置,例如,可控整流器、逆变器、变频器、斩波器、无触点开关、交流调压器、UPS电源、高频开关电源等。

◆ 电力传输设备,例如,高压电力传输线、高压断路器、变压器等。

◆ 电气化铁道,例如,电力机车、接触网等。

### (4) 内燃机,包括点火系统、发电机、电压调节器、电刷等。

### (5) 无线电发射和接收设备,包括移动通信系统、广播、电视、雷达、导航设备等。

### (6) 高速数字电路设备,包括计算机及其相关设备。

各种不同的干扰源可能是周期性的,其频率范围可以从零赫兹到几十千赫兹、几兆赫兹、甚至千兆赫兹(GHz)或更高。干扰信号也可能是非周期性或脉冲形式的。能量也可能是极微弱的或者是兆瓦级的。表1-2给出了经常遇到的一些干扰源的频谱范围[5]。

表 1-2 常遇干扰源的频谱范围

源	频谱	源	频谱
地磁测向	<3 Hz	雷电放电	几赫兹~几百兆赫兹
探测烧焦的金属	3~30 Hz	电视	30 MHz~3 GHz
直流或工频输电	0 或 50/60 Hz	移动通信(包括手机)	30 MHz~3 GHz
无线电灯塔气象预报站	30~300 kHz	微波炉	300 MHz~3 GHz
电动机	10~400 kHz	核脉冲	高达吉赫兹
照明(荧光灯)	0.1~3.0 MHz	海上导航	10 kHz~10 GHz
电晕放电	0.1~10 MHz	工、科、医用高频设备	几十千赫兹~几十吉赫兹
直流电源开关电路	100 kHz~30 MHz	无线电定位	1~100 GHz
广播	150 kHz~100 MHz	空间导航卫星	1~300 GHz
电源开关设备	100 kHz~300 MHz	先进的通信系统、遥测	30~300 GHz

### 1.1.6 电磁干扰(骚扰)源的时、空、频谱特性

#### 1. 干扰能量的空间分布

对于有意辐射干扰源,其辐射干扰的空间分布是比较容易计算的,主要取决于发射天线的方向性及传输路径损耗。

对于无意辐射源,无法从理论上严格计算,经统计测量可得到一些无意辐射源干扰场分布的有关数学模型及经验数据。

对于随机干扰,由于不能确定未来值,其干扰电平不能用确定的值来表示,需用其指定值出现的概率来表示。

#### 2. 干扰能量的时间分布

干扰能量随时间的分布与干扰源的工作时间和干扰的出现概率有关,按照干扰的时间出现概率可分为周期性干扰、非周期性干扰和随机干扰三种类型。周期性干扰是指在确定的时间间隔上能重复出现的干扰;非周期干扰虽然不能在确定的周期重复出现,但其出现时间是确定的,而且是可以预测的;随机干扰则以不能预测的方式变化,其变化特性也是没有规律的,因此随机干扰不能用时间分布函数来分析,而应用幅度的频谱特性来分析。

#### 3. 干扰的频率特性

按照干扰能量的频率分布特性可以确定干扰的频谱宽度,按其干扰的频谱宽度,可分为窄带干扰与宽带干扰。一般而言,窄带干扰的带宽只有几十赫兹,最宽只有几百千赫兹。而宽带干扰的能量分布在几十至几百兆赫兹,甚至更宽的范围内。在电磁兼容学科领域内,带宽是相对接收机的带宽而言,根据国家军用标准 CJB72-85 的定义,窄带干扰指主要能量频谱落在测量接收机通带之内,而宽带干扰指能量频谱相当宽,当测量接收机在±2 个脉冲宽内调谐时,它对接收机输出响应的影响不大于 3 dB。

有意发射源干扰能量的频率分布,可根据发射机的工作频带及带外发射等特性得出,而对无意发射源,则用统计规律来得出经验公式和数学模型。

为了确定干扰源在空间产生的干扰效应,必须知道干扰信号的空间、时间或频率分布。该分布可用功率密度  $P=(t, f, \Phi, r)$  来表示,括号中的变量分别为时间、频率、方位和距离。根据干扰源的频率分布特性可知干扰的频谱宽度,它分为窄带及宽带两种。“窄”、“宽”都是相对于被干扰对象的工作带宽而言。在国家军标 GJB72-85 中规定窄带干扰能量频谱落在对象的工作通频带之内,而宽带干扰的能量谱相当宽,其能量分布在几十赫兹到上百兆赫兹,如雷电脉冲、静电放电及核脉冲的频谱则可达几兆赫兹或几千兆赫兹。

区别“窄带(NB)”、“宽带(BB)”的最简单的方法是:给定接收机(或被干扰设备的输入级)的通频带带宽( $B_p$ )以及干扰源的基频  $F_0$ ,则干扰类型可判别如下:

当  $B_p > F_0$  时,为宽带;当  $B_p < F_0$  时,为窄带。如图 1-4 所示,干扰信号的任意两个谐波的频率间隔大于接收机的带宽时为窄带干扰,反之为宽带干扰。

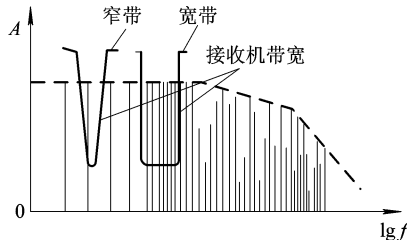


图 1-4 窄带及宽带干扰

### 1.1.7 电磁兼容性分析与设计方法

#### 1. 电磁兼容性分析方法

随着电子技术的发展,电磁兼容技术也在不断地向前发展,电磁兼容性分析方法逐步得到提高和完善,按其发展过程,通常分为三种方法,即问题解决法、规范法和系统法<sup>[7]</sup>。

##### 1) 问题解决法

该方法是解决电磁兼容问题的早期方法,首先按常规设计建立系统,然后再对现场实验中出现的电磁干扰问题设法予以解决。由于系统已安装完工,要解决电磁干扰问题比较困难,为解决问题可能进行大量的拆卸,甚至要重新设计,对于大规模集成电路要严重地破坏其图版。因此问题解决法是一种非常冒险的方法,而且这种头痛医头、脚痛医脚的方法是不能从根本上解决电磁干扰问题的。这种方法在设计阶段节省电磁兼容支持所增加的成本,但在成品的最后阶段解决电磁兼容问题不仅困难大,而且成本很高。这种方法只适合比较简单的设备。

##### 2) 规范法

规范法比问题解决法较为合理的一种方法,该方法是按现行电磁兼容标准(国家标准或军用标准)所规定的极限值来进行计算,使组成系统的每个设备或子系统均符合所规定的标准,并按标准所规定的试验设备和实验方法核实它们与规范中规定极限值的一致性。该方法可在系统实验前对系统的电磁兼容提供一些预见性。其缺点是:

(1) 标准与规范中的极限值是根据最坏情况规定的,这就可能导致设备或子系统的设计过于保守,引起过储备保护设计;

(2) 规范法没有定量地考虑系统的特殊性,这就可能遗留下许多电磁兼容问题在系统实验时才能发现,并需事后解决这些问题;

(3) 该方法对系统之间的电磁耦合常常不做精确考虑和定量分析;

(4) 设备或子系统数据与系统性能并不是用固定的规范法联系起来的,为了符合对设备或子系统的固定要求,会导致提高成本来修改设计,但该固定要求不一定符合实际情况。

由上述可见,规范法的主要缺点在于既有可能过储备设计,同时谋求解决的问题又不一定是真正存在的问题。

### 3) 系统法

系统法是近几年兴起的一种设计方法,它在产品的初始设计阶段对产品的每一个可能影响产品电磁兼容性的元器件、模块及线路建立数学模型,利用计算机辅助设计工具对其电磁兼容性进行分析预测和控制分配。从而为整个产品的满足要求打下良好基础。

系统法是电磁兼容设计的先进方法,它集中了电磁兼容方面的研究成就,根据电磁兼容要求给出最佳工程设计的方法。系统法从设计开始就预测和分析电磁兼容性,并在系统设计、制造、组装和实验过程中不断对其电磁兼容性进行预测和分析。由于在设计阶段采取电磁兼容措施,因此可以采取电路与结构相结合的技术措施。这种方法通常在正式产品完成之前解决 90% 的电磁兼容问题。

无论是问题解决法、规范法还是系统法设计,其有效性都应以最后产品或系统的实际运行情况或检验结果为准则,必要时还需要结合问题解决法才能完成设计目标。

## 2. 电磁兼容性设计方法

在设备或系统设计的初始阶段,同时进行电磁兼容设计,把电磁兼容的大部分问题解决在设计定型之前,可得到最好的费/效比。如果等到生产阶段再去解决,不但在技术上带来很大的难度,而且会造成人力、财力和时间的极大浪费,其费/效比如图 1-5 所示。

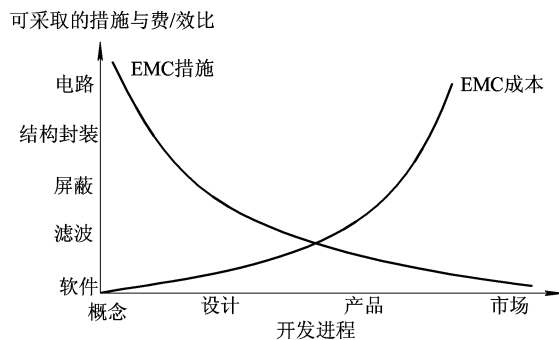


图 1-5 产品开发进程中的可采取的 EMC 措施与费/效比

电磁兼容设计的基本方法是指标分配和功能分块设计,也就是首先要根据有关的标准(国际、国家、行业、特殊标准等)把整体电磁兼容指标逐级分配到各功能块上,细化成系统级、设备级、电路级和元件级的指标。然后,按照要实现的功能和电磁兼容指标进行电磁兼容设计。例如,按电路或设备要实现的功能,按骚扰源的类型,按骚扰传播的渠道,以及按敏感设备的特性等。

### 1.1.8 电磁兼容性研究的基本内容

电磁兼容性研究的基本内容包括以下几个方面：

(1) 电磁骚扰特性及其传播方式的研究。人们为了有效地控制电磁骚扰，首先得摸清骚扰的特性和它的传播方式，如根据骚扰频谱分布可以了解骚扰特性是窄带的还是宽带的；根据作用的时间可以把骚扰分成连续的、间歇的或者是瞬变的；按传播方式骚扰又可分为传导、辐射、感应或共地阻抗耦合等几类。

(2) 电磁兼容性设计的研究。电磁兼容性设计的研究包括两方面：一是干扰控制技术的研究；二是费/效比的综合分析。干扰控制就是采用各种措施，从电路、结构、工艺和组装等方面控制电磁干扰。干扰控制技术的研究又必然促进高性能元器件、功能模块和新型防护材料的研制。

所谓费/效比，就是对采取的各种电磁兼容性措施进行成本和效能的分析比较。如果工程设计中既满足了高性能指标，又达到花钱最少的目的，就获得了很好的费/效比。

(3) 电磁兼容性频谱利用的研究。无线电频谱是一个有限的资源，如何合理地利用无线电频谱，防止频谱污染，消除电磁骚扰对武器装备和人体的危害，预防电子系统之间和系统内设备间的相互干扰，已引起各国的高度重视，我国也已成立了专门的管理机构。

(4) 电磁兼容性规范、标准的研究。电磁兼容性规范、标准是电磁兼容性设计的主要依据。通过制定规范、标准来限制电子系统或设备的电磁发射，提高敏感设备的抗扰度，从而使系统和设备相互干扰的可能性大大下降，力求防患于未然。

(5) 电磁兼容性测试和模拟技术的研究。由于电磁环境复杂、频率范围宽广、干扰特性又各不相同，因此电磁兼容性测试不但项目繁多，而且还在不断地深化和扩展之中。这就要求不断改进和完善测试技术，研制适合于电磁兼容性测试用的各种模拟源和检测设备。

## 1.2 电磁兼容技术的发展及电磁认证

### 1.2.1 电磁兼容技术的发展

#### 1. 电磁兼容技术发展简史

由于电磁兼容是通过控制电磁干扰来实现的，因此电磁兼容学是在认识电磁干扰、研究电磁干扰、对抗电磁干扰和管理电磁干扰的过程中发展起来的。

电磁干扰是人们早就发现的电磁现象，它几乎跟电磁效应的现象同时被发现。早在19世纪初，随着电磁学的萌芽和发展，1823年安培提出了电流产生磁力的基本定律，1831年法拉第发现了电磁感应现象，总结出电磁感应定律，揭示了变化的磁场在导线中产生感应电动势的规律。1840年美国科学家亨利成功地获得了高频电磁振荡。1864年麦克斯韦综合了电磁感应定律和安培全电流定律，总结出麦克斯韦方程，提出了位移电流的理论，全面地论述了电和磁的相互作用并预言了电磁波的存在。麦克斯韦的电磁场理论为认识和研究电磁干扰现象奠定了理论基础。1881年英国科学家希维赛德发表了“论干扰”的文章，标志着

研究干扰问题的开端。1888年德国物理学家赫兹首创了天线，第一次把电磁波辐射到自由空间，同时又成功地接收到电磁波，用实验证实了电磁波的存在，从此开始了对电磁干扰问题的实验研究。1889年英国邮电部门研究了通信中的干扰问题，使干扰问题的研究开始走向工程化和产业化。

显而易见，干扰与抗干扰问题贯穿于无线电技术发展的始终。电磁干扰问题虽然由来已久，但电磁兼容这一新的学科却是到近代才形成的。在干扰问题的长期研究中，人们从理论上认识了电磁干扰产生的原因，明确了干扰的性质及其数学物理模型，逐渐完善了干扰传输及耦合的计算方法，提出了抑制干扰的一系列技术措施，建立了电磁兼容的各种组织及电磁兼容系列标准和规范，解决了电磁兼容分析、预测设计及测量等方面一系列理论问题和技术问题，逐渐形成一门新的分支学科——电磁兼容学。

20世纪以来，由于电气电子技术的发展和运用，随着通信、广播等无线电事业的发展，人们逐渐认识到需要对各种电磁干扰进行控制，特别是工业发达国家格外重视控制干扰，他们成立了国家级以及国际间的组织，并发布了一些标准和规范性文件。如德国的电气工程师协会、国际电工委员会(IEC)、国际无线电干扰特别委员会(CISPR)等，开始对电磁干扰问题进行世界性有组织的研究。为了解决干扰问题，保证设备可靠性，20世纪40年代初提出电磁兼容性的概念。1944年，德国电气工程师协会制定了世界上第一个电磁兼容性规范 VDE - 0878。1945年，美国颁布了美国最早的军用规范 JAN - I - 225。

20世纪60年代以后，电气与电子工程技术迅速发展，其中包括数字计算机、信息技术、测试设备、电信、半导体技术的发展。在所有这些技术领域内，电磁噪声和克服电磁干扰产生的问题引起人们的高度重视，促进了在世界范围内电磁兼容技术的研究。

20世纪70年代，电磁兼容技术逐渐成为非常活跃的学科领域之一。较大规模的国际性电磁兼容学术会议，每年召开一次。美国最有影响的电子电气工程师协会 IEEE 的权威杂志，专门设有 EMC 分册。美国学者 B·E·凯瑟撰写了系统性的论著《电磁兼容原理》。美国国防部编辑出版了各种电磁兼容性手册，广泛应用于工程设计。

进入20世纪80年代以来，随着通信、自动化、电子技术的飞速发展，电磁兼容学已成为十分活跃的学科，许多国家(美国、德国、日本、法国等)在电磁兼容标准与规范，分析预测、设计、测量及管理等方面均达到了很高水平，有高精度的 EMI 及电磁敏感度(EMS)自动测量系统，可进行各种系统间的 EMC 试验，研制出系统内及系统间的各种 EMC 计算机分析程序，有的程序已经商品化，形成了一套较完整的 EMC 设计体系。在电磁干扰的抑制技术方面，已研制出许多新材料、新工艺及规范的设计方法。一些国家还建立了对军品和民品的 EMC 检验及管理机构，不符合 EMC 质量要求的产品不准投入市场。

电磁兼容技术已成为现代工业生产并行工程系统的实施项目组成部分。产品电磁兼容性达标认证已由一个国家范围发展到一个地区或一个贸易联盟采取的统一行动。从1996年1月1日开始，欧洲共同体12个国家和欧洲自由贸易联盟的北欧6国共同宣布实行电磁兼容性许可证制度，使电磁兼容性认证与电工电子产品安全性认证处于同等重要的地位。EMC 技术涉及的频率范围宽达 400 GHz，随着科学技术的发展，对电磁兼容和标准不断提出新的要求，其研究范围也日益扩大。现在电磁兼容已不只限于电子和电气设备本身，还涉及从芯片直到各种舰船、航天飞机、洲际导弹，甚至整个地球的电磁污染、电磁信

息安全、电磁生态效应及其他一些学科领域。所以某些学者已将电磁兼容这一学科扩大，改称为环境电磁学。

各种测试方法和测试标准已开展了全方位的研究，例如，VDE、FTZ、FCC、BS、MIL-STD、VG、PTB、NAC-SIM、IEC、CISPR 和 ITU-T 等标准逐年更新版本，并趋向于全球公认化。各种规模的 EMC 论证、设计、测试中心如雨后春笋般出现。各国都注重 EMC 教育和培训及学术交流。研究的热点已涉及许多方面，如计算机安全、电信设备 EMC、无线设备、工业控制设备、自动化设备、机器人、移动通信设备、航空航天飞机、舰船、武器系统及测量设备等 EMC 问题，各种线缆的辐射和控制，超高压输电线及交流电气铁道的电磁影响，电磁场生物效应，地震电磁现象，接地系统和屏蔽系统等等。

## 2. 我国电磁兼容技术的发展

我国开展对电磁兼容理论和技术的研究起步较晚，与国际间的差距较大。我国第一个干扰标准是 1966 年由原第一机械工业部制定的部级标准 JB854-66《船用电气设备工业无线电干扰端子电压测量方法与允许值》。直到 20 世纪 80 年代初，我国才有组织、系统地研究并制定国家级和行业级的电磁兼容性标准和规范。我国自从 1983 年发布第一个国家电磁兼容标准《工业无线电干扰基本测量方法》到 2000 年，已发布了 80 多项有关的国家标准。

20 世纪 80 年代以来，国内电磁兼容学术组织纷纷成立，学术交流频繁。1984 年，中国通信学会、中国电子学会、中国铁道学会和中国电机工程学会在重庆召开了第一届全国性电磁兼容学术会议。1992 年 5 月，中国电子学会和中国通信学会在北京成功地举办了“第一届北京国际电磁兼容学术会议(EMC'92/Beijing)”。这标志着我国电磁兼容学科的迅速发展并参与世界交流。

我国在 1986 年成立了“全国无线电干扰标准化技术委员会”(简称无干委)，并先后对应 IEC/CISPR 成立了 A、B、C、D、E、F、G、S 共 8 个分技术委员会，见表 1-3。

表 1-3 全国无线电干扰标准化技术委员会

分会	分会名称	成立时间
A 分会	无线电干扰测量方法和统计方法	1987 年
B 分会	工业，科学，医疗射频设备的电子干扰	1988 年
C 分会	电力线高压设备和电牵引系统的无线电干扰	1987 年
D 分会	机动车辆和内燃机无线电干扰	1988 年
E 分会	无线电接收设备干扰特性	1987 年
F 分会	家用电器，电动工具，照明设备及类似电器的无线电干扰	1988 年
G 分会	信息技术设备的无线电干扰	1993 年
S 分会	全国无线电与非无线电系统电磁兼容特性	1989 年

表 1-3 所示的 A~G 分会分别对应于 CISPR 的相应分会，其名称与任务完全与 CISPR 各分会相同。而 S 分会是根据我国的实际情况为处理各系统之间的电磁兼容而成立的。

1997年，为全面规划和推进我国EMI标准的制定和修订工作，促进国内电磁兼容技术发展和保护电磁环境，及时成立了“全国电磁兼容标准化联合工作组”，其主要目的是：促进EMI标准的制定和修改工作，协调我国各相关EMC标准化组织，进而更好地适应电子产业的EMI认证和市场需要。

20世纪90年代以来，随着国民经济和高新科技的迅速发展，在航空、航天、通信、电子、军事等部门，电磁兼容技术受到格外重视，并投入了较大的人力和财力，建立了一批电磁兼容试验和测试中心及电磁兼容性实验研究室，引进了许多现代化的电磁干扰和敏感度自动测试系统和试验设备。在国家标准组织的基础上，各部委日益重视电磁兼容问题，纷纷制定相关电磁兼容标准。在这方面，原电子部和邮电部都有一定数量的SJ和YD的电磁兼容行业标准，对国家电磁兼容标准作了有益的补充和完善。随着信息产业部的成立和我国电信业的迅猛发展，通信设备的安全性和可靠性越来越受到人们的重视，特别是无线通信的发展对国家的频谱管理和空间电磁波的骚扰，以及人身安全等方面提出了更高的要求，信息产业部科技司标准处根据实际情况特别制定了《信息产业部“十五”标准制定规划——通信电磁兼容标准体系》。

2001年12月，国家发布《强制性产品认证管理规定》，英文名称为China Compulsory Certification，英文缩写为“CCC”，简称为“3C”认证。3C认证对这些产品的安全性能、电磁兼容性、防电磁辐射等方面都作了详细规定。从2002年5月1日起，国家相关部门开始受理第一批列入强制性产品目录的认证申请，包括涉及安全、电磁兼容、环境保护要求的19大类、132种产品。对列入目录的产品，未获得强制性产品认证证书和未施加强制性认证标志的产品不得出厂、进口和销售。这将进一步促进全民的电磁兼容性意识，促进电磁兼容技术的更深入的发展。

### 1.2.2 电磁兼容技术的认证

随着科学技术的发展，电磁污染越来越严重，直接影响到人类生命和电子设备的正常运转。世界各国均采用颁布标准、法规或法律形式，对电子产品电磁兼容性能提出强制要求，比如日本的电取法、美国的FCC等。随着欧共体CE指令的发布实施，中国在原来强制贯彻执行部分标准的基础上，自1996年开始酝酿电磁兼容认证工作。在1998年国家机构改革后，国务院对国家质量技术监督局的职责更加明确地给予了规定，国家质量技术监督局于1999年1月发文《关于批准筹建中国电磁兼容认证委员会的通知》(质检监局(1999)06号)，批准筹建电磁兼容认证委员会，于1999年10月8日发文《关于引发电磁兼容认证管理办法的通知》(质检监局认发(1999)223号)，批准实施《电磁兼容认证管理办法》，2000年8月24日国家质量技术监督局正式颁发首批强制监督管理的电磁兼容认证产品目录(质检监局认发(2000)136号)，正式启动了中国电磁兼容认证制度。自2001年质检总局和认监委、标准委成立之后，发布了一系列规章及规范性文件。质检总局第5号令《强制性产品认证管理规定》做了一系列严格规定，认证标志的名称为“中国强制认证”(China Compulsory Certification，缩写为CCC，也可以简称为3C标志)。根据认监委的公告，强制性产品认证新制度自2002年5月1日起实施，旧的制度自2003年8月1日废止。

#### 1. 开展电磁兼容认证的重要性

电磁波频谱是一种资源。人类赖以生存、发展文明和促进社会进步，都离不开环境中

的三大要素——空气、水和资源(矿山、森林等)。自 20 世纪中叶以后,随着无线电科技的发展,电磁波频谱资源已广泛应用于人们工作和生活的各个方面。人们开始意识到这个由空间、时间和无线电三要素组成的电磁波频谱资源是人类的重要资源。电磁波频谱资源是一种有限的自然资源,但同时也是一种比较独特的资源。电磁波频谱是不可见的,它虽然是有限的,但不是消耗性的。因此,不利用它或不充分利用它是对这一资源的浪费。电磁波频谱各频段传播特性的不同又会因使用不当而造成本身利用率的下降,或干扰影响其他信道而再次造成资源的浪费。因此,对这一宝贵而特殊的资源,既要科学地管理,又要更有效地应用。各国为了保护各个科技部门领域的发展,建立了专门机构,实施科学的频谱分配与管理。国际电信联盟(ITU)对各种不同的用途规定了相应的可使用的频率范围。在某一规定的频率上工作的设备或系统,不希望工作在其他频率上的设备对其施加干扰,但往往电磁干扰信号是宽带的,频谱分布十分广泛,产生干扰是不可避免的。例如,汽车点火产生的电磁干扰信号就会对电视接收机造成干扰,问题的关键是将这些干扰信号限制在标准规定的限值之下。实施电磁兼容认证,可有效地保证产品的电磁兼容性能符合标准要求,提高产品的环境适应能力,抑制电磁干扰,从而提高频谱的综合利用密度,合理利用电磁波频谱资源。

随着各种用电设备的广泛使用,人们的生活空间充满了电磁波,其中有的是为通信、广播而有意发射的;有的是非有意发射的,如计算机工作时对外界辐射的电磁波,这些电磁波的存在对环境造成了污染。早在 1969 年联合国人类发展大会上就将电磁波列为环境污染源之一,随着社会的发展,电磁污染必将越来越严重,从保护环境出发必须加以防治。实施电磁兼容认证可有效地抑制用电设备的电磁干扰,保护和净化电磁环境。

电磁兼容是以电磁场理论为基础,涉及信息、电子、通信、材料和生物医学等学科的一门边缘学科。电磁兼容跨学科的特点使得影响产品电磁兼容性的参数繁多,也使电磁兼容的技术复杂,测试要求高。而随着电工、电子产品向智能化、信息化方面发展,电子技术含量越来越高,对电磁兼容技术提出了更高的要求。产品的电磁兼容性能直接影响到产品性能指标的实现和提高。实施电磁兼容认证可提高产品的技术水平和竞争力,促进企业的技术进步。电磁兼容问题的日益突出,使世界上许多国家纷纷采取措施对产品的电磁兼容性进行控制,并将其作为市场准入的条件,电磁兼容认证已成为国际上电磁兼容领域的发展趋势和一种技术壁垒。例如,1989 年 5 月 3 日欧共体在官方公报上颁布了 89/336/EEC 指令,官方公报编号为 L139/19,89/336/EEC 电磁兼容指令适用于最终用户使用的所有电子和电气器具以及包含有电子元件和(或)电气元件的设备和系统,在 89/336/EEC 指令中,将电子和电气器具及系统称为“装置”。欧共体的 89/336/EEC 电磁兼容指令大大推进了全球的电磁兼容标准的强制执行和电磁兼容认证工作,使其向更加规范化与法制化方向发展。除欧共体外,一些工业发达国家也在推进这方面的工作。如德国的电气工程师协会(VDE)早在 1949 年就制定了“高频设备运行法(HfrG)”;美国的联邦通信委员会(FCC)与政府、企业合作制定的 FCC 标准、法规,内容涉及无线电、通信等各方面,特别是无线通信设备和系统的无线电子干扰问题,包括无线电干扰限值与测量方法,认证体系与组织管理制度等。

我国实施电磁兼容认证可适应国际发展趋势,有效保护国内市场。一方面,可防止不符合 EMC 标准的产品进入中国市场。另一方面,在欧洲与国际上加紧实施 EMC 认证的国