

# 现代电子系统的 电磁兼容性 设计

吴良斌 高玉良 李延辉 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

---

# 现代电子系统的 电磁兼容性设计

---

吴良斌 高玉良 李延辉 编著

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

现代电子系统的电磁兼容性设计 / 吴良斌等编著.  
北京:国防工业出版社,2004.7  
ISBN 7-118-03434-7

I. 现... II. 吴... III. 电子系统-电磁兼容性-  
设计 IV. TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 020886 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 17½ 397 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:33.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

# 前 言

随着科学技术的发展,电磁兼容性设计在雷达、通信、电子对抗、自动控制、计算机、仪器仪表等现代电子领域的重要性日益突出,已引起广大科技工作者的高度重视。近年来,国内外同行在电磁兼容性设计方面做了大量卓有成效的工作,取得了显著的成果。本书在内容上力求全面反映当今国内外最新的研究成果,并做到全面和系统进而形成理论体系,融先进性、实用性和科学性于一体,突出理论性与工程性的紧密结合。在风格上力求工程化、实用、可读。本书列举、分析了大量具体电子系统电磁兼容性设计的实例,有些地方还直接引用了各电子领域专家的研究成果,具有很强的工程针对性、实用性和代表性。这些设计实例包含了现代电子系统的方方面面,具有较高的学术价值和重要的参考价值。其中也包含了作者多年来的研究成果和个人观点。可以预见,本书的出版将会为从事现代电子系统设计的广大科技工作者提供十分有益的帮助。

全书共分为 10 章。第 1 章为概述,介绍电磁兼容性的内涵、研究的基本内容、电磁干扰及其抑制技术;第 2 章至第 5 章阐述了电磁兼容性设计的基本技术,详细探讨了屏蔽、接地、滤波、印制电路板和配线设计的原理、方法及设计实例;第 6 章具体介绍了一些常用电子电路的电磁兼容性设计;第 7 章专门介绍了数字电路的电磁兼容性设计;第 8 章专门对高速电路的电磁兼容性设计进行了探讨;第 9 章详细论述了单片机系统的电磁兼容性设计;第 10 章详细讨论了电磁兼容技术在雷达、数字 AV、频率源、计算机、卫星以及现代舰船等系统上的具体应用。全书尽量避免繁琐的数学方法及其推演,而是在讲清基本原理的基础上,从实用的角度和工程的角度去解决电磁干扰的每一个问题。这些解决问题的思路和方法,恰恰是从事电子系统的电磁兼容性研究者最需要的。

本书引用、吸收了国内外同行在电磁兼容性研究领域的许多科研、学术成果,是他们的出色工作推动了电磁兼容性研究事业的发展,作者谨向他们表示深深的谢意和崇高的敬意。本书经颜璋研究员审阅,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。由于作者理论和技术水平有限,书中肯定存在不妥和错误之处,诚挚希望相关领域的专家和读者批评指正。

## 内 容 简 介

全书共分 10 章,比较系统地总结了 EMC 领域近年来的最新研究成果,介绍了当今在这一领域的关键技术与热点技术。本书取材新颖,内容丰富,全面论述了现代电子系统 EMC 设计的新技术、新方法,并从工程应用的角度,列举分析了大量具有针对性、代表性、实用性和重要参考价值的工程设计实例。

本书主要为雷达、通信、电子对抗、自动控制、计算机、仪器仪表等现代电子系统领域从事 EMC 研究、设计的工程技术人员和研究人员撰写的,也可供上述相关专业的高年级学生和从事这方面教学、研究的教师与研究生参考,本书的出版将对他们提供十分有益的帮助。

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 电磁兼容性的内涵 .....	1
1.2 电磁兼容性研究的基本内容 .....	2
1.3 电磁干扰 .....	3
1.3.1 噪声源的分类 .....	3
1.3.2 噪声干扰的方式 .....	4
1.3.3 噪声干扰的传播途径 .....	4
1.3.4 电磁干扰的分类 .....	7
1.3.5 电磁干扰的危害 .....	8
1.4 电磁干扰抑制技术 .....	8
1.4.1 抑制干扰源 .....	8
1.4.2 切断电磁干扰耦合途径 .....	8
1.4.3 降低电磁敏感装置的敏感度 .....	10
1.5 一些典型电磁兼容性问题的解决 .....	11
<b>第 2 章 屏蔽技术</b> .....	13
2.1 干扰源场的性质分析 .....	13
2.1.1 电振荡 .....	13
2.1.2 磁振荡 .....	15
2.1.3 波阻抗 .....	16
2.2 电屏蔽 .....	17
2.2.1 电屏蔽原理 .....	17
2.2.2 电屏蔽体常见结构 .....	19
2.2.3 电屏蔽设计注意事项 .....	21
2.3 磁屏蔽 .....	21
2.3.1 磁场耦合干扰分析 .....	22
2.3.2 低频磁场的磁屏蔽 .....	22
2.3.3 高频磁场的磁屏蔽 .....	23
2.4 电磁屏蔽 .....	26
2.4.1 电磁屏蔽原理 .....	26
2.4.2 电磁屏蔽效能 .....	27

2.4.3 非理想屏蔽体的电磁泄漏及其防护措施	30
2.5 屏蔽设计的综合考虑	36
2.5.1 实际屏蔽效果的衡量	36
2.5.2 不同的干扰源采用不同的屏蔽方法	37
2.5.3 屏蔽材料的选择	37
<b>第3章 接地技术</b>	<b>39</b>
3.1 接地的目的	39
3.2 接地的方式	40
3.2.1 浮地	40
3.2.2 单点接地	41
3.2.3 多点接地	42
3.2.4 混合接地	43
3.2.5 大型复杂电子设备接地	44
3.3 地环路干扰及其抑制措施	46
3.3.1 减小地线阻抗和电流馈线阻抗	46
3.3.2 阻隔地环路干扰	47
3.4 屏蔽体接地	50
3.4.1 电缆屏蔽体接地	50
3.4.2 放大器屏蔽罩接地	52
<b>第4章 滤波技术</b>	<b>54</b>
4.1 概述	54
4.1.1 滤波器的定义	54
4.1.2 滤波器的技术指标	54
4.1.3 滤波器的种类	55
4.2 基本滤波器的设计	58
4.2.1 原型滤波器的设计步骤	58
4.2.2 巴特沃思低通滤波器的设计	59
4.2.3 巴特沃思高通滤波器的设计	62
4.3 无源滤波器的设计	64
4.3.1 滤波器元件	64
4.3.2 电源 EMI 滤波器	69
4.4 有源滤波器的设计	77
4.4.1 设计步骤	77
4.4.2 传递函数的设计	78
4.4.3 巴特沃思有源低通滤波器的设计	78
4.4.4 单片集成电路滤波器 MAX261 设计举例	83

<b>第 5 章 印制电路板和配线设计</b> .....	88
5.1 印制电路板的设计 .....	88
5.1.1 印制电路板种类的选择 .....	88
5.1.2 印制电路板尺寸的选择 .....	89
5.1.3 单、双层印制电路板的设计 .....	90
5.1.4 多层印制电路板的设计 .....	109
5.2 配线设计 .....	114
5.2.1 常用配线种类 .....	114
5.2.2 配线设计的方法 .....	115
<b>第 6 章 常用电子电路的电磁兼容性设计</b> .....	118
6.1 前置放大器、高频放大器、宽带放大器电磁兼容性设计 .....	118
6.1.1 前置放大器的传导干扰源 .....	118
6.1.2 放大器的电磁兼容性设计 .....	119
6.1.3 单元电路的抗干扰设计 .....	122
6.1.4 磁场干扰防护 .....	123
6.2 传感器接口电路的抗干扰技术及其应用 .....	123
6.2.1 传感器接口电路常见的干扰 .....	124
6.2.2 常见的抗干扰措施 .....	124
6.2.3 应用举例 .....	126
6.3 A/D 转换器的抗干扰技术 .....	127
6.3.1 对串模干扰的抑制措施 .....	127
6.3.2 对共模干扰的抑制措施 .....	127
6.3.3 采用光电耦合器解决 A/D、D/A 配置引入的多种干扰 .....	129
6.3.4 用软件法提高 A/D 转换器抗工频干扰的能力 .....	130
6.4 计算机接口电路的抗干扰技术 .....	130
6.4.1 多输入通道接口抗干扰电路 .....	131
6.4.2 接口电路抗脉冲干扰的措施 .....	131
6.5 计算机总线抗干扰措施 .....	132
6.5.1 采用三态门式的总线提高抗干扰能力 .....	132
6.5.2 总线接收端加斯密特电路作缓冲器抗干扰 .....	132
6.5.3 使总线克服瞬间不稳定的措施 .....	133
6.5.4 总线上数据冲突的防止措施 .....	133
<b>第 7 章 数字电路的电磁兼容性设计</b> .....	134
7.1 数字系统中电磁干扰的形式 .....	134
7.2 脉冲数字电路被干扰的一般情况 .....	134
7.2.1 数字波的特征 .....	134



7.2.2	数字波被干扰的现象 .....	135
7.2.3	脉冲数字电路干扰的抑制 .....	136
7.3	数字电路元器件的固有噪声容限 .....	136
7.3.1	数字电路元器件的噪声容限 .....	136
7.3.2	噪声容限的分类 .....	138
7.3.3	能量噪声容限 .....	139
7.3.4	噪声容限的估计 .....	140
7.3.5	不同种类器件间的接口 .....	141
7.4	传输线的反射干扰 .....	145
7.4.1	传输线的反射干扰及其造成的危害 .....	145
7.4.2	信号传输线的主要特性及阻抗匹配 .....	146
7.4.3	振铃现象的产生及抑制 .....	149
7.5	对传输信号的隔离 .....	150
7.5.1	隔离变压器 .....	151
7.5.2	光电耦合器 .....	151
7.5.3	继电器 .....	154
7.5.4	固体继电器(SSR) .....	154
7.5.5	可控硅 .....	154
7.5.6	光纤及光缆 .....	155
<b>第8章</b>	<b>高速电路的电磁兼容性设计 .....</b>	<b>156</b>
8.1	对高速电路设计的几点考虑 .....	156
8.1.1	时序配合考虑 .....	156
8.1.2	信号完整性考虑 .....	157
8.2	高速电路设计中的串扰问题及其对策 .....	158
8.2.1	容性串扰 .....	158
8.2.2	感性串扰 .....	159
8.2.3	解决串扰的措施 .....	161
8.3	高速电路 PCB 设计 .....	161
8.3.1	高速电路板的电源布线 .....	161
8.3.2	信号线的传输 .....	162
8.3.3	串扰 .....	164
8.3.4	电磁干扰 .....	164
8.4	超高速分频器设计 .....	165
8.4.1	基本设计原理 .....	165
8.4.2	PCB 板设计 .....	168
8.5	雷达终端高速电路系统工程实现中的抗干扰措施 .....	168
8.5.1	电路设计中电源、地网(层)消除干扰 .....	169
8.5.2	长线传输中反射干扰的产生及解决办法 .....	169

8.5.3	工程抑制干扰的其它办法 .....	171
<b>第9章</b>	<b>单片机系统的电磁兼容性设计 .....</b>	<b>172</b>
9.1	单片机系统的组成及各部分对干扰的反应 .....	172
9.1.1	单片机简化框图及管脚配置 .....	172
9.1.2	单片机最小系统 .....	174
9.1.3	单片机系统各部分对干扰的反应 .....	175
9.2	单片机主控系统抗干扰设计 .....	177
9.2.1	时钟电路设计 .....	177
9.2.2	复位电路设计 .....	178
9.2.3	看门狗(Watchdog)电路设计 .....	180
9.2.4	RAM数据保护电路设计 .....	183
9.2.5	总线可靠性设计 .....	188
9.2.6	合理配置芯片抗干扰设计 .....	190
9.3	单片机外围通道抗干扰设计 .....	193
9.3.1	模拟量通道抗干扰设计 .....	193
9.3.2	数字通道抗干扰设计 .....	195
9.3.3	执行机构抗干扰设计 .....	198
9.3.4	传输线的抗干扰设计 .....	199
9.4	电源抗干扰设计 .....	201
9.4.1	采用滤波和屏蔽供电 .....	201
9.4.2	采用交流稳压及隔离供电 .....	201
9.4.3	采用串连开关式稳压电源 .....	202
9.4.4	整流后加多级滤波供电 .....	202
9.4.5	采用分散独立的集成电路模块供电 .....	202
9.4.6	采用高抗干扰稳压电源及干扰抑制器 .....	203
9.4.7	电源抗干扰综合设计举例 .....	203
9.5	接地抗干扰设计 .....	204
9.5.1	一点接地和多点接地 .....	204
9.5.2	数字地和模拟地的连接原则 .....	204
9.5.3	印制电路板的地线分布 .....	205
9.5.4	信号地的连接 .....	205
9.6	印制电路板抗干扰设计 .....	205
9.6.1	印制电路板上器件的布局 .....	205
9.6.2	印制电路板的可靠性设计 .....	206
9.6.3	电源线和地线的布置 .....	206
9.6.4	去耦 .....	206
9.7	软件抗干扰设计 .....	206
9.7.1	系统自诊断程序设计 .....	206

9.7.2	指令冗余设计 .....	208
9.7.3	软件陷阱设计 .....	208
9.7.4	软件“看门狗” .....	211
9.7.5	RAM 数据保护的软件设计 .....	211
9.7.6	睡眠抗干扰设计 .....	212
9.7.7	开关量软件抗干扰设计 .....	212
9.7.8	数字滤波 .....	212
<b>第 10 章 电磁兼容技术在现代电子系统中的应用 .....</b>		<b>216</b>
10.1	机载 PD 雷达接收机电磁兼容性设计 .....	216
10.1.1	接收机简述及原理框图 .....	216
10.1.2	系统内电磁干扰问题存在的因素 .....	217
10.1.3	机载 PD 雷达 LPRF 电磁兼容性设计方法和原则 .....	219
10.1.4	设计中应注意的几个问题 .....	221
10.2	数字 AV 产品的电磁兼容性设计 .....	222
10.2.1	数字 AV 产品的特点 .....	222
10.2.2	数字电路的常见干扰噪声 .....	222
10.2.3	电源和地线噪声的抑制 .....	223
10.2.4	反射干扰噪声的抑制 .....	225
10.2.5	数字信号的串扰抑制 .....	227
10.2.6	数字信号处理系统的电磁兼容性设计 .....	228
10.2.7	电源电路的抗干扰措施 .....	229
10.3	高精度雷达频率源的电磁兼容性设计 .....	231
10.3.1	简介 .....	231
10.3.2	工艺的重要性 .....	231
10.3.3	电性能工艺 .....	231
10.3.4	接地的工艺 .....	232
10.3.5	结构工艺 .....	233
10.3.6	电磁兼容问题 .....	237
10.4	计算机的电磁干扰及抑制 .....	237
10.4.1	来自计算机内的电磁干扰 .....	237
10.4.2	来自外部的电磁干扰 .....	238
10.4.3	计算机内电磁干扰的耦合形式 .....	241
10.4.4	计算机内的干扰抑制 .....	242
10.4.5	接地和电源 .....	243
10.5	卫星电磁兼容性设计技术 .....	245
10.5.1	接地设计 .....	245
10.5.2	搭接设计 .....	248
10.5.3	屏蔽设计 .....	250

10.5.4 接口设备 .....	252
10.6 现代舰船的电磁干扰和电磁兼容 .....	254
10.6.1 电磁干扰的危害和电磁环境的恶化 .....	254
10.6.2 舰船潜在的干扰危害领域及抑制干扰措施 .....	255
10.6.3 现代舰船电磁兼容技术举例 .....	257
10.6.4 电磁兼容技术的发展方向 .....	259
<b>附录 电磁兼容名词术语 .....</b>	<b>261</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>267</b>

# 第 1 章

## 概 述

电和磁是客观联系在一起的。每当一个电子系统(设备)产生时,磁就结伴而来,电磁干扰就不可避免。随着现代科学技术的发展和人民生活水平的提高,现代电子系统(设备)的数量及种类不断增加,空间电磁环境日益复杂。为了提高电子系统(设备)的电磁兼容能力,必须从开始设计时就给予足够的重视。要充分分析该设备可能存在的电磁干扰源及性质、电磁干扰可能的传播途径及易接收电磁干扰的部件。从而在设计时采取相应的对策,以尽可能消除可能出现的电磁干扰,减轻调试工作的压力。在调试工作中,针对具体出现的电磁干扰,从接收电磁干扰的电路和元器件的表现,分析出电磁干扰源以及电磁干扰可能传播的途径,再采取合适的解决办法。这一过程要求工作人员会科学的分析,仔细的工作,并有足够的耐心。通过本章内容的学习,读者会对电磁兼容性的内涵、研究的基本内容、电磁干扰及其抑制技术有概念性的了解。

### 1.1 电磁兼容性的内涵

EMC(Electromagnetic Compatibility)对于设备或系统的指标来说,直译为“电磁兼容性”,但作为一门学科来说,应该译为“电磁兼容”。电磁兼容是研究在有限的空间、时间和频谱资源等条件下,各种用电设备(广义的还包括生物体)可以共存,并不致引起降级的一门学科,它的范围已不仅限于设备与设备之间的问题,而进一步涉及到人类本身,是一门正在迅速发展的综合性边缘交叉学科。EMC 属于一个涉及多种学科的新兴科学领域,目前已发展成为一门独立的学科,其核心仍然是电磁波,它的理论基础涉及数字技术、无线电电子学、微电子学、电磁场理论、电路理论、微波理论与技术、天线与电波传播、通信理论、材料学、机械工艺学、计算机与控制理论、核物理学、生物医学以及法学与社会学等内容。一些新技术领域还会对 EMC 提出新的挑战,比如新材料、新器件、生物工程、数字成像技术、新能源、高密度数据存储、计算机技术及其应用、神经网络、自适应过程控制、人工智能(AI)及模糊逻辑控制等。现代电子设备与当今日趋复杂的电磁环境已构成一对难舍难分的孪生兄弟。电子设备愈现代化,其所造成的电磁环境便愈复杂;反之,复杂的电磁环境又对电子设备提出更为严峻的要求。迄今,EMC 已成为国内外颇为瞩目的发展迅速的学科,预计本世纪还将会有更为迅猛的发展。

所谓电子设备的电磁兼容性,是指电子设备在预定的电磁环境中,能按一定设计要求正常工作的性能或能力。其内涵包括如下三点:①在给定电磁环境中,电子设备具有

抵御预定电磁干扰的能力,并能留有一定安全余量;②电子设备不能产生超过规定限度的电磁干扰;③电子设备可按设计的技术要求完成其预定功能使命。这种对电磁环境进行设计的新兴学科便是电磁兼容学。从上述内涵可看出,EMC概念较以往的抗干扰概念又进了一步,它不仅要求电子设备能抵御外来干扰,还要求电子设备不产生超过允许值的干扰,该“允许值”由EMC标准和规范给定。EMC的研究与发展,为“净化”电磁环境提供了科学的方法。实际上,“电磁兼容”是指电子设备的一种工作状态,在此种状态下,它们不会因内部和设备之间存在的电磁干扰而影响其正常工作,称此种状态为共存态。

电磁兼容性主要包括:电磁环境应是给定的或是可预期的;设备、分系统和系统不应产生超过标准和规范所规定的电磁骚扰发射(EMI)限值的要求;电磁骚扰发射就是从骚扰源向外发出电磁骚扰能量的现象,它是引起电磁骚扰的原因;设备、分系统和系统承受电磁干扰的能力,即抗干扰裕度进行分析计算和试验测定。

这就要求对电子设备所处的电磁环境进行评估,要研究电磁干扰源的特性及干扰传播途径,估算和测定出现有环境条件下可能出现的最大干扰强度,在此基础上,采取必要的措施抑制干扰源或者阻断干扰源的传播途径,使干扰强度不至于影响整个系统或设备的正常工作。

后者要求对可能受干扰影响的设备的抗干扰能力作出评价,利用分析计算方法或者试验测量求得设备承受电磁干扰的极限值和噪声敏感度,提高信噪比。

抗电磁干扰设计要求对上述三方面内容进行比较权衡,寻求效果最佳而成本最低的方案。电磁兼容性设计要求可用下列不等式来说明:

$$\text{干扰源强度} \times \text{传播衰减因子} < \text{设备抗干扰能力}$$

其称为“电磁兼容性不等式”,式中的三个因素可以分别或同时采取措施,使不等式成立。电磁兼容性设计就是要减小不等式左边两个因子,提高不等式右边的能力(即降低设备对干扰的敏感度),并使效果最佳而代价最小。

## 1.2 电磁兼容性研究的基本内容

### 1. 电磁干扰特性及其传播方式的研究

人们为了控制电磁干扰,就得弄清干扰的特性和它的传播方式。如根据干扰频谱分布可以了解干扰特性是属于窄带还是宽带的;根据作用的时间可以把干扰分成连续的、间歇的或是瞬变的;按传播方式可分为传导、辐射、敏感或共地阻抗耦合等几类。

### 2. 电磁兼容频谱利用的研究

无线电频谱是一个有限的资源,目前世界上频谱污染问题已相当严重,如何合理地利用无线电频谱,防止频谱污染,消除电磁干扰的危害,预防电子系统之间和系统设备间的相互干扰,已引起人们的高度重视。

### 3. 电磁兼容性规范、标准的研究

电磁兼容性规范、标准是电磁兼容性设计的主要依据。通过指定规范、标准来控制电子系统或设备电磁发射和敏感度,从而使系统和设备相互干扰的可能性大大下降,达到防患于未然。

#### 4. 电磁兼容性测试和模拟技术的研究

由于电磁环境很复杂,频率范围宽广,干扰特性又各不相同,电磁兼容性测试不但项目繁多,而且还在不断地深化和扩展之中。这就要求不断改进和完善测试技术,研制适合于电磁兼容性测试用的各种模拟源和检测设备。

### 1.3 电磁干扰

所谓电磁干扰是指由无用信号或电磁骚扰(噪声)对有用电磁信号的接收或传输所造成的损害。而电磁噪声是指不同于任何信号的电磁现象,它通常是脉动的或随机的,也可以是周期的。

电磁骚扰(EMD, Electromagnetic Disturbance)是指可能引起装置、设备或系统性能降低或对有生命、无生命物质产生损害作用的电磁现象。电磁骚扰主要是电磁噪声,也可能是有用的电磁能量信号。另外,电磁能量传播媒介自身的变化(多指劣变)也属于电磁骚扰。

电磁干扰(EMI, Electromagnetic Interference)是指由于电磁骚扰引起的设备、系统或传播通道的性能下降。电磁辐射、微波泄漏对人体的伤害是电磁干扰的特例。

电磁干扰由干扰源、被干扰的敏感设备及耦合通道三要素组成。

#### 1.3.1 噪声源的分类

从作用时间来分:长期起作用的为连续噪声;短期起作用的为间歇噪声;偶然单次开关切换、时间很短且非周期作用的为瞬变噪声。

从频域来分,电磁噪声可简单分为低频噪声和高频噪声;宽带噪声和窄带噪声。

从时域来分,电磁噪声又可分为脉冲噪声、连续噪声、脉冲噪声与连续噪声叠加噪声、随机噪声等。

以噪声产生的原因来分类,有内部噪声和外部噪声。

内部噪声是指检测仪表和装置内部和器件本身产生的噪声,常见的有:热噪声、散粒噪声、感应噪声、交流噪声、振荡噪声、反射噪声等。

外部噪声是指从外部侵入检测仪表和装置的噪声,主要有自然噪声和人为噪声。

自然噪声有大气噪声、太阳噪声、宇宙噪声。包括地球上各处雷雨、闪电产生的天电噪声,太阳黑子爆炸和活动产生的噪声以及银河系的宇宙噪声。天电噪声的能谱主要集中在 20MHz 以下,即对在 20MHz 以下工作的电子设备影响较大,宇宙噪声的能谱在 20MHz ~ 500MHz 频率范围内,所以它主要影响工作在该频率范围内的电子设备。

天电干扰是有季节性和区域性的,一般在夏季和热带区域尤为严重。由于雷电的强度很大,所以即使远离雷电区,其干扰场强仍相当可观。地球上平均每秒发生的闪电约有 100 次,这些闪电在时间上往往是重叠的。遥远的雷电产生的干扰认为是波动的,邻近的雷电干扰则是脉冲型的,一般天电干扰属准脉冲型。

人为噪声有放电噪声、高频噪声、工频噪声、辐射噪声。其中,工频噪声是电力输送配电路、工频电源的工频感应、静电感应、电磁感应、大地漏电流等形成的噪声,它对于检测仪表是威力很大的干扰;而辐射噪声是由于大功率发射、接收装置等产生的噪声,通过辐射和通过电源线会给电子测量装置造成很大的干扰。

噪声源的分类如图 1-1 所示。随着科学技术和生产力的发展及人民生活水平的提高,人为干扰源的种类不断增加,所产生的电磁干扰对环境的污染日益严重。当前,人为干扰源已成为电磁环境电平的主要来源。

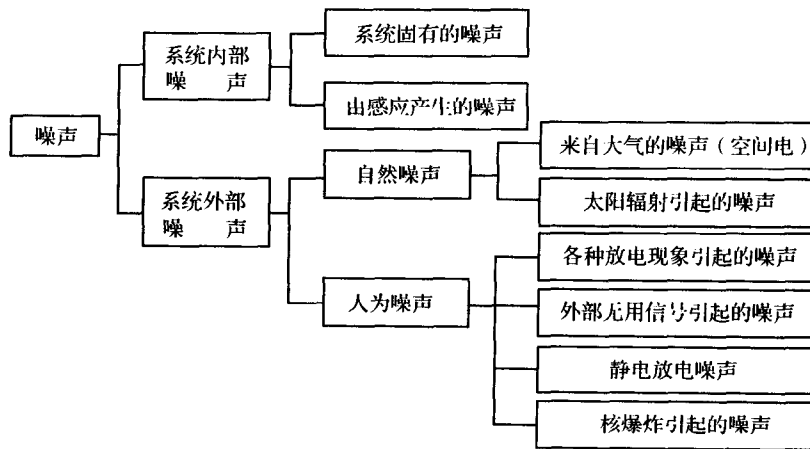


图 1-1 噪声源的分类

电磁环境电平在不同的时间和地区是不同的。白天比晚上强,城市比乡村强,城市中的工业区比住宅区强。为了控制电磁环境电平,就必须制定各种标准和规范,对人为干扰源的发射功率进行限制。

### 1.3.2 噪声干扰的方式

根据噪声进入测量电路的方式及与有用信号的关系,可将噪声干扰分为差模干扰和共模干扰。

#### 1. 差模干扰

差模干扰是由于检测仪表的一个信号输入端相对于另一个信号输入端的电位差发生变化而产生的干扰,即干扰信号与有用信号叠加在一起,直接作用于输入端,因此,它直接影响测量结果。

#### 2. 共模干扰

共模干扰是相对于公共的电位基点(通常为接地点)在检测仪表的两个输入端上同时出现的干扰。虽然这种干扰不直接影响测量结果,但是,当信号输入电路参数不对称时,共模干扰就会转化为差模干扰,对测量结果产生影响。

在实际测量中,由于共模干扰的电压值一般都比较大大,而且其耦合机理和耦合电路也比较复杂,排除较为困难,所以,共模干扰比差模干扰对测量的影响更为严重。

### 1.3.3 噪声干扰的传播途径

噪声耦合方式有传导耦合和辐射耦合两大类,有些噪声可通过传导和辐射两种途径传输,如图 1-2 所示。典型的电磁干扰传播途径如图 1-3 所示。一般以传导和辐射两种方式传输。但由于电磁环境十分复杂,实际的干扰往往是复合情况,如图 1-4 所示。就某一设备而言,电磁干扰的通道可以如图 1-5 所示。



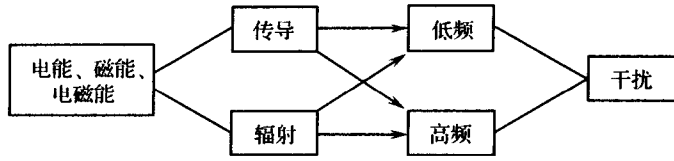


图 1-2 干扰的产生

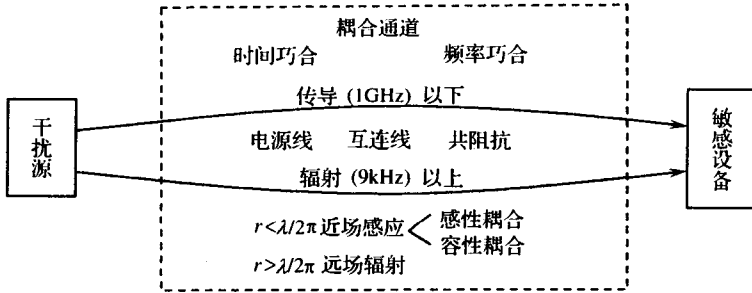


图 1-3 电磁干扰的传播途径

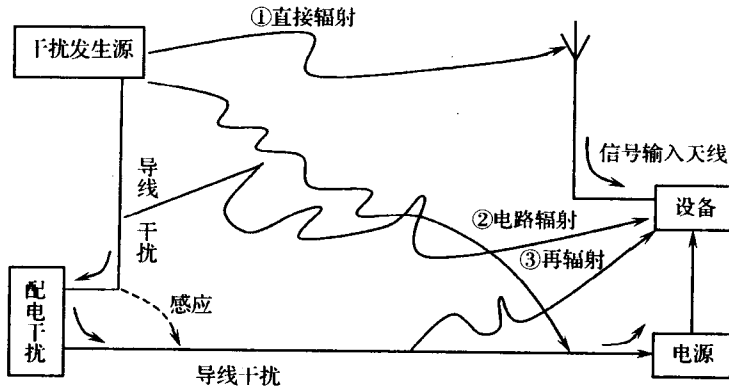


图 1-4 干扰传输途径——复合干扰

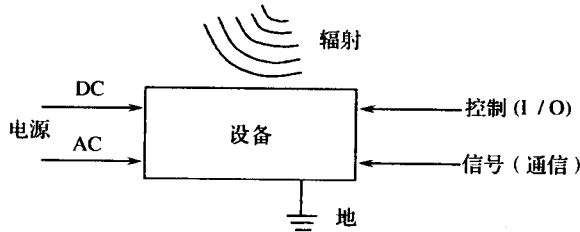


图 1-5 单一设备的干扰通道

1. 传导耦合

沿电源线或信号线传输的电磁耦合称为传导耦合。电子系统内各设备之间或电子设备内各单元电路之间存在各种连线。如电源线、传递信号的导线以及公用地线等,这样就