

超高频 RFID 读写器天线设计

朱东尧 殷海荣

(电子科技大学物理电子学院, 成都 610054)

Zhudongyao88@126.com

摘要: 基于 RFID 系统对天线的要求, 设计了一种用于超高频 RFID 读写器的新型圆极化微带天线, 并通过了 Ansoft HFSS 和 CST Microwave Studio 的验证。该天线采用垂直地板四面围绕天线贴片的方法来减小天线的尺寸; 并且为了实现良好的圆极化性能, 在贴片上进行了四个直径不等的圆形挖空。

关键词: 圆极化, 微带天线, 超高频, 射频识别

Design of Antennas for UHF RFID Reader

ZHU dongyao, YIN hairong

(School of Physical Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract: Based on the requirements of RFID system's antenna, a novel UHF circularly polarized microstrip antenna used in RFID reader was designed, and succeed in the verification of Ansoft HFSS and CST Microwave Studio. For effectively reducing the size of antenna, a method of vertical ground around the patch was adopted. To achieve good circular polarization performance, four asymmetric-circular shapes was slotted in the patch.

Keywords: Circularly polarized; Microstrip antennas; UHF; RFID

1 引言

射频识别 (RFID) 技术是利用无线射频方式进行非接触双向通信, 以达到识别目的, 并交换数据的自动识别技术^[1]。近年来, 随着 RFID 技术快速发展, 该技术已广泛应用于生产、物流、交通、运输、医疗、防伪、跟踪和资产管理等应用领域。当前各国使用的频段各不相同, 我国在 2007 年四月发布的《800MHz/900MHz 频段射频识别 (RFID) 技术应用规定 (试行)》明确规定 UHF 频段 RFID 技术的具体使用频率为 840-845MHz 和 920-925MHz。

在 RFID 系统中, 天线在实现数据通讯过程中起重要作用, 因此天线性能的好坏很大程度上影响着整个 RFID 系统的性能^[1]。微带天线是带有导体接地板的介质基片和上贴导体薄片而形成的天线。微带天线与通常微波天线相比有很多优点: 重量

轻、体积小、低剖面的品面结构、容易共型; 制造成本低, 易于大量生产; 容易获得线极化和圆极化; 馈线与匹配网络可和天线结构同时制作等。同时它也存在如下缺点: 频带窄; 有损耗、只向半空辐射; 馈线与辐射元之间隔离差等。但是在实际中, 其优点远远超过缺点, 且其缺点容易用其他技术来克服, 因此微带天线得到广泛应用。

由于在实际应用方面圆极化天线具有以下优势: 任意的极化电磁波均可分解为两个旋向相反的圆极化波, 如对于线极化波来说, 可以分解为两个反向等幅的圆极化波。因此, 任意极化的电磁波均可被圆极化天线接受, 而圆极化天线发射的电磁波则可被任意极化的天线接受到。故圆极化天线在 RFID 中得到广泛应用。

文献[3]提出了一种在贴片上进行不对称挖空的微带天线模型, 在该文献中通带范为 903-909MHz, 增益为 3.8dBi。文献[4]提出了一种垂直地板的微带天线模型, 在该文献中通带为 950-

960MHz, 增益为 5.4dBi。结合文献[3]、[4]本文设计了一种适合于中国 UHF RFID 应用标准的圆极化微带天线。在 920-925MHz 范围内 VSWR 约为 1.5; 总增益约为 6.1dBi, 左旋圆极化增益约为 6.1dBi; 轴比约为 0.94dB。

2 矩形圆极化微带天线的基本原理

用微带天线产生圆极化波的关键是产生两个计划方向正交的、幅度相等的、相位差为 90° 的线极化波^[2]。产生圆极化波的一般方法是采用“一点馈电单片圆极化矩形微带天线”。由腔体模型理论知: 一个形状规则的单片微带天线由一点馈电可以产生正交、幅度相等的两个简并模 (TM_{10} , TM_{01}), 但不能形成 90° 的相位差^[2]。为了在简并模之间形成 90° 相位差, 在规则形状的单片方形微带天线上加一简并模分离单元 (微扰腔), 使简并正交模的谐振频率产生分离, 当简并模分离单元大小选择合适时, 对工作频率而言, 一个模的等效阻抗相角超前 45° , 而另一个模的等效阻抗相角滞后 45° , 这样就形成了圆极化辐射^[2, 3]。

由腔体模型可知, 当介质层厚度 $H \ll \lambda$ 时, 谐振腔内只有 E_z 分量。当矩形微带天线附加简并模分离单元后, 波数 k_{10} , k_{01} 就不同了, 假设矩形微带天线只激励主模, 在附加简并模分离单元 Δs 后, 新模的特征函数可以写为原来两个特征函数的线性叠加^[2]:

$$\Psi = p\Psi_{10} + q\Psi_{01} \quad (1)$$

采用变分理论, 新的波数为^[2]:

$$k'^2 = \frac{\iint_s (p\Delta\Psi_{10} + q\Delta\Psi_{01})^2 ds'}{\iint_s (p\Psi_{10} + q\Psi_{01})^2 ds'} \quad (2)$$

式中, $s' = s + \Delta s$, $\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2$ 。s 为没有加微扰时贴片的面积, 所以在方形微带天线上 (长宽等于 a) 附加简并模分离单元后, 产生两个特征模, 它们对应的特征函数和波数为^[2]:

$$\Psi'_a = \frac{(\Psi_{10} - \Psi_{01})}{\sqrt{2}} = V_0 = \frac{(\sin(k_{10}x) - \sin(k_{01}y))}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

$$\Psi'_b = \frac{(\Psi_{10} + \Psi_{01})}{\sqrt{2}} = V_0 = \frac{(\sin(k_{10}x) + \sin(k_{01}y))}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$k'^2_{10} = k^2_{10} \left(1 - 4 \frac{\Delta s}{s}\right) \quad (5)$$

$$k'^2_{01} = k^2_{01} = \frac{\pi}{a} \quad (6)$$

由此等到特征模对应的谐振频率为^[2]:

$$f'_a = f_0 + \Delta f'_a = f_0 \left(1 - 2 \frac{\Delta s}{s}\right) \quad (7)$$

$$f'_b = f_0 + \Delta f'_b = f_0 \quad (8)$$

式中, $f_0 = \frac{c}{2a\sqrt{\xi_e}}$ 。 f_0 是未加微扰时天线的谐振频率, 当矩形微带天线附加简并分离单元后, 矩形微带天线激励起来的极化正交简并模的谐振频率发生了分离, 分离的大小决定 $\frac{\Delta s}{s}$ (即圆极化工作条件), 圆极化工作时频率为此两个谐振频率的算数平均值^[2]。

率, 当矩形微带天线附加简并分离单元后, 矩形微带天线激励起来的极化正交简并模的谐振频率发生了分离, 分离的大小决定 $\frac{\Delta s}{s}$ (即圆极化工作条件), 圆极化工作时频率为此两个谐振频率的算数平均值^[2]。

3 天线设计

本文所设计的微带贴片天线共分为三层: 顶层为贴片层, 为带有四个直径不等的圆形挖空导体薄片 (当四个圆形挖空直径相等时, 极化方式为线极化)^[4]; 中间是介质层 (这里选取介电常数为 3.38 的 RO4003C), 并且介质层四周有垂直导体接地板相围^[5]; 底层为导体接地板。该天线的馈电方式为同轴探针馈电。

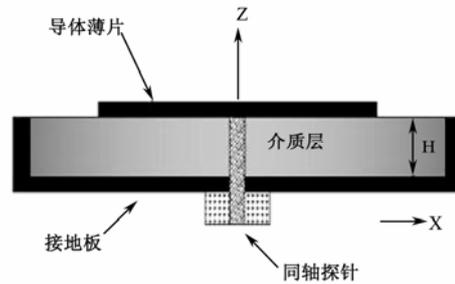


图 1 天线侧视图

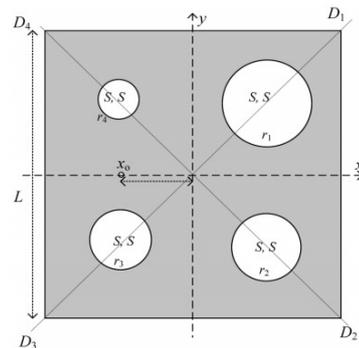


图 2 天线俯视图

天线的侧视图如图 1 所示, 介质层厚度 $H=4.6\text{mm}$ 。天线俯视图如图 2 所示, 介质层尺寸为

110mm×110mm；导体薄片尺寸为 $L \times L = 80.8\text{mm} \times 80.8\text{mm}$ ；导体薄片上的四个圆形挖空半径分别为 $r_1 = 14\text{mm}$ 、 $r_2 = 13\text{mm}$ 、 $r_3 = 10.5\text{mm}$ 、 $r_4 = 9\text{mm}$ (r_1 ， r_2 ， r_3 ， r_4 依次减小)，圆心分别位于相应的对角线上，且圆心到图中坐标轴的距离分别为 $S = 20.2\text{mm}$ ($S = L/4$)；同轴探针到坐标原点的距离为 $X_0 = 21.5\text{mm}$ 。

4 设计仿真结果

天线的 S_{11} 曲线如图 3、图 4 所示。

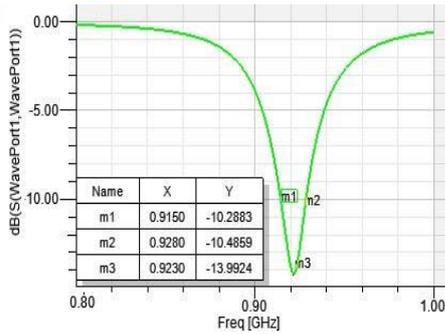


图 3 S_{11} 在 HFSS 中的仿真结果

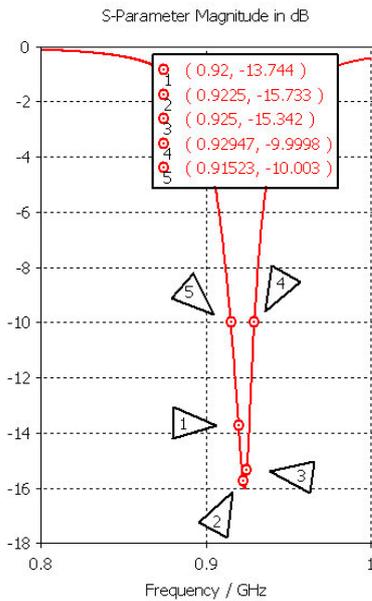


图 4 S_{11} 在 CST 中的仿真结果

从图 3、图 4 可以看出天线在 $S_{11} < -10\text{dB}$ 时的通带范围约为 915-930MHz，通过计算天线在 920-925MHz 时的 VSWR 约为 1.5。

天线的总增益如图 5、图 6 所示。

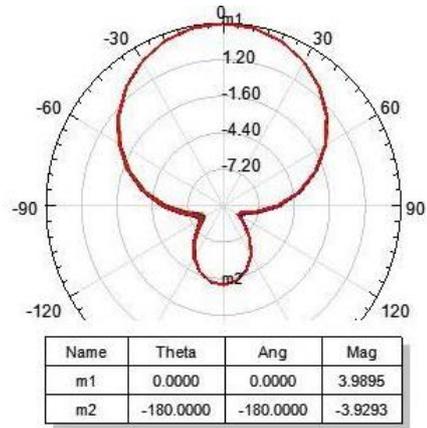


图 5 总增益在 HFSS 中的仿真结果

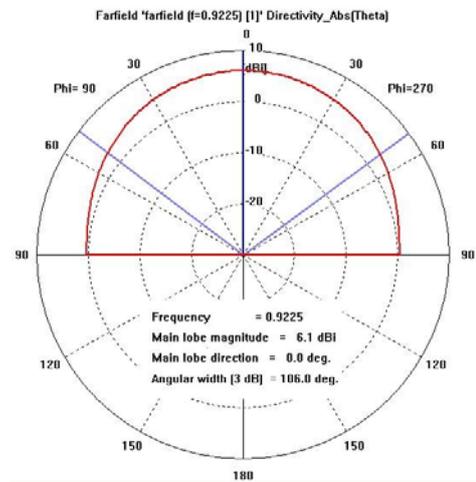


图 6 总增益在 CST 中的仿真结果

从图 5、图 6 中可以看出天线的总增益约为 6.1dBi，主瓣宽度大约 106deg。

天线左旋圆极化增益如图 7、图 8 所示。

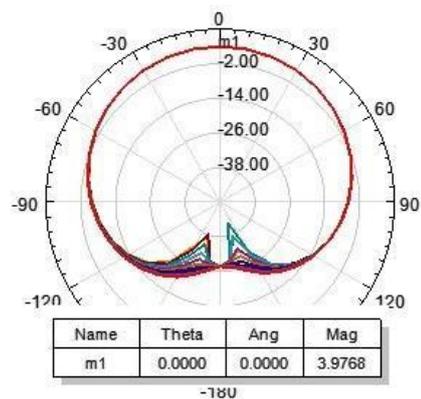


图 7 左旋圆极化增益在 HFSS 中的仿真结果

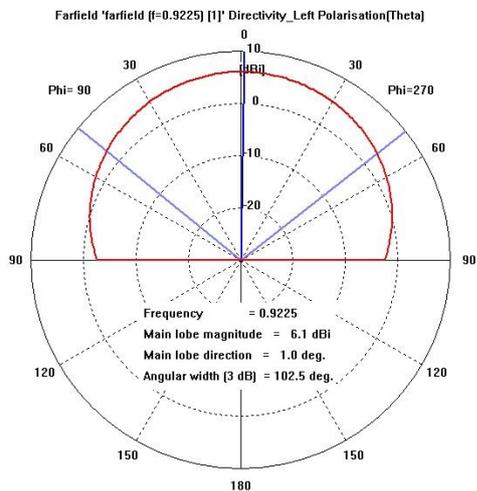


图 8 左旋圆极化增益在 CST 中的仿真结果

从图 7、图 8 中可以看出天线的左旋圆极化增益大约为 6.1dBi，主瓣宽度大约为 102.5deg。天线轴比如图 9、图 10 所示。

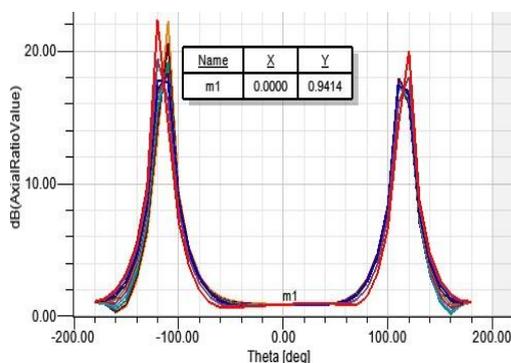


图 9 天线轴比在 HFSS 中的仿真结果

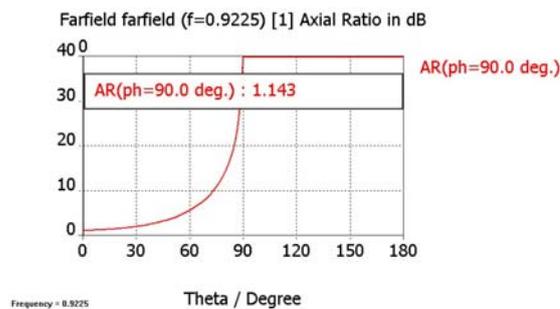


图 10 天线轴比在 CST 中的仿真结果

从图 9、图 10 可以看出在 922.5MHz 的天线轴比大约为 0.94-1.14dB。

5 结论

运用 HFSS 和 CST 设计出了一种用于 UHF RFID 读写器的新型圆极化天线，该天线用 RO4003 做介质，采用了垂直地板和贴片不等圆挖空的方式实现了圆极化和小型化。综合以上仿真结果，该天线适合 UHF RFID 读写器应用。

参考文献

- [1] 周晓光, 王晓华. 射频识别 (RFID) 技术原理与应用实例[M]. 人民邮电出版社, 2006
- [2] 张钧. 微带天线理论与工程[M]. 北京:国防工业出版社, 1988.
- [3] BAHL I, BHARTI J P. 微带天线[M]. 北京:电子工业出版社, 1984.
- [4] Nasimuddin, Z.N.Chen, X.Q.Qing. Asymmetric-Circular Shaped Slotted Microstrip Antennas for Circular Polarization and RFID Applications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, VOL.58, NO.12, December 2010; 3821-3828.
- [5] S.C.Kim, H.Park, D.Lee et al. A novel Design of an UHF RFID Reader Antenna for PDA. Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, 2006: 1471-1473.