

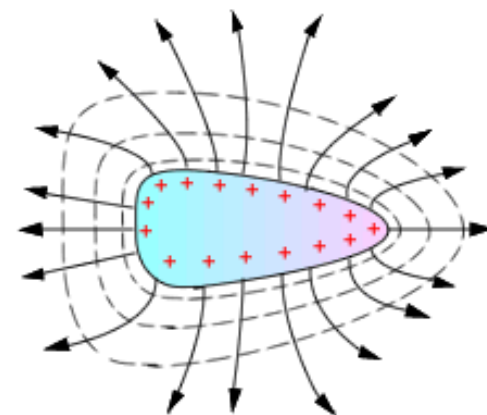
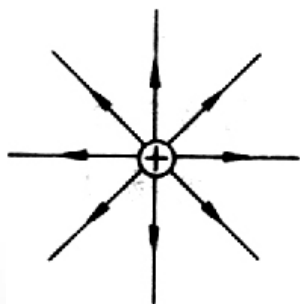
第一章 无源元件 (Passive Component)

① 射频传输特征

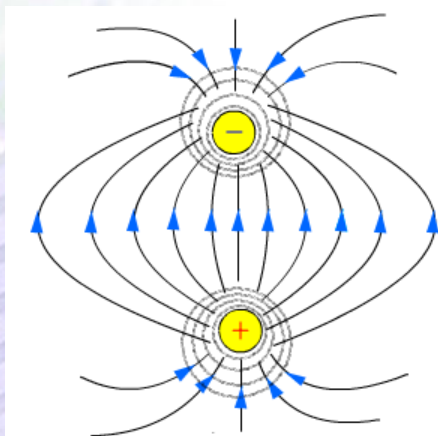
① R、L、C的高频等效分布参数电路

基础知识回顾

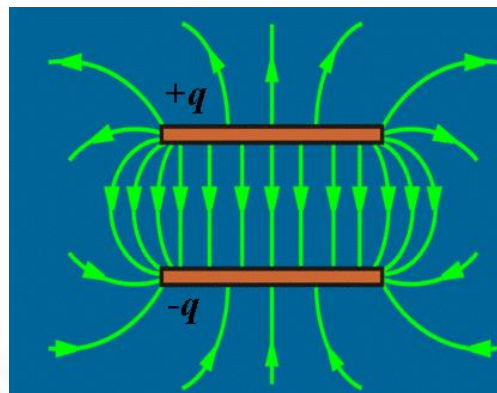
➤ 电荷和电场



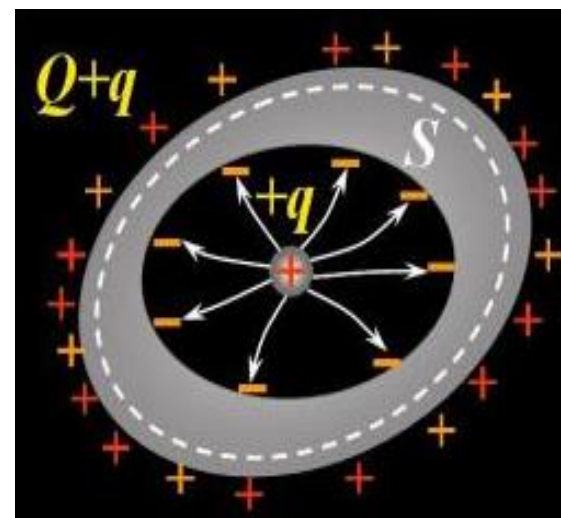
不规则形状的带电导体周围的等势面及电场线(实线表示电场线, 虚线表示等势面)



正, 负点电荷周围的等势面及电场线(实线表示电场线, 虚线表示等势面)



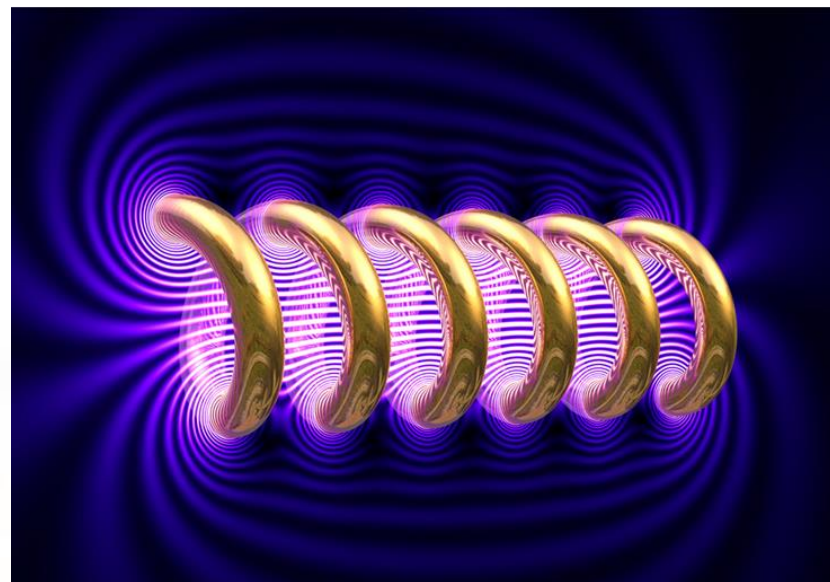
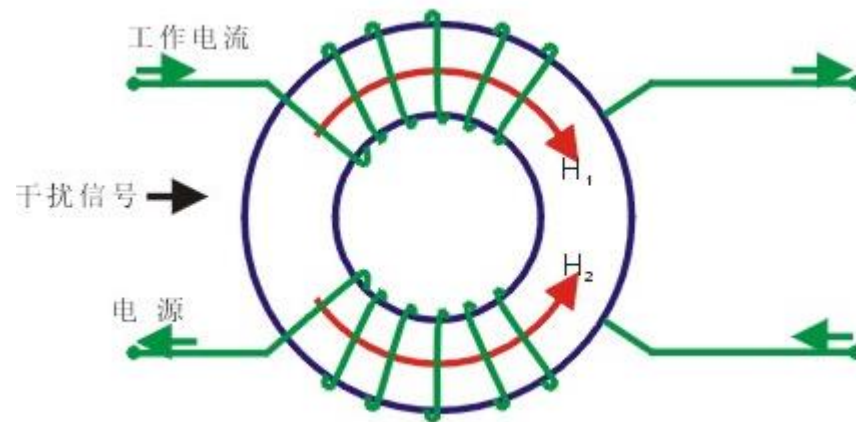
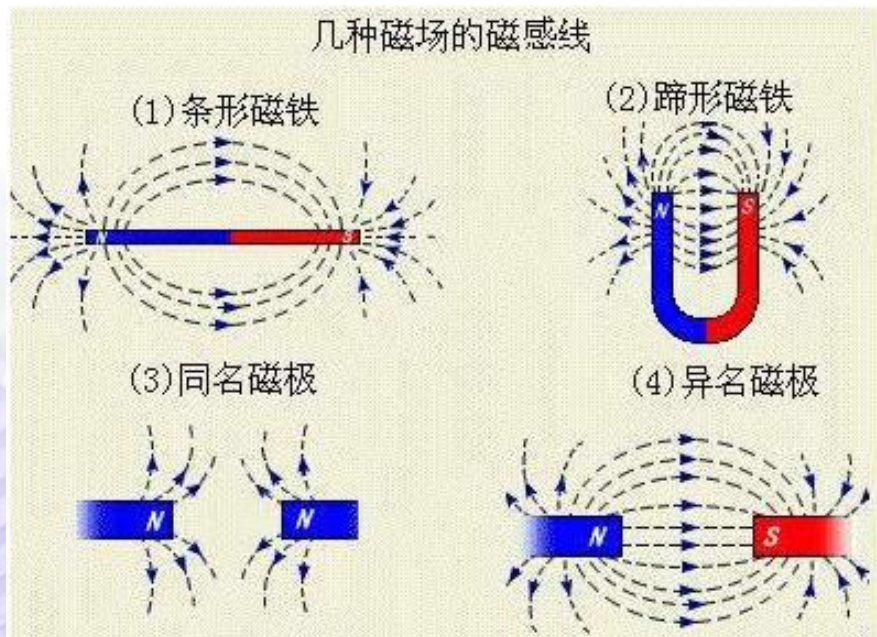
Capacitor



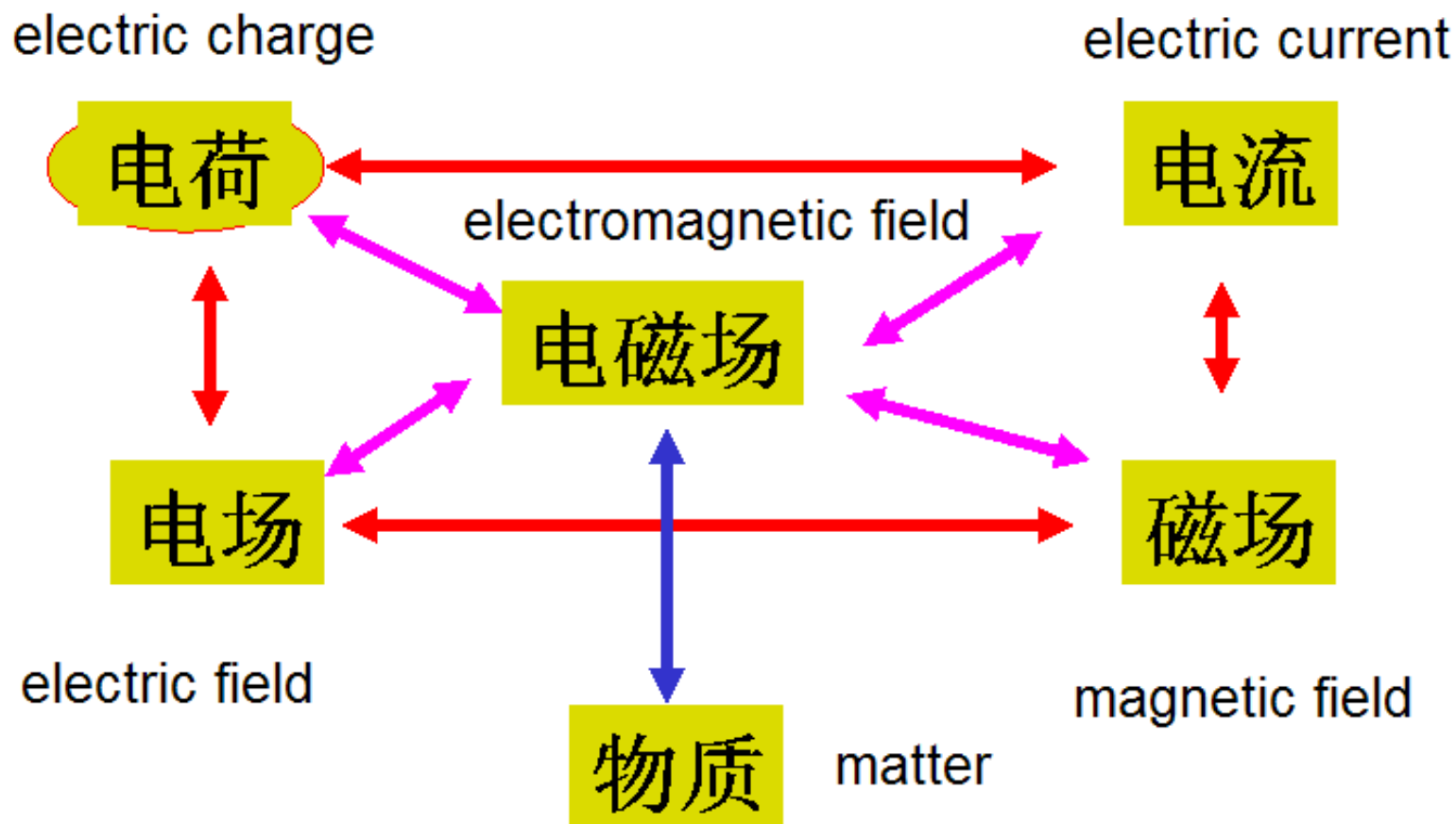
Electric charge

基础知识回顾

➤ 磁场

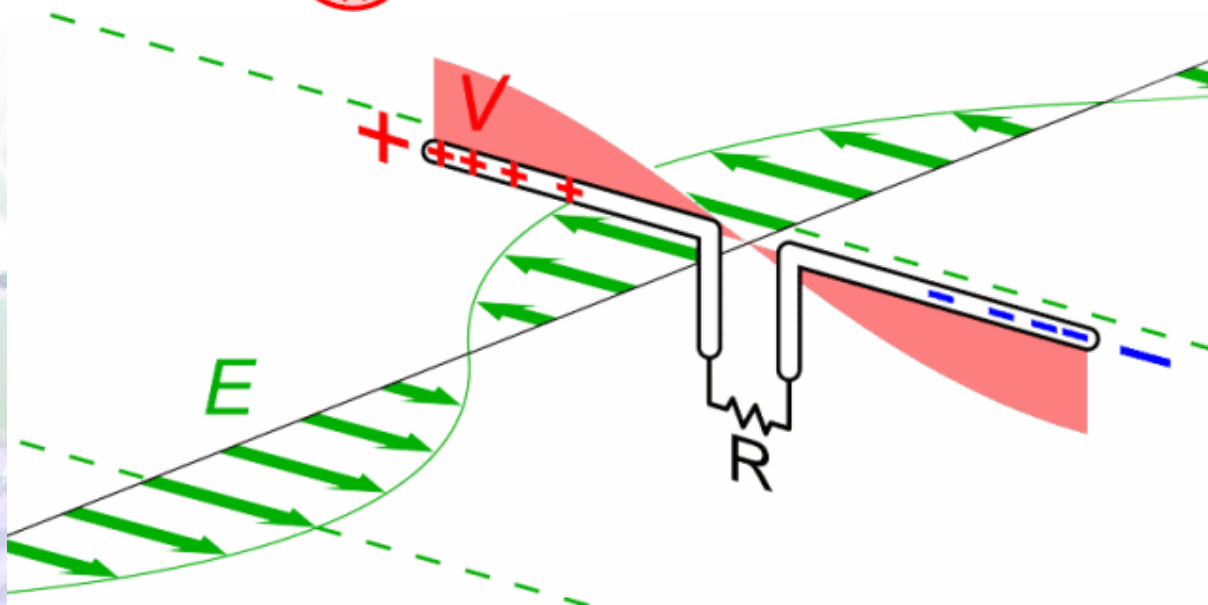
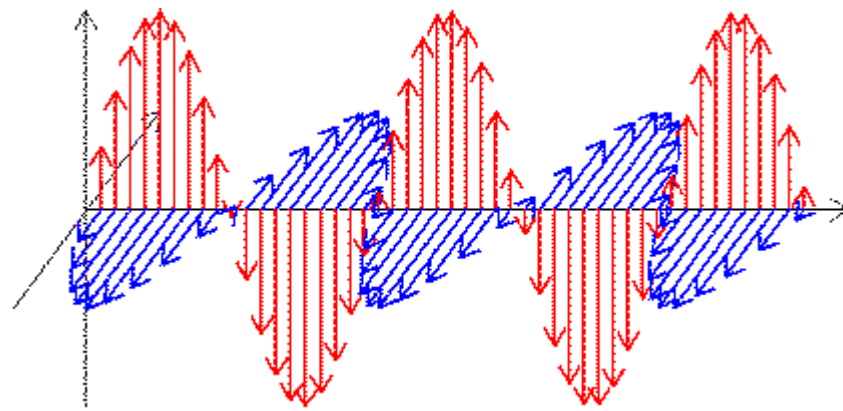
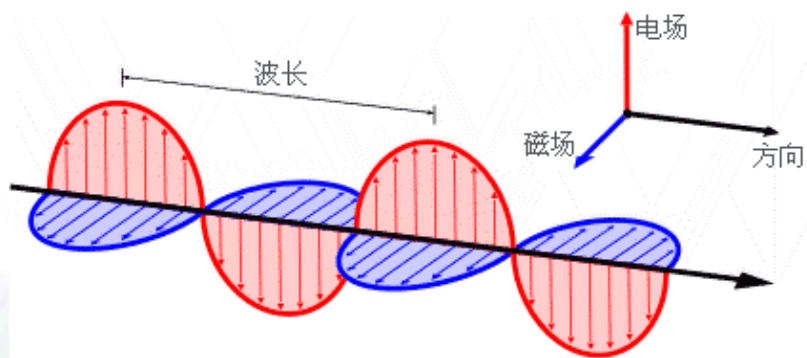


基础知识回顾



基础知识回顾

➤ 电磁波传播示意图



天线上电流方向的变化，产生了变化的电场

射频传输特征

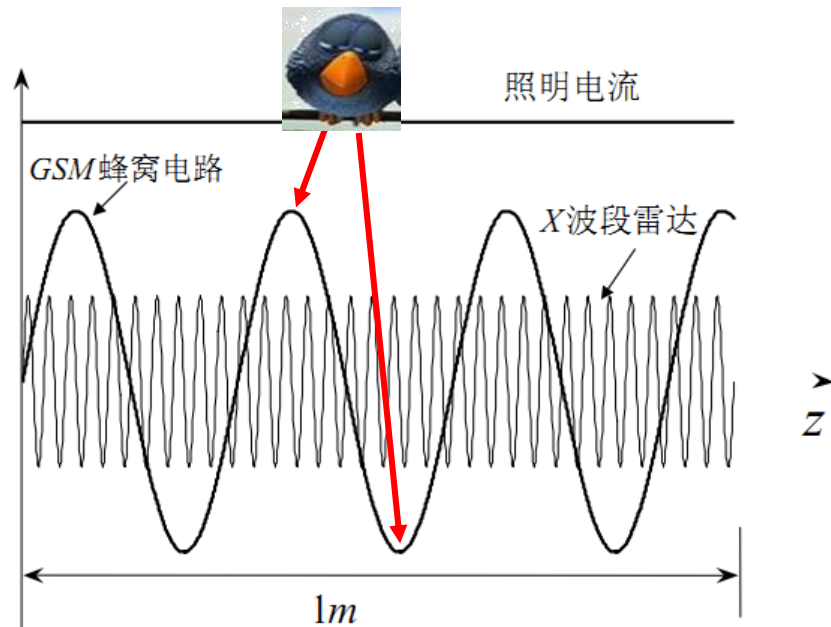


高压线是裸露的，没有绝缘层

$f_1 = 50 \text{ Hz}$ (照明交流电)

$f_2 = 1 \text{ GHz}$ (GSM蜂窝电路)

$f_3 = 10 \text{ GHz}$ (X波段雷达)



$$\lambda_1 = \frac{c}{f_1} = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6 \times 10^6 \text{ m} = 6000 \text{ km}$$

$$\lambda_2 = \frac{c}{f_2} = \frac{3 \times 10^8}{1 \times 10^9} = 0.3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$

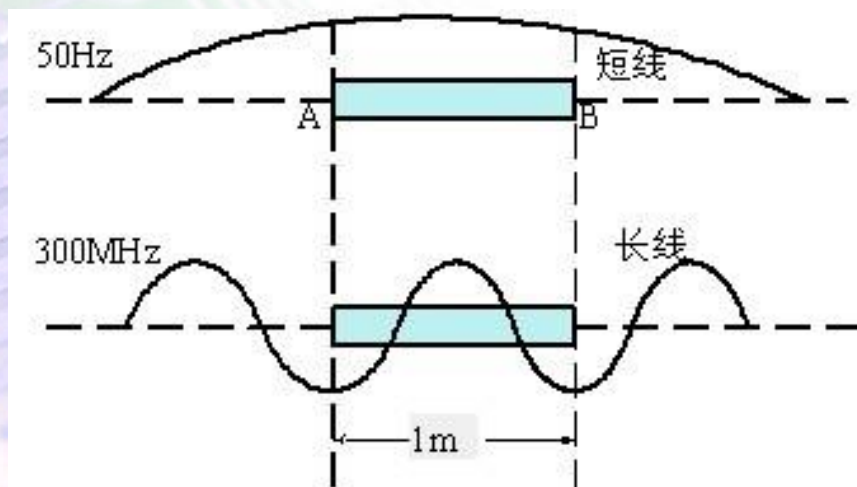
$$\lambda_3 = \frac{c}{f_3} = \frac{3 \times 10^8}{10 \times 10^9} = 0.03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

射频传输特征

◆ U、I是位置与时间的函数

- 微波波段 ($f=10\text{GHz}$, $\lambda=3\text{cm}$, 则在 $l=3\text{cm}$) 线上U、I不可以近似为一样大。 $\lambda < l$ (长线), 分布参数电路。
- 低频电路中 (50周市电: $\lambda=6000\text{km}$, 线上任一点的电压、电流近似为一样, 绕地球一圈只有七个波长) $\lambda \gg l$ (短线), 集中参数电路。

长线和短线



长线上电压的波动现象明显

短线上电压的波动现象可忽略

射频传输特征

➤ 集总参数电路

- 在低频电路中，常常认为电场能量全部集中在电容器中，磁场能量全部集中在电感器中，只有电阻元件消耗电磁能量。由这些**集中参数元件**组成的电路称为**集总参数电路**。

➤ 分布参数电路

- 当频率提高到其波长和电路的几何尺寸可相比拟时，电场能量和磁场能量的分布空间很难分开，而且电路元件连接线的**分布参数效应**不可忽略，这种电路称为**分布参数电路**。

结论：

- 当**波长和分立元件的尺寸**可比拟时，分布效应不可忽略。
- 在高频应用时**电磁波的特性**开始取代**基尔霍夫电压电流定律**而占主导地位。

射频传输特征

◆ 趋肤效应

导线的直流电阻： $R_{DC} = l / (\pi a^2 \sigma_{\text{cond}})$

例：半径 $r_0 = 2\text{mm}$ 铜线的单位长度的直流电阻 R_{DC}

$$R_{DC} = \frac{l}{\pi r_0^2 \sigma_{Cu}} = \frac{l}{3.14 \times (2 \times 10^{-3})^2 \times 64.5 \times 10^6} = 1.23 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$$

$f = 10\text{GHz}$ 时该铜线单位长度的损耗 R ：

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma_{\text{cond}}}} = \frac{1}{\sqrt{3.14 \times 10 \times 10^9 \times 260 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 64.5 \times 10^6}} = 3.89 \times 10^{-8} \text{m}$$

$$R \approx \frac{a}{2\delta} R_{DC} = \frac{2 \times 10^{-3}}{2 \times 3.89 \times 10^{-8}} \times 1.23 \times 10^{-3} = 31.6 \Omega/\text{m} \quad \boxed{R/R_{DC} \approx 25690}$$

射频传输特征

◆ 趋肤效应

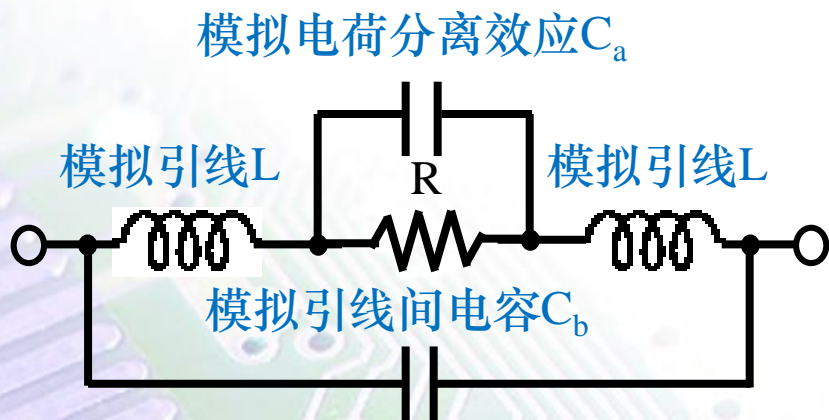
- 对DC信号，传导电流流过整个导体横截面
- 在AC时，交变的载流子形成交变磁场，该磁场又感应一个电场，与该电场相关联的电流密度与原始的电流相反，在中心感应最强，所以导体中心的电阻最大，**随着频率的提高，电流趋向于导体外表——趋肤效应**

导体损耗不可忽略！

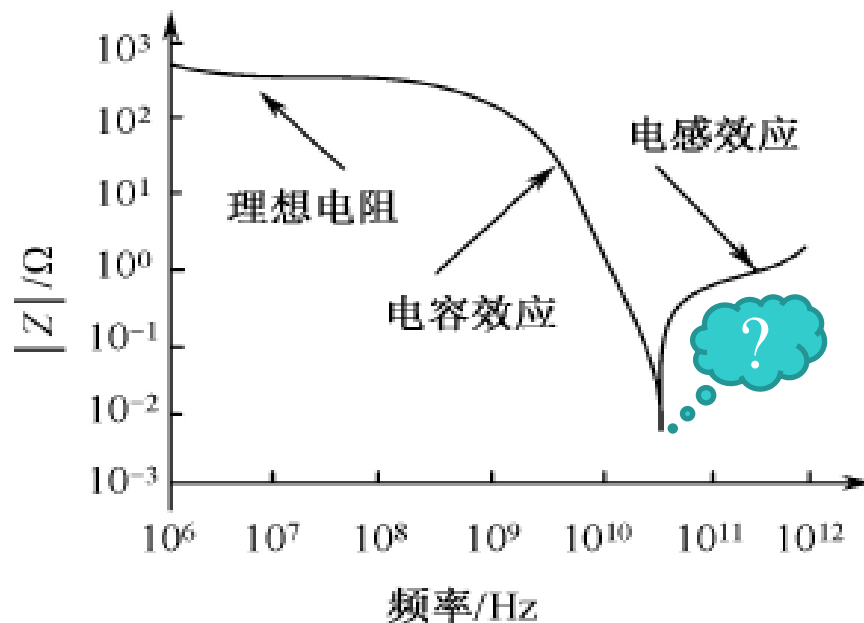
R、L、C的高频等效分布参数电路

电阻、电容和电感是最为常见的三种无源元件，广泛应用于射频/微波电路设计中。在频率较低的情况下，这些元件可近似为理想元件，而在射频/微波频段，必须考虑这些元件的寄生参数效应。

电阻



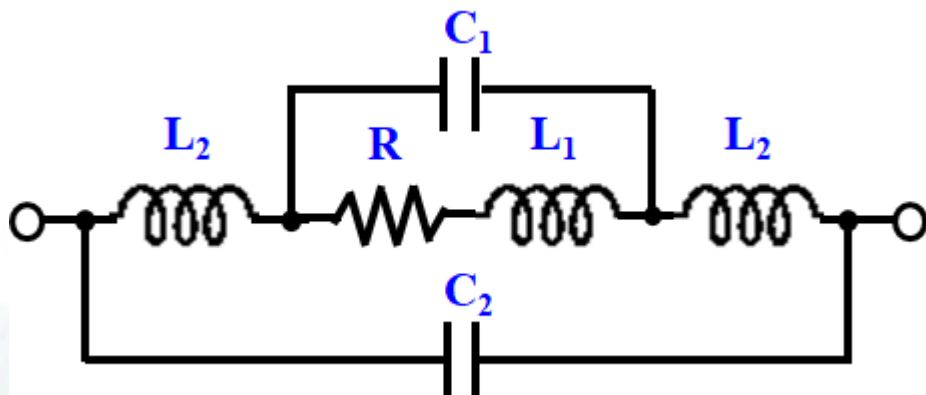
高频电阻等效电路表示法



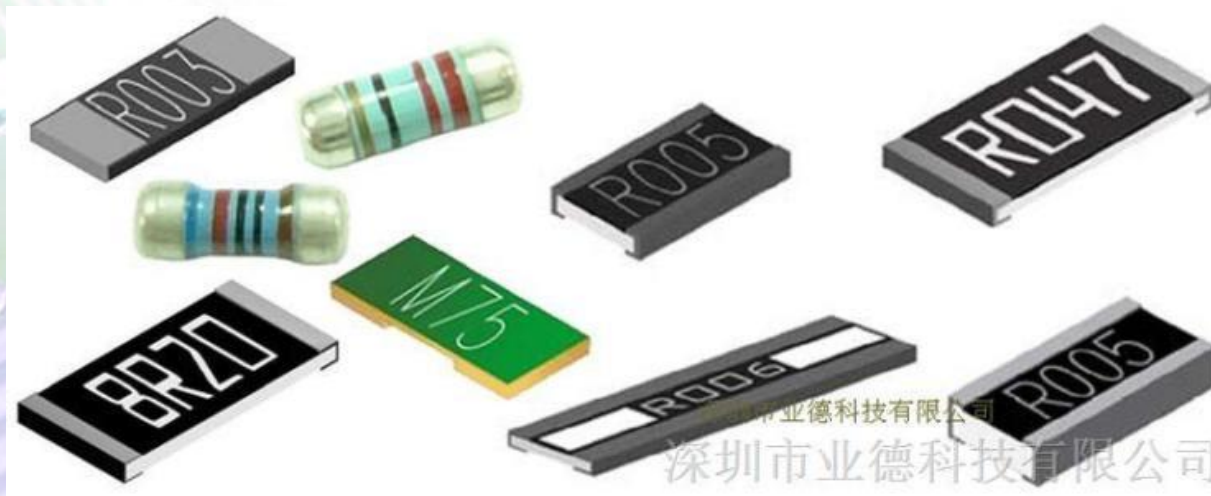
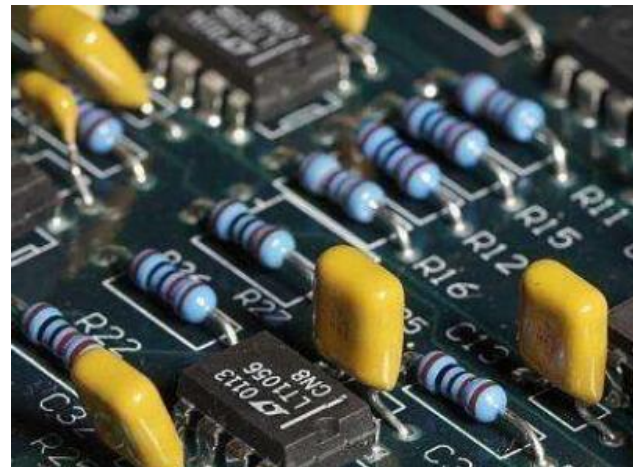
500 Ω 金属膜电阻与频率的关系



R、L、C的高频等效分布参数电路



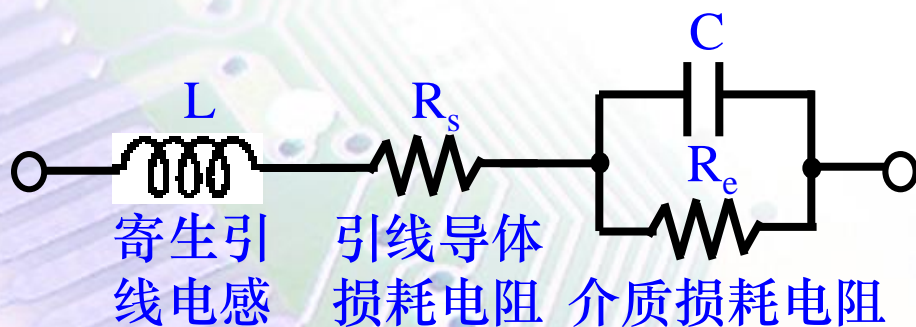
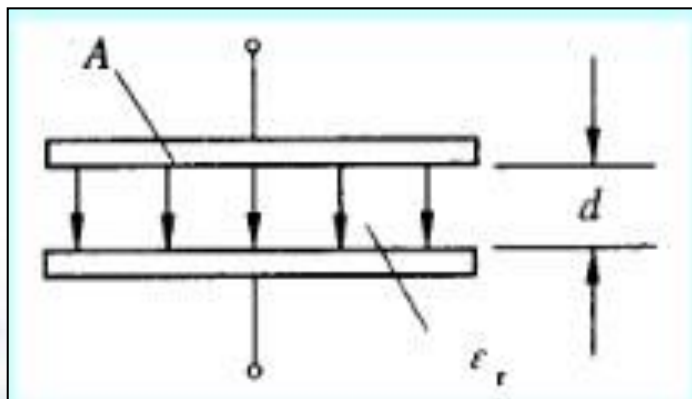
高频线绕电阻等效电路表示法



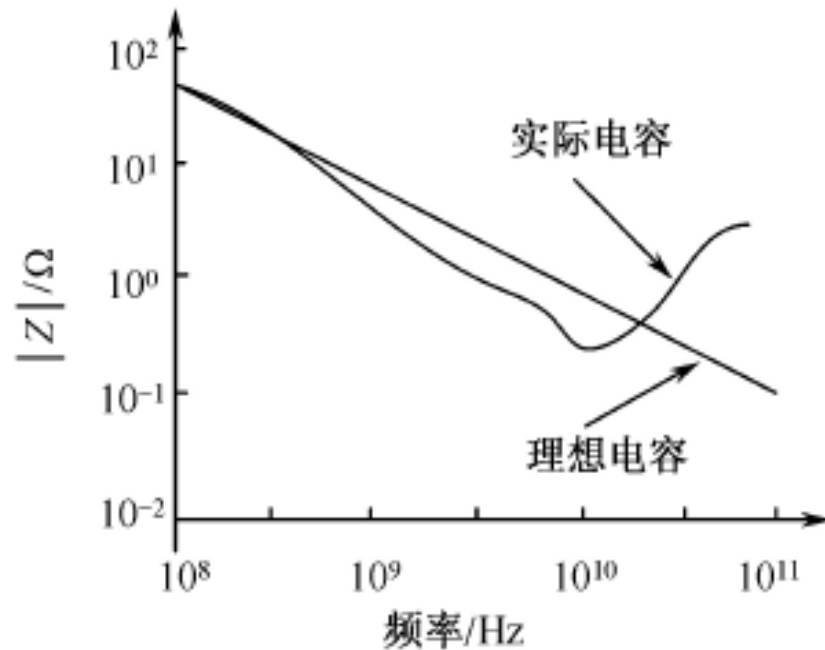
深圳市业德科技有限公司
深圳市业德科技有限公司

R、L、C的高频等效分布参数电路

电容



高频电容的等效电路



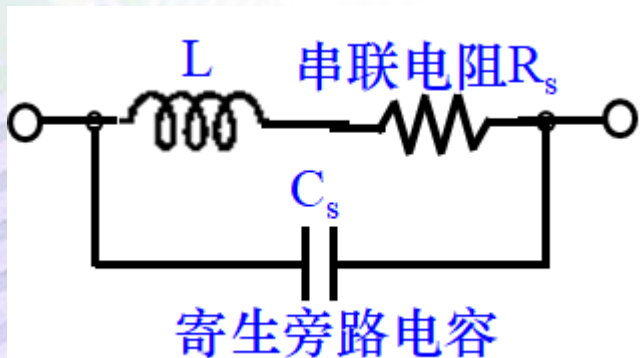
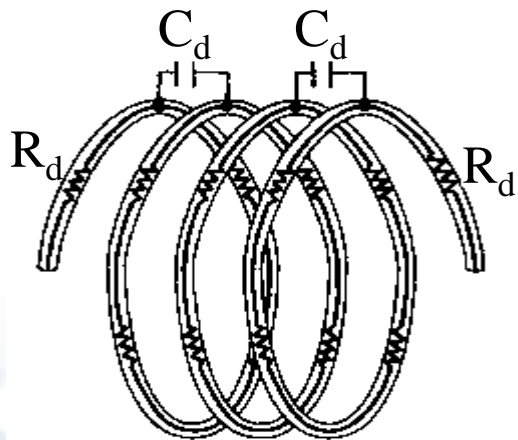
47pF电容的阻抗绝对值与频率的关系

R、L、C的高频等效分布参数电路

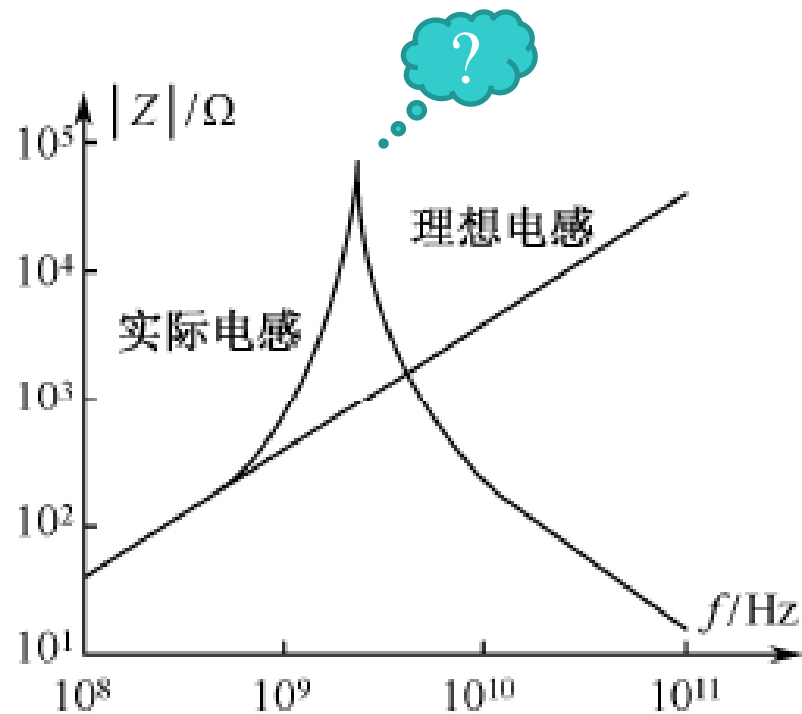


R、L、C的高频等效分布参数电路

电感



高频电感的等效电路



扼流圈阻抗绝对值随频率的变化关系

R、L、C的高频等效分布参数电路

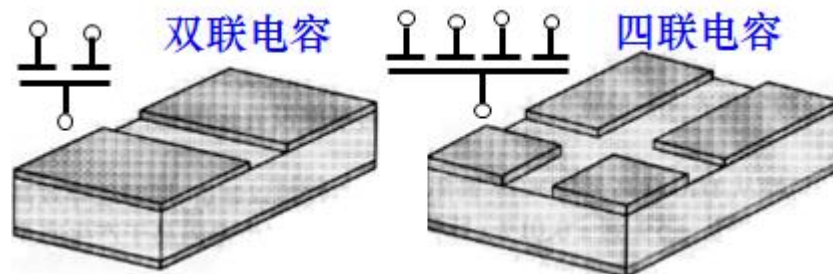
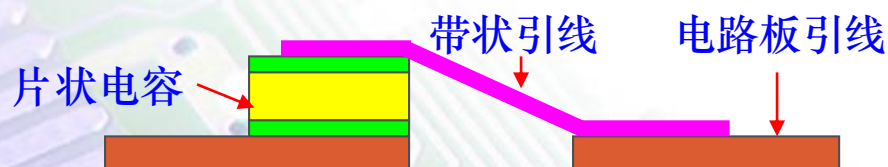


R、L、C的高频等效分布参数电路

片状电阻

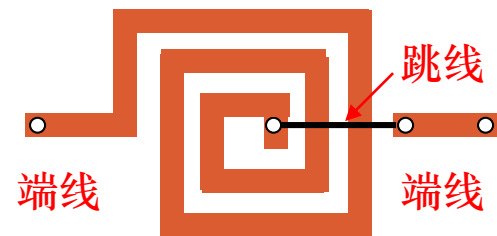
几何形状	尺寸代码	长(l) mil	宽(w) mil
 <p>标称值 陶瓷体 接触片</p>	0402	40	20
	0603	60	30
	0805	80	50
	1206	120	60
	1218	120	180

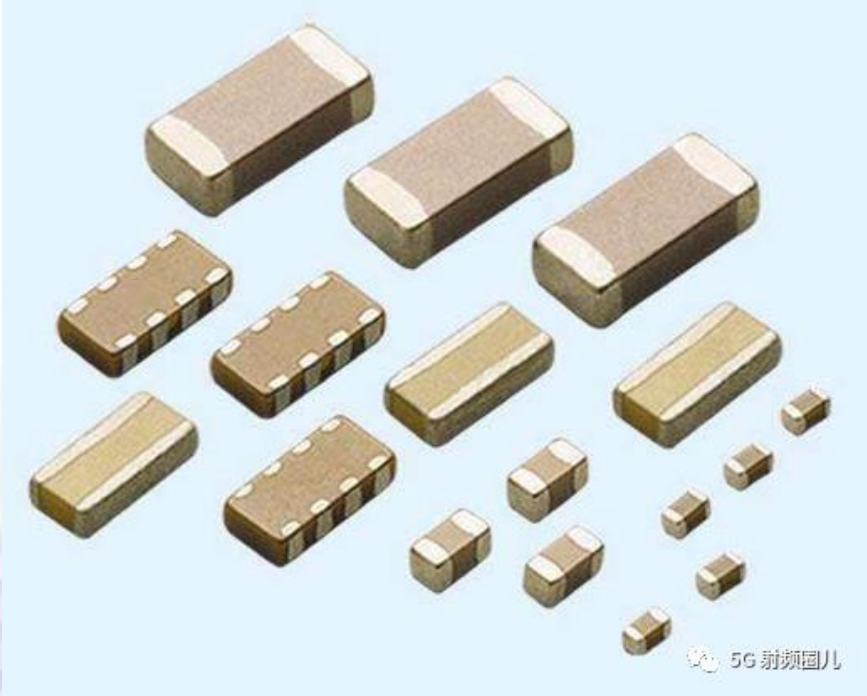
片状电容



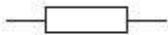
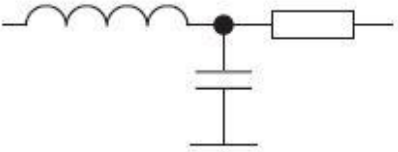


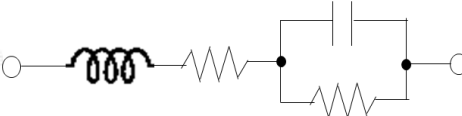
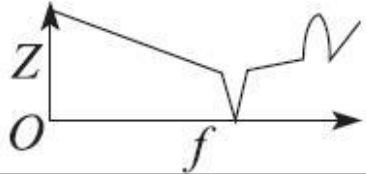

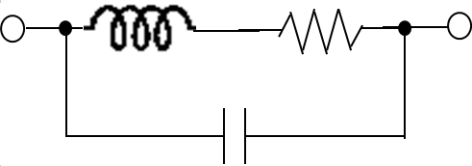
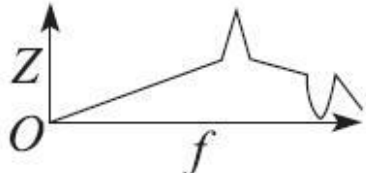

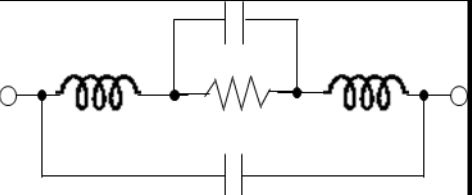
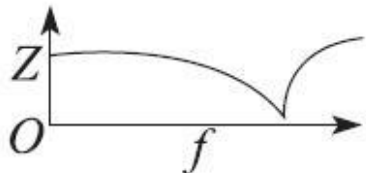
片状电感

最通用的表面安装电感仍采用线绕线圈，对厚度受到严格限制的电路采用扁平线圈。





R、L、C的高频等效分布参数电路

元件	低频等效电路	高频等效电路	射频响应
导线			
电容器			
电感器			
电阻器			

课堂测试

- 1、微波射频传输的特征有？（与低频比）
- 2、射频通信系统的的主要部件有？
- 3、给出电容的射频分布参数等效电路。
- 4、微波的频率范围是？波长为？