

板级射频电路开发



第一讲 微带线工作原理

主讲：汪 朋

QQ: 3180564167

01

微带线原理

02

微带线与LC

03

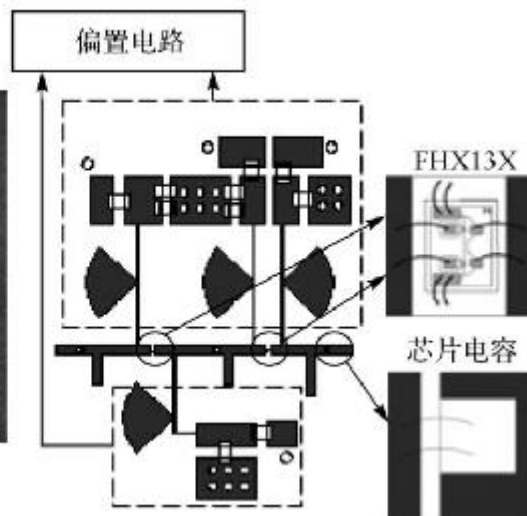
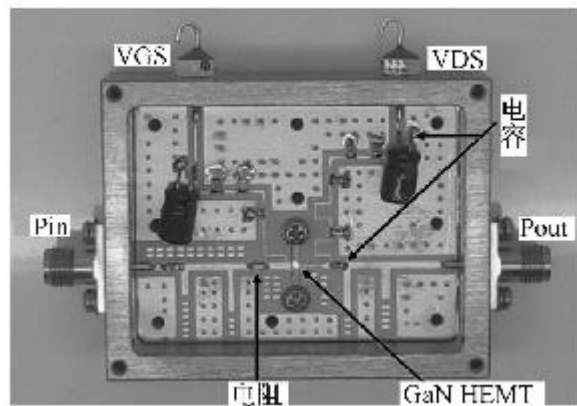
微带交指电容

04

微带匹配电路技术

微带线

微带线



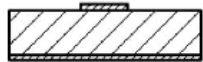
Part

1

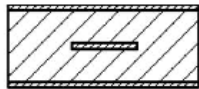
微带线原理

微带线结构

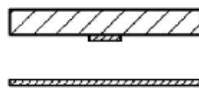
微带线是微波集成电路中广泛使用的一种平面型传输线。微带线或由微带线构成的微波元件，大多采用薄膜（如真空镀膜）和光刻等工艺在介质基片上制作出所需要的电路



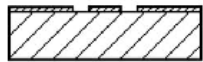
(a) 微带线



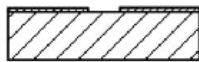
(b) 带状线



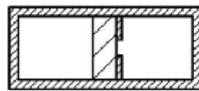
(c) 悬/倒置微带线



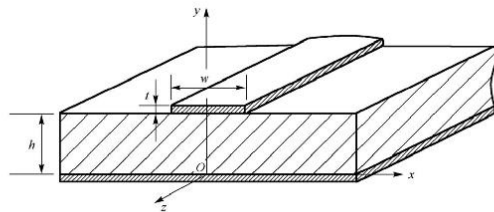
(d) 共面线



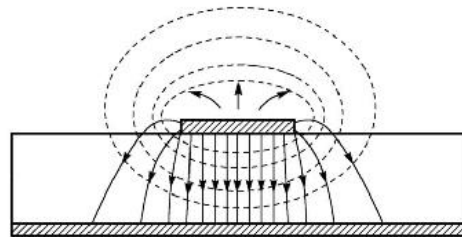
(e) 槽线



(f) 鳍线 (单面)



(a) 结构示意图

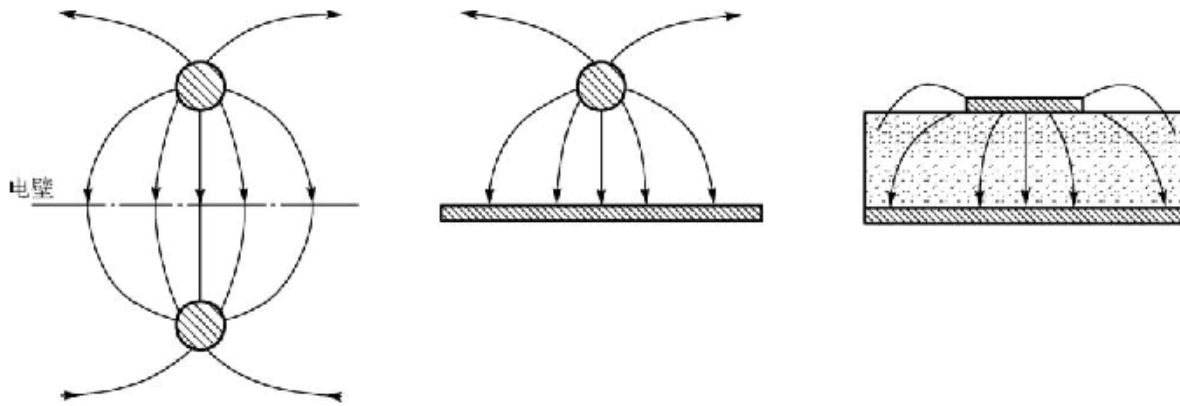


(b) TEM波场分布

微带线结构

微带传输线可看成由平行双线演变而来

微带线填充两种介质，标准的TEM波无法满足介质基片和空气分界面上的边界条件，因此微带线传输的是准TEM波。

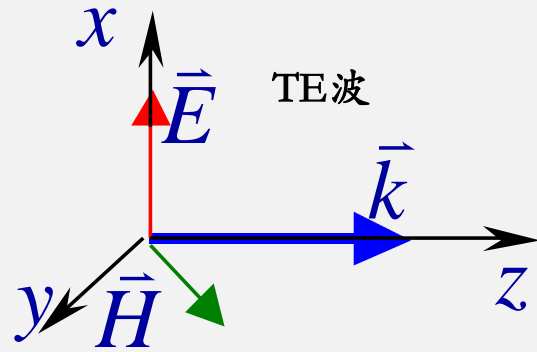
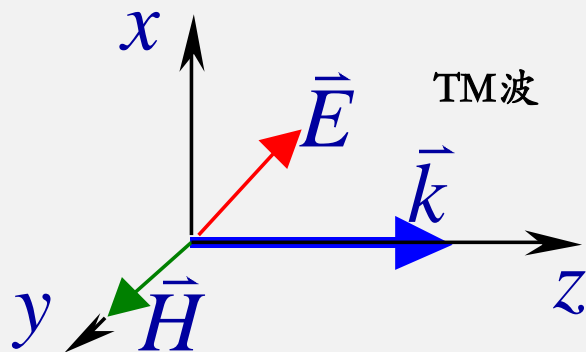
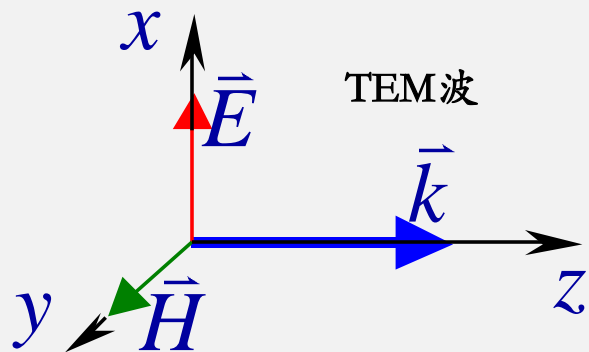


导波模式

横电磁波(TEM波): 在波传播的方向上没有电场或磁场分量, 即电场和磁场垂直于传播方向;

横磁波(TM波或E波): 在波传播的方向上有电场分量, 但没有磁场分量, 即磁场垂直于传播方向;

横电波(TE波或M波): 在波传播的方向上有磁场分量, 但没有电场分量, 即电场垂直于传播方向;



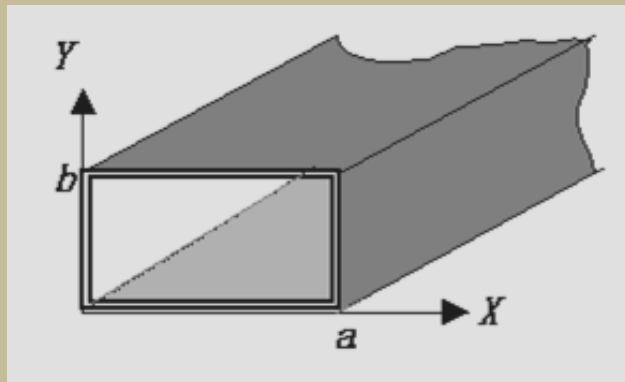
矩形波导

是指横截面为矩形的空心导波装置，电磁波在导体的空腔内传播时，其内传播的电磁波只能是TE和TM波。

TM波

Z方向电场分量

$$\begin{cases} E_z = E_0 \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \\ E_x = -\frac{\Gamma}{h^2} \frac{m\pi}{a} E_0 \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z} \\ E_y = -\frac{\Gamma}{h^2} \frac{n\pi}{b} E_0 \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z} \\ H_x = j \frac{\omega\varepsilon}{h^2} \frac{n\pi}{b} E_0 \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z} \\ H_y = -j \frac{\omega\varepsilon}{h^2} \frac{m\pi}{a} E_0 \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z} \end{cases}$$



矩形波导内有无穷多个TM模式在传播，波导中的场分布为所有不同模式场的叠加，TM波的场分量对应不同的m和n，代表不同的TM场结构模式。

矩形波导

是指横截面为矩形的空心导波装置，电磁波在导体的空腔内传播时，其内传播的电磁波只能是TE和TM波。

TE波

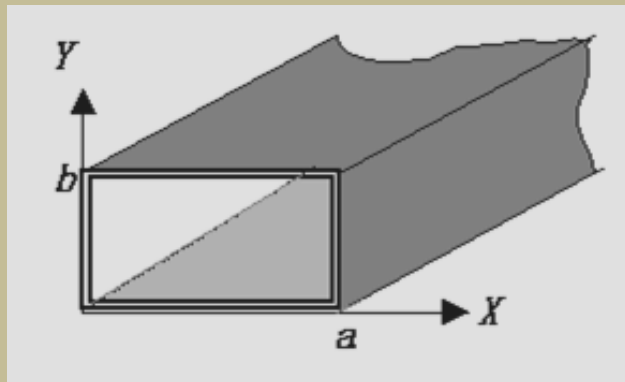
$$H_z = H_0 \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z}$$

$$H_x = \frac{\Gamma}{h^2} \frac{m\pi}{a} H_0 \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z}$$

$$H_y = \frac{\Gamma}{h^2} \frac{n\pi}{b} H_0 \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z}$$

$$E_x = j \frac{\omega\mu}{h^2} \frac{n\pi}{b} H_0 \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z}$$

$$E_y = -j \frac{\omega\mu}{h^2} \frac{m\pi}{a} H_0 \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\Gamma z}$$



矩形波导内有无穷多个TE模式在传播，波导中的场分布为所有不同模式场的叠加。

简并模

矩形波导

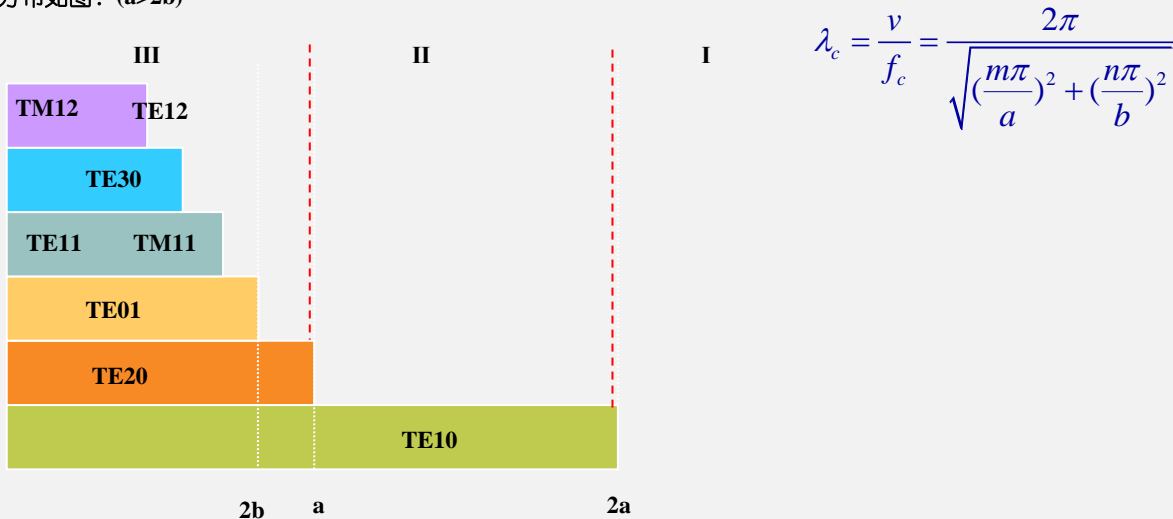
矩形波导中可能存在的模式有 $TM_{mn}(m>0, n>0)$ 和 $TE_{mn}(m\geq 0, n\geq 0)$ ，每种波型对应应有各自的截止波长，若不同的模式的波具有相同的截止波长，称为这两种模式简并。矩形波导中 TM_{mn} 和 TE_{mn} 当 m 和 n 分别相等时，为简并波形。

当工作波长 $\lambda > 2a$ 时，矩形波导中不能传播任何电磁波。

当工作波长 $a < \lambda \leq 2a$ 时，矩形波导中只能传播单一的电磁波模式 TE_{10} 模。

当工作波长 $\lambda \leq a$ 时，矩形波导中至少可以传播两种以上的电磁波模式。

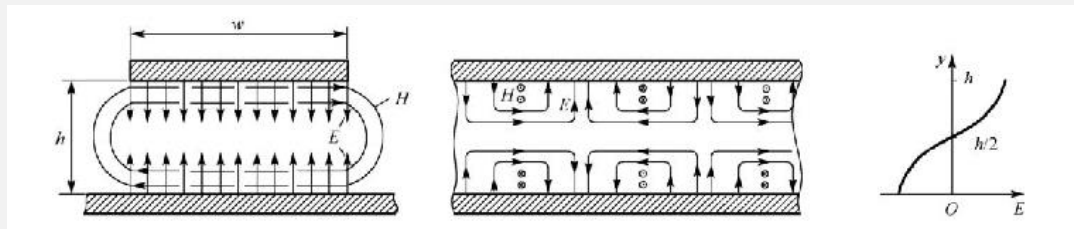
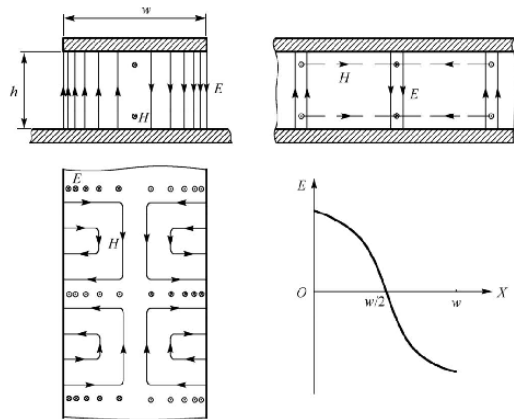
各种模式的截止波长分布如图： $(a>2b)$



微带线理论

微带线波导模

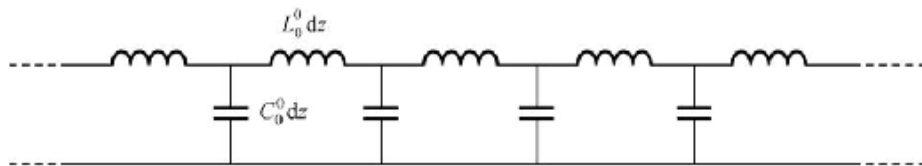
波导模是指在金属导带与接地板之间构成有限宽度的平板波导中存在的TE、TM模。最易产生的波导模是平板波导的最低TE模和TM模，即TE₁₀模和TM₀₁模。



微带线理论

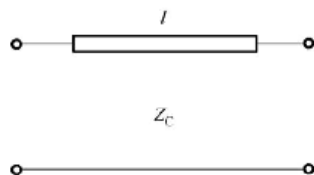
微带线等效电路

对于无耗空气微带线，其分布参数元件为并联电容和串联电感。

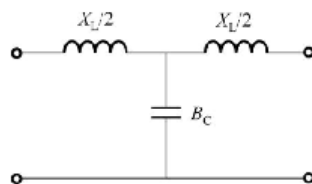


Part 2 微带线与LC

电容和电感等效



(a) 传输线



(b) 对应的集总元件等效电路

$$\begin{cases} \cos \beta l = 1 - \frac{X_L B_C}{2} \\ \frac{\sin \beta l}{Z_C} = B_C \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_L = 2Z_C \tan\left(\frac{\beta l}{2}\right) = 2Z_C \tan\left(\frac{\pi l}{\lambda_g}\right) \\ B_C = \frac{\sin \beta l}{Z_C} = \frac{1}{Z_C} \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \end{cases}$$

微带线电容和电感等效关系

对于某一确定的频率， Z_c 和 X_L 成正比，而与 B_C 成反比，因此使用一段高阻线可实现电感，而使用一段低阻线可实现电容。

电容实现：

设定 Z_c 较小，当微带线长度 $l < 0.25\lambda_g$ ，若 $Z_c \ll 1/Z_c$ ，此时低阻抗微带线可以等效为电容；

电感实现：

设定 Z_c 较大，当微带线长 $0.25\lambda_g < l < 0.5\lambda_g$ ，若 $Z_c \gg 1/Z_c$ ，此时高阻抗微带线可以等效为电感。

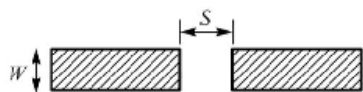
工程实现方式：

设定 Z_{0l} 和 Z_{0c} 为传输线的高低阻抗值，满足 $Z_{0c} < Z_0 < Z_{0l}$ ，则高低阻抗微带线即可等效为电感和电容，其 Z_{0c} 越小， Z_{0l} 越高，近似程度越好。

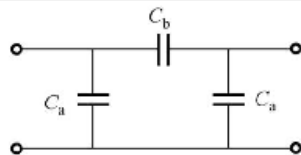
滤波器设计中，以经验公式 $Z_{0l} > \frac{g_l Z_0}{\pi/4}$ 和 $Z_{0c} < \frac{\pi}{4} \times \frac{Z_0}{g_c}$ 近似电感和电容，以长度确定相应的工作频率。

[1] 间隙电容

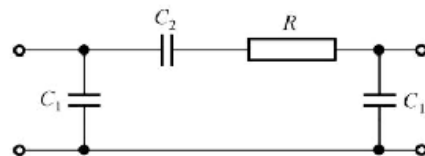
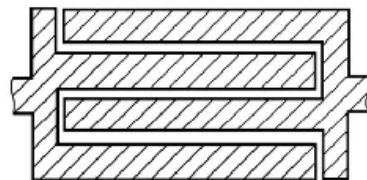
[2] 交指电容



(a) 间隙电容结构图

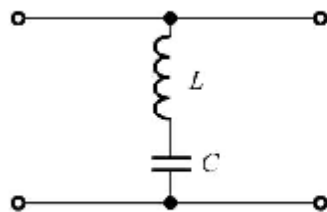


(b) 对应的等效电路

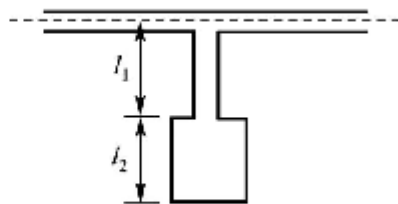


[1] LC串联谐振器

LC谐振器的本质：利用或激发微带线自身的等效集总电路，即在无耗的微带线上并联不同长度和不同阻抗的微带线，即可构成不同形态的LC谐振器。



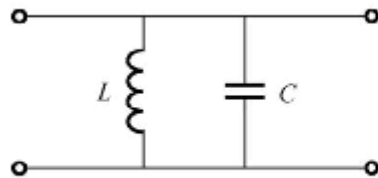
(a) 集总参数等效模型



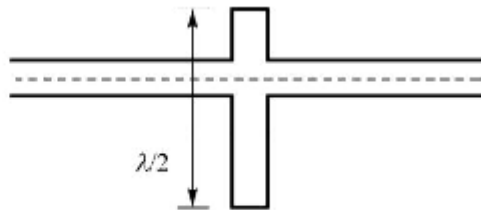
(b) 对应的微带电路模型

[2] LC并联谐振器

用一段半波长微带线跨接在主传输线上，两端开路，它的结构中短于 $1/4$ 波长部分相当于电容，而长于 $1/4$ 波长部分相当于电感，它们共同并联于主线上。



(a) 集总参数等效模型



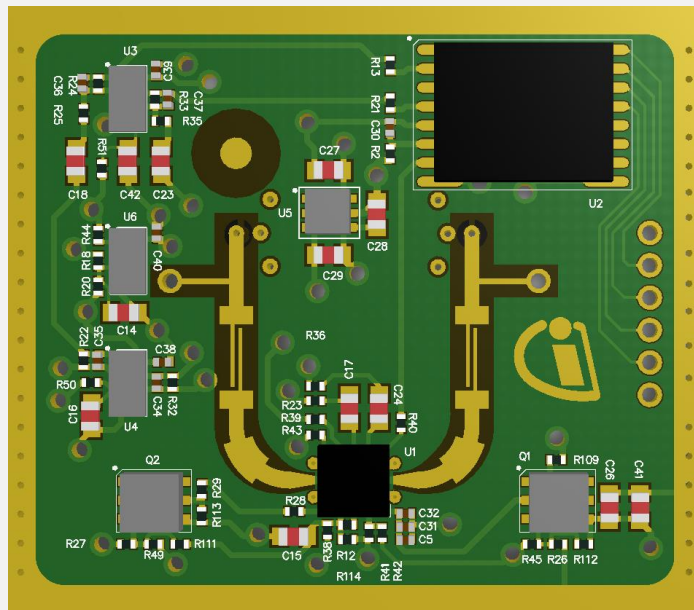
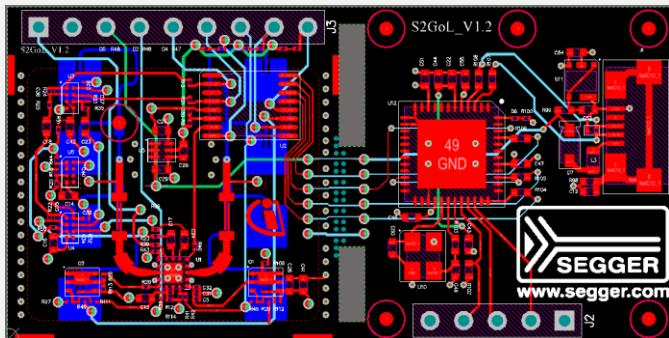
(b) 对应的微带电路模型

Part

3

微带线交指电容

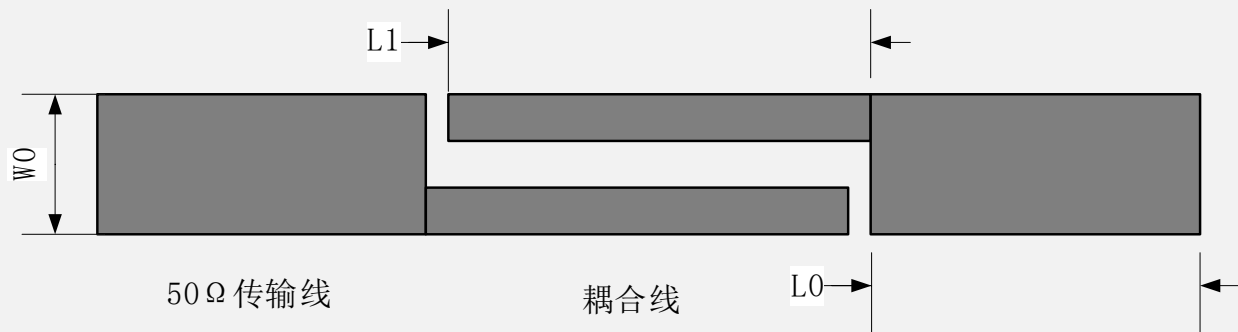
交指电容主要用于滤波器设计和高频微波电路中的隔直作用。



交指电容主要考虑耦合线尺寸即可。

设计方法：

耦合线在对应频段满足 $(Z_{oc}-Z_{oo})/2=50\Omega$ ， $L1=0.25$ 个工作波长。

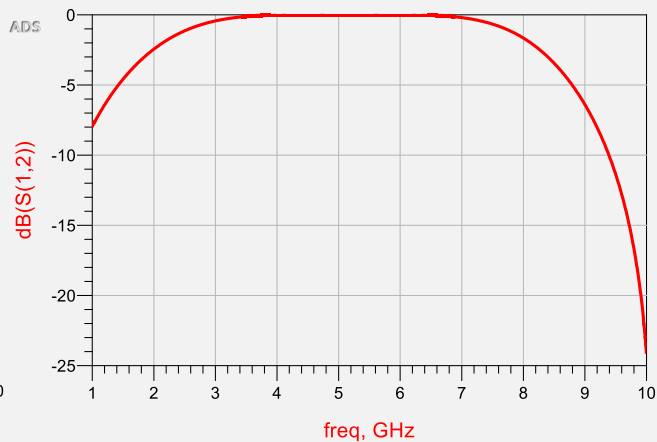
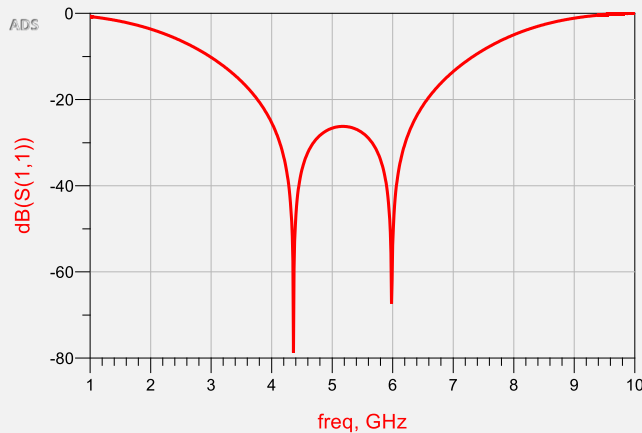
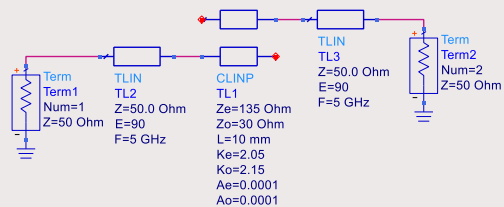


交指电容设计

交指电容主要考虑耦合线尺寸即可。

设计方法：

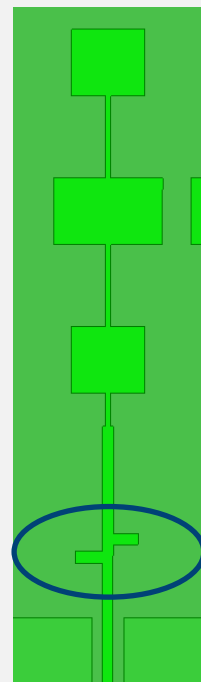
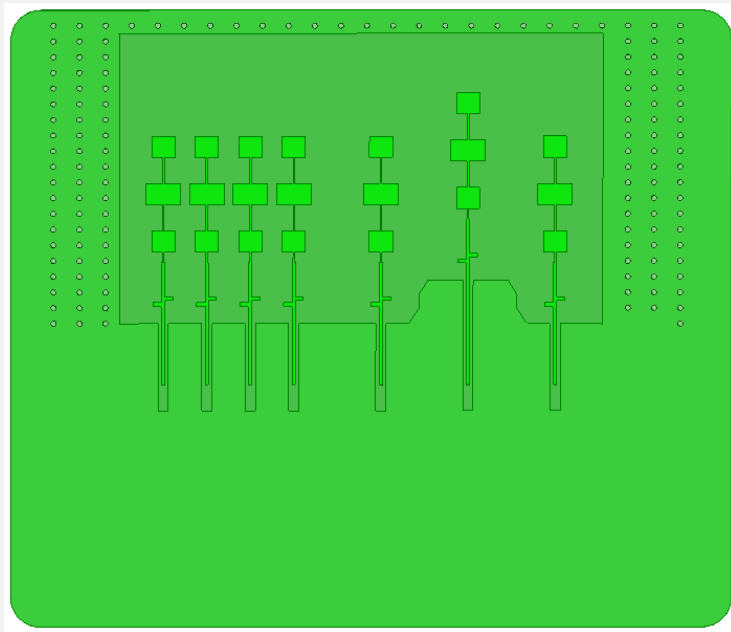
耦合线在对应频段满足 $(Z_{oe}-Z_{oo})/2=50\Omega$ ， $L1=0.25$ 个工作波长。



Part 4 微带线匹配技术

微带线理论

微带线匹配



单支节匹配电路

[1] 并联终端开路传输线

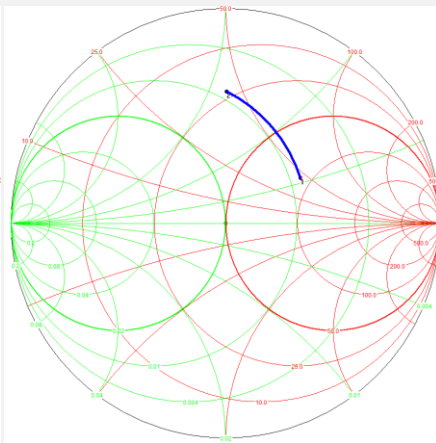
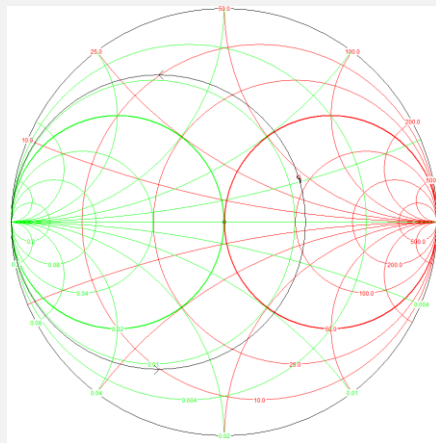
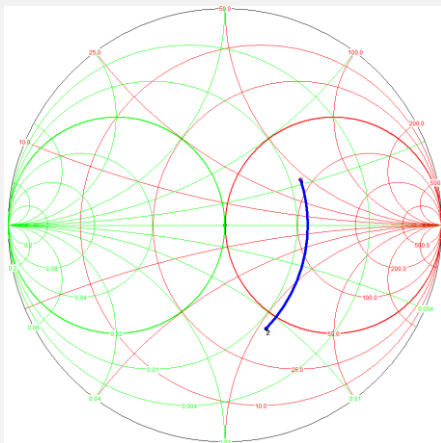
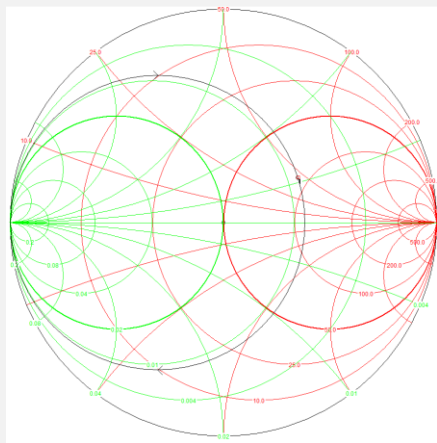
$$Z_{in} = -jZ_0 \cot \beta l = -jZ_0 \cot \frac{2\pi l}{\lambda} = -jX_{in}$$

当微带线长度 $\frac{n}{2}\lambda < l < \frac{n}{2}\lambda + \frac{1}{4}\lambda$, 可用终端开路的传输线代替并联电容元件, 在smith圆图上顺时针转动。

[2] 并联终端短路传输线

$$Z_{in} = jZ_0 \tan \beta l = jZ_0 \tan \frac{2\pi l}{\lambda} = jX_{in}$$

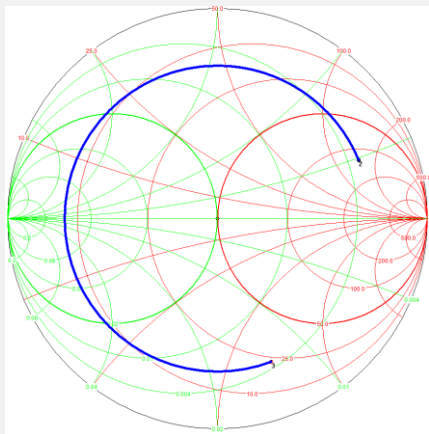
当微带线长度 $\frac{n}{2}\lambda < l < \frac{n}{2}\lambda + \frac{1}{4}\lambda$, 可代替并联电感, 在圆图上面逆时针转动。



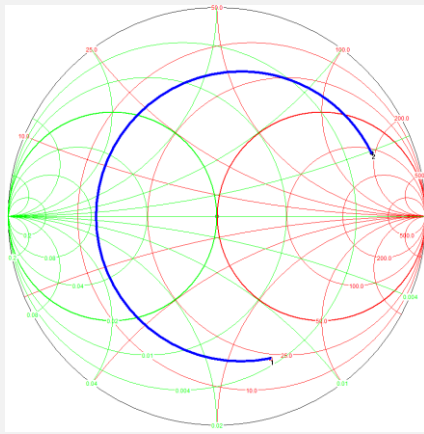
串联传输线

串联传输线可以使阻抗沿着等反射系数圆移动。

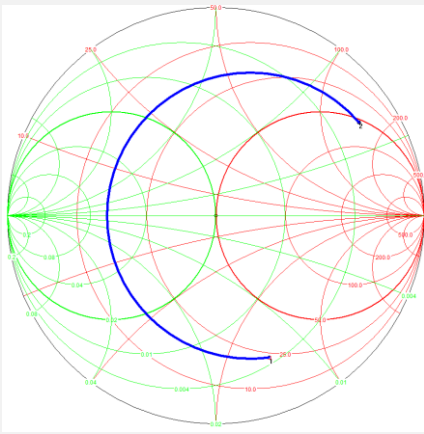
$Z=50$



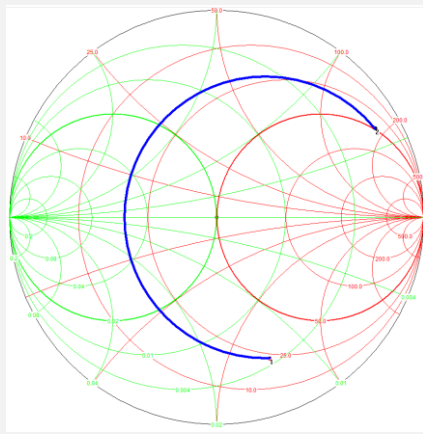
$Z=80$



$Z=100$



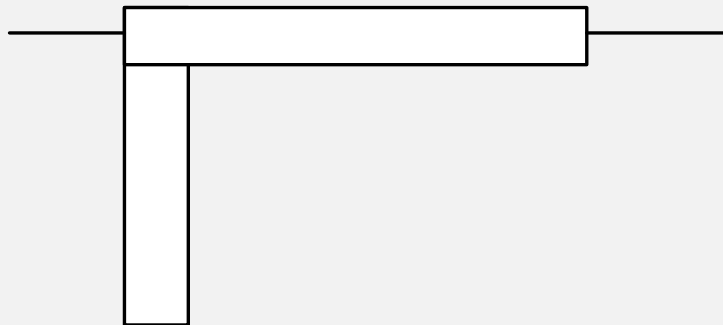
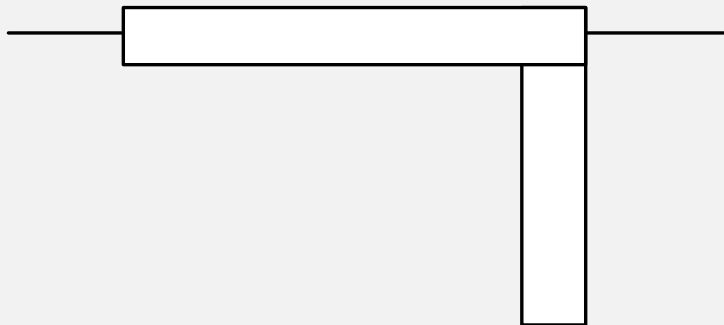
$Z=150$



微带线理论

微带匹配网络拓扑

微带匹配原理

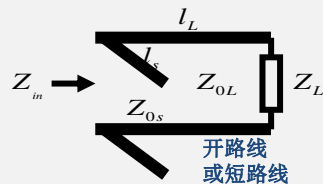
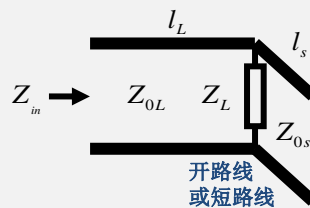
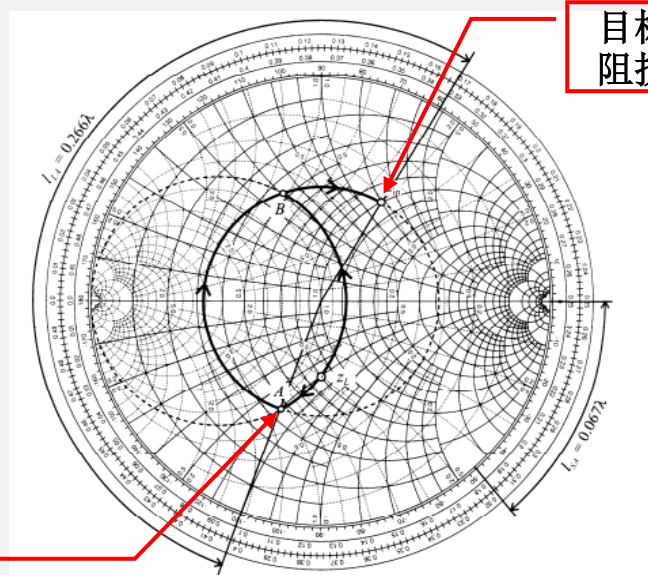


微带线理论

微带匹配原理

匹配示例

匹配思路：通过串联和并联传输线，从起始阻抗移动到目标阻抗





THANK YOU !!