

# 微波电路 ADS 仿真

一、	微带传输线设计.....	1
	(A1) 经验公式法.....	1
	(A2) 使用 matlab 编程分析.....	2
	(A3) 相关程序结果.....	2
	(B1) ADS 建模仿真.....	5
	(B2) 设置控件 MSUB 微带线参数.....	5
	(B3) 帮助文件.....	6
	(B4) 初始结果.....	7
	(B5) 手动调整导带宽度.....	8
	(C1) 微带线自带计算工具.....	8
	(D1) 优化方法.....	10
	(D2) 优化后的仿真结果.....	10
	(E) 相关参数改变.....	11
二：	微带电容的设计.....	12
	(1) 交流电路分析.....	12
	(2) 使用交流扫频方法并使用理想电容等效.....	12
	(3) 使用微带线设计.....	13
	(4) 使用交指微带设计.....	14
	(5) S 参数电路分析.....	16
	(6) 使用微带电容 MTFG 模块设计.....	17
三：	微带电感的设计.....	19
	(1) 交流电路分析.....	19
	(2) S 参数电路分析.....	20
	(3) 使用方形微带电感实现.....	20

组员：周亮、张扬

## 1. 微带传输线设计

要求：设计 50 欧姆的微带线，首先使用公式计算的方法，然后使用软件优化设计的方法（添加随机函数和变量），其中参量的值为，基片介电常数为 2.3，金属导带使用 copper，研究介电常数、金属线宽、长度对特性阻抗和频带的影响。

几种方法：

- (1) 经验公式法
- (2) 手动设置法
- (3) 计算法，需要 ADS 的计算控件
- (4) 优化法

(A1) 经验公式法

微带线的特性阻抗计算方法：

$$Z_0 = 60\pi^2 \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_e}} \frac{1}{1 + \frac{\pi W}{2h} + \text{Ln} \left( 1 + \frac{\pi W}{2h} \right)} \quad (W/h)$$

这个公式近似度差些，若要求稍微更精确些的计算，可采用下列的计算公式：

$$Z_0 = 60\pi \frac{1}{\frac{W}{2h} + \frac{1}{h} \text{Ln} \left[ 2\pi e \left( \frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right]} \quad (W/h)$$

$$\epsilon_e = \frac{1 + \epsilon_r}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{10h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

或者使用另一组计算公式：

$$Z_0 = 60 \text{Ln} \left( \frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right) \quad \square h$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\frac{W}{h} + 2.42 - 0.44 \frac{h}{W} + \left( 1 - \frac{h}{W} \right)^6}, \quad W/h$$

本设计中使用介电常数 2.3 的介质，那么对于不同的 W/h，使用 matlab 编程计算：

(A2) 使用 matlab 编程分析

```
disp('微带线阻抗计算')
```

```
er=2.3;
```

```
wh=1:0.1:10
```

```
ee=(1+er)/2+(er-1)/2*(1+10*(1./wh)).^(-0.5);
```

```
z0=120*pi./(wh+2.44-0.44./wh+(1-1./wh).^6)
```

```
z1=60*pi*pi*sqrt(1./ee)./(1+pi*wh+log(1+pi/2.*wh))
```

```
subplot(1,2,1)
```

```
plot(wh,z0)
```

```
subplot(1,2,2)
```

```
plot(wh,z1)
```

最终得到 WH 比为 1.95

(A3) 相关程序结果

```
MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: F:\matlab
Shortcuts How to Add What's New
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
PIOT (Why Z1)
微带线阻抗计算

wh =

Columns 1 through 18
1.0000 1.1000 1.2000 1.3000 1.4000 1.5000 1.6000 1.7000 1.8000 1.9000 2.0000 2.1000 2.2000 2.3000 2.4000 2.5000 2.6000 2.7000

Columns 19 through 36
2.8000 2.9000 3.0000 3.1000 3.2000 3.3000 3.4000 3.5000 3.6000 3.7000 3.8000 3.9000 4.0000 4.1000 4.2000 4.3000 4.4000 4.5000

Columns 37 through 54
4.6000 4.7000 4.8000 4.9000 5.0000 5.1000 5.2000 5.3000 5.4000 5.5000 5.6000 5.7000 5.8000 5.9000 6.0000 6.1000 6.2000 6.3000

Columns 55 through 72
6.4000 6.5000 6.6000 6.7000 6.8000 6.9000 7.0000 7.1000 7.2000 7.3000 7.4000 7.5000 7.6000 7.7000 7.8000 7.9000 8.0000 8.1000

Columns 73 through 90
8.2000 8.3000 8.4000 8.5000 8.6000 8.7000 8.8000 8.9000 9.0000 9.1000 9.2000 9.3000 9.4000 9.5000 9.6000 9.7000 9.8000 9.9000

Column 91
10.0000
```

```
MATLAB 7.8.0 (R2009a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: F:\matlab
Shortcuts How to Add What's New
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
10.0000

z0 =

Columns 1 through 18
125.6637 120.0608 115.1696 110.8247 106.9097 103.3408 100.0565 97.0114 94.1710 91.5090 89.0048 86.6421 84.4072 82.2891 80.2781 78.3658 76.5452 74.8096

Columns 19 through 36
73.1533 71.5711 70.0581 68.6099 67.2227 65.8926 64.6164 63.3908 62.2129 61.0801 59.9898 58.9396 57.9275 56.9514 56.0094 55.0997 54.2208 53.3710

Columns 37 through 54
52.5489 51.7532 50.9825 50.2358 49.5120 48.8098 48.1284 47.4669 46.8244 46.2000 45.5930 45.0026 44.4281 43.8690 43.3245 42.7941 42.2773 41.7735

Columns 55 through 72
41.2821 40.8029 40.3351 39.8786 39.4328 38.9974 38.5719 38.1562 37.7497 37.3522 36.9634 36.5830 36.2107 35.8463 35.4895 35.1400 34.7977 34.4623

Columns 73 through 90
34.1335 33.8113 33.4953 33.1854 32.8815 32.5833 32.2907 32.0035 31.7216 31.4448 31.1729 30.9059 30.6437 30.3860 30.1327 29.8838 29.6392 29.3986

Column 91
29.1621
```

**MATLAB 7.8.0 (R2009a)**

File Edit Debug Parallel Desktop Window Help

Current Directory: F:\matlab

Shortcuts How to Add What's New

New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

```

29.1021

z1 =

Columns 1 through 18

85.6993 79.6505 74.4298 69.8751 65.8645 62.3042 59.1211 56.2574 53.6664 51.3102 49.1579 47.1837 45.3659 43.6864 42.1297

Columns 19 through 36

36.8935 35.7856 34.7437 33.7618 32.8349 31.9584 31.1283 30.3409 29.5931 28.8818 28.2044 27.5585 26.9420 26.3528 25.7892

Columns 37 through 54

23.7596 23.3018 22.8615 22.4377 22.0294 21.6360 21.2565 20.8902 20.5365 20.1947 19.8641 19.5444 19.2348 18.9350 18.6445

Columns 55 through 72

17.5672 17.3172 17.0742 16.8381 16.6084 16.3850 16.1676 15.9559 15.7497 15.5488 15.3530 15.1621 14.9759 14.7943 14.6171

Columns 73 through 90

13.9489 13.7914 13.6374 13.4868 13.3395 13.1955 13.0545 12.9165 12.7814 12.6492 12.5197 12.3928 12.2684 12.1466 12.0272

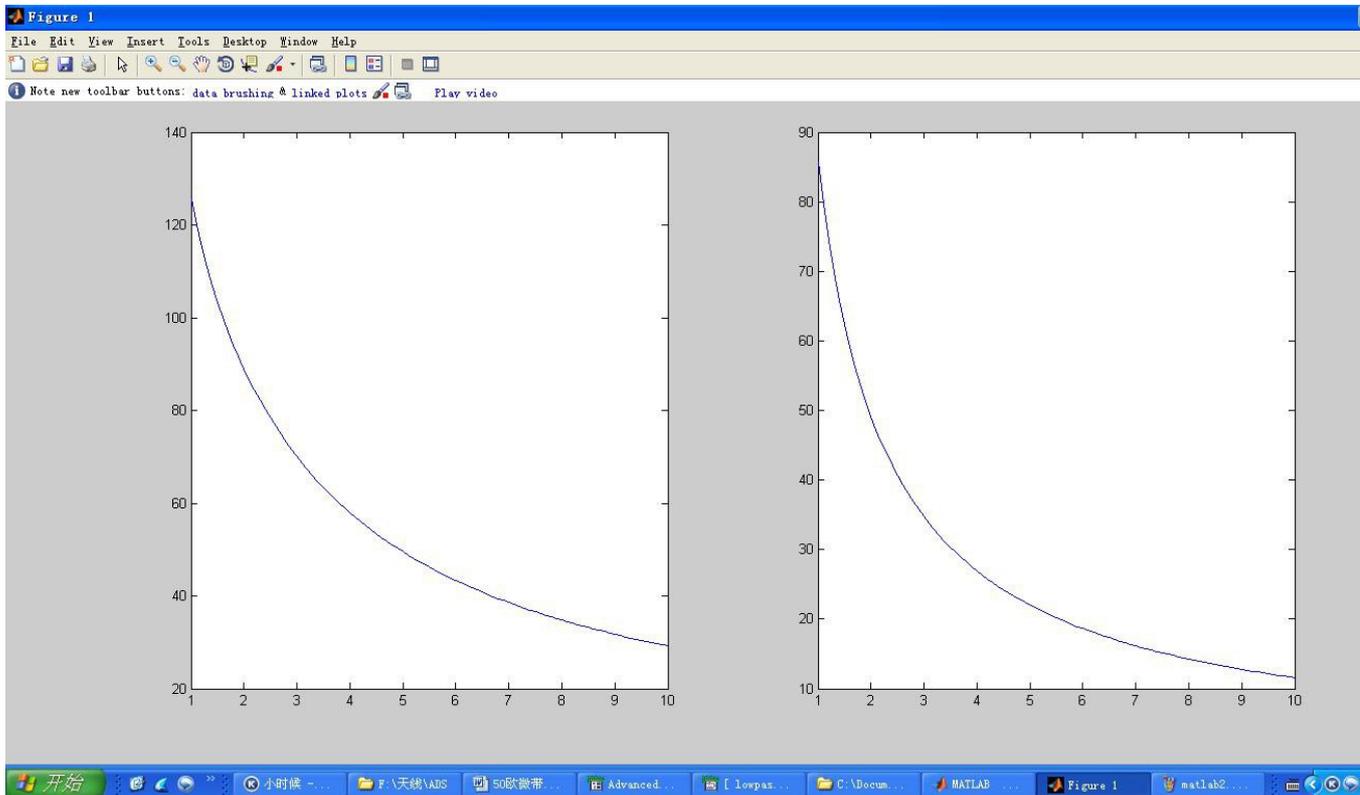
Column 91

11.5721
  
```

fx >>

Start

开始 五月天... F:\天线VADS 50欧微带... Advanced... [lowpas... C:\Docum... MATLAB... Figure 1



### (B1) ADS 建模仿真

新建工程，选择【File】→【New Project】，系统出现新建工程对话框。在 name 栏中输入工程:microstrip，并在 Project Technology Files 栏中选择 ADS Standard: Length unit—millimet，默认单位为 mm。单击 OK，完成新建工程，此时原理图设计窗口会自动打开。

在原理图设计窗口中选择 TLines-Microstrip 元件面板列表，并选择 MSUB，按照如图所示的方式连接起来。

在原理图设计窗口中选择 S 参数仿真工具栏，Simulation-S\_Param。选择 Term 放置在微带线两边，用来定义端口 1 和 2，并放置两个地，连接好电路。

选择 S 参数扫描控件放置在原理图中，并设置扫描的频率范围和步长。双击 S 参数仿真控制器，参数设置如下。

Start=0 GHz，表示频率扫描的起始频率为 0 GHz。

Stop=5 GHz，表示频率扫描的终止频率为 5 GHz。

Step=0.01 GHz，表示频率扫描的频率间隔为 0.01 GHz。

### (B2) 设置控件 MSUB 微带线参数

copper:

relative permittivity: 1

relative permeability: 0.999991

conductivity: 58000000 siemens/m

mass density: 8933

H=1mm，微带线基板厚度为 1mm

Er=2.3，微带线基板的相对介电常数为 2.3

Mur=1，微带线基板的相对磁导率为 1

Cond=58000000，微带线导体的电导率为 58000000

Hu=1.0e+0.33mm，表示微带线的封装高度

T=0.05mm，微带线的导体层厚度为 0.05mm (50um)

TanD=0.0003，微带线的损耗角 tan=0.0003

Rough=0mm，微带线表面粗糙度为 0mm

[ lowpassfilter\_prj ] microchip \* (Schematic):4

File Edit Select View Insert Options Tools Layout Simulate Window DynamicLink DesignGuide Help

Optim/Stat/Yield/DOE Goal

Palette

- Optim
- Yield
- Yield Spec
- YidOpt
- MC
- DOE
- DOE Goal
- Stat Corr
- Prm Smp
- Sweep Plan
- Meas Egn
- Options
- stat
- Sens

MSUB

MSUB1:  
 H=1.0 mm.  
 Er=2.3  
 Mur=0.999991  
 Cond=5.8E+7  
 Hu=3.9e+034 mil  
 T=0.05 mm  
 TanD=0.0003  
 Rough=0 mil

Term1  
 Num=1  
 Z=50 Ohm

MLIN  
 TL1  
 Subst="MSUB1"  
 W=w1 mm  
 L=100.0 mm

Term2  
 Num=2  
 Z=50 Ohm

S-PARAMETERS

S\_Param  
 SP1  
 Start=0.1 GHz  
 Stop=10.0 GHz  
 Step=0.1 GHz

VAR  
 VAR1  
 w1=2.94604 {o}

OPTIM

Optim  
 Optim1  
 OptimType=Random  
 MaxIters=100  
 DesiredError=0.0  
 StatusLevel=4  
 FinalAnalysis="None"  
 NormalizeGoals=no  
 SetBestValues=yes  
 Seed=  
 SaveSolns=yes  
 SaveGoals=yes  
 SaveOptimVars=no  
 UpdateDataSet=yes  
 SaveNominal=no  
 SaveAllIterations=no  
 UseAllOptVars=yes

GOAL

Goal  
 OptimGoal1  
 Expr="dB(S(1,1))"  
 SimInstanceName="SP1"  
 Min=  
 Max=-50  
 Weight=  
 RangeVar[1]="freq"  
 RangeMin[1]=0 GHz  
 RangeMax[1]=10 GHz

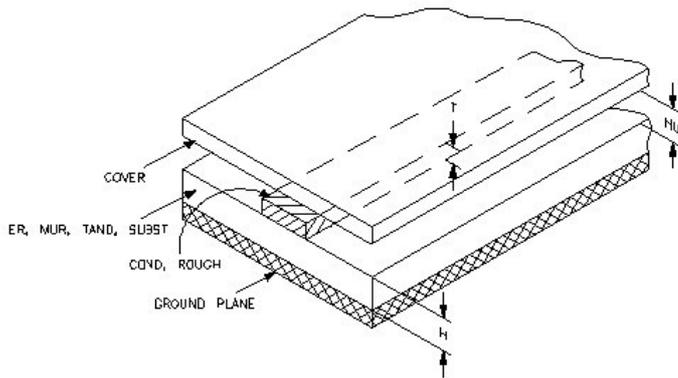
Select: Enter the starting point

0 items wire 2.750, 0.250

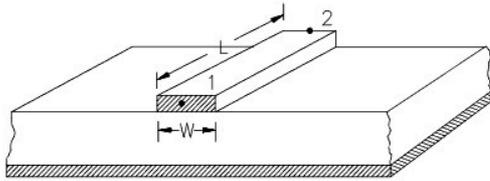
开始 P:\天线\ADS 50欧微带线 doc... 微带滤波器的... Advanced Desig... LineCalc/untitled [ lowpassfilte...

### (B3) 帮助文件

#### Illustration



## Illustration

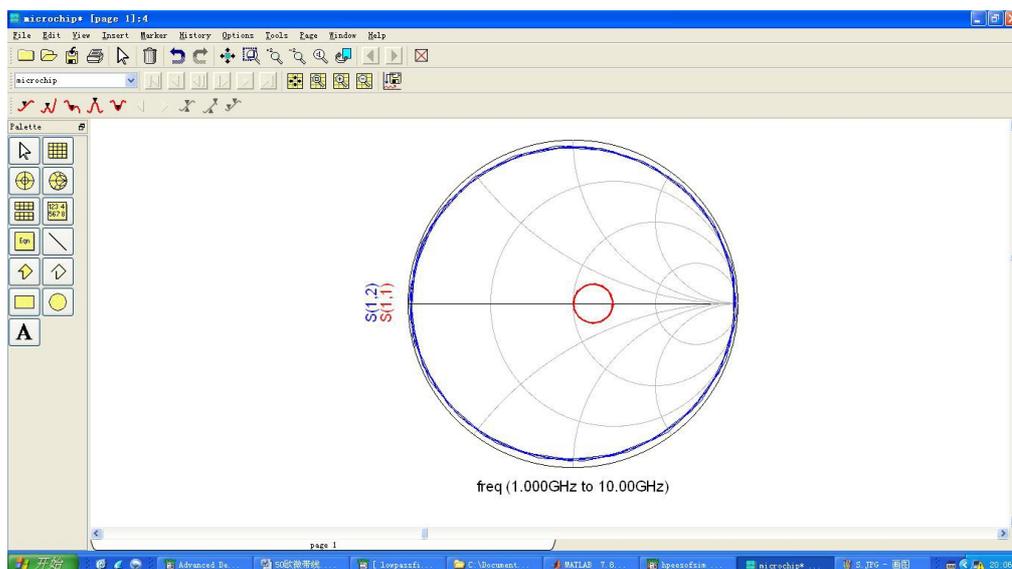
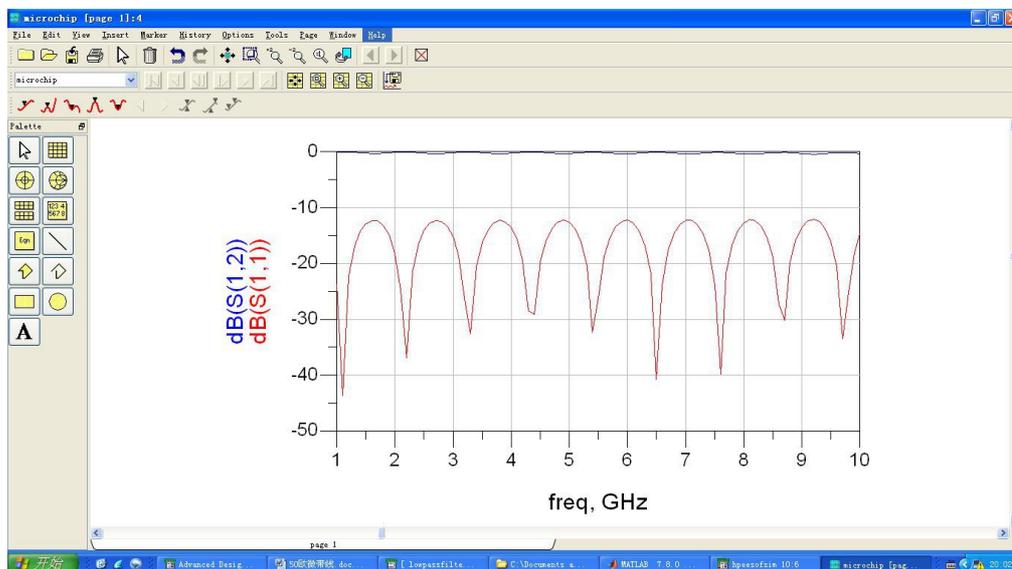


Available in ADS and RFDE

## Parameters

Name	Description	Units	Default
Subst	Substrate instance name	None	MSub1
W	Line width	mil	25.0
L	Line length	mil	100.0

## (B4) 初始结果

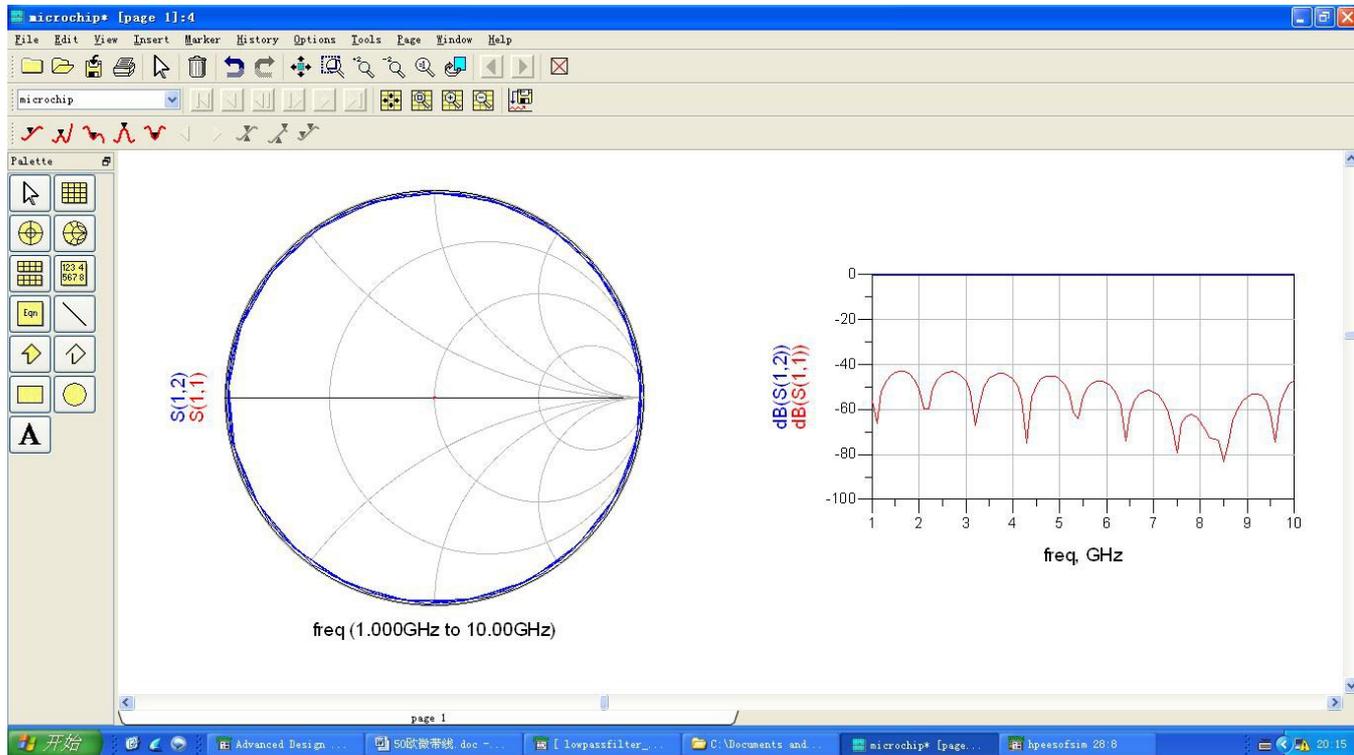


从图上可以看出，使用经验公式得到的导带宽度基板厚度比为  $WH=1.95$ ， $S(1,1)$  反

射系数小于 10dB，能量反射为 0.1，1 端口阻抗匹配特性不好，需要调整导带宽度 W。手动调整导带宽度。

#### (B5) 手动调整导带宽度

手动微调微带传输线的 W，当  $WH=2.96$  时， $S_{11}<-40\text{dB}$ ，可以求出反射系数为 0.01，反射能量为万分之一，满足设计要求。



#### (C1) 微带线自带计算工具

微带线计算控件：选择【Tools】→【LineCalc】→【Start LineCalc】工具来分析综合微带线的特性阻抗。

在 Substrate Parameters 栏中填入与 MSUB 相同的微带线参数。

在 Component Parameters 栏中填入中心频率。

Physical 栏中的 W 和 L 分别表示微带线的宽和长。

Electrical 栏中的 Z0 和 E\_Eff 分别表示微带线的特性阻抗和相位延迟，点击 Synthesize 和 Analyze 栏，可以进行 W、L 与 Z0、E\_Eff 间的相互换算。

输入相关参数后，和手动得到的导带宽度后，分析出微带线的特性阻抗为 50.24 欧姆，和输入输出阻抗基本上处于匹配状态。

在 Z0 输入 50 欧姆，综合得到微带线导带宽度 W 的相关数据： $W=2.9819\text{mm}$ 。

LineCalc/untitled

File Simulation Options Help

Component  
Type: MLIN ID: MLIN: MLIN\_DEFAULT

Substrate Parameters

ID: MSUB\_DEFAULT

Er: 2.300 N/A  
Mur: 0.999 N/A  
H: 1.000 mm  
Hu: 3.3e+34 ml  
T: 0.050 mm  
Cond: 5.8e7 N/A  
TanD: 3.000e-4 N/A  
Rough: 0.000 ml

Physical

W: 2.960 mm  
L: 100.000 mm

Synthesize Analyze

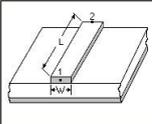
Electrical

Z0: 50.240800 Ohm  
E\_Eff: 1691.580000 deg

Component Parameters

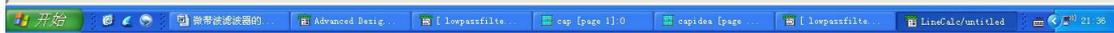
Freq: 10.000 GHz  
Wall1: ml  
Wall2: ml

Values are consistent



Calculated Results

K\_Eff = 1.984  
A\_DB = 0.127  
SkinDepth = 0.026



LineCalc/untitled

File Simulation Options Help

Component  
Type: MLIN ID: MLIN: MLIN\_DEFAULT

Substrate Parameters

ID: MSUB\_DEFAULT

Er: 2.300 N/A  
Mur: 0.999 N/A  
H: 1.000 mm  
Hu: 3.3e+34 ml  
T: 0.050 mm  
Cond: 5.8e7 N/A  
TanD: 3.000e-4 N/A  
Rough: 0.000 ml

Physical

W: 2.981380 mm  
L: 99.972400 mm

Synthesize Analyze

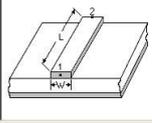
Electrical

Z0: 50.000 Ohm  
E\_Eff: 1691.580000 deg

Component Parameters

Freq: 10.000 GHz  
Wall1: ml  
Wall2: ml

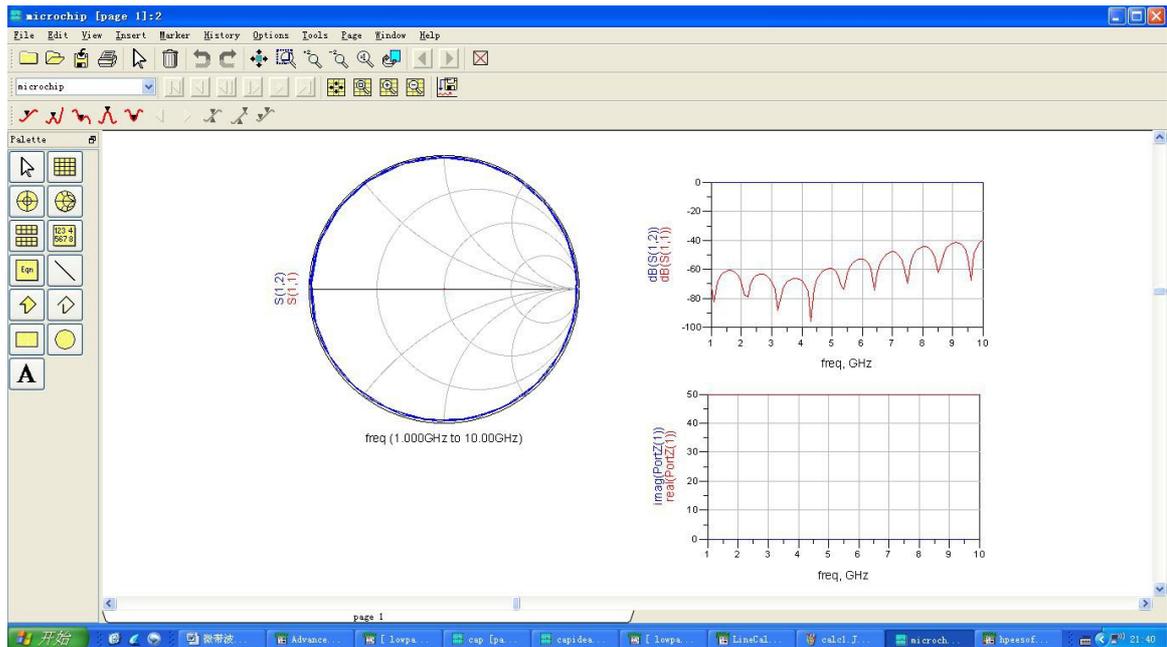
Values are consistent



Calculated Results

K\_Eff = 1.985  
A\_DB = 0.127  
SkinDepth = 0.026





由仿真结果得到，在 0 到 5GHz 频带反射系数小于-60dB，在 5 到 10GHz 频带反射系数小于-40dB。

#### (D1) 优化方法

单击工具栏上的 VAR 图标，把变量控件 VAR 放置在原理图上，双击该图标弹出变量设置窗口，依次添加各变量。

在 Name 栏中填变量名称，Variable Value 栏中填变量的初值，点击 Add 添加变量，然后单击 Tune/Opt/Stat/DOE Setup 按钮设置变量的取值范围，其中的 Enabled/Disabled 表示该变量是否能被优化，Minimum Value 表示可优化的最小值 Maximum Value 表示可优化的最大值。

在原理图设计窗口中选择优化面板列表 optim/stat/Yield/DOE，在列表中选择优化控件 optim，双击该控件设置优化方法和优化次数，常用的优化方法有 Random(随机) Gradient(梯度)等。随机法通常用于大范围搜索，梯度法则用于局部收敛。

在优化面板列表中选择优化目标控件 Goal 放置在原理图中，双击该控件设置其参数。

Expr 是优化目标名称，dB(S(1, 2))

SimInstanceName 是仿真控件名称，这里选择 SP1。

Min 和 Max 是优化目标的最小与最大值。

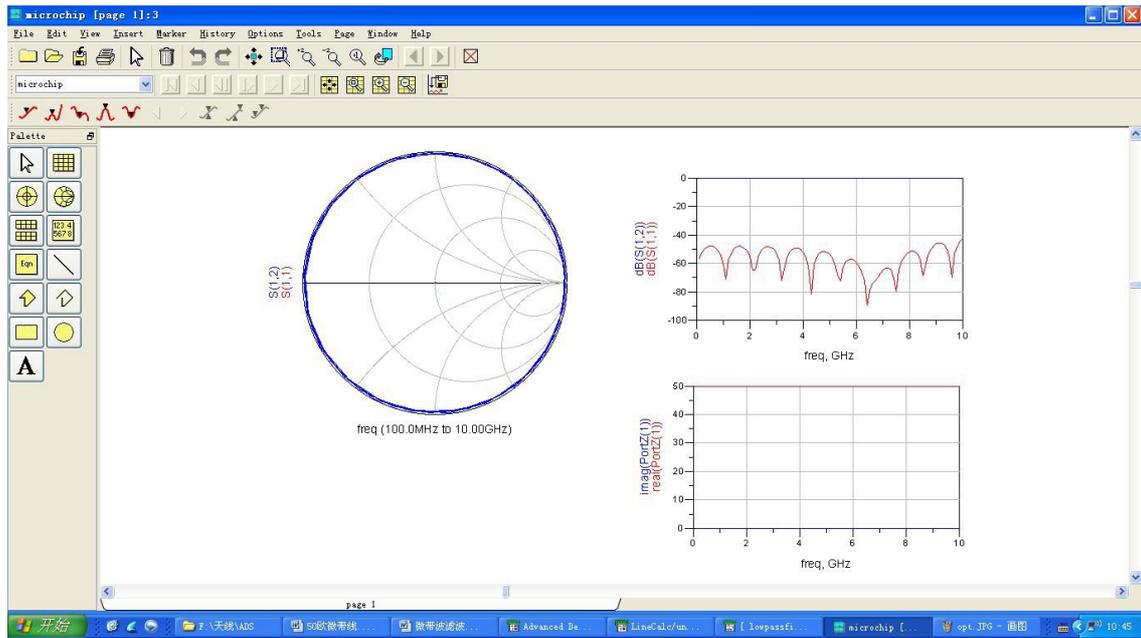
Weight 是指优化目标的权重。

RangeVar [1]是优化目标所依赖的变量，这里为频率 freq。

RangeMin [1]和 RangeMax [1]是上述变量的变化范围。

#### (D2) 优化后的仿真结果

优化后的仿真结果表明，在 0 到 10GHz 频段内反射系数小于-50dB，也就是反射能量小于十万分之一，使用优化法仿真结果基本满足设计要求。



#### (E) 相关参数改变

- 介电常数为 1.3 时，特性阻抗偏大。
- 介电常数为 2.3 时，特性阻抗为 50 欧。
- 介电常数为 3.3 时，特性阻抗偏小。
- 导带线宽为 2mm 时，特性阻抗偏大。
- 导带线宽为 3mm 时，特性阻抗为 50 欧。
- 导带线宽为 4mm 时，特性阻抗偏小。
- 基片厚度为 0.5mm 时，特性阻抗偏小。
- 基片厚度为 1mm 时，特性阻抗为 50 欧。
- 基片厚度为 1.5mm 时，特性阻抗偏大。

## 二：微带电容的设计

### (1) 交流电路分析

$$Z = \frac{1}{j\omega C} = \frac{U}{I} \quad I = j\omega CU$$

那么可以知道，在理想电容两端增加1V的扫频正弦电压后，电流的相位为90°，当电容大小固定时，电流与频率呈正比例关系（线性增加）。

$$\omega_0 = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 10^9 \text{ rad/s}$$

$$C = 2 \text{ pf} = 2 \times 10^{-12} \text{ f}$$

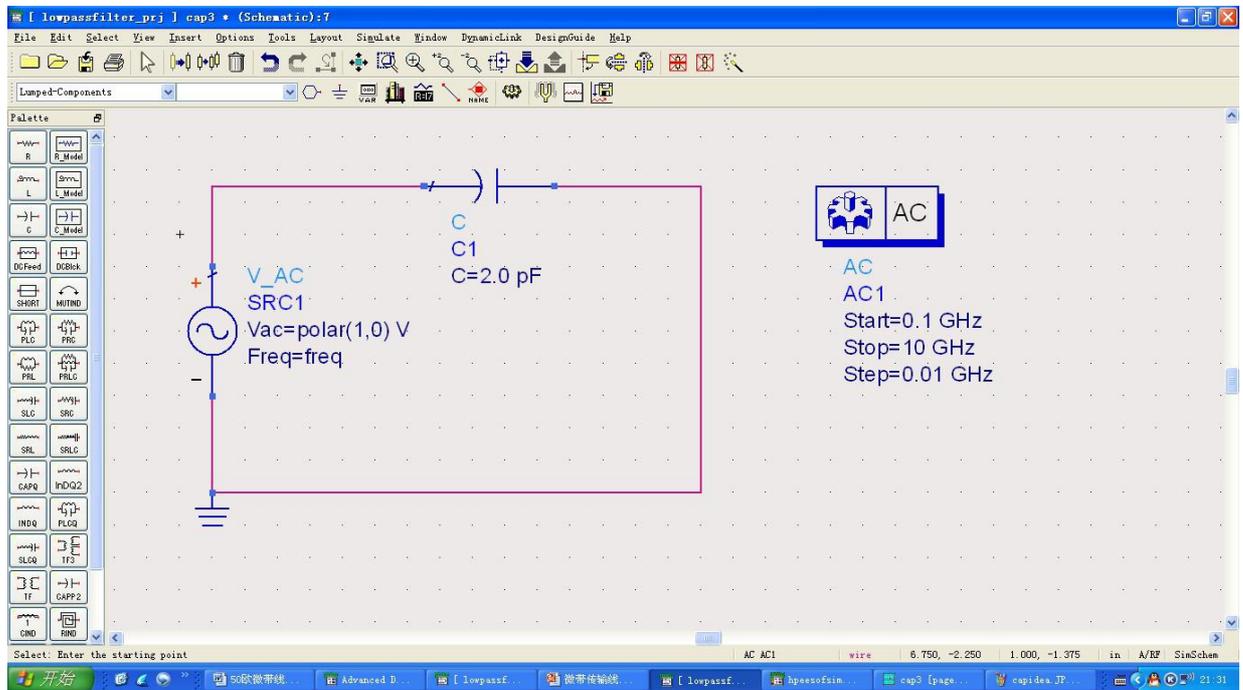
$$U_{\max} = 1 \text{ V/m}$$

$$\text{imag}(i) = 37.8 \times 10^{-3} = 0.0378$$

仿真结果表明，电流虚部为0.0377，与计算结果相同。

$$C = \text{imag}(i \quad \omega = \text{imag} \text{ SRC1.i}) / 2 / 3.14 / \text{freq}$$

### (2) 使用交流扫频方法并使用理想电容等效

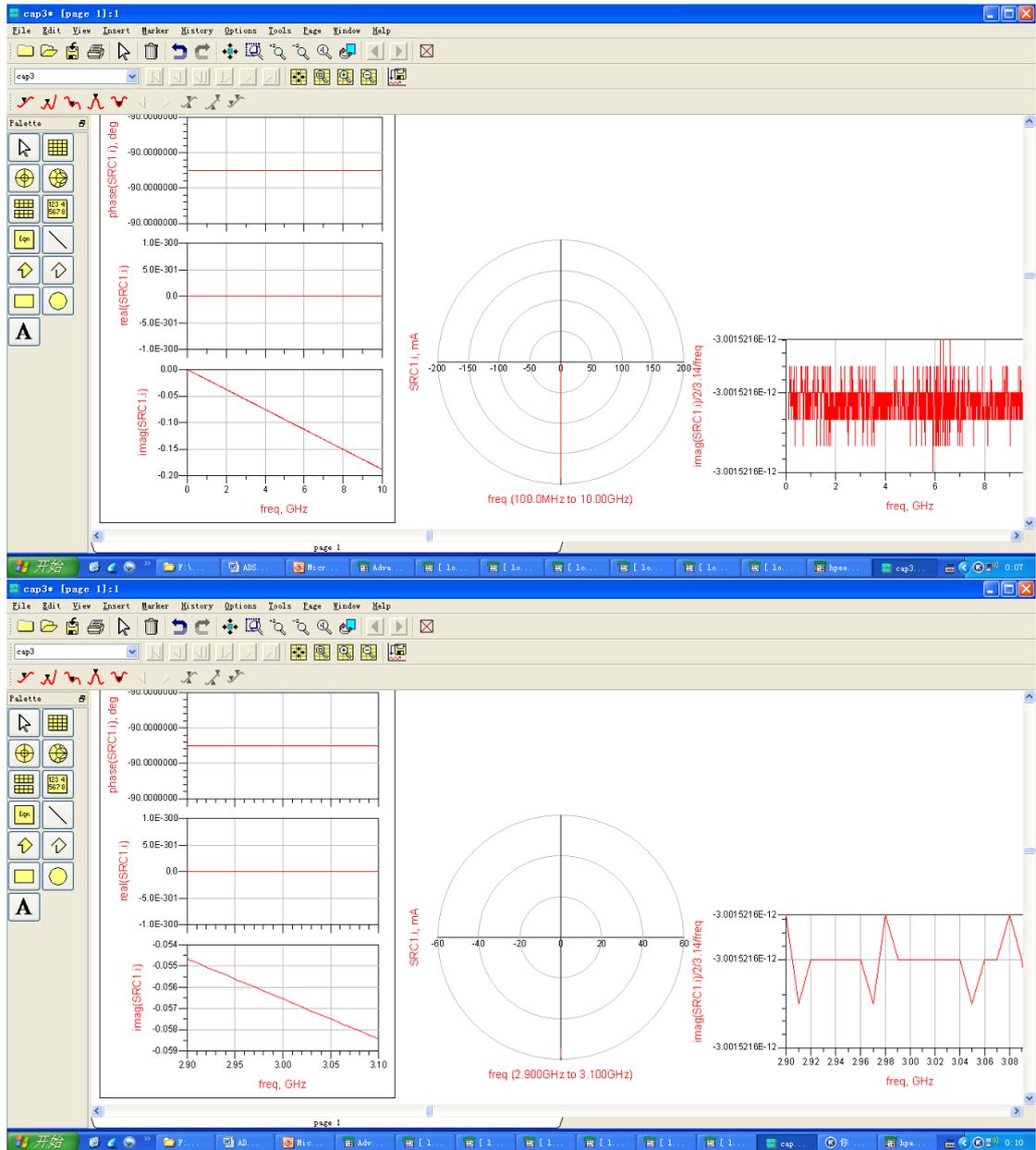


如上图在 ADS 建立电路图，然后在 0 到 10GHz 频带进行电路仿真，仿真结果如下图所示：

由上述所推出的电容表达式可以看出，理想电容的大小在 3.00152pf 左右，误差是由于电脑计算时的截断误差而至。

同时也可以得到理想电容在 2.9GHz 到 3.1GHz 频带内的  $\text{imag}(\text{SRC1.i})$  的范围为  $[-0.0546 \text{ } -0.0585]$ ，那么对于等效电路而言，当外加电源仍为 1V 的扫频电压时，恰当的设计得到的电流虚部范围应该和理想电容得到的电流虚部范围一致，这样设计就可以等效于原设计。

优化时可以使用  $\text{imag}(\text{SRC1.i})$ ，也可以使用表达式  $\text{imag}(\text{SRC1.i}) / 2 / 3.14 / \text{freq}$  计算出的电容值作为设计目标进行优化。



### (3) 使用微带线设计

由传输线的知识可知，终端开路的传输线的输入阻抗为  $Z_{in} = -j \cot(\beta l)$ ，可以等效为

$$\text{一个电容, 电容的大小为 } Z_{in} = -j \cot(\beta l) = \frac{1}{j\omega C} \quad \square \quad C = \tan(\beta l) / \omega = \frac{\tan(\beta l)}{2\pi f}.$$

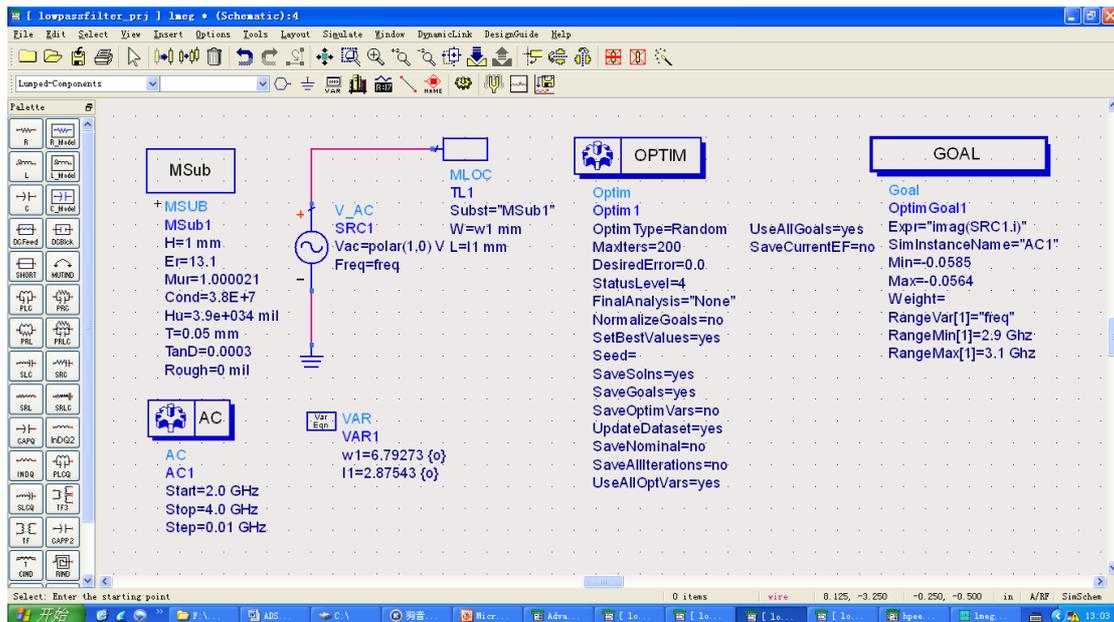
在实际测试时，由于微带的参数不是理想条件，所以设计的输入阻抗存在实部，可以用于计算Q值。

$$Z_{in} = \frac{U}{I} = R + \frac{1}{j\omega C} \quad U = 1 \quad Y_{in} = \frac{I}{U} = g + j\omega C = \text{real}(SCR1.i) + j * \text{imag}(SCR1.i)$$

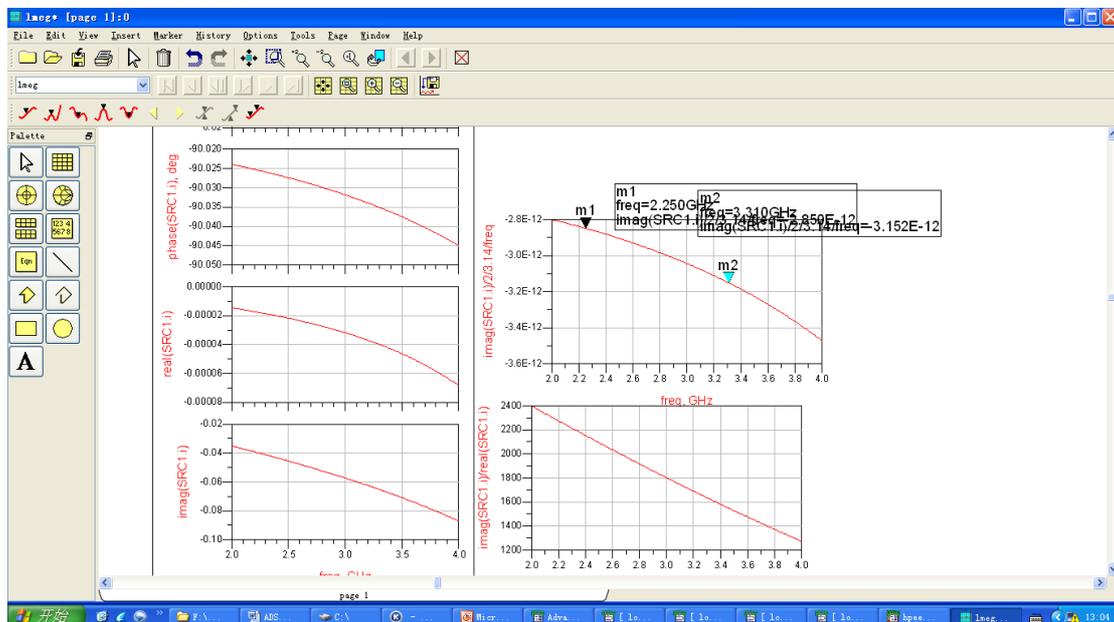
$$C = \frac{\text{imag}(SCR1.i)}{2\pi f}$$

$$Q = \frac{\omega C}{g} = \frac{\text{imag}(SCR1.i)}{\text{real}(SCR1.i)}$$

具体电路图如图所示：



仿真结果如下图所示：



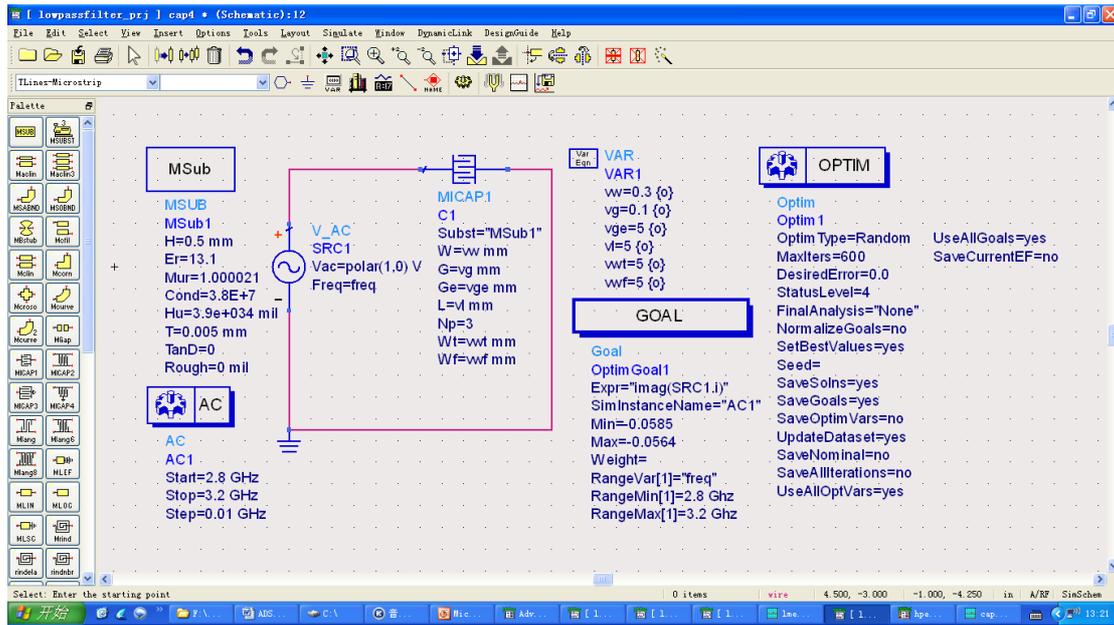
可以看出，电容大小在 2.25GHz 和 3.31GHz 频带范围内误差为 10%以内，即电容大小为 2.85pF 到 3.15pF，频带宽度为 1060MHz。

Q 值在 1200 到 2400 之间。

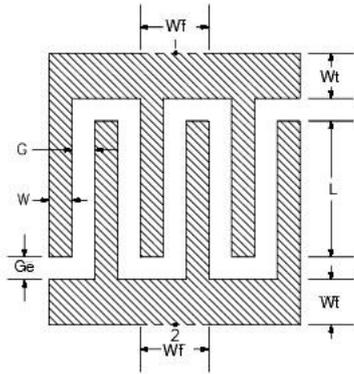
基本满足设计要求。

(4) 使用交指微带设计

具体电路图如图所示：



## Illustration

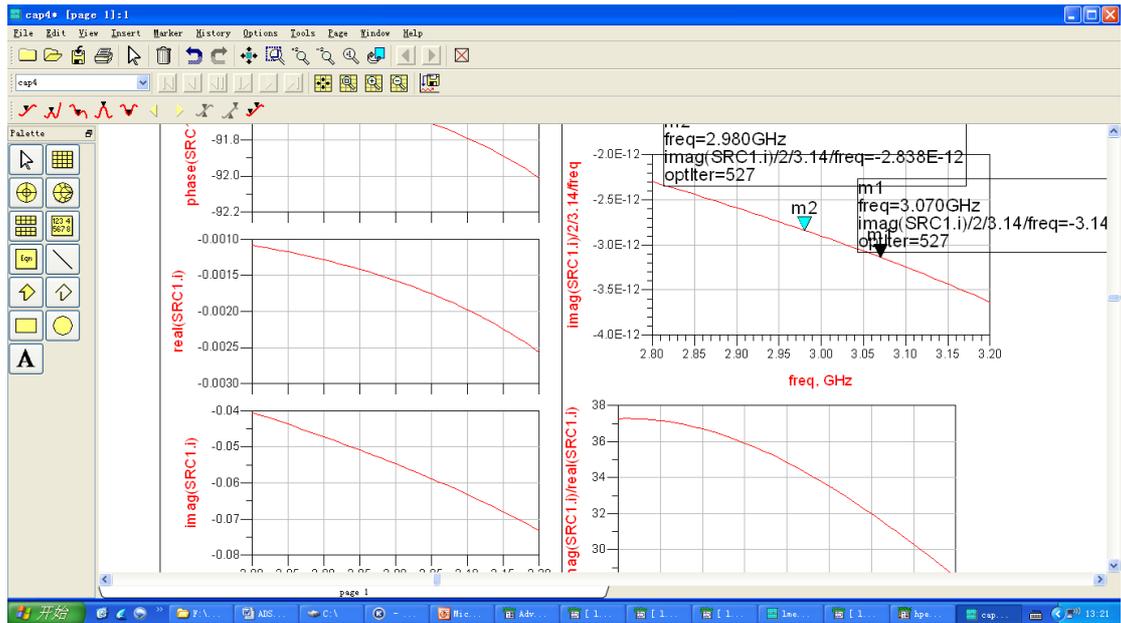


Available in ADS and RFDE

## Parameters

Name	Description	Units	Default
Subst	Substrate instance name	None	MSub1
W	Finger width	mil	5.0
G	Gap between fingers	mil	5.0
Ge	Gap at end of fingers	mil	5.0
L	Length of overlapped region	mil	50.0
Np	Number of finger pairs	Integer	3
Wt	Width of interconnect	mil	25.0
Wf	Width of feedline	mil	25.0
Temp	Physical temperature (see Notes)	°C	None

仿真结果如下图所示：



可以看出，电容大小在 2.98GHz 和 3.07GHz 频带范围内误差为 10% 以内，即电容大小为 2.85pF 到 3.15pF，频带宽度为 90MHz。

Q 值在 26 到 38 之间。

Q 值过小，没有达到设计要求。

#### (5) S 参数电路分析

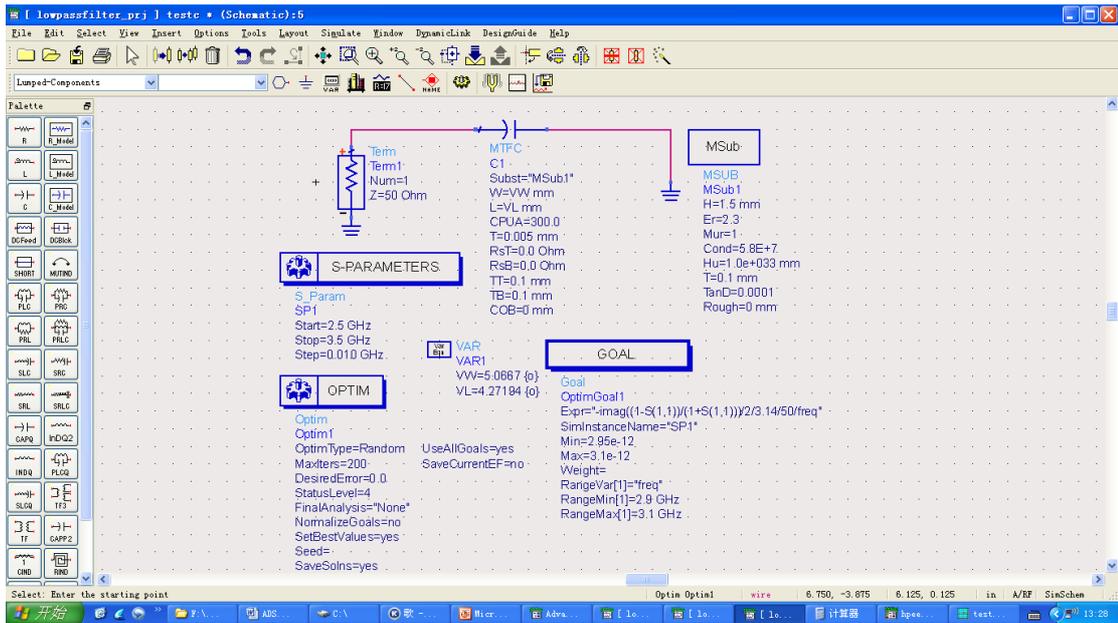
使用 S 参数可以使用两种不同的电路图设计：

第一种电路电容两端只加一个 50 欧姆匹配负载，使用传输线知识可以由  $S(1,1)$  计算出电路的输入阻抗和 Q 值，从而由输入阻抗的大小计算出电容的大小。

$$\Gamma = S_{11} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad Z_L = \frac{1}{j\omega C} \quad Z_0 = 50 \Omega \quad |\Gamma| = 1$$

$$C = \frac{1}{\omega Z_0 \operatorname{imag} \left( \frac{1+S(1,1)}{1-S(1,1)} \right)}$$

$$Q = \frac{\operatorname{imag} \left( \frac{1+S(1,1)}{1-S(1,1)} \right)}{\operatorname{real} \left( \frac{1+S(1,1)}{1-S(1,1)} \right)}$$



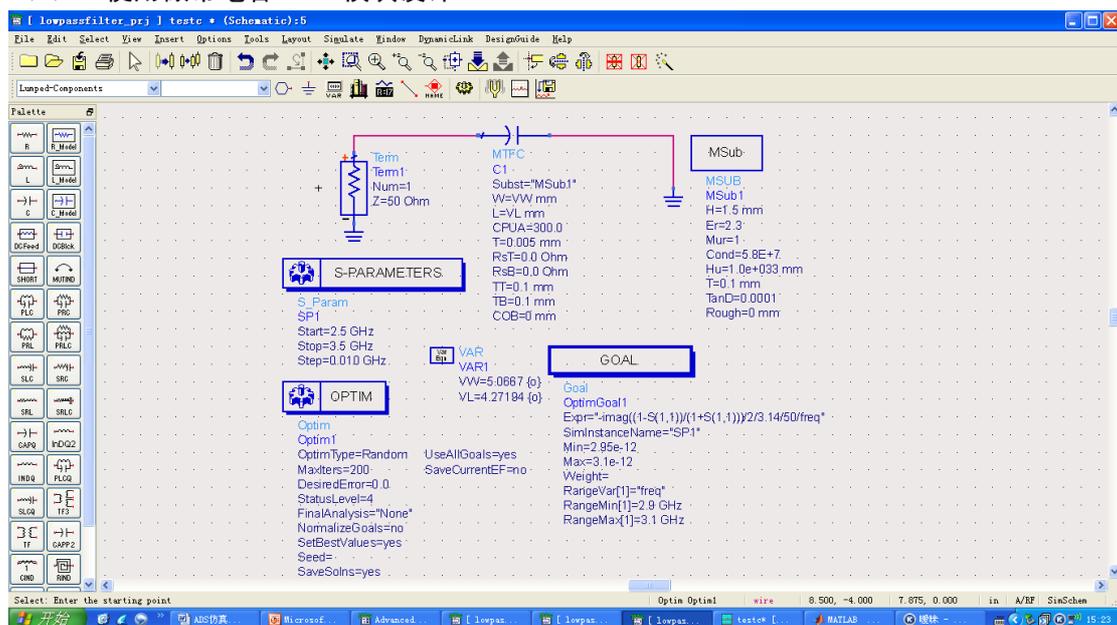
第二种电路电容两端同时加两个 50 欧姆匹配负载，使用传输线知识可以由  $S(1,1)$  计算出电路的输入阻抗和  $Q$  值，从而由输入阻抗的大小计算出电容的大小。

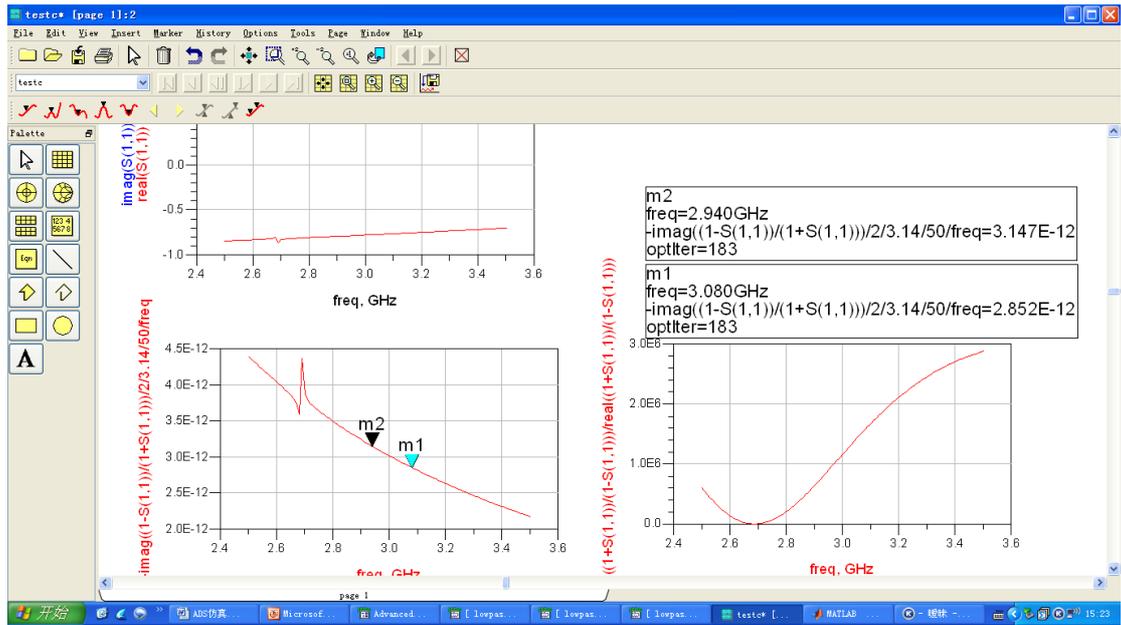
$$\Gamma = S_{11} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad Z_L = Z_0 + \frac{1}{j\omega C} \quad Z_0 = 50$$

$$C = - \frac{\text{imag}(S(1,1))}{100 * \omega * \text{real}(S(1,1))}$$

$$Q = \frac{\text{imag}\left(\frac{100S(1,1)}{1 - S(1,1)}\right)}{\text{real}\left(\frac{100S(1,1)}{1 - S(1,1)}\right)}$$

### (6) 使用微带电容 MTFC 模块设计





可以看出，电容大小在 2.94GHz 和 3.08GHz 频带范围内误差为 10%以内，即电容大小为 2.85pF 到 3.15pF，频带宽度为 140MHz。

满足设计要求。

### 三：微带电感的设计

#### (1) 交流电路分析

$$Z = j\omega L = \frac{U}{I} \quad I = -j \frac{U}{\omega L}$$

看出电流的相位为 $90^\circ$ ，当电感和电压峰值大小固定时，电流与频率呈反比例关系。

$$\omega_0 = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 3 \times 10^9 \text{ rad/s}$$

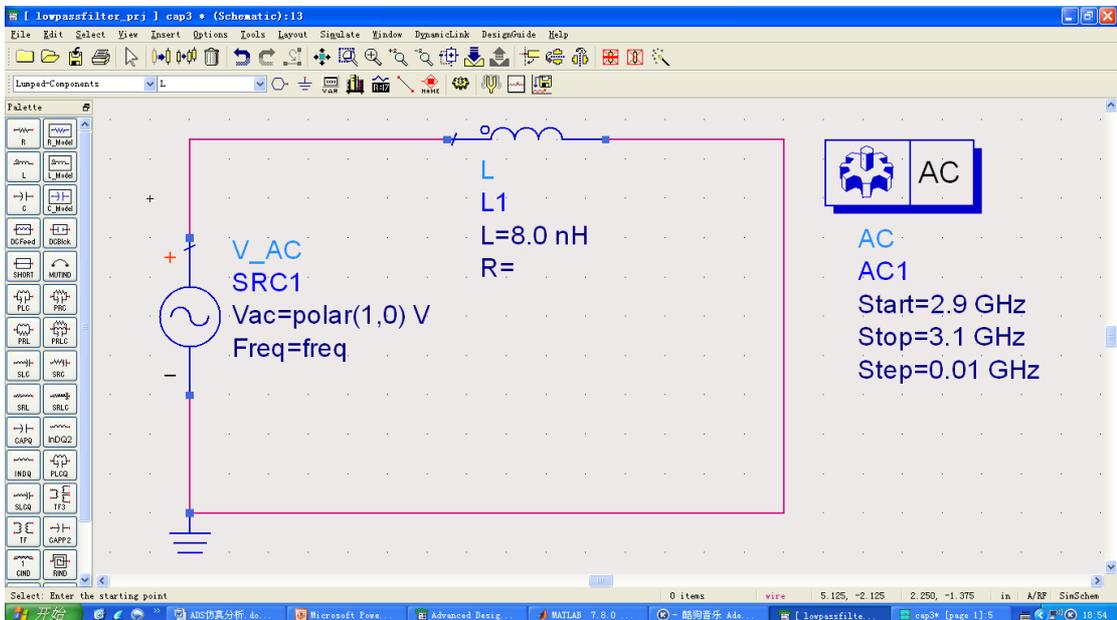
$$L = 5nf = 5 \times 10^{-9} f$$

$$U_{\max} = 1 \text{ V/m}$$

$$\text{imag}(i) = 10.6 \times 10^{-3} = 0.0106$$

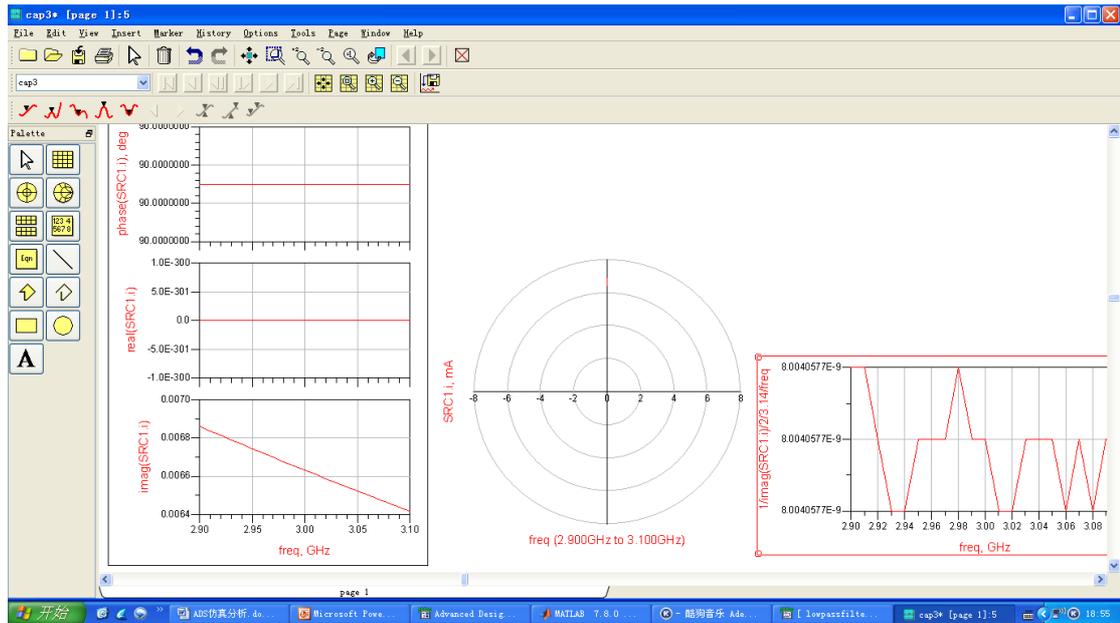
仿真结果表明，电流虚部为0.0106，与计算结果相同。

$$L = \frac{1}{\text{imag}(\text{SRC1}.i)\omega}$$



如上图在 ADS 建立电路图，然后在 2.9 到 3.1GHz 频带进行电路仿真，仿真结果如下图

所示：



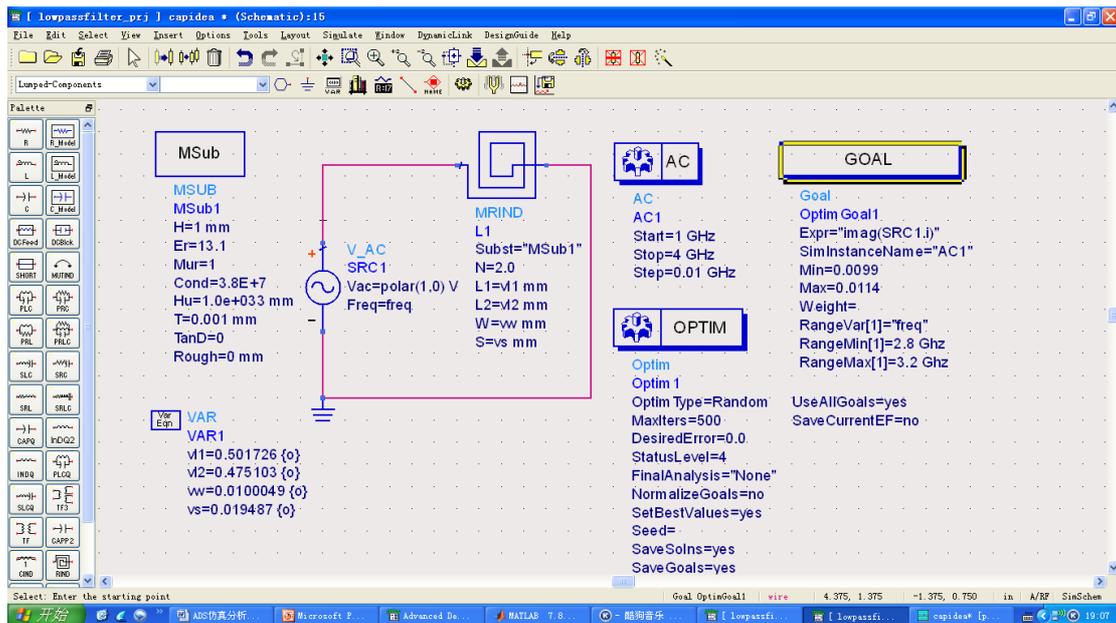
由上述所推出的电感表达式可以看出，理想电感的大小在 8.00405nH 左右，误差是由于电脑计算时的截断误差而至。

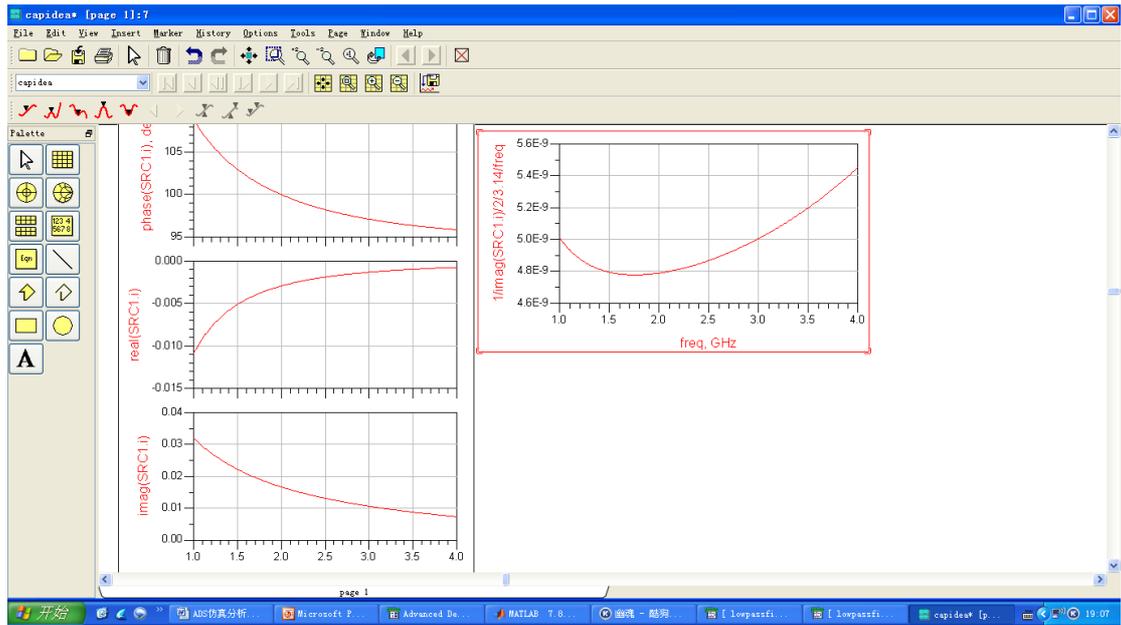
同时也可以得到理想电感在 2.9GHz 到 3.1GHz 频带内的  $\text{imag}(\text{SRC1.i})$  的范围为  $[0.0110 \ 0.0102]$ ，那么对于等效电路而言，当外加电源仍为 1V 的扫频电压时，恰当的设计得到的电流虚部范围应该和理想电感得到的电流虚部范围一致，这样设计就可以等效于原设计。

优化时可以使用  $\text{imag}(\text{SRC1.i})$ ，也可以使用  $1/\text{imag}(\text{SRC1.i})/2/3.14/\text{freq}$  用于计算出的电感值作为设计目标进行优化。

## (2) S 参数电路分析

## (3) 使用方形微带电感实现





可以看出，电感大小在 1GHz 和 4GHz 频带范围内误差为 10%以内，即电感大小为 4.8nH 到 5.5nH，频带宽度为 3GHz。

Q 值在 3GHz 时大小为 1e6 左右。

满足设计要求。