

纸基 RFID 小环天线设计*

赖晓铮¹, 刘焕彬¹, 王重山², 赖声礼²

(1. 华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 华南理工大学电子与信息学院, 广东 广州 510640)

摘要: 以 UHF (860 ~ 960 MHz) 频段的 RFID 标签天线设计为背景, 对以纸质基材为天线衬底的小环天线的阻抗特性和辐射特性进行了理论计算和仿真。通过改变小环天线的几何尺寸和纸质基板的物理参数, 实现与目标 RFID 标签芯片的阻抗匹配。以仿真和计算结果为依据, 设计了一个工作在 915 MHz 频段的纸基 RFID 小环天线。

关键词: 纸基; 小环天线; 射频识别

中图分类号: TN821.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 02-0046-04

射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术是一项利用无线信号来实现目标识别或数据交换的射频技术, 在不停车收费, 资产识别、零售管理、公共交通和汽车安全防盗等领域得到愈来愈广泛的发展和运用^[1-2]。一个 RFID 系统包括 RFID 读写器、RFID 标签和软件系统三大部分。其中 RFID 标签的使用量较多, 属于消耗类产品。目前, 国内的 RFID 标签制作主要还是采用印刷电路板蚀刻工艺, 在覆合铝箔的 PVT 塑料基板上刻蚀出 RFID 标签天线的形状, 然后再封装标签芯片制成 RFID 标签。但是蚀刻工艺不仅严重污染环境, 而且制作成本较高, RFID 标签的塑料基材也较难回收。

解决上述问题的思路有两种: 一种是采用硅基天线, 即将标签天线集成到 RFID 标签芯片中^[3], 节省标签制造成本。但由于受到芯片面积的限制, 915 MHz 的标签天线尺寸太大, 技术上尚未能集成到标签芯片上。目前研究的多是 2.4 GHz 的硅基集成 RFID 标签天线^[3]; 另一种方法是在可降解的纸基材料上电镀标签天线形状。不仅可以降低天线制造成本, 而且纸基材料可回收, 减少环境污染。从文献报道上看, 纸基标签工艺是国内外 RFID 标签制作的一个主要趋势^[4]。

另一方面, 随着 RFID 标签不断朝着小型化方向发展, 寻求小尺寸的天线结构成为 RFID 设计的迫切需要。以往, 人们提出了分形天线^[5-6]、V 型偶极子^[7]、弯折偶极子^[8-9]、环天线等天线结构来

实现 RFID 标签天线的尺寸缩减^[10]。相比较而言, 环形天线的构造相对简单, 可以在较小的面积上获得相对较高的增益。

本文综合采用了上述两方面的技术方法, 提出一种用于 915 MHz 频段 RFID 标签的纸基小环天线设计方案, 并对天线的阻抗和辐射特性进行了仿真和理论分析, 力求在较小的标签天线面积上使标签天线阻抗达到与标签芯片匹配的目标, 并获得较高的增益。

1 纸基小环天线的仿真分析

本文所述的纸基 RFID 小环天线, 是在纸质基板表面, 电镀铝箔印刷形成天线形状。电镀铝箔层厚度为 h_1 , 纸质基板厚度为 h_2 。如图 1 所示:

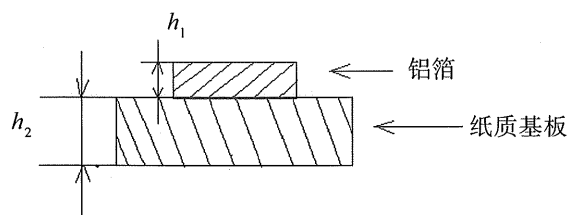


图 1 小环标签天线侧视图

Fig. 1 The side view of small loop RFID tag antenna

天线形状采用单圈方环, 如图 2 所示: D 为方环天线的边长, W 为方环天线的线径。

* 收稿日期: 2007-09-11

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (20070410828); 广东省科技计划攻关资助项目 (0711020500129); 制浆造纸工程国家重点实验室资助项目 (200636)

作者简介: 赖晓铮 (1979 年生), 男, 博士后; 通讯联系人: 刘焕彬; E-mail: soka@263.net

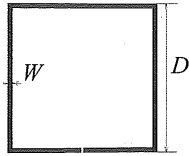


图2 小环标签天线正视图

Fig. 2 The front view of small loop RFID tag antenna

本文 RFID 标签天线设计的工作频段在 915 MHz, 所对应的目标标签芯片的阻抗是 $20 - j400 \Omega$, 即标签天线的理想匹配阻抗应为 $20 + j400 \Omega$ 。以下将通过仿真探究小方环天线的尺寸参数, 铜箔和和纸质基材的物理参数对天线的阻抗和辐射特性影响:

1) 小环标签天线的铝箔厚度 $h_1 = 3 \mu\text{m}$, 纸质基材的介电常数 $\varepsilon_r = 2.5$, 厚度 $h_2 = 0.8 \text{ mm}$, 以天线边长 D 和线径 W 为参数, 用 IE3D 工具仿真得到天线阻抗的实部和虚部变化曲线如图 3 和图 4 所示。

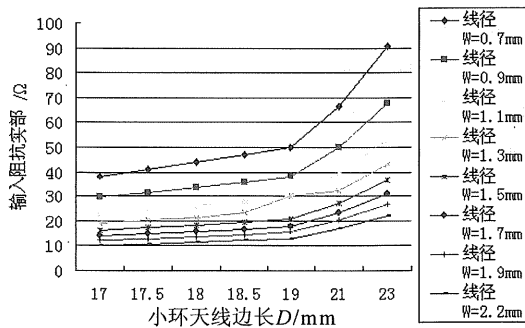


图3 天线阻抗实部随环形天线尺寸变化曲线

Fig. 3 Antenna resistance changed by dimension of loop antenna

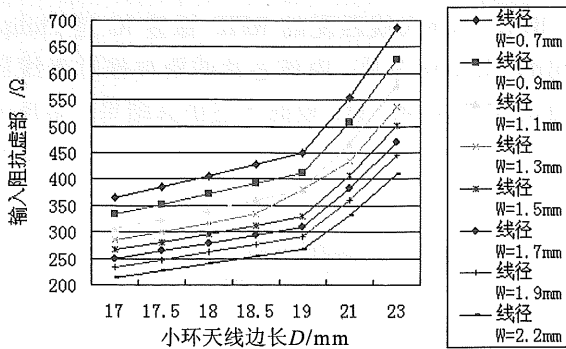


图4 天线阻抗虚部随环形天线尺寸变化曲线

Fig. 4 Antenna reactance changed by dimension of loop antenna

由图 3 和图 4 可见, 随着小环天线边长的增加, 天线阻抗的实部和虚部都呈指数上升的趋势。

而随着小环天线线径的增加, 天线阻抗的实部和虚部都在减少, 但减少的幅度逐渐变小。总体上, 天线边长比线径对标签阻抗有更大的影响。

2) 小环标签天线的铝箔厚度 $h_1 = 3 \mu\text{m}$, 纸质基材的介电常数 $\varepsilon_r = 2.5$, 厚度 $h_2 = 0.8 \text{ mm}$, 以天线边长 D 和 W 线径为变量, 用 IE3D 工具仿真得到天线增益 G 变化曲线如图 5 所示。

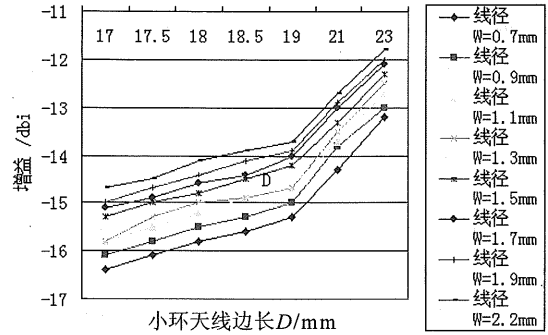


图5 天线增益随环形天线尺寸变化曲线

Fig. 5 Antenna gain changed by dimension of loop antenna

由图 5 所见, 小环天线的增益 G 随着方环边长 D 增加而呈现指数上升趋势。理论上可以解释为环天线包围的面积变大, 辐射电阻上升的原因。而天线线径的变宽使天线的增益稍微变大, 则应该是由于天线线径增加时, 天线辐射电阻基本不变 (环天线包围的面积无变化), 而天线损耗电阻则随线径的增加而降低, 因此天线的效率得到提高。

3) 保持小环标签天线的边长 $D = 23 \text{ mm}$, 纸质基板厚度 $W = 2.2 \text{ mm}$ 不变, 纸质基材的介电常数 $\varepsilon_r = 2.5$ (标准白卡纸), 考察天线基板厚度变化对天线阻抗的实部和虚部影响, 用 IE3D 工具仿真如图 6 和图 7 所示。

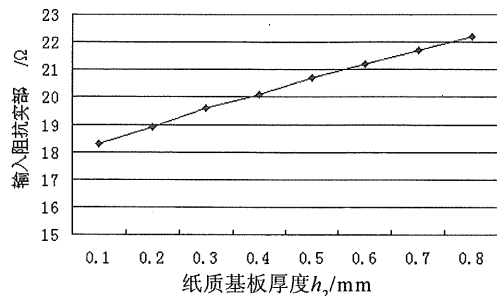


图6 天线阻抗实部随纸质基材厚度变化曲线

Fig. 6 Antenna resistance changed by thickness of paper substrate

由图 6 和图 7 所见, 天线纸质基板厚度的变化 ($0.1 \sim 0.8 \text{ mm}$) 对天线阻抗影响较小 ($< 10\%$)。

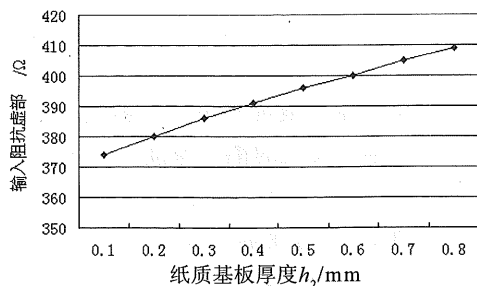


图 7 天线阻抗虚部随纸质基材厚度变化曲线

Fig. 7 Antenna reactance changed by thickness of paper substrate

因此,小环天线的基板厚度对天线性能的影响可以忽略。

4) 保持小环标签天线边长 $D = 23$ mm, 基板厚度 $W = 2.2$ mm 不变, 纸质基板的厚度 $h_2 = 0.8$ mm, 考察不同介电常数 ε_r 的纸质基材对天线阻抗的影响。如图 8 和图 9 所示。

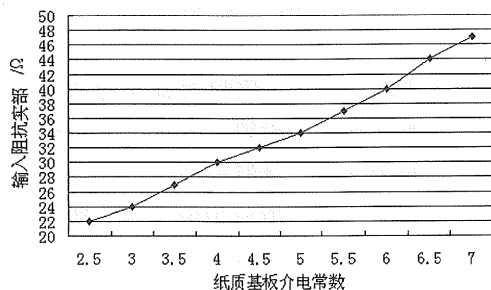


图 8 天线阻抗实部随纸质基介电常数变化曲线

Fig. 8 Antenna resistance changed by dielectric constant of paper substrate

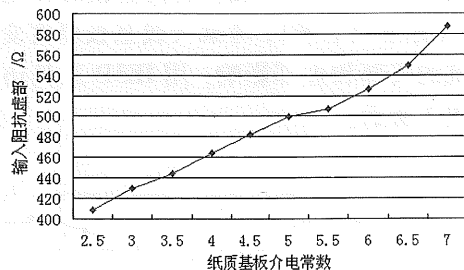


图 9 天线阻抗虚部随纸质基介电常数变化曲线

Fig. 9 Antenna reactance changed by dielectric constant of paper substrate

由图 8 和图 9 所见, 基板介电常数的变化 (2.5 ~ 7) 对天线阻抗的影响较大, 尤其是铝线阻抗实部, 电阻值上升了一倍, 虚部电抗值也上升了 50%。因此, 可以通过选择合适的基板材料来调整小环天线的阻抗。

2 纸基小环天线的理论计算

根据上述仿真结果, 选定 RFID 标签天线的结构为单圈 ($N = 1$) 方环天线, 天线的铝箔厚度 $h_1 = 3$ μm , 纸质基板的介电常数 $\varepsilon_r = 2.5$, 厚度 $h_2 = 0.8$ mm, 天线边长 $D = 23$ mm, 线径 $W = 2.2$ mm, 仿真得到天线的阻抗为 $22 + j410$ Ω , 不考虑介质损耗情况下, 天线的增益仿真值为 -11.8 dB。以下通过理论计算推导上述结构的小环天线的辐射特性^[11]:

$$\text{小环天线辐射电阻 } R_r = \frac{320\pi^4 A^2 N^2}{\lambda^4} = 755 \text{ m}\Omega$$

A 为环天线面积, λ 为天线工作频段波长;

小环天线的损耗电阻

$$R_l = \frac{4D}{\sigma W h_1} = 11.58 \text{ } \Omega$$

则可以推导环天线的效率

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_l} = 6.12\% = -12.1 \text{ dB}$$

另有环天线的方向性系数 $D = 1.76$ dBi。若 RFID 标签天线和标签芯片电路完全匹配 (即匹配因子 $\gamma = 1$), 则小环 RFID 天线增益:

$$G = D\eta\gamma = 1.76 - 12.1 = -10.34 \text{ dB}$$

理论计算结果与该尺寸下 (基板厚度 $h_2 = 0.8$ mm, 天线边长 $D = 23$ mm, 线径 $W = 2.2$ mm, 线圈 $N = 1$) 仿真计算的小环天线增益值 -11.2 dB 较接近。可见, 小方环天线的理论计算和仿真结果十分接近, 证明 RFID 小环标签天线的仿真结果是可信的。

3 纸基小环天线的实物测试

最后, 本文在介电常数 $\varepsilon_r = 2.5$, 厚度为 0.8 mm 的白卡纸基板上镀铝膜制作 RFID 小环天线实物。RFID 小环天线匹配的 RFID 标签 IC 是 Philips 公司的 SL3100 芯片, 由该芯片的资料推算天线目标阻抗为 $20 + j400$ Ω , 根据上述仿真结果, 小环天线的边长 $D = 23$ mm, 线径 $W = 2.2$ mm, 如图 10 所示, 天线所占面积与 1 角人民币硬币面积相当。

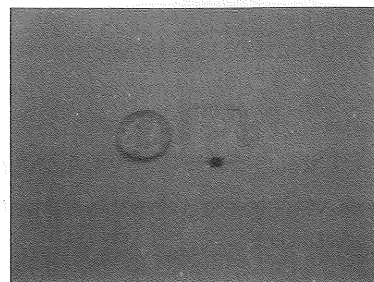


图 10 RFID 小环天线实物

Fig. 10 The matter of small loop RFID tag antenna

在辐射功率 4 W, 工作频段 915 MHz 的条件下, 使用 AWID 公司的 MPR-3014 阅读器在空旷环境中与 RFID 小环天线的识别距离达到约 1.2 m, 标签天线的性能基本达到 RFID 应用要求^[12]。

4 结 论

本文仿真了基于纸质基板的 RFID 小环天线, 通过改变环形天线的几何尺寸和基板的物理参数, 实现了与目标 RFID 标签芯片的阻抗匹配。仿真与计算结果表明, 纸基小环天线具有较好的环保特性和小型化的尺寸, 扩展了 UHF 频段 (860-960 MHz) RFID 技术的应用范围, 具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] SESHAGIRI Rao K V, PAVEL V Nikitin, SANDER F Lam. Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application[J]. IEEE Trans On Antennas And Propagation, 2005, 53(12): 10.
- [2] KLAUS FINKENZELLER. handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification [M]. New York: Wiley, 2003.
- [3] 王振华, 张春, 李永明, 等. 用于 2.4 GHz 的射频识别的硅基集成小环天线的仿真与设计[J]. 微波学报, 2007, 3: 19-22.
WANG Zhenhua, ZHANG Chun, LI Yongming, et al. Simulation and design of on-chip loop antenna for 2.4GHz RFID application[J]. Journal of Microwares, 2007, 3: 19-22.
- [4] 苏铁青. RFID 电子标签印刷现状与发展前景综述[J]. 金卡工程, 2007, 1: 33-34.
SU Tieqing. Overview of the RFID tag printing present state and perspectives[J]. Cards World, 2007, 1: 33-34.
- [5] WERNER D H, GANGULY S. An overview of fractal antenna engineering research[J]. Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(1): 38-57.
- [6] PETER J. Fractal antenna design for RFID applications [J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2002; 1(3): 74-76.
- [7] ZHANG Zhizhen, LUO Yongzhi, XIAO Baocheng. RFID Tag Antenna Design [C] CSTRWC2004, C1: 26-30.
- [8] 赖晓铮; 张小燕; 赖声礼. 弯折线偶极子天线谐振特性的研究[J]. 微波学报. 2006, 3: 18-22.
LAI Xiaozheng, ZHANG Xiaoyan, LAI Shengli, Resonant Characteristics of the Meander-line Dipole Antenna [J]. Journal of Microwares, 2006, 3: 18-22.
- [9] LAI Xiaozheng; LAI Shengli, ZHANG Ruina. Research of the dipole RFID tag antenna[J]. Science Technology and Engineering, 2006, 6: 2129-2131.
- [10] S R BEST. On the resonant properties of the Koch fractal and other monopole antennas [J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2002, 1(3): 74-76.
- [11] 周朝栋, 杨恩耀. 电小天线[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990: 84-101.
ZHOU Chaodong, YANG Enyao. Electrically small antenna [M]. Xian: XIDIAN University Press, 1990: 84-101.
- [12] RAO K V S. An overview of backscattered radio frequency identification system (RFID) [C]//Microwave Conference. Asia Pacific, 1999: 746-749.

Design of Papery Substrate Small Loop Antenna for RFID Application

LAI Xiao-zheng¹, LIU Huan-bin¹, WANG Chong-shan², LAI Sheng-li²

(1. State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. College of Electronic and Information, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: This paper deal with the design of RFID tag antenna for UHF (860-960 MHz). Electrical characteristics and radiation characteristics of papery substrate small loop antenna were calculated and simulated. The impedance of the small loop antenna is matched to the impedance of the RFID tag chip by adjusting the antenna of geometric dimension and the physical parameter of paper substrate. Based on results of calculation and simulation, a papery substrate small loop antenna was designed for 915 MHz RFID tag.

Key words: papery substrate; small loop antenna; RFID