

一种小型化 UHF 频段弯折标签天线

马中华¹, 陈锦秀², 柯友艺¹

(1. 集美大学信息工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 为了减小标签天线的尺寸, 增大射频识别的距离, 设计了基于折合振子的弯折天线结构, 调节天线的结构参数使得其满足高 Q 的指标来提高芯片输入口的电压, 增大作用距离. 通过调整微带宽度和弯折结构的间距, 使芯片输入阻抗和天线的输入阻抗达到共轭匹配. 通过软件 HFSS 仿真分析天线的性能, 得到 $67\text{ mm} \times 33\text{ mm}$ 的弯折天线结构, 制作在厚度为 3 mm 的 FR-4 PCB 介质基板上并进行了测试, 反射系数小于 -25 dB , 电压驻波比小于 1.2 , 工作带宽达到了 28 MHz 以上. 仿真和实验结果表明, 天线性能达到了较好的结果, 能够满足标签天线的应用要求.

关键词: 标签天线; 共轭匹配; 小型化; HFSS 软件

中图分类号: TN828

文献标识码: A

A miniature UHF band circuitous tag antenna

MA Zhong-hua¹, CHEN Jin-xiu², KE You-yi¹

(1. School of Information Engineering, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021, China;

2. School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: In order to decrease the dimension of tag antenna and increase the distance of RFID, design the circuitous tag antenna structure based on folded dipole and adjusts the structure parameter to achieve high Q characteristic, which can increase the input voltage of tag chip and operating distance. With the propose of conjugate matching for the input impedance of tag chip the input impedance of tag antenna, people adjust microstrip width and to adjust circuitous structure spacing between. Using HFSS software to analyse the performance of tag antenna, get the $67\text{ mm} \times 33\text{ mm}$ circuitous tag antenna structure, which is manufactured on the FR-4 PCB medium substrate of 3 mm thickness and tested. The testing result shows that $S(1, 1) < -25\text{ dB}$, $VSWR < 1.2$ and the bandwidth is above 28 MHz . The simulation and experimental result shows the performance of tag antenna is acceptable, which can be used in any spot.

Keywords: tag antenna; conjugate matching; miniaturization; HFSS software

0 引言

RFID 是一种非接触的自动识别技术, 近年来发展非常迅速. 其主要由两部分构成, RFID 阅读器和应答器组成. 应答器由标签芯片和标签天线构成, 标签芯片由电压相乘器、调制\解调器、时钟电路、寄存器和逻辑控制电路构成^[1]. 应答器主要依靠阅读器发射的电磁波信号来供电, 标签芯片和标签天线之间的匹配决定了供电效率和天线的灵敏度, 还有读写距离的大小^[2]. 由于标签是附着在要识别的物体上, 因此它的结构、体积和电气性能成为目前和将来研究的重点. 工作在 HF 频段的 RFID 系统依靠磁场耦合来交换数据, 其读写距离很短, 速率低, 而且效率很低. 工作在 UHF(ultra high frequency) 频段的 RFID 系统利用电磁辐射来交换数据, 其读写距离远, 而且数据处理速率很高, 效率相对 HF 频段要高^[3]. 在标签和读写器通信过程中, 天线起至关重要的作用, 特别是标签天线. 因此, UHF 频段标签天线的设计成为近年来

收稿日期: 2012-04-09

通讯作者: 马中华(1973-), 讲师, E-mail: mzhxm@jmu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60803078); 福建省教育厅科研资助项目(JB11096)

的研究热点, 相继出现了防金属技术的标签天线^[4]、基于分形理论的标签天线^[5]、基于 LTCC 技术的标签天线^[6]、折叠印刷偶极子标签天线^[7]、共面波导构成的标签天线和高 Q 值的标签天线等^[8-9]。

基于成本和体积的原因, 在标签上的标签芯片和标签天线不可能增加各自的匹配电路, 为了使标签天线上接收的电磁波能够驱动标签芯片工作, 必须要让标签天线和标签芯片输入阻抗共轭来传输最大功率, 增大读写距离^[10-11]。标签天线的设计难点在于阻抗失谐, 标签天线的 Q 值一般很大, 采用电磁耦合工作在 13.56 M 的耦合线圈标签天线的 Q 值很大; 而采用电磁辐射原理的 UHF 标签天线的 Q 值较小, 一般在 5 ~ 10 左右。对于 UHF 频段的 RFID 系统的工作频带, 我国为 920 ~ 925 MHz, 美国和欧洲为 860 ~ 930 MHz, 因为 Q 值高, 工作频点在带内变动就会引起阻抗的强烈变化, 造成阻抗失谐。标签附着在要识别的物体上, 体积会随物体大小变化, 随着射频识别应用的发展, 标签天线的设计趋于小型化方向发展, 近年来出现了各种结构和材料的小型标签天线。如 Michishita 等人提出了折合偶极子天线^[12], Hong - Kyun Ryu 和 Jong - Myung Woo 提出了一种基于折合方法的天线结构^[13]; 胡中皓等人提出了弯折线偶极子的小型化标签天线^[14]; 为了减小标签天线的物理尺寸, Morrow 等人提出了分形曲线构造振子臂标签天线^[15], 李强等人提出小型化圆形标签天线^[16]。

天线的高 Q 会增加标签芯片端口的电压和增加效率, 可以提高读写距离^[2]。当 UHF 频段标签天线附近有其它物体, 比如是金属物体或者高介电常数的物体时会失谐, 因此需要标签天线的输入阻抗能够在很宽的范围内稳定。但是 Q 值越高, 天线的灵敏度就越高, 相应的阻抗在通带内的变化就越剧烈, 而且带宽越窄, 所以要进行折中。一般 Q 值取 10 左右。而且标签天线要和标签芯片达到匹配而不引入匹配电路就要进行共轭匹配。

本研究首先对折合振子标签天线进行设计。为了标签天线小型化和提高标签天线输入口的电压, 提出将折合振子天线进行弯折变形, 通过改变天线的结构参数来实现和芯片的共轭匹配, 标签芯片选用 NXP 公司提供的专用标签芯片 SL3ICS1002 G2XM, 在 915 MHz 输入阻抗为 $24 - j^* 195\Omega$, 品质因数可达到 8, 提高了芯片输入口的电压, 增加 RFID 系统的识别距离。

1 折合振子标签天线的小型化

根据理论计算折合阵子标签天线尺寸达到了 90 mm × 60 mm, 尺寸较大。在很多应用场合, 对标签天线的尺寸有严格的限制, 必须对标签天线进行小型化。标签天线小型化主要通过以下技术实现: ①采用高介电常数的基板; ②通过改进天线的几何结构; ③采用多层介质基板; ④天线加载; ⑤表面开槽。采用多层介质基板技术因为工艺复杂, 很多场合不能和物体本身共形等原因而很少采用。天线加载需要引入一些结构, 在标签天线的小型化方面也很少使用。表面开槽技术是对于面天线而言。本研究采用 FR-4 的介质基板, 只能通过改进标签天线的几何结构来减少尺寸, 即采用弯折进行天线小型化, 结构如图 1 所示。

为了实现和标签芯片的共轭匹配, 通过调整弯折标签天线的 W_2 来改变电阻, 通过调整弯折的间隔来调节电抗, 最后通过微调图 1 右边的两个边长来微调电抗, 使得标签天线的输入阻抗达到或者接近芯片输入阻抗的共轭, 即 $24 + j \cdot 195\Omega$ 。此天线的下层是一层地, 可以很好地屏蔽附着物体带来的介电常数对天线性能的影响。弯折标签天线采用 FR-4 材料做基板, 相对介电常数为 $\epsilon_r = 4.4$, 介质厚度 $h = 3$ mm 天线的尺寸参数如表 1。使用高介电常数的介质, 还可以使天线的尺寸进一步减小。

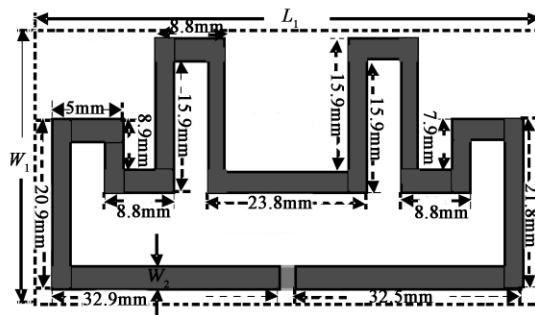


图 1 小型化后的弯折标签天线
Fig. 1 Miniature circuitous tag antenna

表 1 弯折天线的相关尺寸参数

Tab. 1 Structure parameters of circuitous antenna

L_1 / mm	W_1 / mm	W_2 / mm	h_1 / mm
67	33	1.9	3

2 仿真和实验验证

对图 1 的模型进行 HFSS 仿真,得到图 2 和图 3 所示的 3D 方向图和 E 面方向图. 仿真测得标签天线的增益为 $G = -3.7$ dB.

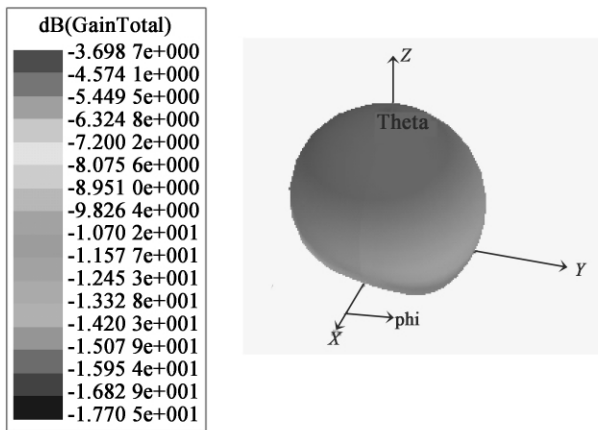


图 2 弯折天线的 3D 方向图

Fig. 2 3 D radiation pattern of circuitous antenna

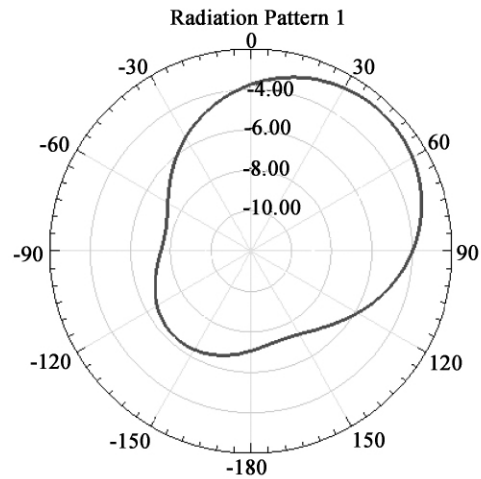


图 3 弯折天线的 E 面方向图

Fig. 3 E plane pattern of circuitous antenna

对图 1 的模型用 HFSS 软件进行仿真得到图 4 所示的结果,当工作频率在 860 ~ 960 MHz 之间变化时,实部变化不大,虚部变化非常剧烈. 在频率 920 MHz 处的输入阻抗为 $Z = R_a + j \cdot X_a = 15.28 + j \cdot 192.8 \Omega$,在频率 925 MHz 处的输入阻抗为 $16.6 + j \cdot 202.8 \Omega$ 非常接近标签芯片的共轭阻抗. 把仿真优化后的弯折天线模型制成实物进行测试. 因为标签天线输入是平衡馈电,而同轴电缆是一个不平衡结构,不能直接测试标签天线的输入阻抗,需要在天线和射频电缆之间加入一个平衡/不平衡转换器,进行天线输入阻抗的测试,然后再匹配到 50Ω 就可以对标签天线进行回波损耗和驻波参数的测量. 选用美国美康科技有限公司(M/A - COM)的 1:1 的巴伦进行变换,最后利用矢量网络分析仪 agilent E8362B 对天线进行了测试,其输入阻抗非常接近标签芯片的共轭 $24 + j \cdot 195 \Omega$.

最后对图 1 的 HFSS 仿真模型进行仿真和弯折天线的实物进行实验测试,得到图 5 反射系数的曲线和图 6 电压驻波比的曲线. 从图 5 可以看出,仿真测得标签天线在 922 MHz 的回波损耗 $S_{11} = -33.4$ dB,在 $S_{11} < -20$ dB 时,标签天线的天线频带范围为 900 ~ 940 MHz,带宽约为 40 MHz,天线获得较宽的频带宽度. 也就是说,在较宽的频带内,标签天线的阻抗变化不会非常剧烈. 对于在 RFID 系统的 920 ~ 925 MHz 的通带内,反射系数都小于 -31 dB. 对制作的天线实物进行测试,在 $S_{11} < -20$ dB 时,标签天线的频带范围为 902 ~ 940 MHz,带宽为 38 MHz,相对于仿真结果带宽略有变窄,而且中心频点发生了偏移,谐振点大概在 920 MHz 左右. 但是 920 ~ 925 MHz 的通带内,反射系数都小于 -25 dB.

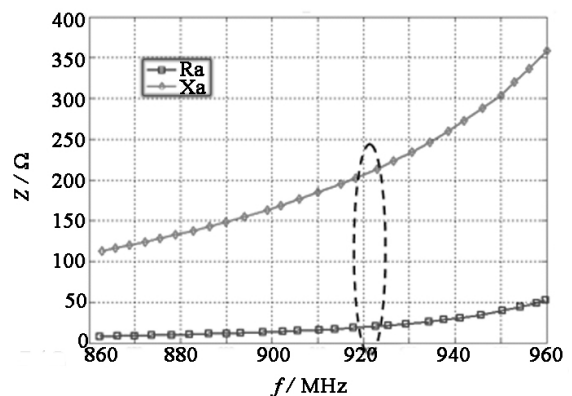


图 4 标签天线的端口阻抗仿真结果

Fig. 4 Input impedance of tag antenna

由图 6 得出仿真测得标签天线在谐振点 922 MHz 处的电压驻波比 $VSWR = 1.044$,当 $VSWR < 1.2$ 时,标签天线的频带范围为 903 ~ 938 MHz,频带宽度约为 35 MHz. 而对制作的天线实物进行测试,对于 $VSWR < 1.2$ 的频带为 912 ~ 930 MHz,频带宽度约为 28 MHz,比仿真结果小了 7 MHz,而且谐振点发生了偏移,向下移动了 2 MHz 左右,在谐振点出的 $VSWR$ 为 1.05,比仿真结果增大了 0.006.

最后使用先施科技公司的读写器测试了本文中标签的读写距离,在读写器发射功率为 1W,天线增益

为 5 dB 的条件下,读取距离可达 5 m.

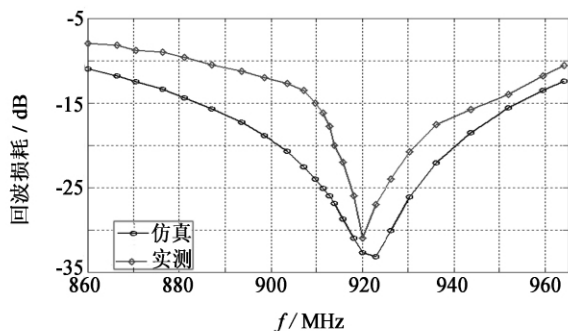


图5 实测的弯折天线 S11 仿真和实验结果

Fig. 5 Test and simulation result of S11 with circuitous antenna

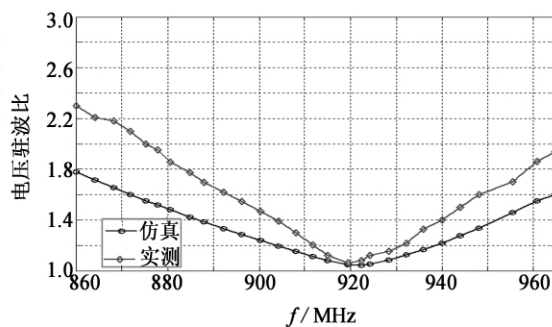


图6 实测的弯折天线 VSWR 仿真和实验结果

Fig. 6 The test and simulation result of VSWR with circuitous antenna

3 结语

根据折合振子标签天线的结构提出一种小型化的方法. 把折合振子的一边改变成弯折结构, 完成了标签天线的小型化, 把标签天线从原来的 $90\text{ mm} \times 60\text{ mm}$ 减小到 $67\text{ mm} \times 33\text{ mm}$. 标签天线由于采用振子臂弯折和增加标签天线传输线的宽度, 增大了标签天线阻抗的实部电阻值. 改变弯折结构的间距来调整标签天线的电抗, 最终使标签天线的阻抗更接近标签芯片的共轭阻抗. 设计的标签天线具有较好的回波损耗和电压驻波比, 较宽的通带宽度, 基本达到标签天线的应用要求.

参考文献:

- [1] Chiu S. A 900 MHz UHF RFID reader transceiver IC [J]. *Solid - State Circuits*, 2007, 42(12): 2 822 - 2 833.
- [2] 赖晓铮, 刘焕彬, 张瑞娜, 等. 一种平面倒 F 纸基 RFID 标签天线 [J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2008, 38(3): 376 - 379.
- [3] Lee J W, Lee B. Design of high - Q UHF radio - frequency identification tag antennas for an increased read range [J]. *IET Microwave Antennas Propag*, 2008, 2(7): 711 - 717.
- [4] 朱文斌, 袁斌, 黄俊青. 一种新型 2.4GHz 频带 RFID 抗金属标签天线 [J]. *微波学报*, 2009, 25(4): 49 - 51.
- [5] Choi Y, Kim U, Kim J, et al. Design of modified folded dipole antenna for UHF RFID tag [J]. *Electronics Letters*, 2009, 45(8): 387 - 389.
- [6] 张为, 曾燕. 基于 LTCC 技术的 UHF RFID 标签天线设计 [J]. *电波科学学报*, 2008, 23(5): 987 - 990.
- [7] 汤伟, 林斌, 周建华, 等. 一种小型化 RFID 标签天线的仿真设计 [J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2008, 47(1): 50 - 54.
- [8] Liu Hsien - wen, Lin Yu - shu, Wu Kuo - hsien, et al. A metal tag antenna for passive UHF RFID applications [C]//*Progress in Electromagnetics Research Symposium*. Beijing [s. n.], 2009: 1 261 - 1 263.
- [9] Lee J W, Lee B. Design of high - Q UHF radio - frequency identification tag antennas for an increased read range [J]. *Antennas Propag*, 2008, 2(7): 711 - 717.
- [10] Qing Xian - ming, Chean K G, Chen Zhi - ning. Impedance characterization of RFID tag antennas and application in tag code - design [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2009, 57(5): 1 268 - 1 274.
- [11] Nikitin P V. Power reflection coefficient analysis for complex impedances in RFID tag design [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2005, 53(9): 2 721 - 2 725.
- [12] Michishita N, Yamada Y. A novel impedance matching structure for a dielectric loaded 0.05 wavelength small meander line antenna [C]//*Antennas and Propagation Society International Symposium 2006*. [s. l.]: IEEE, 2006: 1 347 - 1 350.
- [13] Ryu Hong - kyun, Woo Jong - myung. Size reduction in UHF band RF ID tag antenna based on circular loop antenna [C]//*Applied Electromagnetics and Communications 2005*. [s. l.]: IEEE, 2005: 1 - 4.
- [14] 胡中皓, 张麟兮, 郭斌. 弯折线偶极子射频识别标签天线设计方法研究 [J]. *计算机仿真*, 2011, 28(1): 162 - 165.
- [15] Morrow J D. Polarization - adjustable omnidirectional dipole array [J]. *Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2003, 2(1): 223 - 225.
- [16] 李强, 赖声礼, 朱海龙. 一种小型化圆形 UHF 频段 RFID 标签天线的设计 [J]. *科学技术与工程*, 2008, 8(1): 187 - 190.

(责任编辑: 林晓)