

全新射频匹配设计

- 基于ADS2019 update1.0

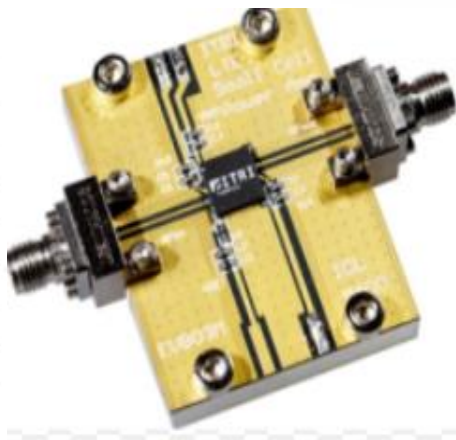
许玥

2019.03.30

Application Engineer



射频匹配的应用场景



- 在通信系统中，射频通道都是不可或缺的。射频系统的性能好坏会直接决定通信质量的好坏。
- 当使用集成度较高的射频模块组件射频系统时，工程师最重要的工作就是调谐各模块之间的匹配设计，从而使系统性能最优。
- 另外，如果需要对某些器件进行设计，例如功放，天线等射频元件，匹配也将直接影响射频器件的性能。

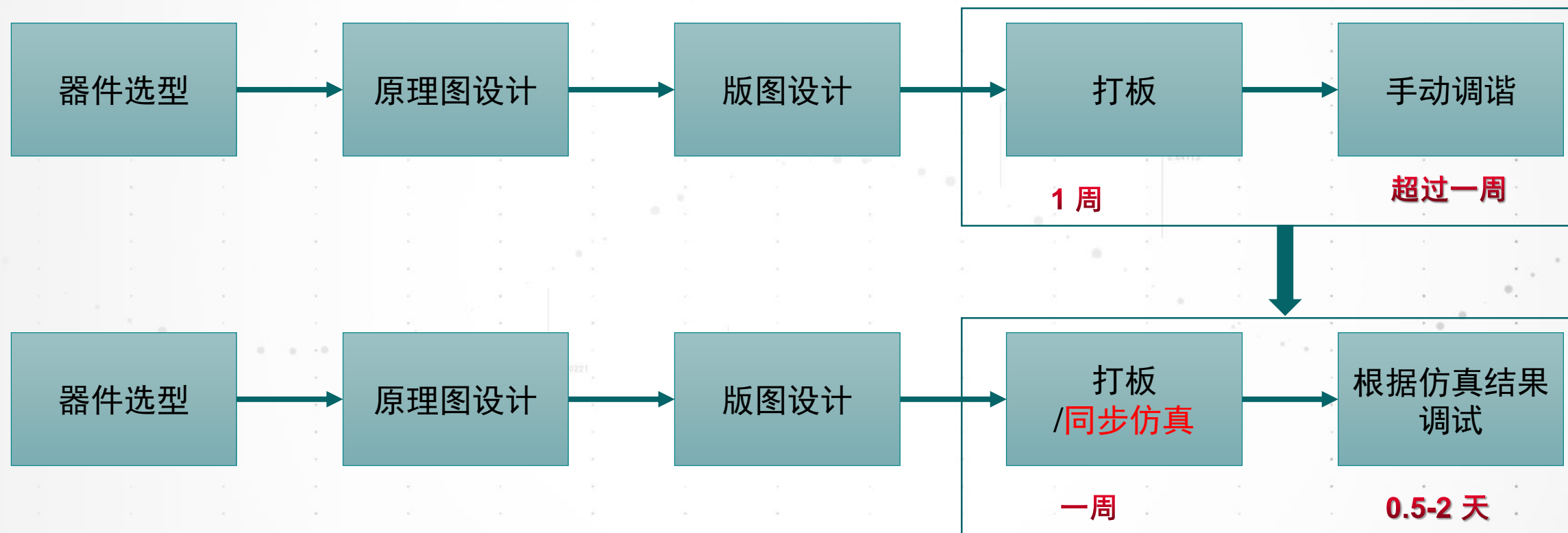
为什么需要仿真



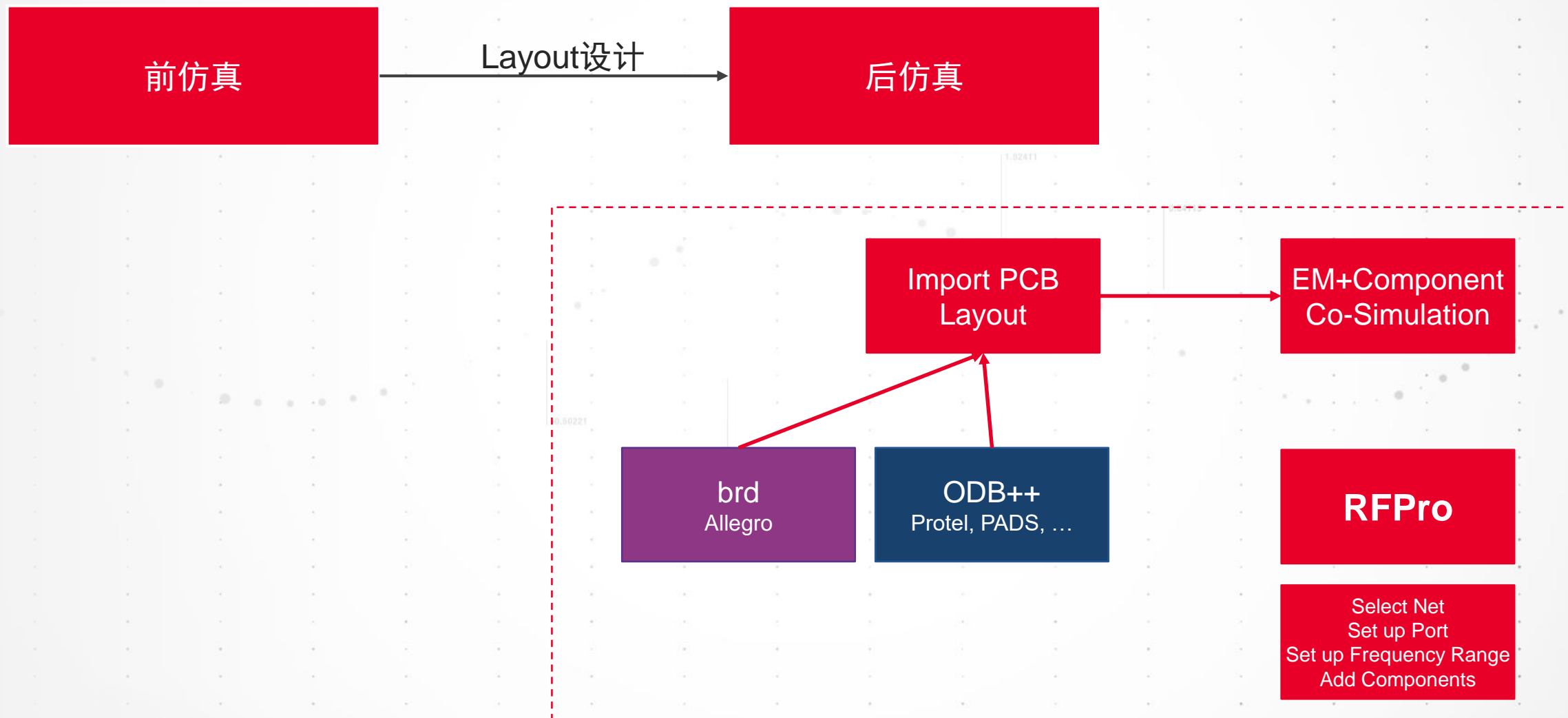
• From Internet

- 小型化趋势，器件尺寸减小。手动调谐匹配网络会花费更多的时间
- 频率升高，空间狭小，重复测量难以保证每次精度
- 盲目的进行设计与调试，除了花费时间外，也不利于技术经验的积累

仿真准确带来的时间效益

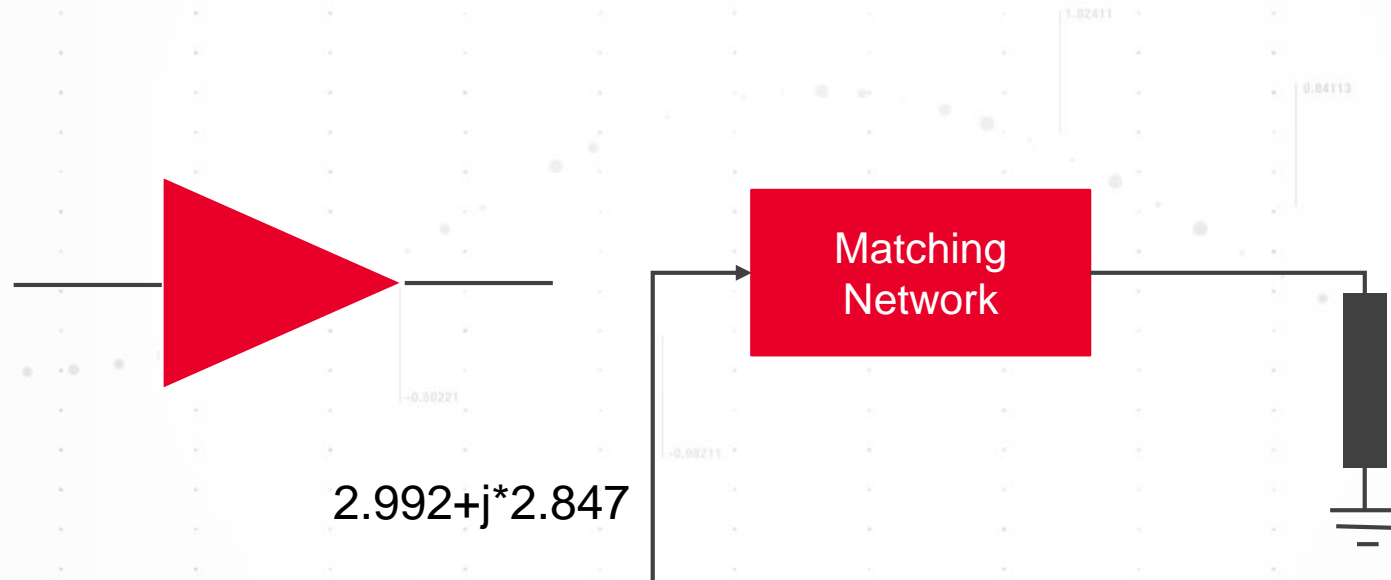


射频匹配仿真流程



实验背景

- 通过测试手段获得如果发射机需要获得最优功率转换效率，所需要匹配的阻抗值为 $2.992+j*2.847$.
- 频率：2-3GHz
- 设计匹配网络



实验内容

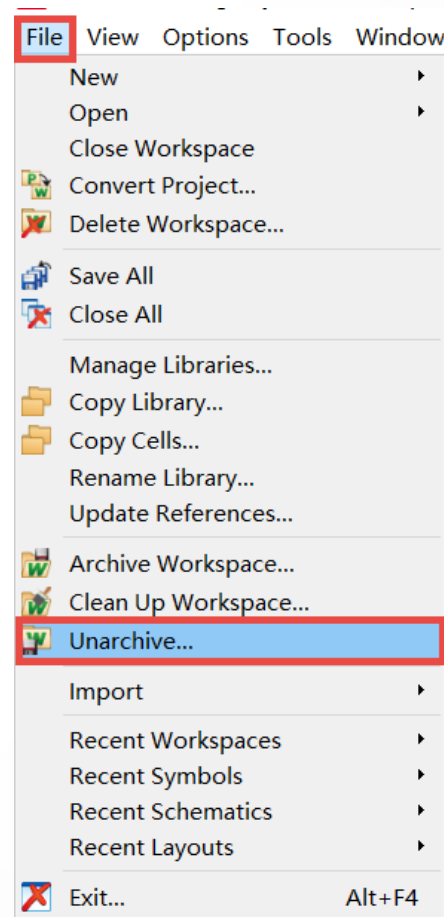
- 前仿真
 - 实验一：通过Smith Chart进行匹配架构选择，器件选型
 - 实验二：使用CILD计算并优化走线与器件
- 后仿真
 - 实验三：导入ODB++文档
 - 实验四：使用RFPro进行快速原理图版图联合仿真
- 总结：前仿真与后仿真精度对比

实验内容

- 前仿真
 - 实验一：通过Smith Chart进行匹配架构选择，器件选型
 - 实验二：使用CILD计算并优化走线与器件
- 后仿真
 - 实验三：导入ODB++文档
 - 实验四：使用RFPro进行快速原理图版图联合仿真
- 总结：前仿真与后仿真精度对比

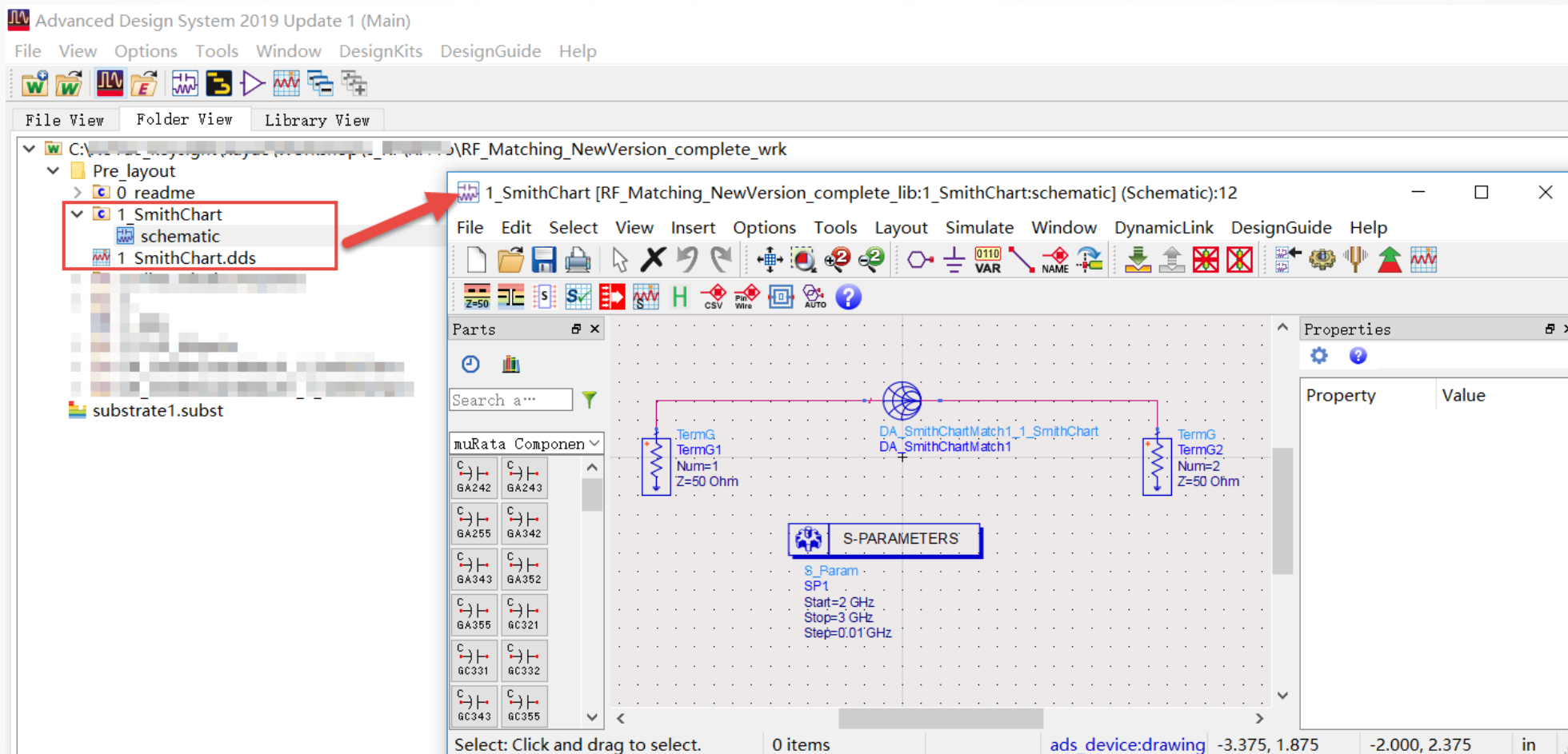
准备工作

- 确认收到Workshop文件夹
- 检查文件中是否包含工程文档RF_Matching_NewVersion_wrk.7zads与ODB++文件
- 将工程文档按照File-Unarchive...解压缩在自定义处



实验一:使用Smith Chart进行架构元件选型

- 双击打开1_SmithChart的电路单元, 在这个电路图中, 我们已经将仿真设置做好, 但是Smith Chart 元件并未进行匹配网络的设计。



实验一：打开Smith Chart面板

1_SmithChart [RF_Matching_NewVersion_complete_lib:1_SmithChart:schematic] (Schematic):12

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

GENESYS Synthesis...
SPECTRASYS...
Encode Designs...
IC-CAP Import
LineCalc
Controlled Impedance Line Designer
Via Designer
Smith Chart...
Impedance Matching...
Model Composer
HSPICE Compatibility Component
Netlist Export
Spice Model Generator
User-Compiled Model
SnP Utilities
Check Design...
ADS Desktop LVS...
Check Design Report...
Hierarchy...
Info...
Identify...
Component Palette Configuration...
Hot Key/Toolbar Configuration...
Data File Utilities
Connection Manager Client...
Export ADS Ptolemy Design

Parts

Search a...

nuRata Componen

GA242 GA243
GA255 GA342
GA343 GA352
GA355 GC321
GC331 GC332
GC343 GC355
GCD18 GCD21
GCJ21 GCJ31
GCJ32 GCJ43
GCM09
GCM15 GCM18
GCM21 GCM31
GCM32 GCM43
GCM55 GJ431
GJ821 GJ831
GJ832 GJM02
GJM03 GJM15

Te
Te
Nu
Z=

DA_SmithChartMatch1_1_SmithChart
DA_SmithChartMatch1

TermG
TermG2
Num=2
Z=50 Ohm

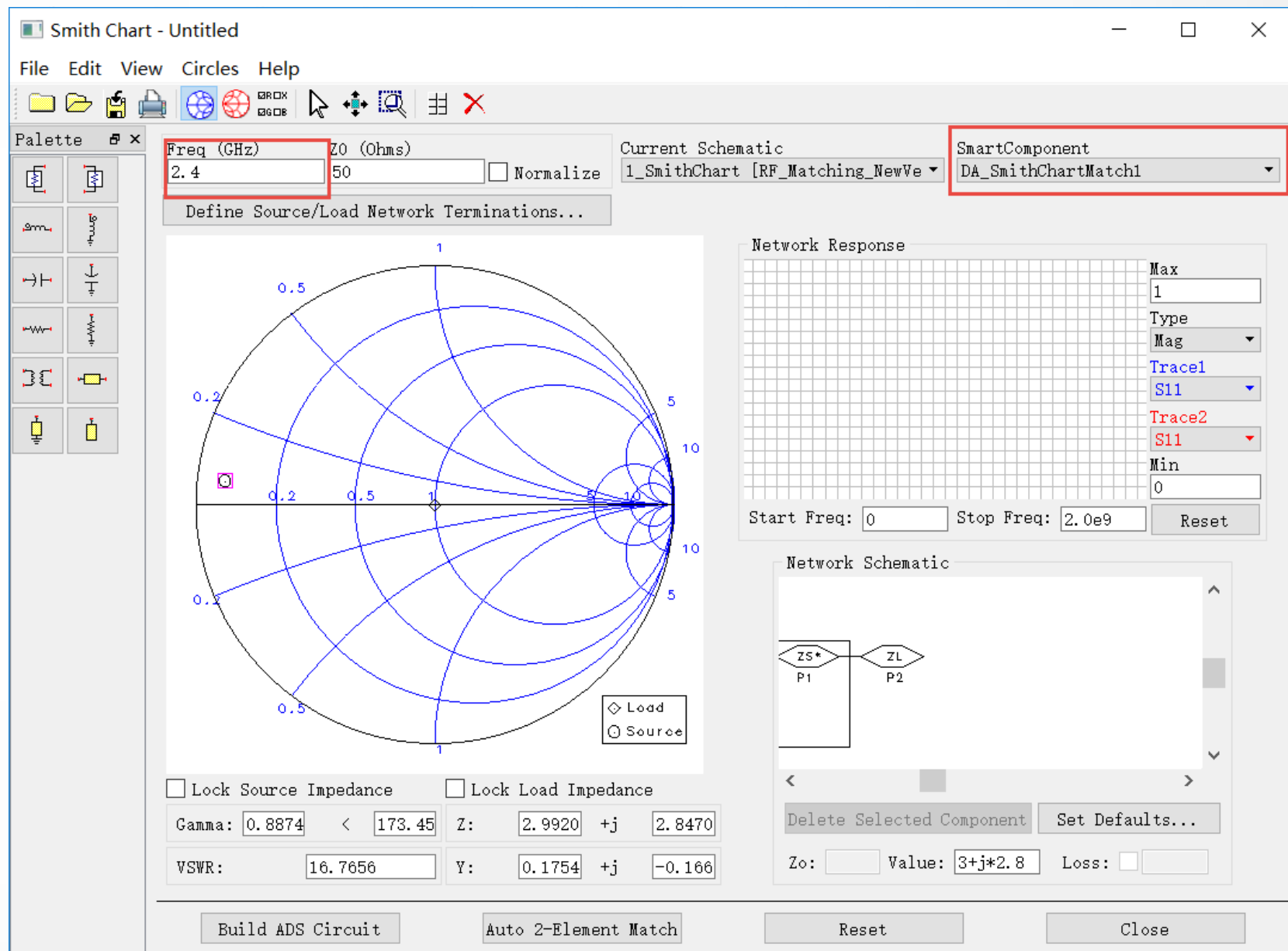
S-PARAMETERS

Start=2 GHz
Stop=3 GHz
Step=0.01 GHz

The screenshot displays the Keysight ADS schematic editor interface. The title bar indicates the file is '1_SmithChart [RF_Matching_NewVersion_complete_lib:1_SmithChart:schematic] (Schematic):12'. The menu bar includes File, Edit, Select, View, Insert, Options, Tools, Layout, Simulate, Window, DynamicLink, DesignGuide, and Help. The 'Tools' menu is open, with 'Smith Chart...' highlighted. The left sidebar shows a 'Parts' list with a search bar and a table of components. The main workspace contains a circuit diagram with a transmission line, a Smith Chart component labeled 'DA_SmithChartMatch1_1_SmithChart', and two terminal components labeled 'TermG' and 'TermG2' with parameters 'Num=2' and 'Z=50 Ohm'. A blue box highlights the 'S-PARAMETERS' section, and text below it specifies 'Start=2 GHz', 'Stop=3 GHz', and 'Step=0.01 GHz'.

实验一：设定关心的频率

- 选择Smart Component:
元件名称与与原理图相等;
- 设定频率为2.4GHz

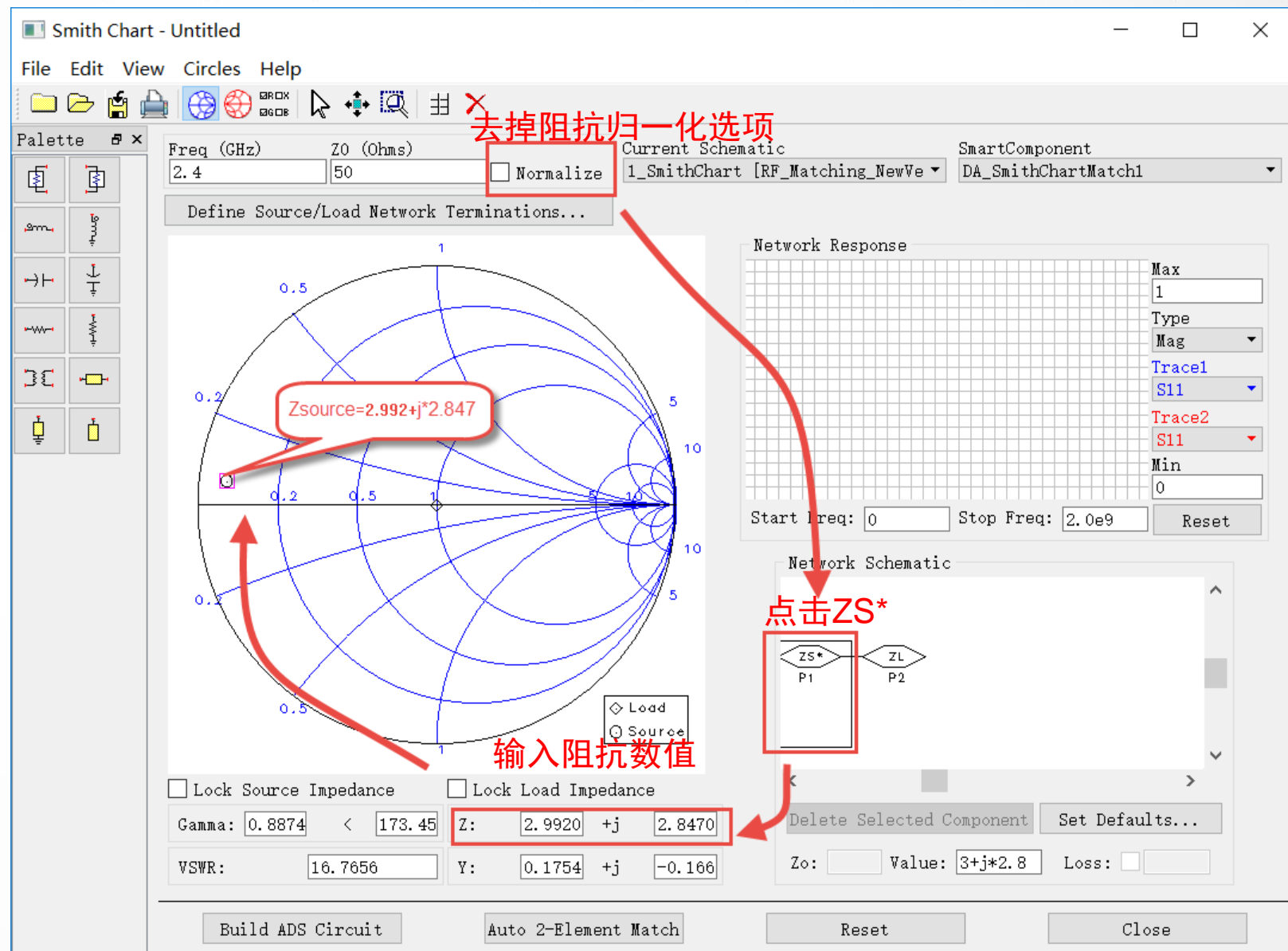


实验一：设置面板需要匹配的阻抗

阻抗：

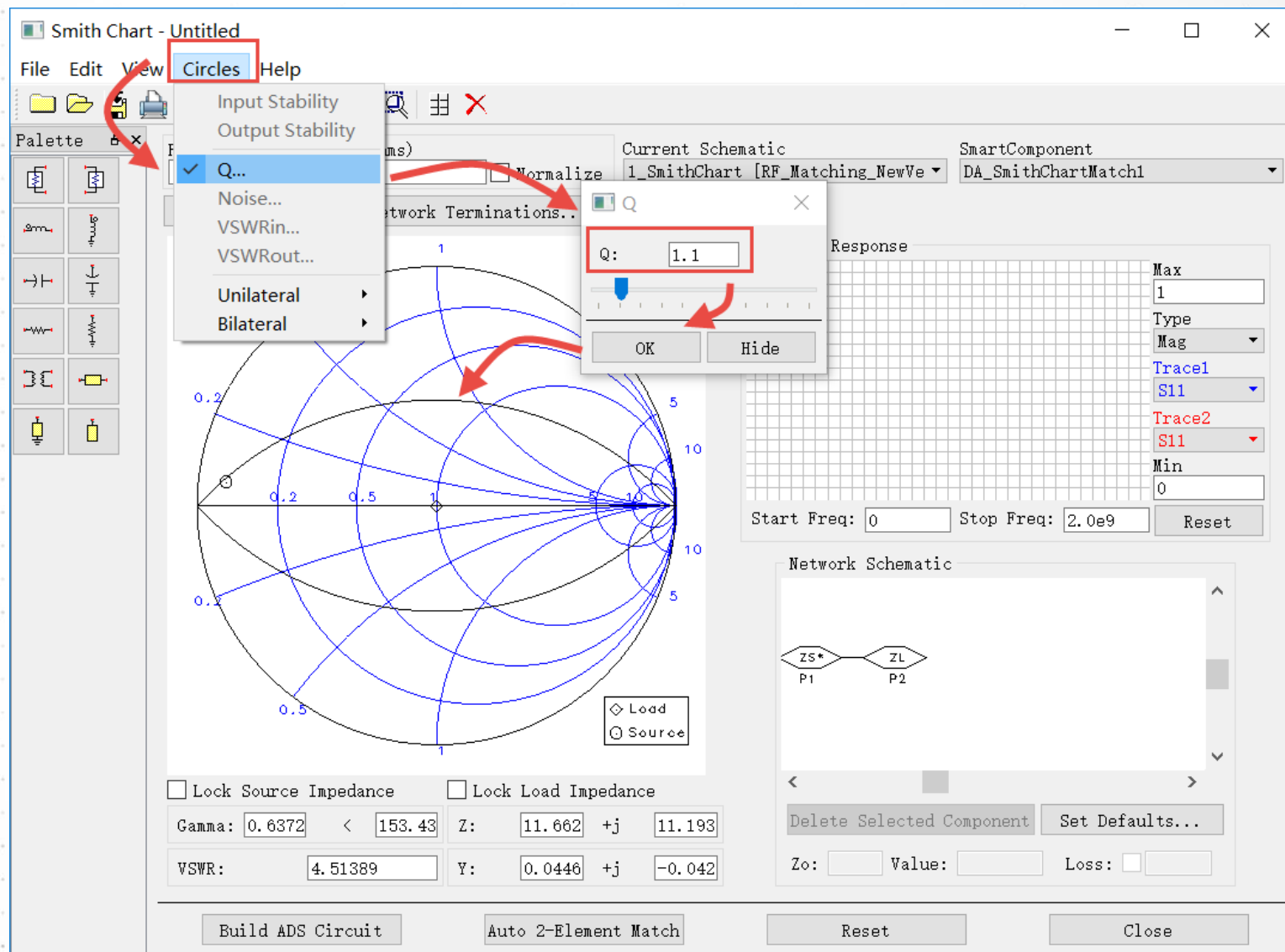
Zsource 设定为 $2.992 + j \cdot 2.847$ ；

设定好以后，阻抗点会自动移动到Smith圆图的左侧



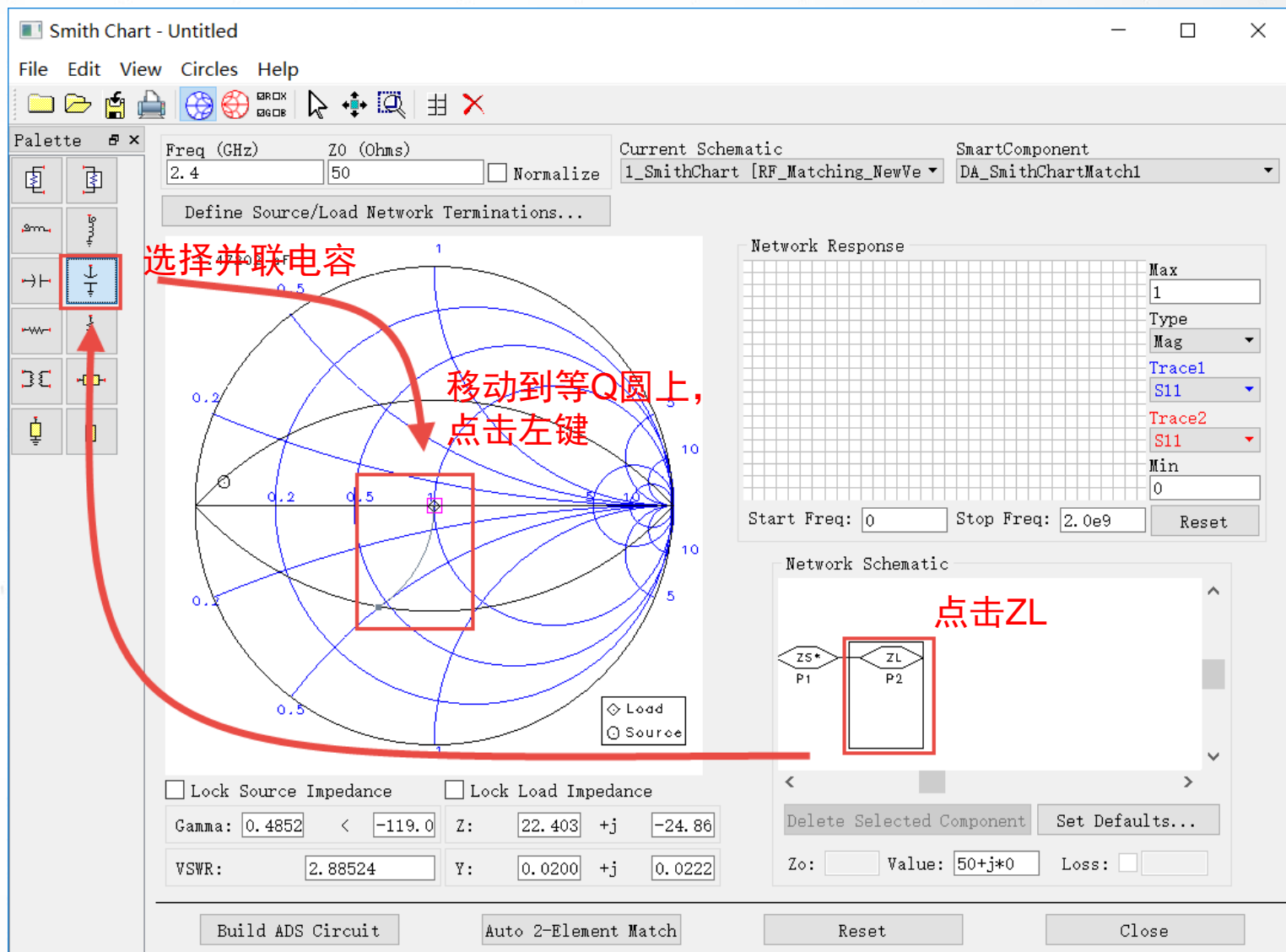
实验一：打开等Q值圆

- 通过右图的操作步骤，打开Smith圆图上的等Q值圆。
- 这样我们可以借助等Q值圆进行更宽带的匹配。



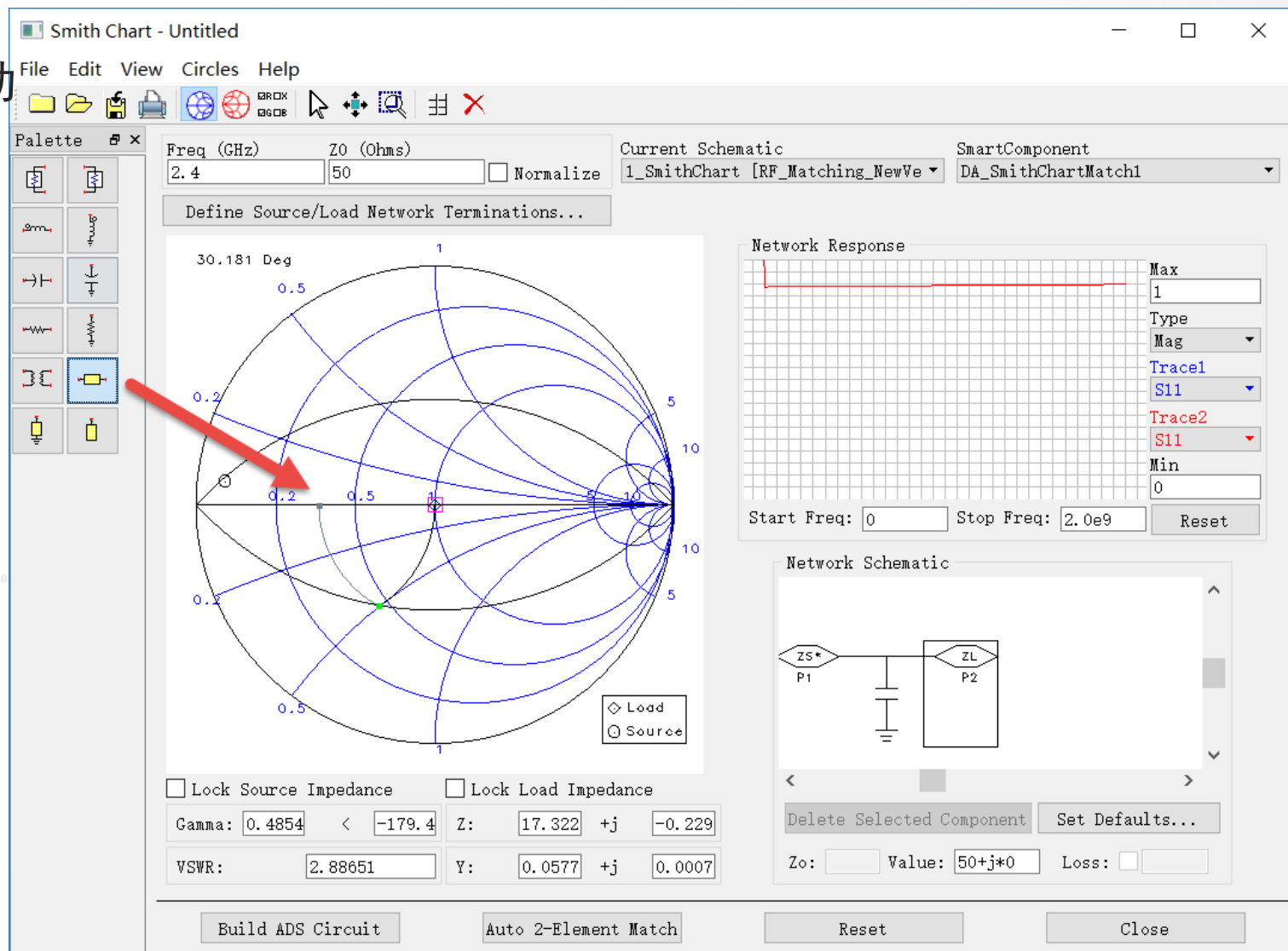
实验一：设计匹配电路

- 并联电容可以让阻抗沿着导纳圆向Smith圆图的下方旋转

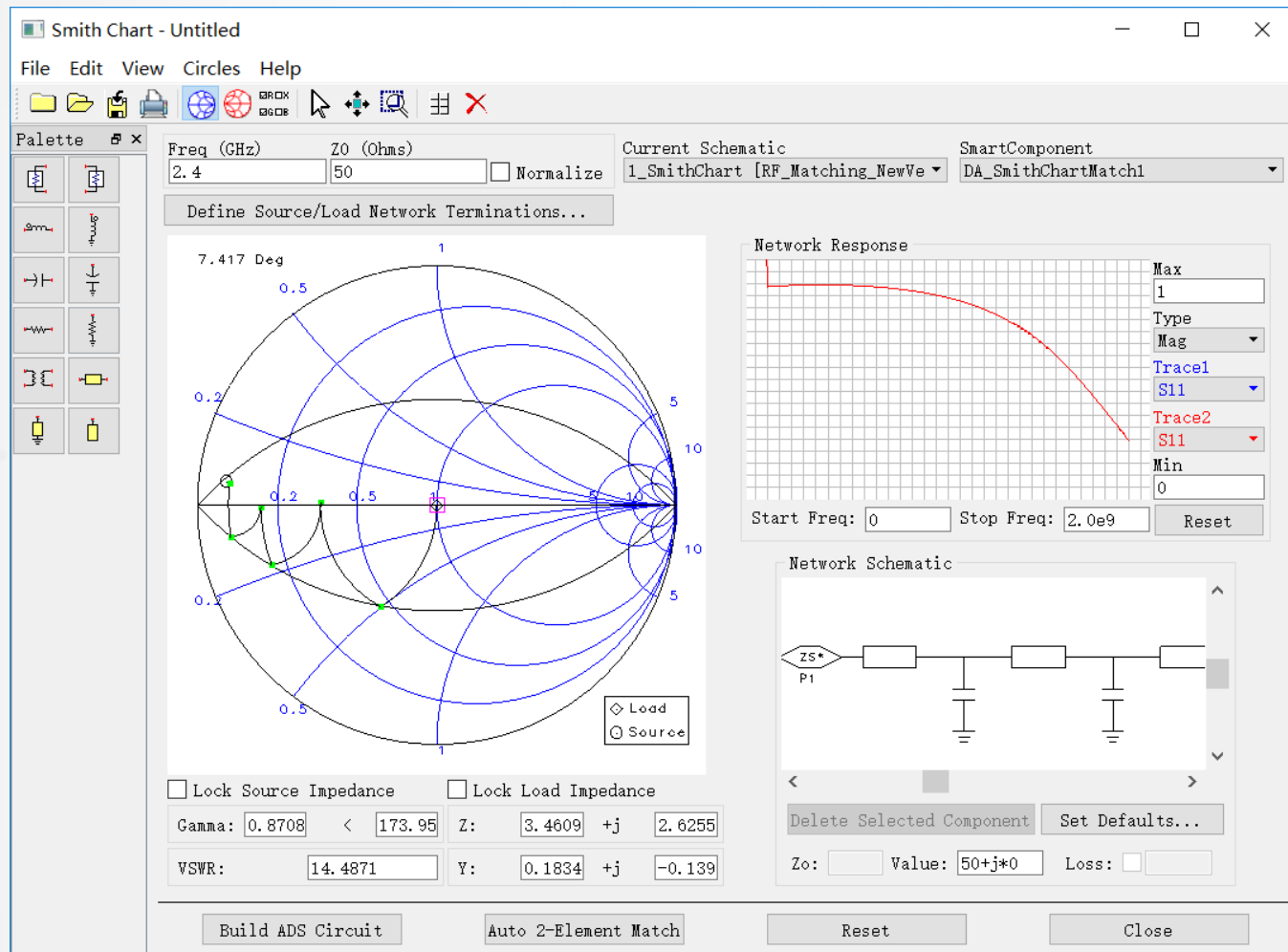


实验一：设计匹配电路

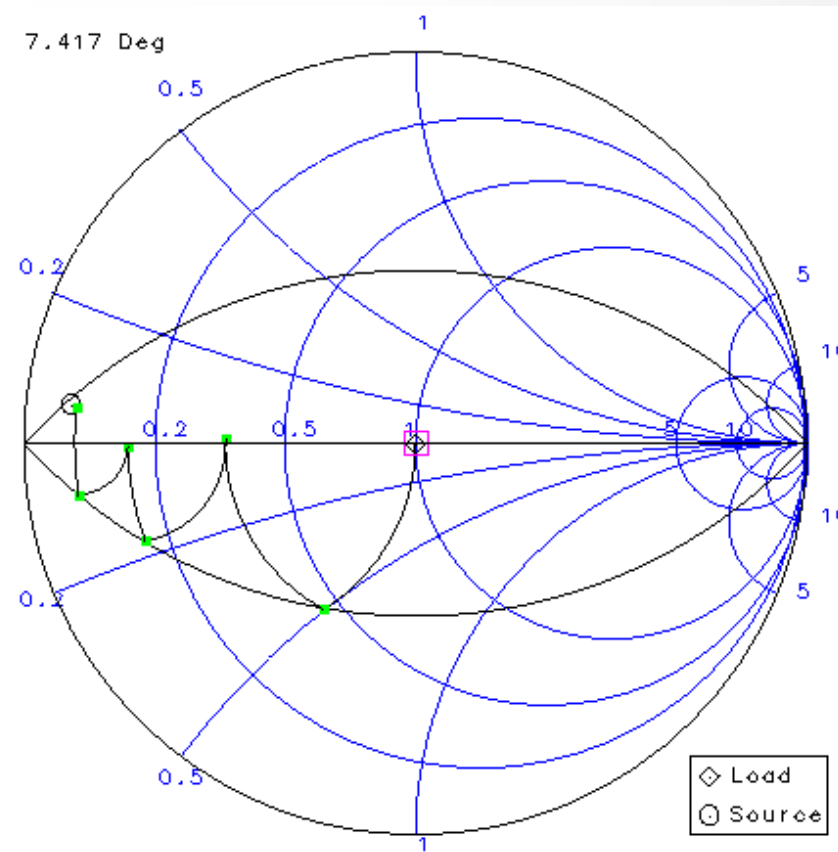
- 选择串联短截线，是阻抗点移动到实阻抗线上，点击左键确定。



实验一：重复操作，直到匹配到阻抗点

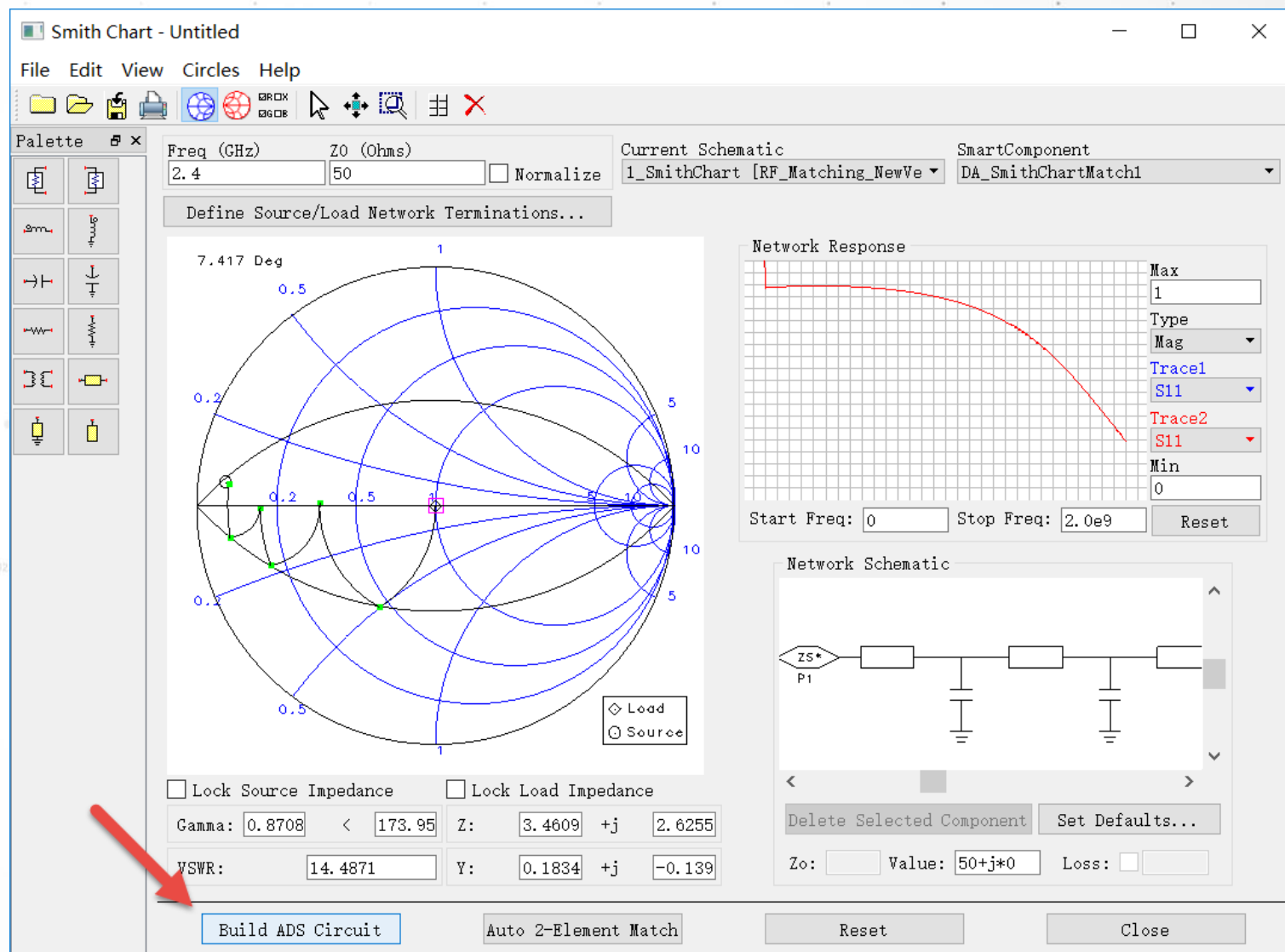


放大左图中Smith圆图的部分：



实验一：生成匹配电路

- 点击Build ADS Circuit的按钮



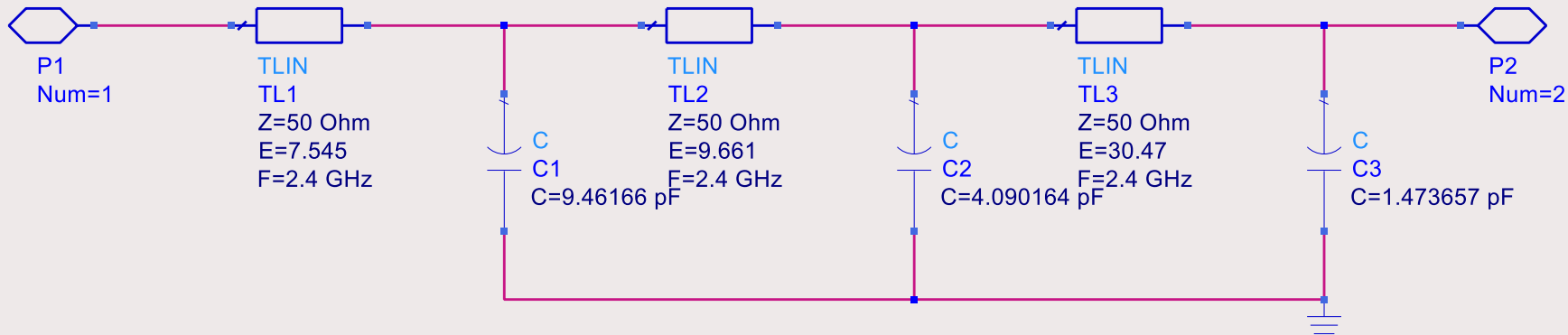
实验一：成功生成匹配网络

Smith Chart Matching Network Design Assistant
Need Help? Please see the appropriate DesignGuide User Manual



VAR
VAR1

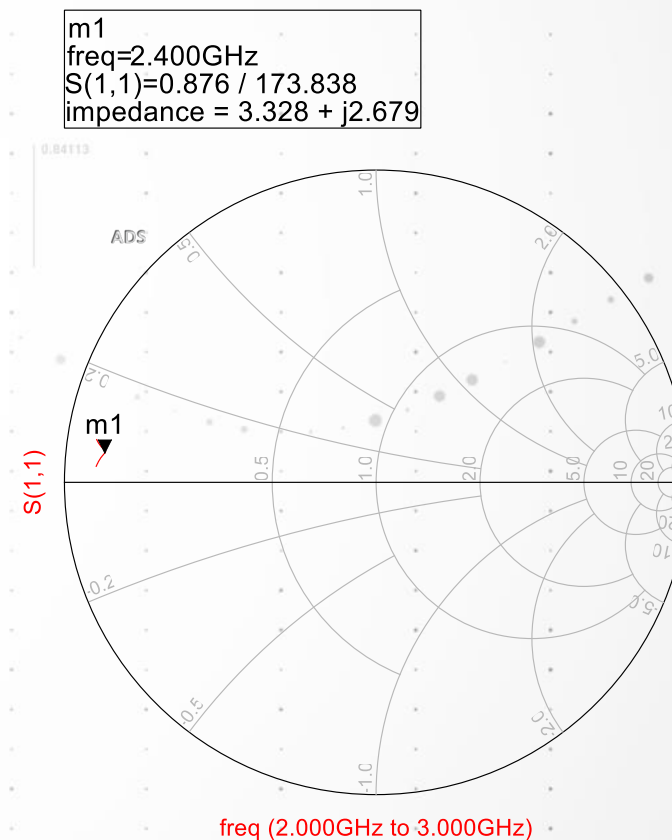
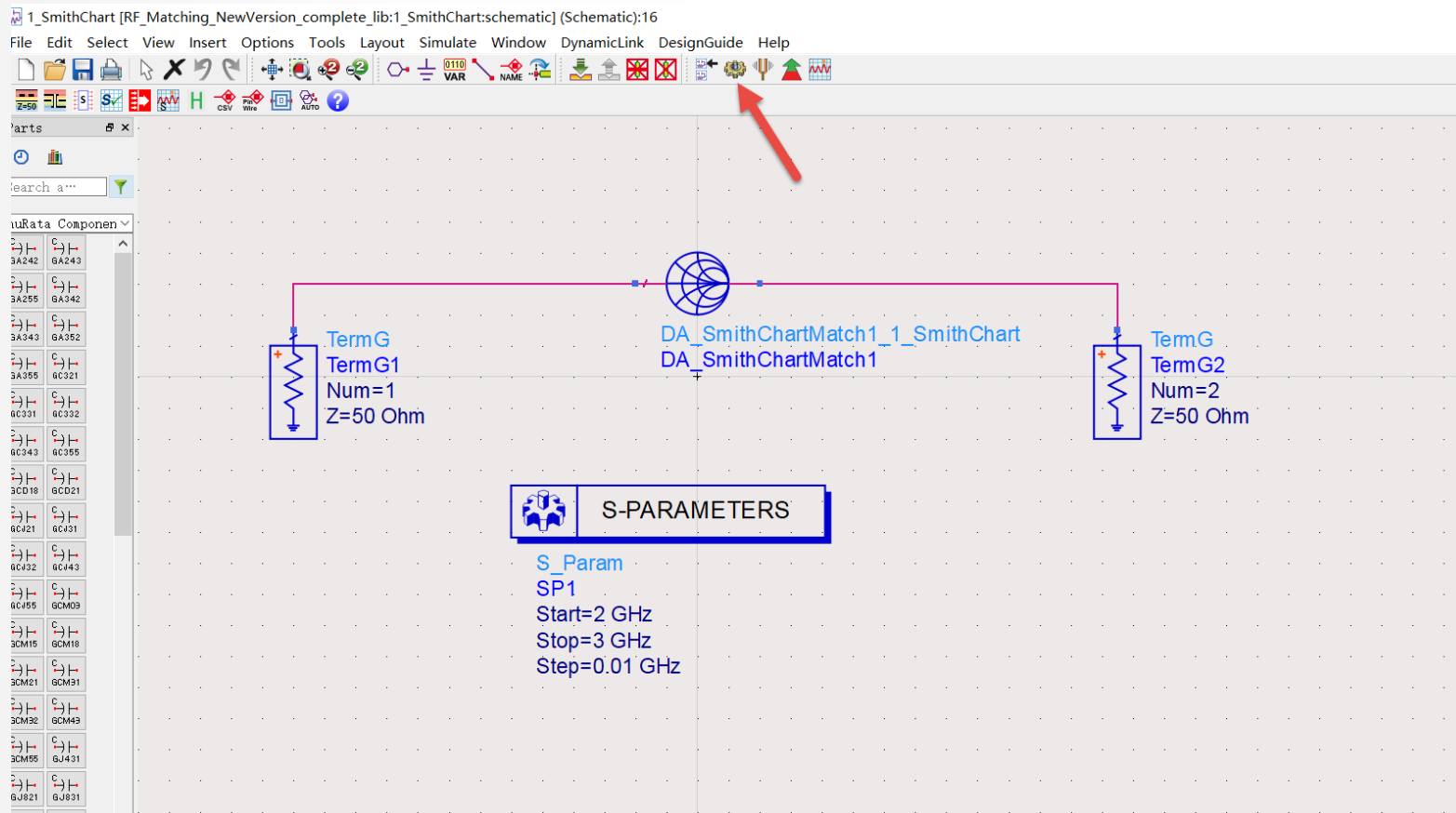
Parameters="#2.4 GHz#0#0#50 Ohm#1 nH#1 pF(50+j*50) Ohm#ZSource.snp#S(1,1)#0#1#0#50 Ohm#1 nH#1 pF(100-j*100) Ohm#ZLoad.snp#S(1,1)#0#50 Ohm"



实验一：验证匹配效果

- 关闭Smith Chart工具，回到原理图“1_SmithChart”中
- 点击下图图标，运行仿真，可以看到自动弹出的结果，阻抗被匹配到了目标点附近

实验一完成



总结实验一

- Smith Chart是非常实用的做射频匹配的小工具，操作简单，功能强大
- 实验一大家学习的是如何实用Smith Chart完成交宽带的匹配，得到了很好的匹配效果
- 但是在匹配过程中，我们使用的是理想器件与理想传输线，尽管是前仿真，是否有办法可以做的更准确呢？

实验内容

- 前仿真
 - 实验一：通过Smith Chart进行匹配架构选择，器件选型
 - 实验二：使用CILD计算并优化走线与器件
- 后仿真
 - 实验三：导入ODB++文档
 - 实验四：使用RFPro进行快速原理图版图联合仿真
- 总结：前仿真与后仿真精度对比

实验二：打开实验二所需要的电路单元 3_CILD_Murata

Advanced Design System 2019 Update 1 (Main)

File View Options Tools Window DesignKits DesignGuide Help

File View Folder View Library View

3_ [RF_Matching_NewVersion_complete_lib:3_ :schematic] * (Schematic):18

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

Parts

Search a...

muRata Componen

C GA242 C GA243
C GA255 C GA342
C GA343 C GA352
C GA355 C GC321
C GC331 C GC332
C GC343 C GC355
C GCD18 C GCD21
C GCD21 C GCD31
C GCD32 C GCD43
C GCD55 C GCM09

Term G1
Term G1
Num=1
Z=2.922-j2.847 Ohm

GRM15
C4
Value=1.7 [pF]

GRM15
C5
Value=3.4 [pF]

GRM15
C6
Value=1.4 [pF]

Term G2
Term G2
Num=2
Z=60 Ohm

S-PARAMETERS
S_Param
SP1
Start=2 GHz
Stop=3 GHz
Step=0.01 GHz

NETLIST INCLUDE
MURATAinclude
muRata

OPTIM
Optim
Optim Type=Random
MaxIter=6000
Desire dError=0.0
Status Level=1
Final Analysis= "None"
Normalize Goals=yes
SetBestValues=yes
Seed=0
SaveSols=yes
SaveGoals=yes
SaveOptimVars=no
UpdateDataset=yes
SaveNominal=no
SaveIterations=no
UseAllOptVars=yes

GOAL
Goal
Optim Goal1
Exp="db(S11)"
Sim InstanceName="SP1"
Weight=1

GOAL
Goal
Optim Goal2
Exp="db(S22)"
Sim InstanceName="SP1"
Weight=1

点击固定

Properties

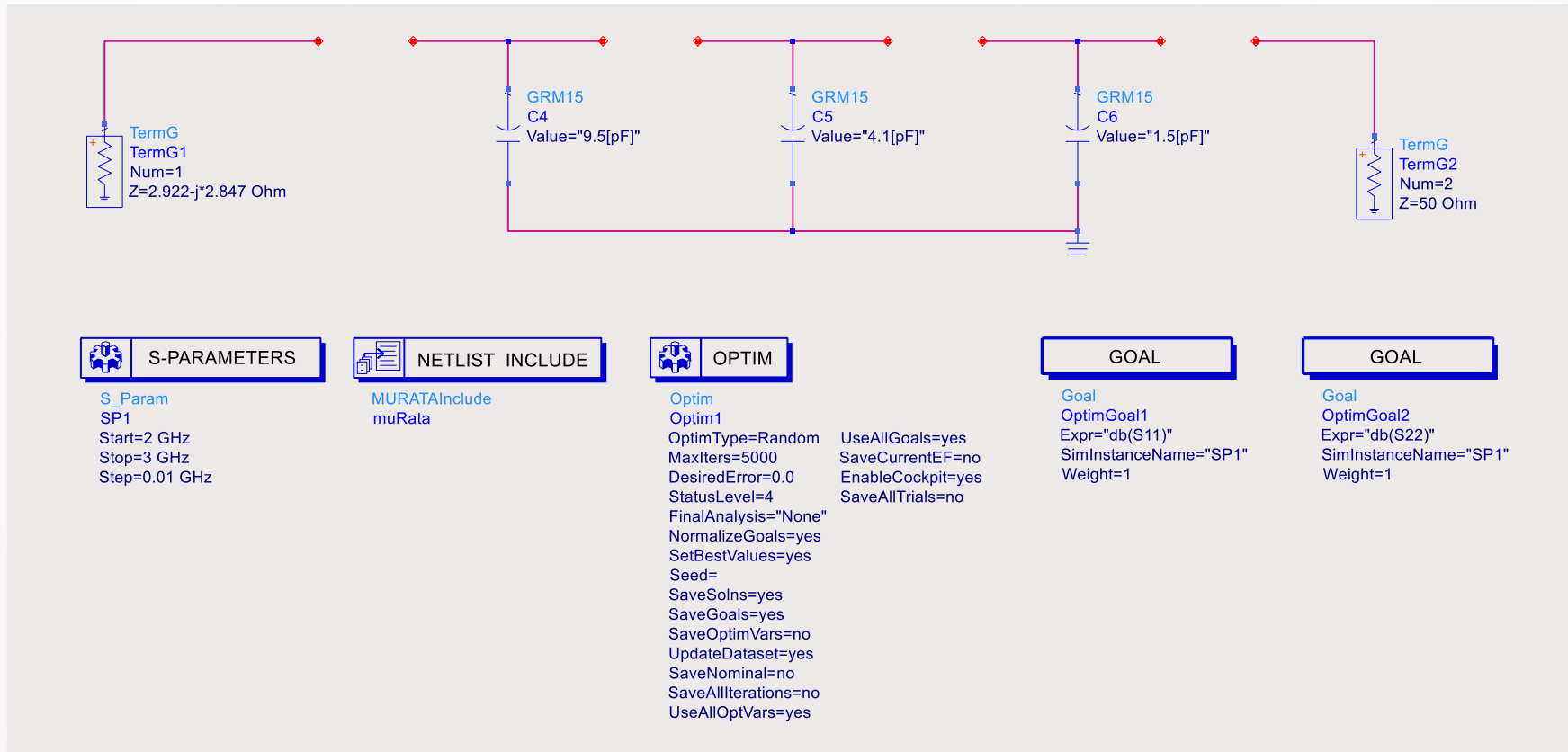
Property	Value
----------	-------

Select: Click and drag to select. 0 items

ads_device:drawing -5.875, -7.500 -3.500, -2.375 in

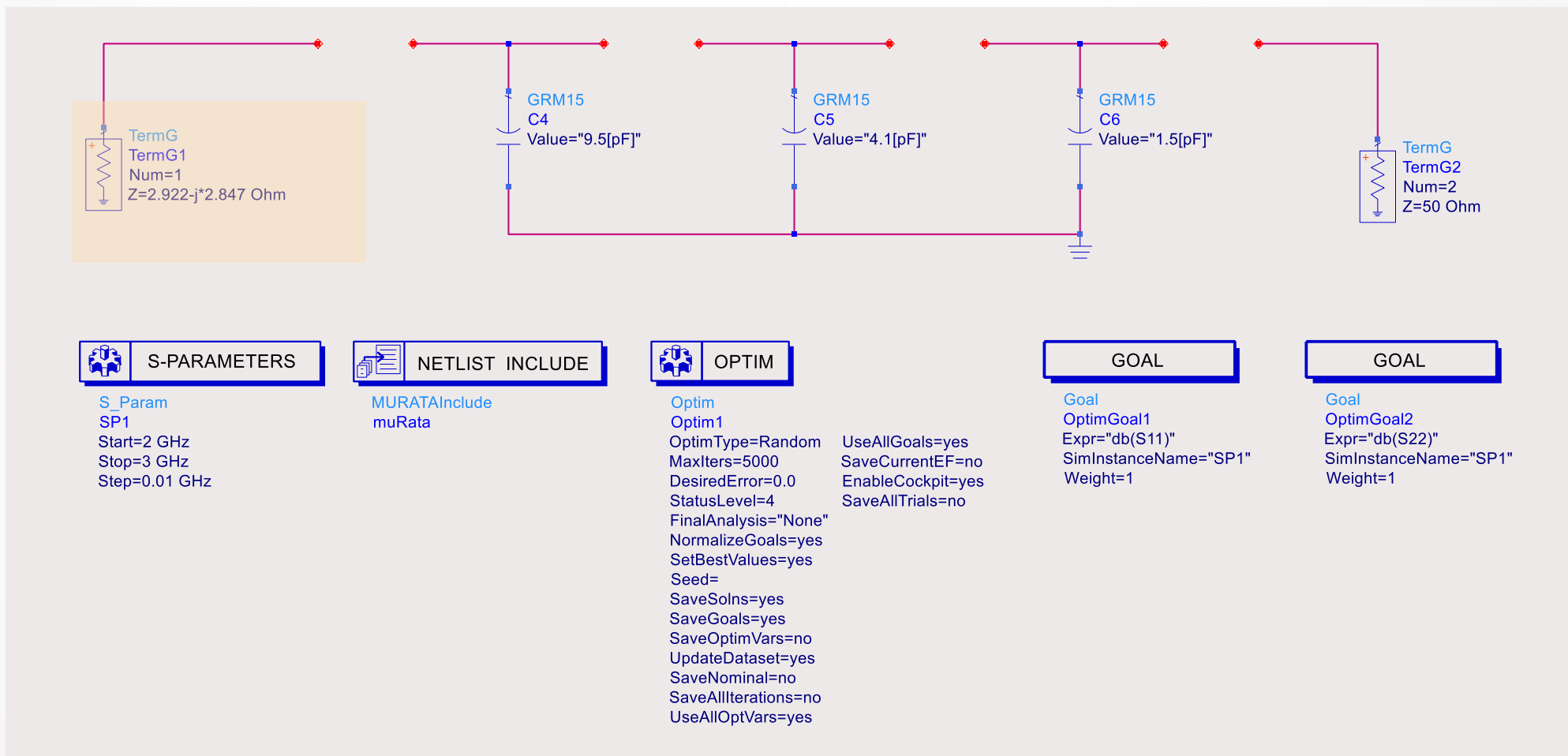
实验二：观察已经做好的电路

- 相较于实验一种使用的匹配电路，在实验二的电路中，我们已经将理想元件替换为了Murata公司的电容元件，并且选取了最接近的电容值。因此电容无需大家修改。
- 同时，优化的目标与优化控件的设置均设计好



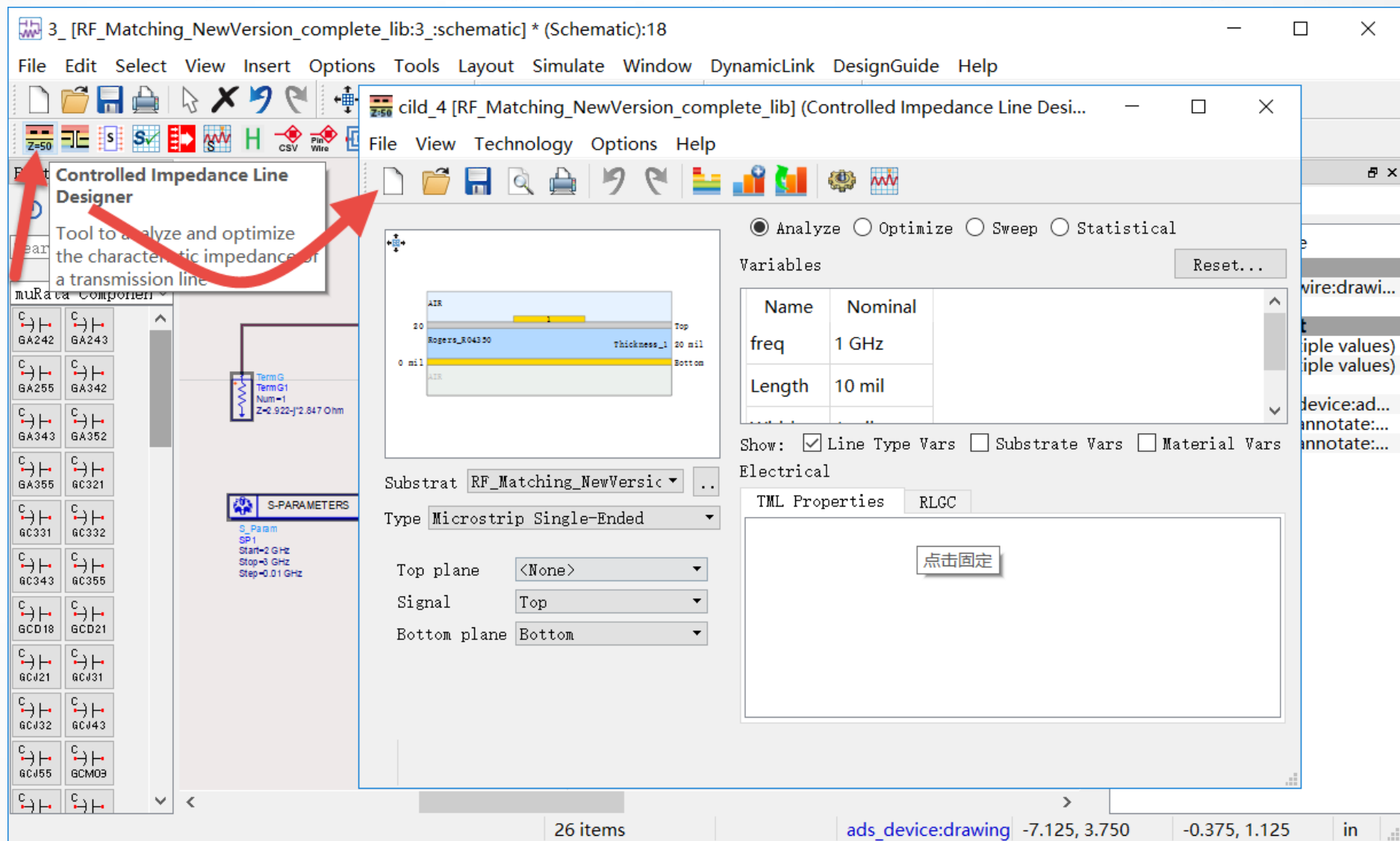
实验二：思考？

- 为什么TermG1设定的是 $2.992-j*2.847$ 欧姆？



实验二：将实验一的理想传输线替换为更为真实的TLineType

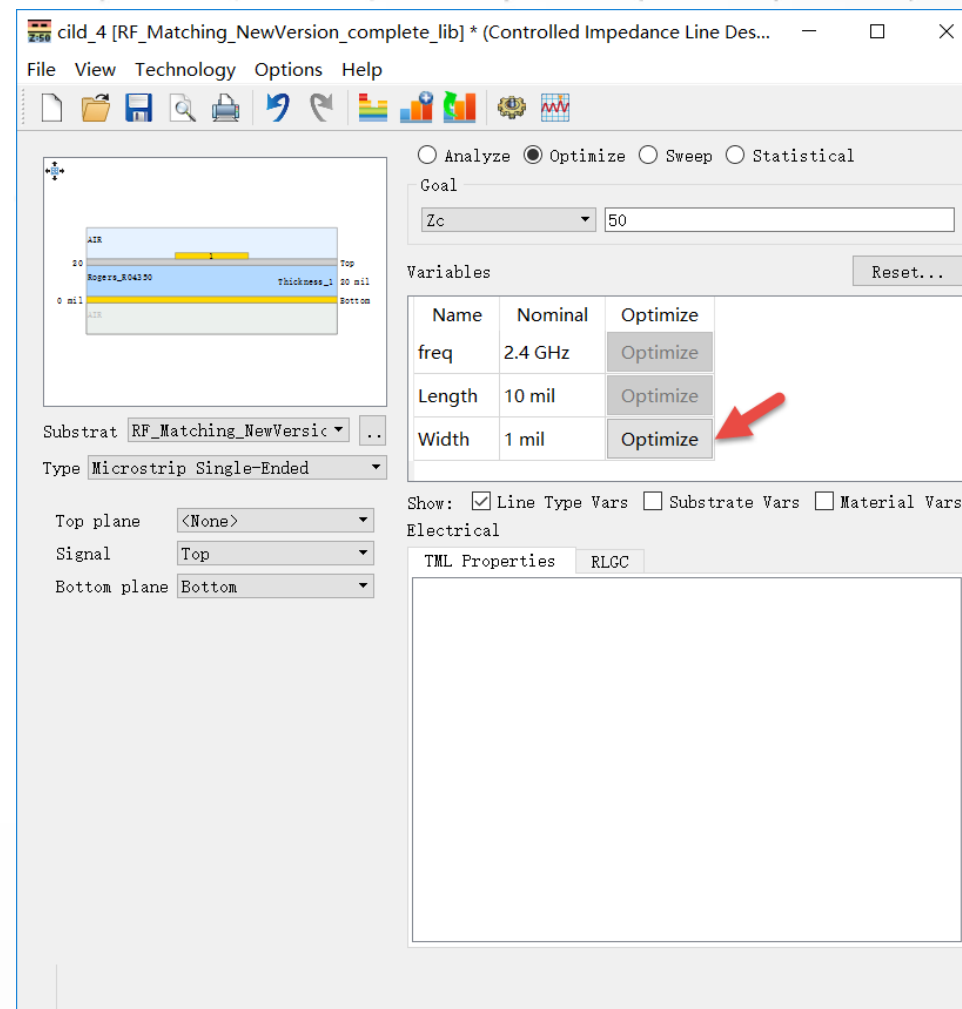
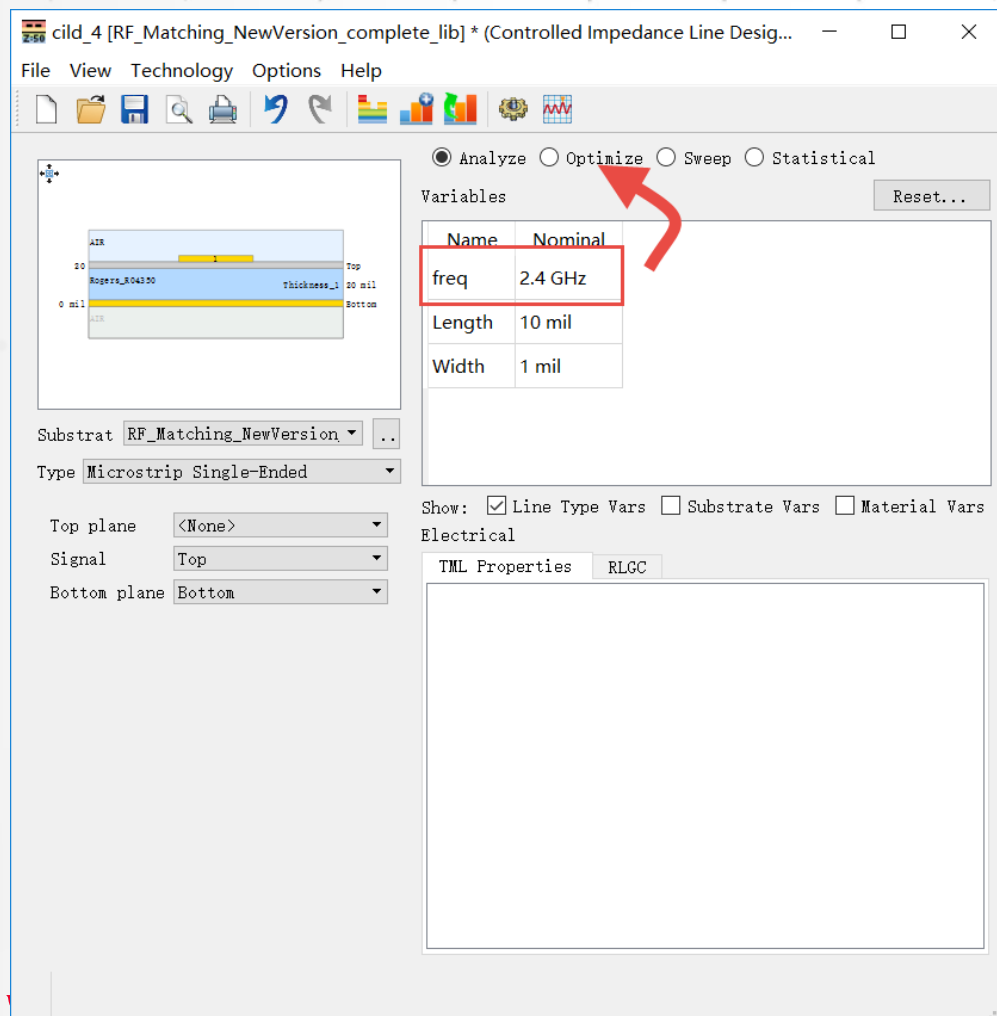
- 打开CILD:



实验二：完成设置，计算50欧姆特征阻抗时的线宽

- 更改仿真频率为2.4GHz
- 更改后，点击Optimize

- 点击下图Optimize



实验二：50欧姆线宽计算结束

- 在确定材料属性，基板厚度的情况下，计算得到微带线走线宽度为42.3138mil，此时特征阻抗为50欧姆
- CILD在特征阻抗的计算精度可以与三维电磁算法精度相当
- 如果一次优化结果与目标值不一致，可以多次点击Optimize进行优化

The screenshot shows the CILD software interface with the following details:

- Goal:** Zc = 50
- Variables Table:**

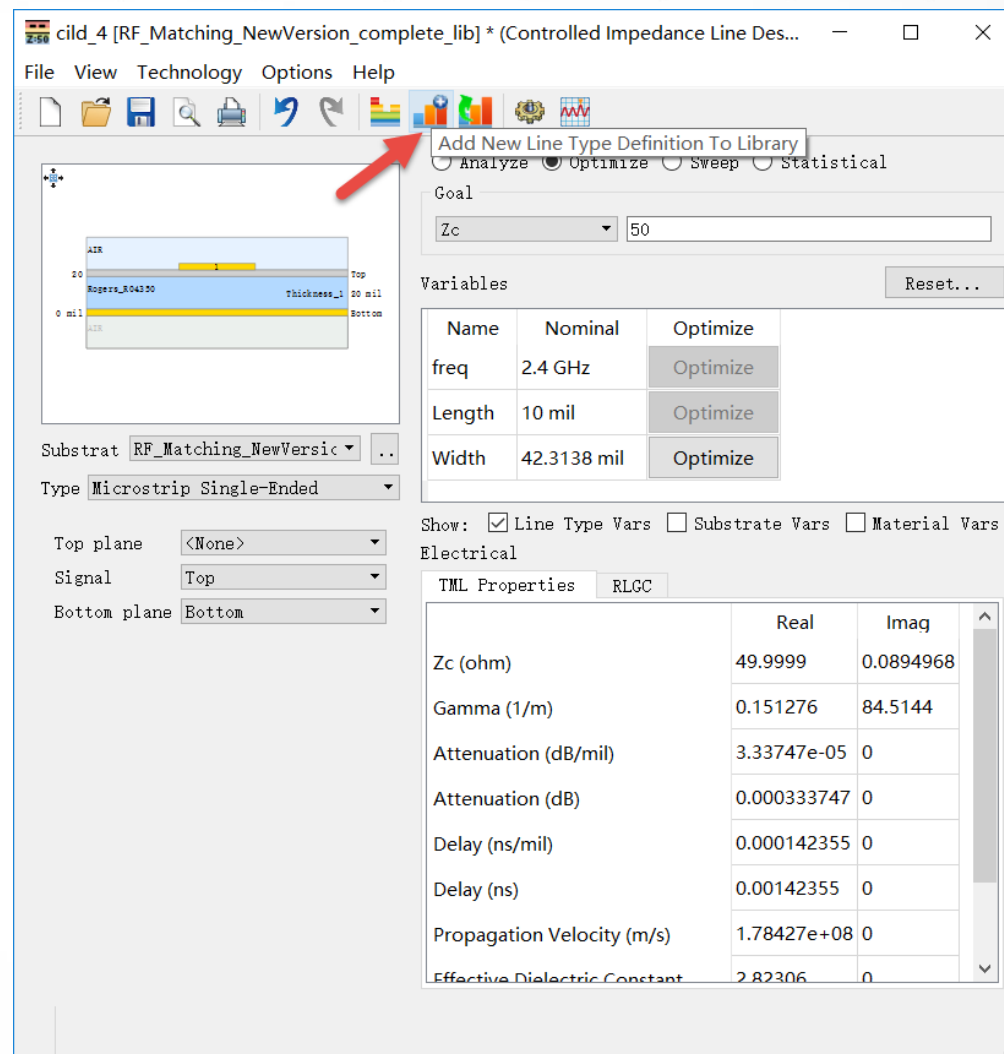
Name	Nominal	Optimize
freq	2.4 GHz	Optimize
Length	10 mil	Optimize
Width	42.3138 mil	Optimize

- Electrical Properties Table:**

	Real	Imag
Zc (ohm)	49.9999	0.0894968
Gamma (1/m)	0.151276	84.5144
Attenuation (dB/mil)	3.33747e-05	0
Attenuation (dB)	0.000333747	0
Delay (ns/mil)	0.000142355	0
Delay (ns)	0.00142355	0
Propagation Velocity (m/s)	1.78427e+08	0
Effective Dielectric Constant	2.82306	0

实验二：将计算结果保存为LineType1

- 点击下图图标，添加新的Line Type



实验二：添加新的类型命名为lineType_1

- 检查命名，并点击ok

Add Line Type

Name: lineType_1

Circuit Simulation Model

Model Set: TLines-Multilayer

☐ No substrate component required

☒ Autogenerate substrate component from cross section

☐ Reference substrate component from defaults design

Substrate Instance Name:

Model Traces as

☒ A connection of straight lines and bends

☐ Single straight line components

Line End

Type: Truncate

Corner

Type: Square

Miter Cutoff Ratio %: 0

Curve Radius:

Cross Section

Substrate: RF_Matching_NewVersion_complete_lib:substrate1

Line Setup

Number of Lines: 1

Width (mil)	Layer	Spacing (mil)	Spacing Type	Clearance (mil)
42.3138	Top:drawing			<input type="checkbox"/> 1

Plane Setup

Top plane: <None>

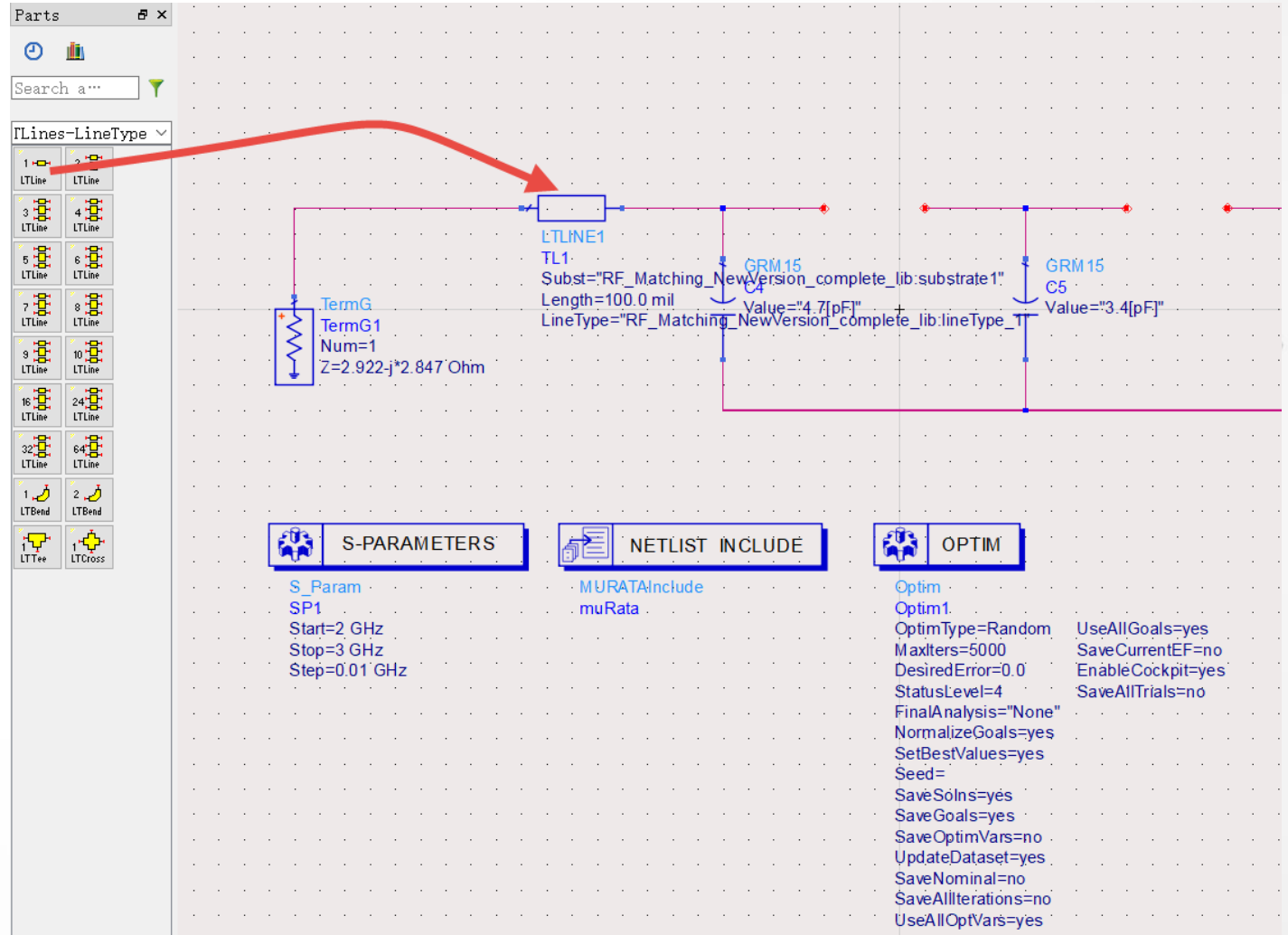
Bottom plane: Bottom:drawing

Note: The changes to this LineType are not automatically transferred to the layout. To update the layout select "Edit -> Component -> Update Component Definitions..." in the layout window.

OK Cancel Help

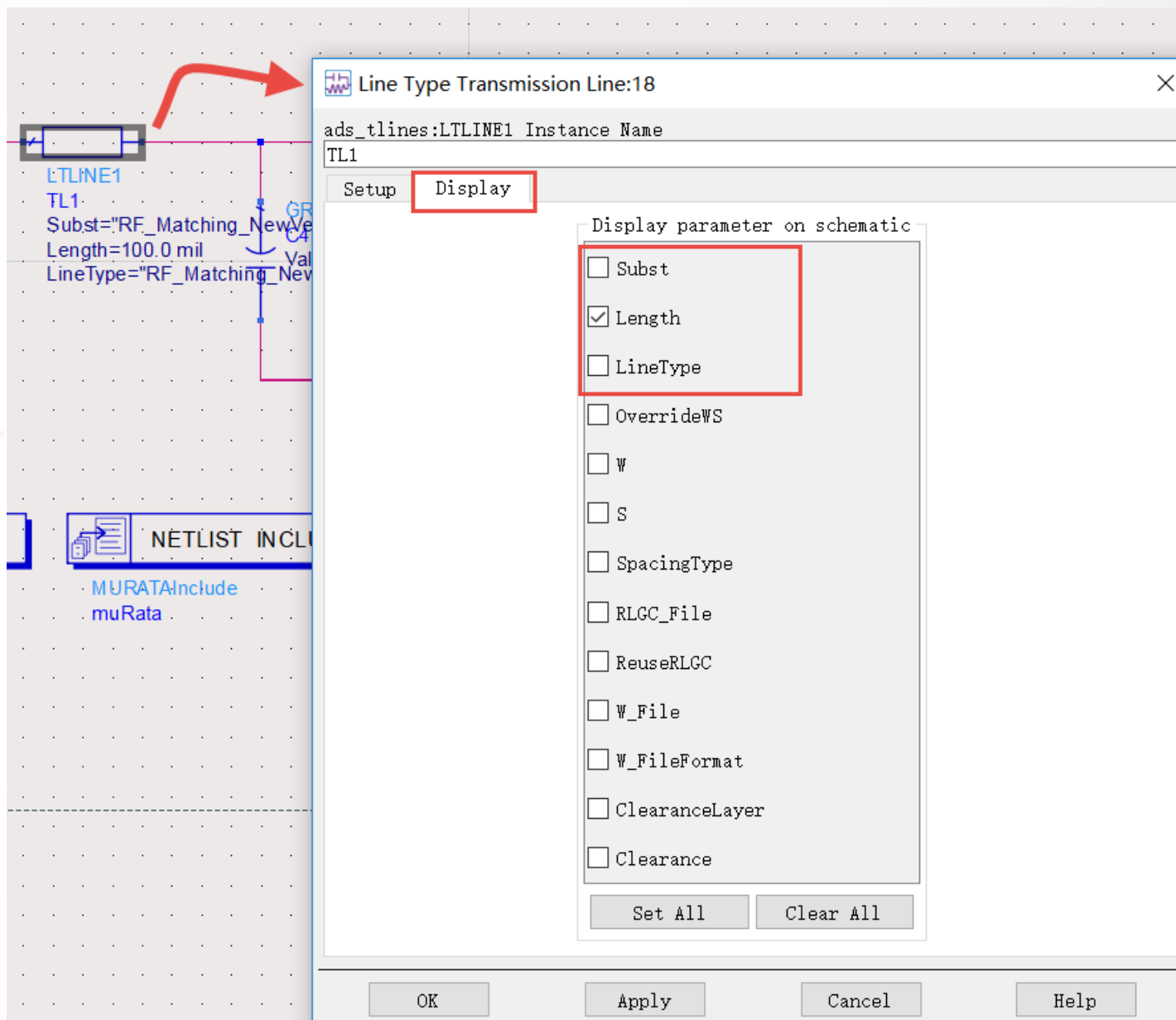
实验二：将新的Line Type应用到电路中

- 不关闭CILD的情况下，回到原理图中
- 将元件库切换到Tline-LineType库
- 选择LTline放置在原理图中第一个空位



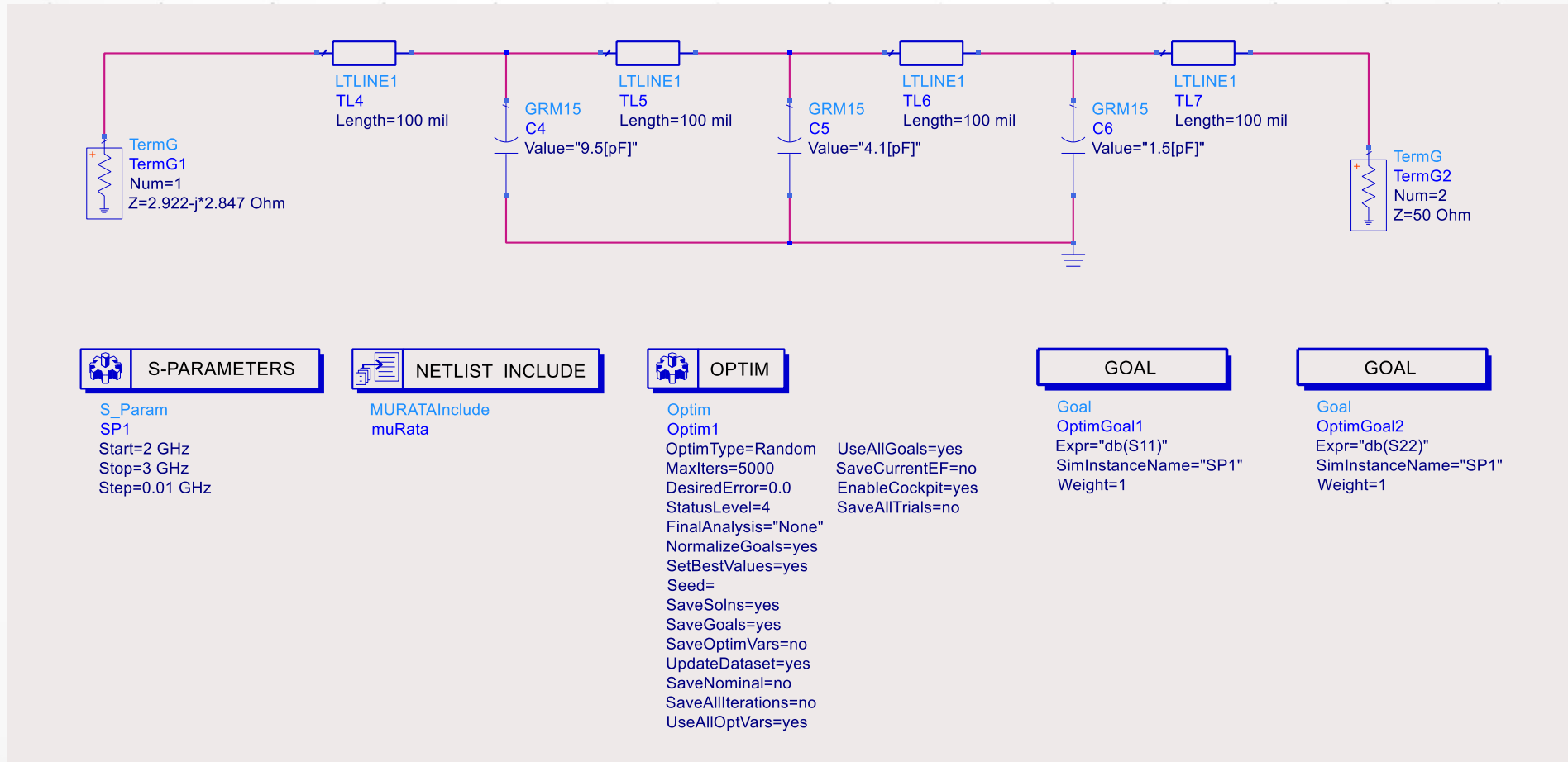
实验二：更改元件显示

- 双击点击打开LTLINE1设置面板
- 在Display选项卡下面，只勾选Length
其余均不勾选。
- 点击OK



实验二：完成元件放置

- 复制粘贴，完成元件放置



实验二：走线长度计算

- 回到CILD对长度进行计算
- 回到Analyze模式下，更改Length长度，直到电长度与实验一计算的电长度相等为止

cild_4 [RF_Matching_NewVersion_complete_lib] * (Controlled Impedance Line Des...

File View Technology Options Help

☒ Analyze ☐ Optimize ☐ Sweep ☐ Statistical

Variables Reset...

Name	Nominal
freq	2.4 GHz
Length	61 mil
Width	42.3138 mil

Substrat RF_Matching_NewVersic ..

Type Microstrip Single-Ended

Top plane <None>

Signal Top

Bottom plane Bottom

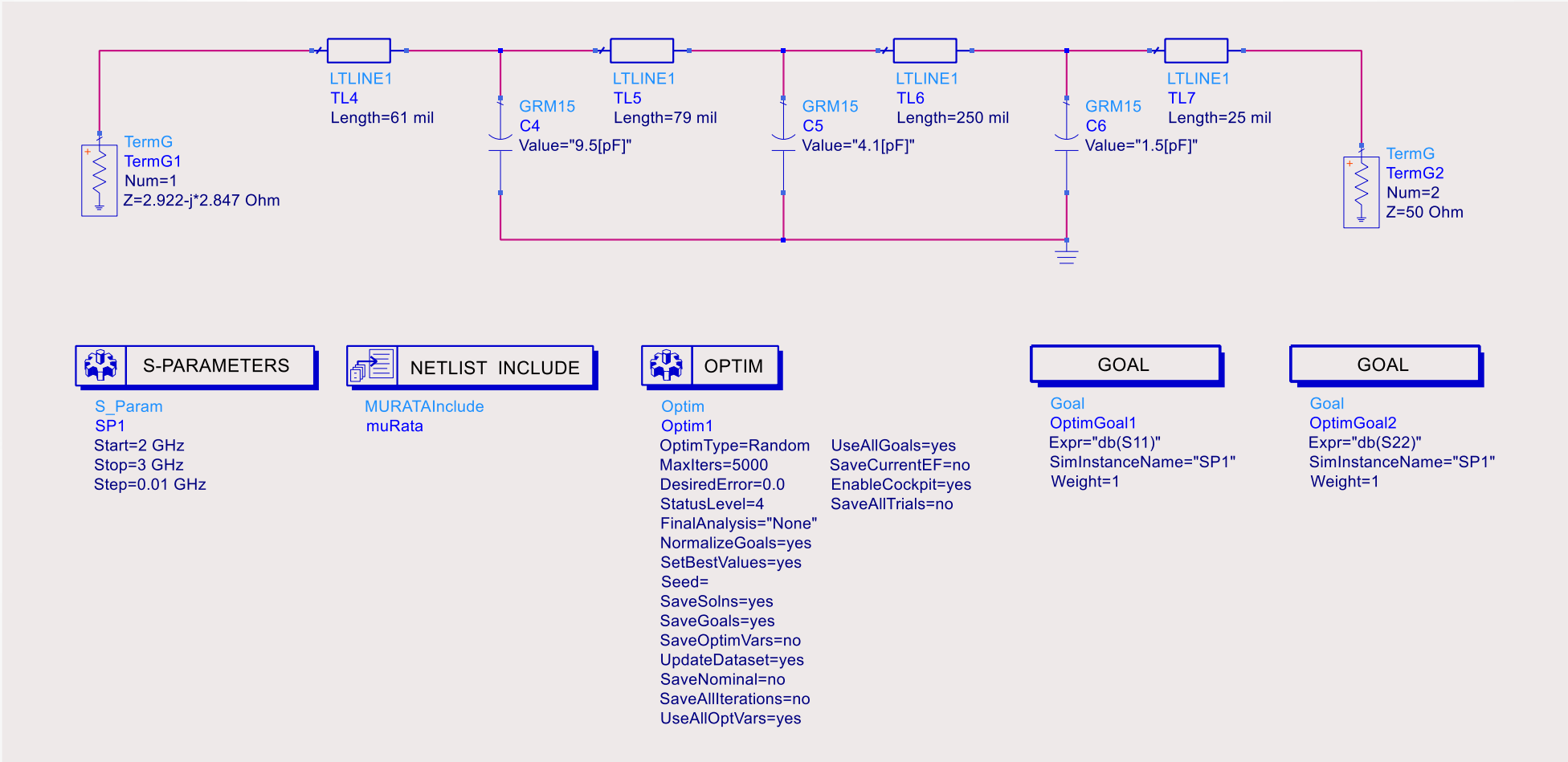
Show: ☒ Line Type Vars ☐ Substrate Vars ☐ Material Vars

Electrical

TML Properties RLGC

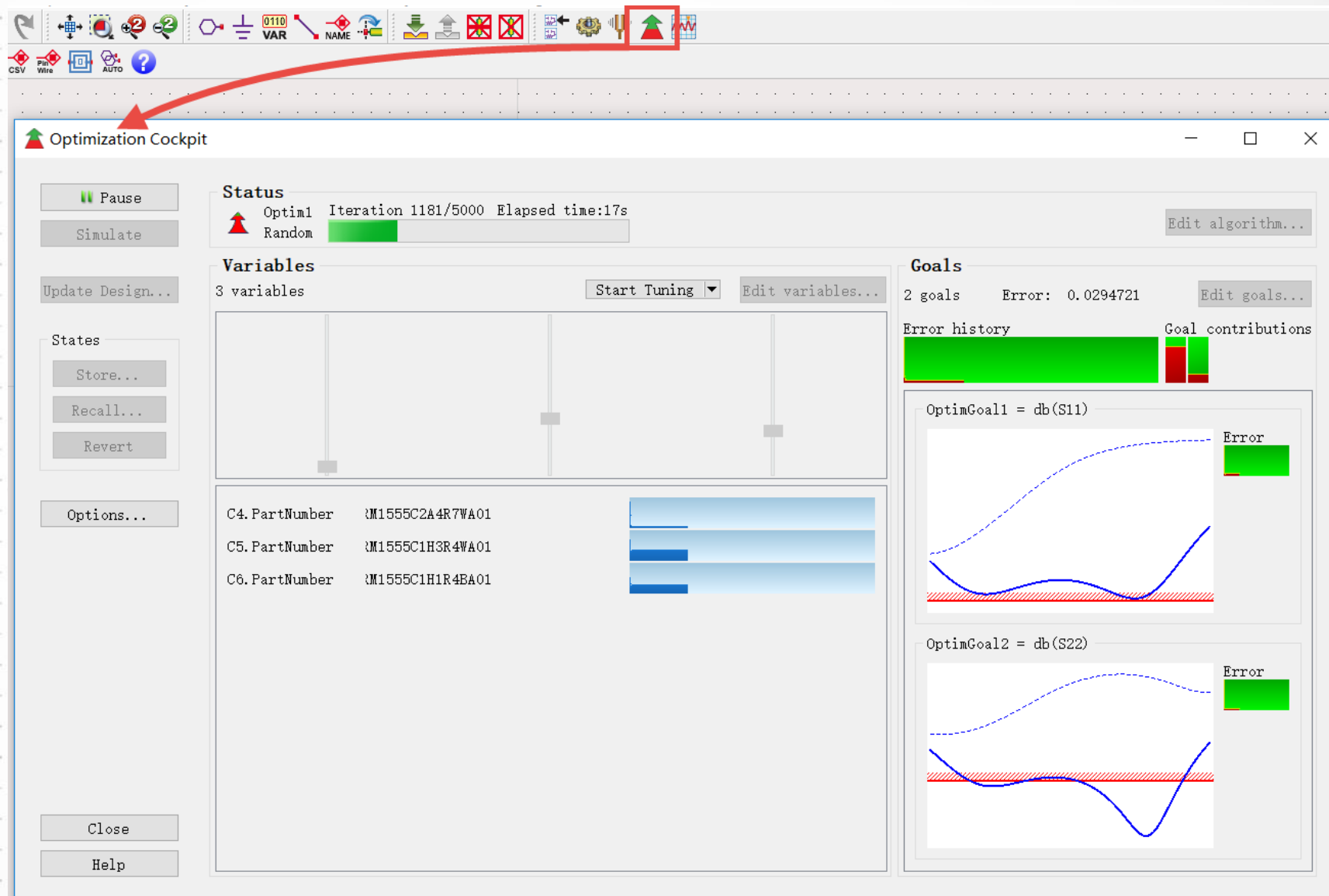
	Real	Imag
Gamma (1/m)	0.151276	84.5144
Attenuation (dB/mil)	3.33747e-05	0
Attenuation (dB)	0.00203585	0
Delay (ns/mil)	0.000142355	0
Delay (ns)	0.00868367	0
Propagation Velocity (m/s)	1.78427e+08	0
Effective Dielectric Constant	2.82306	0
Effective Electrical Length (deg)	7.50269	0

实验二：最终计算结果如下



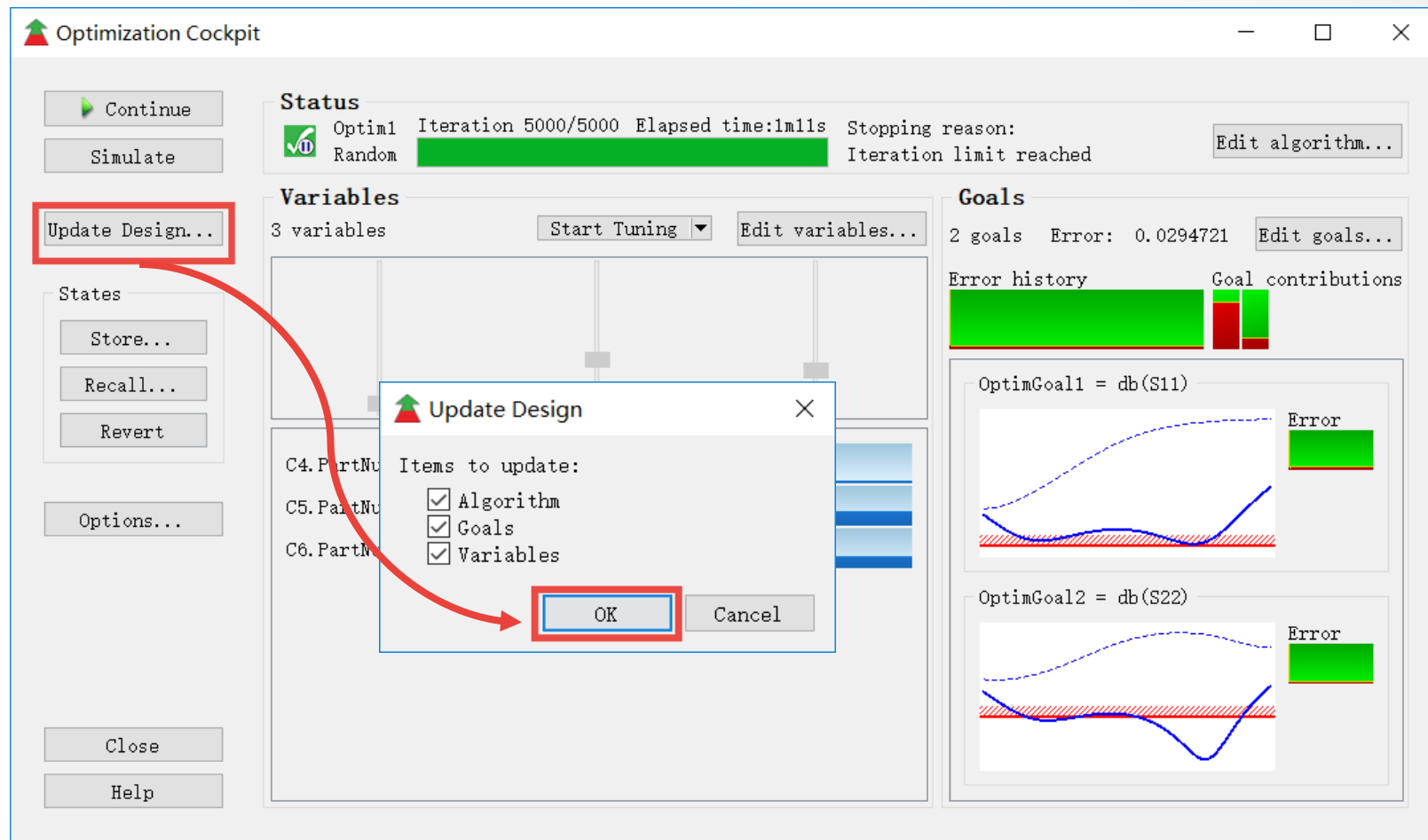
实验二：进行优化

- 点击优化按钮
- 观察自动弹出的 Optimize Cockpit 中的变量 (Variable) 与结果 (Goals)
- 等待优化停止



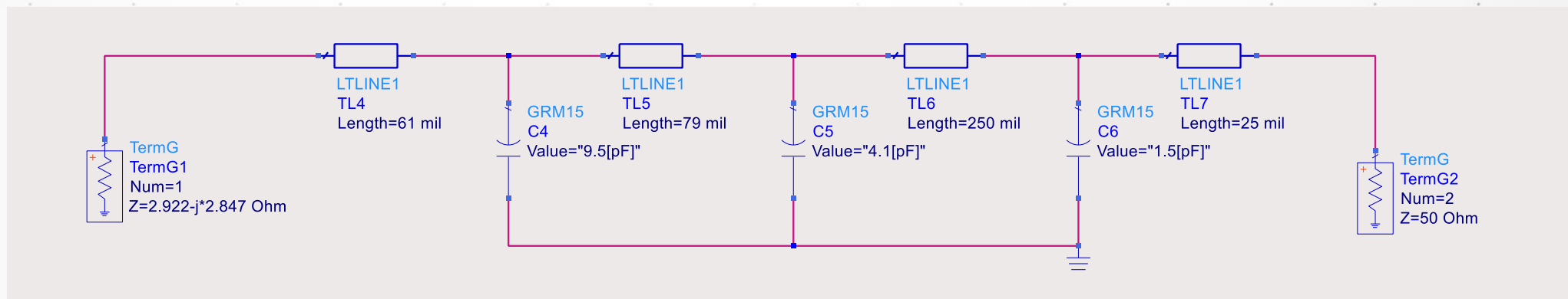
实验二：将优化结果更新到原理图中

- 点击Update Design...
- 弹出对话框 Update Design 点击OK
- 关闭Optimization Cockpit

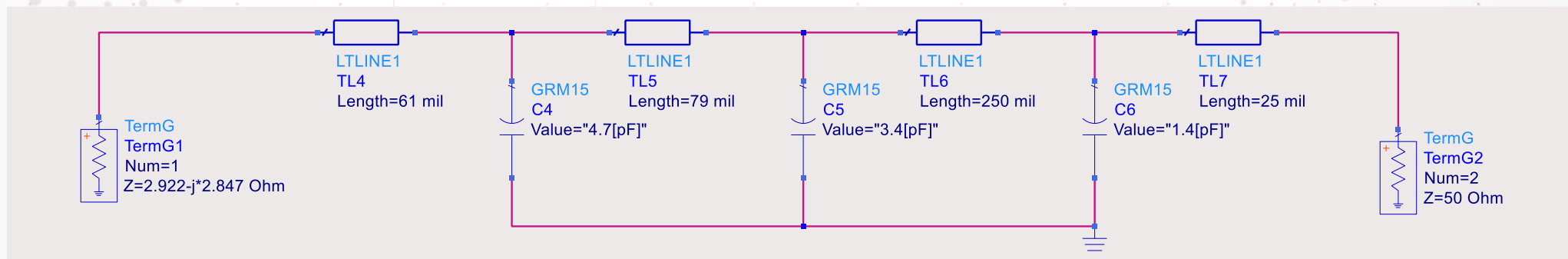


实验二：优化前后元件结果对比

优化前：



优化后：



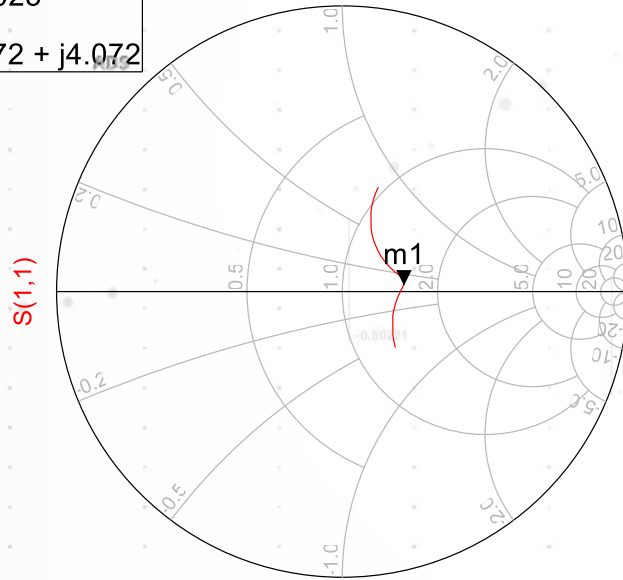
器件仿真模型对仿真精度影响非常大，在能力范围内，选择尽可能接近实际情况的模型

实验二：查看仿真结果

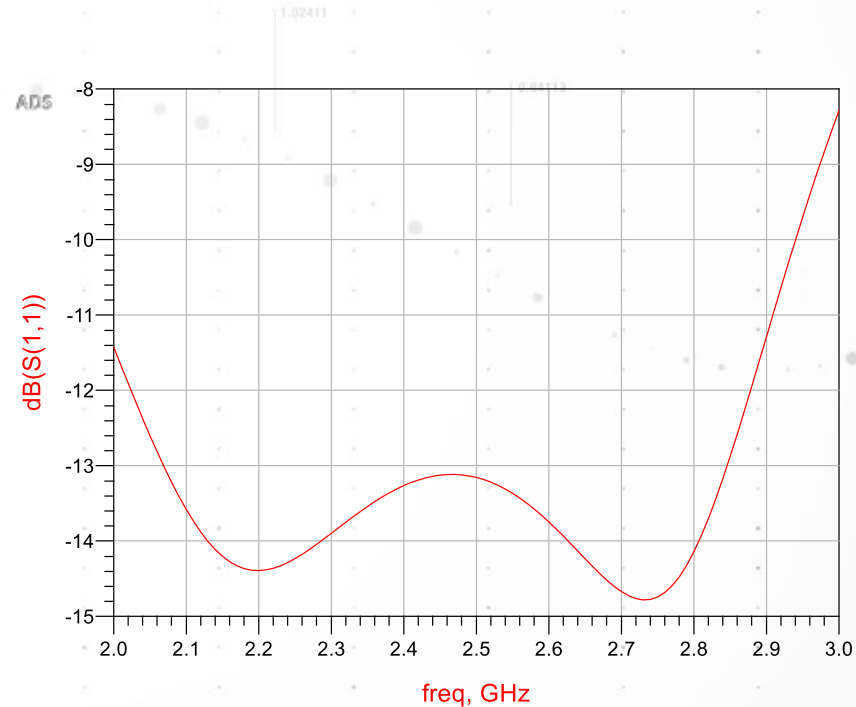
实验二完成

- 结果说明：因为此时TermG1的阻抗为 $2.992-j*2.847$ ，反射越小说明从端口看进去的阻抗越接近 $2.992+j*2.847$

m1
freq=2.400GHz
S(1,1)=0.216 + j0.025
optIter=46
impedance = $77.372 + j4.072$



freq (2.000GHz to 3.000GHz)



- 确认结果无误，保存关闭原理图，结果显示等窗口

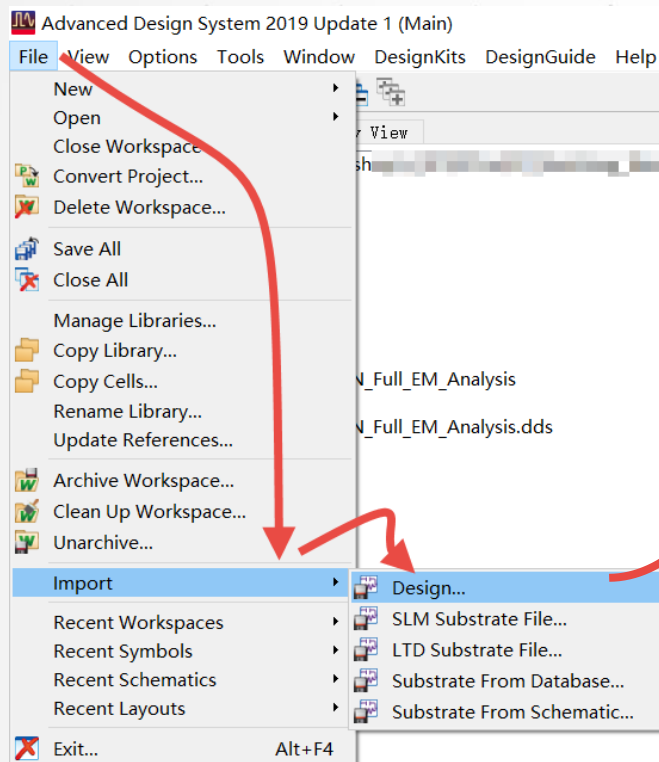
总结实验二

- CILD是一款计算阻抗线特征的小工具，同时它可以将计算结果制作成新的传输线，用于原理图仿真
- 实验二中我们将新的传输线与Murata公司的器件模型替换了原本理想的模型，并通过自动优化的手段获得了新的设计
- 这样的设计和真实版图的结果相差多少了？

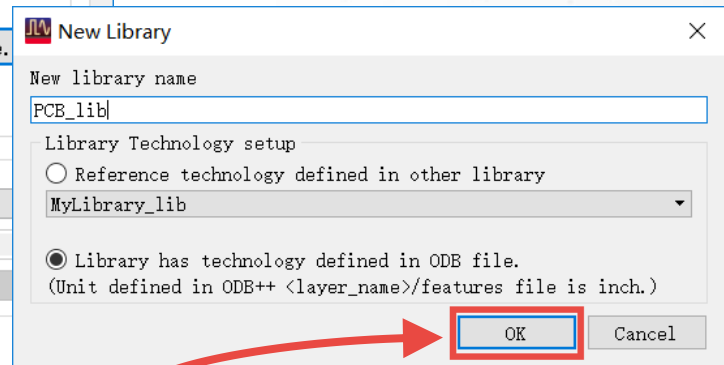
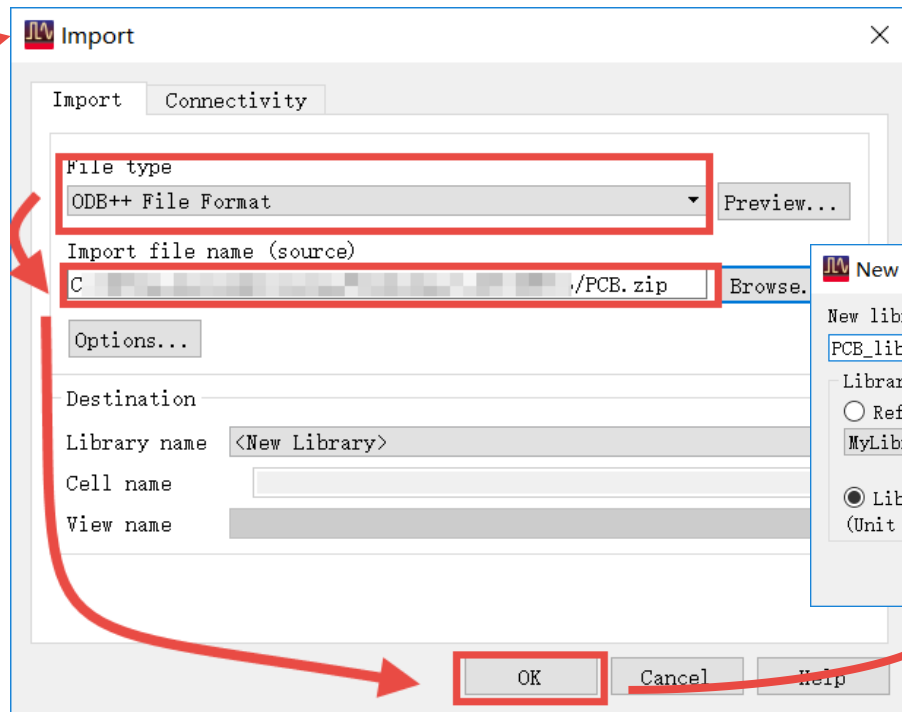
实验内容

- 前仿真
 - 实验一：通过Smith Chart进行匹配架构选择，器件选型
 - 实验二：使用CILD计算并优化走线与器件
- 后仿真
 - 实验三：导入ODB++文档
 - 实验四：使用RFPro进行快速原理图版图联合仿真
- 总结：前仿真与后仿真精度对比

实验三：导入ODB++版图文件

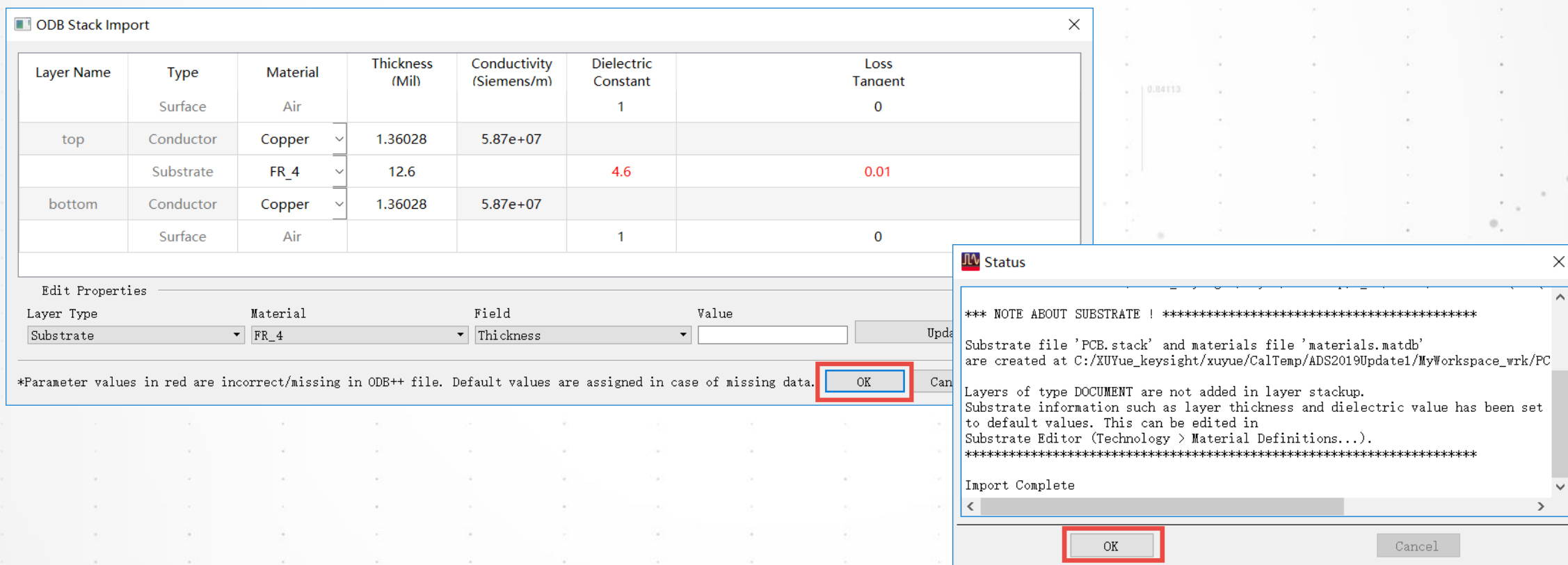


- 回到ADS主窗口
- 按照步骤找到文件中的ODB++文件“PCB.zip” 点击OK
- 确认lib名称无误，点击OK



实验三：确认ODB文件的叠层

- 这里的叠层红色字体处有误，我们将在之后的步骤修改
- 此时先点击OK按钮，并在弹出的Status窗口点击OK，此时PCB导入工作完成



实验三：观察导入的文件包含哪些信息

▼ **PCB_lib_Components**
 > C1_0402S
 > C2_0402S
 > C3_0402S
▼ **PCB**
 layout
 PCB.subst
 tech.subst (PCB_lib)

- 元件信息

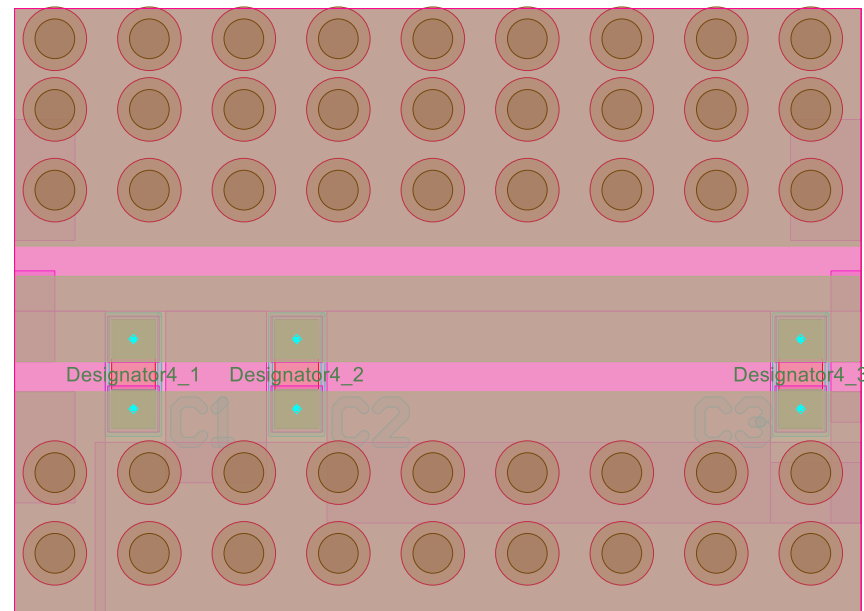
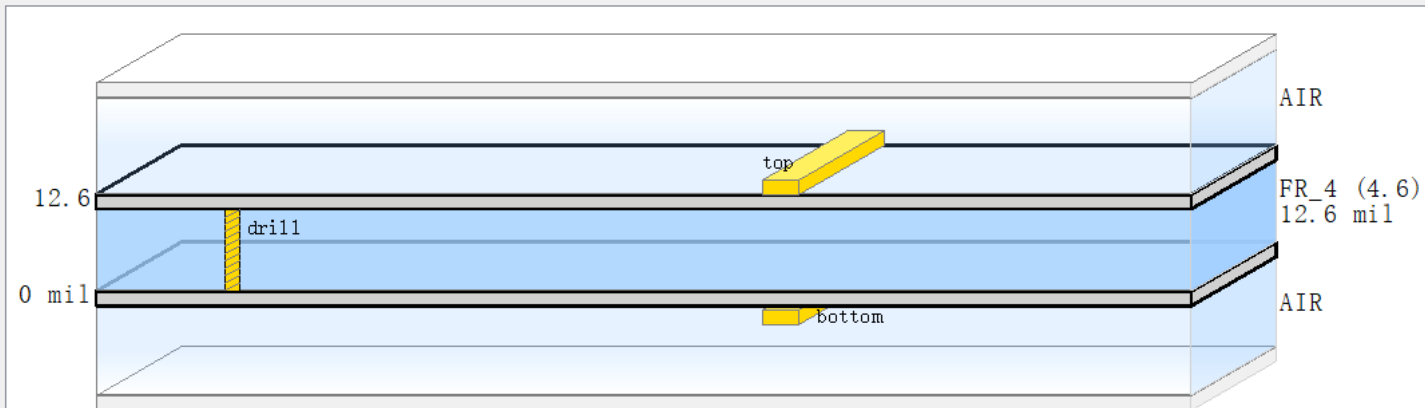
- PCB信息

- 叠层信息

File Technology Edit View Options Tools Window Help

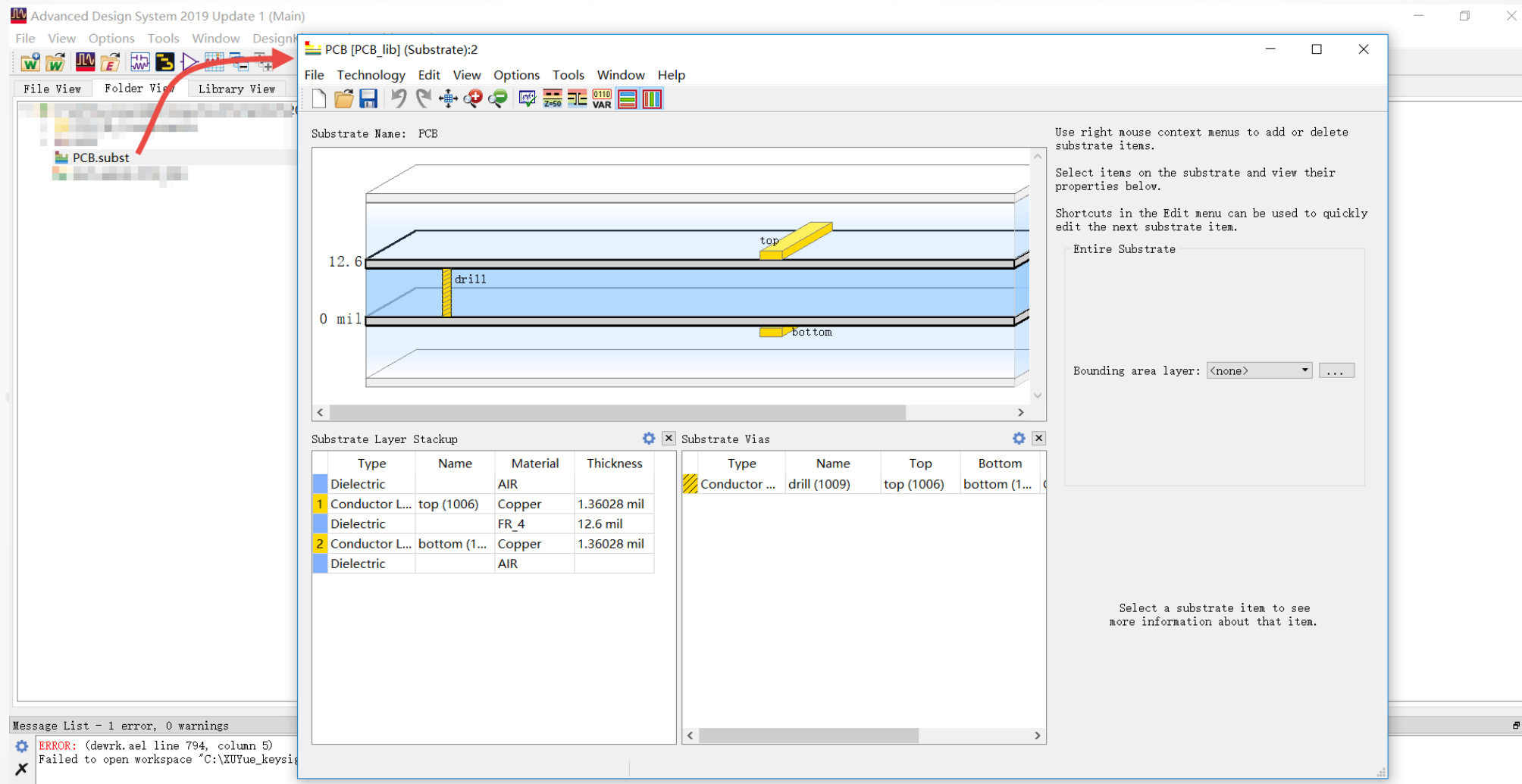


Substrate Name: tech



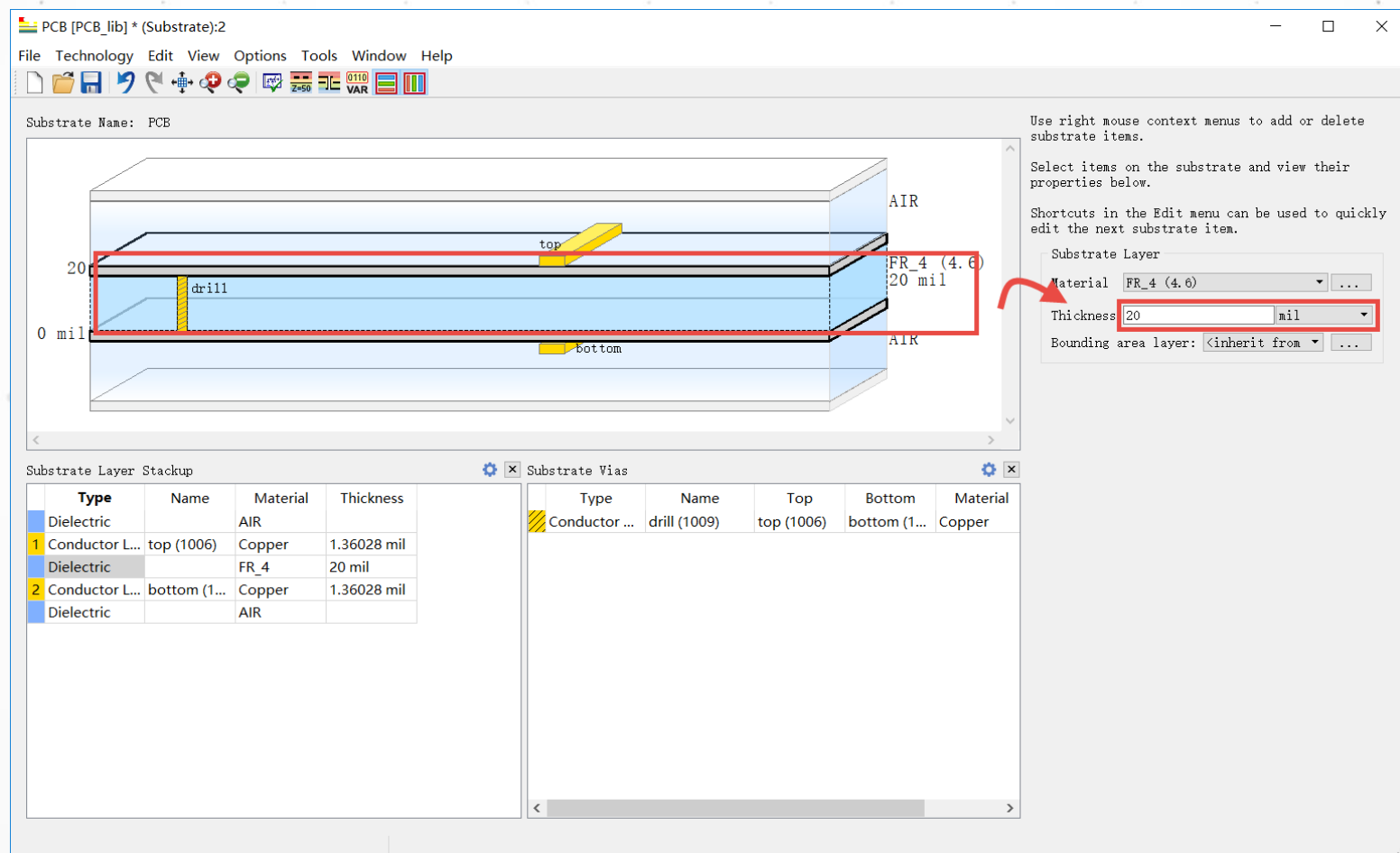
实验三：修改叠层设计

- 双击PCB.subst，打开叠层编辑器：



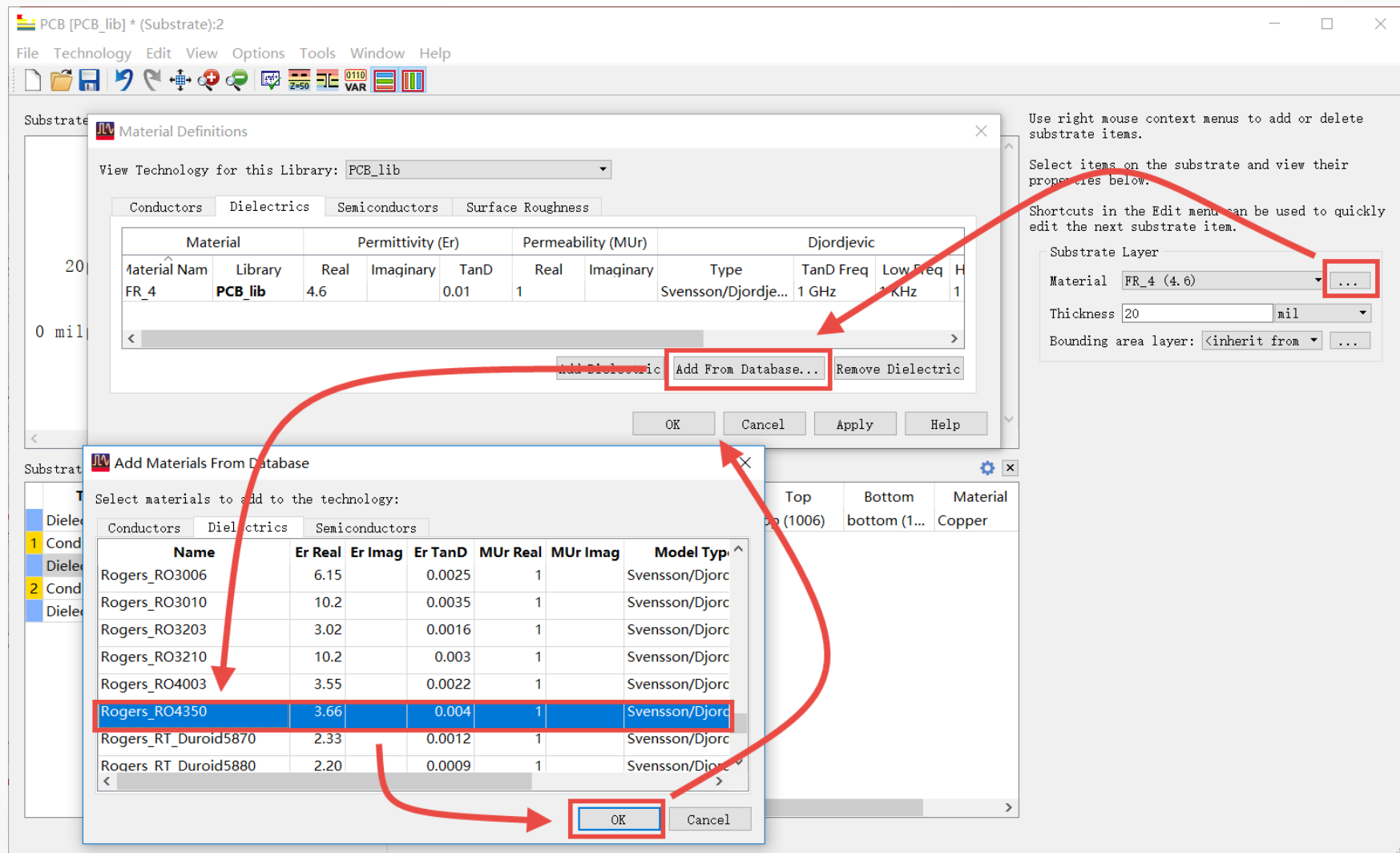
实验三：修改叠层厚度

- 用鼠标点击中间介质层
- 在右侧窗口中，将Thickness更改为20mil



实验三：加载新的叠层材料

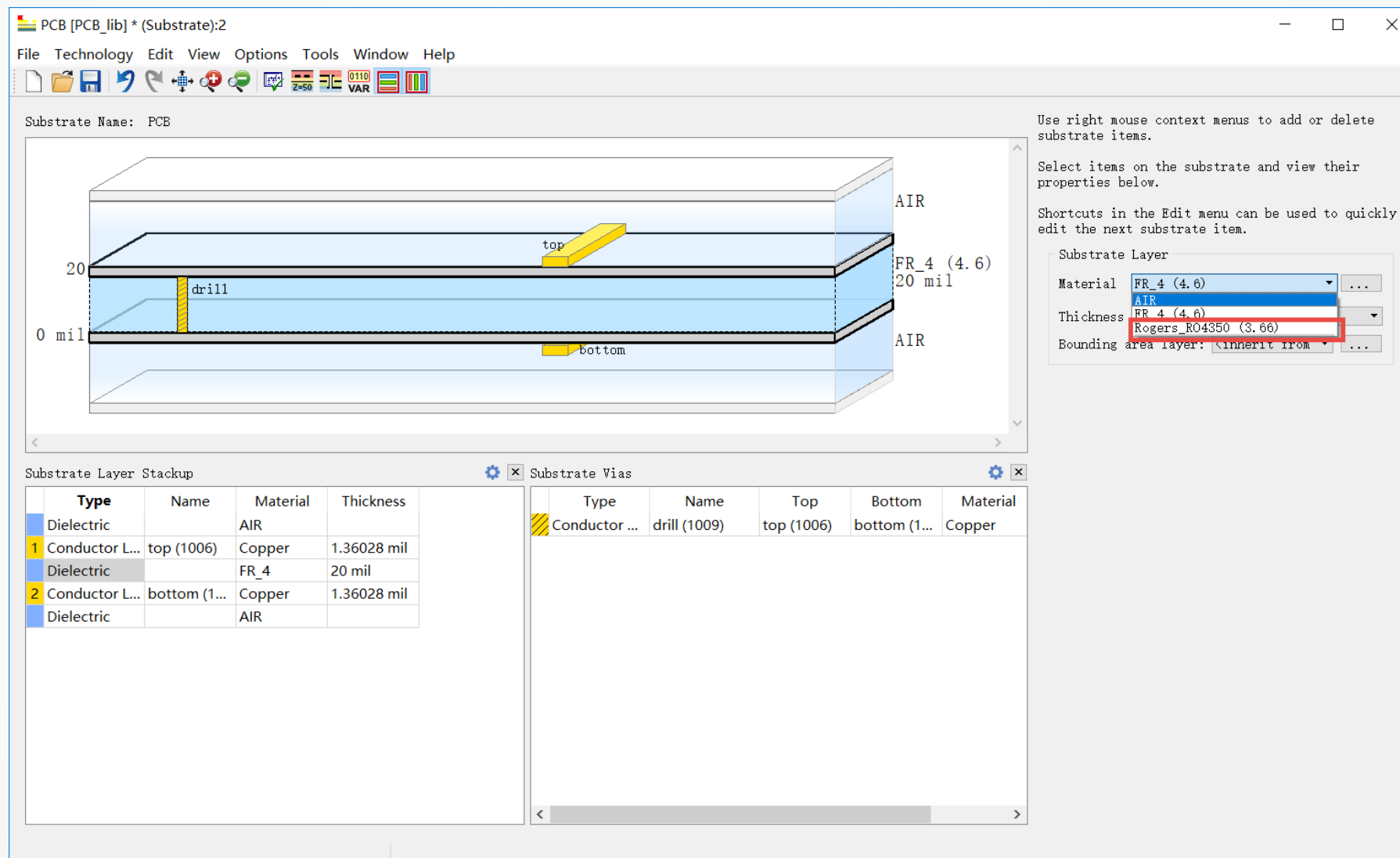
- 按照图中方法，将材料Rogers4350B的参数导入



实验三：选择材料Rogers4350B

实验三完成

- 在下拉菜单中选择Rogers RO4350，点击保存，叠层设计完成



实验三总结

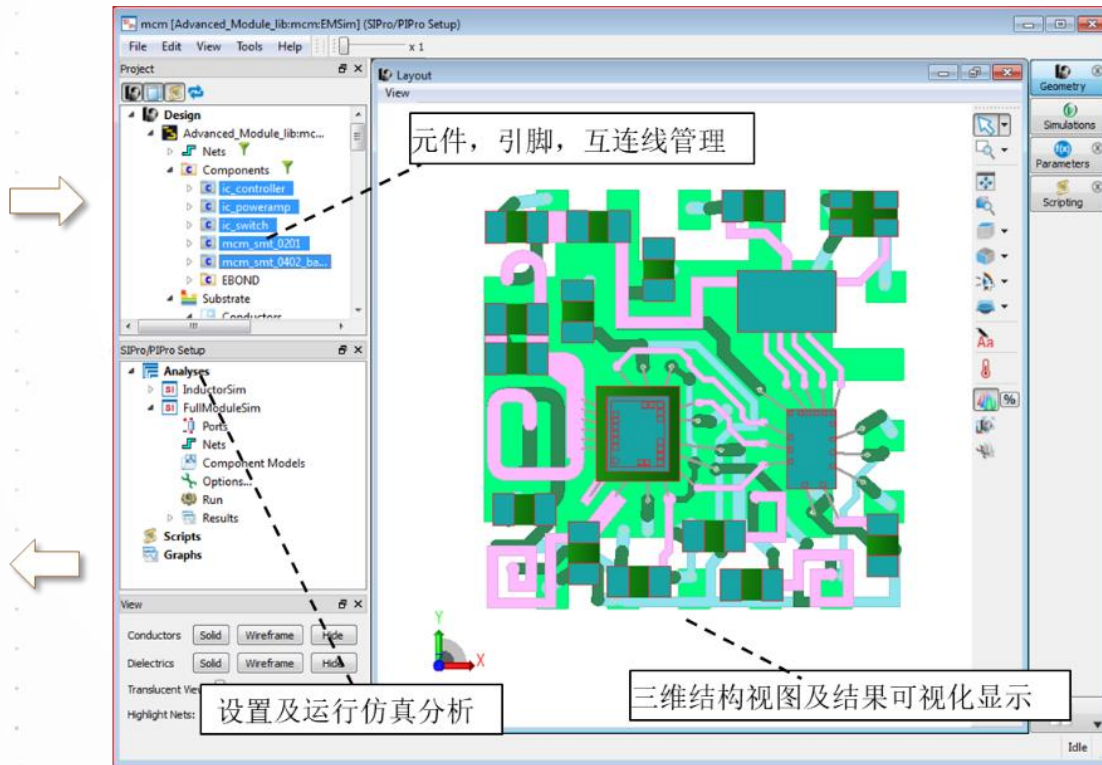
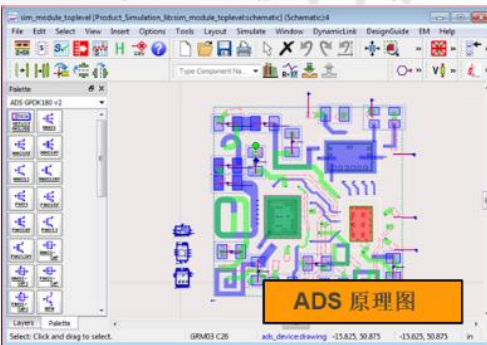
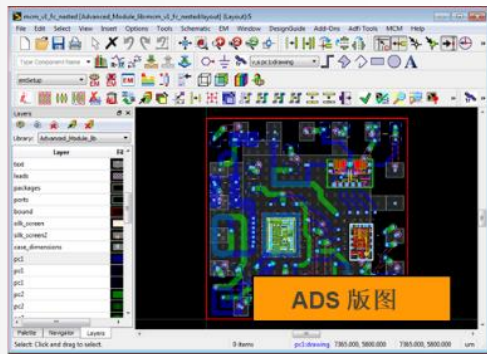
- 当PCB设计完成后，可以很方便导入ADS中进行仿真，目前支持Brd, ODB++等格式的导入。
- 导入后，会包含PCB版图，叠层结构，以及元件信息
- 这样会让三维电磁仿真变得简单

实验内容

- 前仿真
 - 实验一：通过Smith Chart进行匹配架构选择，器件选型
 - 实验二：使用CILD计算并优化走线与器件
- 后仿真
 - 实验三：导入ODB++文档
 - 实验四：使用RFPro进行快速原理图版图联合仿真
- 总结：前仿真与后仿真精度对比

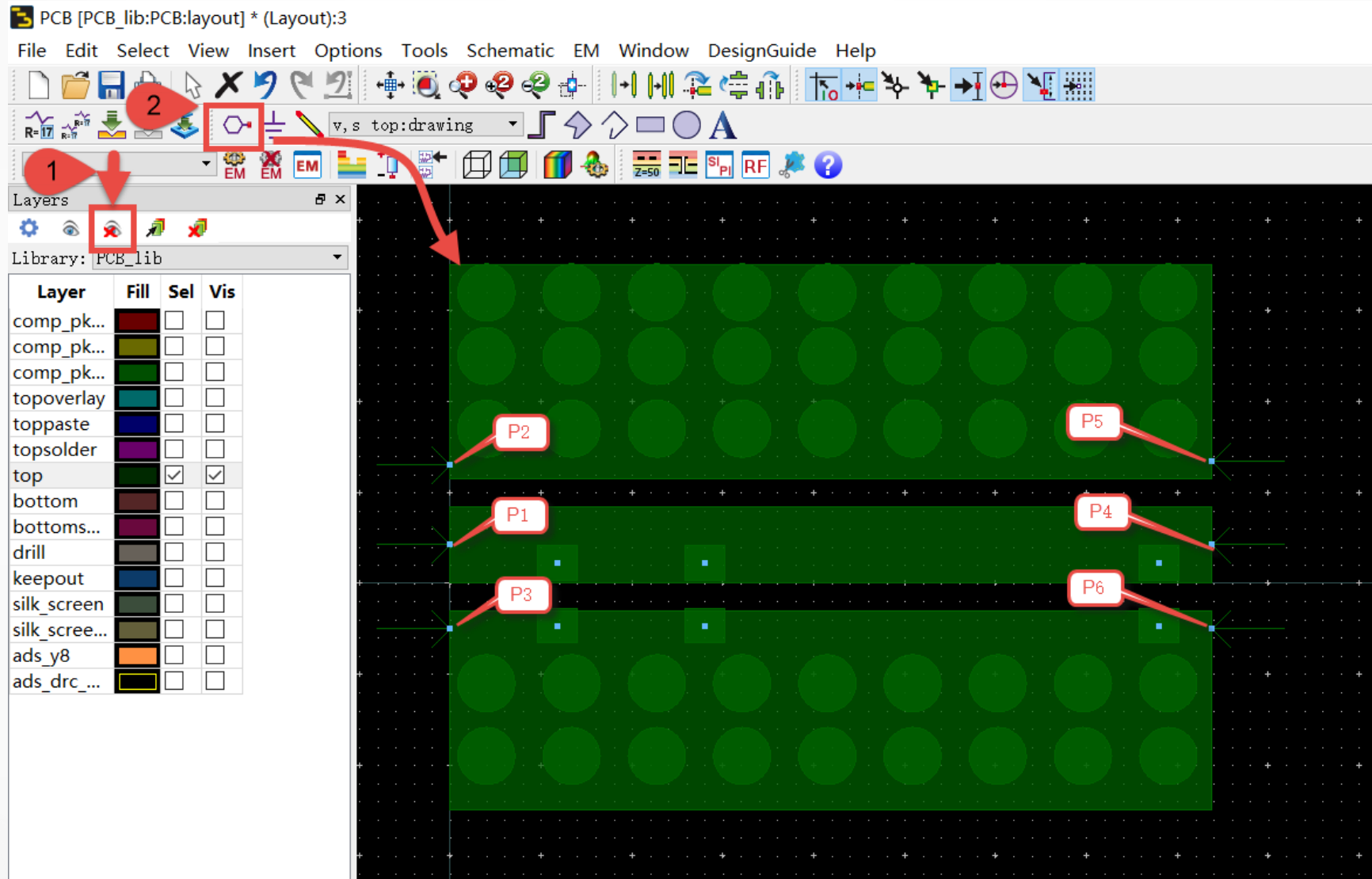
RFPro简介

- RFPro仿真平台由ADS版图界面进入，在独立的界面中完成电磁场仿真所需的全部设置，显示三维结构和电磁场分析结果，查看和输出仿真结果，快速进行电路/电磁场协同仿真分析。



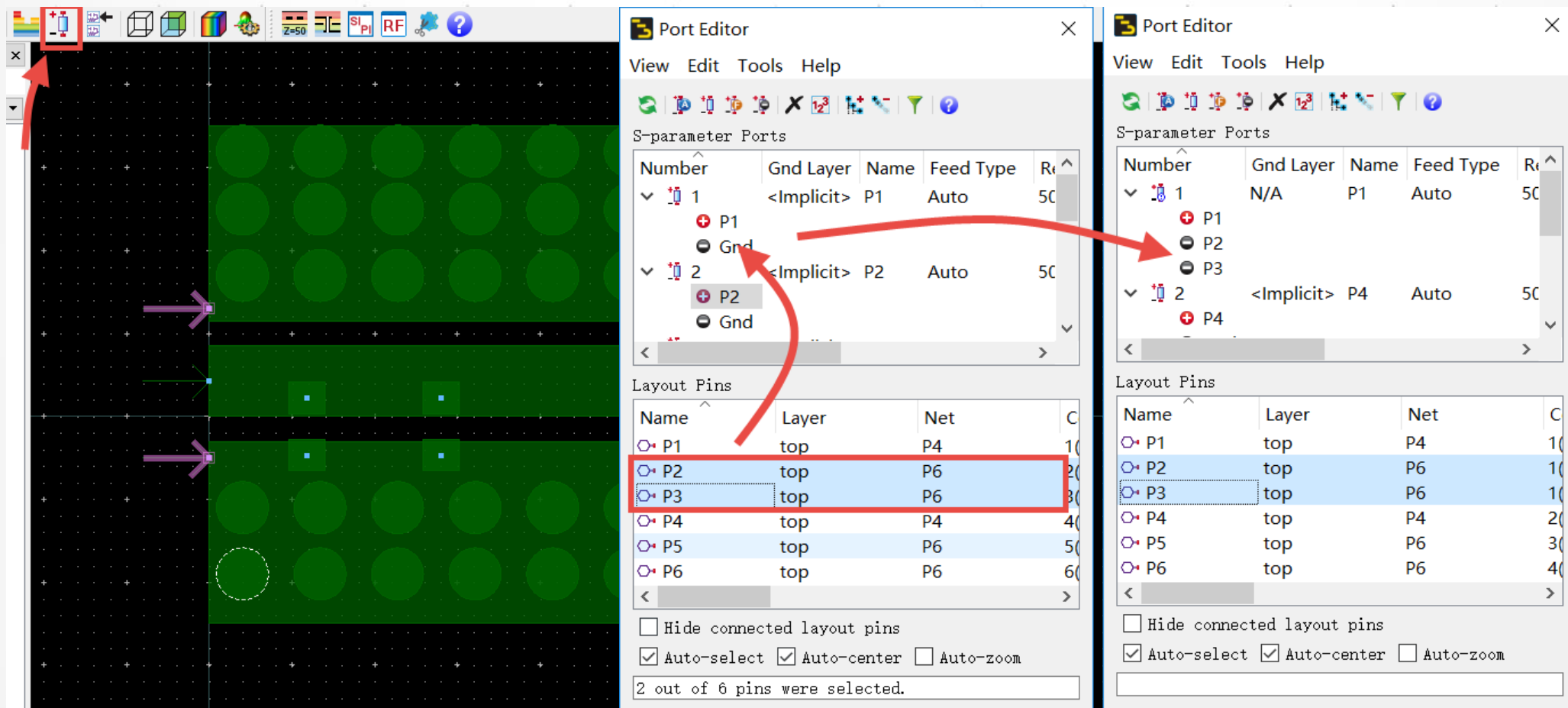
实验四：添加端口

- 双击打开PCB单元下的layout, 只显示top层, 并在top层添加6个端口



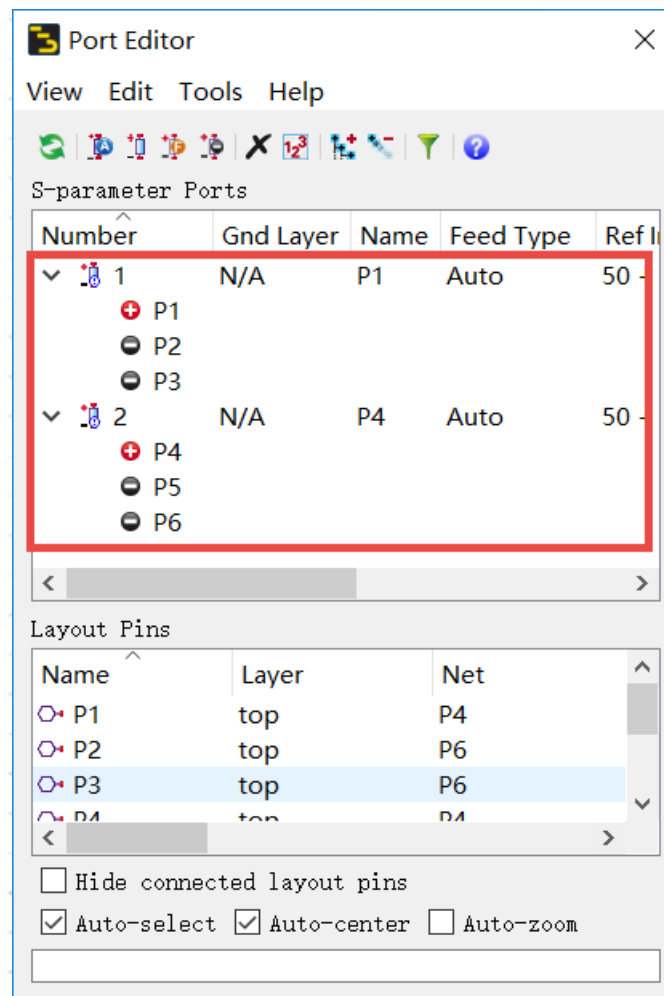
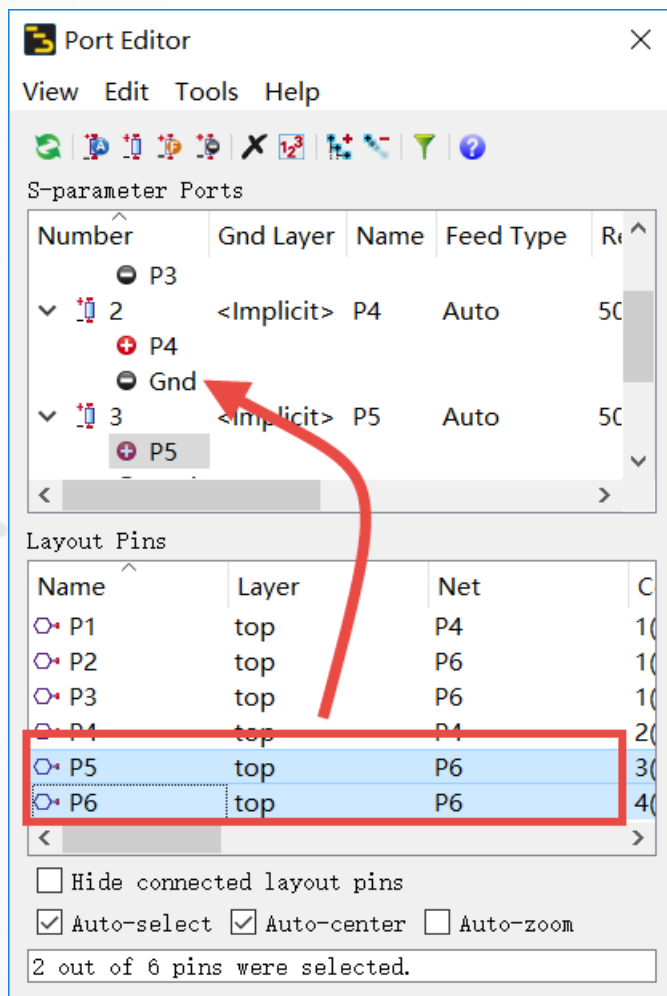
实验四：端口参考地设置

- 点击Port Editor按钮，将P2与P3拖拽至端口1 Gnd的位置
- 完成后可以看到P2与P3出现在端口1的负极



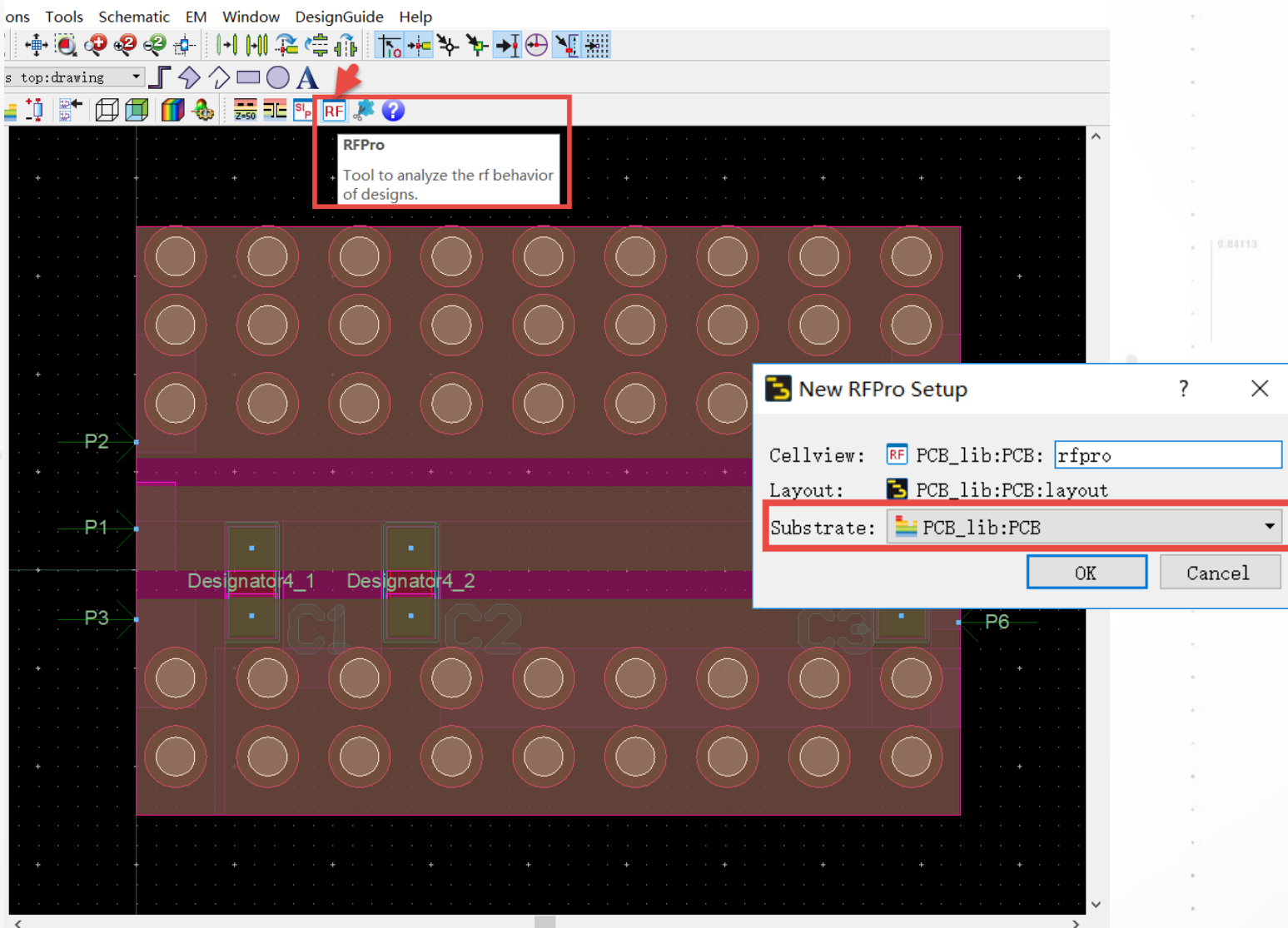
实验四：端口参考地设置

- 重复步骤完成另一端口参考地设计，完成后点击保存按钮

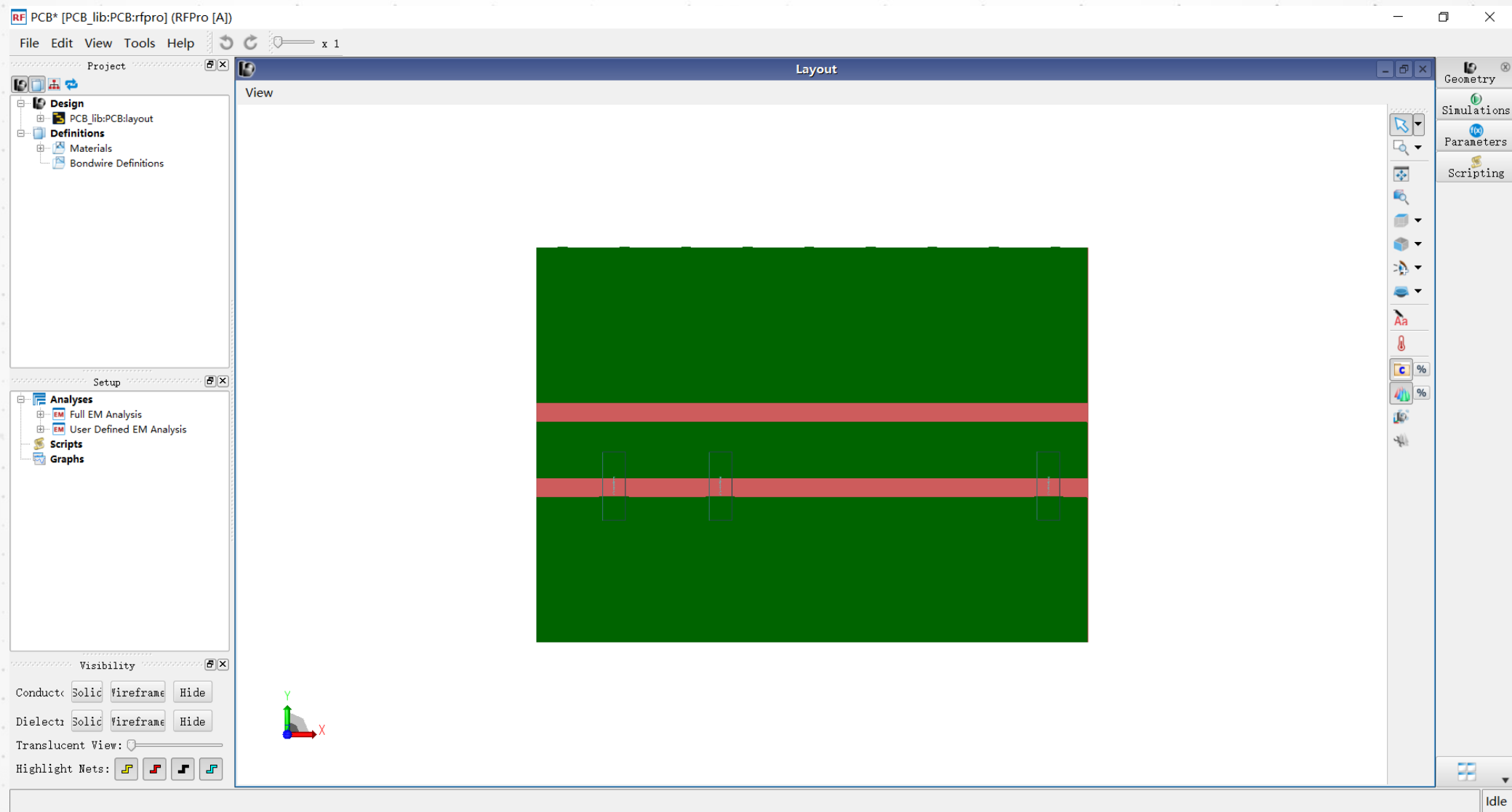


实验四：启动RFPro

- 启动RFPro，在弹出的设置窗口检查Substrate设置是否正确，无误点击OK

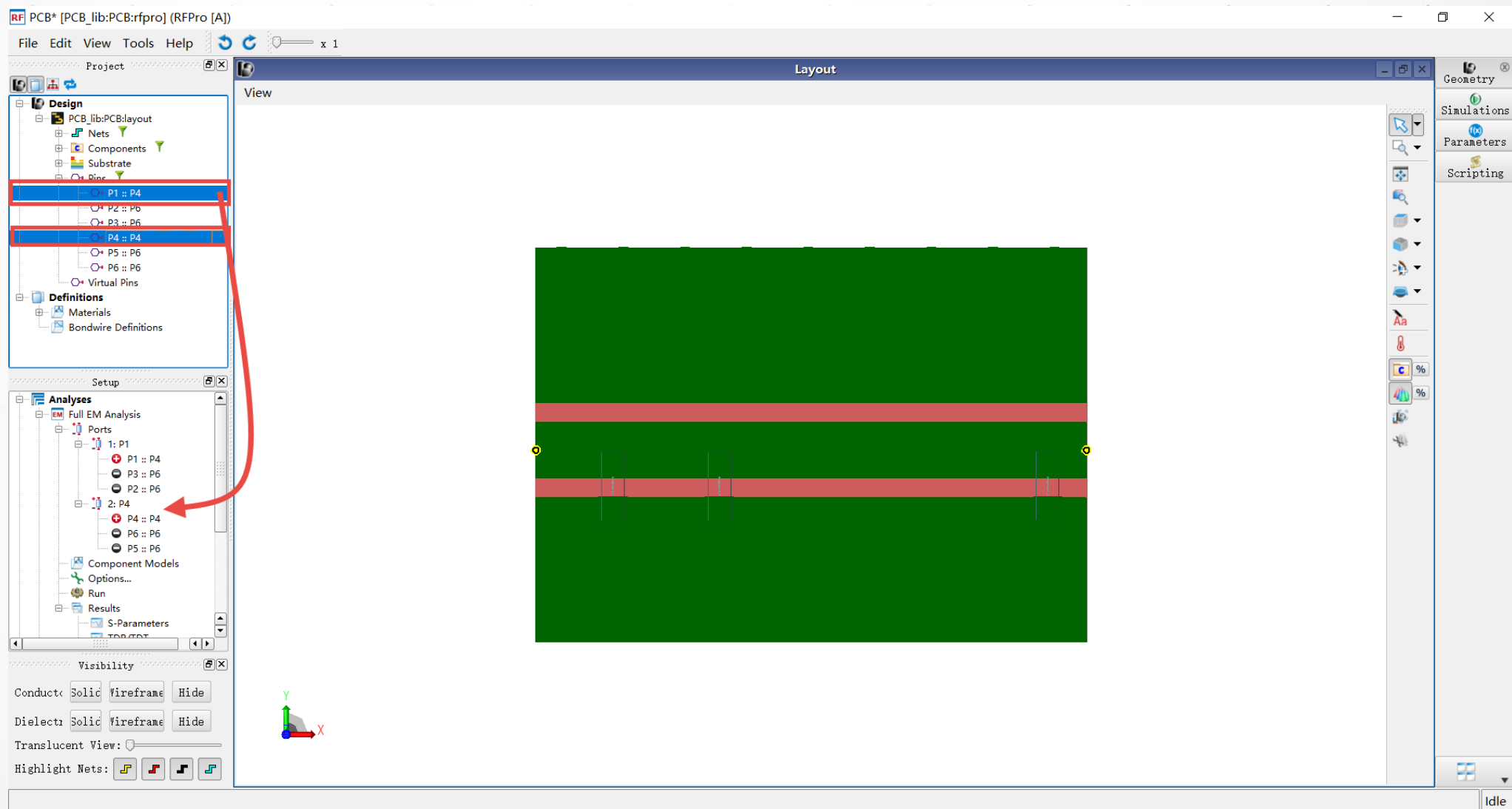


实验四：RFP rp界面



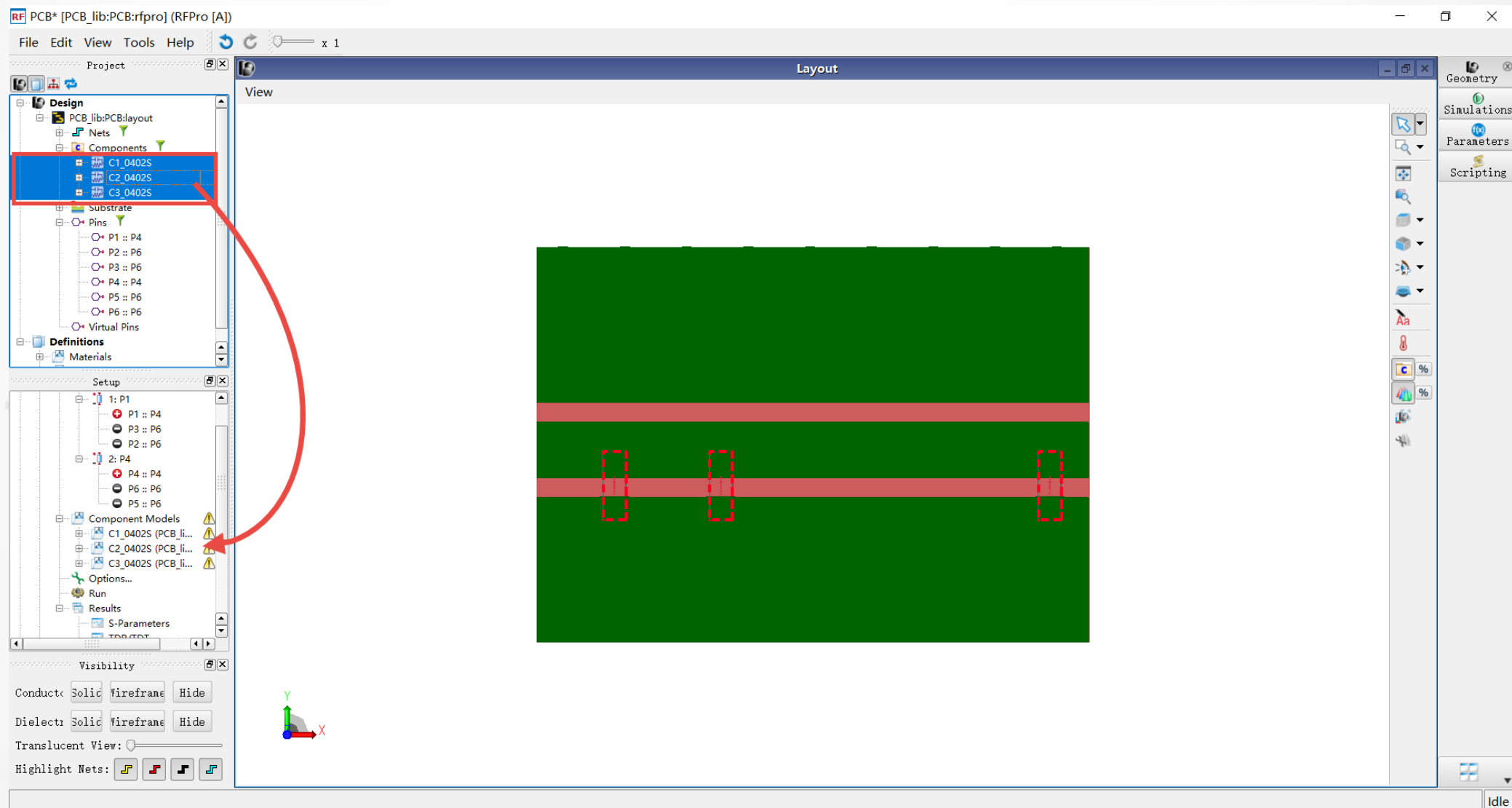
实验四：设置端口

- 通过Ctrl键选择P1与P4，拖拽到Full EM Analysis下的Ports处。



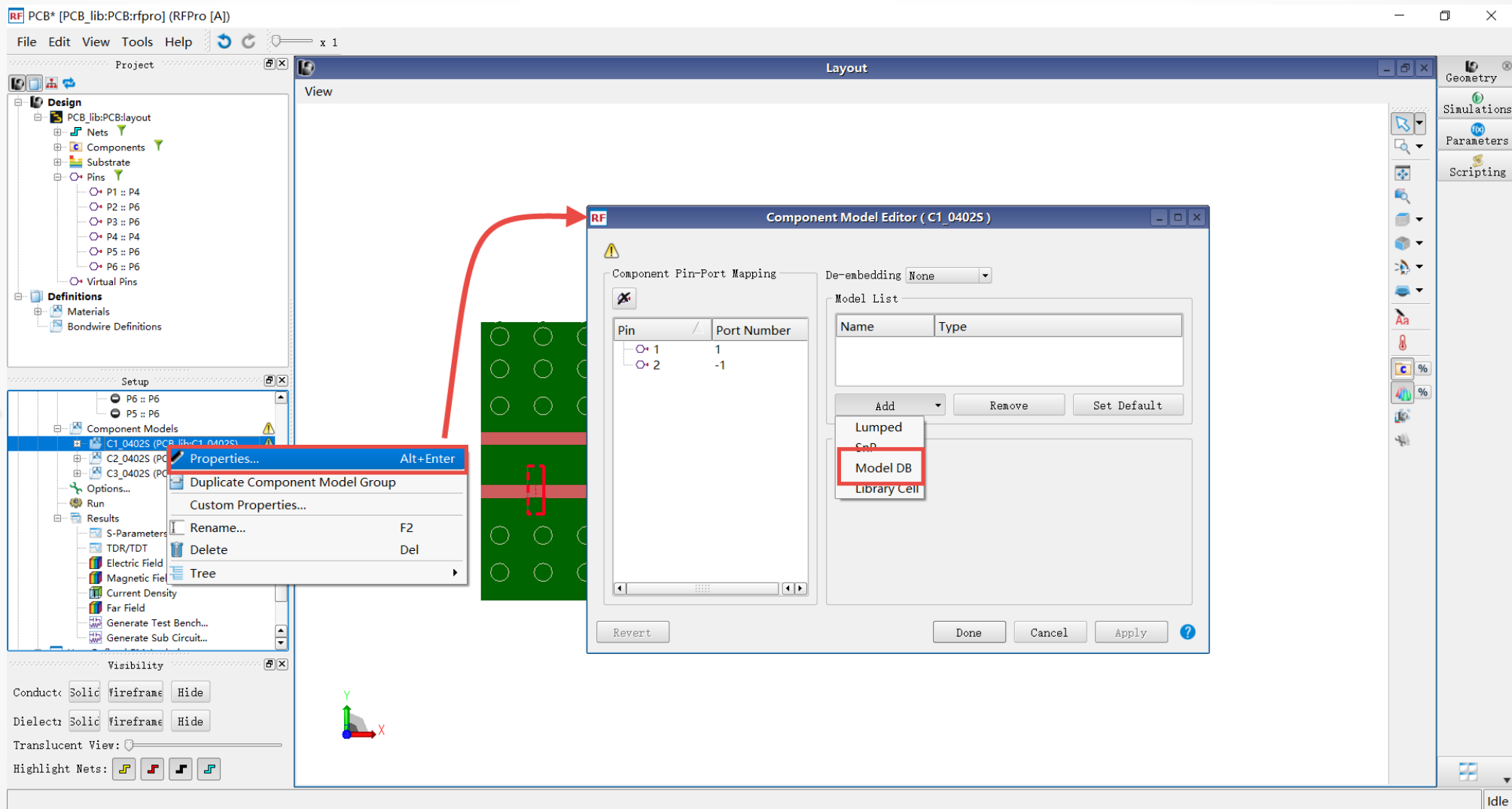
实验四：添加电容元件

- 通过Ctrl键选择C1 C2 C3，拖拽到Full EM Analysis下的Component Models处。



实验四：设置电容元件属性

- 选择元件C1，右键选择Properties...，弹出元件编辑窗口。在窗口中选择Add- Model DB



实验四：选择正确的Murata元件

- 在料号栏中输入：GRM1555C2A4R7WA01；选择搜索结果，点击 OK；并点击 Yes 确定

The screenshot displays the RF Model DB software interface. At the top, a table lists search results for the component GRM1555C2A4R7WA01. The table has columns: User Defined, Vendor, Family, Part Number, Part Series, Part Type, and Model Type. The selected row shows: No, Murata, General Purpose, GRM1555C2A4R7WA..., GRM15, C, and Lumped. Below the table, a graph shows the Impedance (ohm) versus Frequency (MHz) for the component. A red arrow points from the 'Part Number' column to the 'Pin-Port Mapping' dialog box. The dialog box asks: 'Do you want to apply the Model's Pin-Port Mapping for the Component?'. The 'Yes' button is highlighted with a red box. Another red arrow points from the 'OK' button in the 'Part Details' section to the 'Pin-Port Mapping' dialog box. The 'Part Details' section shows the component's parameters: User Defined: No, Vendor: Murata, Family: General Purpose, Part Number: GRM1555C2A4R7WA01, Part Series: GRM15, Part Type: C, Model Type: Lumped, R Datasheet: 4.7 pF, L Datasheet: 543.492 mOhm, C Datasheet: 347.97 pH, Topology: Series, R Model: 4.7 pF, L Model: 543.492 mOhm, C Model: 347.97 pH.

User Defined	Vendor	Family	Part Number	Part Series	Part Type	Model Type
Filter	Filter	Filter	GRM1555C2A4R7WA01	Filter	Filter	Filter
No	Murata	General Purpose	GRM1555C2A4R7WA...	GRM15	C	Lumped

Impedance (ohm)

Frequency (MHz)

Part Details

User Defined: No

Vendor: Murata

Family: General Purpose

Part Number: GRM1555C2A4R7WA01

Part Series: GRM15

Part Type: C

Model Type: Lumped

R Datasheet: 4.7 pF

L Datasheet: 543.492 mOhm

C Datasheet: 347.97 pH

Topology: Series

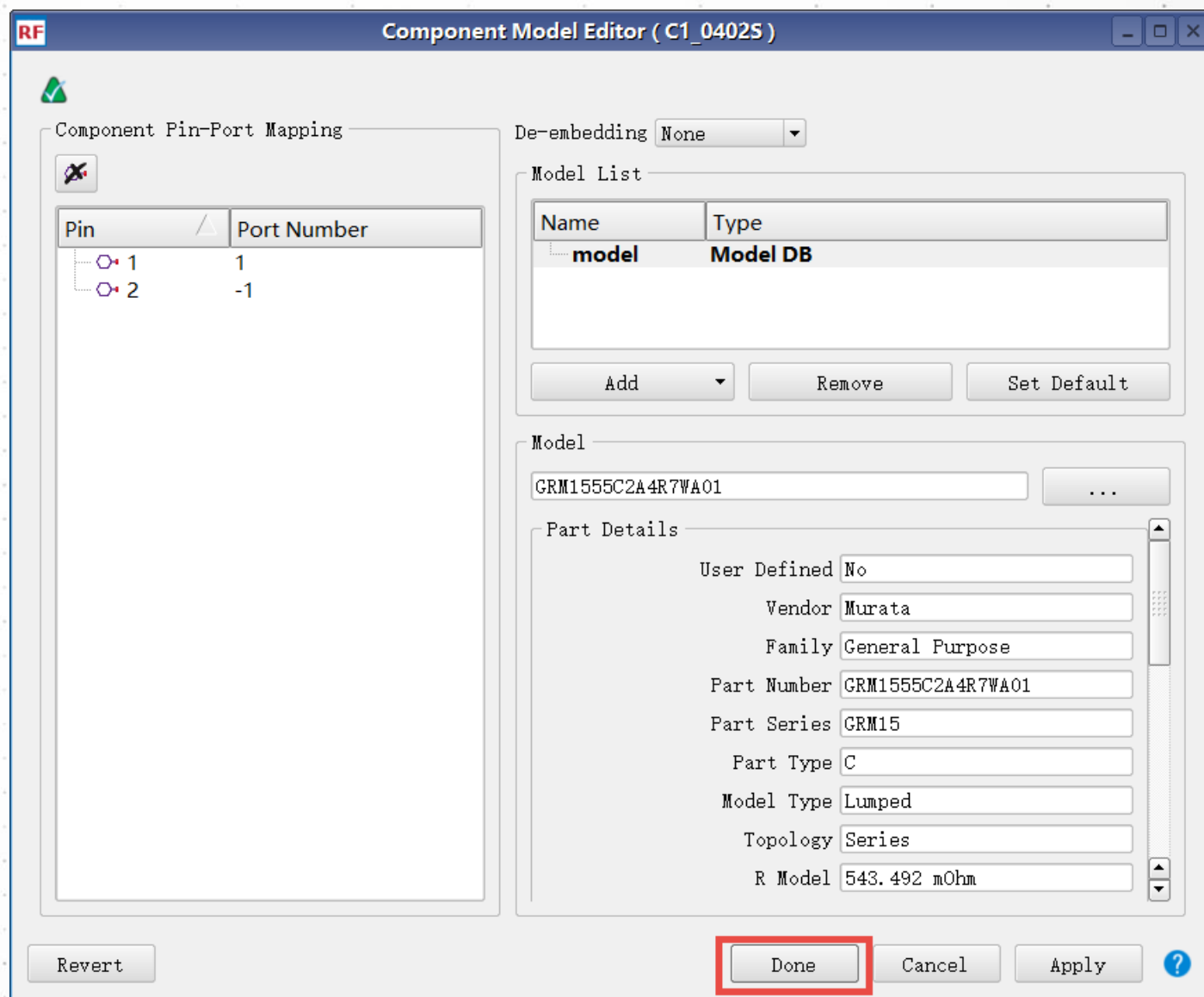
R Model: 4.7 pF

L Model: 543.492 mOhm

C Model: 347.97 pH

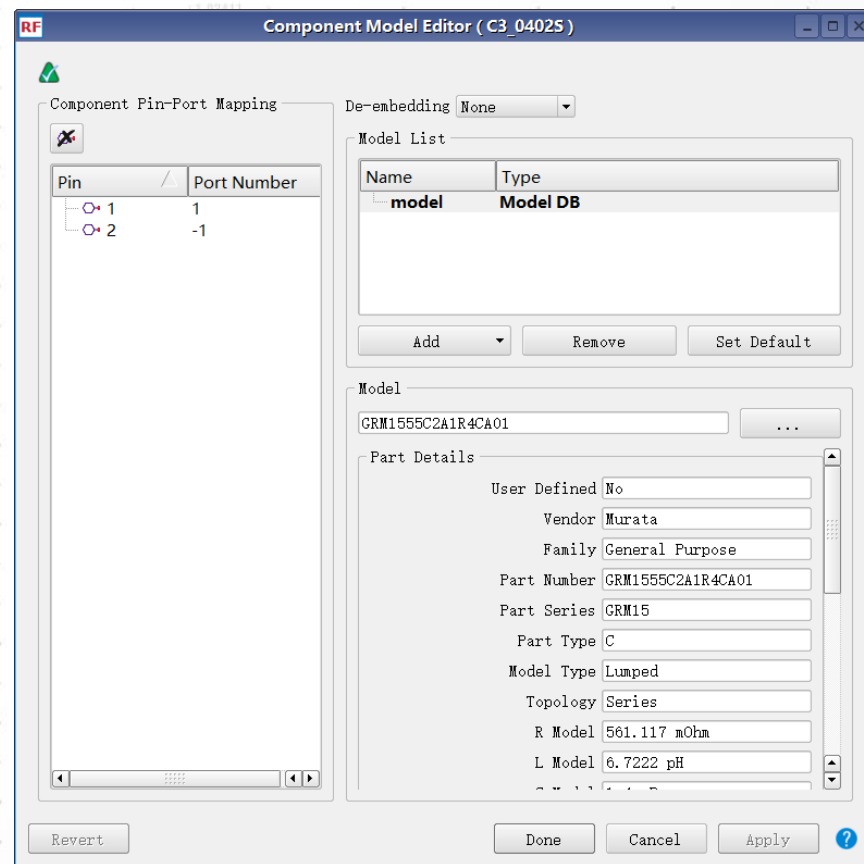
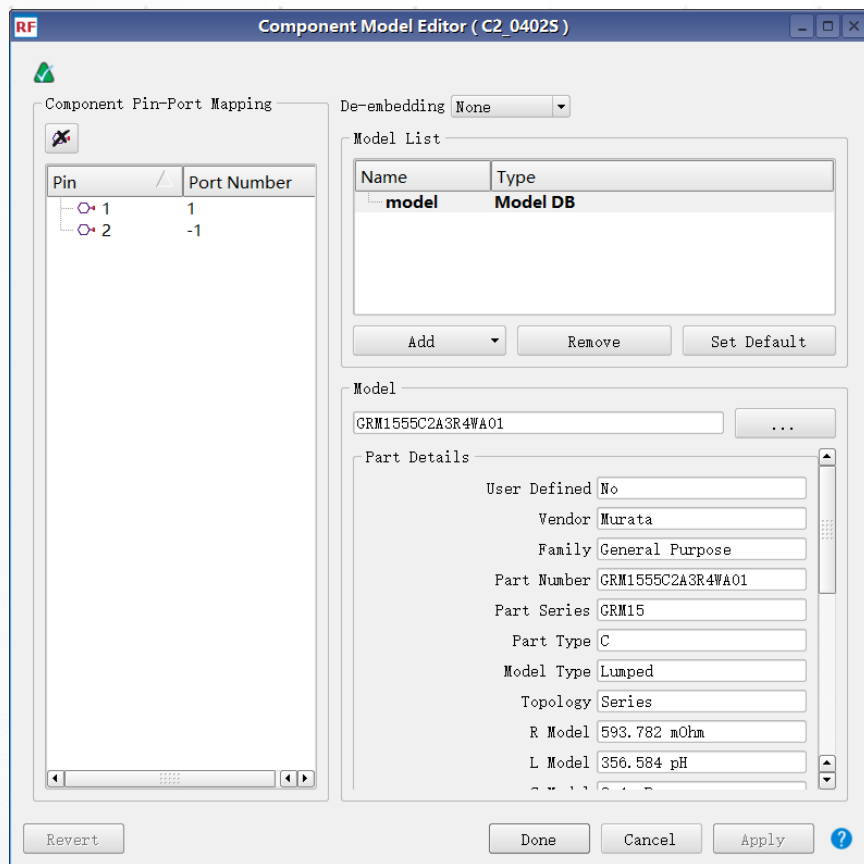
实验四：完成C1的元件设定

- 检查元件是否有误
- 无误点击Done完成设定



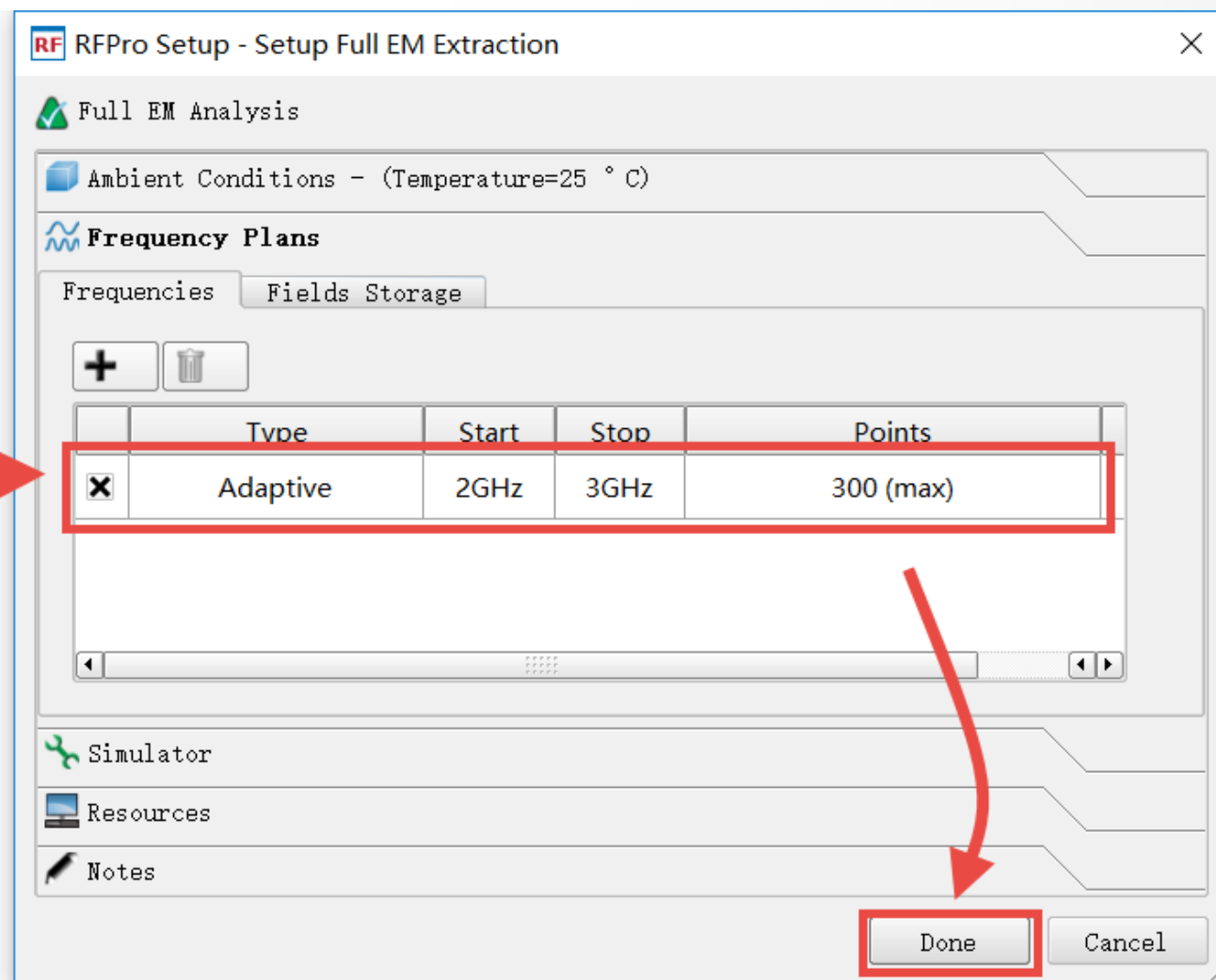
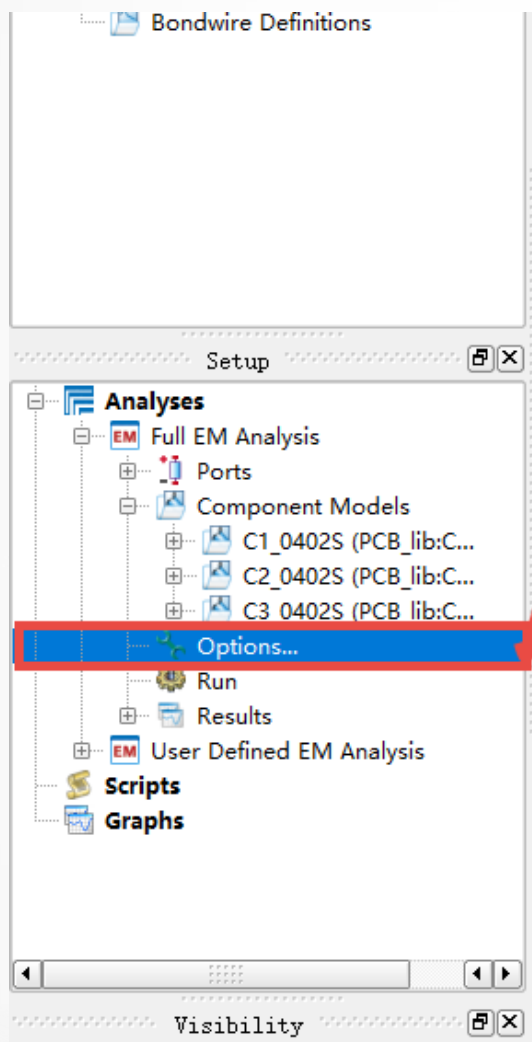
实验四：完成C2 与C3的设定

- 重复前文步骤，完成C2 C3设定，
- C2料号： GRM1555C2A3R4WA01
- C3料号： GRM1555C2A1R4CA01



实验四：设置频率2-3GHz

- 按照步骤设置频率范围为2-3GHz



实验四：运行仿真查看结果

- 双击Run运行仿真，可以在弹出的Simulations窗口中查看仿真状态：

The screenshot displays the Keysight PCB layout software interface. On the left, the 'Analyses' panel shows a tree structure with 'Full EM Analysis' selected. Below it, the 'Run' button is highlighted with a red box and a red callout bubble containing the text '双击' (Double-click). The main 'Layout' window shows a green PCB layout with a grid of circular vias and two horizontal red traces. On the right, the 'Simulations' window is open, showing a table of simulation results and a log of the simulation process.

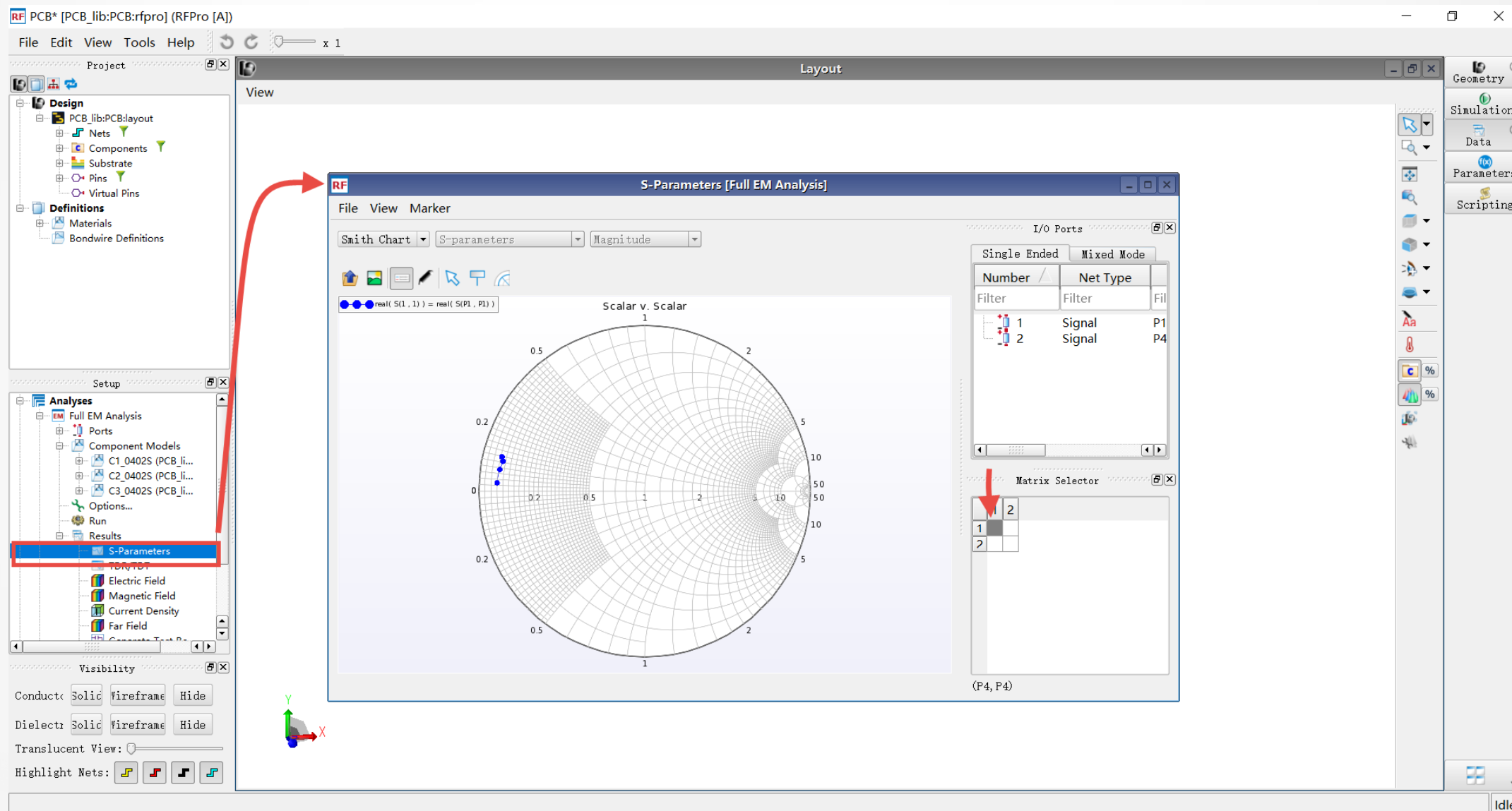
Name	Date Created	Engine	Status
Full EM Analysis	周日 3月 31 12:12:57 2019	Momentum	Completed

Summary Log
X Auto-scroll Update Completed

```
...calculating S-parameters  
Simulation frequency [2] = 3 GHz  
...solving interaction matrix  
...calculating S-parameters  
Adaptive: 0.0 % of frequency range covered  
Simulation frequency [3] = 2.66667 GHz  
...solving interaction matrix  
...calculating S-parameters  
Simulation frequency [4] = 2.33333 GHz  
...solving interaction matrix  
...calculating S-parameters  
Adaptive: 100.0 % of frequency range covered  
S-parameter simulation finished  
Simulation finished on: Sun Mar 31 12:13:34 2019  
  
Simulation Time: 0:00:35.543000  
Simulation Finished
```


实验四：查看结果

实验4结束



实验四总结

- RFPro是一款集成Momentum与FEM引擎的全新仿真界面，嵌入在ADS中，使用它进行射频PCB与元件联合仿真，设置更为便捷，仿真迅速



实验内容

- 前仿真
 - 实验一：通过Smith Chart进行匹配架构选择，器件选型
 - 实验二：使用CILD计算并优化走线与器件
- 后仿真
 - 实验三：导入ODB++文档
 - 实验四：使用RFPro进行快速原理图版图联合仿真
- 总结：前仿真与后仿真精度对比

总结

DEMO

1. 整个实验完成了射频匹配从前仿真到后仿真的全部流程
2. 前仿真我们可以学到smith Chart, CILD等小工具使用
3. 后仿真可以了解ADS如何导入PCB, 以及RFPro如何快速完成对PCB+元件的仿真
4. 最后, 右图是前仿真CILD+Murata (蓝色) 的结果与RFPro电磁分析 (红色) 的结果比较, X符号代表我们希望匹配的阻抗 $2.992 + j*2.847$ 。可以看到在这套流程中前仿真也是非常准确的
5. 因此, 前仿真虽然不能替换后续的仿真, 但是前期快速准确的评估, 可以有效节省在系统设计初器件, 材料选型的时间。避免多次迭代。

