

电磁兼容 原理及应用

林福昌 李化 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电磁兼容原理及应用

林福昌 李 化 编著



机械工业出版社

本书注重从实际出发,结合强电类工程实际的特点,介绍了电磁兼容的基本知识,包括电磁干扰的产生和电磁兼容的实现技术,以及一些常见的电磁干扰问题及其解决方法。本书第1章介绍了电磁兼容的基本概念和电磁干扰源及其危害;第2章介绍了传导和辐射两类干扰的产生机理;第3~5章介绍了接地、屏蔽和滤波三种主要的电磁兼容技术;第6章介绍了电磁干扰的发射和敏感性测量技术;第7~9章结合实际,具体介绍了静电防护、电子系统的电磁兼容设计和浪涌抑制技术;第10章介绍了与电力系统相关的一些典型的电磁兼容问题。

本书既可以作为高等院校电气工程等相关专业本科生和研究生教材,也可以作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容原理及应用/林福昌,李化编著. —北京:机械工业出版社,2009.4

ISBN 978-7-111-26482-8

I. 电… II. ①林…②李… III. 电磁兼容性 IV. TN03

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第034078号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘星宁 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:邓博

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009年4月第1版第1次印刷

140mm×203mm·9.125印张·241千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26482-8

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着电气、电子技术的迅速发展，电磁环境日趋复杂，电磁干扰和电磁兼容问题日渐突出。电磁兼容的应用范围涉及所有用电领域，现代工业和生活中几乎所有的用电设备都需要解决电磁兼容问题，以保证人身安全和设备的安全工作。

电磁兼容学科是一门综合性交叉学科，实用性很强。本书注重从实际出发，结合强电类工程实际的特点，介绍了电磁兼容的基本知识，包括电磁干扰的产生和电磁兼容的实现技术，以及一些常见的电磁干扰问题及其解决方法。本书第1章介绍了电磁兼容的基本概念和电磁干扰源及其危害；第2章介绍了传导和辐射两类干扰的产生机理；第3~5章介绍了接地、屏蔽和滤波三种主要的电磁兼容技术；第6章介绍了电磁干扰的发射和敏感性测量技术；第7~9章结合实际，具体介绍了静电防护、电子系统的电磁兼容设计和浪涌抑制技术；第10章介绍了与电力系统相关的一些典型的电磁兼容问题。

本书是作者在面向电气工程专业本科生和研究生开设的“电磁兼容原理及应用”课程讲义的基础上编写而成的。林福昌编写了第1~3、6、7章；李化编写了第4、5、8~10章。戴玲、何正浩、钟和清、陈耀红、刘毅、李倩、鲁万新、李文婷、周益峰等参加了部分章节的编写工作，全书由林福昌统稿。

由于电磁兼容技术的内容涉及多个学科大类，服务对象广泛，相关理论和技术发展迅速，加之作者水平有限，书中难免存在错误和不足，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 电磁兼容的基本概念	3
1.2.1 电磁兼容性概念	3
1.2.2 差模干扰和共模干扰	4
1.2.3 分贝单位的定义及换算关系	5
1.2.4 电磁干扰三要素	8
1.3 主要的电磁干扰源	10
1.3.1 电磁干扰源的分类	10
1.3.2 自然干扰源	10
1.3.3 人为干扰源	12
1.4 电磁干扰的危害	19
1.4.1 电磁干扰对电气、电子设备的危害	19
1.4.2 电磁能量对易燃易爆装置的危害	21
1.4.3 电磁干扰对燃油的危害	22
1.4.4 电磁能量对人体的危害	23
第 2 章 电磁干扰传输和耦合理论	25
2.1 电磁干扰的传输途径	25
2.2 传导耦合原理	26
2.2.1 电阻性耦合	26
2.2.2 电容性耦合	31
2.2.3 电感性耦合	37
2.2.4 传导耦合的综合考虑	44
2.3 辐射耦合原理	47
2.3.1 辐射场强	48
2.3.2 辐射耦合方式	52

2.3.3 电磁辐射对电路产生的干扰	55
2.3.4 减小辐射干扰的措施	58
第3章 接地技术	59
3.1 保护接地和信号接地	59
3.1.1 接地的含义和类型	59
3.1.2 保护接地	60
3.1.3 信号接地	61
3.2 电路和系统接地方式的选择	63
3.2.1 单点接地	63
3.2.2 多点接地	66
3.2.3 混合接地	67
3.3 地线回路中的干扰及抑制技术	68
3.3.1 地线回路中的电磁干扰	68
3.3.2 抑制地环路干扰的技术	70
3.4 电缆屏蔽体的接地	80
3.4.1 低频电缆屏蔽体接地点的选择	80
3.4.2 高频电缆屏蔽体的接地	84
第4章 屏蔽技术	85
4.1 概述	85
4.2 电场屏蔽	86
4.2.1 静电屏蔽	86
4.2.2 交变电场屏蔽	87
4.3 磁场屏蔽	90
4.3.1 低频磁场屏蔽	90
4.3.2 高频磁场屏蔽	93
4.4 电磁屏蔽	95
4.4.1 电磁屏蔽的原理	95
4.4.2 传输线理论和屏蔽效能分析	96
4.4.3 屏蔽效能计算的解析法	99
4.4.4 薄膜屏蔽和多层屏蔽	105
4.5 孔缝泄漏的抑制措施	107
第5章 滤波和滤波器	112
5.1 概述	112

5.1.1	滤波器的插入损耗及频率特性	112
5.1.2	电磁干扰滤波器的特点	113
5.1.3	滤波器的分类	115
5.2	反射式滤波器	115
5.2.1	低通滤波器	115
5.2.2	高通滤波器	120
5.2.3	带通滤波器和带阻滤波器	122
5.3	吸收式滤波器	122
5.3.1	吸收式滤波器的原理及应用	122
5.3.2	铁氧体抗干扰磁心	125
5.4	电源电磁干扰滤波器	126
5.4.1	电源电磁干扰滤波器的网络结构	126
5.4.2	电源电磁干扰滤波器的安装	128
5.5	有源滤波器	130
第6章 电磁兼容性测试技术		133
6.1	测试场地	134
6.1.1	开阔区域测试场地	134
6.1.2	屏蔽室	135
6.1.3	电波暗室	137
6.1.4	混波室	138
6.2	主要测试设备	139
6.2.1	传导干扰测量探头	139
6.2.2	天线	141
6.2.3	电磁干扰测量仪/频谱分析仪	143
6.3	电磁干扰发射测量	145
6.3.1	传导发射测量	145
6.3.2	辐射干扰发射测量	148
6.4	电磁干扰敏感度测试	149
6.4.1	传导干扰敏感度测试	149
6.4.2	辐射干扰敏感度测试	155
第7章 静电干扰及静电防护		163
7.1	静电的产生	163
7.1.1	摩擦起电	164

7.1.2 感应起电	165
7.1.3 人体静电起电	166
7.2 静电放电	167
7.2.1 静电放电的类型和特点	168
7.2.2 静电放电模型	170
7.3 静电的危害	174
7.3.1 对可燃物的危害	175
7.3.2 对人体的危害	175
7.3.3 对电子设备的危害	176
7.4 静电干扰的防护	179
7.4.1 静电接地	179
7.4.2 静电放电的防护	181
第8章 电子设备的电磁兼容设计	185
8.1 常用元器件的选择	186
8.1.1 电阻	187
8.1.2 电容	189
8.1.3 电感	192
8.1.4 二极管	196
8.1.5 集成电路的封装	198
8.2 线路终端的匹配连接	198
8.3 印制电路板的布局和布线	201
8.3.1 印制电路板上布线的寄生参数及影响	201
8.3.2 布局设计	202
8.3.3 布线设计	203
8.3.4 印制电路板的接地设计	207
第9章 浪涌抑制技术	210
9.1 雷电浪涌的产生和传递	210
9.1.1 雷电的产生和特性	210
9.1.2 雷电干扰的机理	213
9.2 建筑物的防雷和接地技术	216
9.2.1 直(侧)击雷防护技术	216
9.2.2 建筑物的接地保护	220
9.2.3 用电设备的接地保护	222

9.2.4	雷击过电压的防护	224
9.3	浪涌抑制器件	226
9.3.1	气体放电管	227
9.3.2	氧化锌避雷器	228
9.3.3	稳压二极管	231
9.3.4	瞬变电压抑制器	232
9.3.5	几种常用瞬态干扰抑制器件的比较	233
9.4	电子设备的端口防护技术	234
9.4.1	电源端口保护	235
9.4.2	信号线端口保护	237
9.4.3	接地端口保护	237
第 10 章	电力系统的电磁兼容问题	240
10.1	电力系统谐波	240
10.1.1	谐波的产生	240
10.1.2	主要谐波源	241
10.1.3	谐波的危害	248
10.1.4	谐波的治理	251
10.2	发电厂、变电站的地电位干扰及保护措施	254
10.2.1	发电厂、变电站的地电位升高	254
10.2.2	地电位升高的危害	257
10.2.3	防止地电位干扰的措施	258
10.3	发电厂、变电站内的暂态干扰	262
10.3.1	发电厂和变电站内的干扰源	262
10.3.2	开关操作引起的暂态干扰	264
10.3.3	气体绝缘金属封闭开关设备中开关操作引起的暂态干扰	267
10.4	冲击试验时的电磁干扰	270
10.4.1	电缆外皮流过电流时造成的干扰	271
10.4.2	测量仪器内部回路中的干扰	276
10.4.3	从电源线接受的干扰	277
10.4.4	电磁场直接窜入仪器造成的干扰	278
10.4.5	仪器处的电位升高	278
10.4.6	减少干扰的一般方法	278
参考文献		280

第1章 概述

1.1 引言

随着科学技术的不断发展,各种电气和电子设备已广泛应用于国民经济的各个部门以及人们的日常生活中。电气和电子设备在正常运行的同时,也往外发射有用或无用的电磁能量,这些能量会影响其他设备的正常工作,这就是电磁干扰(Electromagnetic Interference, EMI)。

严格地说,只要把两个以上的电气元件置于同一环境中,工作时就会产生电磁干扰现象。在两个系统之间会出现系统间的干扰,如真空吸尘器或其他带直流电机的家用电器工作时,在电视机屏幕上会有“条纹”出现。在系统内部各设备之间会出现干扰,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。在同一电子设备的各部分电路间也会存在相互间的干扰,如数字电路对共用同一电源的低电平模拟电路的干扰。

人为的或自然界的电磁干扰源(如雷电)有可能使系统或设备的工作信号产生畸变。当工作信号很弱时,就会严重影响信号的准确传递,如电气设备绝缘内部的局部放电信号,由于信号非常微弱(电流为微安量级),常常会因受到无线电、其他运行的高压设备等的影晌而不能准确测量。当电磁干扰能量较大时,会使系统或设备的性能发生有限度的降级,甚至可能使系统或设备失灵,干扰严重时会使系统或设备发生故障或事故。如在一个民用机场的综合办公楼里,安装了一台大型计算机系统。这个系统会随时丢失数据或存储错误数据,后来发现问题是由于当机场监视雷达辐射到这个综合办公楼时,系统被同步了。随着电子元器件的集成化程度的提高和工作电压的降低,

干扰问题显著增加。数字信号处理技术和计算机技术的迅速发展，使数字信号开关量的转换速度大大提高，加剧了电磁干扰的噪声源强度和密度。当大量的电子设备集中在狭小的空间时，相互间的电磁干扰会非常严重，如在飞机或舰艇上，一般要装备多种雷达，当所有雷达同时工作时，一部雷达可能遭受其他雷达的干扰。

客观事实使人们认识到电磁干扰的危害。1933年，国际电工委员会（IEC）建议成立国际无线电干扰特别委员会（CISPR）来处理不断出现的电磁干扰问题。为保障人类生命安全和电子设备的正常运行、减轻和消除电磁污染，自1983年以来，我国已经陆续发布了近百项有关电磁兼容设计要求和测试方法等的国家标准和国家军用标准。自2000年以来，我国推行了强制执行的电气和电子产品电磁兼容认证制度。

为了保障电子系统或设备的正常工作，必须研究电磁干扰，分析、预测干扰，限制干扰强度，研究抑制干扰的有效技术手段，提高抗干扰能力，并进行合理的设计等，以使共同环境中的系统和设备能执行各自的正常功能。这种对电磁干扰进行分析、设计和验证测试的学科领域就是电磁兼容（Electromagnetic Compatibility, EMC）。

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，包括电力、通信、交通、航天、军工、计算机、医疗卫生等，都必须解决电磁兼容问题。电磁兼容学科涉及的理论基础包括数学、电磁场理论、天线与传播理论、电路理论、信号分析、通信理论、材料科学、生物医学等，所以说电磁兼容学科是一门尖端的综合性学科。实际上，电磁兼容学科的研究对象并不仅限于电气、电子设备，而且涉及自然干扰源、核电磁脉冲、静电放电、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问题。所以，有些学者把电磁兼容学科也称为环境电磁学。

1.2 电磁兼容的基本概念

1.2.1 电磁兼容性概念

1. 电磁噪声与电磁干扰

电磁噪声是指不带任何信息，即与任何信号都无关的一种电磁现象。电磁噪声的来源有自然界、机电设备或其他人为装置。电磁噪声通常是脉动的和随机的，但也可以是周期性的。

电磁干扰则是指任何能中断、阻碍、降低或限制通信电子设备有效性能的电磁能量。严格地说，噪声和干扰的含义是不同的，干扰所指的范围更宽。

电磁干扰的形式很多。例如，由大气无线电噪声引起的天电干扰，由输电线以及各种电子和电气设备工作时引起的工业干扰，由传输电路间的电或磁的相互耦合引起的干扰等。

2. 电磁兼容性

如何使处于同一电磁环境下的各种电气、电子设备或系统能够正常工作而又互不干扰，达到所谓的“兼容”状态，已成为现代电气和电子技术发展过程中必须解决的难题。于是，抑制干扰的技术也就发展起来了，并且越来越受到人们的重视，这就是电磁兼容技术。

电磁兼容是指电气、电子设备或系统的一种工作状态，在这种工作状态下，它们不会因为内部或彼此间存在的电磁干扰而影响其正常工作。电磁兼容性则是指电气、电子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，它是电气、电子设备或系统的一种重要的技术性能。按上述定义，电磁兼容性包含以下两方面的含义：

1) 设备或系统应具有抵抗给定电磁干扰的能力，并且有一定的安全裕量，即它不会因受到处于同一电磁环境中的其他设备或系统发射的电磁干扰而产生不允许的工作性能降低。

2) 设备或系统不产生超过规定限度的电磁干扰，即它不会

产生使处于同一电磁环境中的其他设备或系统出现超过规定限度的工作性能降低的电磁干扰。

在分析中，通常要把系统内电磁兼容性和系统间电磁兼容性区分开，前者是指在给定系统内部的各分系统、设备及部件相互之间的电磁兼容性；后者则是指给定系统与其工作的电磁环境中的其他系统之间的电磁兼容性。

1.2.2 差模干扰和共模干扰

电磁兼容技术的一对基本概念为差模干扰和共模干扰。

1. 差模干扰

差模干扰电压 \dot{U}_{dg} 出现于电流回路的来、去引线之间，与回路工作电源 \dot{U}_s 串联在一起，如图 1-1 所示。 \dot{U}_{dg} 在

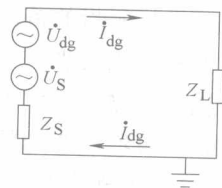


图 1-1 差模干扰的定义

回路中产生差模电流 \dot{i}_{dg} ，在被干扰系统的输入接头（用 Z_L 表示）间产生干扰电压信号，与回路的有效信号叠加在一起。

差模干扰的产生大多来自磁耦合或共模/差模转换。它和有用信号是串联的，会引起测量误差、误动作等。在图 1-1 中，当电源内阻 $Z_s \ll Z_L$ 时，回路中感应的干扰电压 \dot{U}_{dg} 全部作为被干扰系统的干扰电压（和有用信号串联）。

2. 共模干扰

共模干扰电压 \dot{U}_{cg} 出现于信号芯线和中性线（例如测量接地线）之间。它的产生是由于在中性线和回路之间插入了一个干扰电压源 \dot{U}_{cg} ，例如一个瞬态地电位的提高，如图 1-2 所示。

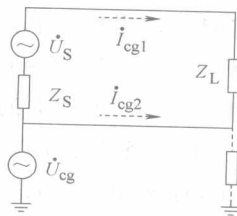


图 1-2 共模电压的定义

共模电压不形成与有用信号串联的

干扰电压，高的共模电压有可能在信号线和仪器外壳或线路中性点间引起表面闪络，一般情况下会造成永久性的损害。

当信号电路与地回路之间有多点相连时，共模电压将在来、去引线中驱动出不同的电流（见图 1-2 中 i_{cg1} 和 i_{cg2} ），它们在阻抗上会引起不同的电压降。来、去引线上具有不同的对地电压，从而在接收机的输入端（用 Z_L 表示）产生了差模干扰电压，即出现了共模/差模转换。不同阻抗造成共模电压完全或部分转为差模电压，它的大小等于来、去引线上不同的对地电压之差。

1.2.3 分贝单位的定义及换算关系

电磁兼容问题常用表征干扰发射和接收的电磁参数表示，如电压、电流、场强、功率等，这些量的取值范围非常大。感兴趣的相关量是干扰量与被干扰量的比值，或干扰被抑制的程度，因此对电磁兼容性的定量评价常用与被讨论量的比值来表示。因为在电磁兼容领域中，这些参数的宽范围是常见的，所以常用分贝（dB）表示，分贝有压缩数据的特点，可以用来表示变化范围很大的数值关系。用分贝表示可以使许多以 10 为底的乘幂的比值有简单明了的表示。这种表示方法更大的优点是可以把相乘的比值变成简单的相加，因而能够采用某些概念如信噪比等。

1. 功率的分贝单位

两个功率比值的分贝定义为

$$P_{\text{dB}} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \quad (1-1)$$

式中， P_1 为某一功率； P_2 为比较的基准功率； P_1 和 P_2 应采用相同的单位。

需要说明的是，分贝仅为两个量的比值，是无量纲的。随着分贝表示式中的基准参考量的单位不同，分贝在形式上也带

有某种量纲。如以 $P_2 = 1\text{W}$ 作为基准功率，式 (1-1) 的分贝值就表示 P_1 相对于 1W 的倍率，即以 1W 为 0dB 。此时以带有功率量纲的分贝 dBW 表示 P_1 ，称为分贝瓦，所以

$$P_{\text{dBW}} = 10\lg \frac{P_{\text{w}}}{1\text{W}} = 10\lg P_{\text{w}} \quad (1-2)$$

式中， P_{w} 为以 W 作单位的功率电平； P_{dBW} 为以 dBW 作单位的功率电平。

如，将 50W 的功率转换为 dBW ，则

$$(50\text{W})_{\text{dBW}} = 10\lg \frac{50\text{W}}{1\text{W}} = 10\lg 50 = 17.0\text{dBW}$$

如果式 (1-1) 中用 $P_2 = 1\text{mW}$ 作为基准功率，就可以用符号 dBmW 表示 P_1 的分贝值单位，称为分贝毫瓦。 dBmW 和 W 的关系为

$$P_{\text{dBmW}} = 10\lg \frac{P_{\text{mW}}}{1\text{mW}} = 10\lg P_{\text{mW}} \quad (1-3)$$

显然， $0\text{dBW} = 30\text{dBmW}$ 。

类似地，如果式 (1-1) 中以 $P_2 = 1\mu\text{W}$ 作为基准功率，就可以用 $\text{dB}\mu\text{W}$ 表示 P_1 的分贝值单位，称为分贝微瓦。功率用 W 作单位与用 dBW 、 dBmW 、 $\text{dB}\mu\text{W}$ 作单位的换算关系为

$$\begin{cases} P_{\text{dBW}} = 10\lg P_{\text{w}} \\ P_{\text{dBmW}} = 10\lg P_{\text{mW}} = 10\lg \frac{P_{\text{w}}}{10^{-3}\text{W}} = 10\lg P_{\text{w}} + 30 \\ P_{\text{dB}\mu\text{W}} = 10\lg P_{\mu\text{W}} = 10\lg \frac{P_{\text{w}}}{10^{-6}\text{W}} = 10\lg P_{\text{w}} + 60 = 10\lg P_{\text{mW}} + 30 \end{cases} \quad (1-4)$$

在电磁兼容工程中，除了功率习惯用分贝单位表示以外，电压、电流和场强也都用分贝表示。

2. 电压的分贝单位

电压的分贝单位定义为

$$U_{\text{dB}} = 20\lg \frac{U_1}{U_2} \quad (1-5)$$

式中, U_2 为基准电压。分贝值表示 U_1 相对于 U_2 的比值的对数函数, 反映 U_1 和 U_2 两个电压的倍率关系。

电压的单位为 V、mV 和 μV , 对应的分贝单位分别为 dBV、dBmV 和 $\text{dB}\mu\text{V}$, 可分别表示为

$$\begin{cases} U_{\text{dBV}} = 20\lg \frac{U_{\text{V}}}{1\text{V}} = 20\lg U_{\text{V}} \\ U_{\text{dBmV}} = 20\lg \frac{U_{\text{mV}}}{1\text{mV}} = 20\lg U_{\text{mV}} \\ U_{\text{dB}\mu\text{V}} = 20\lg \frac{U_{\mu\text{V}}}{1\mu\text{V}} = 20\lg U_{\mu\text{V}} \end{cases} \quad (1-6)$$

电压用 V 作单位和用 dBV、dBmV、 $\text{dB}\mu\text{V}$ 作单位的换算关系为

$$\begin{cases} U_{\text{dBV}} = 20\lg \frac{U_{\text{V}}}{1\text{V}} = 20\lg U_{\text{V}} \\ U_{\text{dBmV}} = 20\lg \frac{U_{\text{V}}}{10^{-3}\text{V}} = 20\lg U_{\text{V}} + 60 \\ U_{\text{dB}\mu\text{V}} = 20\lg \frac{U_{\text{V}}}{10^{-6}\text{V}} = 20\lg U_{\text{V}} + 120 = 20\lg U_{\text{mV}} + 60 \end{cases} \quad (1-7)$$

例如, $U = 10\text{V}$, 用 dBV 单位表示, 等于 20dBV; 用 dBmV 单位表示, 等于 80dBmV; 用 $\text{dB}\mu\text{V}$ 单位表示, 等于 140 $\text{dB}\mu\text{V}$ 。

即 $10\text{V} = 20\text{dBV} = 80\text{dBmV} = 140\text{dB}\mu\text{V}$ 。

3. 电流的分贝单位

电流的单位为 A、mA 和 μA , 对应的分贝单位分别为 dBA、dBmA 和 $\text{dB}\mu\text{A}$, 可分别表示为

$$\begin{cases} I_{\text{dBA}} = 20\lg \frac{I_{\text{A}}}{1\text{A}} = 20\lg I_{\text{A}} \\ I_{\text{dBmA}} = 20\lg \frac{I_{\text{mA}}}{1\text{mA}} = 20\lg I_{\text{mA}} \\ I_{\text{dB}\mu\text{A}} = 20\lg \frac{I_{\mu\text{A}}}{1\mu\text{A}} = 20\lg I_{\mu\text{A}} \end{cases} \quad (1-8)$$

电流用 A 作单位和用 dBA、dBmA、 $\text{dB}\mu\text{A}$ 作单位的换算关

系为

$$\begin{cases} I_{\text{dBA}} = 20\lg \frac{I_A}{1\text{A}} = 20\lg I_A \\ I_{\text{dBmA}} = 20\lg \frac{I_A}{10^{-3}\text{A}} = 20\lg I_A + 60 \\ I_{\text{dB}\mu\text{A}} = 20\lg \frac{I_A}{10^{-6}\text{A}} = 20\lg I_A + 120 = 20\lg I_{\text{mA}} + 60 \end{cases} \quad (1-9)$$

例如, $I = 100\text{mA}$, 用 dBA 单位表示, 等于 -20dBA ; 用 dBmA 表示, 等于 40dBmA ; 用 $\text{dB}\mu\text{A}$ 表示, 等于 $100\text{dB}\mu\text{A}$ 。

即 $100\text{mA} = -20\text{dBA} = 40\text{dBmA} = 100\text{dB}\mu\text{A}$ 。

4. 电场强度、磁场强度的分贝单位

电场强度 (E) 的单位为 V/m 、 mV/m 和 $\mu\text{V/m}$, 对应的分贝单位分别为 dBV/m 、 dBmV/m 和 $\text{dB}\mu\text{V/m}$ 。以 dBV/m 表示时, 它是以 1V/m 为基准的电场强度分贝数, 即

$$E_{\text{dBV/m}} = 20\lg \frac{E_{\text{V/m}}}{1\text{V/m}} = 20\lg E_{\text{V/m}} \quad (1-10)$$

因为 $1\text{V/m} = 10^3\text{mV/m} = 10^6\mu\text{V/m}$, 所以存在 $1\text{V/m} = 0\text{dBV/m} = 60\text{dBmV/m} = 120\text{dB}\mu\text{V/m}$ 。

磁场强度 (H) 的单位为 A/m 、 mA/m 和 $\mu\text{A/m}$, 对应的分贝单位分别为 dBA/m 、 dBmA/m 和 $\text{dB}\mu\text{A/m}$ 。以 dBA/m 表示时, 它是以 1A/m 为基准的磁场强度分贝数, 即

$$H_{\text{dBA/m}} = 20\lg \frac{H_{\text{A/m}}}{1\text{A/m}} = 20\lg H_{\text{A/m}} \quad (1-11)$$

从分贝的定义可以看出, 由于分贝反映了两个数之间的比值。因此, 当两个数采用相同的单位时 (如电压均用 V 或 mV) 表示, 则其比值的分贝值是不变的。因此, 分贝值也常用于表示干扰被抑制的程度, 分贝值越高, 则干扰抑制效果越好。

1.2.4 电磁干扰三要素

形成电磁干扰必须同时具备以下 3 个因素: