

# 浙江大学

## 本科实验报告

微带天线仿真

课程名称:	天线理论与设计
姓名:	湛梓轩
学院:	信息与工程学院
专业:	电子科学与技术
学号:	3210105209
指导老师:	王浩刚

October 29, 2023

# 目 录

一、实验目的	3
二、微带天线原理	3
三、微带天线参数理论计算	3
四、建模与仿真设置	4
1. 基本参数设置 . . . . .	4
2. 微带天线 3D 建模 . . . . .	4
3. 设置辐射边界条件 . . . . .	5
4. 激励端口设置 . . . . .	5
5. 仿真求解设置 . . . . .	5
五、仿真结果分析	6
1. 输入阻抗 . . . . .	6
2. 回拨损耗 . . . . .	7
3. 驻波比 . . . . .	7
4. 方向图 . . . . .	8
六、总结与感想	9

## 一、实验目的

1. 通过 HFSS 软件对微带天线进行仿真设计。
2. 对仿真结果进行数据后处理和分析。
3. 得到微带天线在特征频率的辐射方向图，并找出其与 10GHz 时的区别。

## 二、微带天线原理

微带天线是在一种薄的介质板上上面附上某种金属层作为接地板，另一面用蚀刻的方法可制成某种需要的形状，利用微带线或者同轴线等馈电方式馈电的天线形式。

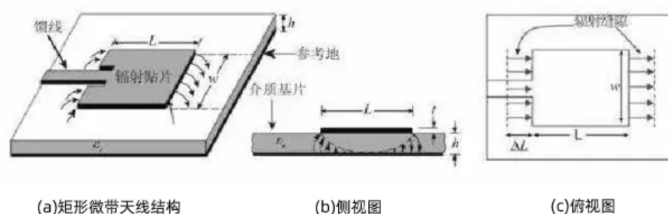


Figure 1: 微带天线示意图

如图 1 所示我们将微带天线近似看作传输线模型进而加以分析，假设图 (a) 中辐射贴片长度近似为半波长，宽度为  $w$ ，介质基片的厚度为  $h$ ，天线的工作波长为  $\lambda$ 。

当我们把辐射贴片、介质基片和接地板视作一段长度为  $0.5\lambda$  的低阻抗传输线，且传输线的两端形成开路。由于介质基片的厚度远远小于波长，所以电场的强度在厚度这一方向基本保持不变。

在最简单的情况下，我们同样假设电场强度沿着宽度  $w$  方向也没有变化。那么，在只考虑主模激励的 (TM<sub>10</sub> 模) 的情况下，该天线的电场结构如图 (b) 所示，辐射基本是可以认为是由辐射贴片开路边的边缘引起的。

在两开路端的电场可以分解为相对于接地板的水平分量和垂直分量。由于辐射贴片长度约为半个波长，因此两开路端电场的垂直分量方向相反，水平分量方向相同。所以，两开路端的水平分量电场可以等效为无限大平面上同相激励的两个缝隙，缝隙的宽度为  $\Delta L$ ，长度为  $w$ ，两缝隙间距为半波长，缝隙的电场沿着  $w$  方向均匀分布，电场垂直于  $w$  方向，如图 (c) 所示。

## 三、微带天线参数理论计算

天线中心频率为  $f_r = 10GHz$ ，介质基片的相对介电常数  $\epsilon_r = 10.2$ ，高度为  $h = 0.127cm$ ，可以计算得到天线的辐射贴片宽度为

$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = 0.6339cm$$

从而得到  $\frac{h}{w} = 0.2$ ，计算得到有效相对介电常数为：

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-0.5}$$

又由于  $\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)(\frac{h}{w} + 0.264)}{(\epsilon_{reff} - 0.258)(\frac{h}{w} + 0.8)} h = 0.0509cm$ ，可以得到：

$$L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L = 0.4255cm$$

因为  $\frac{h}{w} < 1$ , 所以  $Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln(\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h})$ 。当该微带天线的特征阻抗为  $50\Omega$  时, 微带线宽度:

$$W_0 = 0.0966\text{cm}$$

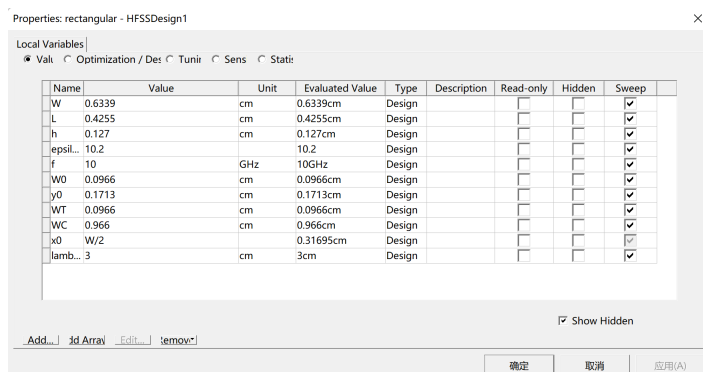
工作频率在 10GHz 时, 波长为  $\lambda = \frac{v_0}{f_r} = 3\text{cm}$ , 可以得到  $G_1 = \frac{1}{90}(\frac{W}{\lambda})^2, G_{12} = 4.079 \times 10^{-4}$ , 故  $Z_{in} = \frac{1}{2(G_1 + G_{12})} = 553.16\Omega$ , 因为  $Z_c = Z_{in} \cos^2(\frac{\pi}{L}y_0)$ , 最终可得馈线嵌入距离:

$$y_0 = \frac{1.265}{\pi}L = 0.1713\text{cm}$$

## 四、建模与仿真设置

### 1. 基本参数设置

新建工程后, 根据理论计算结果, 在 Design Properties 中添加相应参数, 如图 2 所示。四分之一其中,  $W_T$



Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type	Description	Read-only	Hidden	Sweep
W	0.6339	cm	0.6339cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
L	0.4255	cm	0.4255cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
h	0.127	cm	0.127cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
epsil...	10.2		10.2	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
f	10	GHz	10GHz	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
W0	0.0966	cm	0.0966cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
y0	0.1713	cm	0.1713cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
WT	0.0966	cm	0.0966cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
WC	0.966	cm	0.966cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
x0	W/2		0.31695cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>
lamb...	3	cm	3cm	Design				<input checked="" type="checkbox"/>

Figure 2: 基本参数设置

表示一波长阻抗转换器线宽,  $W_c$  表示切缝宽度, 其值同贴片宽度相同。

### 2. 微带天线 3D 建模

我们添加一个 box 来代表衬底, 并新建一个材料, 设置其相对介电常数为 10.2, 满足设计要求。并选中该衬底的底面, 设置为完美电导体作为 GND, 其效果如图 3 所示。

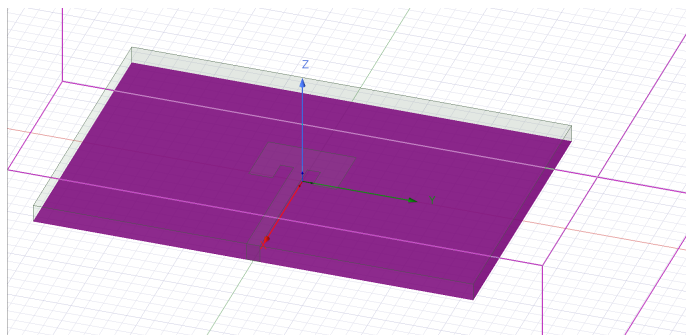


Figure 3: GND 设置

在此之上, 我们在衬底表面绘制辐射贴片来构成微带天线。通过绘制多个平面矩形, 分别表示辐射贴片, 四分之一波长阻抗转换器和微带传输线, 设置中心点高度为  $h$ , 使其位于衬底上表面, 并借助 bool 运算来将微带天线的形状绘制出来, 并设置该辐射天线为完美电导体。其最终结果如图 4 所示。

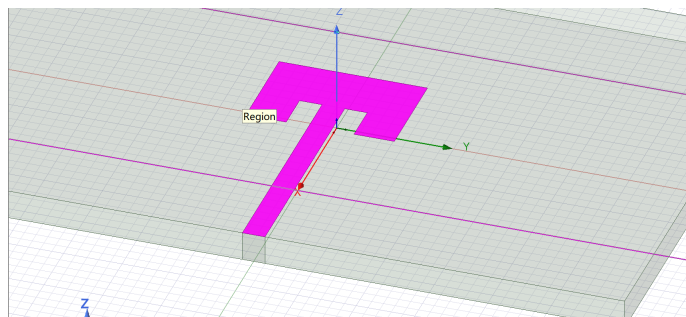


Figure 4: 微带结构

### 3. 设置辐射边界条件

通过 Create Region, 并将 Value 改为  $\lambda/4$ , 即可得到包裹微带天线的辐射边界, 之后将该辐射边界的材质改为“air”, 透明度设置为 0.8, 通过 Assign Boundary→Radiation 将长方体的表面设置为辐射边界。得到的效果如图 5 所示。

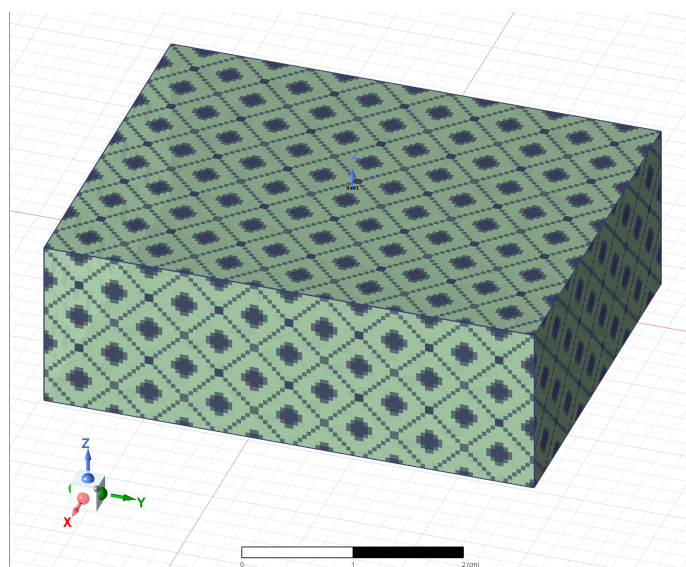


Figure 5: 边界设置

### 4. 激励端口设置

传输线终端使用集总端口激励。集总端口平面宽度设置为微带线宽度, 高度设置为介质基片高度, 端口底面和参考地相接, 并使端口负载为  $50\Omega$ 。将工作平面改为  $yz$  平面, 绘制一个矩形, 更名为 Port, 设置其位置为  $(5*L/2, -W_0/2, h)$ , 并通过 Lumped Port, 设置阻抗为  $50\Omega$ , 设置激励积分为自下而上的直线, 如图 6 所示。

最终建模得到的微带天线如图 7 所示。

### 5. 仿真求解设置

在本次对微带天线的仿真要对 10GHz 和 9.4882GHz 的仿真结果进行对比分析, 所以要设置两个 Setup, 中心频率分别设置为 10GHz 和 9.4882GHz, 并都设置扫描区间为 8GHz 至 14GHz, 自适应网格剖分的最

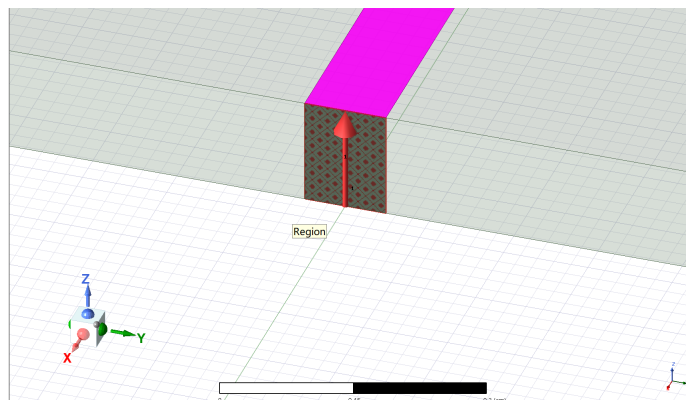


Figure 6: 激励方式

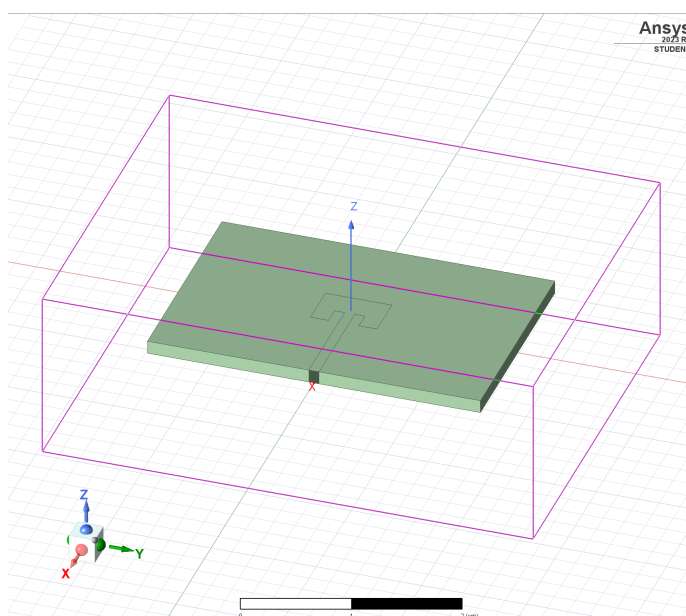


Figure 7: 微带天线建模模型

大迭代次数设为 20，收敛误差 0.02。通过 Validation Check 进行设计检查之后即可开始仿真。

## 五、 仿真结果分析

### 1. 输入阻抗

仿真得到的输入阻抗仿真结果 8 和 9 如图所示。从仿真即通过中可以看出，输入阻抗在 10GHz 左右近似为 0，并且在 11.6GHz 至 12.2GHz 之间存在高次模谐振，在此频率附近电阻和电抗都呈现对称性，同理论分析相符。

同时，比较中心频率分别为 10GHz 和 9.4882GHz 的输入阻抗，其在中心频率附近近似相同，而在 12GHz 附近，中心频率为 10GHz 的模式更高，且容抗较低，电阻也较低，其余部分两者大致相同。

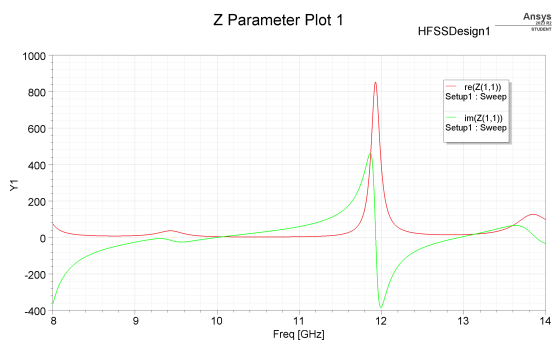


Figure 8: 10GHz 输入阻抗

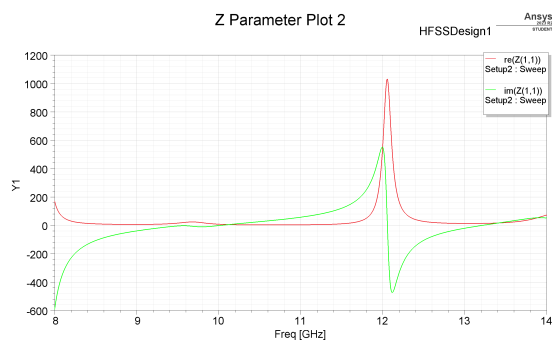


Figure 9: 9.4882GHz 输入阻抗

## 2. 回波损耗

回波损耗的仿真结果如图 10 和 11 所示。在 9GHz 到 10GHz 之间时回波损耗最小，最小可达到 -13.5 和 -9 左右，回波损耗频带相对较窄。两者对比，10GHz 的回波损耗效果较好，则可看出，由于仿真时设置的参数与实际参数存在微小偏差，对谐振频率影响较大；其次，由于插入馈电引起的物理缺口，馈线与切片之间存在不连续性，导致谐振频率可能会因结引入的电容发生变化，且易受到馈点位置和切缝宽度的影响；最后，不同介质和外部辐射条件的设置，可能会使天线的谐振性质产生差异。

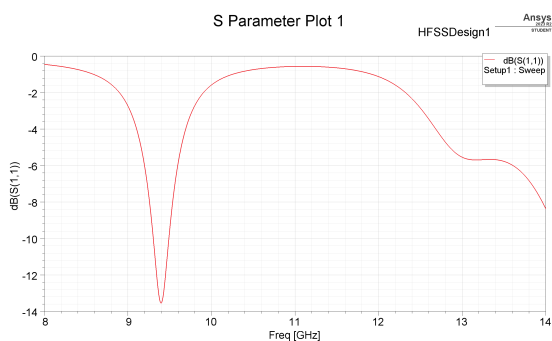


Figure 10: 10GHz 回波损耗

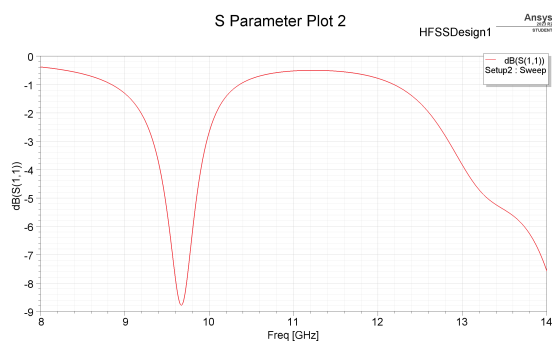


Figure 11: 9.4882GHz 回波损耗

## 3. 驻波比

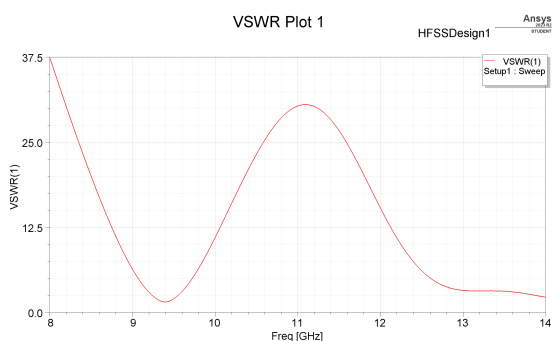


Figure 12: 10GHz 驻波比

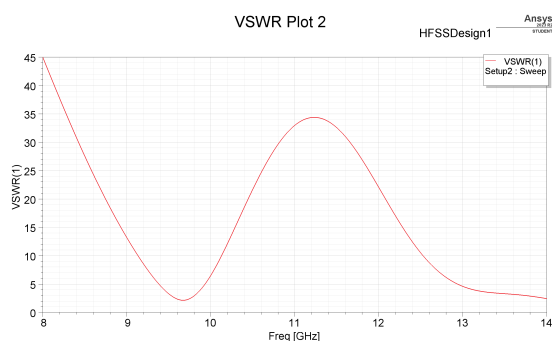


Figure 13: 9.4882GHz 驻波比

从如图所示的驻波比的仿真结果可以看出，频率在 9 到 10GHz 之间时最接近 0，除此之外，当频率大于 13GHz 时，VSWR 也比较接近 0，两者对比，驻波比的差异并不明显，在 9.5 左右的工作频段都较为合适。

#### 4. 方向图

仿真得到的 E 平面，H 平面以及 3D 方向图仿真的结果如图所示。由仿真结果可以发现，在谐振频率下，微带天线的最大增益在 5.1dB 左右，最小增益为 -18.9dB。在 E 平面，辐射场非对称分布，但其在上半空间的辐射较为均匀，贴片的侧射方向辐射更强，下半平面的辐射较弱；在 H 平面，此时由于辐射场的强度变化，其方向图存在两个主瓣、四个旁瓣，主瓣在上半平面，辐射效果较好，且与 3D 图像的拟合也较好。

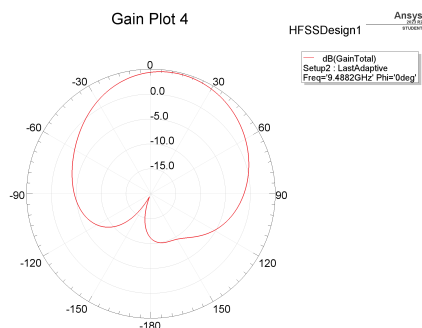


Figure 14: 9.4882GHz E 平面方向图

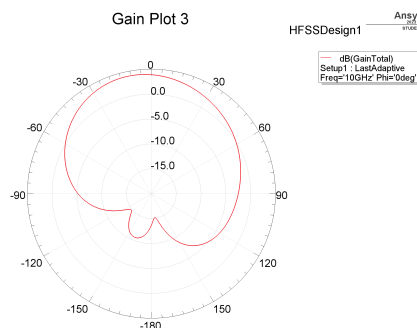


Figure 15: 10GHz E 平面方向图

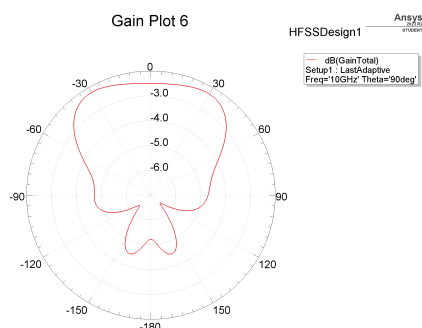


Figure 16: 10GHz H 平面方向图

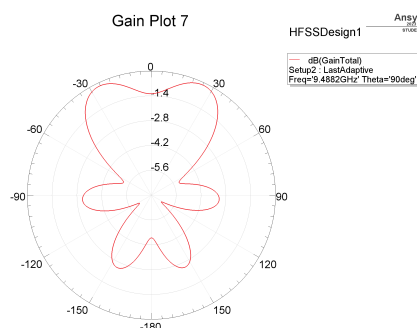


Figure 17: 9.4882GHz H 平面方向图

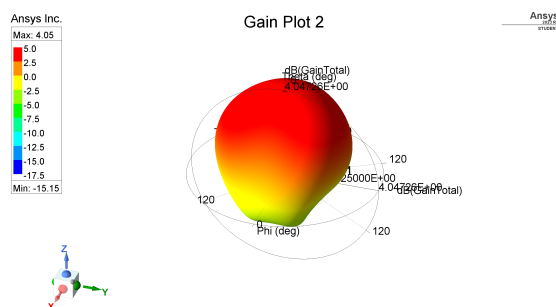


Figure 18: 10GHz 方向图顶面

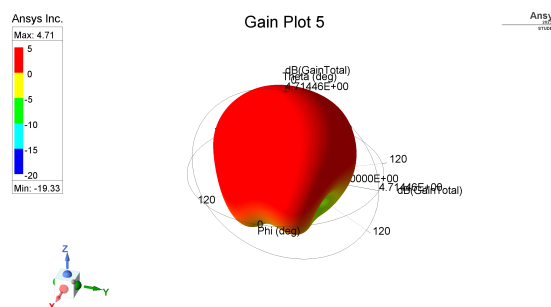


Figure 19: 9.4882GHz 方向图顶面



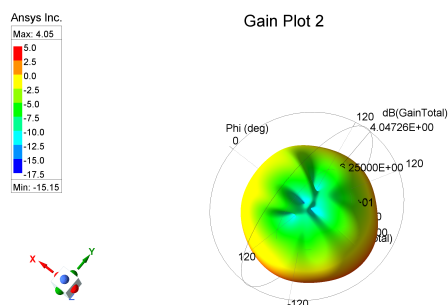


Figure 20: 10GHz 方向图底面

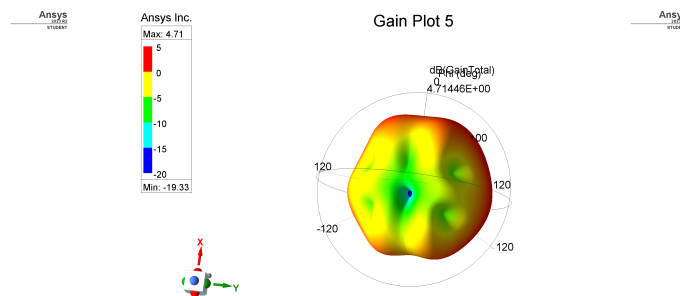


Figure 21: 9.4882GHz 方向图底面

10GHz 和 9.4882GHz 相比，在上半平面辐射较为相同，区别主要出现在下半平面，两者辐射的衰减凹陷有所区别，且旁瓣数量不同。可以看出 10GHz 在下半平面的衰减较为严重。

## 六、 总结与感想

在本次仿真实验中，根据提给要求，完成了微带天线的设计及仿真，并对仿真结果进行数据后处理和分折，着重分析了在中心频率不同时，仿真结果的区别。通过这次仿真实验，我更加深入地理解了不同天线参数对辐射场地影响，尤其是微带天线这种对微小数值变化非常灵敏的天线，对各项数值的微调更加注意，在参数计算时也更加细致。