

AUX

面向产品设计人员 的电磁兼容

主讲人：刘德立

目录

- 第一章 电磁兼容性概论
- 第二章 电磁骚扰源与耦合途径
- 第三章 滤波技术
- 第四章 接地技术
- 第五章 屏蔽技术
- 第六章 电路设计
- 第七章 **EMC**元器件的使用

第一章 电磁兼容性概论

刘德立整理发布

返回

1.1 EMC设计的重要性

- (1) EMC特性是产品必须满足的要求.
- (2) 复杂的产品还要在复杂的电磁环境里工作,因此,EMC设计是新产品研发成败的关键,甚至关系到一个产品的生死存亡.
- (3) 要想产品研发一次成功,就必须做好EMC设计.如果产品不能通过EMC试验,就必须重新设计.不但极大地增加了费用,而且还会使市场份额减少,信誉降低.

(4)当前,世界性的环境保护需求,使得电子产品必须向高速,低耗,高密度,小型化,大容量化,功能复合化,电磁兼容性的深层次推进.电子元器件则向高集成化,高频化方向发展,EMC设计已成为电子产品设计中的难点.

(5)在工程项目这个级别上,需要不同学科的工程师集中共同设计,包括软件,硬件,机械,电子及芯片,PCB设计队伍.在设计早期就将系统软硬件功能划分合理,形成有效的功能结构框架.电子产品设计自动化(ePDA)导引不同范畴的工具,如,系统级设计自动化SLDA, 电子设计自动化EDA,嵌入式软件工具EST和机械计算机辅助设计MCAD等各个环节,其核心问题仍然是EMC问题.

1.2 电磁兼容设计的目的

(1) 随着现代科技的发展，电气及电子设备的数量及种类不断增加，使电磁环境日益复杂。

在这种复杂的电磁环境中，如何减少相互间的电磁骚扰：

- 使各种设备能正常运转。
- 减轻恶劣的电磁环境对人类及生态产生不良的影响。

电磁兼容学正是为解决这类问题而迅速发展起来的一门新兴学科。

- (2) 产品的各个模块可以共存，
不致引起相互骚扰
- (3) 产品能够通过电磁兼容试验

1.3 电磁骚扰及其危害

(电磁) 发射 (electromagnetic) emission:

---- “从源向外发出电磁能的现象”。

(性能) 降低degradation (of performance):

---- “装置、设备或系统的工作性能与正常性能的非期望偏离”。

电磁骚扰electromagnetic disturbance:

---- “任何可能引起装置、设备或系统性能降低或对有生命或无生命物质产生损害作用的电磁现象。”

注：电磁骚扰可能是电磁噪声、无用信号或传播媒介自身的变化”。

电磁干扰electromagnetic interference:

---- “电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能下降”。

电磁骚扰和电磁干扰

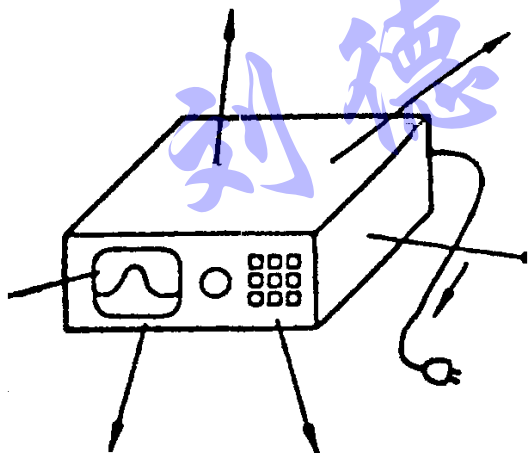
- (1) 电磁骚扰只有在影响敏感设备正常工作时，才构成电磁干扰。
- (2) 电磁干扰指的是能引起性能降低的后果
- (3) 电磁骚扰指的是能引起这种性能降低的客观现象
- (4) 用一种可以测量的量,例如电压,来描述此现象时,称”骚扰电压”,而不是”干扰电压”

电磁发射和敏感度 EMI and Susceptibility

电磁兼容的两种测量方式 Two Types of EMC Measurement

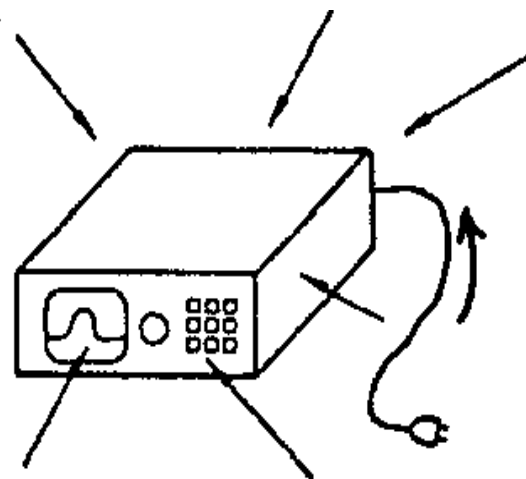
EMI Measurement

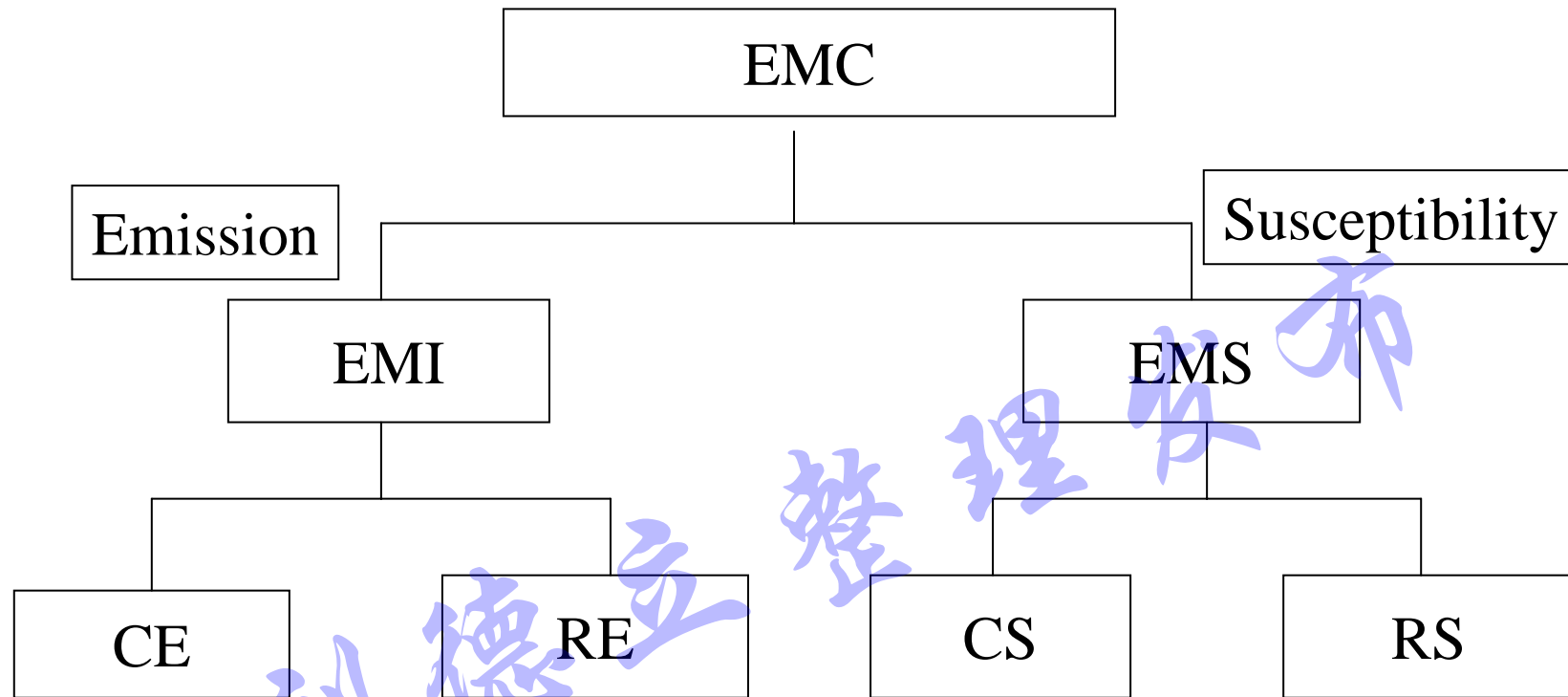
- Conducted
- Radiated



Susceptibility Measurement

- Conducted
- Radiated





| | |
|------|---|
| EMC: | Electromagnetic Compatibility 电磁兼容 |
| EMI: | Electromagnetic Emission 电磁发射 |
| EMS: | Electromagnetic Susceptibility 电磁敏感度 |
| CE: | Conducted Emission 传导发射 |
| RE: | Radiated Emission 辐射发射 |
| CS: | Conducted Susceptibility 传导敏感度 |
| RS: | Radiated Susceptibility 辐射敏感度 |

电磁骚扰发射频谱

谐波

0 – 2kHz

电压波动和闪烁

0 – 150kHz

传导发射

150kHz – 30MHz

辐射发射

30MHz – 1000MHz或更高

1.4 电磁兼容

电磁兼容EMC (Electromagnetic compatibility), 对于设备或系统的性能指标来说, 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”。

国家标准GB/T4365-1995《电磁兼容术语》对电磁兼容所下的定义为“设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。”

该标准等同采用IEC60050(161)。

电磁兼容是研究在有限的空间、有限的时间、有限的频谱资源条件下, 各种用电设备(分系统、系统; 广义的还包括生物体)可以共存并不致引起降级的一门科学。

它有以下三方面的含义

- 1、电磁环境应是给定的或可预期的；
- 2、设备、分系统或系统不应产生超过标准或规范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。
- 3、设备、分系统或系统应满足标准或规范所规定的电磁敏感性（EMS）限值或抗扰度（immunity）；

电磁敏感性，即在存在电磁骚扰的情况下，设备、分系统或系统不能避免性能降低的能力；
抗扰度即设备、分系统或系统面临电磁骚扰不降低运行性能的能力

1.5 电磁兼容设计的依据

电磁干扰三要素

骚扰源

耦合途径

敏感设备

- 1、电磁骚扰源：任何形式的自然或电能装置所发射的电磁能量，能使共享同一环境的人或其它生物受到伤害，或使其它设备、分系统或系统发生电磁危害，导致性能降低或失效，即称为电磁骚扰源。
- 2、耦合途径：即传输电磁骚扰的通路或媒介。
- 3、敏感设备（Victim）：是指当受到电磁骚扰源所发射的电磁量的作用时，会受到伤害的人或其它生物，以及会发生电磁危害，导致性能降低或失效的器件、设备、分系统或系统。许多器件、设备、分系统或系统可以既是电磁骚扰源又是敏感设备。

电磁骚扰源产生的电磁骚扰,通过耦合途径,传输给敏感设备,即造成电磁骚扰.

1.6 EMC标准与规范

标准是一个一般性的导则或预期要满足的准则,由它可以导出各种规范;

规范是一个包含某类设备详细说明和详细数据,必须遵守的文件.

空调产品所应遵循的EMC标准：

GB 4343.1 电磁兼容 家用电器、电动工具和类似器具的要求 第1部分 发射

GB 4343.2 家用电器、电动工具和类似器具的要求 第二部份：抗扰度——产品类标准

GB 17625.1 低压电气及电子设备发出的谐波电流限值（设备每相输入电流 $\leq 16\text{A}$ ）

GB 17625.2 电磁兼容 限值 对额定电流不大于16A的设备在低压供电系统中产生的电压波动和闪烁的限值

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

1.7 电磁兼容性的重要性

电磁兼容性是电子设备或系统的主要性能之一。

电磁兼容设计是实现设备或系统规定功能、使系统效能得以充分发挥的重要保证。

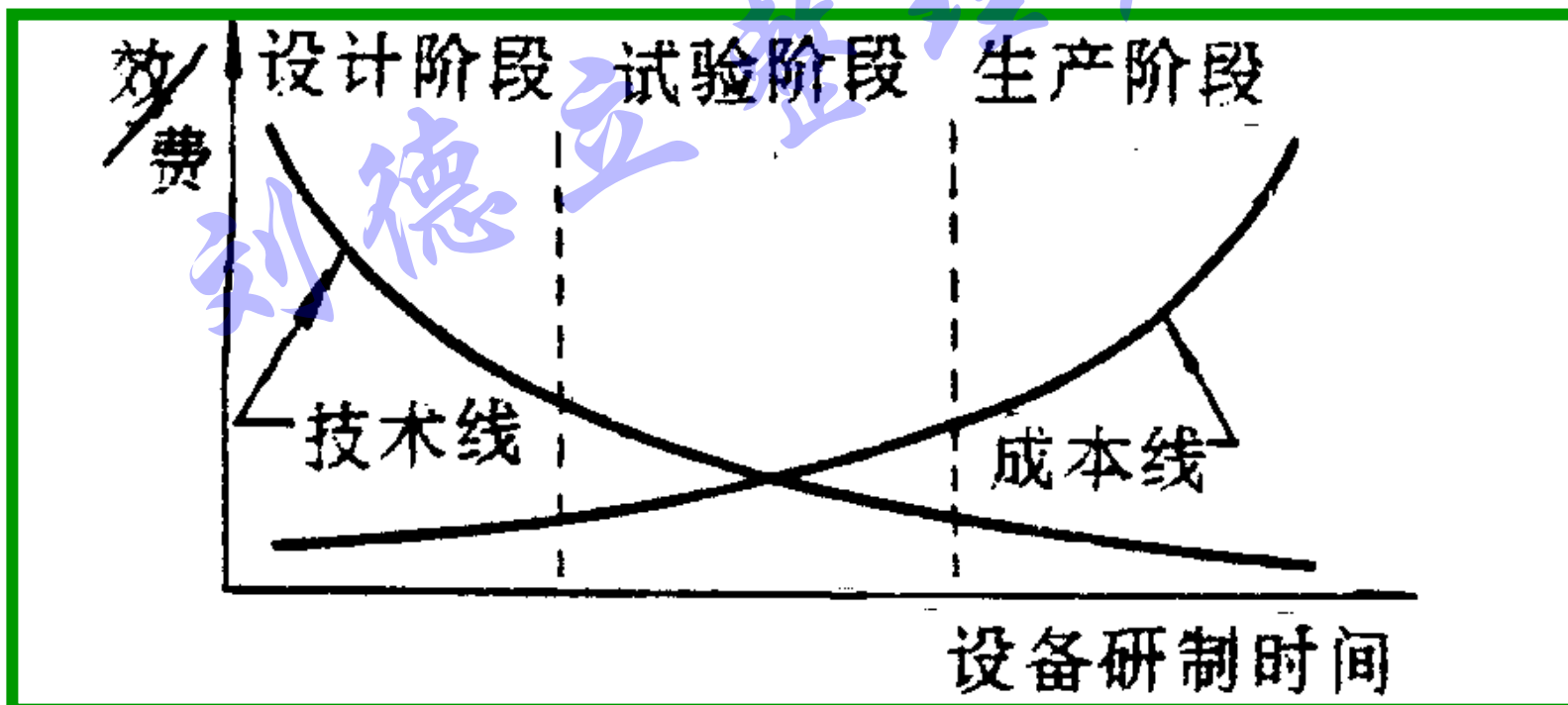
必须在设备或系统功能设计的同时,进行电磁兼容设计。

目前,电子设备或系统设计的重点已由逻辑设计和功能设计转移到电磁兼容设计上来了。

1.8 EMC设计的效费比—EMC介入时间与成本的关系

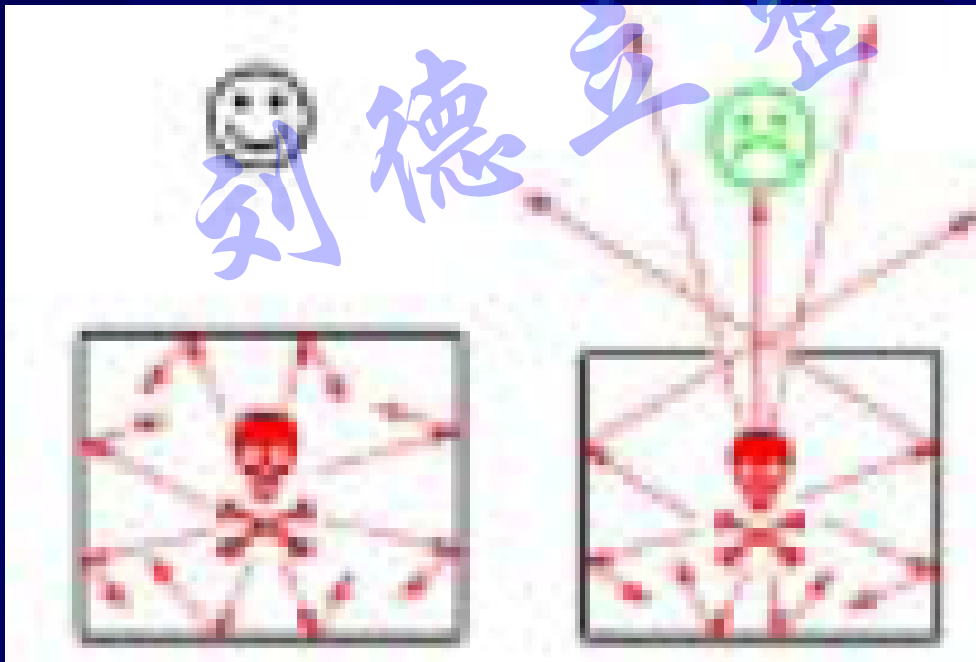
经验证明:速度是制胜的法宝,在设备或系统设计的初始阶段,同时进行电磁兼容设计,把电磁兼容的大部分问题解决在设计定型之前,可得到最高的效费比。

如果等到生产阶段再去解决,非但在技术上带来很大的难度,而且会造成人力、财力和时间的极大浪费。

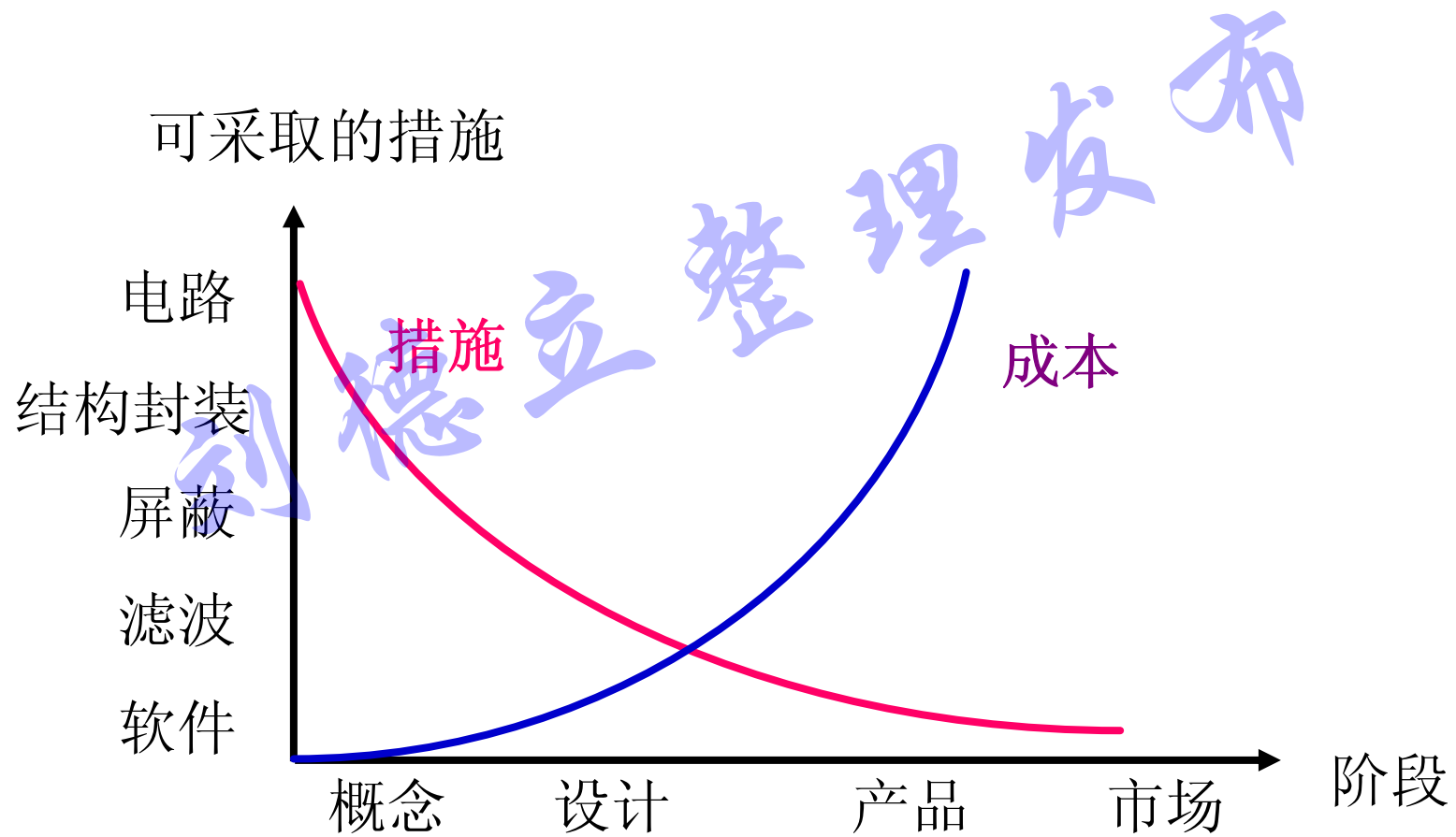


传统EMI对策

- 查找EMI问题的方法：**频谱仪+近场探头**
 - “探测火苗”
- 采取的手段：**屏蔽+滤波**
 - 把“火苗”捂在设备内部



1. 必须走出 测试修改法的怪圈
2. 正确运用系统设计法 (评估 预测 分析 设计)



1.9 电磁兼容设计的基本内容与方法

(1) 电磁兼容设计的基本内容是指标分配和功能分块设计。

首先,要根据有关的标准(国际、国家、企业、特殊标准等等)把整体电磁兼容指标逐级分配到各功能块上,细化成系统级的、设备级的、电路级的和元件级的指标。

然后,按照要实现的功能和电磁兼容指标进行电磁兼容设计。

(2) 电磁兼容设计的方法

在进行电磁兼容设计时，可根据所采取的措施在实现电磁兼容时的重要性，分层依次进行设计。

例如，第一层为有源器件的选型和印制板设计。
第二层为接地设计。
第三层为屏蔽设计。
第四层为滤波设计和瞬态骚扰抑制。

并且在每一层进行接地、屏蔽和滤波的综合设计和软件抗骚扰。这称为“分层与综合设计法”。

(3) 电磁兼容诊断:

- a. 骚扰发射源的定位,骚扰源的特性和发射强度的确定.因为它将直接导致产品的骚扰发射超标,并将骚扰其它模块的正常工作.
- b. 敏感电路或模块的定位,并确定敏感源的特性.因为它将直接影响产品能否通过抗扰度试验,以及该模块能否正常工作.

产品的电磁兼容性是靠
电磁兼容设计获得的

刘德立整理

1.10 电磁兼容设计与抗电磁骚扰的区别

(1) 早期的抗电磁骚扰只是被动地,事后从防范或补救出发,不仅费用高,而且效果差.例如,测试修改法,不但具有盲目性,而且成本高,时间长,甚至失败.因此,是一种冒险的方法. **最终的产品也不是最佳方案.**

(2) 电磁兼容则是一项系统工程,在方案阶段就主动预防,整体规划;进行预先评估,预测分析,主动进行电磁兼容设计,有针对性的主动采取保护措施.因此,成本低,时间短,成功率高,而且可以达到最优化.

(3) 电磁兼容研究的重点是产品的非预期效果和非工作性能,非预期发射和非预期响应,在分析骚扰迭加和出现概率时,需按最不利原则考虑,这比研究产品的工作性能要复杂得多

1.11 电磁兼容设计的理论基础

电磁兼容设计是一门综合性的边缘学科,其核心是电磁波,其理论基础包括:数学,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,材料科学,计算机与控制理论,机械工艺学,核物理,生物医学,以及法律学,社会学等.

1.12 电磁兼容性管理

为使系统或设备具有良好的电磁兼容性，还应对全寿命期间的各个阶段实施EMC管理。

全寿命期一般包括：

论证阶段 确定环境电平,选用EMC标准
方案阶段 分配指标要求,进行EMC设计
工程研制阶段 实施EMC设计规范
定型阶段 EMC试验
生产和使用阶段 EMC培训

第二章 电磁骚扰源与耦合途径

刘德立整理发布

返回

2.1 自然骚扰源与人为骚扰源

2.1.1 自然骚扰源

1. 电子噪声源

电子噪声主要来自设备内部的元器件,是决定接收机噪声系数的重要因素,常见的电子噪声源包括热噪声、散弹噪声、分配噪声、 $1/f$ 噪声和天线噪声等。

2. 天电噪声

天电噪声是大气层中发生的各种自然现象, 包括雷电等, 所产生的无线电噪声能引起电磁骚扰, 是30MHz以下占优势的自然骚扰源, 对无线电通信影响很大。

3. 地球外噪声

即来自地球外层空间的噪声, 主要噪声源包括太阳、天空背景辐射和分布在银河系的宇宙源。

4. 静电放电等其它自然噪声

静电放电所造成的电磁骚扰, 是一个重要的自然骚扰源。

大自然中还存在一些其它自然噪声, 也应引起注意。

2.1.2 人为骚扰源

人为骚扰可分为*无线电骚扰*和*非无线电骚扰*两大类。

1. 连续波骚扰源

连续波骚扰源产生的电磁骚扰主要是纯的或窄带信号调制的正弦波, 以及高重复频率的周期性信号。

这种骚扰源有以下几种:

- (1) 发射机: 所产生的电磁骚扰包括有意发射信号、谐波发射信号以及乱真发射信号。
- (2) 本机振荡器: 接收机本振所产生的基波和谐波可经过电源线传导, 然后从机壳或天线直接辐射。
- (3) 交流声: 是由进入系统的周期性低频信号所引起的连接波骚扰。

2. 瞬态骚扰源

工业、科学和医用设备 (ISM), 车辆、机动船和火花点火发动机装置, 家用电器、便携式电动工具和类似电器、荧光灯和照明装置, 以及信息技术设备是主要的瞬态骚扰源。

(1) 开关转换动作

带触点的开关设备断开时, 在开关两触点之间的距离由零过渡到断开的瞬间, 将产生火花放电而形成骚扰。由于电流迅速从一定值减小到零, di/dt , dv/dt 很大, 在带有电感线圈的开关设备中会产生幅值很高的瞬时电压脉冲。

(2) 在各种电机中, 含有整流子和电刷的旋转电机所产生的骚扰最大。

(3) 点火装置

车辆、船舶等采用的内燃机驱动设备内, 装有火花点火装置。当所储存的电荷通过火花塞进行火花放电时, 放电电流的峰值约200安, 放电时间在微秒以内, 峰值电压高达10千伏以上。

(4) 高压输电线

输电线所产生的辐射骚扰有两种类型; 间隙击穿和电晕放电。

3. 非线性现象

几乎所有电磁骚扰都与非线性有关。

(1) 非线性失真

(2) 开关瞬态

(3) 调制

(4) 互调

2.2 电磁骚扰的耦合途径

2.2.1 传导耦合

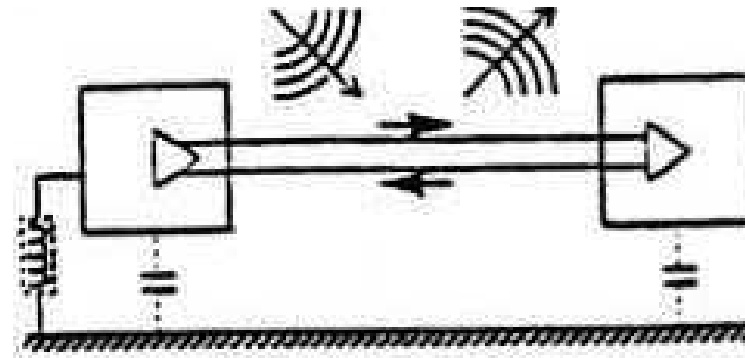
传导是骚扰源与敏感设备之间的主要骚扰耦合途径之一。

传导骚扰可以通过电源线、信号线、互连线、接地导体等进行耦合。

传导耦合即通过导电媒质将一个电网络上的骚扰耦合到另一个电网络上,属频率较低的部分(低于30MHz).

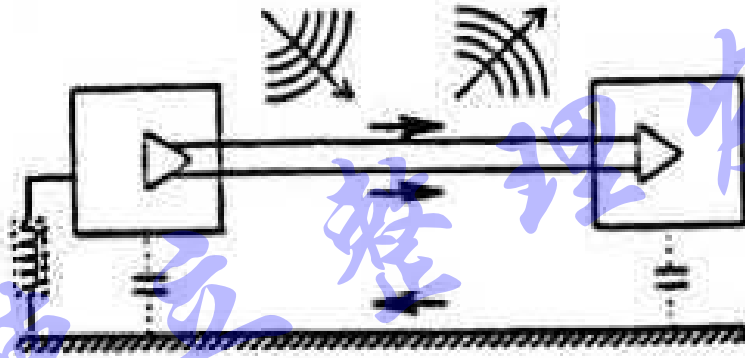
刘德立整理

共模传导



差模

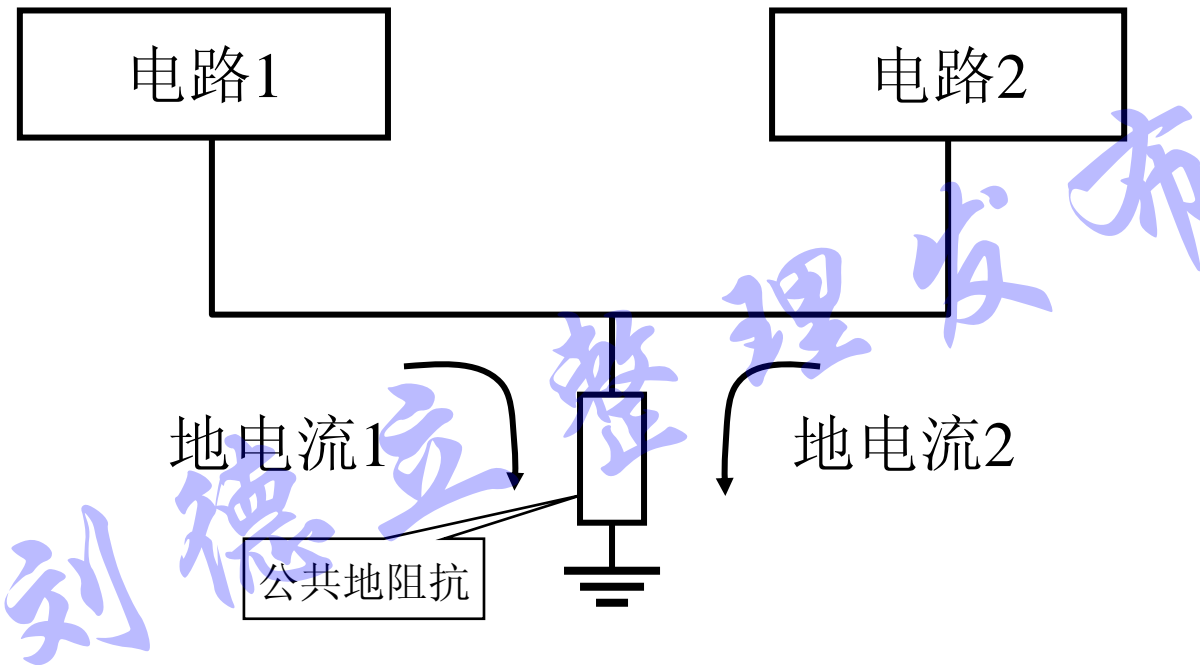
差模传导



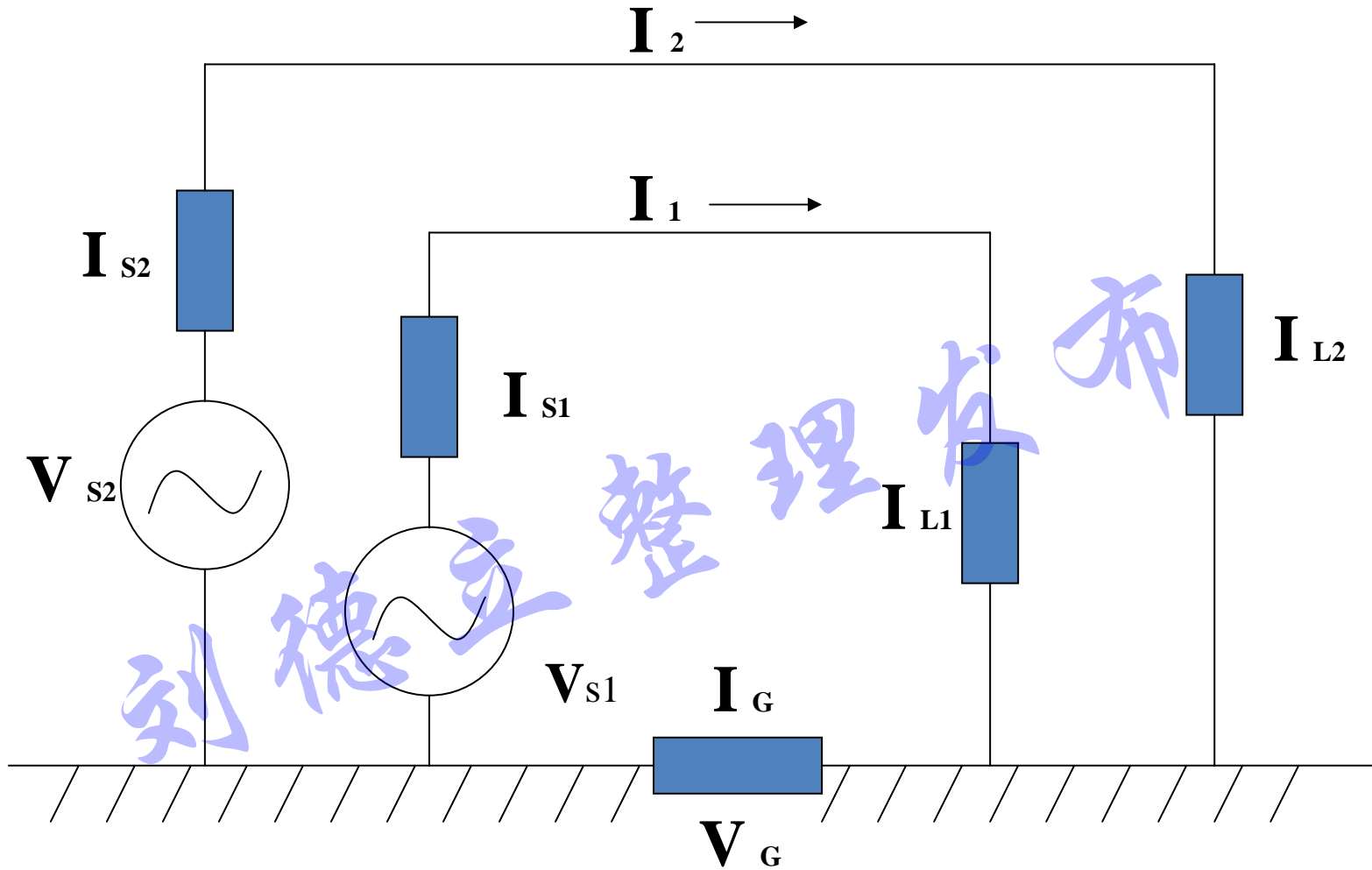
共模

解决传导耦合的办法是在骚扰进入敏感电路之前用滤波方法从导线上除去噪声。

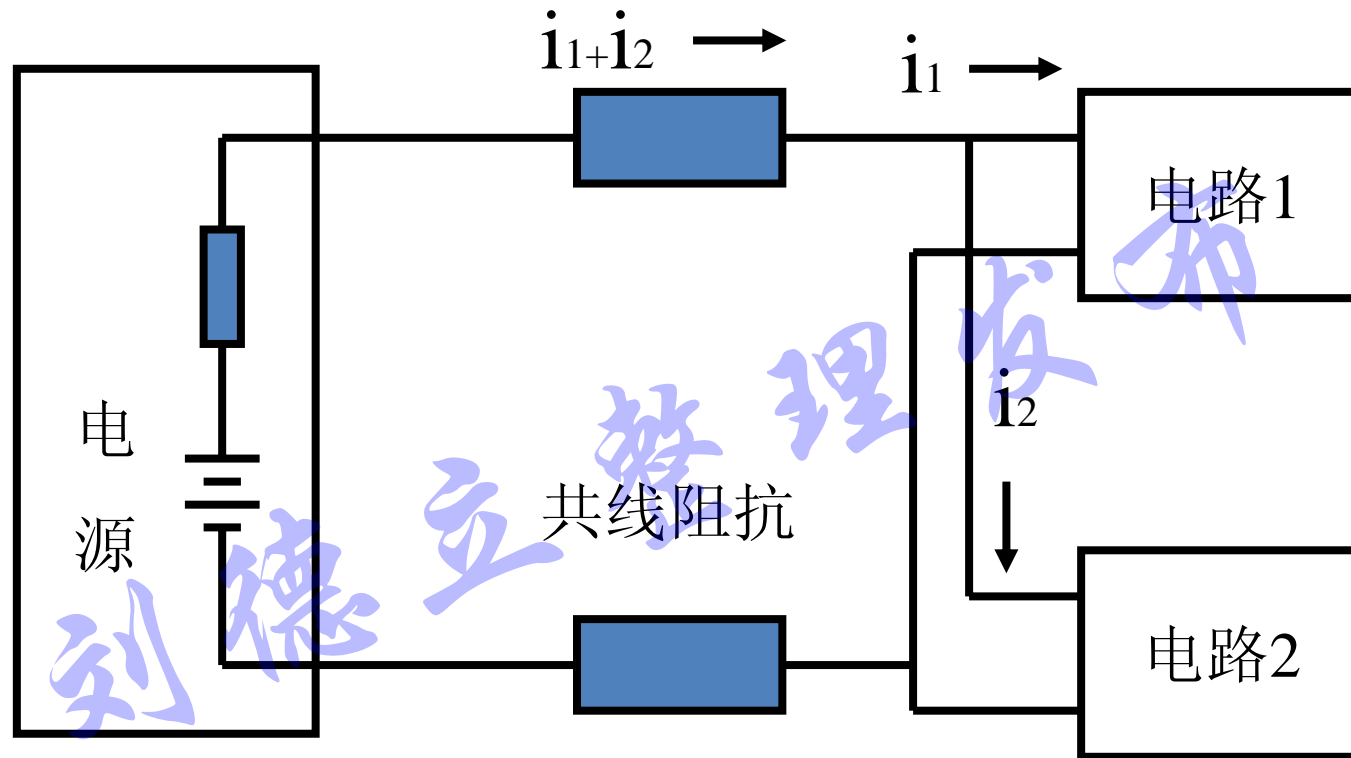
2.2.2 共阻抗耦合



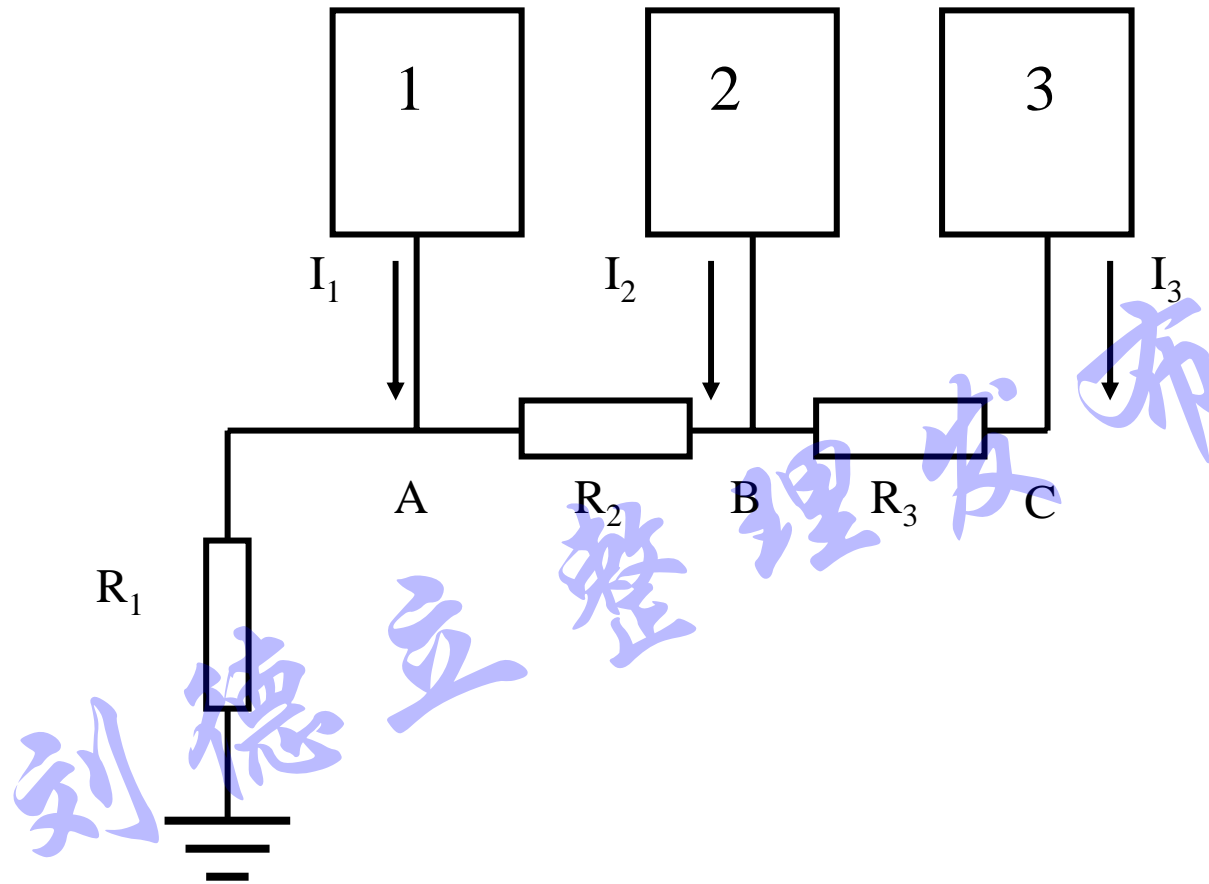
共地阻抗耦合之一



共地阻抗耦合之二

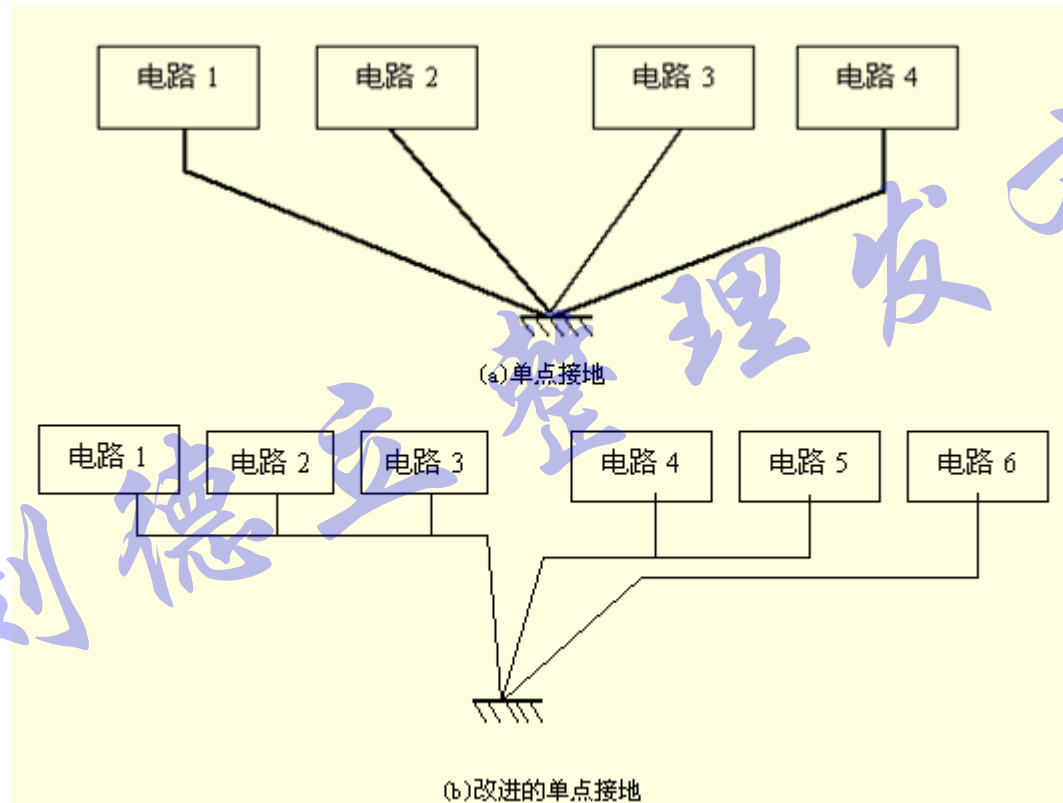


共电源阻抗耦合



串联地阻抗耦合

减小共地阻抗干扰的方法：



减小源阻抗干扰的方法:

我们的目的是给每个电路提供完整的电源电压,不论这些电路与电源的距离如何;而且,每个电路上的电源电压,都不受其它电路的骚扰.具有这些性质的电源为可以保证负载电压等于电源电压.而且其它电路的骚扰被吸收.

但实际的电源存在由R,L,C组成的源阻抗,并由此产生骚扰.

为了尽可能减小源阻抗,有两种方法:

1. **电源总线系统(Power buses)**:缺点是:如果供给20个,各200mA的电路,总电流为4A.若总线有 1.125Ω 小阻抗,则会造成0.5V电压损失.当电源总电压为5V,总线上最后一个电路仅能得到4.5V电压.而且,每个电路产生的骚扰都将传播到总线中的其它电路;

2. **电源平面系统(Power planes)**:源阻抗很小,能为所有电路提供全电压.各电路产生的骚扰分别被吸收,不会传播到其它电路.

为了确保源阻抗为零,可在每个电路电源端口和接地端口间,并接 $0.1\mu\text{F}$ 电容.

改用多层板减小共阻抗耦合

设:长10cm,宽1mm地线.按10nH/cm计算,当100MHz时, $Z=72.5\Omega$.

改成多层板中的一层时,在100MHz时,板阻抗仅3.72m Ω .

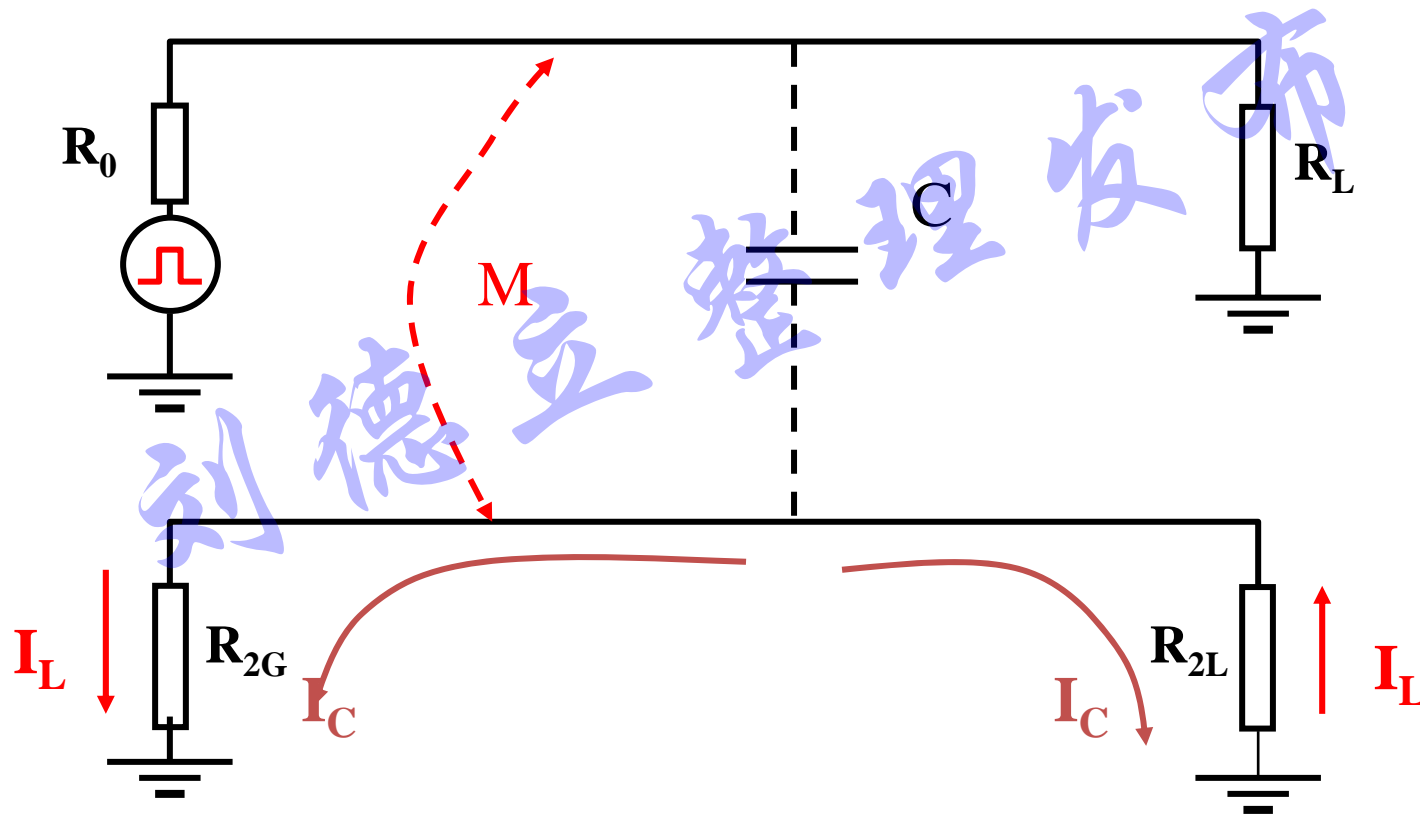
2.2.3 感应耦合

感应耦合是导体之间以及某些部件（例如变压器、继电器、电感器等）。它可分为电感应耦合和磁感应耦合两种。

1. 电感应/容性耦合

源电路上的电压可产生电力线，它与敏感电路相互作用后，就出现电感应（容性）耦合。感应电压是源电压、频率、导体几何形状和电路阻抗的函数。

导线之间两种串扰机理



减小电感应耦合的方法：

减小耦合电容

减小敏感电路的阻抗

2.磁感应/感性耦合

$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

法拉第电磁感应定律:

感应电动势等于磁通变化率的负值

磁通正比于回路面积

磁感应(感性)耦合则是由于骚扰源上的电流变化产生的磁场,在被骚扰对象上引起感应电压,从而导致的电磁骚扰.。感应电压正比于骚扰电流随时间的变化率.

减小磁感应耦合的方法:

导线紧贴地平面 $h=0$,减小源回路与敏感回路的环路面积;

增大间距 a ;

加滤波器;

用高导磁材料包扎敏感线.

2.2.4 辐射耦合

辐射电磁场是骚扰耦合的另一种方式, 辐射电场或磁场。

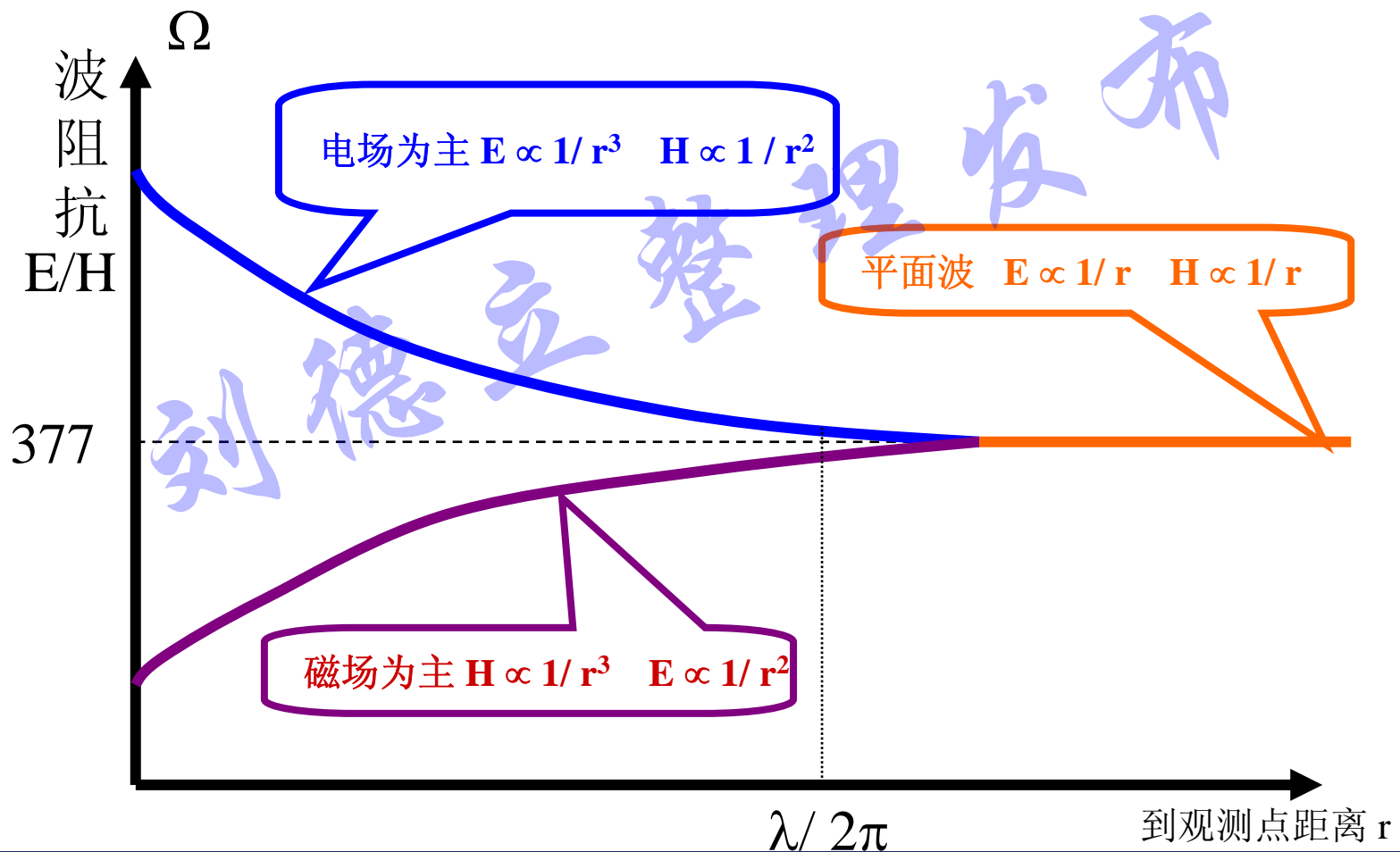
短单极天线(小于 $\lambda/4$)

小环天线。

对于辐射耦合, 近场与远场的概念是十分重要的。根据麦克斯韦方程, 短单极天线的辐射场可写为:

刘德立整理发布

近场与远场 波阻抗的概念



基本辐射源:

非闭合载流导线辐射源—单极天线

闭合载流导线辐射源—小环天线

单极天线的近场又称高阻抗场，以电场为主。

单极天线称为高电压、小电流高阻抗源。

小环天线的近场又称低阻抗场，以磁场为主。小环天线为低电压、大电流、低阻抗源。

二者的远场特性相同。

辐射耦合小结:

通过空间将一个电网络上的骚扰耦合到另一个电网络上.

属频率较高的部分(高于30MHz).

基本辐射源:

非闭合载流导线辐射源—单极天线

闭合载流导线辐射源—小环天线

近场和远场:

当 $\lambda/2\pi r=1$,即 $r=\lambda/2\pi$,为近场和远场之间的边界.

设场点到源点的距离为 r ,电场近场场强 E 随 $1/r^3$ 衰减,所以,克服近场干扰,可拉开距离.

第三章 滤波技术

刘德立整理

返回

EMI滤波器的分类

按实现方式不同分为

模拟滤波器

数字滤波器

按其所设计工作频段的不同分为

集总参数滤波器

分布参数滤波器

按是否存在有耗网络分为

反射式滤波器（纯电抗型）

吸收型滤波器

按网络传输特性分为

低通滤波器

高通滤波器

带通滤波器

带阻滤波器

按应用场合不同分为

普通信号处理滤波器

电磁骚扰滤波器（EMI滤波器）

EMI滤波器，通常是集总、无源的低通滤波器。

电磁骚扰滤波器

电磁骚扰滤波器，即**EMI滤波器**，是抑制传导骚扰最有效的手段。它包括**信号线滤波器**和**电源线滤波器**。

信号线滤波器允许有用信号无衰减通过，同时大大衰减杂波骚扰信号。

电源线滤波器又称**电网滤波器**，它以较小的衰减把直流、**50Hz**、**400Hz**电源功率传输到设备上，却大大衰减经电源传入的**EMI**信号，保护设备免受其害。

同时，它又能抑制设备本身产生的**EMI**信号，防止它进入电网，污染电磁环境，危害其它设备。

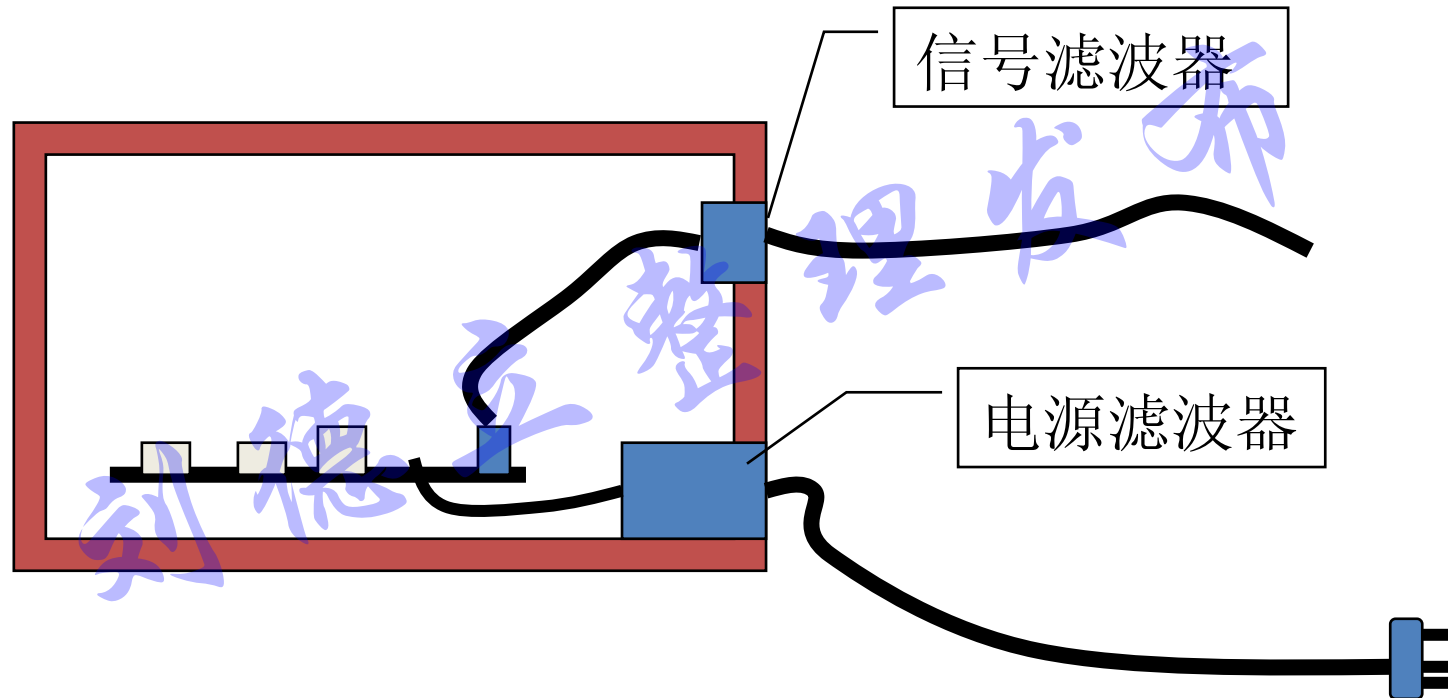
EMI滤波器的特点

EMI滤波器不等同于一般的低通滤波器，二者所关心的滤波器指标、使用环境等都是截然不同的，普通的低通滤波器关心幅频特性、相位特性、群延时、波形畸变等特性；而EMI滤波器更关心插入损耗、能量衰减、截止频率等特性。

从使用环境来看，一般低通滤波器工作电平低、工作电流较小，源端或负载端特性较单一；而EMI滤波器的工作电压高、额定工作电流大，并且要能够承受瞬时大电流的冲击，另外其源端特性、负载特性随其工作环境的不同变化较大。这些不同之处，使EMI滤波器的设计不能完全参照一般滤波器设计技术来实现。

3.1 反射式低通滤波器

一. 滤波器的作用

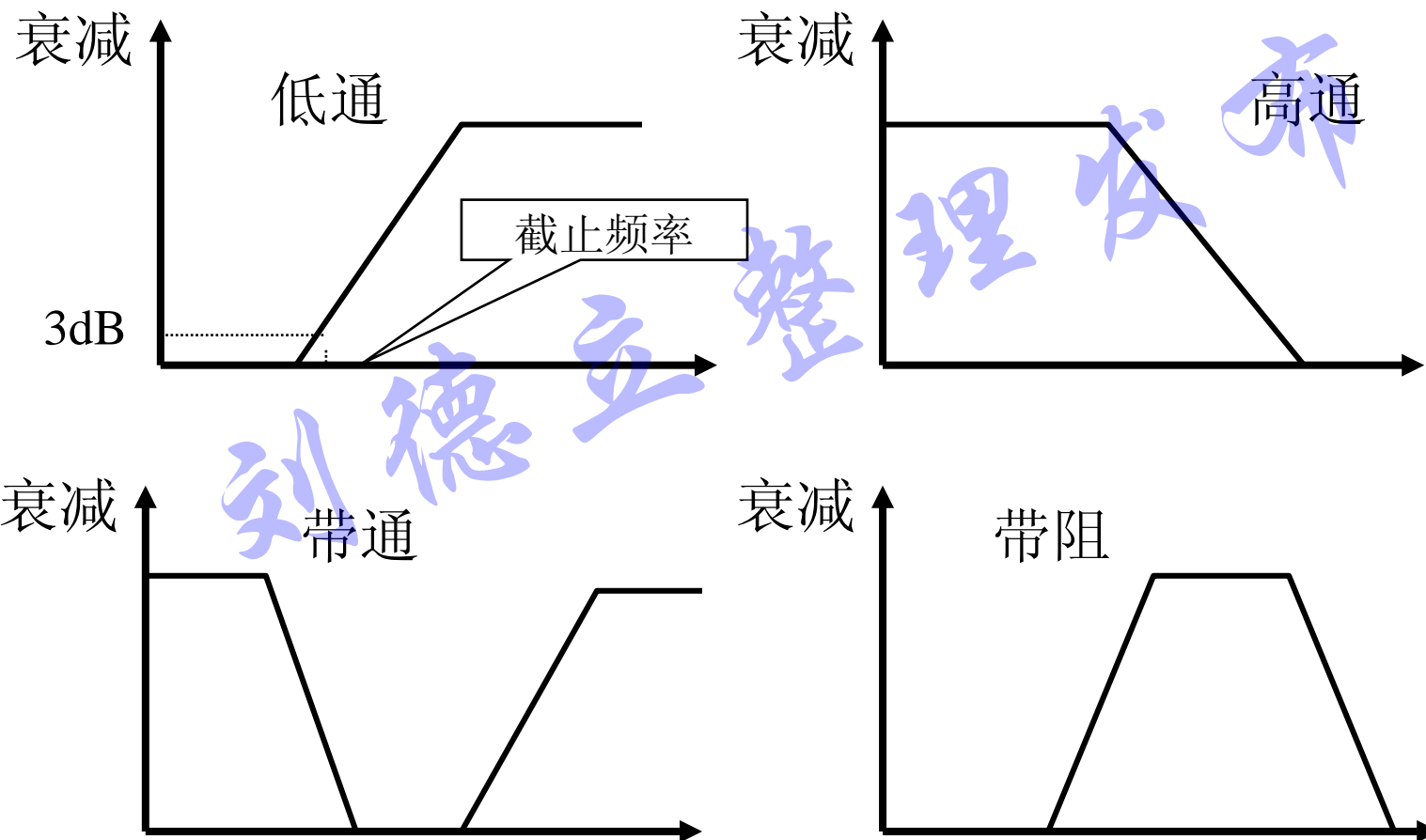


切断骚扰沿信号线或电源线传播的路径，与屏蔽共同构成完善的骚扰防护。

信号滤波器:允许有用信号无衰减通过,同时大大衰减电磁骚扰.

电源滤波器:允许直流,50Hz,400Hz等的电源功率无衰减通过,同时大大衰减经电源传入的电磁骚扰,保护设备免受其害.同时,抑制设备产生的电磁骚扰,防止进入电网,其额定电压高,额定电流大,并且要能够承受瞬时大电流的冲击,在使用中必须考虑源端及负载端的端接阻抗对滤波性能的影响,还必须结合接地技术与屏蔽措施,才能达到良好的抑制效果.

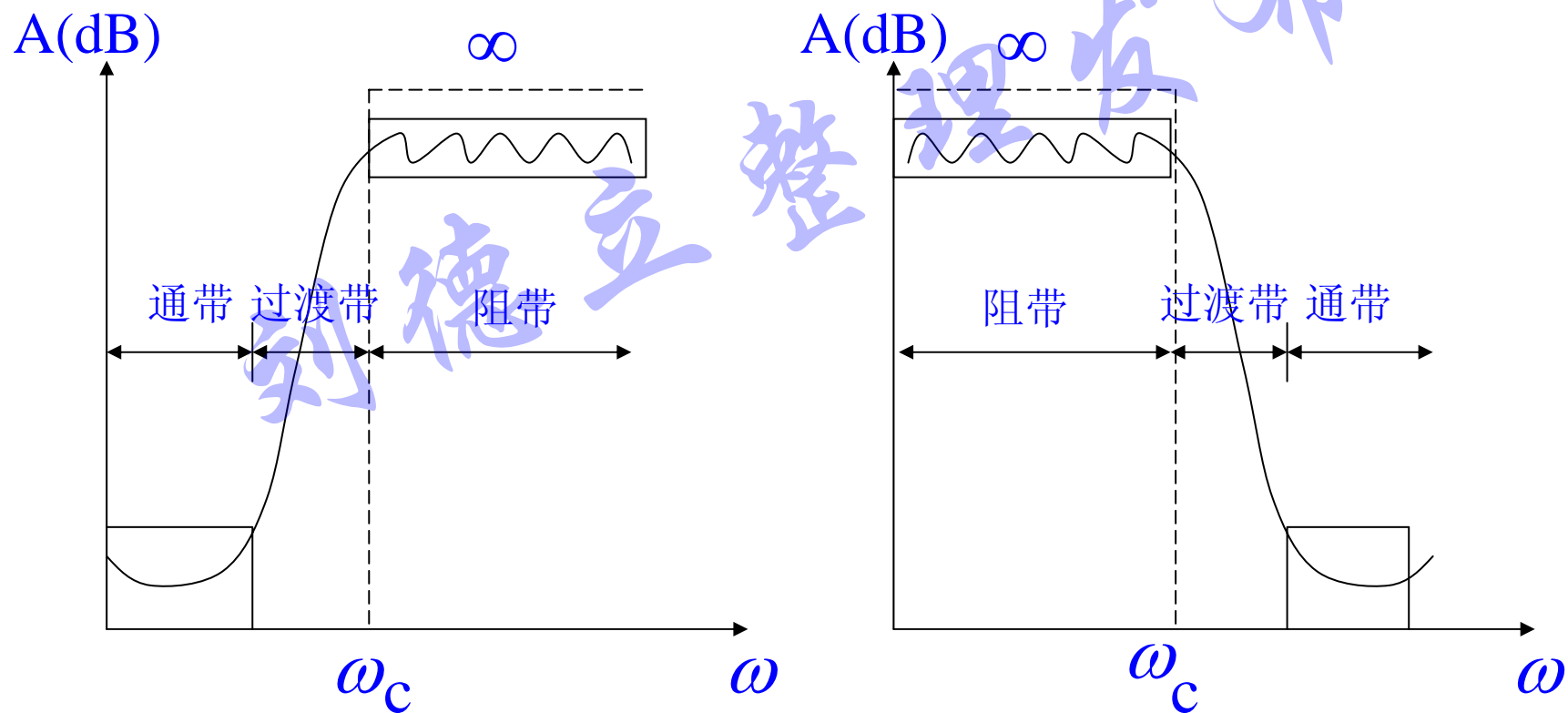
二.滤波器的种类



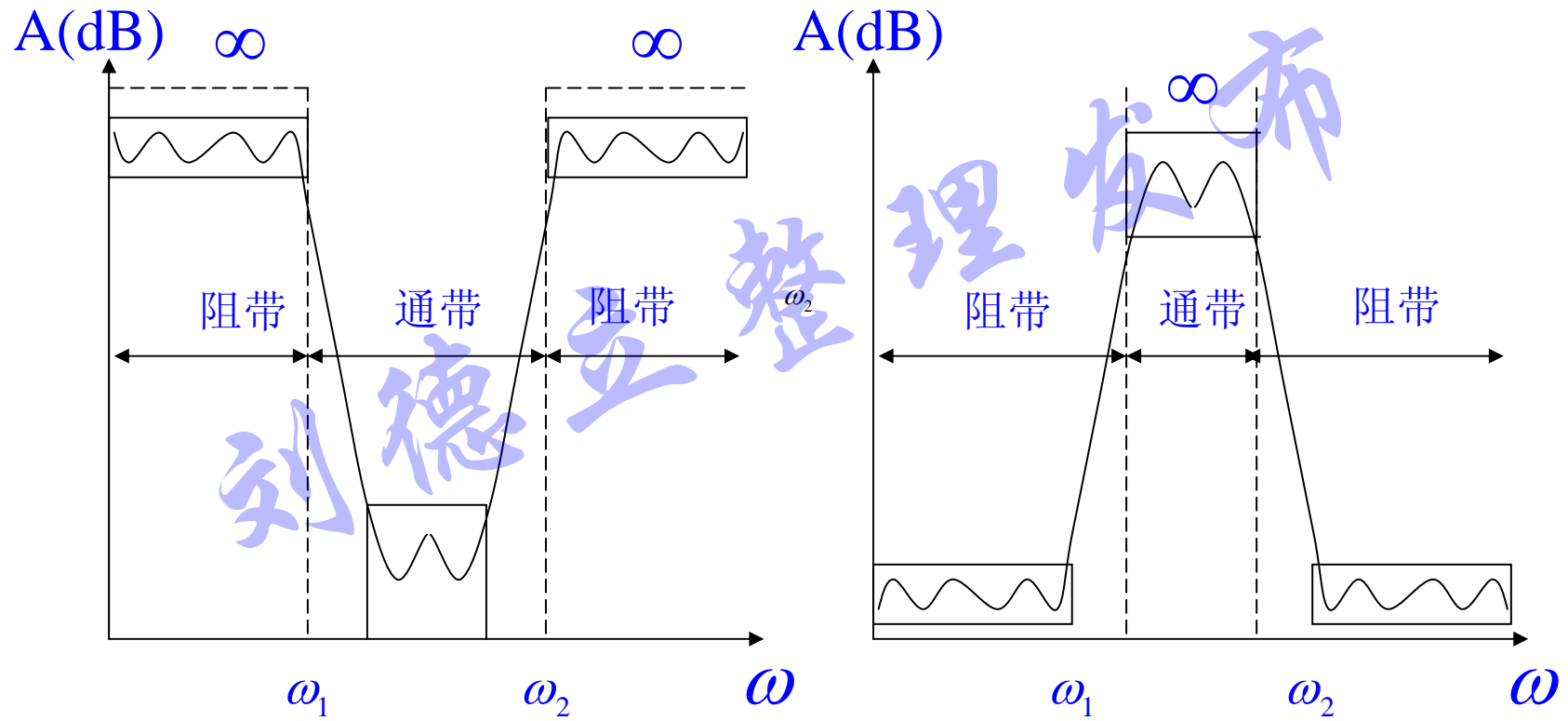
基本滤波原理 ——EMI滤波器的截止频率

定义EMI滤波器在频域内满足3dB插入损耗所对应的频点为**截止频率**。截止频率对于合理选用滤波器非常关键，必须保证工作频率小于EMI滤波器的截止频率。

基本滤波原理 —— 滤波器的衰减特性



带通滤波器衰减特性 带阻滤波器衰减特性



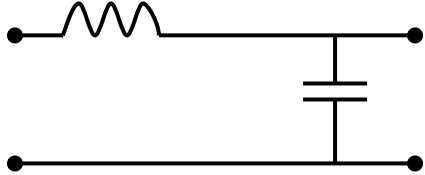
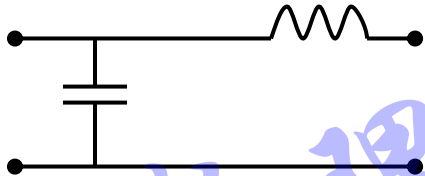
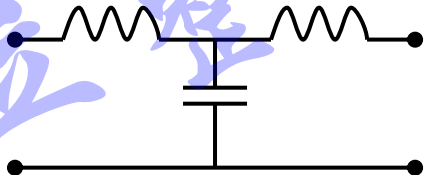
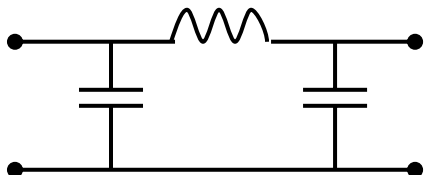
四.影响滤波器性能的关键特性之一

□ 阻抗特性

若要滤波器按照要求去工作，必须了解源阻抗和负载阻抗。当源阻抗和负载阻抗未知或经常变化时，则滤波器应连接一固定的阻抗，以稳定其性能。为滤波设计的第一个基本功。

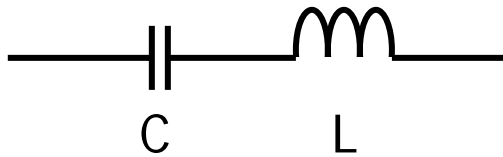
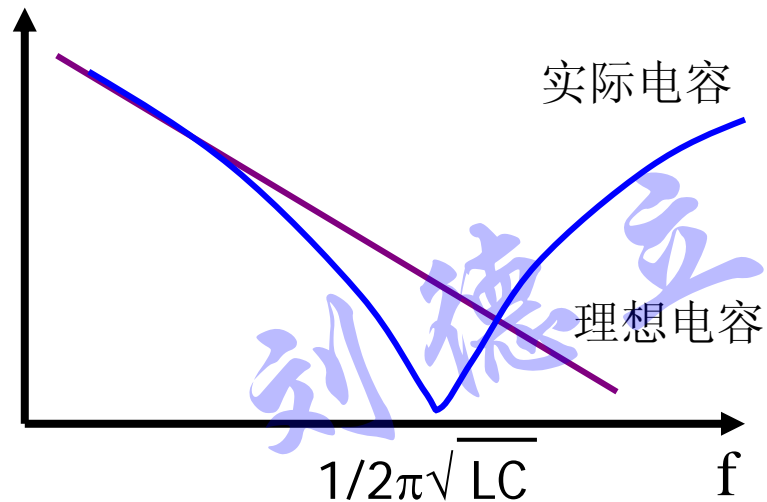
较高频率：以LC元件构成的反射式滤波器——阻抗失配

更高频率：以铁氧体等制成吸收式滤波器——阻抗匹配

| 骚扰源阻抗 | 滤波器类型 | 负载阻抗 |
|-------|--|------|
| 低 |  | 高 |
| 高 |  | 低 |
| 低 |  | 低 |
| 高 |  | 高 |

源负载阻抗与滤波器网络结构的选择

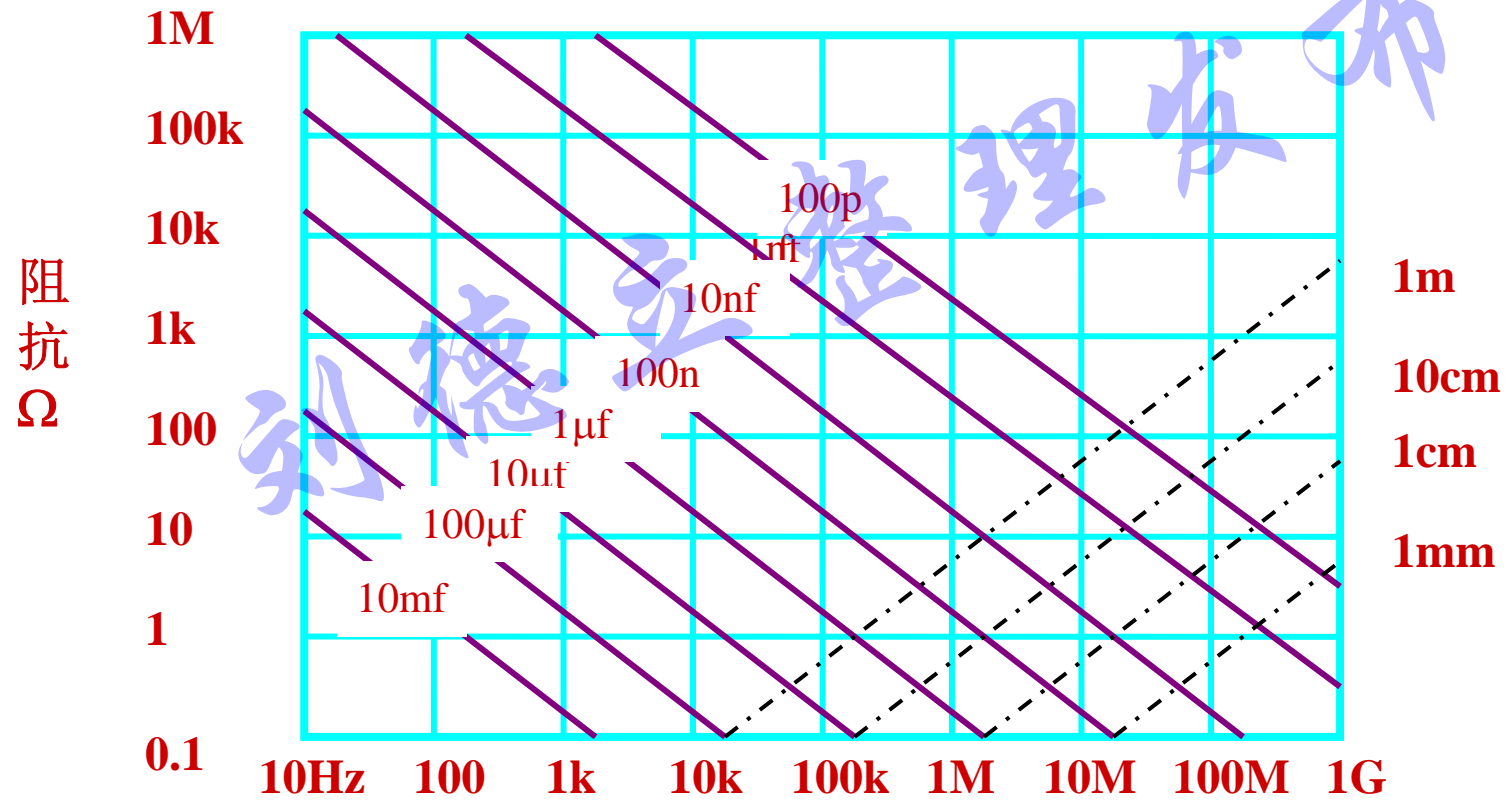
实际电容器的特性



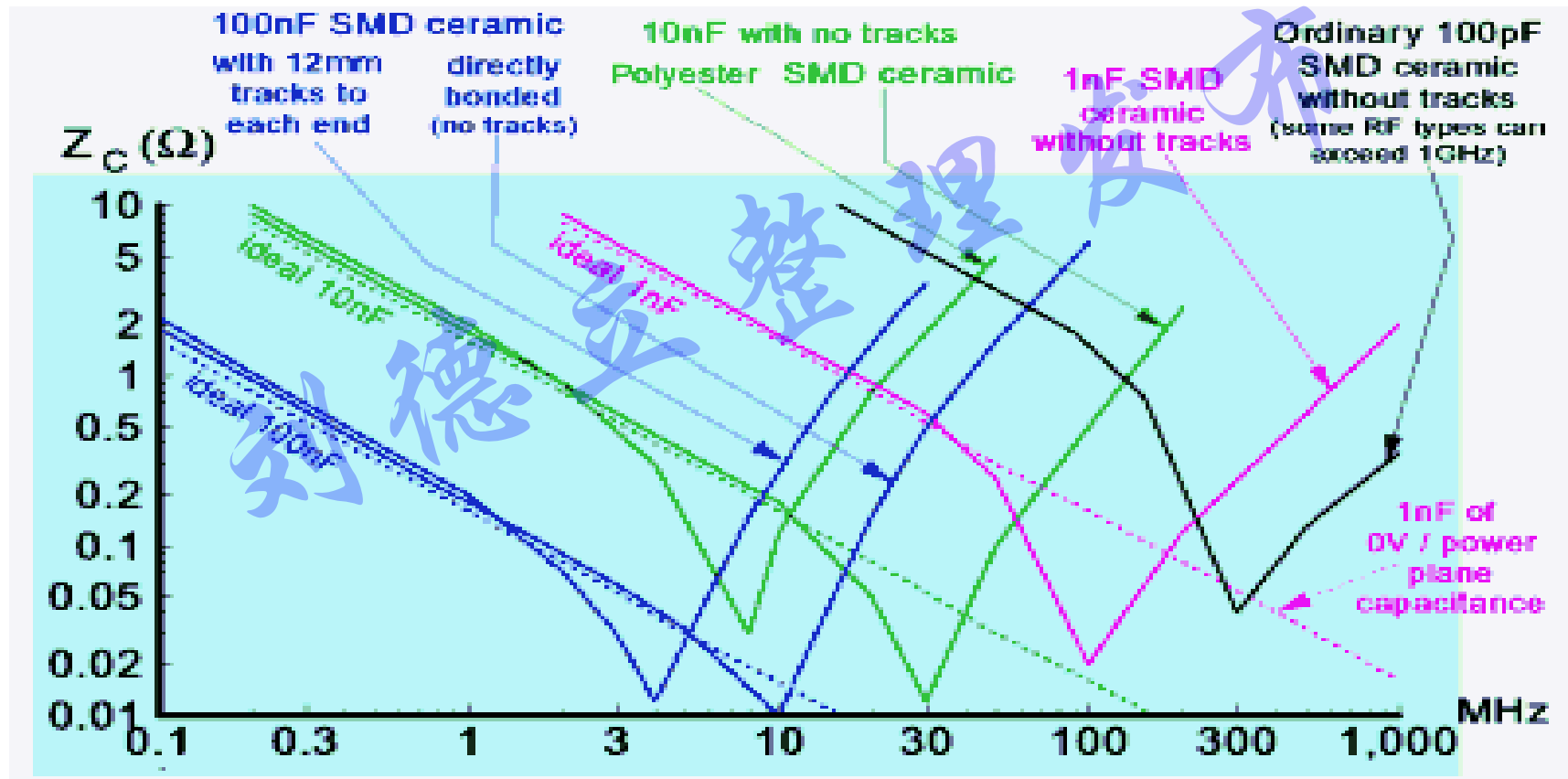
引线长1.6mm的陶瓷电容器

| 电容量 | 谐振频率(MHZ) |
|--------------------|-----------|
| 1 μF | 1.7 |
| 0.1 μF | 4 |
| 0.01 μF | 12.6 |
| 3300 pF | 19.3 |
| 1100 pF | 33 |
| 680 pF | 42.5 |
| 330 pF | 60 |

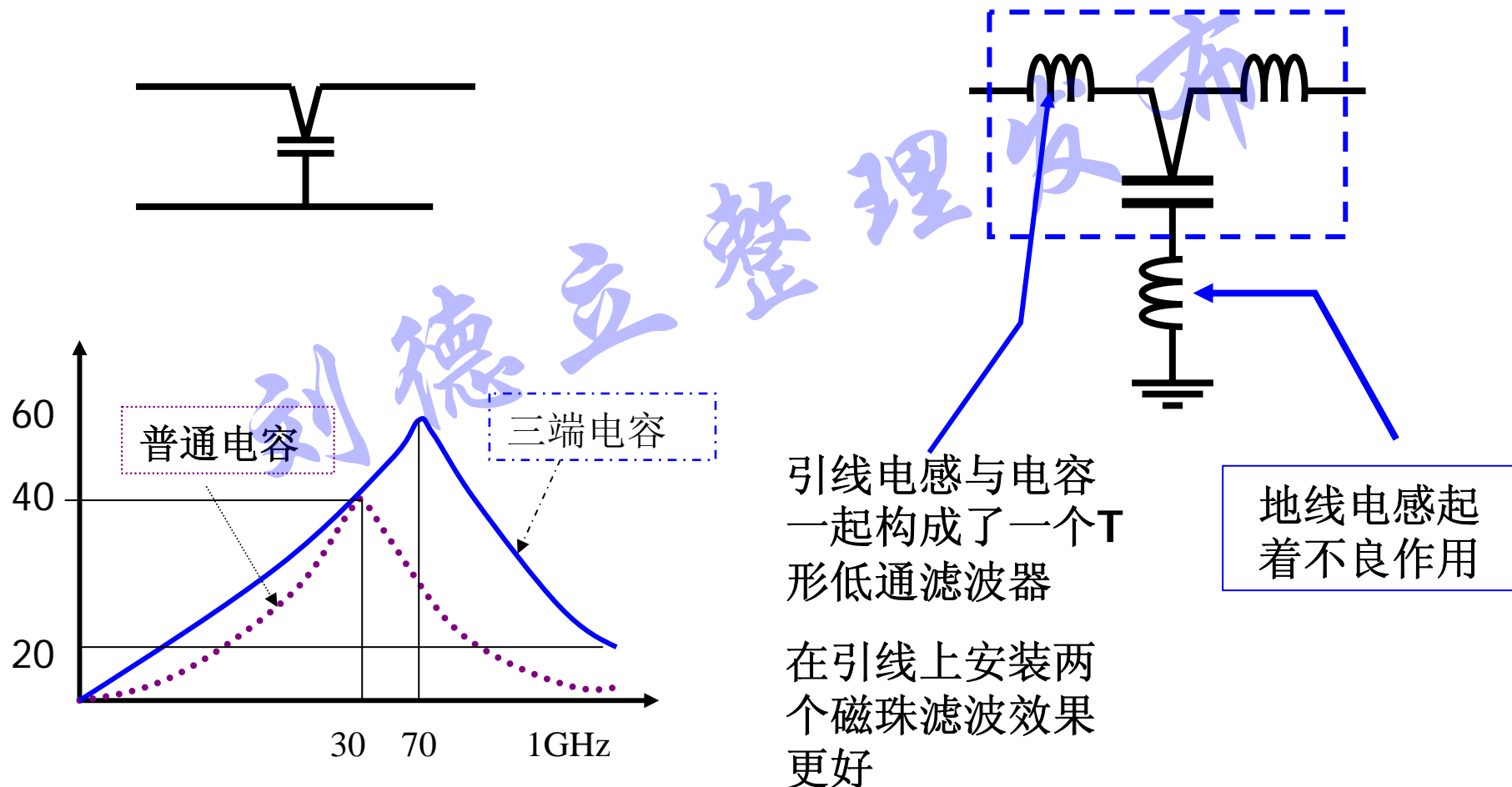
陶瓷电容谐振频率



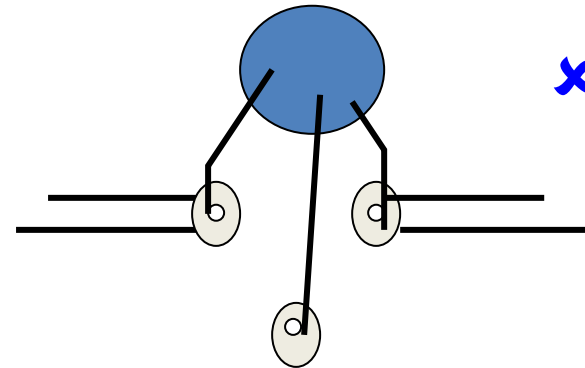
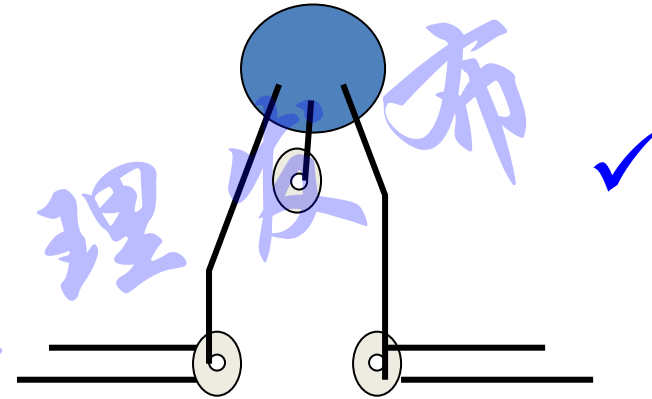
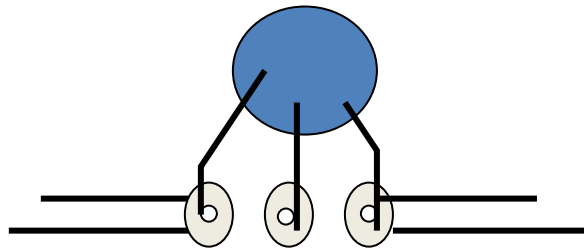
表面贴装电容的阻抗特性



三端电容器的原理



三端电容的正确使用

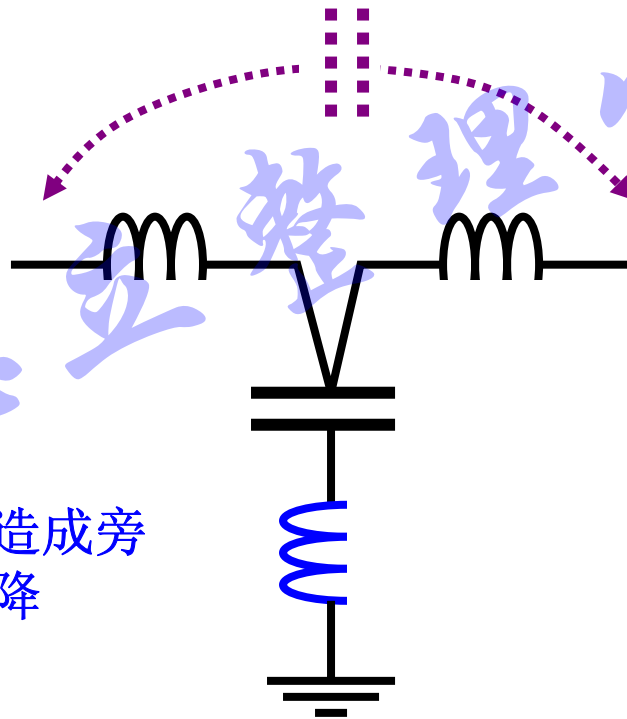


接地点要求:

- 1 干净地
- 2 与机箱或其它较大的金属件射频搭接

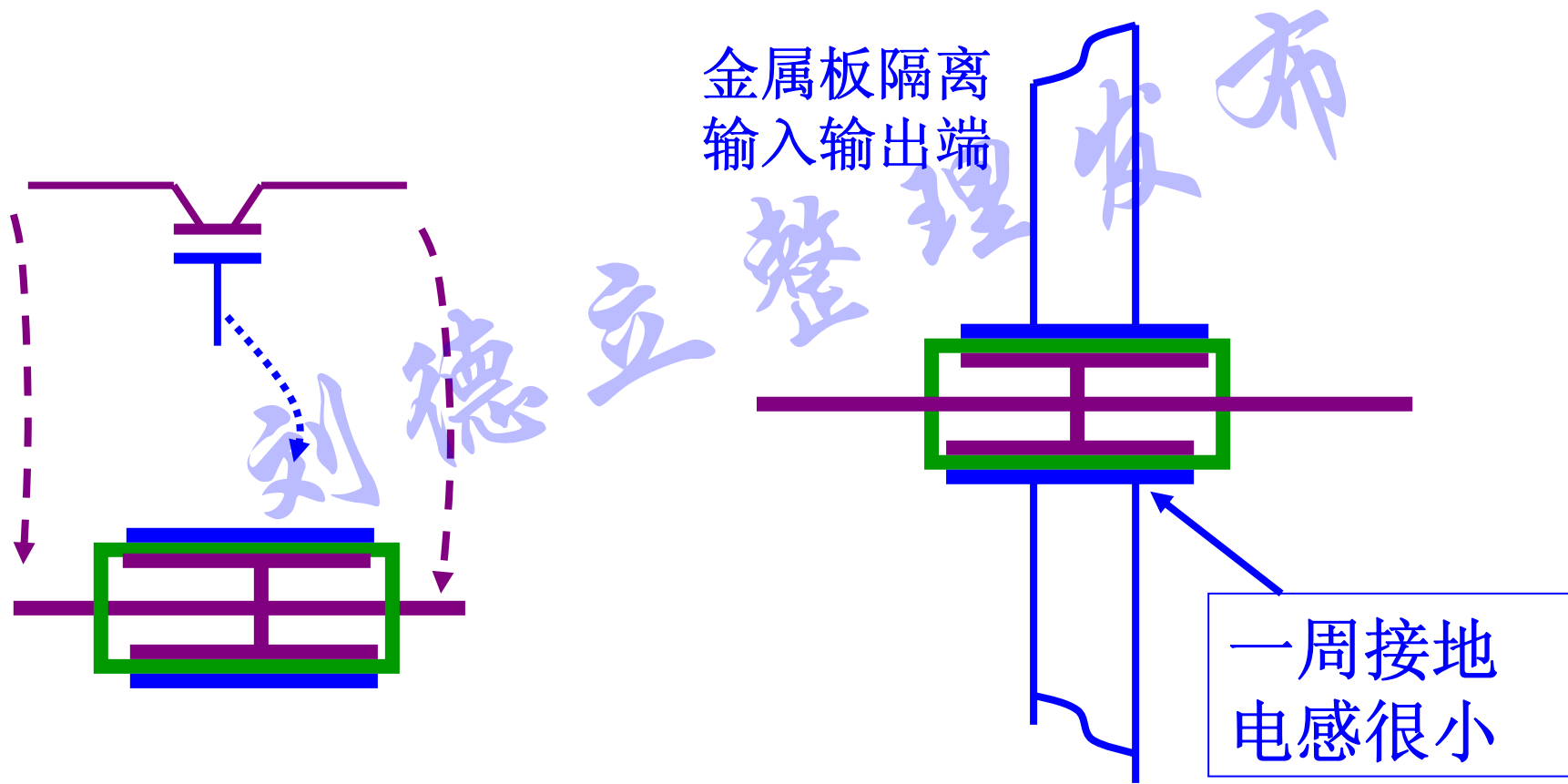
三端电容器的不足

寄生电容造成输入
端、输出端耦合

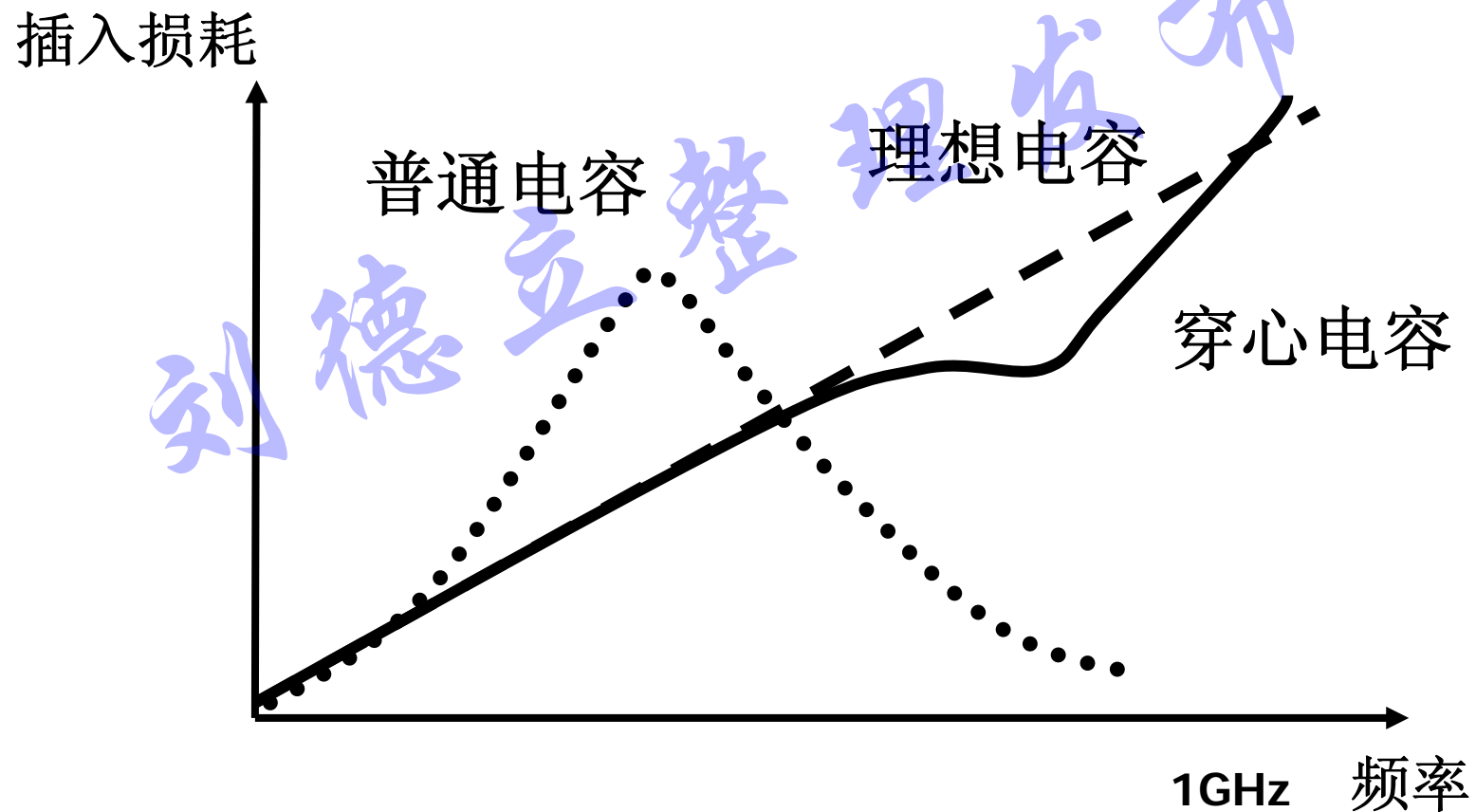


接地电感造成旁
路效果下降

穿心电容更胜一筹



穿心电容的插入损耗

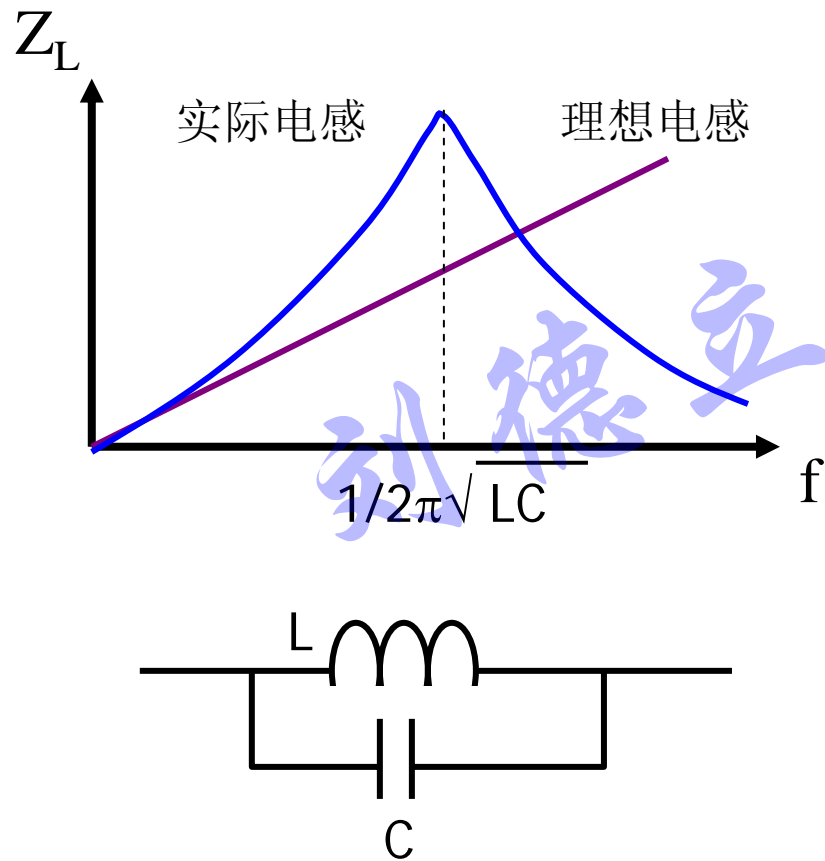


穿心电容、馈通滤波器



以穿心电容为基础的馈通滤波器广泛应用于RF滤波

实际电感器的特性



绕在铁粉芯上的电感

| 电感量 (μH) | 谐振频率 (MHz) |
|--------------------------|---------------|
| 3.4 | 45 |
| 8.8 | 28 |
| 68 | 5.7 |
| 125 | 2.6 |
| 500 | 1.2 |

电感量的计算

线圈电感量计算

简介：线圈电感量计算软件的经验公式

$$L = \frac{K \cdot \mu_0 \cdot \mu_s \cdot N^2 \cdot S}{l}$$

$$L = N \times N \times \mu \times A / l$$

N: 匝数

μ : 铁心的磁导率

A: 截面积

l: 磁路长度

μ_0

为真空磁导率 $= 4\pi \cdot 10^{-7} (H/m)$

μ_s

为线圈内部磁芯的相对磁导率，空心线圈时

$\mu_s = 1$

N^2

为线圈圈数的平方

S

线圈的截面积，单位为平方米

l

线圈的长度，单位为米

K

系数，取决于线圈的半径 (R) 与长度 (l) 的比值

计算出的电感量的单位为亨利。

电感分类

按电感形式分类：固定电感、可变电感。

按导磁体性质分类：空芯线圈、铁氧体线圈、铁芯线圈、铜芯线圈。

按工作性质分类：天线线圈、振荡线圈、扼流线圈、陷波线圈、偏转线圈。

按绕线结构分类：单层线圈、多层线圈、蜂房式线圈。

按工作频率分类：高频线圈、低频线圈。

按结构特点分类：磁芯线圈、可变电感线圈、色码电感线圈、无磁芯线圈等。

常用电感

单层线圈

单层线圈是用绝缘导线一圈挨一圈地绕在纸筒或胶木骨架上。如晶体管收音机中波天线线圈。

蜂房式线圈

如果所绕制的线圈，其平面不与旋转面平行，而是相交成一定的角度，这种线圈称为蜂房式线圈。而其旋转一周，导线来回弯折的次数，常称为折点数。蜂房式绕法的优点是体积小，分布电容小，而且电感量大。蜂房式线圈都是利用蜂房绕线机来绕制，折点越多，分布电容越小。

铁氧体磁芯和铁粉芯线圈

线圈的电感量大小与有无磁芯有关。在空芯线圈中插入铁氧体磁芯，可增加电感量和提高线圈的品质因素。

铜芯线圈

铜芯线圈在超短波范围应用较多，利用旋动铜芯在线圈中的位置来改变电感量，这种调整比较方便、耐用。

色码电感线圈

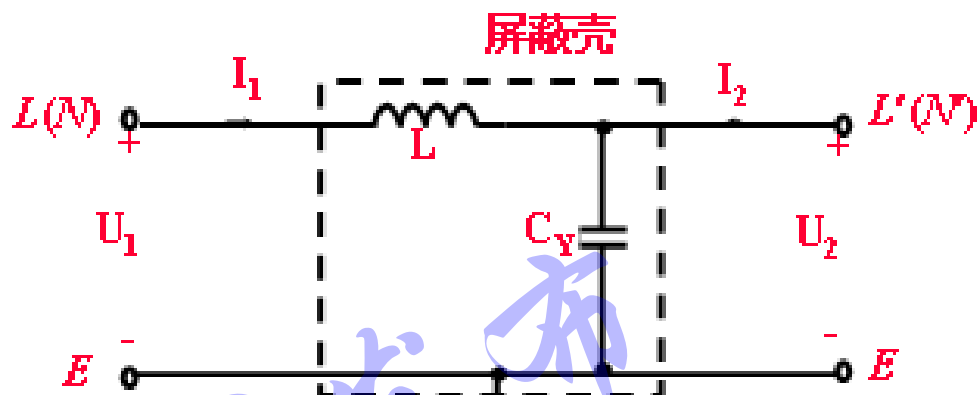
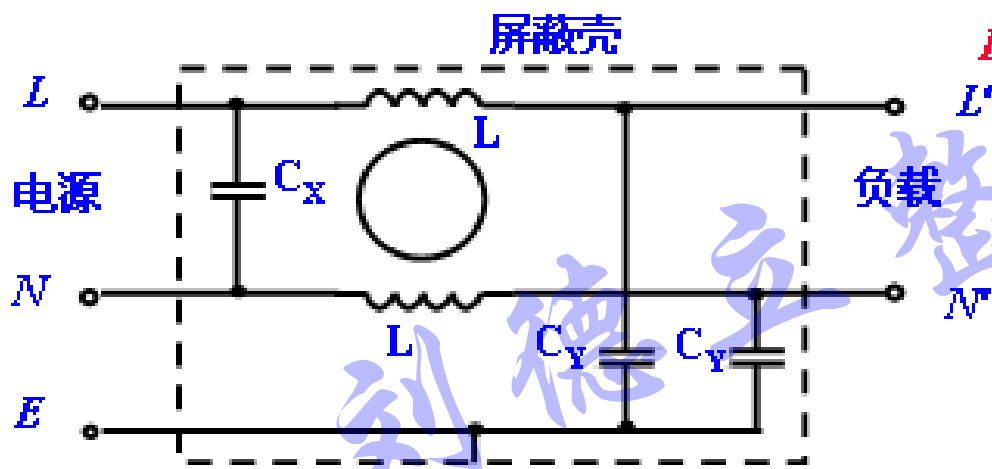
是一种高频电感线圈，它是在磁芯上绕上一些漆包线后再用环氧树脂或塑料封装而成。它的工作频率为10KHz至200MHz，电感量一般在0.1uH到3300uH之间。色码电感器是具有固定电感量的电感器，其电感量标志方法同电阻一样以色环来标记。其单位为uH。

阻流圈（扼流圈）

限制交流电通过的线圈称阻流圈，分高频阻流圈和低频阻流圈。

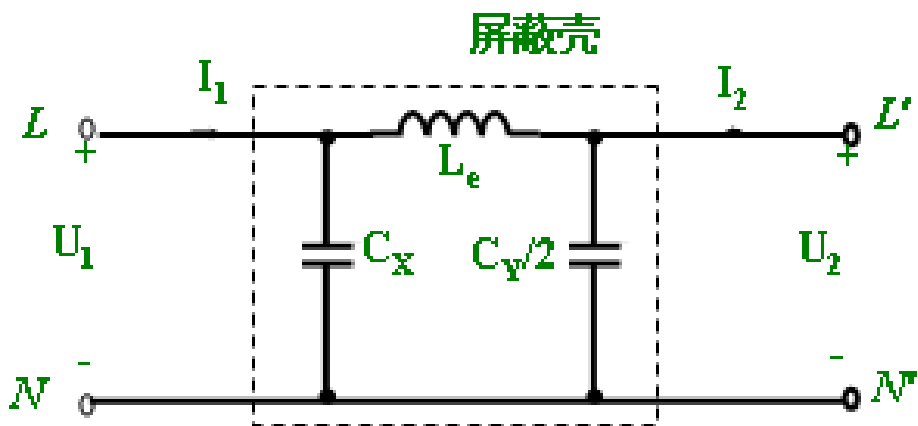
EMI电源滤波器分析

EMI电源滤波器的网络结构



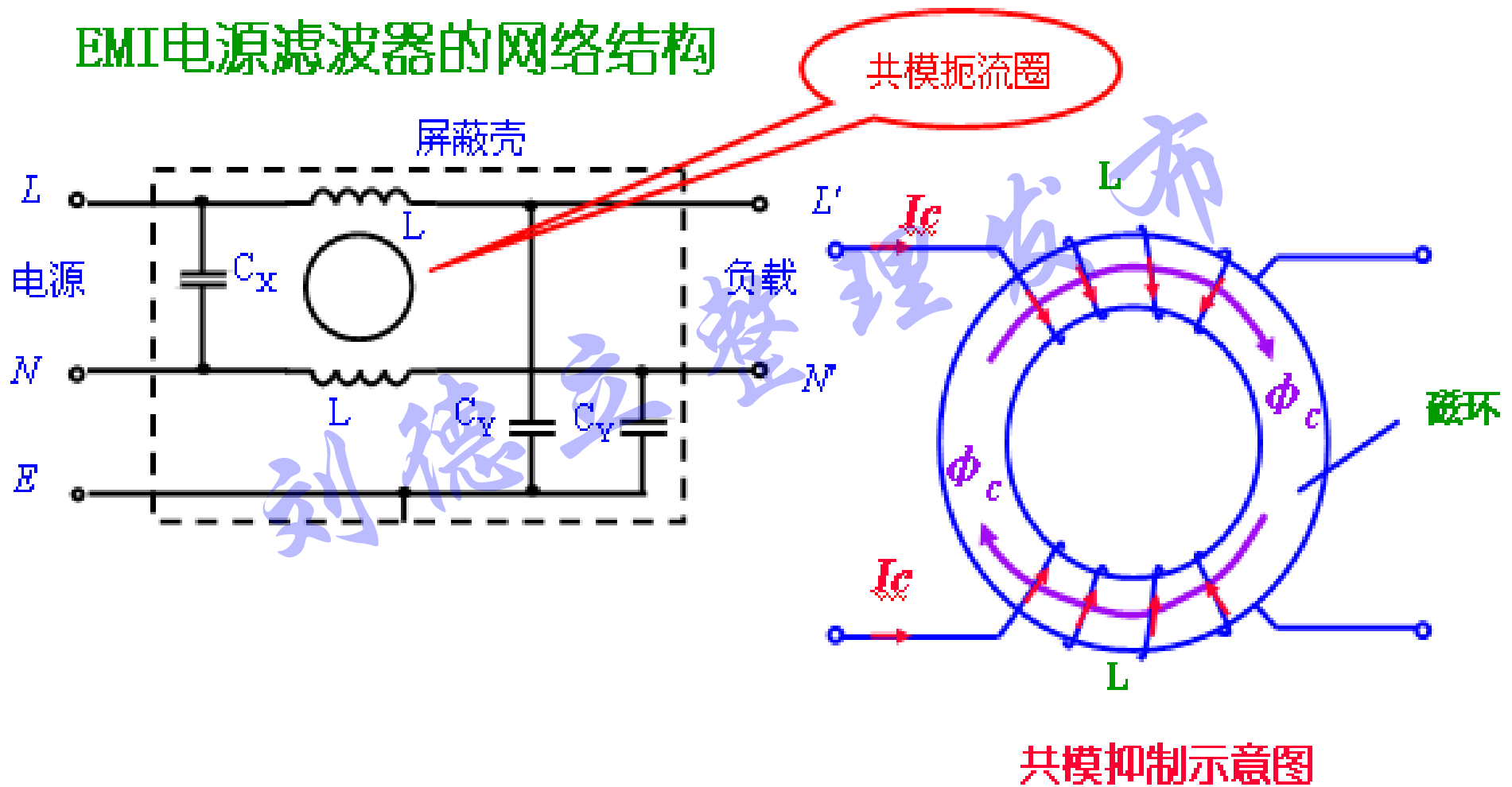
共模等效电路

差模等效电路



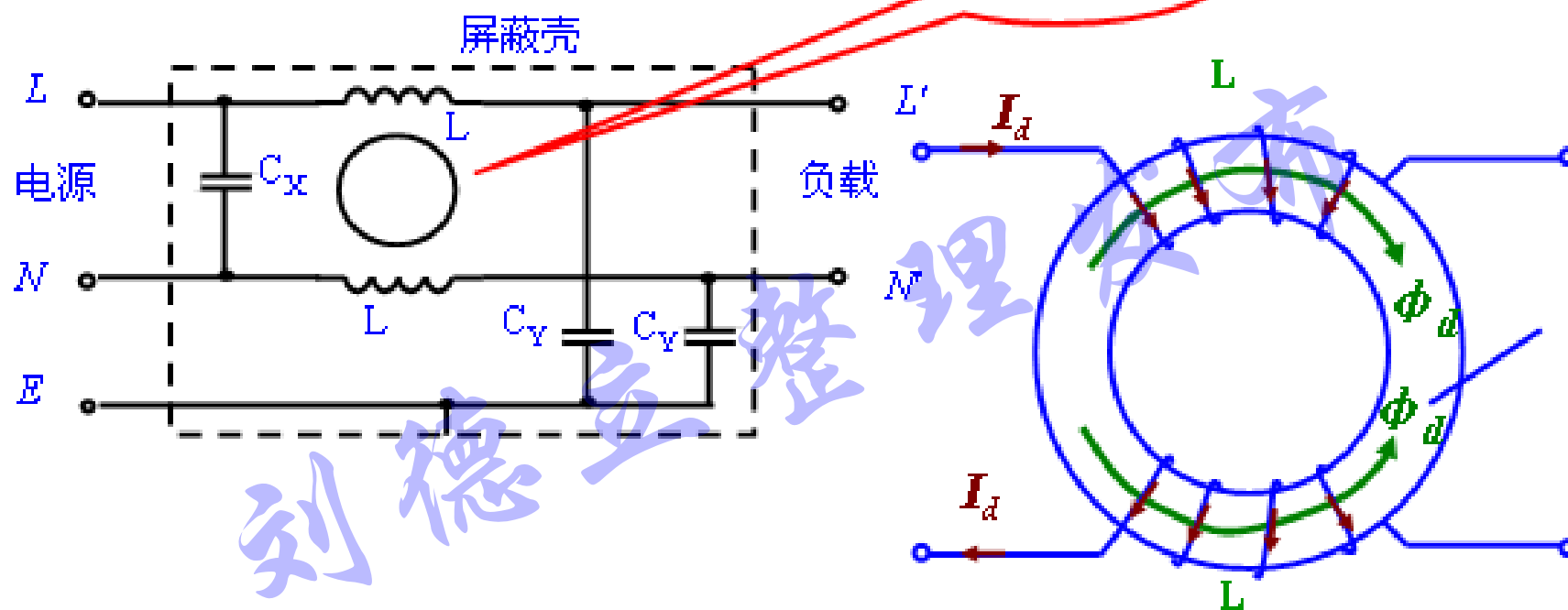
EMI电源滤波器分析

EMI电源滤波器的网络结构



EMI电源滤波器分析

EMI电源滤波器的网络结构

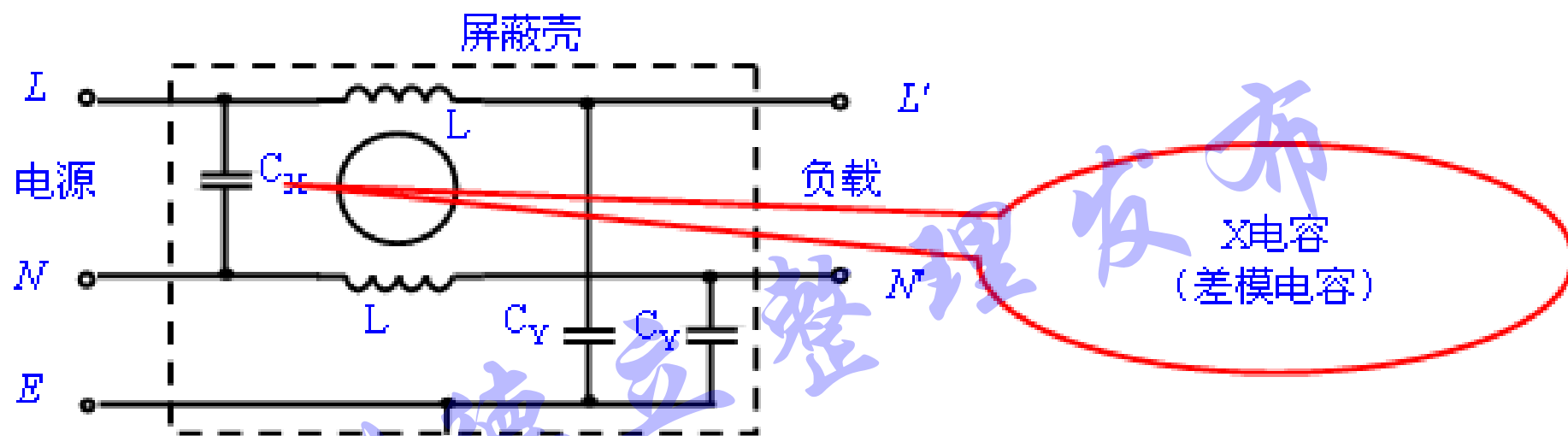


差模抑制示意图

共模扼流圈对差模信号无电感抑制作用，但实际共模扼流圈因制作工艺等因素，往往会产生差模漏电感，即 L_e 。

EMI电源滤波器分析

EMI电源滤波器的网络结构

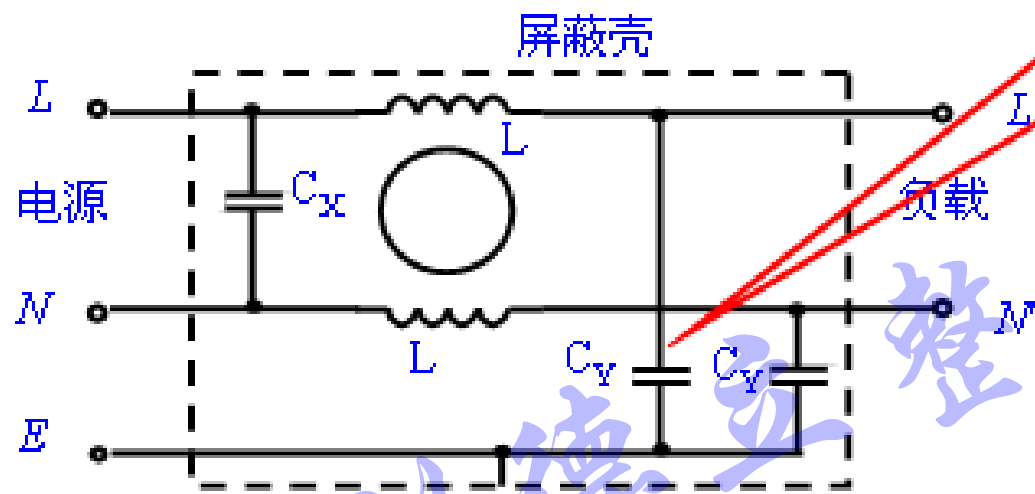


差模电容器 C_x 是指用于这样场合的电容器；当电容器失效后，不会导致电击现象，不危及人身安全。

若 C_x 电容器的安全性能（即耐压性能）欠佳，在峰值电压出现时，可能被击穿。它的击穿虽不危害人身安全，但会使滤波器滤波功能丧失或性能下降。通常电源滤波器的差模电容 C_x 必须经过1500~1700VDC 1分钟耐压测试。

EMI电源滤波器分析

EMI电源滤波器的网络结构



接地电容、Y电容
(共模电容)

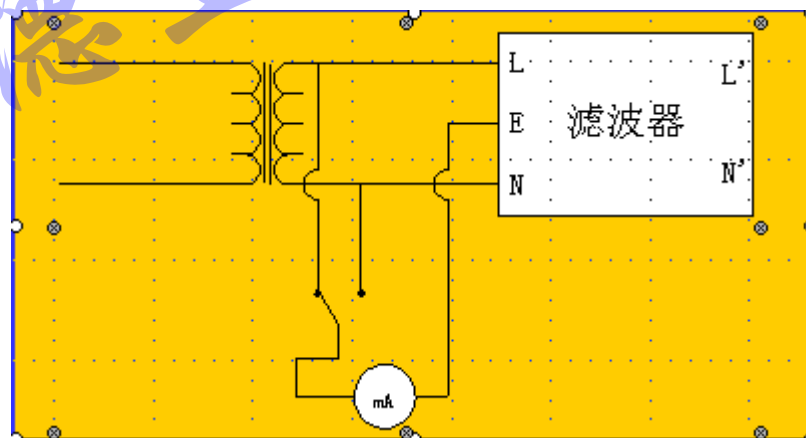
EMI滤波器的共模滤波性能常受到共模电容C_Y的制约。接地漏电流主要流过C_Y。

由于漏电流的大小对于人身安全至关重要，不同国家对不同类型的电子设备的接地漏电流都做了严格规定。若限定了设备的最大漏电流，就可初步给定最大允许接地电容值（共模电容），即

$$C_{y \max} = \frac{I_g}{U_m \times 2\pi f_m} \times 10^3 \quad \mu F$$

泄漏电流是指在250VAC的电压下，相线和中线与滤波器外壳（地线）间流过的电流。它主要取决于接地电容（共模电容）的取值。较大的共模电容（ C_Y ）可以提高插入损耗，但却造成较大的漏电流。故开容公司根据产品使用环境，兼顾滤波器电性能和安全性能进行设计，使滤波器具有良好的综合性能。泄漏电流的测试电路如下所示：

滤波器漏电流测试原理



五.影响滤波器性能的关键特性之二

□ 频率特性

在规定滤波器的频率特性中，必须同时考虑电路的**工作频率**和**需要衰减的频率**。如果需要的频率分量与不需要的频率分量非常接近，则要求在频率特性曲线上有一很大的斜率分量，即**过渡带窄**。

另一个要考虑的因素是对所需信号采用带通滤波器，或对噪声采用带阻滤波器。

在设计阶段，还要考虑滤波器所允许的最大电压降以及带宽内的衰减。

为滤波设计的第二个基本功。

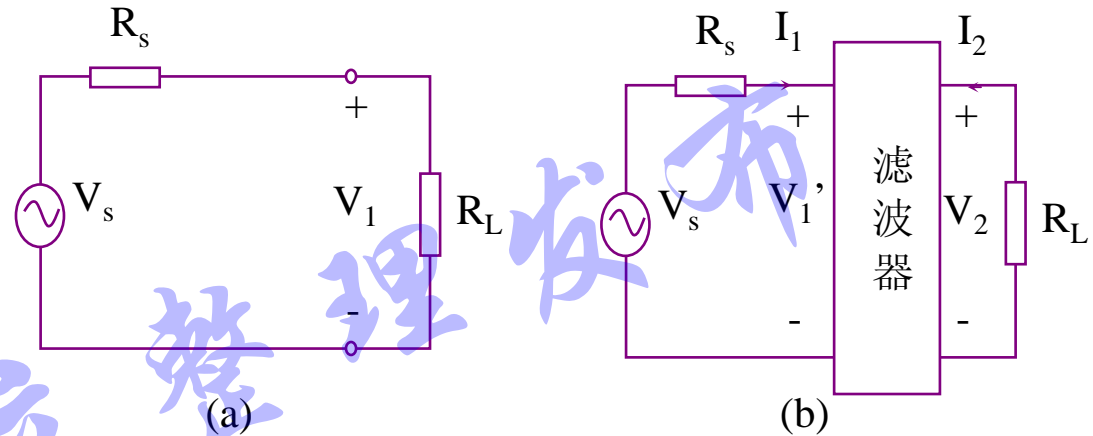
基本滤波原理

——EMI滤波器的定义及插损

EMI滤波器的抑制噪声能力的评定指标：

插入损耗 I L

(Insertion Loss)



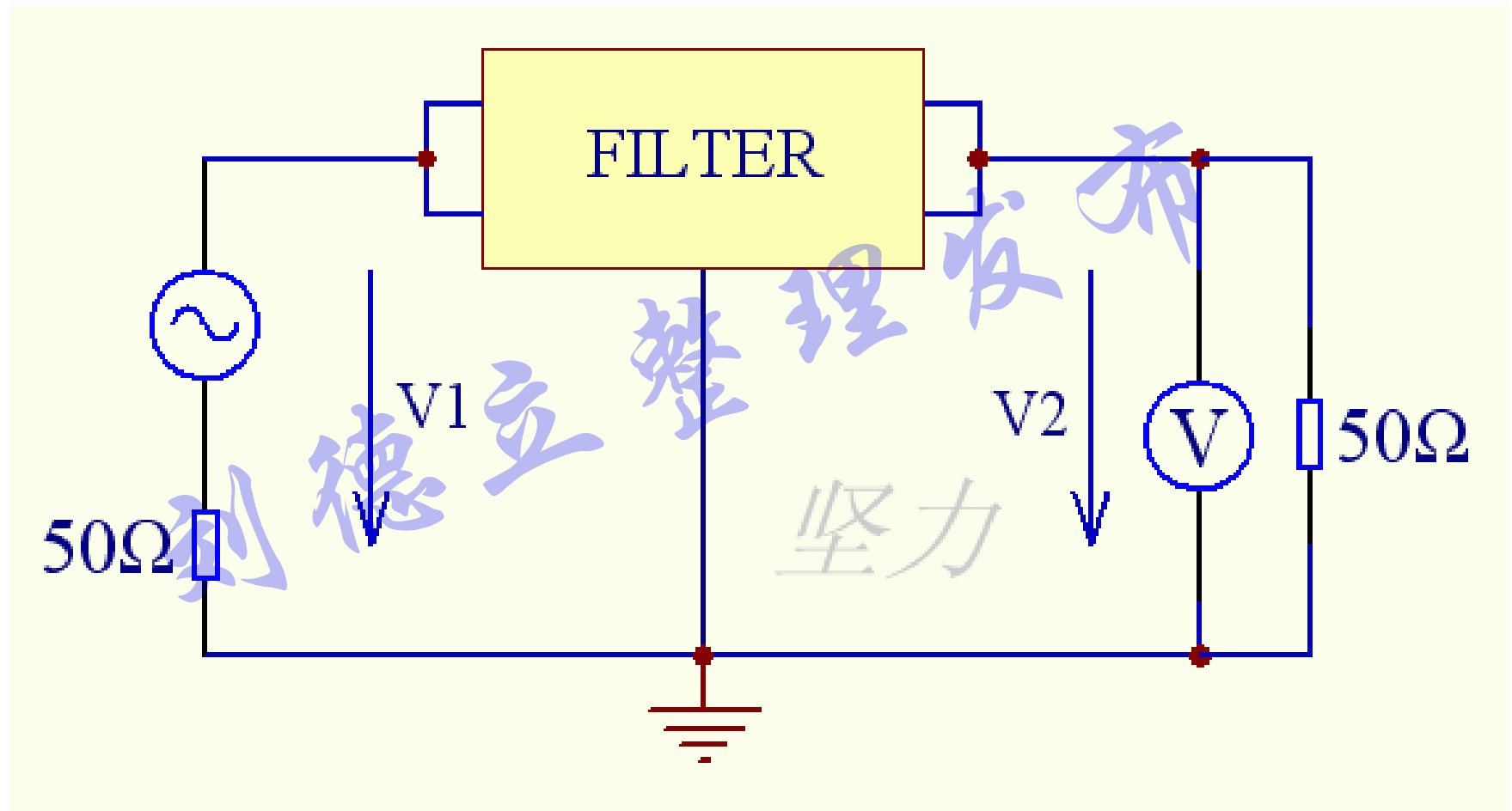
滤波器插入损耗的定义

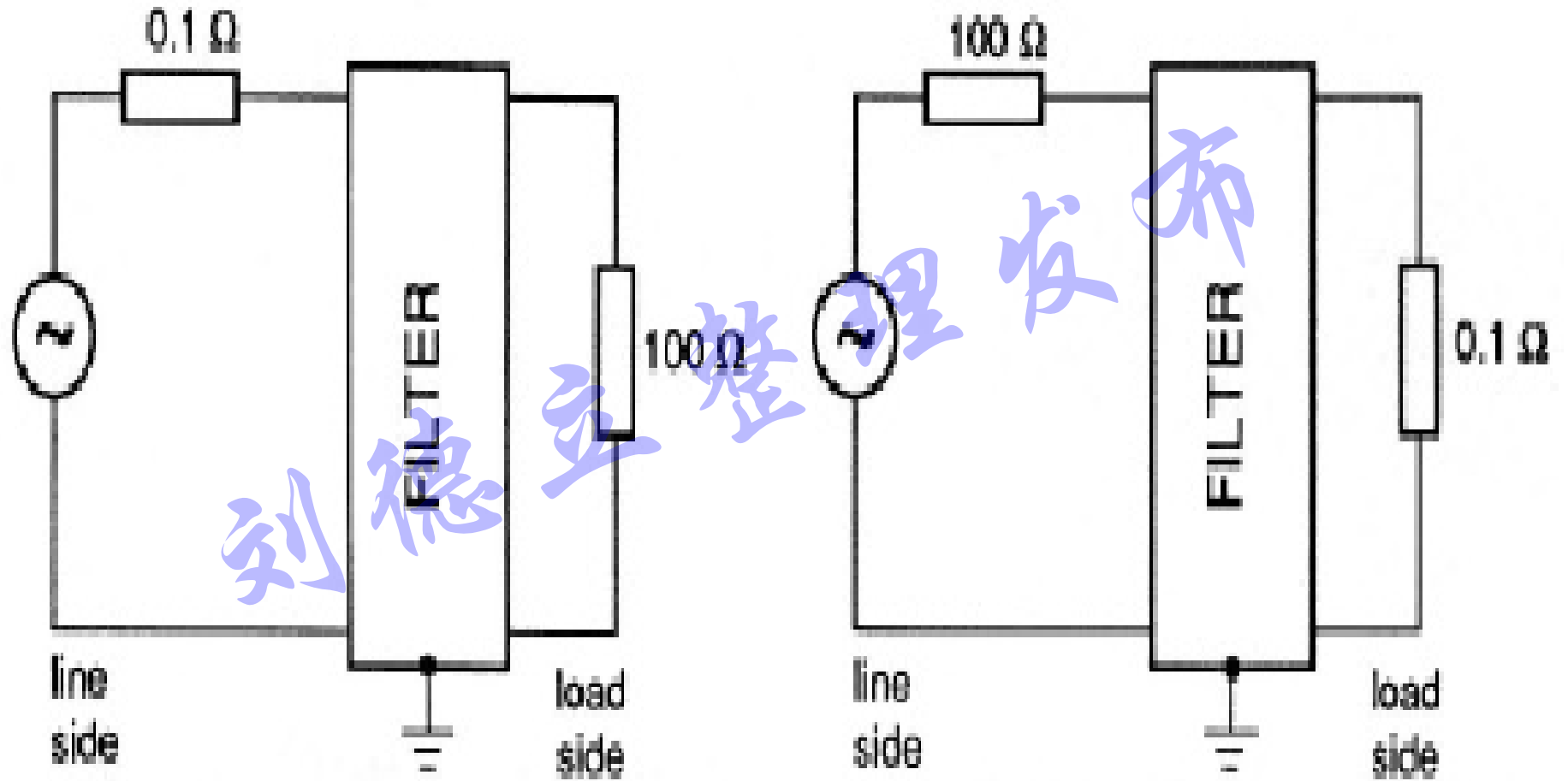
$$I.L = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

其中： $P_1 = \frac{V_1^2}{R_L}$

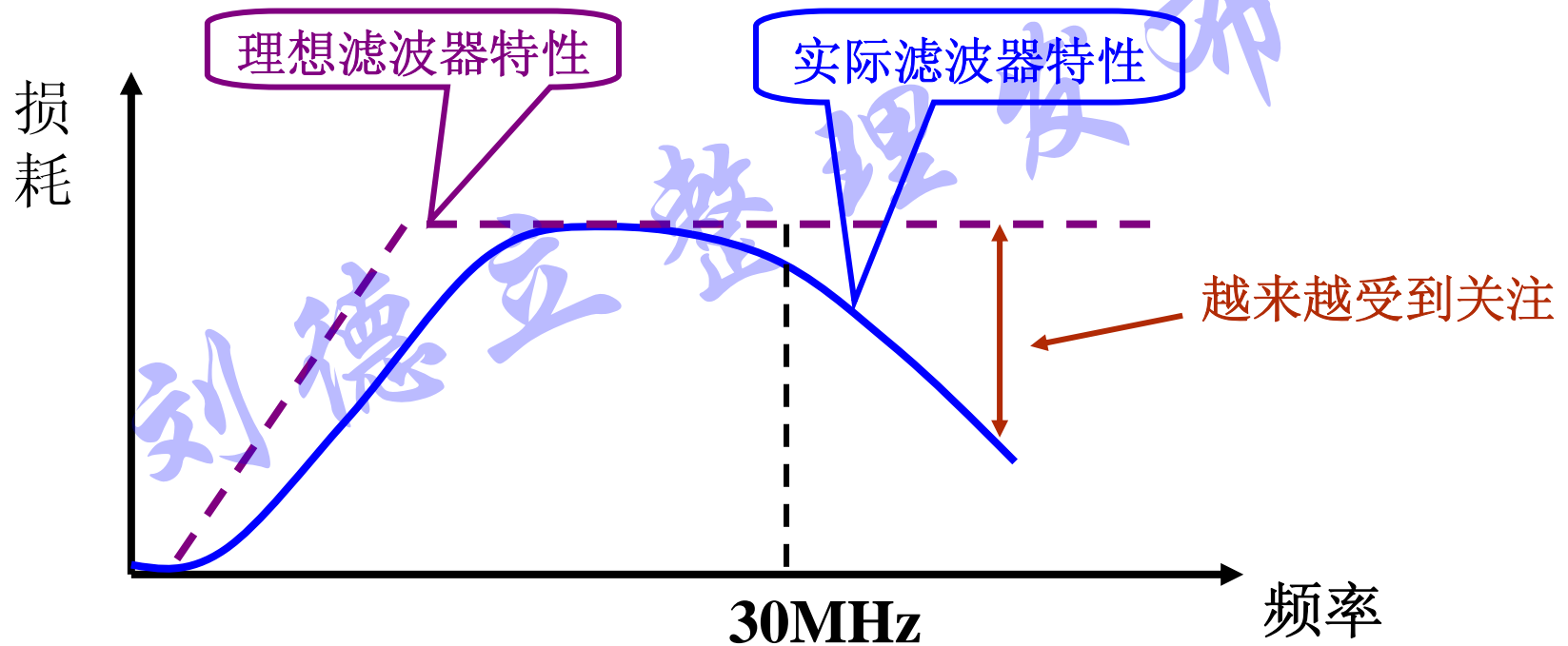
$$P_2 = \frac{V_2^2}{R_L}$$

$$I.L = 10 \log \frac{V_1^2}{V_2^2} = 20 \log \frac{V_1}{V_2}$$





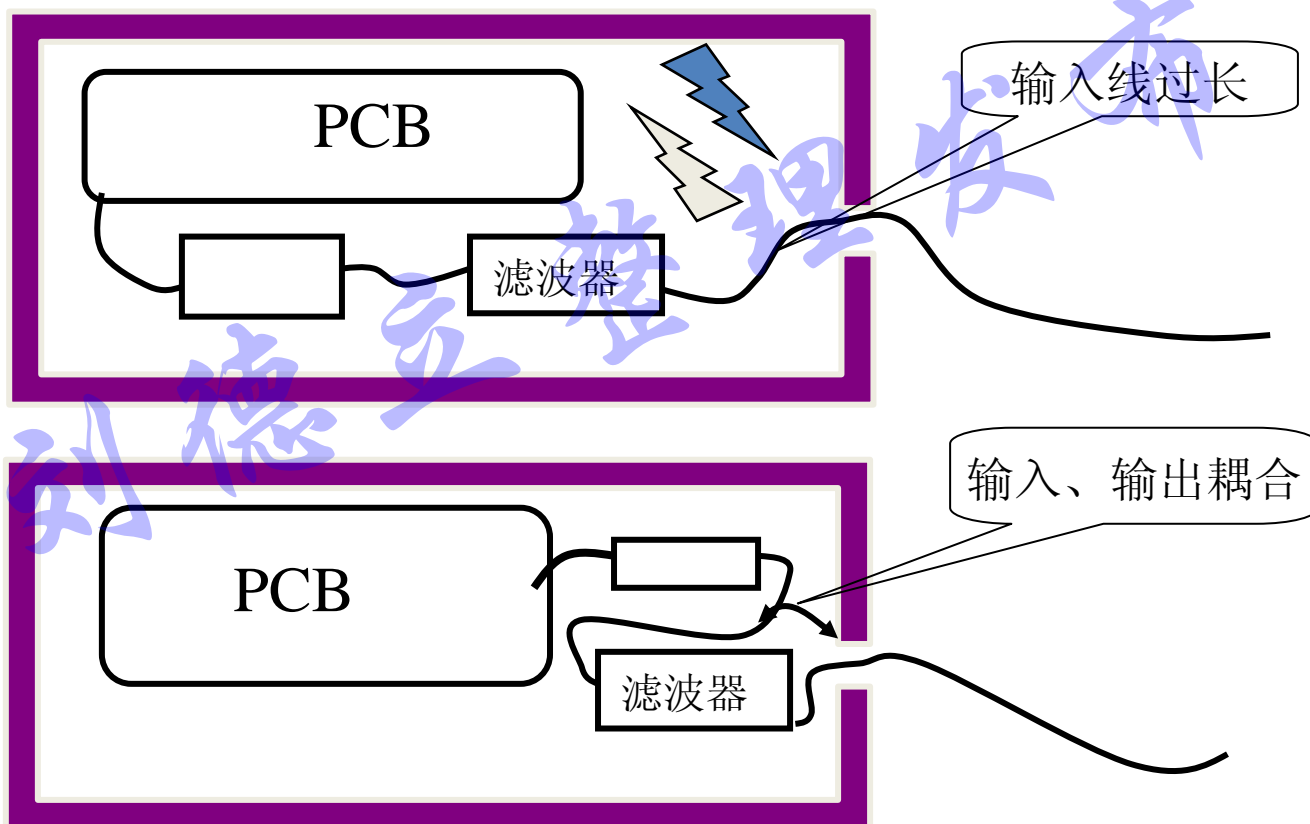
电源线滤波器的特性



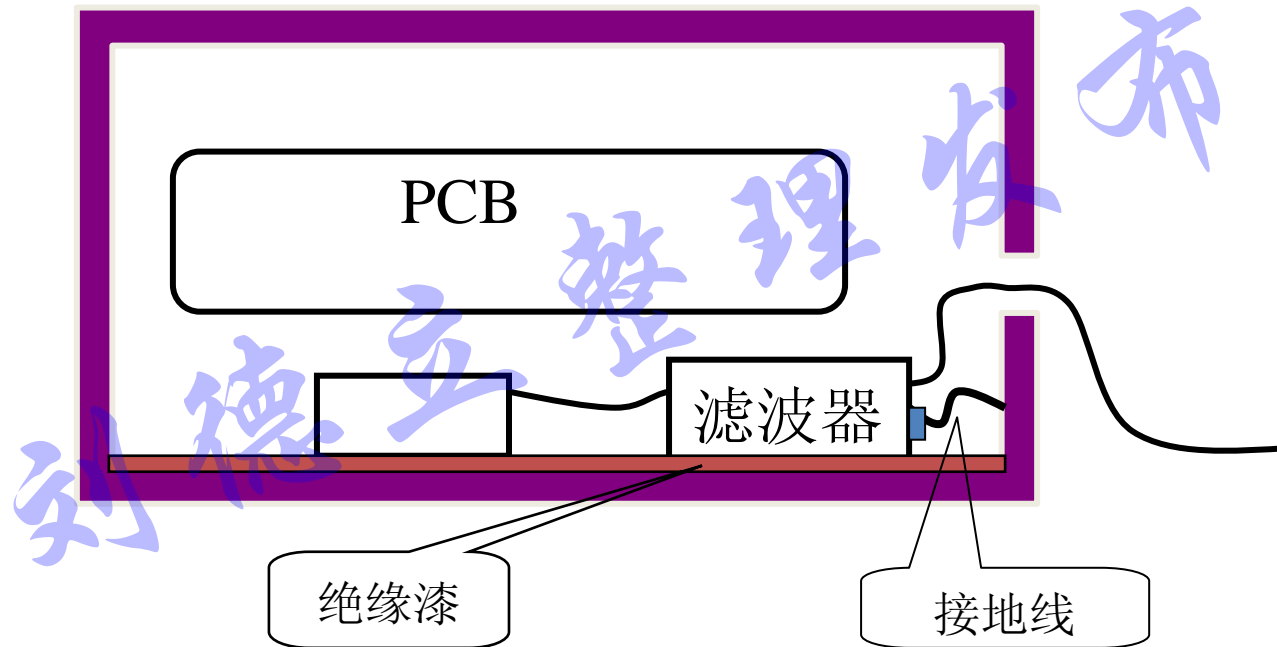
一般产品说明书上给出的数据是50Ω条件下的测试结果。

六.电源线滤波器的安装—滤波设计的第三个基本功

1. 错误安装

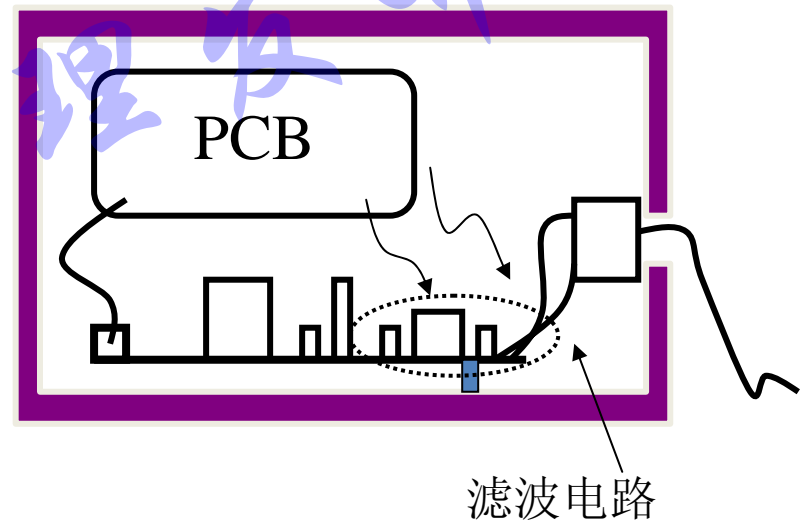
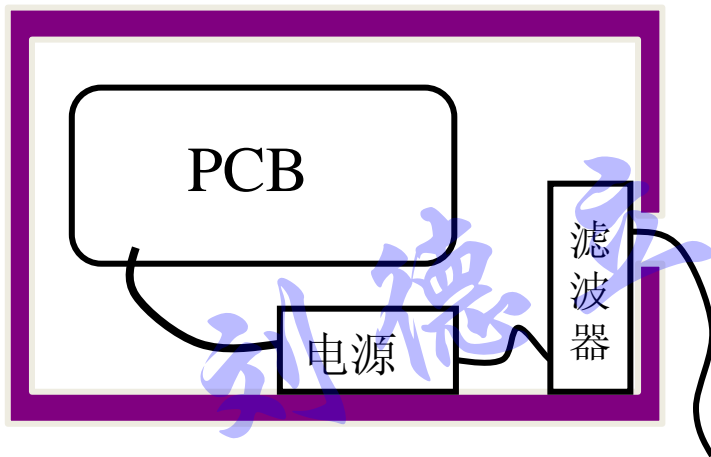


电源线滤波器的错误安装



滤波器通过细线接地，高频效果很差！

2. 滤波器的正确安装



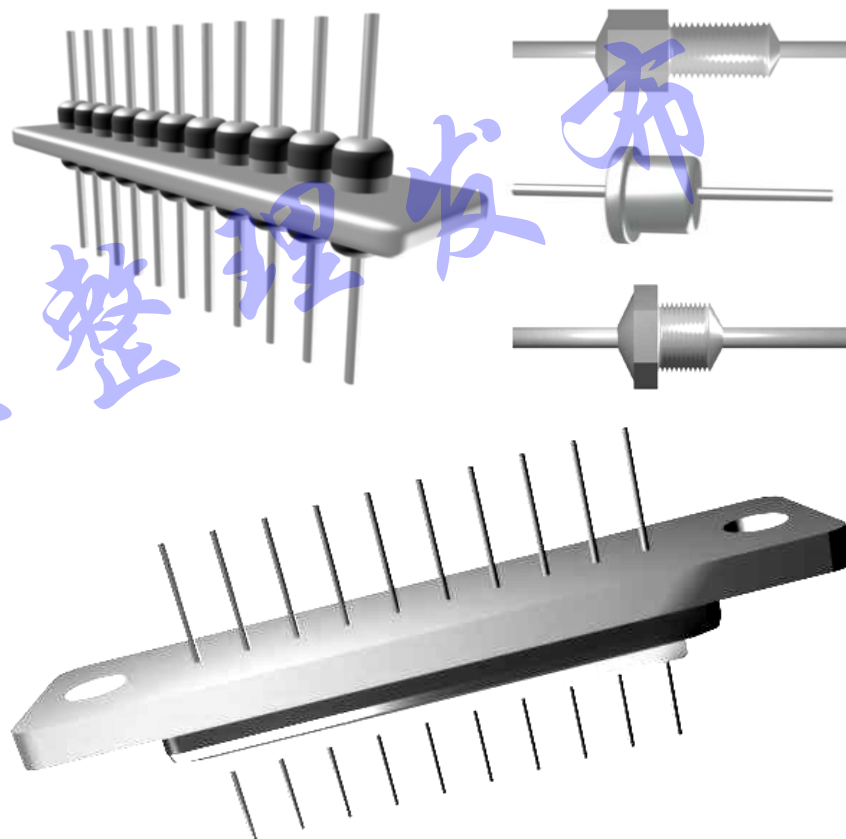
七. EMI 信号线滤波器的特点

与电源滤波器相比，EMI信号线滤波器具有以下特点：

- 额定电压较小，耐压及漏电流等安全问题不再突出；
- 体积小，组装密度更高，要求器件更加小型、高效；
- 关心 EMC 性能的同时关心信号完整性 (SI)，即保证工作频率远远低于截止频率；
- 必要时，要考虑滤波器的相移特性。

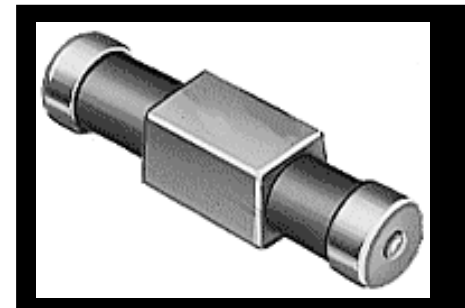
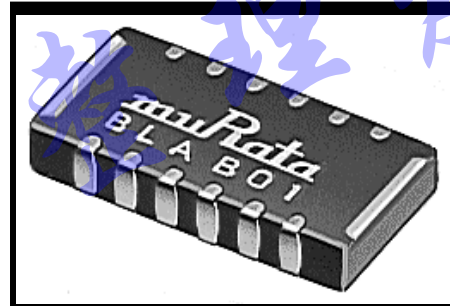
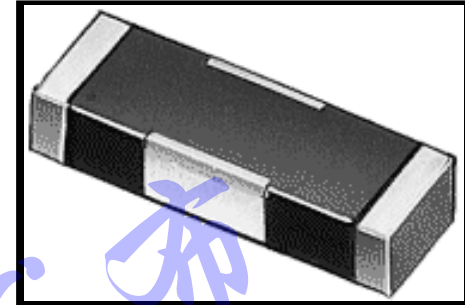
馈通滤波器

馈通型滤波器是一种低通滤波器，由于无引线所产生的分布电容、分布电感，因而尤其适用于抑制高频传导骚扰；通过贯穿屏蔽壁的固定方式，亦可有效抑制辐射骚扰，其抑制骚扰频率范围可达1GHz以上。



表面贴装滤波器

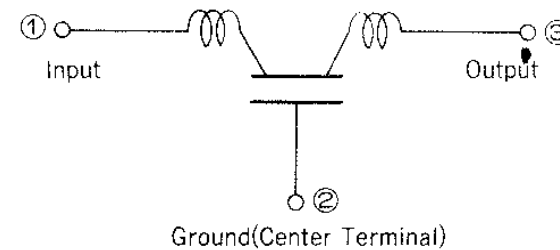
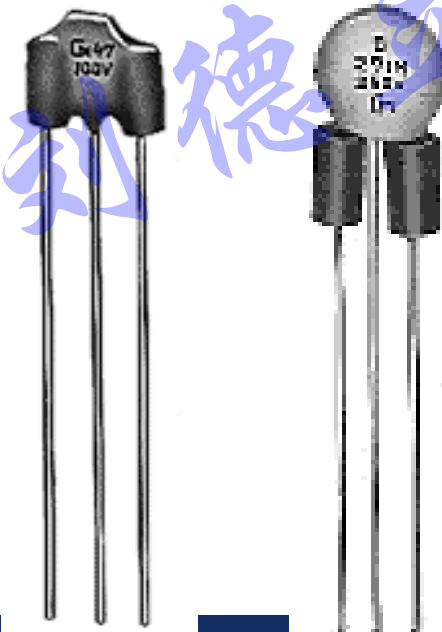
表面贴装滤波器是一种低通滤波器，由于SMT技术使表面贴装滤波器无引线，从而大大降低了因元器件所引起的分布电容和电感，尤其适用于高频传导噪声抑制。由于贴片滤波器满足了小体积和高密度的要求，在体积和密度要求严格的印制板上，可取代相应的分立器件。



印制板用分立滤波器

— 等效电路

目前，随着电路的频率越来越高，尤其是高速电路的应用，PCB板上的EMI问题日益严重，常规的滤波措施（如低电感陶瓷电容），已不能满足EMC的要求。对此，印制板用分立滤波器应用日益广泛，可以滤除小直流电源、信号线、互连电缆、连接器上的高频噪声，亦可以抑制高频辐射噪声，从而满足PCB板上的EMC要求。

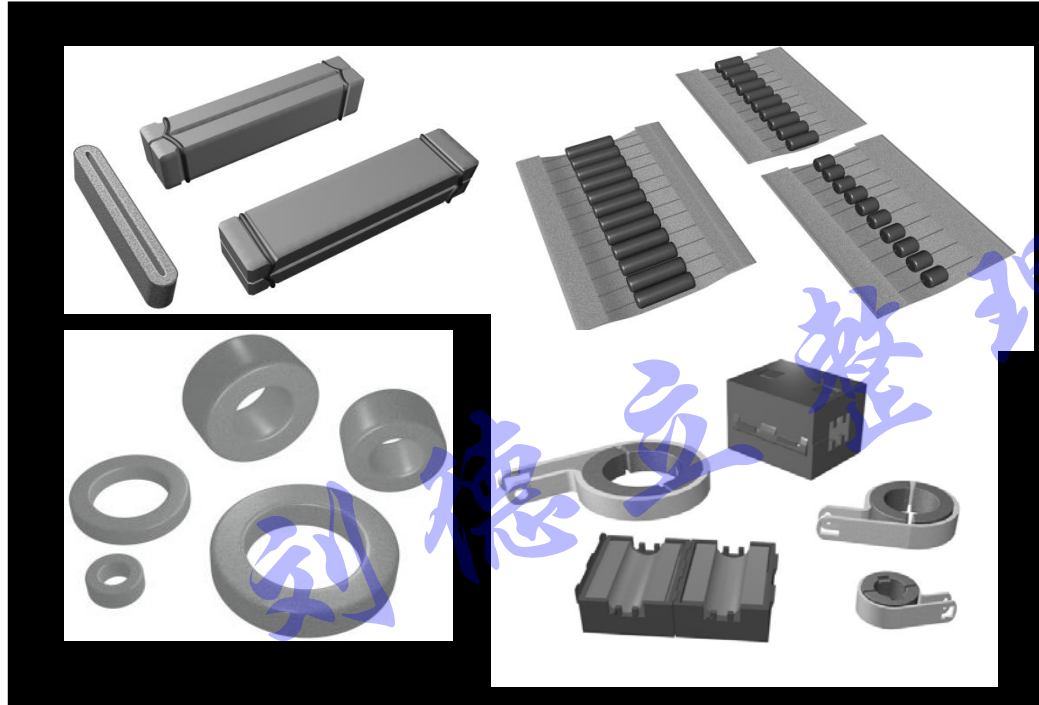


三端滤波器等效电路

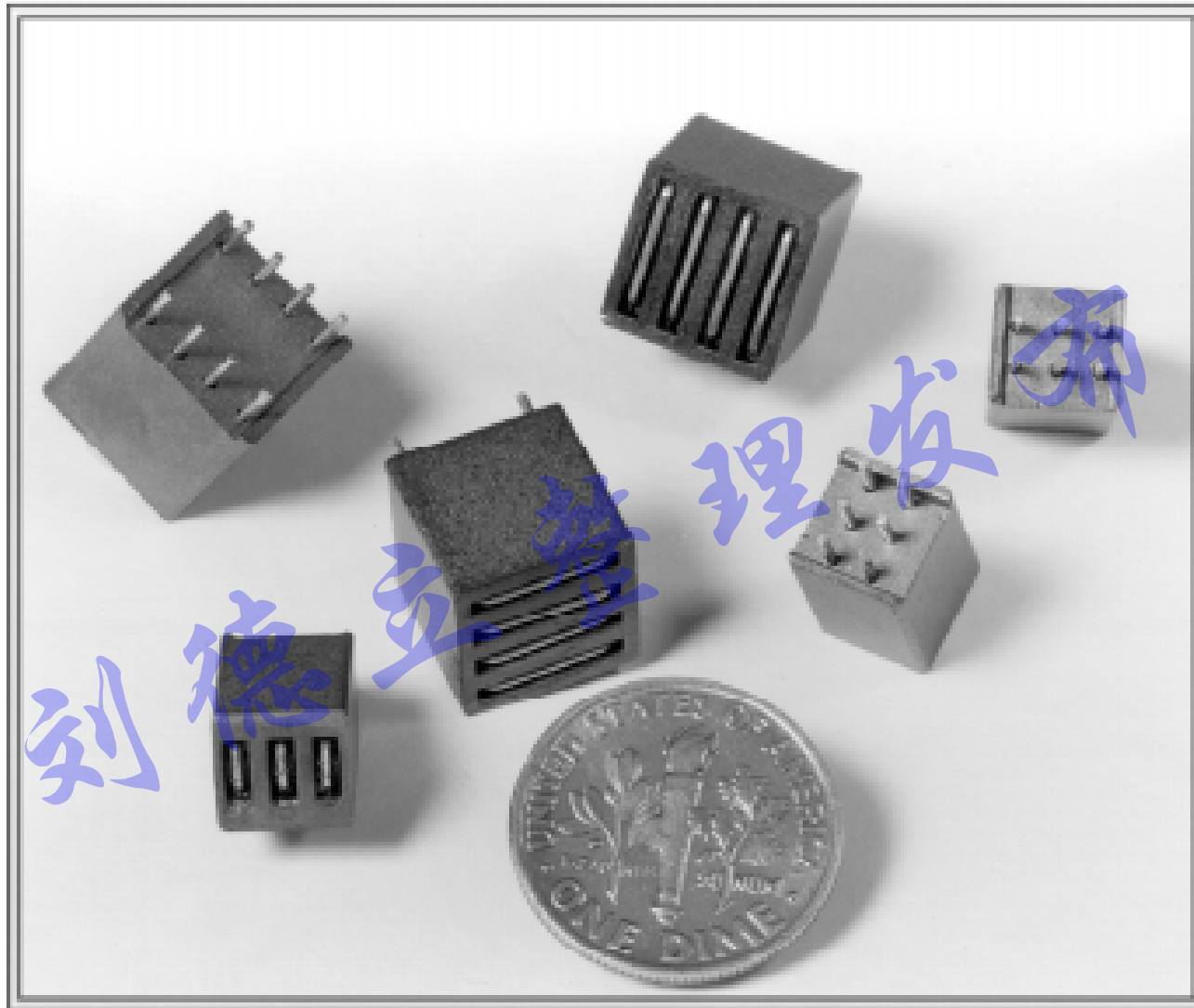
6.2 吸收式低通滤波器

吸收式低通滤波器由有耗元件构成,在阻带内,有耗元件将高频骚扰吸收后,转化为热损耗。铁氧体元件就是一种常用的有耗元件.

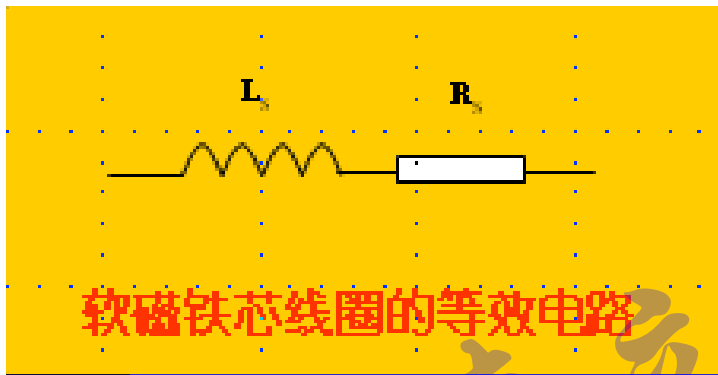
铁氧体滤波器



- 圆形磁环
- 引线式磁珠
- 夹式磁环
- 扁平线用磁环



一.铁氧体元件的滤波原理



铁氧体材料的插入损耗通常可用下式来进行评价：

$$IL = 20 \lg \frac{|Z_s + Z_L + Z|}{|Z_s + Z_L|} \quad (\text{dB})$$

式中 Z_s 源端阻抗， Z_L 为负载端阻抗， Z 为铁氧体磁芯的等效阻抗。由此，铁氧体磁芯的滤波性能与所在电路的源端阻抗和负载端阻抗有关，源端阻抗与负载端阻抗的和越小，插入损耗就越大。

二. 铁氧体抑制元件的选择

1. 初始磁导率 的选择

| 初始磁导率 | 最佳抑制频率范围 |
|-------|---------------|
| 125 | >200MHz |
| 850 | 30MHz ~200MHz |
| 2500 | 10MHz ~30MHz |
| 5000 | <10MHz |

刘德立

2. 材料和几何形状的选择

- a. 体积越大,效果越好
- b. 长而细比短而粗好
- c. 横截面越大,越不易饱和
- d. 内径越小,效果越好

3. 安装方法

- a. 在骚扰源处安装
- b. 在进出屏蔽机壳的导线上安装时,应靠近机壳.

铁氧体几何形状选择小结

- a. 体积越大,效果越好
- b. 长而细比短而粗好
- c. 横截面越大,越不易饱和
- d. 内径越小,效果越好

3. 安装方法

- a. 在骚扰源处安装
- b. 在进出屏蔽机壳的导线上安装时,应靠近机壳.

4.铁氧体元件的应用

- a.在PCB上的应用
- b.在电源线上的应用
- c.在信号线上的应用

刘德立整理发布

第四章 接地技术

刘德立整理

[返回](#)

**50% 以上的电磁兼容问题
是由于布线和接地不当造成**

**地线是基础，即安全保护的
基础，工作稳定的基础，也
是EMC的基础。**

思考题：什么是地（线）？接地的目的？你了解的接地的种类有哪些？

4.1、接地的定义和分类

古典的地线定义：作为电路或系统参考的等电位的点或面。

另一个定义：为电流流回源提供的一条低阻抗路径。

地线的阻抗： 电阻加感抗

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

$$R_{ac} = 0.076rf^{1/2}R_{dc}$$

式中：r：导线的半径，单位cm，f：流过导线的电流频率，单位Hz，R_{dc}：导线的直流电阻，单位Ω

$$L = 0.2S[\ln(4.5/d) - 1] \quad (\mu H)$$

式中S=导体长度(m)，d=导体直径(m)

随着频率升高，阻抗增加很快，当频率达到100MHz以上时，直径6.5mm长度仅为10cm的导线也有数十欧姆的阻抗。

地线阻抗是导致地线骚扰的根本原因

参考接地： 为产品稳定可靠工作提供参考电平,为电源和信号提供基准电位.

安全接地： 也就是我们平常所说的接大地，包括保护接地和防雷接地

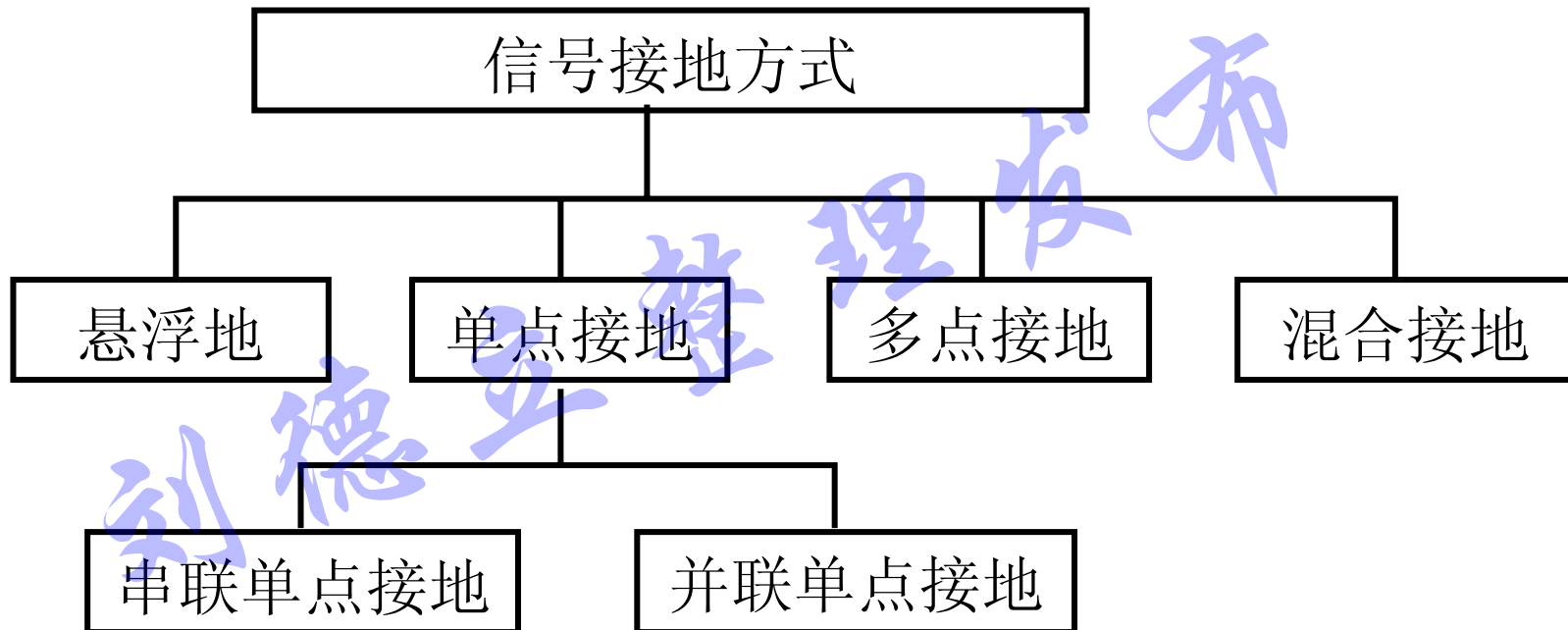
保护接地： 为产品的故障电流进入大地提供一个低阻抗通道；

防雷接地： 提供泄放大电流的通路。

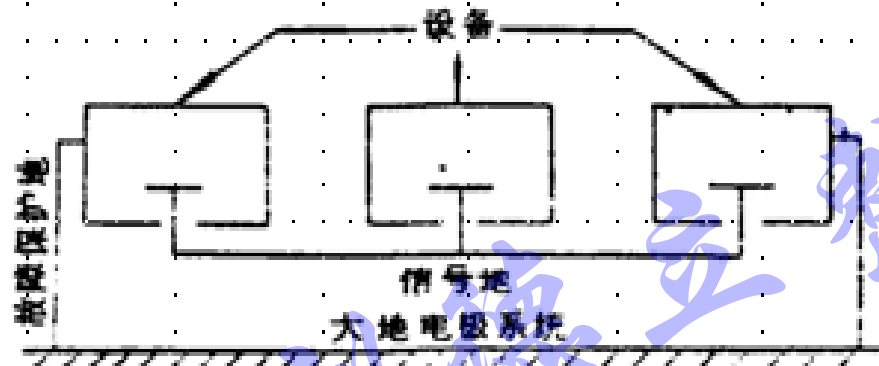
设备接大地不一定是必须的，之所以让设备接大地，这更多的是与设备的安全以及与人员的安全联系在一起。

设备接参考地则是必须的，以便在设备里建立一个稳定可靠的基准电位点。

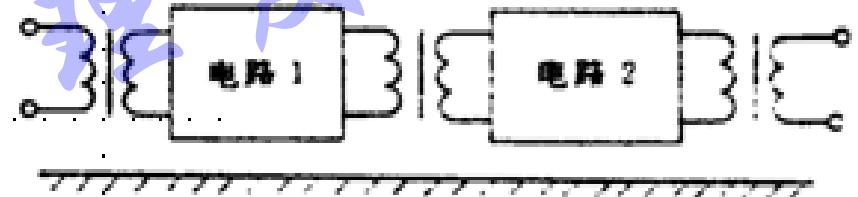
4.2 参考接地



1、悬浮地



(a) 设备悬浮地



(b) 单元电路悬浮地

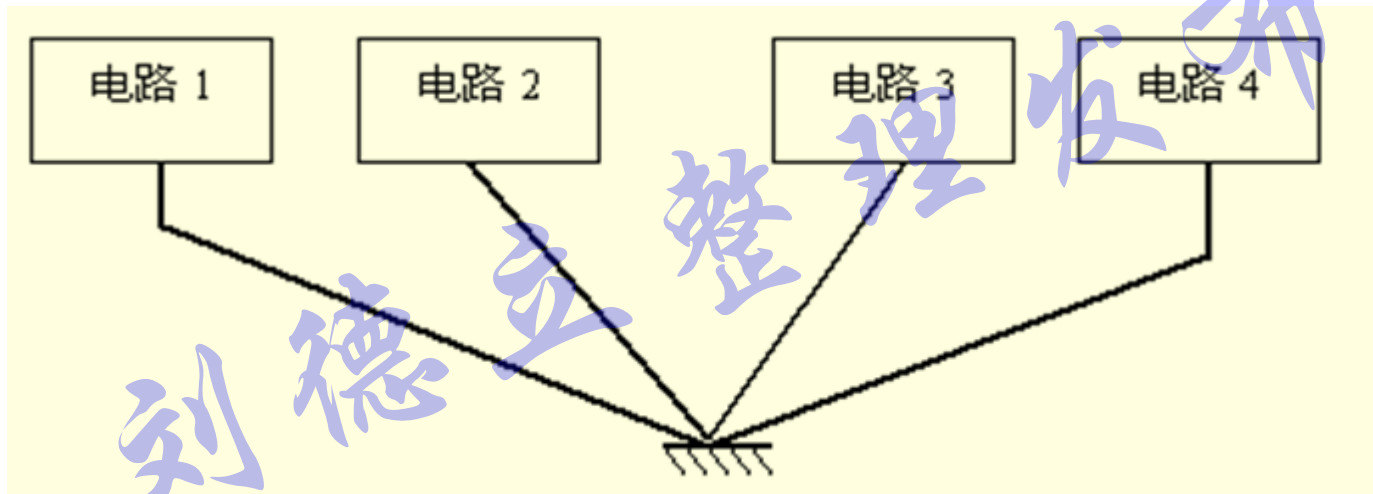
悬浮地的优缺点

- ◇设备悬浮地 设备的地线在电气上与参考地及其他导体相绝缘
- ◇浮地的优点：抗干扰性能好。
- ◇浮地的缺点：悬浮地容易产生静电积累和静电放电,必须采用有效的静电积累和消除措施。如航天器、各种运载工具。

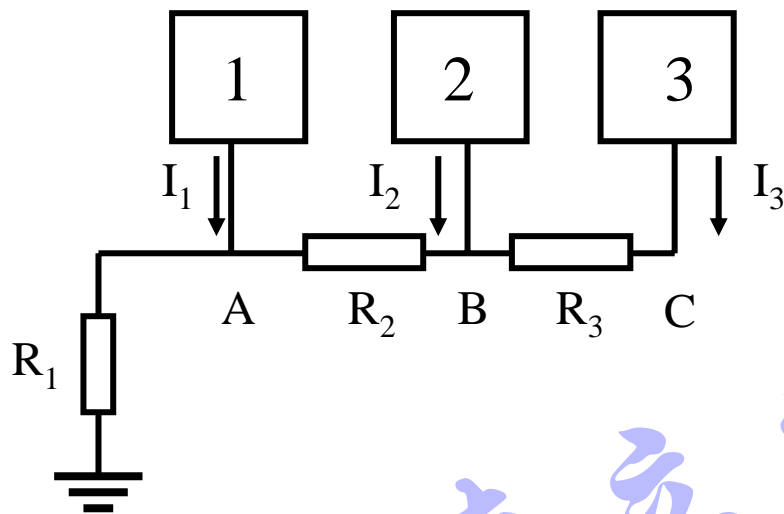
2、单点接地 ($f < 1\text{MHz}$)

单点接地系统在概念上是最简单的，并且它能够消除公共阻抗耦合和低频地环路。每一个电路模块都单独地接到一个单点地上，每一个子单元在同一点与机架相连。地线上其它部分的电流不会耦合进电路。这种结构在1MHz以下能工作得很好，但是当频率升高时，每一条较长的地线意味着电路之间会产生共模电压。当地线的长度超过 $1/4$ 波长时，各个电路实际上是隔开的。

单点接地示意图



单点接地的方式：串联单点接地



串联单点接地

优点：简单

缺点：公共阻抗耦合

图中各接地点的电位是：

$$V1 = (I1 + I2 + I3)R1;$$

$$V2 = (I2 + I3)R2 + (I1 + I2 + I3)R1;$$

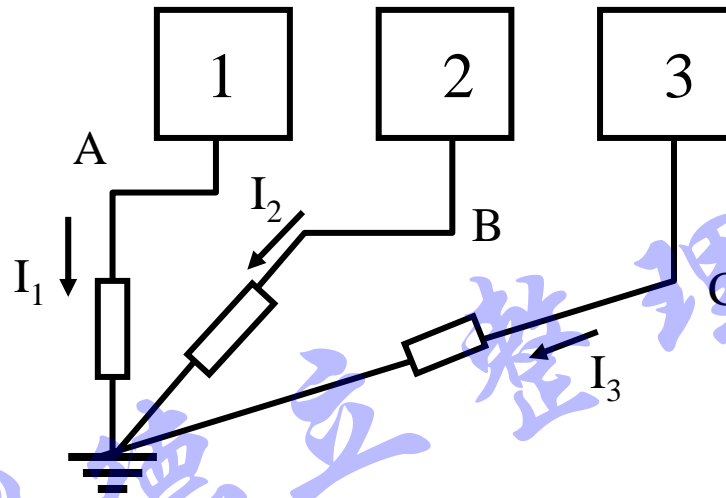
$$V3 = I3R3 + (I2 + I3)R2 + (I1 + I2 + I3)R1$$

对于地线电流大，而线径细的场合，三点电位将相差很多。

◇多级电路的串联单点接地：接地点应选在低电平电路的输入端，使其最接近参考地。若把接地点移到高电平端，则输入级的地对参考地的电位差最大，是不稳定的。

刘德立整理

单点接地的方式：并联单点接地



并联单点接地

优点：无公共阻抗耦合

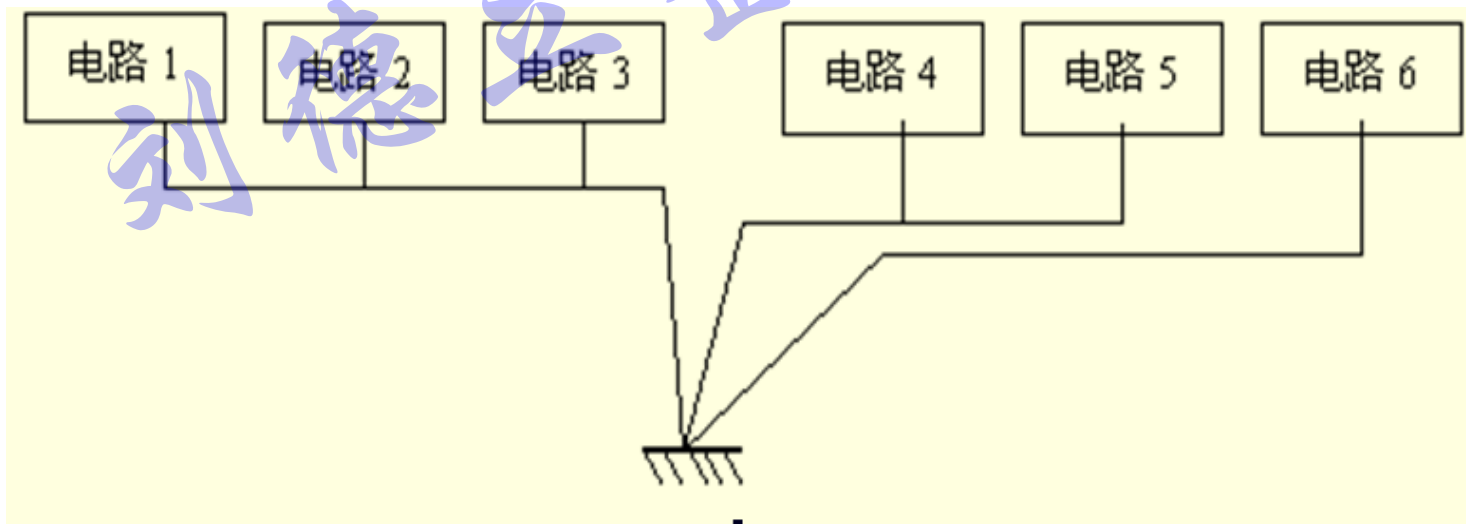
缺点：接地线过多

◇ 并联单点接地：每个电路模块都接到一个单点地上，每个单元在同一点与参考点相连。
1MHz以下能工作得很好。

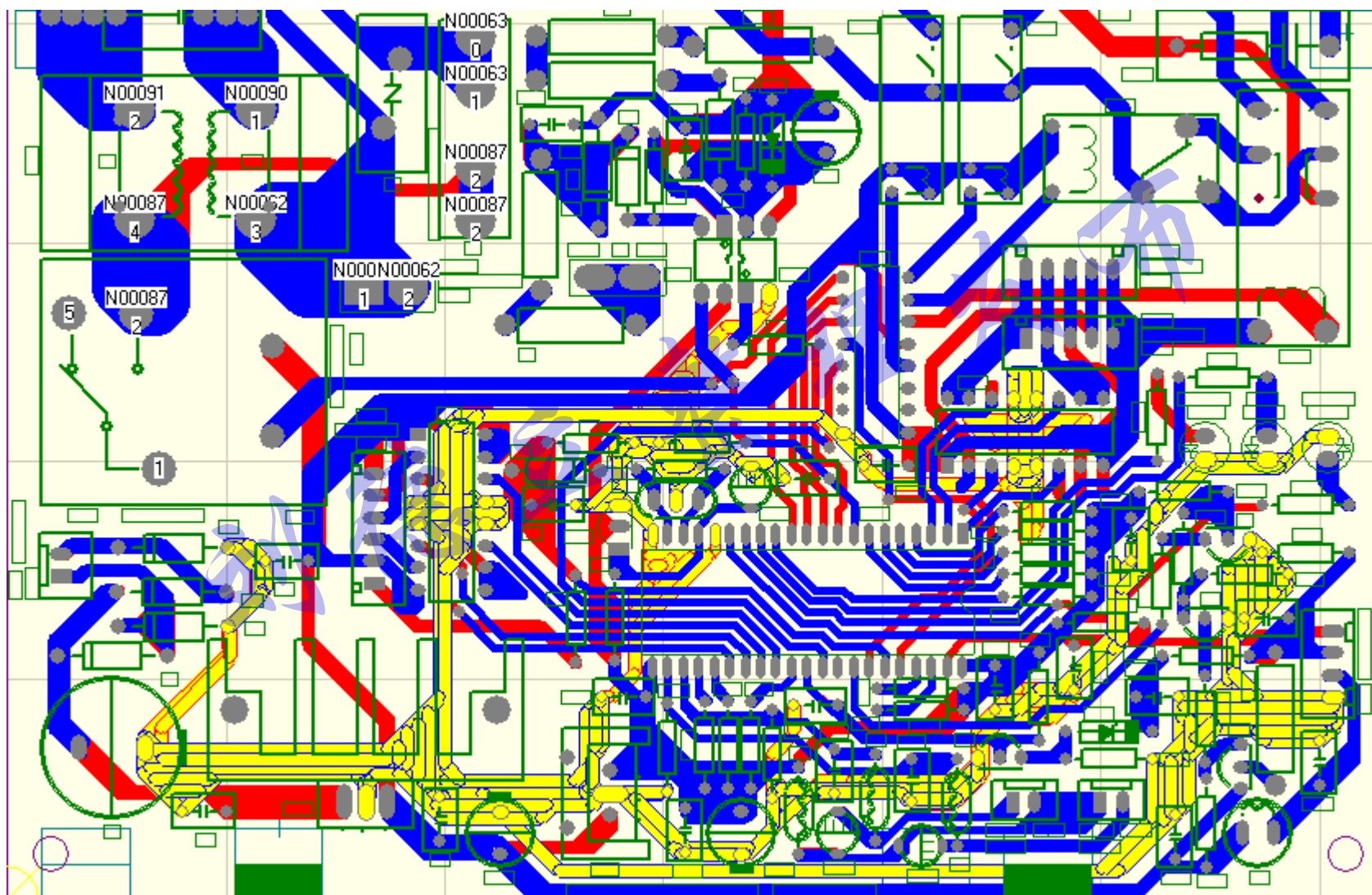
接线较多，有时难以实现，怎么办？

改进的并联单点接地方式：

将具有类似特性的电路连接在一起，然后将每一个公共点连接到单点地，如图所示。这样在那些对公共阻抗耦合不敏感的电路之间会产生一些公共阻抗耦合，而使高频电路有良好的局部接地。为了减少公共阻抗耦合，**干扰最大的电路应最靠近公共点。**



单点接地范例



下面是几个单点接地的应用实例，通过这些实例可以知道哪些做法是正确的；哪些做法是可以采用的；又有哪些做法是错误的。

实例1.



单点接地小结

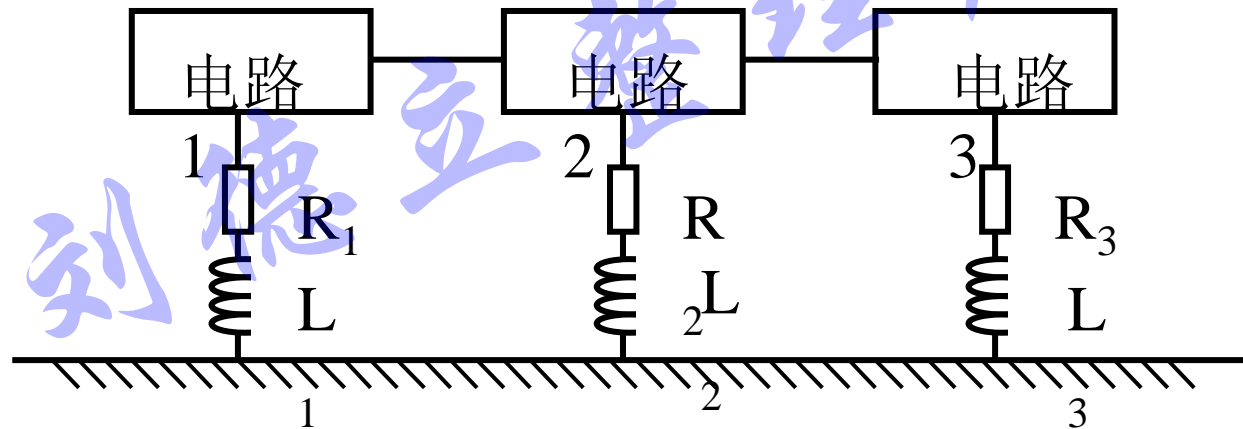
参考点，尤其是系统参考点，它连接了设备内部和外部的许多电路，这样它也就成了众多干扰信号和有用信号的通路，因此对它的选择要特别小心。根据使用情况的不同，设备和系统的设计会有很大不同，但在参考点选择概念上却没有有什么不同：

- ①要设计一个低阻抗的通路；
- ②要让干扰信号对电路的影响变得最小；
- ③要让设备中的各单独电路之间不存在公共阻抗；
- ④一个更可取的办法是要将系统的参考点与金属机壳连接在一起。

3. 多点接地 ($f > 10\text{MHz}$)

设备中的电路都就近以机壳为参考点，而所有机壳又以地为参考。

1MHz~10MHz可根据实际需要选用那种接地方法。



镀银（减小表面电阻）
良好搭接（减小地线阻抗）
宽金属板（减小电感）

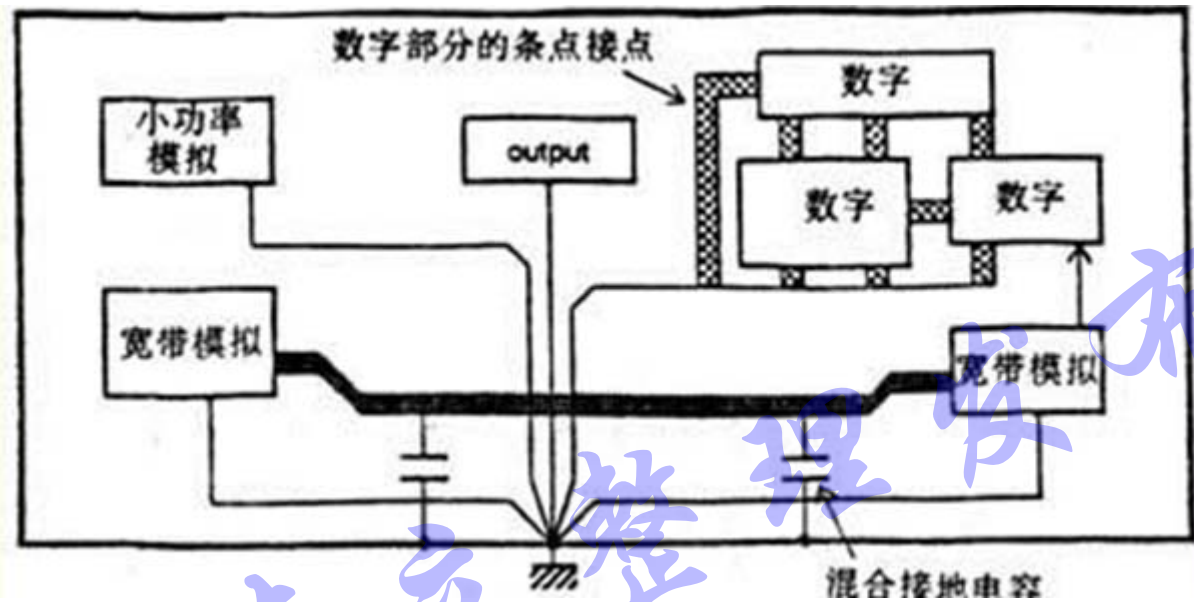
地线阻抗一定保持很小，
避免公共阻抗耦合

4. 混合接地

使用电抗元件（电感和电容）使接地系统在低频和高频时呈现不同特性。

电子设备的混合接地把设备的地线分成两类：电源地与信号地。设备中各部分电源地线都接到电源总地线上与信号总地线汇集到公共参考地。

刘德立



如图所示：一条较长的电缆的屏蔽外层通过多个电容接到机壳上，避免射频驻波的产生。电容阻止了直流和低频电流，因此能够避免两个模块之间的地环路的形成。

在使用电抗元件作接地系统的一部分时，应注意寄生谐振的现象，这种谐振会使干扰增强。例如，当在一条自感为 $0.1 \mu\text{H}$ 的电缆上使用电容量为 $0.1 \mu\text{F}$ 的电容时，将在 1.6MHz 处产生谐振。在这个频率上，电缆的屏蔽层根本没有接地。

地线定义小结

地线不是等电位体： 欧姆定律指出，电流流过一个电阻时，就要在电阻上产生电压。我们用作地线的导体都是有一定阻抗的，实际上，设计不当的地线的阻抗相当大，这在后面讨论。因此地线电流流过地线时，就会在地线上产生电压。我们在设计电路时，往往将地线作为所有电路的公共地线，因此地线上的电流成份很多，电压也很杂乱，这就是地线噪声电压。

地线噪声电压的严重性： 地线噪声意味着地线并不是我们做设计时假设的：可以作为电位参考点的等电位体，实际的地线上各点的电位是不相同的。这样，我们设计电路的假设（前提）就被破坏了，电路也就不能正常工作了。这就是地线造成电磁干扰现象的实质。

地线电流路径不确定： 地线电流遵守电流的一般规律，走阻抗最小的路径。对于频率较低的电流，这条路径比较容易确定，就是电阻最小的路径，电阻与导体的截面积、长度有关。但是对于频率较高的电流，确定地线电流的路径并不容易，实际的地线电流往往并不流过你所设计的地线。电流失去控制，就会产生一些莫名其妙的问题。

地线设计的核心： 减小地线的阻抗

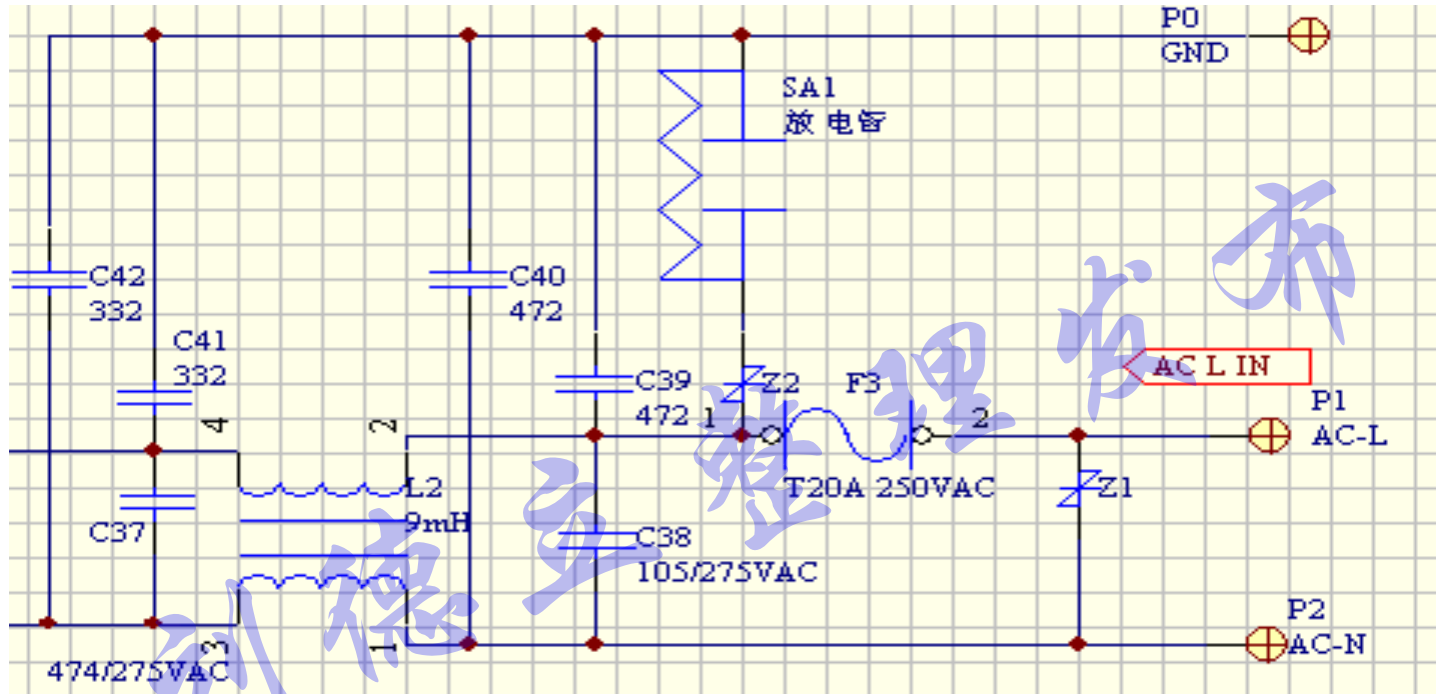
几个重要概念

电源地:电源为许多电路所公用,不允许成为这些电路相互耦合的通道.并能在负载电流变化时,为所有负载提供恒定的电源电压.电源电压和地电位的波动不对这些电路造成影响.为了减少电源线负载产生的骚扰,电源线的一端必须良好接地.具有交流和直流系统的产品,应分别建立交流,直流接地通路,并在接地平面上相互隔离,减少地线间耦合.直流供电系统,应使正极接地,以防止带电导线受到电化学腐蚀.

信号地：电源地线上两点间的电压有几百毫伏至几伏的范围,对信号电平是非常严重的骚扰.因此,电源地线不能用作信号地线.

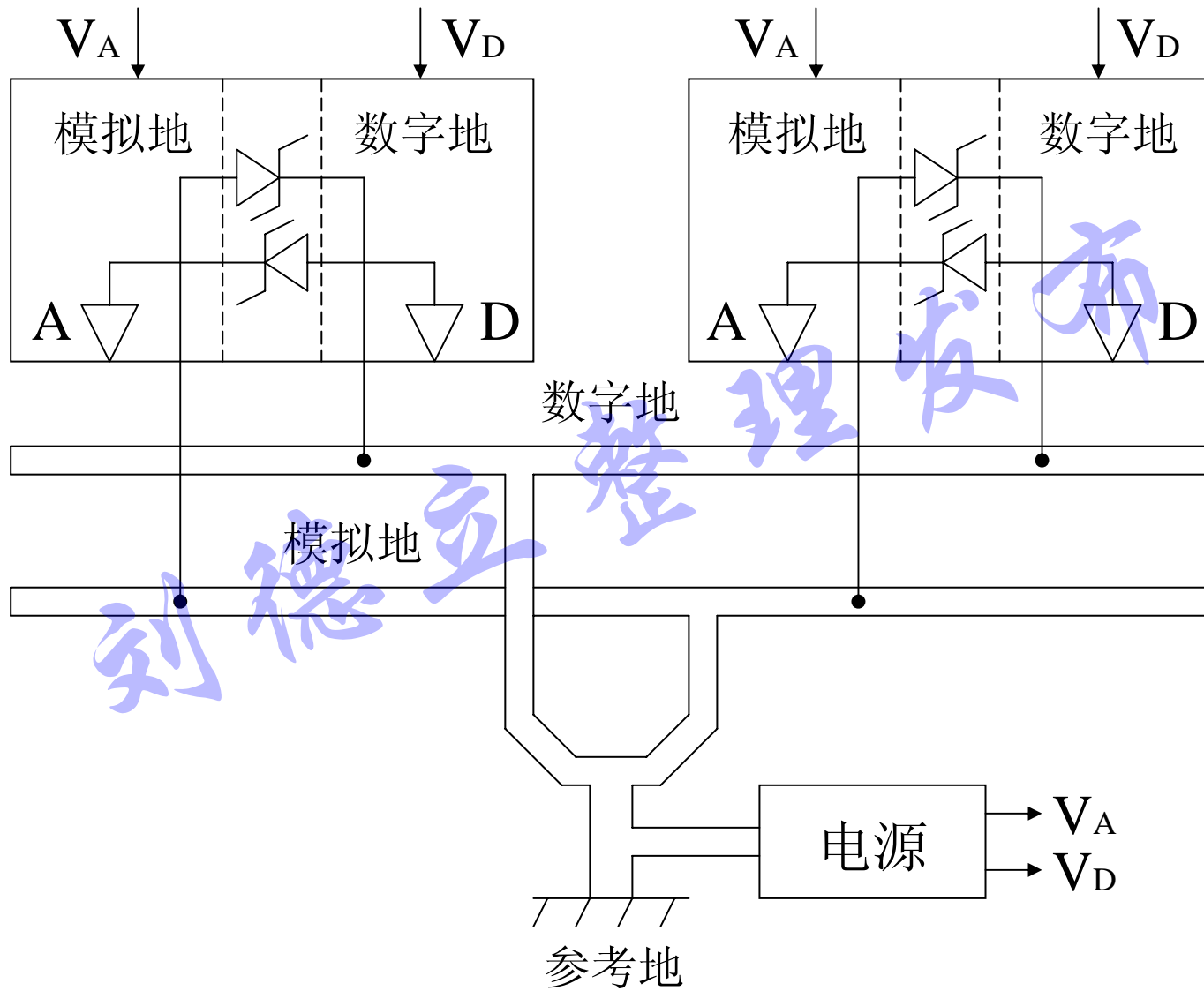
屏蔽地：不能将屏蔽体本身作为回流导体,接地汇流排或接地平面只有一点与屏蔽体相连。

EMC地：为EMI干扰提供回流路径；为静电提供泄放途径。



思考题：安装了交流滤波器的外机机壳有时候会出现110V电位，为什么？会有什么后果？

数字地、模拟地划分



PCB敷铜的问题

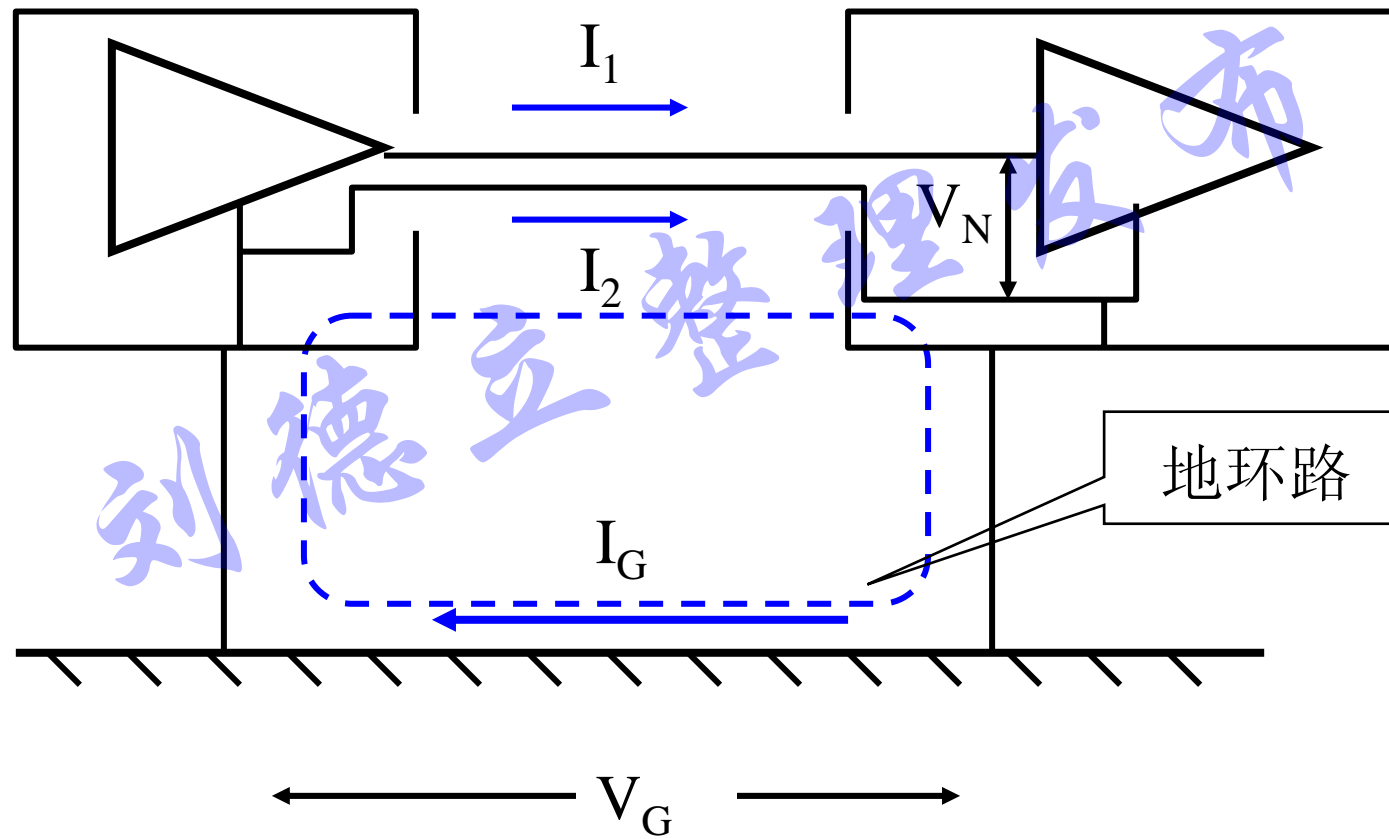
- ◆ 电子设备中的任何悬浮的铜皮（未充分接地的填充）或者散热器，都可能成为天线。
- ◆ PCB表面的敷铜一定要良好接地。
- ◆ 多层板中间层的布线空旷区域，不要敷铜，因为很难让这个敷铜良好接地。
- ◆ 设备内部的金属，例如金属散热器、金属加固条等，一定要实现良好接地。
- ◆ 晶振附近的接地隔离带，一定要良好接地。

地环路问题

任何地线既有电阻又有电抗，当有电流通过时，地线上必然产生压降，两个不同接地点之间必然存在地电压。

当电路多点接地，而各电路间又有信号线联系时将构成地环路，产生共模电流并在负载两端产生差模电压，对有用信号构成骚扰。

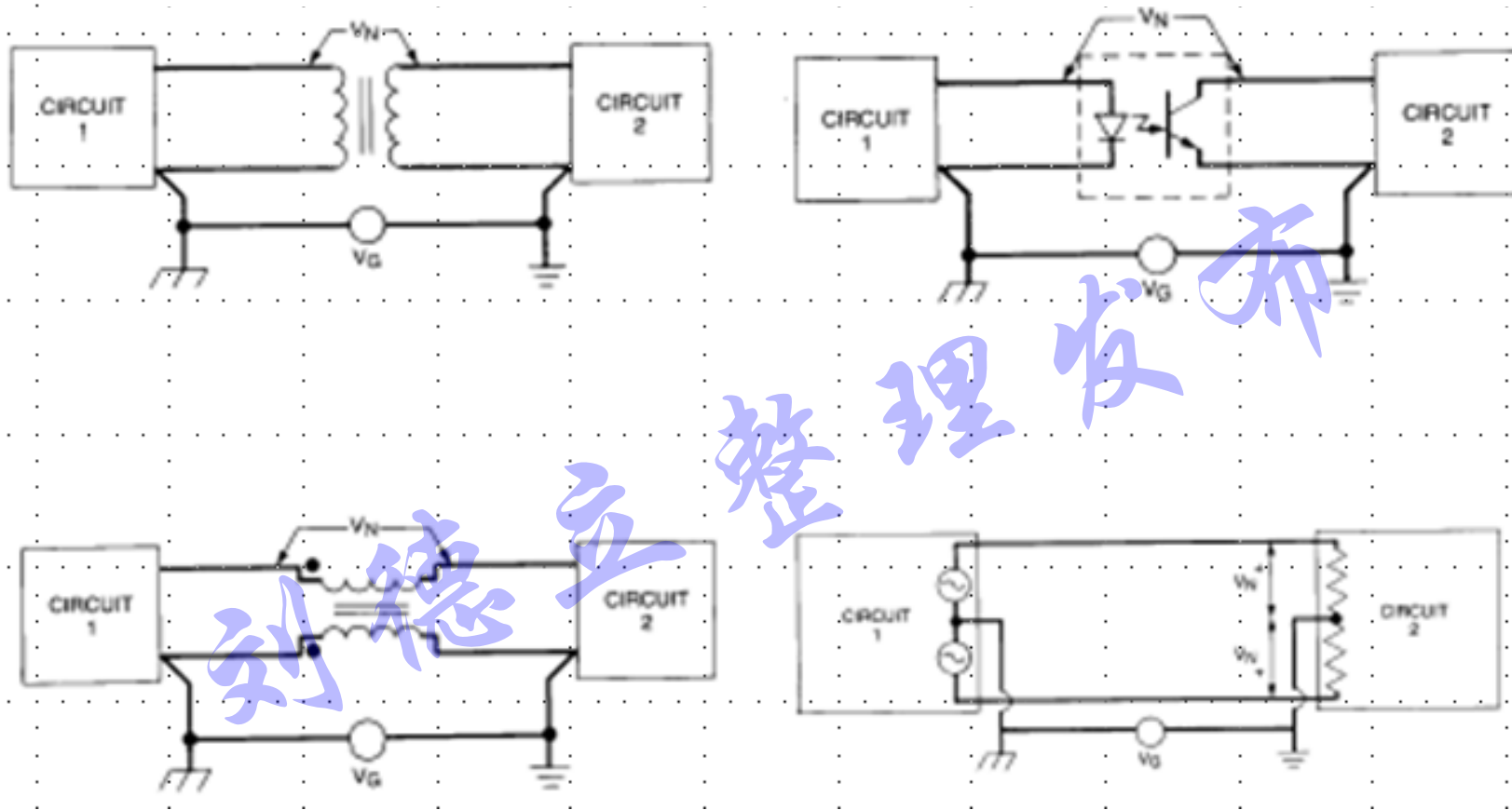
地环路图示



消除地环路干扰的方法

解决地环路干扰的基本思路是有两个：一个是减小地线的阻抗，从而减小干扰电压。另一个是增加地环路的阻抗，从而减小地环路电流。当阻抗无限大时，实际是将地环路切断，即消除了地环路。例如将一端的设备浮地、或将线路板与机箱断开等是直接的方法。但出于静电防护或安全的考虑，这种直接的方法在实践中往往是不允许的。更实用的方法是下面介绍的几种方式：

消除地环路干扰的方法



思考题：当将一端的设备与地线断开时，干扰现象消失，往往说明有地环路干扰问题，但是为什么不能反过来说：“当有地环路干扰时，只要将一端电路与地线之间的连线断开，就可以解决问题。”？

参考接地线的连接（搭接）

参考接地是在一个需要接参考地的点（或面）与一个称为参考地的点（或面）之间建立导电通路。

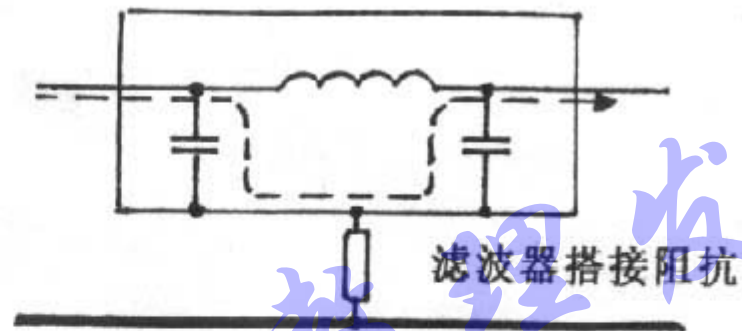
搭接则是在参考接地线处理中采用的一个办法，通过它实现低阻抗互连的目的。搭接后的两个金属面便成为等电位面。搭接可实现电路与机箱、电路与参考地、电缆屏蔽层与机箱、滤波器与机箱之间的连接，屏蔽体上不同部位的连接以及不同机箱的地线连接等等。搭接分直接搭接（将要连接的点直接构通）和间接搭接（通过中间导体实现连接点之间的相互构通）两种。

常用的搭接方法有：

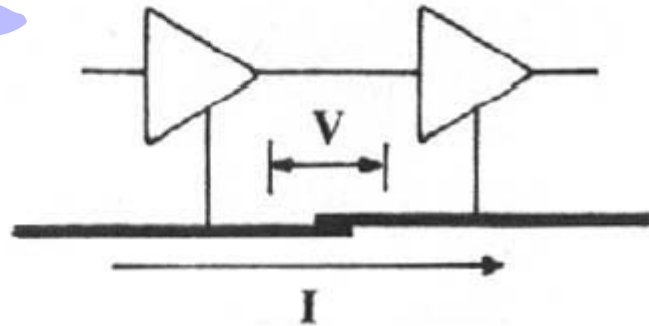
- ①焊接。包括熔焊、钎焊等，是**比较理想的搭接方法**，可避免金属面暴露在空气中，因锈蚀造成的搭接性能下降。
- ②铆接。在铆接部位的阻抗很小，但其他部位阻抗较大。在高频时不能提供良好的低阻抗连接。
- ③螺钉连接。由于螺钉运动，使两部分金属接触由面变成了线接触。麻烦的是，由于腐蚀和高频电流的趋肤效应使射频电流沿螺钉的螺旋线流动，使这种连接在很大程度上呈现电感性，对于高频信号的接地线处理不利。也正是基于这一原因，我们建议**尤其不要采用自攻螺钉作接地线的连接处理**。

搭接不良对设备的影响

实例1.

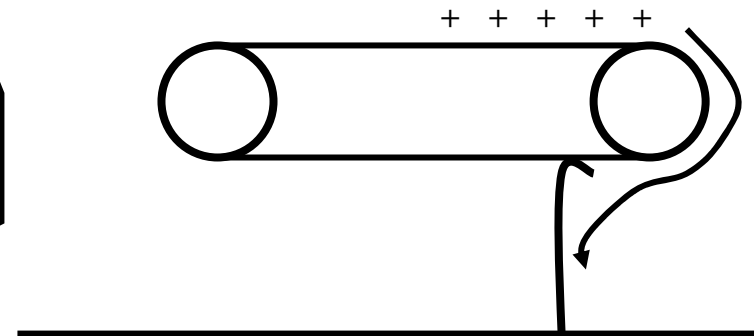
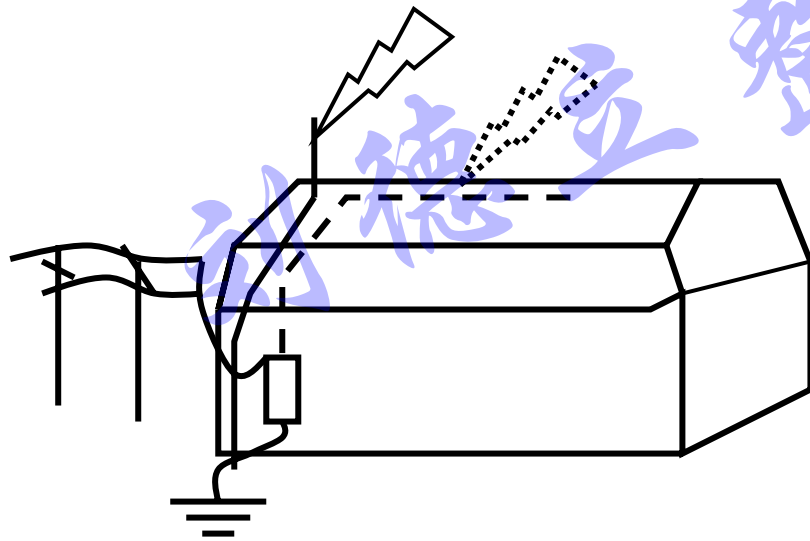
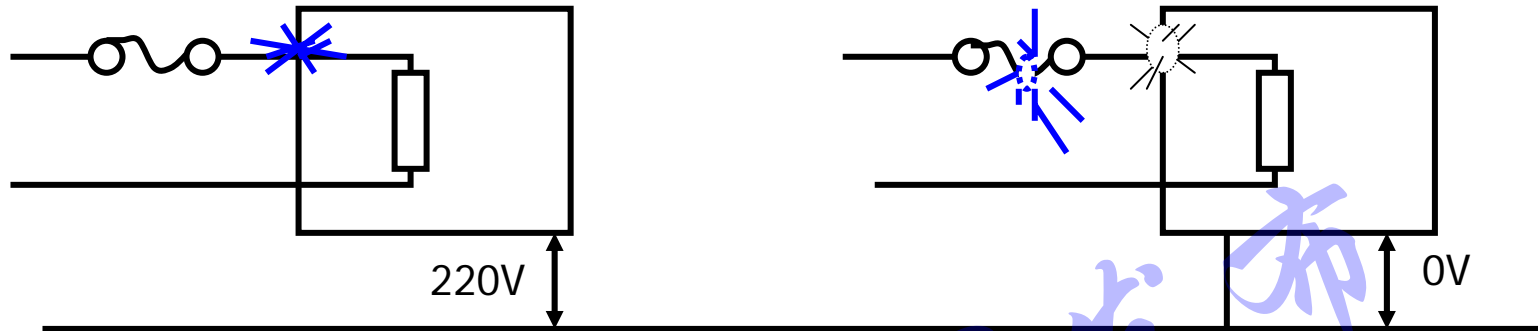


实例2.



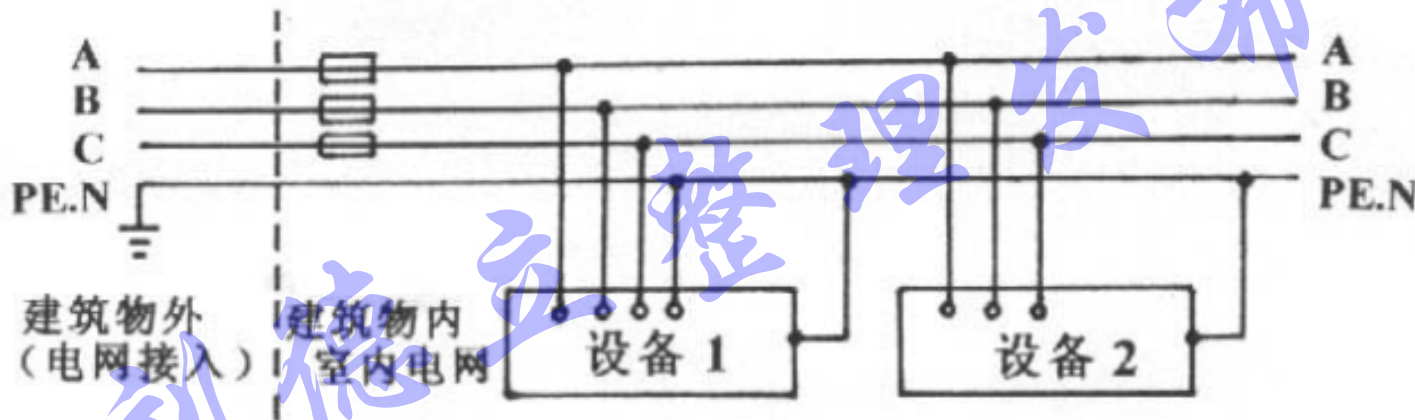
4.3 安全接地（接大地）

- ①可实现设备的安全接地。当设备不接地时，一旦电源线与机箱之间的绝缘层发生破损就会造成触电。设备接地后，机箱的对地电压为**0V**，即使电源线与机箱间的绝缘遭到破坏，也只有大电流流到地线，引起进线保险丝的烧断，对设备的操作人员不造成任何伤害，从而实现了人员的安全保护。
- ②泄放掉因静电感应在机箱上所积蓄的电荷，从而避免由于电荷积聚使机箱电位升高而造成的设备内部放电。
- ③提高设备工作的稳定性，防止设备在外界电磁环境作用下使设备对大地电位发生变化，造成电路工作不稳定。将设备的外壳接地，设备就以大地为零参考电位，可以有效防止干扰的发生。所以，设备接大地是出于对设备安全、人员安全和设备可靠运行等多方面因素所必须。实用中如能把接地与屏蔽两大技术配合使用，则对提高设备电磁兼容性能起到事半功倍的作用。



供电系统的接地方式：

1、**TN-C**系统：国内常用三相四线制，有地线。



2、其他方式：需要用户设置地线

两种基本的用户地线处理方式：

- ①用户专门设计的单独接地系统（独立接地系统）。
- ②与其他接地系统联在一起的共用接地系统。

独立接地系统

设备需要接地的原因很多，一些重要的接地要求有：安全接地、电磁兼容性接地和雷电接地。

其中，安全接地通常要求设备的金属机壳通过安全接地线接到配电系统的地。

电磁兼容性接地包含屏蔽接地、滤波器参考接地、电路参考点接地等等。

雷电接地是雷电保护系统接地。雷电放电接地一般不是针对设备的。

其中，电磁兼容性接地有时与设备机壳连在一起；有时则不连，单独拿来接大地。这两种情况都可以在前面的单点接地例中找到。

(1)利用金属管道作为接地电极

利用金属管道作为接地电极，通过金属管道与土壤之间有大面积接触，可解决部分接地问题，而且接地电阻可望小于**3**Ω。但禁止将燃气、燃油管道作接地电极。即使是金属自来水管，也要用钢结构件作为接地电极。还应注意管道检修时可能使接地连续性遭到破坏的问题。

(2)独立接地系统的正规接地方法

①对接地电阻的要求

一般将各种接地（除防雷接地外）组合在一起，接地电阻不大于**4** Ω 。如单纯考虑屏蔽接地，接地电阻一般为**30** Ω 。如单纯防静电，因静电电流很小（不超过几微安），故接地电阻控制在**100** Ω 左右就可以了。

②土壤的电阻率

接地的介质有土壤、混凝土和水三种。最常用的接地是将接地导体放在土壤当中与土壤紧密接触。除土壤的含水量和化学成分对土壤的电阻率有很大影响；温度对于土壤的电阻率也有影响，如土壤冻结，会使电阻率突然增加。

③接地电极

1) 接地电极的材料

导体、混凝土中的钢筋和其他适当的地下结构。

2) 接地电极的类型

水平接地电极(埋在地中的表层); 垂直接地电极(埋在较深的土壤里)。

3) 接地电阻降阻剂

目的是增加接地电极附近土壤的导电性。常用的方法有: i. 在电极周围填充木炭。 ii. 注盐水。 iii. 采用降阻剂(有专门厂家生产)。

④接地电极举例

1) 垂直接地棒

垂直打入地下的接地棒或管子，是最普通的人造电极。在土壤厚度大于3m的地方，推荐采用此法。接地棒的直径1.2~2cm，长度2~12m（大多数情况下，取2~5m）。要求材料为铜包钢，这是因为钢芯，有较高的机械强度，耐敲打；而铜有较好的防腐能力，且便于与铜质接地电缆相容，避免电偶腐蚀。

2) 埋设水平导体

在岩层接近地面的地方，不能使用打入垂直接地棒的办法。此时可采用埋设在离地面0.5~1m深的水平金属条带、电线及编织电缆的办法来充当接地电极。

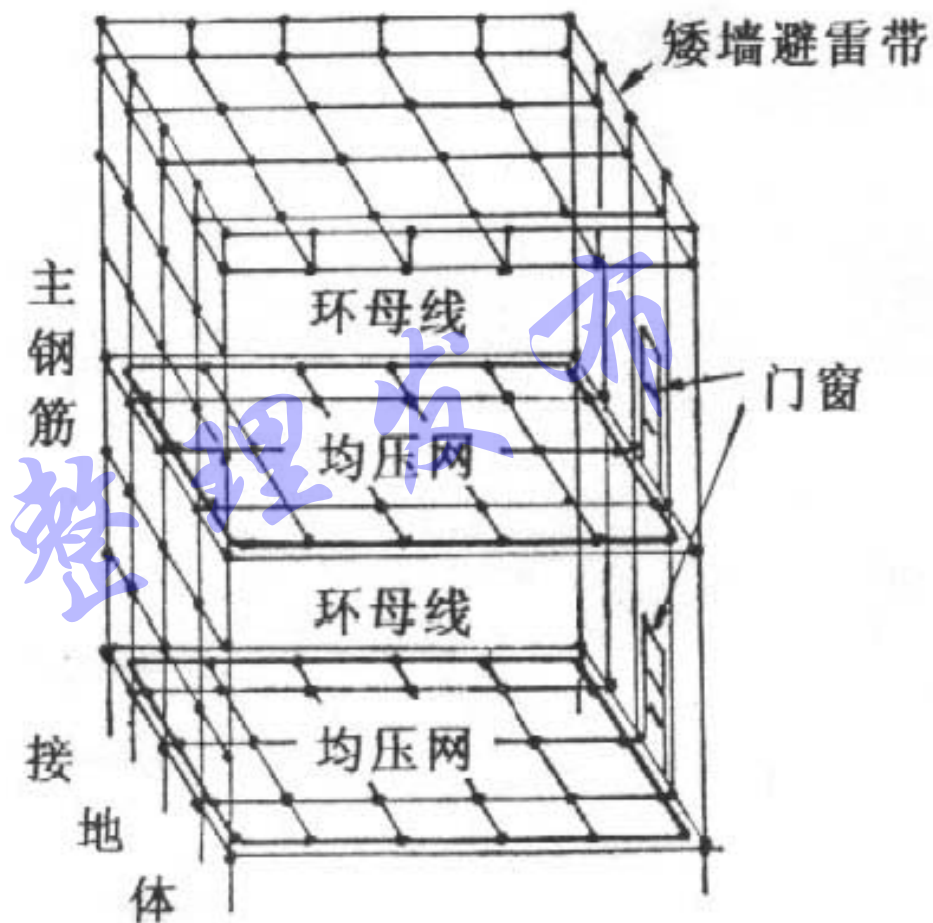
⑤对接地棒的接线要求

- 1) 单根保护接地线截面积 $\leq 6\sim 10\text{mm}^2$ 。
- 2) 用两根单独保护的接地线，单根截面 $\leq 4\text{mm}^2$ ，并各自单独连接。
- 3) 辅助连线的截面 $\leq 2.5\text{mm}^2$ ，若无机械保护，则为 4mm^2 的铜线。

列德立整理

共用接地系统

现代的高层建筑（钢筋混凝土结构），已很难将防雷与安全及工作等“地”分开，现实中已趋于合并（主钢筋已成为雷电流的下引线），成为共用接地系统。在该系统中，防雷、动力、安全和设备地共用一个地网；利用建筑物主钢筋及钢筋的焊接，并与楼顶的避雷装置、楼底的接地网、各楼层的均压网、环形接地母线等焊成一个电气上连通的笼式接地系统（法拉弟笼）。



共用接地系统的优点

- ①易均衡建筑物内各部分的电位
- ②提高了接地可靠性。
- ③利用基础钢筋作接地电极，可得到比人工接地极小的接地电阻，其值可在 1Ω 以下。
- ④共用接地系统为电子和电气设备提供了基准电位，消除了各电路地线电流流经公共地线阻抗时产生的干扰；也避免电路受电磁场和“地电位差”的影响。
- ⑤在共用接地系统中，各部分的紧密连接形成了一个电气整体的法拉弟笼子。在这个系统中即使遭到雷击，由于笼内的等电位作用，对人和物都是安全的，也不会造成电子设备的误动作或性能不稳定。
- ⑥建筑物的钢筋众多，总截面大，无论是雷电流故障电流都不会造成钢筋熔断，故共用接地系统的热稳定性良好。

第五章 屏蔽技术

第六章 电路设计

第七章 EMC元器件的使用

[返回](#)

刘德立整理发布

AUX

布发理德
五至