

# 一种简易差分微带贴片天线的设计

杨俊秀,赵文来,李 霖

(浙江理工大学信息学院,杭州 310018)

**摘 要:**在微带贴片天线的基础上,设计了一种介质基板尺寸为 $34.2\text{ mm}\times 34.2\text{ mm}\times 1.6\text{ mm}$ ,材料是FR4(相对介电常数为4.4)的简易差分微带天线,并基于传输线理论给出了差分天线输入阻抗与馈电点间的关系。用软件HFSS对天线进行仿真分析,结果表明:天线工作带宽为 $2.41\sim 2.47\text{ GHz}$ (回波损耗) $\leq -10\text{ dB}$ ,适用于无线局域网WLAN 802.11b( $2.4\sim 2.48\text{ GHz}$ )系统,在工作频段内具有良好的辐射方向性。差分天线把差分信号直接馈入到天线的两个端口,为设计高集成的射频前端提供了新途径。

**关键词:**反射损耗;差分;奇模反射系数;HFSS;微带天线

**中图分类号:** TN82      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-3851(2016)03-0398-05      **引用页码:** 050601

## 0 引 言

微带天线由于具有重量轻、成本低、结构紧凑,易于与微带线路集成等优点被广泛应用,但其尺寸与日益扩展的无线通信射频集成前端矛盾越来越明显。基于小型化的考虑,常采用增加介电常数、加载(电阻或短路面、片、短路探针等)或曲流技术(在辐射贴片或接地板上开槽或蚀刻缝隙改变电流路径)实现,有在贴片上加载U形缝隙得到双频微带天线,有采用高介电常数基板缩减天线尺寸,也有通过加载矩形缝隙实现圆极化微带天线。而作为射频前端关键部件的天线,通常设计为单端馈电,致使天线与后续差分电路间需单端到双端的转换巴伦。差分技术使得低噪声、抗干扰尤其是抗共模干扰成为可能,差分天线改变了传统天线的设计方法,直接把差分信号馈入到天线,为设计集成射频前端提供了新途径<sup>[1-4]</sup>。本文主要围绕差分微带天线展开叙述,在单端馈电的基础上调整,并基于微带线的传输线模型,设计了一种简易差分微带天线。

## 1 天线结构

差分微带天线因可与后端差分芯片直接耦合被广泛关注,主流的射频芯片(如低噪声放大器)大多

采用差分结构,与传统的单端微带天线相比摆脱了巴伦,减小电路尺寸的同时也提高了效率及集成度<sup>[3-4]</sup>。香港大学曾对差分微带天线领域展开过相关研究,美国学者 Deal 提出用推挽功率放大器直接驱动差分微带天线,使得电路结构变得紧凑,提高了有源天线的效率,瑞士研究者 Brauner 设计了与差分低噪声放大器进行集成的差分微带天线,新加坡的学者 Zhang 在标准 $0.18\text{ }\mu\text{m CMOS}$ (互补金属氧化物半导体)技术中将推挽功率放大器与差分天线进行集成<sup>[5-6]</sup>。

王世军等<sup>[5]</sup>通过贴片开槽改变电流路径的方法,设计了基于 HFSS 的小型化差分微带天线,仿真结果表明该天线谐振频率为 $2.45\text{ GHz}$ ,带宽为 $18\text{ MHz}$ ,增益为 $7.15\text{ dBi}$ 。但带宽不能满足 WLAN 802.11b( $2.4\sim 2.48\text{ GHz}$ )的要求。基于类似设计思想,本文在单端馈电的微带天线基础上,结合微带线的等效传输线模型,设计了一种更加简易的差分微带天线,仿真结果表明天线谐振频率在 $2.44\sim 2.45\text{ GHz}$ 间,带宽超过 $53\text{ MHz}$ ,但未能完全达到 WLAN 802.11b 系统的带宽要求,且增益相对较低。

收稿日期:2015-07-31

基金项目:国家自然科学基金项目(61101052);浙江省教育厅科研项目(Y201329492)

作者简介:杨俊秀(1976—),女,河南开封人,讲师,主要从事电磁场理论及射频通信方面的研究。

基于单端馈电微带天线设计理论<sup>[7-9]</sup>, 矩形贴片

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}},$$

$L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L$ , 其中  $c$  为光速,  $\epsilon_r$  为基板材料相对介电常数,  $\epsilon_e$  为等效介电常数,  $\Delta L$  为尺度缩短因子, 两者应分别满足哈默斯塔德公式及施奈德公式, 即:

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

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)/2}{\sqrt{1 + 10 \frac{H}{W}}}.$$

其中:  $H$  为基板厚度,  $W$  为贴片宽度。同轴馈电位置  $L_1$  满足:

$$L_1 = \frac{L}{2} \left( 1 - \frac{1}{\xi} \right),$$

$$\text{其中: } \xi = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{\sqrt{1 + 10 \frac{H}{L}}}.$$

$L$  为天线贴片长, 当谐振频率设定为 2.45 GHz, 单端馈电带入上列式子分别得贴片长、宽  $L = 28.6 \text{ mm}$ ,  $W = 37.26 \text{ mm}$ , 馈电点  $L_1 = 7 \text{ mm}$ 。设天线系统输入端口为 1, 由于天线与前端传输线特征阻抗不匹配会造成加到传输线的功率不能全部被天线吸收并辐射,  $S(1,1)$  即表征了系统入射端口的损耗, 也称为反射损耗或回波损耗, 分贝表示为  $\text{dB}(S(1,1)) = 20\lg S(1,1)$ , 仿真分析并优化后天线的回波损耗结果如图 1 所示。仿真其 E 面及 H 面的辐射方向图如图 2 所示。

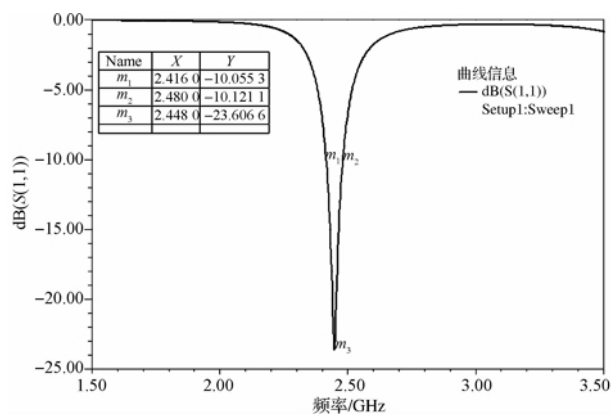


图 1  $\text{dB}(S(1,1))$  随频率的变化曲线

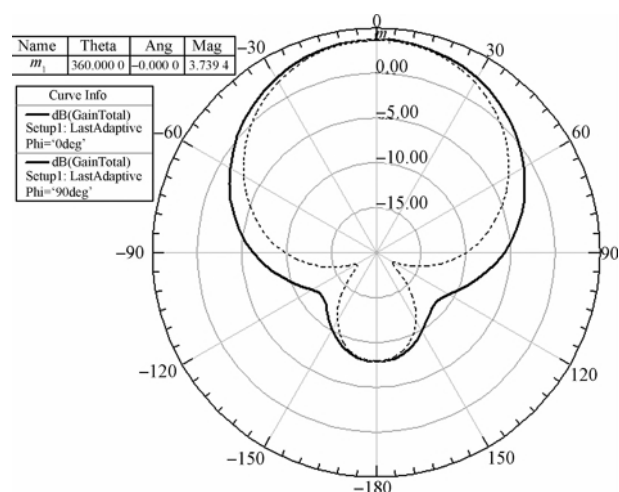


图 2  $xz$  面和  $yz$  截面上的辐射增益方向

基于单端馈电的微带天线及天线的传输线理论, 设计的差分微带天线结构如图 3 所示, 天线基板材料聚四氟乙烯 FR4 相对介电常数为 4.4, 厚度  $H$  为 1.6 mm, 辐射贴片长、宽取与单端馈电的长相同, 且为正方形贴片, 即  $L_0 = W_0 = 28.6 \text{ mm}$ , 基板及接地板尺寸为正方形, 其长、宽满足:  $L_g = L_0 + 0.2\lambda_g$ ,  $W_g = W_0 + 0.2\lambda_g$ , 馈电方式为同轴馈电, 2 个馈电点坐标分别为  $(\pm L_1, 0)$ 。相对单端馈电微带天线, 贴片结构基本不变, 尺度缩小, 将馈电端口扩展为两个, 且馈电点之间间距与单端馈电时馈电点到坐标原点距离相当。天线具体尺寸见表 1。

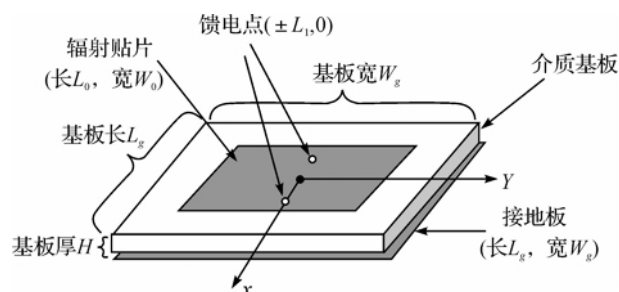


图 3 天线结构

表 1 天线尺寸 mm

$L_0$	$W_0$	$L_g$	$W_g$	$L_1$	$H$
28.6	28.6	34.6	34.6	3.5	1.6

## 2 传输线模型

差分馈电微带天线的设计方法不同于单端馈电微带天线, 借鉴微带天线的 3 种分析方法之传输线模型理论, 描述图 3 天线结构依据。首先, 天线谐振频率主要受贴片形状及结构影响, 依据单端馈电微带天线的设计方法, 得天线辐射贴片尺寸  $L_0 = W_0 = 28.6 \text{ mm}$ , 基板及接地板长、宽满足:  $L_g = L_0 +$

$0.2\lambda_g = 34.6 \text{ mm}$ ,  $W_g = W_0 + 0.2\lambda_g = 34.6 \text{ mm}$ ; 反射损耗性能主要受馈电点位置影响, 差分馈电需保证电路结构完全对称才有可能的理想效果, 因此馈电点对称取  $(\pm L_1 = \pm 3.5 \text{ mm}, 0)$ 。传输线模型假设辐射导体和接地板构成一段能传输准 TEM 波的微带传输线, 辐射导体与接地板之间的高频电磁场沿导体长度方向呈驻波变化, 沿宽度和基板厚度方向为常数, 传输线两个开口等效为两个辐射缝隙, 边缘场激发辐射<sup>[1-2]</sup>。图 3 结构的微带天线等效传输线模型如图 4 所示。

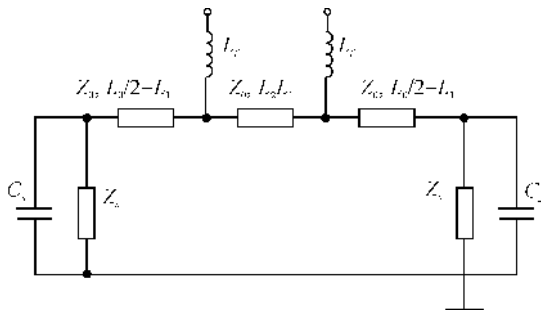


图 4 天线的传输线模型

图 4 中  $Z_0$ 、 $Z_s$  分别为辐射贴片特征阻抗和辐射阻抗,  $2L_1$ 、 $L_0/2 - L_1$  分别为贴片被馈电点分开的各段传输线的长度,  $C_s$  为辐射电容, 图 4 还可等效简化为图 5。

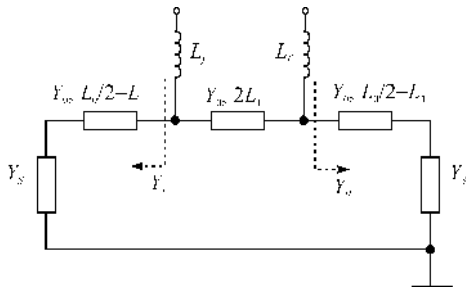


图 5 简化的天线传输线模型

从馈电点往  $x$  轴两边看等效导纳分别为  $Y_R$ 、 $Y_L$ , 馈电点中间的一段长度为  $2L_1$ , 特性导纳为  $Y_0$  的贴片等效导纳为  $Y_M$ , 贴片特性导纳满足惠勒公式:

$$Y_0 = \frac{1}{Z_0} = \frac{\sqrt{\epsilon_e}}{377} \left\{ \frac{W_0}{H} + 0.883 + 0.165 \frac{\epsilon_e - 1}{\epsilon_e^2} + \frac{\epsilon_e + 1}{\pi \epsilon_e} \left[ \ln \left( \frac{W_0}{H} + 1.88 \right) + 0.758 \right] \right\}.$$

其中:  $H$  为基板厚度,  $W_0$  为辐射贴片宽,  $\epsilon_e$  为有效介电常数,  $d$  为探针直径,  $c$  为自由空间光速。辐射导纳  $Y_s = \frac{1}{Z_s}$ , 其中电导、电纳分别为:  $G_s = \frac{1}{90} \left( \frac{W_0}{\lambda_0} \right)^2$ ,

$B_s = Y_0 \tan(\beta \Delta L)$ ,  $\beta$  传播常数,  $\Delta L$  尺度缩短。

馈电探针的感抗:

$$X_L = 2\pi f_0 L_f = \frac{377 f_0 H}{c} \ln \left( \frac{c}{\pi f_0 d \sqrt{\epsilon_e}} \right).$$

由天线及传输线原理知:  $\frac{1}{Y_R} = \frac{1}{Y_L} = \frac{1}{Y_s} +$

$$\frac{1}{Y_0 \frac{Y_s + jY_0 \tan \beta \left( \frac{L_0}{2} - L_1 \right)}{Y_0 + jY_s \tan \beta \left( \frac{L_0}{2} - L_1 \right)}}.$$

天线的输入阻抗可表示为:  $Z_m = 2 \times 2j\pi f_0 L_f + \frac{1}{Y_M + 2Y_L}$ , 故在贴片形状结构、馈线特性一定的情情况下, 输入阻抗是两馈电点间距离的函数, 调整  $L_1$  可改变谐振效果。

### 3 仿真结果

运用 HFSS 对表 1 结构的差分微带天线进行仿真, 得奇模反射系数  $\text{dB}(S_{11}(\text{Diff}, \text{Diff}))$  随频率的变化曲线如图 6 所示。

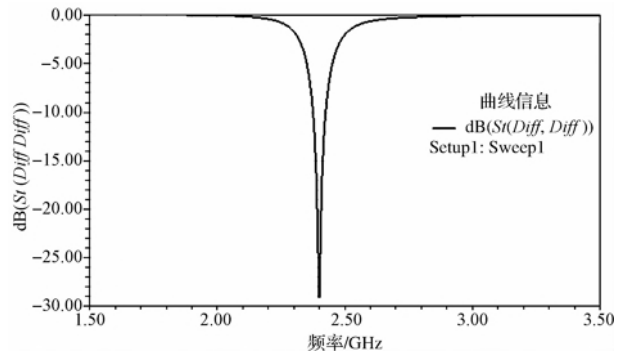


图 6  $\text{dB}(S_{11}(\text{Diff}, \text{Diff}))$  随频率的变化曲线

由图 6 可看出, 天线谐振频率低于 2.45 GHz, 故缩短天线长度  $L_0$ , 参数扫描如图 7 所示。

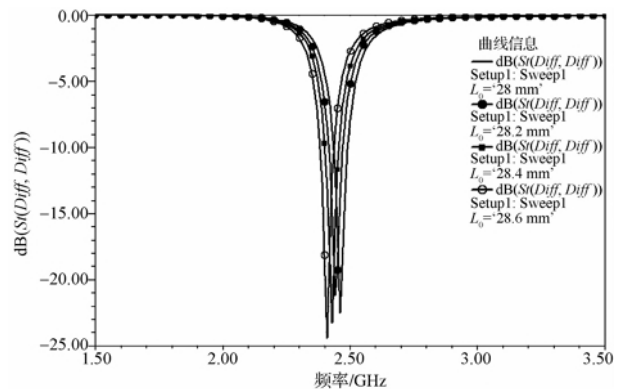


图 7 贴片长度  $L_0$  改变时  $\text{dB}(S_{11}(\text{Diff}, \text{Diff}))$  随频率的变化曲线

由图7可看出,当辐射贴片长度 $L_0 = 28.2$  mm时,天线谐振频率接近2.45 GHz。改善匹配性能,需调整差分馈电点间的距离。对 $L_1$ 进行参数扫描分析,结果如图8所示。

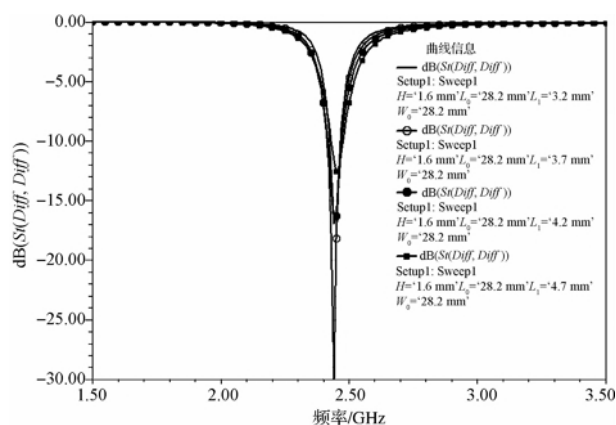


图8 馈电点距离改变时 $\text{dB}(S(\text{Diff}, \text{Diff}))$ 随频率的变化曲线

由图8可看出,当对称差分馈电点坐标 $L_1 = 3.7$  mm时,天线输入阻抗与馈线匹配较好,故有好的传输性能,优化后的天线尺寸如表2所示。

表2 天线尺寸 mm

$L_0$	$W_0$	$L_g$	$W_g$	$L_1$	$H$
28.2	28.2	34.2	34.2	3.7	1.6

对应的奇模反射系数 $\text{dB}(S(\text{Diff}, \text{Diff}))$ 随频率的变化曲线如图9所示。

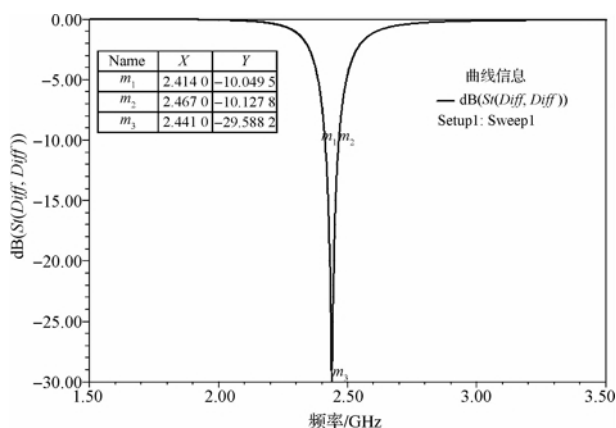


图9 满足表2尺寸的天线 $\text{dB}(S(\text{Diff}, \text{Diff}))$ 随频率的变化曲线

由图9可看出,天线工作带宽为2.41 ~ 2.47 GHz(回波损耗 $\text{dB}(S(\text{Diff}, \text{Diff})) \leq -10$  dB),适用于无线局域网WLAN 802.11b(2.4 ~ 2.48 GHz)系统。仿真其E面及H面的辐射方向图如图10所示。

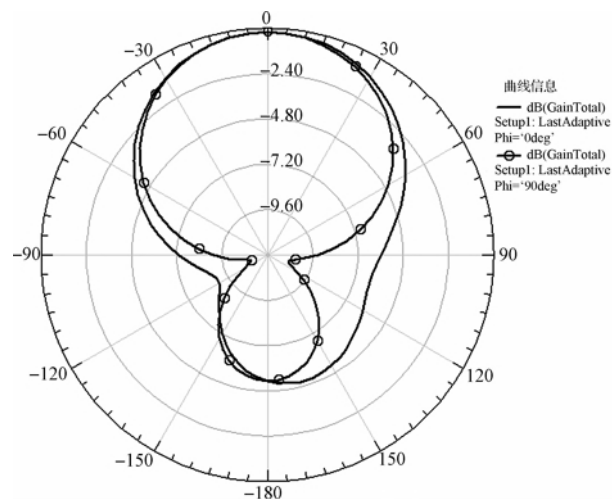


图10  $xz$ 面和 $yz$ 截面上的辐射增益方向图

## 4 结 语

借鉴矩形贴片微带天线的设计思路,基于HFSS设计了一种奇模反射系数 $\text{dB}(S(\text{Diff}, \text{Diff})) \leq -10$  dB,带宽为2.41 ~ 2.47 GHz的差分微带天线,基本覆盖WLAN波段。该差分天线无须开槽或缝线,天线口径面积为 $795.2 \text{ mm}^2$ ,尺寸约为传统单端馈电微带天线的75%,有关如何提高天线增益将是接下来继续探索的环节。

## 参考文献:

- [1] 吴高飞. 差分微带天线设计及其传输线模型研究[D]. 太原:山西大学,2013:1-3.
- [2] 韩丽萍. 差分双频微带天线研究[D]. 太原:山西大学,2010:31-34.
- [3] 袁航盈,张介秋. 一种用于“北斗”导航系统的小型化微带贴片天线[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2012,13(5):76-79.
- [4] 杨帅,冯全源. 缝隙加载的宽频带圆极化微带天线[J]. 探测与控制学报,2009,31(5):71-80.
- [5] 王世军,李霖. 一种新型小型化差分贴片天线[J]. 无线电工程,2015,45(1):52-53.
- [6] XUE Q, ZHANG X, CHIN C H. A novel differential-fed patch antenna[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2006, 1(5): 471-474.
- [7] 赵文来,杨俊秀,李霖. 一种双频微带贴片天线的设计[J]. 浙江理工大学学报,2012,29(5):698-701.
- [8] 李明洋,刘敏,杨放. HFSS天线设计[M]. 北京:电子工业出版社,2011:125-153.
- [9] 谢拥军,王鹏,李磊,等. HFSS基础及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2007:83-88.

## Design of a Simple Differential Microstrip Patch Antenna

*YANG Junxiu, ZHAO Wenlai, LI Lin*

(School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** A simple differential microstrip patch antenna, whose size of dielectric substrate  $34.2\text{ mm} \times 34.2\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$  and is made of FR4 (the relative dielectric constant is 4.4) was designed based on microstrip patch antenna. Moreover, the relation between antenna input impedance and feeding points was analyzed based on transmission line theory. Finally, a simulation analysis on antenna was made by using the HFSS software. The results show that antenna bandwidth is  $2.41 \sim 2.47\text{ GHz}$  (return loss  $\leq 10\text{ dB}$ ), which is applicable to WLAN 802.11 b ( $2.4 \sim 2.48\text{ GHz}$ ) system; The antenna has good directional radiation characteristics within its operating frequency range. The differential antenna directly feeds differential signals into the two ports of antenna so it provides a new approach for designing highly-integrated RF front ends.

**Key words:** return loss; differential; odd-mode reflection coefficient; high frequency structure simulator; microstrip antenna

(责任编辑: 陈和榜)