

电子系统中噪声 的抑制与衰减技术

(第二版)

Noise Reduction Techniques In Electronic Systems (Second Edition)

[美] Henry W.Ott 著
王培清 李迪 译



WILEY
INTERSCIENCE



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电子系统中噪声的抑制与衰减技术 (第二版)

Noise Reduction Techniques In Electronic Systems
(Second Edition)

[美] Henry W.Ott 著
王培清 李 迪 译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

随着电路在通信、计算机、自动化以及其他方面的广泛应用，电磁干扰已经成为电路设计师所要面对的一个重要问题。

本书包括电路中噪声抑制技术实践应用的方方面面。涵盖了两种基本的噪声控制方法：屏蔽和接地；介绍了其他一些噪声抑制技术：如电路平衡、去耦、滤波等；还介绍了电缆布线、无源器件、触点保护、本征噪声源、有源器件的噪声等方面的内容；同时还介绍了数字电路与静电放电的噪声和辐射方面的问题。

本书适合于从事电子设备或系统设计的工程师使用，也可作为实用噪声抑制技术的教材。

Copyright © 1998 by AT&T Bell Laboratories. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

本书简体中文专有翻译出版版权由John Wiley & Sons Inc. 授予电子工业出版社。未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号：图字：01-2003-5985

图书在版编目(CIP)数据

电子系统中噪声的抑制与衰减技术：第二版/（美）奥特（Ott,H.W.）著；王培清，李迪译。—北京：电子工业出版社，2003.9

书名原文：Noise Reduction Techniques In Electronic Systems

ISBN 7-5053-9106-2

I. 电… II. ①奥… ②王… ③李… III. 电路—噪声控制 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 076135 号

责任编辑：雷洪勤

印 刷：北京东光印刷厂

出版发行：电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销：各地新华书店

开 本：787×1092 1/16 印张：20 字数：468 千字

版 次：2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：（010）68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

译者序

随着科学与技术的发展, EMC (电磁兼容) 越来越受到电子和电气设备设计人员的关注。电磁兼容是一门新兴的、综合性多学科交叉的边缘性学科, 已在很多领域得到非常广泛的应用。在信息时代蓬勃发展的今天, 随着电气化与自动化水平的不断提高, 电磁干扰与抗电磁干扰问题日益增多, 在世界范围内已经引起了广泛关注。现在, 已有很多国家和组织积极开展这方面的理论和应用研究, 还相继发布了很多相关的 EMC 标准和规范, 旨在强化和规范电磁兼容要求。因此, 所有预进入市场销售的电子电气设备都必须满足相关的 EMC 标准, 这样就需要产品设计人员掌握电磁兼容方面的知识和技术。

为了满足标准符合性测试的要求以及保障设备的稳定性和可靠性, 需要设计人员对电子电气系统进行全面的 EMC 设计。但是, 长期以来, 我们国内的电磁兼容研究和应用起步比较晚, EMC 技术应用方面的资料相对匮乏, 与国外相比有一定的差距。对于产品设计人员来说, 很难找到适合他们的, 尤其是比较系统的 EMC 学习参考资料。相比之下, 国外在这方面就做得比较出色, 有大量的优秀著作出版发行。作为专业的 EMC 工程师, 我们对此深有感触, 因而觉得有责任把国外一些优秀的 EMC 技术书籍和资料介绍给广大的国内工程师们。

本书 (Noise Reduction Techniques in Electronic Systems) 是我们在国外大量的优秀 EMC 技术书籍中精心挑选的一本, 是 EMC 设计领域中的一本堪称经典的著作。本书共包括 12 章, 作者经过精心编排, 对 EMC 设计领域的基础理论进行了详细的阐述, 对 EMC 的应用技术进行了归纳和提升, 提出了很多独到的见解。此外, 书中还提供了大量的技术资料供读者参考。本书内容丰富, 深入浅出, 既有较强的理论性, 又有很好的实用性。

该书在 1976 年和 1988 年由 John Wiley & Sons 公司两次出版。第一版已被翻译成日语、俄语、保加利亚语、波兰语等, 第二版已翻译成日语、意大利语等。

该书的作者亨利 W·奥特出版过很多关于 EMC 技术的专著, 是美国公认的顶尖 EMC 技术专家, 并因其对 EMC 领域的杰出贡献而获得过许多荣誉。他是 IEEE 的终身会员和 IEEE EMC Society 的名誉终身会员, 是 IEEE EMC Society 的董事会成员并担任该委员会副主席职务, 曾经是 EMC Society 的著名讲师。他还是美国 ESD 协会会员和 NARTE 认可的静电控制工程师, 并且是 ITEM 杂志的评论编辑。在成立自己的 EMC 技术服务公司之前, 作为 EMC 顾问在新泽西的贝尔实验室工作了 30 年, 在那里他就是有名的技术专家。

本书可作为从事电子电气产品方面工作的技术人员的学习教材, 也可作为从事科研和工程项目的有关人员进行电磁兼容性分析和设计的参考书, 还可以作为高等院校相关专业学生学习 EMC 技术的参考书。

在翻译本书的过程中, 我们得到了来自多方面的支持, 很多 EMC 专家和工程师对译稿提出了宝贵的修改意见, 对此我们深表感谢。希望该书的出版和发行可以帮助众多的工程师学习和了解 EMC 基础知识和应用技术, 为 EMC 设计技术的推广和应用做出贡献。另外, 在翻译的过程中, 本书保留了原书的部分书写规则。

由于译者水平有限以及时间仓促, 书中难免有不当或错误之处, 敬请广大读者批评指正。

译者

第一版前言

本书内容包括电路中噪声抑制与控制技术实践应用的方方面面。本书主要给从事电子设备或系统设计的工程师提供最为实用的帮助，也可以当做一本实用噪声抑制技术的教材来使用。本书中的噪声消除与抑制理论适用于各种各样的电路，包括从音频电路到 VHF 电路。但是，由于已有的文献中关于低、中频噪声问题的内容很少，所以本书重点对这些方面的相关问题进行论述。

设计师所面临的最困难和最迷惑的问题是如何抑制他们所设计的电路或系统产生的噪声。在工科大学一般不教授这方面的内容，而且大多数与此相关的文献都零零散散地刊登在许多不同的期刊上，所以多数工程师尚不具备足够的解决这些问题的能力。

通常，噪声问题的解决方案都是通过反复的验证得出的，并没有真正理解问题产生的机理，或者说是一知半解。所以，解决这一类的问题常常非常耗时，而且如果将设备换一个地方，原来的解决方案却不一定有效。出现这种情形非常让人沮丧，而实际上大多数问题所涉及的原理却很简单，都可用一些最基本的物理理论来解释。

最初，这本书是当做贝尔实验室工作时间之外的一个课程的讲稿使用的，后来又用于实验室工作时间的持续性技术培训课程。本书所使用的技术与方法都是面向设计的，所以尽量减少了数学内容的数量和复杂性。在一些例子中，对代表物理现象的模型进行了简化，以便能提供更多有用的结果。通过符合实际的简化性假设，这些结果的物理意义显得更清晰、明确。

书中材料的组织结构如下所述：第 1 章是关于噪声抑制技术的简单介绍；第 2 章和第 3 章分别介绍了两种最基本的噪声控制方法：屏蔽与接地；第 4 章则介绍了其他一些噪声抑制技术，包括电路的平衡、去耦、滤波等；第 5 章介绍了无源器件，包括影响器件噪声性能的特性以及这些器件在噪声抑制电路中的使用；第 6 章重点对金属板的屏蔽效能进行了详细的理论分析；第 7 章介绍了继电器与开关，并讨论了抑制这些器件所产生的噪声的方法；第 8 章则讲述了决定电路最小噪声水平的本征噪声源；第 9 章讨论了晶体管和集成电路的噪声。

在每一章的最后，对每章所讨论的关键点进行了总结；同时还为那些期望了解更多信息的人们提供了参考文献目录。除此之外，附录 A 讨论了分贝 (dB) 的概念及其在模拟音频通信系统噪声测量中的应用；附录 B 是按照查检表的格式对所有噪声抑制技术的一个总体性的概括和总结；附录 D 则是关于每一章的一些复习问题，这些问题的答案可参考附录 E。

我希望表达我对 S. D. Williams 先生的敬意，感谢他在最早的噪声控制研讨会讲稿上与我的合作，而这些工作正是促使本书诞生的火种；我也要感谢很多学生，正是他们热情激励我将这本书继续写下去；特别感谢 F. E. Sullivan 先生和 A. L. Wasser 小姐对原稿所进行的技术编辑，也特别感谢提出许多帮助性意见的 L. E. Morris 先生和 D. N. Heirman 先生。此外，我还要感谢我所有的同事，感谢他们对原稿的审阅以及他们提出的有用的建议；最后，由衷地感谢贝尔实验室的合作与支持。

Henry W. Ott (亨利 W·奥特)
Livingston, New Jersey (利文斯顿, 新泽西州)

前 言

在自本书第一版问世以来的 11 年间，电磁兼容性（EMC）领域已经发生了巨大的变化。而其中发展最重要的两个方面是：（1）数字电子技术在民用市场上的迅猛发展；（2）联邦通信委员会（FCC）已经建立起一整套限制数字系统产生的电磁发射的规范与标准。因此，人们对 EMC 问题的兴趣有了很大的提高。

本书第一版内容覆盖了基本的电磁兼容理论，强调如何提高电子系统的抗干扰能力。但是现在，人们迫切需要更多控制电子系统产生的噪声技术及其相关信息，特别是与数字电子系统有关的信息。而且，为了在激烈的市场上保持竞争力，民用产品的低成本化 EMC 设计技术显得愈发重要。此外，电子系统的抗静电能力也得到越来越多的关注，本书将针对这个问题进行详细论述。

事实上，本书第一版中的绝大多数内容到现在为止还可以继续应用，所以仍然保留下来了。在第二版中，总共增加了三章新的内容，具体包括数字电路与静电放电的噪声和辐射两大主题。

在第二版中，对第 1 章的内容进行了改写，在里面增加了 FCC 标准的一些资料；对第 2 章到第 7 章的内容进行了更新，增加了一些新的资料；第 8 章和第 9 章的内容则没有改动；而第 10，11，12 章是这一版新增加的篇幅：第 10 章的内容涵盖了数字电路的噪声与布局；第 11 章是关于数字电路的电磁辐射；第 12 章则重点涉及静电放电（ESD）。除此之外，附录中还增加了新的关于 FCC EMC 测试程序的内容（即附录 F）。

我非常感谢所有那些花费时间对本书第一版进行评论的人们以及那些鼓励我编写第二版的人们，并特别感谢与我在 EMC 方面进行过富有成效的讨论的 Scott Roleson, Bob German 与 Dr. Clayton Paul。

我由衷地感谢对原稿进行编辑的 Eva Carter；一份特别的感谢还要给予为书中所有问题提供答案并指出错误的 Dan Johnson；最后，我感谢所有曾经花费时间审阅原稿并提出有用的建议和意见的同事们。

Henry W. Ott (亨利 W·奥特)
Livingston, New Jersey (利文斯顿, 新泽西州)

目 录

第 1 章 绪论	(1)
电磁兼容性设计	(3)
EMC 标准	(4)
FCC 标准	(4)
FCC Part 15 第 J 部分	(5)
国际一致性	(9)
敏感度	(11)
军用标准	(11)
噪声耦合的方法	(15)
其他噪声源	(16)
消除干扰的方法	(18)
小结	(19)
参考文献	(19)
第 2 章 电缆布线	(21)
容性耦合	(21)
屏蔽对容性耦合的影响	(24)
感性耦合	(26)
互感的计算	(27)
屏蔽对磁性耦合的影响	(29)
屏蔽层和内导线间的磁性耦合	(30)
磁性耦合——裸线对屏蔽的导线	(33)
防磁性辐射的屏蔽	(34)
接收器的磁场屏蔽	(36)
屏蔽电缆的转移阻抗	(37)
实验数据	(38)
屏蔽选择实例	(41)
同轴电缆与屏蔽双绞线	(41)
编织屏蔽层	(42)
“猪尾巴”效应	(44)
扁平带状电缆	(45)
长电缆	(47)
小结	(48)
参考文献	(48)
第 3 章 接地	(51)
安全接地	(51)

信号接地	(53)
单点接地系统	(54)
多点接地系统	(55)
混合接地	(56)
功能化接地布局	(57)
实用的低频接地	(57)
硬件地	(59)
单点接地的电路	(60)
放大器的屏蔽	(61)
电缆屏蔽层的接地	(62)
地环路	(65)
共模扼流圈的低频分析	(67)
共模扼流圈的高频分析	(69)
差分放大器	(71)
高频时的屏蔽层接地	(73)
保护屏蔽	(74)
有保护仪表	(77)
小结	(80)
参考文献	(80)
第4章 电路平衡与滤波	(82)
电路平衡	(82)
电源去耦	(85)
去耦滤波器	(90)
放大器去耦	(91)
驱动容性负载	(92)
高频滤波	(93)
系统带宽	(94)
调制与编码	(94)
小结	(94)
参考文献	(95)
第5章 无源器件	(96)
电容器	(96)
电容器的并联	(99)
电感器	(100)
变压器	(100)
电阻器	(102)
电阻器的噪声	(103)
导线	(104)
铁氧体磁珠	(106)

小结	(110)
参考文献	(111)
第 6 章 屏蔽	(112)
近场和远场	(113)
场的特性和波阻抗	(113)
屏蔽效能	(115)
吸收损耗	(117)
反射损耗	(119)
平面波的反射损耗	(121)
近场区的反射损耗	(121)
电场的反射损耗	(123)
磁场的反射损耗	(123)
吸收损耗和反射损耗的合成	(126)
屏蔽效能计算公式综述	(127)
磁性材料的屏蔽	(128)
磁场衰减实验数据	(131)
开孔	(132)
波导与波导截止频率	(136)
导电衬垫	(136)
导电窗口	(138)
导电镀膜	(139)
腔体谐振	(141)
屏蔽体的接地	(141)
小结	(141)
参考文献	(143)
第 7 章 触点保护	(145)
辉光放电(气体放电)	(145)
AC/DC 电路	(147)
触点材料	(148)
接触器的额定值	(148)
瞬态大电流负载	(148)
感性负载	(149)
触点保护的基本原理	(150)
感性负载的瞬态现象抑制方法	(154)
感性负载的触点保护网络	(156)
晶体管开关控制的感性负载	(158)
电阻性负载的触点保护	(159)
触点保护方案选择指南	(159)
触点保护方案设计实例	(160)

小结	(161)
参考文献	(161)
第 8 章 本征噪声源	(162)
热噪声	(162)
热噪声的特性	(165)
等效噪声带宽	(166)
散粒噪声	(169)
接触噪声	(169)
“爆米花”噪声	(170)
噪声电压的补充	(171)
随机噪声的测量	(171)
小结	(172)
参考文献	(173)
第 9 章 有源器件的噪声	(174)
噪声因数	(174)
噪声因数的测量	(175)
利用噪声因数计算信噪比和输入噪声电压	(177)
噪声电压与噪声电流模型	(178)
V_n 和 I_n 的测量	(180)
根据 V_n - I_n 特性计算噪声因数和信噪比	(180)
最优源电阻	(181)
级联网络的噪声因数	(183)
噪声温度	(185)
双极型晶体管的噪声特性	(186)
结型场效应晶体管 (FET) 的噪声特性	(189)
集成运算放大器的噪声特性	(191)
小结	(194)
参考文献	(194)
第 10 章 数字电路的噪声与布局	(196)
频域和时域	(197)
模拟电路和数字电路	(197)
数字逻辑电路的噪声	(197)
内部噪声源	(198)
数字电路的地噪声	(200)
数字电路的实用接地系统	(203)
电源分配	(206)
噪声电压的控制目标	(211)
噪声电压的测量	(211)
IC 未使用引脚的处理	(212)

逻辑电路系列	(213)
小结	(213)
参考文献	(213)
第 11 章 数字电路的辐射	(215)
差模辐射	(215)
差模辐射发射的控制	(221)
共模辐射	(226)
共模辐射发射的控制	(227)
共模电压	(227)
电缆的去耦与屏蔽	(228)
共模扼流圈	(229)
共模电流的测量	(229)
工程文档和 EMC	(230)
小结	(230)
参考文献	(231)
第 12 章 静电放电	(233)
静电的产生	(233)
人体静电模型 (HBM)	(236)
静电放电	(239)
产品设计中的 ESD 保护	(240)
软件和 ESD 保护	(248)
ESD 与 EMC	(251)
小结	(251)
参考文献	(252)
附录 A 分贝	(253)
功率比以外用分贝表示的量	(253)
功率损耗与负功率增益	(254)
绝对功率水平	(255)
噪声的测量	(255)
加权函数	(255)
串扰的单位	(257)
以分贝表示的功率求和方法	(257)
附录 B 电磁噪声抑制技术摘要	(259)
附录 C 薄屏蔽体中磁场的多次反射	(261)
附录 D 问题	(263)
附录 E 问题答案	(279)
附录 F 电磁兼容测试程序	(291)
附录 G 符号	(305)

第 1 章 绪 论

电路在通信、计算、自动化以及其他方面的广泛应用使得在非常近的距离使用不同的电路成为可能，而这些电路之间经常会相互影响。电磁干扰（EMI）已经成为电路设计师所要面对的一个重要问题，而且在将来，这个问题大有变得更加严重的趋势。在同一场所大量电子设备的共存和使用是产生这一趋势的部分原因。除此之外，集成电路和大规模的系统集成缩小了电子设备的体积。随着电路变得越来越小和越来越复杂，再加上更多的电路拥塞于更小的空间内，这都增大了产生干扰的可能性。

今天的产品设计师所需要做的不仅仅是让设备在实验室的理想环境下正常工作，除此之外，他们还必须保证设备在实际使用环境中与附件等其他设备共存的情况下也能够可靠地工作。这也就意味着设备不会受到其他外界噪声源的影响，同时自己也不应成为使用环境中的噪声源。所以，电磁兼容性（EMC）就成为了产品设计中要关注的主要问题之一。

如图 1-1 所示，我们采用收音机的电路功能方框图来说明可能在设备中发生的不同干扰的类型。可以看到，不同的电路单元以不同方式相互影响，电路不同部分之间的连线能够传导噪声，而有些电路部分则辐射噪声。此外，电路不同部分的地电流流经一个公共地阻抗时，可以在接地总线上产生一个噪声电压，图中还给出了不同导线上的信号之间的电场与磁场耦合。这些噪声问题属于设备内部干扰，在收音机进行实验室测试之前就必须解决。当收音机

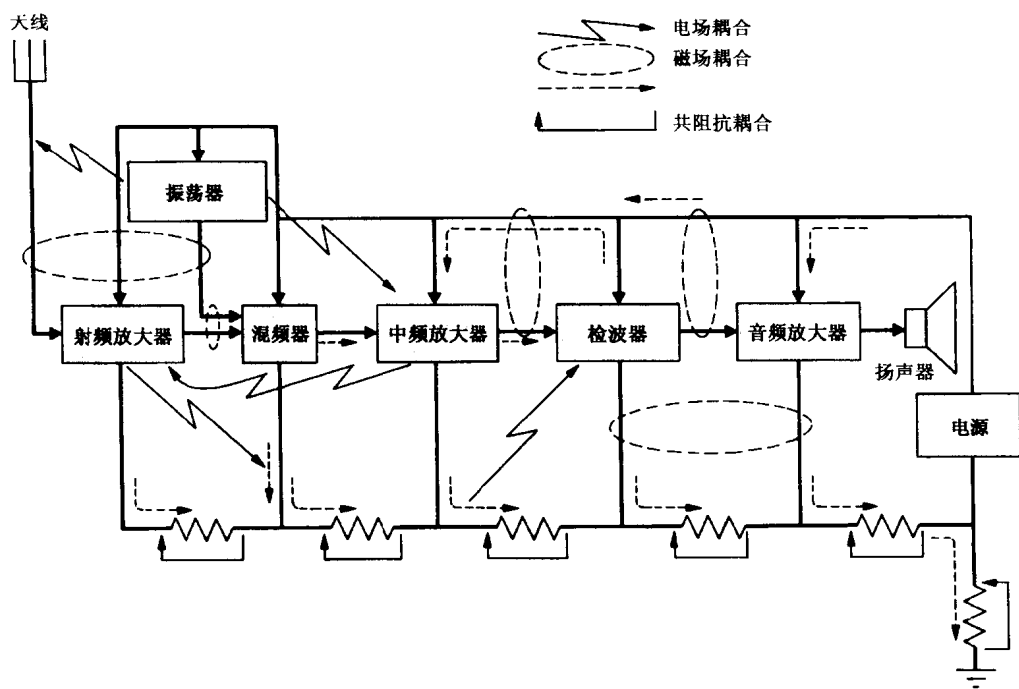


图 1-1 收音机内部不同电路单元之间相互影响的几种方式

在实际环境中使用时，就会暴露在外界其他附加噪声源的影响之下，如图 1-2 所示，噪声电流能够通过交流电源线传导进入收音机，而且收音机还处于其他电磁辐射源干扰之下，所以需要谨慎设计以确保收音机与环境的兼容性。在这个例子中，尽管噪声源不受设计师的控制，但是设备仍然需要设计成可以在这种环境中工作。

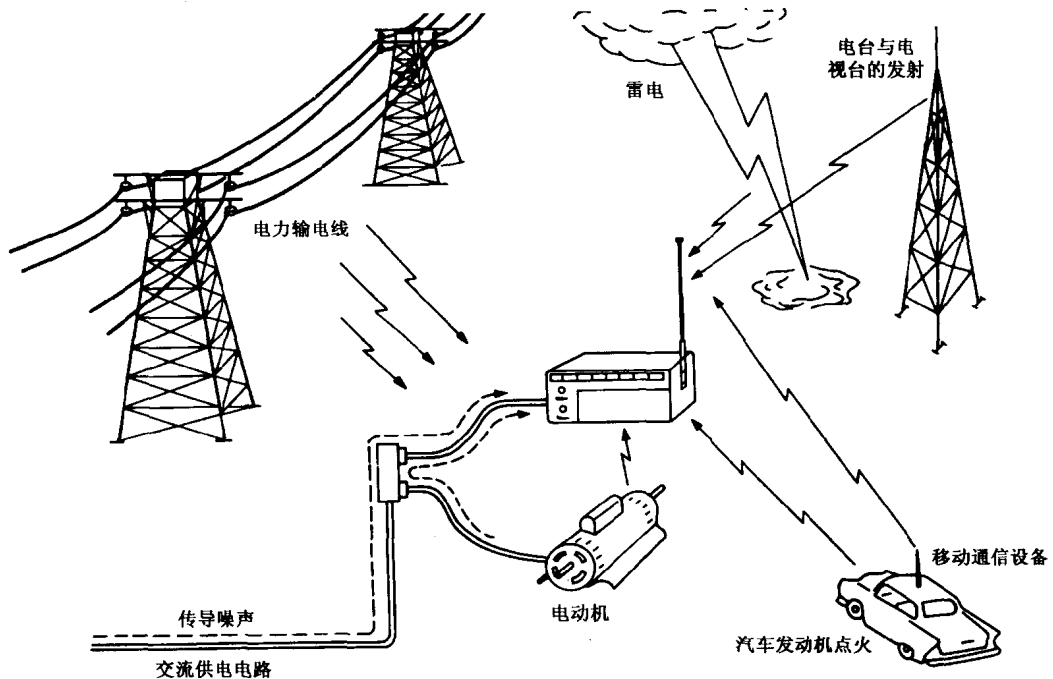


图 1-2 实验室外电子设备（如收音机）受到的来自各种电磁噪声源的干扰

图 1-3 则描述了噪声问题的另一面。收音机能够成为一个可能干扰其他设备的噪声源。部分电路会直接辐射噪声；电源线也可以把噪声传导给其他电路；流进电源导线的噪声电流使电源线向外辐射附加的噪声。如果在产品的设计初期阶段考虑噪声问题，就可以避免产生这些发射。在设计设备时，使之产生最小噪声与使之不对噪声敏感是同等重要的。

电路中除去有用信号以外的其他所有电信号都是噪声。这个定义不适用于电路中由于非线性原因而产生的失真。虽然这些失真可能并不是我们需要的，但只要它不耦合进电路的另一部分，就不被认为是噪声。同样，电路中某些部分的有用信号如果耦合进了电路的其他部分，也会被看做是噪声。

可以将噪声源分成三大类：

- (1) 本征噪声源，其来源于物理系统的随机波动，例如热噪声和散粒噪声；
- (2) 人为噪声源，例如电机、开关、数字电子设备、无线电发射装置等；
- (3) 自然界的干扰引起的噪声，例如雷电和太阳黑子活动。

干扰则是由噪声引发的不期望得到的结果。如果一个噪声电压使一个电路产生误操作，它就是一个干扰。噪声是不能被消除的，而只能在量级上尽量减小直到不再引起干扰。

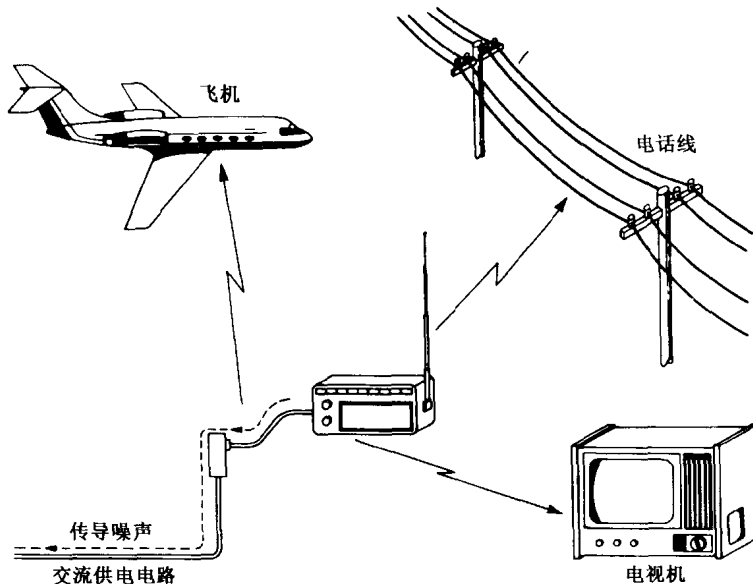


图 1-3 电子设备（如收音机）的噪声对其他电路的影响

电磁兼容性设计

电磁兼容性（EMC）指的是一个电子系统的能力：（1）在期望的电磁环境中工作时，功能正常；（2）不会成为环境中的一个电磁污染源。电磁环境中包含传导和辐射两方面的能量，电磁兼容也因此而具有两方面的内容——发射和敏感度。

敏感度是设备或电路对不期望的电能量（例如噪声）的响应能力。电路或设备的敏感度水平指的是一个噪声环境，设备能够在这个环境中正常操作，没有性能下降，并具有一个确定的安全裕量。与敏感度相对的是抗扰度。确定设备抗扰度（或敏感度）水平的困难在于定义什么才能代表它的性能降级。

发射则属于一个产品产生干扰的潜在能力。控制发射的目的在于限制电磁能量的发射，从而控制其他产品必须工作于其中的电磁环境。控制一个产品产生的发射可能会解决其他很多产品的受干扰问题，因此，我们希望控制产品发射的目的是营造一个兼容的电磁环境。

在某种程度上，敏感度是自我规范的。如果一个产品对环境敏感，消费者会慢慢地了解它，之后就可能不会再去购买。与之相反，发射则不趋向于自我规范。成为发射源的产品可能并不会受到那个发射的影响，因此，不同的标准组织专门制定标准来强行管制某类产品的发射。

EMC 设计可以通过下面两种途径来实现。其中一种是转折期方法，另一种是系统方法。在转折期方法中，设计完成之前设计师根本不考虑 EMC，然后进行测试（可以预见），结果很糟糕，再根据现场经验判断这里一定存在问题。在这个阶段实施解决方案通常意味着昂贵的花费和许多其他不期望的额外开销。这通常被认为是一种“权宜”之计。

在设备开发过程中，随着从设计到测试再到生产，设计师可以使用的噪声缓解技术逐步减少；同时，所需的费用却在增加。这种变化趋势如图 1-4 所示。在产品开发的初级阶段解

决干扰问题可以获得最好的效果，成本也最低。

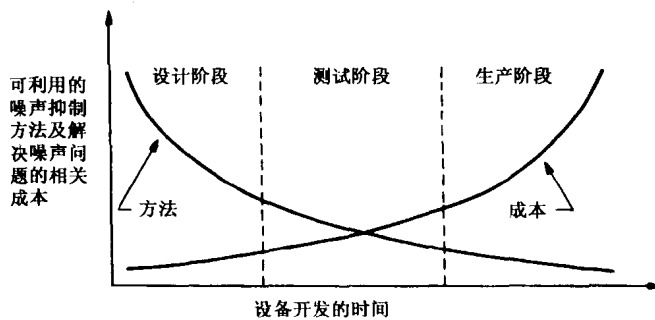


图 1-4 设备开发过程中不同阶段噪声抑制技术与噪声抑制费用的变化

系统方法则认为：EMC 设计需要贯穿整个产品设计过程。设计师在开发初期就会预见可能存在哪些 EMC 问题，并在原型设计阶段找出遗留的问题，最后尽可能全面地对最终的原型机进行测试。这种方法使 EMC 设计成为产品的电子与机械设计中的一个有机组成部分。所以，EMC 是被“设计”到产品中去的，而不是被“附加”进去的，这也是性价比更高的一种设计方法。

如果在产品设计之初就考虑子系统或阶段性的噪声抑制，则噪声缓解技术是相当简单且直接有效的。经验显示，当采用这种方法来处理噪声抑制问题时，设计师在产品开始测试之前就能够解决 90% 甚至更多潜在的噪声问题。

另一方面，一个完全没有考虑噪声抑制设计的系统开始测试时几乎不可能避免出现噪声问题。假若在这个时候再去分析、寻找噪声源与噪声路径，就可能不是一件简单的事情。晚期阶段的解决方案通常会增加在原设计电路以外的多余部件，由此带来的花费很昂贵，包括增加的工程成本、缓解器件的安装成本，以及缓解器件本身的成本；还可能会带来尺寸、重量、功耗增加等其他方面的问题。

EMC 标准

参考政府或军方的一些重要的 EMC 标准与规范，可以获得更多的关于干扰问题与产品设计师职责的详细资料。

FCC 标准

在美国，联邦通信委员会（FCC）负责管理射频和有线通信的使用，控制干扰也是其职责之一。FCC 标准的 3 个部分有适用于非特许电子设备的规范要求，具体包括：Part 15，适用于射频设备；Part 18，适用于工业、科学、医疗设备；Part 68，适用于连接到电话网络的设备。

FCC 标准 Part 15 提出了射频设备的技术标准和操作规范。射频设备是指在其运行中能够通过辐射、传导或其他方式有意或无意地发射射频能量的任何设备。在 FCC 标准中，射频能量被定义为频率范围在 10 kHz~3 GHz 之间的任何电磁能量。该标准有双重目的：为没有无线电许可证的低功率发射设备提供可以使用的规定以及控制已经授权的射频通信服务设

备产生的干扰（发射射频能量的设备产生或设备运行时伴随产生的噪声）。数字电子设备则被归于后面一类。

FCC 标准 Part 18 提出了工业、科学、医疗设备（ISM 设备）的技术标准和运行条件。ISM 设备是指任何为了工业、科学、医疗或其他目的（包括无线电能量传输）而使用无线电波的设备以及没有也不准备用于无线通信的设备，具体可以包括医用透热疗法设备、工业加热设备、射频焊机、射频照明设备、用于产生物质物理变化的设备，以及其他相关的非通信类设备。

FCC 标准 Part 68 则是为保护电话网络免受由于终端设备（包括 PBX 系统）与其导线的连接而造成的损害，以及保护助听器与电话的兼容性，以保障使用助听器的人可以正常使用电话网络而提出的一个统一的标准。对电话网络的损害包括电话公司工作人员的触电危险、损坏电话公司的设备、电话公司计费设备失灵，以及使电话网络服务水平下降，它不仅包括使用终端设备的用户，还包括正在进行的呼叫与被呼叫方的服务。

FCC Part 15 第 J 部分

FCC 标准 Part 15 第 J 部分引起普遍关注的原因是它几乎适用于所有的数字电子设备。在 1979 年 9 月，FCC 采纳了一些标准来控制数字电子设备（FCC 称其为计算类设备）的干扰。这些“计算类设备的技术标准”（摘要 20780）把 FCC 规范的 Part 15 加以修改，使之与受限制的辐射设备相关，并且现在被收入联邦标准规程的 Part 15 第 J 部分的标题 47 中。在这些标准中，规定了频率范围从 30 MHz~1 000 MHz 频段的所允许的最大辐射发射限值以及交流电源线上频率从 0.450 MHz~30 MHz 频段的所允许的最大传导发射限值。

这些标准产生的原因是 FCC 收到了不断增多的关于收音机和电视机被干扰的抱怨，而最后证明数字电子设备才是干扰源。FCC 在标准中称：

据报道，计算机几乎对所有的无线服务带来了干扰，特别是那些频率低于 200MHz 的服务，包括警务、航空以及广播服务等。产生这种结果的原因包括以下几个因素：（1）数字电子设备在全社会的广泛使用，而且在家庭中也日益增多；（2）技术进步把计算机的速度提到如此高的程度，以致现在计算机设计师伴着无线电与电磁干扰（EMI）问题工作——而在 15 年前他并不需要考虑这些问题；（3）现代化产业经济已经用几乎没有屏蔽作用的塑料机壳代替了可以屏蔽和减小辐射发射的金属机壳。

FCC 规定的计算类设备定义为：

任何产生和使用速率超过每秒 10 000 个脉冲（周期）的和使用数字技术的电子设备或系统，包括使用数字技术的电话设备或任何为了完成数据处理功能（例如电子计算、操作、转换、记录、存档、排序、存储、恢复和传输等）而产生和利用射频能量的设备或系统。

这个定义的范围很广，试图包容尽可能多的产品。这样的话，如果一个产品使用了数字电路并且有一个频率大于 10 kHz 的时钟，那么按照 FCC 的定义，它就属于计算类设备。这个定义覆盖了如今生产的绝大多数数字电子产品。

在此定义下的计算类设备被划分为两大类：

A 类：标记为使用在工业、商业、贸易环境中的计算类设备；

B 类：标记为使用在居住环境中的计算设备，即或它被用于工业、商业、贸易环境中。

因为 B 类设备很可能位于更接近收音机和电视机的地方，所以这些设备的发射限值要比 A 类设备严格约 10 dB。

满足这些技术标准是对设备生产商和进口商的强制性要求。为保证标准符合性，FCC 要求所有产品在美国上市之前必须由生产商进行符合性测试。FCC 把市场定义为运送、销售、待售、进口等诸如此类。因此，除非一个产品已符合规则要求，否则它就不能合法地发布广告，因为这可能会被看做是待售。为了在一个产品满足标准符合性之前合法地发布广告，在广告中必须声明这样一句话：“The device is subject to FCC rules and will comply with the rules prior to delivery.”

对于个人计算机及其附件（B 类子目录），产品上市销售之前生产商必须向 FCC 提交测试数据并从 FCC 获得 FCC 认证。在授予认证之前，FCC 可以要求抽样测试（如果 FCC 想这样做的话）。

对于所有其他的产品（除了个人计算机及其附件以外的所有 A 类与 B 类产品），生产商必须在产品上市之前进行测试，确认产品的标准符合性。这种确认是一个自我认证过程，除非特别要求，不需要向 FCC 提交任何东西。FCC 可以随机抽样测试以考察这些产品的标准符合性。

完成符合性测试的时间（以及测试不通过时需要再次测试的时间）和从 FCC 获得认证证书的时间（如果需要认证证书）都应该列入产品开发计划的时间表中。

测试必须在能够代表产品的样品上进行，样品通常是正式的产品或者试产的样机。因此，符合性测试一般是产品开发时间表中的最后一项，此时已没有时间来处理发生的异常情况。如果产品没有通过测试，此时再更改产品的设计就非常困难，所需的费用也非常高。所以，在产品进入最终的符合性测试阶段之后，应该对产品有高度的信心，确信产品可以通过测试。要想实现这个目标有两种方法：（1）在产品设计的全过程中，合理应用 EMC 设计原理（正如本书所要阐述的内容）；（2）对早期的样机和部件进行发射的预测试。

这些规则不仅规定了一个产品必须满足的技术标准，而且还规定了产品必须遵从的管理程序，以及用于确认产品符合性所必须使用的测量方法。我们应该注意到，限值和测量程序是相互关联的，限值的获得是以特定的测量程序为基础的，因此，符合性测量程序必须遵守 FCC 在 FCC/OST MP-4 中的“计算类设备射频噪声发射 FCC 测量方法”（参见附录 F）。

测试必须在一个完备的系统上进行，测试时应连接上所有的电缆，并把电缆按照可能产生最大发射的合理方式进行布置。

对于辐射发射，测量程序规定了开阔场地（或等效的场地）测量方法。如图 1-5 所示，开阔场地测量包括一个地平面和一个调谐偶极子天线（或者其他相关的线性极化天线），受试设备（EUT）放在转台上面。