

电磁干扰排查及 故障解决的电磁 兼容技术

(法) 米切尔·麦迪圭安 著
刘萍 魏东兴 等译

电磁干扰排查及故障解决 的电磁兼容技术

(法) 米切尔·麦迪圭安 著
刘 萍 魏东兴 臧瑞华 王婧婕 等译



机 械 工 业 出 版 社

本书定量地阐述了电磁干扰(EMI)的诊断和故障解决的电磁兼容(EMC)技术,以及使用的仪器设备;定量地阐述了现场实际 EMC 测试中的电磁干扰问题、感性的串联损耗电磁兼容解决方案、传导型问题解决方案的工作模式、电磁兼容的容性解决方案;详细地阐述了对每种 EMI 的抑制措施和 EMI 抑制元件的应用条件;并给出了电磁干扰抑制措施的最佳方案选择。书中配有大量的图例、表格、计算公式、可参照的特性曲线、附录等。

EMI Troubleshooting Techniques/Michel Mardiguian

ISBN: 0-07-134418-7

Copyright © 2000 by McGraw-Hill, Inc. All rights reserved.

本书中文简体字版由美国麦格劳-希尔教育出版集团和机械工业出版社合作出版。未经出版者书面许可,不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。本书封面贴有 Mc Graw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。

本书版权登记号:图字:01-2000-3868 号

图书在版编目(CIP)数据

电磁干扰排查及故障解决的电磁兼容技术/(法)米切尔·麦迪圭安著(Mardiguian, I.).—北京:机械工业出版社,2002.3

书名原文:EMI Troubleshooting Techniques

ISBN 7-111-09935-4

I. 电… II. 马… III. 电磁兼容性-技术-应用-电磁干扰-故障诊断 IV. TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 013289 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:吉玲 版式设计:冉晓华 责任校对:韩晶

封面设计:陈沛 责任印制:付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·7.625 印张·294 千字

0 001—4 000 册

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

译 者 序

自 1999 年机械工业出版社出版发行了译者参与编著的《电磁干扰与电磁兼容技术》一书后,经常收到读者的 E-mail、信函、电话,询问关于定量判断和解决电磁干扰故障等问题。鉴于作者的时间、精力有限等原因,不能一一作答,每每感到不安,深感歉意。可喜的是,我们现在翻译的这本由法国著名的 EMI/EMC 专家——米切尔·麦迪圭安所著的《电磁干扰排查及故障解决的电磁兼容技术》一书出版发行了。

本书能够回答以下问题:

什么时候使用 EMI 抑制措施?它能解决什么问题?在何种故障出现后可以被用到?器件如何布置?它们的作用是什么?如何安装?此措施何时不能使用?它的局限性?它可能起的副作用?等等。将会使 EMI/EMC 工程技术人员及电子与信息领域的工程技术人员获益匪浅。

这本书定量地阐述了 EMI 的诊断和解决技术以及使用的仪器设备,阐述了感性的串联损耗电磁兼容解决方案、传导型问题解决方案的工作模式、电磁兼容的容性解决方案、电磁兼容测试中的电磁干扰问题,并给出了电磁干扰抑制措施的最佳方案选择。书中配有大量的图例、表格、计算公式、可参照的特性曲线、附录等,实用性极强。

本书可作为大专院校电子与信息类专业研究生、本科生的教科书,也是 EMI/EMC 工程师的工作指南。

在此书的翻译过程中,刘尚合院士(教授)给了译者很多的指导,我们向他表示诚挚的谢意!同时,衷心的感谢王学君先生对译者的关照与帮助!感谢电磁兼容专家高攸纲教授、吉玲与孙流芳编辑以及所有帮助过译者的人们。

EMI/EMC 涉及的范围很广,译者不可能就书中所有的内容予以实践,因此在对原文的理解以及某些术语的译名等方面恐有不妥之处,欢迎读者给以指正,愿与读者共同探讨。

通信地址:大连理工大学电信学院(116023)

电 话:0411—4689771 0411—4708470

E-mail: lping@dlut.edu.cn 或 mysun@online.ln.cn

译 者

2002 年 1 月

于大连理工大学

作者简介

米切尔·麦迪圭安，1941年出生于法国巴黎，是一位拥有 BSEE 和 MSEE 学位的电气工程师。1965~1968年期间，他先后效力于法国空军基地和马赛尔-戴索特飞机制造所。1968年，他进入法国奈斯附近的 IBM 研发实验室，在那里从事数字专用交换机和调制解调器的研发工作。

米切尔·麦迪圭安先生从事 EMC 事业始于 1974 年。通过在工作中频繁的与美国康斯顿 IBM 中心的 EMC 同行专家们接触，他逐渐掌握了 EMC 分析与测试的专业技术，并成为 IBM 中心 EMC 方面的专家。1976~1980 年，他被委任为 CIS-PR 工作组的法国代表，研究计算机的射频干扰。其间，他又积极参与了 CISPR PUB22 的完善工作。这一文件为 FCC15-J 和欧洲 EN 55 022 奠定了基础。

1980 年，他成为位于维吉尼亚州 Gainesville 地区的登·怀特顾问咨询中心(后更名为干扰与控制技术股份有限公司)的业务主管，后晋升为副总裁兼首席工程技术主管，一直持续到 1990 年。在任期间，他在美国和世界其他地区开设了超过 160 个 EMC 技术的培训班，并亲自授课。这对开拓 EMC 的市场是有一定作用的。

1990 年以后，米切尔·麦迪圭安回到法国，成为专门为从电磁兼容(EMC)设计到电磁干扰(EMI)防范和解决提供咨询的私人顾问，同时教授 EMI/RFI/ESD 方面的课程。他与国际上电磁兼容(EMC)抗干扰技术的同行们合作，获得了在 TransManche Link 应用方面的很大成就。

他已经有七部畅销的作品问世，两本与登·怀特合著。他在 IEEE 和著名的苏黎世(电磁兼容(EMC)国际学术会议)论文集以及各种会议中发表了 21 篇论文，并在工程期刊上发表了七篇文章。

前 言

自从科学团体和工程协会组建以来，他们就一直朝一个共同的目标而努力奋斗着——研究、探索直至打造出新一代经济而卓越的科技产品。在电子世界中，这个完美的目标就像要飞往天堂的小鸟一样，欢快的鸣叫声足以划破整个大地的沉寂。但是，不论我们怎样地精心策划，设计中的缺陷却始终像病魔一样挥之不去，而给出补救药方的重担也就在期待中被放到了电磁兼容工程师的身上。他们并不需要花费大量的时间来设计产品，而只需要在几天或几周的时间里集中精力解决系统中出现的故障，并使之正常工作。这也许是电磁兼容中最刺激但也最富有挑战性的一面了。

优秀的电磁兼容工程师善于解决麻烦的特质，并不代表他们只喜欢事物的阴暗面。他们已开发了大量优秀的思想方法、软件工具以及数学模型等，这将有助于我们去构建这样一个梦想：将 EMC 设备像其他元件一样植根于系统当中。他们喜欢预言场耦合、屏蔽效应、串扰、电磁干扰等现象，喜欢估算电磁兼容所能带来的利润，更喜欢在最后通过模拟试验建立起整套实验框架，实验的结果与估算的惊人吻合将无法不使人羡慕，不使人倾倒。虽然如此，残酷的事实却仍然存在——充裕的时间被浪费于附庸风雅。电磁干扰控制、分析、耦合、测量方面已经有大量的书籍问世，并存在至少十种语言版本，但到目前为止，几乎没有一本书愿意摆脱某些理论的束缚，化高雅于流俗，从实用的角度去判断排查及解决电磁干扰问题。愿本书的内容能让你体味到作一名实践者的乐趣。

米切尔·麦迪圭安

引 言

由于电磁干扰(EMI)、射频干扰(RFI)和静电放电(ESD)之间的交互作用,使问题变得非常复杂。人们很难对所有的解决方案的可行性、局限性做出简单的预测。

作者在对 EMI、RFI 和 ESD 问题进行了 20 年的研究、测量和解决之后,从实践中总结出一套发现故障并解决问题的思路和方法,以避免错误的重复发生,这些经验无论在产品研发阶段还是在工作现场都可以使用。他给出了简捷的指南,列出查找问题的具体步骤,提供重要的解决技术。

这本关于 EMI 解决方案的书允许读者(研发工程师、现场技术员、测试工程师或爱好者)选择和使用最好的部分去解决电磁干扰问题。它将为解决 EMI/RFI 问题的工程师提供一套迅速详尽的技术和部分可追踪的特性曲线,去诊断排查并解决大部分的电子噪声和干扰问题。为方便起见,书中给出了推荐的工具、附件和元器件,让读者能够简单地编辑和维护最常用的 EMI 解决方法的详细目录。

书中对硬件解决方案的说明用的是与医生诊断疾病相似的风格,包括:

- (1) 名字和解决方法的描述(药物处理)
- (2) 与细节、可识别的症状(疾病)相关的适用说明
- (3) 安装说明(要求)和提示(药剂分量、饭前还是饭后)
- (4) 解决方案的局限性(糖尿病无效、孕妇忌用等)

本书所描述的问题和解决方案对于 EMC 工程师、电子工程师和具有 10 年射频(RF)工作经验的技术人员来说非常容易掌握。当在现场或在测试实验室,被测设备违反了电磁兼容的相关规定,或者在工程实验室进行简单的评估,上述知识是很有用的。

在本书中,通过参考诸如示波器、频谱分析仪等标准实验设备,提供给 EMI 工程师必需的工具来发现、排查、检测和解决大多数的电磁干扰问题。

最后警告:这不是一篇关于电磁学的论文。许多被提到的方法还不成熟,可能会引起严格的理论家的批评。然而,书中所涉及到的方法决不违反电子学定律,它们只是在实用性和高效率方面得到了优化。

在每章的末尾列出的制造商名单并不能说明什么,只是作者在与他们的接触中获益匪浅。当然,这不意味着其他制造商和他们的产品质量存在问题。

目 录

译者序

作者简介

前言

引言

第 1 章 EMI/EMC 基础知识的复习	1
-----------------------------	---

1.1 术语	1
1.2 电磁干扰(EMI)/电磁兼容(EMC)术语	1
1.3 度量单位: 贝尔	4
1.4 信号时域-频域的转换	7
1.5 干扰源、被干扰对象及耦合通道	12
1.6 EMI 的耦合通道	14
1.7 接收机抗干扰	18

第 2 章 电磁干扰抑制措施的最佳选择	20
---------------------------	----

第 3 章 EMI 的诊断和解决技术及使用的仪器设备	24
----------------------------------	----

3.1 模型和鉴定阶段中的电磁干扰问题	24
3.1.1 实际的 EMI 问题	24
3.1.2 符合规范的问题	24
3.1.3 优化研发过程/预鉴定测试	24
3.2 符合发射规范的检测	26
3.2.1 测试地点的最低要求	27
3.2.2 仪器设备	27
3.2.3 待测设备/模型的安装	30
3.2.4 传导型发射(CE)测试	31
3.2.5 不能使用 LISN 时怎么办?	36
3.2.6 符合辐射干扰要求及辐射干扰源的替代	36
3.3 符合抗干扰性规范的检测	50
3.3.1 测试场合的最低要求	50
3.3.2 传导敏感性测试的准备工作	50

3.3.3 瞬时脉冲干扰	51
3.3.4 载波辐射敏感性(RS)电流或电压注入替代法	55
3.3.5 ESD 测试	61
3.4 现场的电磁干扰问题(当设备出现故障时采取的措施)	63
3.4.1 在处理问题之前	64
3.4.2 到达故障现场	65
3.4.3 检测电磁干扰电流	66
3.4.4 非相关的故障:“强行损坏”技术	68
3.4.5 用瞬时脉冲干扰(EFT)实现强迫损坏技术	70
3.4.6 ESD(静电放电)强迫损坏技术	72
3.4.7 电源线监测	74
3.5 如何衡量维修结果:电流及电场探头	75
3.5.1 电流探头	75
3.5.2 电场探头	76
3.5.3 解决噪声问题的其他提示	79
3.5.4 辨别容性与磁性串扰	82
第4章 传导型问题的解决	84
4.1 传导型问题解决方案的工作模式	84
4.2 串联衰减设备和并联衰减设备的比较	86
第5章 电磁兼容的容性解决方案	90
5.1 理论概述	90
5.2 电介质材料及容差	91
5.3 差模(线到线)滤波电容器	92
5.4 印制电路板容性总线和扁平封装电容器	95
5.5 共模(线到地/机壳)滤波电容	97
5.6 安装指南	103
5.7 滤波连接器与适配器	105
第6章 感性、串联损耗电磁兼容解决方案	109
6.1 理论概述	109
6.2 磁心材料	110
6.3 铁氧体和加载铁氧体的电缆	112
6.3.1 铁氧体珠的衰减估算	116
6.3.2 加载铁氧体的电缆	119

6.4	电感、差模和共模	124
6.5	接地扼流圈	127
6.6	共模双绕组(无感)扼流圈(纵向变压器)	129
6.7	组合式电感电容元件	131
第 7 章	电源线滤波器	135
第 8 章	电源隔离变压器、电源稳压器和不间断电源	141
8.1	电源隔离变压器	141
8.2	法拉第屏蔽变压器	142
8.3	电源稳压器和不间断电源	144
8.3.1	线路稳压器	144
8.3.2	不间断电源(UPS)	145
第 9 章	信号隔离变压器	148
第 10 章	暂态抑制器	152
10.1	固态变阻器, Transzorbs [®]	152
10.2	气体放电管	157
第 11 章	搭接、接地连续性和减小 RF 阻抗	161
11.1	接地编织层或金属带	161
11.2	印制电路板(PCB)接地垫片	162
11.3	金属电缆线槽及其公共的金属编织层	163
11.4	地阻抗减小, 垫高的金属底板接地衬垫	167
11.5	临时接地板	171
第 12 章	辐射型问题的解决	174
12.1	导体带	174
12.2	网状屏蔽带和拉链式外套	177
12.3	电缆屏蔽、连接和接头	179
12.3.1	电屏蔽效率、衰减因子和传输阻抗	179
12.3.2	估计屏蔽接地连接的影响	182
12.4	EMI 密封垫	191
12.5	窗口和通风板的 EMI 屏蔽	196

12.6 导电涂料	198
12.7 导电箔	200
12.8 导电布	202
第 13 章 电磁兼容测试中的电磁干扰问题：实践提示	205
13.1 测量的确认	205
13.2 与仪器有关的误差	205
13.3 弱信号和强背景噪声的问题	206
13.4 与系统配置及附件相关的误差	207
13.5 与线路阻抗稳定网络(LISN)有关的误差	210
13.6 与阻抗失配和电压驻波比有关的误差	211
13.7 由仪器安装不当造成的背景噪声	211
附录 A 接收机灵敏度与带宽和噪声值的关系	213
附录 B 开关电源转换器中的 EMI	214
附录 C 无线发射机的环境场	215
附录 D 铜板和钢板的阻抗	217
附录 E 由场感应到环路上的电压	218
附录 F 导线对间电容和互感引起的串扰估算	220
F.1 导线间电容引起的串扰估算	220
F.2 电线间互感引起的磁性串扰估算	221
附录 G 无线辐射限制转换为共模电流限制	223
附录 H 滤波器及输入电路通用抑制值曲线	224
附录 I EMI 问题处理工具箱：推荐的部分列表	225
I.1 工具和附件	225
I.2 组件	225
附录 J 传导、无线辐射、ESD 和 EFT 数据报表	227
J.1 传导 EMI 测试记录表	227
J.2 辐射 EMI 测试记录表	228
J.3 ESD 测试 Log 表	229
J.4 电子快速瞬态(EFT)测试 Log 表	230
附录 K 同轴电缆的高频损耗	231
参考文献	232

第 1 章 EMI/EMC 基础知识的复习

本章所概括的这些基本知识在很多的书籍中都已有所涉及，但你会发现在解决电磁干扰问题时不可能总是把它们全部带在身边，而相信本书会成为你的随身工作手册。

1.1 术语

通常，自然现象(例如静电放电、闪电等)产生的电子扰动或因某些设备引起的其他电子设备的非正常响应都会产生电磁干扰。而电磁兼容恰恰与电磁干扰相反，也就是说，电磁兼容是确保设备或系统不产生电磁干扰的技术。

电磁干扰的范围很大，从探测不到的微弱干扰到高强度干扰，大体可以分为三级：轻微干扰、中等强度干扰和灾难性干扰。电动剃须刀或食物搅拌器对收音机或电视机产生的干扰属轻微干扰，这种干扰通常仅持续几分钟，并且无破坏性作用。

而雷达辐射的电波可能引爆航空母舰上的武器弹药，而来自指挥塔上的无线电信息受到干扰会造成机毁人亡的严重后果，这些干扰是灾难性的。

但大多数电磁干扰一般都介于两者之间，属于中等强度干扰。例如：便携式发射机的辐射会对计算机形成干扰，静电放电(ESD)会对点钞机或银行终端形成干扰，闪电会对自动控制测试设备或工业过程的控制形成干扰等等。

1.2 电磁干扰(EMI)/电磁兼容(EMC)术语

由于以下术语的广泛应用，所以它们会频繁地出现在本书中。读者如果能先掌握这些术语，对以后的学习会非常有帮助。

吸收损耗(Absorption loss) 屏蔽效率(SE)的一部分，信号穿过一个金属屏蔽后的能量吸收。

天线因数(Antenna factor) 一个刻度术语，在一个电磁干扰(EMI)测量中，等于未知的电场强度除以测量得到的电压。

孔径泄漏(Aperture leakage) 屏蔽效率中的泄漏，产生于窗户、冷却口、金属盒接口处等类似地方的孔、裂缝处，电磁干扰(EMI)容易从这些地方出入。

带宽(Bandwidth) 一个接收机响应信号的上升 3dB 点和下降 3dB 点之间的频率间隔。

搭接(Bond) 两个金属部件间的一种暂时或永久的低阻抗连接。

宽带电磁干扰(Broadband(BB)EMI) 这种电磁干扰的频谱或者是覆盖了数个 8 倍频程或 10 倍频程频谱, 或者是超过了接收机的带宽。

共模(Common mode(CM)) 存在于两根或多根导线中, 流经所有导线的电流都是同极性的。

共模抑制比(Common-mode rejection ratio(CMRR)) 衡量运算放大器对共模电压抑制能力的参数。

转折频率(Corner frequency) 在傅里叶变换或波特曲线图中, 斜率变化一般为 20dB/10 倍频程。

耦合路径(Coupling path) 传导或辐射路径。干扰能量通过该路径从干扰源传输到被干扰对象。

交叉调制(Cross modulation) 一台发射机的发射能量产生的调制改变了接收机从另外一台发射机接收的信号。

串扰(串音)(Crosstalk) 被干扰电缆上从邻近干扰源电缆耦合的电压与该邻近电缆上的电压之比。单位为分贝(dB)。

电流探测器(Current probe) 一种 EMI 传感器, 夹在输出电流的导线、电缆或金属带上测量其内部电流或干扰电流。

差模(Differential mode(DM)) 在导线对上极性相反的电压或电流。

双列直插式(DIL) 一种电路封装形式

掉电(Dropout) 一个短时的电源中断, 可能持续不足一个周期到若干周期。

电磁环境影响(Electromagnetic environmental effects(E^3 , EEE)) 一个范围很宽的术语, 包括电磁兼容, 电磁干扰, 射频干扰, 电磁脉冲, 静电放电, 对人、动物、武器或燃料的辐射危害(RADHAZ), 闪电等现象。

电场(Electric field) 辐射波场的梯度值, 单位是伏/米(V/m)。

导电垫圈(Electrical gasket) 一个可挤压的连接物, 用在两个相连的金属元件之间来保证它们之间的低阻抗路径。

电磁兼容(Electromagnetic compatibility(EMC)) 一种条件, 在此条件下一组中的几台设备互相不干扰也不干扰它们所处的环境。

电磁干扰(Electromagnetic interference(EMI)) 与电磁兼容恰恰相反。

电磁脉冲(Electromagnetic pulse(EMP))

静电放电(Electrostatic discharge(ESD))

待测设备(Equipment under test(EUT))

远区场(Far field) 即指信号源距测量点有 $1/6$ 波长以上时的辐射场。也称为平面波。

铁氧体(Ferrite) 用粉末状磁性材料制成球、棒、环等形状, 用来吸收导线和电缆上的电磁干扰。

场强(Field strength) 相应的电场或磁场每米所辐射的电压或电流值。

滤波器(Filter) 一种抑制电磁干扰的设备, 只允许需要的 50/60/400Hz 或有用信号频率通过。

傅里叶包络(Fourier envelope) 一个时域函数的傅里叶级数或傅里叶变换的频域包络。

接地环路(Ground loop) 一个潜在的电磁干扰条件, 为了安全、电源回路或其他目的, 将两台或更多台设备互连并接到公共地时形成的。

冲激带宽(Impulse bandwidth) 一台仪器上两个频率之间的差值, 对应于其最大幅度与该频响曲线之下区域面积的比值, 近似等于 6dB 带宽。

冲激噪声(Impulse noise) 一种瞬时干扰, 一般是重复性的, 它产生同相分量直到傅里叶频谱的第一个转折频率处。

互调和互调干扰(Intermodulation(IM) and IM interference) 由整数倍和频或差频引起的电磁干扰, 该和频或差频是由两个或多个信号在非线性电路环节中混频时产生的。

隔离变压器(Isolation transformer) 一、二次绕组高度隔离的变压器, 用在电源线或信号链路上来切断接地环路。

线路阻抗稳定网络(Line impedance stabilization network——(LISN)) 插入在电源线和待测系统之间的设备, 来保证传导型电磁干扰测量的可重复性。

磁场(Magnetic field) 辐射波电流的梯度, 单位为安/米(A/m)。

窄带电磁干扰(Narrowband(NB)EMI) 其发射带宽小于电磁干扰测量接收机或频谱分析仪的带宽。

近场(Near field) 在此辐射场中, 与电磁干扰源的距离小于 $1/6$ 波长的区域。

核电磁脉冲(Nuclear electromagnetic pulse(NEMP))

抗噪声电平(Noise immunity level) 数字逻辑系列中的门限电压, 在此门限之上, 逻辑零可能被检测为一, 反之亦然。有时也被称为噪声容限, 尽管这是两个术语, 其实并不等同。

光隔离器(Optical isolator) 是一种光电器件, 提供一个高的电流隔离, 插在信号传输线中用于抑制共模电流, 通常使用在数字型或开关型信号上。

平面波(Plane wave) 见远区场(far field)。

电源调整(Power conditioning) 通过插入滤波器、隔离器、整流器或一个不间断电源来减少电源主干线上的电磁干扰污染。

功率密度(Power density) 辐射功率除以观察面积, 以瓦/米²(W/m²)为单位。

RADHAZ 一个用军用编码名, 表示对人、动物、武器或燃料的辐射危害。

反射损耗(Reflection loss) 是屏蔽效率的一部分, 由于入射场和金属屏蔽层之间的阻抗不匹配而引起的能量反射。

射频干扰(Radio frequency interference(RFI))

下降(Sag) 电源线上突然的电压下降。

灵敏度(Sensitivity) 当模拟电路中的噪声为限带白噪声时, 当 $S = N$ 时对应的输入信号值, 在该值以下, 电路没有响应信号输出或其输出信号可忽略。

屏蔽效率(Shielding effectiveness(SE)) 采取屏蔽措施前后, 空间同一点的场强之比, 包括吸收损耗和反射损耗。

集肤深度(Skin depth) 由表面流过电流的 63% 而计算出来的金属层厚度。

表面贴装技术(Surface mount technology(SMT)) 用于无引线类型的元件封装。

频谱分析仪(Spectrum analyzer) 一种特殊的接收机, 用它能够扫描、截取和显示出各个频率分量的信号幅度与频率的对应关系。

杂散响应(Spurious response) 超外差接收机的无用响应, 它由本地振荡器产生的谐波与某一信号混频造成的。

浪涌(Surge) 电源线上电压值的一个突然增大。

未分类码字(TEMPEST) 为来自处理分类数据的电气设备和电子设备的潜在辐射性而定义的未分类码字。

传输阻抗(Transfer impedance(Z_t)) 表征电缆屏蔽性能的一个度量单位, 即耦合电压和表面电流的比, 单位为欧/米(Ω/m)。

不间断电源(Uninterruptible power supply(UPS)) 一种保证持续供电的电源, 即使在主电源中断时也能不间断地供电。

1.3 度量单位: 贝尔

物理中的许多参量像现实生活中的事情一样是相对的(即: 一个参量相对于某些参考量的比值), 这样这些量就可以用指数或对数形式表现出来。

贝尔(Bel)最初是被定义作两个功率电平的比值的对数(以 10 为底)。

$$\text{Bel} = B = \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (1-1)$$

式中, P_1 为初始或参考的功率值(W), P_2 为变化以后的实测功率值(W)。

但是贝尔不能为各种测量结果提供较理想的测量表示等级, 因而人们又采用了分贝(Decibel)。

$$\text{decibel} = \text{dB} = 10\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (1-2)$$

当然, 经常用到电压、电流、场强及类似的单位。将 $P = V^2/Z$ 代入式(1-2)中, 可得

$$dB = 20\log\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + 10\log\left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)$$

(1-3)

如果阻抗 Z_1 和 Z_2 相等，则式(1-3)变为：

$$dB = 20\log\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 20\log\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

(1-4)

将式(1-2)和式(1-4)表示在表 1-1a 和表 1-1b 中，相应的负分贝(dB)值可以由换算的比率得到。

表 1-1a 分贝与幅度及功率比值的关系

对 数		
$\log [ab] = \log [a] + \log [b]$		
$\log [a/b] = \log [a] - \log [b]$		
$\log [1/a] = -\log [a]$		
$\log [a^n] = n \log [a]$		
dB 快速运算		
线性：	dB：	
乘	加	
除	减	
$10 \times 10 = 100$	$10 + 10 = 20$	
指数	乘	
幅度因子 (V, I, E...)	功率因子	分贝
$\times 1.12$	$\times 1.25$	+ 1
$\times 1.25$	$\times 1.6$	+ 3
$\times 1.4$	$\times 2.0$	+ 3
$\times 1.58$	$\times 2.5$	+ 4
$\times 2.0$	$\times 4.0$	+ 6
$\times 2.5$	$\times 6.25$	+ 8
$\times 3.16$	$\times 10$	+ 10
$\times 4.0$	$\times 16$	+ 12
$\times 5.0$	$\times 25$	+ 14
$\times 6.3$	$\times 40$	+ 16
$\times 10$	$\times 100$	+ 20
$\times 100$	$\times 10000$	+ 40
$\times 1000$	$\times 1000000$	+ 60

将 1V 或 1A 代入等式(1-4)中，就可以得到电压和电流的分贝值

$$dBV = 20\log (V) \text{ 或 } dBI = 20\log (I)$$

(1-5)

式中，dBV 为以 1V 为零分贝的电平，dBI 为以 1A 为零分贝的电平。
通过取式(1-5)中相应值的反对数，也可以得到电压、电流、场强的值。

$$V = \log^{-1} \left(\frac{\text{dB}V}{20} \right) \text{ 或 } I = \log^{-1} \left(\frac{\text{dB}I}{20} \right) \tag{1-6}$$

表 1.1b 实际的转换例子，EMI 的单位

分 贝	
功率 $\text{dB} = 10\log (P_{1\text{meas}}/P_{2\text{ref}})$	电压 $\text{dB} = 20\log (V_{1\text{meas}}/V_{2\text{ref}})$
单位	单位
$\text{dBW} \rightarrow P_2 = 1 \text{ W}$	$\text{dBV} \rightarrow V_2 = 1 \text{ V}$
$\text{dBm} \rightarrow P_2 = 1 \text{ mW}$	$\text{dB}\mu\text{V} \rightarrow V_2 = 1 \mu\text{V}$
dBm/MHz	$\text{dB}\mu\text{V/MHz}$

注：dBW 为以 1W 为零分贝的电平，dBm 为以 600Ω、1mW 为零分贝的电平。

实例：

(a) 将 50W 转换为 dBW。

$$(10 \times 10)/2\text{W} = 10\log 10 + 10\log 10 - 10\log 2 = 10 + 10 - 3 = 17\text{dBW}$$

(b) 将参考单位改为毫瓦(dBm)

$$1\text{W} = 10^3\text{mW}, \text{ 则}$$

$$0\text{dBW} = 30\text{dBm}$$

$$\text{因此, } 17\text{dBW} = 30\text{dBm} + 17 = 47\text{dBm}$$

(c) 将 5mV 转换为 dBμV

$$5\text{mV} = 5 \times 10^3\mu\text{V} = (14\text{dB} + 60\text{dB}) \text{ 大于 } 1\mu\text{V} = 74\text{dB}\mu\text{V}$$

(d) 将 dBm 转换为 dBμV 到 50Ω

$$V\text{dB}\mu\text{V} = P\text{dBm} + 107$$

$$\text{如: } -64\text{dBm 转换为 } 50\Omega = -64 + 107 = 43\text{dB}\mu\text{V}$$

表 1-1a 也可以求反对数，查看分贝值读出相应的电压和电流值。

对于窄带 EMI，只有单一的谱线(如正弦信号)出现在接收机(或被干扰电路)的带宽内，EMI 信号的度量可以表示在下面的表格中：

电压：	V 或 dB 大于 1V (dBV)或 dB 大于 1μV (dBμV)
电流：	A、μA 或 dB 大于 1μA (dBμA)
功率：	W、mW 或 dB 大于 1mW (dBm)
电场：	V/m、μV/m 或 dBμV/m
磁场：	T、A/m、μA/m 或 dBμA/m
	(严格地说，特斯拉是磁感应强度的单位)
辐射功率密度：	W/m ² 、mW/cm ² 或 dBm/cm ²