

具有感应反馈环的超高频 RFID 标签天线设计

詹 杰¹, 刘宏立¹, 唐志军²

ZHAN Jie¹, LIU Hongli¹, TANG Zhijun²

1.湖南大学 电气与信息工程学院,长沙 410082

2.湖南科技大学 信息与电气工程学院,湖南 湘潭 411201

1.School of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

2.School of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China

E-mail: Jiezhanwl@163.com

ZHAN Jie, LIU Hongli, TANG Zhijun. Design of antenna with coupling feed loop for UHF band RFID tags. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(3): 27-29.

Abstract: Aimed at the importance of tag antennas in RFID systems, a sort of tag antenna with coupling feed loop is designed and analyzed in UHF RFID bands based on the theory of micro-strip antenna design and electromagnetic radiation. The dimension of the antenna operating at 915 MHz is around 78 mm×23 mm. The antenna shows near linear phase characteristics, around 100 MHz bandwidths under the condition of Voltage Standing Wave Ration(VSWR) less than 2. The resonant frequency of the antenna can be adjusted by tuning the length of the coupling feed loop. The gain of the proposed antenna is about 2.5 dBi. By simulation and measurement, it is known that this kind of antennas is suitable for RFID application for all different UHF RFID band tags.

Key words: antenna; Radio Frequency Identification(RFID); coupling feed loop; bent-line structure; tags

摘要: 针对标签天线在RFID系统中的重要性,基于微带天线设计和电磁场散射理论,设计和分析了一种具有感应反馈环的超高频段RFID标签天线。天线的谐振频率为915 MHz,尺寸为78 mm×23 mm,天线显示近线性相位特性,在电压驻波比小于2的条件下,天线的阻抗带宽为100 MHz,可以通过调整感应反馈环的长度来调整天线的谐振频率,天线的增益为2.5 dBi左右。通过仿真和测量可知,这种天线能较好地满足RFID超高频段标签的要求。

关键词: 天线; 射频识别; 感应反馈环; 折线结构; 标签

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2011.03.008 文章编号:1002-8331(2011)03-0027-03 文献标识码:A 中图分类号:TN82

1 引言

众所周知,射频识别(RFID)技术被认为是21世纪最有发展前途的信息技术之一,它利用射频信号来自动识别物体。目前,RFID应用遍及各个领域,如电子收费、资产识别、零售项目管理、访问控制、动物跟踪、车辆安全等^[1]。在全球范围内,每个国家都有自己的RFID频率分配标准。表1显示了不同国家或地区RFID超高频段的分配标准。标签天线是RFID系统最重要的组成部分,随着RFID应用的发展,标签天线设计的要求也越来越高^[2]。通常,无源RFID标签由天线和专用集成电路芯片(ASIC)构成。在RFID系统中,天线和芯片之间的阻抗匹配是非常重要的。考虑到成本和制造问题,RFID标

签中禁止增加具有集总元件的外部匹配网络。为了克服这种情况,天线可以直接与芯片相匹配。通常,标签芯片的阻抗是随频率变化而变化的复数阻抗,并且标签芯片由输入功率来驱动^[3]。

表1 不同国家或地区的RFID超高频段划分 MHz

国家或地区	微波频段	中心频率
美国/加拿大	902~928	915
欧洲	865~868	866.5
中国	840.5~844.5 920.5~924.5	842.5 922.5
日本	952~955	953.5
其他	860~960	868或915

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No. No.50807011);湖南省教育厅资助科研项目(the Research Project of Department of Education of Hunan Province, China under Grant No.09C398);湖南省科技厅资助计划(No.2010FJ4068)。

作者简介: 詹杰(1973—),男,博士生,副教授,研究方向为无线传感器网络,射频天线,移动通信等;刘宏立(1963—),男,教授,博士生导师,研究方向为现代通信理论和无线传感网络新技术,移动通信系统与软件无线电;唐志军(1974—),男,博士,讲师,研究方向为RFID技术,RFID天线设计、分析和测量,射频通信等。

收稿日期:2010-10-08 修回日期:2010-12-03

到目前为止,国内外有关UHF(超高频)RFID标签天线的研究很多^[2-10],但这些RFID标签天线只注重其中的某一个或部分天线参数的研究,而综合考虑天线各个主要参数的平衡来研究UHF RFID天线的文献比较欠缺。与此同时,为了使RFID系统在全球范围内工作,天线的阻抗带宽应该尽可能展宽,增益需要尽可能提高,辐射特性要求全向性或准全向性。然而,在标签大小或其他性能参数不受任何影响的前提下,设计出宽频带、高增益和全向性天线是一项艰巨的任务。

基于此,提出了一种新的具有感应反馈环和折线型贴片的宽带、高增益天线结构,它具有许多优点:慢辐射损耗、无耗散、配置简单、无短路脚、容易与射频或微波电路组件集成,易于构成小型混合或单片微波集成系统,并且,标签天线能同时满足宽带和紧凑尺寸的要求。对于所设计的标签天线的主要参数性能,计算机仿真和实验结果取得了较好吻合。

2 天线性能评价

在RFID系统中,最重要的性能参数是识别距离,它与标签的方向性、标签的附着材料和传播环境等有关^[11]。阅读距离d可以通过弗里斯(Friis)自由空间公式来计算:

$$d = (\lambda / 4\pi) \sqrt{P_r G_r G_t / P_{th}} \quad (1)$$

其中,λ为波长, P_r 为阅读器的发射功率, G_r 为发射天线的增益, G_t 为标签天线的增益, P_{th} 为标签芯片的开启功率, τ 为功率传输系数。通常,功率传输系统可以表示为:

$$\tau = \frac{4R_c R_a}{|Z_c + Z_a|^2}, 0 \leq \tau \leq 1 \quad (2)$$

其中, $Z_c = R_c + jX_c$ 为芯片阻抗, $Z_a = R_a + jX_a$ 为天线阻抗。从式(1)可以看出,阅读距离取决于读写器的有效全向辐射功率($EIRP = P_r G_r$),标签天线增益 G_t 和功率传输系数 τ 。功率传输系数依赖于频率,主要由ASIC芯片和标签天线之间的最佳阻抗匹配时的谐振频率决定。该频率不同于天线负载 50Ω 或 75Ω 时的谐振频率,也不同于天线的自我共振频率。通常,在设计天线时,天线匹配负载是按照 50Ω 或 75Ω 标准来进行的。然而,在RFID的应用中,ASIC芯片的输入阻抗通常不再是 50Ω 或 75Ω ,它可能是任意值。为了传输最大功率,标签天线的输入阻抗与芯片的阻抗必须是共轭的,这意味着所需的标签天线阻抗也可以是任意值^[11]。

式(1)中的阅读距离d可以通过系数 $d_0 = (\lambda / 4\pi) \sqrt{P_r G_r G_t / P_{th}}$ 归一化。通过功率传输系数和增益之间的关系可以绘制出阅读距离d的等精度曲线,如图1所示。其中,曲线上标注的阅读距离值均为通过 d_0 归一化后的值。借助阅读距离,标签天线性能图(图1)可以用来评估阻抗匹配和增益之间的平衡情况。

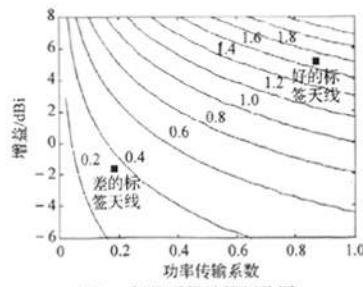


图1 标签天线性能评价图

3 标签天线设计

谐振频率为915 MHz天线的几何结构如图2所示。该天线由一个折线型微带贴片、矩形微带贴片和可调的微带感应反馈环构成。标签天线的薄铜层打印在常用的FR4介质($\epsilon_r = 4.4$, $\tan \delta = 0.017$)基板上,基板厚度 $h = 0.5\text{ mm}$ 。

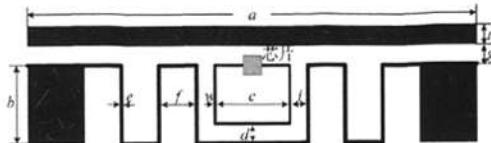


图2 天线几何结构图

天线的输入端口和芯片的位置如图2所示。“a”是微带贴片的长度;“b”和“f”分别是折线型微带贴片和矩形微带贴片的宽度;“g”是反馈环的缝隙宽度;“c”感应反馈环微带的宽度;“d”是感应反馈环距折线的距离;“e”为折线的厚度;“f”为折线的间距;“g”为折线型微带贴片和矩形微带贴片之间的距离;“w”为感应反馈环导体的厚度;“a”和“c”为关键几何参数,它直接影响天线的谐振频率。通过调整“a”和“c”值,天线可以在不同的UHF波段标准(840~960 MHz)工作。谐振频率为915 MHz的天线经过优化之后的参数尺寸,如表2所示。

表2 天线的参数尺寸

	a	b	c	d	e	f	g	i	t
优化尺寸	77.5	17.2	14.0	3.5	2.0	6.0	2.0	2.0	3.0

4 实验结果与分析

天线输入阻抗实部和虚部的实验结果如图3所示。工作频率在0.8~1.0 GHz频段范围内,天线的电阻从3.6 Ω逐渐增大到19.0 Ω,天线的电抗从148.6 Ω逐渐增大到202.5 Ω。仿真结果表明设计的天线具有近线性相位特性。

在设计谐振频率为915 MHz的天线时,RFID标签芯片的阻抗参考值为 $11-j183\Omega$ 。回波损耗 S_{11} 是表征天线特点的一个重要参数。图4表明,该天线可以满足不同国家RFID在915 MHz超音频段的标准要求。此外,可以通过改变“a”和“c”值来调整天线的谐振频率,而天线的带宽和增益几乎保持不变。从图5中可以看到,当 $a=83\text{ mm}$, $c=15.6\text{ mm}$ 时,天线谐振频率为 842 MHz(中国RFID超音频段标准);当 $a=83\text{ mm}$, $c=15.0\text{ mm}$ 时,天线谐振频率为 868 MHz(欧洲RFID超音频段标准);当 $a=77\text{ mm}$, $c=14\text{ mm}$ 时,天线谐振频率为 915 MHz(北美地区RFID超音频段标准)。仿真和实验结果表明:天线谐振频率为 842 MHz 时,天线的回波损耗小于 -10 dB 的带宽为 805~895 MHz;天线谐振频率为 868 MHz 时,天线的回波损耗小于 -10 dB 的带宽为 830~945 MHz;天线谐振频率为 915 MHz 时,天线的回波损耗小于 -10 dB 的带宽为 875~975 MHz。因此,谐振频率为 842 MHz 的天线的阻抗带宽大约为 10.7%;谐振频率为 868 MHz 的天线的阻抗带宽大约为 13.2%;谐振频率为 915 MHz 的天线的阻抗带宽大约为 10.9%。所以,将这种天线结构应用于RFID超音频段标签中是可行的。

谐振频率为915 MHz天线的增益约为2.5 dBi,即所设计的

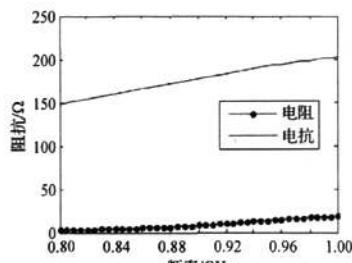


图3 天线输入的阻抗(915 MHz)

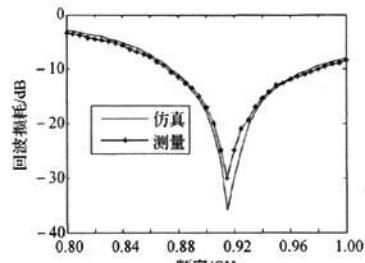


图4 915 MHz天线的回波损耗仿真和测量值

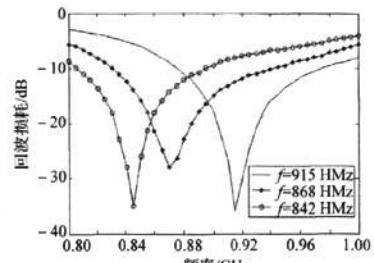


图5 不同谐振频率下的天线回波损耗

标签天线具有较高增益。从图6可以知道，该天线同时具有较好的远场辐射特性。因此，本文的天线结构在所有RFID超高频段，都能够获得较高增益、较宽的带宽和好的远场辐射特性。

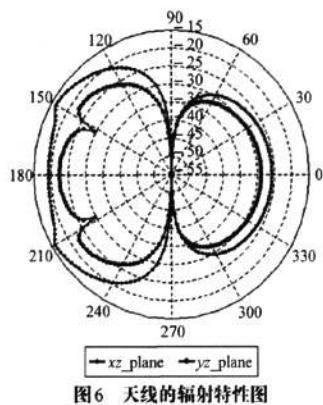


图6 天线的辐射特性图

根据第2章所阐述的天线性能评价方法和标准，从图7可以看出：天线阻抗匹配和增益之间的平衡特性接近于性能良好的RFID标签天线。

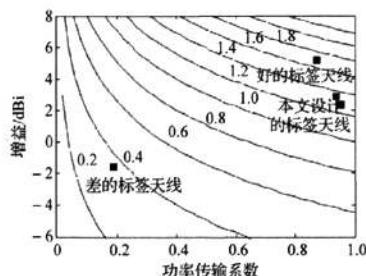


图7 本文设计的天线的性能评价图

5 结论

在RFID系统中，标签天线设计是一项艰巨的任务。RFID

标签天线设计过程中不可避免地涉及到天线的带宽、阻抗、增益和阻抗带宽之间的平衡。设计和分析了一种具有感应反馈环的UHF RFID标签天线。仿真和实验结果表明，设计的天线具有较宽的阻抗带宽、较高的增益和好的远场辐射特性。此外，该天线不仅可以应用于RFID系统，而且可以在无线局域网(WLAN)和无线传感器网络通信系统中使用。

参考文献：

- [1] Bansal R.Coming soon to a Wal-Mart near you[J].IEEE Antennas Propag Mag,2003,45(12):105-106.
- [2] Zhang L,Li X P.A new resonant frequency tunable RFID tag antenna design[C]//Proceedings of International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology,2003:1222-1225.
- [3] Rao K V S,Nikitin P V,Lam S F.Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application[J].IEEE Trans Antennas Propag,2005,53(12):3870-3876.
- [4] Hirvonen M,Pursula P,Jaakkola K,et al.Planar inverted-F antenna for radio frequency identification[J].Electronics Letters,2004,40(14):848-850.
- [5] Son H W,Pyo C S.Design of RFID tag antennas using an inductively coupled feed[J].Electronics Letters,2005,41(18):994-996.
- [6] Son H W,Choi G Y,Pyo C S.Design of wideband RFID tag antenna for metallic surfaces[J].Electronics Letters,2006,42(5):263-265.
- [7] Choi W,Son H W,Bae J H,et al.An RFID tag using a planar inverted-F antenna capable of being stuck to metallic objects[J].ETRI Journal,2006,28(2):216-218.
- [8] Cho C,Choo H,Park I.Design of planar RFID tag antenna for metallic objects[J].Electronics Letters,2008,44(3):175-177.
- [9] Son H W.Design of RFID tag antennas for surfaces using lossy substrate[J].Electronics Letters,2008,44(12):711-713.
- [10] Jeon S,Yu Y,Choi J.Dual-band slot-coupled dipole antenna for 900 MHz and 2.45 GHz RFID tag application[J].Electronics Letters,2006,42(22):1259-1260.
- [11] Foste P R,Burberry R A.Antenna problems in RFID systems[J].IEEE Colloquium on RFID Technology,1999,10(3):1-5.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>