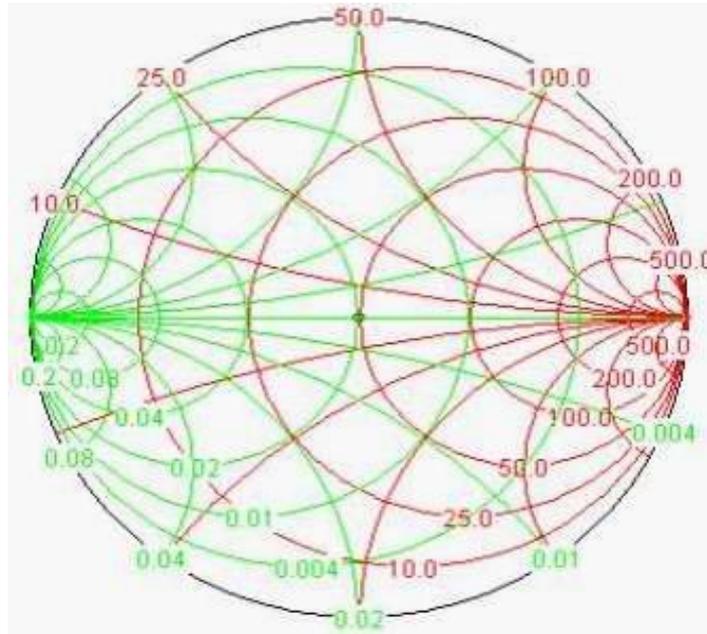


## 史密斯圆图的应用

为了避免含有复数阻抗的枯燥乏味的复杂计算，还有一种更直观的看阻抗匹配的方式是史密斯圆图法（如下图）：



通过史密斯图，可以让使用者迅速的得出在传输线上任意一点阻抗，电压反射系数，VSWR 等数据，简单方便，所以一直被广泛应用于电磁波研究的领域。史密斯圆图中包括电阻圆（图中红色的，从右半边开始发散的圆）和电导圆（图中绿色的，从左半圆发散开的圆），而那些和电阻电导圆垂直相交的半圆则称为电抗圆，其中，中轴线以上的电抗圆为正电抗圆（表现为感性），而中轴线以下的为负电抗圆（表现为容性）。

沿着圆周顺时针方向是指朝着源端传输线变化，而逆时针方向是朝着负载端变化。归一化的史密斯图上（直角坐标复平面）的点到圆心之间的距离就是该点的反射系数的大小，所以对于最好的匹配来说，要保证  $S_{11}$  参数点在圆心， $S_{21}$  参数点在圆周上。

### 1. 用史密斯图求 VSWR

我们知道，传输线上前向和后向的行波合成会形成驻波，其根本原因在于源端和负载端的阻抗不匹配。我们可以定义一个称为**电压驻波比(voltage standing-wave ratio, VSWR)**的量度，来评价负载接在传输线上的不匹配程度。VSWR定义为传输线上驻波电压最大值与最小值之比：

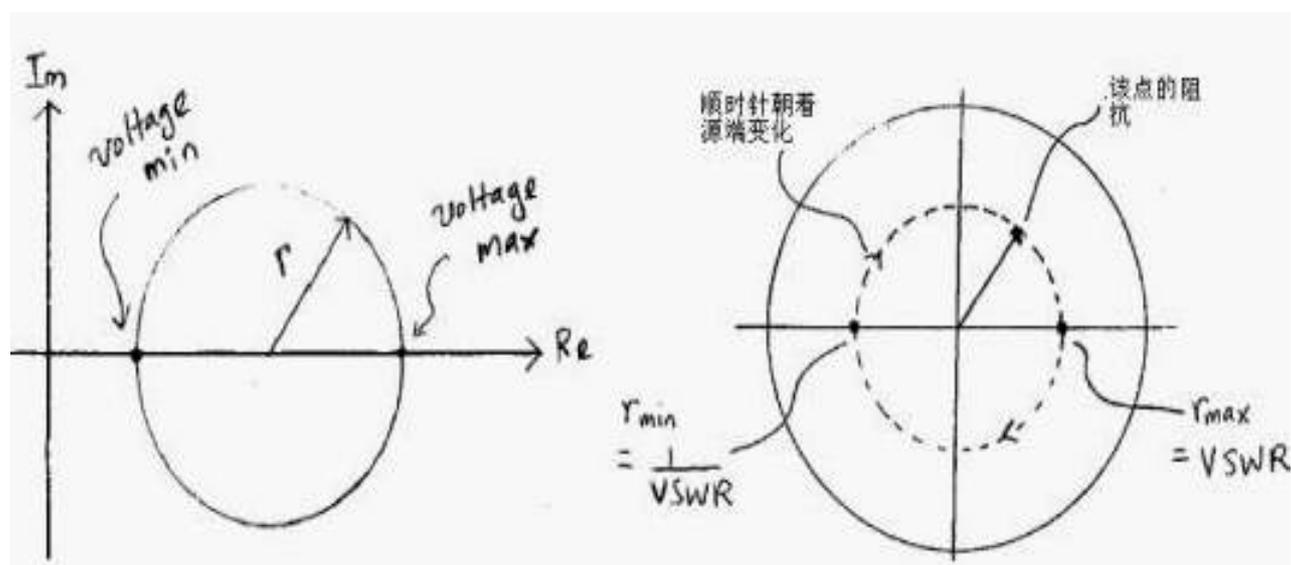
$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

对于匹配的传输线  $V_{max}=V_{min}$ ，VSWR 将为 1。VSWR 也可以用和接受端反射系数的关系式来表达：

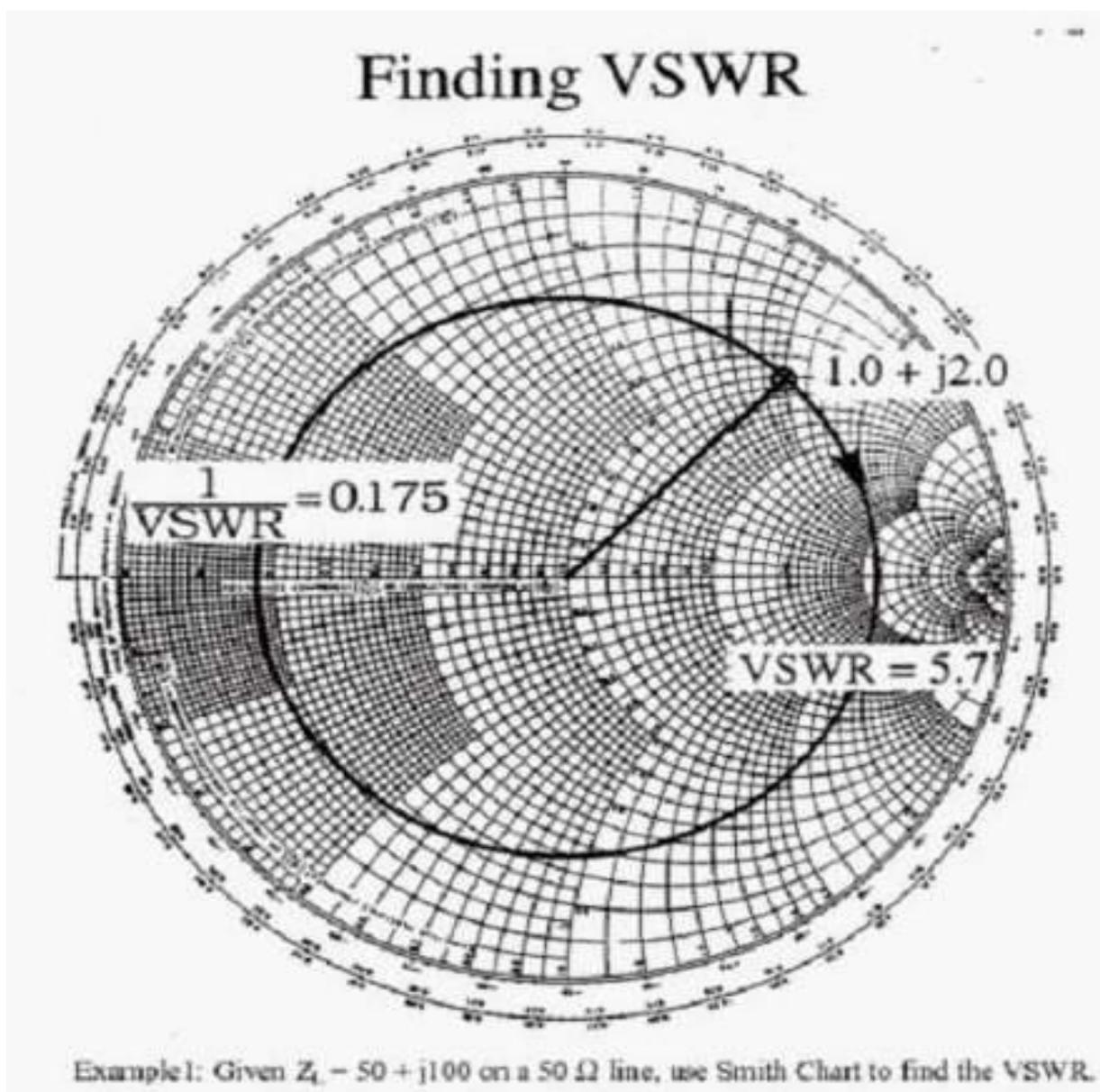
$$\frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} = VSWR$$

对于完全匹配的传输线，反射系数为 0，故而 VSWR 为 1，但对于终端短路或开路，VSWR 将为无穷大，因为这两种情况下的反射系数绝对值为 1。

在史密斯图上表示：

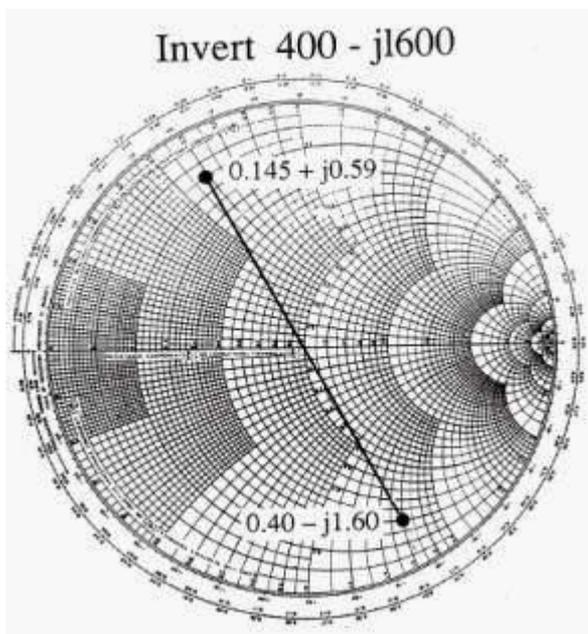


所以要计算 VSWR, 只需要在极坐标的史密斯图上以阻抗点到圆心的距离为半径作圆, 与水平轴相交, 则离极坐标圆点最远点坐标的大小即为电压驻波比的大小。举个例子, 假设传输线的阻抗为  $50\ \Omega$ , 负载的阻抗为  $50+j100\ \Omega$ , 则负载在史密斯圆上的归一化阻抗的大小为:  $1.0+j2.0\ \Omega$ , 按上述方法即可在图中求出 VSWR 的大小。



## 2. 用史密斯图求导纳

我们知道，如果将史密斯阻抗圆图旋转 180 度，就可以得到史密斯导纳圆图，根据这个关系，在阻抗圆图上也可以通过做图求出任一点的导纳。其步骤就是连接所在点和圆心，并反向延长至等距离，所得点的坐标就是其导纳。比如，某点阻抗为  $400 - j1600 \Omega$ ， $Z_0 = 1000 \Omega$ ，则其归一化阻抗为  $0.4 - j1.6$ ，从图中可以得到：

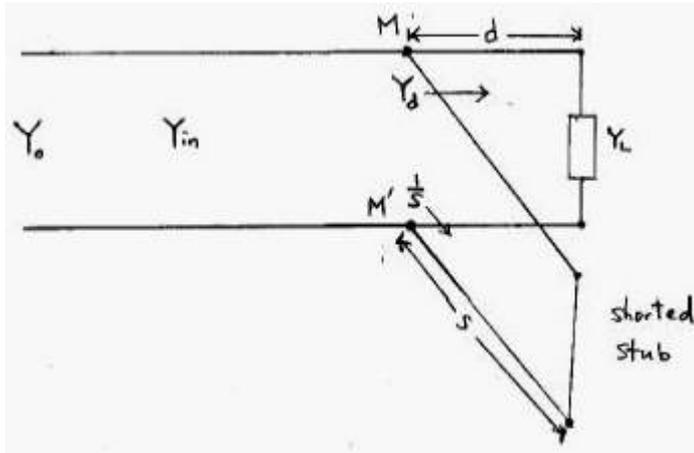


则导纳大小为： $Y = (0.145 + j0.59) Y_0 = 0.000145 + j0.00059 \Omega^{-1}$ 。

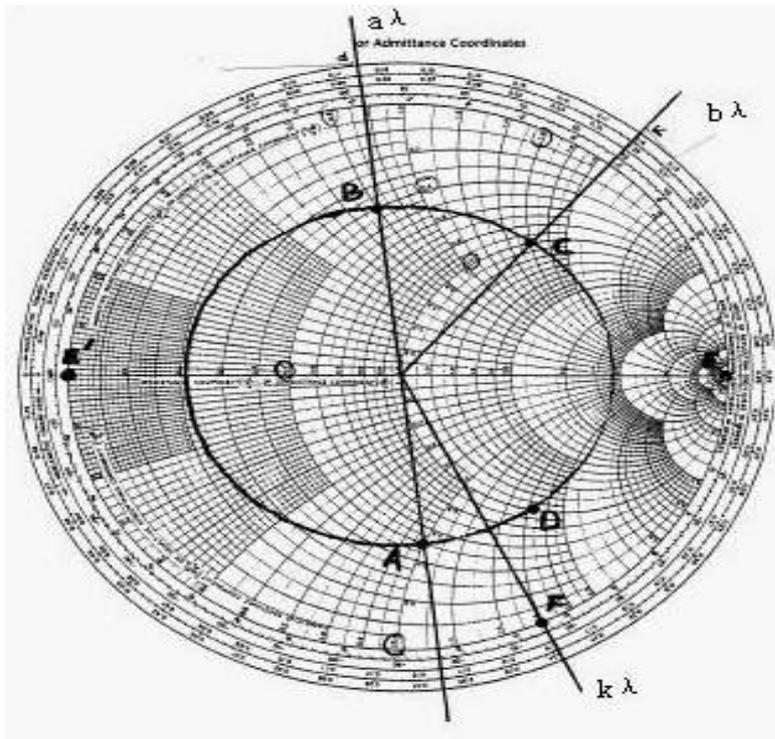
### 3. 利用史密斯图进行阻抗匹配

#### 1) . 使用并联短截线的阻抗匹配

我们可以通过改变短路的短截线的长度与它在传输线上的位置来进行传输网络的匹配，当达到匹配时，连接点的输入阻抗应正好等于线路的特征阻抗。

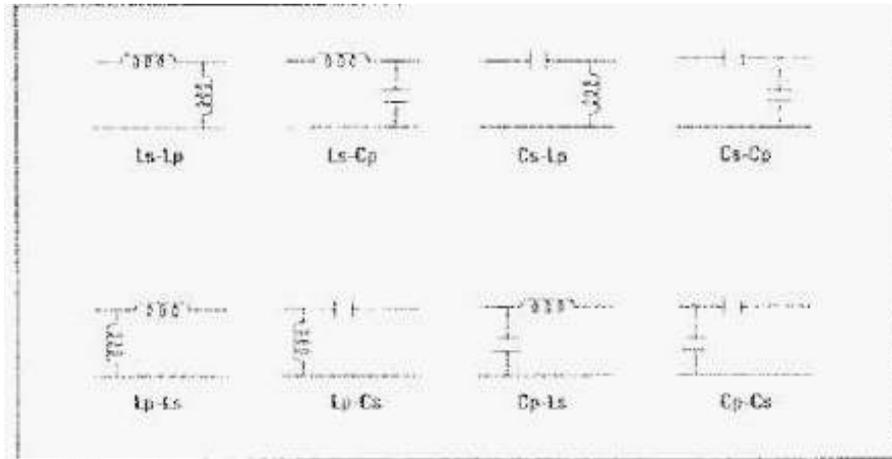


假设传输线特征阻抗的导纳为  $Y_0$ ，无损传输线离负载  $d$  处的输入导纳  $Y_d = Y_{in} + jB$ （归一化导纳即为  $1 + jb$ ），输入导纳为  $Y_{stub} = -jB$  的短截线接在  $M$  点，以使负载和传输线匹配。在史密斯图上的操作步骤：1. 做出负载的阻抗点  $A$ ，反向延长求出其导纳点  $B$ ；2. 将点  $B$  沿顺时针方向（朝着源端）转动，与  $r = 1$  的圆交于点  $C$  和  $D$ ；3. 点  $D$  所在的电抗圆和圆周交点为  $F$ ；4. 分别读出各点对应的长度， $B(a\lambda)$ ， $C(b\lambda)$ ， $F(k\lambda)$ ；5. 可以得出：负载至短截线连接点的最小距离  $d = b\lambda - a\lambda$ ，短截线的长度  $S = k\lambda - 0.25\lambda$ 。



## 2) . 使用 L-C 电路的阻抗匹配

在 RF 电路设计中，还经常用 L-C 电路来达到阻抗匹配的目的，通常的可以有如下 8 种匹配模型可供选择：

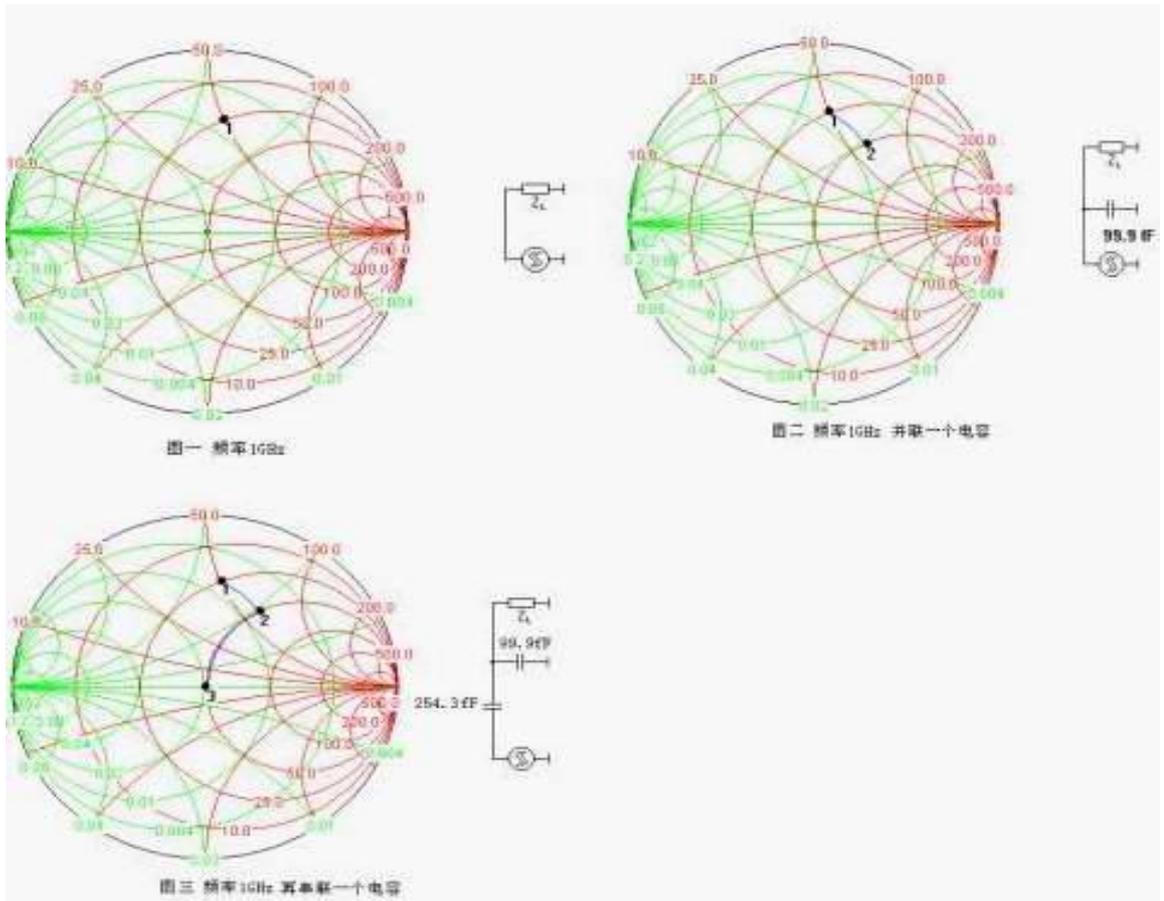


这些模型可根据不同的情况合理选择，如果在低通情况下可选择串联电感的形式，而在高通时则要选择串联电容的形式。

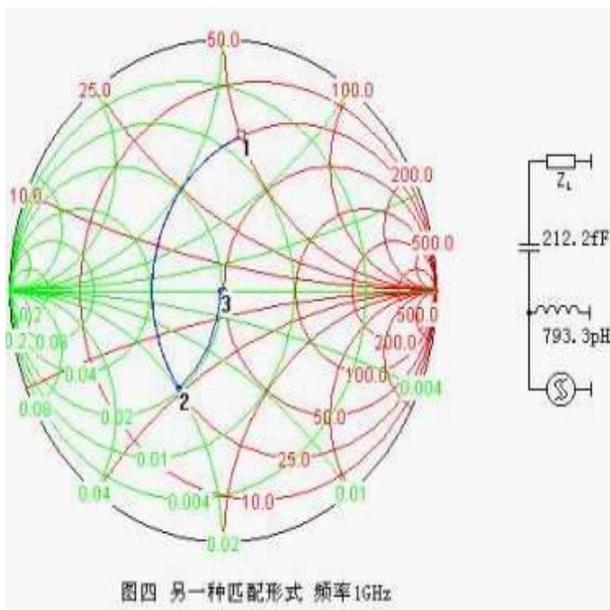
使用电容电感器件进行阻抗匹配，在史密斯图上的可以遵循下面四个规则：

- 沿着恒电阻圆顺时针走表示增加串联电感；
- 沿着恒电阻圆逆时针走表示增加串联电容；
- 沿着恒电导圆顺时针走表示增加并联电容；
- 沿着恒电导圆逆时针走表示增加并联电感。

举例说明，负载阻抗为  $25+j50\ \Omega$ ，传输线的特征阻抗为  $50\ \Omega$ ，我们可以采取下面途径进行匹配：



我们还可以采用  $L_p$ - $C_s$  的匹配形式，同样可以达到消除反射的目的：



## 五. 总结

随着信号频率的不断增加，电路设计已经进入到了射频乃至微波领域，无论是芯片级还

是系统级的设计，都会越来越多地面临因为高频而引起的一系列关键问题，反射，串扰，地弹，电磁辐射等等，无一不让设计者感到头痛不已。以前集总电路的解决方法已经渐渐失去其效用，我们现在更多的是考虑分布参数系统，甚至需要用场的理论来解决电路设计中的问题，这也是当前 RF 工程师倍受重视的主要原因。