

舰船现代化丛书

# 电磁兼容性原理

周开基 赵刚 编著



哈尔滨工程大学出版社

# 电磁兼容性原理

周开基 赵 刚 编著

哈尔滨工程大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容性原理/周开基,赵刚编著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2003.7  
ISBN 7-81073-380-X

I.电… II.①周…②赵… III.电磁兼容性-理论 IV.TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 079249 号

---

## 内 容 简 介

本书是高等工科院校电子、电气工程专业研究生选修课教材,内容包括电磁兼容基本原理和概念、电磁兼容预测和分析方法、电磁干扰控制技术、电磁兼容测量与试验技术、电磁兼容标准。

全书归纳了电磁兼容学科近年来新进展和前沿课题,内容翔实,论述清晰,说理透彻,紧密结合工程实际。

本书适用于电子、电气专业本科生和研究生,便于读者自学。对于从事电子、电气工程的科技人员也是一本系统、实用的工具书。

---

哈尔滨工程大学出版社出版发行  
哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼  
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001  
新华书店经销  
黑龙江省教育厅印刷厂印刷

\*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 31.75 字数 766 千字

2003年9月第1版 2003年9月第1次印刷

印数:1—1 500册

定价:40.00元

# 前 言

电磁兼容性是一门跨学科的工程实践性强的年轻学科,在我国仅有 30 年左右的历史。它主要研究电子、电气设备之间,它们与环境之间的兼容性,它的理论是建立在电磁场理论、电路理论的基础上。电子、电气设备既是依靠电磁能工作,当它们在一起时相互间的电磁耦合是避免不了的;电子设备总处于一个空间环境内,它们与环境之间也存在电磁能量的耦合,要保证电子设备与其他设备、与环境兼容地运行是一项困难的事情。随着电子技术不断发展,电磁频谱资源与物理空间都是有限的,电磁兼容(EMC)将是一个愈来愈复杂而又无法回避的问题。本书作为一本研究生教材,希望能从 EMC 这门学科的基本原理,主要的研究领域和基本的方法上作一个全面、深入的阐述。EMC 在国外已有半个世纪以上的发展历史,其研究领域主要是在 EMC 预测与分析、电磁干扰(EMI)的控制技术、EMC 测量与试验、EMC 标准与规范四个方面。本书第一章综述 EMC 的发展历史、EMC 的基本概念、主要研究领域;第二、三、四章阐述 EMC 预测的基本方法,包括传导和辐射的机理与预测模型、场一线耦合机理与模型、计算电磁学(矩量法、时域有限差分法、有限元法、高频法等)在 EMC 预测中的应用;第五至十章研究经典的 EMI 控制技术(接地、屏蔽、滤波)、光纤通信系统中的 EMC、静电放电(ESD)和频谱利用;第十一章研究 EMC 测量技术;第十二章阐述 EMC 标准,第十三章给出本书理论的几个工程应用示例。EMC 由于是横断学科,涉及范围非常广泛,近年来国内有不少 EMC 的书籍出版,本书立足于选取国内外 EMC 近十年来的最新进展作为素材,并且在阐明原理、概念的基础上紧密结合工程应用的问题。限于篇幅,对一些 EMC 的常用方法和一般概念就不一一罗列,读者可从很多 EMC 著作和手册中查阅。

本书由周开基担任主编,赵刚担任副主编,各章节分工如下:第一章赵刚,第二、三、五章、十一章 4~5 节、十二章及十三章 1、4、5 节周开基,特邀东南大学计算电磁学研究中心徐金平、崔铁军、洪伟三位教授编写了第四章,第六、七、八章及十一章 1~3 节张坤元,第九章郑生全,第十章李国成,第十一章 3.6 节王海婴,第十三章 2~3 节王荣成。参加全书统稿的有邹忠栾、宋东安、宋文武、易学勤。施海峰担任全书初稿的文字录入和插图工作。

本书是在原所长朱英富研究员和现任所长邵开文研究员的重视与大力支持下,在所研究生部主任王允明研究员的指导与协助下才得以完稿,在此表示衷心的感谢。

限于时间仓促,水平有限,书中会有不少疏漏甚至谬误,恳请国内各位同行不吝指教。

编者谨识于  
电磁兼容性国防科技重点实验室  
2002 年 8 月

## 目 录

第一章 导论 .....	1
1 引言 .....	1
2 电磁环境 .....	1
3 EMC 的发展历史 .....	1
3.1 第二次世界大战前 .....	1
3.2 第二次世界大战及之后的 25 年 .....	2
3.3 过去的 30 年 .....	3
4 电磁干扰和电磁兼容性概念的定义 .....	4
5 实际经验与相关事项 .....	6
5.1 传输线 .....	6
5.2 主电源 .....	7
5.3 开关和继电器 .....	7
5.4 电话设备 .....	7
5.5 射电天文学 .....	7
5.6 生物效应 .....	7
5.7 飞机导航 .....	8
5.8 军用装备 .....	8
5.9 保密通信 .....	8
5.10 集成电路 .....	9
6 频谱管理 .....	9
6.1 发射机与接收机 .....	9
6.2 频谱间隔 .....	10
6.3 远程通信 .....	11
6.4 趋势 .....	11
7 电磁干扰和电磁兼容性综述 .....	12
第二章 辐射和传导发射 .....	13
1 引言 .....	13
2 辐射发射 .....	13
2.1 共模与差模电流 .....	14
2.2 差模电流发射模型 .....	16
2.3 共模电流发射模型 .....	17
2.4 实验结果 .....	19
3 传导发射 .....	23
3.1 电源 .....	25

3.2 电源滤波器 .....	27
<b>第三章 场线耦合</b> .....	<b>33</b>
1 引言 .....	33
1.1 传输线分析的简单模型 .....	33
1.2 场—线耦合的讨论 .....	37
2 双线传输线 .....	40
2.1 无限长双线:散射理论解 .....	40
2.2 无限长双线:传输线理论解 .....	43
2.3 半无限长双导体传输线 .....	47
2.4 有限长双导体传输线 .....	49
2.5 对绞双线传输线 .....	54
3 用导电地面作回路的单导线传输线 .....	59
3.1 传输线参数的修正 .....	60
3.2 地面对激励场的影响 .....	61
3.3 传输线响应举例 .....	63
3.4 屏蔽电缆模型 .....	65
4 传输线网络 .....	72
4.1 网络 BLT 方程的推导 .....	72
4.2 网络响应举例 .....	73
5 多导体传输线 .....	74
6 场对天线耦合问题的关系 .....	74
6.1 互易性关系 .....	74
6.2 辐射传输线 .....	75
6.3 传输线辐射的数字解举例 .....	76
<b>第四章 计算电磁学在电磁兼容中的应用</b> .....	<b>77</b>
1 引言 .....	77
2 矩量法 .....	79
2.1 矩量法的基本概念 .....	79
2.2 线状结构的矩量法 .....	80
2.3 理想导体的矩量法 .....	83
2.4 理想导体及细导线混合问题的矩量法 .....	89
2.5 三维介电体的矩量法 .....	90
2.6 孔径耦合问题的矩量法 .....	93
3 快速算法 .....	96
3.1 快速多极子方法的基本原理 .....	96
3.2 三维问题的两层快速多极子方法 .....	98
3.3 多层快速多极子算法 .....	103
4 时域有限差分法 .....	109

4.1	Yee 格式时域有限差分方程 .....	109
4.2	边界条件 .....	112
4.3	时域有限差分方程的迭代求解过程 .....	115
4.4	稳定性条件与数值色散 .....	117
5	有限元方法 .....	118
5.1	标量有限元法 .....	118
5.2	矢量有限元法 .....	124
5.3	有限元方法的应用 .....	128
6	高频方法 .....	140
6.1	几何光学方法 .....	141
6.2	几何绕射理论 .....	144
6.3	一致性几何绕射理论 .....	147
6.4	物理绕射理论 .....	151
6.5	MOM - GTD 混合方法 .....	154
<b>第五章 接地与搭接 .....</b>		<b>157</b>
1	引言 .....	157
2	EMI 控制的接地与搭接 .....	157
2.1	等电位接地面 .....	157
2.2	接地方式 .....	158
2.3	EMC 系统接地 .....	161
2.4	搭接 .....	165
2.5	EMI 控制的接地实例 .....	167
3	安全控制的接地与搭接 .....	168
3.1	电击危害的控制 .....	168
3.2	雷电危害的控制 .....	171
3.3	接大地及大地阻抗 .....	171
3.4	单根棒电极 .....	174
3.5	垂直棒线阵 .....	175
3.6	重直棒平方阵列 .....	175
3.7	埋置的水平栅格 .....	175
3.8	由埋置的栅格连接的垂直棒 .....	176
3.9	接地注意事项 .....	176
3.10	接地电阻的测量 .....	177
3.11	设计示例 .....	179
<b>第六章 屏蔽 .....</b>		<b>181</b>
1	引言 .....	181
2	屏蔽的基本分析技术 .....	181
2.1	屏蔽效能 .....	181

2.2	低频、低阻抗屏蔽 .....	183
2.3	屏蔽理论的简化 .....	184
3	屏蔽的传输理论 .....	185
3.1	吸收损耗 .....	186
3.2	波长 .....	187
3.3	传输方程式 .....	187
3.4	反射损耗 .....	187
3.5	屏蔽效能 .....	188
3.6	讨论 .....	190
3.7	多层屏蔽理论 .....	190
3.8	电厚材料 .....	192
3.9	双层和单层屏蔽的比较 .....	193
4	设计数据 .....	194
4.1	简单屏蔽的设计数据 .....	194
4.2	屏蔽材料的特性 .....	197
5	材料电特性的测量技术 .....	203
5.1	材料的屏蔽效能 .....	203
5.2	导电率和导磁率 .....	203
6	设计用的列线图 .....	205
7	非均匀屏蔽的设计原则 .....	208
8	多层屏蔽 .....	213
9	频率范围的扩展 .....	214
9.1	磁屏蔽 .....	214
9.2	静电屏蔽 .....	214
10	谐振效应 .....	215
11	一些特殊要求的设计 .....	215
11.1	环境要求 .....	215
11.2	重量最轻的问题 .....	216
11.3	无进出门的屏蔽设计 .....	218
11.4	窗 .....	218
12	屏蔽室的变异 .....	223
12.1	暗室 .....	223
12.2	模激励暗室 .....	225
12.3	模拟调谐屏蔽室 .....	225
<b>第七章 滤波</b> .....		<b>226</b>
1	引言 .....	226
2	主要指标 .....	226
2.1	插入损耗 .....	226



2.2 拐角频率 .....	227
3 S—平面和单极点滤波器 .....	227
3.1 S—平面 .....	227
3.2 单极点滤波器 .....	228
4 波特图法 .....	230
4.1 极点和零点 .....	230
4.2 在原点的极点和零点 .....	232
4.3 二阶极点 .....	232
4.4 多极点和零点 .....	233
5 多极点网络 .....	234
5.1 两极点滤波器 .....	235
5.2 寄生分量 .....	236
6 铁氧体元件 .....	242
6.1 磁性材料 .....	242
6.2 铁氧体抑制器 .....	247
7 电流传输模型 .....	250
7.1 平衡系统 .....	251
7.2 共模扼流圈 .....	256
8 电源滤波器 .....	259
8.1 开关电源滤波器 .....	259
8.2 电源干线滤波器 .....	262
<b>第八章 光纤通信系统的 EMC .....</b>	<b>268</b>
1 引言 .....	268
2 光纤的分类和特性 .....	268
3 光纤的基础知识 .....	272
3.1 阶梯指数光纤 .....	272
3.2 斜坡指数光纤 .....	276
4 光通信系统中的本征噪声源 .....	278
4.1 基本概念 .....	278
4.2 光发射机中的噪声 .....	282
4.3 光接收机中的噪声 .....	284
5 光通信系统中的电磁干扰(EMI) .....	290
5.1 光纤中的 EMI .....	290
5.2 光电发射机的 EMI .....	294
5.3 光电接收机的 EMI 噪声 .....	295
6 简单分析金属线飞行系统中的光纤应用 .....	296
6.1 飞机的电磁威胁环境 .....	296
6.2 飞机上航空电子学光纤 .....	300

<b>第九章 静电放电</b> .....	307
1 引言 .....	307
2 静电放电过程 .....	307
2.1 静电荷的充电积累 .....	307
2.2 放电 .....	309
3 ESD 的电流波形和辐射场 .....	310
3.1 ESD 电流波形 .....	310
3.2 ESD 辐射场 .....	315
4 ESD 的威胁机理 .....	318
4.1 由预放电电场引起的威胁 .....	318
4.2 由放电电流引起的威胁 .....	318
4.3 由辐射场引起的威胁 .....	319
4.4 由引燃气体颗粒产生的威胁 .....	319
5 ESD 的基本防护和控制 .....	319
5.1 防止传导干扰 .....	320
5.2 控制辐射干扰 .....	321
5.3 软件和噪声容差 .....	325
5.4 小结 .....	326
6 ESD 测试程序 .....	326
6.1 测试设置 .....	326
6.2 测试程序 .....	327
6.3 严酷等级 .....	327
6.4 ESD 标准 .....	328
<b>第十章 频率指配和频谱保护</b> .....	330
1 引言 .....	330
2 电磁频谱 .....	332
2.1 信号与频谱 .....	332
2.2 调制与带宽 .....	332
2.3 频谱资源及其应用 .....	333
3 频率的划分和频率的指配 .....	334
3.1 原理 .....	334
3.2 频率指配 .....	334
3.3 有效利用无线电频谱的若干技术 .....	335
4 频谱保护方法 .....	347
4.1 目标函数的最小化 .....	347
4.2 图形着色 .....	350
4.3 一些意见 .....	350
4.4 试探法 .....	351

4.5 用于栅格频率指配的线性代数法 .....	354
5 综述 .....	355
<b>第十一章 EMC 测量</b> .....	<b>356</b>
1 引言 .....	356
2 主要的 EMC 测量设施 .....	356
3 EMC 测试设施的理论和设计 .....	357
3.1 开阔测试场 .....	357
3.2 屏蔽室 .....	362
3.3 有吸波材料的测试设施 .....	364
3.4 地下测量室 .....	368
3.5 环天线系统(LAS) .....	368
3.6 混响室 .....	368
4 EMC 测试环境和测量不确定度 .....	380
4.1 潜在的 EMI 和测量不确定度 .....	380
4.2 测试设施相关的 EMC 测量不确定度 .....	380
4.3 天线高度扫描相关的不确定度 .....	383
4.4 利用模拟自由空间环境来减少测量不确定度 .....	386
5 利用 EMC 测试设施 .....	387
5.1 测量设施选择准则 .....	387
5.2 基本的测量设施 .....	388
5.3 可替代的测量设施的修正 .....	389
5.4 EMC 测量设施应用综述 .....	394
<b>第十二章 EMC 标准</b> .....	<b>395</b>
1 引言 .....	395
2 民用 EMC 标准 .....	395
2.1 民用设备的国际射频发射控制要求 .....	395
2.2 民用设备的国际电磁抗扰度要求 .....	399
2.3 我国电磁兼容民用标准体系 .....	414
2.4 民用 EMC 标准的现状及发展趋向 .....	419
3 军用 EMC 标准 .....	422
3.1 军用 EMC 标准的发展 .....	422
3.2 在 MIL - STD - 461D/462D 中的重大变化 .....	423
3.3 在 MIL - STD - 461E 中的重要变化 .....	430
3.4 EMC 控制要求与应用场合 .....	431
<b>第十三章 EMC 工程应用示例</b> .....	<b>445</b>
1 分散接地对辐射发射的影响 .....	445
2 长距离传输线的场耦合 .....	447
2.1 引言 .....	447

---

2.2 小结 .....	450
3 设施的电磁脉冲防护 .....	450
3.1 商用供电 .....	451
3.2 通信电缆 .....	453
4 没有进行 EMC 设计引起的核设施中的误报 .....	454
4.1 问题说明 .....	454
4.2 被试设备说明 .....	454
4.3 抗扰度判据 .....	454
4.4 初始的抗扰度测试 .....	454
4.5 伽马射线检测器组件的射频加固 .....	455
4.6 重复抗扰度测试 .....	455
4.7 结论 .....	455
5 手机的近场场强计算 .....	455
5.1 MOM74 .....	456
5.2 举例 .....	460
5.3 MOM74 程序 .....	463
参考文献 .....	493

# 第一章 导 论

## 1 引 言

电气、电子和机电设备共处一个有限空间内,它们各自不应产生太大的电磁干扰影响其他设备正常工作,同时也应具有一定的抗干扰能力,以承受其他设备对它的干扰。它们与周围的环境,一方面不应过分污染环境,同时也应承受环境中自然的和人为的干扰。电磁频谱是一项有限的资源,电子设备尤其是无线电设备必须相互协调,合理使用这一资源。所有这些,本质上都是设备相互间通过电磁能量的作用产生的效应,电磁兼容性这门学科就是研究这些相互作用的机理,寻求它们能兼容工作的途径。本章作为全书的开头,主要讨论电磁环境,电磁兼容性(EMC)学科的发展历史,EMC的基本概念,EMC的主要研究领域和发展趋势。

## 2 电磁环境

电磁环境是我们生活的这个世界的一部分,各种装置,诸如无线电和电视广播台、通信发射机、雷达和导航设备,在它们的正常运行中都辐射电磁能量。这些是电磁能量“有意”地辐射到环境中。还有很多装置,譬如汽车点火系统、工业控制设备、电焊机,也辐射电磁能量到环境中,显然它们是“无意的”辐射。此外,自然中的雷电、宇宙无线电噪声、太阳黑子辐射也是电磁环境的组成部分。研究电磁环境的特性是 EMC 最基本的内容之一。

## 3 EMC 的发展历史

### 3.1 第二次世界大战前

人们认识电磁环境的干扰并予以重视是在 20 世纪的 20 年代,出现了无线电广播后。无线电噪声干扰的后果导致美国全国电灯协会和全国电气制造协会建立技术委员会,对无线电噪声的干扰进行考察。当时的目标是推动测量技术和性能的标准研究。30 年代这些工作的成果是出版了一些技术报告、测量方法的文件和测量仪表的发展,包括测量架空电力线电场强度的方法、无线电广播电台产生的场强的测量、测量无线电噪声和场强的仪表研制,确定无线电噪声允许限值的数据库。

在大西洋的另一边,几乎是同一时间,欧洲的几个国家开始出现无线电干扰(也叫做电磁干扰(EMI))各个方面的技术论文。这些论文不仅调查了无线电发射产生的电磁干扰,也调查了接收无线电信号遇到的干扰。1934 年,英国有人分析了 1000 多起无线电干扰的投诉,发现这

些干扰是由电动机、电子开关、汽车点火器具的运行产生的。还观察到电动牵引和输电线也能产生干扰。在欧洲,人们认识到,无线电干扰是值得国际关注的协定的技术研究领域,因而,在无线电干扰这一问题的国际合作是必要的,

因为无线电发射不分地区和国界,更进一步地说,使用电动机之类的各种器具除了在生产的国家投入市场和使用之外,还可能在其他许多国家投入市场和使用,因此这些装置必须符合所有相关国家的性能标准。20世纪30年代,国际电工委员会(IEC)和国际广播协会联手研究相关的技术问题,从而在1933年形成了国际无线电干扰特别委员会(CISPR),并在1934年召开了CISPR的第一次会议。CISPR最初研究的两个重要问题是无线电干扰的界限值以及测量这种干扰的方法。在以后的两年中,发展了测量无线电干扰的方法和频率在160至1605kHz之间的测量仪器。那时,CISPR的第一批出版物所规定的干扰界限值提出了信噪比为40dB,调制度为20%,场强为1mV/m的基准。

这一时期的重要里程碑简述如下。

- 1940年公开发表了测量无线电噪声方法的一篇报告(在美国)。
- 公开发表了CISPR会议录,以及从1934到1939年的RI1-8报告。RI1-8报告提供了测量接收机设计、人工电源网络、场测量等数据。
- 频段为0.15~18MHz的无线电噪声和场强计的规范。
- 无线电广播场强和高架电线附近的无线电噪声场强的实际测量。
- 电气设备的传导无线电噪声测量方法的研究,以及测量频率范围在160至1605kHz内的人工电源网络。
- 用于上述测量的测量接收机,无线电噪声场强仪及其他仪器的设计和生产。

### 3.2 第二次世界大战及之后的25年

二次世界大战的爆发中断了对无线电噪声的研究和控制。战争的几年间,CISPR支持下的技术工作完全停止了,但同时也产生了新的推动力。

随着二战中军队使用无线电通信和雷达设备的兴趣扩大,军队对无线电干扰的关注也变得越来越强烈。他们也高于正常无线电广播频率的频段感兴趣。军队的这些兴趣使军事标准得到了发展,并且在20世纪40年代,20MHz以下电磁干扰的可靠测量仪器也得到了发展,在20世纪50年代上升到30MHz,并在20世纪60年代上升到1000MHz。从一开始,对军事性能标准的需求就更加迫切。在航天和卫星技术中,电磁干扰的概念和抗干扰的有效步骤也是极为重要的。这导致了许多务实的技术工作,然而这些工作的结果保密了很长时间。

二战后CISPR会议重新开始。这时,美国、加拿大和澳大利亚加入了CISPR会议。CISPR讨论会成为在无线电干扰测量方法和测量工具上达成一致的技术聚会。随着高频的使用增多,推动了测量方法、标准体系和高频仪表的发展。越来越多的亚洲国家和世界其他地区的国家,以及几个国际组织(例如国际无线电通信咨询委员会),由于对无线电科学的兴趣,也开始参加CISPR会议。由于国际上加入和从事的技术领域的增多,CISPR会议成为在电磁干扰方面增强国际理解和合作的重要媒介。因此,在这一讨论会上发展了测量技术和用于高频的详细实验规划。同时也讨论并通过了频率达到1000MHz的测量方法的详细步骤。

随着二战后无线电通信的非军事应用,电磁干扰与无线电通信产品设计原理的结合变得明显了。因此,包括干扰机制和它们的影响、测量技术和使电磁干扰最小化的设计方法等几个主要技术,成为世界许多地区包括美国和欧洲认真研究的课题。这一时期完成了许多实际的某

些电气、电子设备和系统发射的射频噪声测量。作为 CISPR 中商议的技术背景的一部分,对无线电和电视、传输线、家用器具、机动车辆和工业 / 科学 / 医学 (ISM) 器具产生的电磁噪声进行了详细的测量、报告,并在 CISPR 会议上进行了广泛的讨论。开始强调的是在测量方法和使用工具的细节上达成一致;而将性能界限值这一更难的课题推后处理。随后各国管理机构例如美国的联邦通讯委员会 (FCC)、大不列颠联合王国的英国标准机构 (BSI), 开始发布适用于他们各自国家的干扰界限值。

这一时期发展中的重要里程碑简述如下。

●1945 年,20 MHz 以下的无线电干扰测量方法的第一个陆海军联合标准 JAN - I - 225(在 1946 年度为 63.1 文件);1963 年覆盖 30 MHz 的测量叫做 C 63.2 的修改过的标准;1964 年覆盖 1000 MHz 频率的仪器的标准 C 63.3。

●1967 年公开发表美国军用标准 MIL - STD - 462 “EMI 特性测量”;1968 年公开发表 MIL - STD - 461 “控制电磁干扰的电磁发射和敏感度要求”。

●CISPR 将测量技术和使用工具(非军事专用)进一步标准化,1958 年覆盖频率波段为 30 MHz, 1961 年为 300 MHz, 1968 年为 1000 MHz。

●发明了测量频率为 30 至 300 MHz 时家用器具电磁发射的铁氧体卡钳方法。

●1967 年 CISPR 公开发表的 CISPR - 4 出版物——“频率 300 至 1000 MHz 的测量装置标准”和 CISPR - 5 除准峰值检波器外的其它检波功能的无线电干扰测量仪器。

●正式成立了包括测量方法和 ISM 设备、电源线、汽车、无线电 / 电视接收机以及家用器具的干扰源在内的技术信息组织。

●1968 年公开发表诸如联邦通讯委员会等机构的关于电磁干扰的国家管理措施,即 FCC 规则和规章第二卷第十八部分“工业、科学和医学设备”。

### 3.3 过去的 30 年

在近 30 年内,电力和电子仪表工程技术领域发展十分迅速。主要的发展是在数字计算机、信息技术、仪表、电信和半导体技术领域。在所有这些领域中电磁噪声和抑制电磁干扰技术都占有重要地位。在电磁噪声领域,世界各国已经进行了大量的技术工作。

对 CISPR 16 号出版物深入研究,就会发现它是综合了多种测量方法和电磁干扰的推荐界限值而形成的一个自成体系的文件。在 CISPR 中发表的这项研究覆盖了无线电和电视接收机,工业、科学、医学仪器,汽车和荧光灯的电磁噪声和它的测量。随着信息技术和数字电子产品的相应发展,针对上一世纪 80 年代这项新出现的重要技术,CISPR 也推出了 CISPR 22 号出版物,它覆盖了信息技术设备。

军用设施对电磁噪声领域的研究也引起电磁干扰以及测量与控制干扰技术领域的长足进步。理解了 EMI 和达到电磁兼容性的重要性,就导致该项研究直接应用于各国的军事领域,颁布了重要的军用标准 MIL - STD - 461 和 MIL - STD - 462。在一些国家陆海空三军都发布了自己的限制电磁干扰的标准。除了基本的军用标准 MIL - STD - 461/462/463,美国军队也发表了几项其它标准,包括诸如雷达、飞机电源、空间系统、海军平台、移动通信等领域的系统电磁兼容性和各种设备的设计和性能要求。

在世界范围内数字技术的进步,包括工业自动化的应用,在 80 年代极大地影响了和电磁噪声相关问题的的发展。数字设备和仪器对电磁噪声非常敏感是因为这些设备和仪器都不能区分信号和瞬态噪声,它们易受电磁噪声的干扰而产生故障。同时,数字电路和设备产生了大量

的电磁噪声(这是一种重要的宽带噪声,它产生于数字信号的极短脉冲上升时间)。用于数字电路和设备的时钟频率也会产生电磁噪声。数字电子设备使固态器件和集成电路有更广泛的应用。固态器件和集成电路更容易被瞬变电磁干扰所破坏。因此,为了避免灵敏的半导体设备被电磁环境干扰,特殊的设计和工程方法是很必要的。在过去 30 年内此领域已受到相当大的关注并在全世界公布了大量论文。关于这些技术和方法的讨论仍然在国内和国际会议上占有重要地位。

一些国家为各种电气和电子设备发射的电磁噪声规定了界限值,在投放市场之前这种设备和仪器必须经受合格性检测。因此,美国的 FCC、德国的 FTZ 组织,英国的标准协会,日本的 VCCI 组织和其他国家类似的协会都发布了控制电磁噪声发射和抗扰度要求的标准。特殊的政府代理比如美国的 NASA 和 NTIA,其它国家类似的组织,也发布了控制电磁噪声发射和抗扰度要求的性能标准。国际组织如 ICAO 和 IMCO 也相当关注电磁噪声和它的允许界限值。

随着欧洲自由贸易的出现,80 年代,欧洲国家对制订电磁噪声发射和抗扰度界限值的要求特别关注。为了能让在整个欧洲开拓产品市场,一个统一的方法和一致的标准是很必要的。欧洲经济共同体中的欧洲电力产品标准委员会成立于 1973 年,负责制订协调电磁噪声和仪器性能界限值的欧洲标准。CENELEC 制订的各种导则包括无线电和电视接收机,信息技术设备和工业、科学、医学仪器等。CENELEC 导则紧密结合 CISPR 和其它 IEC 的出版物。

## 4 电磁干扰和电磁兼容性概念的定义

电磁干扰是一种普遍的电磁现象,它会降低装置、设备或一个系统的性能。“电磁干扰”和“射频干扰”有时互相代用,实际上这是不准确的。射频干扰是指由射频噪声引起的有用信号接收能力的下降,属于射频范围内的电磁扰动,见图 1-1。

我们来研究电磁干扰如何从源传至接收器,后者可以是一台装置或设备或一个系统。我们用“接收器”这个词表示它可接受电磁干扰。图 1-2 表示了电磁干扰从其源传至接收器的各种途径:

- 从源直接辐射至接收器(路径 1);
- 来自源的辐射直接被连接于接收器的电源线或信号/控制线接收,并传导至接收器(路径 2);
- 由源处的电源、信号或控制电缆的辐射引起的电磁辐射(路径 3);
- 电磁干扰通过共用电源或共用信号、公用控制线缆直接从源传至接收器(路径 4);
- 连接在源上的电源、信号、控制线缆与接收器的电源、信号、控制线缆耦合时(特别是当线缆成束敷设在了一起时)引起的电磁干扰(这种干扰可通过传导转至接收器,即使共用电源、信号、控制线缆不存在)。

因此,电磁干扰从其源传至接收器的主要方式为辐射和传导,从源耦合产生的电磁干扰传至接收器就会影响接收器正常工作状态。当电磁干扰的强度超过了界限值时,该接收器就会受损。一部接收器(装置,设备,系统)能在电磁环境中正常工作,且不会对该环境中其它设备和系统产生不能承受的电磁扰动,我们将这种能力称为电磁兼容性(EMC)。在过去的 80 年中,电磁干扰和电磁兼容性这门学科不断发展并已进入工程中。不过,这一领域中许多分析与实验课题有待进一步深入研究。



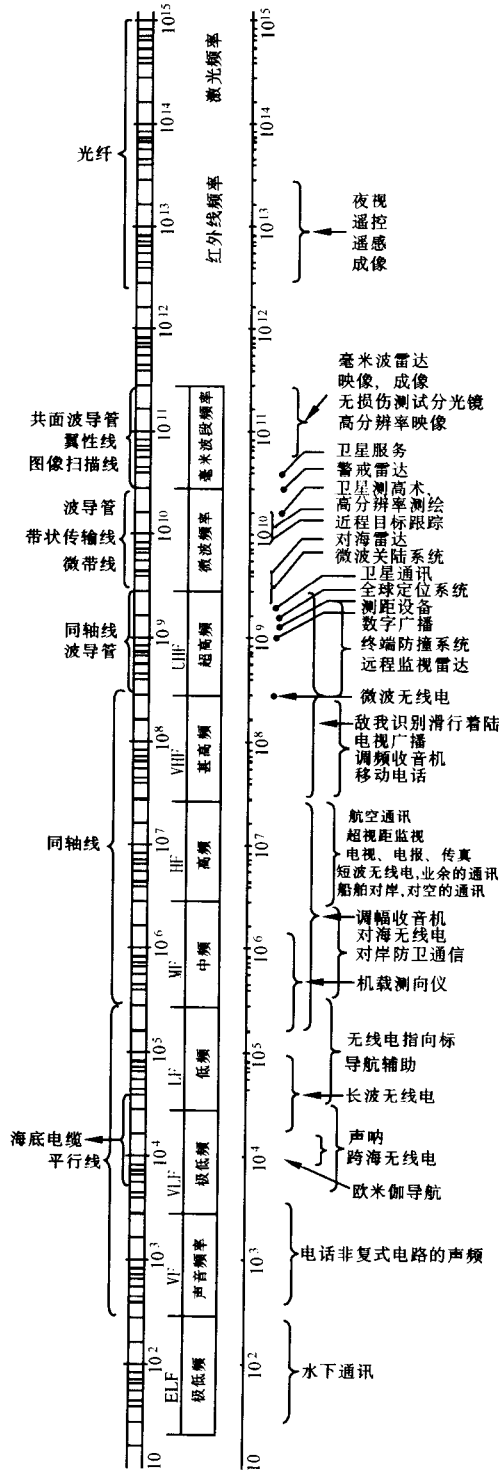


图 1-1 电磁频谱及其用途