射频电路开发培训

第六讲 匹配电路

主讲：汪　朋
QQ：3180564167

目录页

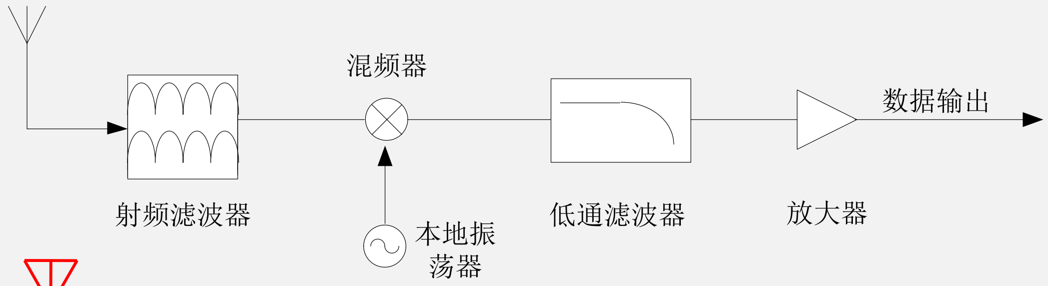
Part 1

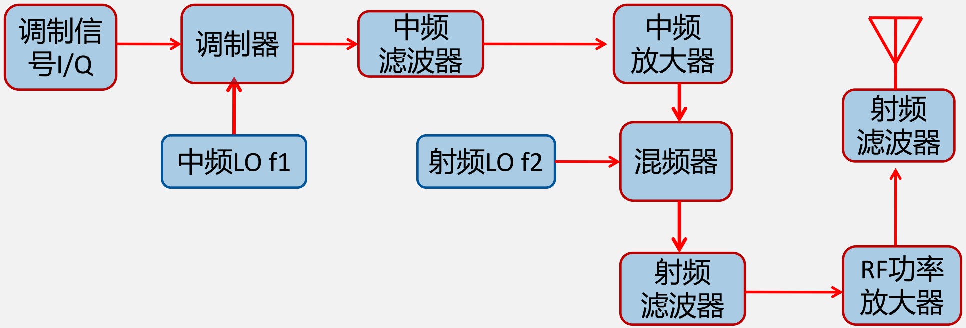
阻抗匹配本质

匹配电路

匹配的必要性

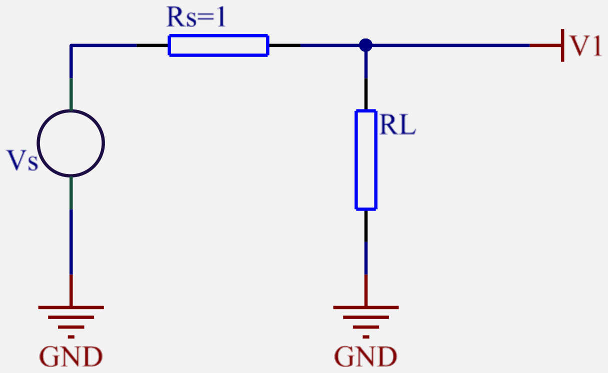
(1) 射频电路中，信号电平过小，无法容忍损耗；
(2) 最大功率传输要求





匹配电路

直流电路最大功率传输分析

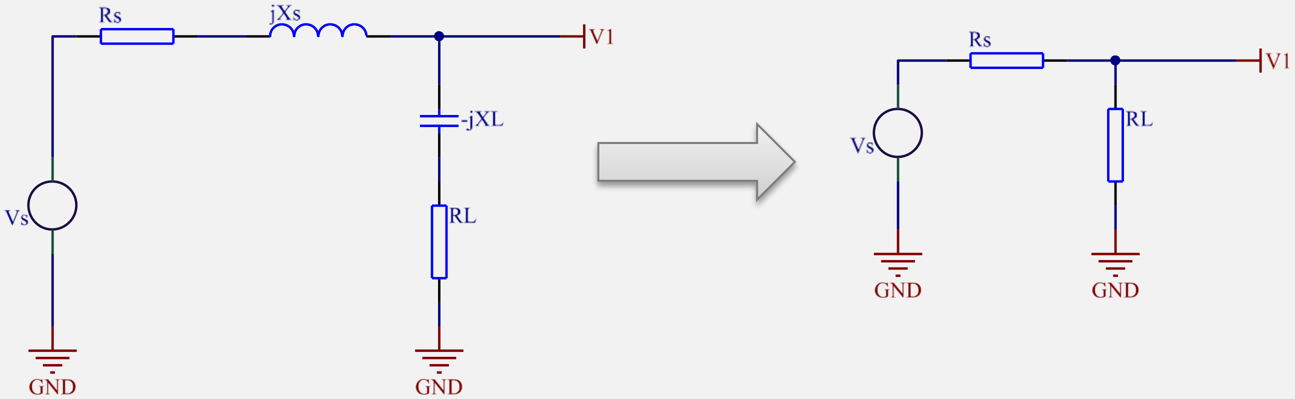


如何使负载RL获得最大功率？

$$P_1 = \frac{R_L}{(1+R_L)^2}$$

匹配电路

交流电路最大功率传输分析

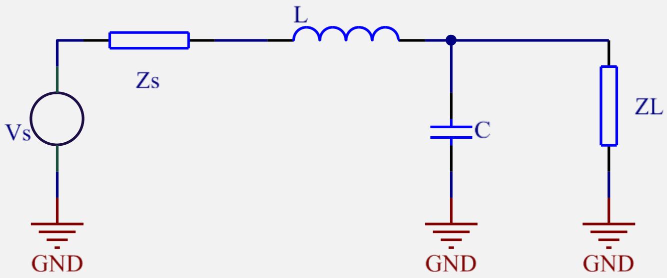


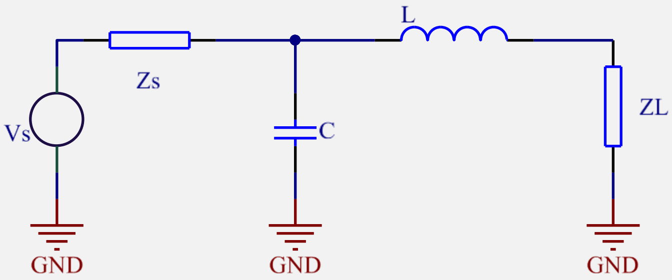
Part 2

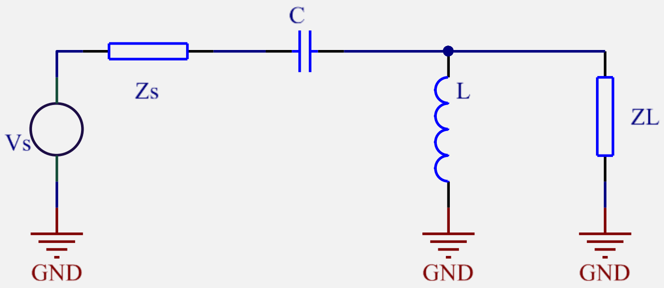
双元件匹配网络

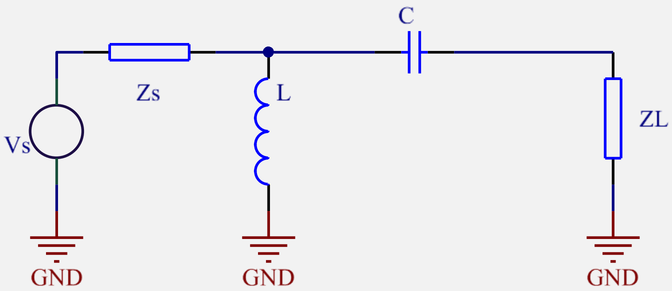
匹配电路

L匹配电路类型



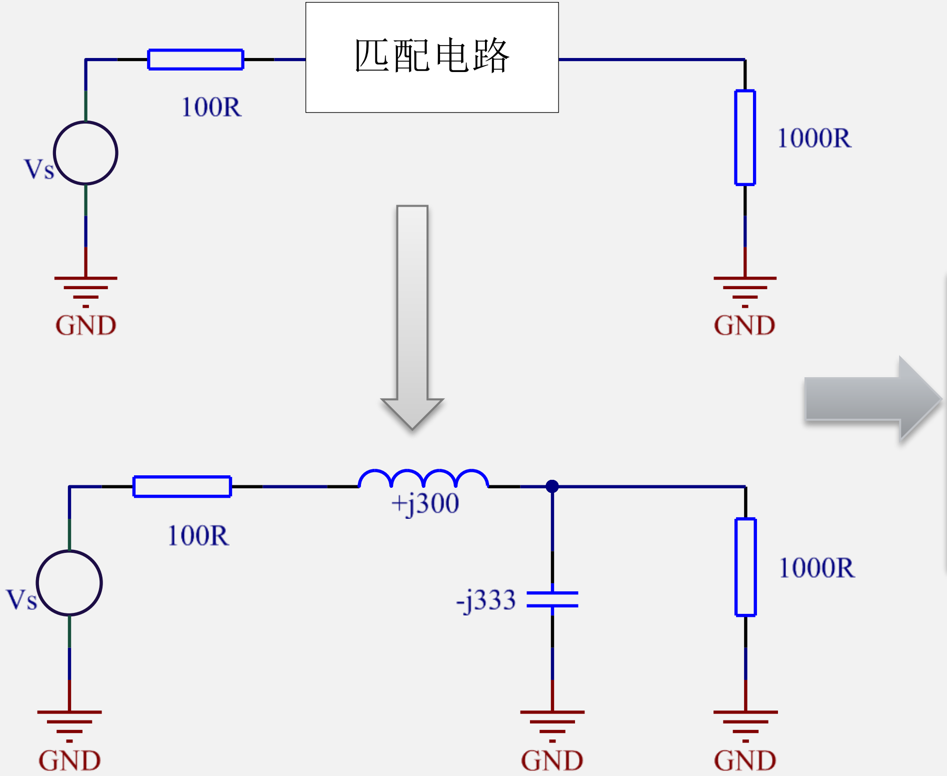






匹配电路

L匹配电路原理

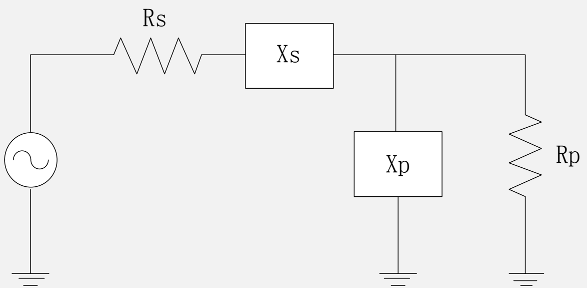


L型匹配网络原理：

通过并联元件改善负载阻抗，是负载实部与源阻抗相等，虚部和串联电抗抵销

匹配电路

L匹配电路理论设计



$$\begin{cases} Q_s = Q_p = \sqrt{\dfrac{R_p}{R_s} - 1} \\ Q_S = \dfrac{X_s}{R_s} \\ Q_p = \dfrac{R_p}{X_p} \end{cases}$$

Q_S为串联支路品质因数，Q_p为并联支路品质因数

匹配电路

L匹配电路理论设计

设计100mhZ频率100欧姆源阻抗和1000欧姆的负载阻抗进行匹配，要求兼顾低通滤波器

分析：

(1)确定匹配网络拓扑结构，串联为电感

(2)求解支路品质因数

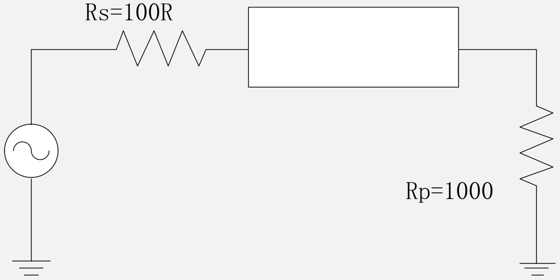
$$Q_S = Q_P = \sqrt{\frac{R_P}{R_S} - 1} = \sqrt{\frac{1000}{100} - 1} = 3$$

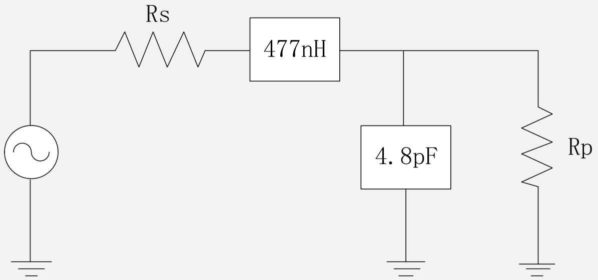
$$\Rightarrow X_S = R_S * Q_S = 100 * 3 = 300(\text{感性})$$

$$\Rightarrow X_P = \frac{R_P}{Q_P} = \frac{1000}{3} = 333(\text{容性})$$

$$L = \frac{X_S}{\mathrm{w}} = \frac{300}{2\pi(100*10^6)} = 477nH$$

$$C = \frac{1}{wX_P} = \frac{1}{2\pi(100*10^6)(333)} = 4.8\mathrm{pF}$$





匹配电路

复负载匹配设计

(1) 谐振匹配法

使用等值异号的电抗元件和寄生电抗组成谐振电路

(2) 吸收匹配法

使用匹配网络吸收电抗成分

匹配电路

复负载匹配设计

(1)通过谐振抵销负载的电抗部分（如果负载电抗为并联LC元件，则消耗元件也是并联的CL元件）

(2)使用L型匹配理论设计LC双元件匹配电路(设计过程不考虑已经消耗的LC负载元件)

(3)将最终的匹配电路进行串并联合并

Part 3

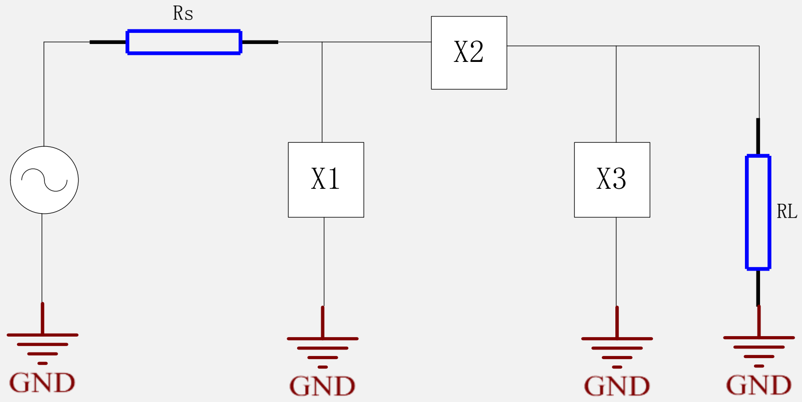
三元件匹配网络

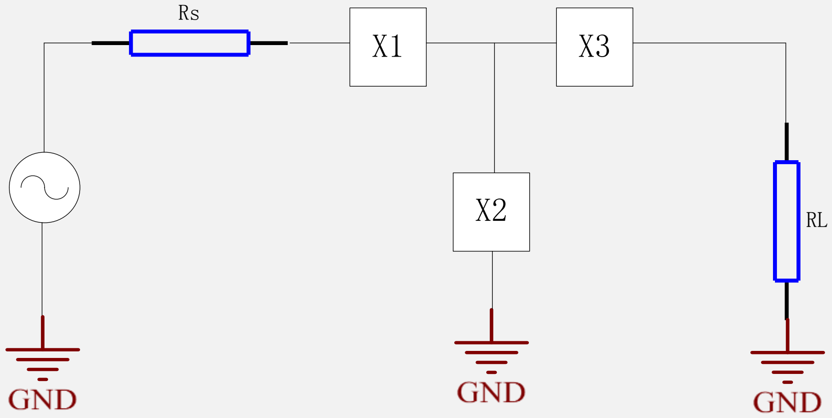
匹配电路

三元件匹配设计

相对于双元件网络：

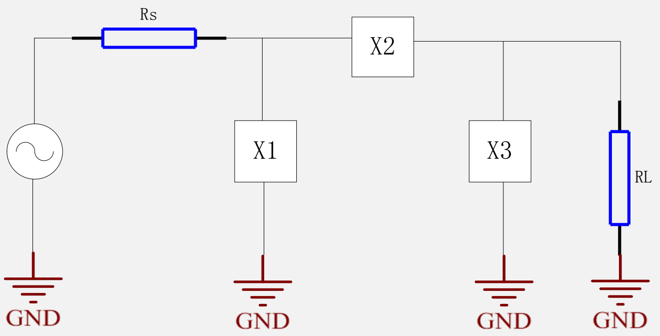
拥有更灵活的Q值和更灵活的带宽设计



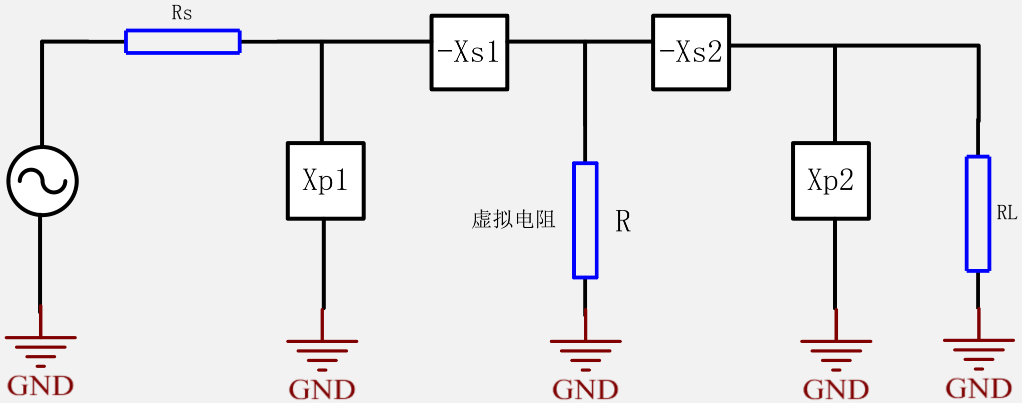


匹配电路

三元件匹配设计



Π型电路分解，按照双元件理论进行设计



虚拟电阻R的值小于R_S和R_L

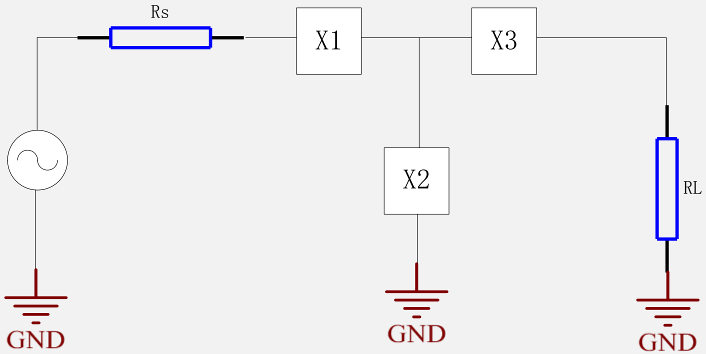
网络Q值分为左网络Q值和右网络Q值，求解如下：

$$Q=\sqrt{\frac{R_H}{R}-1}$$

R_H为终端阻抗R_S或R_L的最大值，R为虚拟电阻

匹配电路

三元件匹配设计

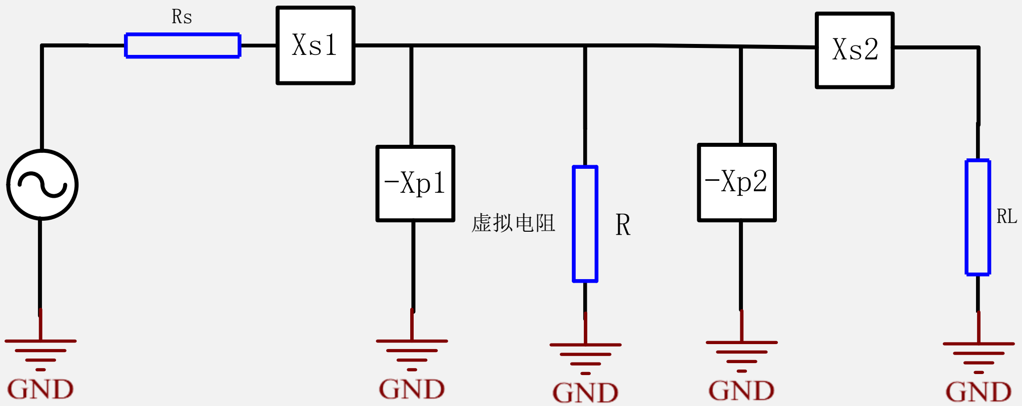


T型电路分解，按照双元件理论进行设计

虚拟电阻R的值小于R_S和R_L
T型网络Q值分为左网络Q值和右网络Q值，求解如下：

$$Q=\sqrt{\frac{R}{R_{min}}-1}$$

R_{min}为终端阻抗R_S或R_L的较小值，R为虚拟电阻



匹配电路

三元件匹配设计

设计π型匹配电路100MHz频率100欧姆源阻抗和1000欧姆的负载阻抗进行匹配，要求Q值为15

(1)求解虚拟阻抗

$$R=\frac{R_H}{Q^2+1}=\frac{1000}{15*15+1}=\frac{1000}{226}=4.42$$

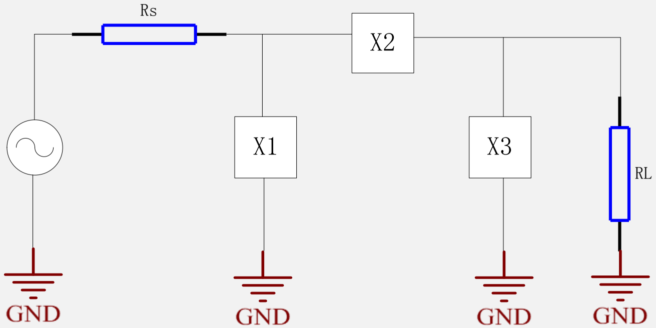
$$X_{P2}=\frac{R_P}{Q_P}=\frac{RL}{Q}=\frac{1000}{15}=66.7$$

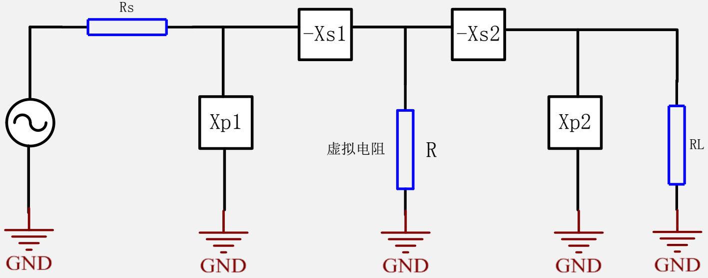
$$X_{S2}=QR=15*4.42=66.3$$

$$Q_{left}=\sqrt{\frac{RS}{R}-1}=\sqrt{\frac{100}{4.42}-1}=4.6$$

$$X_{P1}=\frac{R_P}{Q_{left}}=\frac{100}{4.6}=21.7$$

$$X_{S2}=Q_{left}R=4.6*4.42=20.5$$





Part 4

低Q值宽带匹配网络

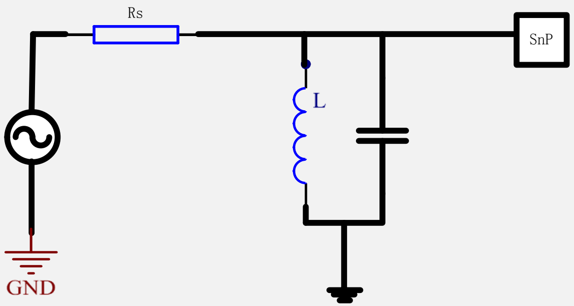
匹配电路

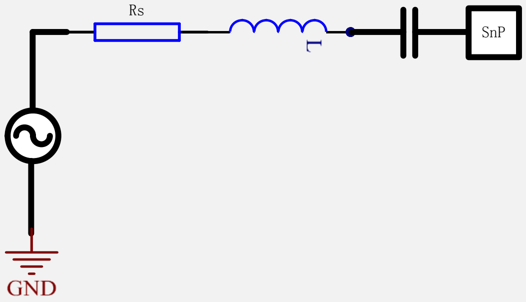
低Q值宽带匹配设计

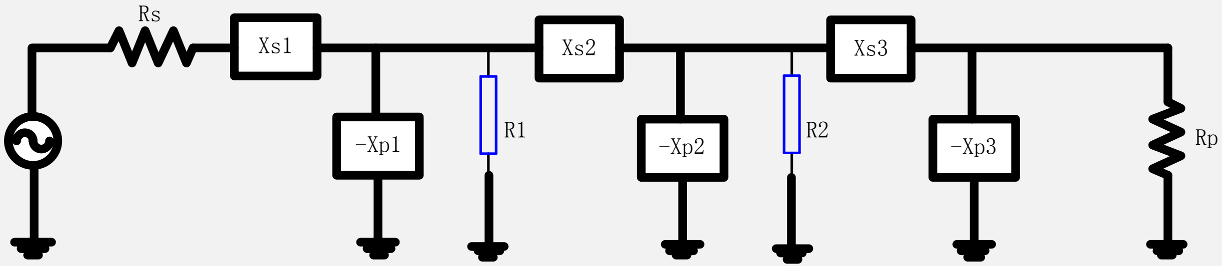
宽带型匹配网络的主要方法：

(1) LC谐振匹配法

(2) 双元件网络级联法







匹配电路

LC谐振匹配设计

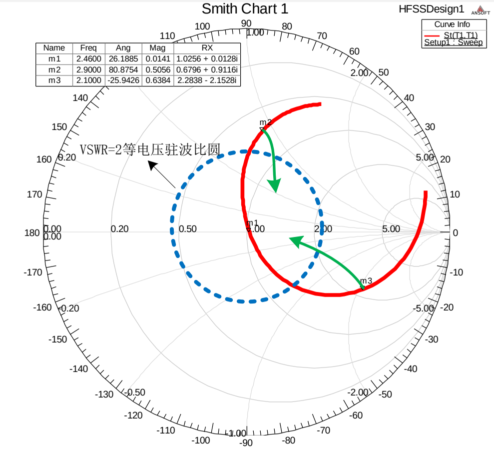
理论计算：

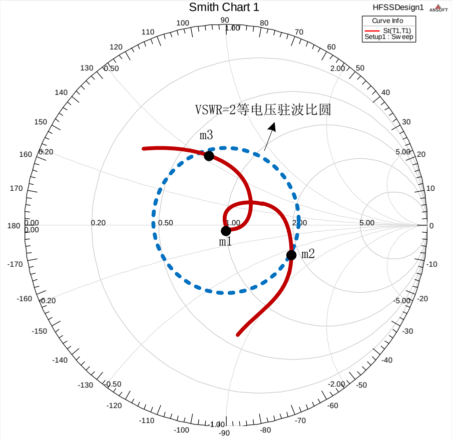
以频率为导向，采用LC谐振理论公式计算，获得LC的乘积，确保所选择的L和C的乘积不变

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\Rightarrow LC=\frac{1}{(2\pi f)^2}$$

在SMITH圆图体现：

本质就是使得在较宽的频带内，满足回波损耗或者驻波比的要求，在Smith圆图中要求所有频带内的S11轨迹都要移动到VSWR=2等电压驻波比圆中

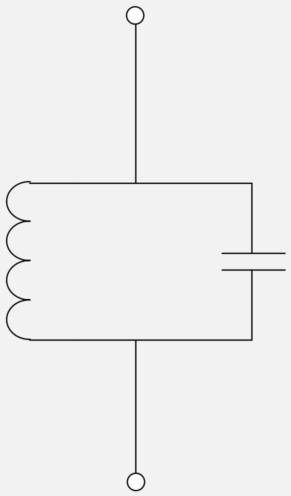


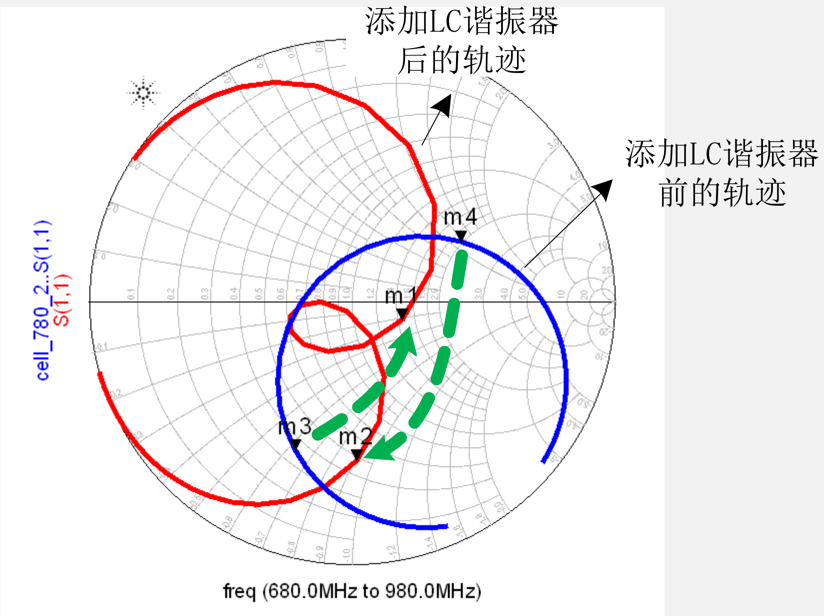


匹配电路

LC谐振匹配设计

LC谐振拓扑电路结构选择

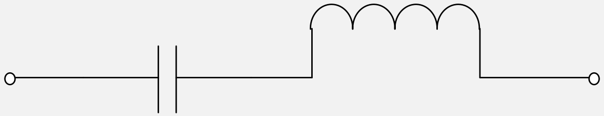


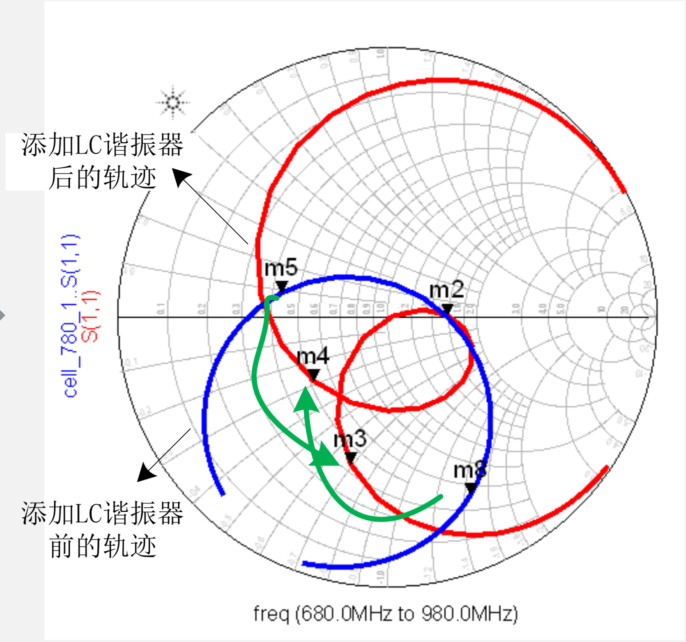


匹配电路

LC谐振拓扑电路结构选择

LC谐振匹配设计





匹配电路

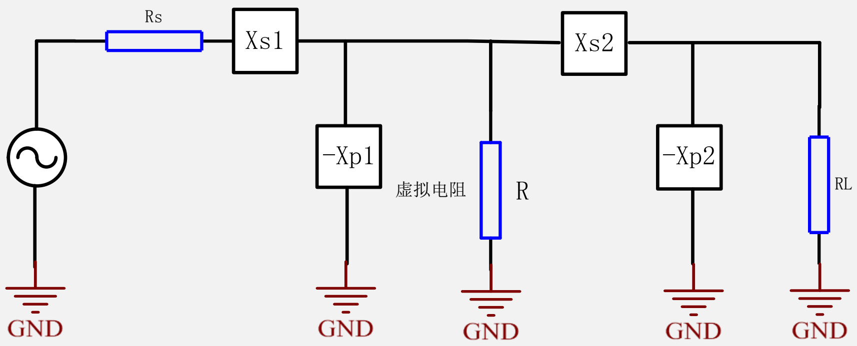
级联匹配设计

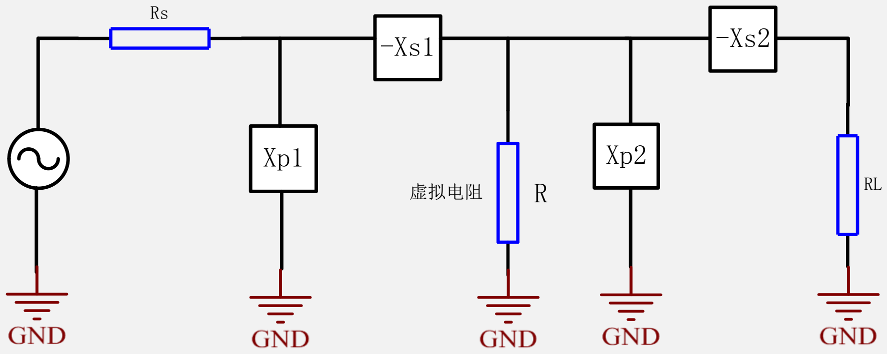
虚拟电阻选择：

介于两个终端电阻的最大值和最小值之间

获得最小Q值或最大有效带宽时虚拟电阻：

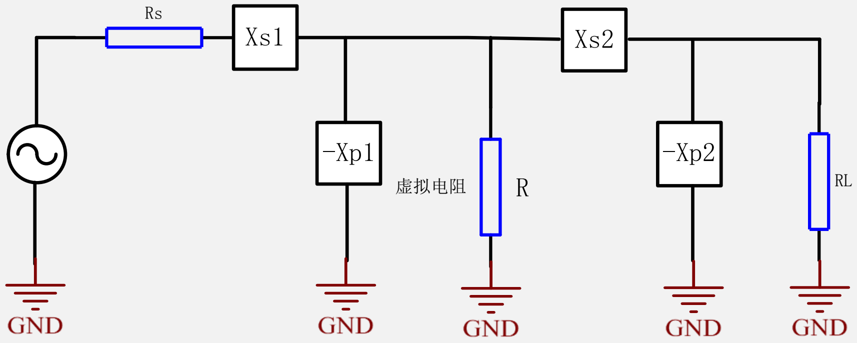
$$R = \sqrt{R_S R_L}$$





匹配电路

级联匹配设计



获得最小Q值或最大有效带宽时虚拟电阻：

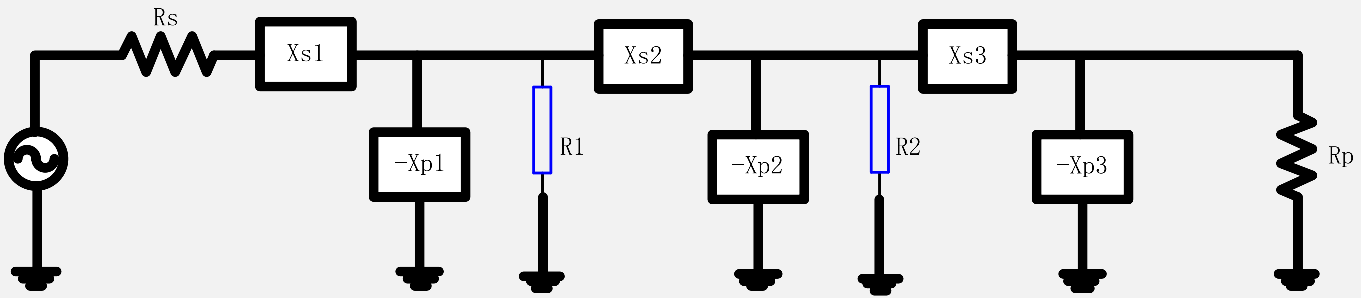
$$R = \sqrt{R_S R_L}$$

电路中有载Q值定义：

$$Q = \sqrt{\frac{R}{R_{\min}} - 1} = \sqrt{\frac{R_{\max}}{R} - 1}$$

匹配电路

多级级联匹配设计



获得最小Q值或最大有效带宽时虚拟电阻：

$$\frac{R_1}{R_{\min}} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} = \cdots\cdots = \frac{R_{\max}}{R_n}$$

Rmin为最小终端电阻，Rmax为最大终端电阻，R1、R2、…Rn为虚拟电阻；

Part 5

Smith圆图

匹配电路

SMITH圆图

Smith圆图上表述的都是归一化的阻抗值和导纳值

归一化阻抗和归一化导纳

- 把实际阻抗相对于系统的特性阻抗Z0进行归一化处理，得到归一化阻抗。用z表示归一化阻抗， Z表示原阻抗的话，就有

$$z = \frac{Z}{Z_0} = \frac{R + jX}{Z_0} = r + jx$$

归一化导纳也就是实际导纳相对于系统的特性导纳Y0进行归一化处理

$$y = \frac{Y}{Y_0} = \frac{G + jB}{Y_0} = g + jb$$

匹配电路

SMITH圆图

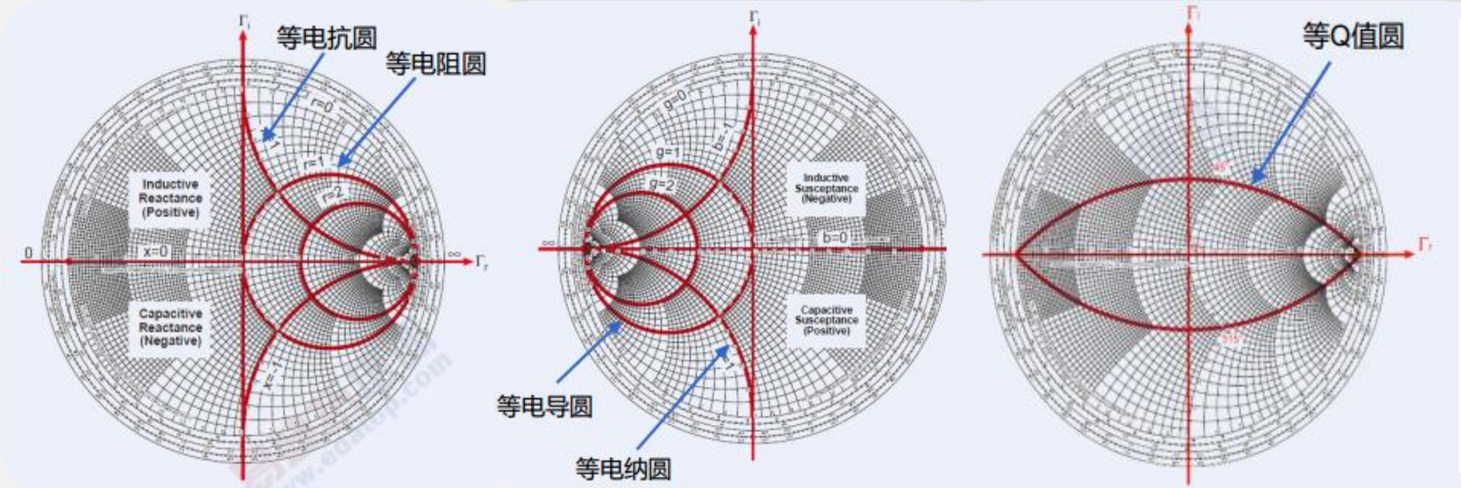
Smith圆图是建立在复平面(Γr, Γi)上的图形化工具，由阻抗圆图、导纳圆图、等反射系数圆叠加组成。

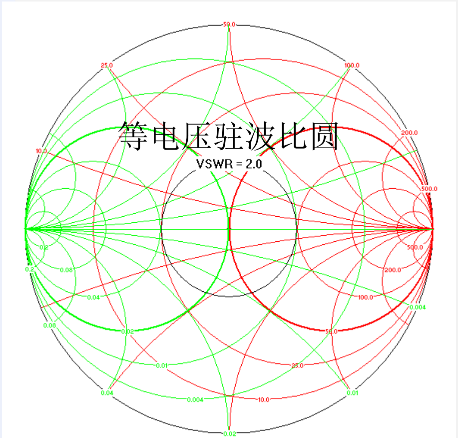
反射系数

定义为反射波电压和入射波电压的比值

$$\Gamma = \frac{V_{refi}}{V_{inc}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{z-1}{z+1}$$

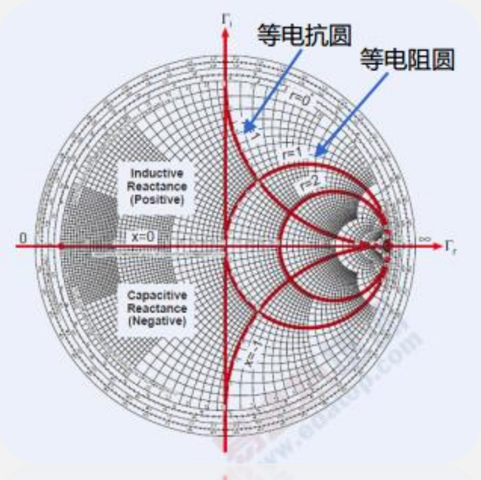
由于阻抗是复数，反射系数也是复数；完全匹配状态下，反射系数为0





匹配电路

SMITH圆图



等电阻圆

- 等电阻圆都相切于（1， 0） 点，圆心位于横坐标轴上
- 随着电阻值的增大，等电阻圆半径逐渐减小
- 圆图最左侧点电阻值为零，最右侧点电阻值为正∞

等电抗圆

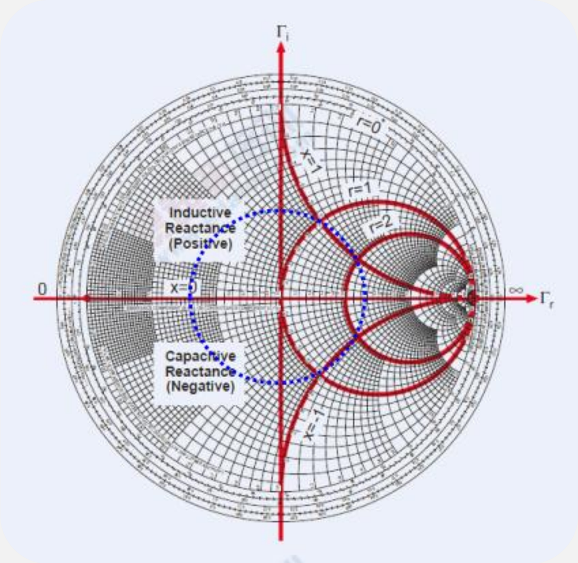
- |Γ|≦1，因此只有单位圆内的部分才有物理意义
- 等电抗圆都相切于（1， 0） 点，圆心位置Γi=1的坐标轴上
- 电抗圆的半径为无限大对应于复平面上的实轴，此时电抗为零
- 圆图上半部分电抗值>0, 即上半圆为感性；圆图下半部分电抗值< 0, 即上半圆为容性
- 在等反射系数圆上，沿着顺时针旋转，电抗值逐渐增大；沿着逆时针旋转，电抗值逐渐减小

匹配电路

SMITH圆图

阻抗圆图中的特殊点

	位置	| |	VSWR	r	x
匹配点	Γ 中心（0,0）	0	1	1	0
开路点	最右侧（1,0）	1	¥	¥	¥
短路点	最左侧（-1,0）	1	¥	0	0



匹配电路

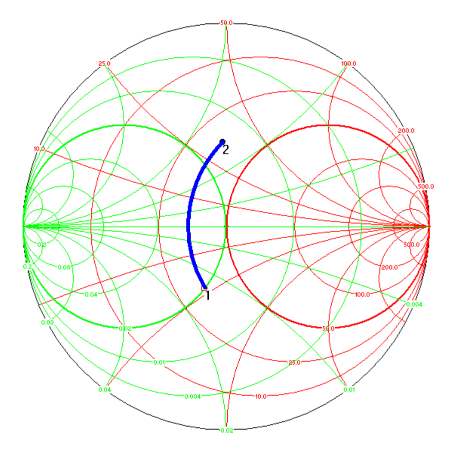
Smith圆图
匹配

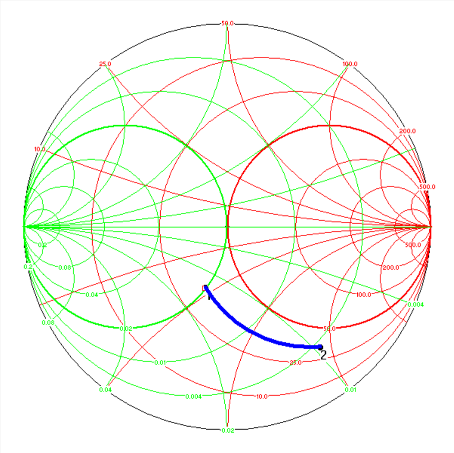
串联电感：
沿着等电阻圆顺时针旋转，轨迹长度越长，值越大

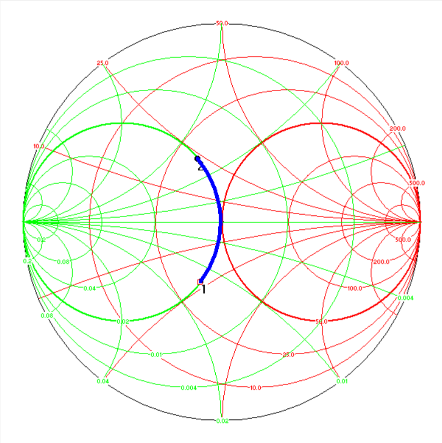
串联电容：
沿着等电阻圆逆时针旋转，轨迹长度越长，值越小

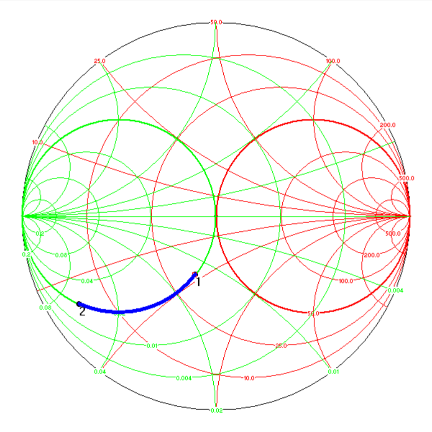
并联电感：
沿着等电导圆逆时针旋转，轨迹长度越长，值越小

并联电容：
沿着等电导圆顺时针旋转，轨迹长度越长，值越大



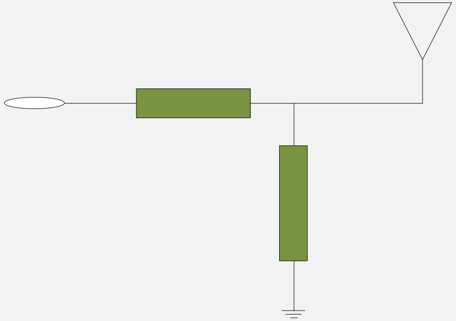


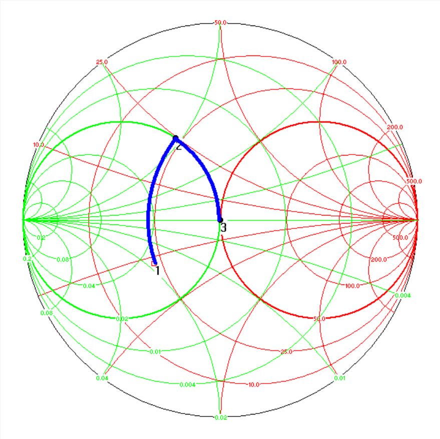


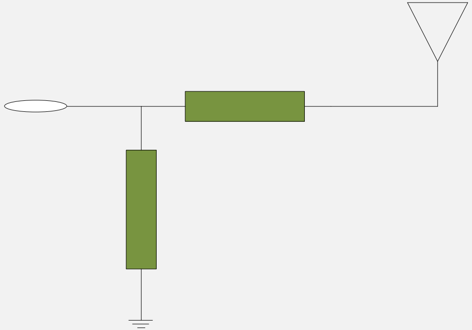


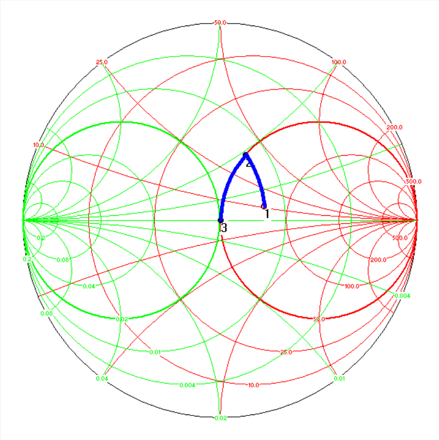
匹配电路

双元件匹配



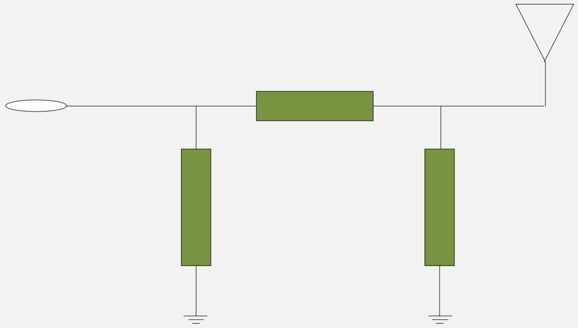


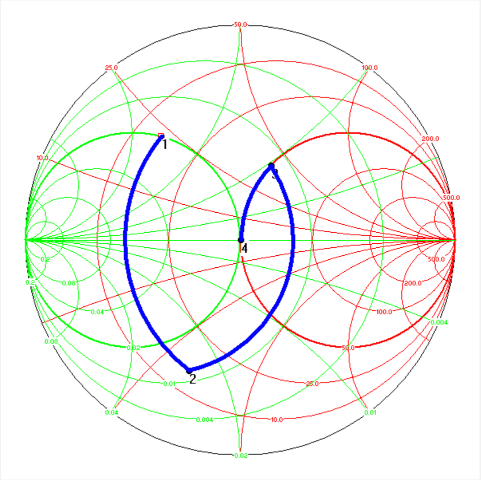


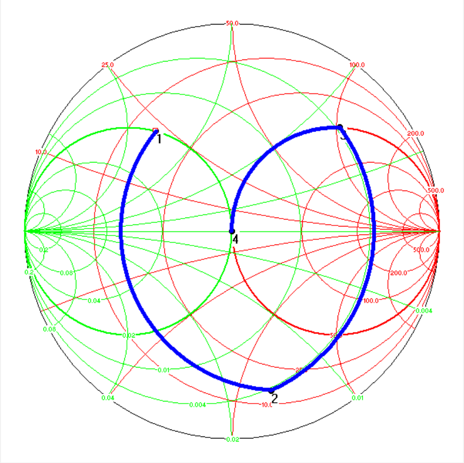


匹配电路

三元件匹配

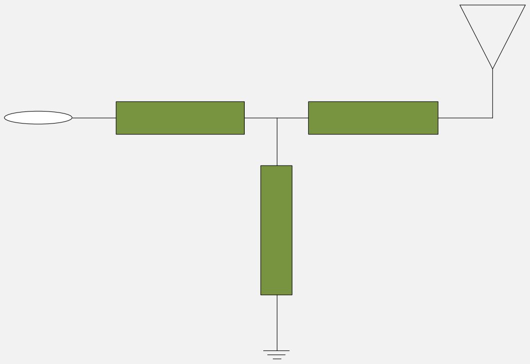


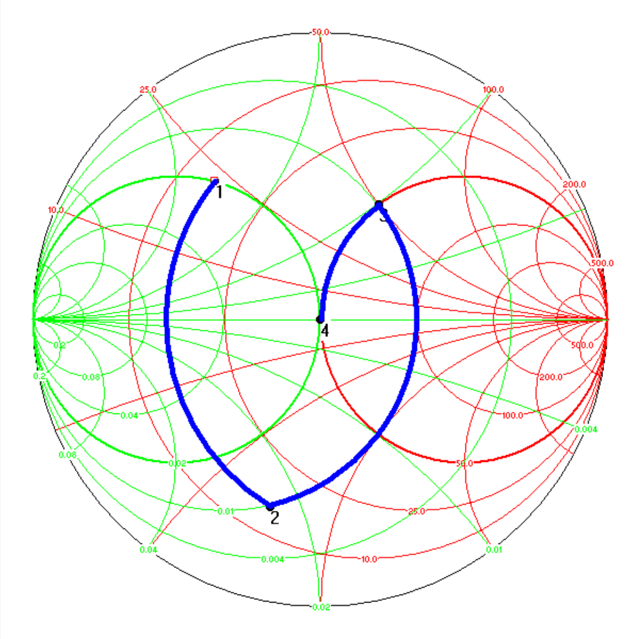




匹配电路

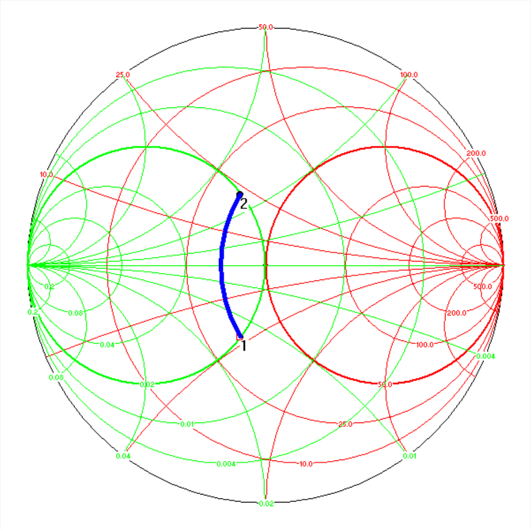
三元件匹配



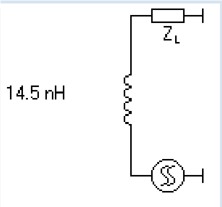


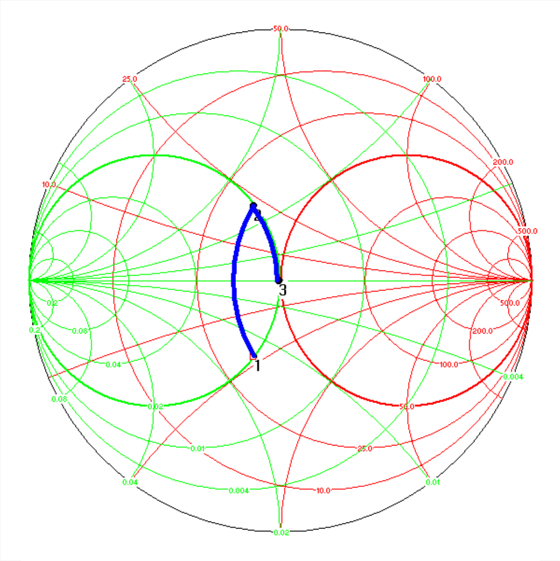
匹配电路

例：使用Smith圆图将阻抗点z1=34-j23匹配到50欧姆，采用L型匹配网络

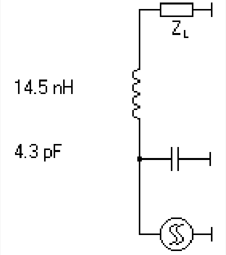


DP-Nr. 1 (34.000 - j23.000)Ohm
DP-Nr. 2 (34.000 + j22.663)Ohm





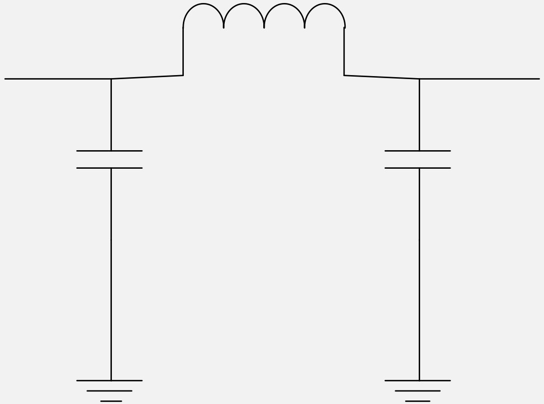
DP-Nr. 1 (34.000 - j23.000)Ohm
DP-Nr. 2 (34.000 + j22.663)Ohm
DP-Nr. 3 (49.105 + j0.227)Ohm

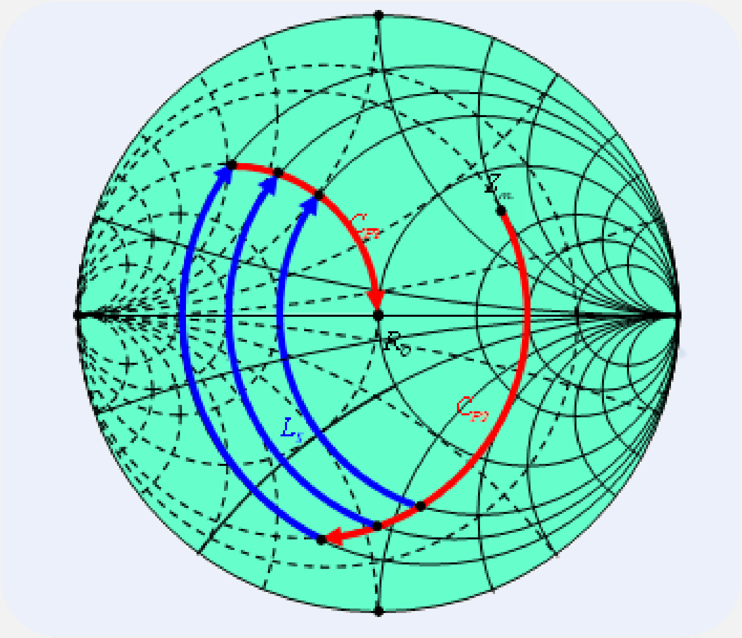


Smith 匹配实例

匹配电路

Smith匹配实例

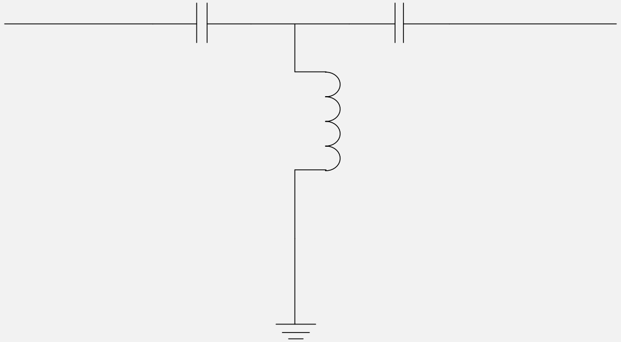


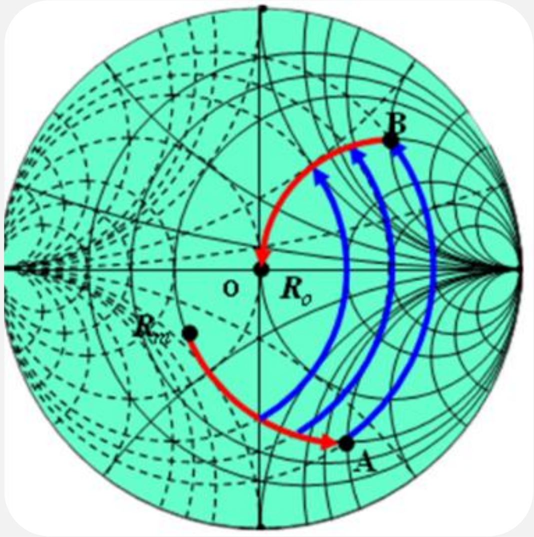


红色表示并联电容，蓝色为串联电感；选择不同的轨迹长度，可以获得不同电容电感元件值

匹配电路

Smith匹配实例





红色表示串联电容，蓝色为并联电感；
选择不同的轨迹长度，可以获得不同电容电感元件值

Part 6

低Q值Smith圆图匹配

匹配电路

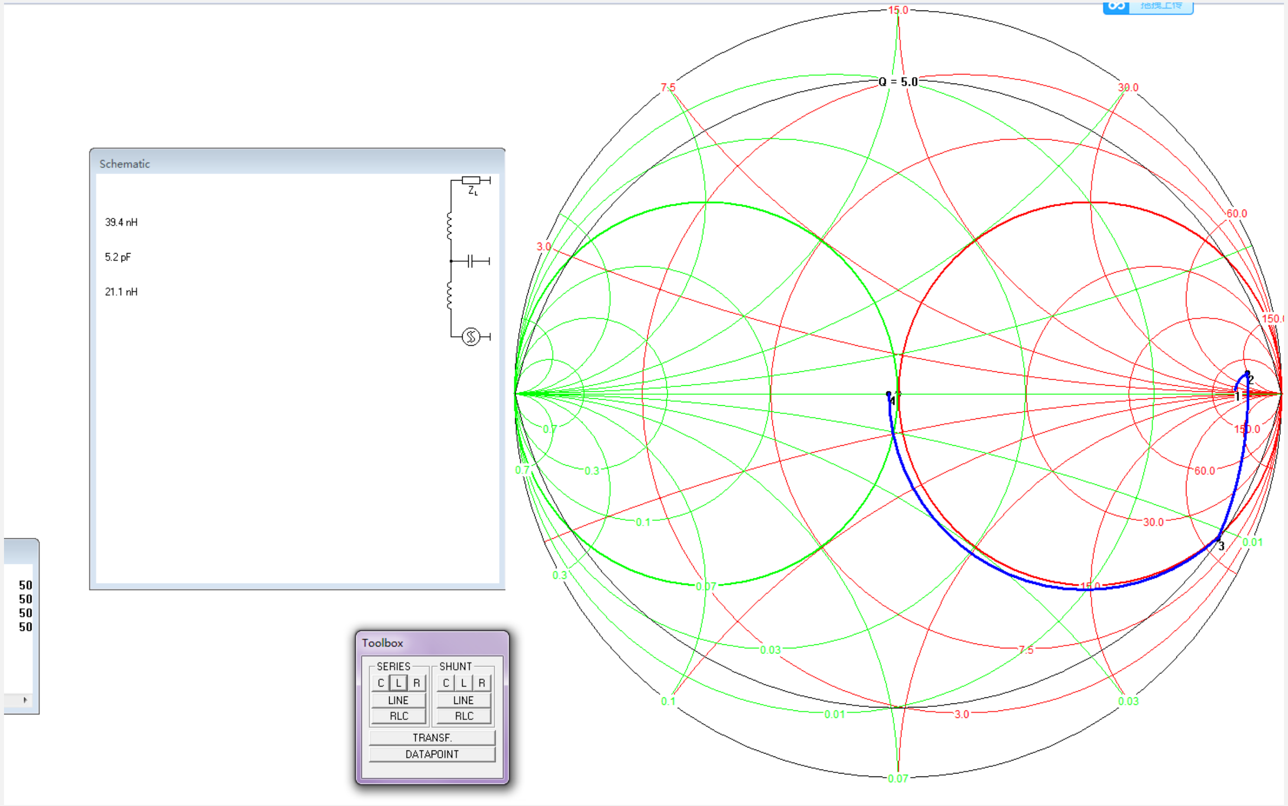
三元件Smith匹配设计

匹配设计步骤：

(1) 画出对应的等Q值圆；

(2) 画出负载阻抗和共轭源阻抗

(3) 确定将要使用的网络末端以确定要设计的有载Q值



匹配电路

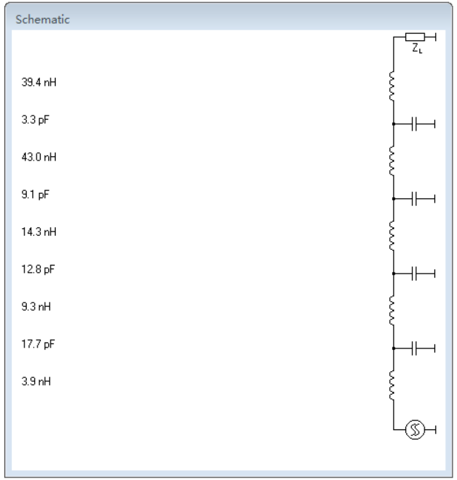
多元件级联Smith匹配设计

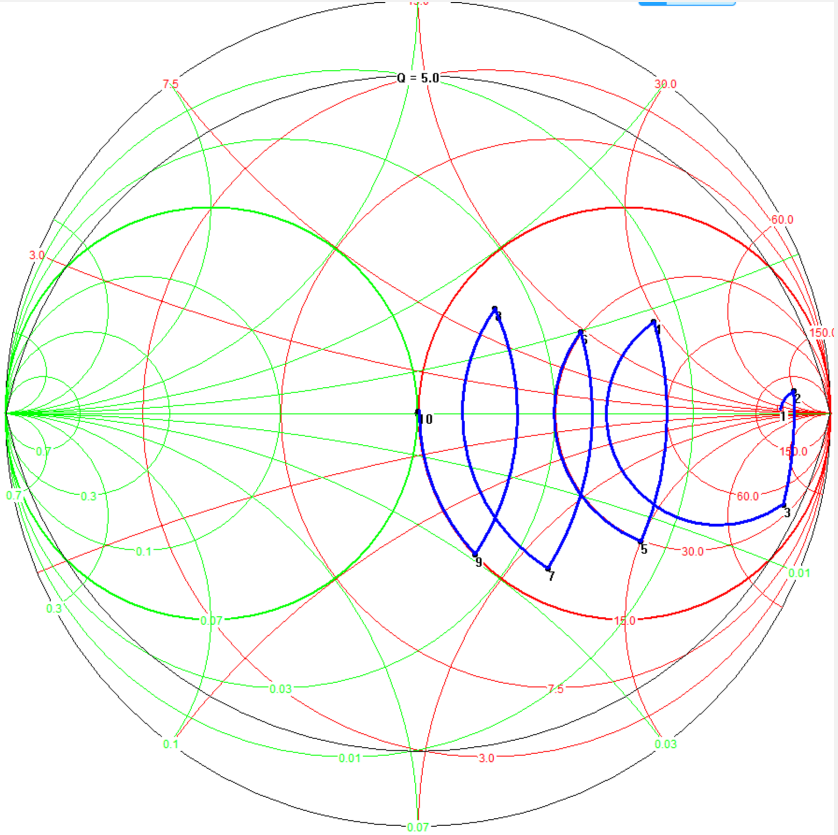
匹配设计步骤：

(1) 画出对应的等Q值圆；

(2) 画出负载阻抗和共轭源阻抗

(3) 确定将要使用的网络末端以确定要设计的有载Q值

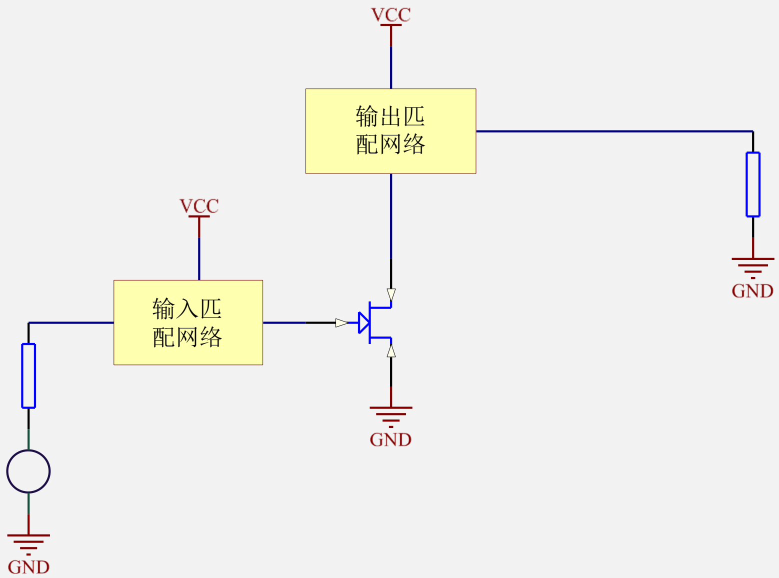


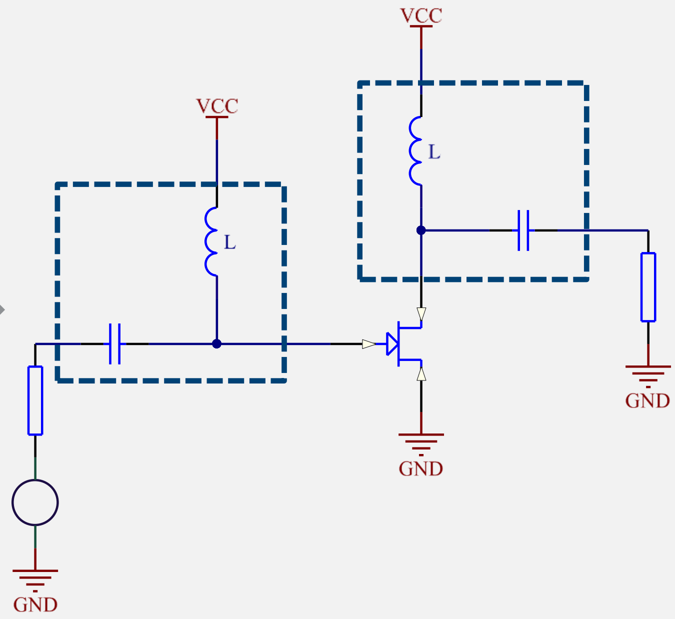


Part 7

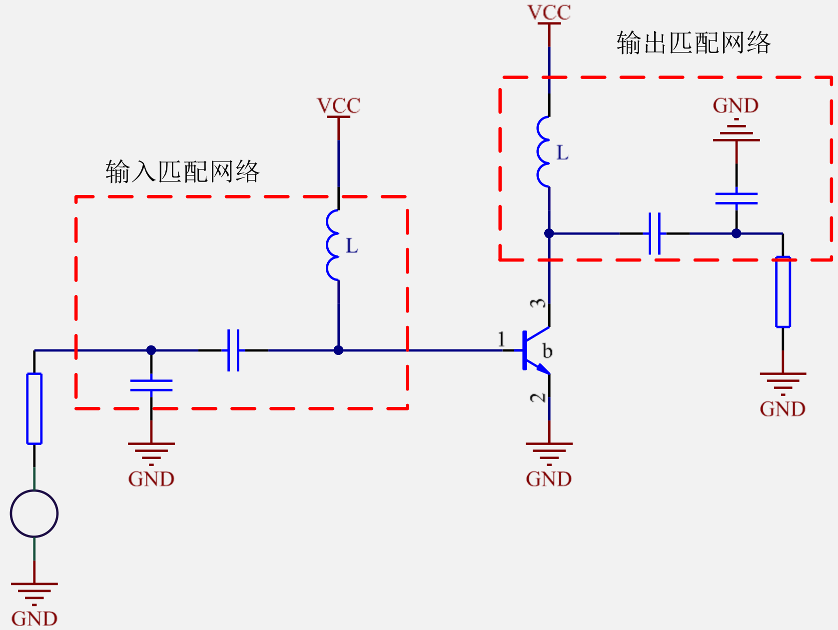
射频晶体管匹配形式

匹配电路





匹配电路



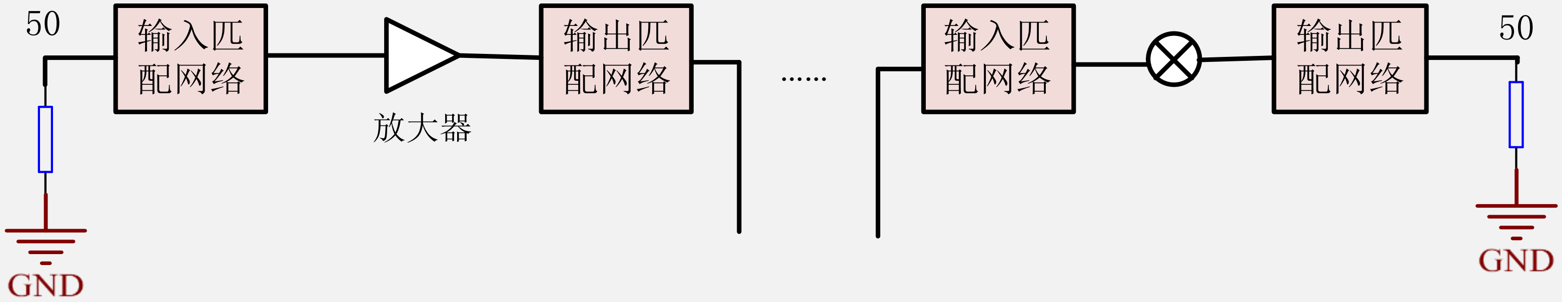
需要考虑的问题：

(1) 隔直

(2) 直流短路

(3) 直流馈电

匹配电路



THANK YOU !!