

浙江大学

ZHEJIANG UNIVERSITY



天线理论与设计 实验报告

实验名称 矩形微带贴片天线设计与仿真

姓 名 卢泽熙

学 号 3220102478

实验日期 November 4, 2024

指导老师 王浩刚

Contents

| | |
|-----------------------------|----------|
| 1 实验任务 | 1 |
| 2 天线参数计算 | 1 |
| 2.1 辐射贴片的宽度 W 计算 | 1 |
| 2.2 辐射贴片长度 L 计算 | 1 |
| 2.3 微带线宽度 W_0 计算 | 1 |
| 2.4 馈线嵌入距离 y_0 计算 | 2 |
| 2.5 切缝宽度 d_0 计算 | 2 |
| 3 天线的 HFSS 仿真设计 | 2 |
| 3.1 基本参数设定 | 2 |
| 3.2 微带天线 3D 建模 | 3 |
| 3.3 设置辐射边界条件 | 3 |
| 3.4 激励端口设置 | 4 |
| 3.5 仿真求解设置 | 4 |
| 4 天线的 HFSS 数据后处理及其分析 | 4 |
| 4.1 回波损耗 | 4 |
| 4.2 输入阻抗 | 5 |
| 4.3 方向性 | 5 |
| 4.3.1 E 平面方向图 | 5 |
| 4.3.2 H 平面方向图 | 6 |
| 4.3.3 3D 方向图 | 6 |
| 5 总结与心得 | 6 |

1 实验任务

Design a rectangular microstrip patch with dimensions W and L , over a single substrate, whose center frequency is 10 GHz. The dielectric constant of the substrate is 10.2 and the height of the substrate is 0.127 cm (0.050 in.). Determine the physical dimensions W and L (in cm) of the patch, taking into account field fringing. Use HFSS to simulate the input impedance of Prob. 14.9, where:

- (1). The patch antenna is feed by a 50 Ohm microstrip line;
- (2). The ground plane should be larger than the patch (can be $5L * 5W$);
- (3). Both patch and ground are PEC;
- (4). Lumped port is used for the excitation;
- (5). Frequency range: 8GHz – 14GHz.

Determine:

- The difference between HFSS' s resonant freq and 10GHz, why is there difference?
- Calculate the E-and H-plane radiation at the HFSS resonant frequency.

2 天线参数计算

天线的中心频率 $f_r = 10GHz$, 介质基片的相对介电常数 $\epsilon_r = 10.2$, 高度 $h = 0.127cm$

2.1 辐射贴片的宽度 W 计算

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

2.2 辐射贴片长度 L 计算

根据 2.1, $\frac{h}{W} = 0.2$, 代入有效相对介电常数公式:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-0.5} = 8.093$$

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} = 0.0509cm$$

因此 $L = \lambda/2 - 2\Delta L = 0.4255cm$

2.3 微带线宽度 W_0 计算

假设 $\frac{h}{W_0} > 1$, 因此

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left| \frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right|$$

当该微带天线的特征阻抗为 50Ω 时, 微带线宽度: $W_0 = 0.0966cm$ 满足假设。

2.4 馈线嵌入距离 y_0 计算

工作频率在 $10GHz$ 时，波长为 $\lambda = 3cm$ ，可以得到：

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda} \right)^2, \quad G_{12} = 4.079 \times 10^{-4} \rightarrow Z_{in} = \frac{1}{2(G_1 + G_{12})} = 553.16$$

又 $Z_c = Z_{in} \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right)$ ，最终解得 $y_0 = \frac{1.265}{\pi} L = 0.1713cm$

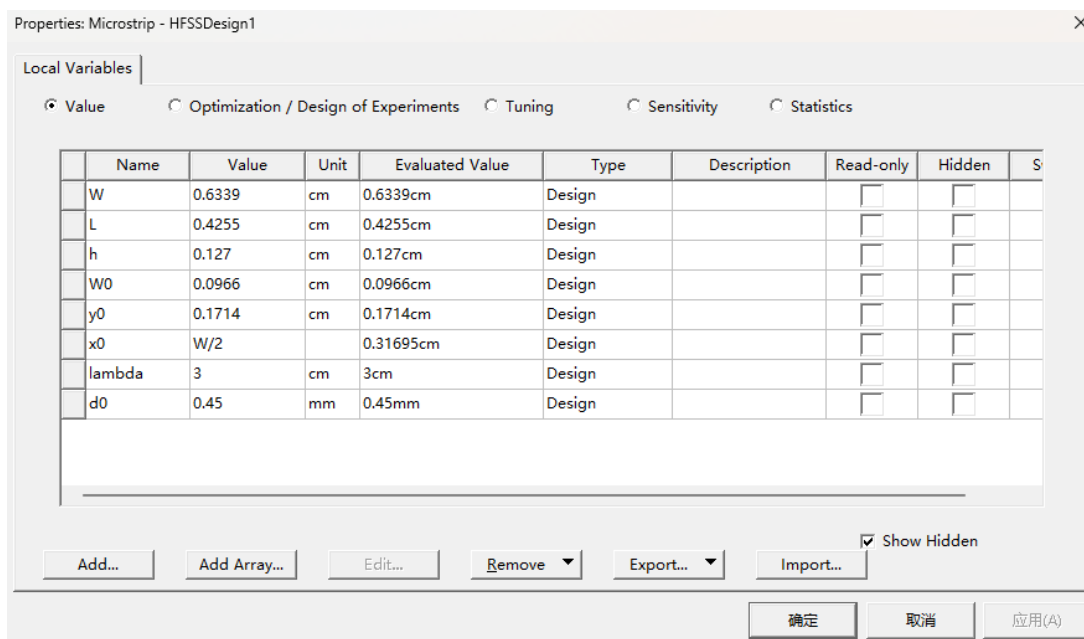
2.5 切缝宽度 d_0 计算

实验中并未直接给出切缝宽度 d_0 ，切缝的加入可以影响天线的谐振频率。通常，切缝宽度越大，会使谐振频率向低频方向移动；同时，还要满足阻抗匹配，实现较低的回波损耗。仿真过程中选取了不同的切缝宽度，最终发现 $d_0 = 0.45mm$ 左右能较好满足上述条件，后续实验数据分析均为 $d_0 = 0.45mm$ 的矩形微带贴片天线模型。

3 天线的 HFSS 仿真设计

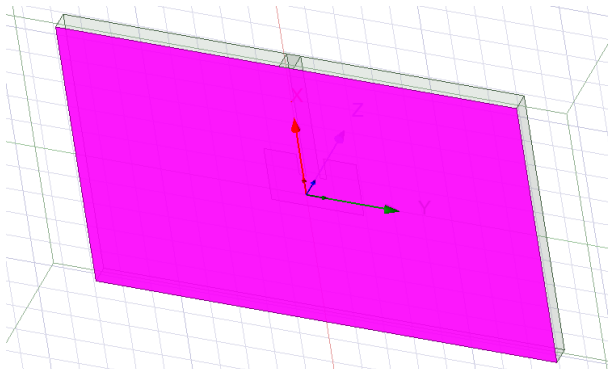
3.1 基本参数设定

新建工程后，根据理论计算结果，在 **Design Properties** 中添加相应参数，如下图所示：

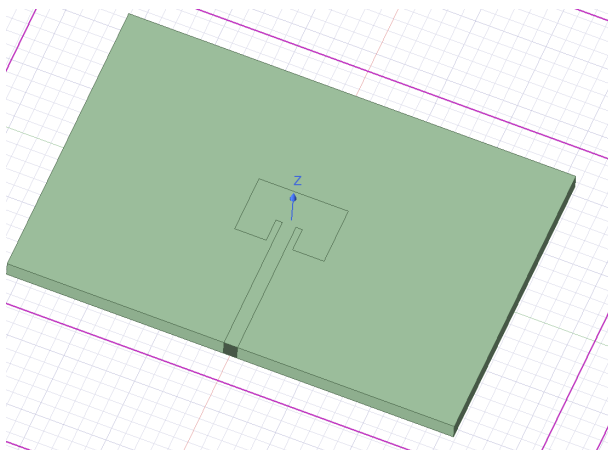


3.2 微带天线 3D 建模

添加 box，按照实验要求设定尺寸，创建衬底模型；新建材料，设置其相对介电常数为 10.2 以满足设计要求；选中该衬底的底面，设置为完美电导体作为 GND。效果如下图所示：

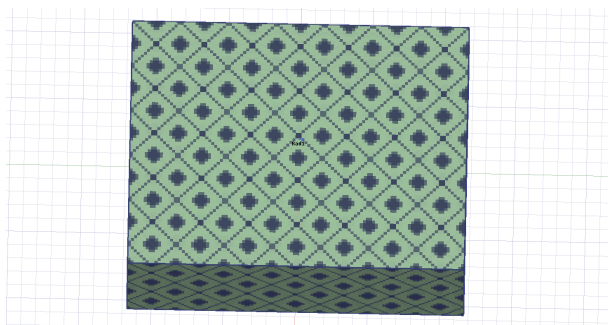


在衬底表面绘制辐射贴片来构成微带天线：通过绘制多个平面矩形并设置正确实验参数，分别表示辐射贴片，四分之一波长阻抗转换器和微带传输线；借助 bool 运算绘制微带天线的形状设置该辐射天线为完美电导体。最终结果如下图所示：



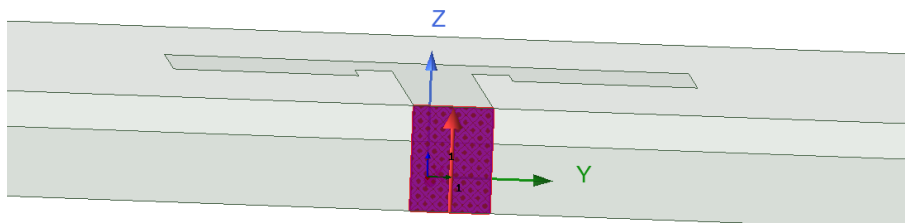
3.3 设置辐射边界条件

在菜单栏选择 **Create Reign**，并将 Value 设置为 $\lambda/4$ ，即可得到包裹微带天线的辐射边界；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，如下图所示：



3.4 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 50Ω 。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 $(5 \cdot L/2, -W_0/2, h)$ ，并选择端口激励 Lumped Port，设置阻抗为 50Ω ；绘制自下而上的激励积分直线，如图所示：



3.5 仿真求解设置

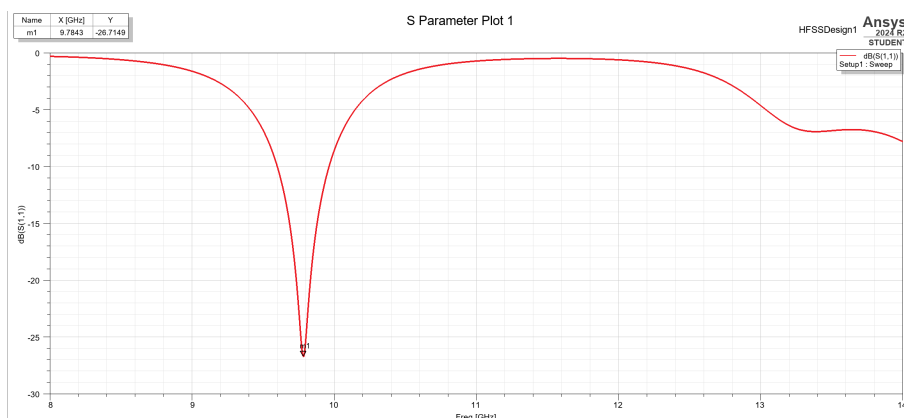
针对此次所仿真的微带天线，其中心频率为 $10GHz$ ，扫频范围为 $8GHz - 14GHz$ ，选择快速扫频类型，分析天线在 $8GHz - 14GHz$ 频段的输入阻抗与回波损耗。具体步骤如下：

- (1). 右键单击工程树下的 Analysis，在弹出的对话框中选中 Add Solution Setup，将求解频率设为 $10GHz$ ，自适应网格剖分的最大迭代次数设为 20，收敛误差 0.02；
- (2). 展开工程树下的 Analysis 节点，右键单击求解设置项 Setup1，在弹出的对话框中选择 Add Frequency Sweep，将扫频类型选择为快速扫频，扫频范围为 $8 - 14GHz$ ，点数为 6000，点击确定。

至此，模型建立完毕。检查设计后运行即可得到实验结果。

4 天线的 HFSS 数据后处理及其分析

4.1 回波损耗



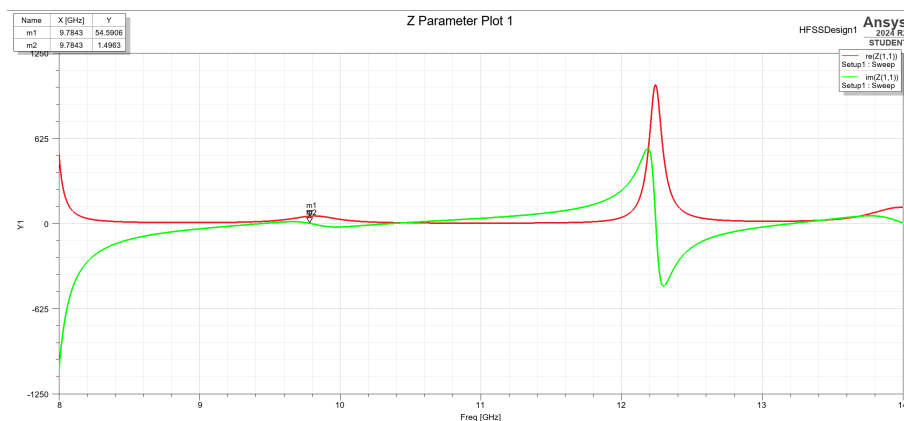
仿真结果显示，天线的谐振频率在 $f_0 = 9.7843GHz$ 附近取得最小值 $-26.7149dB$ ，满足回波损耗小于 $-20dB$ 的要求，该点即为谐振频率，其与中心频率 f_r 之间相差 $\delta f = f_r - f_0 = 0.2157GHz$ 。关于谐振频率与中心频率之间偏差产生的原因，主要可能有以下三个方面：

- (1). **参数设置偏差:** 仿真时设置的参数与实际物理参数可能存在微小偏差。例如，贴片的宽度和长度可能因为四舍五入而导致微小的尺寸变化。这些细微的尺寸差异对微带天线的谐振频率有较大影响，可能导致实际谐振频率与预期偏离。
- (2). **馈电引入的物理不连续性:** 由于馈电方式的不同，插入馈电时天线会形成物理缺口，造成馈线和天线之间的不连续性。这种不连续性会导致额外的电容效应，引起谐振频率的偏移。此偏移易受到馈电点位置和切缝宽度的影响。
- (3). **介质和外部辐射条件的影响:** 仿真中不同介质材料的设置或外部辐射环境条件可能对天线的谐振特性产生不同影响。例如，介电常数的微小变化或环境边界条件的设置差异，可能会改变天线的电磁响应特性，导致谐振频率偏差。

此外，天线 $-10dB$ 带宽约为 $0.37GHz$ ，性能较好。

4.2 输入阻抗

天线输入阻抗如下图所示：

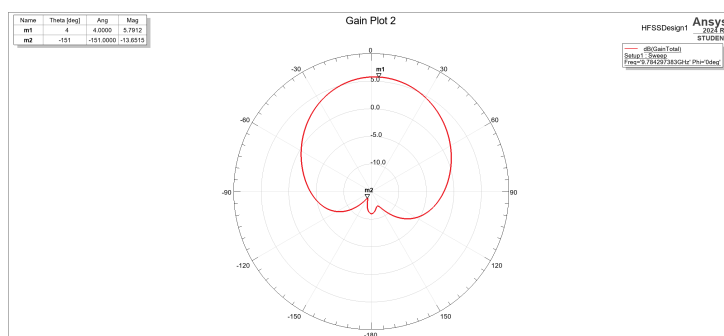


仿真结果显示，在谐振频率附近天线的输入阻抗虚部接近于 0，而实部接近于 50Ω ，说明匹配状态良好。同时可以看出， $12.2GHz$ 附近存在高次模谐振，电阻和电抗都呈现对称性，同理论分析相符。

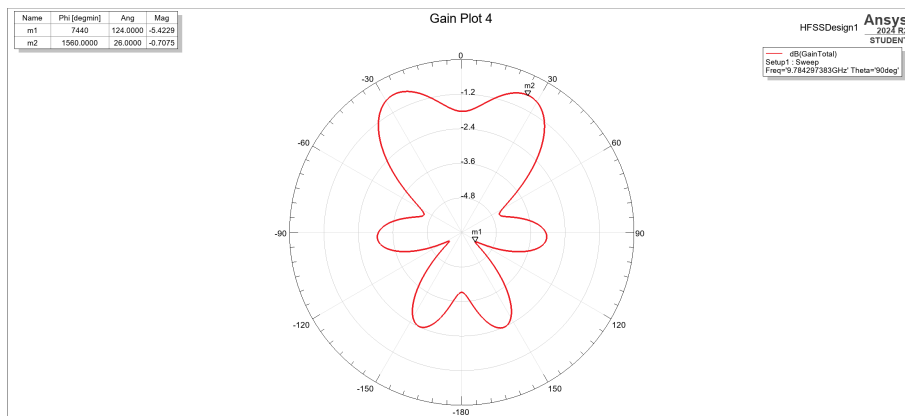
4.3 方向性

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：

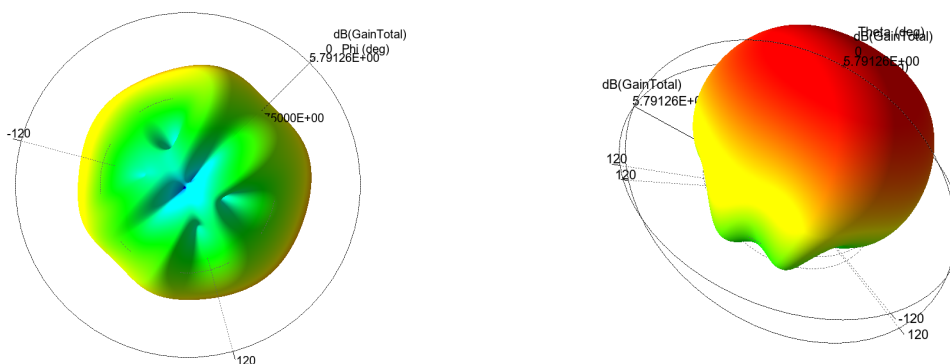
4.3.1 E 平面方向图



4.3.2 H 平面方向图



4.3.3 3D 方向图



由仿真结果可以发现，在谐振频率下，微带天线的最大增益为 5.8dB ，最小增益为 -13dB 。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，总体呈圆形，贴片的侧射方向辐射更强，下半平面的辐射较弱，与理论一致；在 H 平面，微带天线馈线馈入的一侧辐射强度更大，最大增益约为 -0.7dB ，可见微带天线在水平方向的辐射能力较差。通过 3D 方向图，可以更加清晰地看到此微带天线的辐射特征：在上半空间，天线辐射较为均匀，总体成球状，且最大辐射方向向前倾斜，侧射方向辐射更强；在下半空间，天线辐射强度变化较大，存在多处衰减，整体辐射强度比上半空间小很多。综上，仿真得到的三维方向图与理论预期接近。

5 总结与心得

本次实验围绕矩形微带天线的设计和仿真展开，旨在分析不同中心频率下的仿真结果差异以及不同参数对天线性能的影响。通过这次实验，我不仅完成了设计和仿真，还进行了数据的后处理和分析，收获颇丰。在实验中，我深入理解了微带天线对微小参数变化的敏感性。在优化设计时发现，即使是细微的数值调整，都会对天线的辐射特性产生显著影响。因此，在设计和计算过程中，我格外关注每一个参数的准确性，力求精确，以保证仿真结果的可靠性。在理论方面，本实验基于矩形贴片微带天线的传输线模型，通过理论分析和实际仿真验证了模型的正确性。理论计算和仿真结果的高度一致，进一步加深了我对课堂中所学微带天线理论知识的理解，使我对天线的工作原理、辐射机制有了更直观的认识。同时，通过此次仿真实验，我对仿真软件的使用流程更加熟悉。包括仿真设置、参数扫描和优化等操作，在实际操作中得到了巩固。特别是在参数扫描和优化过程中，我逐步掌握了不同参数对天线性能的影响规律，为未

来进行更复杂的设计和优化奠定了基础。总之，通过此次实验，我不仅巩固了微带天线的理论知识，还提升了仿真设计的实际操作能力，对不同参数的优化和调试有了更全面的认识。这次实验的经验将为我今后在天线设计领域的学习和研究提供重要的支持。