

# 传感器原理 及检测技术





## § 18.1 干扰来源及分类

### 一、干扰与噪声

①噪声是绝对的，它的产生或存在不受接收者的影响，是独立的，与有用信号无关。干扰是相对有用信号而言的，只有噪声达到一定数值、它和有用信号一起进入智能仪器并影响其正常工作才形成干扰。

②噪声与干扰是因果关系，噪声是干扰之因，干扰是噪声之果，是一个量变到质变的过程。

③干扰在满足一定条件时，可以消除。噪声在一般情况下，难以消除，只能减弱。



## 二、分类

### ◇干扰的类型

1. 机械干扰
2. 热干扰
3. 光干扰
4. 湿度干扰
5. 化学干扰
6. 电和磁干扰
7. 射线辐射干扰



## 二、电磁干扰概述

(一)、定义：任何可能引起装置、设备或系统性能降低的电磁现象。（国标GB/T4365-1995）

### (二)、电磁干扰的分类

#### 1、按传播途径分类

传导干扰：通过电路耦合的干扰。（例如导线传输、电容耦合、电感耦合。）

辐射干扰：通过空间传输的干扰。

#### 2、按干扰的来源分类

##### (1)、自然干扰 图2-2

①、雷电：干扰信号的频率： $10 \sim 100\text{kHz}$ 。

②、宇宙干扰：来自太阳和其他星系的电磁噪声，干扰信号的频率：几十M~几十GHz。例如太阳黑子活动造成的无线电干扰，可造成通信中断。

##### (2)、人为干扰



### 3、按信号的功能分类

功能性干扰：设备正常工作时产生的信号对其它设备的干扰。

非功能性干扰：无用的电磁泄漏产生的干扰。

### 4、按场的性质分类：电场干扰，磁场干扰

### 5、按干扰的特性分类

频率：射频干扰（低频、高频、微波）

工频干扰（50Hz）

静态场干扰（静电场、恒定磁场）。

波形：连续波干扰、脉冲波干扰。

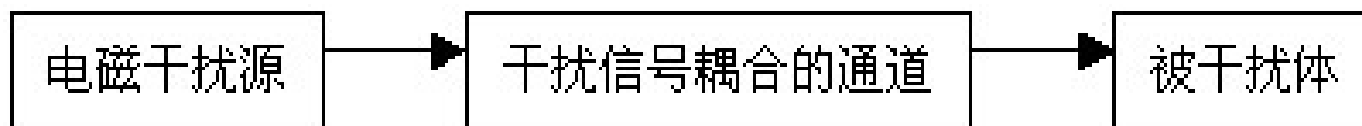
带宽：宽带干扰、窄带干扰。

周期性：有规则干扰，周期性干扰信号非周期性干扰信号  
随机干扰



### (三)、产生电磁干扰的三个要素

- ①、电磁干扰源。
- ②、对此类干扰敏感的仪器设备（被干扰体）。
- ③、干扰信号耦合的通道（传播途径：传导、辐射）。





## 四、噪声的耦合方式

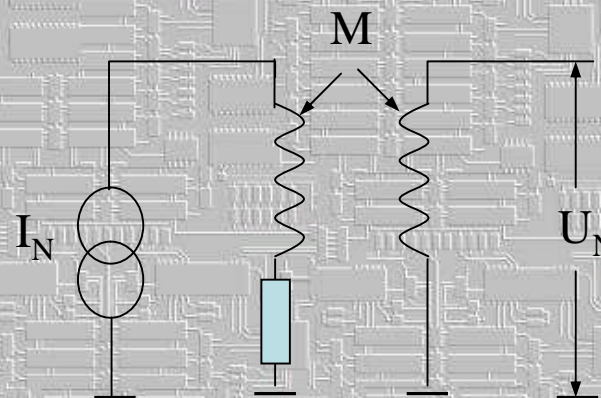
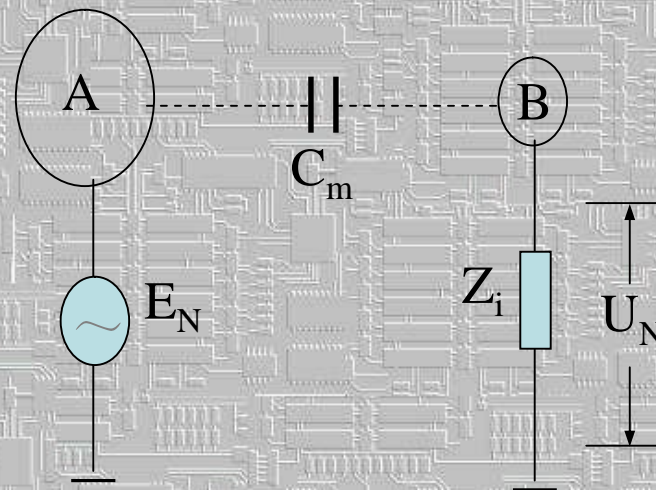
### ◆ 电容性耦合

$$U_N = \frac{j\omega C_m Z_i}{1 + j\omega C_m Z_i} E_n$$

$$U_N \approx j\omega C_m Z_i E_N$$

### ◆ 互感耦合

$$U_N = j\omega M I_N$$



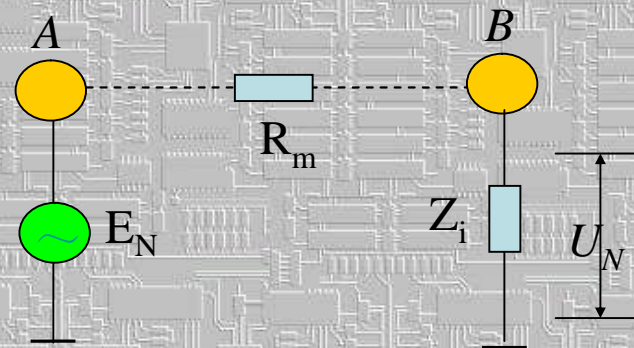


## ◆ 共阻抗耦合

1. 电源内阻抗的共阻抗耦合
2. 公共地线的耦合
3. 信号输出电路的相互干扰

## ◆ 漏电耦合

$$U_N = \frac{Z_i}{R_m + Z_i} E_N$$





## ◆ 传导耦合

传导耦合是指经导线检拾到噪声，再经它传输到噪声接收电路而形成干扰的噪声耦合方式。

## ◆ 辐射电磁场耦合

大功率的高频电气设备，广播、电视、通信发射台等，不断地向外发射电磁波。智能仪器若置于这种发射场中就会感应到与发射电磁场成正比的感应电势，这种感应电势进入电路就形成干扰。



## § 18.2 抑制电磁干扰的措施

### 一、抑制电磁干扰的基本方法

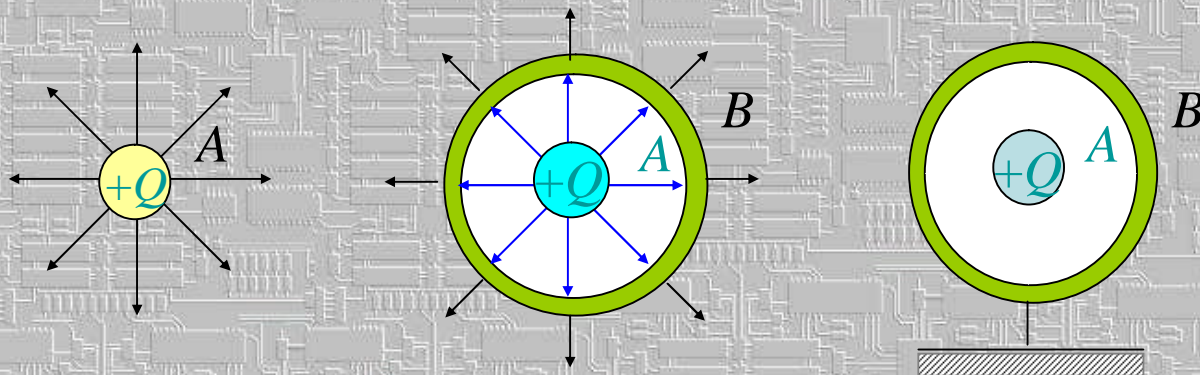
- 消除或抑制噪声源
- 破坏干扰的耦合通道
- 消除接收电路对干扰的敏感性
- 采用软件抑制干扰



## 二、抑制电磁干扰的基本措施

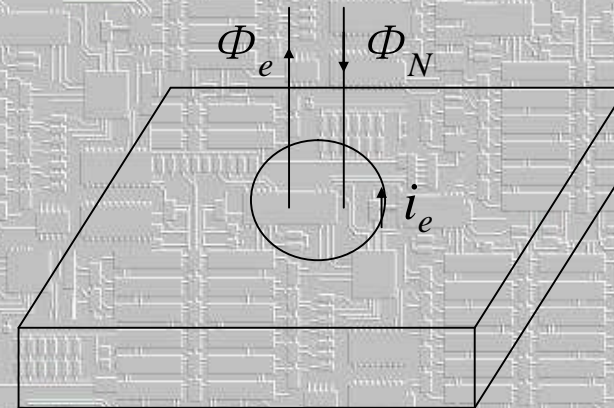
1、屏蔽：静电屏蔽；电磁屏蔽；低频磁屏蔽

### ★静电屏蔽

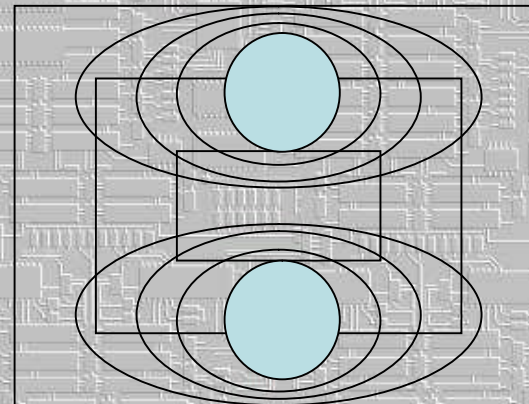




## ★电磁屏蔽



## ★低频磁屏蔽





## 2、接地

### ★接地的目的

- 保证人身和设备安全
- 抑制干扰的需要

### ★地线的种类

- 保安地线
- 信号源地线
- 信号地线
- 负载地线
- 屏蔽层地线

### ★各种地线的处理原则

- 低频电路的一点接地原则
- 高频电路的多点接地原则
- 强电地线与信号地线分开设置
- 模拟信号地线与数字信号地分开设置

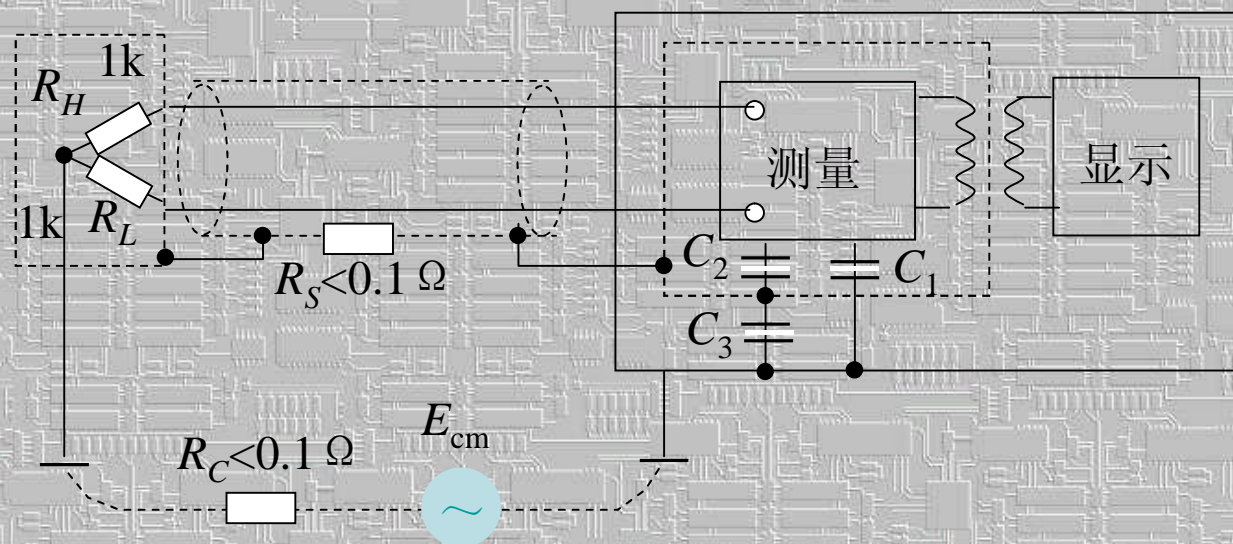
### ★接地方法

- 埋设铜板
- 接地棒
- 网状(辐射状)地线



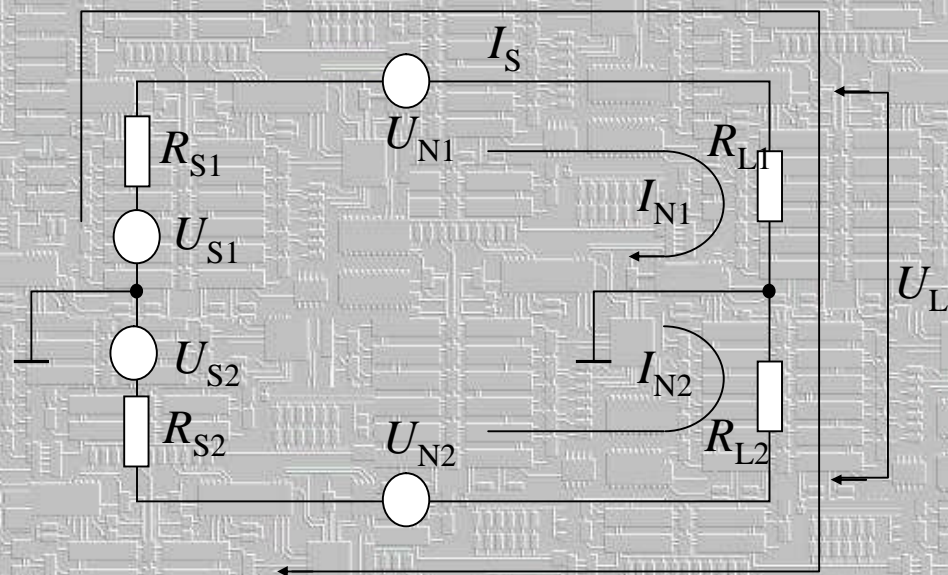
### 3、浮置

又称浮空、浮接，是指智能仪器的输入信号的公共线（即模拟信号地）不接机壳或大地，测量放大器与机壳或大地之间无直接联系。浮置的目的在于阻断干扰电流的通路。

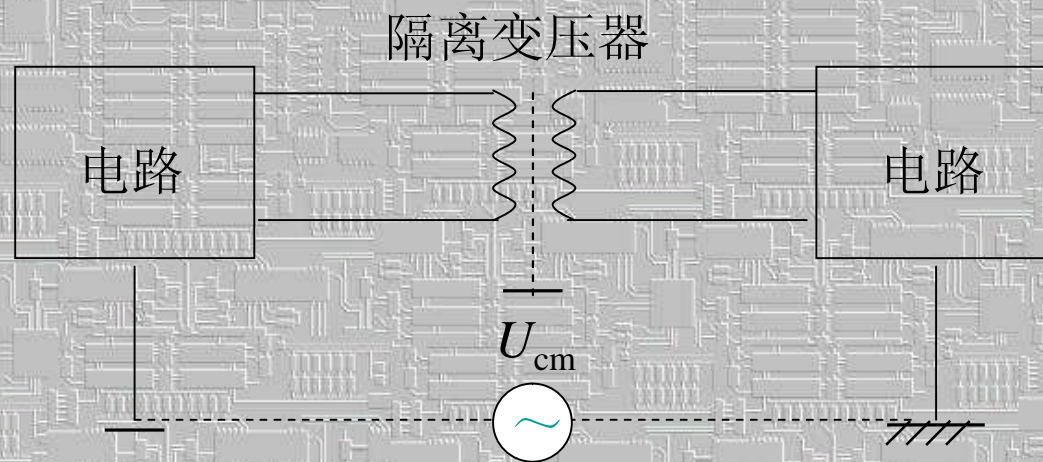




#### 4、对称电路



#### 5、隔离技术





## 6、滤波

滤波是一种只允许某一频带信号通过或只阻止某一频带信号通过的抑制干扰措施之一。滤波方式有**无源滤波**、**有源滤波**和**数字滤波**，它主要应用于信号滤波和电源滤波。

## 7、脉冲电路的噪声抑制

脉冲电路的噪声抑制，常采用的方法有利用**积分电路**、**脉冲隔离门**及**削波器**等。



## 三、抗干扰技术的应用

❖ 传输线引入干扰的抑制

❖ 印制电路板的抗干扰

❖ A/D转换中的抗干扰

- 对差模干扰的抑制

- 对共模干扰的抑制

- 采用软件方法提高A/D抗干扰能力

❖ 传感器的抗干扰

❖ 负载干扰的抑制

- 负载冲击电流的抑制

- 感性负载冲击电压的抑制

❖ 电源所致干扰的抑制

- 交流电源系统所致干扰的抑制

- 直流供电系统干扰的抑制

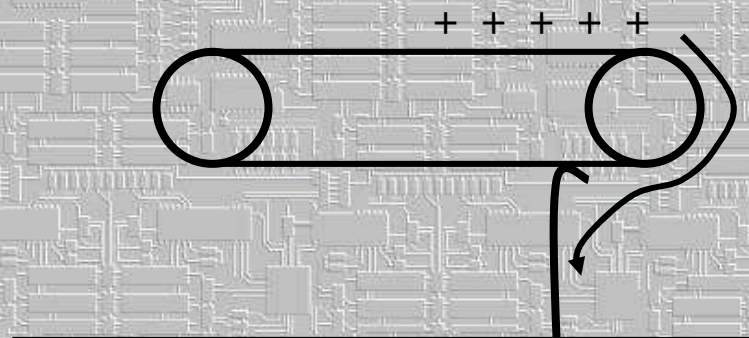
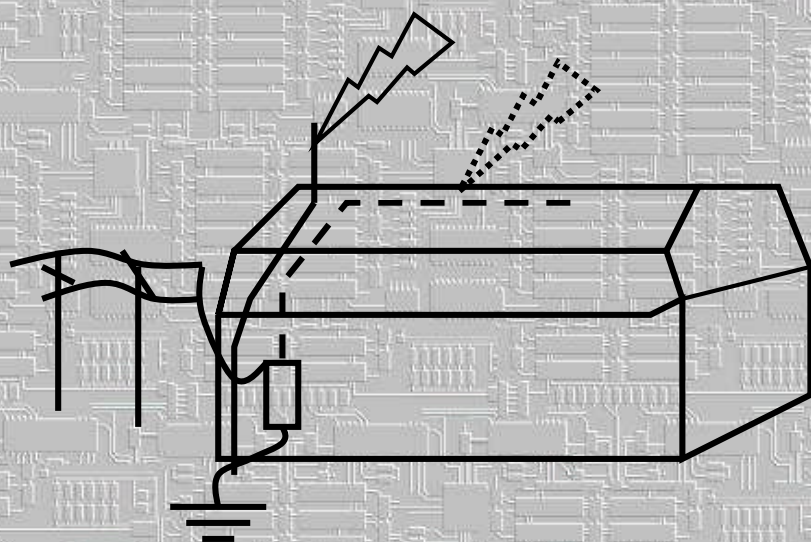
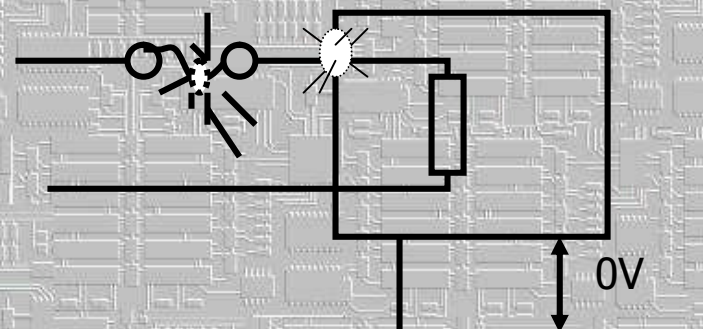
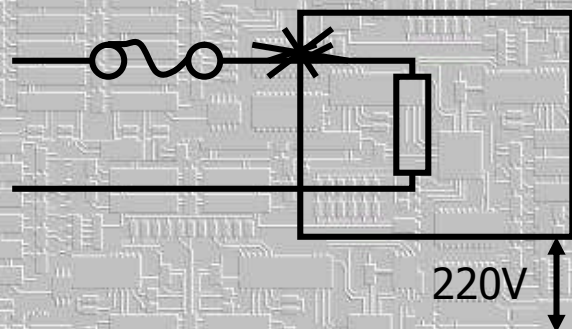


## § 18.2 接地技术基础

- 为什么要地线
- 地线问题 — 地环路
- 地线问题 — 公共阻抗耦合
- 接地方式种类
- 电缆屏蔽层的接地



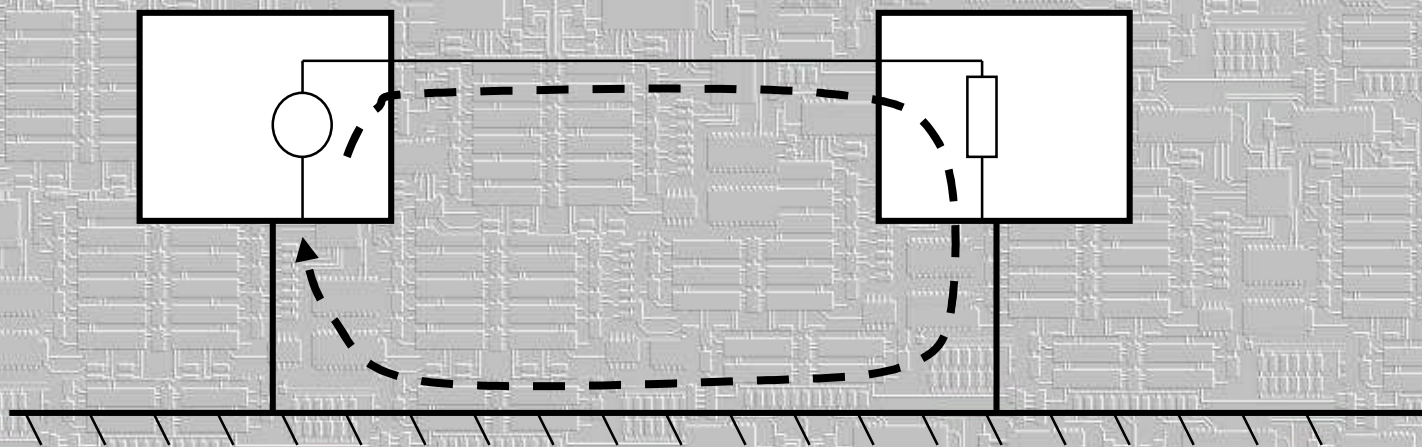
# 安全地





# 信号地

定义：信号电流流回信号源的低阻抗路径





## 地线引发干扰问题的原因

$$V = IR$$

地线电压

地线是等  
电位的假  
设不成立

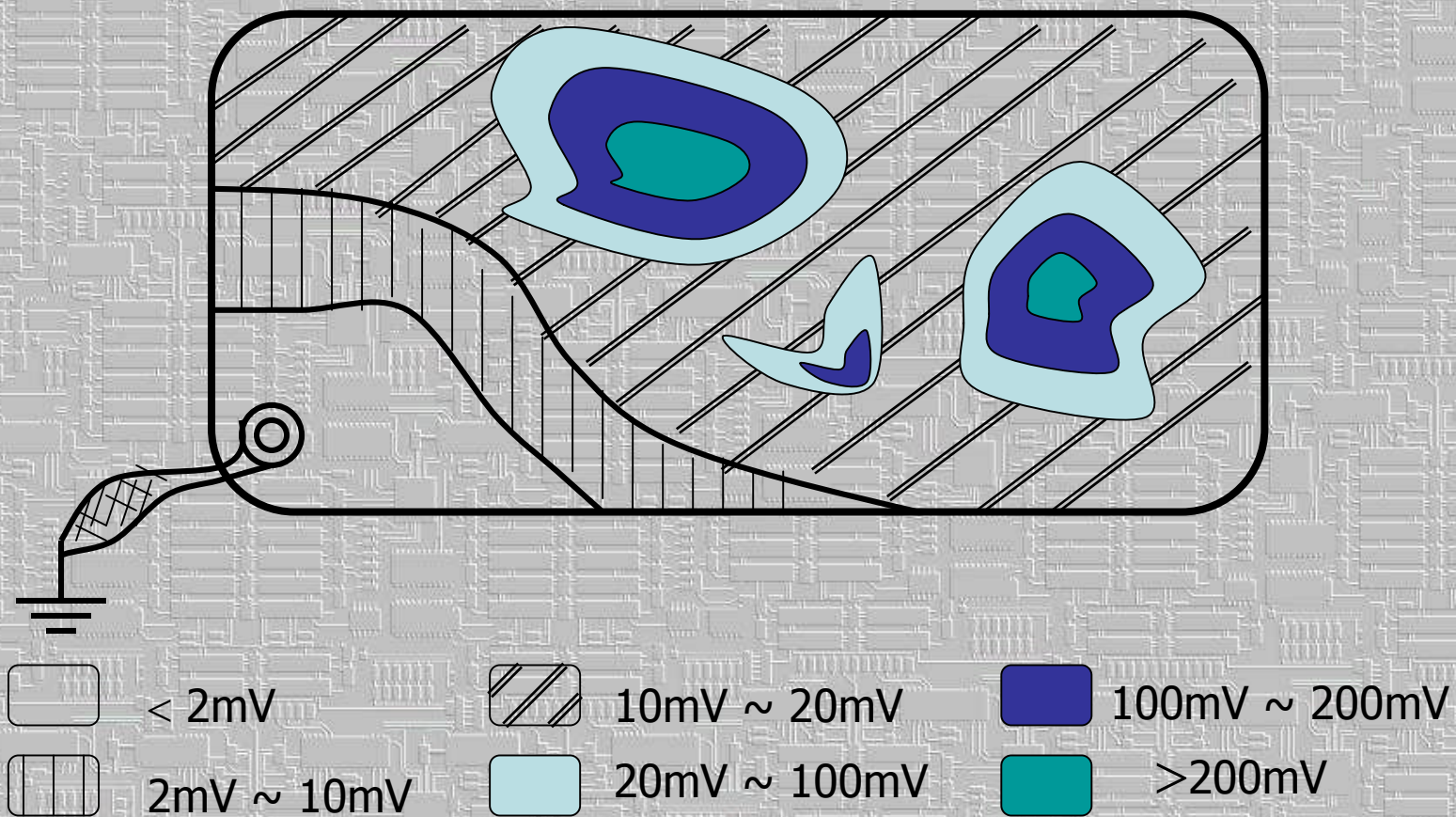
电流走最小  
阻抗路径

我们并不知  
道地电流的  
确切路径

地电流失  
去控制

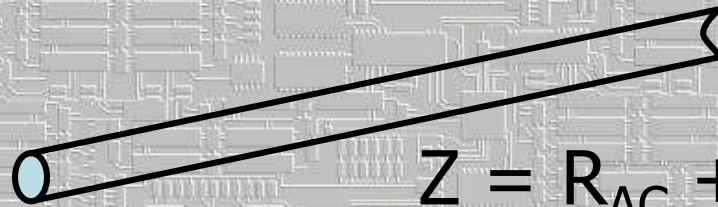


# 地线电位示意图





# 导线的阻抗

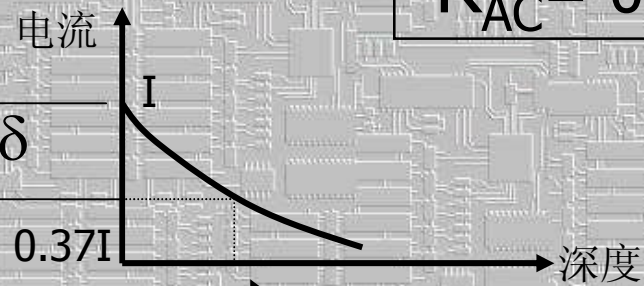
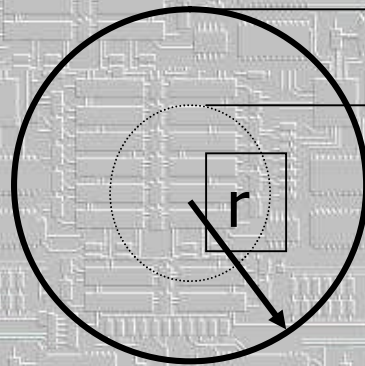


$$Z = R_{AC} + j\omega L$$

$$L \approx 1\mu\text{H/m}$$

$$R_{AC} = 0.076r f^{1/2} R_{DC}$$

趋肤效应



$$\delta = 1 / (\pi f \mu_r \sigma_r)^{1/2}$$

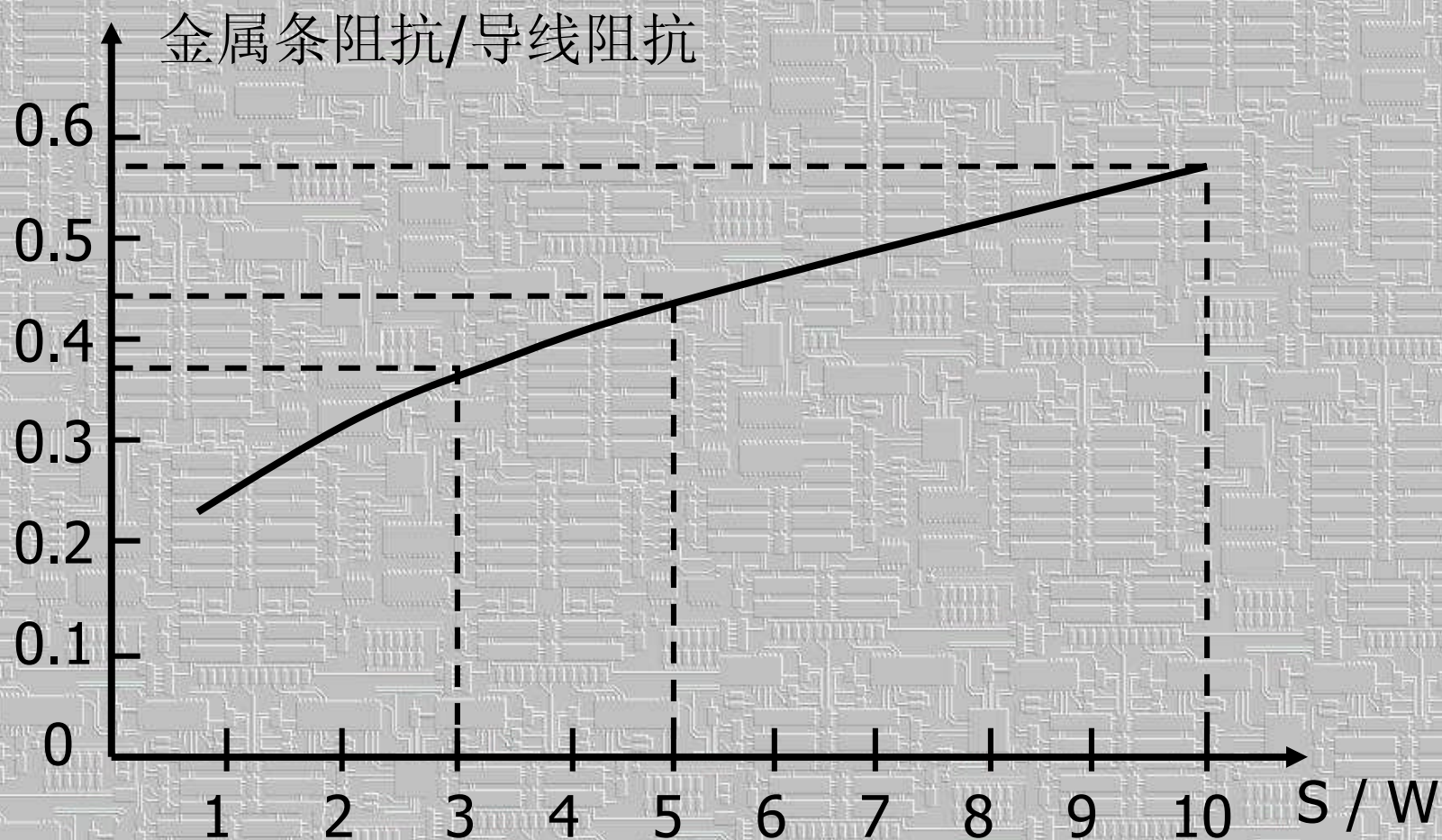


# 导线的阻抗

频率 Hz	d = 0.65cm		d = 0.27cm		d = 0.06cm		d = 0.04cm	
	10cm	1m	10cm	1m	10cm	1m	10cm	1m
10Hz	51.4 $\mu$	517 $\mu$	327 $\mu$	3.28m	5.29m	52.9m	13.3m	133m
1k	429 $\mu$	7.14m	632 $\mu$	8.91m	5.34m	53.9m	14m	144m
100k	42.6m	712m	54m	828m	71.6m	1.0	90.3m	1.07
1M	426m	7.12	540m	8.28	714m	10	783m	10.6
5M	2.13	35.5	2.7	41.3	3.57	50	3.86	53
10M	4.26	71.2	5.4	82.8	7.14	100	7.7	106
50M	21.3	356	27	414	35.7	500	38.5	530
100M	42.6		54		71.4		77	
150M	63.9		81		107		115	

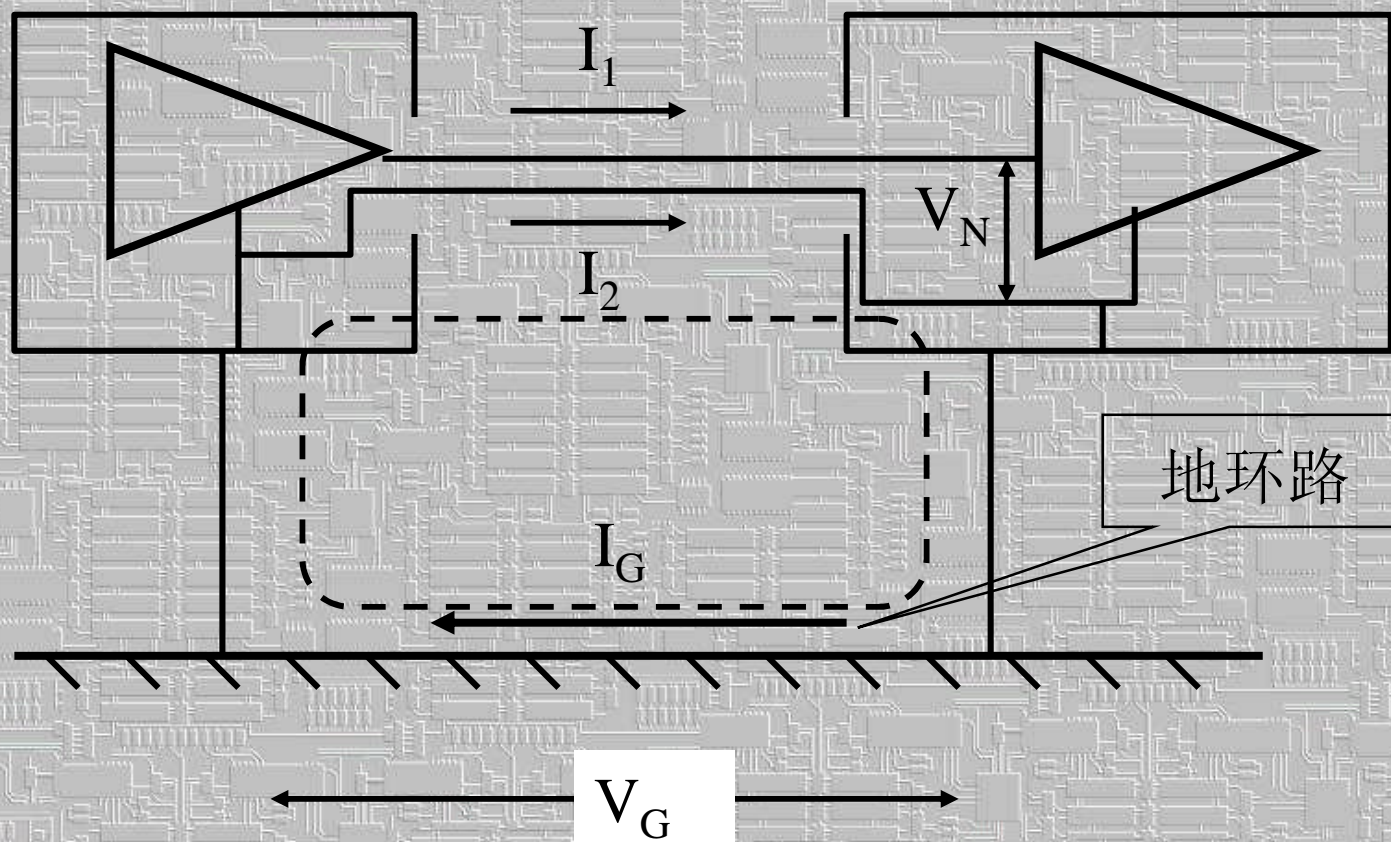


# 金属条与导线的阻抗比较



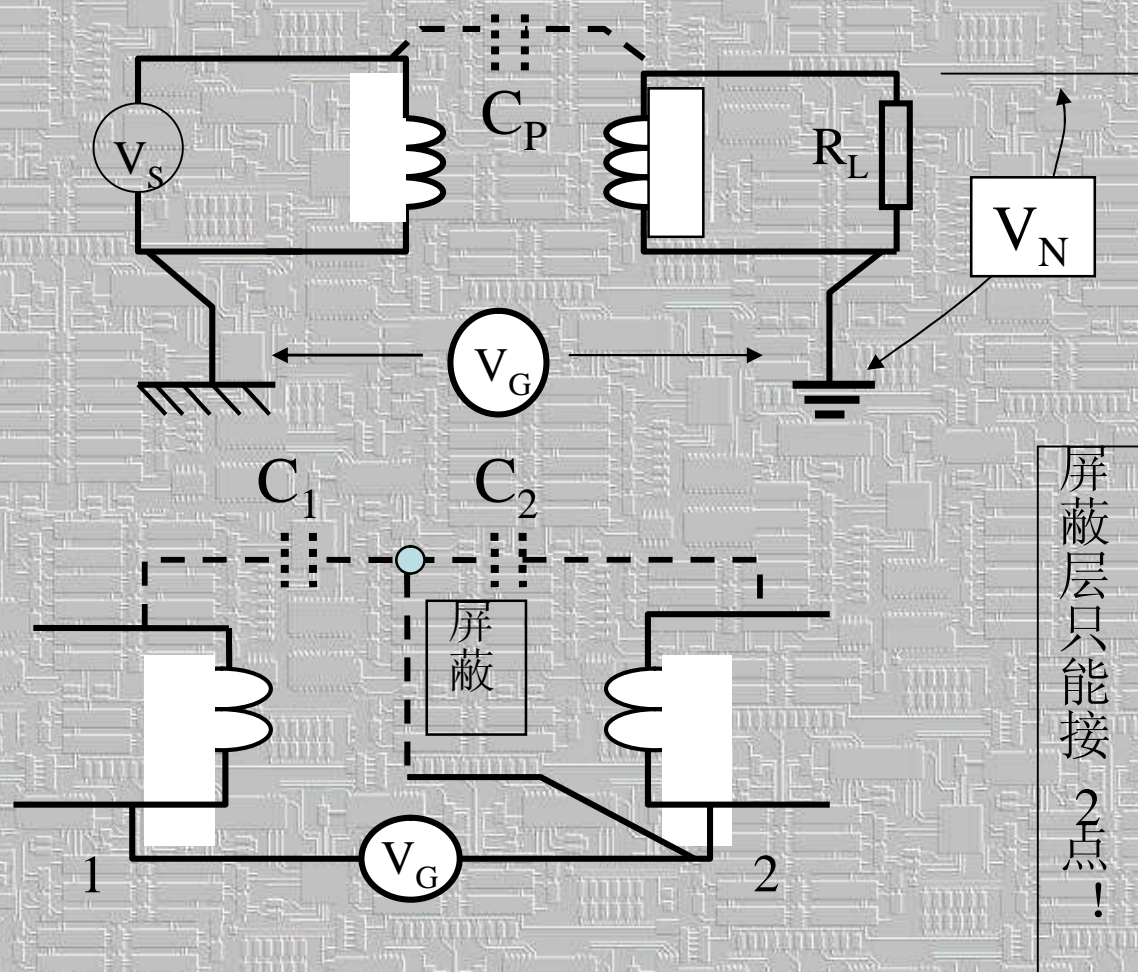


# 地线问题—地环路





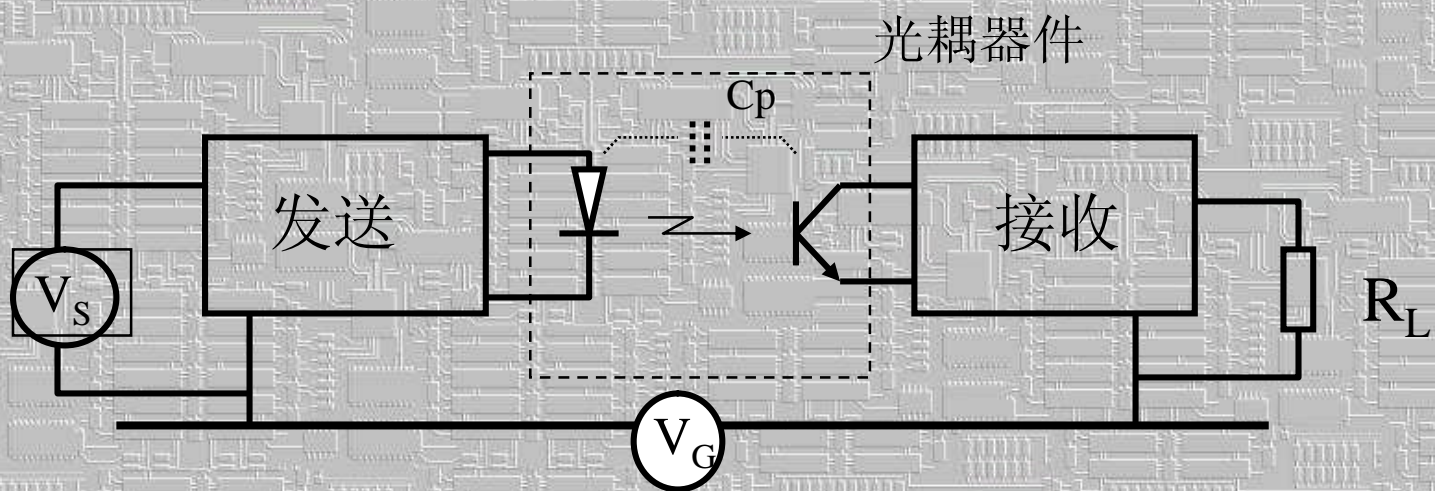
# 隔离变压器



屏蔽层只能接2点！

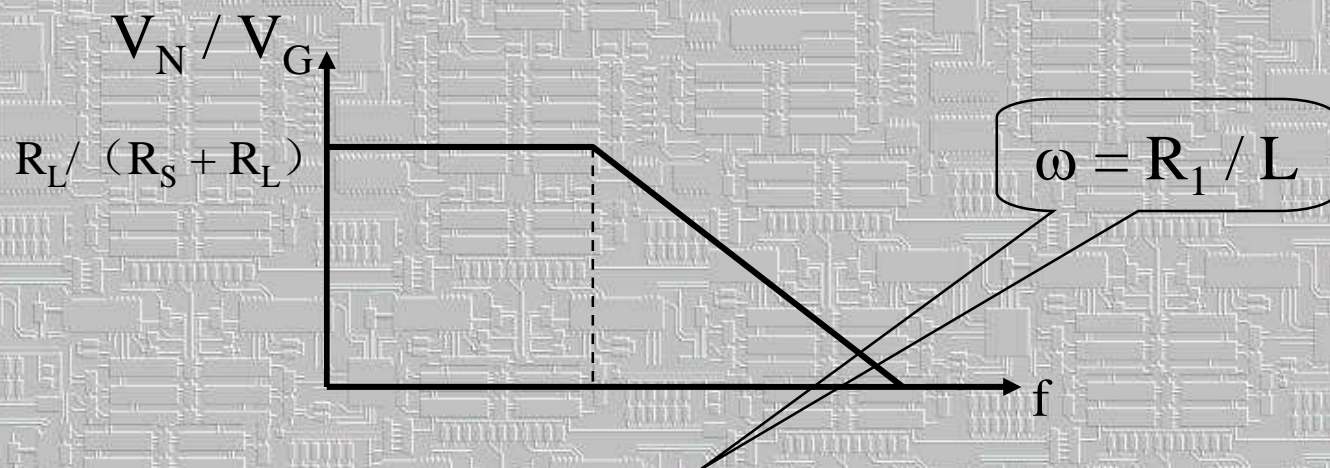
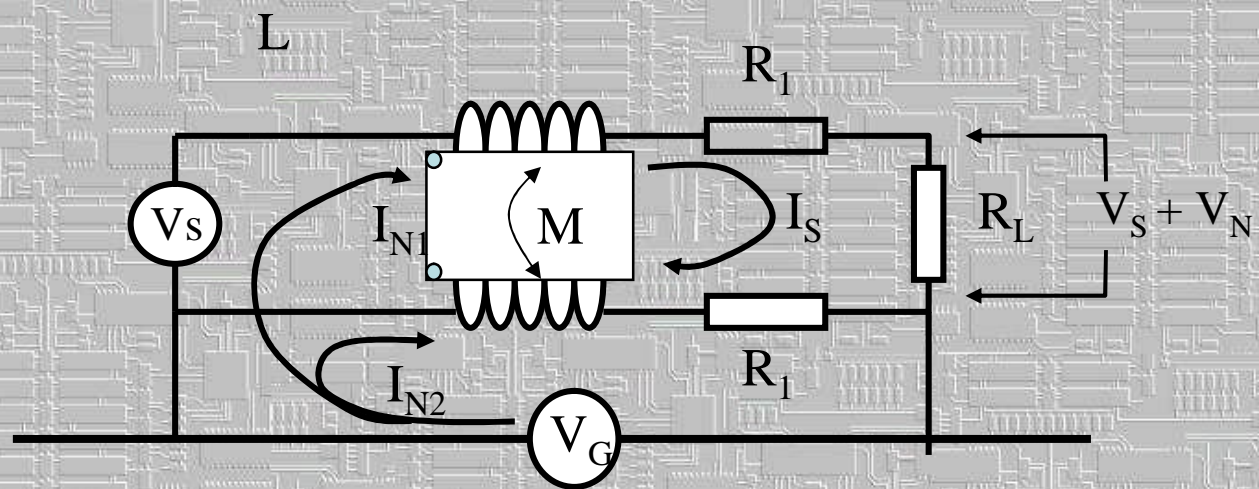


# 光隔离器



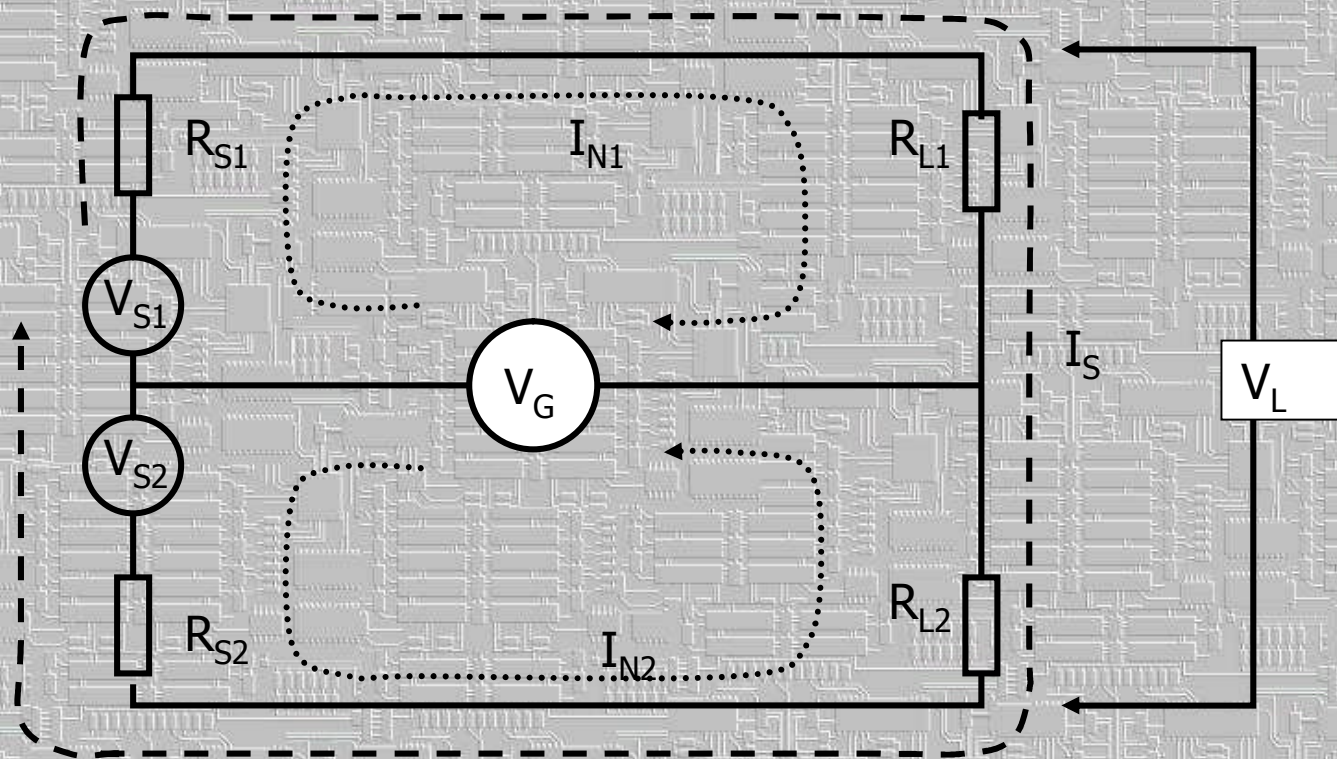


# 共模扼流圈的作用



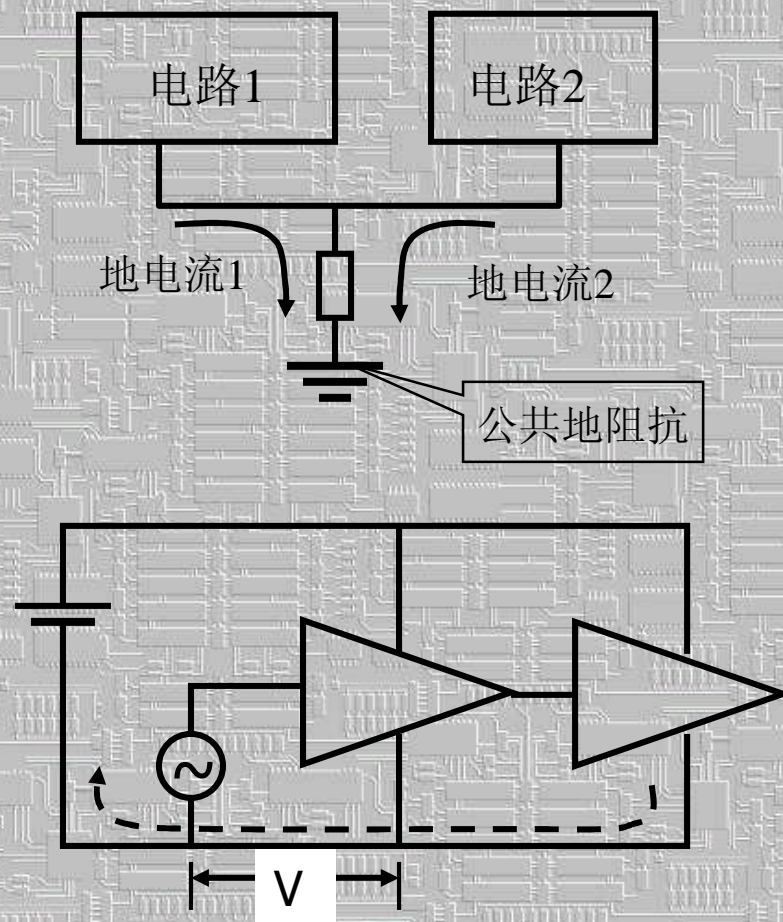


# 平衡电路对地环路干扰的抑制



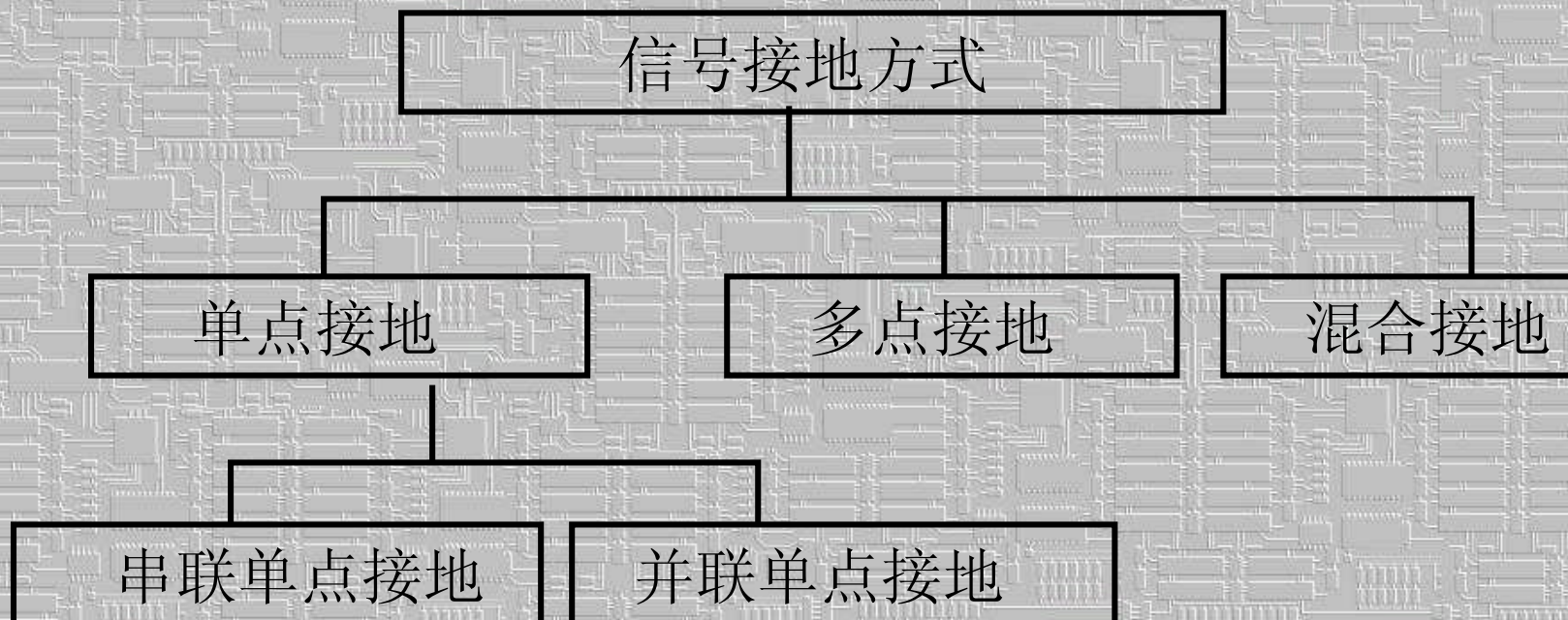


# 地线问题 — 公共阻抗耦合



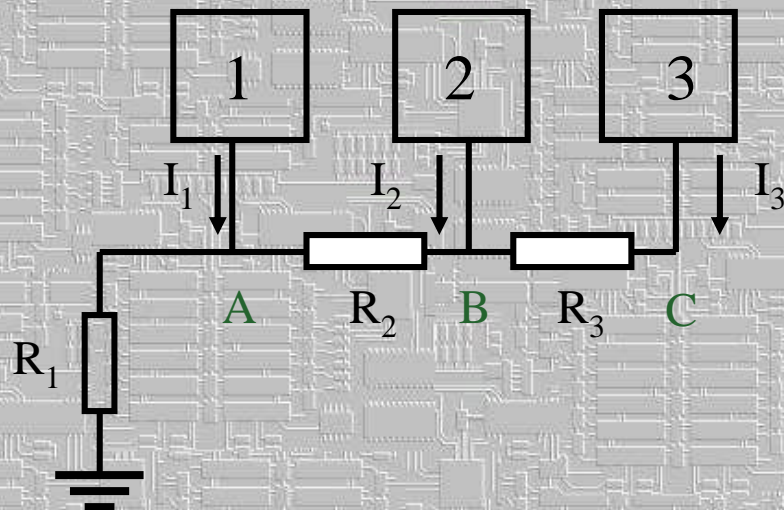


# 接地方式种类





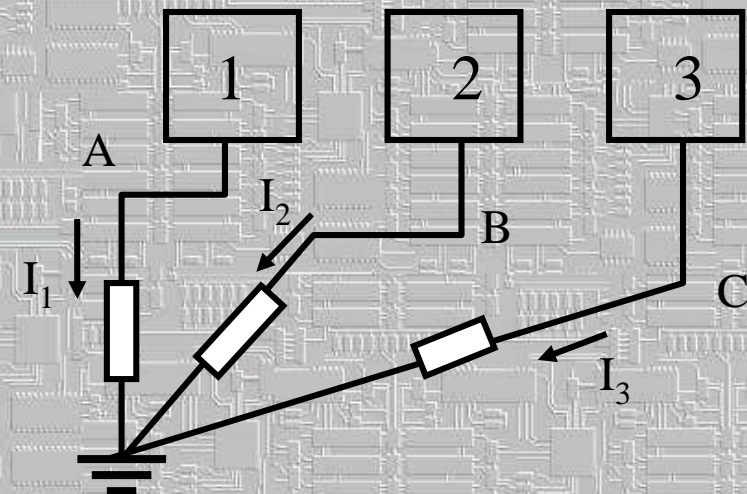
# 单点接地



串联单点接地

优点：简单

缺点：公共阻抗耦合



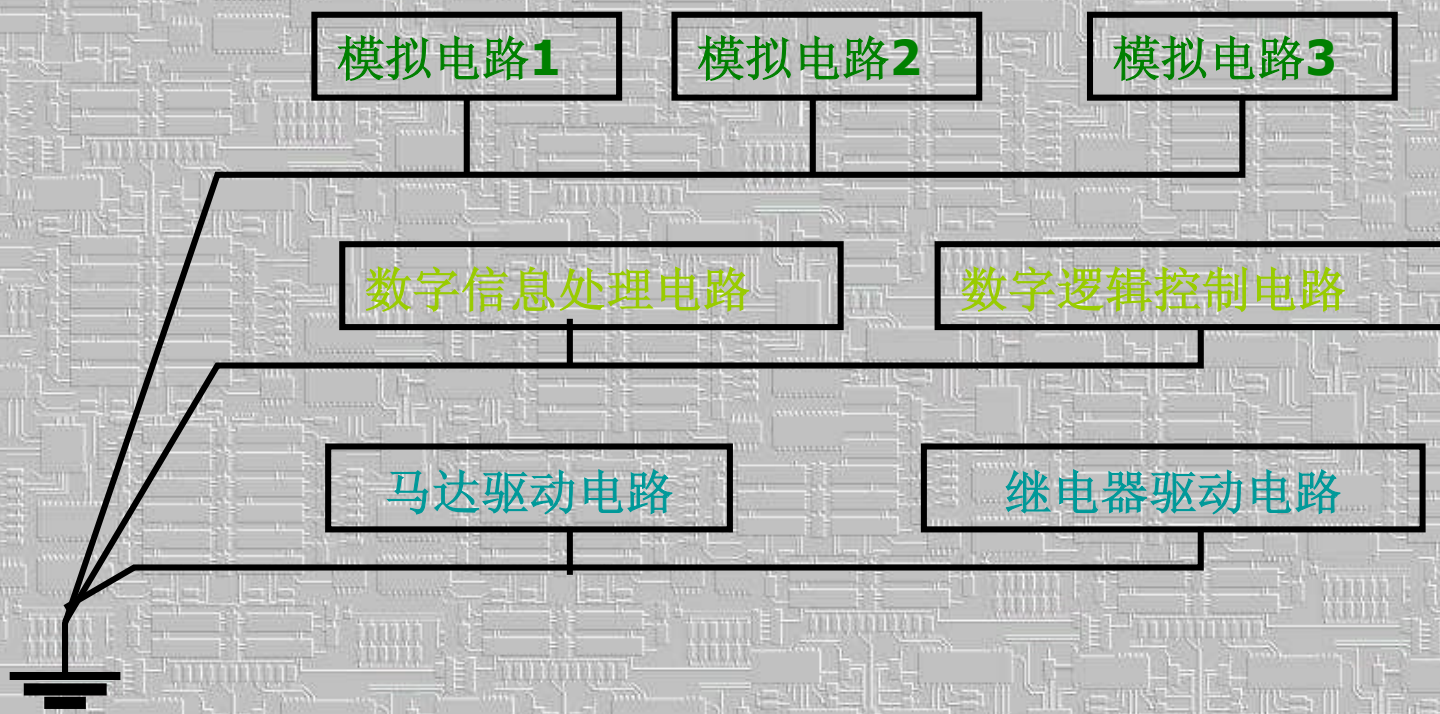
并联单点接地

优点：无公共阻抗耦合

缺点：接地线过多

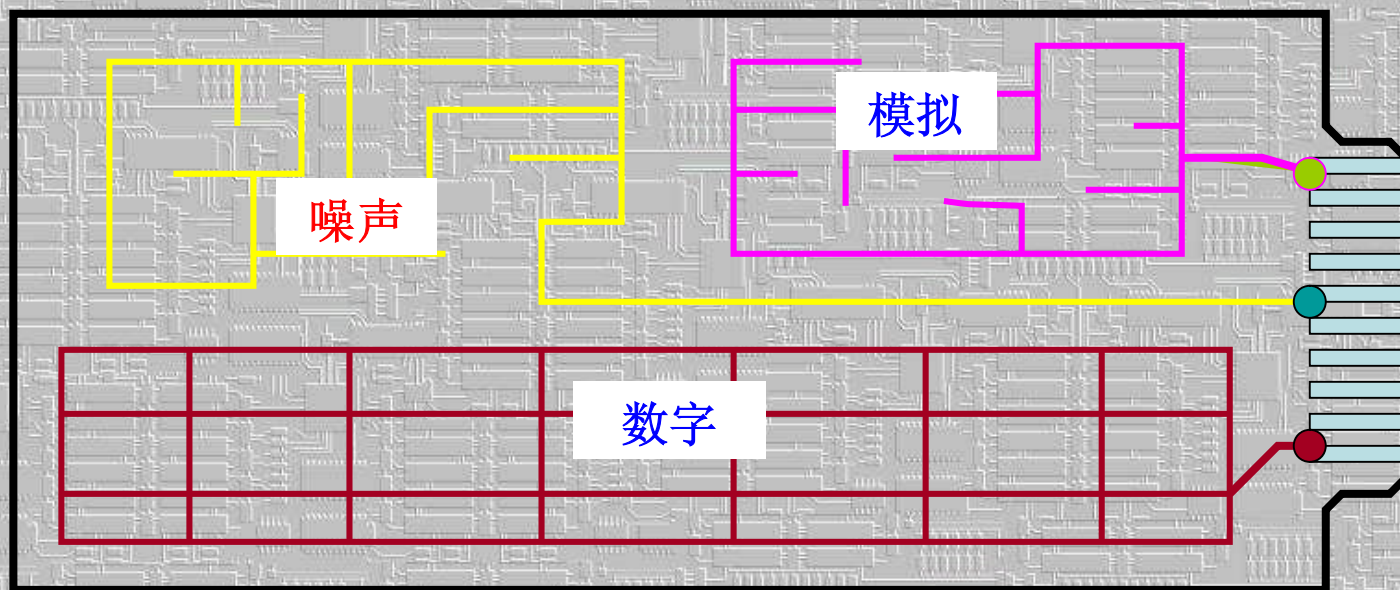


# 串联单点、并联单点混合接地



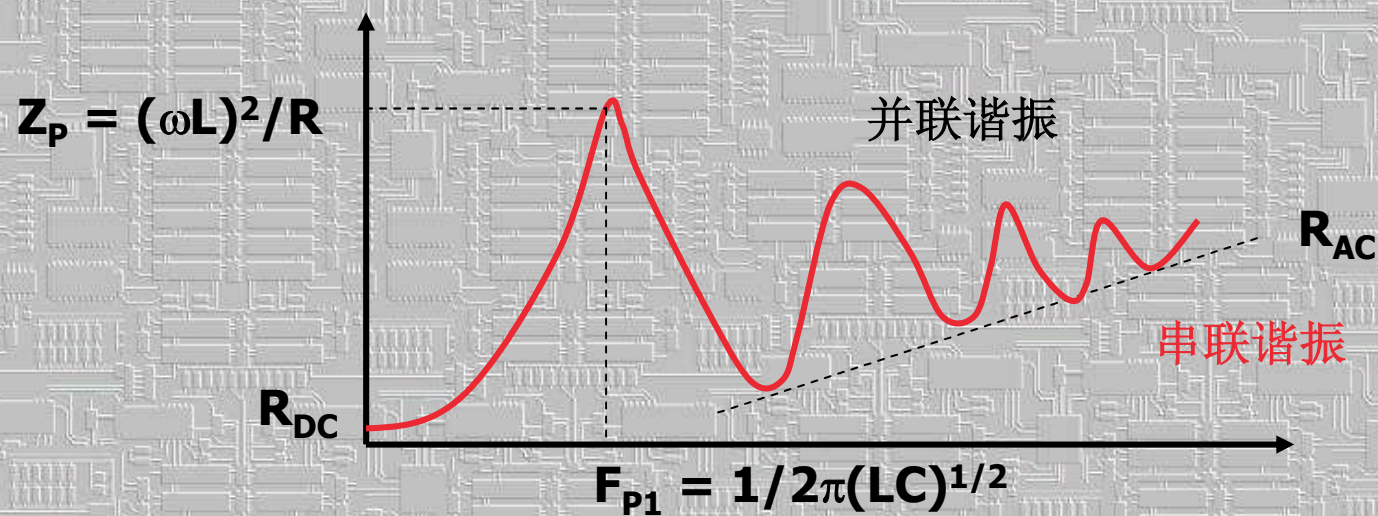
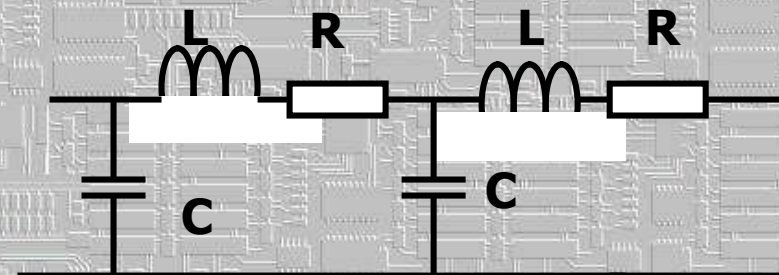
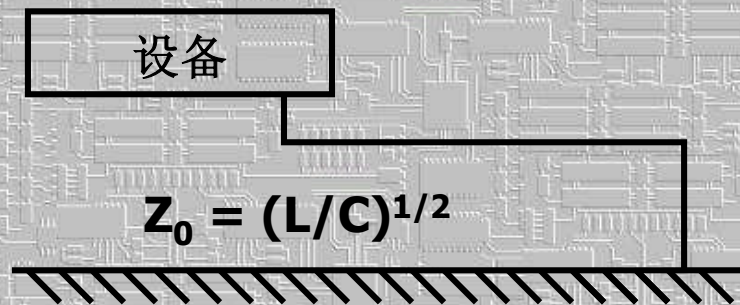


# 线路板上的地线



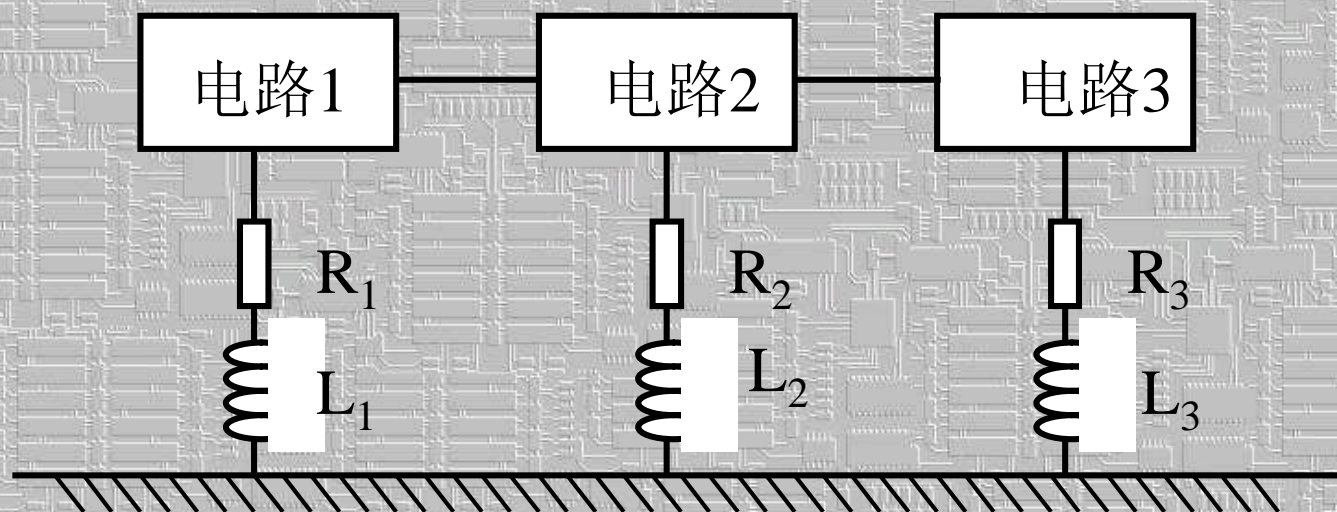


# 长地线的阻抗



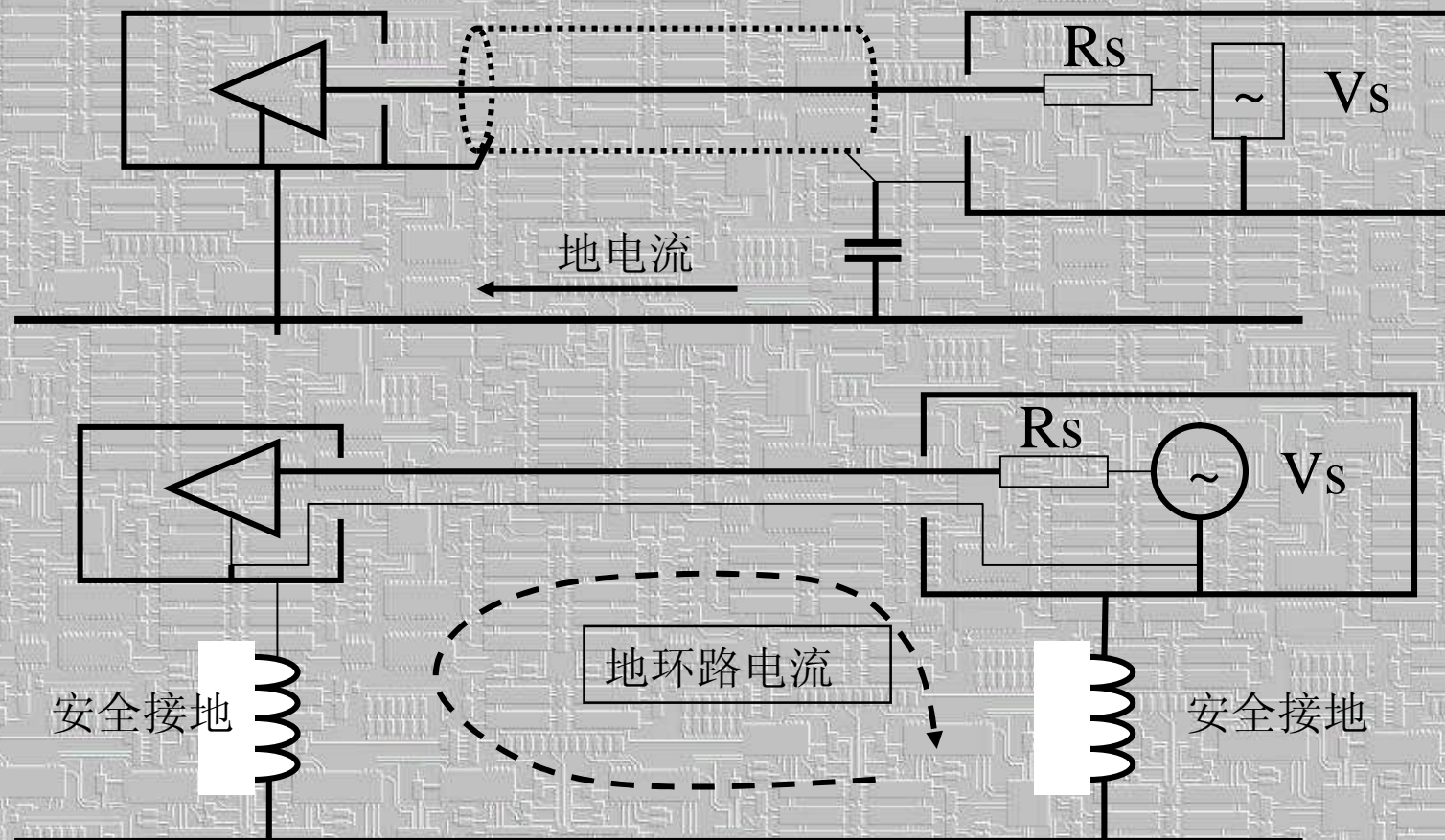


# 多点接地





# 混合接地





## § 18.4 屏蔽技术基础

- 屏蔽的概念
  - 电屏蔽
  - 磁屏蔽
  - 电磁屏蔽
- 实际屏蔽体的问题
- 双绞线和金属屏蔽线

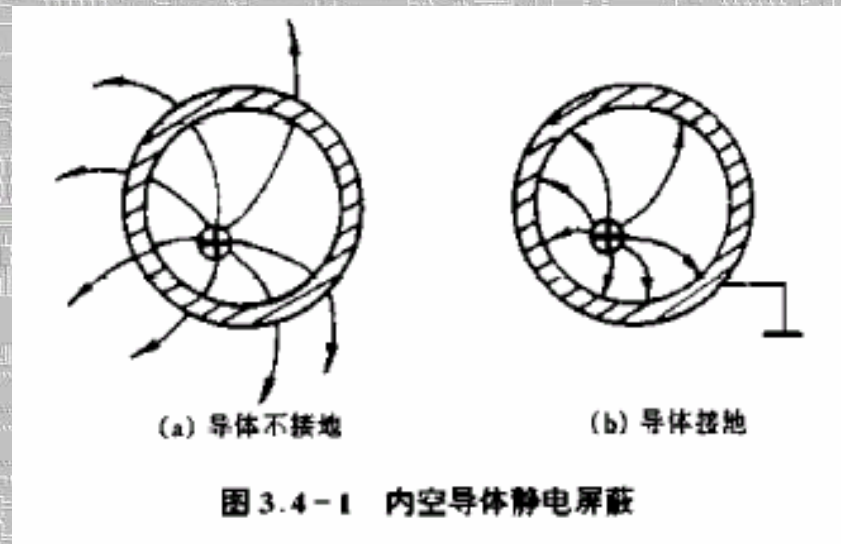


# 屏蔽的概念

- 屏蔽就是利用屏蔽体阻止或减少电磁能量传播的一种措施;
- 屏蔽体是为了阻止或减小电磁能传输而对装置进行封闭或遮蔽的一种阻挡层,它可以是导电的、导磁的、介质的或带有非金属吸收填料的。



# 电屏蔽

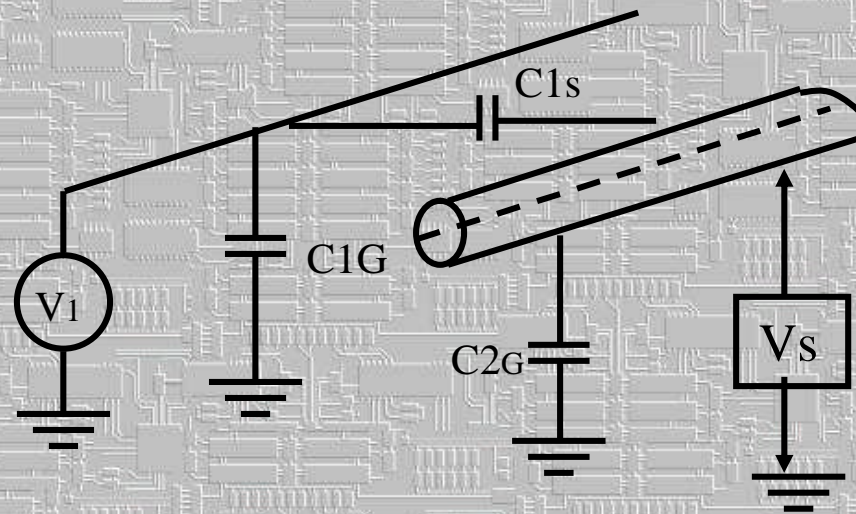


具有空腔的金属导体在静电平衡状态下，不仅导体内部场强为零，而且腔内场强也为零，因而置于腔内的物体不受外界电场的影响，这种作用叫静电屏蔽。



# 电屏蔽

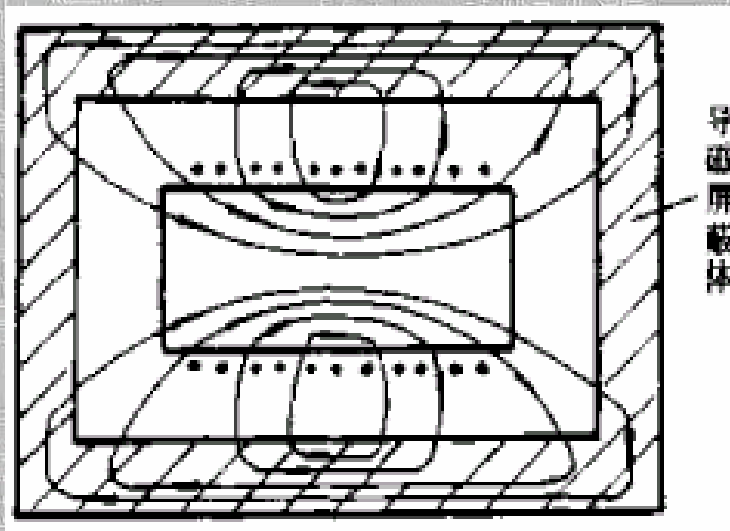
1. 静电屏蔽的一般方法是在电容耦合通道上 插入一个接地的金属屏蔽导体。
2. 由于金属屏蔽导体接地，其中的干扰电压为零，从而隔断了电场干扰的原来耦合通道。





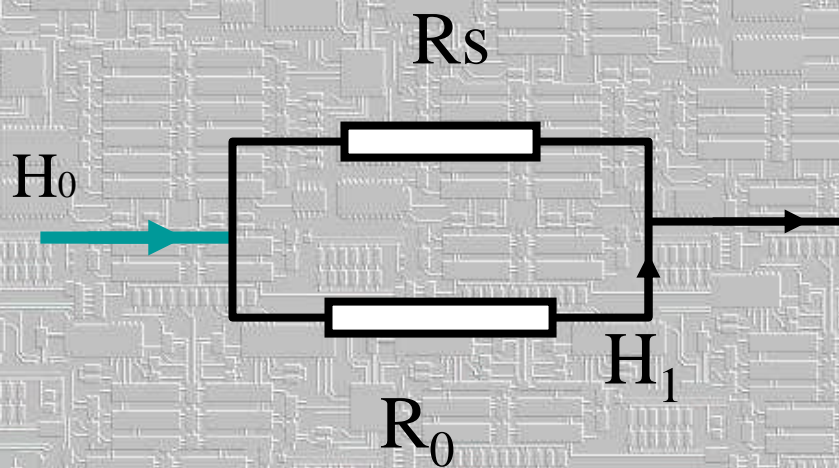
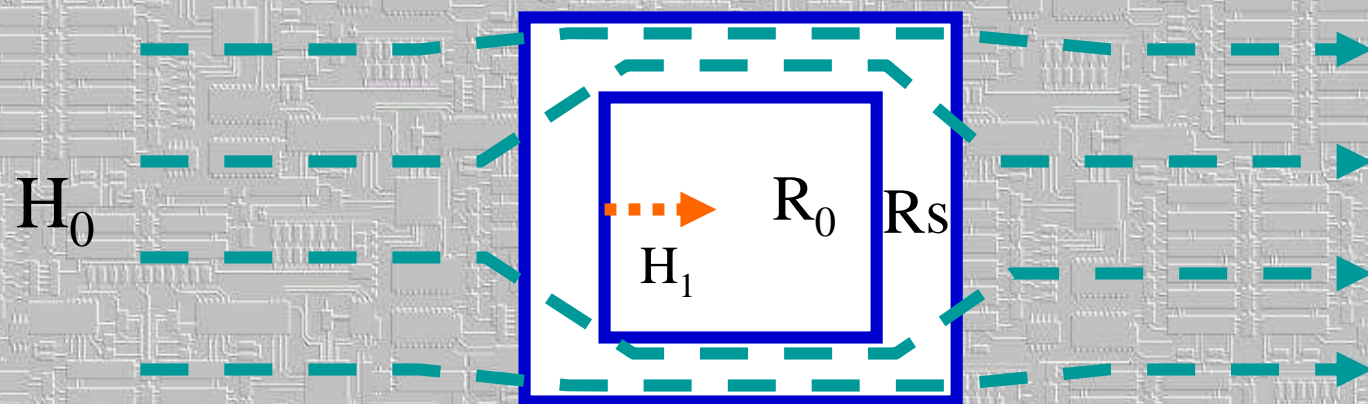
## 磁屏蔽

- 载流导体或线圈周围都会产生磁场，如果电流是随时间变化的，则磁场也随时间变化，这变化的磁场会对其他元件或电路造成干扰；
- 对于低频磁场的屏蔽，主要依赖高导磁率材料所具有的小磁阻起磁分路作用





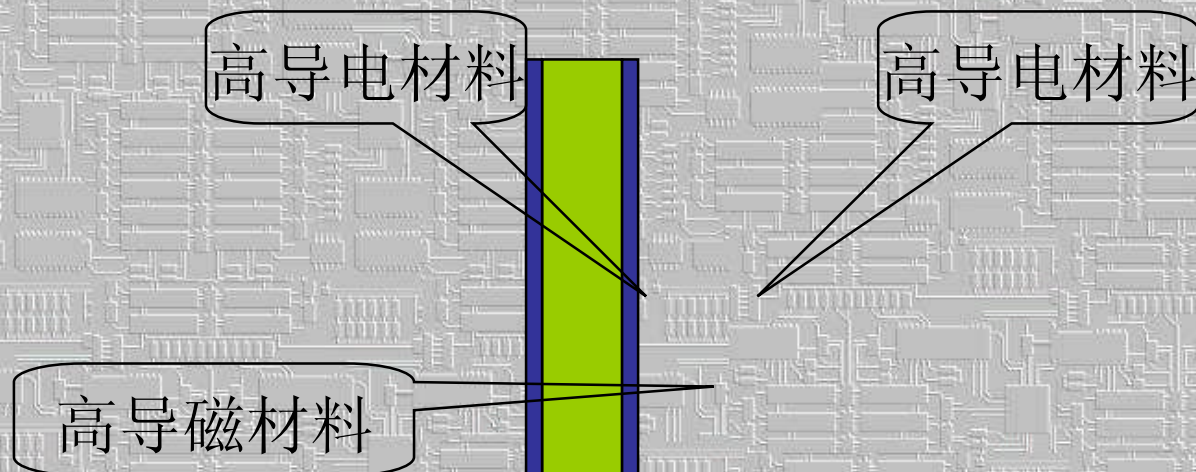
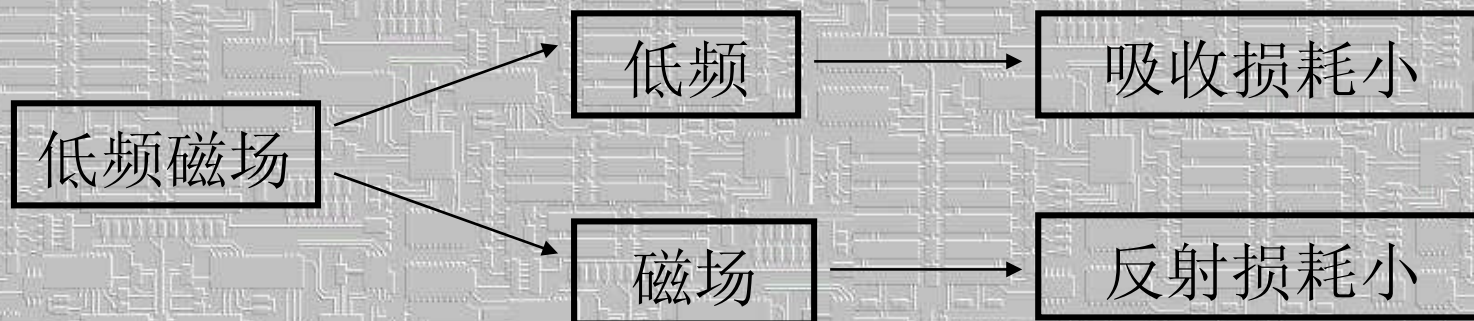
# 高导磁率材料的磁旁路效果



$$SE = 1 + R_0/R_s$$

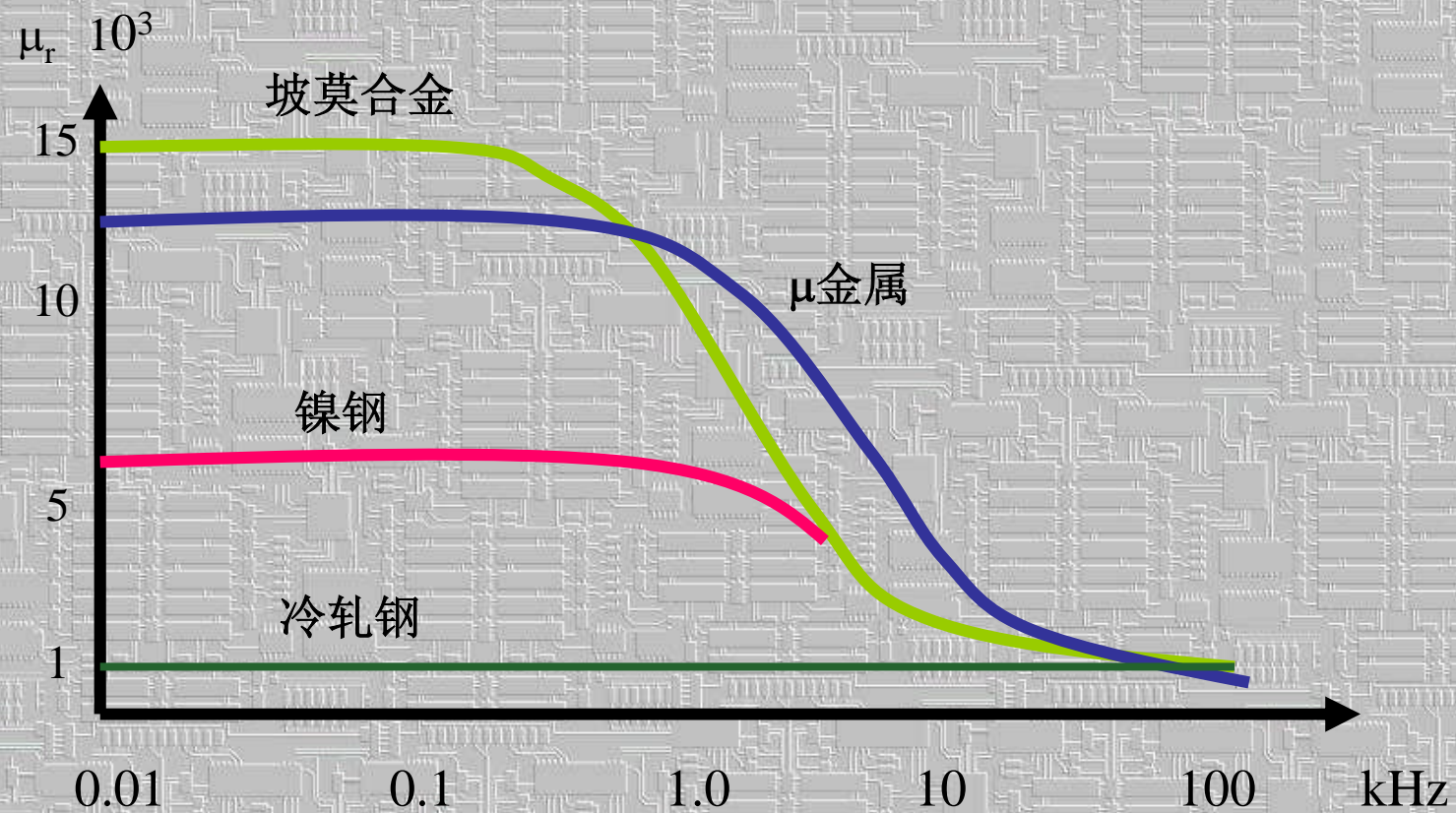


# 怎样屏蔽低频磁场？



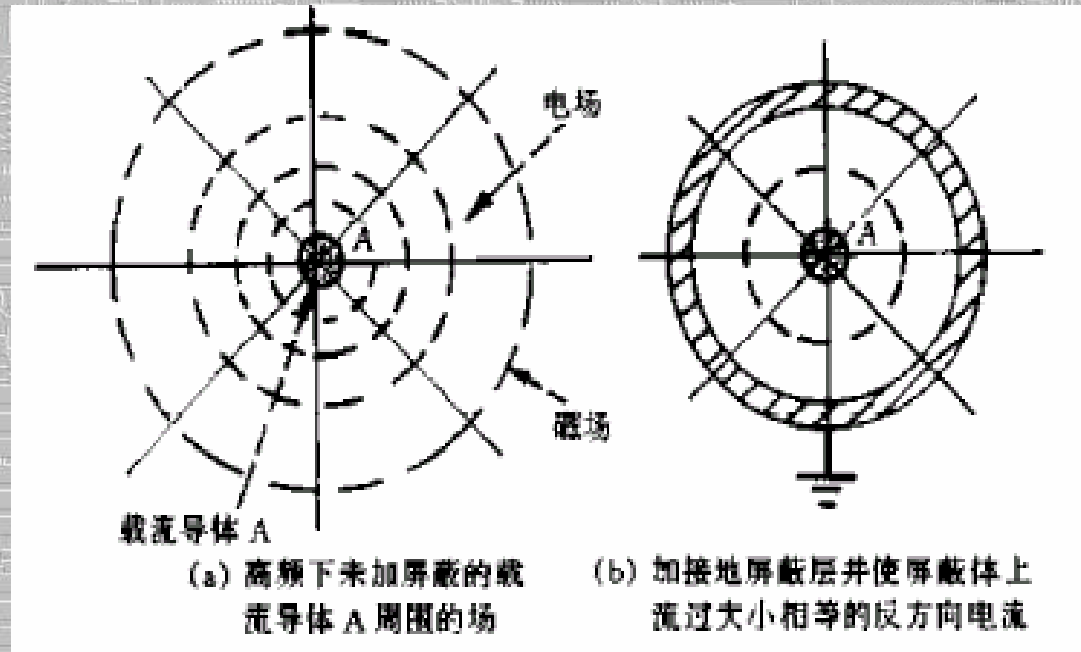


# 磁屏蔽材料的频率特性





# 电磁屏蔽



- 电磁屏蔽是对于高频电磁场的屏蔽
- 电磁波在通过金属材料或对电磁波有衰减作用的阻挡层时，会受到一定程度的衰减，这就起到了电磁屏蔽的作用。



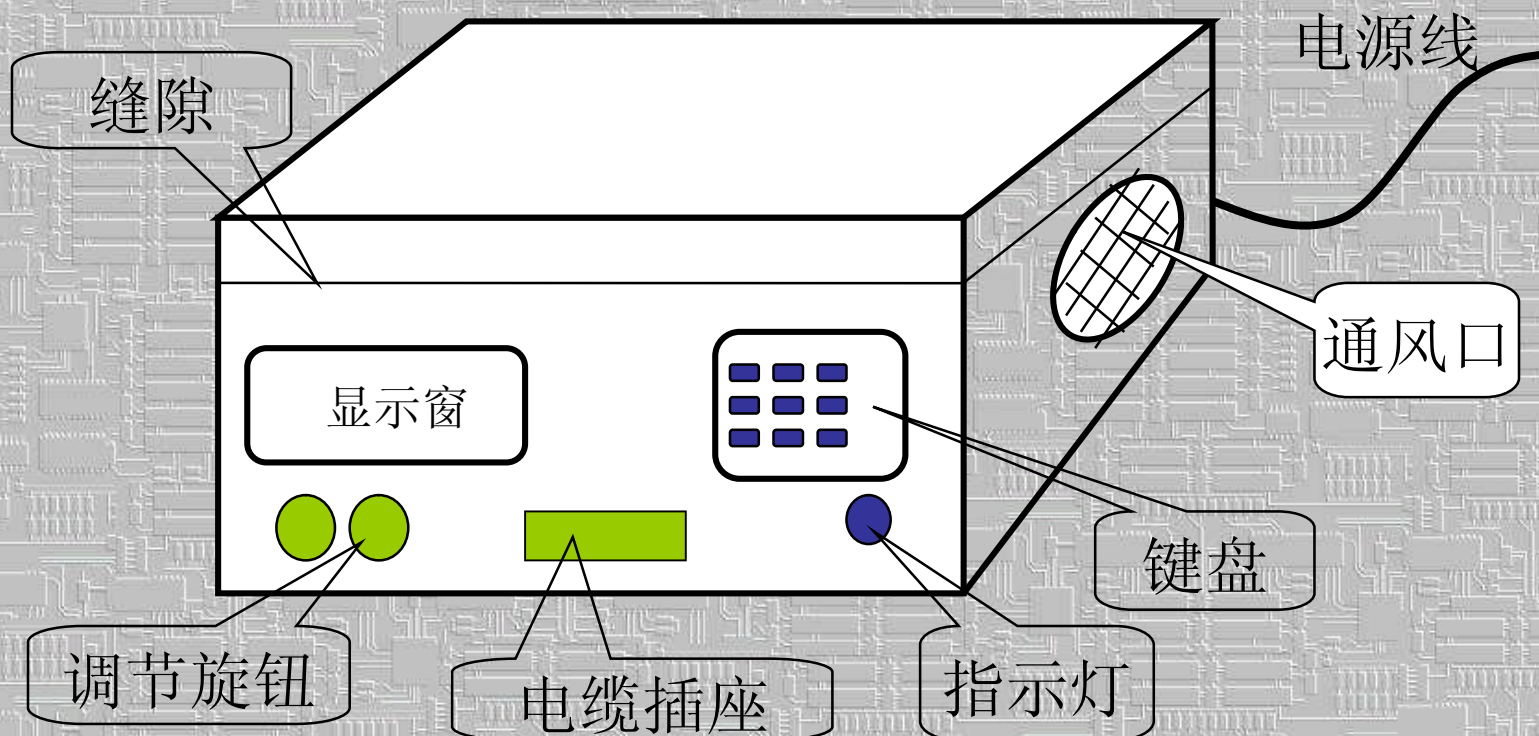
## 电磁屏蔽与静电屏蔽

- 电磁屏蔽指的是对电磁波的屏蔽，而静电屏蔽指的是对静电场的屏蔽。
- 静电屏蔽要求屏蔽体必须接地。
- 影响屏蔽体电磁屏蔽效能的不是屏蔽体接地与否，而是屏蔽体导电连续性。破坏屏蔽体的导电连续性的因素有屏蔽体上不同部分的接缝、开口等。
- 电磁屏蔽对屏蔽体的导电性要求要比静电屏蔽高得多。



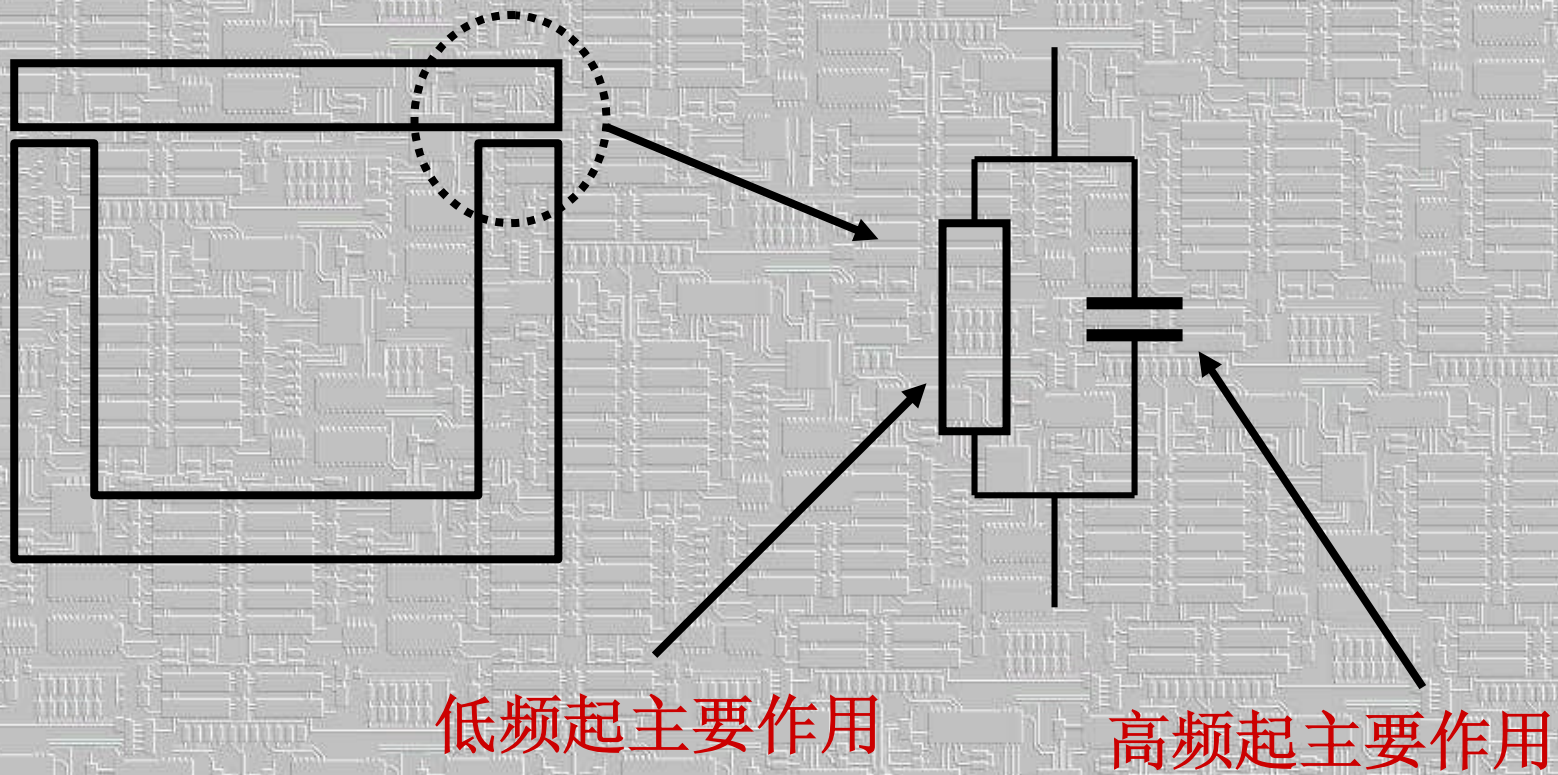
# 实际屏蔽体的问题

实际机箱上有许多泄漏源：不同部分结合处的缝隙通风口、显示窗、按键、指示灯、电缆线、电源线等



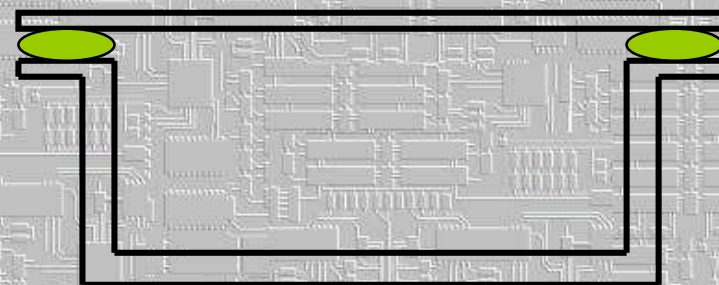


## 縫隙的泄漏





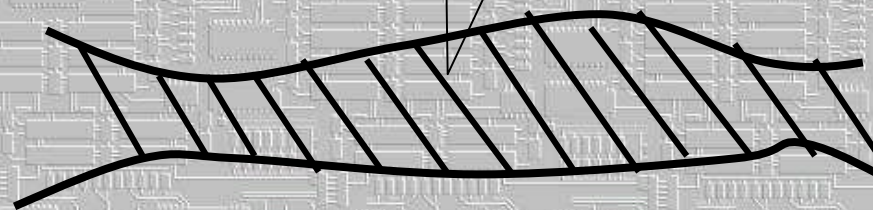
# 縫隙的处理



电磁密封衬垫



縫隙



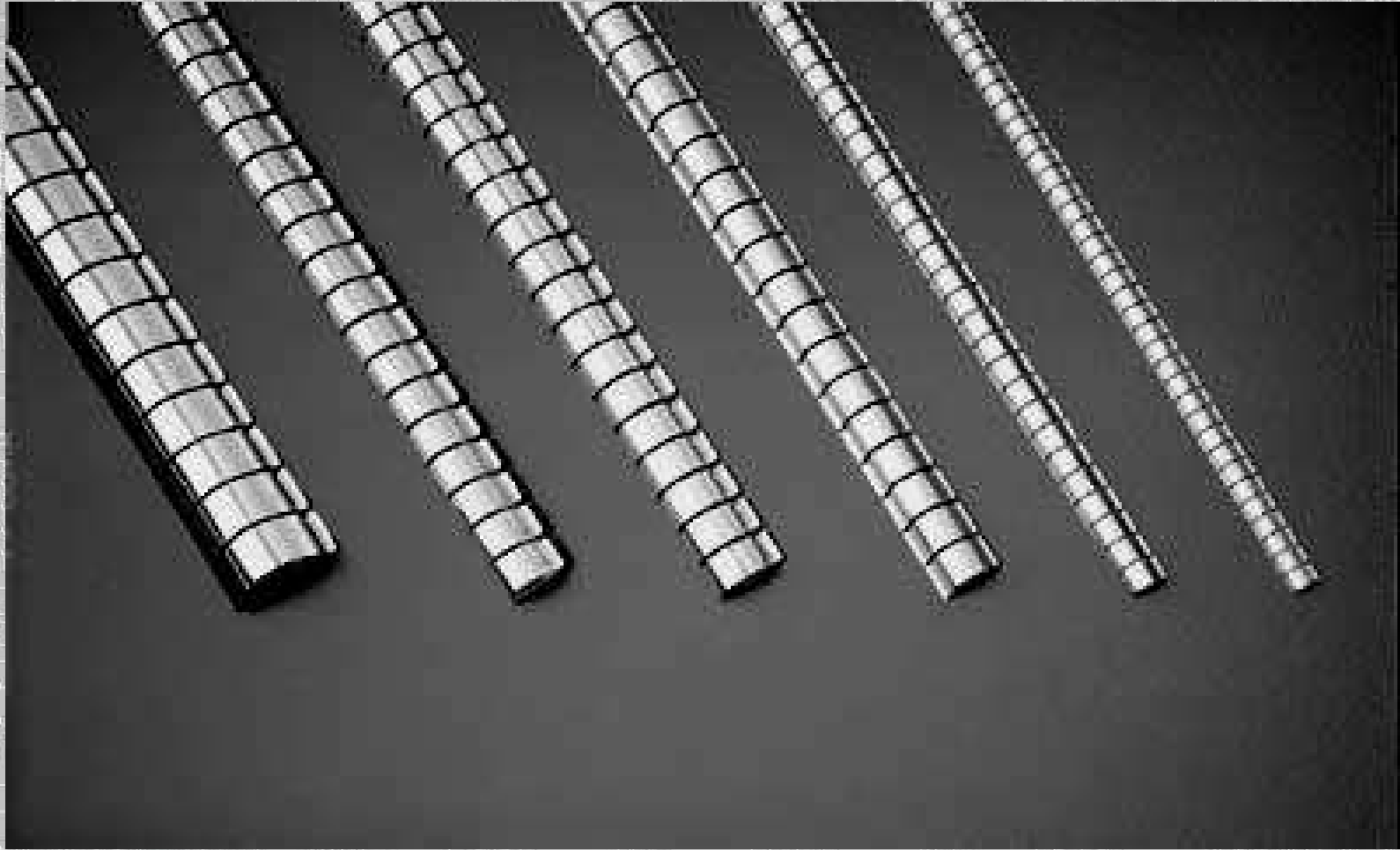


## 电磁密封衬垫的种类

- 金属丝网衬垫(带橡胶芯的和空心的)
- 导电橡胶(不同导电填充物的)
- 指形簧片(不同表面涂覆层的)
- 螺旋管衬垫(不锈钢的和镀锡铍铜的)
- 导电布

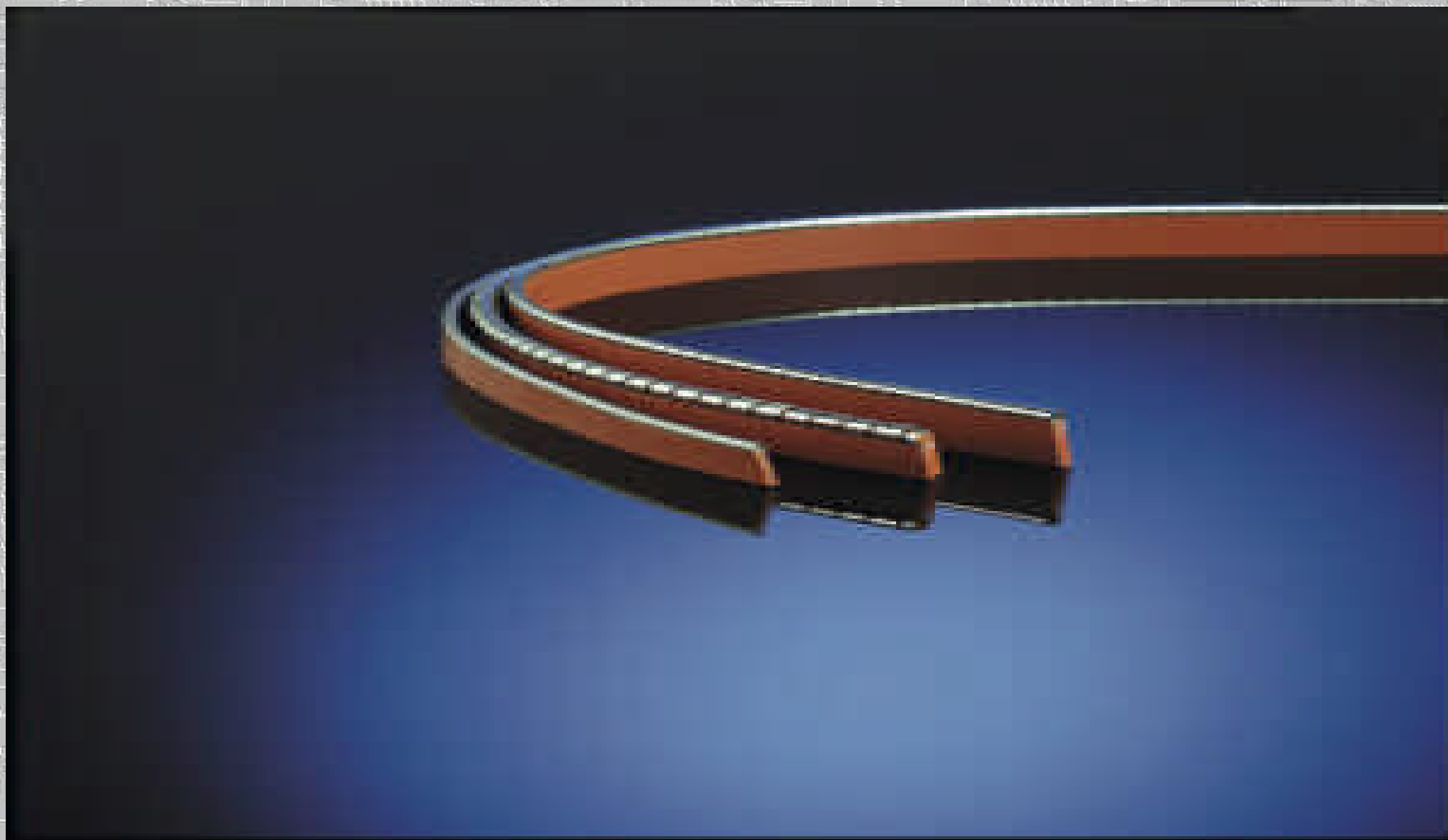


# 指形簧片





# 螺旋管电磁密封衬垫





# 电磁密封衬垫的主要参数

- 屏蔽效能（关系到总体屏蔽效能）
- 回弹力（关系到盖板的刚度和螺钉间距）
- 最小密封压力（关系到最小压缩量）
- 最大形变量（关系到最大压缩量）
- 压缩永久形变（关系到允许盖板开关次数）
- 电化学相容性（关系到屏蔽效能的稳定性）

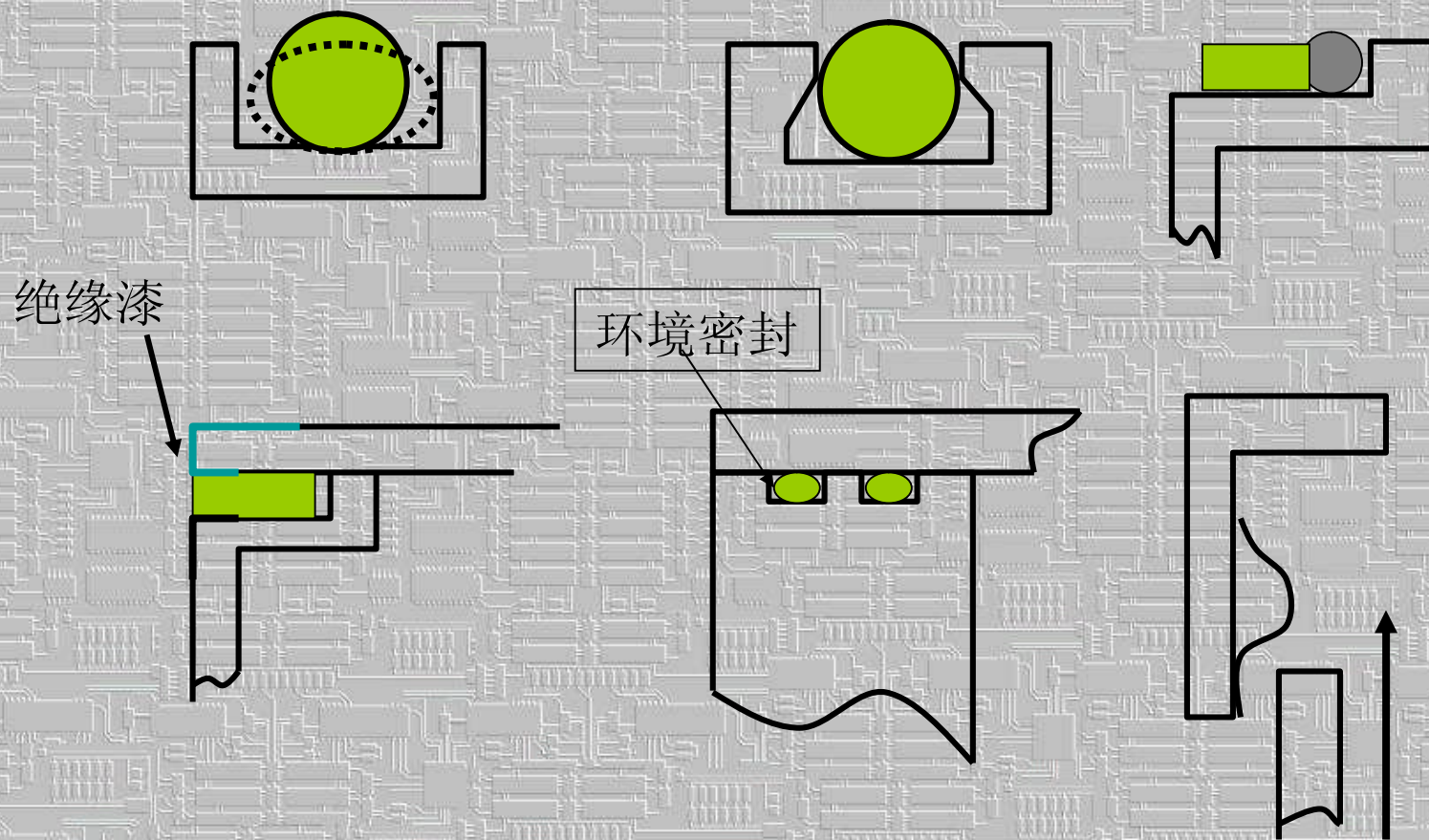


# 各种电磁密封衬垫的特点

衬垫种类	屏蔽效能	弹性	永久形变	环境密封	价格	优点
不锈钢螺旋管	高	好	小	无	低	价低
镀锡铍铜螺旋管	很高	好	小	无	中	屏蔽效能高
多重密封螺旋管	高	好	小	有	较高	有环境密封、耐久
指形簧片	高	好	小	无	高	压缩最大、允许切向滑动接触
空心金属网套	低频高 高频中等	好	较小	无	中	需要的压力小
橡胶芯金属网套	低频高 高频中等	好	小	无	低	价低
传统导电橡胶	低频低 高频高	差	大	有	高	有环境密封、高频屏蔽好
双重导电橡胶	低频低 高频高	好	小	有	低	有环境密封、高频屏蔽好、价低
定向金属丝导电橡胶	低频高 高频低	好	小	有	低	有环境密封、价低

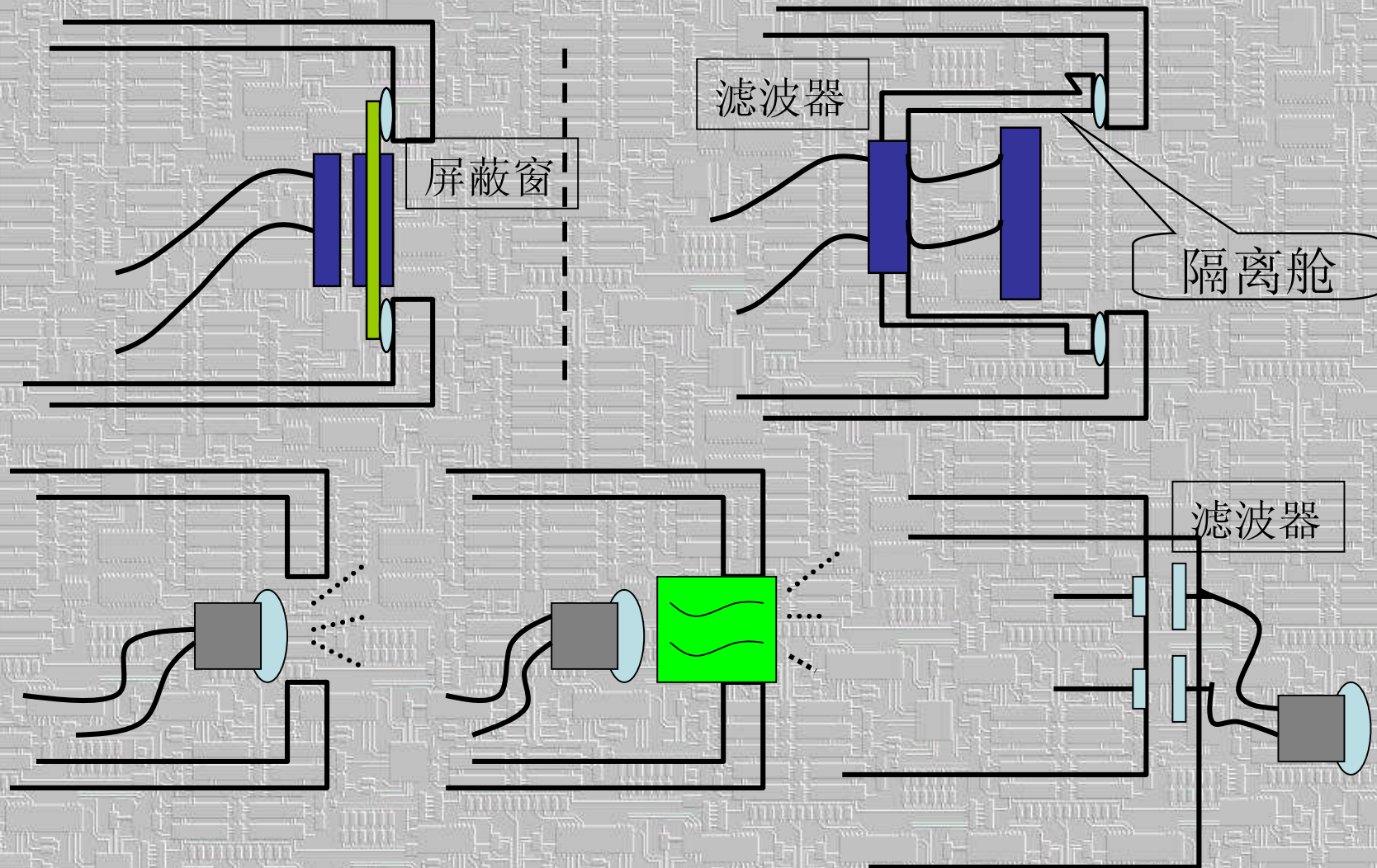


# 电磁密封衬垫的安装方法



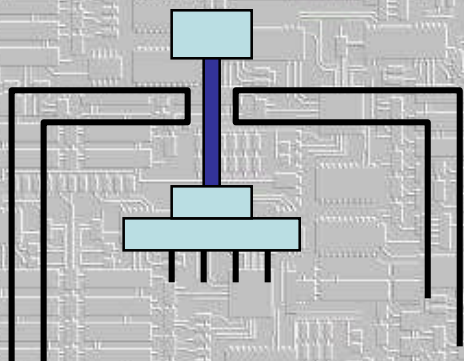


# 显示窗/器件的处理

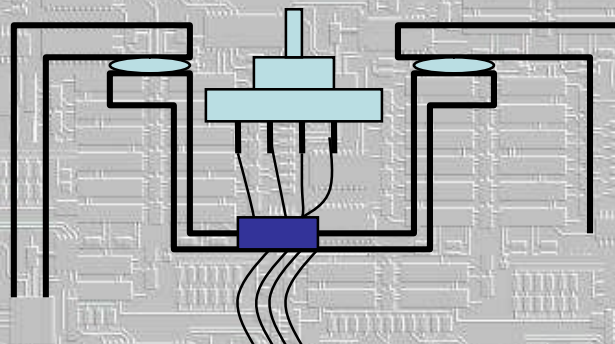




# 操作器件的处理



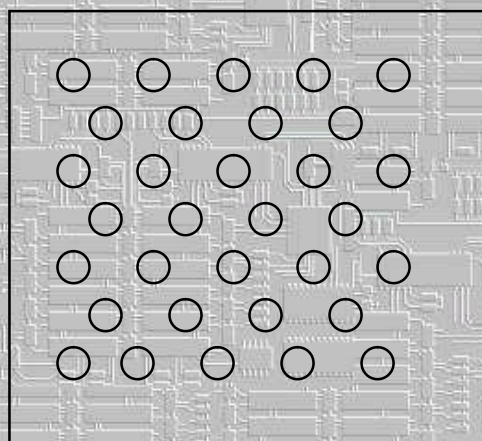
屏蔽体上  
开小孔



用隔离舱  
将操作器  
件隔离出



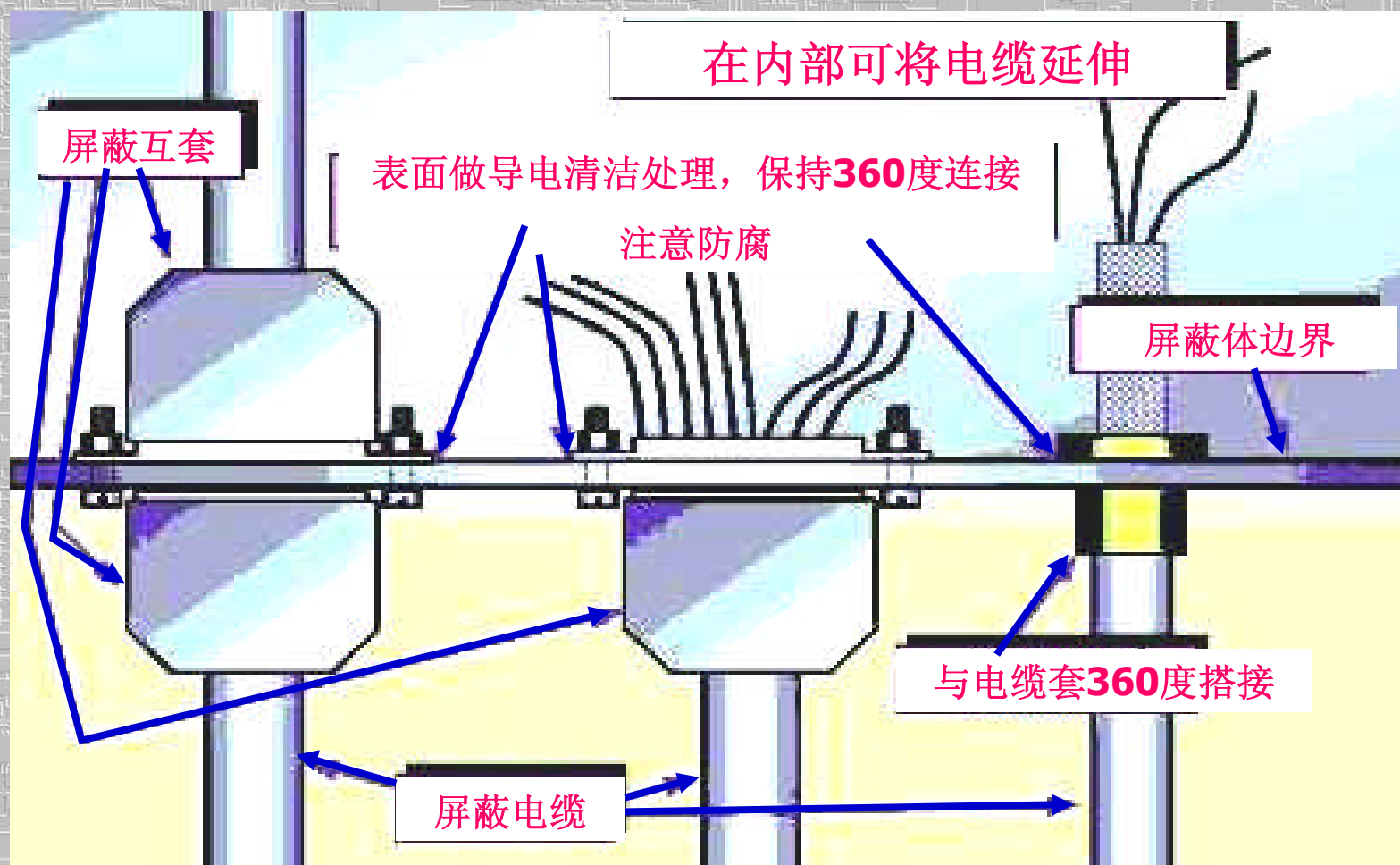
# 通风口的处理



穿孔金属板



# 屏蔽电缆穿过屏蔽机箱的方法





## 屏蔽壳体上的穿线

屏蔽壳体上不允许有任何导线穿过，屏蔽效能再高的屏蔽体，一旦有导线穿过屏蔽体，屏蔽体的屏蔽效能就会大幅度下降。这是因为导线充当了接收干扰和辐射干扰的天线。当有导线要穿过屏蔽体时，必须使用贯通滤波器，如图所示。这样可以将导线接收到的干扰滤除到屏蔽体上，从而避免干扰穿过屏蔽体。



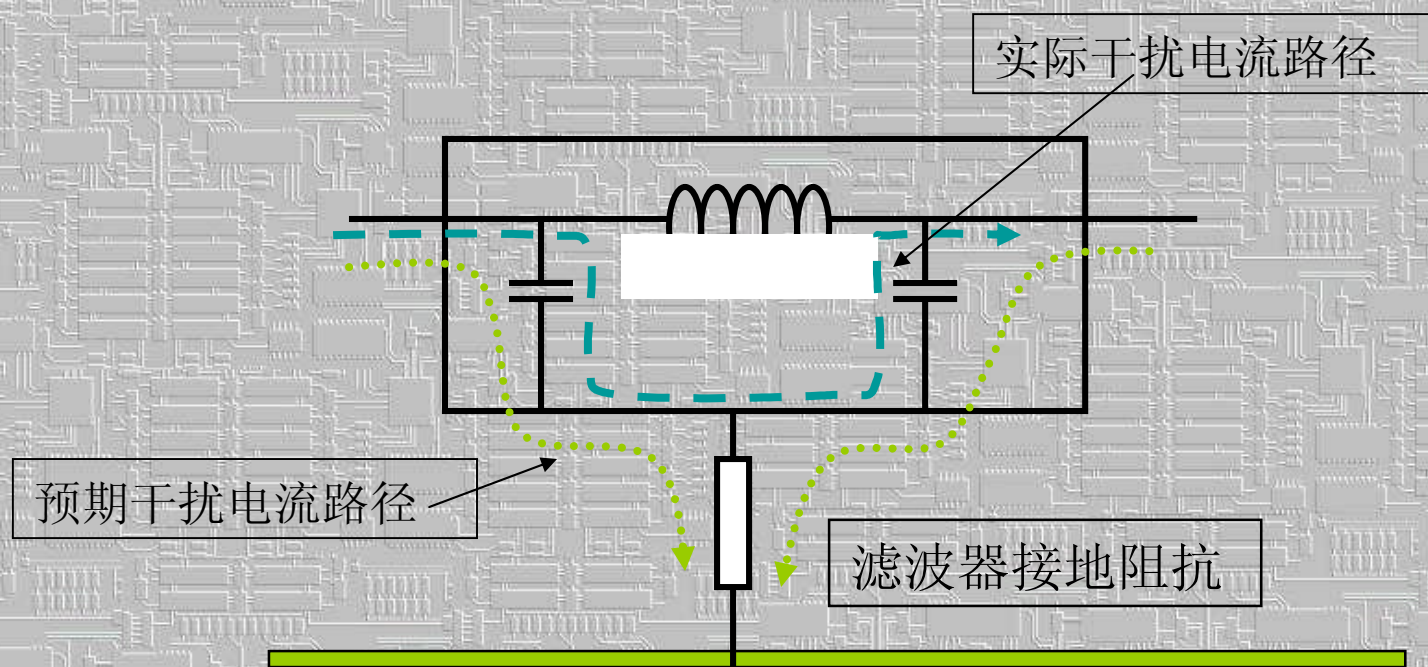
# 搭接

电子设备中，金属部件之间的低阻抗连接称为搭接。例如：

- 电缆屏蔽层与机箱之间搭接
- 屏蔽体上不同部分之间的搭接
- 滤波器与机箱之间的搭接
- 不同机箱之间的地线搭接



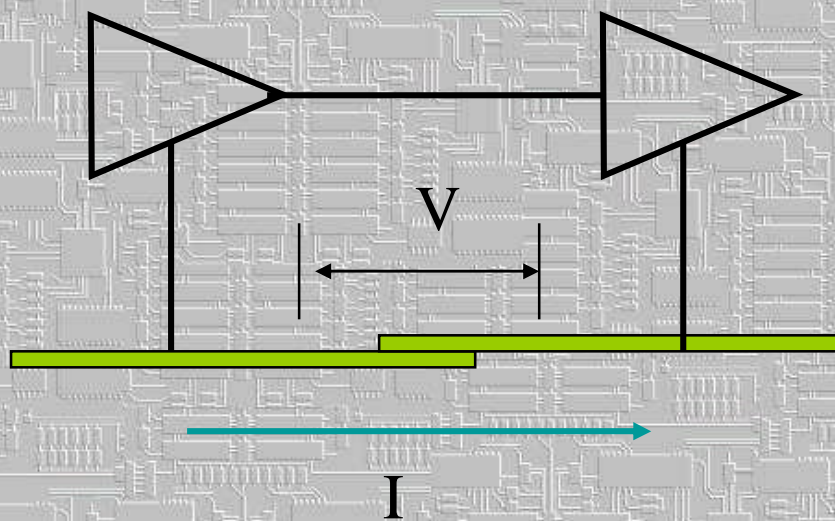
# 搭接不良的滤波器





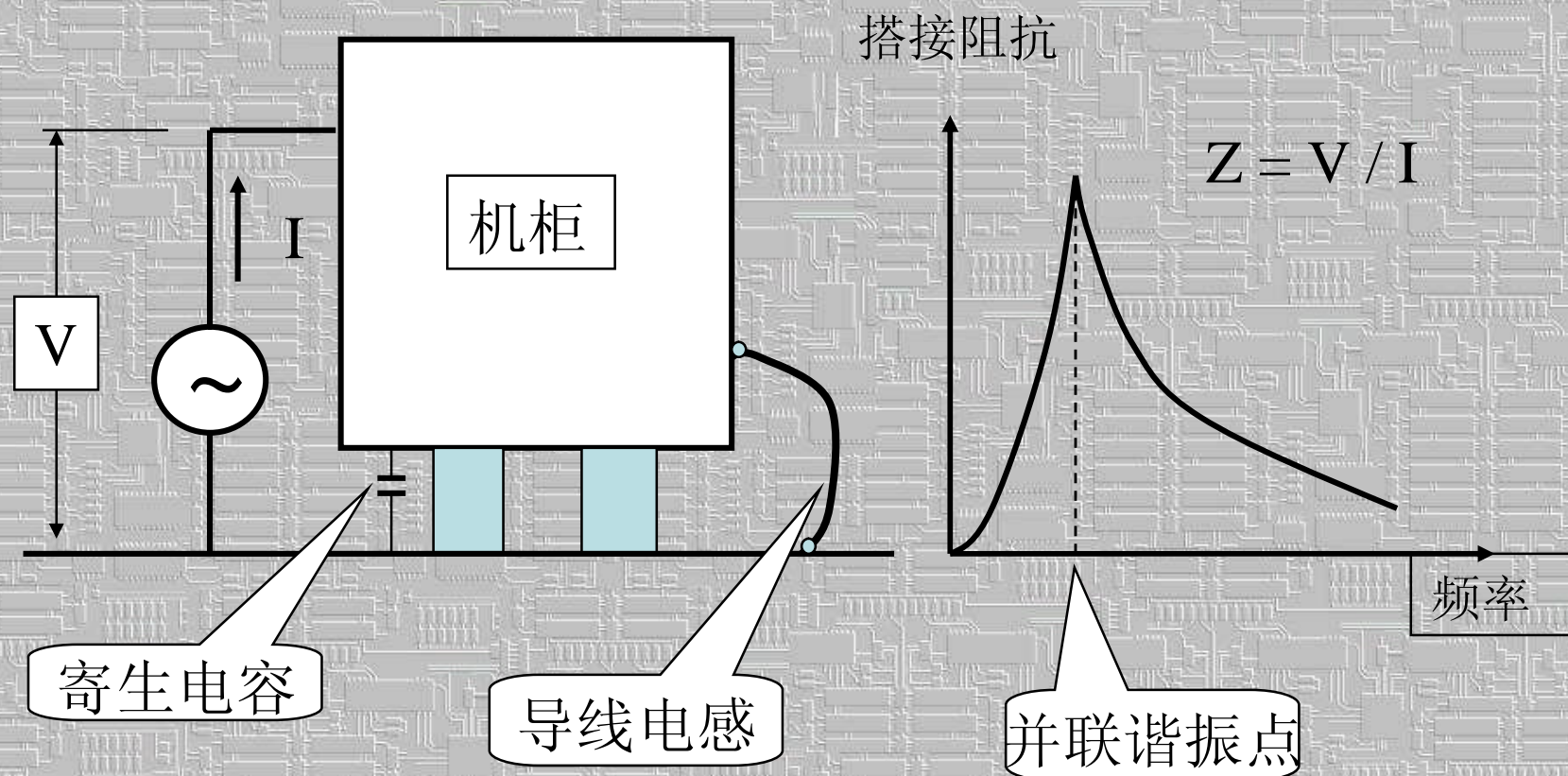
# 搭接不良的机箱

航天飞行器上的搭接阻抗要小于 $2.5\text{m}\Omega$ !





# 搭接阻抗的测量



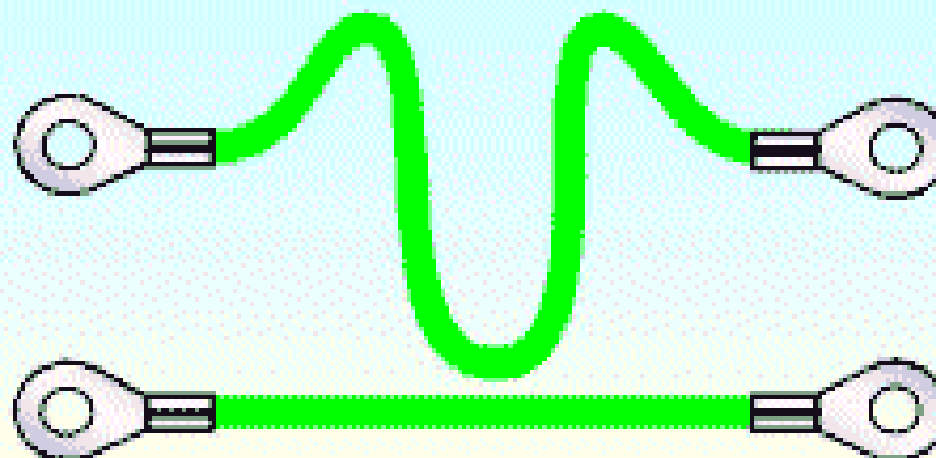


# 不同的搭接条

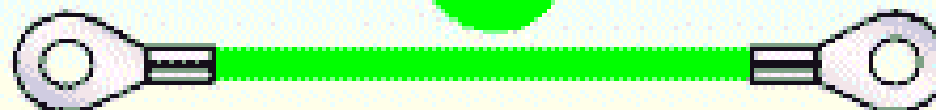
**Figure 2F Bonding conductors**

Only use bonding conductors where direct metal-to-metal bonding is not practical

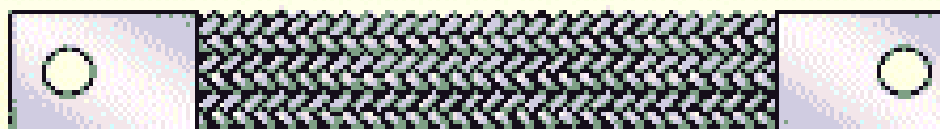
Long wire is OK for DC-60Hz  
but poor for higher frequency EMC



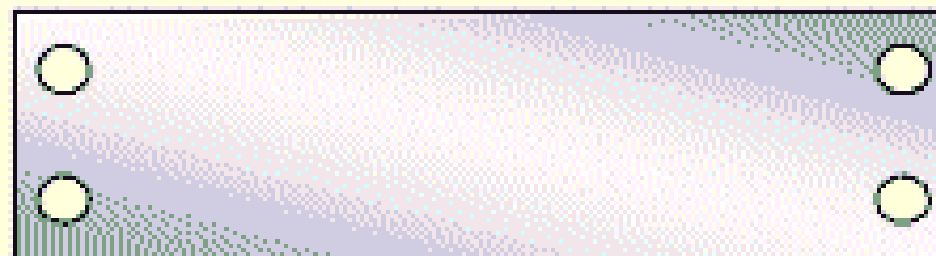
Minimum wire length is better for  
control of higher frequencies



Short, wide braid strap on its own is  
good up to approximately 3MHz

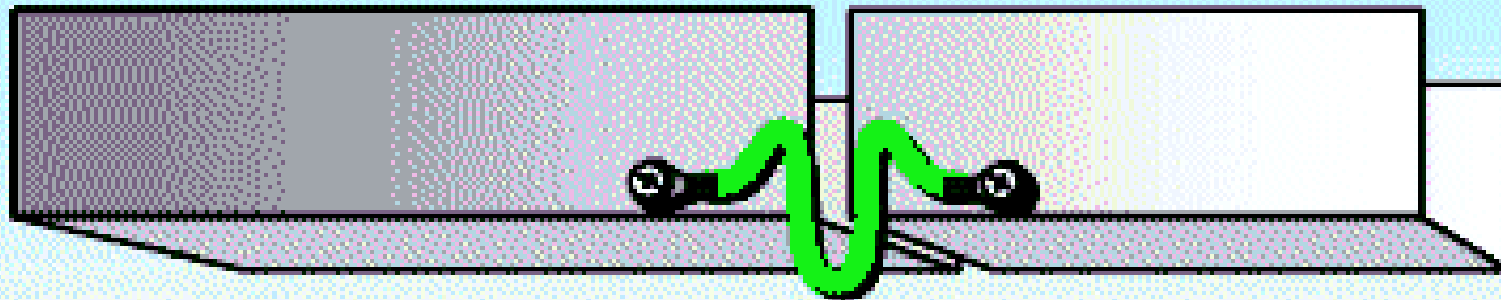


Short wide metal plates (with multiple  
bonds) are better for controlling high  
frequencies, but direct metal-metal  
bonds are the best

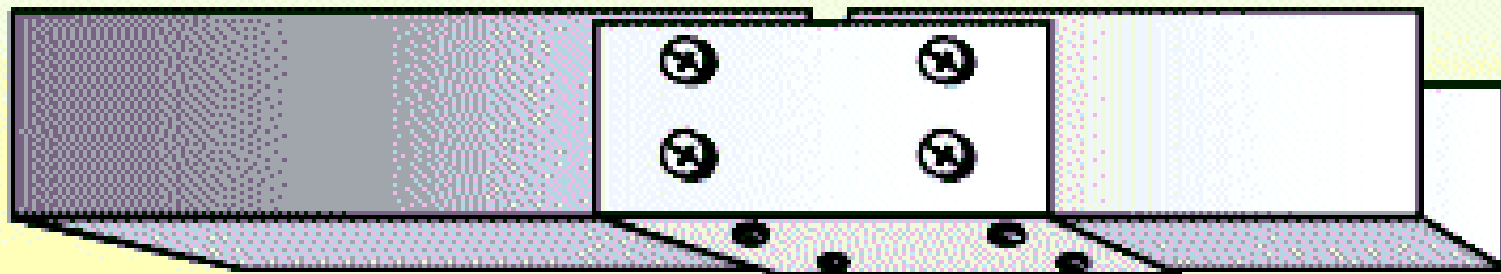




## 频率不同搭接方式不同



直流0~100Hz时宜采用长导线，但在较高频率时最好使用短、宽的带状线（每边一根）

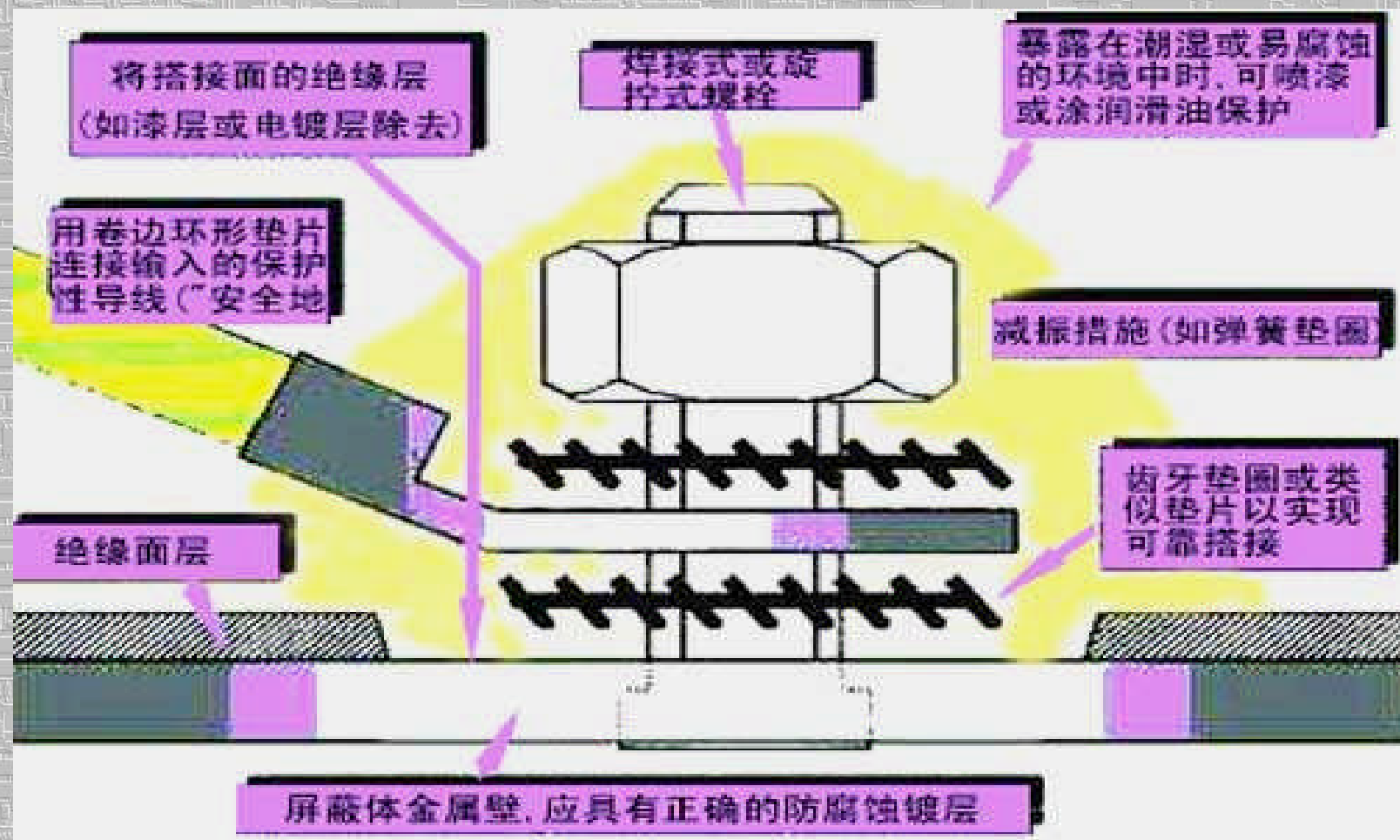


可用带多个紧固螺钉的U形托架来控制高频，但最好将接头焊接

如果整个电缆沟槽和导管电气搭接，则其外部的压片也可改善电磁兼容性



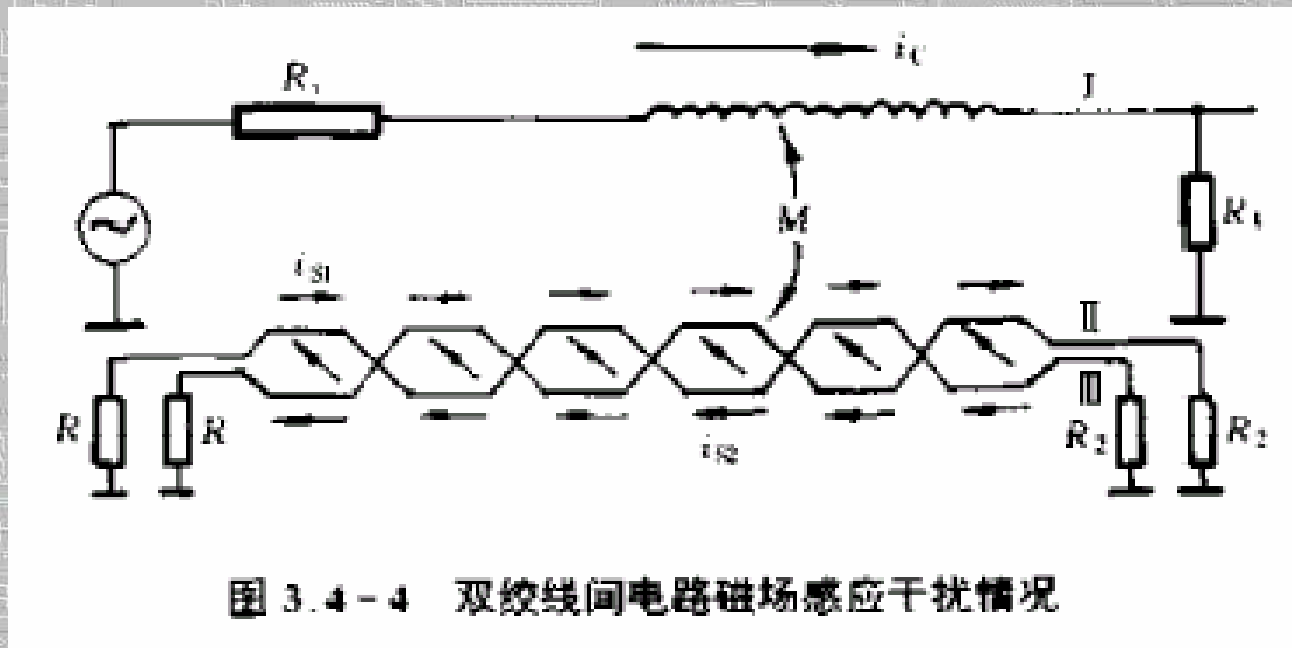
# 搭接点的保护





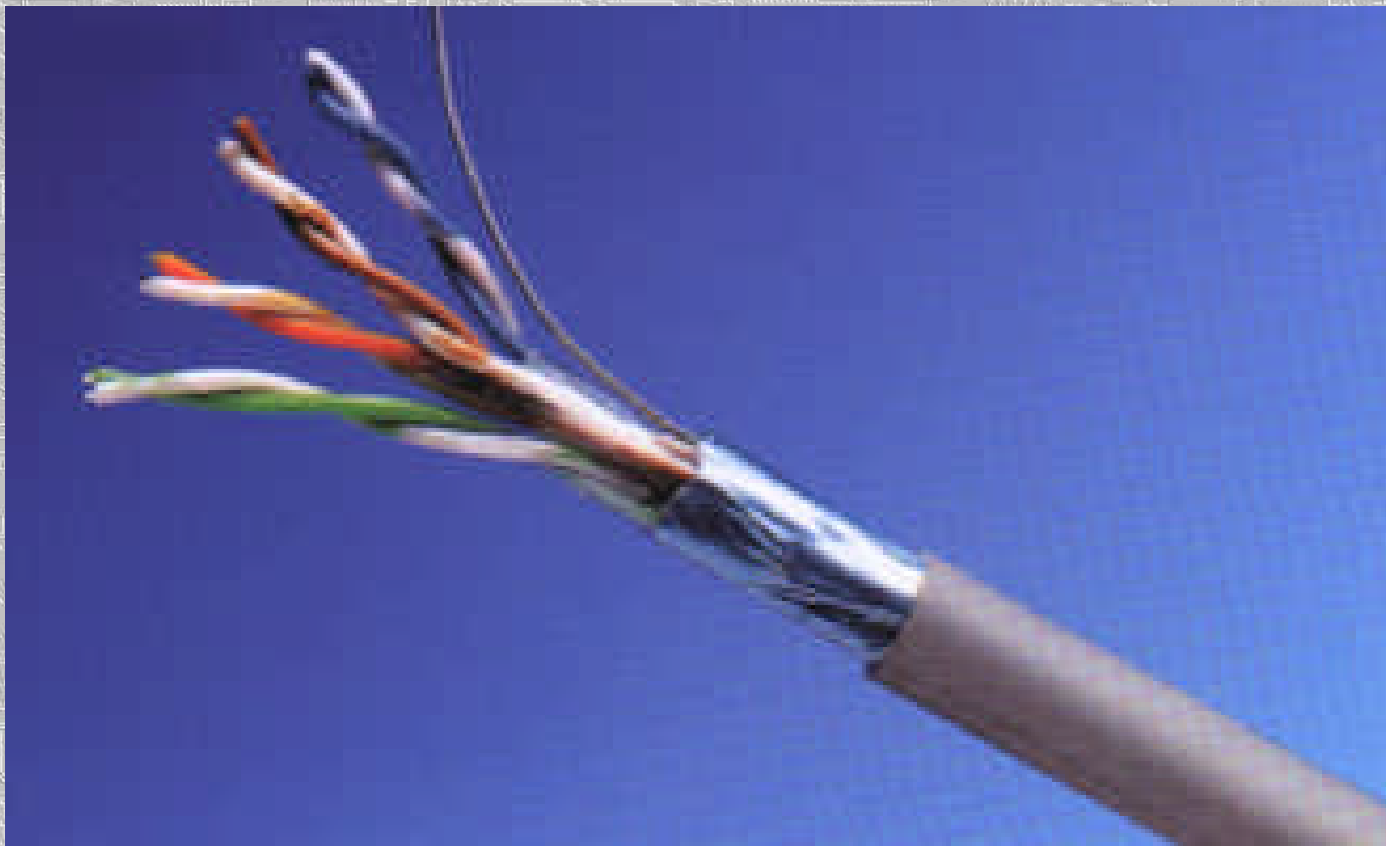
## 双绞线和金属屏蔽线

- 抑制静电感应干扰采用金属网的屏蔽线;
- 抑制电磁感应干扰采用双绞线





# 金属屏蔽线





## 双绞线的节距

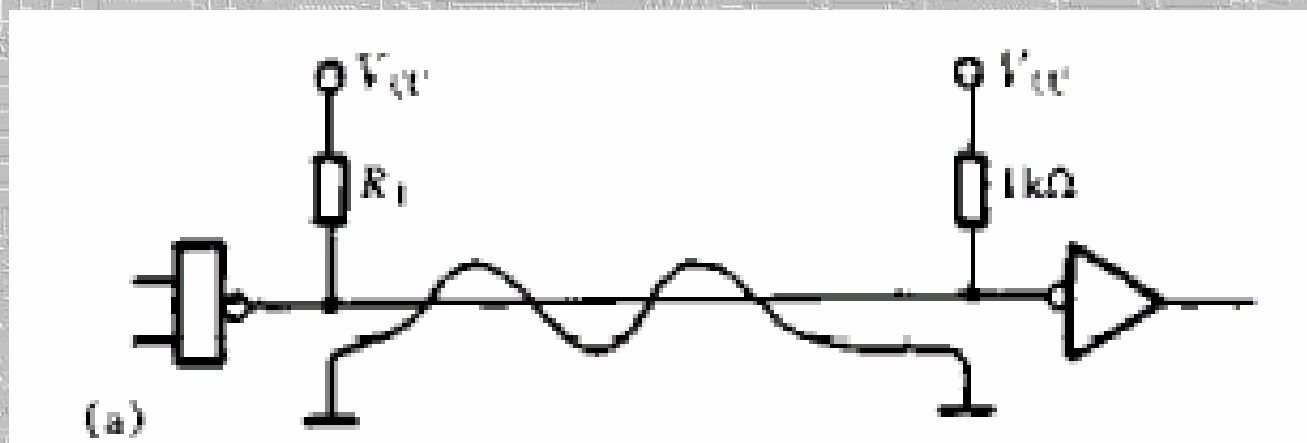
表 3.4-1 双绞线的节距与噪声衰减率

导 线	节距/cm	噪声衰减率	抑制噪声效果/dB
空气中平行导线	—	1:1	0
双绞线	10	14:1	23
双绞线	7.5	71:1	37
双绞线	5	112:1	41
双绞线	2.5	141:1	43
钢管中平行导线	—	22:1	27



## 双绞线的接地与传送距离

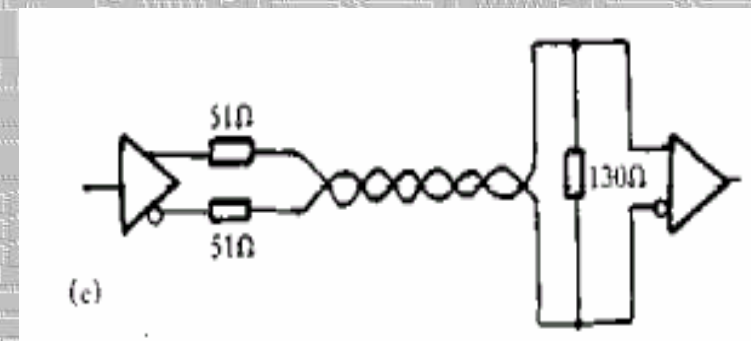
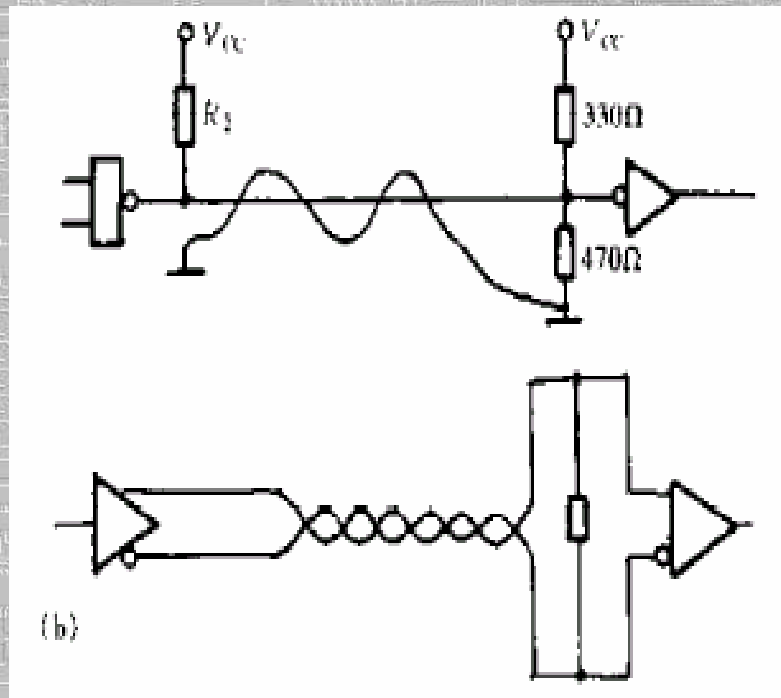
传送距离在5米以下





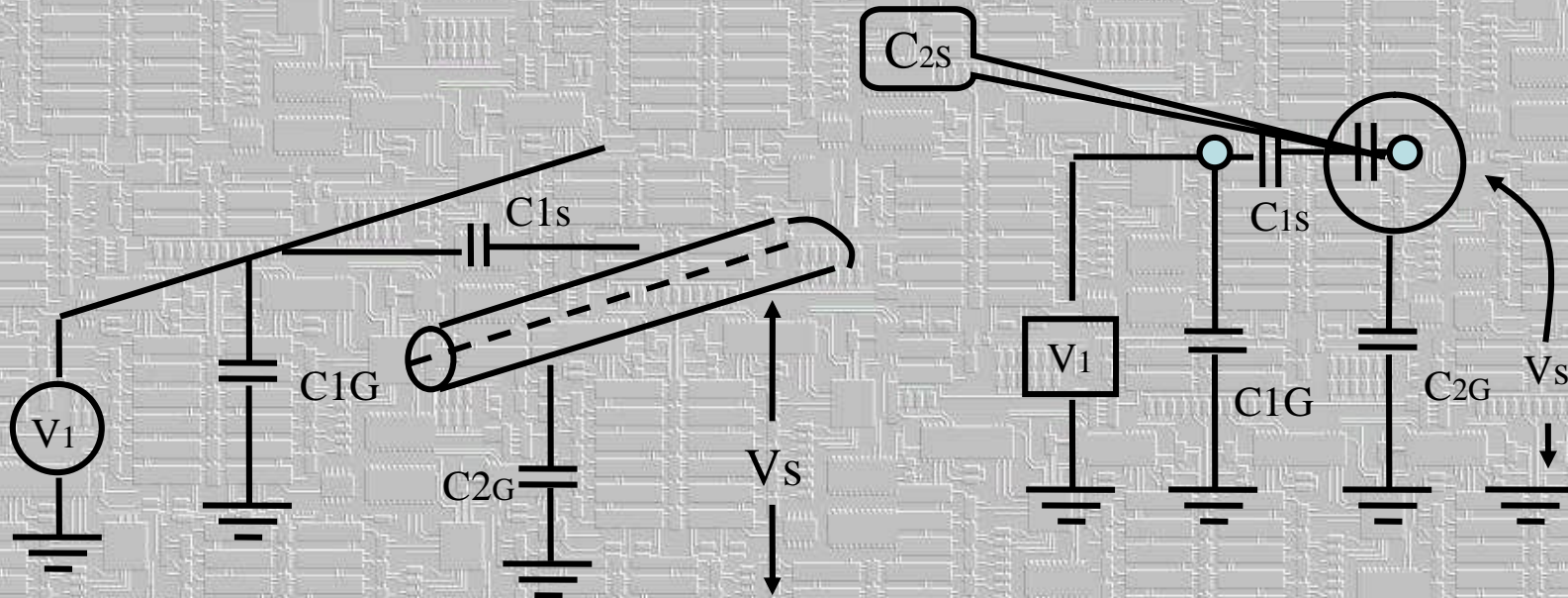
## 双绞线的接地与传送距离

- 传送距离在10米以上





## 屏蔽线的抗干扰原理



屏蔽层不接地:  $V_N = V_S = V_1 [ C_{1s} / ( C_{1s} + C_{2G} ) ]$ ,  
与无屏蔽相同

屏蔽层接地时:  $V_N = V_S = 0$ , 具有理想的屏蔽效果



# 屏蔽要点

- 静电屏蔽应具有两个基本要点，即完善的屏蔽体和良好的接地。
- 电磁屏蔽不但要求有良好的接地，而且要求屏蔽体具有良好的导电连续性，对屏蔽体的导电性要求要比静电屏蔽高得多。
- 在实际的屏蔽中，电磁屏蔽效能更大程度上依赖于机箱的结构，即导电的连续性。机箱上的接缝、开口等都是电磁波的泄漏源。穿过机箱的电缆也是造成屏蔽效能下降的主要原因。
- 解决机箱缝隙电磁泄漏的方式是在缝隙处用电磁密封衬垫。电磁密封衬垫是一种导电的弹性材料，它能够保持缝隙处的导电连续性。常见的电磁密封衬垫有导电橡胶、双重导电橡胶、金属编织网套、螺旋管衬垫、定向金属导电橡胶等。



## § 18.5 滤波技术基础

- 滤波器的作用
- 滤波器的种类
- 信号滤波器的安装位置
- 滤波器的正确安装



# 滤波器的概念

- 无源滤波器
- 有源滤波器
- 数字滤波器
- 衰减系数

$$\text{衰减系数} = 20\lg \left| \frac{U_o(j\omega)}{U_i(j\omega)} \right|$$

$U_o$ ——滤波器的输出信号；

$U_i$ ——滤波器的输入信号；

$\omega$ ——信号的角频率。



## 滤波技术

EMI滤波器基本的工作原理与普通滤波器一样，都是允许有用信号的频率分量通过，同时阻止其他干扰频率分量通过。

### EMI滤波器的分类

1、反射式滤波器：由电感器和电容器组成，利用反射或旁路，使干扰信号不能通过。

①、低通滤波器，使低频信号通过，高频信号衰减。

用于电源电路，使市电（50Hz）通过，高频干扰信号衰减。

用于放大器电路或发射机输出电路，使基波通过，谐波和其他干扰信号衰减。

②、高通滤波器：抑制低频干扰信号

例如：从信号通道上滤除交流声干扰。



- ③、带通滤波器：只允许某一频率范围内的信号通过，
- ④、带阻滤波器，只抑制某一频率范围内的干扰信号通过。

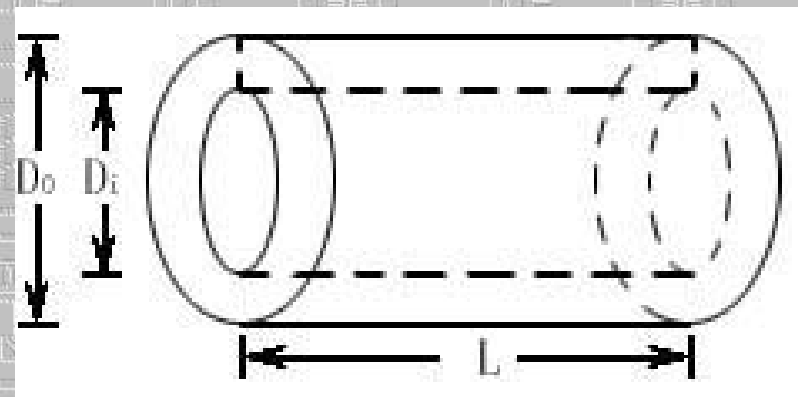
## 2、损耗滤波器

- (1)、选用具有高损耗系数或高损耗角正切的材料，把高频电磁能量通过涡流转换成热能。

例如：铁氧体管，铁氧体磁环，磁环扼流圈等。

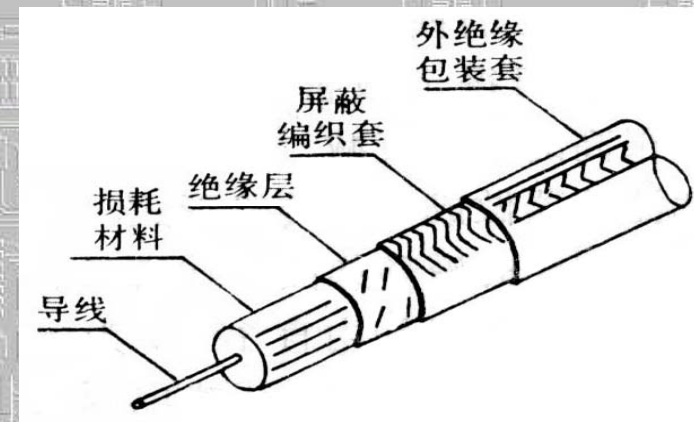
- (2)、几种常用的损耗滤波器

- ①、铁氧体管，如图把铁氧体管套在信号线或电源线上，衰减高频干扰信号。

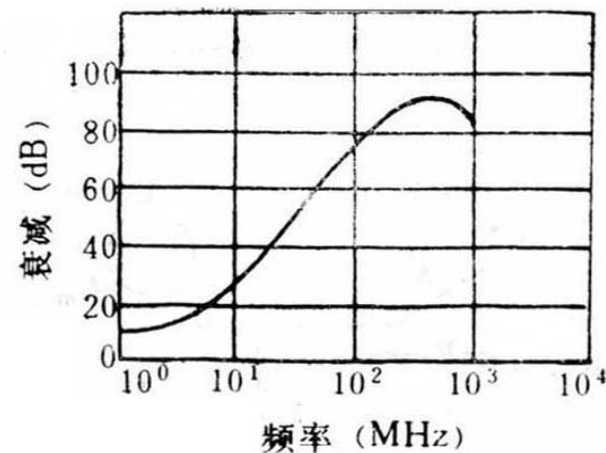
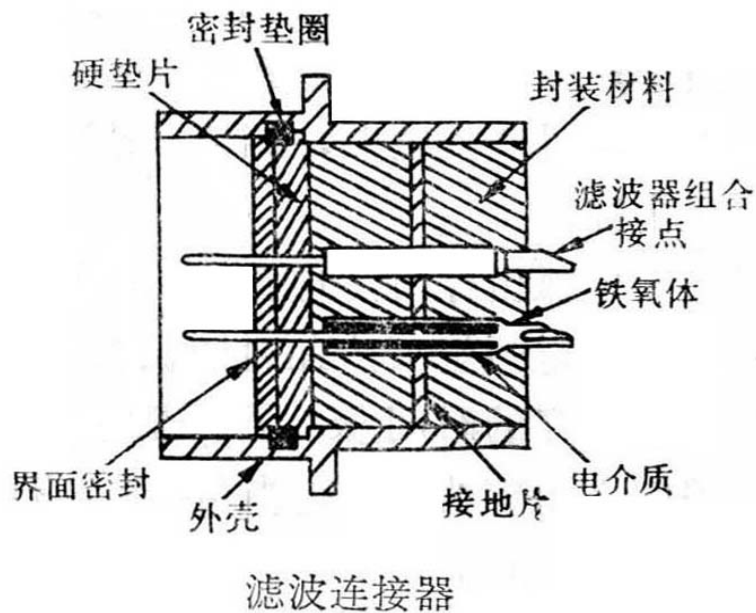




②、电缆滤波器：在导线外  
包一层高频损耗材料（  
如铁氧体，或含铁粉的  
环氧树脂）（如图）。



③、滤波连接器， 如图所示，  
把铁氧体直接组装在电缆连接器内，在100MHz ~  
10GHz的频率范围内可以获得60dB以上的衰减。

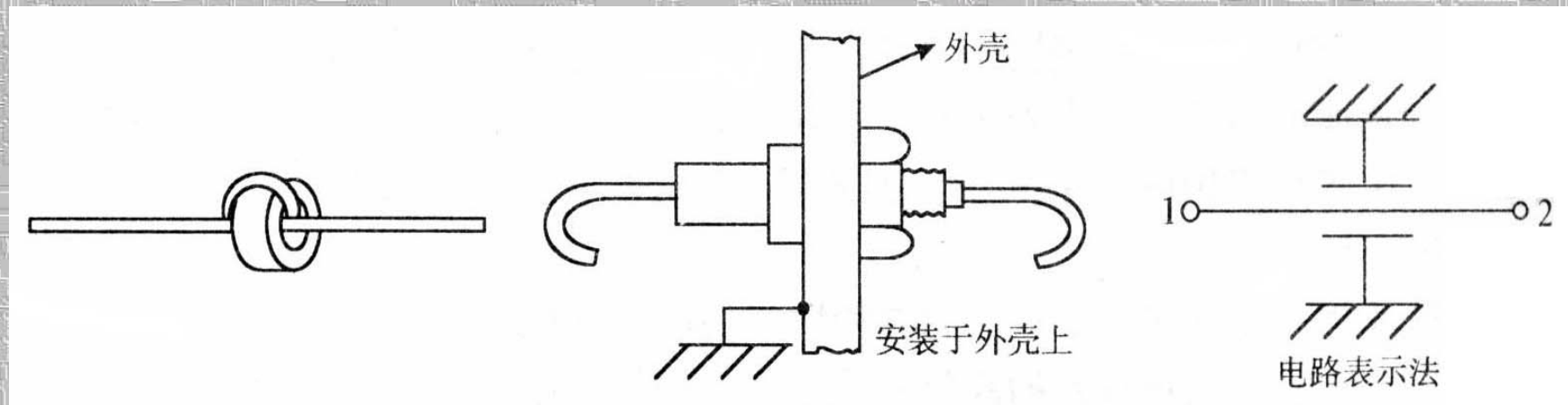


滤波连接器的衰减特性



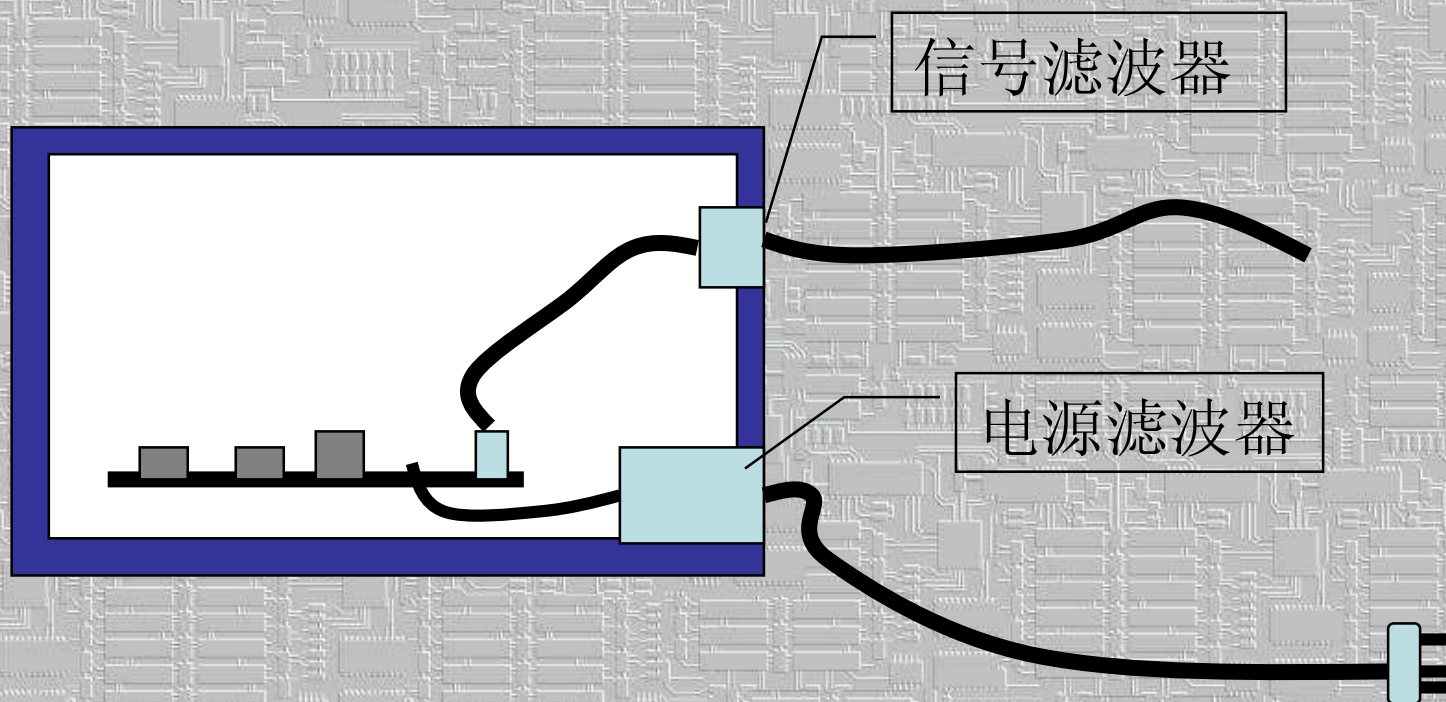
④、磁环扼流圈，如图 (a) 所示，在导线上套一个圆环状铁氧体磁环，阻抗随导线中电流频率的升高而增大，可以抑制高频干扰分量。  
应用：电源线，数字信号线。

⑤、穿心电容，外形如图 (b) 所示，原理如图 (c)。一个端片接导线，另一个通过外壳接地，用于高频滤波。





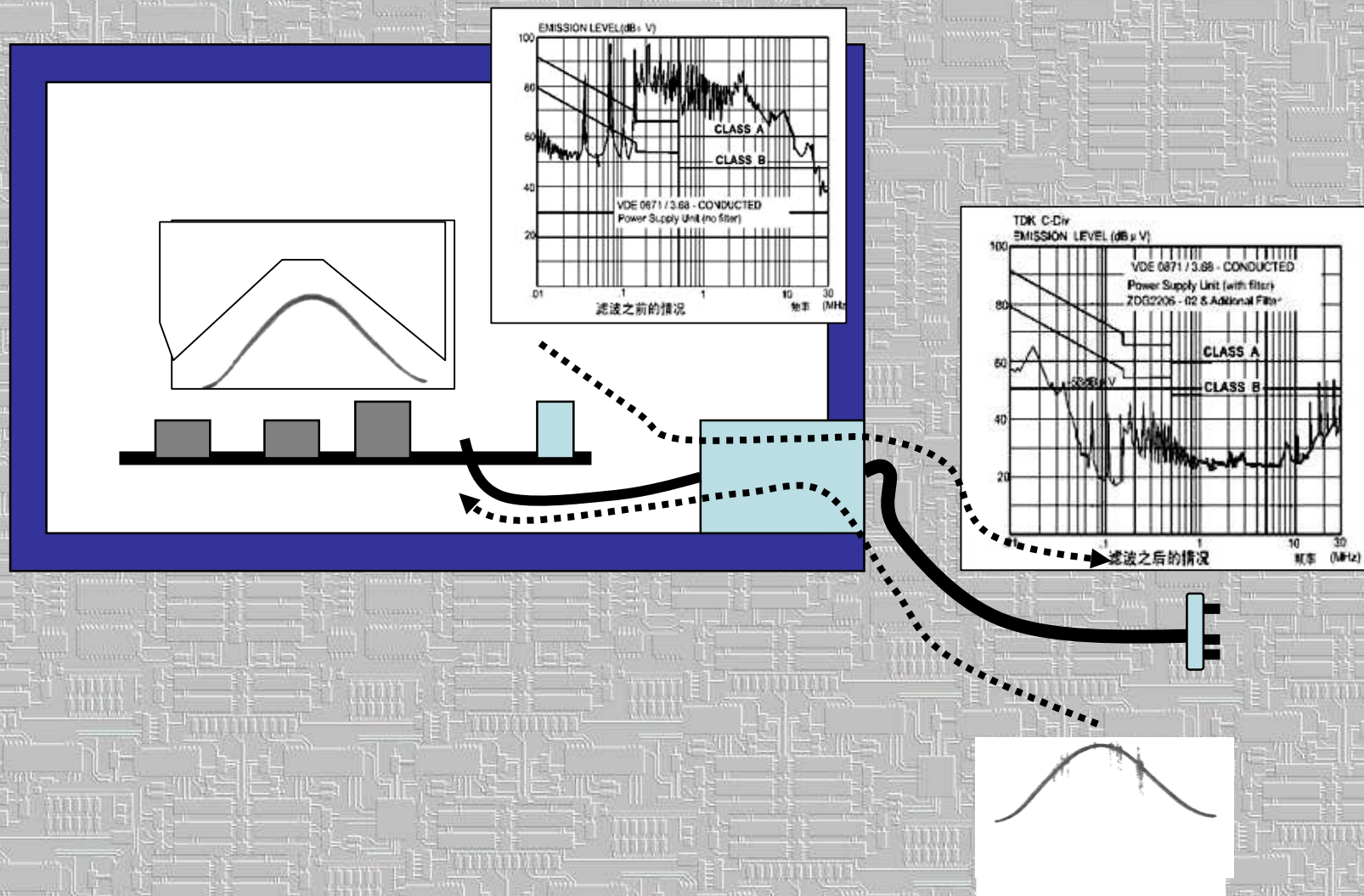
# 滤波器的作用



切断干扰沿信号线或电源线传播的路径，与屏蔽共同构成完善的干扰防护。

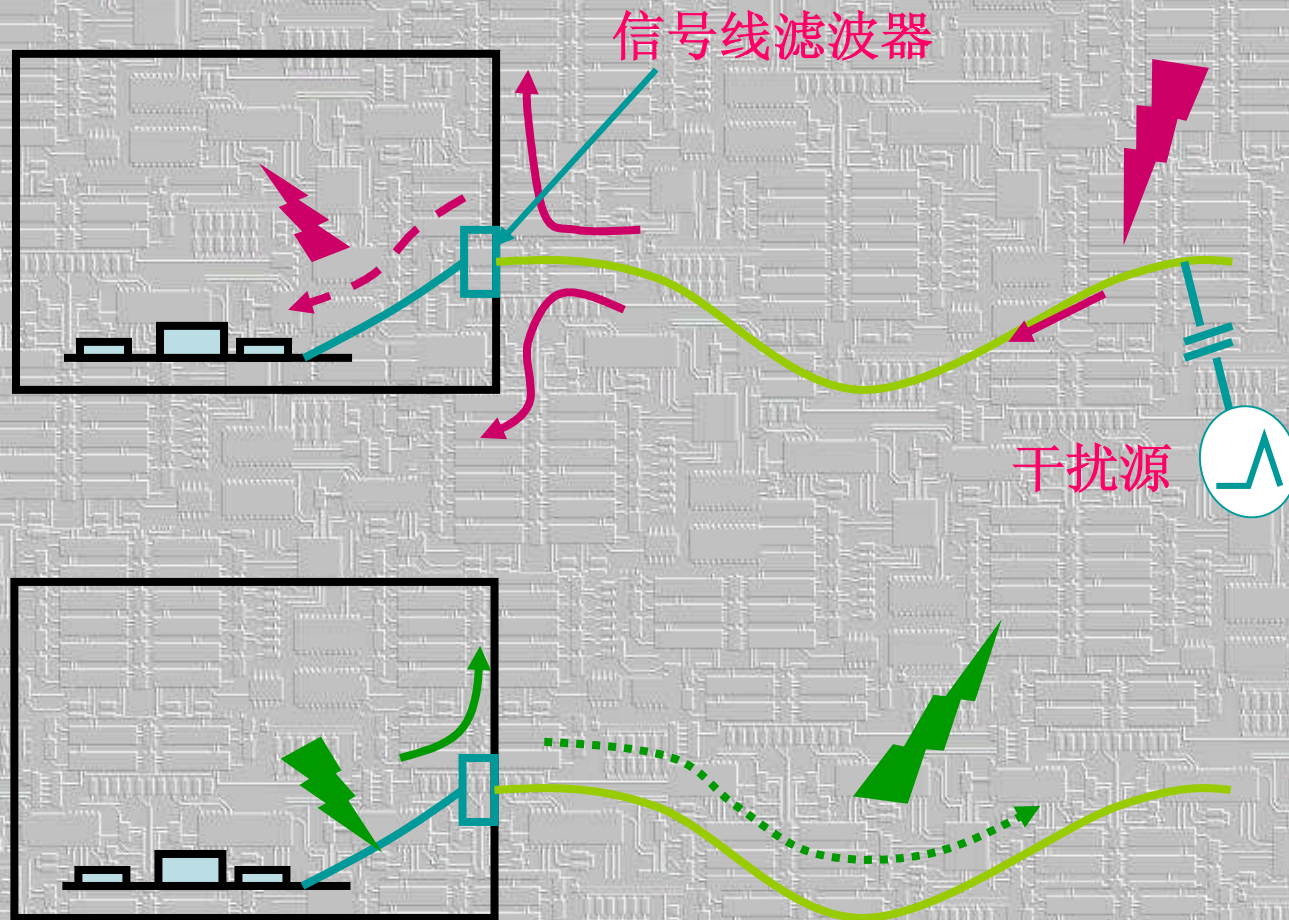


# 满足电源线干扰发射和抗扰度要求



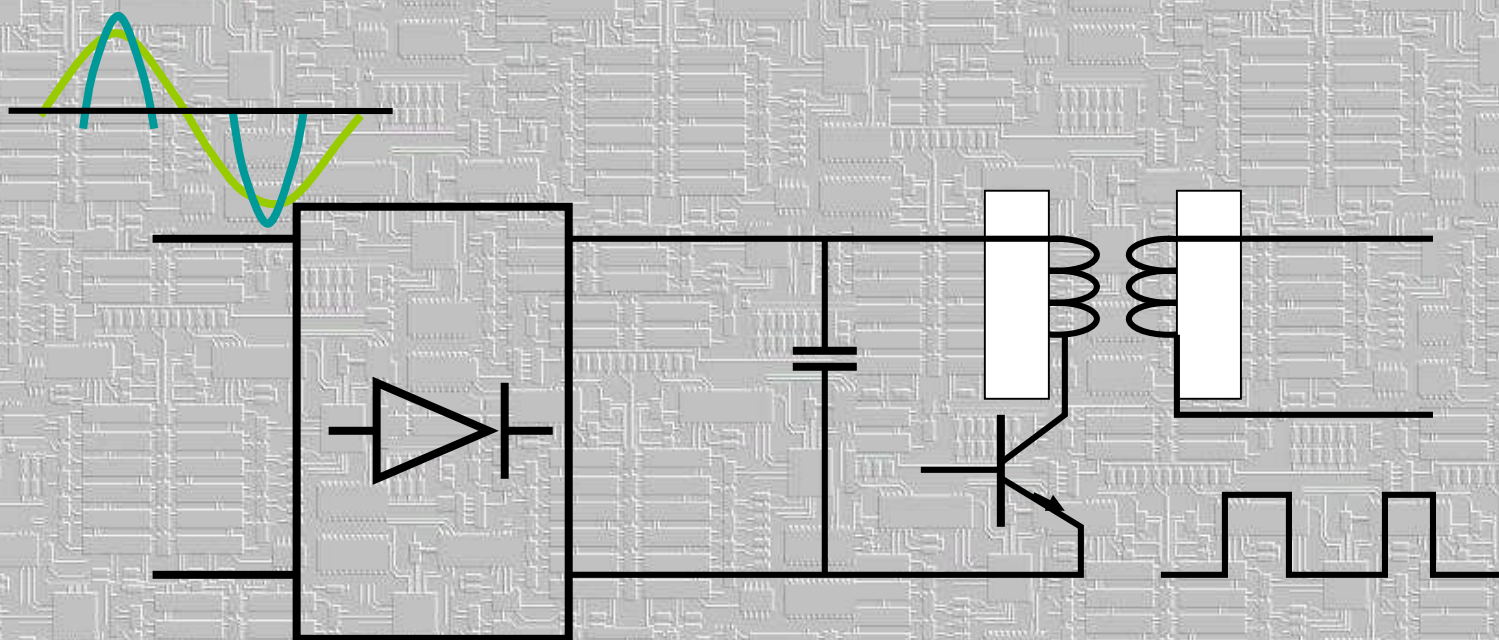


# 满足抗扰度及设备辐射发射要求





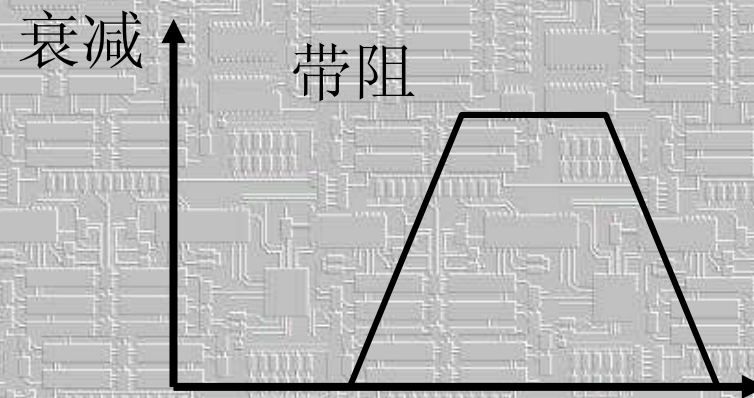
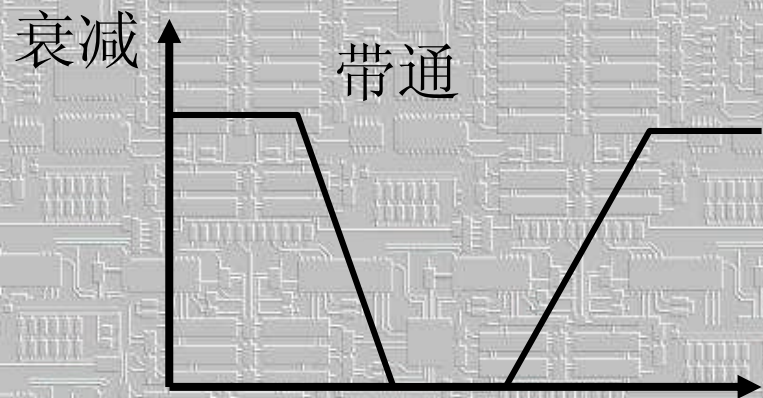
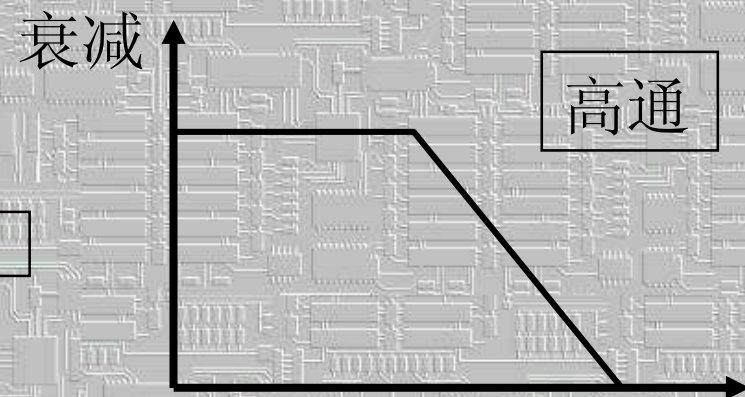
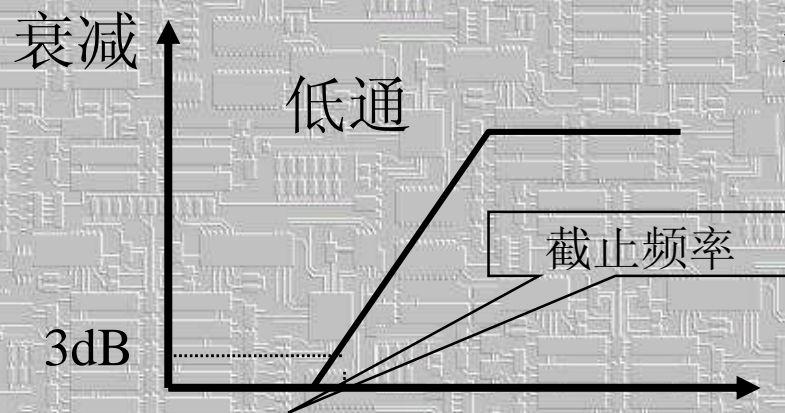
# 开关电源噪声



- 50Hz的奇次谐波（1、3、5、7...）
- 开关频率的基频和谐波（1MHz以下差模为主，1MHz以上共模为主）

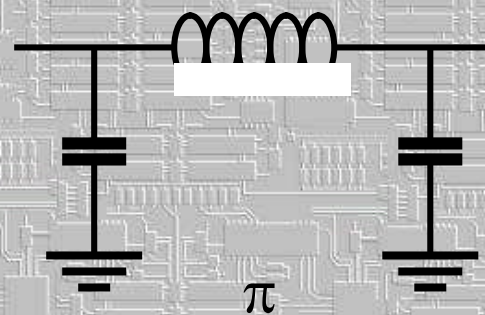
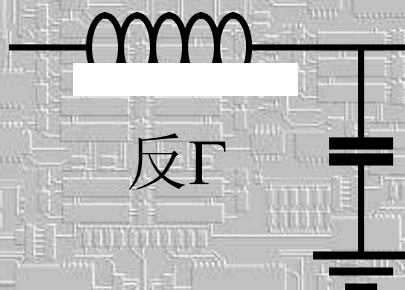
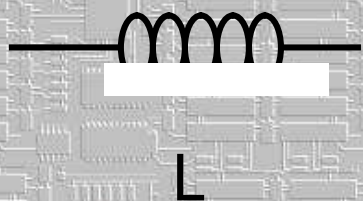
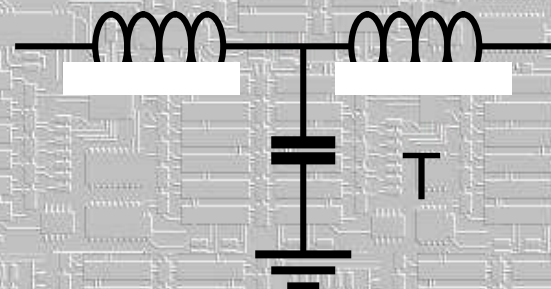
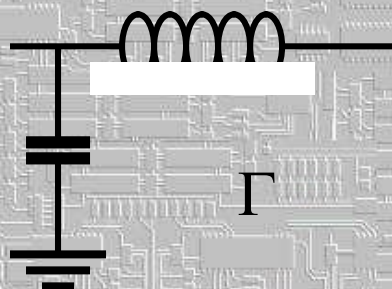
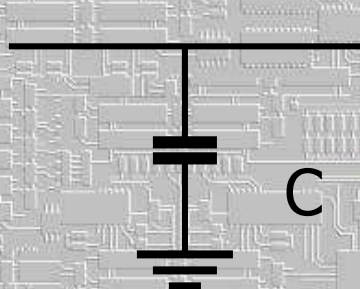


# 滤波器的种类





# 低通滤波器类型





## 滤波器的选择

- 根据阻抗选用滤波电路
- 器件参数的确定
- 低通滤波器对脉冲信号的影响



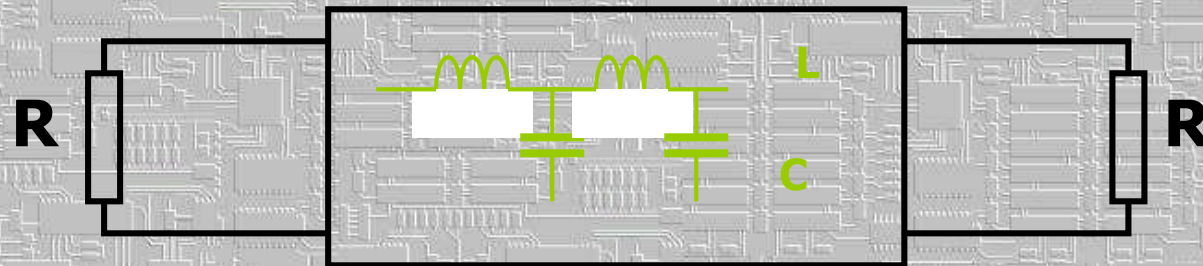
## 根据阻抗选用滤波电路

源阻抗	电路结构	负载阻抗
高	C、 $\pi$ 、多级 $\pi$	高
高	$\Gamma$ 、多级 $\Gamma$	低
低	反 $\Gamma$ 、多级反 $\Gamma$	高
低	L、多级L	低

规律：电容对高阻，电感对低阻



## 器件参数的确定



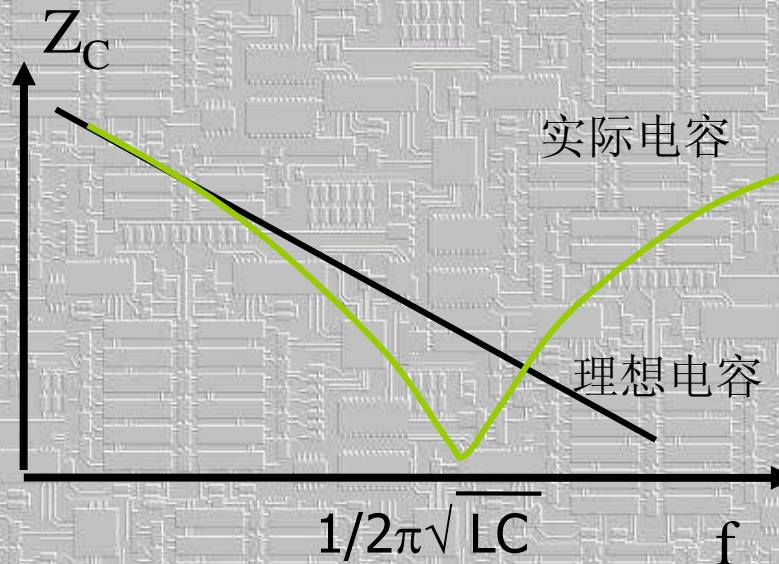
$$L = R / 2\pi F_C$$

$$C = 1 / 2\pi R F_C$$

对于T形（多级T）和  $\pi$  形（多级 $\pi$ ）电路，最外边的电感或电容取  $L/2$  和  $C/2$ ，中间的不变。

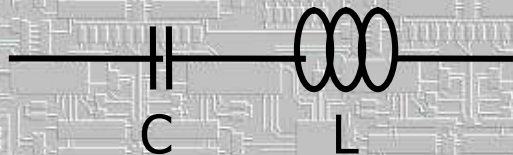


# 实际电容器的特性



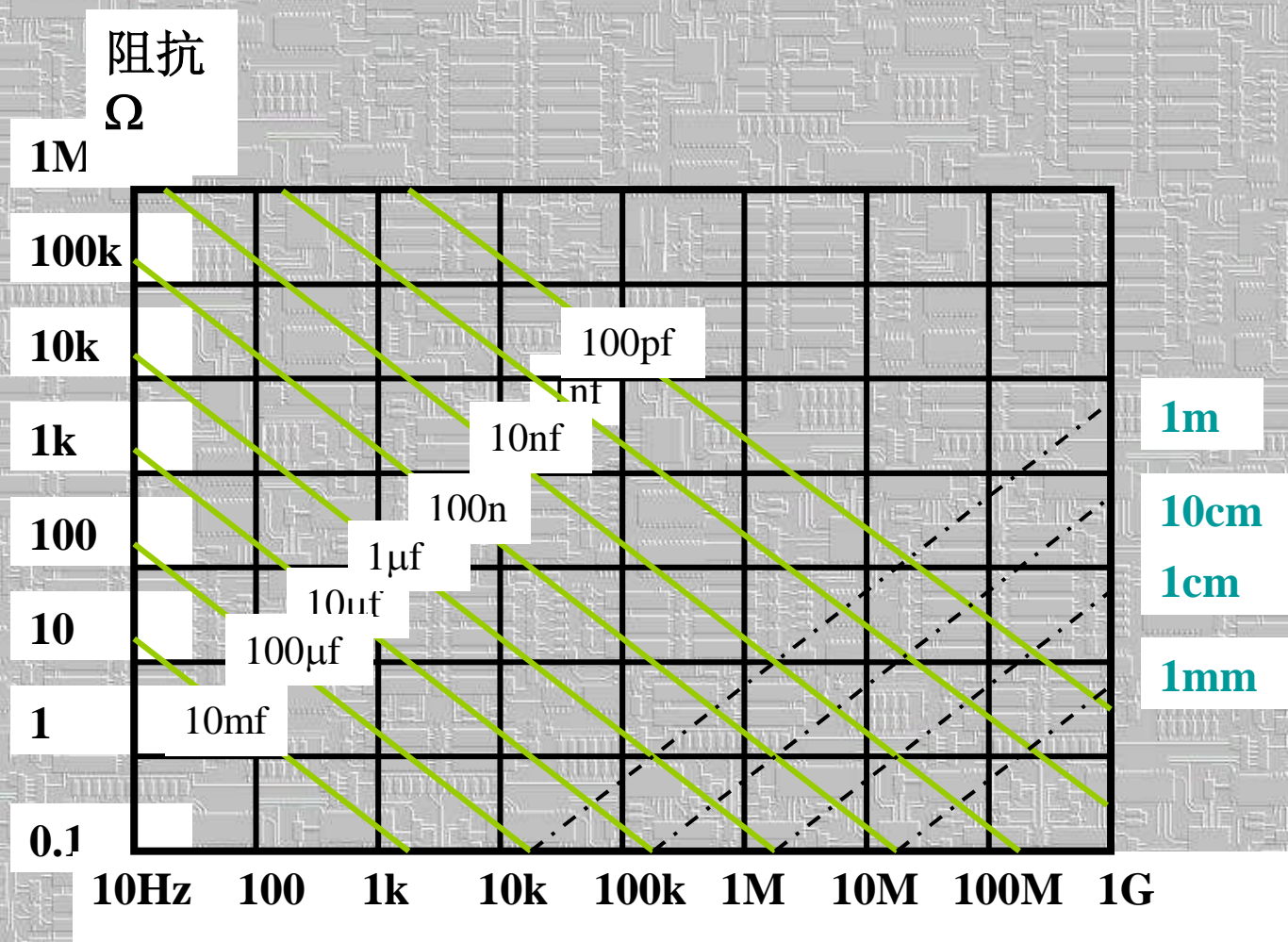
引线长1.6mm的陶瓷电容器

电容量	谐振频率(MHZ)
1 $\mu\text{F}$	1.7
0.1 $\mu\text{F}$	4
0.01 $\mu\text{F}$	12.6
3300 pF	19.3
1100 pF	33
680 pF	42.5
330 pF	60



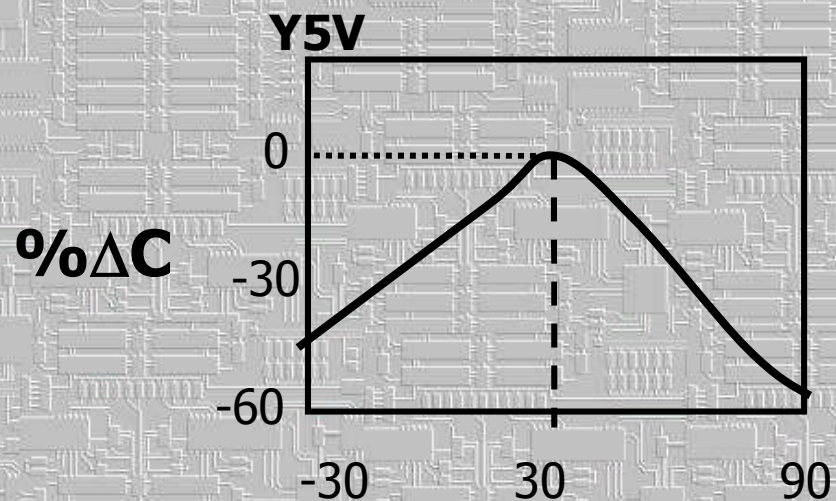
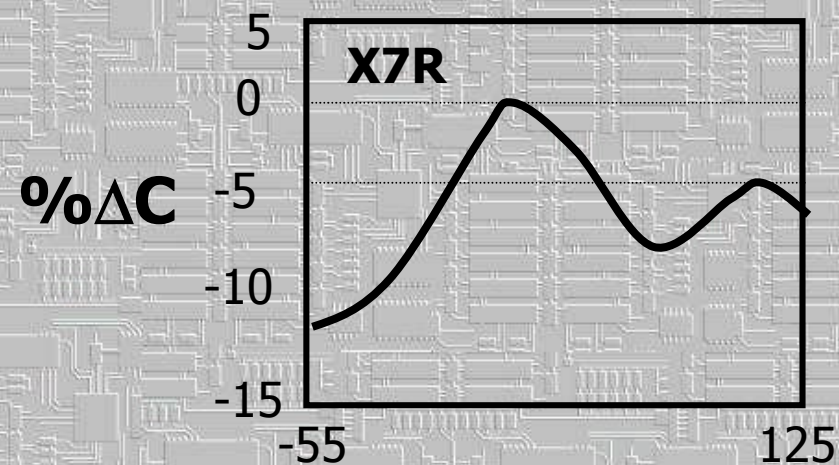
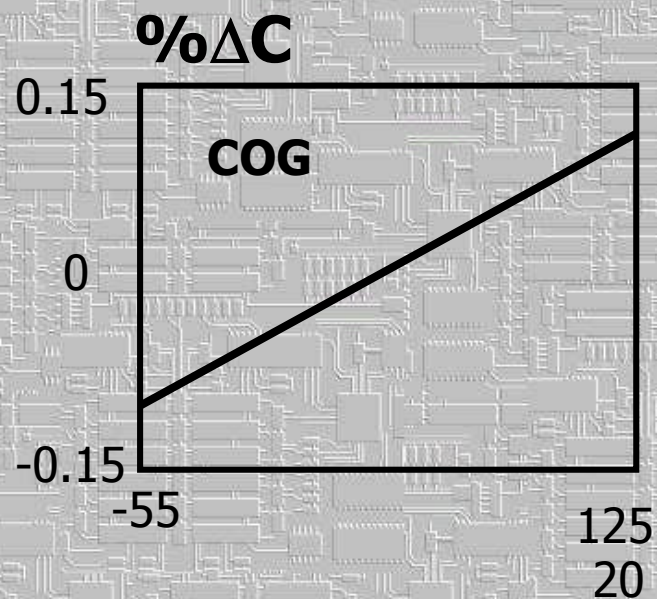


# 陶瓷电容谐振频率



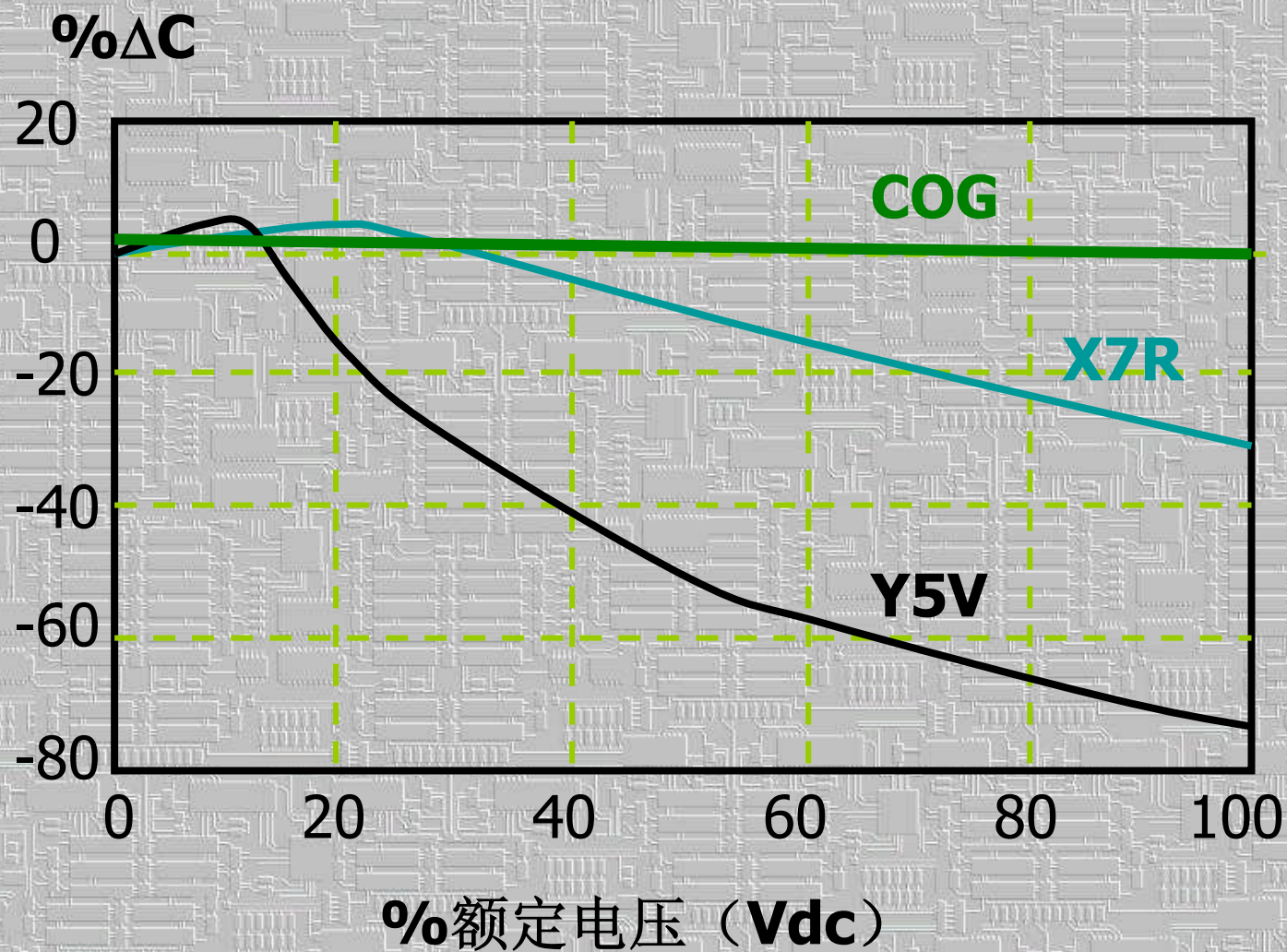


# 温度对陶瓷电容容量的影响



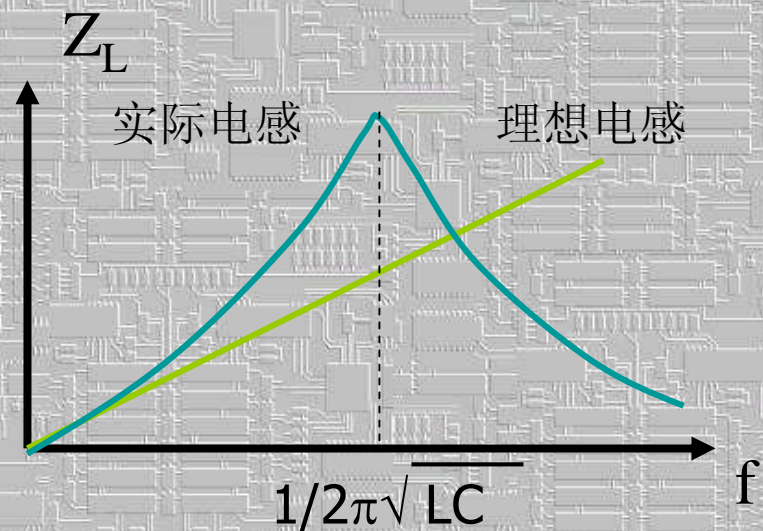


# 电压对陶瓷电容容量的影响



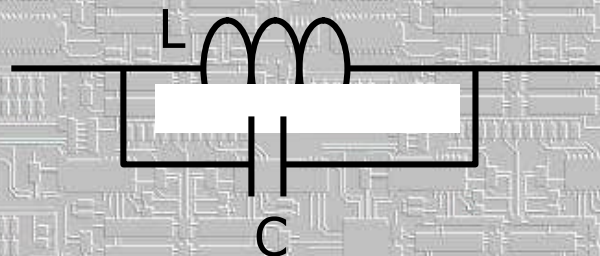


# 实际电感器的特性



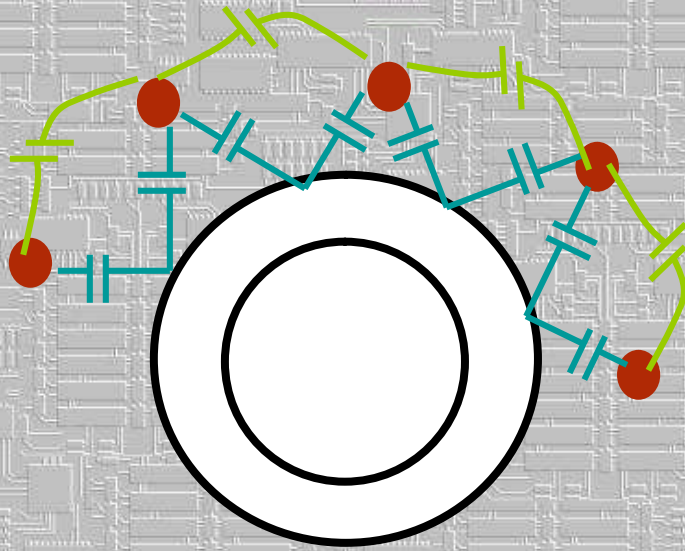
绕在铁粉芯上的电感

电感量 ( $\mu\text{H}$ )	谐振频率 (MHZ)
3.4	45
8.8	28
68	5.7
125	2.6
500	1.2





# 电感寄生电容的来源



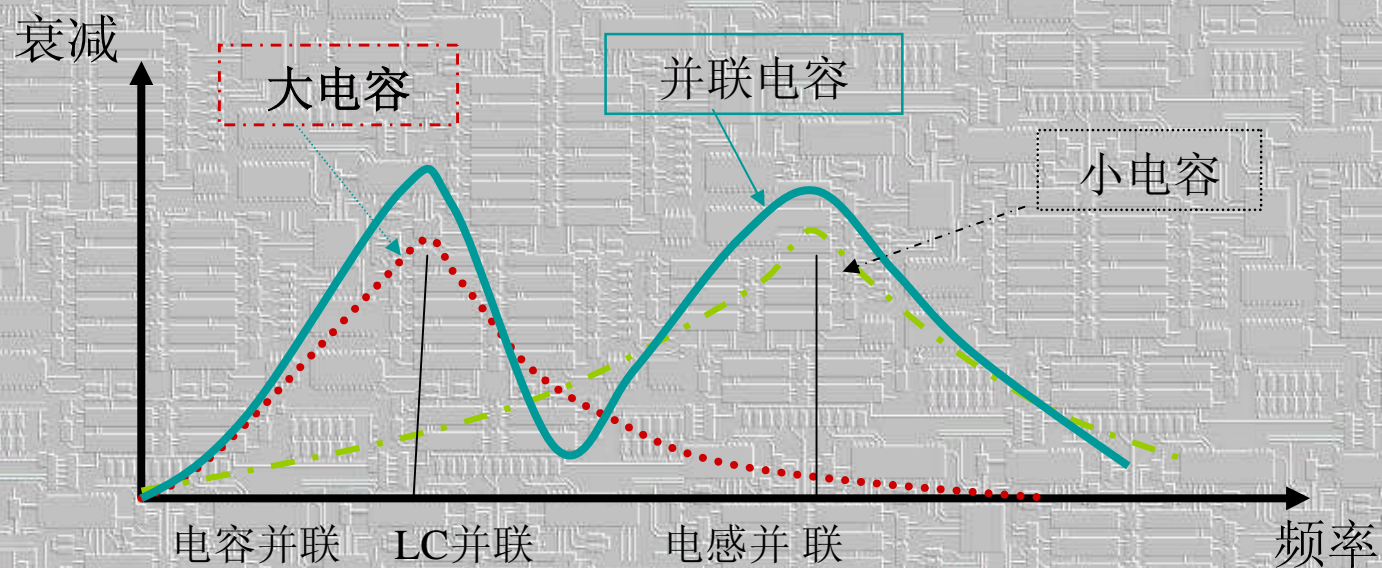
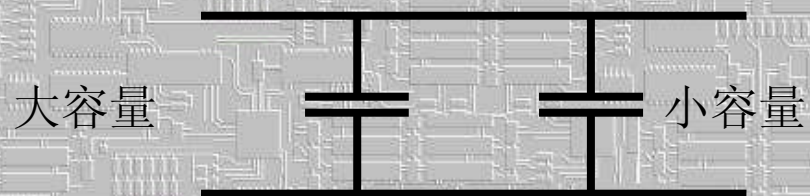
每圈之间的电容  $C_{TT}$

导线与磁芯之间的电容  $C_{TC}$

磁芯为导体时， $C_{TC}$ 为主要因素，  
磁芯为非导体时， $C_{TT}$ 为主要因素。

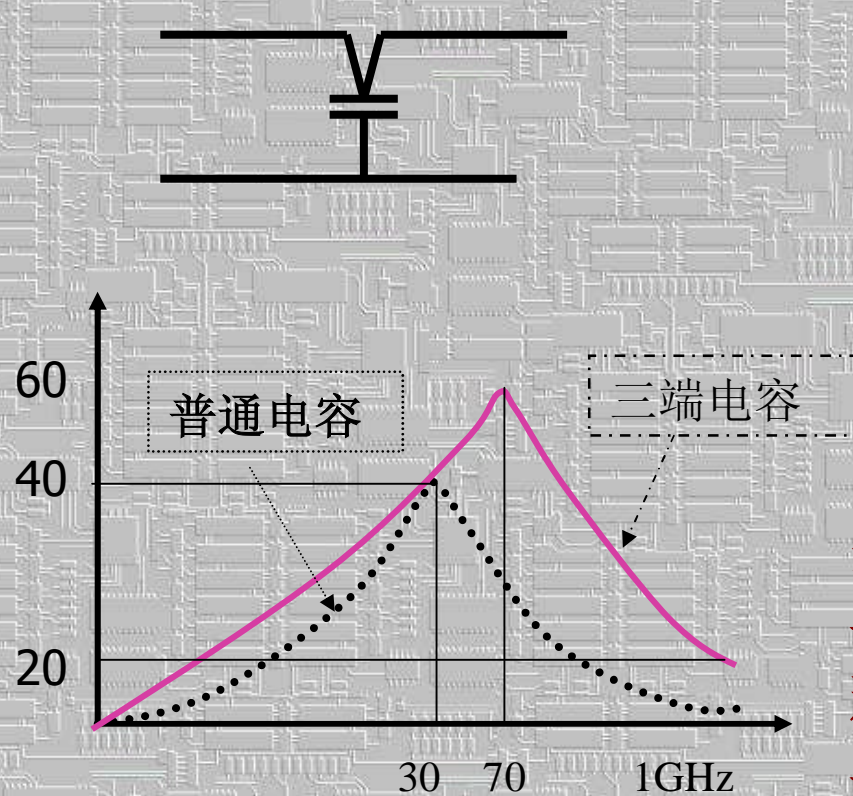


# 克服电容非理想性的方法



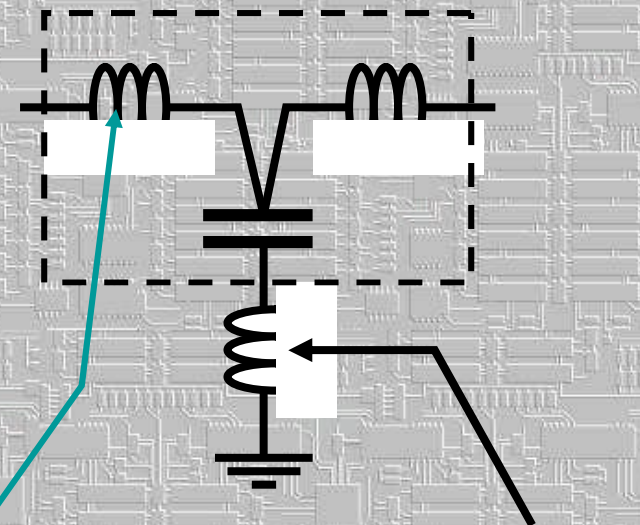


# 三端电容器的原理



引线电感与电容一起构成了一个T形低通滤波器

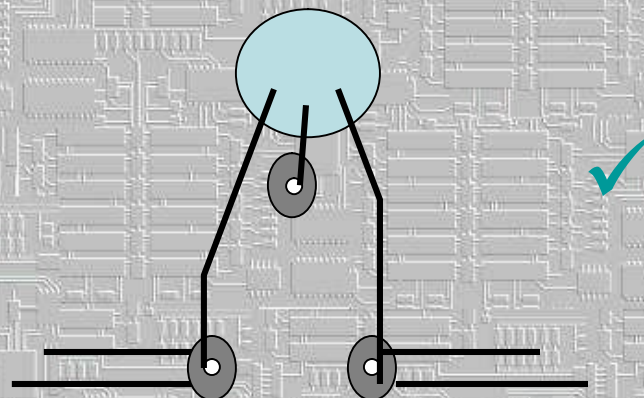
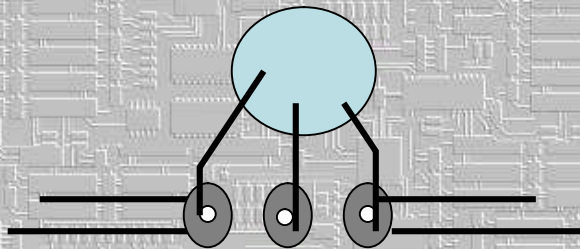
在引线上安装两个磁珠滤波效果更好



地线电感起着不良作用

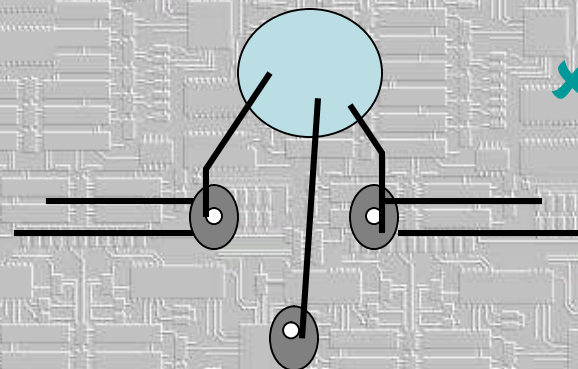


# 三端电容的正确使用



接地点要求:

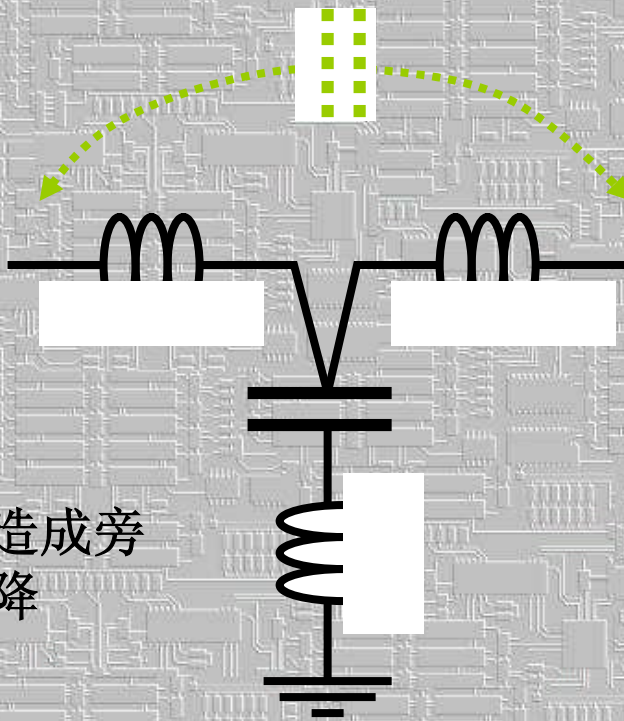
- 1 干净地
- 2 与机箱或其它较大的金属件射频搭接





## 三端电容器的不足

寄生电容造成输入端、  
输出端耦合

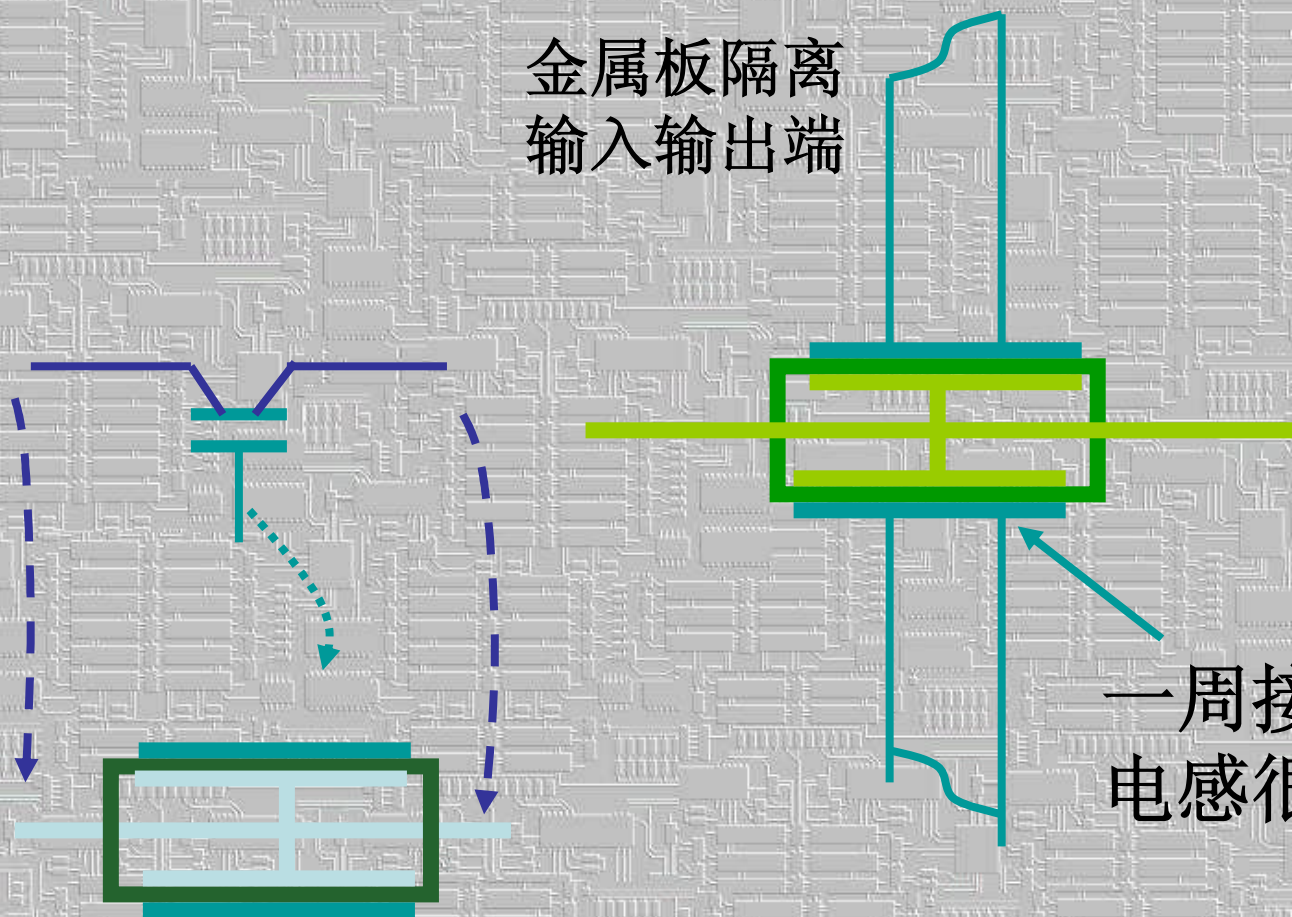


接地电感造成旁  
路效果下降



# 穿心电容更胜一筹

金属板隔离  
输入输出端



一周接地  
电感很小



# 穿心电容、馈通滤波器



以穿心电容为基础的馈通滤波器

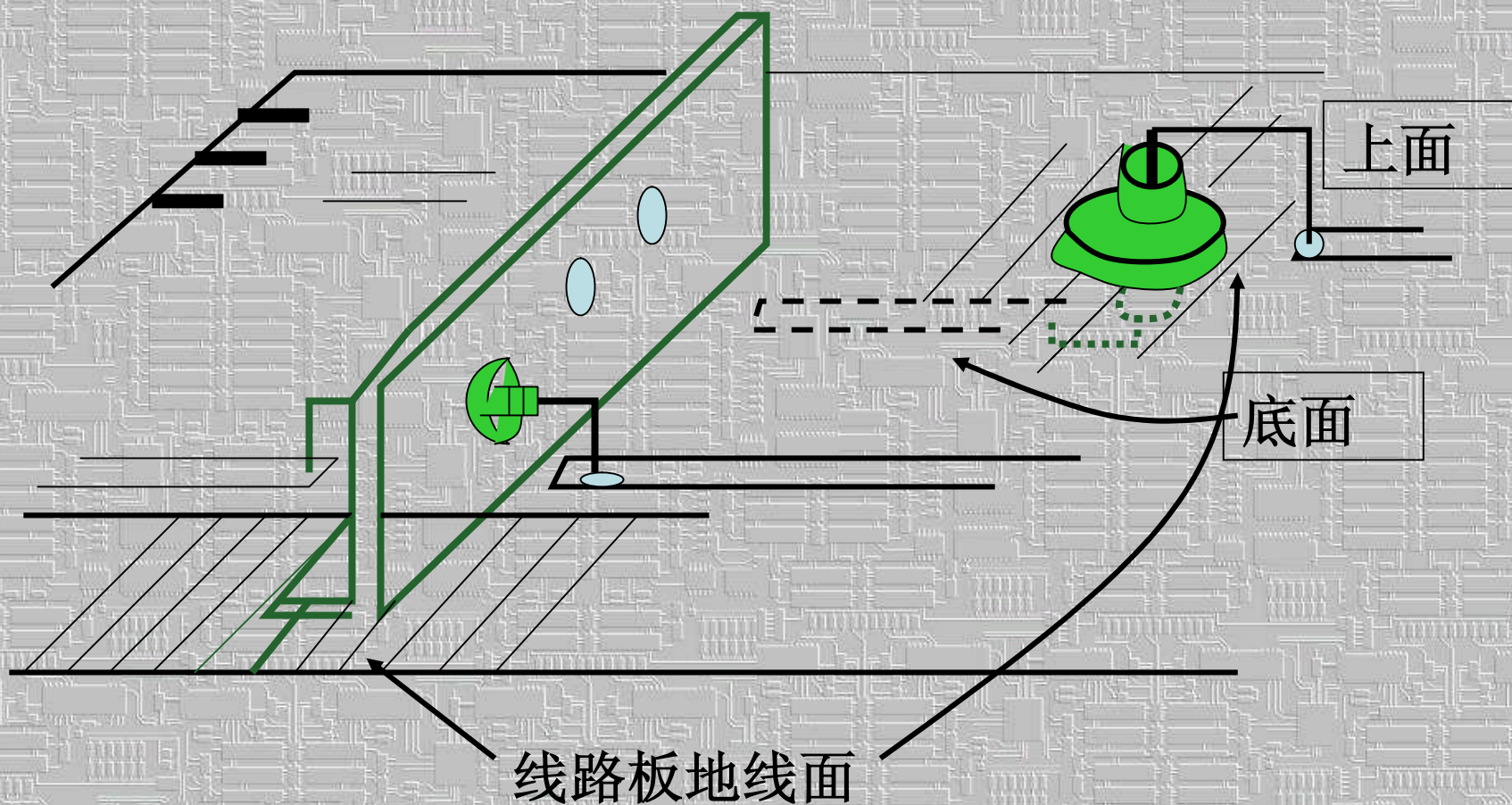


## 馈通滤波器使用注意事项

- 必须安装在金属板上，并在一周接地
- 最好焊接，螺纹安装时要使用带齿垫片
- 焊接时间不能过长
- 上紧螺纹时扭矩不能过大



## 线路板上使用馈通滤波器





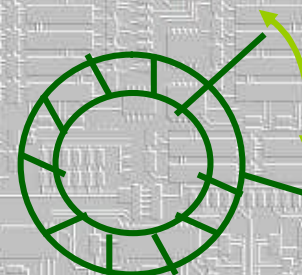
# 减小电感寄生电容的方法

如果磁芯是导体，首先：

用介电常数低的材料增加绕组导体与磁芯之间的距离

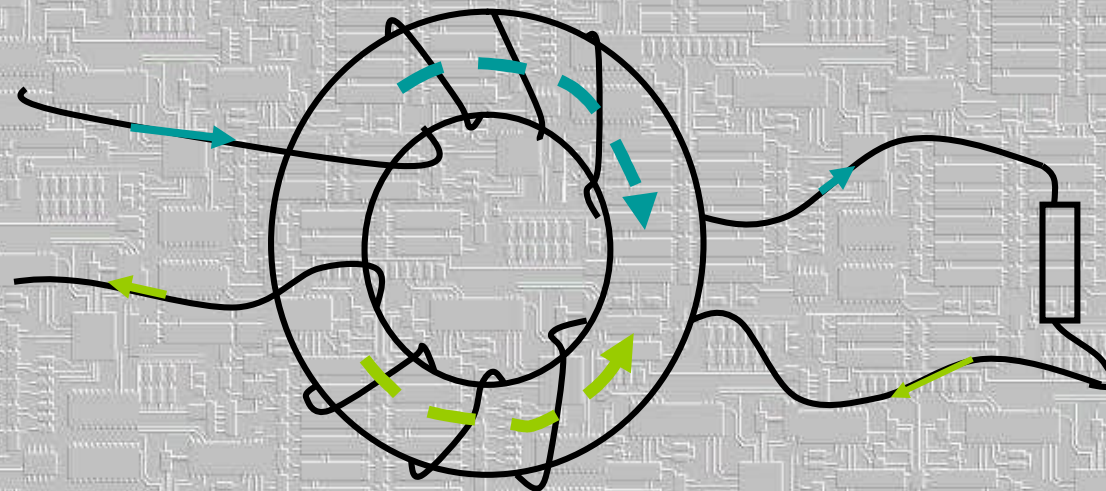
然后：

1. 起始端与终止端远离（夹角大于40度）
2. 尽量单层绕制，并增加匝间距离
3. 多层绕制时，采用“渐进”方式绕，不要来回绕
4. 分组绕制（要求高时，用大电感和小电感串联起来使用）





## 共模扼流圈



共模扼流圈中的负载电流产生的磁场相互抵销，因此磁芯不会饱和。



# 电感磁芯的选用

铁粉磁芯：不易饱和、导磁率低，作差模扼流圈的磁芯

铁氧体：最常用

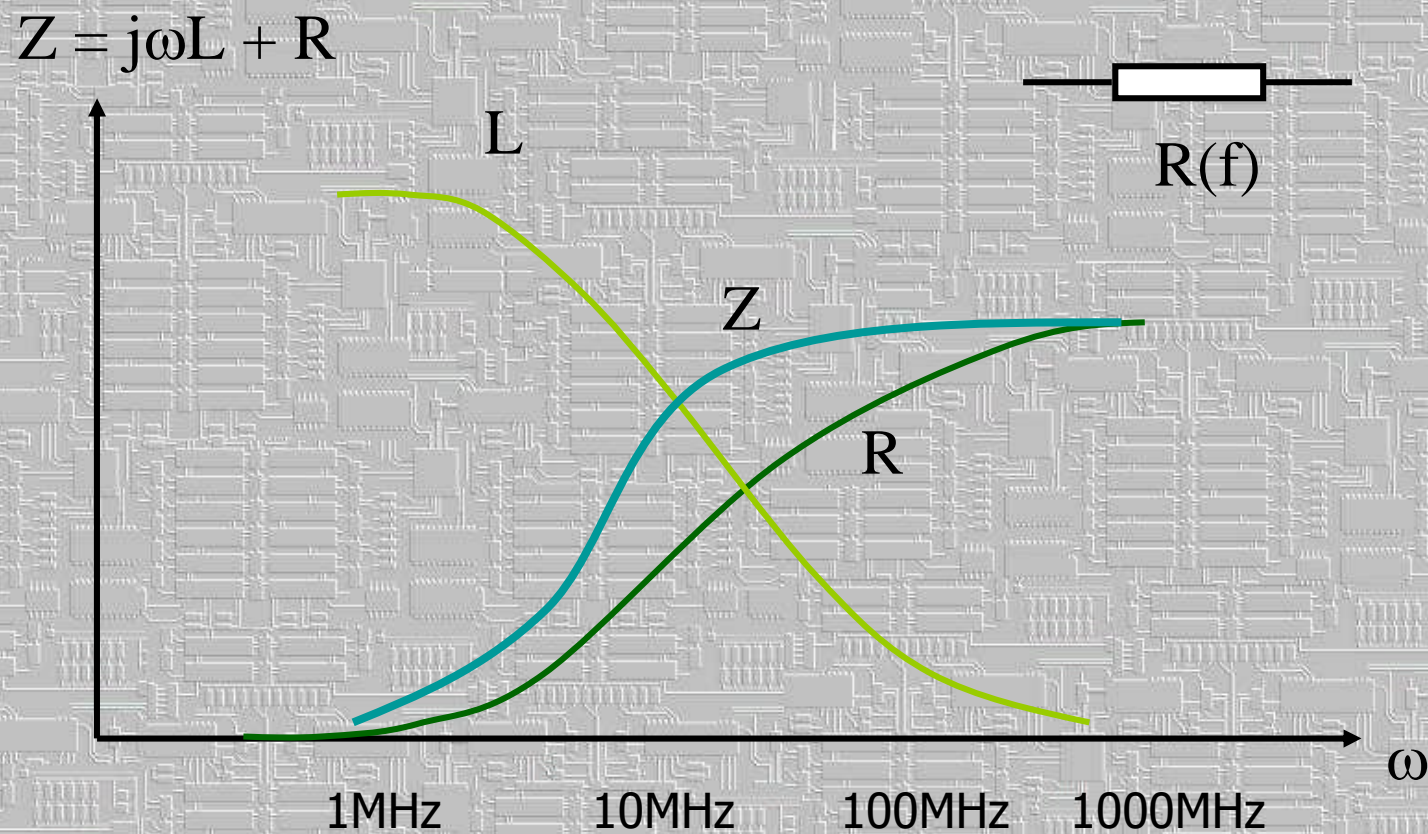
锰锌： $\mu_r = 500 \sim 10000$ ,  
 $R = 0.1 \sim 100 \Omega m$

镍锌： $\mu_r = 10 \sim$   
 $100$ ,  $R = 1k \sim 1M \Omega m$

超微晶： $\mu_r > 10000$ ，做大电感量共模扼流圈的磁心

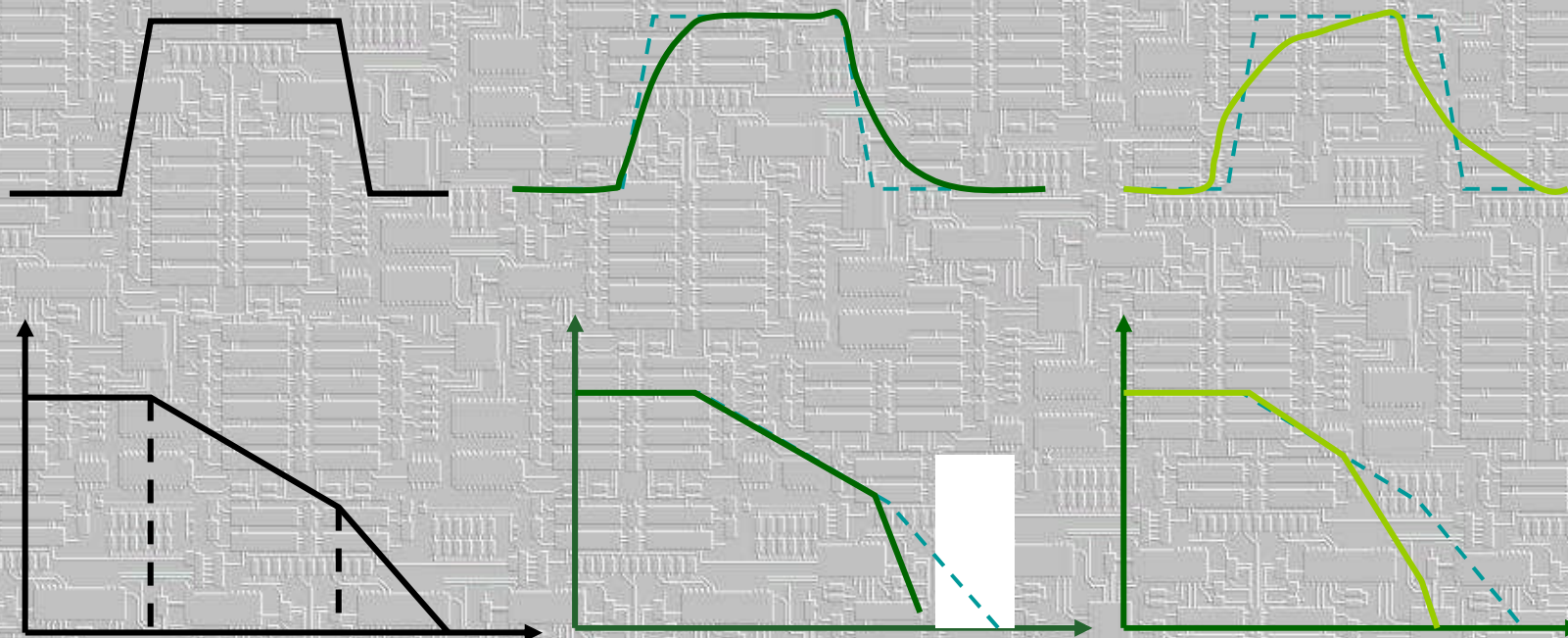


# 干扰抑制用铁氧体





# 低通滤波器对脉冲信号的影响



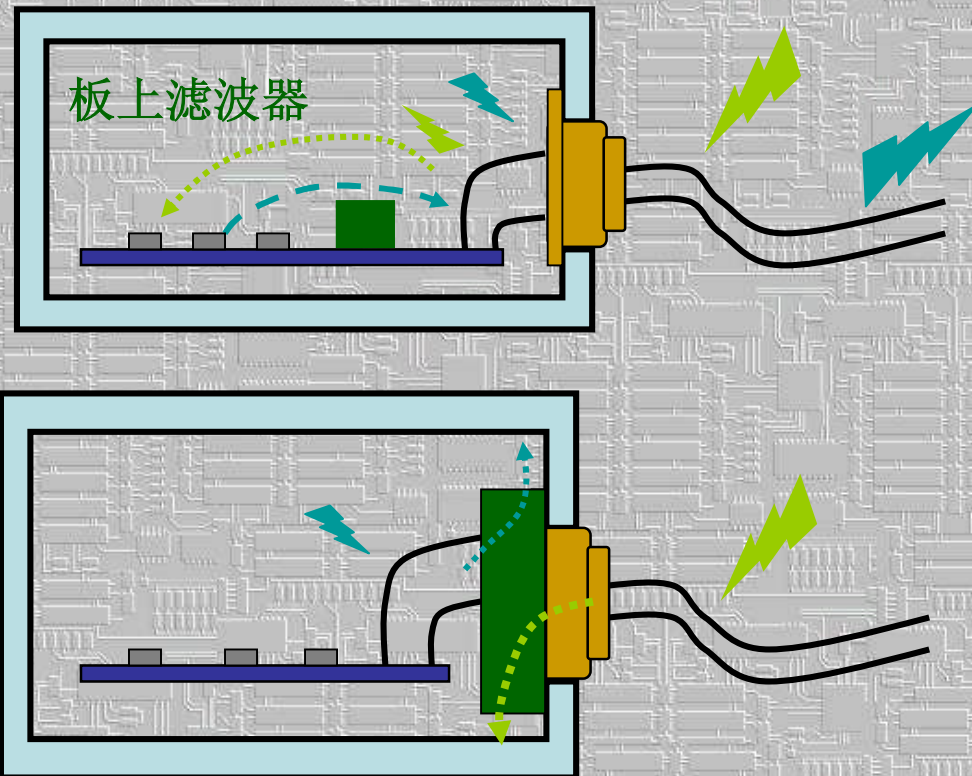


# 信号滤波器的安装位置

无屏蔽的场合

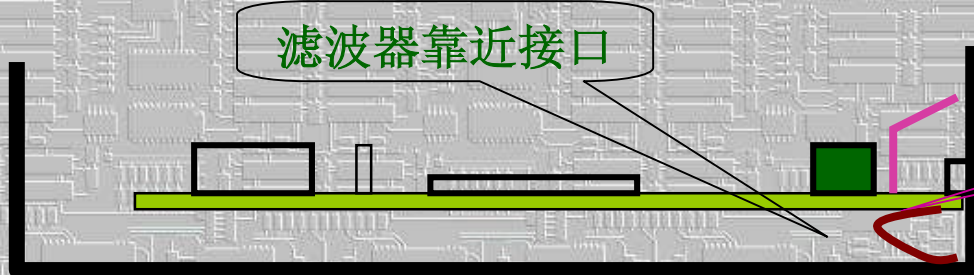
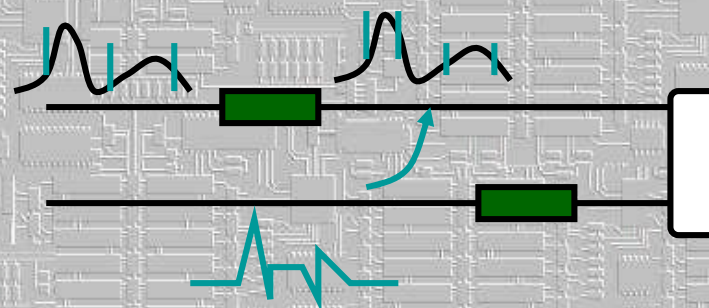
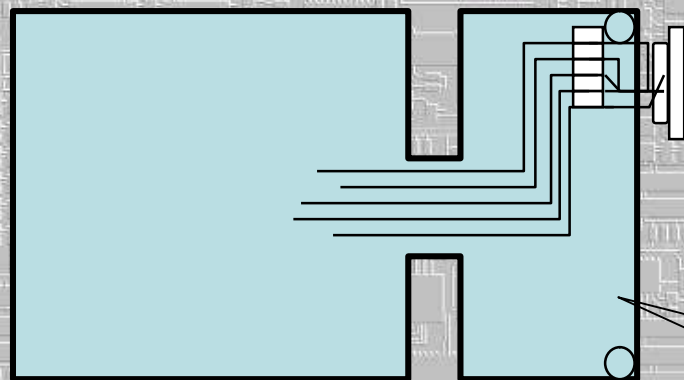
滤波器靠近被滤波  
导线的靠近器件或  
线路板一端。

有屏蔽的场合：在屏蔽界面上





# 板上滤波器的注意事项

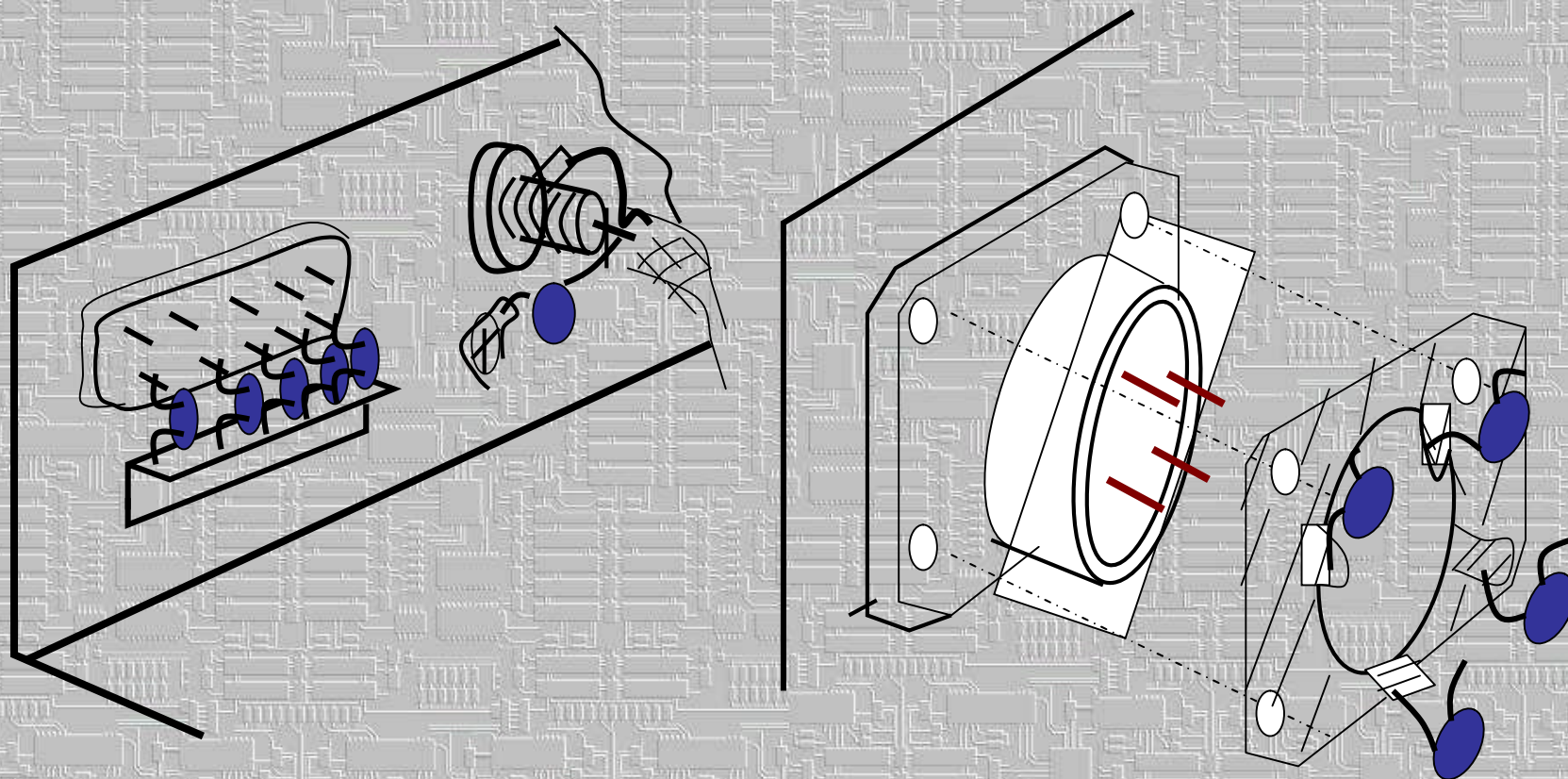


在接口处设置挡板

线路板的干净地与金属机箱或大金属板紧密搭接



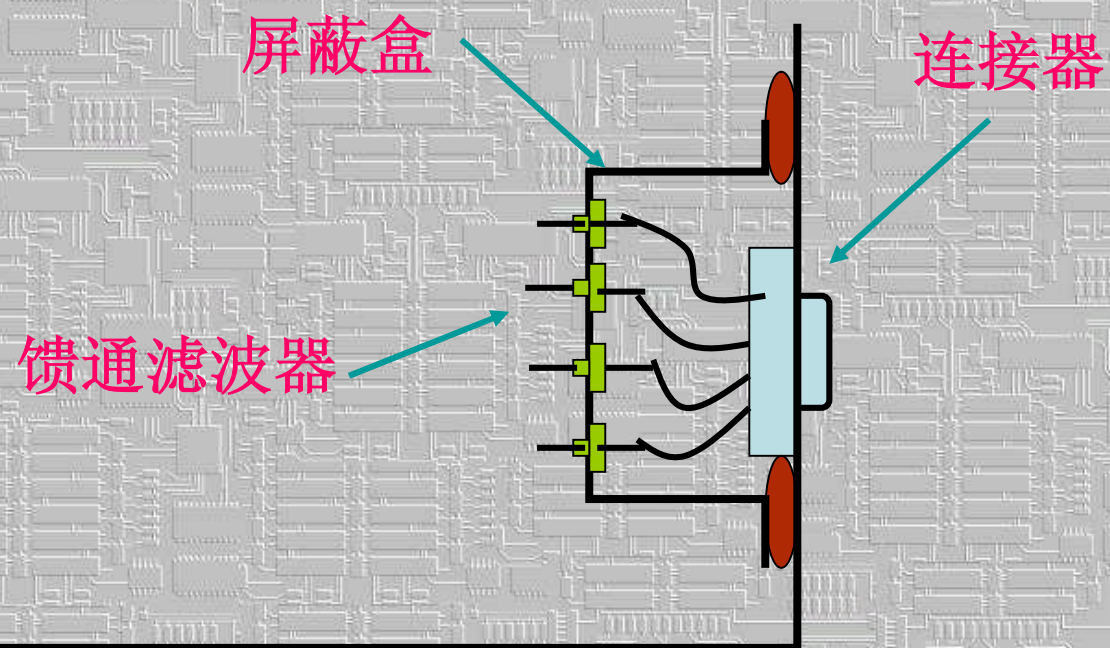
## 面板上滤波的简易（临时）方法



容量适当的瓷片电容或独石电容，引线尽量短

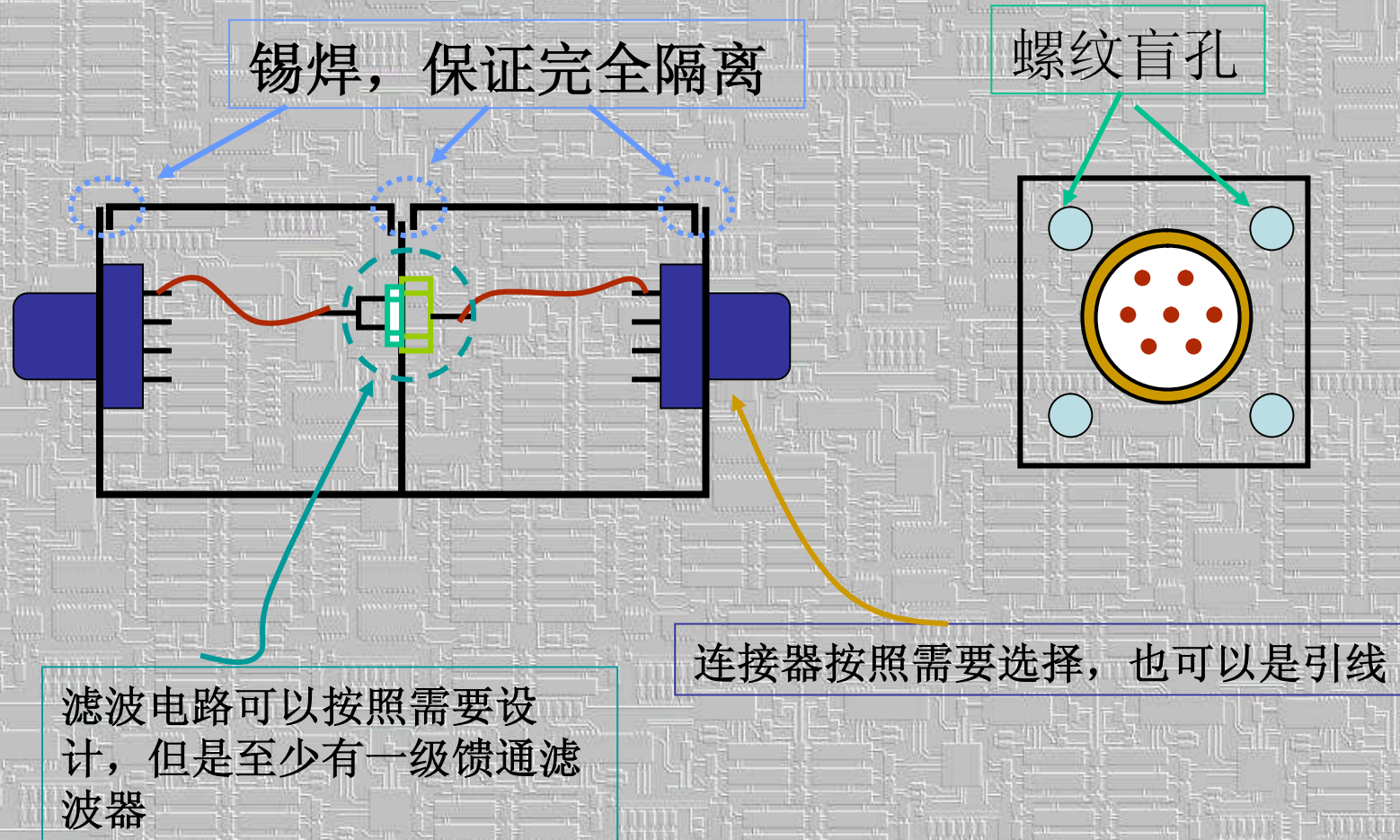


# 电缆滤波的方法





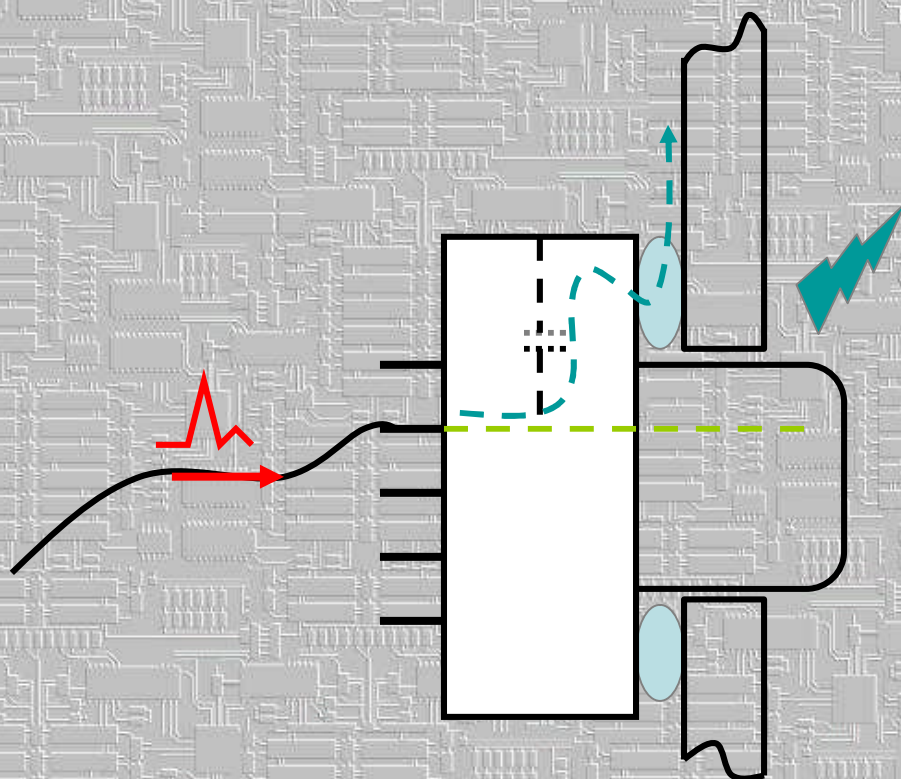
# 自制面板滤波器





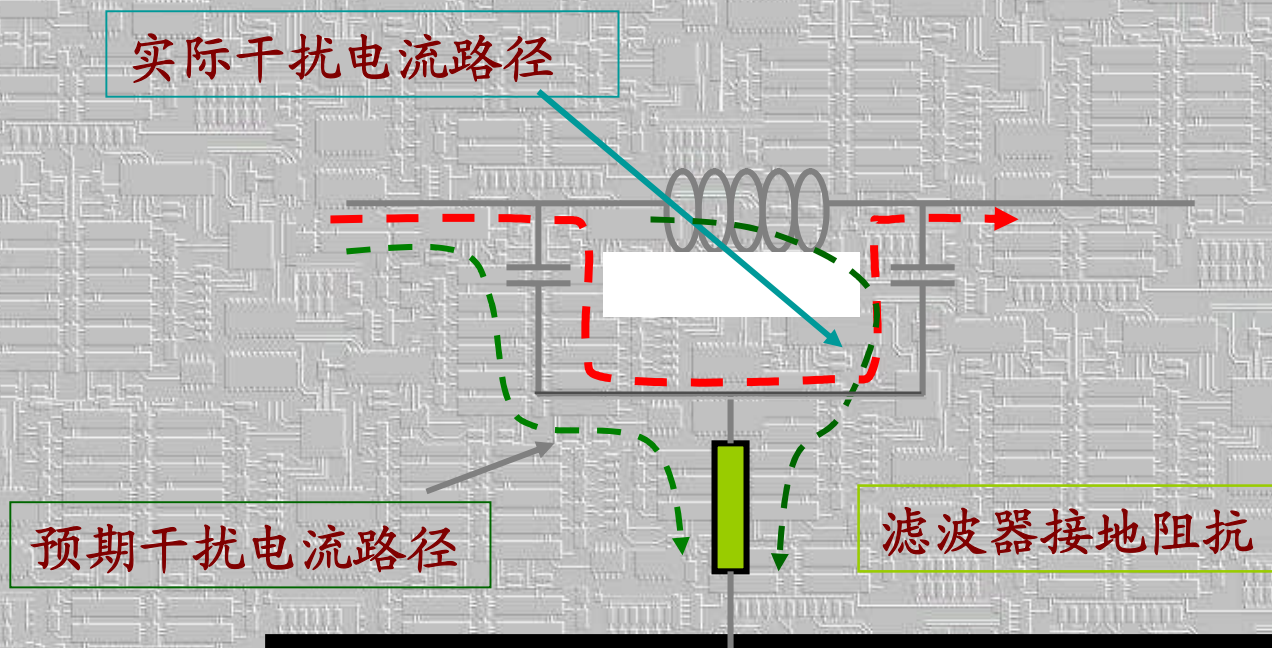
## 面板安装滤波器注意事项

滤波器与面板之间必须使用电磁密封衬垫!



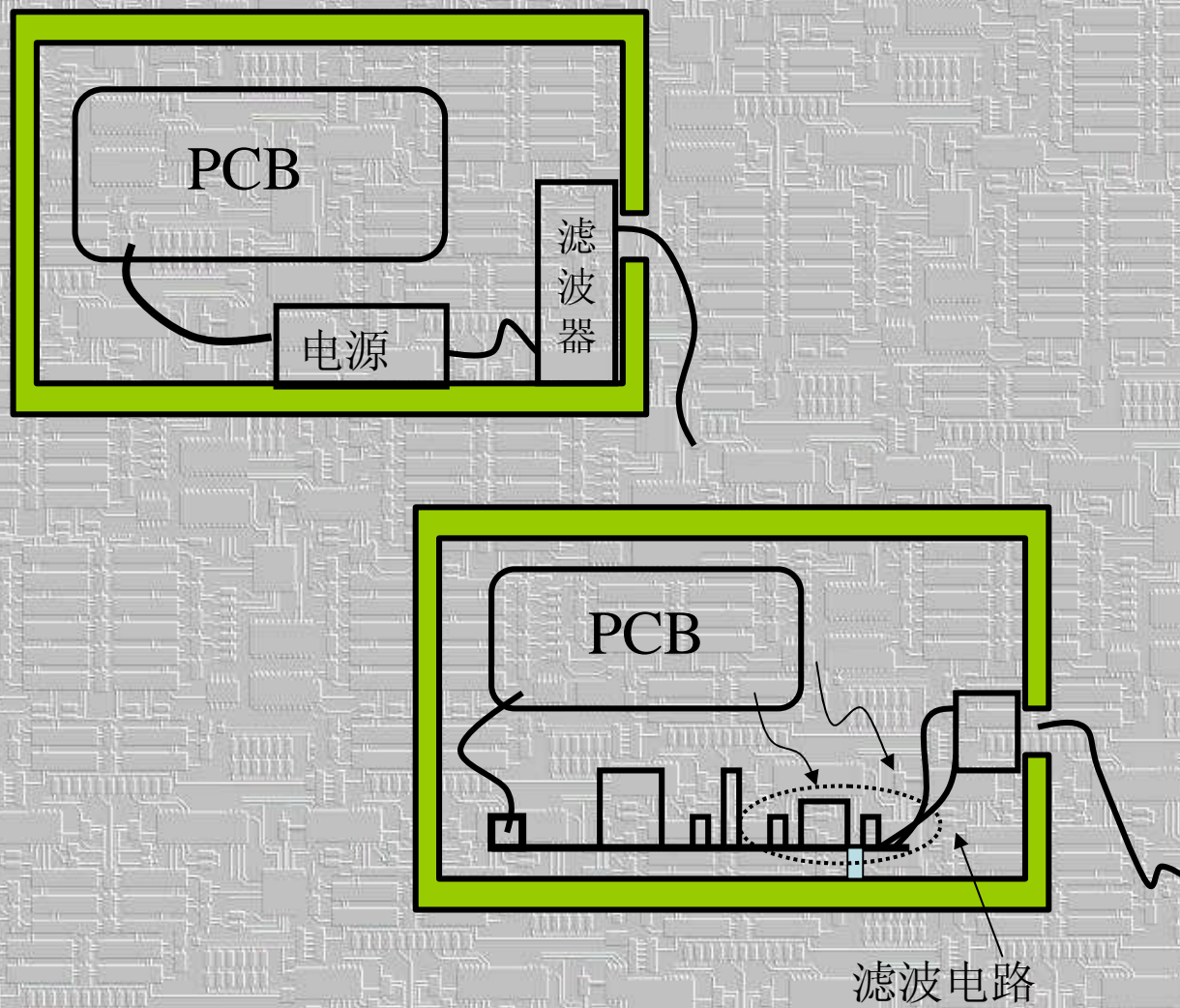


# 使用 $\pi$ 形滤波器的注意事项





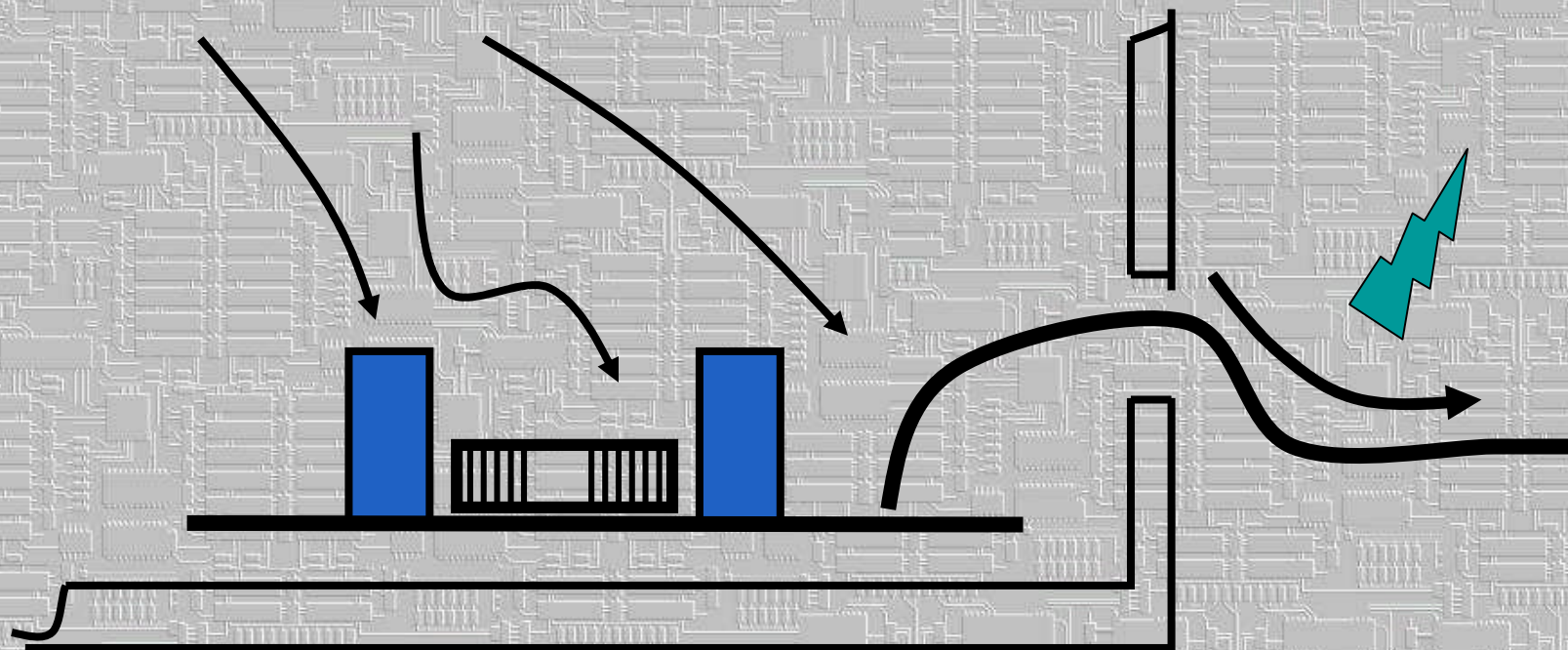
# 滤波器的正确安装





## 滤波器安装在线路板的问题

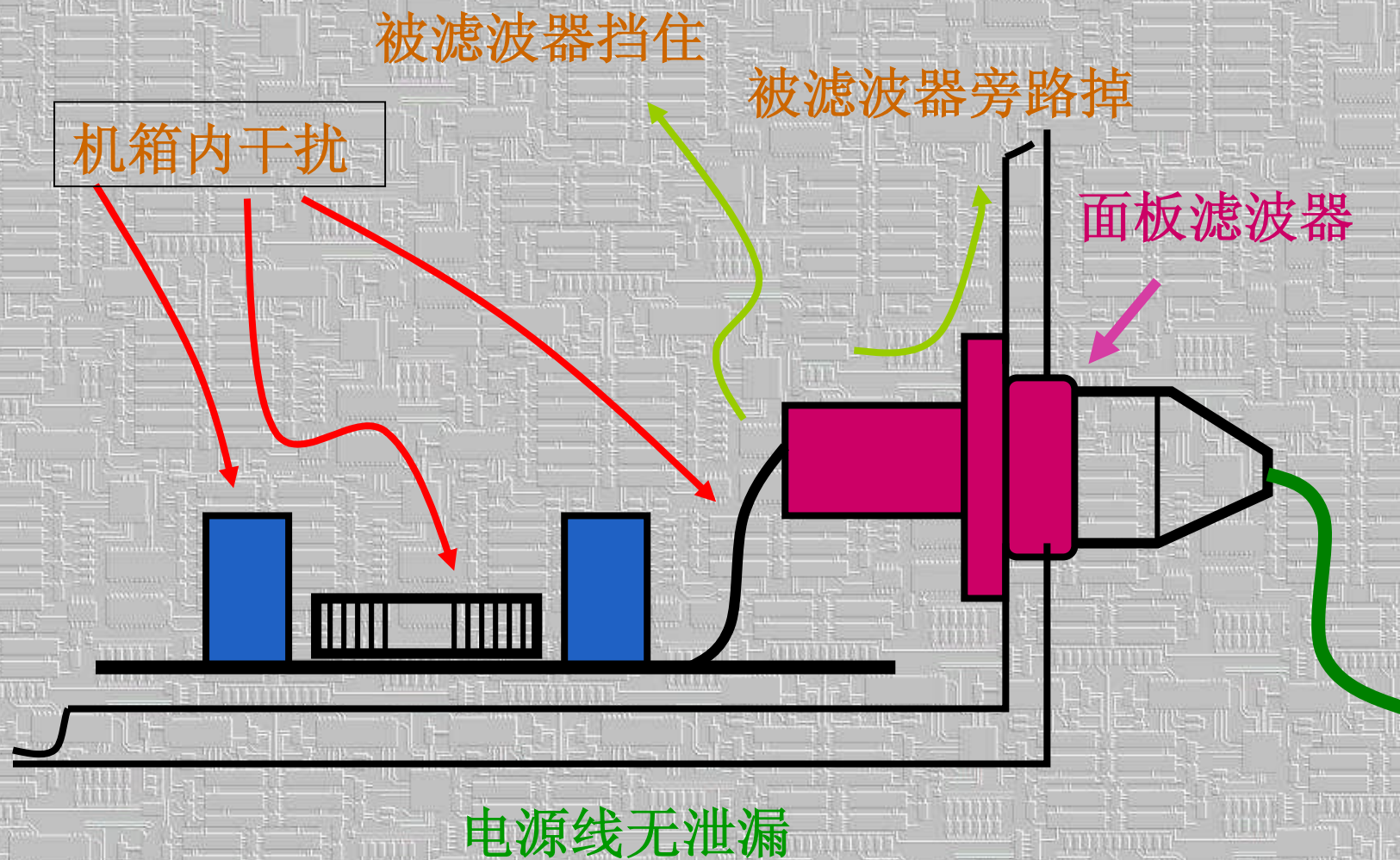
机箱内干扰



电源线泄漏严重

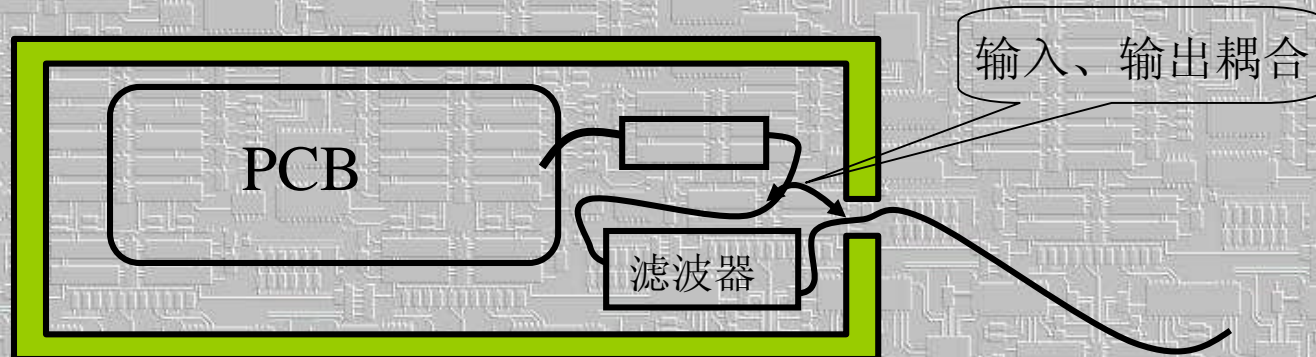
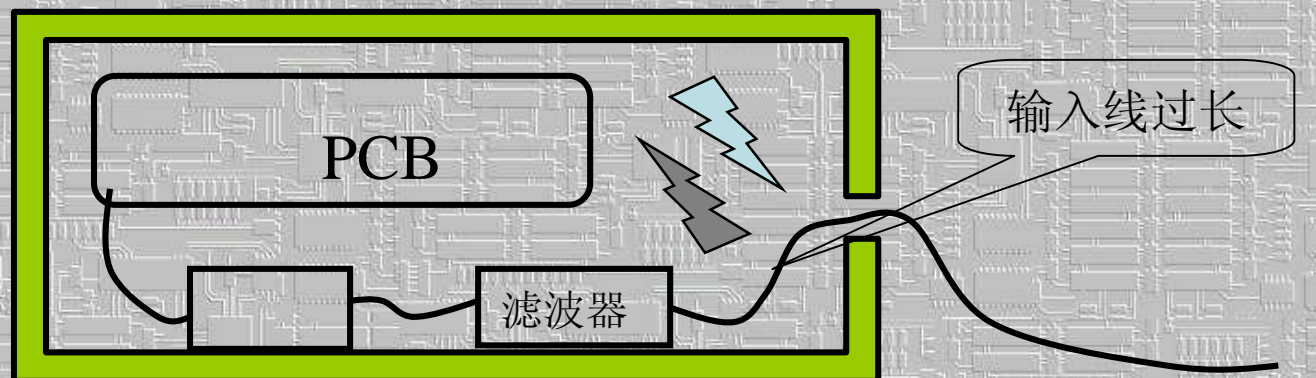


# 线路板上滤波的改进方法



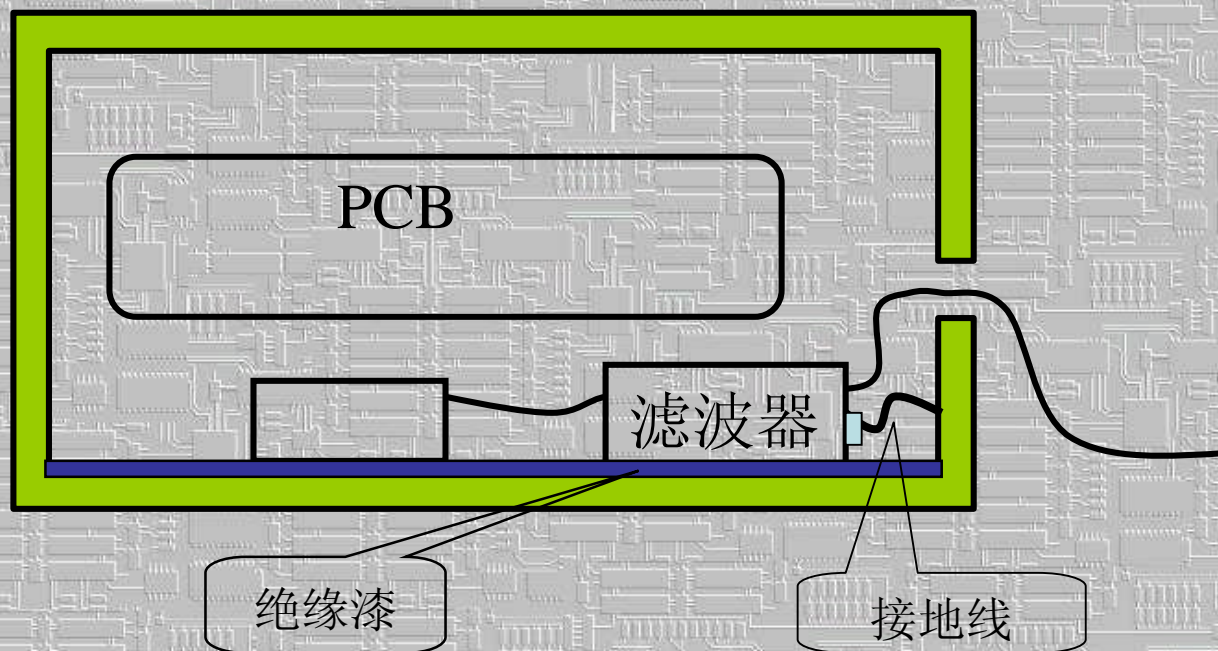


# 电源线滤波器的错误安装





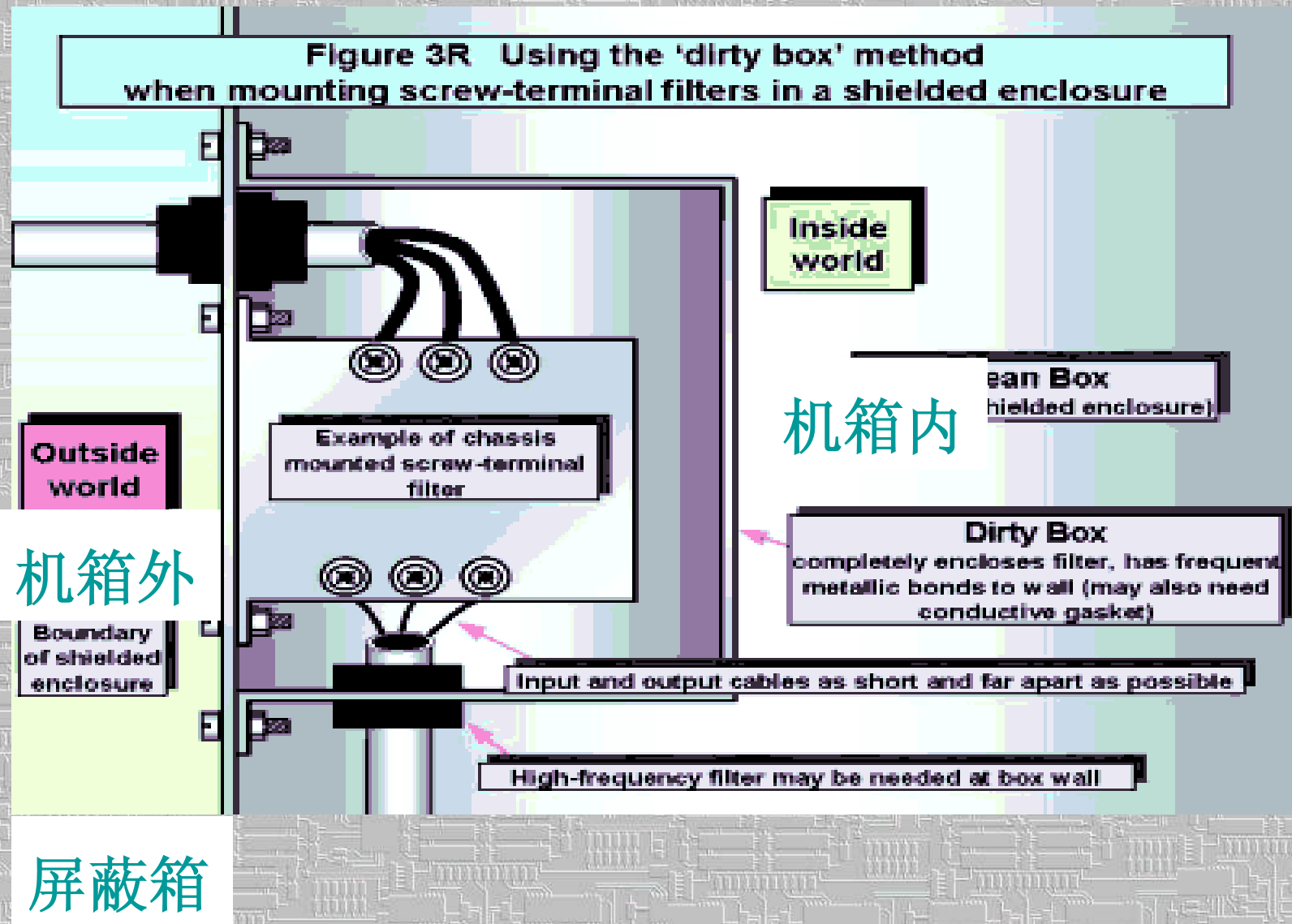
# 电源线滤波器的错误安装



滤波器通过细线接地，高频效果很差！

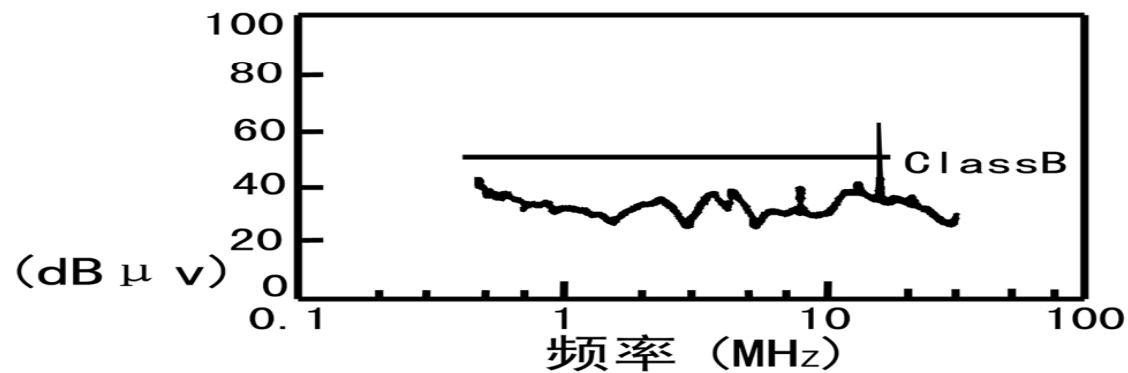
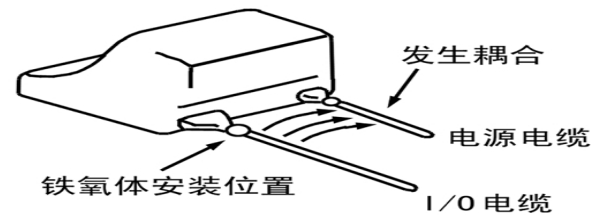


# 这样试一试

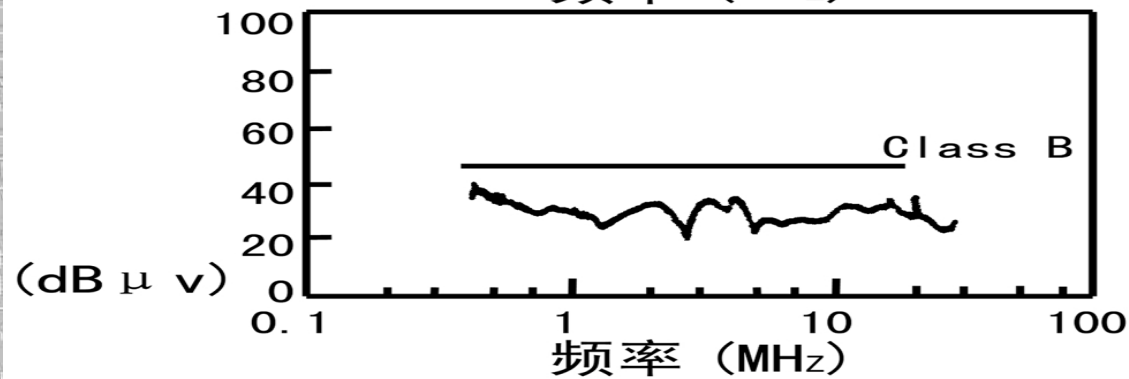




## 还要注意的一个小问题



(a) I/O 电缆屏蔽时，电源线的噪声电平。



(b) I/O 电缆屏蔽，并且端接处安装铁氧体时，电源电缆的噪声电平。