

电子机械工程设计手册

电磁兼容性设计分册



电子工业出版社

内 容 提 要

本书是《电子机械工程设计手册》的一个分册，着重于叙述电磁兼容性结构设计方面的内容。

本书共分七章：第一章叙述电磁干扰的分类、耦合及抑制途径；第二章叙述由于电容性耦合、电感性耦合、辐射耦合引起干扰的计算方法；第三章以抑制电磁干扰为目的，对元器件的布局及布线原则进行介绍；第四章叙述电屏蔽、磁屏蔽及电磁屏蔽的屏蔽效能计算；第五章叙述减少泄漏维护屏蔽结构完整性的设计方法；第六章叙述接地和搭接的要求，断开地环路的方法及屏蔽体接地的一般原则；第七章叙述电磁干扰测试的基础条件和测试方法。

电子机械工程设计手册

——电磁兼容性设计分册

总编辑：周文盛 黄祖荫

责任编辑：李继东 席文秀

电子工业出版社出版（北京海淀区万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国电波传播印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/16 印张：17.75 字数：443千字

1987年10月第一版 1987年10月 第一次印刷

印数：1—10,000册 定价：4.10元

统一书号：15290·645



前 言

电磁兼容性逐渐成为一门学科,是由于现代化的高功能的电子系统中的电路密集程度不断增加,电磁兼容性问题日益突出。在我国普遍应用“电磁兼容性”这个术语,还是近些年的事。今天,由于电子设备品种日益增多,性能日益提高,频率的使用越来越拥挤,电子信息的泄放功率密度增大,接收机灵敏度提高,对电磁兼容性的研究也就日益迫切和重要。

近几年来中国造船工程学会、邮电、机械、航空及电子等部门陆续发表了大量有关电磁兼容性方面的论文、译文、规范等文献资料;如“海军电子设备设计建议书”、“电磁干扰规范、标准和条例”、“舰船电磁兼容性建议书”、“军用设备和分系统电磁发射和敏感性要求”等。各兄弟部门的辛勤劳动极大地丰富和推动了我国电磁兼容性学科的发展,也为本分册从定性和定量两个方面提供了珍贵的资料。

电磁兼容性设计包括结构设计和电路设计两方面,本分册是“电子机械工程设计手册”的一个分册,偏重于结构设计方面。但在实际工作中,常常是结构上的电磁兼容性设计和电路上的干扰抑制计算交错重迭,故两者的关系不能严格分开,而是相互结合,相辅相成。

本分册内容由七章正文及技术术语、文字符号组成。它从分析引起电磁干扰的三个要素着手,继而叙述抑制电磁干扰的三个基本方法,简要地叙述了设计原理,并为读者提供了图表公式及设计举例等资料。

第一章叙述了电磁干扰的分类、影响、耦合及抑制途径,介绍了我国在电磁兼容性结构设计方面进行研究的几个特点;第二章叙述了由于电容性耦合、电感性耦合、辐射耦合引起干扰的计算方法及图表曲线,介绍了传导耦合及滤波器;第三章以抑制电磁干扰为目的,对元器件的布置和安装作了介绍,列举了一些实例及计算公式;第四章叙述了电屏蔽、磁屏蔽及电磁屏蔽的屏蔽效能计算、举例等,大量资料说明:一个屏蔽体的屏蔽效能,不单是取决于屏蔽体本身的屏蔽性能,并且是取决于因为屏蔽体结构和工艺的需要或于通风散热、防冲击振动、密封、电路设计等原因所形成的一系列因素造成的总效应;第五章叙述了减少泄漏效应提高屏蔽效能的设计方法;第六章叙述了接地和搭接的要求及阻抗计算,信号地线的接地方式,断开地环路的方法及屏蔽体接地的一般原则;第七章叙述了电磁干扰测试的基础条件和测试方法,引用了我国军标和美国军标中有关内容。

本书各章节的编写人是:第一章 袁始、阮兴华,第二章 吕大齐,第三章 赵华庆,第四章 吕大齐,第五章 刘妙兰,第六章 钟代琼、杜兴义,第七章 赵华庆、阮兴华。封面设计陈孝松。

由于编者水平低、编写时间短,本分册难免有缺点和错误,请广大读者批评指正。

本分册在收集资料和编写过程中得到各部门有关厂、所及有关同志大力协助,在此一并表示衷心的感谢。

电子工业部雷达工业管理局
电子机械工程设计手册编委会
一九八六年十一月

文 字 符 号

A	吸收损耗	K_{fe}	远端干扰系数
a	正方形边长	L	电感、自感
B	磁感应强度、磁通密度、多次反 射修正系数	L_d	分布电感
b	宽度	$l(l)$	长度
C	电容	M	互感
C_d	分布电容、耦合电容	M_d	分布互感
C_s	干扰源对地电容(静电电容)	N	匝数
C_{SR}	干扰源与接收器之间耦合电容	N_{ep}	防卫度(即抗干扰能力)
D	导线间距、打孔板孔中心距	n	孔数
D_d	抗干扰能力	P	功率
d	直径	P_m	平均功率
E	电动势、电场强度(E——矢量)	P_p	峰值功率
e_i	感应电势	p	压力
F	力	Q	电量、电荷
F_m	磁通势	R	电阻、反射损耗
f	频率	R_e	近区电场反射损耗
f_c	截止频率	R_m	近区磁场反射损耗、磁阻
f_r	共振频率	R_p	平面波反射损耗
G、A	增益	R_{DC}	直流电阻
H	磁场强度(H——矢量)	R_{AC}	交流电阻
h	高度	r	半径、接收器至源的距离
I	电流	S	屏蔽效能、面积
I	感生电流	T	传输系数
I_s	干扰源电流(干扰电流、源电流)	t	时间、厚度、温度
I_{DC}	直流电流	t_r	传输前沿上升时间
I_{AC}	交流电流	t_e	传输线延迟时间
I_G	地电流	V	电压
I_L	负载电流	V_i	感生电压
J	磁极化强度	V_s	干扰源电压(干扰电压、源电 压)
j	磁偶极矩、复数单位矢量	V_{ss}	次级干扰源电压(即由 V_s 引起但 起干扰源作用的某物体的电压)
K_{ne}	干扰系数	V_{re}	近端干扰电压
K_{ne}	近端干扰系数		

V_{fe}	远端干扰电压	γ, ν	传输常数
V_{DC}	直流电压	δ	趋肤深度、减幅常数
V_{AC}	交流电压	ϵ	介电常数
V_C	耦合电压	ϵ_0	真空介电常数
V_G	地电压	ϵ_r	相对介电常数
V_L	负载电压	η	屏蔽系数、效率
W	功、能	θ	平面角
X	电抗	λ	波长
X_C	容抗	μ	磁导率
X_L	感抗	μ_0	真空磁导率
Z	阻抗	μ_r	相对磁导率
Z_L	负载阻抗	ρ	电阻率
Z_0	特性阻抗	ρ_s	表面电阻率 ($\Omega/\square$)
Z_S	屏蔽阻抗	σ	电导率
Z_T	转移阻抗	σ_r	相对电导率
Z_w	波阻抗	Φ	磁通量
Z_{wc}	高阻抗场近区波阻抗	φ	相位角
Z_{wm}	低阻抗场近区波阻抗	Ω	立体角
α	衰减常数	ω	角频率
β	相位常数	ω_c	截止角频率

目 录

前言	
文字符号	(— 7 —)
1. 概述	(1)
1.1 电磁干扰的分类	(2)
系统内部的干扰 系统之间的干扰 其它分类方法及电磁波频谱	
1.2 引起电磁干扰的三个要素及其耦合途径分类	(7)
引起电磁干扰的三要素 辐射和传导	
1.3 电磁干扰的影响和原因	(7)
电磁干扰的后果 系统内部和系统之间发生干扰的原因 卫星地面站收发电路受微波电路干扰 典型设备的干扰特点	
1.4 电磁兼容性实践	(13)
1.5 我国研究电磁兼容性的几个特点	(15)
参考资料	(15)
2. 电磁干扰的耦合途径	(16)
2.1 电容性耦合	(16)
感生电压计算 确定电容量 导线感生电压的确定 影响感生电压的因素	
2.2 电感性耦合	(23)
感应电势计算 确定互感量 电感元件引起的干扰 导线感应电势计算 影响感应(e_i)电势的因素	
2.3 电磁辐射耦合	(35)
场分布 近区场和远区场 电磁场性质 考虑电磁耦合的几条原则	
2.4 传导耦合	(43)
传导耦合 滤波器	
参考资料	(47)
3. 元器件布局与布线	(50)
3.1 元器件的布局	(50)
高频放大器布局 推挽电路、桥式电路布局 电感器、变压器布局 强干扰源与敏感电路布局 滤波器布局 印制板上元器件布置 印制板分块原则	
3.2 布线	(55)
布线原则 双绞线及其应用 导线直径的选择 导线的选用 元器件的安装及接线技术	
3.3 印制电路板的设计	(71)
印制导线的电感及线间分布电容 信号线间的串扰 几种抗干扰较好的	

设计型式 印制电路板的典型结构 提高抗干扰能力的几点措施 印制
电路板插座的引线

参考资料	(83)
4. 屏蔽原理及屏蔽设计	(84)
4.1 屏蔽的分类	(84)
按干扰场的性质不同分类 按屏蔽对象不同分类	
4.2 电屏蔽	(85)
电屏蔽原理 接收器的电屏蔽 导线的电屏蔽 电屏蔽效果	
4.3 磁屏蔽	(91)
低频磁屏蔽 射频磁场屏蔽 用良导体做导线磁屏蔽体 用高磁导率材料做导线磁屏蔽体 如何选择导线磁屏蔽的方式	
4.4 电磁屏蔽	(101)
主动电磁屏蔽和被动电磁屏蔽 防止屏蔽体空腔谐振	
4.5 用场的分析方法来估算理想屏蔽体的屏蔽效能	(102)
屏蔽阻抗 (Z_s) 金属板的屏蔽效能 金属网的屏蔽效能 金属网屏蔽效能测试数据和曲线图	
4.6 实际屏蔽体的屏蔽效能	(133)
非均匀屏蔽理论及算法 孔洞缝隙因素的简易算法	
4.7 屏蔽设计步骤	(151)
4.8 屏蔽体用材料选择原则	(152)
电场屏蔽材料选择原则 磁场屏蔽材料选择原则 电磁屏蔽材料选择原则	
参考资料	(154)
5. 屏蔽结构完整性及其形式	(155)
5.1 屏蔽结构完整性及防护	(155)
屏蔽体的接触面和缝 屏蔽体上各种孔洞 屏蔽体之间的连接线	
5.2 导电衬垫	(167)
衬垫的作用 导电衬垫的种类和材料 衬垫的选择和安装	
5.3 导电粘合剂和密封剂	(174)
导电胶 导电腻子 导电润滑脂	
5.4 电屏蔽结构	(174)
电屏蔽结构设计的注意事项 多级放大器的电屏蔽 变压器初次级绕组间的电屏蔽	
5.5 低频磁屏蔽结构	(176)
低频磁屏蔽结构设计注意事项 低频变压器的磁屏蔽 电子束管的磁屏蔽	
5.6 电磁屏蔽结构	(179)
电磁屏蔽结构设计注意事项 高频线圈的电磁屏蔽 开关电源的电磁屏蔽	

5.7	屏蔽结构形式	(182)
	屏蔽板 屏蔽盒、罩 屏蔽机箱和屏蔽台式设备 屏蔽机柜	
	参考资料	(192)
6.	接地和搭接	(193)
6.1	概述	(193)
	接地、接大地 接地的目的 接地的分类	
6.2	接地面和接地面的阻抗	(194)
	接地面 接地面的阻抗 接地面选用原则	
6.3	安全接地	(208)
	安全接地在绝缘击穿时的作用和接法举例 安全接地在电子设备受到雷击时的作用 电子设备的安全接地	
6.4	接地线的接地方式	(210)
	接地方式的选择 单点接地 多点接地 混合接地 悬浮接地	
6.5	电子设备的接地	(214)
	对电子设备接地的要求 低频设备的接地 高频设备的接地 测试设备的接地	
6.6	断开地环路的接地方法	(218)
	地环路的形成及其危害 使用隔离变压器 使用中和变压器 使用光电耦合器 使用差分放大器	
6.7	屏蔽体接地	(223)
	接地与屏蔽的关系 屏蔽体接地的一般原则	
6.8	搭接	(226)
	搭接的目的和对搭接的要求 搭接的电阻 搭接的分类 搭接跨线(条) 搭接应用原则 搭接应用实例 搭接中的腐蚀	
	参考资料	(235)
7.	电磁干扰的测试方法	(237)
7.1	电磁干扰测试的基本概念	(237)
	电磁干扰测试的作用 电磁干扰的测试内容 电磁干扰测量仪	
7.2	测试条件、设备及要求	(242)
	测试条件 测试设备 测试设备的使用 测试天线的布置 测试频率 窄带发射与宽带发射的判别 试样的布置和操作	
7.3	测试方法	(250)
	电源线的传导发射测试方法(CE01, 30Hz~15kHz)	(250)
	控制线和信号线的传导发射测试方法(CE02, 30Hz~20kHz)	(251)
	电源线的传导发射测试方法(阻抗稳定网络法, 0.15~65MHz)	(253)
	电源线传导敏感度测试方法(CS01, 30Hz~50kHz)	(255)
	电源线传导敏感度测试方法(CS02, 50kHz~400MHz)	(256)
	电源线传导敏感度测试方法(阻抗稳定网络法, 0.15~65MHz)	(257)

磁场辐射发射测试方法 (RE01, 30Hz~30kHz)	(257)
电场辐射发射测试方法 (RE02, UM04, UM05, 14kHz~10GHz) ...	(258)
磁场辐射敏感度测试方法 (RS01, 30Hz~30kHz)	(260)
电场辐射敏感度测试方法 (RS03, 14kHz~40GHz)	(262)
辐射敏感度测试方法 (平行板带状线法, RS04, 14kHz~30MHz)	(263)
屏蔽体的屏蔽效能测试	(266)
参考资料	(272)

附录

电磁兼容性常用技术术语	(273)
-------------------	---------

第一章 概 述

任何电子设备、系统都处在一定的电磁环境中，它们要在这样的环境中正常工作，同时又不致于因为它本身的寄生发射或电磁泄漏而污染电磁环境，影响其他电子设备、系统的正常工作。设备和系统具有这种适应能力，即可认为它具有电磁兼容性。

在研制电子设备和系统的过程中，应该考虑它在实际工作场所可能遇到的最严酷的电磁环境。不少设备和系统工作在飞机、舰船的舱室或坑道内，这些场所不仅地方窄小，而且布有许多其他设备。为了保证各个设备和系统都能正常工作，必须对它们提出严格的电磁兼容性设计要求。在电路上除了要限制发射机的谐波发射和寄生发射外，还要提高接收机的选择性，提高接收机抗高电平干扰、抗镜频、中频和交调干扰的能力，并对电源线滤波。此外，在结构上还应该采取一系列措施，如合理布设地网、正确选择接地平面、提高屏蔽体的屏蔽效能和合理布设线缆等，以尽量降低设备向外的电磁辐射和降低接收外来辐射干扰的敏感度。如果事先缺乏对电磁兼容性问题的系统考虑和设计，就可能使一些设备和系统在实用中发生分机、组合、单元之间的相互干扰。即使一时排除了这些故障，还可能因缺乏系统电磁兼容性设计，而不断发生其他的相互干扰。为了消除这些干扰，有时不得不对设备或分机进行大改动而付出高昂的代价。例如某大型超远程警戒雷达因接地网设计不当，引起地电流，由于共阻抗干扰而使雷达不能正常工作。某卫星导弹测量系统因事前未作电磁兼容性设计，受到400Hz寄生调制干扰，使该系统不能保精度进行测量。虽然这些干扰最终都已排除，但是有的问题是花了很大代价才解决的。由此可见，对设备和系统的电磁兼容性设计必须引起足够重视。

在实际工作中，设备和系统所涉及到的主要电磁参数有：频率，功率密度，脉冲宽度，脉冲重复频率，天线极化型式，天线增益，天线扫描速度，发射度（指由能源辐射的每单位面积的功率）等。在设计之前要分析这些参数并从电路总体设计上采取措施，如合理分配各部分的频率，选择适当的调制体制、抗干扰电路、频率捷变等。与此同时，在具体电路和结构设计上要进一步采取滤波、屏蔽、搭接、吸收、接地等措施。如对设备内的强干扰源要有效地加以屏蔽和对其进出线缆要滤波和接地；对敏感元器件首先要选择烧毁功率高、抗干扰能力强（不易饱和）的元器件，并在实际电路中给予适当保护（如对其输入信号进行滤波、限幅或钳位）并对其电路实行屏蔽、滤波和接地。设备内的高、低电平电路应该隔开，高、低电平线缆应该分开捆扎敷设，屏蔽电缆应正确接地，进出面板的控制旋钮、指示电表和孔洞都要采取去耦措施。

总之，在电磁兼容性设计中，从总体设计、具体电路设计到结构设计，方法很多，只要方法得当，设备和系统的电磁干扰问题都能得到比较好的解决。一九八四年我国颁布了“军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求(初稿)”，它规定了对各种设备、分系统的具体的电磁兼容性要求，自此以后，所有的军用电子产品必须按这个要求进行研究、设计、定型和生产。关于民用电子产品，必须按有关的国内和国际标准规定的电磁兼容性要求进行设计和生产。

本分册属于电子机械工程范畴，因此它着重叙述有关结构设计的电磁兼容性方面的内

容。至于电路设计方面的问题，请参阅有关专题论著、刊物和手册。

1.1 电磁干扰的分类

电磁干扰可分为两类，一类是设备、系统内部某电路、单元或分机对其他部分的干扰。例如设计不良的单录机电机或走带噪声对录、放音电路产生的调制干扰；发射机对接收机的干扰等，这种干扰属于系统内部干扰。另一类是来自本设备、系统之外的干扰，它通过电磁辐射、电或磁的耦合、传导耦合对本设备、系统产生干扰，这种干扰属于系统之间的干扰。这里所指的设备、系统是包括设备、系统的主机部分，全部外围设备，辅助设备。

1.1.1 系统内部的干扰

系统内部干扰有：热噪声，机电转换接触噪声，高频电缆在机械振动下产生的电噪声，通过分布电容、互感和电磁辐射产生的干扰等。

1.1.2 系统之间的干扰

系统之间干扰有：各种自然电气噪声（见表1.1），人为电气噪声（见表1.2）等。

1.1.3 其它分类方法及电磁波频谱

我们将系统内部干扰和系统间的干扰按干扰原理分类，列于表1.3。

其他还有按传输途径分类（见本章第1.2节和第二章，参见表1.4），按频谱分类（见图1.1）。

表1.1 自然电气噪声

大气噪声	大气中火花放电噪声。雷电是经常遇到的，它从较低频率（数千赫芝）到VHF射频段（30~300MHz）或更高的频段内产生干扰，并能传播相当远的距离。雷电效应不仅仅限于大气的电离，当满足一定条件时将发生电荷的贮集，其分布和低气压、台风、吹雪、火山喷烟、黄砂等有关。因此，在大气中，接收器所处地点和季节不同时，受到的大气噪声干扰的强度和频率是不一样的，其中通过赤道线和热带地区的短波通信常常受到较大的干扰。
太阳噪声	系由太阳黑体发射电磁波造成干扰。当太阳中黑点活动激烈时，将产生比平时高数千倍的强烈噪声，这种被称为磁暴的电磁波，会使无线电通信受到干扰。
宇宙噪声	系由银河系统发射的银河噪声，尚未找到确切的发出机体。在原理上有宇宙空间电子自由转移说和银河系恒星的爆发现象说等。

表1.2 人为电气噪声

分 类		干 扰 产 生 原 因	干 扰 产 生 装 置
小型电气设备（家用电器）	有接触对的电气设备	电噪声 （火花放电）	有接触对的开关，继电器，电磁阀，电冰箱，空调机，电熨斗，电褥子，电动计算机
	带整流子的电动机	电噪声 （火花放电，接触噪声）	医用电气设备，牙科用电动机，电清扫器，电钻，缝纫电动机，电动搅拌器，电动剃刀

续表1.2

分 类		干 扰 产 生 原 因	干 扰 产 生 装 置
	放电管	辉光放电	荧光灯, 高压水银灯, 氙放电管
	半导体控制设备	相位控制噪声 (过渡噪声)	可控硅调光器, 倒向电路
	工业作高频设备	电噪声*	高频加热器, 高频电焊机, 电子发射装置
高频设备	医疗用高频设备	电噪声*	VHF医疗设备, UHF 医疗设备, 电气仪表
	超声波设备	电噪声*	探伤设备, 测深设备, 鱼群探测器, 超声波清洗机
电力设备	电力线 (馈线)	高电压, 大电流	工频感应(静电感应, 电磁感应, 地电流干扰)
		电噪声 (火花放电, 电晕放电)	电晕噪声, 绝缘子绝缘不良, 金属被腐蚀后接触不完善造成火花放电
	电气机车及铁道	火花放电	车内机器, 整流器, 机车脱轨
		反射	车体反射
内燃机设备	内 燃 机	火花放电	点火系统
		其他	发电机, 馈线电刷, 电压调节器, 方向指示器, 喇叭
无线电通信设备	大功率发射机	信号发射*	雷达, 广播机
		寄生发射	发射机的高次谐波
	接 收 器	寄生发射	电视接收机, 调频接收机, 调幅接收机
核爆炸电磁脉冲(EMP)		核爆炸周围产生电离气体, 地磁场突然变化、消失, 这时产生100kA级的强大电磁脉冲	

*除自身信号外, 别的信号不影响它。

表1.3 电磁干扰原理分类

大 类	噪 声 产 生 原 理	小 分 类 及 现 象 说 明
放 电 噪 声	伴随放电产生的噪声	火花放电：过渡状态的放电 持续放电：电晕放电（部分绝缘破坏）； 辉光放电、电弧放电（全部绝缘破坏） 静电噪声：因静电积聚而引起的火花放电噪声 落地雷击：雷电云与地表面的放电
接 触 噪 声	金属接触部位接触阻抗变化（电流流经接触部位的接触阻抗和电压的变化）	静接触噪声：因接触压力变化引起接触阻抗改变产生的噪声 滑动接触噪声：由于滑动中接触阻抗变化产生的噪声 振动噪声：在机械振动中接触阻抗变化产生的噪声 薄膜破坏的噪声：因接点的表面薄膜破坏引起接触阻抗变化产生的噪声
	金属接触部位接触面间断（电流流过此种接触面时）	接点抖动：接点离开接触时跳跃现象引起的噪声 不完全接触噪声：因不完全接触面（点）断续接触引起噪声
	极化电荷波动	电极噪声：磁—电式机器极间断缘物极化产生噪声
	金属氧化物整流作用	检波输出信号：金属氧化物对调制波的检波作用
	热电势（温差电势）	直流噪声：不同金属连接点之间因温差引起电势
微 噪 音	金属间接接触通—断	机械振动中金属之间接触通—断产生噪声
	L、C的振动	L、C元件微小变化引起寄生信号产生干扰
过 渡 现 象 干 扰	由过渡现象引起电流、电压变化产生干扰	电子开关：半导体开关元件等的相位噪声 高速数字电路：机器内电源的开—闭，集成电路IC引起的峰值电流 电源接通瞬间的突跳电流：白炽灯，电动机等 电力线瞬间异常电压：线路开—闭时或出现故障时的异常电压 雷电感应：因雷电云使电线感应电荷；由于雷击放电形成自由电荷，并在电线上产生行波干扰

续表1.3

大 类	噪 声 产 生 原 理	小 分 类 及 现 象 说 明
寄生信号干扰	在电路中由于寄生信号引起的干扰	市电电源: 电源交流声, 感应危害, 波形失真等 无线电频率干扰: 高频设备, 通信机、振荡器等 脉冲信号干扰: 数字电路、偏转电路等 寄生发射: 发射机的高次波, 接收机的本地振荡等
反 射 干 扰	由信号本身的反射波产生干扰	延迟信号干扰: 由空间或传输线的反射波产生干扰 不匹配噪声: 因传输线路上阻抗不匹配产生噪声
等离子体	放电等离子体内的固有振动	核爆炸噪声, 太阳噪声等

表1.4 电磁干扰按传输途径分类

传输途径	大 类			详 细 分 类	
空间	辐射干扰	由辐射电磁场产生			实际上为距离大于波长的场合
	感应干扰	由近距离电磁场产生(如平行导线、多芯电缆的交调失真等)		电容性耦合 电感性耦合	高阻抗电场 低阻抗磁场
导体	传 导 干 扰	来的干扰 在导线上传输时进	按传输方式分	差动干扰	在来、回的二条线之间产生的干扰
			按传输线路的种类分	同相干扰	在导线和地线之间产生的干扰
				电力线	由电源电路进来的干扰
				信号输入线	由信号输入线直接进来的干扰
				控制线等	由控制线、信号输出线等间接进来的干扰
地和接地回路	地线感应干扰	在地线上感应出各种干扰电压、间接地影响到信号输入回路		电容性耦合 电感性耦合	} 参见感应干扰
				天线效应	
					参见辐射干扰
	传导干扰				当导体裸露在外面时, 外部电流进入导体形成的干扰
	接地噪声	由地电流产生电位差	同相干扰		由接地点之间的电位差引起

[illegible]

注: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$, $\mu = 10^{-7} \text{ mm} = 10^{-10} \text{ m}$

$$1 \times 10^{-3} \text{ \AA} = 10^{-7} \mu = 10^{-1} \text{ mm} = 10^{-13} \text{ m}$$
$$1\mu = 10^{-6} \text{ m}$$

1.2 引起电磁干扰的三个要素及其耦合途径分类

1.2.1 引起电磁干扰的三要素

引起电磁干扰问题必须是三个因素同时存在，即：

第一，电磁干扰源（发射体）；

第二，对干扰源敏感的感受装置（接收器）；

第三，耦合途径，指从发射体到接收器间存在耦合介质时，发射体的电磁能量传到接收器的途径。

分析电磁干扰耦合途径是研究电磁兼容性结构设计的基本内容和重要工具，它本身又是以电磁理论、电磁干扰控制实践和电磁测试为基础的。

1.2.2 辐射和传导

本分册将电磁干扰耦合途径分为辐射（通过空间传播，以“场”为基础）和传导（通过导体传播，以“路”为基础）两大类。

辐射包括：辐射场（又称远区场，只考虑平面波干扰问题）和感应场（又称近区场）。感应场可细分为电场（电容性）、磁场（电感性）和感应场（当源距大于电场、磁场的源距，而小于辐射场时）。

电容器、变压器、电感器等是靠感应场耦合工作的，但由于它们是用在电子线路中的电子器件，故在工程上为了分析计算方便起见，借用电路分析方法来计算电感耦合和电容耦合的影响。

任何耦合途径都是使电磁干扰从干扰源通向接收器，根据干扰信号的发射性质，分为传导发射和辐射发射；根据对干扰信号的接收性质，分为传导敏感度和辐射敏感度。图1.2示出电磁干扰传播途径。

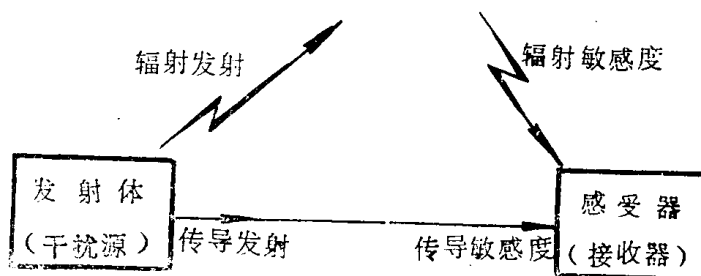


图1.2 电磁干扰的传播途径

传导发射和敏感度测量通常以电压和电流为单位，如：V，dBV，dB μ V，或A，dBA，dB μ A等。辐射发射和敏感度测量通常用场强的单位，如：V/m，dBV/m，dB μ V/m，或用特斯拉（T），dBpT等。

在电路分析方面，耦合包括：传导的，电容的（电的）和电感的（磁的）。传导耦合是由两个构件或导线间的电阻性联接引起；电容性耦合由构件或导线间分布电容引起；电感性耦合由两个导体间的互感引起。上述三种耦合在电路中通常用阻抗的概念来统一，用转移阻抗来表示其特性。转移阻抗是接收器上得到的感生电压同流过发射体上的电流的比值。转移阻抗可以由上述三种耦合形式中的一种或数种形成，通常是四端网络。

频谱是考虑电传输的一个重要因素，从不需要的信号或电噪声中分离出所需信号的一个主要方法是根据它们频率的不同；由于频率的变化，同一电路或同一电路中同一元器件的性质和用途也要变化；采用各类不同的抑制干扰的方法和结构形式均主要地决定于电传输能量的幅值和频率的不同。

1.3 电磁干扰的影响和原因

1.3.1 电磁干扰的后果

电磁干扰效应包括人类生活的全部空间和时间，仅仅是在不同地点、不同时间、不同发射场强、不同传输途径、不同敏感度时，产生的后果不同。从电磁干扰对人体、设备影响的程度可分为下面三类：

(1) 电磁污染——由于人为的各种原因，造成大面积的、长时间的和高强度的危害人们健康或妨碍生态平衡的各种电磁效应；

(2) 电磁危害——由于各种电冲击、电引爆和电引燃等，使人体、电控武器、易燃易爆物和设备等，受到不可挽回的损失；

(3) 电磁干扰——引起设备或系统工作失常的各种电磁效应。包括：干扰消失后可以恢复正常和不可以恢复正常这两种情形，也包括虽可恢复正常但设备使用寿命要缩短的情形，其中大多数是可以挽回的。

1.3.2 系统内部和系统之间发生干扰的原因

随着现代电子系统的发展，往往需要在一个有限空间内，密集地安装许多电子设备。为了使它们能够共同协调工作，不致于相互干扰和不受外界干扰，首先要了解这些设备和系统的干扰原因。表1.5列出了在系统内部电磁干扰的原因，表1.6列出了在系统之间电磁干扰的原因。在上述两表中，干扰源纵列中任一项目可以干扰接收器纵列中任一项目；同样地，接收器纵列中任一项目可接收来自干扰源纵列中任一项目的干扰。

表1.5 系统内部电磁干扰的原因

干 扰 源	接 收 器
自动点火系统	示 波 器
电 源	继 电 器
发 电 机	导 航 仪 器
计 算 机	计 算 机
雷达发射机	雷达接收机
无线电发射机	无线电接收机
萤 光 灯	电视机、收音机

表1.6 系统之间电磁干扰的原因

干 扰 源	接 收 器
无线电发射机	无线电接收机
微波接力站的，	微波接力站的，
广播的，电视的，	广播的，电视的，
飞机的，	飞机的，
舰船的，	舰船的，
车载的，	车载的，