

文章编号: 2096-4618(2019)03-0219-04

基于改进型共面波导 UHF RFID 小型化抗金属标签设计

邓伟, 杜国宏, 周芹, 兰俊卿

(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

摘要: 设计了一款基于改进型共面波导的 UHF RFID 小型化抗金属标签。为增加标签天线阻抗宽带以及实现 RFID 抗金属标签小型化, 将共面波导馈线弯折并在弯折处与共面地连接; 同时在天线两端添加短路通孔, 将天线上层贴片与背板金属相连, 进一步缩小标签尺寸。该标签采用 FR4 基板设计, 结构紧凑, 尺寸大小为 $48\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$ 。实测测试结果与仿真结果比较吻合, 实测加载金属地板状态下实测最大识别距离为 3 m 。

关键词: 共面波导; 小型化; RFID; 标签天线; 抗金属

中图分类号: TN92-34

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2019.03.001

0 引言

随着科学技术的发展, 自动化管理技术已随处可见, 如无人超市、快递揽件分类、仓库管理以及图书自动借阅等。利用射频识别 (radio frequency identification, RFID) 技术, 在一定空间内进行非接触式自动识别。同时, 根据使用环境的不同, 可以设计出与之相对应的电子标签类型^[1]。

在整个 RFID 识别系统中, 电子标签和阅读器是必不可少的组成部分。在 UHF 频段, 传统的 FRID 电子标签天线通常是由对称偶极子天线或者将偶极子天线弯折折叠设计而成。但是, 当电子标签应用于金属物品时, 相当于在电子标签背面贴附了一块金属层, 这将导致传统 RFID 电子标签天线阻抗匹配失衡、辐射方向改变以及实际增益急剧下降^[2]。为解决这种使用环境问题, 有提出在设计 RFID 时, 在电子标签的介质板背面涂抹上一层金属, 将金属层也作为天线的一部分; 同时, 也有提出在电子标签介质板中添加电磁带隙 (EBG) 结构; 也有研究表明可以将电子标签天线集成封装, 不仅可以实现抗金属而且结构尺寸非常小^[3]。

由于贴片天线自带金属板, 已被广泛用于各种 UHF RFID 抗金属标签设计; 在这种情况下, 可以显著减轻背衬金属的影响。贴片的占位面积通常很大, 因为它被设计用于半波长共振^[4-5]。近年来, 探索了减小贴片尺寸的新技术。增加基板介电常数是降低天线尺寸的最简单方法之一, 同时增加了材料成本。发现蚀刻在贴片谐振器上的槽可以增加其电气长度, 从而可以实现小型化^[7-10]。提出了一款将金属表面作为地板的微带贴片标签天线, 利用改进型共面波导和通过

在标签天线两端添加短路通孔, 实现抗金属小型化标签设计, 实测距离达到 3 m 。相比于文献 [1] 采用 FR4 板材的共面波导结构, 阅读距离 3 m , 尺寸为 $83\text{ mm} \times 85.5\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$ 。由于设计改进共面波导, 并使用了金属化过孔, 使尺寸缩减了 80% 。

1 标签天线结构分析与设计

RFID 电子标签结构俯视图如图 1 所示, 介质基板采用相对介电常数 ϵ_r 为 4.4, 正切损耗角 $\tan \delta$ 为 0.02 的 FR4, 将金属表面作为地板的微带贴片标签天线, 将共面波导馈线弯折并在弯折处与共面地连接, 较之传统共面波导馈电, 增大了表面电流路径和表面电流强度, 减小了标签天线尺寸; 同时在天线两端添加短路通孔, 天线两端通过短路通孔将天线上层贴片与地板相连, 使辐射贴片与金属地之间形成闭合回路, 标签天线表面电流路径增加一倍, 即天线尺寸在原有的设计基础上减小一半。考虑到实际应用金属环境的不确定性, 本次设计将 RFID 电子标签天线背面金属地面积扩大到 $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ 。

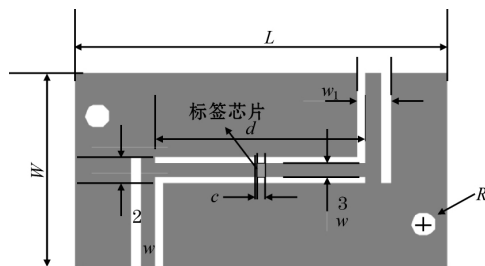


图 1 电子标签天线俯视图

为便于 RFID 电子标签天线输入阻抗的快速优化, 提出了标签天线的等效电路, 如图 2 所示。标签天线部分以标签芯片为中心对称, 分成相同的两部分, 以其中一部分为例进行分析。辐射贴片和接地贴片的功

收稿日期: 2019-01-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61640008); 四川省科技计划重点研发项目 (2017GZ0432)

能类似于平行板电容器,每个贴片的相应电容可以使用 $C_a = \varepsilon AT / t$ 计算,其中 ε 和 t 是介质板的介电常数和厚度, AT 表示有效面积。介电损耗电阻 R_a 近似为 $1/G$, 其中 $G = \omega \varepsilon_1 AT / t$ 是平行贴片电导, ω 是角频率, $\varepsilon_1 = \varepsilon \tan \delta$ 。贴片的电阻 R_q 和电感 L_a 可用 $2h / (g \sigma_c \delta_c)$ 和 $\mu h / g$ 估算,其中 σ_c 是导体电导率, δ_c 是趋肤深度, g 是贴片长度。细短截线由集总电阻 $R_s = 2 [\rho_e / (bts)] [Kc / (1 - e^{-x})]$ 计算其电阻,其中 ρ 、 b 、 ε 、 ts 、 Kc 分别是铝电阻率、短截线宽度、短截线长度、铝厚度和拥挤因子, $x = 2(1 + ts/b) \delta / ts$, 铝的表皮深度为 δ 。集总电感 $L_s = 2 [0.002e \{ \ln [2e / (b + ts)] \} + 0.50049 + \{ (b + ts) / 3e \}]$ 。间隙的电容 $C_g = \varepsilon_o \varepsilon_r (2g + 2h) \times \{ \ln [0.25 + (t/a)^2] + (a/t) \tan^{-1} (2t/a) \} / (2\pi)$, 其中 $(2g + 2h)$ 是间隙总长度, a 是间隙宽度。

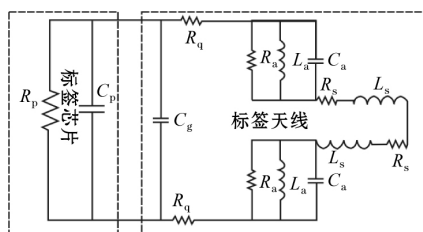
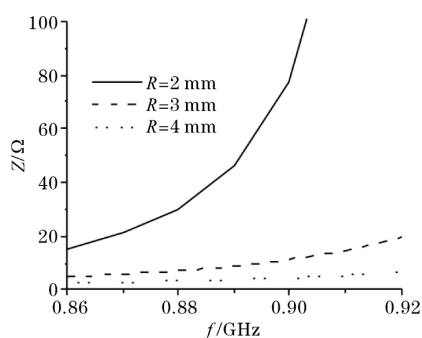


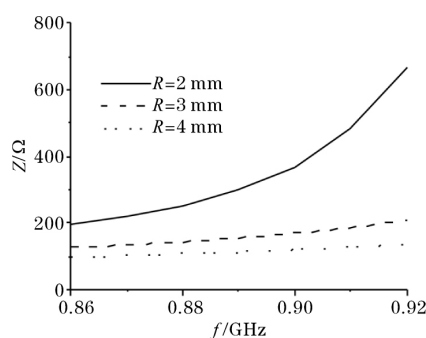
图2 电子标签天线等效电路图

2 标签天线仿真与测量结果

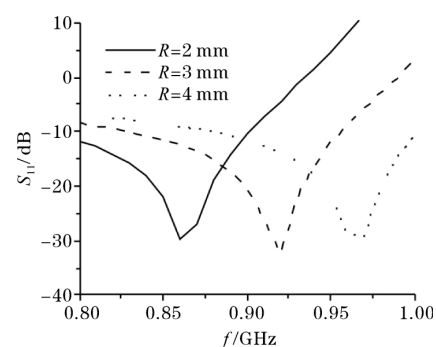
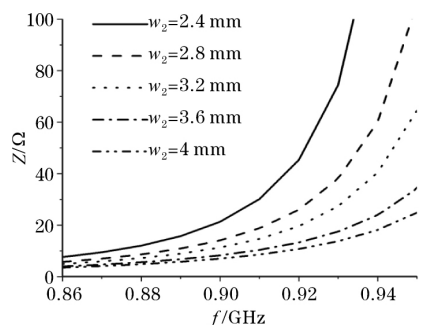
RFID 电子标签天线采用有限元法进行仿真设计。



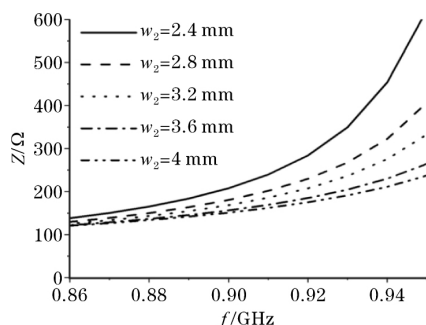
(a) 天线输入阻抗实部



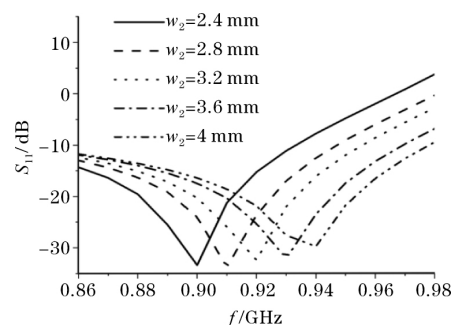
(b) 天线输入阻抗虚部

(c) 回波损耗 S_{11} 图3 短路通孔对天线输入阻抗和 S_{11} 的影响

(a) 天线输入阻抗实部



(b) 天线输入阻抗虚部

(c) 回波损耗 S_{11} 图4 共面地之间的间距 w_2 对阻抗和 S_{11} 的影响

RFID 电子标签采用 Higgs3 型号的芯片,该芯片最低读取功率为 -20 dBm,在 915 MHz 时该芯片等效输入阻抗为 $27 - j201$ 。由图 3(c) 和图 4(c) 可以看出短路通孔直径 R 和馈电线与共面地的距离 w_2 与谐振频率成正比;从图 5(c) 可以发现弯折处的距离 d 与谐振频率成正比。由图 3、图 4 可以发现随着短路通孔直径 R 和共面地之间的间距 w_2 的增大,实部阻抗与虚部阻抗减小,使天线的谐振频率向高频移动。相反,由图 5 可以看出随着馈电线弯折处距离 d 增大,实部阻抗和虚部阻抗都增加了,即天线的谐振频率会随着馈电线弯折处距离 d 增大而向低频移动。当 $R = 3$ mm、 $w_2 = 3.2$ mm 以及 $d = 25$ mm 时,标签天线的输出阻抗为 $20 + j209$,反射系数达到 -32.4 dB,标签天线输出阻抗与标签芯片输入阻抗达到比较完美的共轭匹配,标签天线最终结构尺寸大小为 48 mm \times 25 mm \times 1.6 mm ($0.31\lambda \times 0.16\lambda \times 0.01\lambda$),其具体结构参数如表 1 所示。

表1 标签天线结构参数表单位 mm

参数	L	W	R	w_1	w_2	w_3	c	h	d
尺寸	48	25	3	4.3	3.2	2	1	1.6	25

抗金属标签天线在 915 MHz 处的辐射方向图如图 6 所示,从图中可以看到由于在标签背面添加了足够大的金属地,天线后向辐射大部分被反射,天线在 915 MHz 处最大增益为 -5.8 dBi。标签天线样品如图 7 所示。

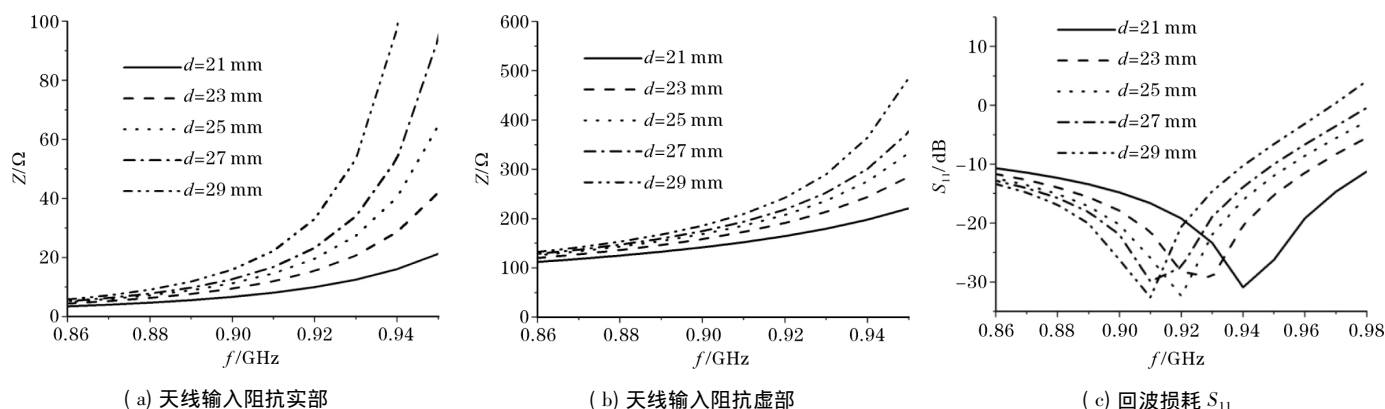
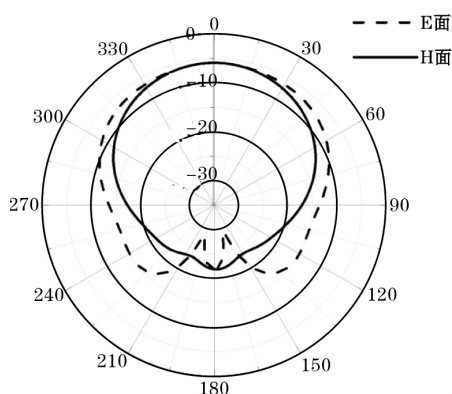
图5 馈电线弯折处的距离 d 对抗和 S_{11} 的影响

图6 标签天线辐射方向图

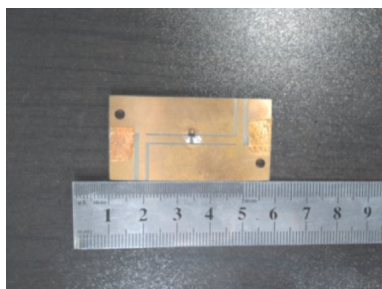


图7 标签天线实物图

标签天线的读取距离 r 是电子标签天线设计中最看重的指标,其计算公式为

$$r = \frac{\lambda}{4\pi\sqrt{\frac{P_i G_i G_T \tau}{P_{th}}}} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{4\operatorname{Re}(Z_A) \operatorname{Re}(Z_C)}{|Z_A + Z_C|^2} \quad (2)$$

其中: λ 为标签天线的工作波长, P_i 代表阅读器发射功率, G_i 为阅读器天线的实际增益, G_T 为 RFID 电子标签天线实际增益, P_{th} 代表芯片工作需要最小功率, τ 表示芯片与抗金属标签天线之间的传输系数,其中 Z_A 为标签天线输出阻抗, Z_C 为标签芯片的特性阻抗。测试实验利用型号为 Laird A9028L30NF 的圆极化阅读器天线来测试实际读取距离,其中 $P_i = 21 \text{ dBm}$, $G_i = 8 \text{ dBi}$ 。根据式(1)可以计算得到标签天线

的最大理论阅读距离为 3.6 m。测试时,选择在室外空旷的地方进行测试。将标签天线放置在铝板上模拟金属地,正对阅读器,并将标签阅读器连接到路由器上面,最终由路由器将测试结果传送到数据接收处理终端(电脑)上。最终在标签距离阅读器大于 3 m 的位置后,电脑再也接收不到标签任何信息。由于仿真时辐射贴片是设置为零厚度的理想电边界,而实际加工厚度为 0.035 mm,导致特性阻抗降低,减小了功率传输系数;再加上材料和加工误差,最终测得最大识别距离稍低于最大理论阅读距离。

3 结束语

提出了一款基于改进型共面波导 UHF RFID 小型化抗金属标签天线,该标签天线采用 FR4 基板设计,结构紧凑,尺寸大小为 48 mm×25 mm×1.6 mm。实际测试结果与仿真结果比较吻合,实测加载金属地板状态下实测最大识别距离为 3 m。

致谢:感谢成都信息工程大学科研基金项目(CRF201601)对本文的资助

参考文献:

- [1] 赖铭银, 靳贵平, 李融林. 用于金属物体的宽带超高频 RFID 标签天线[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2011, 23(2): 198-201.
- [2] 张桥, 周永刚, 彭江露. UHF 频段抗金属标签天线的分析与设计[J]. 电子科技, 2016, 29(8): 4-6.
- [3] 谭立容, 刘豫东, 顾斌. 一种用于金属表面 RFID 超高频标签天线的设计[J]. 民营科技, 2010(3): 3-4.
- [4] 汤炜, 袁良昊, 谢皎皎. 超薄高增益 UHF 抗金属标签天线设计[J]. 微波学报, 2017, 33(6): 12-16.
- [5] 韩涛, ZHANG Mingjun, 王红成. 一种小型 UHF RFID 抗金属标签天线的设计[J]. 电讯技术,

- 2016 56(1): 71-75.
- [6] 陈志芳, 万德松, 胡樑辉. 一种小型化 UHF RFID 抗金属标签天线的设计 [J]. 现代电子技术, 2013 36(7): 83-85+88.
- [7] 李荣强, 杜国宏, 唐军, 等. 一种紧凑的射频识别标签天线设计 [J]. 成都信息工程学院学报, 2013 28(4): 328-331.
- [8] Ng W H, Lim E H, Bong F L, et al. Folded Patch Antenna with Tunable Inductive Slots and Stubs for UHF Tag Design [J]. IEEE Trans. Antennas Propag. 2018 66(6): 2799-2806.
- [9] Du G H, Tang T, Deng Y. Dual-band metal skin UHF RFID tag antenna [J]. Electronics Letters, 2013 49(14): 858-860.
- [10] 唐涛, 廖成, 杜国宏. 小型化 UHF 弯折偶极子抗金属 RFID 标签天线的设计 [J]. 微波学报, 2012 28(4): 35-38.

Design of Improved Coplanar Waveguide for UHF RFID Miniaturized Metal Skin Tag

DENG Wei, DU Guohong, DAI Xiaojun, LAN Junqing

(College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: This paper designs a UHF RFID miniaturized metal skin tag based on improved coplanar waveguide. In order to increase the impedance of the tag antenna and realize the miniaturization of the RFID metal skin tag, the coplanar waveguide feed line is bent and connected to the coplanar surface at the bend. At the same time, the upper layer of the antenna is connected to the back ground through the short-circuit via at both ends of the antenna to further reduce the size of the label. The tag is implemented with the substrate FR4 and the compact size is 48 mm×25 mm×1.6 mm. The actual test results are in good agreement with the simulation results. The measured maximum recognition distance is 3 m under the condition of loading metal floor.

Keywords: coplanar waveguide; miniaturized; RFID; tag antenna; metal skin