

## 一、实验内容：

- 1、学习阻抗匹配的理论知识，熟练掌握 Smith 圆图的使用方法以及利用 ADS 工具进行阻抗匹配的相关技术；
- 2、实现目标：在 2GHz 的工作频率下，将一个负载阻抗（尝试纯实数和复数负载）匹配到 50 欧姆的源端阻抗，涉及的匹配技术包括：1/4 波长变换器，L 节匹配，单短截线开（短）路匹配。

## 二、软件平台：

- 1、Keysight（安捷伦）ADS 开发平台；
- 2、Smith（史密斯）圆图。

## 三、实验原理：

- 1、Transmission Line Impedance Equation(传输线阻抗方程)：

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} \quad (1)$$

$Z_0$  为微带线的特征阻抗， $Z_L$  为负载阻抗， $\beta l$  为电长度（单位：**deg**）。其中，

传播常数  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ ， $l$  为传输距离（单位：**λ**）。

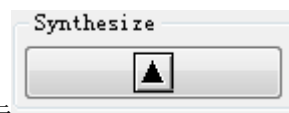
- 2、归一化负载， $z_l = \frac{Z_L}{Z_0}$ ，通常以特征阻抗  $Z_0 = 50\Omega$  为归一化标准。
- 3、从 Smith 圆图读出相应的传输距离  $l$  后，可计算相应线型（如微带线）的宽度（W）和长度（L），这需要借助 ADS 软件中的 LineCalc 工具。步骤如下：  
打开 ADS 软件，进入 schematic 页面，选择【Tools】→LineCalc→Start LineCalc, 设置微带线印制板的参数（**注意各参数单位**），如下图：

Er	4.580	N/A
Mur	1.000	N/A
H	0.800	mm
Hu	3.9e+34	mil
T	35.000	um
Cond	1.0E+50	N/A
TanD	0.016	N/A
Rough	0.000	mil
DielectricLossModel	1.000	N/A
FreqForEpsrTanD	1.0e9	N/A
LowFreqForTanD	1.0e3	N/A
HighFreqForTanD	1.0e12	N/A
		N/A

Component Parameters		
Freq	2.000	GHz
Wall1		mil
Wall2		mil


在“Electrical”中分别设置  $Z_0 = 50\Omega$  和  $E_{Eff}$ , 其中,  $E_{Eff} = \frac{2\pi}{\lambda}l$ ,  $l$ : 从 Smith

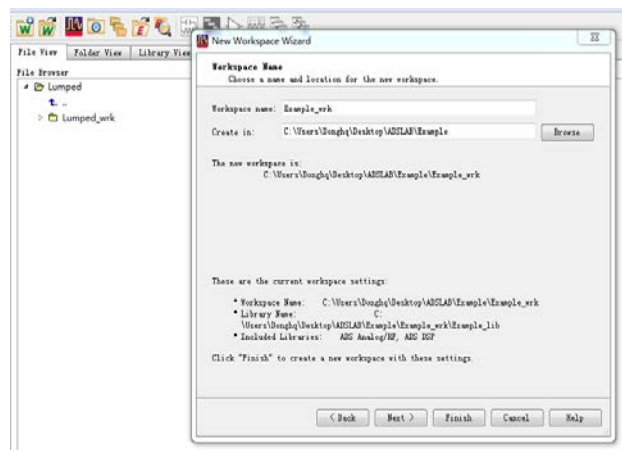


圆图中读出的传播距离。设置结束后, 点击即可得到相应线型的宽度和长度。如下图所示:

Physical		
W	25.000	mil
L	100.000	mil
		N/A
		N/A

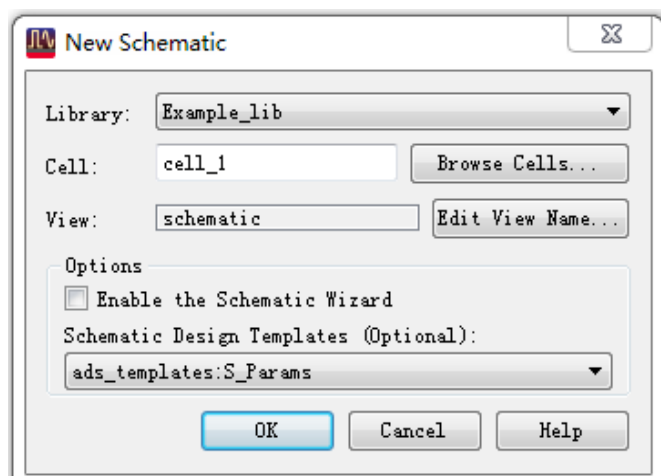
#### 四、实验步骤举例（以 L 节匹配为例）:

- 1、新建 ADS 工程。 双击 ADS, 进入 ADS 界面, 点击工具栏左上角的  并给工程命名, 选择新建工程的存储位置, 如下图所示:

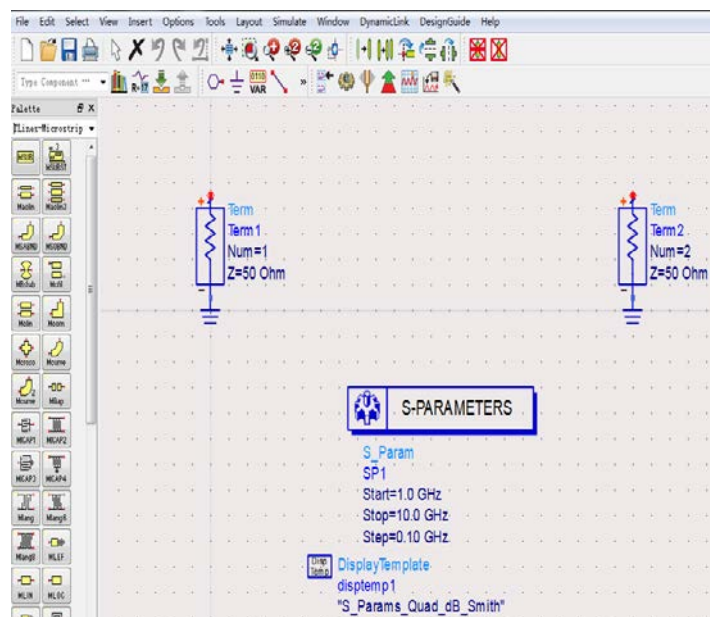


然后，一直点击“Next”，直到点击“Finish”完成工程创建。

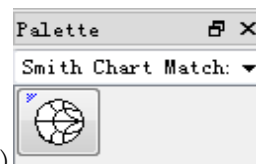
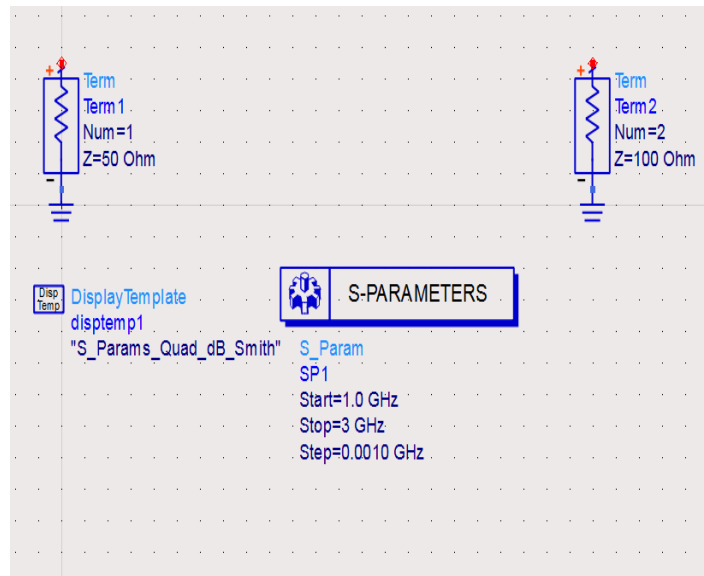
- 2、新建原理图。点击“File”，“New”，“Schematic”，在“New Schematic”中给“Cell”命名，在“Schematic Design Templates (Optional)”下拉框中选择S-Params。如下图所示：



点击“OK”后出现所创建的原理图。如下图所示：



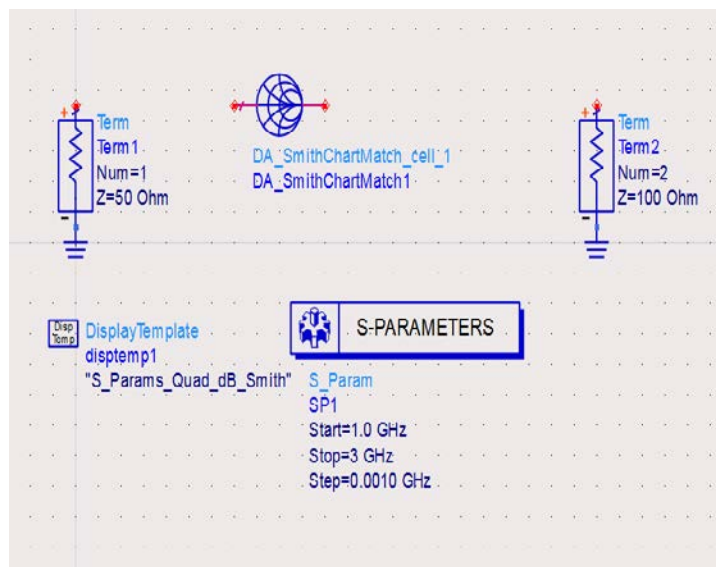
- 3、双击“Term”，分别将“Term1”、“Term2”设置为 $50\Omega$ 、 $100\Omega$ ，注意单位的选择。其中，Term1 作为源，Term2 作为负载（本实验的主要目标就是利用几种匹配技术将负载阻抗匹配到源端阻抗）；双击“S-PARAMETERS”，在弹出的界面中，将开始频率和截止频率分别设置为 1GHz 和 3GHz，步长（Step）设置为 0.001，注意单位的选择。完成设置后如下图所示：



4、点击界面左边的“Palette”（元器件面板）的下拉菜单，并点




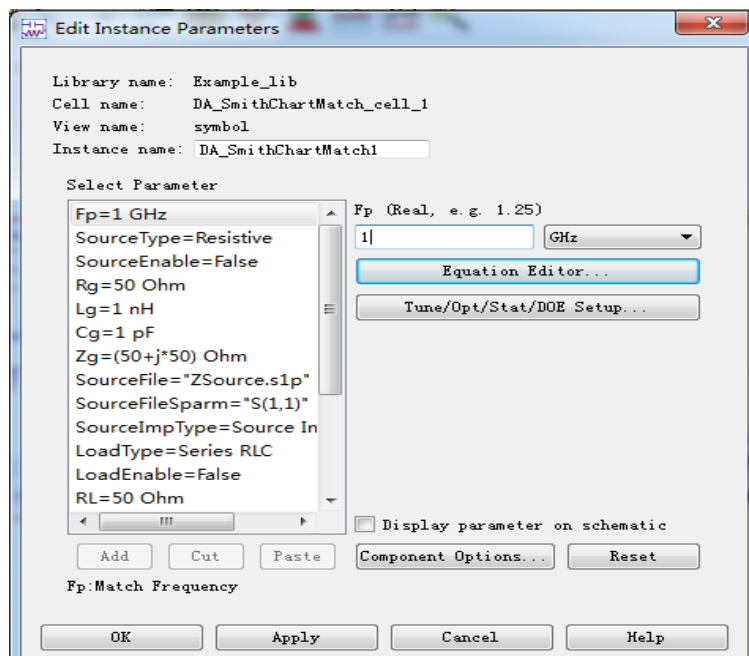
击选中，然后移动鼠标即可拖动元件到原理图中，在原理图中找到合适的位置，点击鼠标左键即可完成元器件的放置。如下图所示：



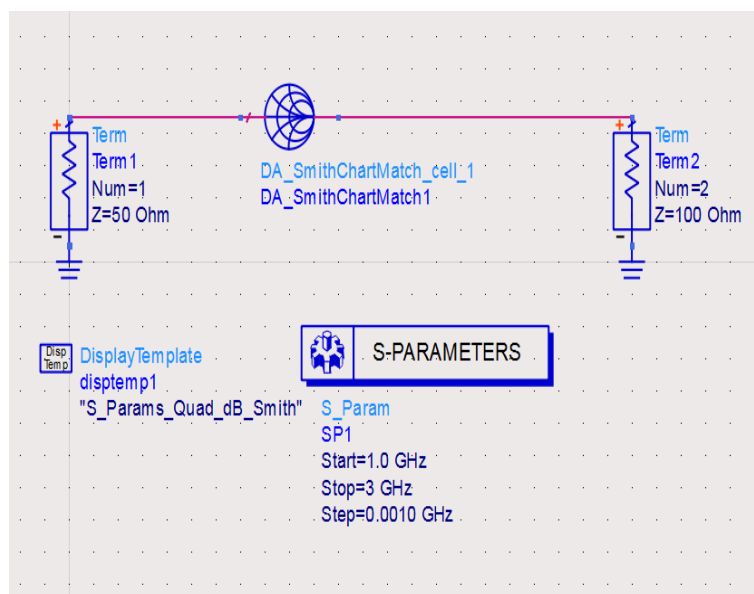
5、连线。在工具栏中找到并点击按钮，将“DA\_SmithChartMatch\_cell-1”的两端分别与 Term1、Term2 的两端相连接；完成连接后按“ESC”键即可退出连线模

式。

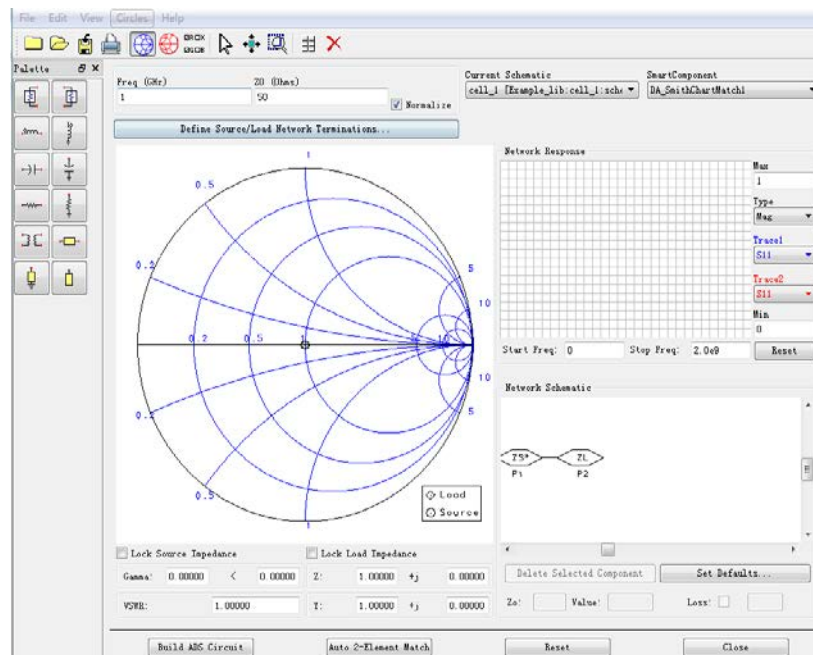
- 6、“DA\_SmithChartMatch\_cell-1” 参数设置。双击 ，弹出如下对话框：



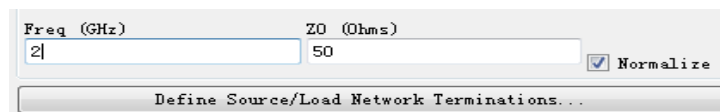
**关键设置 (注意单位):** 点击工作频率“Fp”，本实验的工作频率为2GHz，所以在右边的对话框中设置频率为 2GHz，其他参数设置与设置“Fp”类似，“SourceType=Resistive”（因源端阻抗只有电阻，所以类型为“Resistive”；若有其他电抗元件则“SourceType”类型为“Complex Impedance”）、“SourceEnable=Enable”、“Zg=50 $\Omega$ ”、“SourceImpType=SourceImpedance”、“LoadType=Resistive”、“LoadEnable=Enable”、“Z<sub>L</sub>=100 $\Omega$ ”，完成设置后点击“OK”，最终原理图如下图所示：



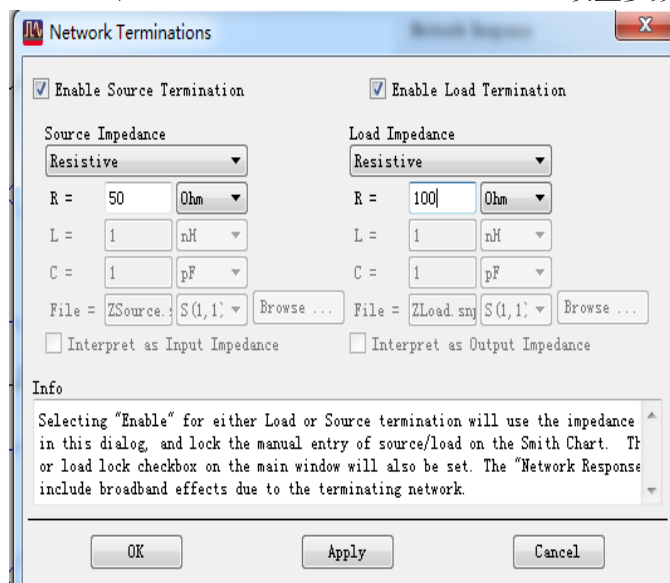
- 7、在原理图设计窗口中，依次点击菜单栏中的【Tools】，【Smith Chart】，弹出“Smith Component Sync Utility”对话框，选择“Update SmartComponent from Smith Chart Utility”，点击“OK”按钮，弹出“Smith Component Utility”对话框。如下图所示：



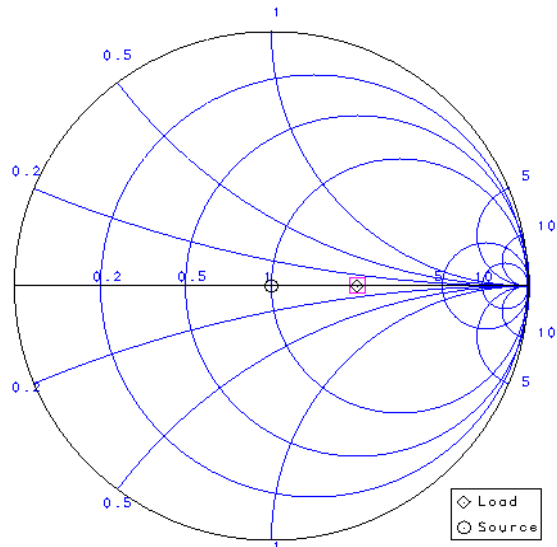
- 8、Smith Component Utility 相关参数设定。设置工作频率和特征阻抗如图：



点击“Define Source/Load Network Terminatio2ns...”设置参数如下图：

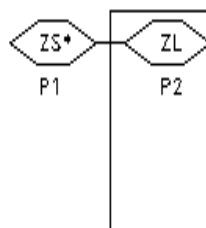


参数设定完成后并点击“OK”按钮，源阻抗与负载阻抗在 Smith 圆图中的位置如下：

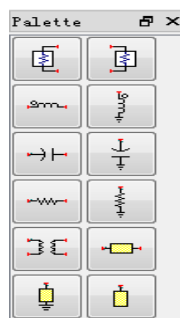


9、利用电容和电感进行阻抗匹配。

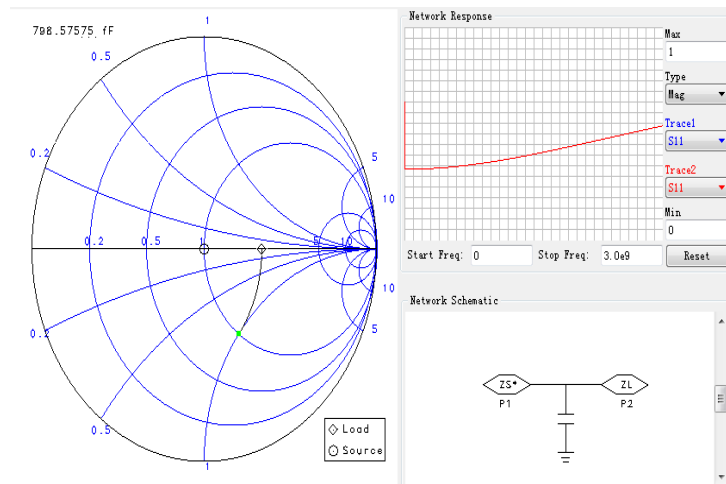
(1)、点击选中“Network Schmatic”中的“ZL”



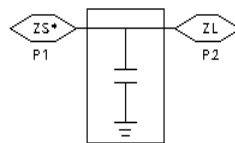
(2)、在左边的“Palette”中选择电容或电感进行旋转匹配，



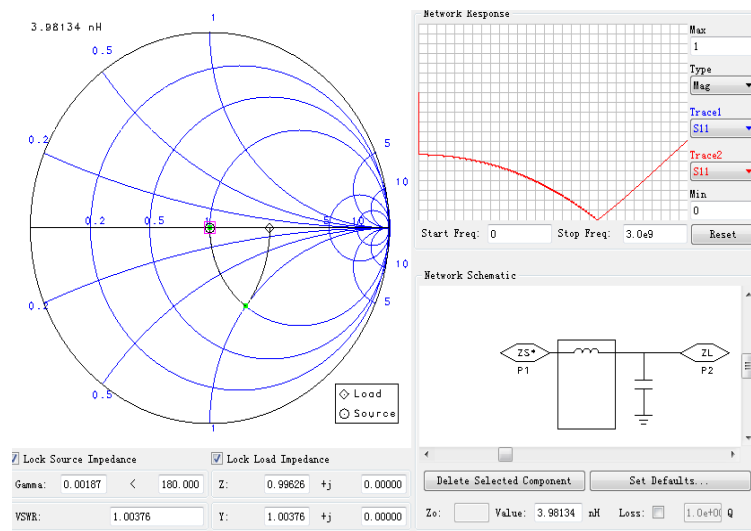
如点击选择并联电容后，在 Smith 圆图中就会出现一端固定在负载一端跟随鼠标指针移动的圆，当鼠标指针移动到  $1 + j * X$  阻抗圆上时，单击一下即可完成并联电容的放置，同时在“Network Schmatic”中显示出了并联电容，如图所示：



(3)、类似地, 点击选中并联的电感:



在“Palette”中选择串联电感，在  $1 + j * X$  上移动鼠标指针，匹配到源端阻抗即可，完成整个匹配过程。如下图：

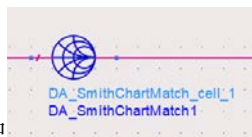



特别注意史密斯圆图中所示的匹配过程（旋转方式）和课堂上讲的有什么不一样，并解释为什么这种方法和课堂上讲的是等效的。

Build ADS Circuit

10、 点击左下角的 按钮，自动跳出匹配后的电路原理

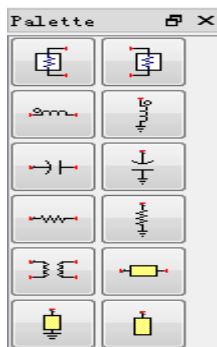








图，点击选中，然后单击工具栏中的即可查看生成匹配后的子电路。

- 11、按“F7”键即可仿真并弹出匹配后的 S 参数图。

提示：在“Smith Chart Utility”匹配过程中用到的匹配元器件说明：



其中，  分别表示串联电感、并联电感，  分别表示串联电容、

并联电容， 表示串联微带传输线，  分别表示单短截线并联短路、单短截线并联开路，这些在下次实验中会用到。

## 五、具体实验内容

1. 用四分之一波长微带传输线把  $100\Omega$  匹配到  $50\Omega$ 。
2. 用四分之一波长微带传输线把  $100+25j\Omega$  匹配到  $50\Omega$ ，需要先加一节  $Z_0 = 50\Omega$  的传输线把负载变成实数。
3. 用 L 节匹配技术把  $100\Omega$  匹配到  $50\Omega$ ，看先串联再并联的方法(Second kind in ppt page 85) 是否可行。
4. 用 L 节匹配技术把  $20-40j\Omega$  匹配到  $50\Omega$ ，分别用两种方法（先并后串和先串后并）都试一遍。

## 六、实验报告

- (1) L 节匹配 Smith 圆图读值记录

L 节匹配	电容值（单位）	电感值（单位）

- (2) 附上  $1/4$  波长变换和 L 节匹配的完整电路图,Smith 圆图以及仿真后的 S 参数图。
- (3) 理想匹配的情况下  $V_{SWR}=1$ ，但利用 ADS 中的 Smith 匹配后往往会有误差存在，例

如单短截线开路匹配的结果如下：

Gamma:	0.00175	<	169.629	Z:	0.99657	+j	0.00063
VSWR:	1.00350			Y:	1.00344	+j	-0.00063

那么，请分别分析以上四种匹配技术的误差来源（至少列出一条）

- (4) 按照自己的理解，说出 S 参数中  $S_{11}$ ， $S_{12}$ ， $S_{21}$ ， $S_{22}$  的实际物理意义。
- (5) 分析史密斯圆图中所示的匹配过程（旋转方式）和课堂上讲的有什么不一样，并解释为什么这种方法和课堂上讲的是等效的。

备注：进行单短截线匹配时，需要自带一张 Smith 圆图，从中读出传输距离  $l$ ，以便换算成电长度在 ADS 的 Smith 圆图中设置相关参数完成匹配。