



电磁兼容系列讲座 (一)

基本知识

2005. 9

电磁兼容概念

- EMC (ElectroMagnetic Compitibility)
- 内涵
- 外延



研究电磁兼容的意义

- 电磁兼容的发展史
- 历史的经验教训
- 现实意义

电磁兼容的三要素

- 干扰源（骚扰源）
- 传播途径
- 敏感设备



干扰源分类

- 自然干扰源

- 大气噪声（例如雷电）

- 太阳噪声（太阳黑子活动时产生的磁暴）

- 宇宙噪声

- 静电放电

- 人工干扰源

- 家用电器和民用设备

- 高频设备

- 电力设备

- 内燃机

- 无线电发射和接收设备

- 高速数字电路设备

传播途径

- 传导

- 辐射

- 串扰

电磁骚扰的发生机理

- 放电噪声
- 接触噪声
- 过渡现象
- 发射现象
- 非功能性噪声
- 无用信号
- 共同特征

电磁兼容的研究内容

- 电磁骚扰源
- 传输途径
- 敏感设备
- 电磁兼容控制技术
- 电磁兼容测量
- 电磁兼容标准
- 电磁兼容预测与分析

暗室



骚扰的传输途径

通过导线传输（传导）

一. 传输线的分布参数特性

1. 电阻

$$R_{DC} = \frac{1}{\sigma \pi r^2}$$

$$R_{AC} = \frac{1}{\sigma 2\pi r \delta}$$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

2. 电感

$$L_i = \frac{1}{4\pi r} \sqrt{\frac{\mu}{\pi\sigma}} \times \frac{1}{\sqrt{f}}$$

$$L_e = \frac{\mu}{\pi} \ln\left(\frac{s}{r}\right)$$

3. 电容

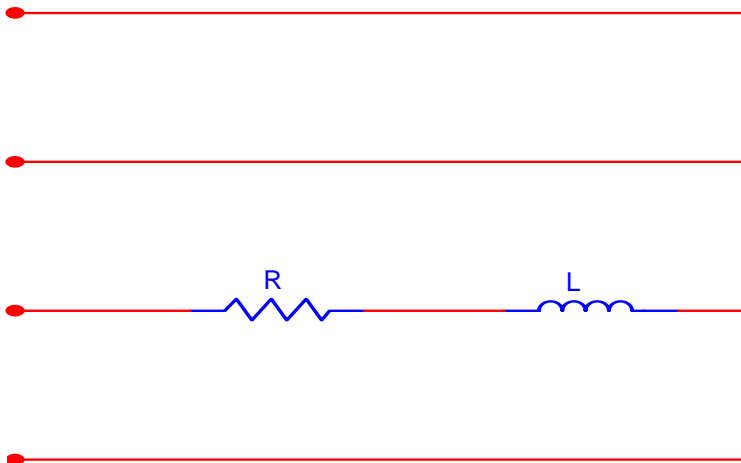
$$C = \frac{\pi \varepsilon}{\ln \left(\frac{s}{r} \right)} \quad LC = \mu \varepsilon$$

4. 特性阻抗

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \ln \left(\frac{s}{r} \right)$$

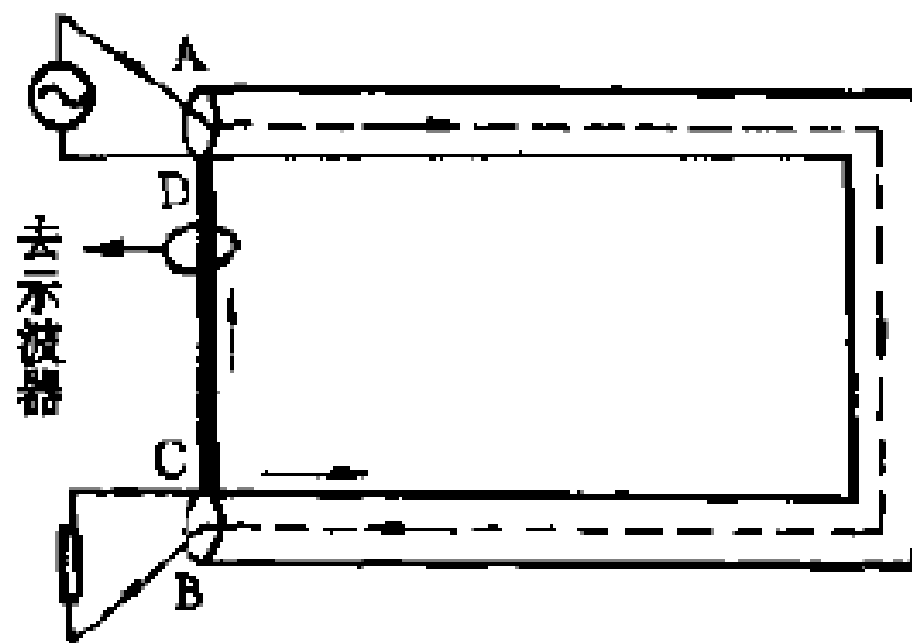
二. 传输线的短线处理方法

$$l \leq \lambda / 20 \text{ 或 } t_d \leq t_r / 4$$

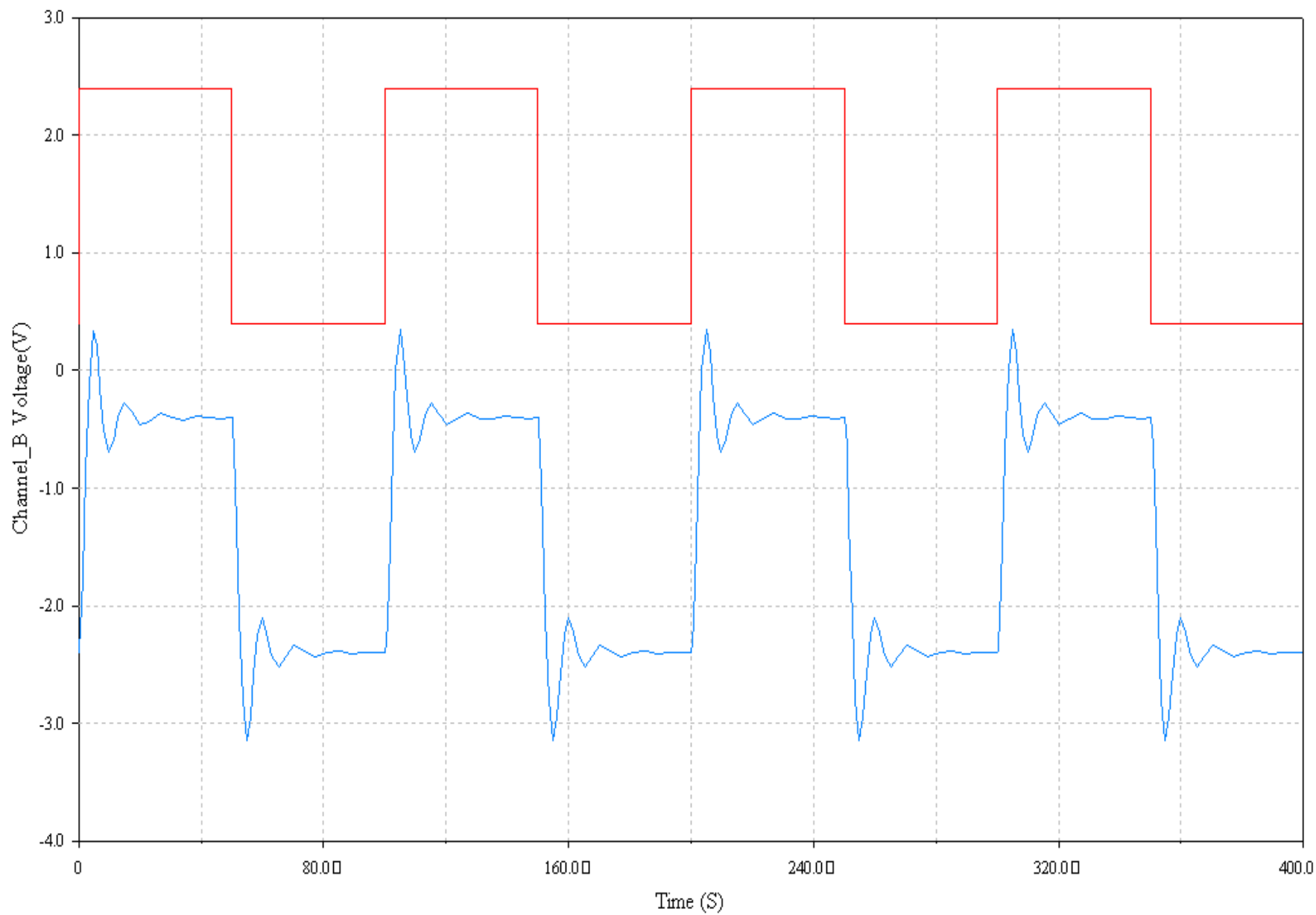


$$R > 2\pi fL (f < 3\text{KHz})$$

$$R < 2\pi fL (f > 3\text{KHz})$$



传输线中分布电阻和
电感的比较实验



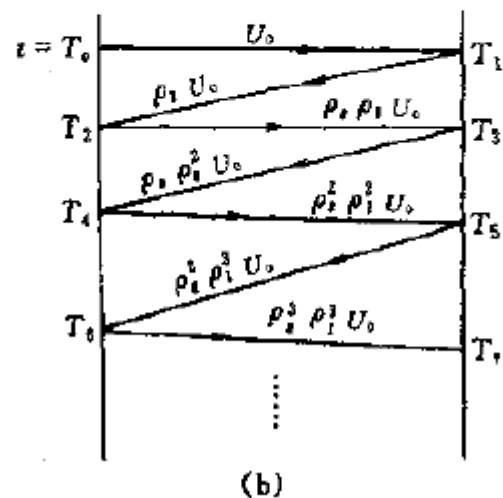
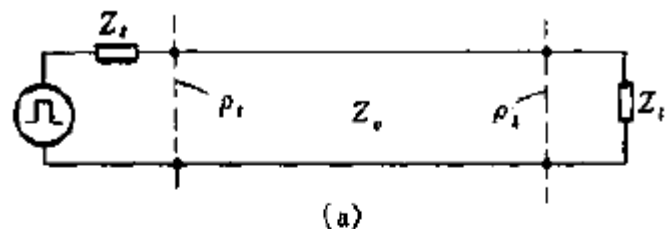
二. 传输线的长线处理方法

$$l \geq \lambda / 20 \text{ 或 } t_d \geq t_r / 4$$

$$\rho = U_{ref} / U_0$$

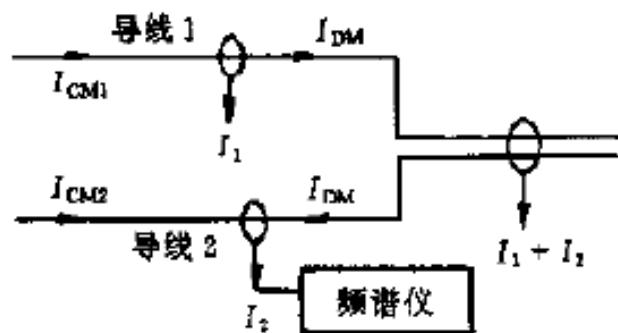
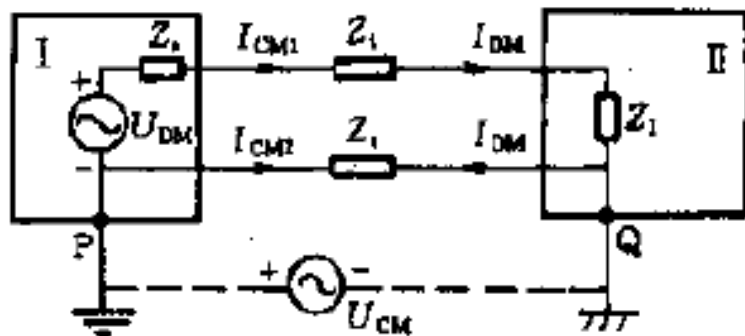
$$\rho_l = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0}$$

$$\rho_s = \frac{Z_s - Z_0}{Z_s + Z_0}$$

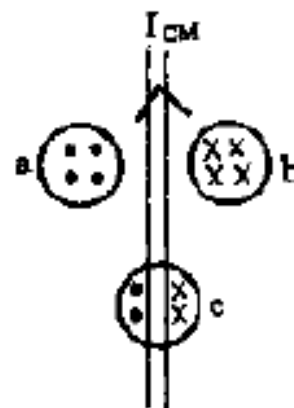


四. 共模电流和差模电流

- 差模电流
- 共模电流
- 如何区别



用电流钳区别电流形式

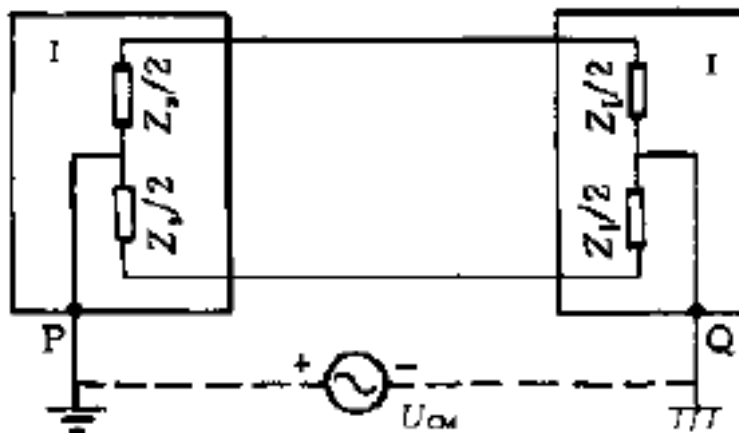


磁场探头探测共模电流

电流钳

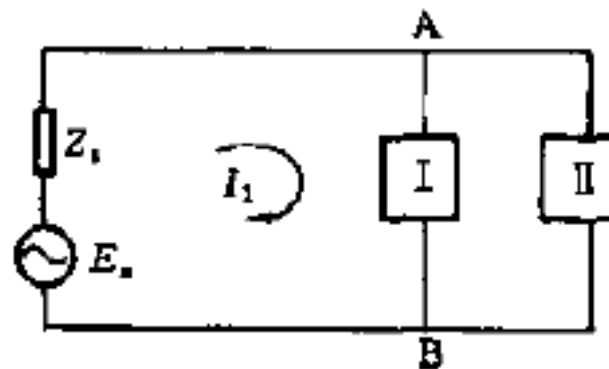


产生的原因和对策

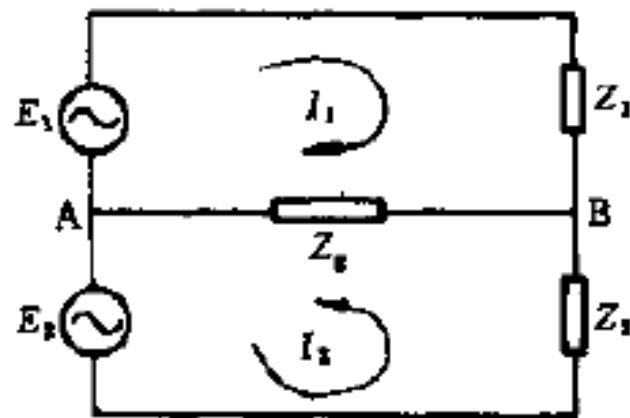


五. 共阻抗耦合

■ 共电源阻抗耦合



■ 共地线阻抗耦合



骚扰通过空间传播

■ 波阻抗

$$Z_0 = E / H$$

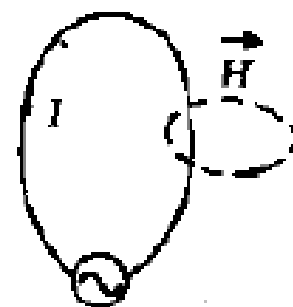
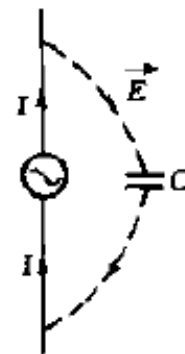
■ 近场

■ 电场

$$E \propto 1/r^3 \quad H \propto 1/r^2$$

■ 磁场

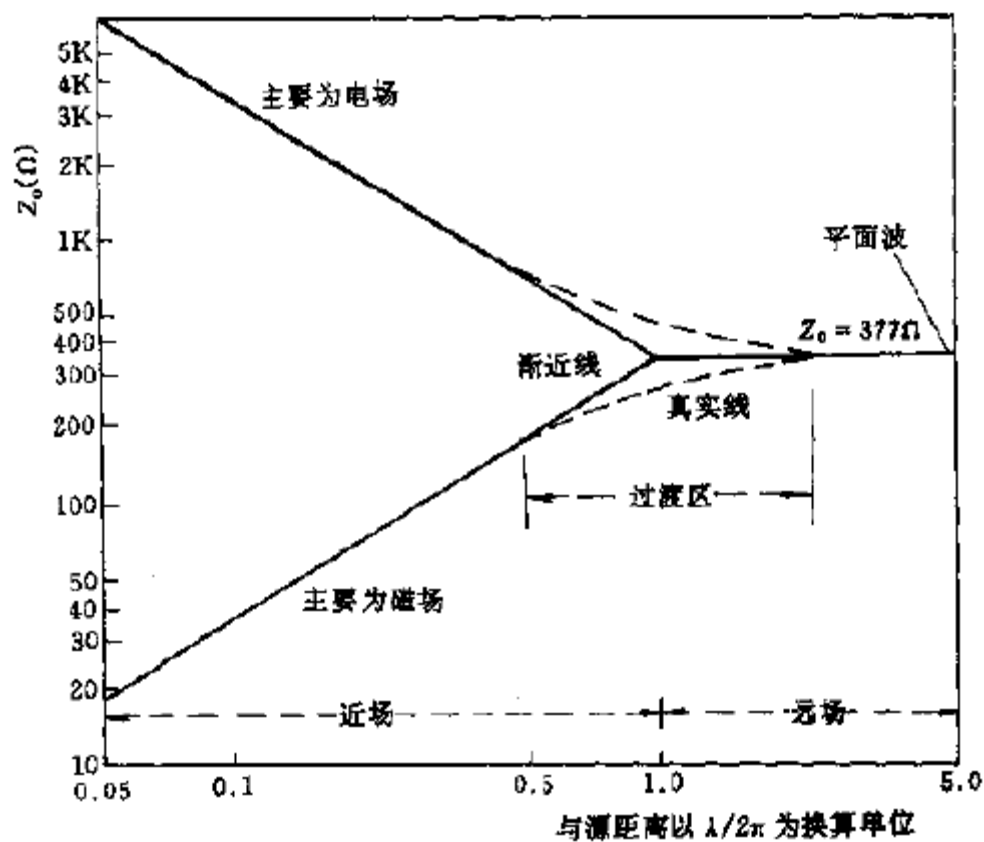
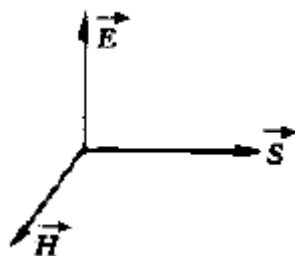
$$E \propto 1/r^2 \quad H \propto 1/r^3$$



■ 远场

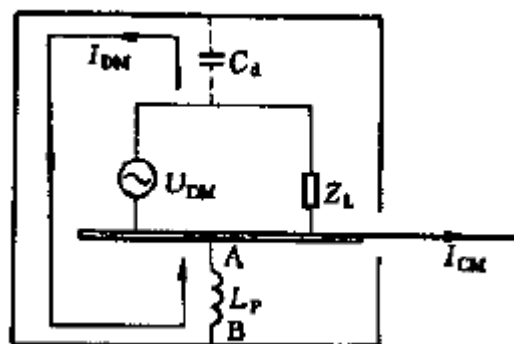
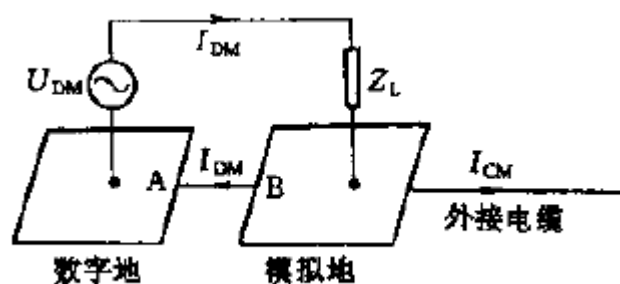
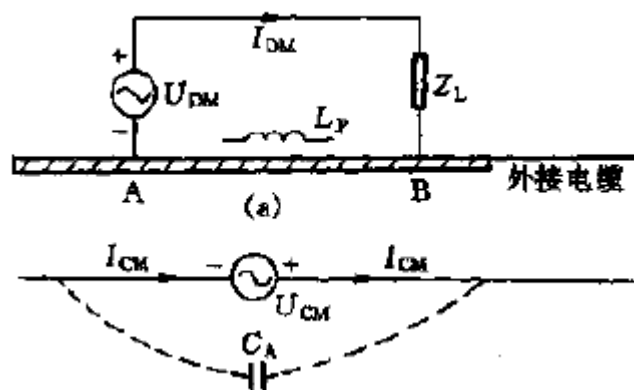
$r < \lambda / 2\pi$ 近场

$r > \lambda / 2\pi$ 远场

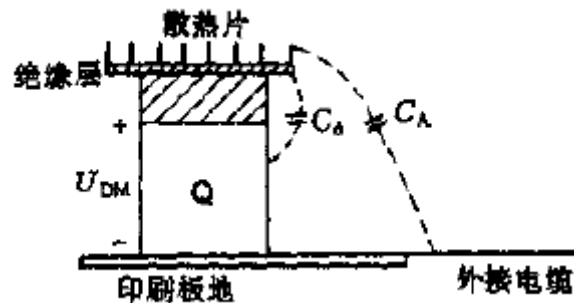


共模电流辐射的基本形式

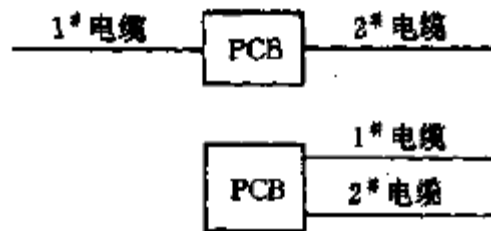
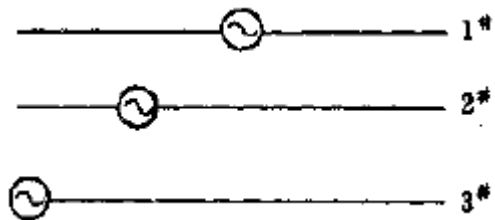
■ 电流驱动模式



■ 电压驱动模式

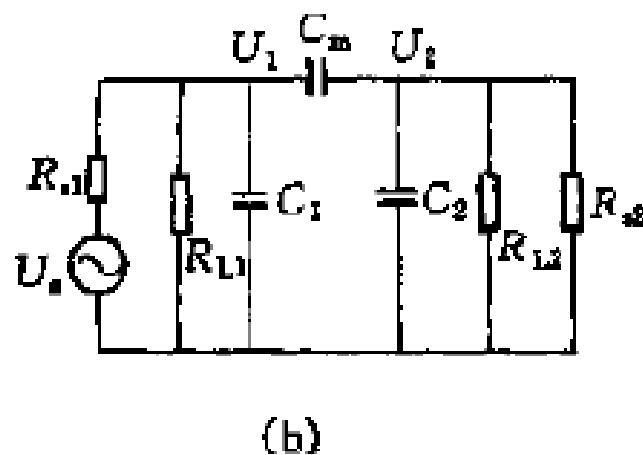
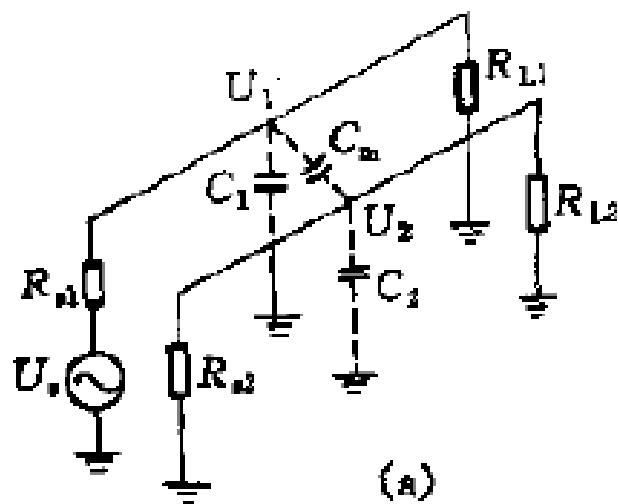


■ 源的位置和电缆引入方法对共模辐射的影响



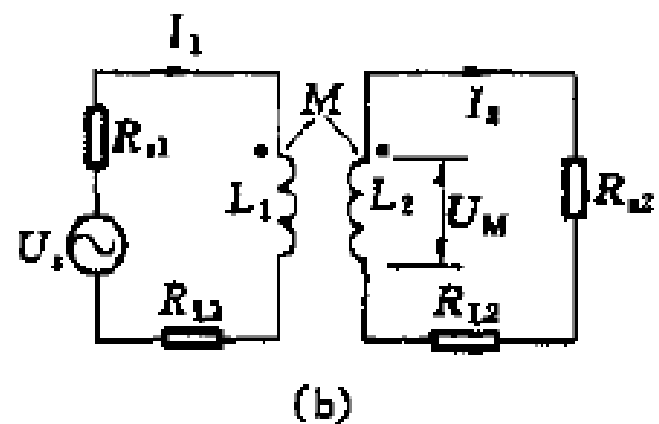
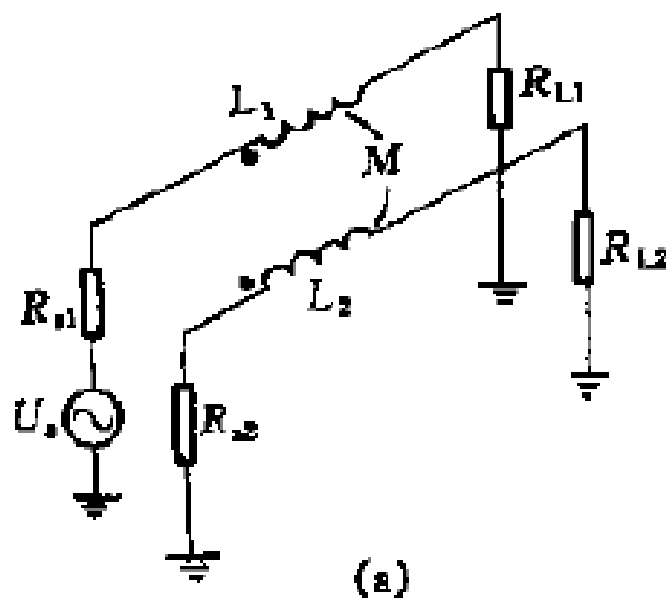
骚扰的近场耦合

■ 电场耦合（电容耦合）



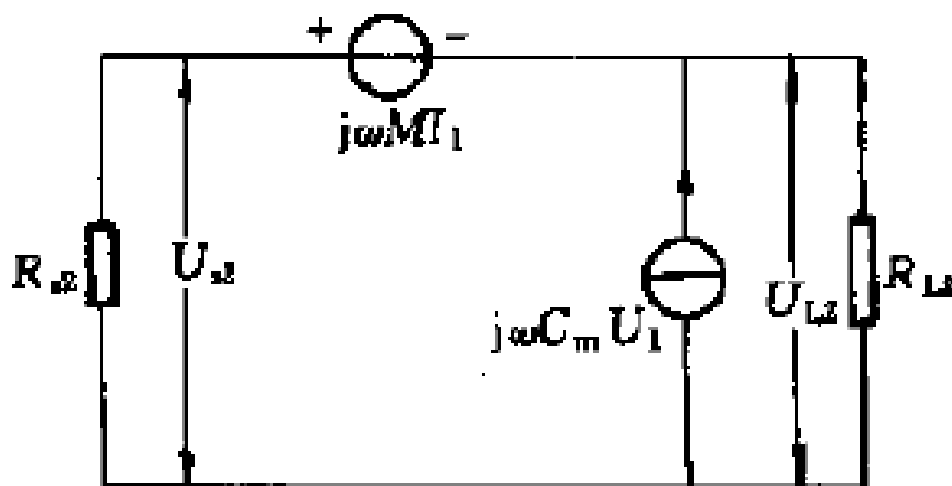
电场耦合

■ 磁场耦合



磁场耦合

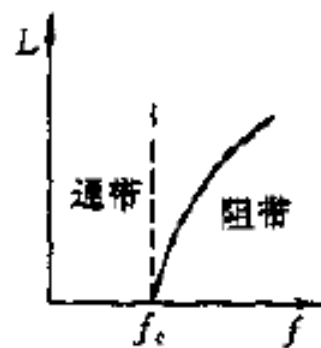
■ 电场和磁场耦合同时存在



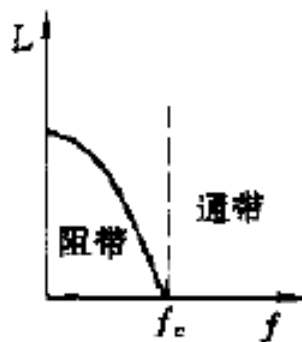
滤波技术

■ 插入损耗的概念

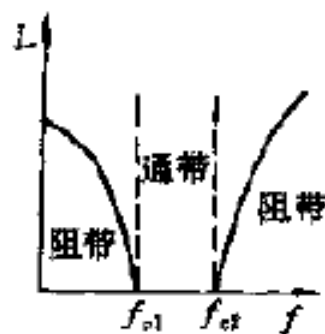
$$L(\text{dB}) = 20\lg(U_1 / U_2)$$



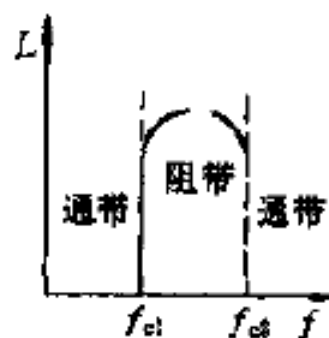
(a)



(b)



(c)

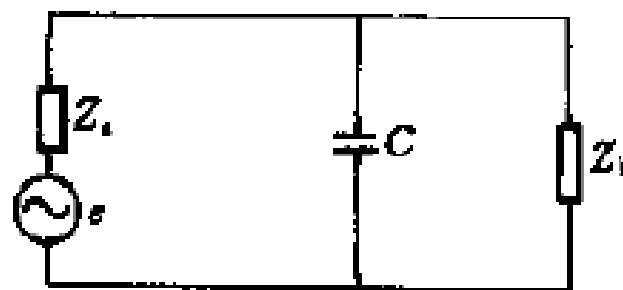


(d)

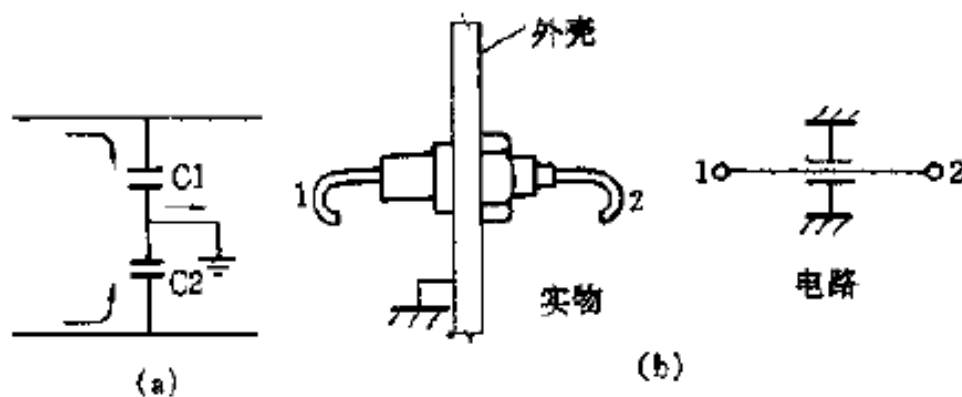
几种滤波器的插入损耗

反射式滤波器

电容滤波器



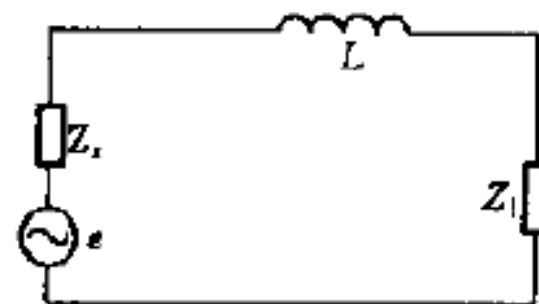
电容滤波器



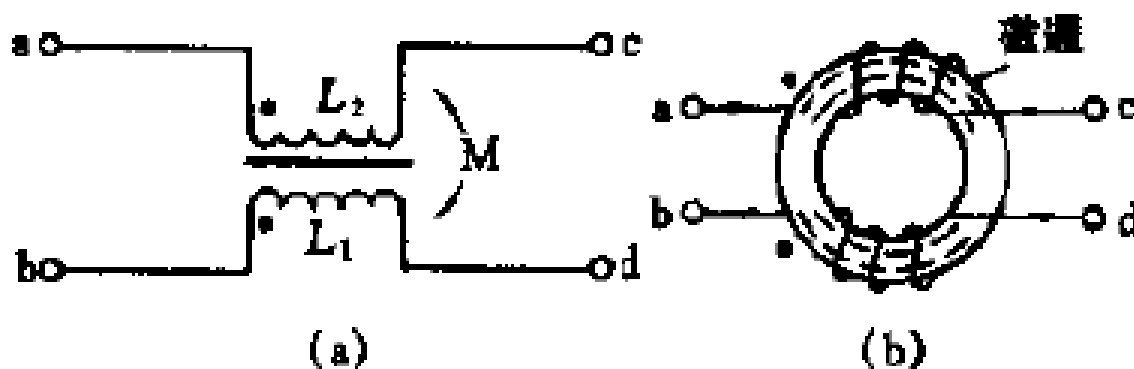
电容器作共模噪声滤波器

(a) 并接在导线—地间；(b) 穿芯电容

■ 电感滤波器



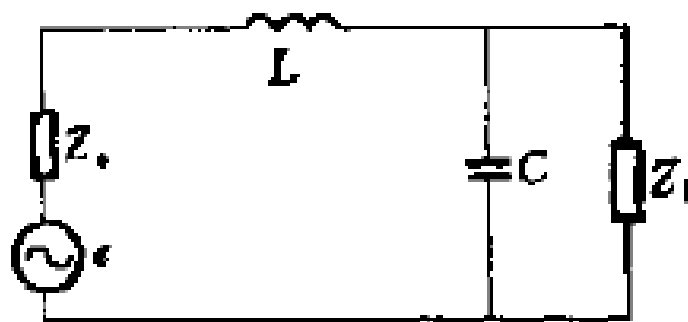
电感滤波器



共模扼流圈

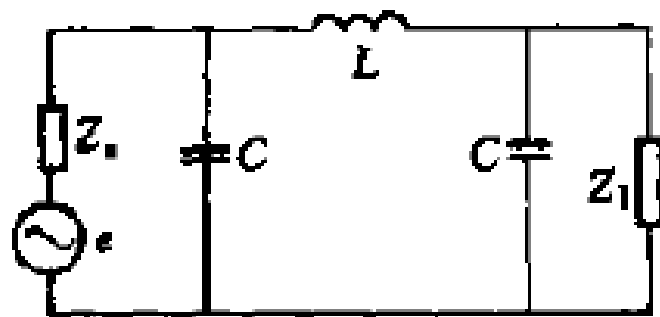
(a) 电路图；(b) 结构图

Γ 型滤波器



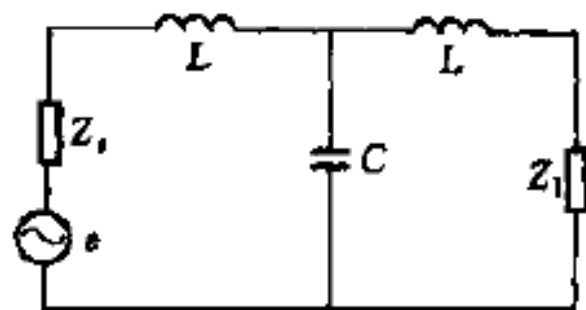
Γ 型滤波器

Π 型滤波器



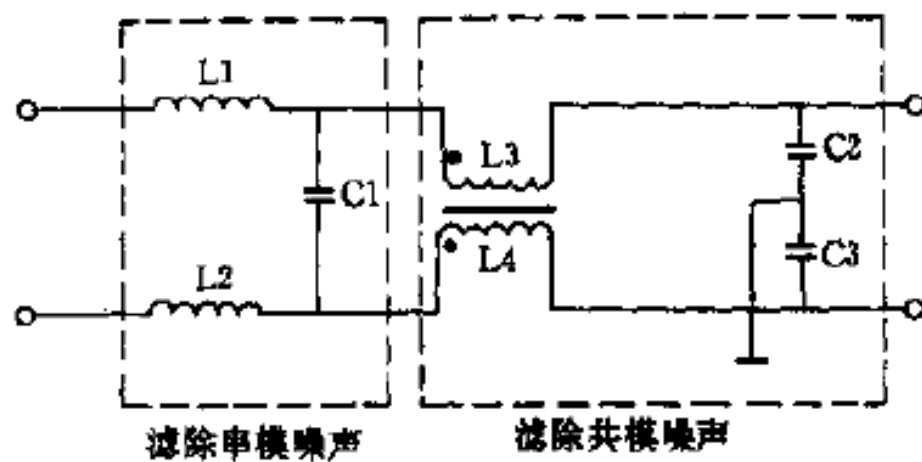
Π 型滤波器

T 型滤波器



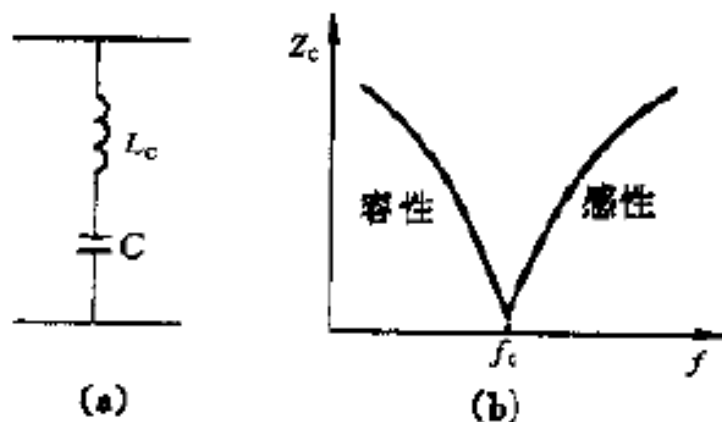
T 型滤波器

电源滤波器

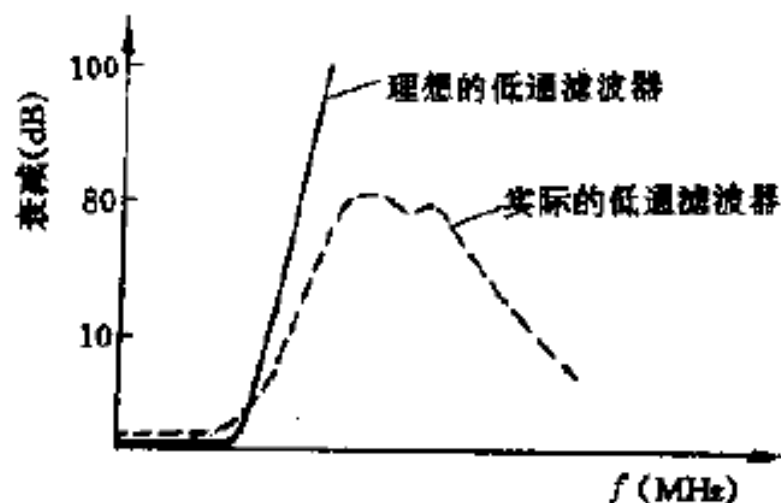


电源滤波器的典型结构

实际的电容



电容器的高频特性
(a) 等效电路；(b) 阻抗-频率特性

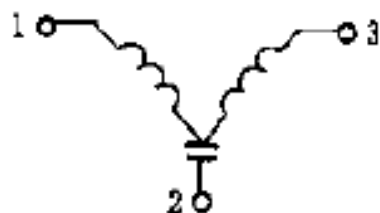


滤波器的实际特性

改进措施



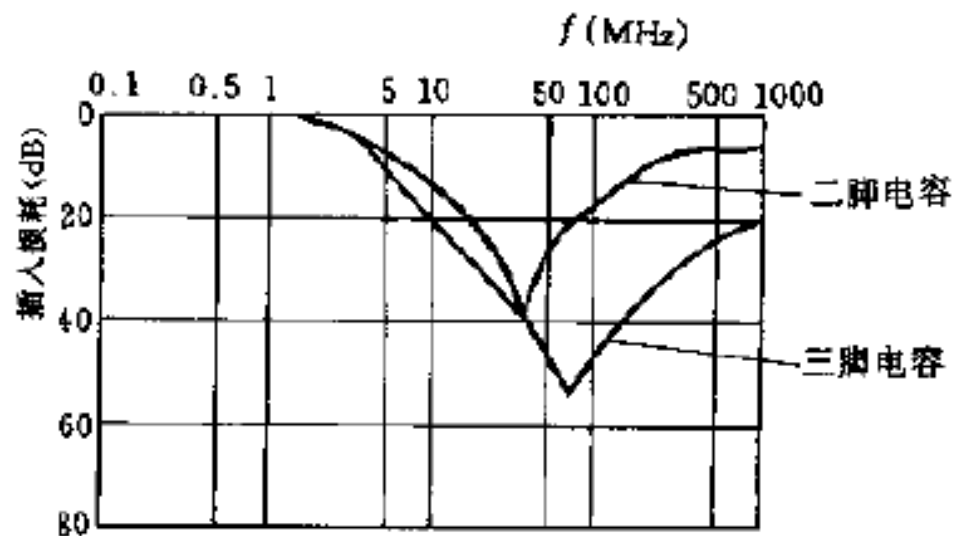
(a)



(b)

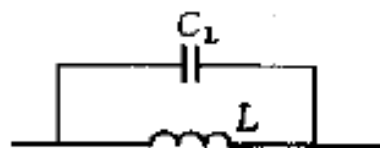
三脚电容

(a) 外型图；(b) 等效电路

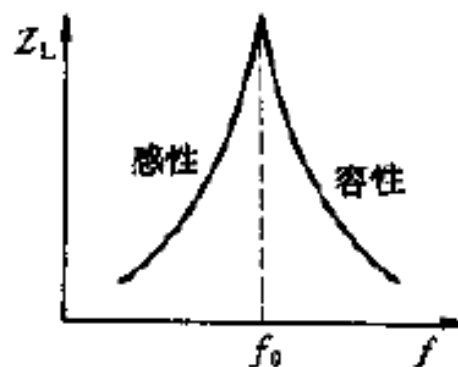


三脚和二脚电容器插入损耗的比较

实际的电感



(a)



(b)

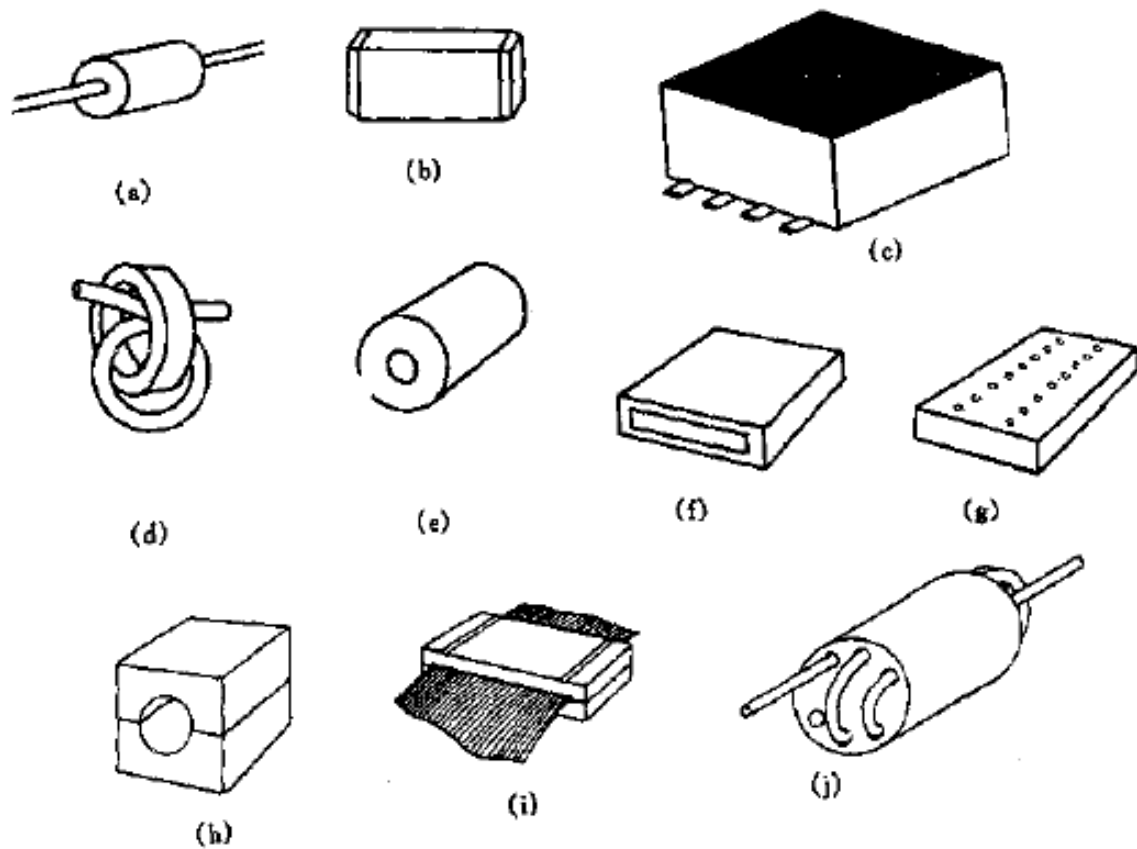
电感器的

高频特性

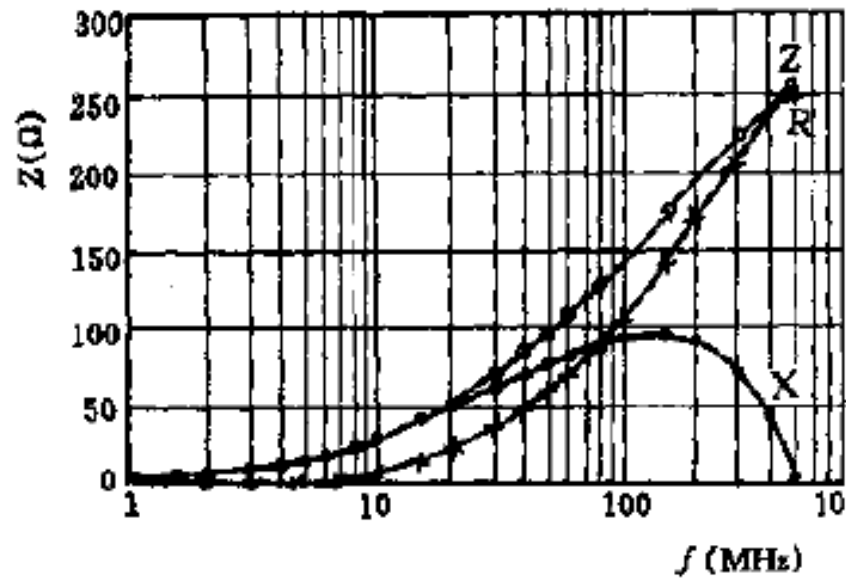
(a) 等效电路；

(b) 阻抗—频率特性

吸收式滤波器



各种铁氧体磁环



铁氧体低通滤波器的阻抗

$$Z(f) = R(f) + jX(f)$$



■ 谢谢！

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训推荐课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术,内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计,最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计,以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计;通过该套课程的学习,可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计,以及天线及其匹配电路的设计和调试...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程



该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP)公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像,课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结,主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用,匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识,以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您,绝对值得拥有和学习!...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>