

实验三 矩形波导仿真

一、实验目的

1. 学习用 CST 搭建矩形波导，并进行仿真实验
2. 了解传输线与波导相关性质

二、实验内容与步骤

1. 了解并搭建矩形波导仿真环境

矩形波导是最早用于传输微波信号的传输线类型之一，而且今天仍然有很多应用。用于从 1 GHz 到超过 220 GHz 波段的各种标准波导的大量元件，例如耦合器、检波器、隔离器、衰减器及槽线等。由于小型化和集成化趋势，大量微波电路现在都采用平面传输线，例如微带线和带状线，而不是用波导来制造。然而在很多应用中，例如高功率系统、毫米波系统以及一些精密检测应用中仍然需要波导。

中空矩形波导可以传播 TM 模和 TE 模，但不能传播 TEM 模。矩形波导也具有截止频率，低于截止频率就不能传播。

建模过程：

(1.a) 新建 project

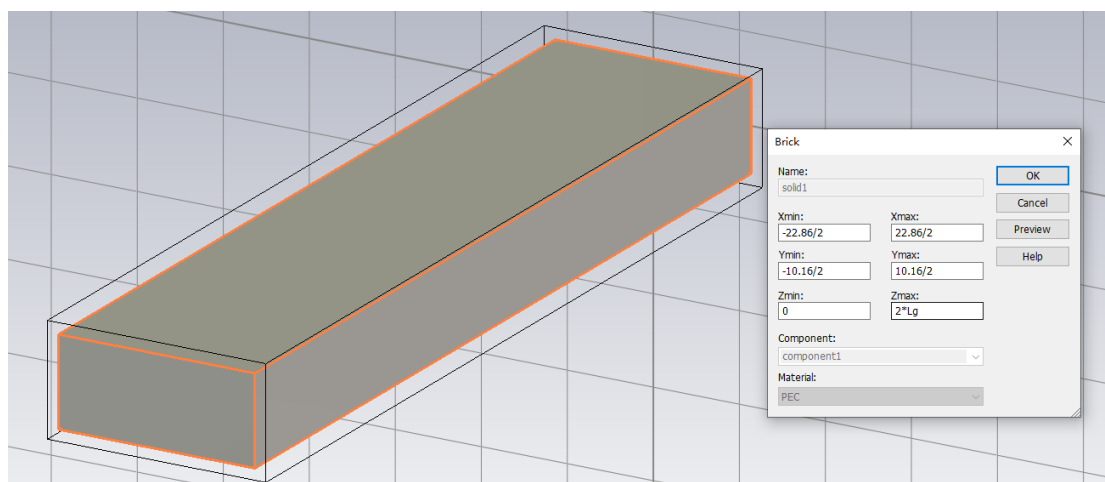
Create New Project -> MW & RF & Optical -> Antennas -> Waveguide -> Time Domain -> Unit Set (对照下图，一般情况下无需更改) -> Frequency (暂时不填) -> Finish

Please select the units:

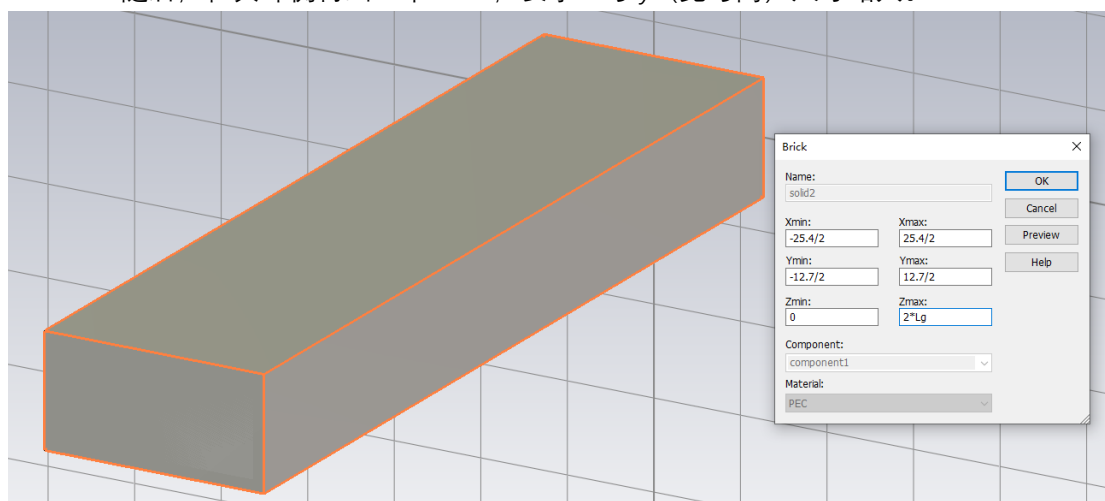
Dimensions:	<input type="text" value="mm"/>
Frequency:	<input type="text" value="GHz"/>
Time:	<input type="text" value="ns"/>
Temperature:	<input type="text" value="Kelvin"/>
Voltage:	<input type="text" value="V"/>
Current:	<input type="text" value="A"/>
Resistance:	<input type="text" value="Ohm"/>
Conductance:	<input type="text" value="S"/>
Inductance:	<input type="text" value="nH"/>
Capacitance:	<input type="text" value="pF"/>

(1.b) 画波导

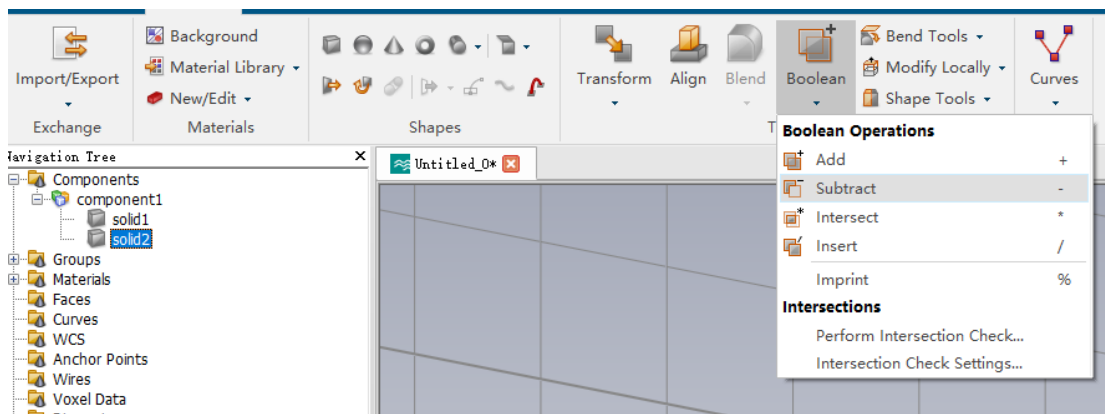
我们搭建的是 WR90 型矩形波导，其截面尺寸为 $22.86\text{ mm} \times 10.16\text{ mm}$ ，频率范围在 $8.20\text{ GHz} \sim 12.4\text{ GHz}$ 。Z 方向长度为 2 倍导波波长，在后续实验要求中有提及，需要进行计算。此处导波波长用参数 L_g 代替。



随后，在其外侧再画一个 Brick，要求 x 与 y（宽与高）尺寸略大。

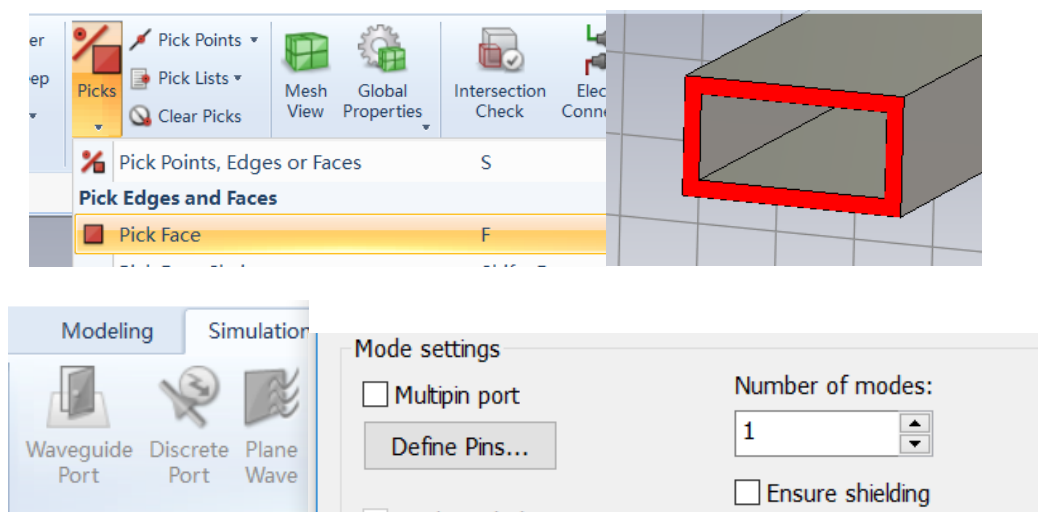


在左侧 component 列表中，选择较大的 Brick（此处为 solid2），点击 Modeling 菜单下的 Boolean -> Subtract，按照指示操作选择较小的 Brick（此处为 solid1），按下 Enter，即通过布尔操作，获得了一个真空矩形波导。

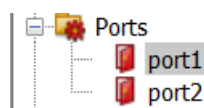


(1.c) 添加 Waveguide port

选择 Pick Face，双击波导开口处。再点击 Simulation -> Waveguide Port，设置 Number of modes 为 1，即模数为 1。对另一边的开口处作同样操作。

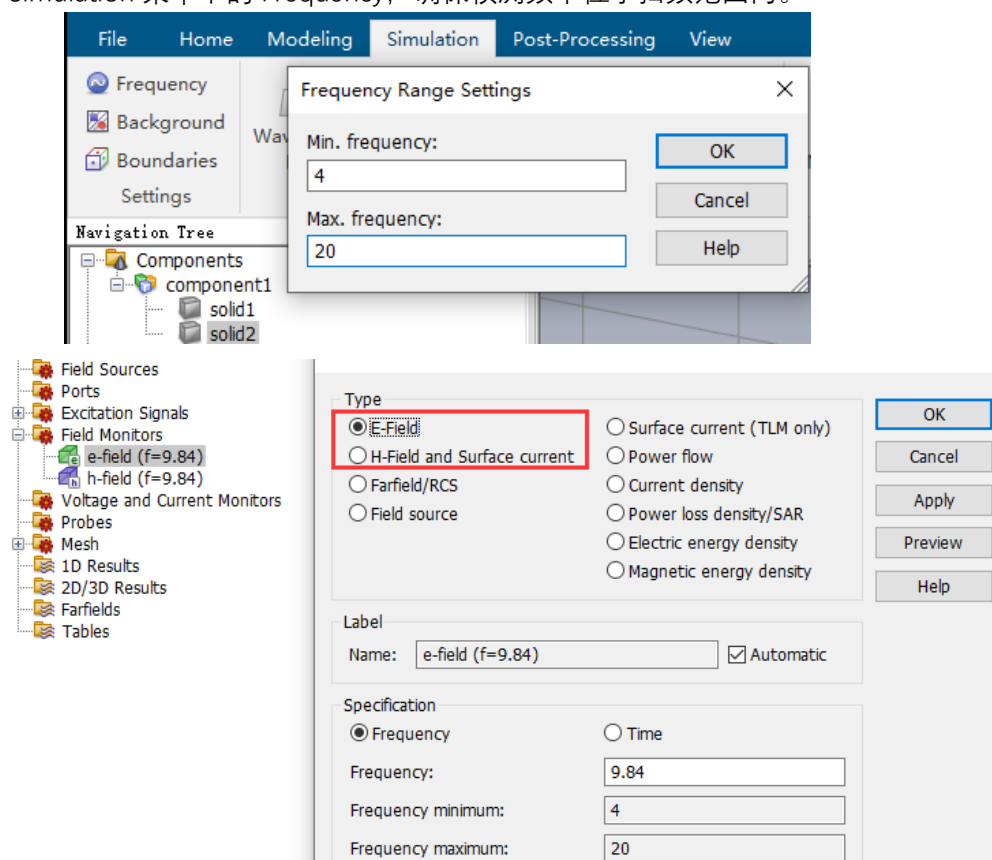


最终得到两个 Ports，为波导激励源。



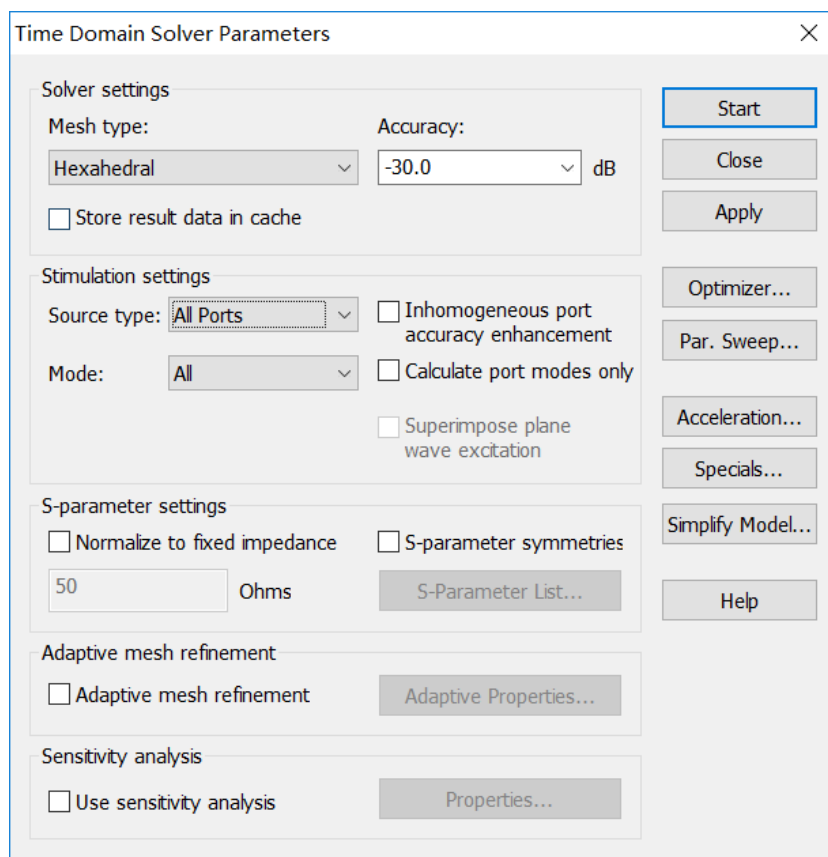
(1.d) 添加 Field Monitor

实验要求添加 E-field Monitor 与 H-field Monitor，并设置好对应侦测频率。点击 Simulation 菜单下的 Frequency，确保侦测频率位于扫频范围内。



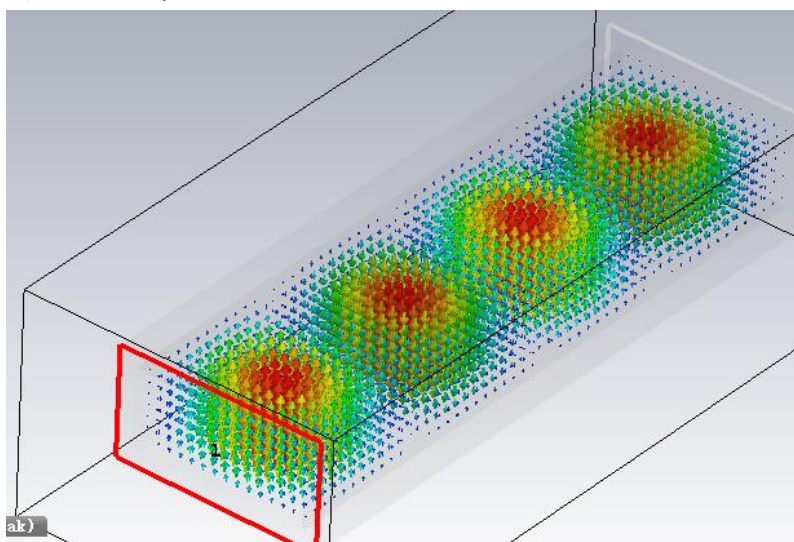
(1.e) 运行仿真

点击 Simulation 菜单下的 Setup Solver，无需更改参数，点击 Start 开始运算。



此处的 Source type – All Ports 代表所有激励源分别激励，Mode – All 为激励所有设置的模数（先前设置 1）。得到仿真结果如图：

（仅展示 E-field）



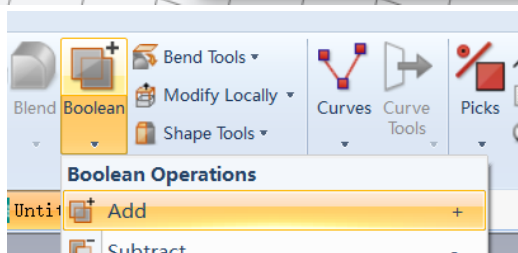
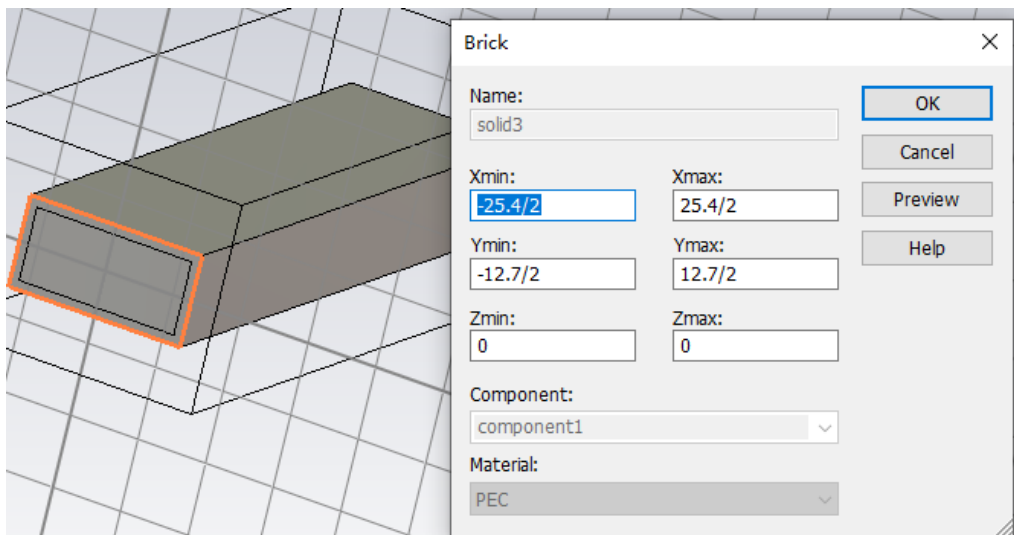
2. 了解并搭建同轴——矩形波导仿真环境

同轴线传播的是 TEM 模，TEM 模的截止频率为 0。但同轴线同时支持 TE 与 TM 的传播，通常都是高次的，为避免不同传播常数的传播模叠加，也同时为避免高阶模的传播，同轴电缆的尺寸设置了上限，频率也需要通过最低阶波导型模式的截止频率给出限制。

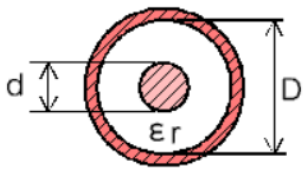
建模过程：

(2.a) 新建 project，并搭建矩形波导模型。

用 PEC 板封一侧口，然后用布尔相加操作 (Boolean -> Add) 合并。



(2.b) 得出同轴线尺寸，要求特征阻抗为 50Ω ， $D = 8\text{mm}$ ， $\epsilon_r = 1$ 。



er

1

d

3.4767856685459058

[mm]

D

8

[mm]

Analyze

>>> Zo

[ohm]

Zo

50

[ohm]

Input d >>> Synthesis D :

Synthesis(D)

Input D >>> Synthesis d :

Synthesis(d)

C

66.6672000112583

[pF/m]

L

166.66666663852112

[nH/m]

Vp

300000

[km/s]

td

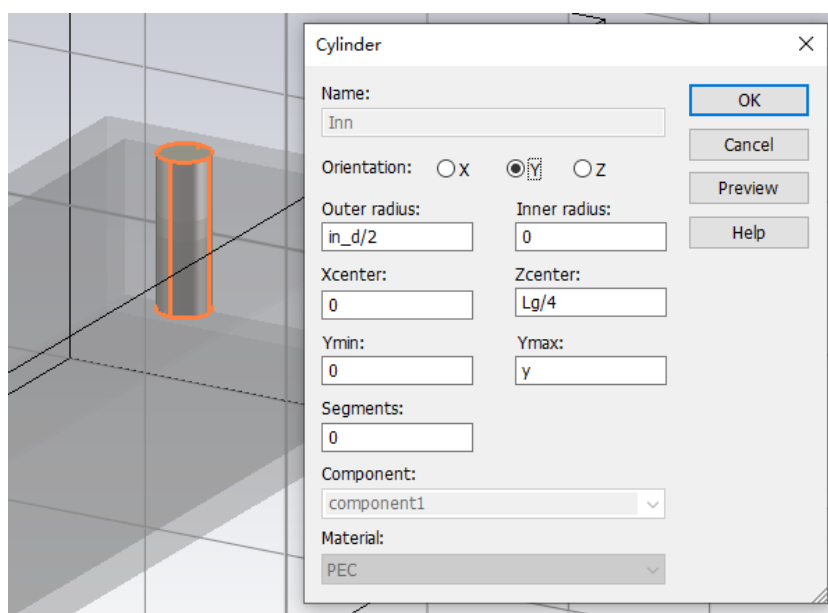
3.33

[ns/m]

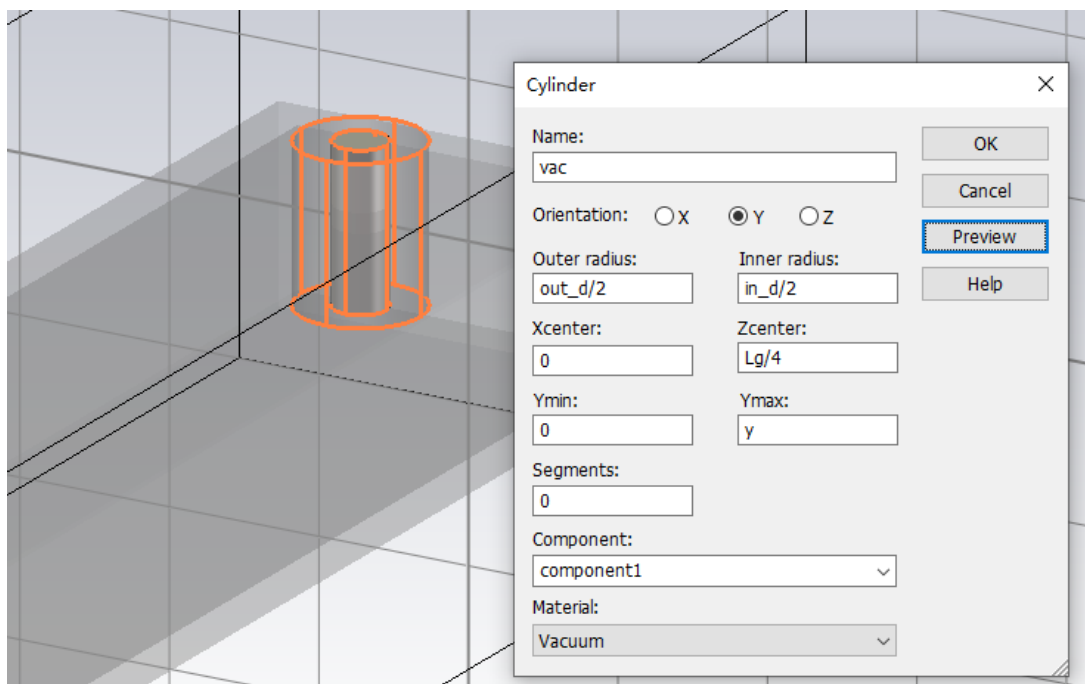
Parameter List	
Name	Expression
x	= 22.86
y	= 10.16
out_d	= 8
in_d	= 3.476

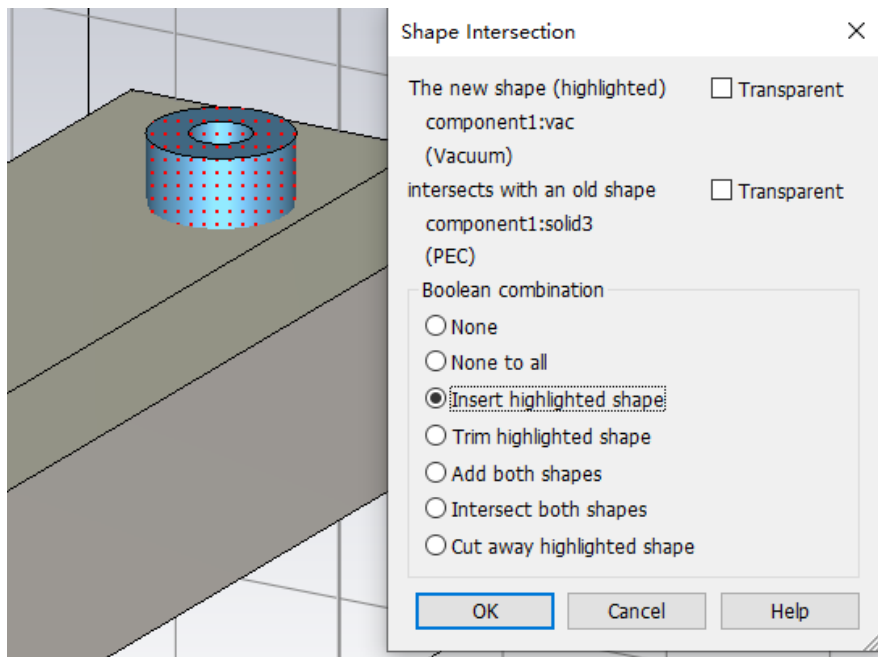
(2.c) 搭建同轴线模型

我们需要分三次来构建一个同轴线模型。首先绘制内部中心圆柱，其中 L_g 为导波波长，在后续实验要求中有提及，需要进行计算。故此处用参数代替。同轴线画在 x 方向中心， $z = \lambda_g/4$ 处，并嵌入波导中。

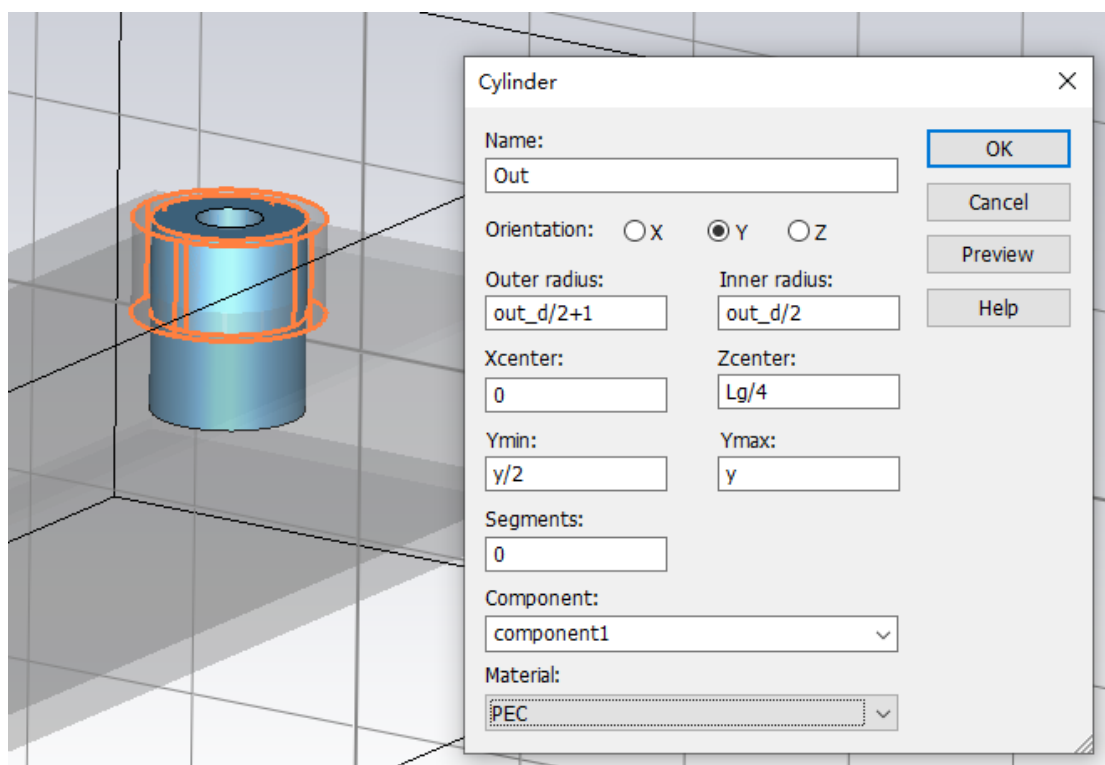


然后绘制中间真空层，在因结构重合弹出的菜单中选择 Insert Highlighted Space, 意为去除矩形波导材料/PEC 与真空层/Vacuum 重叠的部分。



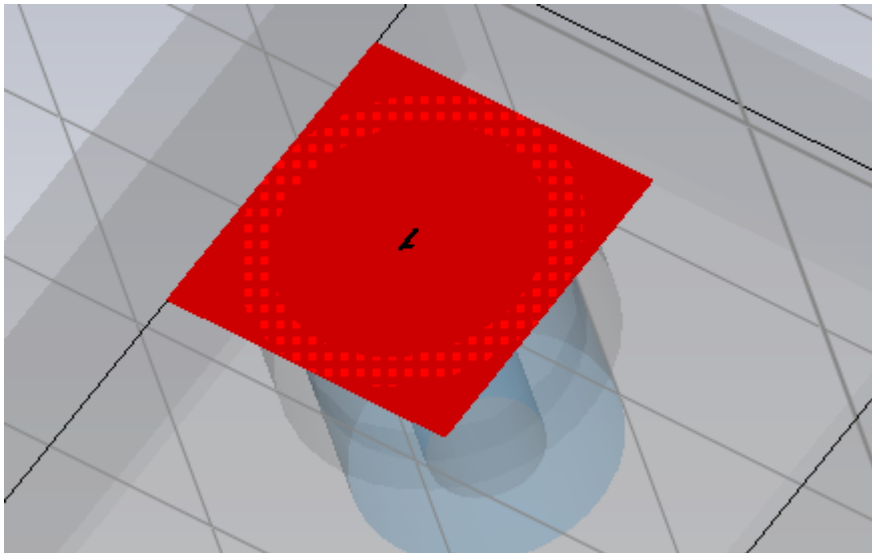
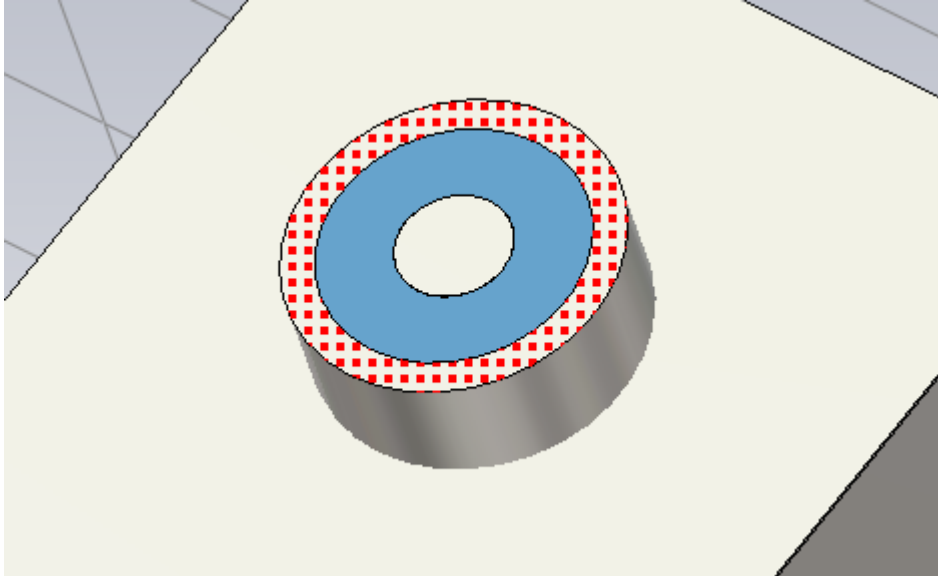


最后绘制外部圆环。



(2.d) 添加 Port 与 Field Monitor, 进行仿真

如图选择面, 添加 Waveguide Port, 并依照之前的例子添加 E&H field Monitor, 点击 Setup Solver 进行运算。



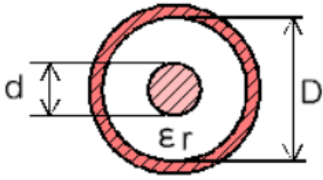
3. 同轴——矩形波导转换器再仿真

能将一种传输波形转换成另一种传输波形的元件，称为波形转换器。从上例可知我们搭建了同轴——矩形波导转换器，将同轴线的 TEM 波转换到了矩形波导的 TE10 模。他的模型为，让同轴线的外导体与矩形波导的宽壁连在一起，内导体的延伸部分插入波导中，形成一个小辐射天线，在波导中激励出 TE10 模。

接下来我们需要设计并搭建同轴线——矩形波导转换器，要求在波导中激励出 TE20 模。

(2.a) 新建或沿用先前的 project，搭建矩形波导模型。

同轴线尺寸如下，此处用较小尺寸。此处我们使用两根同轴线，加两个激励。



er

1

d

1

[mm]

D

2.300975890569014

[mm]

Analyze

>>> Zo

[ohm]

Zo

50

[ohm]

Input d >>> Synthesis D :

Synthesis(D)

Input D >>> Synthesis d :

Synthesis(d)

C

66.6672000112583

[pF/m]

L

166.66666663852112

[nH/m]

Vp

300000

[km/s]

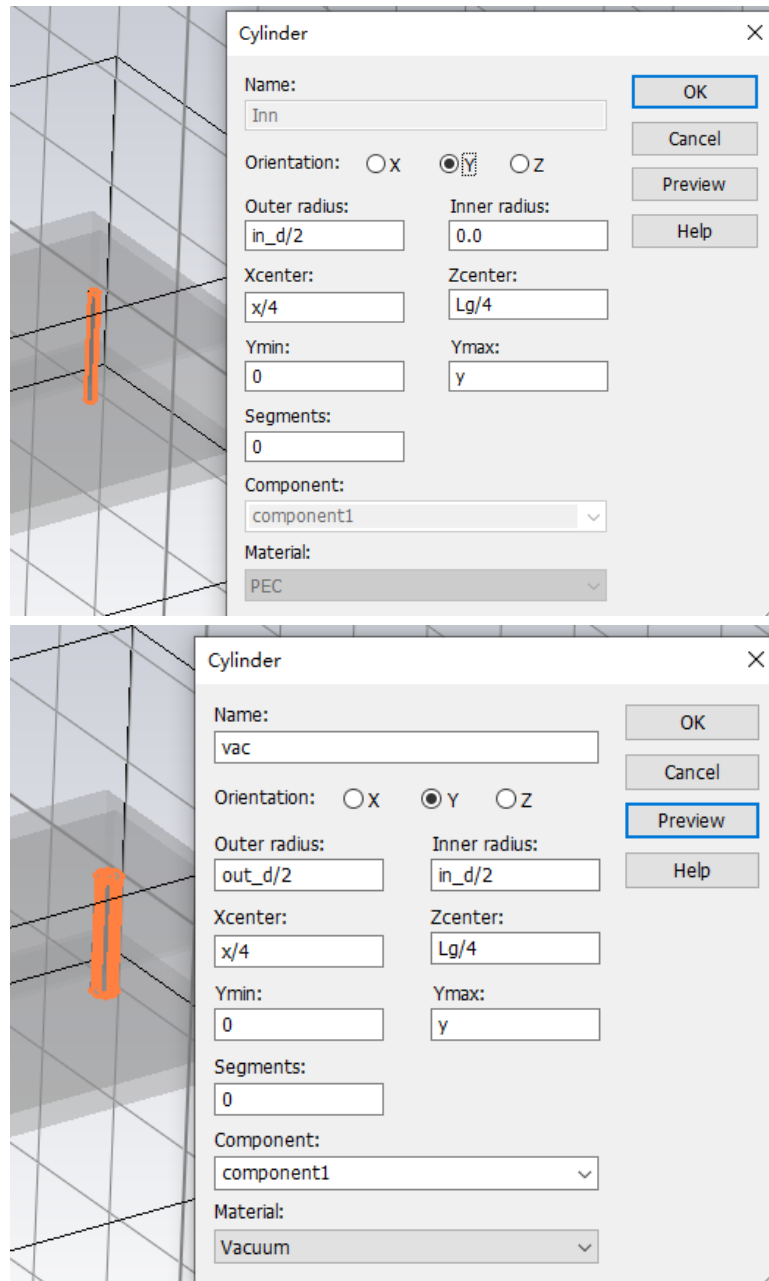
td

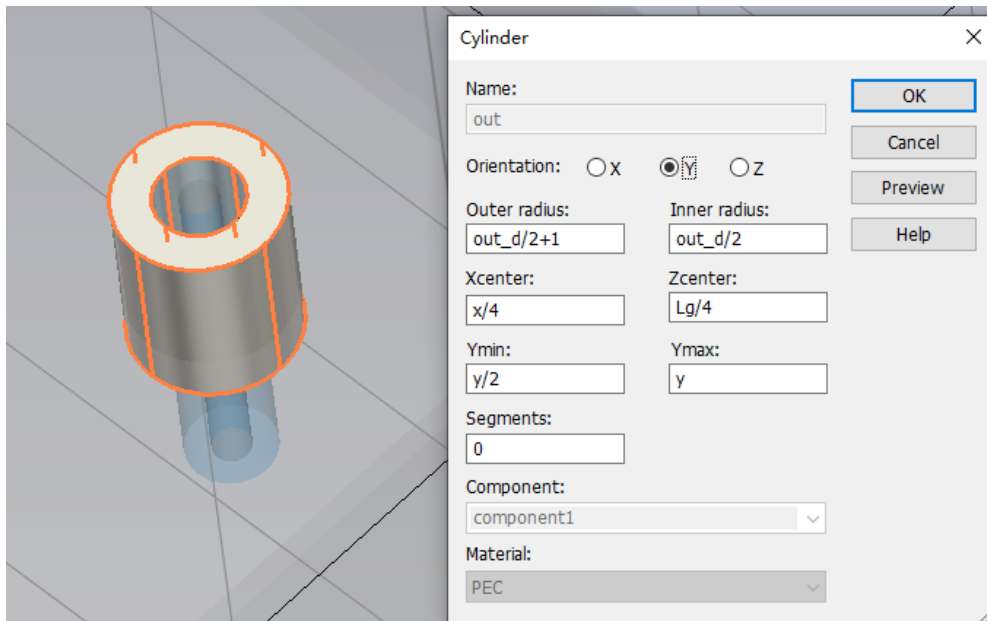
3.33

[ns/m]

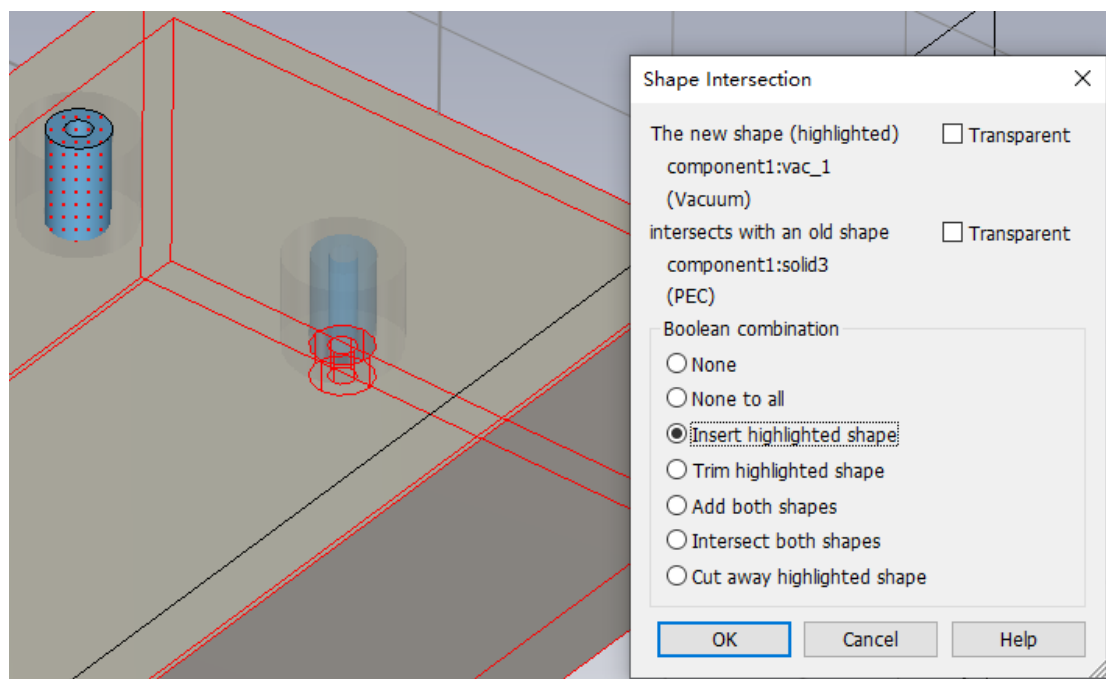
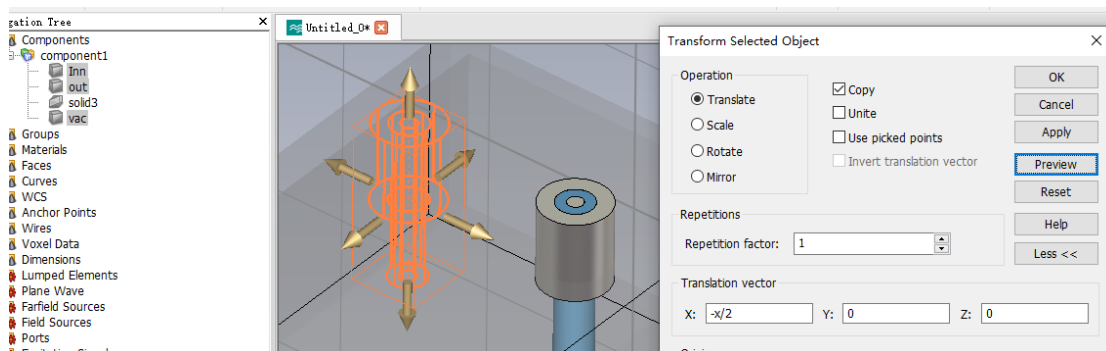
Name	Expression
x	= 22.86
y	= 10.16
out_d	= 2.3
in_d	= 1

参照上一例的方法画出一根同轴线，再用复制的方法画出另一根。注意此时同轴线的位置，应处在 x 轴四等分点上。注意此时激励的模式改变，故导波波长 λ_g 也改变。范例中尽管 Zcenter 仍输入 $L_g/4$ ，但 L_g 的数字已发生变化。

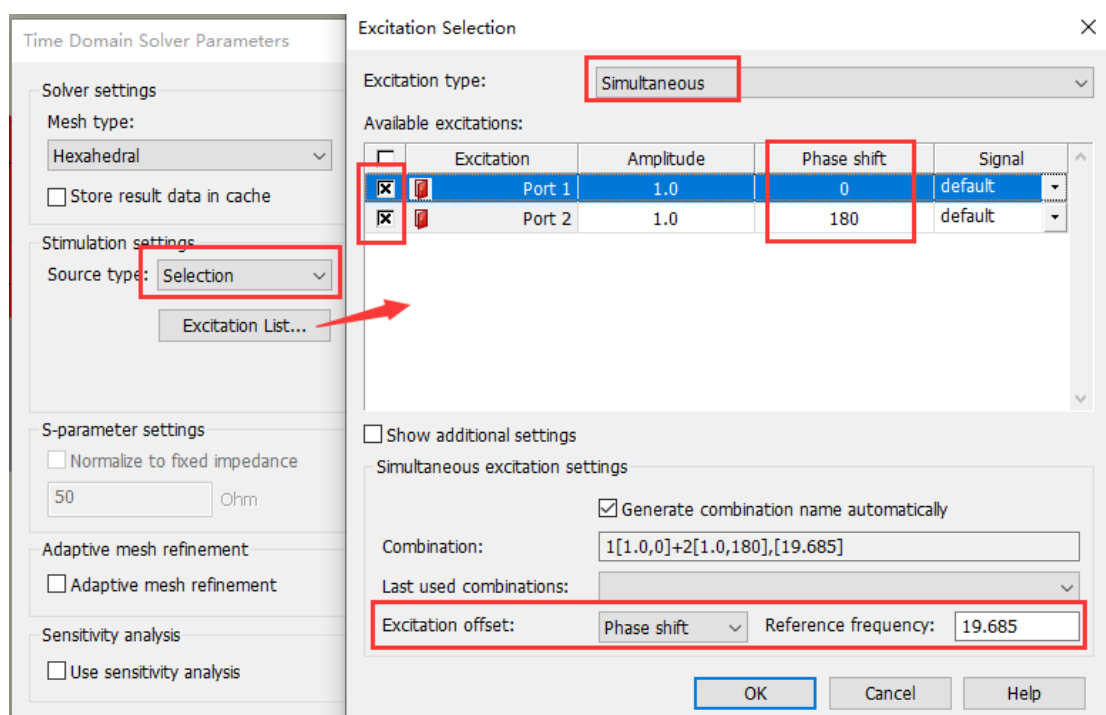
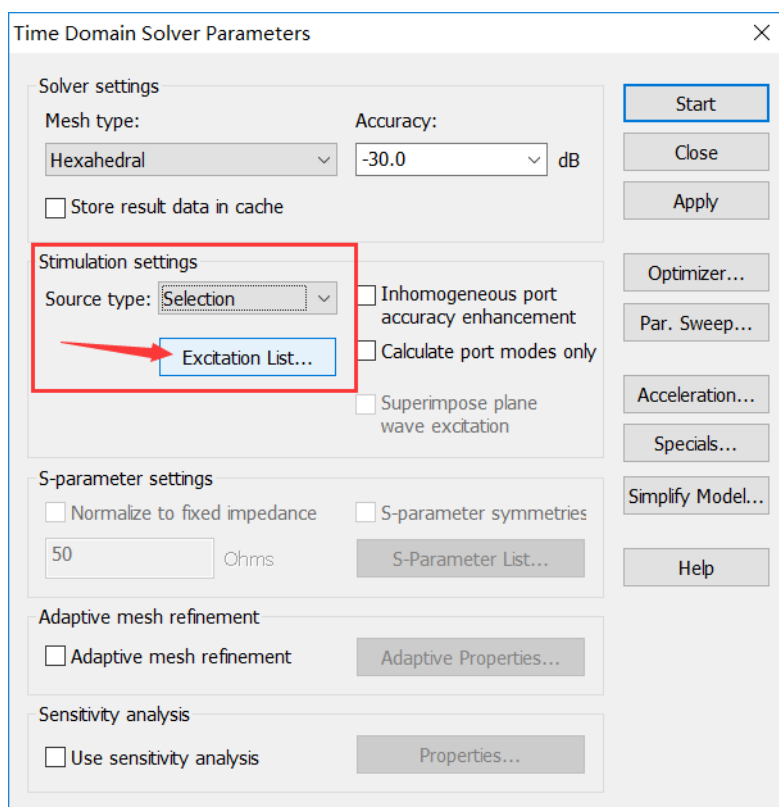




画完一根后，按住 Ctrl，同时选中同轴线的三个 Components，点击 Modeling 菜单下的 Transform，勾选 Copy，移动出另一根同轴线。在因结构重合弹出的菜单中选择 Insert Highlighted Space，意为去除矩形波导材料/PEC 与真空层/Vacuum 重叠的部分。



用与上例相同的方法在两根同轴线上添加激励，并将 number of modes 设置为 1。随后点击 Setup Solver，进行如下设置，再点击 Start 进行运算。



运算时间可能较长，需耐心等待。但如果时间过长，请及时检查操作是否有误。

三、实验要求

参照上述流程，完成以下题目。

1. 建立一个 WR90 型矩形波导模型，计算导波波长 λ_g 与 TE10 模的截止频率 f_c ，仿真观察两种频率 $1.5*f_c$ 、 $2.5*f_c$ 下的图案。波导 z 方向长度设置为 $1.5*f_c$ 频率下的 2 倍导波波长 $2*\lambda_g$ （在之后的仿真中无需改变）。在波导两端放置激励源，添加 Field Monitors，展示电场与磁场在 xOy 、 xOz 、 yOz 横截面上的图案。
2. 使用第一题的矩形波导模型，要求在波导模型中填充相对介电常数为 4 ($\epsilon_r=4$) 的无损材料，计算 TE10 模的截止频率 f_c ，在 $1.5*f_c$ 频率下进行模拟。展示电场与磁场在 xOy 、 xOz 、 yOz 横截面上的图案。
3. 使用第一题的矩形波导模型，要求计算 TE20 模的截止频率 f_c ，在 $1.5*f_c$ 频率下进行模拟。展示电场与磁场在 xOy 、 xOz 、 yOz 横截面上的图案。
4. 建立同轴线馈电的矩形波导模型，使用第一题的矩形波导模型与截止频率 f_c ，封掉 $z=0$ 的波导口，添加特征阻抗为 $Z_0=50\ \Omega$ ， $D=8\text{ mm}$ 的同轴线馈电，同轴线在 y 方向上嵌入波导尺寸的一半， x 方向位于波导中心， z 方向位于 $z=\lambda_g/4$ ，尝试解释为何要如此设置同轴线位置。展示 $z=3/8*\lambda_g$ ， $1/2*\lambda_g$ ， λ_g ， $2*\lambda_g$ 平面，与 xOz 横截面上的电场图案，尝试分析并解释。
5. 建立同轴线馈电的矩形波导模型，使用第一题的矩形波导模型，封掉 $z=0$ 的波导口，添加特征阻抗为 $Z_0=50\ \Omega$ ， $d=1\text{ mm}$ 的同轴线馈电，要求使矩形波导中生成 TE20 模。同轴线在 y 方向上嵌入波导尺寸的一半， x 方向位于波导中心， z 方向位于 $z=\lambda_g/4$ 。展示电场在 xOz 横截面与波导口上的图案，尝试分析并解释。

所有计算需给出计算过程。