

 电磁兼容技术与应用丛书

# 屏蔽与接地

PINGBI YU JIEDI

高攸纲 编著



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

电磁兼容技术与应用丛书

# 屏蔽与接地

高攸纲 编 著

北京邮电大学出版社  
·北京·

## 内 容 简 介

屏蔽、滤波与接地是防止电磁干扰的重要措施,而屏蔽与接地技术的应用尤为广泛。本书对屏蔽机理、屏蔽的理论计算、屏蔽实例、接地技术、接地装置阻值的计算等均作了较详尽的介绍。对多层组合屏蔽体、土壤电气特性及土壤电阻率的测定方法也作了必要的阐述。全书力求理论结合实际,可供从事电磁兼容技术的科研人员及大专院校师生阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

屏蔽与接地/高攸纲编著. —北京:北京邮电大学出版社,2004

ISBN 7-5635-0878-3

I. 屏… II. 高… III. ①屏蔽②接地保护装置 IV. ①TN721.4 ②TM774

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第074168号

---

书 名: 屏蔽与接地

编 著: 高攸纲

责任编辑: 王晓丹

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

电话传真: 010-62282185(发行部) 010-62283578(FAX)

电子信箱: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张: 10.5

字 数: 245千字

印 数: 1—5 000册

版 次: 2004年11月第1版 2004年11月第1次印刷

---

ISBN 7-5635-0878-3/TN·337

定价: 20.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

## 序

当今科学技术突飞猛进,各种电气及电子设备数量正急剧增加,而家用电器的应用,更使这些设备遍及千家万户。根据统计资料表明,世界用电量平均每年上增7%~14%。如按此速度计算,则25年后空间电磁能量密度最高将增至现有空间能量密度的26倍,50年后则可增至700倍,21世纪电磁环境恶化已成定局。而且这种电磁污染已不仅限于设备与设备之间的问题,还要进一步涉及到人类本身的生存环境。

如何使各种电气及电子设备在有限的空间、时间及频谱资源条件下,能于共同的电磁环境中正常工作而互不干扰并降低电磁环境对人类及生物的危害影响是广大电磁兼容科技工作者的光荣使命。

电磁兼容应用范围涉及所有用电领域,而电磁兼容技术现已形成一种产业,并在国民经济中发挥着重要作用,创造着巨大的经济效益。为使人类在高度享受物质文明和精神文明的同时,仍能确保社会生活及生产的安全、健康、持续有效的发展,电磁兼容知识的进一步宣传推广及电磁兼容技术的研究开发,刻不容缓。

有鉴于此,北京邮电大学出版社曾于2001年组织我们编写出版了《电磁兼容理论及应用技术丛书》,该书包括五个分册:《电磁兼容总论》、《电磁兼容设计》、《电磁兼容实验技术》、《电磁兼容标准与认证》和《电磁生物效应》。该套丛书的大部分分册已再版或三版发行,颇受读者欢迎。

由于不少读者需要更进一步深入掌握电磁兼容理论及相关技术,北京邮电大学出版社又组织我们就以下几个重要专题再次编写一套《电磁兼容技术及应用丛书》,包括屏蔽与接地、静电防护、雷电与电磁脉冲防护、印刷电路中的电磁兼容及计算电磁学在电磁兼容中的应用。这套丛书可看作前一套《电磁兼容理论及应用技术丛书》的续编。书中理论结合实际,可供大专以上水平的科技人员阅读参考,也可作为电磁兼容研究领域的本科及研究生用作辅助教材。

本丛书获得国家自然科学基金会重点项目(编号50237040)资助,特此致谢。

高攸纲  
2004年10月

# 前 言

随着电气、电子及信息设备的广泛运用,电磁干扰问题日益突出,将影响到众多设备的正常使用以及干扰源周围的生态环境。屏蔽与接地是抑制与减少这种电磁干扰的重要措施。本书阐述了屏蔽与接地的基本概念、理论基础及应用技术。介绍了工频、高频等各种场源的主动屏蔽及被动屏蔽,不同形状屏蔽体的屏蔽计算方法,单层及多层组合屏蔽体的特点,缝隙及孔洞对屏蔽的影响,工频接地阻值及脉冲接地阻值的计算方法,最佳屏蔽结构以及接地装置的设计等内容。全书力求理论结合实际,可供企业技术人员、科研院所研究人员及高校师生阅读参考。

本书在编写过程中得到国家自然科学基金会信息科学部重点项目(编号为 50237040)的资助,特此致谢!

作者

2004年6月

# 目 录

## 第 1 章 电磁屏蔽概说

1.1 电磁屏蔽的定义 .....	1
1.2 电磁屏蔽的作用原理 .....	1
1.3 屏蔽效能的定量评价 .....	2
1.4 屏蔽效能与源特性之间的关系 .....	2
1.5 主动屏蔽和被动屏蔽 .....	3
1.5.1 主动屏蔽原理 .....	4
1.5.2 被动屏蔽原理 .....	11
1.6 屏蔽时的谐振现象 .....	13
1.7 屏蔽的可逆性 .....	13
1.8 屏蔽对电磁场源和防护对象的反作用 .....	14

## 第 2 章 电磁屏蔽理论基础

2.1 平板屏蔽体(方盒屏蔽体) .....	15
2.1.1 波阻抗 .....	16
2.1.2 屏蔽衰减 .....	17
2.2 圆筒屏蔽体 .....	21
2.2.1 波阻抗 .....	22
2.2.2 屏蔽系数及屏蔽衰减 .....	23
2.3 球壳屏蔽体 .....	24
2.3.1 波阻抗 .....	25
2.3.2 屏蔽系数及屏蔽衰减 .....	26
2.3.3 静磁状态下的屏蔽系数 .....	27
2.4 电磁屏蔽体的主要特性及规律 .....	29
2.5 抗磁屏蔽体及强磁屏蔽体的作用原理 .....	33
2.6 屏蔽体各种结构的比较 .....	35
2.7 金属管线对低频磁场的屏蔽作用 .....	36

2.7.1 概述	36
2.7.2 电缆金属护套的理想屏蔽系数	37
2.7.3 电缆金属护套的实际屏蔽系数	40
2.7.4 关于地中金属管线的对地接触电阻	40
2.7.5 缆皮结构的选择	42
2.7.6 多条电缆时缆皮的理想屏蔽系数	44
2.8 架空地线的静电屏蔽作用	46
<b>第3章 组合屏蔽体</b>	
3.1 组合屏蔽体的作用原理	48
3.2 双层屏蔽体的屏蔽特性	49
3.3 在组合屏蔽体中作用的物理过程	51
3.4 多层屏蔽体的屏蔽特性	54
3.5 多层混合屏蔽体的最佳结构	56
<b>第4章 孔洞和缝隙对屏蔽工作的影响</b>	
4.1 一般考虑	61
4.2 透过无限薄、理想电导屏蔽上的小孔洞的场强	61
4.2.1 电磁场	61
4.2.2 准静电场	62
4.2.3 准静磁场	64
4.3 屏蔽壁厚对电磁场透过孔洞的影响	67
4.4 带有孔洞和缝隙的屏蔽效能的计算及其在结构上的考虑	68
4.5 金属网屏蔽的效能	71
<b>第5章 屏蔽实例</b>	
5.1 导体带	74
5.2 网状屏蔽带和拉链式外套	76
5.2.1 网状屏蔽带	76
5.2.2 拉链式外套	77
5.3 电缆屏蔽、连接和接头	78
5.3.1 电屏蔽衰减、衰减因子和传输阻抗	78
5.3.2 估计屏蔽接地连接的影响	80
5.4 EMI 密封垫	87

5.5	窗口和通风板的 EMI 屏蔽 .....	91
5.6	导电涂料 .....	92
5.7	导电箔 .....	94
5.8	导电布 .....	96
5.9	仪器的屏蔽 .....	97
5.10	屏蔽室 .....	100
5.11	微波暗室 .....	104
5.12	横电磁室 .....	106
5.13	混波室 .....	108
5.14	GTEM 室 .....	110
5.15	各种测量设备的比较 .....	112
5.16	电磁屏蔽材料的进展 .....	113
 <b>第 6 章 接地概说</b>		
6.1	接地与搭接技术 .....	116
6.2	电系统的大地 .....	116
6.3	安全接地 .....	119
6.4	大地的电位变化和接地的相互干扰 .....	123
6.5	抑制地线回路中干扰的措施 .....	124
 <b>第 7 章 接地阻值的理论计算及接地装置设计</b>		
7.1	概述 .....	132
7.2	接地体的基本理论和计算 .....	133
7.3	降低接地电阻的方法 .....	145
7.4	接地电阻的测量 .....	147
 <b>第 8 章 土壤的电气特性及土壤导电率的测定方法</b>		
8.1	土壤导电率 .....	149
8.2	土壤的介电系数 .....	151
8.3	土壤导磁率 .....	152
8.4	土壤导电率的测定方法 .....	152
<b>参考文献</b> .....		158



# 第 1 章 电磁屏蔽概说

## 1.1 电磁屏蔽的定义

用于减弱由某些源所产生的空间某个区(不包含这些源)内的电磁场的结构,称为电磁屏蔽。在绝大多数情况下,电磁屏蔽由金属(铜、铝、钢)制成。但是为了防护直流和极低频磁场的作用,也可采用铁氧体材料。如果金属结构不是专门用于屏蔽,而是在完成自己的基本功能时顺便解决了这个问题的,则称之为起到了屏蔽的作用或充作屏蔽用,等等。

在实践和文献中,常将“静电屏蔽”、“静磁屏蔽”和“电磁屏蔽”的概念相互进行对比,这种比较是不适当的。正如静电场和静磁场是电磁场的特殊情况一样,静电屏蔽和静磁屏蔽也只是电磁屏蔽的一种特殊类型。

## 1.2 电磁屏蔽的作用原理

电磁屏蔽的作用原理可以有两种解释。这两种解释互不相同,但实质上是一样的。

第一种解释:在一次场(源引起的场)的作用下,屏蔽表面因受感应而产生电荷,其壁内产生电流和磁极化。这些电荷、电流和极化产生二次场(正确地说,是二次场与它们联系着)。二次场与一次场叠加形成合成场。在空间防护区的合成场必弱于一次场。

第二种解释:电磁屏蔽的作用原理,是用屏蔽反射并引导场源所产生的电磁能流使它不进入空间防护区。

第一种解释比较简单,因为每一个电气专业人员熟悉关于感应电荷、电流以及与它们有关的二次场的概念。此外,这种解释能够探讨在任何频率下的屏蔽工作,包括频率等于零的情况。它的不足之处是叙述某些物理过程方面有缺陷。

确实,在场强不为零的空间区存在着某些能量。可以用场的叠加和相互补偿表示,但不能用能量的叠加和相互补偿来表示。如果电磁能不能进入某个区域,在该区域中可能不产生场;如果能量部分或全部从该区域取消,场可能变弱或全部消失。

第二种解释的观点比较正确。但是大多数专业人员不习惯反射和引导电磁能流的概念。此外,这种概念不适用于静态场合。要研究静态情况,还必须再探讨静态的建立过程。

很明显,上述两种解释的本质是相同的,因为金属结构对于电磁能流的反射和引导作

用的机理本身与这些结构表面上和壁内电荷、电流和磁极化的产生有着不可分割的联系。根据问题的具体条件和分析目的,可选取上述两个概念中比较合适的一个。

### 1.3 屏蔽效能的定量评价

电磁屏蔽的效能可以用不存在屏蔽时空间防护区的场强( $E_0$  或  $H_0$ )与存在屏蔽时该区的场强( $E$  或  $H$ )的比值  $T$  来表征

$$T = \frac{E_0}{E} \text{ 或 } T = \frac{H_0}{H} \quad (1.1)$$

在一般情况下,屏蔽不仅使场强减弱,而且在不同程度上会使空间防护区中的有源场畸变。因此用上面的方法确定场的电分量和磁分量屏蔽效能的结果是不一样的,并且与测点的坐标有关。这种状况将极大地妨碍对屏蔽效能的定量评价。

在最简单的情况下,屏蔽效能仅有一个数值。属于这种情况的有:用无限平面的均匀屏蔽对平面电磁波的半空间屏蔽;用均匀球形屏蔽对位于其中心的点源屏蔽;用均匀无限长圆柱形屏蔽对位于其轴线上的线源屏蔽。在电磁屏蔽理论中,首先研究的正是这些情况,即将实际情况变为理想化的情况。但是,这种理想化在相当程度上会影响评价的精确性。

在特别复杂的情况下评价屏蔽效能时,需要采用一些假定,如:防护空间区远离屏蔽;该区内的点以及场源的位置都按最不利的情况布置。这样,评价的精确性将更加降低。在做计算的时候,只能确定屏蔽效能可能最低的数量级。

### 1.4 屏蔽效能与源特性之间的关系

屏蔽效能极大地依赖于场源的特性。源可能是多种多样的,但是任何实际的源都可用电偶极子和载流(磁偶极子)线圈(小框)的复杂组合形式来表示。对实际上不同场结构的源,屏蔽性能会因屏蔽电偶极子或磁偶极子而有差异。

在自由空间,当

$$r \gg \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1.2)$$

(式中  $r$  是距源的距离,  $\lambda$  是波长)时,两种源的场结构没有差异,在空间的任一点  $E$  和  $H$  实际上是同相的。它们的比值几乎和在平面波的情况下一样,即

$$\frac{E}{H} = 120\pi \Omega \quad (1.3)$$

当

$$r \ll \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1.4)$$

时,  $E$  和  $H$  几乎是正交的,而它们的比值与测点的位置有关。在赤道平面(经过偶极子中

心并垂直于它的轴线的平面)上,该比值近似地由式(1.5)和式(1.6)确定

$$\frac{E}{H} = 120\pi \frac{\lambda}{2\pi r} \quad (\text{对于电偶极子}) \quad (1.5)$$

$$\frac{E}{H} = 120\pi \frac{2\pi r}{\lambda} \quad (\text{对于磁偶极子}) \quad (1.6)$$

这样,随着  $r$  减小或是  $\lambda$  增大(随着频率  $f$  减小),在电偶极子情况下,  $E$  对  $H$  的比值增大,磁分量的作用减少,可以将场看作是准静电的,即当  $f=0$  时,场是静电的;在磁偶极子情况下,  $E$  对  $H$  的比值减小,电分量的作用减少,可以将场看作是准静磁的,即当  $f=0$ ,场是静磁的。

如果屏蔽能保证所要求的静电场(或准静电场)减弱,而实际不减弱静磁场(或准静磁场),则称作静电屏蔽。如需要消除两个线圈之间的电容耦合,而保持它们之间的电感耦合时,就适用于这种屏蔽。

如果屏蔽是要减弱静磁场(或准静磁场)的作用,则称作静磁屏蔽。对于该屏蔽是否也能减弱静电场,则不必过多考虑。在很多场合下,这种屏蔽对静电场的屏蔽效能大大地高于对静磁场的屏蔽效能。

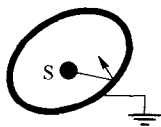
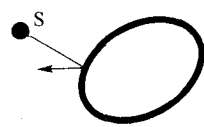
当将场作为准静态场进行探讨,在评价屏蔽效能可能导致很大错误的情况下,称屏蔽为电磁的。好的电磁屏蔽在大部分情况下是不好的静磁屏蔽,而是很好的静电屏蔽。换言之,当频率趋近零时,电磁屏蔽效能对于磁偶极子场可能趋近于 1,而对于电偶极子场将无限增长。

## 1.5 主动屏蔽和被动屏蔽

如前所述,根据屏蔽工作原理,屏蔽可分为如下 3 大类:

- (1) 静电屏蔽:防止由静电耦合而产生的相互干扰。
  - (2) 电磁屏蔽:主要被用于高频下,多采用低电阻金属,利用流过金属的电流而防止磁力线的相互干扰。
  - (3) 磁屏蔽:主要被用于低频下,多使用磁导率高的材料,防止磁力线的感应。
- 根据干扰源处于屏蔽体的内外,屏蔽又可分为主动屏蔽和被动屏蔽,见表 1.1。

表 1.1 主动屏蔽和被动屏蔽

种 类	主动屏蔽	被动屏蔽
概念图		
干扰源	在屏蔽体的内部	在屏蔽体的外部
接 地	需接地	屏蔽不需接地
采用双层屏蔽时	外侧铁 内侧铜	外侧铜 内侧铁

主动屏蔽是指干扰源处于内部,防止干扰波泄漏到外部空间的结构。这种空间虽属于邻近电磁场,但也必须要考虑驻波的影响,因此这种情况必须进行接地,接地电阻越小越好。而且对电源干线穿过屏蔽导体的导线,必须设法接入滤波器,目的是为了解决通过电源线向屏蔽外部传输干扰电流,进而由天线效应而形成辐射电磁场。

被动屏蔽是指干扰源处于外部,防止干扰进入屏蔽空间内部的结构,例如中频无线电广播波所形成的干扰,多数情况都是距干扰源非常远的地方,所以要采取对辐射电磁场的屏蔽。干扰波很复杂,当然也可作为行波来对待,但实际它却是在金属屏蔽上形成入射波和散射波的重合。理论上屏蔽可以不接地,但实际应用中几乎无不接地,而且根据所使用的仪器不同,必须按照规定要求接地。

### 1.5.1 主动屏蔽原理

#### 1. 静电屏蔽

静电屏蔽(electrostatic shield)是为了防止静电场的影响,实质是为了防止由两个回路间的寄生电容耦合所形成的干扰。这种屏蔽主要用于高压电场下高阻抗回路,比如在变压器的绕组间,插入梳齿形的导体,使其处于接地的状态,实际就是一个静电屏蔽的典型例子。将导体做成梳形的目的,不仅是为了防止由一次绕组所产生磁场而形成的涡流,而且也起着防止一次绕组和二次绕组之间的静电耦合的作用,如果槽的面积能够做得足够小,那么几乎就不会受什么影响。

静电屏蔽物是利用低电阻材料制成的容器,目的是使屏蔽内的电力线不泄漏到外部去,屏蔽外的电力线也不能进入内部来。图 1.1 所示为主动屏蔽的原理结构。

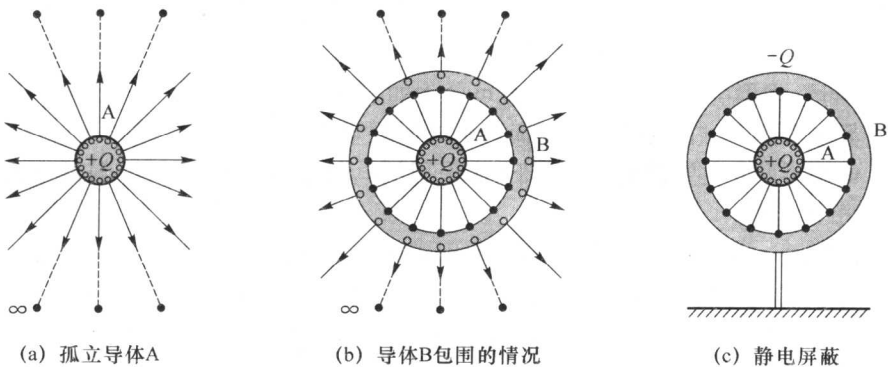


图 1.1 静电屏蔽原理

图 1.1(a)所示是在空间的孤立导体 A 上,带有电荷  $+Q$  的电力线的情况,在这种状态下,电荷  $-Q$  可认为是处于无限远的地方。

图 1.1(b)表示用导体 B 包围导体 A 外部的电力线的情况,这种情况下,在导体 B 的内侧表现出电荷  $-Q$ ,在外侧表现出  $+Q$ ,这时电力线是处于终端,因此在导体 B 本身的内部不出现电力线,仅这一点与图(a)不同。因导体 B 也是孤立存在,所以内部电荷虽然有移动,但从整体来看,  $+Q$  和  $-Q$  之和却等于零。可见仅单纯采用将导体包起来的办

法,实际上根本起不到屏蔽的作用。

图 1.1(c)表示导体 B 被接地的情况,这种情况下,导体 B 的电位等于零,因此导体 B 外部的电力线处于消失状态,即在导体 A 所产生的电力线被封闭在导体 B 的内部,这时导体 B 才真正具有屏蔽的作用。从图(c)可知,在导体 B 中只残存电荷  $-Q$ ,而在图(b)状态下所存在的电荷  $+Q$  通过接地线被流出导体 B 的外部。可见从图(b)转向图(c)的过渡状态中,在导体 B 和接地线之间将产生电流。导体 A 的电荷如果是静电荷,那么图(c)所示是正常状态的屏蔽效果,但是当导体 A 的电荷随时间而变化时,则接地线中因对应电荷的变化,势必也要流过电流,另外,由于在导体 B 上存在残留电荷,而使导体 B 的外部实际也残留静电场和感应电磁场,因此不能说是完全屏蔽。

所需的静电屏蔽实际并不是处于直流电场,而是随时间在变化的电场。随着电场的变化,屏蔽导体上的电场也在移动,因此接地线流过电流。为解释这种现象,当然有不同的处理方法,但采取等效回路的回路理论法比采取静电场理论方法来方便。

图 1.2 表示在屏蔽导体 S 外侧的导体 B 上,被感应的静电耦合状态。图 1.2(b)是表示在导体 S 的局部开一个槽,从导体 A 射出的电力线,其中一部分泄漏到导体 S 的外部,而形成耦合电容  $C_{AB}$ 。图 1.3 示出它的等效回路。

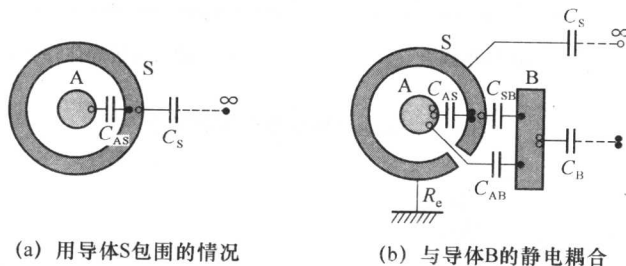


图 1.2 屏蔽导体的静电耦合

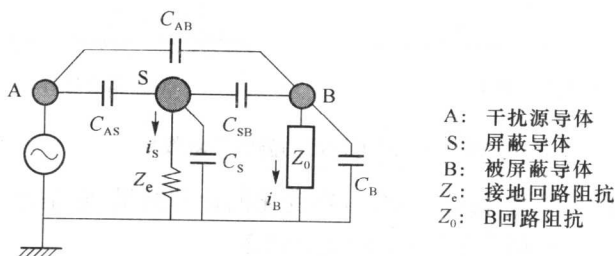


图 1.3 静电屏蔽的等效回路

当导体 A 上的电荷由于交变电位而产生变化时,导体 S 上的电荷也随之相应变化,因此在接地线上将流过交变电流。接地线上的阻抗  $Z_e$ ,理论上虽接近于零,但实际肯定不会等于零,因此在导体 S 上总有残留电位。这个残留电位从屏蔽导体 S 的外侧射出电力线,其中一部分与导体 B 相耦合,通过电容  $C_{SB}$  而产生静电耦合,结果使屏蔽效果减小。当导体 A 处于高电位,且屏蔽导体 S 的面积又大时,当然电容  $C_{AS}$  也大,这时要特别注意

高频阻抗  $Z_e$  增大的情况。

静电屏蔽尽管不能实现完全用屏蔽导体包围住干扰源,但仍可大大改善其效果。如图1.4(a)所示,两个导体同时处于地面上,导体 A、B 可分别视为球体,也可视为长导线的截面。从导体 A 上的电荷  $Q$  所给出的电力线在地面和导体 B 上被作为终端,并分别向静电电容  $C_A$  和  $C_{AB}$  进行充电。见图 1.4(b),如在两个导体之间置以接地导体 S,那么相对应于  $C_{AB}$  电荷而产生的电力线,其中大部分都在导体 S 被进行终端,仅一部分泄漏的电力线直接到达导体 B 上,而形成静电电容  $C'_{AB}$ 。导体 S 因直接接地,使  $C'_{AB}$  和  $C_A$  相关联,实际是减小了 A、B 间的耦合电容  $C_{AB} \rightarrow C'_{AB}$ 。如 A、B 导体之间不插入屏蔽导体,只要将导体 A、B 设置得靠近地面,实际也可减小静电耦合。如图 1.5 所示,从导体 A 所射出的电力线,它是随着靠近地面处导入地下,因射向导体 B 的电力线已被地面所终端。

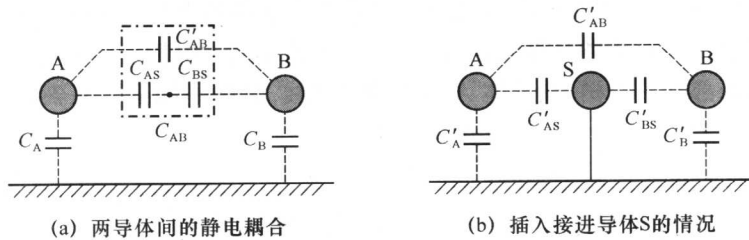


图 1.4 接地导体的静电屏蔽效果

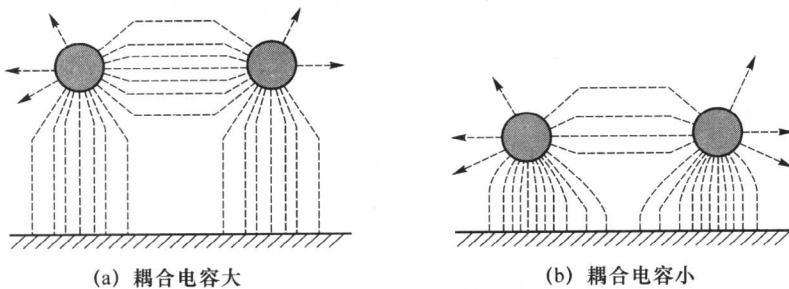


图 1.5 靠近地面的静电屏蔽效果

图 1.6 所示是两根平行导线间耦合电容变化的计算结果,它是通过距地面的距离  $h$  和两导线的间隔  $d$  来表示耦合电容  $C_m$  的变化状态。

## 2. 电磁屏蔽

电磁屏蔽(electromagnetic shield)是利用电磁感应的作用而进行屏蔽,它主要用于防止在高频下的电磁感应。它同静电屏蔽一样,也是采用电阻小的金属,利用电磁场在屏蔽导体上所感应的涡流作用,正如前面所讲过的,屏蔽板接地实际就具有静电屏蔽的作用,因此高频下的屏蔽,通常都是采用铜或铝等高电导率的金属,目的是使其既起电磁屏蔽作用又起静电屏蔽作用。雷达调制器和电容放电式点火装置等,除特殊情况外,考虑到机械强度,屏蔽板的厚度要求需达到必要的程度。

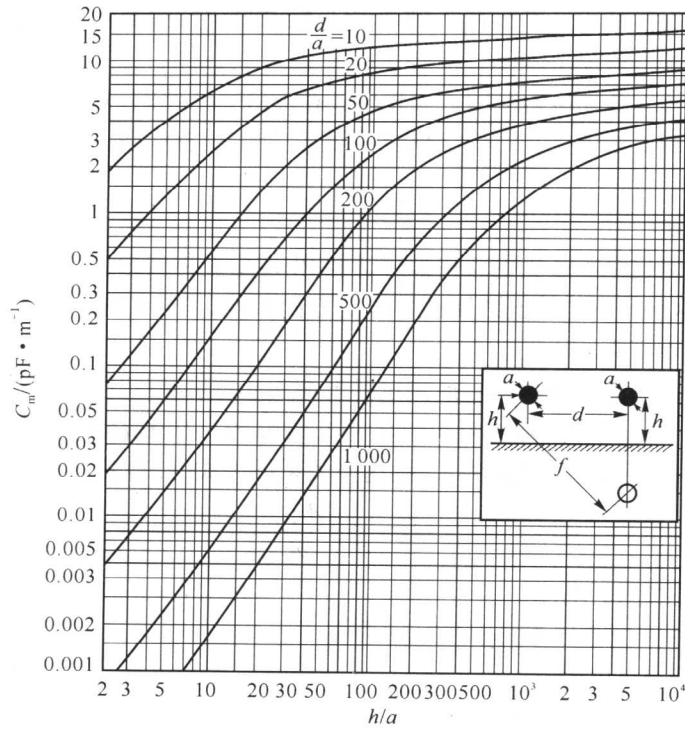


图 1.6 两根平行导线间的耦合电容变化

图 1.7 所示为在高频下电磁屏蔽作用的原理结构,在线圈的外侧设有圆筒形的屏蔽导体,在屏蔽导体中所流过的电流同线圈电流的方向相反,由此而产生的磁力线和原线圈的磁力线之间相互作用,从而形成屏蔽效果。

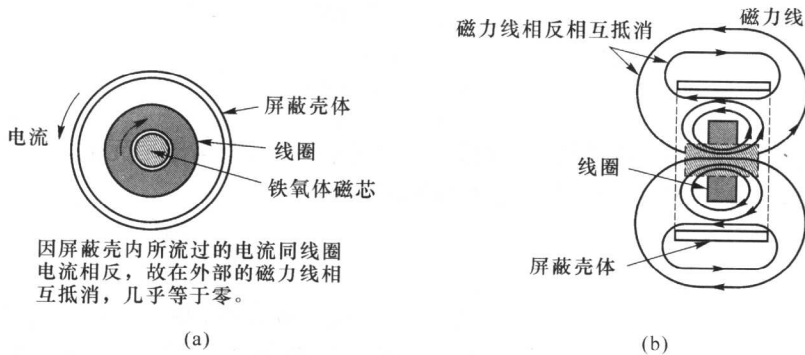


图 1.7 屏蔽壳的电磁屏蔽效果

(1) 屏蔽壳外侧

由线圈所形成的磁力和由屏蔽壳所形成的磁力线之间的方向相反,利用相抵消作用而起到屏蔽效果。穿过屏蔽壳外侧的磁力线是线圈磁力线的一部分,而且相对这部分泄漏磁力线的比例电流,也同时流过屏蔽壳体。一般来说,由屏蔽壳所形成的磁力线少些,

但因所有的磁力线都要通过屏蔽壳外侧,所以最后结果仍和线圈磁力线相抵消。

### (2) 线圈外侧,屏蔽壳内侧

线圈磁力线和屏蔽壳磁力线的方向相同。在屏蔽壳的外侧,其磁力线几乎等于零,结果由线圈所产生的磁通中,虽然有些磁通对屏蔽壳外侧稍有泄漏,但基本上都被封闭在屏蔽壳内侧。

### (3) 线圈内侧

因屏蔽壳内侧也是屏蔽壳的整体部分,因此由屏蔽壳体所形成磁力线的一部分,也要通过屏蔽内侧,这部分磁力线同线圈磁力线的方向相反,当然要相应减少线圈磁力线,结果使线圈的阻抗也稍有减小。

电磁屏蔽是利用在屏蔽导体上所流过的电流而起着屏蔽作用,因此,如果将屏蔽壳体看作是匝数  $N_s = 1$  的线圈,那么就可以将中心线圈的一次侧看作是高频变压器二次线圈。如将流过屏蔽壳体的电流取为  $i_s$ ,则这个关系可用式(1.7)来表示

$$i_s = \frac{j\omega M i_c}{r_s + j\omega L_s} \quad (1.7)$$

其中:  $i_c$ ——流过线圈的电流;

$M$ ——线圈和屏蔽导体的相互感应系数;

$r_s$ ——屏蔽导体电阻;

$L_s$ ——屏蔽导体自感系数。

在高频下,因考虑  $r_s \ll \omega L_s$ ,所以

$$i_s = \frac{M}{L_s} i_c = \frac{k \sqrt{L_s L_c}}{L_s} i_c = k \sqrt{\frac{L_c}{L_s}} i_c \quad (1.8)$$

如将线圈匝数取为  $N_c$ ,屏蔽导体的匝数  $N_s = 1$ ,则形状相似的线圈  $L$  就可与匝数  $N$  的平方成比例,可用式(1.9)来表示

$$L_c/L_s = N_c^2/N_s^2$$

$$i_s = k \sqrt{\frac{N_c^2}{N_s^2}} i_c = k_{cc}^n i_c \quad (1.9)$$

即  $i_s$  同流过线圈电流的安匝数和耦合系数  $k$  的乘积成比例,与频率无关。

在低频下,因  $r_s \gg \omega L_s$ ,故可用式(1.10)来表示

$$i_s = \frac{j\omega M}{r_s} i_c \quad (1.10)$$

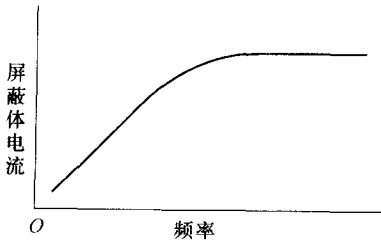


图 1.8 电磁屏蔽的频率特性

可见  $i_s$  与频率成比例,频率越低则电流越小。所以这种电磁屏蔽的效果在低频率下并不大,但在无线电波段却是一种有效的方法,因此电磁屏蔽主要是用于高频(见图 1.8)。

当然,在市用频率下电磁屏蔽的屏蔽效果也不是就等于零,也可用作辅助手段。图 1.9 示出其例。在变压器的外侧加有铜板短路环,目的是通过流过短路环的电流而减少漏磁通。图



1.9(b)示出其屏蔽效果。

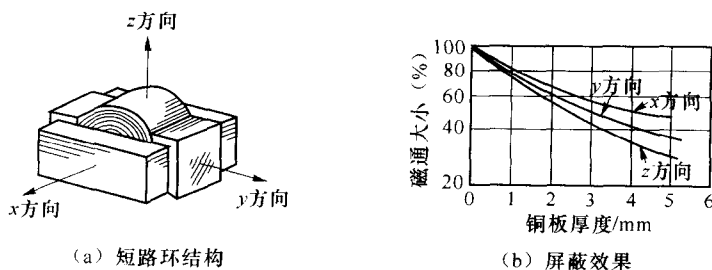


图 1.9 带有铜板短路环的屏蔽

但在高频下的屏蔽,如在屏蔽板上挖有洞穴或缝隙,由于在其周围有电流流过,这时的屏蔽实际已起了天线作用,直接降低了屏蔽效果,可见频率越高越应引起注意。

电磁屏蔽和静电屏蔽的不同点:

(1) 静电屏蔽的屏蔽导体必须接地,但电磁屏蔽从它的屏蔽原理来说,却没有必要接地,因电磁屏蔽只要有流过电流的通路,虽屏蔽导体不接地,也可有效地防止泄漏磁通。当然,屏蔽导体不接地,也会直接增加耦合电容,进而引起干扰电压,而且这个干扰电压往往具有负静电屏蔽效应,结果仍然会造成麻烦。为防止这个问题,所以尽管使用电磁屏蔽可以达到应有目的,但屏蔽导体仍然还是接地。因此人们在采取电磁屏蔽的同时,也要进行静电屏蔽。

(2) 电磁屏蔽的必要条件是要求在屏蔽导体内流过高频电流,而且所流过电流的方向要求必须是抵消磁通的方向。因此,如果没有这个反向电流,或在屏蔽导体上切有断缝,那么它实际上起不到电磁屏蔽的作用,而只是起静电屏蔽的作用。可见,利用这种方法,可对变压器一次和二次线圈之间进行静电屏蔽。如在一次线圈上绕有金属板,并在垂直于线圈绕组的方向上切有缺口,这样既可防止涡流损失,又可进行静电屏蔽。

### 3. 磁屏蔽

电磁屏蔽在频率低的情况下,其效果并不太大,因此在低频下往往采用磁导率高的材料进行磁屏蔽(magnetic shield),磁力线被集拘在磁阻小的磁屏蔽体的内部,以防止磁力线泄漏到外侧。图 1.10 所示为低频线圈进行磁屏蔽的磁力线情况。

高频线圈的电磁屏蔽,其电力线不通过屏蔽导体,而是被封闭在其屏蔽内侧的空间。但磁屏蔽却不然,其磁力线仍通过屏蔽磁体的内部。

为了使磁屏蔽效果更好,一般都采用高磁导率材料,如铍莫合金。同时要求具有足够的厚度,磁力线进入屏蔽体和由屏蔽体穿出磁通,要求磁阻尽量小。当然,磁屏蔽也不能完全将磁通封闭在屏蔽体内,而总是会有泄漏磁通,因此无法获得像电磁屏蔽那样的效果。为解决泄漏问题,可采用多层屏蔽,即在某一空间可采用两层或两层以上的同心磁屏蔽体,这样可大大提高屏蔽效果。

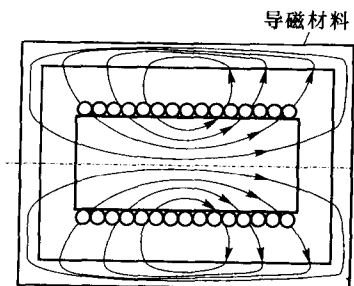


图 1.10 磁屏蔽