

一种 h 形缝隙多频微带天线设计

杨 虹, 陈川江

(重庆邮电大学 光电工程学院, 重庆 400065)

摘 要:通过对传统缝隙微带天线的分析,提出了一种 h 形缝隙微带天线。该天线具有多频带、小型化等特点,通过加载短路探针和在接地板挖槽的方法降低了天线的谐振频率,提高了带宽。利用基于有限元法的电磁仿真软件 HFSS11.0 对天线的特性进行了仿真,仿真结果表明,该天线在回波损耗 $S_{11} < -10$ dB 时,其工作频段为 2.38~2.79 GHz, 4.59~4.75 GHz 和 5.12~5.90 GHz,尺寸比普通微带天线降低了 62.43%,从而验证了这种设计方案的有效性。该天线结构简单易于实现,能够满足无线局域网 802.11a/b/g/n 移动终端内置天线的多频带和小型化的要求。

关键词: h 形缝隙;多频;微带天线;宽频;小型化

中图分类号: TN826 **文献标识码:** A

Design of a Multi-Band h-shaped Slot Microstrip Antenna

YANG Hong, CHEN Chuanjiang

(College of Optical-Electrical Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: A multi-band h-shaped slot microstrip antenna has been proposed based on analyzing the conventional slot microstrip antenna. The proposed antenna has the features of multi-band and miniaturization. The resonance frequency can be reduced and the bandwidth can be increased by being loaded a single shorted-post and being slotted in the ground plate. The characteristics of the antenna have been simulated by using HFSS11.0 software based on the finite element method (FEM). The simulation results showed that the antenna operated at 2.38~2.79 GHz, 4.59~4.75 GHz and 5.12~5.90 GHz when the return loss S_{11} was less than -10 dB, the size reduced 62.43% compared to the general microstrip antenna, demonstrated the effectiveness of the design scheme. The antenna structure is simple and easily to be implemented, met the wireless LAN 802.11a/b/g/n mobile terminal antenna miniaturization and multi-band requirements.

Key words: h-shaped slot; multi-band; microstrip antenna; broadband; miniaturization

0 引言

无线通信技术的迅猛发展和应用推动了现代通信天线向小型化、多频带、多极化的方向发展。微带天线以其体积小,质量轻,低剖面,能与载体共形,易制造,成本低,易与有源器件和电路集成为单一的模块,便于实现圆极化、双极化和双频段等优点而得到广泛的关注和应用^[1]。小型化和宽频带成为微带天线发展的必然趋势。文献[2]提出了一种 h 形贴片微带天线,其不存在其他寄生频率,但相对带宽较窄;文献[3]通过在 h 形天线上加载短路针的方法实

现双频效果;文献[4]则采用 U 形缝隙加载 h 形结构,实现天线的小型化和双频化。本文采用双层电介质基板,通过在 h 形缝隙天线周围加载短路针的方法实现了天线的多频化和小型化,以及在接地板开槽的方式展宽天线的回波损耗带宽。

1 双层介质基板微带天线设计公式研究及验证

双层介质基板微带天线用一层介质基板作为接地板,而在另一层介质基板上表面用光刻腐蚀法做成一定形状金属贴片,用做微带辐射单元,利用微带

收稿日期:2011-11-30

基金项目:重庆市教委科学技术研究基金资助项目(KJ100512);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC 2010BB2412)

作者简介:杨虹(1966-),男,四川蓬溪人,教授,主要从事微电子材料与元器件研究及微波、毫米波集成电路设计与天线设计的研究。
E-mail: yanghong@cqupt.edu.cn

线或同轴线的方式对贴片进行馈电。

假设双层介质基板的总厚度为 h , 其下层介质基板厚度为 h_1 , 得到双层介质基板的相对有效介电常数和相对有效磁导率^[5-6]

$$\epsilon_{\text{ef}} = 1 - q_1 - q_2 + \frac{\epsilon_r(q_1 + q_2)^2}{q_2 + \epsilon_r q_1} \quad (1)$$

$$\mu_{\text{ef}} = 1 - q_1 - q_2 + \frac{\mu_r(q_1 + q_2)^2}{q_1 + \mu_r q_2} \quad (2)$$

式中 q_1 、 q_2 分别为上、下层介质基板在等效介质基板中的填充因子, 由两种材料的所占面积比例决定。

$$q_1 = \frac{h_1}{2h} \left\{ 1 + \frac{\pi}{4} - \frac{h}{w_{\text{ef}}} \ln \left[\frac{\pi}{h} \cdot w_{\text{ef}} - \frac{\sin\left(\frac{\pi h_1}{2h}\right)}{\frac{\pi h_1}{2h}} + \cos\left(\frac{\pi h_1}{2h}\right) \right] \right\} \quad (3)$$

$$q_2 = 1 - q_1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\ln\left(\frac{\pi \epsilon_{\text{ef}}}{h} - 1\right)}{\frac{w_{\text{ef}}}{h}} \quad (4)$$

其中

$$w_{\text{ef}} = w_1 + \frac{2h}{\pi} \ln \left[17.08 \left(\frac{w_1}{2h} + 0.92 \right) \right] \quad (5)$$

$$w_1 = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (6)$$

式中 c 为光速; f_r 为天线的谐振频率; w_1 为双层介质基板的实用宽度。根据介质基板对偶关系^[7] 及 Pucel 公式^[8], 得到基板的等效介电常数 ϵ_e 和等效磁导率 μ_e :

$$\epsilon_e = \epsilon_{\text{ef}} \left(\frac{A-B}{A} \right)^2 \quad (7)$$

$$\mu_e = \mu_r \left(\frac{A}{A-C} \right)^2 \quad (8)$$

其中

$$A = \frac{w}{2h} + \frac{1}{\pi} \ln 2\pi e \left(\frac{w}{2h} + 0.94 \right) \quad (9)$$

$$B = \frac{\epsilon_r - 1}{2\pi\epsilon_{\text{ef}}} \left\{ \ln \left[\frac{\pi e}{2} \left(\frac{w}{2h} + 0.94 \right) \right] - \frac{1}{\epsilon_{\text{ef}}} \ln \left(\frac{e\pi^2}{16} \right) \right\} \quad (10)$$

$$C = \frac{1 - \mu_{\text{ef}}}{2} \left\{ \ln \left[\frac{\pi e}{2} \left(\frac{w}{2h} + 0.94 \right) \right] - \mu_{\text{ef}} \ln \left(\frac{e\pi^2}{16} \right) \right\} \quad (11)$$

最后计算出天线的宽度和长度

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\mu_r \epsilon_{\text{ef}}}{2} \right)^{-1/2} \quad (12)$$

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\mu_e \epsilon_e}} - 2\Delta L \quad (13)$$

$$\Delta L = 0.412 \times \frac{h(\mu_e \epsilon_e + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\mu_e \epsilon_e - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (14)$$

该普通微带天线下层介质基板采用 Terfenol-D 材料, 该材料的磁导率 $\mu_r = 9.30$, 上层采用介电常数 $\epsilon_r = 10.20$ 的 Rogers R03210 的介质基板, $h = 3.00 \text{ mm}$, $h_1 = 1.50 \text{ mm}$, 利用同轴馈线馈电, 天线谐振频率 $f_r = 2.40 \text{ GHz}$ 。将材料参数代入式(1)~(14)中, 计算得到天线的尺寸: $W = 21.20 \text{ mm}$, $L = 14.20 \text{ mm}$ 。按照普通双层介质基板结构设计出天线, 仿真得到其回波损耗曲线如图1所示。

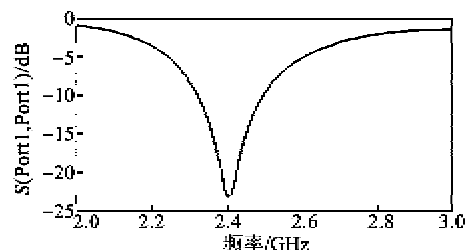


图1 双层介质基板微带天线回波损耗曲线

由图1可见, 该天线的谐振频率为 2.40 GHz , 验证了式(1)~(14)推导的正确性, 为基于双层介质基板微带天线的设计提供初步的尺寸参考。

2 h形缝隙微带天线仿真设计

通过在矩形贴片上开h形缝隙的方法延长电流路径, 降低天线^[10]的谐振频率, 相对减小天线的尺寸, 使天线产生了多频带, 且可工作在高频段。根据上面计算出的天线尺寸, 结合h形缝隙结构, 改变馈电点位置, 得到天线的结构如图2所示, 其中矩形贴片中心与介质基板中心重合, 缝隙宽 1.00 mm 。

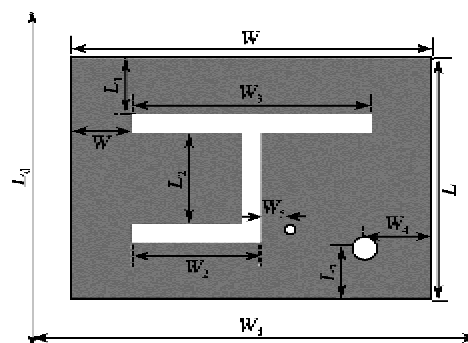


图2 h形缝隙微带天线结构图

根据式(1)~(14)计算出天线的长宽, 按照图2

初步设计出天线的尺寸如表1所示。

表1 天线设计参数

W_d/mm	L_d/mm	W/mm	L/mm	W_1/mm	W_2/mm
26.00	20.00	21.20	14.20	3.60	7.50
W_3/mm	W_4/mm	W_5/mm	L_1/mm	L_2/mm	L_3/mm
14.00	4.60	0.50	3.35	5.50	3.60

采用基于有限元分析法的电磁仿真软件 Ansoft HFSS 11.0, 对所设计的天线进行仿真, 得到天线的回波损耗图如图3所示。

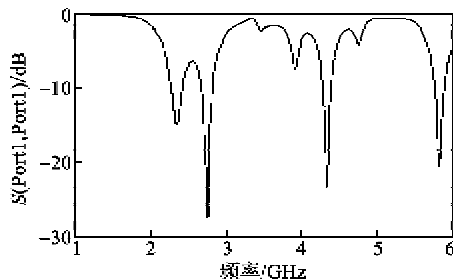


图3 一般h型缝隙微带天线回波损耗图

从图3可看出, 在回波损耗小于-10 dB时, 该缝隙微带天线有4个工作频段: 2.26~2.42 GHz, 谐振频率2.34 GHz; 2.67~2.82 GHz, 谐振频率2.74 GHz; 4.28~4.39 GHz, 中心频率4.33 GHz; 5.76~5.89 GHz, 谐振频率5.82 GHz。该天线虽然实现了多频设计, 但相对带宽较窄, 故需对该天线进行结构上的改进。

3 天线结构的改进

通过在接地板开槽的方式改变其电流流向, 使其电流方向与贴片电流方向相反, 展宽天线带宽, 在介质基板上加短路针, 可降低天线的谐振频率, 从而达到小型化的目的^[9]。接地板开槽位置如图4所示, 接地板开槽缝隙为1.00 mm, 距离介质基板边界的距离见图4。

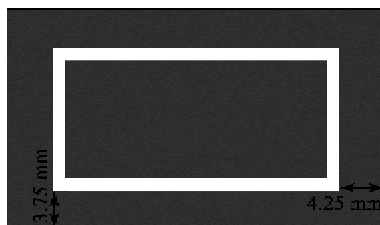
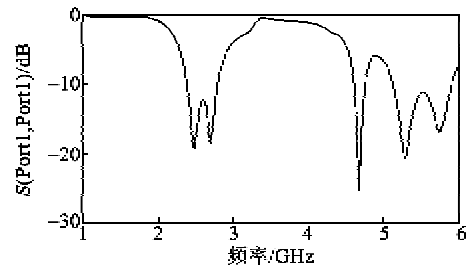


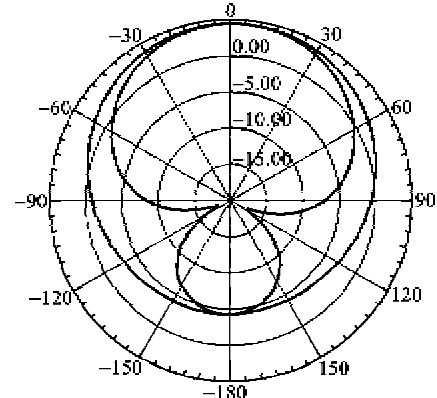
图4 接地板开槽俯视图

由于加入短路探针后改变天线的谐振频率, 需要改变贴片长宽来协调天线的谐振频率与带宽, 通过优化仿真得到天线的最终尺寸 $W=18.20\text{ mm}$, $L=13.40\text{ mm}$, $W_1=2.10\text{ mm}$, $L_1=2.95\text{ mm}$, $L_3=3.20\text{ mm}$, $W_4=4.60\text{ mm}$, 其他尺寸如表1保持不

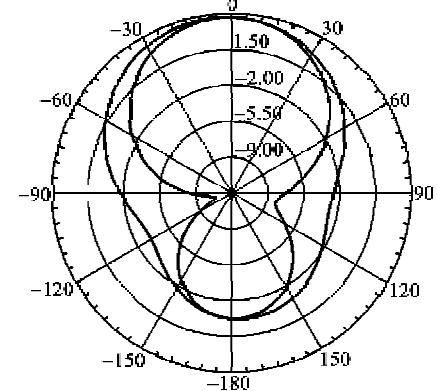
变, 改进后的h形缝隙天线的回波损耗曲线及辐射方向图如图5所示。



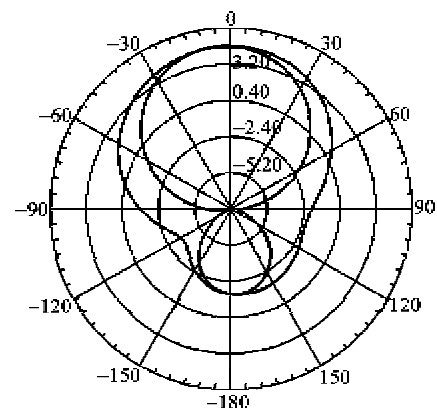
(a) h形缝隙微带天线的回波损耗率



(b) 频率为2.58 GHz



(c) 频率为4.63 GHz



(d) 频率为5.71 GHz

图5 h形缝隙微带天线回波损耗与辐射方向图

由图5可以看出,在回波损耗小于 -10 dB时,天线的带宽分别为 410 MHz ($2.38\sim 2.79$ GHz), 160 MHz ($4.59\sim 4.75$ GHz)和 780 MHz ($5.12\sim 5.90$ GHz),相对带宽分别为 15.86% , 3.42% , 14.15% ,天线具有较宽的工作频带。由图5(b)~(d)可见,当频率为 2.58 GHz时,天线的主辐射方向为 0° ,前向增益为 4.46 dB,其前后比为 8.77 dB;当频率为 4.67 GHz时,天线主辐射方向在 0° ,前向增益达到 4.63 dB,其前后比为 4.84 dB;当频率为 5.51 GHz时,天线在 -4° 时达到最大前向增益为 4.60 dB,其前后比为 5.92 dB。该天线工作带宽覆盖了无线局域网 $802.11a/b/g/n$ 的大部分频段,与文献[2,4]中的微带天线相比,该天线具有更小的尺寸和更高的带宽。

4 结束语

本文推导了双层介质基板微带天线的设计公式,为该天线的设计提供了理论支持。通过在矩形贴片上开h形槽的方法实现了天线的多频特性,并利用在双层介质基板上加短路针以及在接地板开回形槽的方式,实现天线的宽频化和小型化。接地板开槽改变了贴片电流的分布,在 5.29 GHz产生了一个谐振频率,使带宽展宽了 640 MHz,尺寸减小,较好地满足了天线的设计指标要求,具有良好的工程应用前景。但同时我们也注意到,由于在接地板开窗,使其后向辐射增高,同时天线的前向增益不高,因此,下一步的工作重点是制作天线模型,并就如何提高增益,降低后向辐射进行深入研究。

参考文献:

- [1] POZAR D M, SCHAUBERT D H. Microstrip antenna design[M]. New York: IEEE Press, 1995.
- [2] 黄振华,周希朗,牛家晓,等. 新型h形双频微带天线的设计[J]. 微波学报, 2008, 23(增刊1): 17-20.
HUANG Zhenhua, ZHOU Xilang, NIU Jiaxiao, et al. Novel design of an h-shaped dual-frequency microstrip antenna[J]. Journal of Microwaves, 2008, 23(suppl1): 17-20.
- [3] GAO S C, LI L W, YEO T S, et al. A dual-frequency small microstrip antenna[C]//Boston, MA, USA: Antennas and Propagation Soc Int Symposium, 2001, 4: 86-89.
- [4] 戚冬生,黎滨洪,刘海涛,等. 缝隙加H形双频天线[J]. 电波科学学报, 2004, 19(1): 95-98.
QI Dongsheng, LI Binhong, LIU Haitao, et al. Slot-loaded H-shaped dual-frequency antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2004, 19(1): 95-98.
- [5] 于永杰,杨成韬. 层状磁电复合基板微带天线设计及应用[J]. 电子学报, 2010, 38(9): 2021-2024.
YU Yongjie, YANG Chengtao. Bilayered magnetoelectric composites substrate microstrip antenna design and application[J]. ACTA Electronic Sinica, 2010, 38(9): 2021-2024.
- [6] 巫正中. RF-MEMS天线理论、仿真及特性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [7] WHEELER H A. Transmission-line properties of parallel strips separated by a dielectric sheet[J]. IEEE Trans on MTT, 1965, 13(3): 172-186.
- [8] PUCCEL R A. Microstrip propagation on magnetic substrates—part I: design theory [J]. IEEE Trans on MTT, 1972, 20(5): 526-531.
- [9] WATERHOUSE R. Small microstrip patch antenna [J]. Electronics Letters, 1995, 31(8): 604-605.
- [10] 李洪生,李颖,王维,等. 基于定向天线的无线自组网MAC协议[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学报, 2010(11): 75-79.

《压电与声光》免费索阅卡

姓名: _____ 职务: _____ 职称: _____ 单位: _____
地址: _____ 邮编: _____ 电话: _____
企业产品: _____

索阅期号: _____ 年 _____ 月 (每次仅限壹期)

复印有效