

应用于无线局域网的低剖面宽带双频微带天线 的设计

胡森康 韦俊城

Beijing Institute of Technology

January 17, 2021



目录

- 1 选题简介

- ## ② 研究现状

- ### ③ 理论分析

- ## ④ 天线结构与设计

- 5 建模仿真

- 6 实物加工及测试

- 7 总结展望

- 8 参考文献

选题简介

设计一种应用于无线局域网（WLAN）的低剖面、双频、宽带微带天线。该天线辐射贴片由三个矩形连接桥连接内外两块辐射贴片构成，并在 U 型外贴片上加载一根短路探针，通过加载连接桥和短路探针拓展天线的工作带宽。微带天线介质基片由上下两层 FR4 介质板和中间空气层组成，剖面高度为 0.042λ 。

选题简介——设计指标

- ① 要求天线回波损耗大于 10dB 的工作频带分别为 $2.40 \sim 2.50\text{GHz}$ 和 $5.1 \sim 5.7\text{GHz}$

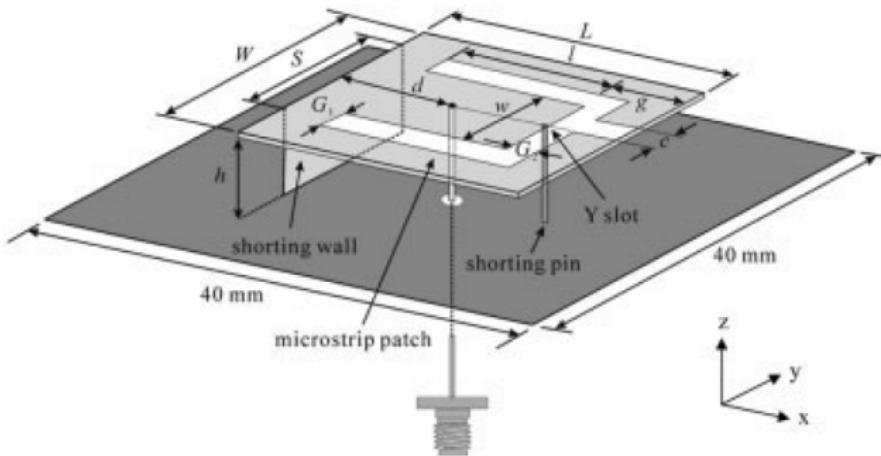
选题简介——设计指标

- ① 要求天线回波损耗大于 10dB 的工作频带分别为 $2.40 \sim 2.50\text{GHz}$ 和 $5.1 \sim 5.7\text{GHz}$
 - ② 在两频段中心频率 2.45 和 5.5GHz 时增益大于 6 和 8dB

研究现状——应用于 WLAN 的双频天线研究现状

应用于无线局域网 (WLAN) 的双频定向天线被广泛使用于无线基站、室内无线接入点以及点对点通信等。近年来，大量的 WLAN 定向辐射天线被提出，如采用全向天线加反射板结构实现定向辐射、微带天线等，但这些天线结构难以在实现低剖面的同时完成对 IEEE 802.11a/b/n/ac 标准所规定 2.4/5GHz 频段的完全覆盖。

一种应用于 WLAN 频段的 Y 形槽双频 PIFA 天线，该天线具有较低的剖面高度，但其高、低频段不能够实现对 IEEE 802.11a/b/n/ac 标准所规定的两个频段的完全覆盖



研究现状——应用于 WLAN 的双频天线研究现状

一种应用于 WLAN 频段的半圆形开槽双频定向 PIFA 天线，该天线完全覆盖 IEEE 802.11a/b/n/ac 频段，且具有较低的剖面。然而，相比于微带天线，PIFA 天线方向图不圆度较差，且增益较低。

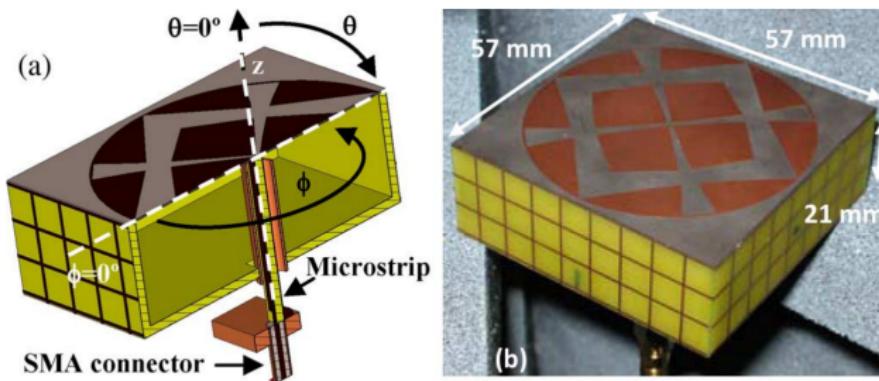


Fig. 1. (a) Cut along the E-plane of the CST antenna model. (b) Photograph of the prototype.

理论分析

在上述研究的基础上，本研究提出一款应用于 WLAN 的低剖面微带天线，可以完全覆盖 IEEE 802.11a/b/n/ac 频段，具有较低的剖面，且增益较高。

理论分析——微带天线实现双频的方法

- 微带天线可用**电抗加载**的方法实现双频工作

理论分析——微带天线实现双频的方法

- 微带天线可用电抗加载的方法实现双频工作
 - 根据空腔模型理论，薄基片的微带天线在主模谐振频率附近的输入阻抗 $Z_{in} = R + jX_{f1} + jX_{f2}$ ，其中 X_{f1} 为主模并联谐振等效电路的“谐振”电抗， X_{f2} 为其他模的合成效应。

理论分析——微带天线实现双频的方法

- 微带天线可用电抗加载的方法实现双频工作
 - 根据空腔模型理论，薄基片的微带天线在主模谐振频率附近的输入阻抗 Z_{in} 可等效为 $Z_{in} = R + jX_{f1} + jX_{f2}$ ，其中 X_{f1} 为主模并联谐振等效电路的“谐振”电抗， X_{f2} 为其他模的合成效应。
 - 当天线谐振时， $X_{f1} + X_{f2} = 0$

理论分析——微带天线实现双频的方法

- 若用一个电抗对微带天线进行加载，则上述的特征方程为

$$X_{f1} + X_{f2} + X_l = 0$$
 调节 X_l 的值，可以获得两个零点，这便是电抗加载方法的基本原理。其中，对于缝隙加载而言， X_l 是缝隙参数（包括长度、宽度、位置等）的函数，因此可以调整这些参数来改变两个谐振频率的距离。



理论分析——微带天线实现双频的方法

- 加载的缝隙形状可以有很多种，比较实用的有一种在天线贴片中间位置加载一个两臂很短的 U 形缝隙。加载的 U 形槽分割了矩形贴片上的电流分布，使贴片表现出双频效应：馈电点到天线贴片两个辐射边的电流路径由于缝隙的存在被拉长，降低了天线贴片的谐振频率，从而使贴片整体尺寸小于半波长；所以可以通过改变贴片的长度来调整低频段的中心谐振频率。

理论分析——微带天线实现双频的方法

- 而又由于 U 形缝隙的底边对电流的影响形成了一个较高的谐振频率；由于从馈电点到贴片边缘的电流被缝隙阻挡，则由这个 U 形缝隙所围区域产生一个假想的辐射贴片，所以可以通过改变缝隙的长度来改变高频段的中心谐振频率。其中，U 形缝隙的两臂因为是顺着电流方向，所以对频率的影响不是很大，但是这样的对称结构可以获得较好的极化特性，也对阻抗匹配起到调节作用。

理论分析——微带天线实现双频的方法

- 本课题所使用的天线基于加载了 U 形缝隙的贴片天线进行改进。天线贴片由矩形内外贴片组成，用 U 型缝隙将其隔开，同时使用三个矩形电桥进行链接，并且在外贴片上还加载了一根短路探针，该探针相当于在天线的等效电路中引入了一个等效电感，从而形成一个并联谐振电路，对天线的低频谐振频率起到了调谐的作用。



天线结构与设计——天线组成

天线结构如下图所示，由空气层，上下两层 FR4 介质及其印刷导体组成。天线的辐射单元由印刷在上层介质基板上的 U 型外贴片、矩形内贴片以及它们之间的矩形连接桥组成。U 型外贴片外围总尺寸为 $L_2 \times W_2$ ；矩形内贴片的尺寸为 $L_4 \times W_4$ ；矩形连接桥 A 的长度为 W_a ，矩形连接桥 B 和 C 的长度都为 W_b 。该天线采用同轴探针馈电，馈电点在距中心点 O 的距离为 x_f 的 x 轴上。加载的短路探针 D 在 U 型外贴片处与微带天线接地面短接。

天线结构与设计

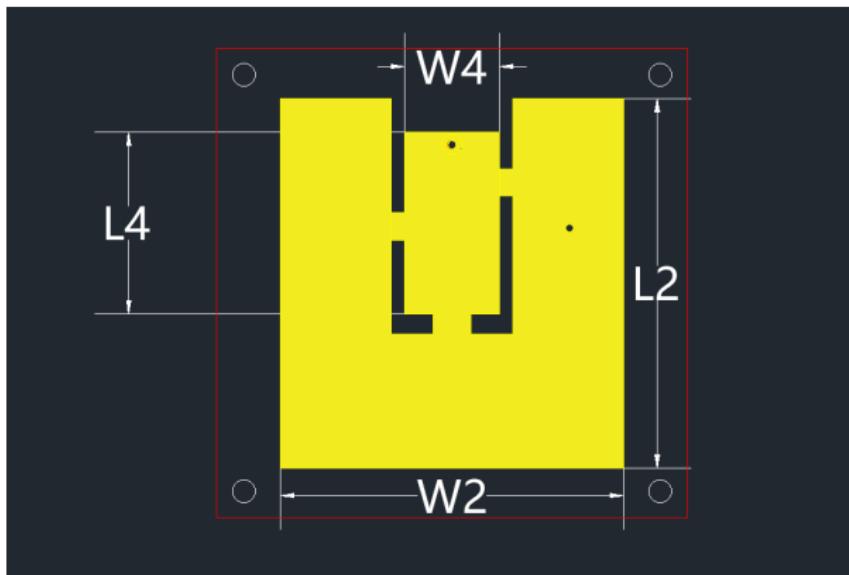


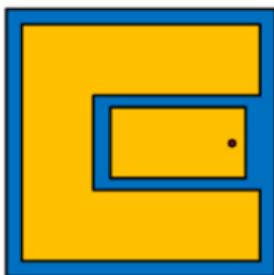
Figure 1: 天线结构图 (正面)

天线结构与设计

Figure 2: 天线结构图 (背面)

天线结构与设计

天线的最初设计源于天线 I, 如图 (3) 所示。天线辐射贴片可以看作是矩形贴片加载一个 U 型槽形成。



(a) 天线 I

Figure 3: 天线的设计过程

天线结构与设计

天线 II 在 U 型外贴片和矩形内贴片之间的槽中增加了三个矩形连接桥 A、B 和 C.

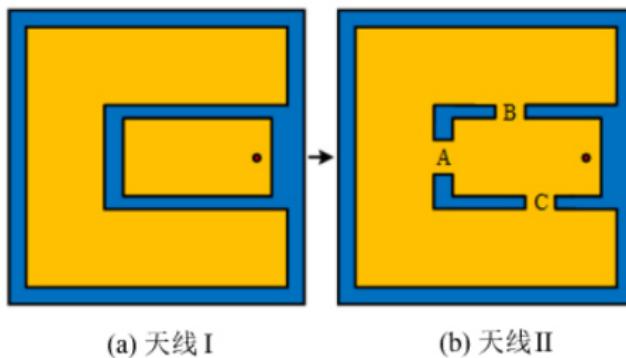


Figure 4: 天线的设计过程

天线结构与设计

在天线 II 的基础上，天线 III 在 U 型外贴片上加载了一根短路探针 D。

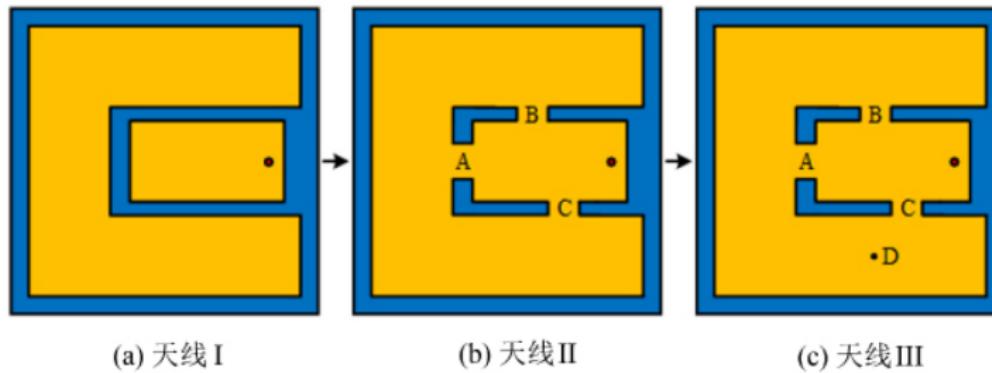


Figure 5: 天线的设计过程

天线结构与设计——天线等效电路图

这相当于在天线的等效电路中引入了一个等效电感 L_3 ，从而形成了一个并联谐振电路，该短路探针等效电感对天线的低频谐振频率起到调谐的作用。

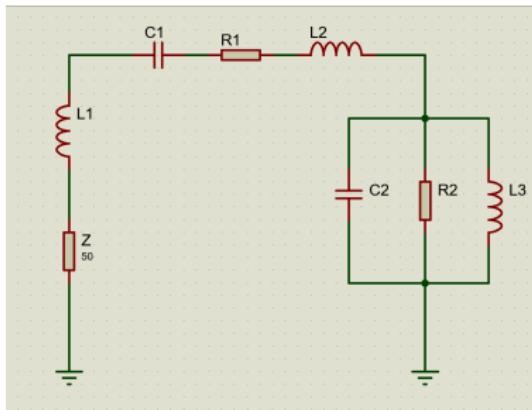


Figure 6: 天线等效电路图

天线结构与设计——天线等效电路图

探针阻抗设为 R_2 ，如图（7）所示。从图（7）中可以看出，整个天线可以等效为串联谐振电路和并联谐振电路的组合，并激励出了两个相邻的谐振模式，天线的频带宽度由此得到了展宽。

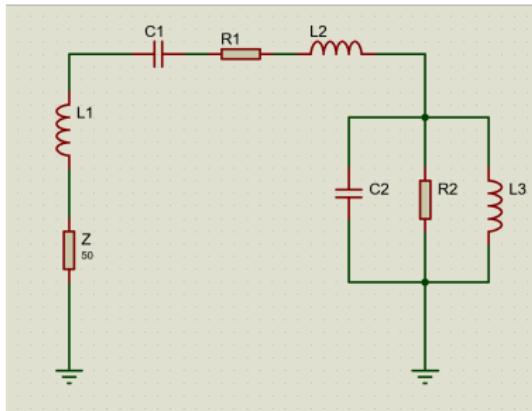


Figure 7: 天线等效电路图

建模仿真

在建模前要明确天线的尺寸，并计算出同轴馈电线的尺寸和材料，以产生进行阻抗匹配。



建模仿真

在建模前要明确天线的尺寸，并计算出同轴馈电线的尺寸和材料，以产生进行阻抗匹配。

根据同轴电缆特征阻抗为 50Ω ，选取同轴线填充材料为 *Teflon*，其相对介电常数为 2.1，根据同轴电缆特征阻抗计算公式：

定理

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \ln \frac{D}{d}$$

取同轴线半径为 4.6mm，同轴线内导体半径为 1.36mm。

建模仿真——HFSS 模型

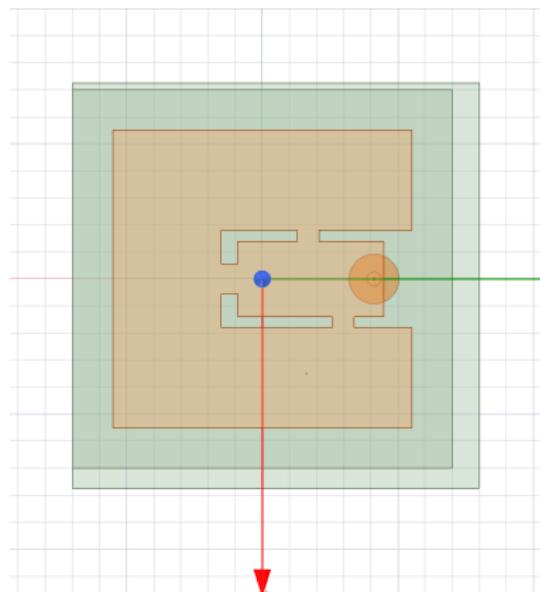


Figure 8: 微带天线 HFSS 模型

建模仿真——HFSS 模型

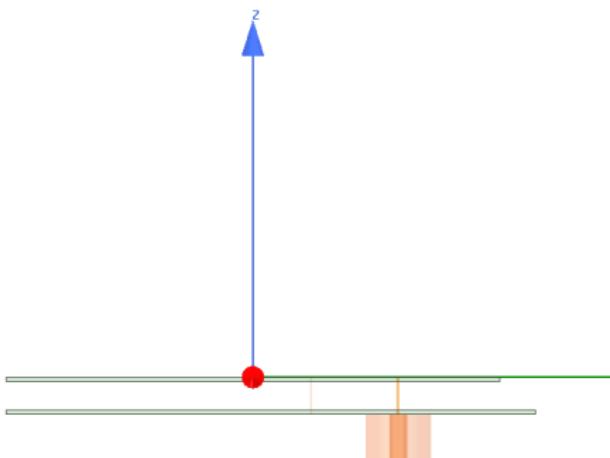


Figure 9: 微带天线 HFSS 模型

选题简介

研究现状

理论分析

天线结构与设计

建模仿真

实物加工及测试

总结展望

参考文献

○○

○○○

○○○○○

○○○○○○○

○○○●○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

○○○○○○

○○

○○

HFSS 模型

建模仿真——HFSS 模型

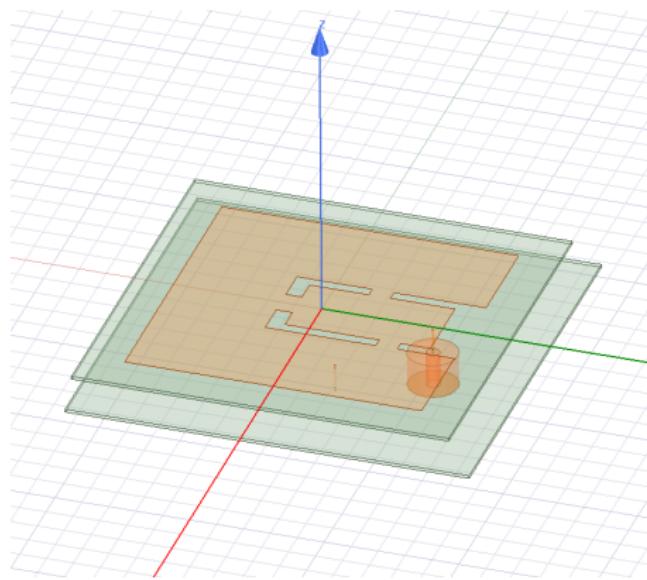


Figure 10: 微带天线 HFSS 模型

建模仿真——HFSS 模型

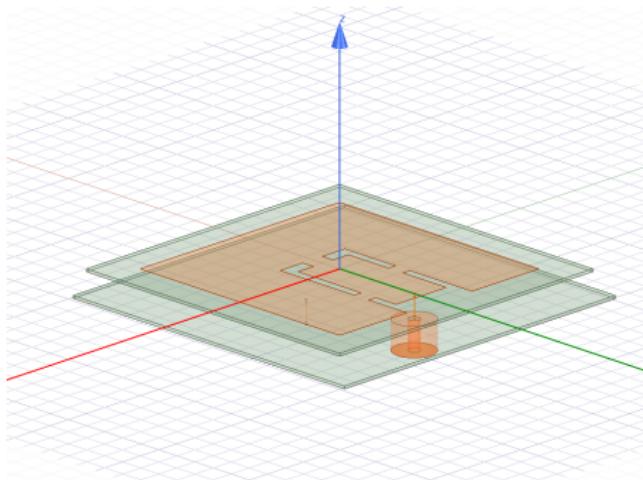


Figure 11: 微带天线 HFSS 模型

建模仿真

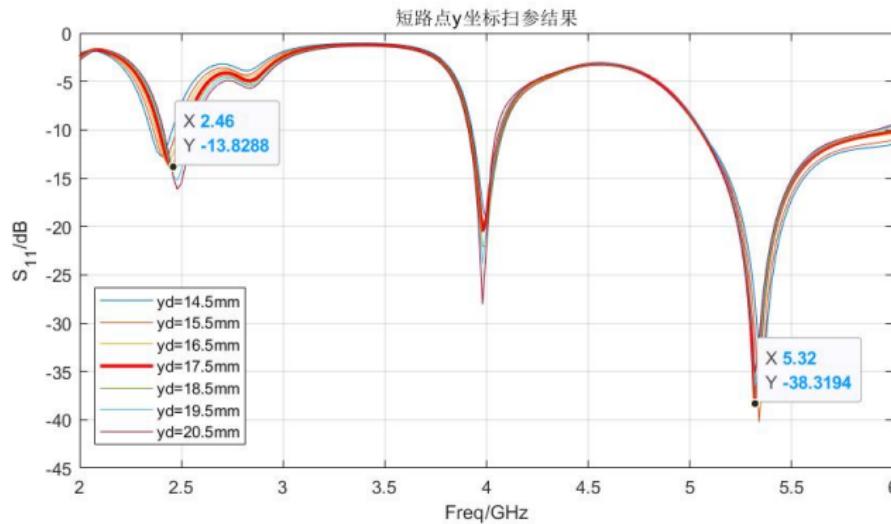
建立模型之后设置 1GHz-7GHz 的扫频进行仿真。仿真过程中发现：

- ① 短路点位置
- ② 短路导线尺寸
- ③ 馈电点的位置
- ④ 馈电探针尺寸

均对天线性能有影响，因此分别对这几个参数进行扫参。

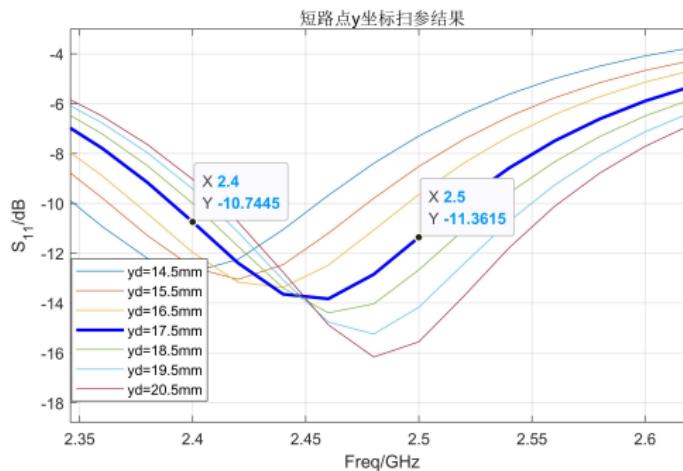
建模仿真——短路点 y_d 坐标扫描

在保持短路导线的半径 =0.5mm，馈电点位置 $x_f = 20.6mm$ ，馈电探针半径 0.6mm，短路点 x 坐标 =8.2mm 不变时，改变短路点的 y 坐标，其仿真结果如下图所示：



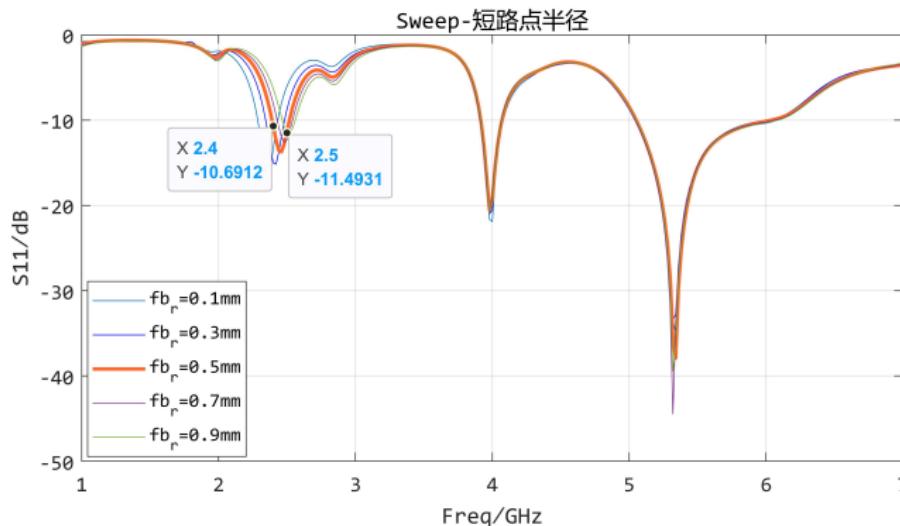
建模仿真——短路点 y_d 坐标扫描

由扫参结果可以看出，当 $y_d = 17.5\text{mm}$ 的时候，低频段的谐振点频率为 2.45GHz ，在 2.4GHz 和 2.5GHz 时的 S_{11} 分别为 -10.7445dB 和 -11.3615dB ，满足条件。而且随着 y_d 坐标的增大，谐振点频率向右移。但是 y_d 坐标的改变对高频段的谐振点频率影响很小。



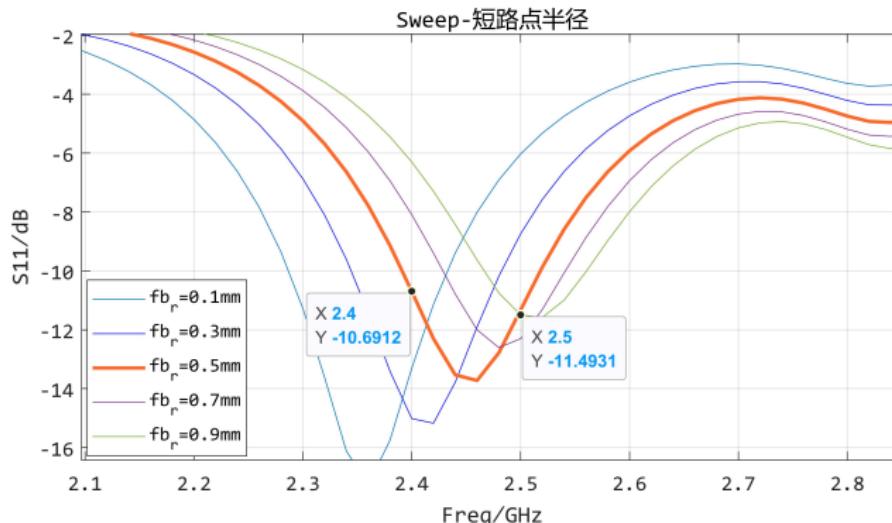
建模仿真——短路导线半径的扫描

在保持馈电点位置 $x_f = 20.6mm$, 馈电探针半径为 0.6mm, 短路点位置 (8.2mm,17.5mm) 不变时, 改变短路导线的半径, 其仿真结果如下图所示:



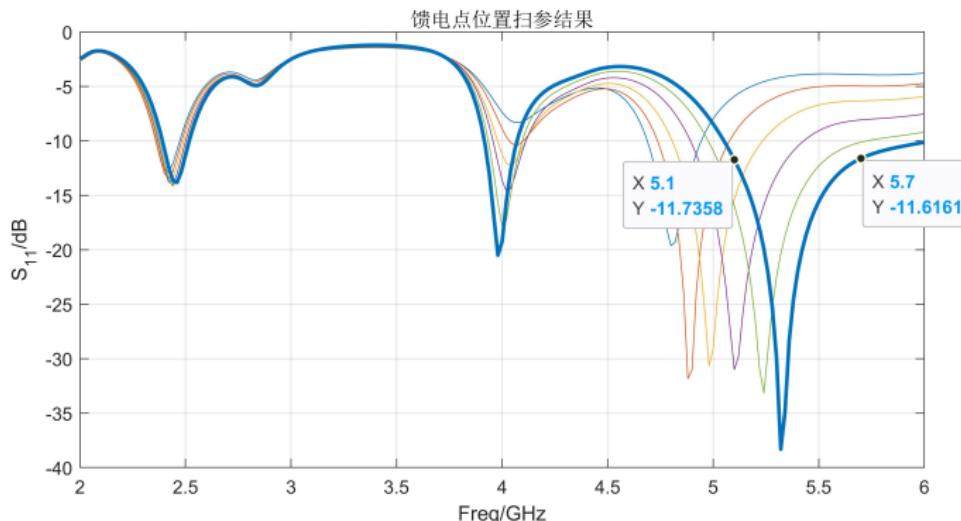
建模仿真——短路导线半径的扫描

取短路导线半径为 0.5mm 时，此时 2.4GHz 和 2.5GHz 的 S_{11} 分别为 -10.69dB 和 -11.49dB，满足条件，且最优，因此取短路导线半径为 0.5mm。



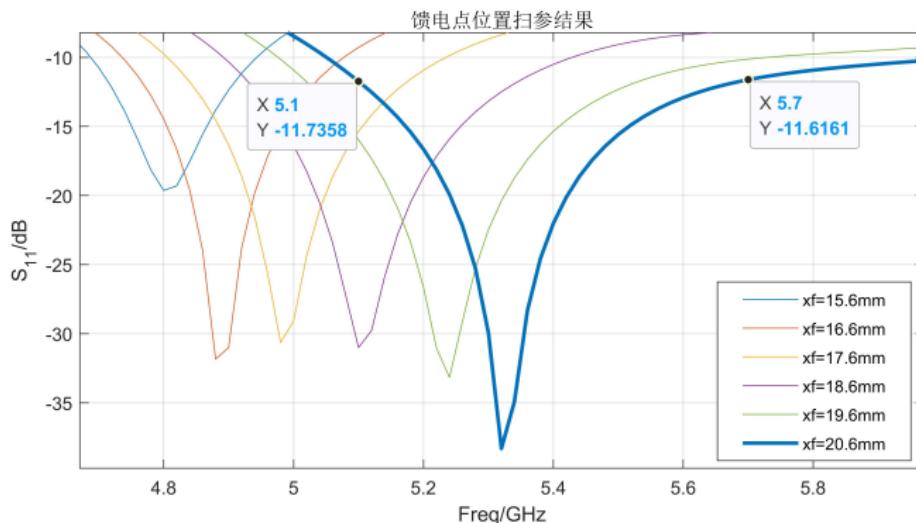
建模仿真——馈电点 x_f 坐标扫描

在保持短路导线的半径 =0.5mm, 馈电点位置 $x_f = 20.6mm$, 馈电探针半径 0.6mm, 短路点 y 坐标 =17.5mm 不变时, 改变馈电点的 x 坐标, 其仿真结果如下图所示:



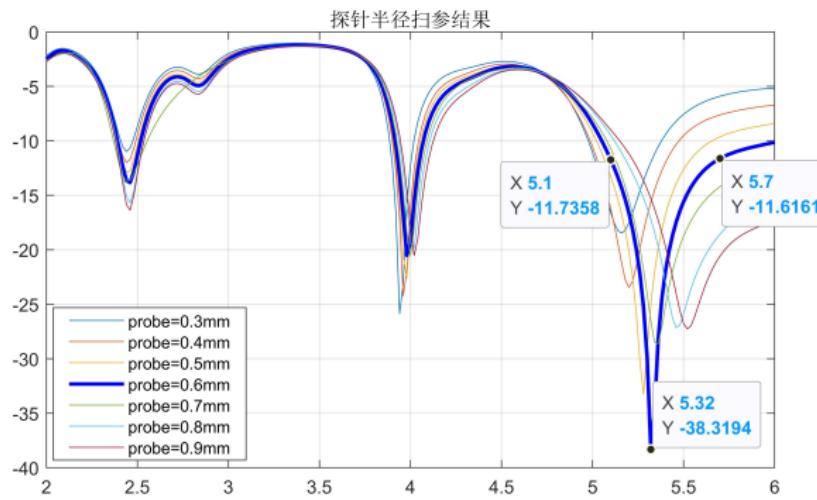
建模仿真——馈电点 x_f 坐标扫描

根据扫参的结果我们可以看出，馈电点位置主要影响高频段的谐振频率点，即随着 x_f 的增大，高频段的谐振频率点右移，可以看到，当 $x_f = 20.6mm$ 的时候，高频段谐振点频率与要求的 5.5GHz 频率最为接近。



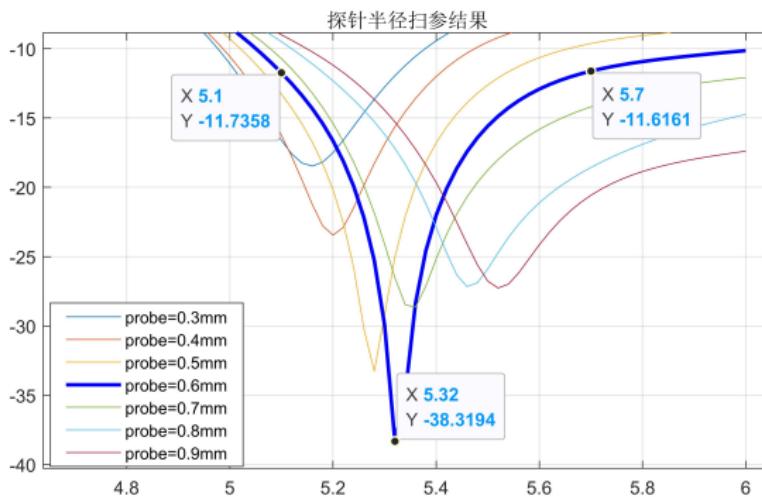
建模仿真——馈电探针半径的扫描

在保持短路导线的半径 =0.5mm，馈电点位置 $x_f = 20.6mm$ ，短路点位置（8.2mm,17.5mm）不变时，改变馈电探针半径，其仿真结果如下图所示：



建模仿真——馈电探针半径的扫描

根据仿真结果我们可以知道，随着馈电探针的半径增大，其高频段谐振点频率右移，低频段的 S_{11} 参数变得更好。在探针半径为 0.6mm 时，5.1GHz 和 5.5GHz 时 S_{11} 分别为 -11.73dB 和 -15.58dB，满足要求且最佳。

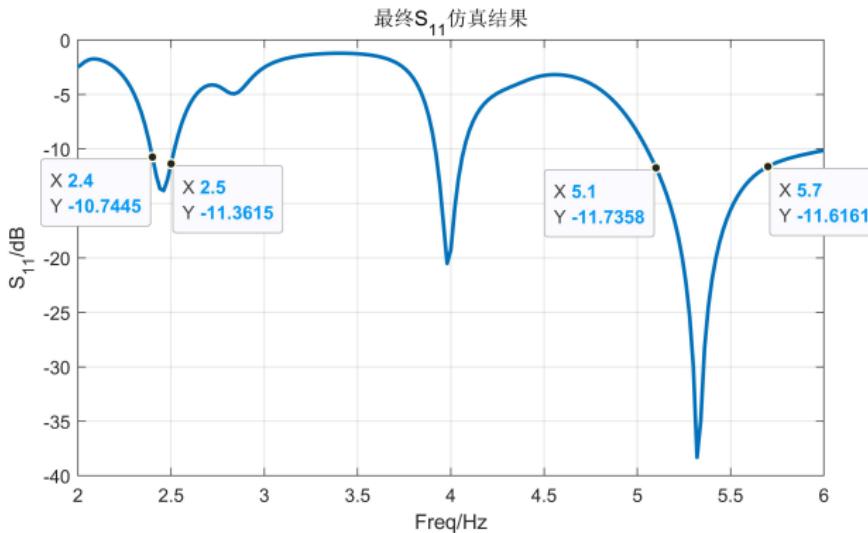


建模仿真——通过仿真所确定的参数

参数名称	值 (mm)
短路点纵轴坐标 y_d	17.5
短路导线半径	0.5
馈电点横轴坐标 x_f	20.6
馈电探针半径	0.6

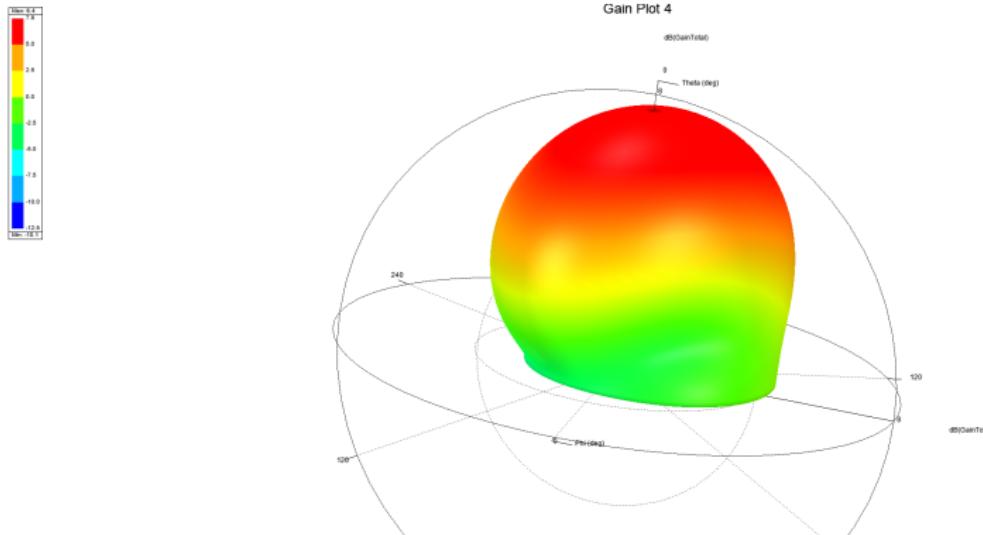
建模仿真——参数确定后的结果图

在参数确定后画出其 S_{11} 图，结果如下。可看到各项指标均满足设计要求。



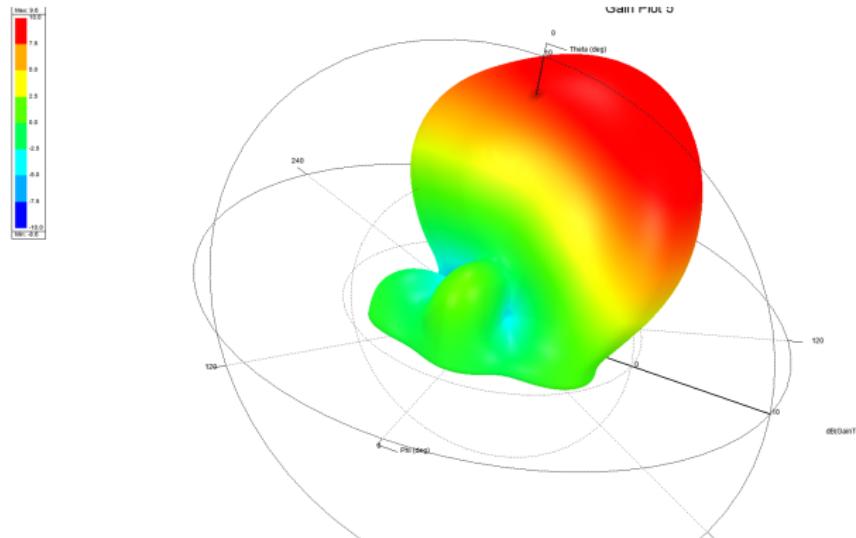
建模仿真——天线增益方向图

在参数确定后画出其增益方向图如下。天线在 2.45GHz 的增益为 6.35dB，满足要求。



建模仿真——天线增益方向图

在参数确定后画出其增益方向图如下。天线在 5.5GHz 的增益为 9.63dB，满足要求。



实物加工及测试——实物图

在通过仿真确定好天线的各项参数后，便进行实物加工，并测试。

实物图片如图（12）、图（13）所示。

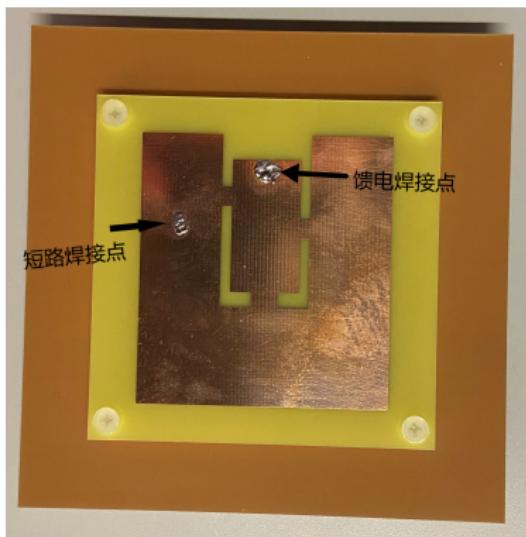


Figure 12: 天线正面图

实物加工及测试——实物图



Figure 13: 天线反面图



实物加工及测试—— S_{11} 测试结果

运用矢量分析仪对测量天线的 S_{11} , 得到结果如下

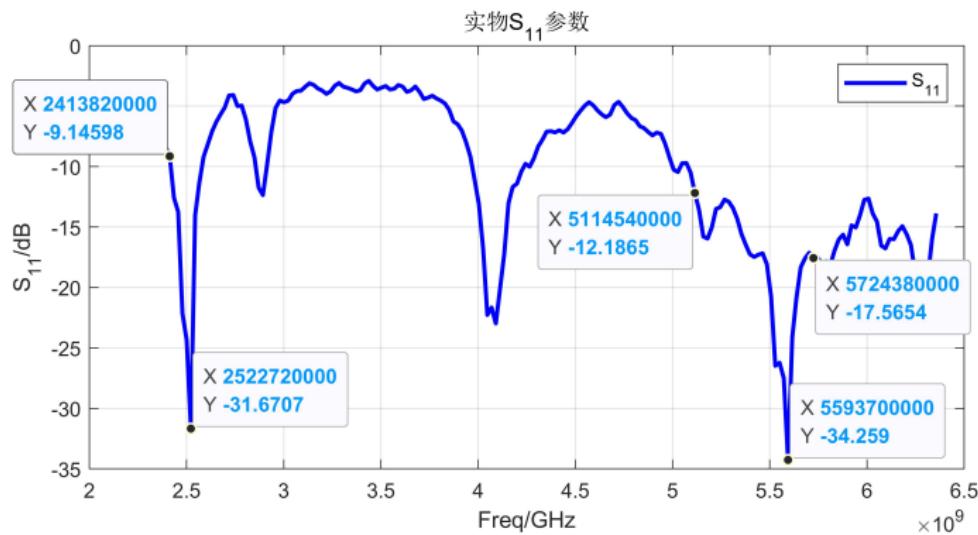


Figure 14: S_{11} 实物测试结果

实物加工及测试—— s_{11} 测试结果分析

运用矢量分析仪对测量天线的 S_{11} ，高频段得到结果如下。可以看到其 S_{11} 满足指标设计要求，且优于仿真结果。

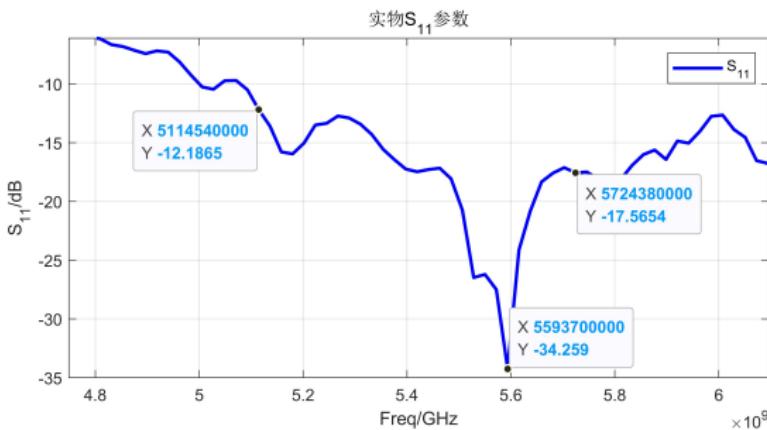


Figure 15: S_{11} 高频段测试结果

实物加工及测试—— S_{11} 测试结果分析

运用矢量网络分析仪对测量天线的 S_{11} , 低频段得到结果如下。可以看到在 2.4GHz 其 S_{11} 为-9.1dB 左右, 在 2.5GHz 其 S_{11} 为-31.6dB 左右, 基本满足要求。

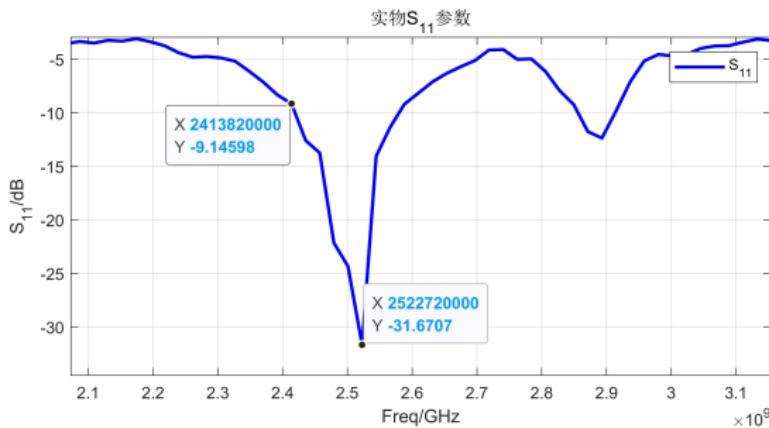
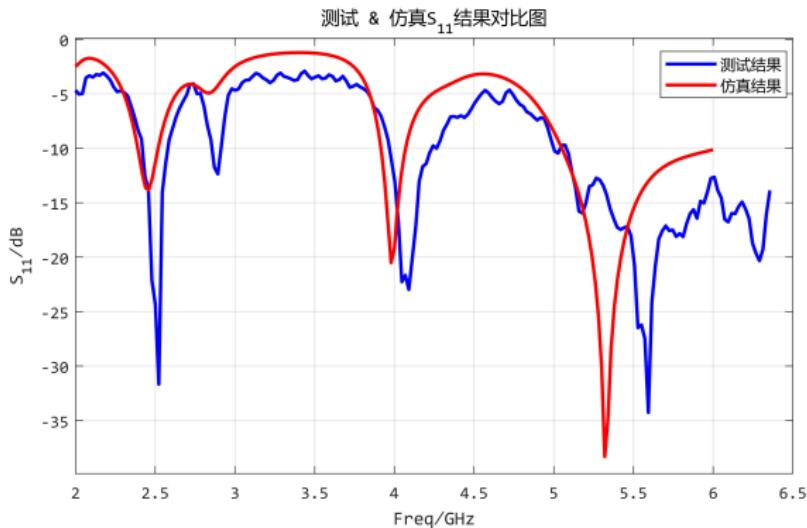


Figure 16: S_{11} 低频段测试结果

实物加工及测试—— S_{11} 测试仿真结果对比

将仿真所得的 S_{11} 和运用矢网所得的 S_{11} 进行对比，得到结果如下：



实物加工及测试—— S_{11} 测试结果分析

在低频，仿真结果和测试结果有较高的吻合度；但在高频，发现测试结果和仿真结果有一定的偏差。

实物加工及测试—— S_{11} 测试结果分析

在低频，仿真结果和测试结果有较高的吻合度；但在高频，发现测试结果和仿真结果有一定的偏差。

原因推断：

在仿真分析中，我们得到这样的结论：即影响高频的因素是馈电探针的位置和半径。但是在实物焊接的过程中：

- ① 因于条件限制，馈电探针的半径不能和仿真所得到的结果一致，相较于仿真所得的 0.6mm 半径较大，导致谐振点向高频移动。
- ② 由于手工焊接，导致馈电探针没有与天线垂直，而是有一定的倾斜。



总结展望

在本次项目中，我们对论文《应用于无线局域网的低剖面宽带双频微带天线的设计》进行了复现。

- ① 首先是阅读相关文献，对相关理论进行了分析和学习，并大致了解了此领域的研究状况。

总结展望

在本次项目中，我们对论文《应用于无线局域网的低剖面宽带双频微带天线的设计》进行了复现。

- ① 首先是阅读相关文献，对相关理论进行了分析和学习，并大致了解了此领域的研究状况。
 - ② 其次是按照论文对天线进行了建模和仿真，且在仿真中发现了一些和论文不同的数据和结果。这考验我们的批判和质疑精神。

总结展望

在本次项目中，我们对论文《应用于无线局域网的低剖面宽带双频微带天线的设计》进行了复现。

- ① 首先是阅读相关文献，对相关理论进行了分析和学习，并大致了解了此领域的研究状况。
 - ② 其次是按照论文对天线进行了建模和仿真，且在仿真中发现了一些和论文不同的数据和结果。这考验我们的批判和质疑精神。
 - ③ 最后是对仿真模型进行了实物加工，并对实物进行了数据测试，感受并体验到了从理论到实践的过程，体会到理论和实践还是有一定距离的。因为理论只能指导实践而不能决定实践，现实中有许多不确定的因素是理论无法考虑进去的。



总结展望

本次课程设计中，我们体会到了完整的科研过程，增强了对于科研的认识，并提高了有关科研的一些基本技能。

希望以后能在科研的路上有所作为！

参考文献

- [1] 罗歆瑶, 袁家德. 应用于无线局域网的低剖面宽带双频微带天线的设计 [J]. 福州大学学报 (自然科学版), 2017, 45(06): 829-832.
 - [2] 张磊, 潘传红, 栾秀珍, 刘占友, 王均松. 一种用于 WLAN 的双短路针调谐 U 形槽加载的双频微带贴片天线 [J]. 大连海事大学学报, 2007(S2): 147-148.
 - [3] 李鑫, 丁军, 吕晓德. 一种用于 WLAN 的 U 形槽加载的双频贴片微带天线 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2007(03): 380-384.
 - [4] 杨晋乾, 王旭光. 一种应用于 5G 的双频微带天线设计 [J]. 信息通信, 2020(06): 83-85.
 - [5] 杨晋乾, 王旭光. 一种应用于 5G 的双频微带天线设计 [J]. 信息通信, 2020(06): 83-85.

谢谢聆听！