

在相同相对介电常数情况下不同厚度的微带贴片天线设计与仿真验证

潘进勇 薛团结 孙蔓

(河海大学计算机与信息学院 南京 210096)

摘要: 微带贴片天线的基板材料的相对介电常数和介质板厚度是影响天线性能的重要因素。为了验证在相同相对介电常数的情况下,改变介质基板的不同的厚度时微带矩形贴片天线的阻抗带宽的变化,通过 HFSS 软件设计和仿真了工作频率为 1.95 GHz 的 4 个矩形微带贴片天线,相对介电常数均为 2.2,介质基板厚度分别设计为 0.8、1.6、2.4、3.2 mm,比较其各自的 S 参数、方向图,通过仿真结果验证了相关文献所述的对于在给定的频率下,选用相同的基板材料时,厚度增大时阻抗带宽会变大的说法。

关键词: 微带贴片天线; S 参数; 方向图; HFSS 仿真

中图分类号: TN826; TP15 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1025

Design, simulation and verification of the microstrip patch antennas with the same relative dielectric constant and different thicknesses

Pan Jinyong Xue Tuanjie Sun Man

(College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The dielectric constant and the substrate thickness are the important factors which affect the performance of antenna. In order to verify the change in the impedance bandwidth of the microstrip rectangular patch antenna when varying the thickness of the dielectric substrate in the case of the same relative permittivity. In this paper, four rectangular microstrip patch antennas with operating frequency of 1.95 GHz are designed and simulated by using HFSS. The relative permittivity is 2.2, and the thicknesses of dielectric substrates are 0.8, 1.6, 2.4, 3.2 mm. Comparison has been made between the four different patch antennas, such as S-parameters chart and pattern. The simulation results verify that at a given frequency, when choosing the same substrate material, the impedance bandwidth is increases when the thickness increases as described in the related literature.

Keywords: microstrip patch antenna; S-parameters; pattern; HFSS simulation

0 引言

随着现代通讯技术的发展,微带天线因其体积小、重量轻、低剖面的独特优点得到了广大设备商的青睐^[1]。微带贴片天线是微带天线的一种基本类型,是一种谐振型天线,通常只在谐振频率附近工作,设计这种天线首先得保证它的谐振频率不发生偏移^[2-3]。相关文献^[3-4]均有微带贴片天线的设计和理论介绍,但均是在给定相关介电常数和基板厚度的情况下设计而成,并没有实际对于不同厚度的天线做过 HFSS 的仿真进行比较,本文将设计同一基板材料时不同厚度的 4 个微带矩形贴片天线,对其仿真,查看这 4 个天线性能的差异,从而验证基板厚度对天线性能的影响。

1 微带贴片天线的设计

1.1 HFSS 的简单介绍

本文将采用 Ansoft HFSS 15.0 软件进行天线的设计仿真。Ansoft HFSS 是高频结构仿真器 (high frequency structure simulator) 的缩写,是世界上第一个商业化的三维结构电磁场的仿真软件,它可以对任意结构的三维无源高频电磁场进行仿真,可以直接得到 S 参数、传播常数、辐射场以及天线的方向图、特征阻抗等结果^[1-2]。

1.2 微带贴片天线的介绍和理论计算

微带天线是由辐射金属贴片、地板和介质板 3 大板块组成^[5-8]。电磁谐振主要是通过微带线、同轴线等馈电形式

在贴片和地板空间激励,然后通过天线等效缝隙往外部空间辐射^[2,6-7]。本次设计的天线采用微带矩形贴片天线。

微带矩形贴片天线的平面图如图 1 所示。

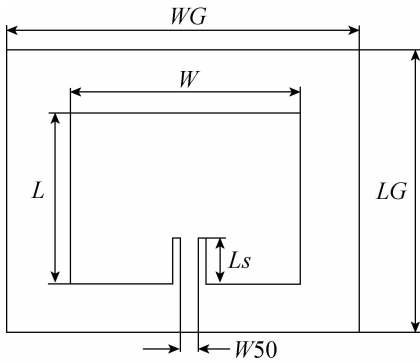


图 1 微带贴片天线平面图

在微带贴片天线设计过程中,多个技术指标相互联系又相互影响^[6-8],所以需要天线的性能指标进行综合考虑,从而选择符合实际要求的贴片技术参数。以矩形微带贴片天线为例,设计时需要考虑的参数包括介质板厚度 h ,辐射元宽度 W ,辐射元长度 L ,基板宽度 WG ,基板长度 LG ,基板相对介电常数 ϵ_r 和损耗正切 $\tan\delta$ 。在这些需要考虑的参数中,应该先从基板材料的相对介电常数 ϵ_r 和损耗正切 $\tan\delta$ 以及介质板的厚度 h 的选取着手,因为这些参数可以通过经验公式^[9-10]估算出其他参数的值。而损耗正切 $\tan\delta$ 又与相对介电常数 ϵ_r 相对应,所以基板的相对介电常数与介质板的厚度决定了微带天线的性能,本文将设计在相同相对介电常数的基板材料下的不同基板厚度的天线来进行对比实验,验证相关文献提出的关于基板厚度对于天线性能影响的结论。

本次设计的 4 个天线的谐振频率为 1.95 GHz,采用微带侧边馈电的方式。主要设计性能指标包括:回波损耗 $S_{11} \leq -15$ dB, $VSWR \leq 1.5$,最大方向增益 $G \geq 3$ dB^[11-14]。

根据天线的谐振中心频率,可以计算出自由空间波长 λ_0 为 153.85 mm。本次选择相对介电常数为 2.2,厚度为 {0.8 mm, 1.6 mm, 2.4 mm, 3.2 mm} 的介质板材料,根据经典传输线理论^[4-5],首先分别计算出这 4 个不同厚度的微带贴片天线的辐射单元的尺寸,假设谐振频率为 f_r ,相对介电常数为 ϵ_r ,光速为 c ,辐射单元的宽度 W 的计算公式^[2,7-8]为:

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

假设 λ_c 是介质内的导波波长, ϵ_e 是有效介电常数,计算公式^[2,7-8]为:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \quad (2)$$

$$\lambda_c = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_e}} \quad (3)$$

考虑到边缘缩短效应后,实际上的辐射单元长度计算公式^[2,7-8]为:

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L \quad (4)$$

ΔL 是等效辐射缝隙长度,计算公式^[2,7-8]为:

$$\Delta L = \frac{0.412h(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

至此,辐射单元的长宽均可计算出。基板的长宽 LG 和 WG 没有特定的公式可以估算,实际设计时按工程经验来设定^[1]。而用于侧边馈电的传输线的长宽 $L50$ 和 $W50$ 可以用 ADS 软件的 LineCalc 来计算^[9],厚度为 0.8 mm 时计算馈线长宽的软件截图如图 2 所示。

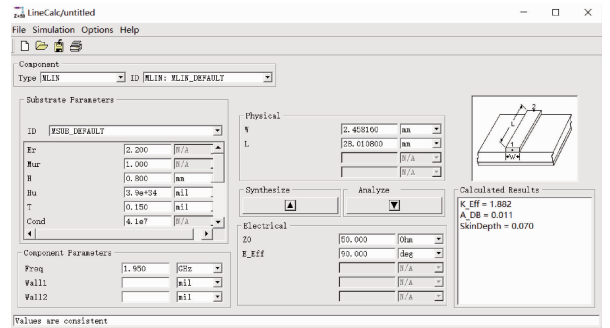


图 2 LineCalc 微带传输线物理尺寸计算截图

这样,4 个天线的物理尺寸均可按照理论计算出,但实际工程设计与理论计算存在一定的误差,经过 HFSS 的反复优化,表给出最终微带贴片天线的物理尺寸。

表 1 天线的物理尺寸 (mm)

变量	0.8	1.6	2.4	3.2
Wp	60.8	60.8	60.8	60.8
Lp	51.1	50.54	50.3	50.1
Lg	80	80	80	80
Wg	90	90	90	90
$W50$	2.47	4.93	7.4	9.9
$L50$	37.85	37.73	37.85	37.75
Ls	18.4	18	18	17.8

在表 1 中, Wp 是矩形贴片天线的宽度, Lp 是矩形贴片天线的长度, Lg 是接地板的长度, Wg 是接地板的宽度, $L50$ 是 50 Ω 微带线长度, $W50$ 是 50 Ω 微带线宽度, Ls 是缝隙长度。

用 HFSS 建立模型后,还需对馈电口建模,并设置环境边界和激励源。最终的 HFSS 模型如图 3 所示。

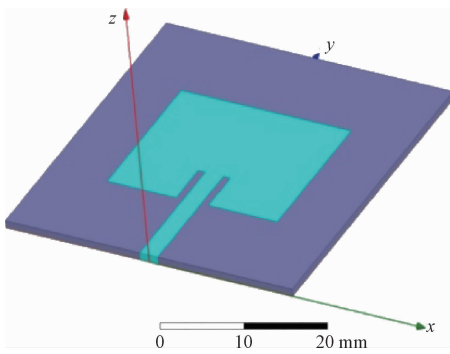


图 3 微带贴片天线的 HFSS 建模图

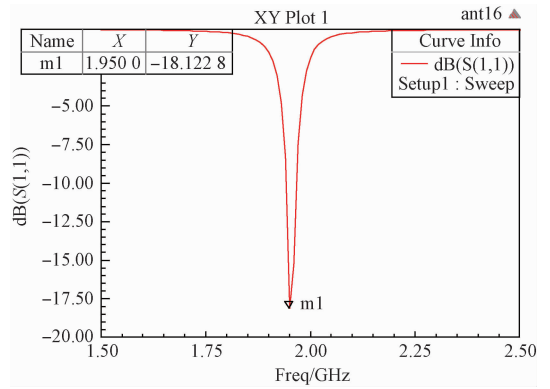


图 6 $h=1.6$ mm 时 HFSS 的 S11 曲线

1.3 仿真结果与比较

1) 厚度 $h=0.8$ mm

由仿真结果可知,在谐振频率 1.95 GHz 处的回波损耗 $S_{11}=-19.7$ dB,阻抗带宽为 14 MHz,最大方向增益 7.46 dB,如图 4、5 所示。

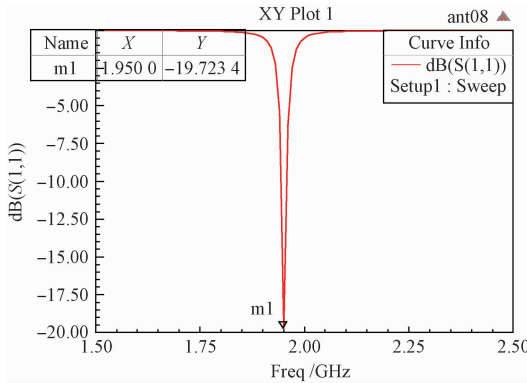


图 4 $h=0.8$ mm 时 HFSS 的 S11 曲线

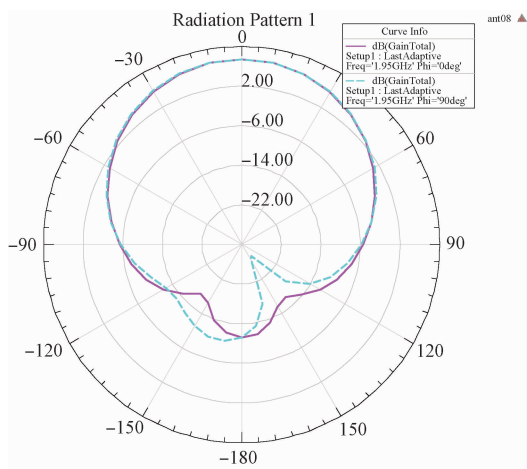


图 5 $h=0.8$ mm 时 HFSS 的 EH 面方向

2) 厚度 $h=1.6$ mm

由仿真结果可知,在谐振频率 1.95 GHz 处的回波损耗 $S_{11}=-18.1$ dB,阻抗带宽为 25 MHz,最大方向增益 7.67 dB,如图 6、7 所示。

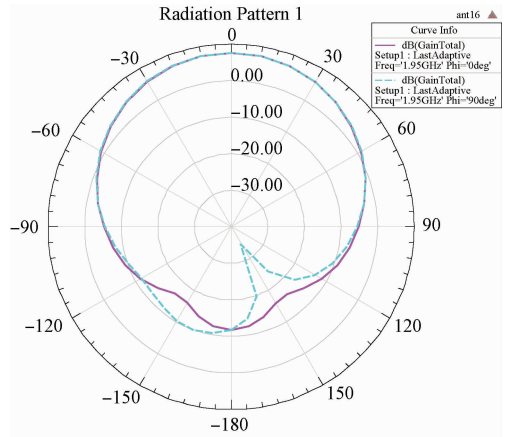


图 7 $h=1.6$ mm 时 HFSS 的 EH 面方向

3) 厚度 $h=2.4$ mm

由仿真结果可知,在谐振频率 1.95 GHz 处的回波损耗 $S_{11}=-29.7$ dB,阻抗带宽为 34 MHz,最大方向增益 7.68 dB,如图 8、9 所示。

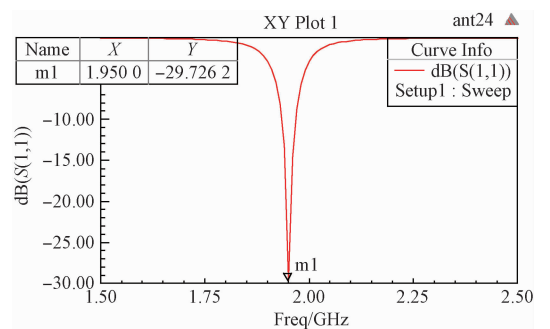


图 8 $h=2.4$ mm 时 HFSS 的 S11 曲线

4) 厚度 $h=3.2$ mm

由仿真结果可知,在谐振频率 1.95 GHz 处的回波损耗 $S_{11}=-34.6$ dB,阻抗带宽为 43.3 MHz,最大方向增益 7.72 dB,如图 10、11 所示。

表 2 为 4 个天线的仿真汇总表。

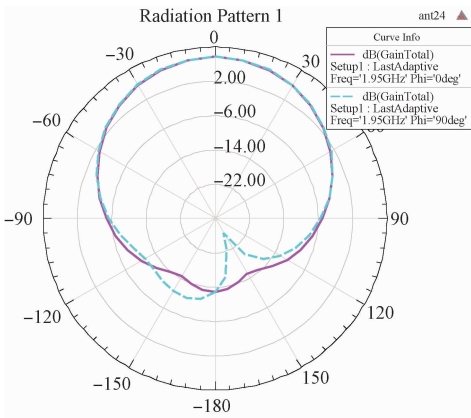


图 9 $h=2.4$ mm 时 HFSS 的 EH 面方向图

其带宽往往比较窄^[4-5];2)这 4 个天线在谐振点的 S11 均满足小于 -15 dB,说明输入阻抗的频率特性比较理想,天线与馈线都达到较好的阻抗匹配^[6-7,9,15];3)在相同的谐振频率和基板材料时,随着基板厚度 h 的增大,天线的阻抗带宽也相应变大,这验证着相关文献^[3,8-9]中的关于基板厚度对阻抗带宽的影响分析,为实际工程中的设计与制作提供了一定的参考。

参考文献

[1] 徐兴福. HFSS 射频仿真设计实例大全[M]. 北京:电子工业出版社, 2015.

[2] 李明洋, 刘敏. HFSS 天线设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2014.

[3] 刘藤. 微带天线的理论研究与工程设计[D]. 成都:电子科技大学, 2011.

[4] 邓曦. 微带天线的小型化研究[D]. 成都:西南交通大学, 2010.

[5] 孙绪保, 郭银景, 姜琳. 微波技术与天线[M]. 北京:机械工业出版社, 2015.

[6] 李艳, 戴亚文. 基于 HFSS 矩形微带贴片天线的仿真设计[J]. 机电工程技术, 2010, 39(10):40-41.

[7] 吴志雄, 王洪. 基于 HFSS 的 915MHz 微带天线设计与仿真验证[J]. 荆楚理工学院学报, 2010, 25(7):5-8.

[8] 高顺, 王安国, 裴静, 等. 一种旋向与轴比均可重构极化微带天线的设计[J]. 电子测量技术, 2011, 34(8):1-5.

[9] 崔莎. 适用于移动终端的小型化 MIMO 天线的研究与设计[D]. 西安:西安电子科技大学, 2012.

[10] 王燕燕, 姜弢, 李迎松. 基于缺陷微带线结构的三阻带滤波器研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(4):645-652.

[11] 严冬, 程亚军, 汪朋, 等. 基于结构合成法的微型化双频 WLAN 印刷天线设计[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(6):1421-1432.

[12] 韩红斌, 刘少强. 基于 HFSS 对目标 RCS 的仿真研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(3):60-63.

[13] 杨帅. 微带天线小型化技术研究[D]. 成都:西南交通大学, 2010.

[14] 刘义. 移动通信中小型化双频微带天线的研究及设计[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2010.

[15] 陈宏然. 微带天线小型化的研究与设计[D]. 大连:大连交通大学, 2010.

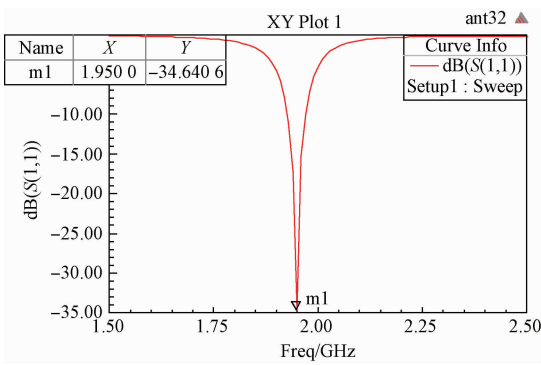


图 10 $h=3.2$ mm 时 HFSS 的 S11 曲线图

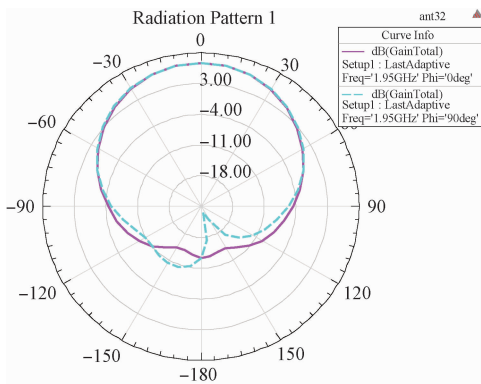


图 11 $h=3.2$ mm 时 HFSS 的 EH 面方向图

表 2 仿真结果

	$h=0.8$ mm	$h=1.6$ mm	$h=2.4$ mm	$h=3.2$ mm
阻抗带宽 /MHz	14	25	34	43.3

2 结 论

通过对 4 个不同基板厚度的微带贴片天线的仿真,可以得到的结论:1)微带贴片天线由于自身电磁特性的原因,

作者简介

潘进勇, 硕士研究生, 主要研究方向为信号与信息处理、天线阵列设计等。
E-mail: ssjy0512@163.com