

浙江大学



实验名称：	偶极子天线阵列仿真
姓 名：	卢泽熙
学 院：	信息与工程学院
专 业：	信息工程
学 号：	320102478
指导教师：	王浩刚

2024 年 10 月 17 日

1 阵列天线原理

天线的单个辐射单元具有有限的方向性。为了适应多种应用场合，可以将工作在同一频率的两个或多个天线按照特定的馈电方式和空间排列构成天线阵列，称为天线阵。天线阵的每个天线单元称为阵元。天线阵的工作原理可以看作是多个电磁波的叠加。当多个电磁波传播到同一区域时，根据叠加原理，电磁场的矢量将发生叠加。

叠加的结果不仅与各电磁波的振幅有关，还与它们之间的相位差相关。电磁波的相位由三部分组成：时间相位、空间相位和初相位。当发射天线和工作频率确定后，初相位就固定了；在多个电磁波相遇的时，时间相位也是确定的。唯一可变化的是空间相位，这是由于天线阵中各个阵元位置不同，电磁波传播到同一接收区域的空间路径不同，从而导致空间相位的差异。

不同阵元发射的电磁波在接收区域产生的空间相位差异，会在某些区域产生同相位叠加（增强总场强）或反相位叠加（削弱总场强）。如果这些增强和削弱的区域在空间中保持相对固定，那么天线阵就改变了单个天线的辐射场分布。这就是天线阵通过调整辐射场的大小和方向来改变方向性的原理。

2 天线阵参数计算

1. The range of d for no grating lobes:

由题意，当 $\theta_0 = 60^\circ$ 时，阵列因子取得最大值，故：

$$\psi_0 = kd \cos \theta_0 + \beta = \frac{2\pi}{\lambda} d \cos 60^\circ + \beta = 0$$

可解得： $\beta = -\frac{\pi}{\lambda} d$

为避免栅瓣，须有： $-2\pi < \psi < 2\pi$ ，代入 β 可得

$$d \leq \frac{2}{3} \lambda$$

2. The excitation of the elements (amplitude and phase):

由题意，天线阵为均匀线性阵，故其激励幅度为 I ，相位差为 $\beta = -\frac{\pi}{\lambda} d$

故天线阵的单元激励为：

$$I_m = I e^{jm\beta} = I e^{-jm\frac{\pi}{2}}$$

3. The number of array elements:

由题意，天线阵的半波带宽为 13° ，则：

$$\theta_h = \cos^{-1}(\cos \theta_0 - 0.443 \frac{\lambda}{L+d}) - \cos^{-1}(\cos \theta_0 + 0.443 \frac{\lambda}{L+d}) = 13^\circ$$

可解得：

$$L + d = 5\lambda$$

令 $d = \lambda/2$, 则

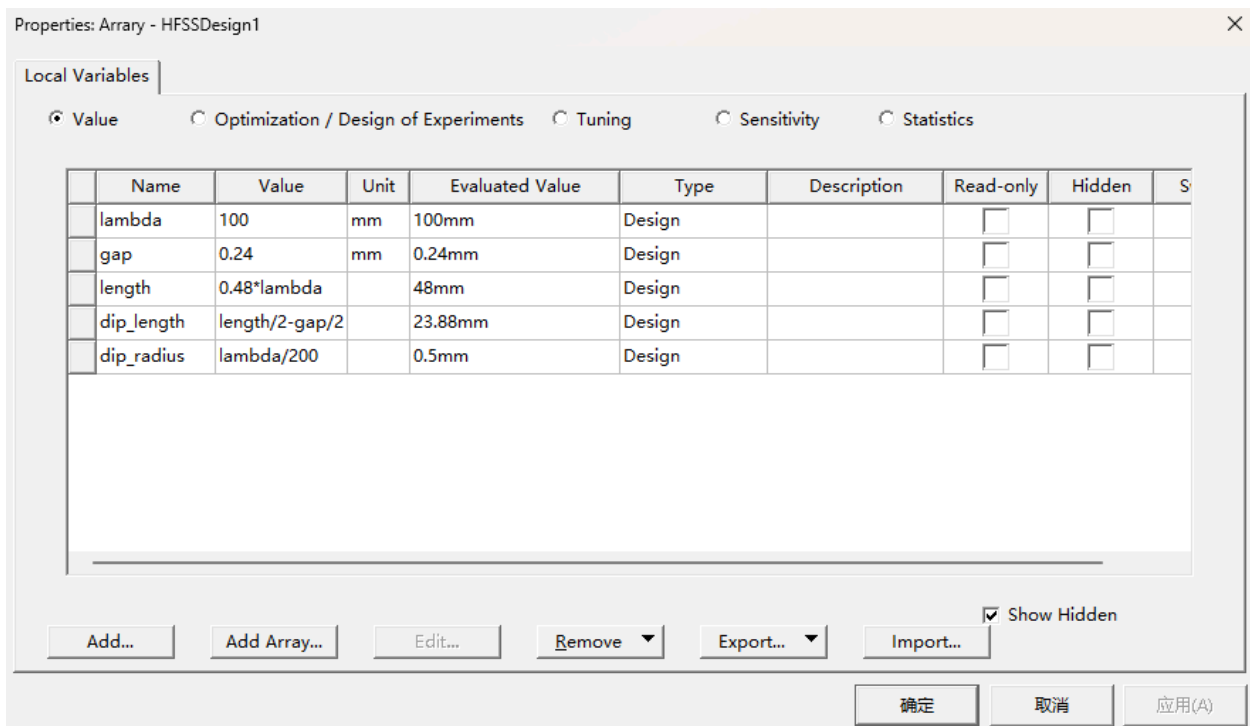
$$N = \frac{L + d}{d} = \frac{5\lambda}{\lambda/2} = 10$$

故阵列单元个数为10个。

3 仿真流程

3.1 基本参数设置

根据实验要求，天线阵列的基本参数设置如下：

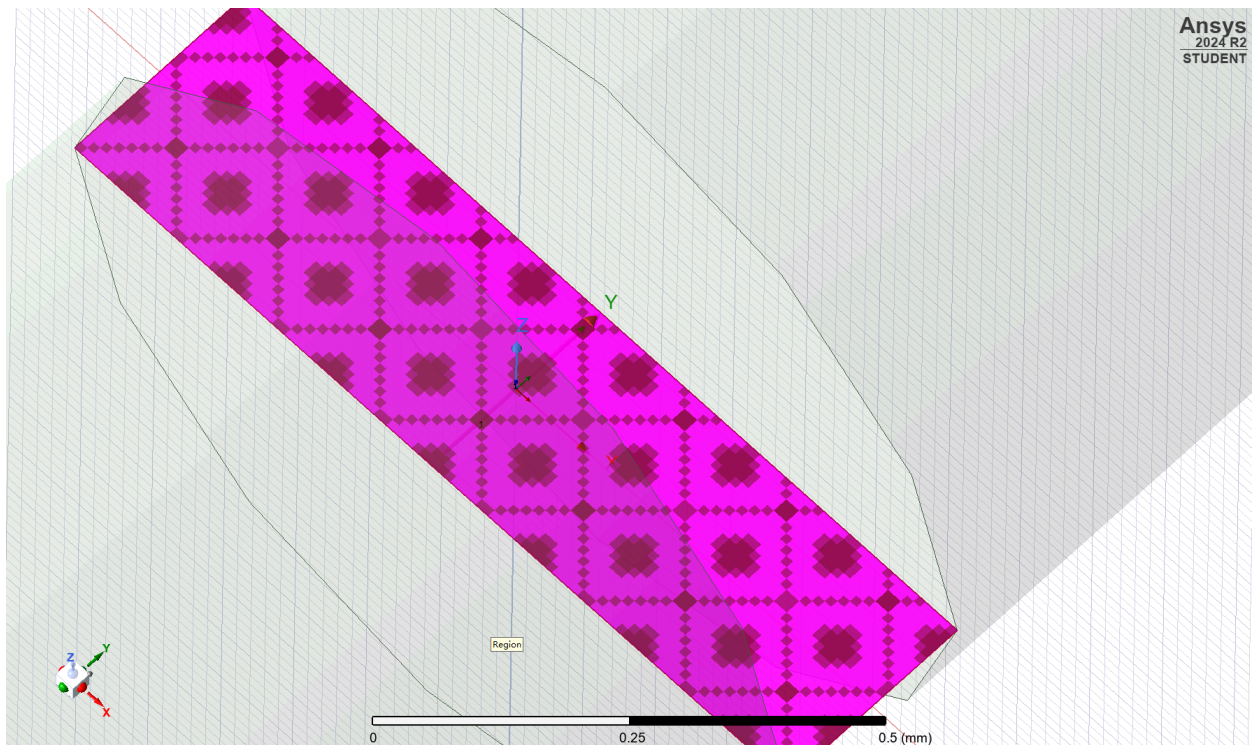


3.2 偶极子天线建模

1. 将工作平面设置在 XZ 平面，并沿 Y 轴绘制圆柱 **Dipole**，中心点设置在 $(0, \text{gap}/2, 0)$ 处，半径和高度分别设置为 dip-radius 和 dip-length；
2. 选中创建的圆柱体模型 Dipole，然后从主菜单栏中选择 **Edit—Duplicate—Around Axis**，执行沿 x 旋转 180° 的复制，得到单个偶极子天线。

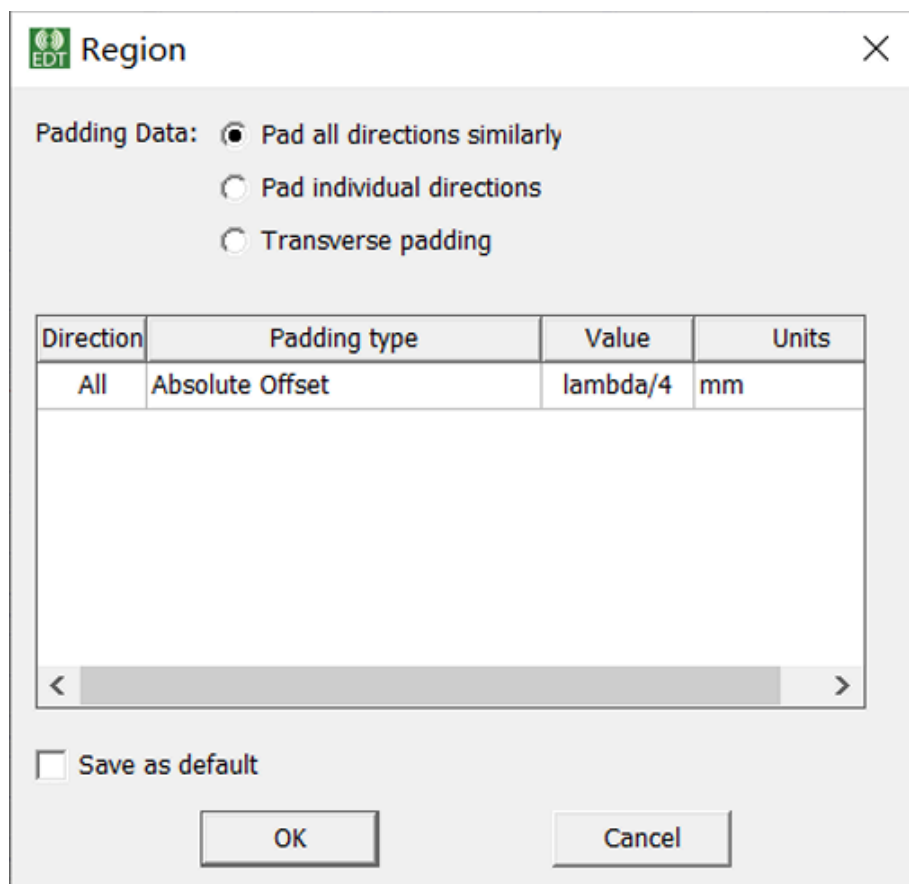
3.3 端口激励设置

将工作平面更改为 XY 平面，绘制一个矩形，并设置其中心点在原点，长宽分别为 dip-radius 和 gap，并将其设置为 lumped port，设置下图所示的激励积分路径：



3.4 辐射边界设置

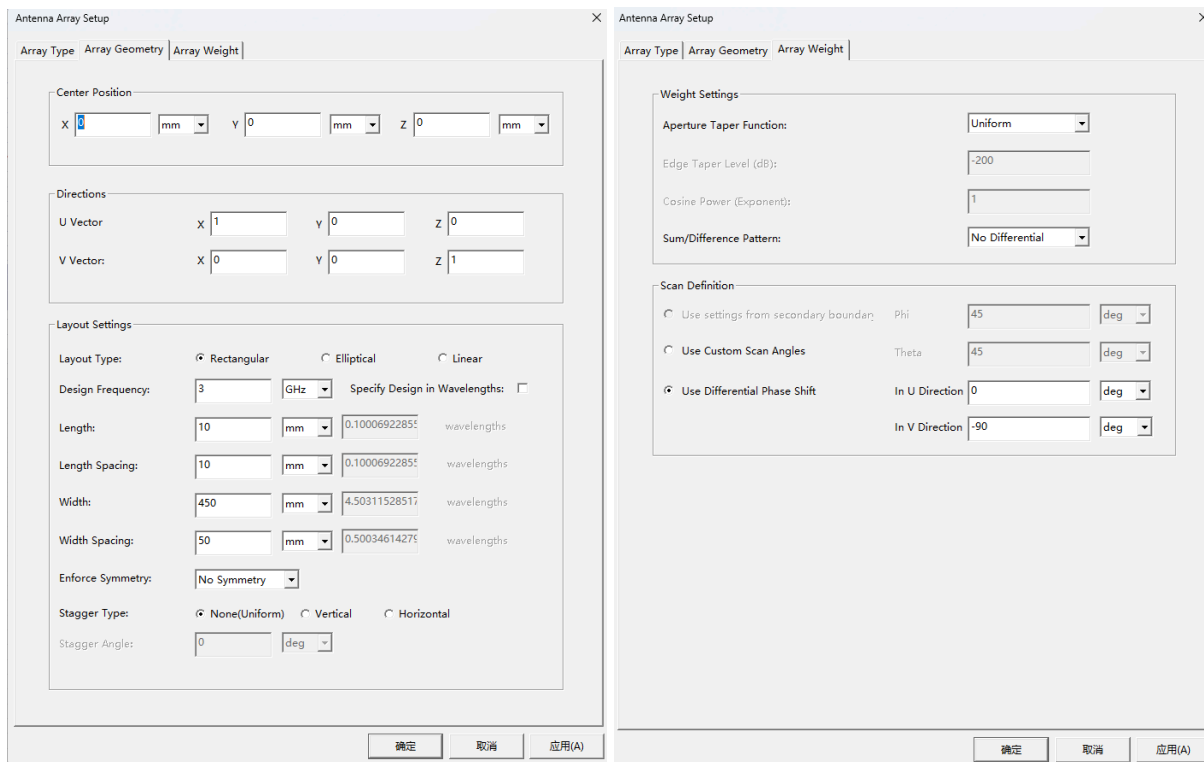
在菜单栏中选择 Create Region，并在弹出的窗口中将 Padding Type 改为 **Absolute Offset**，Value 改为 **lambda/4**，如下图所示：



设置边界模式为 **Radiation**，最终得到单个偶极子天线的辐射边界。

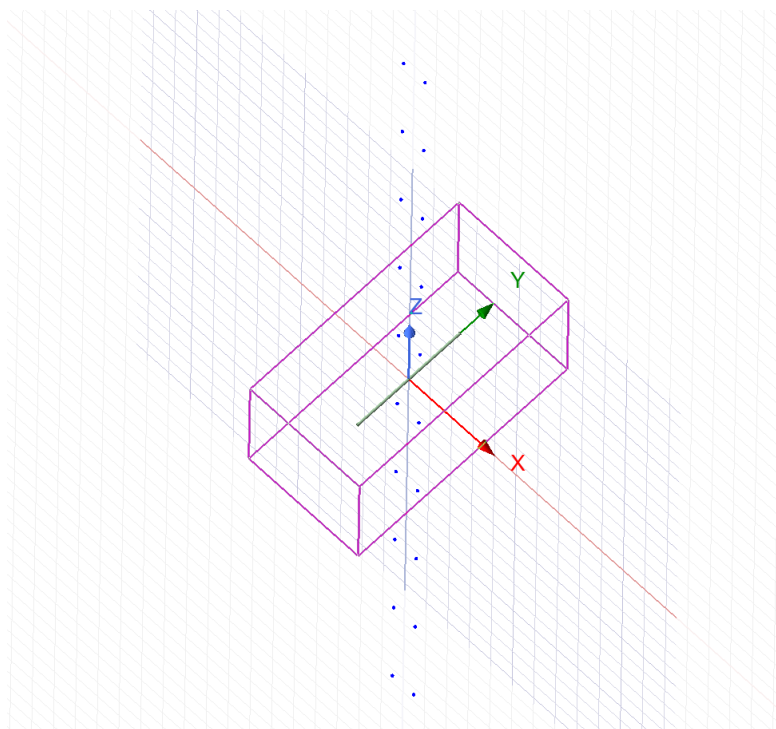
3.5 天线阵列设置

在工程树的 Radiation 处选择 **Antenna Array Setup**，并设置其沿 z 轴拓展，拓展个数为 10 个，即间隔为 0.5 个 λ ，具体设置如下图所示：



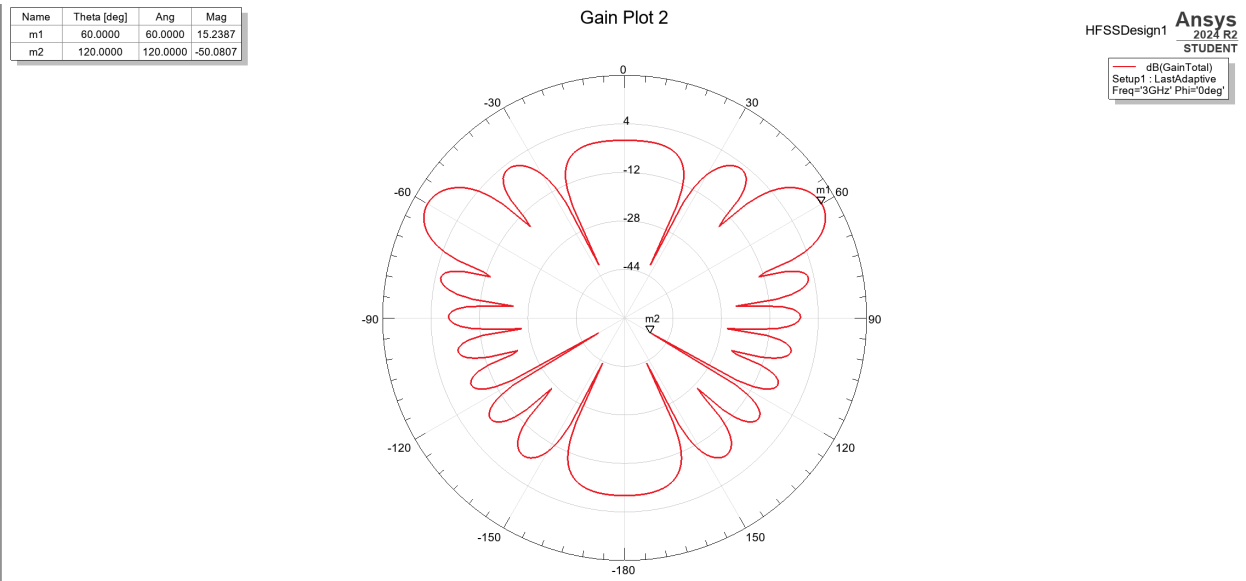
3.6 仿真设置

在工程树下的 Analyze 中添加仿真设置，设置仿真频率为 $3GHz$ ，并线性扫描 2.5 到 $3.5GHz$ 范围内的 1000 个点。至此，模型建立完毕，如下所示：

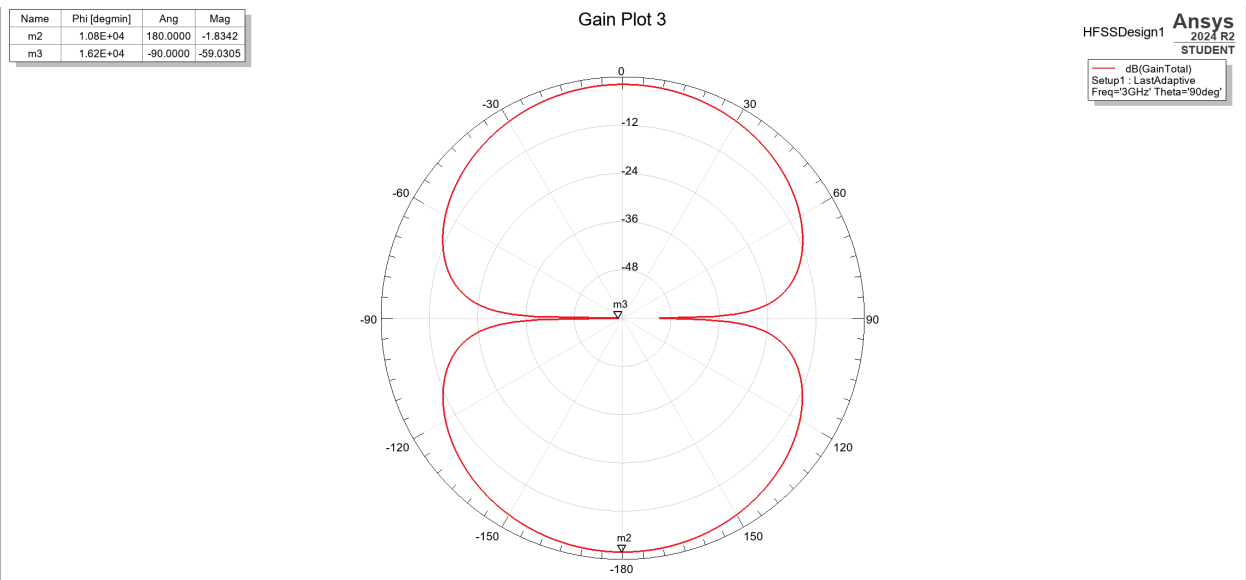


4 数据处理与分析

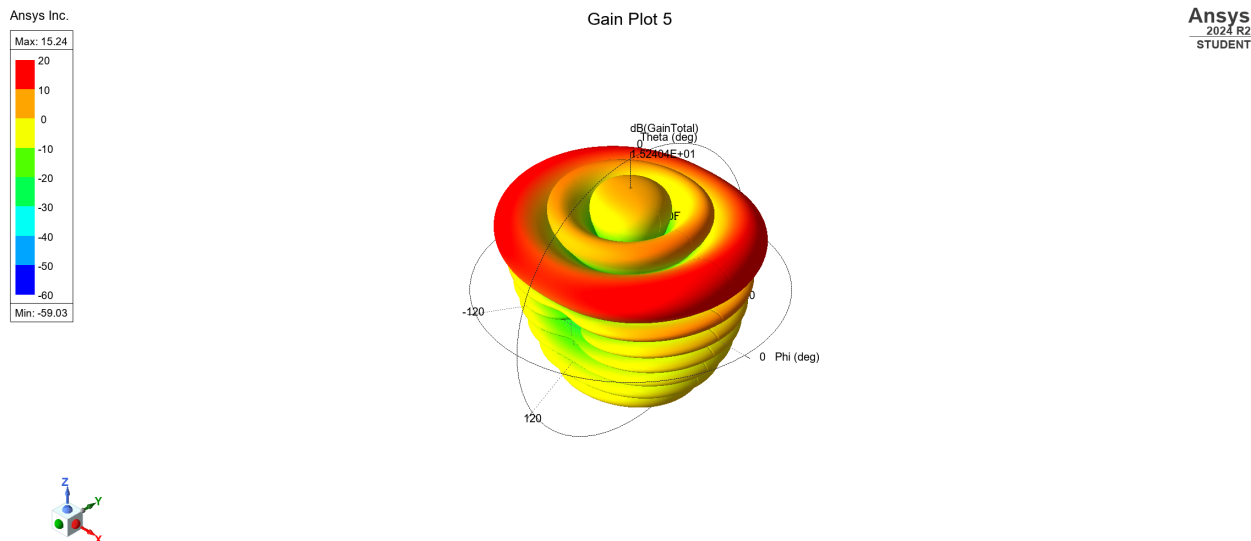
4.1 xz 平面辐射方向图



4.2 xy 平面辐射方向图



4.3 3D 辐射方向图



4.4 结果分析

从 XZ 平面的辐射方向图中，可以看出，其辐射增益最大时， $\theta = 60^\circ$ ，最大值为 15.2387dB ，同理论分析相差不远；在 XY 平面，天线阵列的方向图呈 8 字形，与单个偶极子天线情况类似；同时，从天线辐射增益中可以看出，其在 Z 方向和 Y 方向上都有较好的对称性。最后，从 3D 图中可以看出，偶极子天线阵列的方向性较好，在上半平面增益较大，下半平面增益很小。

5 实验心得体会

在本次天线阵列的仿真实验中，我按照实际天线设计的流程，首先根据设计要求，通过理论计算得出天线的关键参数，随后通过仿真对这些参数进行验证。这个过程让我深刻理解了天线设计的全貌，不仅拓展了我对天线阵列工作原理的认识，还让我感受到理论计算、仿真以及实际天线应用之间的紧密联系与差异。通过理论计算，我们可以快速获得初步的天线设计方案，包括天线的尺寸、阵元的排列方式、馈电方式等。这一阶段的工作非常重要，因为它为后续的仿真提供了基础。在仿真过程中，我不仅验证了理论计算的正确性，还可以观察到不同参数对天线阵列性能的影响，例如天线的增益、方向性、辐射模式等。总的来说，这次仿真实验让我对天线阵列设计的整个流程有了更加系统的认识。理论计算为设计提供了快速的初步方案，仿真则是设计的精细验证手段，而实际天线的制造和应用则是最终的验证。我从中收获颇多，特别是对如何在理论与实际之间找到平衡有了更加清晰的理解。这将为我今后在天线领域的研究和实践奠定坚实的基础。