

平面小型圆极化天线分析模拟与制作

赵伟岸,刘颖力,许江

(电子科技大学 微电子与固体电子学院,四川 成都 610054)

摘要:在腔体模型结合积分方程法分析基础上,借助 CST microwave studio 和 Ansoft HFSS 进行结构仿真,采用同轴馈电方式,完成圆环小型微带线全向天线的设计。在 1.575 GHz 的中心频率实现大于 50 MHz 的带宽同时增益大于 12 dB,轴比小于 6 dB,在 3 GHz 下获得大于 10 dB 增益,在 4.6 GHz 下获得了大于 10 dB 的增益,改进和优化设计后取得更理想的结果。使用单层 FR4 基板材料三维尺寸小于 40 mm×40 mm×2 mm,两种软件仿真结果吻合较好且制作了样品进行测试验证,为类似平面天线的设计提供了思路和依据。

关键词:微带天线;多频点;腔体模型分析;小型化天线

中图分类号:TN82 **文献标识码:**A

Analysis, Simulation and Production of Miniature Planar Polarized Antenna

ZHAO Weian, LIU Yingli, XU Jiang

(School of Microelectronics and Solid-state Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Based on the cavity model analysis and the integral equation method, the structure was simulated with CST microwave studio and Ansoft HFSS, a ring patch polarized omni-directional antenna has been designed with the coaxial line feed. The gain is greater than 12 dB at the central frequency of 1.575 GHz with more than 50 MHz bandwidth and lower 6 dB of axial ratio is reached, the gain of more than 10 dB is obtained at 3 GHz and the gain of greater than 10 dB at 4.6 GHz is obtained. After optimized and improved design, the better results have been achieved. The three dimensions of single layer by FR4 substrate material is smaller than 40 mm×40 mm×2 mm. The results of the two simulation software agreed well with each other and a fabricated sample was tested, it is remarkable for the similar planar antenna.

Key words: microstrip antenna; multi frequency; cavity model analysis; compact antenna

0 引言

无线通讯和卫星信号传输系统的快速发展对电子设备尤其是天线性能提出更高要求,特别在小型化、轻量化、易加工、低成本和高稳定性等方面,微带天线与平面微带电路易于集成,同时有较宽应用频带和多频率工作的微带天线则具备广泛的应用范围。传统的微带天线分析以传输线模型分析居多,但基于经典分析的设计并未考虑场在垂直方向上变化且只适合较简单的结构,采用积分方程法、矩量法或有限元等方法设计的平面天线准确度更高,而且适用于多种复杂结构和馈电耦合^[1]。本文在空腔模型法结合积分方程法分析微带天线辐射机制后,借助 CST microwave studio 和 Ansoft HFSS 仿真设计模型并制作样品,验证本次设计。

1 圆环微带天线的理论分析

微带线结构天线辐射由贴片边缘场对地的法向

分量 and 切向分量激发,法向分量在贴片长度为半波长时反相,远场区相互抵消,平行于地板的切向分量同相增强合成场,亦垂直于结构表面辐射场最强^[2]。

考虑一圆形贴片,将贴片与接地板之间看作四周是磁壁,上、下为电壁的谐振空腔,并假设圆形贴片半径为 a ,使用介电常数为 ϵ 的基板材料且基板厚度为 h ,矢量电位方程为:

$$\nabla^2 A_x + k^2 A_x = 0 \quad (1)$$

式中函数 A 为电磁场的矢量位函数; k 为波矢量。

则 TM_{mn} 模谐振频率为

$$f_r = \frac{K_{mn}c}{2\pi a\epsilon_r\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

式中 K_{mn} 为 n 阶贝塞尔函数的第 m 个零点。

有效半径为

$$a_e = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} + \left(\ln \frac{\pi a}{2h} + 1.7726 \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

收稿日期:2011-04-30

作者简介:赵伟岸(1986-),男,黑龙江省绥化人,硕士生,主要从事电子材料与器件、电磁场和微波技术研究。

式中 ϵ_r 为外半径 b 与内半径 a 之差 $(b-a)$ 微带线等效介电常数。那么,以 b, a 的圆环微带贴片作圆环腔体时,圆环谐振器的电场和磁场分布表示为:

$$E_z = E_0 [J_n(\kappa\rho)Y'(n\pi a) - J'_n(\kappa a)Y(\kappa\rho)] \cos n\varphi \quad (4)$$

$$H_\varphi = \frac{-j\omega\epsilon\partial E_z}{\kappa^2 \partial\rho} \quad (5)$$

考虑边缘效应后谐振频率

$$f_r = \frac{kc}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

式中: $k = \frac{2n}{a+b}$, $n=1$; $k = \frac{22.3+(n-1)\times 7.58}{b-a}$, $n \geq 2$ 。此情况下等效外半径 b 附加一修正量 $W_e(f)$, 其中:

$$W_e(f) = \frac{120\pi h / [Z_0\sqrt{\epsilon_r} - (b-a)]}{2[1 + (2\mu h f / Z_0)^2]} \quad (7)$$

式中: Z_0 为圆环微带线特征阻抗; μ 为基板材料的磁导率; f 为工作频率。

根据式(6)可计算出圆环微带贴片天线的频率点,误差在 8% 内。

进一步采用积分方程法计算,结合之前所述空腔模型,可进一步提高设计准确度。假设贴片电流激励为:

$$J_s(\rho) = -\hat{\rho} \sum_{n=0}^{\infty} f_{n1}(\rho) \cos n\varphi + \hat{\varphi} \sum_{n=0}^{\infty} f_{n2} \sin n\varphi \quad (8)$$

电场计算可用

$$E_n = \int_0^{\infty} H_n(k,\rho) G(k_n) f^T(k_n) dk_n \quad (9)$$

电场位于贴片表面,切向电场为 0 以矩量法解方程可知电流分布。从而可计算辐射场和谐振频率^[3-6]。利用商用电磁开发工具 Ansoft HFSS 和 CST 辅助天线的设计, HFSS 基于的有限元法和 CST 的积分方程法均可实现频域和时域的计算,因此在各种求解和辐射场及本征值问题上有优势。

2 天线的仿真设计和样品制作

常见圆环微带贴片天线结构如图 1 所示,常见的馈电方式包括微带线馈电、共面波导馈电及电磁耦合等形式。本次设计采用单点直接同轴线连接金属圆环微带线形式,通过一组仿真来确定最合适馈电点位置。未加匹配网络与标准接口互连情况下,实现多频工作、左旋圆极化全向辐射的目标要求,设计结构如图 1 所示。图中 p 为金属电导率。

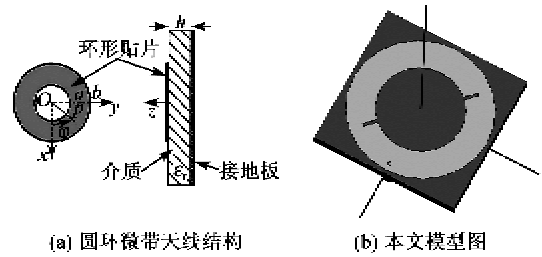


图 1 一般圆环微带天线结构及本设计的模型图

经计算和修正后确定 $b=19\text{ mm}$, $a=11\text{ mm}$, 基板平面尺寸以 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 即可, $h=1.5\text{ mm}$, 以 $50\ \Omega$ 标准 SMA 同轴电缆进行馈电,从而完成天线模型设计。

为实现圆极化和确定极化方式,在设计中对圆环微带金属加载两条矩形窄缝,开隙角度在进行尺寸调节后与馈电位置分别呈 45° 和 135° 。在加载缝隙后中心谐振频率会产生一定影响,多频率获得高于 10 dB 的 S_{11} 同时驻波比小于 2。 S_{11} 参数的 HFSS 和 CST 仿真结果对比曲线如图 2(a) 所示。

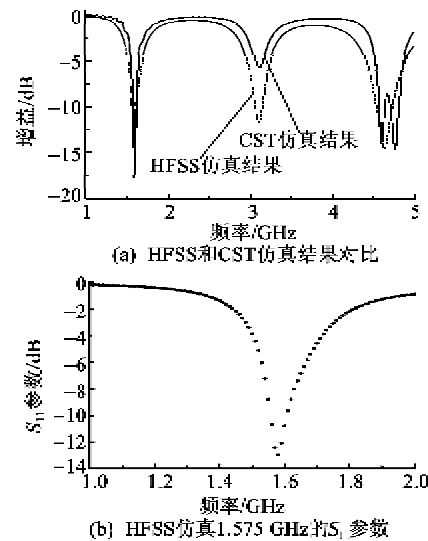


图 2 HFSS 和 CST 仿真结果对比及 HFSS 仿真 1.575GHz 的 S_{11} 参数

对比 HFSS 和 CST 结果,在 1.575 GHz、3 GHz 和 4.6 GHz 的 S_{11} 尽管数值大小略有差异,但是频率谐振点契合的很好,验证预期目标同时说明设计的有效性和价值。使用 HFSS 仿真在 1.575 GHz 即 GPS 卫星频段附近所得 S_{11} 结果如图 2(b) 所示,在小尺寸条件下获得大于 50 MHz 带宽。使用基板材料为玻璃环氧树脂(FR4),介电常数为 4.4,既可满足一定带宽的同时也有利于批量加工制作。平面圆环微带天线的电场分布如图 3 所示,在缝隙附近场强增强,电流路径延长降低了谐振频率。

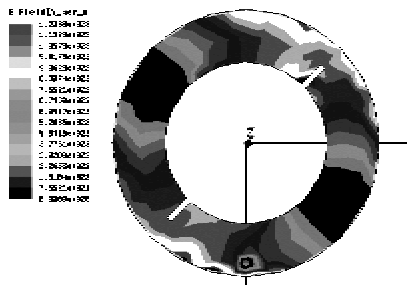


图 3 辐射元电场分布

图 4 为 E 面增益辐射方向图。极化方式为左旋圆极化,圆极化天线可接受各类极化电磁波,辐射波也为各类天线接收,在极化匹配情况下,性能达到最好。但只由方向图不足以说明极化性能,得到主模频率下轴比曲线如图 5 所示。

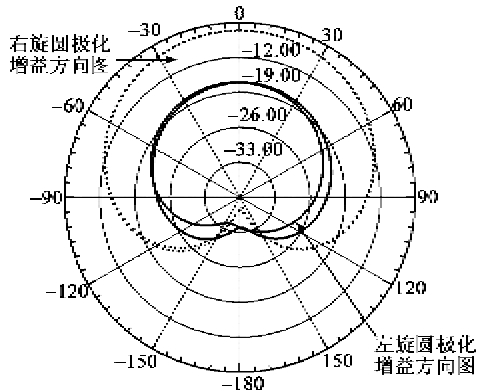


图 4 圆极化增益方向图

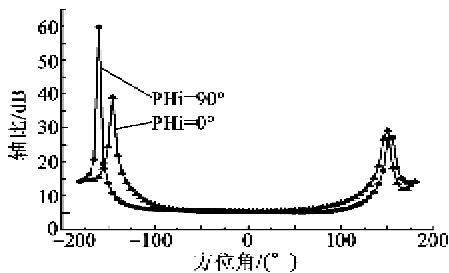


图 5 轴比结果图

在 1.575 GHz 频率下轴比在 θ 角为 $-100^\circ \sim +100^\circ$ 范围内轴比小于 6 dB,可作为定向全方位天线使用。经大量仿真和实验证实,缝隙的宽度对谐振频率影响不大,主要对极化性能产生作用,在满足圆极化方式条件下确定了合适的缝隙长度和宽度,通过 2 个微带缝隙使主模劈裂为 2 个正交模即可实现圆极化。

图 6 为实际制作样品。测试结果和仿真基本相同,证明了设计的可靠性和准确性。小型化多频点微带天线可作为卫星的收发天线,增益和圆极化具有较好性能,可应用于 GPS 定位和信号传输,也可

作为无线传输、测控和通信系统的天线。使用 FR4 基板和 PCB 加工工艺,易于和印制板电路集成。提高加工一致性的同时降低成本。经过实验证实了表面支撑覆盖层厚度不高情况下性能衰减很小,使天线可工作于更安全稳定环境。

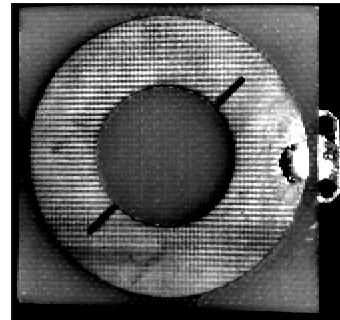


图 6 制作样品图

3 结束语

在 CAD 辅助天线设计中,初步计算结果优化基础上,完成一种平面小型微带天线设计,借助 Ansoft HFSS 和 CST microwave studio 快速有效得到适合 GPS 和 WLAN 等工作环境的贴片天线,内边加载缘缝隙实现圆极化,同时在较小尺寸获得良好辐射方向图和轴比曲线。虽然各频率增益不理想且带宽不高,但多频谐振具有广泛前景,通过改进和新的设计可得到更宽的频带。保持天线性能情况下易于制作和高稳定、高重复性。选用基板材料本身强度大,适应不同温度,易于和印制板电路集成和共形使用,对工程应用有参考价值。

参考文献:

- [1] BALANIS C A. Antenna theory analysis and design [M]. 3 edition, Canada, Wiley-Interscience, 2005.
- [2] WONG K L. Compact and broadband microstrip antennas[M]. USA, John Wiley & Sons, 2002.
- [3] 卢万铮,天线理论与技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [4] 王新稳,李萍.微波技术与天线[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [5] DAHELE J S, LEE K. Effect of substrate thickness on the performance of a circulator-disk microstrip antenna [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 1983, 31(2):358-360.
- [6] RUBIO J, GONZALEZ M A, ZAPATA J. Efficient full-wave analysis of mutual coupling between cavity-backed microstrip patch antennas[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2003, 2(1): 155-158.