



国际电气工程先进技术译丛



Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

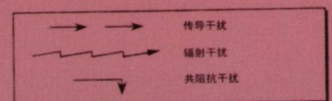
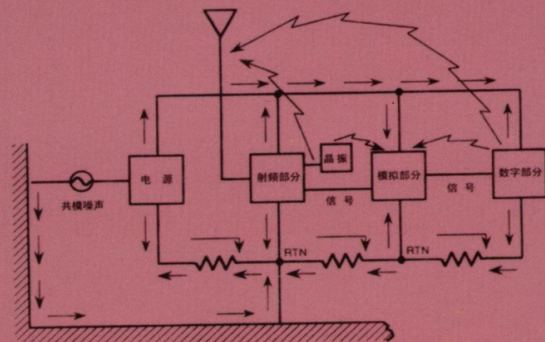
电磁兼容 原理与应用 (原书第2版)

Electromagnetic Compatibility

Principles and Applications

Second Edition, Revised and Expanded

[加拿大] 大卫 A·韦斯顿 (David A. Weston) 著
杨自佑 王守三 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

关于作者

David A. Weston是一个拥有美国国家无线电和电信工程师协会(NARTE)证书的EMC咨询顾问工程师。目前他任职于加拿大安大略省玛瑞克费尔的EMC咨询公司。同时他也是IEEE和NARTE的成员。Weston先生从事电子设计已有30余年。他专攻EMC的控制、预测、技术问题，从事解决和设计方面的工作也超过20年。Weston先生1960~1965年攻读于英国伦敦的考以登技术学院，并在1965年从伦敦和基尔特学院获得无线电和电视证书。



国际电气工程先进技术译丛

电磁兼容原理与应用

(原书第2版)

[加拿大] 大卫 A. 韦斯顿 (David A. Weston) 著
杨自佑 王守三 译



机械工业出版社

本书以工程实践为主轴,利用大量有价值的实测数据、图表、曲线、研究案例以及一些经过实践的技术细节来说明电磁兼容技术的原理与应用。主要内容包括电磁兼容的基本概念和原理,各种电磁干扰产生的机理和模型,减少干扰及提高抗扰度的方法,电磁场的生物效应,系统的电磁兼容性和天线耦合分析,电磁兼容性的预估和计算机电磁建模的方法以及各种民用与军用电磁兼容标准的控制要求和测试方法。本书图文并茂,内容丰富、翔实、具体,便于应用,是一本实用的参考书。

本书适合从事电气和电子产品研发、设计、制造、质量管理、检测与维修工程技术人员使用,也可供科研院所、检测机构、大型工程项目等专业技术人员作为电磁兼容分析、测试和设计的参考书,还可作为电气与电子工程、信息和计算机技术、生物医学工程、自动控制与机电一体化、仪器和测试技术等专业师生的教学参考书。

Copyright©2001 by Marcel Dekker, Inc.
Authorized translation from English language edition published by Marcel Dekker, Inc. part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved.

本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并仅限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis Sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

本书由北京市版权局著作权登记 图字:01-2015-0416 号

图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容原理与应用:原书第2版/(加)韦斯顿
(Weston, D. A.)著;杨自佑,王守三译. —北京:
机械工业出版社,2015.3(2016.6重印)

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文:Electromagnetic compatibility:
principles and applications

ISBN 978-7-111-49857-5

I. ①电… II. ①韦…②杨…③王… III. ①电磁兼容性 IV. ①TN03

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第067360号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:罗莉 责任编辑:罗莉 郑彤

封面设计:马精明 责任校对:李锦莉 程俊巧

责任印制:常天培

北京京丰印刷厂印刷

2016年6月第1版·第2次印刷

184mm×260mm·46.25印张·1150千字

标准书号:ISBN 978-7-111-49857-5

定价:198.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

译者序

近 20 年来，电磁兼容（ElectroMagnetic Compatibility, EMC）作为一门新兴的综合性交叉学科正在我国迅速发展，它与电磁环境和电磁频谱资源有着密切的关系。随着微电子技术、信息技术、现代通信技术、多媒体技术、机电一体化技术和尖端武器技术等许多高新技术的飞速发展和广泛应用，电磁兼容已成为人们迫切需要关注和解决的一个重要技术问题，并且已不是单纯的技术问题，发达国家已经把电磁兼容作为一种非关税贸易壁垒来保护他们的市场。

电磁兼容是一门理论性和实践性都很强的技术学科，但是解决电磁兼容问题，不仅需要其自身的理论，更需要那些能真正解决问题的措施、方法、经验等实际手段。这是从事电磁兼容工作所应遵循的原则，基于这样的考虑，译者认为由加拿大著名的电磁兼容专家 David A. Weston 所著的《Electromagnetic Compatibility Principles and Applications》（电磁兼容原理与应用）一书是值得推荐的，本书为扩充与修订后的第 2 版（2001 年）的中文译本，两版在美国都是正式受到推荐的大学参考书与教科书。

本书的主要内容包括电磁兼容的基本概念和原理，各种电磁干扰产生的机理和模型，减少干扰及提高抗扰度的方法，电磁场的生物效应与暴露限值，系统的电磁兼容性和天线耦合分析，电磁兼容性的预估和计算机电磁建模的方法以及各种民用与军用电磁兼容标准的控制要求和测试方法。本书的阐述都从电磁兼容技术的工程应用角度出发，讨论的问题来龙去脉清晰、图文并茂，内容丰富、翔实、具体，便于应用，是一本实用的参考书。

本书适合从事电气和电子产品研发、设计、制造、质量管理、检测与维修工程技术人员使用，也可供科研院所、检测机构、大型工程项目等专业技术人员作为电磁兼容分析、测试和设计的参考书，还可作为电气与电子工程、信息和计算机技术、生物医学工程、自动控制与机电一体化、仪器和测试技术等专业师生的教学参考书。

本书共有 12 章，由美国康涅狄格州立中央大学终身教授王守三博士和原上海电器科学研究所高级工程师杨自佑二人合译，其中第 1~7 章由杨自佑翻译，第 8~12 章由王守三翻译，排名不分先后。

译者对机械工业出版社积极支持电磁兼容书籍的出版表示由衷的感谢。

由于电磁兼容的相关理论、技术和新产品发展迅速，加之译者水平有限，书中错误和不妥之处，敬请专家、读者不吝赐教。

译者

原 书 序

经过修改和更新，本书第2版比第1版大约增加了65%的内容，包括重新审定了计算机建模程序、新增一章印制电路板布局设计、增加了民用和军用电磁干扰（EMI）试验方法、关于电缆的辐射与耦合（频率延伸到12GHz）以及有关EMI屏蔽壳体的新资料。

所有的电子和电气设备都是潜在的EMI源。与此相似，在某些电磁环境电平下，这些设备将不能按预定功能运行。EMI问题涉及的范围可从简单的烦扰（例如，对电信设备的静电干扰或增加数字设备的误码率）到大的灾难性事件（例如，爆炸装置的无意引爆）。

通过评估设备/系统所处的电磁环境（常以标准或要求来表征其特征），然后设计和制造设备/系统，使其能在工作环境中正确地运行，并且不产生EMI，就可达到电磁兼容（EMC）的目的。

本书读者对象为设计工程师、系统工程师、技术专家、技术人员或工程经理，他们从事设备设计、维护，制定设备的电磁兼容规范或对于给定的电磁环境规定安全运行的技术条件。

许多工程师没有或不需要有射频（RF）方面的经验。但是，在运行中的数字控制设备或开关电源起着射频设备的作用。因此，在理解EMC的过程中，了解器件的高频特性、简单的辐射器和电磁波理论是不可或缺的。

编写本书的目的之一是教授EMI预估技术，使读者能够将EMC技术运用到设备和系统的制造中而不超出安全标准设计。实现EMC，设计师就可避免延误计划和设备制造后还要为解决EMI问题而增加成本。鉴于我们都公认存在EMI问题，所以本书提供了EMI诊断技术和可供选择及实施的经济有效的解决方案。

本书论述典型的EMI源和在给定的电磁环境中，预计存在的辐射和传导的发射特性，以及研究减小电磁发射和设备对EMI敏感的方法。有些EMI/EMC书籍中包含一些理论上非常好的公式，但这些公式在解决实际的EMI/EMC问题时可能并没有用处。而本书中的公式，在EMI预估和EMC设计中都有实用价值。在大多数的举例中，都用实测数据来证实理论。在出现异常情况时，则提供许多可能的原因。当读者可能希望对某个特定的问题作进一步研究时，本书还提供许多参考文献和资料。本书在干扰预估和案例的研究中，给出了许多公式的运算实例。在所有关于电磁波和电路理论的应用中，都存在几何尺寸和频率上的限制，包括寄生元件效应，对于这些限制都作了讨论。

本书对那些已经给EMC冠以“黑色魔术”名称的明显反常现象作了解释。例如，分析了在EMC试验中，加了屏蔽、滤波或接地措施后，反而加大了EMI发射电平或敏感度的案例。这些结果显然令人费解的主要原因是没有很好地理解基础理论。本书采用的方法是把对理论的理解重点放在EMC设计和EMI解决方案的实际应用上，包括实施和维护。

这样的意图是为了使本书所提供的资料有实用性，或是它们对于理解 EMC 原理是必要的。例如，计算或给出有关衰减或屏蔽效能的数据几乎无用，除非用于解释那些现象的原因。因此，那些数据必须与给定环境中可能预计到的最坏情况下的辐射或传导噪声电平一起使用才有意义，于是对实现衰减或屏蔽的任何实际限制都必须加以说明。这样，就可以预估系统或电路的噪声电平和它们的抗扰度。其目的是避免形成那种带有自身错误且过于简单化的“烹调书”方法，同时也把有关数学限制在可供工程师和技术人员所应用的范围内。

本书所叙述的简单测量方法用标准的电子测量设备就能进行。这些方法适用于 EMI 诊断测量和“快速检查”那些必须满足 EMC 要求（例如民用的 FCC、DO-160、VCE、和 EN 标准以及军事/航天用的 MIL-STD-461 标准等）的设备。此外，还介绍认证和鉴定 EMC 试验要求的正确的测量方法和使用更复杂设备时可能遇到的误差。

本书是根据作者在 EMC 咨询中所获得的经验和连续超过 12 年举办的 1~4 天的 EMC 研讨会的授课笔记整理写成的。本书对研讨会的听众和客户提出的许多问题都作了回答。

我非常感谢 David Viljoen 先生，他对准备本书第 1 版的内容作出了重要的贡献（安排本书的内容，绘制了大部分插图，编写了第 1~5 章以及计算机程序）。没有 Viljoen 先生在一些细节上的关心及努力工作、精心写作，本书就不可能有现在的内容形式。

我也要感谢加拿大宇航有限公司的已故的 Jabez Whelpton 先生，他在阅读和修改有关电磁波理论和天线的那些章节中作出了很大的贡献。

对于本书第 2 版，也要感谢 Chris Ceelen 先生，他做了许多附加的 EMI 测量。还要感谢 Lianne Boulet 女士，她帮助准备了正文和插图。

最后，我要感谢对正文中的数据 and 插图具体确认的机构，特别是加拿大航天局。

David A. Weston

目 录

译者序

原书序

第 1 章 电磁干扰和电磁环境概述	1
1.1 电磁干扰简介	1
1.2 电磁干扰规范概述	3
1.3 电磁环境概述	4
参考文献	15
第 2 章 电场与磁场、近场与远场、辐射体、感受器、天线	16
2.1 静止场和准静止场	17
2.2 导线上和自由空间中的电波	22
2.3 辐射功率	33
2.4 测量单位	35
2.5 天线的接收性能	36
2.6 简单易造的 E 场天线和 H 场天线	50
2.7 非电离的电磁场暴露安全限值	61
2.8 计算机程序	69
参考文献	80
第 3 章 典型的噪声源及其辐射和传导发射特性	82
3.1 噪声源简介	82
3.2 傅里叶变换法和计算机程序	92
3.3 研究案例 3.1: 由 DC-DC 变流器产生的噪声电平	93
3.4 发射机产生的噪声	100
参考文献	102
第 4 章 PCB 印制线、导线、电缆间的串扰和电磁耦合	103
4.1 串扰和电磁耦合简介	103
4.2 导线和电缆间的容性串扰和电场耦合	105
4.3 导线和电缆间的感性串扰和磁场耦合	110
4.4 感性串扰和容性串扰的合成	119
参考文献	146

第 5 章 元件, 减小发射的方法及抗扰度	147
5.1 元件	147
5.2 减小发射的方法	195
5.3 抗扰度	199
5.4 瞬态脉冲的防护	232
本章提到的制造厂商地址	244
参考文献	245
第 6 章 电磁屏蔽	246
6.1 反射、吸收和屏蔽效能	246
6.2 屏蔽效能	250
6.3 新型屏蔽材料: 导电漆和热塑性塑料、塑料涂层和胶水	257
6.4 接缝、接合处、通风缝隙和其他孔隙	263
6.5 衬垫理论、垫圈的转移阻抗、垫圈类型和表面光洁处理	282
6.6 实际的屏蔽和对屏蔽效能的限制	298
6.7 分隔	299
6.8 建筑物的屏蔽效能	299
6.9 估计屏蔽效能的计算机程序	301
参考文献	304
第 7 章 电缆屏蔽、电场和磁场产生的耦合、电缆辐射	306
7.1 电缆耦合和辐射简介	306
7.2 电缆屏蔽效能、转移阻抗	306
7.3 屏蔽终端对转移电压的影响	328
7.4 E 场和 H 场产生的耦合	330
7.5 屏蔽层端接	339
7.6 电缆和导线的辐射	342
7.7 降低电缆产生的 E 场和 H 场的辐射	353
7.8 屏蔽的接插件、后壳和其他的屏蔽端接方法	353
7.9 符合军标 MIL—STD—/DO—160C 或民用辐射发射要求的电缆屏蔽的 实际水平	363
参考文献	366
第 8 章 接地和搭接	368
8.1 接地简介	368
8.2 安全接地、接大地和大系统接地	369
8.3 信号地和电源地	377
8.4 信号接地准则	386

8.5	电源和接地电路图	387
8.6	雷击保护接地	387
8.7	搭接	398
	参考文献	409
第9章	EMI 测量、控制要求和测试方法	410
9.1	简介	410
9.2	测试设备	411
9.3	诊断测量	427
9.4	民用 EMI 要求和测量	433
9.5	屏蔽室、电波暗室、传输线以及室内天线	497
9.6	军用 EMI 要求和测量方法	517
9.7	RTCA/DO—160 要求	555
	参考文献	558
第10章	系统 EMC 和天线耦合	560
10.1	系统级的 EMC	560
10.2	天线耦合 EMI	569
10.3	环境场地的预估和调查	593
10.4	案例研究 10.3: 从 HF 相控阵雷达到 HVAC 线的耦合	597
	参考文献	600
第11章	印制电路板	601
11.1	概述	601
11.2	印制电路板的辐射原理	601
11.3	低电平辐射的 PCB 布局	603
11.4	逻辑器件类型的比较	621
11.5	电路电平降低方法	626
11.6	PCB 接地	629
11.7	印制电路板的屏蔽	640
11.8	PCB 辐射、串扰预估以及 CAD 程序	644
11.9	PCB 布局案例研究	652
11.10	增加印制电路板的抗扰性	660
	参考文献	661
第12章	EMI 和 EMC 控制、案例研究、EMC 预估技术和计算 电磁建模	662
12.1	EMC 控制	662
12.2	EMI 调查	666

12.3 EMC 预估：一般方法	674
12.4 EMC、计算电磁建模以及场求解工具计算机程序	696
参考文献	721
附录	722
附录 A 导体、导线和电缆特性阻抗	722
附录 B 单位和转换系数	724
附录 C 电场强度对磁场以及功率密度的转换	725
附录 D 常用有关公式	726
附录 E 铜实心裸导线的的数据（线度、重量和电阻）	729

第 1 章

电磁干扰和电磁环境概述

1.1 电磁干扰简介

本章介绍在电磁干扰（ElectroMagnetic Interference, EMI）和一些 EMI 规范中涉及的几种重要的耦合模型。在随后的各章中还将更详细地论述这两个专题。此外，本章还提供在环境中探测到的平均和最坏情况下的电磁发射数据。这些数据在评估给定的电磁环境中的严酷度和预估在这些环境中运行的设备的电磁兼容性（ElectroMagnetic Compatibility, EMC）都有较大用处。

1.1.1 电磁干扰的影响

EMI 产生的影响在特征和大小上是极其不一样的，影响范围十分广泛，可从简单的烦扰到巨大的灾难。一些 EMI 潜在影响的例子有：

- 干扰电视和无线电接收；
- 丢失数字系统或数据传输中的数据；
- 因内部装置、子系统或系统出现 EMI 而延误设备的生产；
- 医用电子设备（例如：婴儿监护仪、心脏起搏器）出现故障；
- 汽车的微处理器控制系统（例如：制动或卡车防折叠系统）出现故障；
- 导航设备出现故障；
- 爆炸装置的无意引爆；
- 重要的生产过程（例如：石油业和化工业）控制功能出现故障。

要消除设备在设计和生产之后发生的 EMI 问题，通常费用昂贵，并会导致生产计划延误，还可能影响到新产品的验收。最好的方法是在设备的设计和研发阶段，就遵循优良的 EMC 技术工艺惯例。我们的目标是生产的设备能在预估的或规定的电磁环境中运行，并且不干扰其他设备或者不严重地污染环境——即要达到 EMC。

本书在随后各章中将要叙述 EMC 的预估方法，如将这些方法应用到设计阶段，将有助于达到 EMC 的目的。这些分析方法和建模方法也能应用到 EMI 的控制和问题解决中去，或用于探寻规范外的发射。在发射衰减的区域内，分析很可能要用测量和诊断的方法来加以补充。然而，在设计、模拟板试验和样机阶段，不能过分地强调尽早进行简单的 EMI 测量所具有的价值。

1.1.2 电磁干扰的耦合方式

有 EMI 就必然有发射源、发射的耦合路径以及对接收到的噪声产生敏感的电路、装置

或系统。图 1-1 ~ 图 1-3 表明可能存在的两种耦合方式：辐射方式和传导方式。在近场情况下，辐射耦合既可能以磁场 (H 场) 耦合为主，也可能以电场 (E 场) 耦合为主；而在远场情况下，将通过电磁波来耦合，并且 E 场与 H 场有固定的比。有关近场和远场更严格的定义将在 2.2.1 节中介绍。这里只要说明接近发射源的是近场，而远离开发射源某个一定距离的是远场。

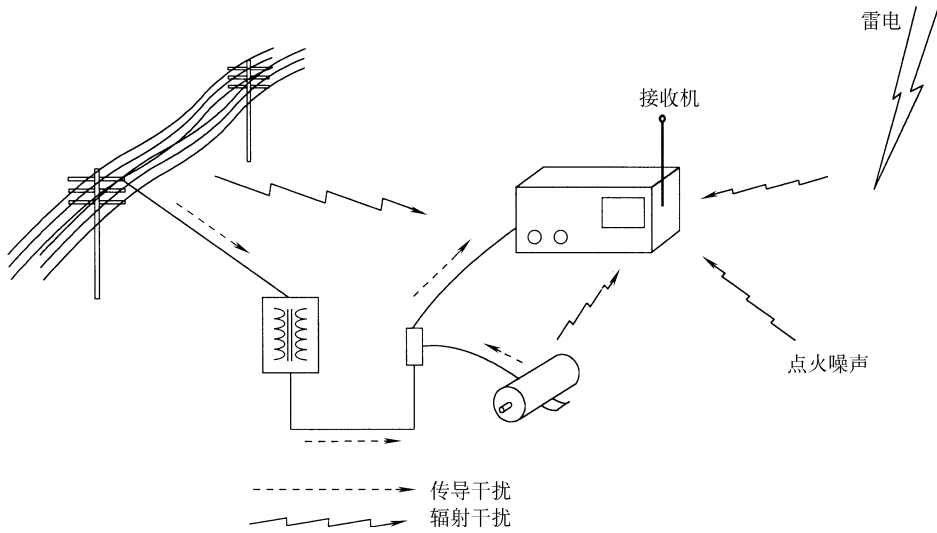


图 1-1 潜在的环境干扰源及其耦合到接收机的路径

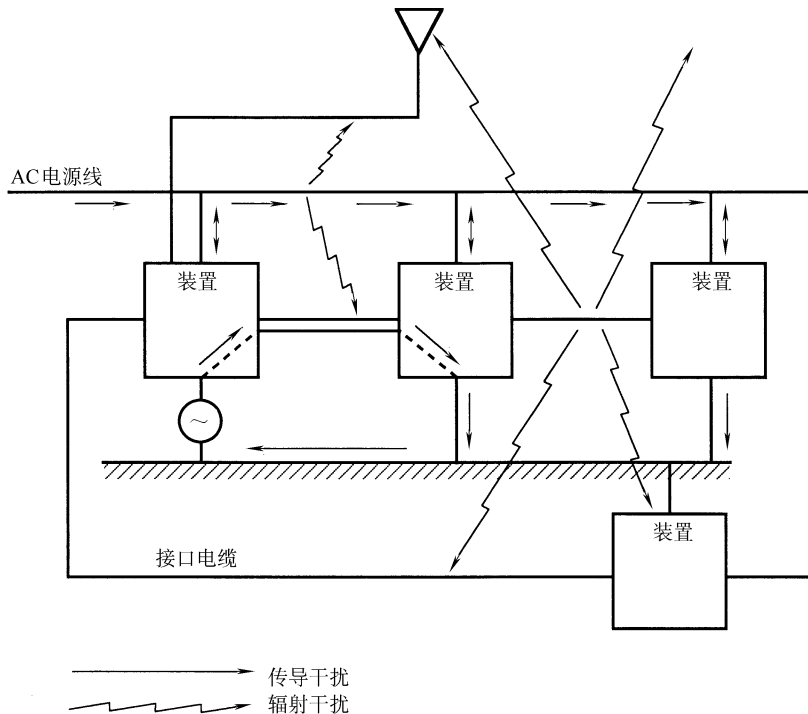


图 1-2 系统内几种可能的干扰耦合方式

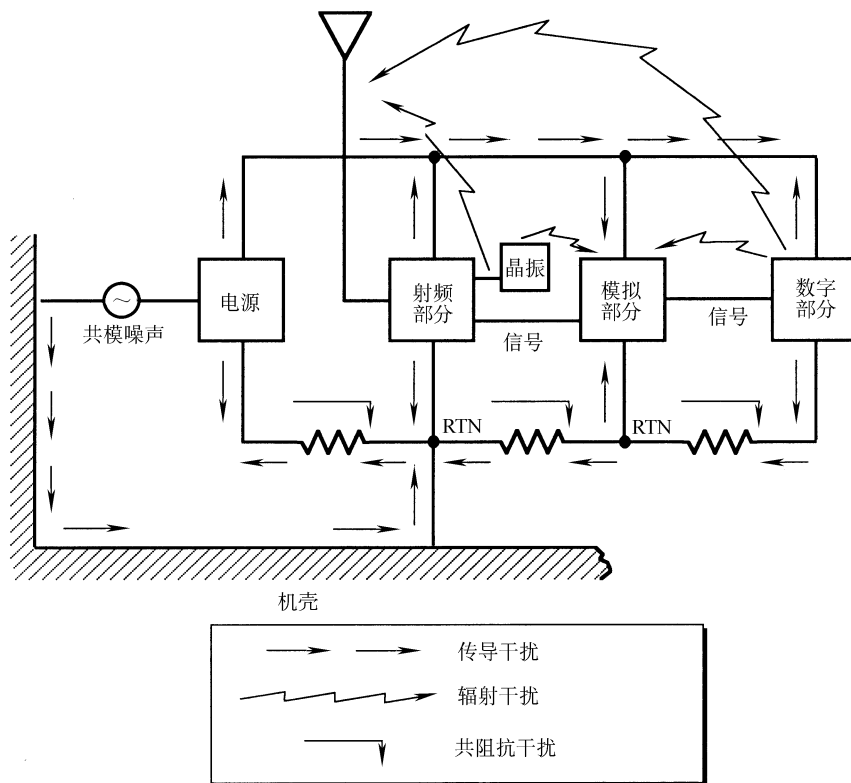


图 1-3 设备（装置）内的几种耦合方式

对于非常接近的电路和导线，一般认为耦合或串扰是通过互感和电路间的电容产生的，不过通常只有一种耦合方式起着主导作用。噪声源可以是电源线、信号线、逻辑电路（特别是时钟和数据电路）或载流的接地线。传导路径可能是电阻性的，也可能是有意或无意存在的电感或电容，而且是这些因素的综合作用。电抗性元件常常会导致谐振，在谐振频率点将伴随着电流的增加或减少。

1.2 电磁干扰规范概述

设备应具有抗扰度水平取决于其正确运行的重要性，以及它预定在怎样的电磁环境（ElectroMagnetic Environment, EME）中工作。许多 EMI 要求是根据设备的重要性的和工作环境来分类的，并对不同类别的设备施加不同的敏感度试验电平。

EMI 可以被认为是一种环境污染。为了减少这种污染的影响，有必要对噪声的传导和辐射产生的环境电平做出一些控制。

许多国家对数据处理设备，工业、科学和医疗（Industrial Scientific Medical, ISM）设备，车辆，器具等产生的发射采用民用规范。在有些情况下，一些标准是由非政府机构如美国汽车工程师学会（Society of Automotire Engineers, SAE）制定的，它不需要强制执行。大部分军用规范和标准及某些民用规范还要求设备能承受敏感度试验电平。

第 9 章将介绍有代表性的 EMI 规范、要求以及 EMI 测试方法。

1.2.1 军用规范

对于必须满足规定要求的设备制造商来说，能作出的选择是有限的。把军用要求修改成适合于特定的电磁环境这项工作是由采购机构来完成的。但是，这很难实施。若设备没有通过规定的军用要求，则在经过分析和测量之后，发现电磁环境比规定的电平指标更好，那么，采购机构就有可能同意放弃对规范限值的要求。更令人满意的方法是原先就规定好切合实际的限值。但这种方法的困难在于规定的要求和场地有关。也就是说，设备靠近发射天线或其他设备，或许多装置连接到同一电源的情况是各不相同的。在设备预定运行的场地是已知的情况下，可能很容易地将限值修改成适合于该环境的要求。

1.2.2 民用规范

必须满足民用要求的设备制造商是极难获得采购机构放弃对规范限值要求的，限值是不可改变的。迄今为止，只有欧盟（European Union, EU）成员国要求进行抗扰度试验。一些想在非欧盟成员国销售商品的制造商可能认为，直到发现设备在典型的环境中敏感时为止，这都是一个有利条件。

1.2.3 未加管制的设备

对于没有适用规范的设备制造商来说，为了使消费者满意或因安全上的缘故，抑或要把诉讼风险减到最小，他们需要实现 EMC。其选择的方法是针对实际的最坏环境来设计的，或以现有的 EMI 标准来界定环境。我们是以在大量类似环境中所测得的最大环境电平或在所有的减缓因素都考虑到以后，所预估的最大环境电平来定义实际的最坏环境。

在理想情况下，规定的限值接近于实际最坏的电磁环境电平，然而，如同我们将在 1.3 节中所见到的，这往往并不是真实的情况。

1.3 电磁环境概述

本节中的资料，是为了对各种最坏的 EME 加以比较，并为设备的设计师和编写采购规范的人提供指南。

EMI 源可分为自然的和人为的，在大多数情况下，自然辐射源的电平远低于人为辐射源的电平。大多数的无意发射占有很宽的频率范围，用一个意义不严格的术语，我们可以把它称为宽带发射。而有意发射，例如无线电和电视广播，则称为窄带发射。该术语的严格定义是占有单一频率或伴随着边带上几个频率的发射。在 EMI 测量中所使用的以及在第 9 章中介绍的宽带和窄带的严格定义是与接收机带宽和 EMI 源的脉冲重复频率有关的。

如在 2.1 节中所述的，电场强度用 V/m 来度量。另一种度量单位是 $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 。宽带场强单位是 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})/\text{MHz}$ ，通常使用在军用标准中。在此，1MHz 参考带宽包括在场强单位里。还有一种单位是 $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}/\text{kHz}$ ，其中 1kHz 是参考带宽。

为了与其他的宽带噪声源加以比较，对于距噪声源 1m 处测得的设备的宽带发射，我们将任意地使用军标 MIL—STD 461 RE02 的限值。图 1-4 是宇宙飞船的 RE02 限值。对于宽带噪声，RE02 限值比民用限值更严格。例如，在德国民用规范 VDE 0875 中的宽带限值，在

换算到1m测量距离并转换成1MHz参考带宽时,从30~300MHz采用的限值为78.5dB。这个限值在200MHz比RE02的限值高出13.5dB,而在30MHz和300MHz时,则分别高出4dB和8.5dB。这些限值在9.4节中将有更详细的介绍。

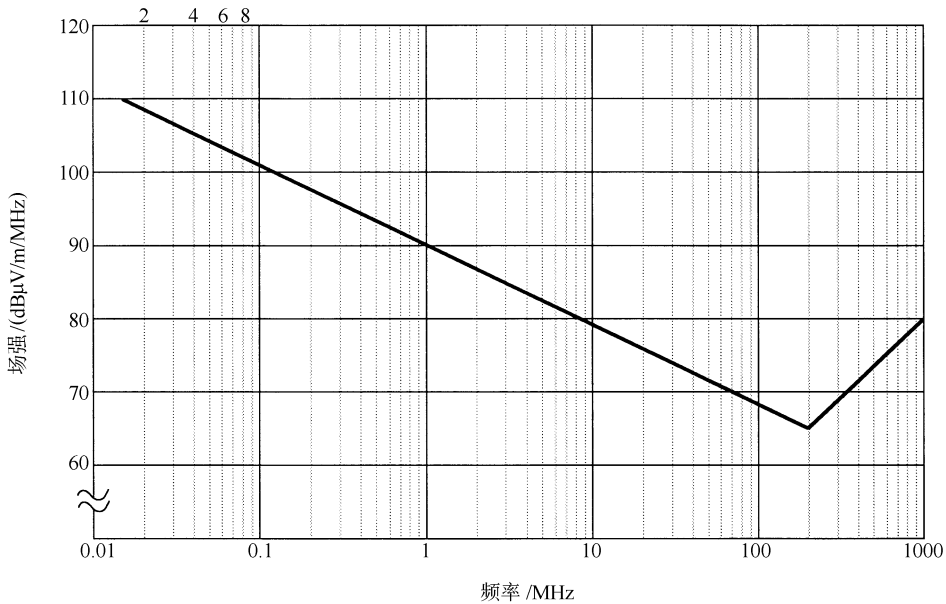


图1-4 宇宙飞船适用的RE02宽带发射限值

本章余下的各节将叙述EME的辐射分量和传导分量。其中1.3.1节和1.3.3节叙述辐射EME,而1.3.4节叙述传导EME。

1.3.1 自然电磁噪声源

自然电磁噪声源有:

- 大气噪声——由雷暴时的放电产生;
- 宇宙噪声——来自太阳、月亮、星球、行星和银河。

大气噪声主要由夏天的局部雷暴和冬天的热带地区雷暴产生。来自雷暴的电磁发射,通过电离层天波可以传播到几千千米以外的地区,因而潜在的EMI影响不限于本地区。从时域上看,大气噪声显得很复杂,但它可表征为一些大的尖峰脉冲,其背景为一些随机短脉冲,或为较高连续背景噪声下的一些较小脉冲。

频域上显示出的大气无线电噪声的上限值和下限值描绘在图1-5中的曲线D上,在频率为100kHz时场强电平范围从最大值108dBμV(0.25V)/m/MHz到最小值-6dBμV(0.5μV)/m/MHz。图1-5曲线E还画出了在北极地区测到的大气无线电噪声场强,它每年大约有7dB的变化,而且每日变化和季节变化有规律性。根据在加拿大的测量,大气无线电噪声电平的每日和季节性变化可从91dBμV/m/MHz到106dBμV/m/MHz。与我们任意选择的RE02宽带参考限值相比较,大气噪声上限值大致接近于100kHz时的RE02限值,而在10MHz时比限值低20dB。