

浙江大学实验报告

专业：信息工程
姓名：卢嘉良
学号：3230104505
日期：2025 年 4 月 13 日
地点：仿真实验

课程名称：电磁场与电磁波实验 指导老师：王子立 仿真工具：CST
研究内容：矩形波导馈电角锥喇叭天线 CST 仿真 实验序号：Lab1 实验组号：独立实验

一、实验内容

本实验基于 CST 软件对矩形波导馈电角锥喇叭天线进行建模仿真，并对结果进行分析。仿真建模时采用的喇叭天线参数如下：

D_H/mm	D_E/mm	L/mm	a/mm	b/mm	λ/mm	t/mm
80	38	80	22.86	10.16	29.1	1

二、实验步骤

1. 天线建模

点击界面中的 Modeling->Shape->Brick 创建立方体；参数设置与建模结果如图 1 所示：

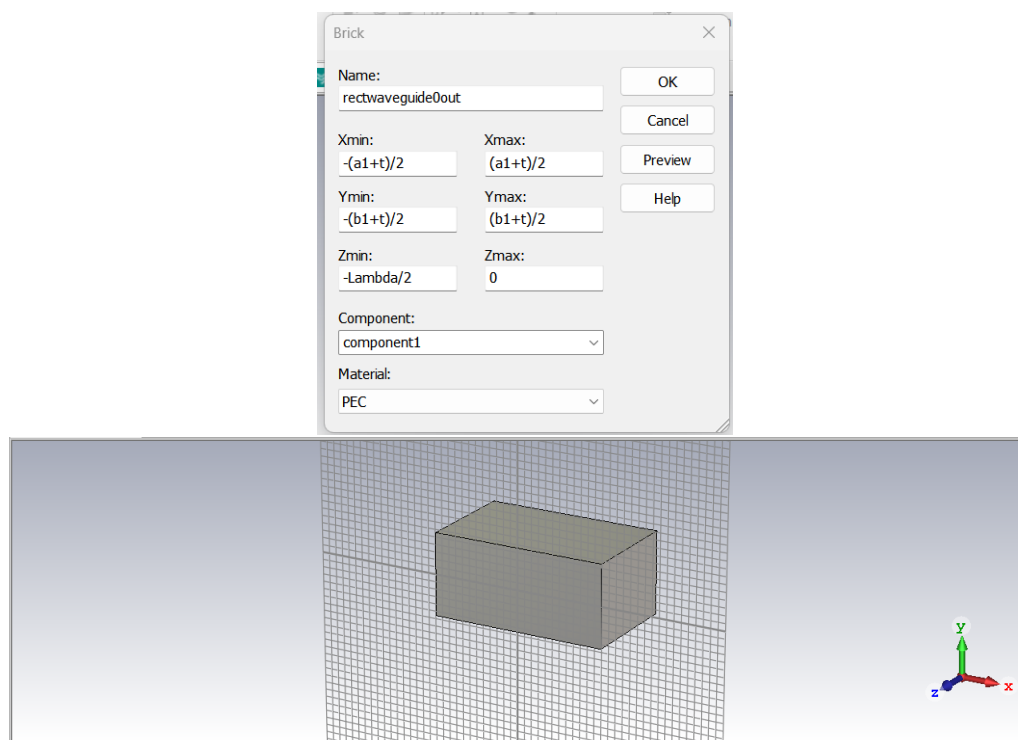


图 1: 创建立方体示意与参数设置

接着依次点击界面中的 Modeling->Curves->Rectangle 创建矩形；接着使用 Cover Curve 选中矩形填充成金属面，该面将作为喇叭口径面。具体效果如图 2 所示

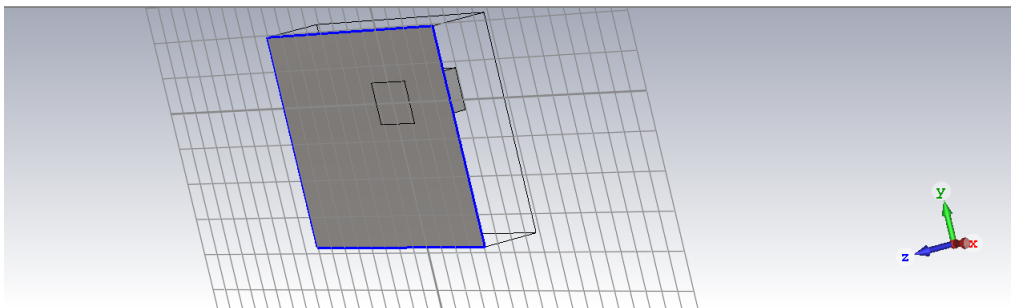


图 2: 创建立方体示意与参数设置

为了将得到的喇叭天线口径面向前平移，在 components 中选择 face(口径面名)，点击 Modeling -> Transform -> Translate，设置移动矢量为 z 方向，长度为 L=80mm；随后创建喇叭侧壁：点击 Modeling -> Picks -> Pick Face，分别选中波导和口径面，点击 Modeling -> Loft，选择材料为 PEC，可得建模完毕的的天线模型如图 3 所示：

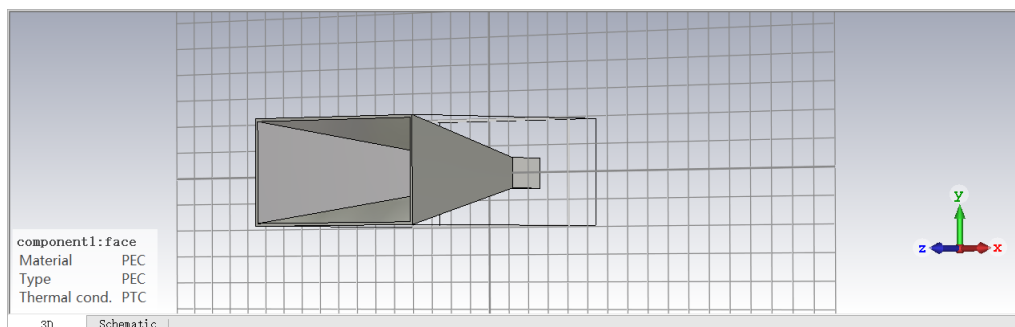


图 3: 建模完成后的天线外观

2. 仿真设置

点击 Simulation->Frequency 设置仿真的频率范围为 8.2GHz-12.4GHz，如图 4 所示；

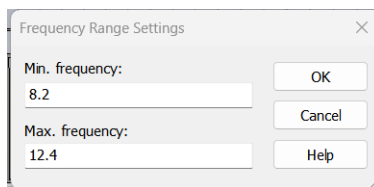


图 4: 设置仿真的频率范围

点击 Simulation->Background 设置 Material Type 为 Normal，如图 5 所示；

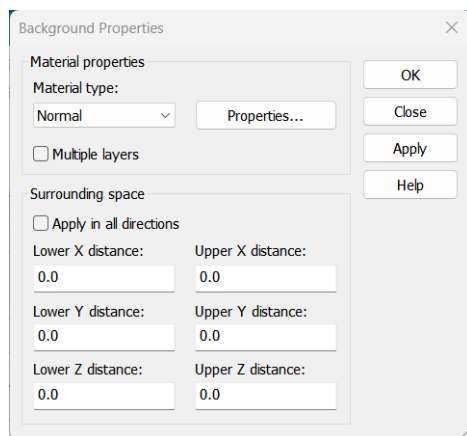


图 5: 设置仿真背景参数

点击 Simulation->Boundaries 设置坐标轴参数为 open (add space), 如图 6 所示.

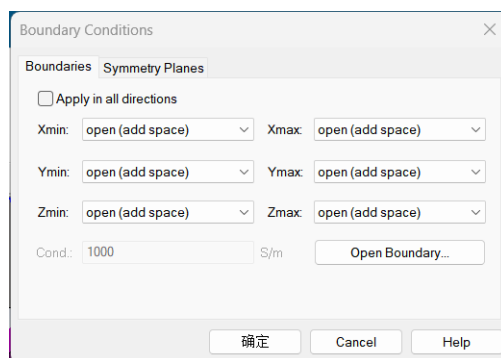


图 6: 设置仿真边界参数

选取波导口面 (后面), 点击 Simulation -> Waveguide Port, 设置波导端口, 将其中的模式吸收数定为 5, 如图 7 所示;

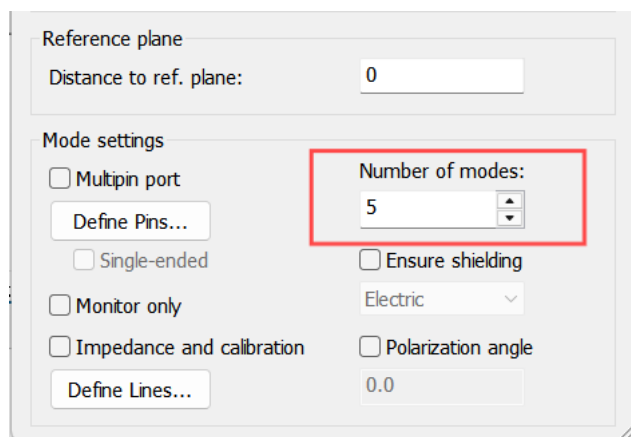


图 7: 配置端口

点击 Simulation -> Field Monitor，设置 Type 为 Farfield/RCS，如图 8 所示：

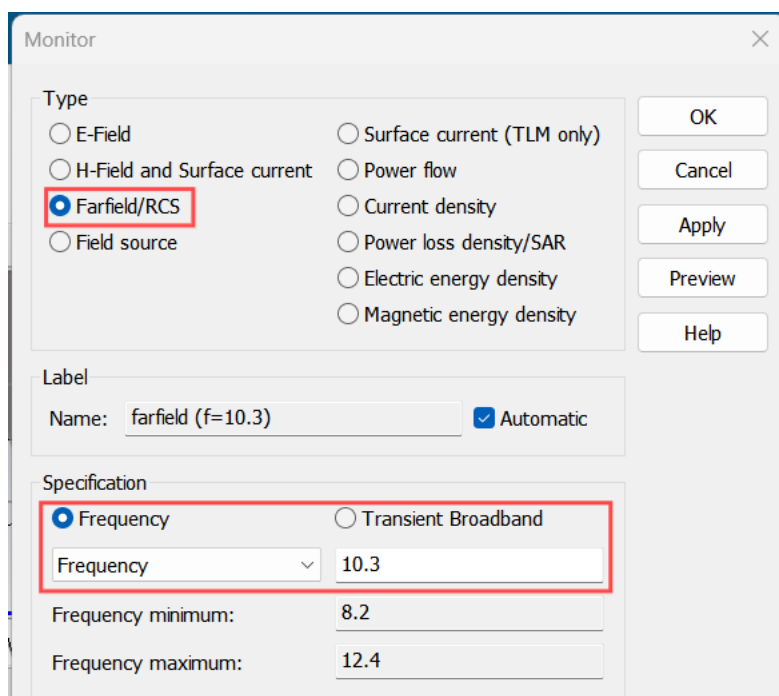


图 8: 配置端口

3. 仿真步骤

点击 Simulation -> Setup Solver，选择 Source type 为 All Ports，Mode 为 All，勾选 Calculate modes only，从而只计算端口模式而不执行整个时域仿真，预先了解模式分布，参数设置如图 9 所示：

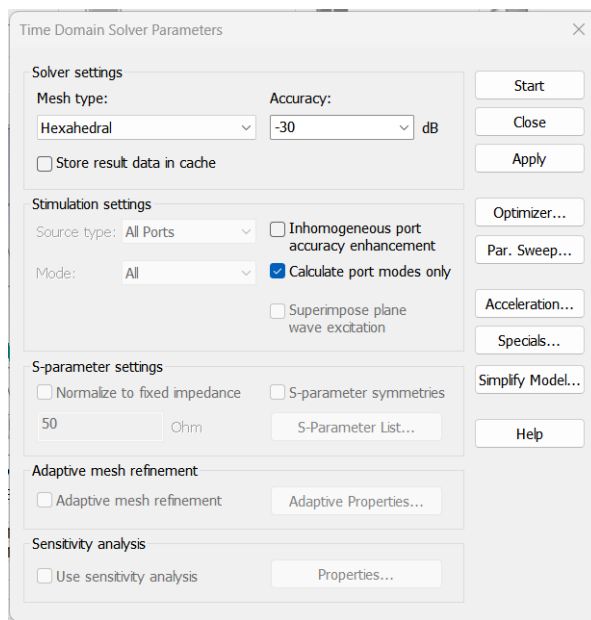


图 9: 模式分析设置

仿真结束后点击 Logfile，得到仿真结果如下：

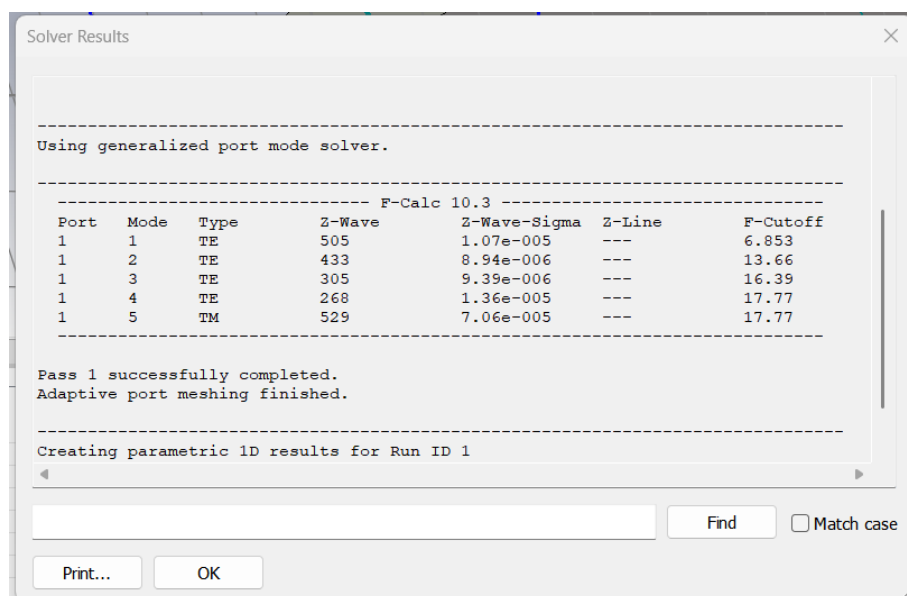


图 10: 模式分析设置

由于仿真时的最高频率为 12.4GHz，由模式仿真结果可知，只有 Mode 1 可以满足。因此，在这种结构的喇叭天线中只传输有 1 种模式的波，仿真时 Mode 设为 1 即可，即参数设置图 11 所示：

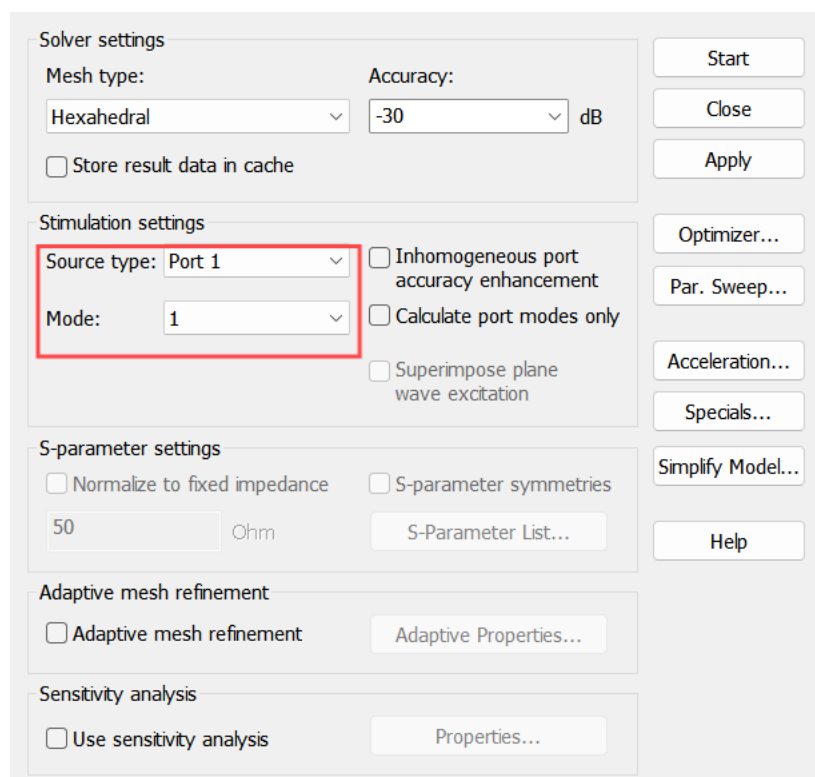


图 11: 模式分析设置

三、实验结果与分析

1. 喇叭天线的 S_{11} 曲线与驻波比曲线

仿真结束后，点击左侧 Navigation Tree -> 1D Results -> S-Parameters -> S_{11} ，可以得到喇叭天线的 S_{11} 曲线如图 12 所示，VSWR 曲线如图 13 所示；

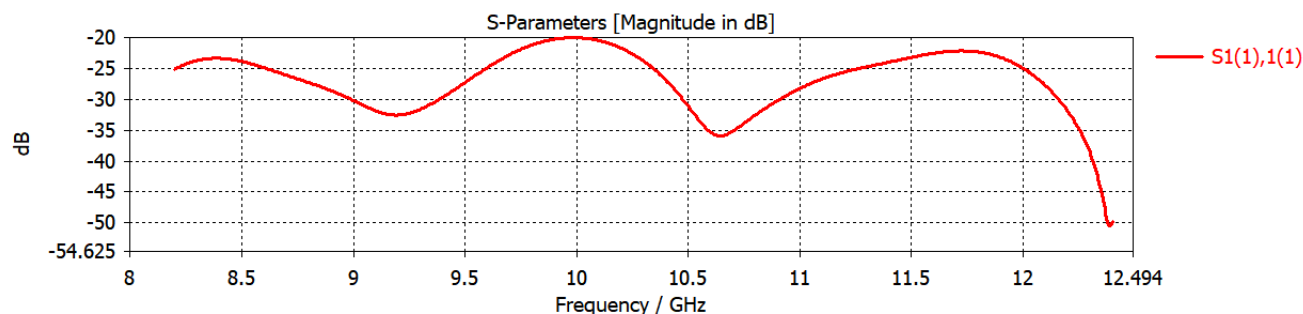


图 12: 喇叭天线 S_{11} 曲线图

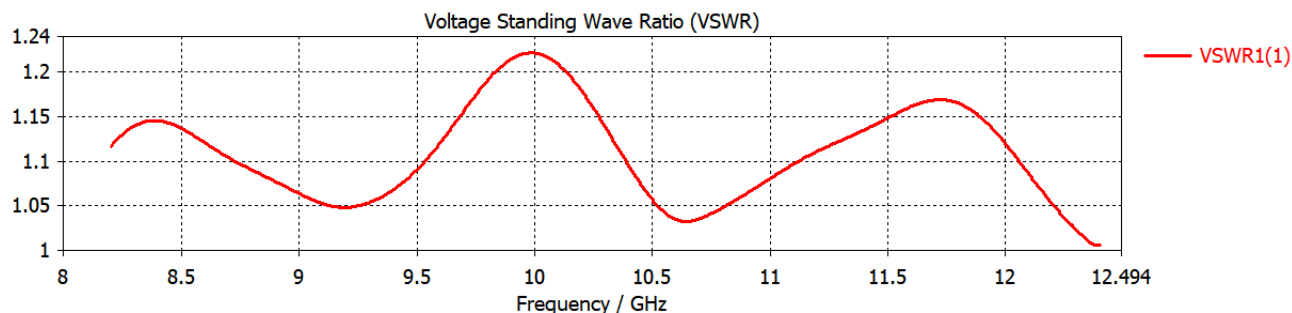


图 13: 喇叭天线 VSWR 曲线图

图 12, 13 表明，天线在工作频段内的反射系数均在 -20dB 以下，驻波比都处于 $1 \sim 1.24$ 之间，能够将大部分能量辐射出去，有优良的辐射特性。当天线工作在 8.4GHz 、 9.9GHz 以及 11.7GHz 左右时，反射较小，天线的性能较好；当工作频率为 9.2GHz 、 10.6GHz 左右时，天线的反射较大。因此，对于此尺寸参数的喇叭天线，应尽量使其工作在 8.4GHz 、 9.9GHz 以及 11.7GHz 左右，以获得更高的效益。

2. 方向图和增益图

极坐标形式与 3D 图形式的方向图如图 14, 15 所示。在 Properties 中设置绘图模式为 Gain，可得到增益的 3D 图和极坐标表示如图 16, 17 所示。上述 4 图中的数据可以得出，该矩形波导馈电角锥喇叭天线的主瓣方向为 $\varphi = 0^\circ, \theta = 0^\circ$ ，主瓣宽度（3dB 波束宽度）为 37.3° ，主瓣的最大增益 $G_0 = 15\text{dB}$ 。此外，3D 方向图中也表明该喇叭天线在 H 面 ($x-z$ 平面) 的方向性优于 E 面 ($y-z$ 平面)。

天线理论表明下述等式成立：

$$\begin{cases} R_1 = \frac{LD_H}{D_H - a} = \frac{80 \times 80}{80 - 22.86} = 112.01\text{mm} \\ R_2 = \frac{LD_E}{D_E - b} = \frac{80 \times 38}{38 - 10.16} = 109.20\text{mm} \end{cases}$$

$$\begin{cases} L_H = \sqrt{R_1^2 + \frac{D_H^2}{4}} = 118.93\text{mm} \\ L_E = \sqrt{R_2^2 + \frac{D_E^2}{4}} = 110.84\text{mm} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha = \frac{D_H^2}{\lambda L_H} = 1.8492 \\ \beta = \frac{D_E^2}{\lambda L_E} = 0.4477 \end{cases}$$

查表可得， $\Delta G_H = 0.3897$, $\Delta G_E = 0.04885$, 则天线理论增益和相对误差计算如下：

$$G = 10.8 + 10 \lg \left(\frac{D_H D_E}{\lambda^2} \right) - \Delta G_H - \Delta G_E = 15.9123\text{dB} = \frac{G - G_0}{G_0} = 6.08\%$$

可以认为仿真结果和理论值较为接近。

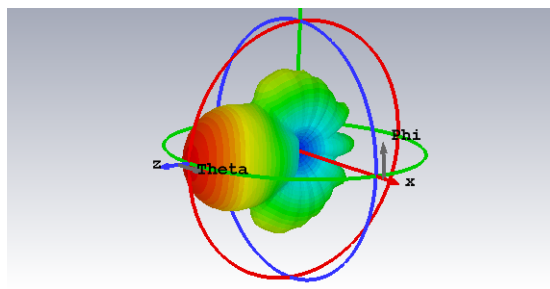
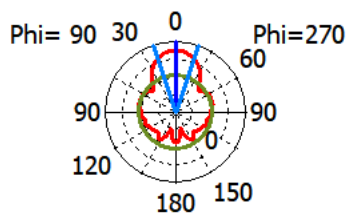


图 14: 喇叭天线方向图 (3D)

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

— farfield (f=10.3) [1(1)]

Frequency = 10.3 GHz

Main lobe magnitude = 15.1 dBi

Main lobe direction = 0.0 deg.

Angular width (3 dB) = 37.3 deg.

Side lobe level = -13.7 dB

图 15: 喇叭天线方向图 (极坐标)

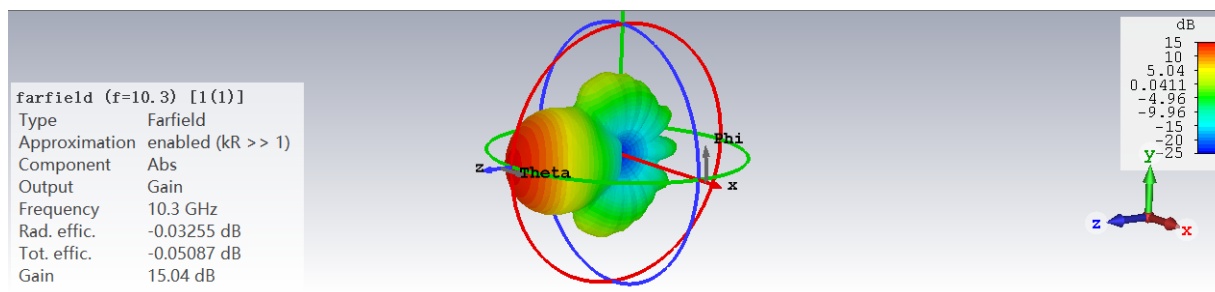


图 16: 喇叭天线增益图 (3D)

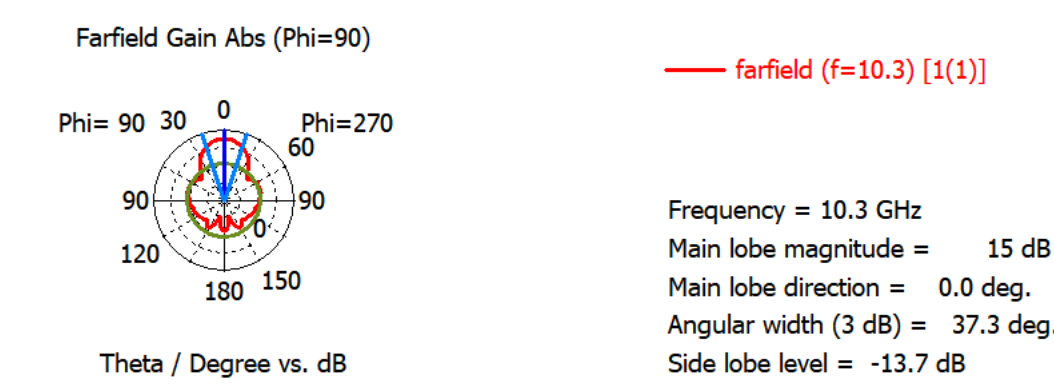


图 17: 喇叭天线增益图 (极坐标)

3. 喇叭天线和波导口的电场情形

点击 Navigation Tree -> 2D/3D Results -> Port Modes -> Port1 -> e1, 可以得到波导口的电场情况如图 18 所示:

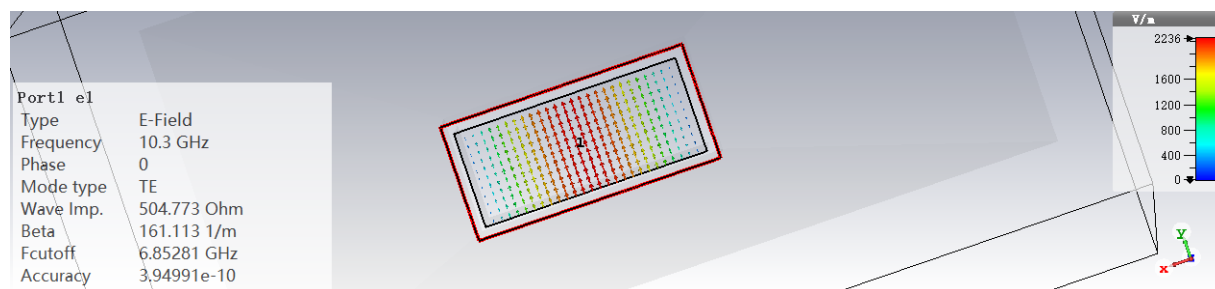


图 18: 波导口的电场分布情况

在 Simulation 窗口中设置场监视器 E-Field, 重新仿真, 选择 2D/3D Results -> E-Field -> e-field -> Abs, 可得喇叭天线表面电流如图 19 所示, 内部电场分布如图 20 所示;

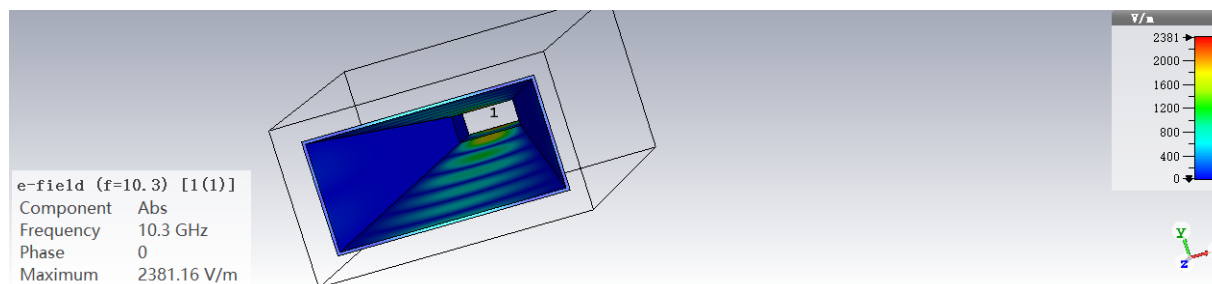


图 19: 喇叭天线表面电流分布情形

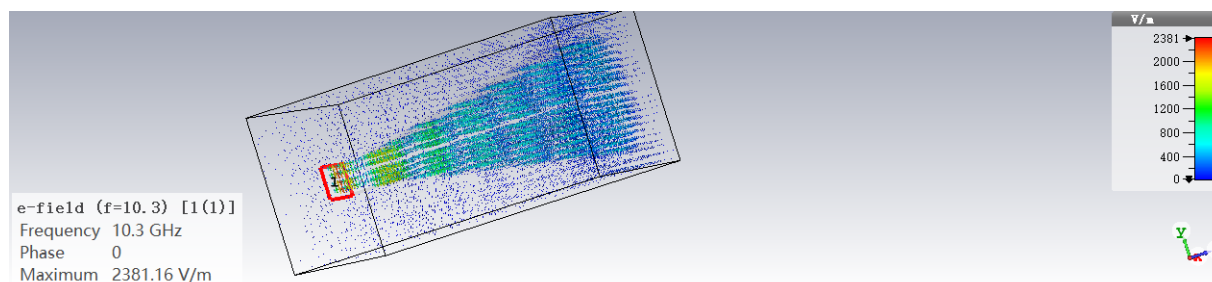


图 20: 喇叭天线内部电场分布情形

图 18 表明，靠近波导口矩形两侧边处的场强较小，而矩形中心处的场强较大，场强由两侧向中心递增，其最大值为 2236V/m。对喇叭天线而言，电场沿天线平面平行分布。其两侧内壁上的电场很小，而波导两侧壁的电场最小；上下内壁的电场由后向前“指数”（三角波形外包络）递减（波纹状图形），最大处为接近波导口平面处，最大值为 2381V/m；天线外壁处，电场场强均不超过 400V/m。

四、 实验的收获与体会

本次实验的原理部分较为困难，实验内容也全部还没有进行学习，但是仿真操作的步骤十分详细，因此完成的还是较为顺利，但还是无法根据实验原理判断得到的结果是否合情合理，操作过程中是否出现了明显的错误。但总而言之，本次实验还是帮助我大致了解了 CST 在天线仿真中强大的功能，熟悉了其基本的功能模块。

五、 实验的建议与意见

建议可以将学习过的内容安排进实验当中，未学习过的内容可以进行调整拆分到别的实验模块当中，即将传输线部分都提到学期中完成，天线相关部分都移至期末完成相关内容学习后的部分来实践。