

A Design of a UHF RFID Antenna for Metal Environment Applications

Jinfang Wen, Tingyao Wu

Huanghuai University, Zhumadian Henan
Email: 20140111@huanghuai.edu.cn

Received: Mar. 9th, 2016; accepted: Mar. 24th, 2016; published: Mar. 30th, 2016

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

To meet the desire of integrated low-profile RFID handheld reader, a compact UHF reader antenna is proposed. This printed dipole, having a size of $100 \times 10 \times 1 \text{ mm}^3$, is very suitable for handheld mobile communication devices. The proposed approach of T-match in this paper can adjust the input impedance of the antenna, and overcome the low impedance when the antenna is installed close to the metal components in the reader. According to the experiment, it shows that the improved antenna has an excellent impedance matching in the 920 - 925 MHz band and the SWR is less than 1.2, as the maximum gain is about 2 dBi. Compared with ceramic microstrip antennas for the same applications, this work has numerous advantages such as long reading range, low profile, integrability and low cost.

Keywords

Metal Environment Applications, T-Match, Small Size, Simple Structure

应用于金属环境的UHF RFID读写器天线设计

温金芳, 巫廷耀

黄淮学院, 河南 驻马店
Email: 20140111@huanghuai.edu.cn

收稿日期: 2016年3月9日; 录用日期: 2016年3月24日; 发布日期: 2016年3月30日

摘要

为了满足集成、低剖面RFID手持读写器的需求,设计了一款小型超高频RFID读写器天线。该天线采用印制偶极子天线形式,体积为 $100 \times 10 \times 1 \text{ mm}^3$,非常适合于手持式移动通信设备。本文的创新点是使用T型匹配电路用于读写器天线调节阻抗匹配,使其可以适应读写器内部金属环境的需求。测试结果显示,该天线在920~925 MHz频段匹配性能良好,驻波比小于1.2,同时峰值增益约为2 dBi。与相同应用环境的陶瓷介质微带天线相比,其具有读取距离远,低剖面,体积小、重量轻,成本低等优点。

关键词

应用于金属环境, T型匹配, 体积小, 结构简单

1. 引言

近年来,射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)作为自动辨识工具,已广泛应用在服务行业和物流系统。典型的RFID系统由标签、读写器和数据管理系统三部分组成。对于RFID读写器而言,主要分为固定式(fixed)与手持式(handheld)读写器两种,手持式读写器因其使用的灵活性而被较多使用[1]。RFID平板读写器作为一种新兴的手持式读写器种类,与一般手持式读写器相比更具有轻薄便携、易于操作和防护性更强等优点,越来越受到消费者的欢迎。

目前RFID系统覆盖频带范围有低频(LF),高频(HF),超高频(UHF)和微波。860~960 MHz称为超高频(UHF),依据ISO/IEC 18000-6标准全球使用。不同国家和地区为UHF RFID分配的工作频段是不同的,我国信息产业部为UHF RFID分配的工作频段是840~845 MHz和920~925 MHz,而本文提出的天线的工作频段也为920~925 MHz。超高频RFID系统具有读取距离远、读取速度快和不受液体环境影响等特点,如今已成为了研究者研究的热点[2]。

对于UHF手持式RFID系统,天线对其性能与外观起着至关重要的作用,其小型化是目前研究的主要方向[3]。应用于手持式超高频读写器天线主要为微带天线,其一般采用圆极化,对标签的摆放姿态要求较低,但其尺寸较大,增益也较低。有研究员在文献中提出了缩小体积的微带天线应用于超高频手持式读写器,增益在-1 dB左右,体积为 $90 \text{ mm} \times 90 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$,尺寸仍然较大[4]。应用高介电常数($\epsilon_r = 21.8$)的陶瓷可以有效缩短微带天线尺寸,但目前用于手持式读写器的陶瓷天线厚度仍有5 mm附近,且较重,不利于系统的集成与便携化,此外价格也较贵[5]。为解决上述技术问题,本论文提出了一种尺寸上便于集成,同时能适应RFID手持设备内金属环境需求的印制板形式偶极子天线。在超高频RFID系统,印制偶极子天线形式常用作标签天线设计[6],本文利用其易于集成、加工、低成本和易匹配调节等优点,首次将其用作工业移动手持式读写器天线。

2. 天线原理与结构

典型的印制偶极子天线由天线臂、微带巴伦、接地板、馈电线和通孔五部分组成,结构如图1所示。馈电线位于基板的顶层,天线臂、微带巴伦和地板位于地板底层,底层和顶层通过通孔相连。这种印制偶极子天线具有较宽的工作频带,增益在2.15 dB左右。但是,当将这种印制偶极子天线放在金属附近或金属上,天线的性能将完全改变,不能正常工作。据此,本文提出了改进型印制偶极子天线结构,如图2所示。

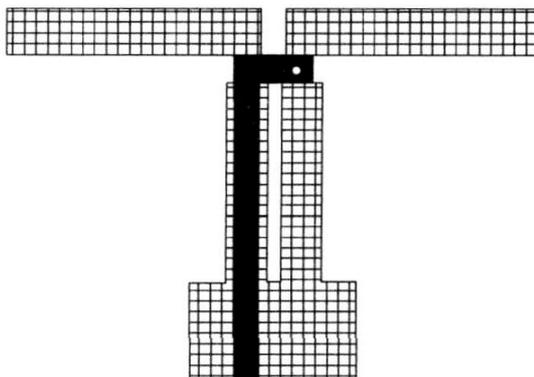


Figure 1. Typical dipole antenna
图 1. 典型偶极子天线

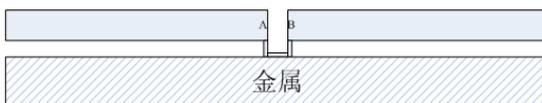


Figure 2. The configuration of the proposed antenna
图 2. 天线结构

提出的天线结构, 天线由两辐射臂间隔 3 mm 宽的缝隙构成。缝隙端有 1 mm 宽的短路带连接两辐射臂。天线没有短路带就是去掉了馈电巴伦常规印制偶极子天线。常规偶极子天线的馈电巴伦为四分之一波长, 提出的天线去掉, 馈电巴伦使得天线的尺寸减小为原来的 1/5。常规印制偶极子天线谐振处的阻抗为 $73.1 + j \times 42.5$ 欧姆, 但将其放置在金属附近时, 天线的阻抗会变得很低, 在谐振频率处为 $8 + 10j$ 欧姆, 而不能与 50 欧姆的同轴线匹配。电路短截线具有调节感抗的功能, 可用来补偿两辐射臂间的电容、天线与金属间的电容耦合, 这也就是实现阻抗匹配的原理。这样, 调节 A、B 两点的距离和短路带离金属的距离可使天线达到很好的匹配。天线通过 50 欧姆的同轴线馈电。同轴线的中心导体和外导体分别焊接在 A 点和 B 点。显然, 提出的天线结构对称, 所以 A、B 点可互换。提出结构的天线实物如图 3 所示。天线印制在普通的 FR4 环氧板上, 天线的整体尺寸为 $100 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 。

提出的天线的短路线设计原理是采用 T 型匹配网络的改进设计[7], 加载匹配后天线结构和等效电路如图 4 所示(为了看的清楚适当加长短路线的长度), 这也是本文的创新之处。引入短路线来调节长度为 lA 的偶极子天线的输入阻抗[8], 从而达到阻抗匹配的目的。短路线的长度 a 跟偶极子臂的距离 b 较小, 则天线辐射时的电流分布可看成偶极子臂和短路线共同的电流辐射。

在图 4 中, 短路线相当于一个阻抗变换器。对于通常的半波长偶极子, 短路线在馈电端口处的阻抗呈感抗特性, 然而对于较小的偶极子, 总的输入阻抗既可表现为容抗特性, 又可表现为感抗特性。天线的输入电阻和电抗依赖于短路线的尺寸 a 和 b 。根据天线理论[9]可以得知, 加载匹配线后, 天线馈源处的等效输入阻抗可表示为

$$Z_{in} = \frac{2Z_T(1+\gamma)^2 Z_A}{2Z_T + (1+\gamma)^2 Z_A} \quad (1)$$

式中, Z_A 为偶极子天线臂的等效阻抗; Z_T 为短路线的输入阻抗; γ 为偶极子臂和短路线间的电流耦合系数。

因为偶极子的天线臂可看做是半径为印制偶极子臂宽 1/4 的圆柱形对称阵子, 所以印制偶极子天线臂的输入阻抗可参照圆柱形对称阵子的等效阻抗, 可表示为



Figure 3. A sample of coaxial cable feed antenna of 50 ohm

图 3. 50 欧姆同轴电缆馈电天线实物

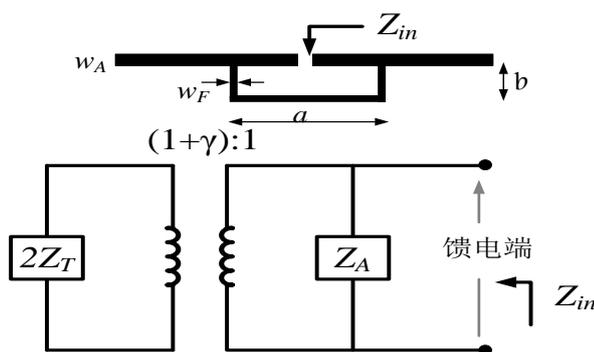


Figure 4. T-match configuration for planar dipoles and equivalent circuit

图 4. 共面偶极子 T 型匹配几何结构及等效电路

$$Z_A = 120 \left(\ln \frac{8l_A}{w_A} - 1 \right) \left(\frac{\sinh(2\alpha l_A) - (\alpha/\beta) \sin(2\beta l_A)}{\cosh(2\alpha l_A) - \cos(2\beta l_A)} - j \frac{(\alpha/\beta) \sinh(2\alpha l_A) + \sin(2\beta l_A)}{\cosh(2\alpha l_A) - \cos(2\beta l_A)} \right) \quad (2)$$

其中, α , β 分别为偶极子表面电流的衰减常数和相移常数; l_A , w_A 分别为偶极子天线臂的长和宽。

根据传输线理论, 短路线的输入阻抗为

$$Z_i = jZ_0 \tan(k\gamma/2) \quad (3)$$

式中, $k = 2\pi/\lambda$, λ 为等效波长, 可由天线的工作频率求得。 Z_0 为平行双线的特性阻抗, 同样根据传输线理论, 可表示为

$$Z_0 \cong 276 \lg \left(\frac{b}{\sqrt{r_e r'_e}} \right) \quad \text{其中, } r_e = 0.5w_A, r'_e = 8.25w_F \quad (4)$$

式中, b 为平行双线的长度; r_e , r'_e 分别为偶极子和短路线的等效半径; w_F 为短路线的宽度。

根据变压器原理, 偶极子臂与短路线间的电流耦合系数可表示为

$$\gamma = \ln(b/r'_e) / \ln(b/r_e) \quad (5)$$

故通过变化几何参数 l_A , w_A , w_F 和 b 可以调整天线馈电处的输入阻抗, 以便在金属环境下与 50 欧姆同轴线实现共轭匹配。

3. 仿真和实测结果分析

采用 HFSS13 对提出的天线加短路线和不加短路线分别进行仿真, 其馈电端的输入阻抗如图 5 所示, 需要指出的是本文在仿真时已考虑到金属环境条件。当不加短路线时, 由于天线下方金属板的影响, 两辐射臂的馈电端的归一化输入阻抗如图 4(a)所示, 可以看出在 922 MHz, 天线的输入阻抗为 $(0.1274 + j \times 0.20291) \times 50$ 欧姆, 天线的实部只有 8 欧姆, 不能与 50 欧姆的同轴馈电线实现阻抗匹配, 不能谐振。当加入短路线(又称电阻短截线)后, 通过调节电阻短接线的几何尺寸, 可实现阻抗匹配。其仿真结果如图 5(b)所示, 天线馈电端的输入阻抗实部近似 50 欧姆, 虚部近似为零, 实现了阻抗匹配, 此时天线处于谐振状态。短路线几何尺寸的理论值可由天线原理部分的公式计算出来。图 6 给出了将提出的天线置于平

板读写器后, 采用安捷伦 E5071C 矢量网络分析仪对驻波比进行测试的结果。可以看出, 提出的天线具有很好的阻抗匹配, 驻波比小于 1.2。

在微波暗室中研究了提出天线的辐射特性, 图 7 给出了在 922.5 MHz 的远场辐射波瓣测试图。传统

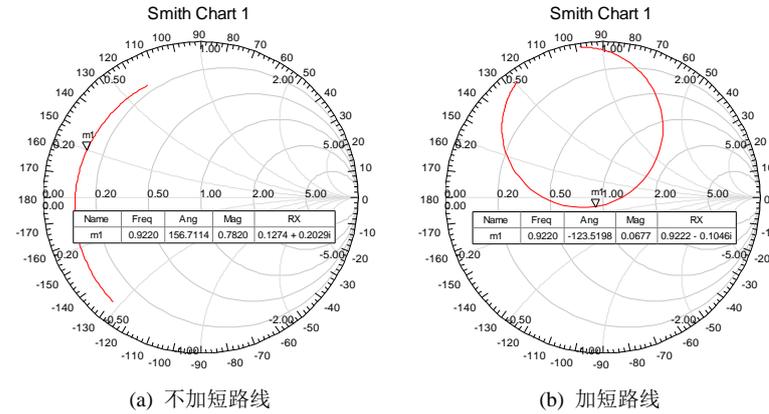


Figure 5. Smith charts
图 5. 阻抗圆图

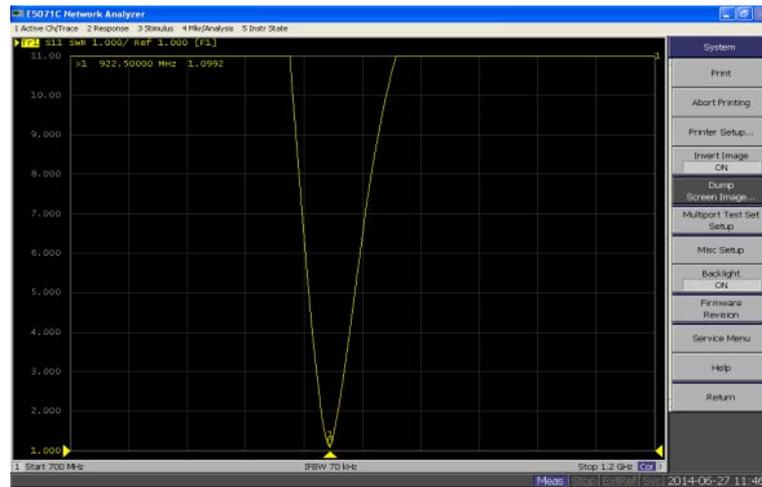


Figure 6. SWR test result
图 6. 驻波比测试图

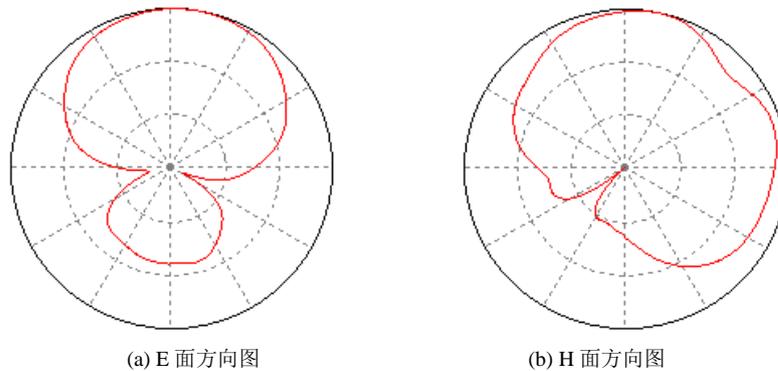


Figure 7. Lobe pattern at 922.5 MHz
图 7. 提出天线在 922.5 MHz 的测试波瓣图

Table 1. Performance comparison
表 1. 性能比较

文献	体积	工作频率	驻波	增益极化
提出天线	$100 \times 10 \times 1 \text{ mm}^3$	920~925 MHz	1.2	2 dBi 线极化
微带结构	$90 \times 90 \times 3 \text{ mm}^3$	920~925 MHz	1.2	-1 dBi 圆极化
陶瓷天线	$39 \times 39 \times 5 \text{ mm}^3$	920~922.5 MHz	1.5	3 dBi 圆极化

偶极子天线的 E 面波瓣呈 8 字, H 面波瓣全向。提出的天线, 由于偶极子天线下部金属的影响, 天线的辐射波瓣图发生了改变, 下面波束由于金属的反射与上面部分的波束发生叠加。此外, 该天线的最大增益约为 2 dBi。使用韩国奥地利微电子公司的输出功率 0.5 W 的读写模块和普通的抗金属标签, 天线的稳定读取距离可达 5 m 以上。与应用于同样环境的文献 4 提出的微带天线和文献 5 提出的陶瓷天线相比如表 1 所示, 可以看出, 与微带天线相比, 在相同的工作频率下, 尺寸为微带天线的 1/9, 增益比微带天线高 3 dB; 与陶瓷天线相比, 具有较宽的工作频带和较好的驻波, 天线厚度减小为原来的 1/5, 但天线的增益比陶瓷天线低 1 dB。从而可知提出的天线实现了读写器天线的小型化, 而且该天线成本很低, 价格不到陶瓷天线的 1/100, 比微带天线的价格也低很多, 而且结构简单适合批量生产。缺点就是提出的天线为线极化, 这也是本论文下一步要改进的地方。

4. 结论

本文设计一款用于 UHF 手持式 RFID 读写器天线, 其由两辐射臂和短路带组成, 具有结构简单、成本低、剖面低、体积小、重量轻、等优点, 而且能够适应读写器内较为贴近金属部件。该天线与应用于金属环境的微带、陶瓷天线相比, 在相同的工作频段, 具有尺寸小、剖面低、成本低等优点, 更适合 RFID 手持读写器采用。下一步的工作是在保证天线性能的前提下, 将天线设计为圆极化天线, 以满足不同方向标签放置的需求。

参考文献 (References)

- [1] Finkenzeller, K. (2004) RFID Handbook. 2nd Edition, John Wiley, Inc., New York.
- [2] Fennani, B., Hamam, H. and Dahmane, A.O. (2011) RFID Overview. 2011 *International Conference on Microelectronics*, **12**, 1-5. <http://dx.doi.org/10.1109/icm.2011.6177411>
- [3] Hsu H.T. (2013) A Koch-Shaped Log-Periodic Dipole Array (LPDA) Antenna for Universal UltraHighFrequency (UHF) Radio Frequency Identification (RFID) Handheld Reader. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **61**, 4852-4856. <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2013.2264451>
- [4] 杨虹, 郭莉. 一种 UHF 频段 RFID 手持读写器天线的设计[J]. 电子元件与材料, 2014, 5(33): 71-74.
- [5] 王震宇, 刘瑜. UHF 双馈电微带陶瓷天线仿真与设计[J]. 电子技术, 2014(1): 45-46.
- [6] 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, 4(28): 35-38.
- [7] 罗志勇, 徐阳, 刘星. 基于改进 T-Match 技术的 UHF 频段 RFID 标签天线设计研究[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2012, 6(24): 756-759.
- [8] Gaetano Marrocco, V. (2008) The Art of UHF RFID Antenna Design: Impedance-Matching and Size Reduction Techniques. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, **50**, 66-79. <http://dx.doi.org/10.1109/MAP.2008.4494504>
- [9] 克劳斯. 天线[M]. 第三版. 北京: 电子工业出版社, 2011.