

用于小型化 RFID 阅读器的两种天线

宋朝晖,袁 乐,刘赢红

(哈尔滨工业大学 电子与信息工程学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:为满足超高频(UHF)频段射频识别(RFID)阅读器小型化设计要求,提出了两种天线的小型化设计方法。通过在贴片四周开槽的方法,实现平面倒F天线(PIFA)小型化;采用两条四分之一波长缝隙加载增加缝隙天线的谐振回路,增加了天线的带宽。对比分析了天线各个设计参数对辐射特性的影响,仿真和实测结果表明,这两种天线具有较好的增益和带宽特性。

关键词:射频识别;小型化阅读器;平面倒F天线;双缝隙天线

中图分类号:TN82 **文章编号:**1005-9830(2011)01-0108-05

Two Kinds of Antennas for Miniature RFID Reader

SONG Zhao-hui, YUAN Le, LIU Ying-hong

(School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: To meet the design requirements of the miniaturization of ultra high frequency(UHF) band radio frequency identification(RFID) reader, this paper presents two miniaturization design methods of antenna. The miniaturization of planar inverted-F-antenna(PIFA) can be achieved through slotting along the edges of the patch all around. Two quarter wavelength slits are added on a slot antenna to increase resonant paths which can widen the band of the antenna. Effects of various parameters on antenna performance are analyzed and compared, and the results of simulation and experiment show that the two antennas work in the UHF band with eligible gain and bandwidth characteristics.

Key words: radio frequency identification; reader miniaturization; planar inverted-F-antenna; double-slot antennas

移动射频识别(Radio frequency identification, RFID)概念的提出^[1,2],使小型化 RFID 阅读器得到了广泛的关注和研究,同时天线的小尺寸结构也成为研究的关键问题。在小型化的 RFID 阅读器终端设计中,减小天线的尺寸相比增益和辐射方向图而言是更重要的设计目标^[1]。不同的应用场合对天线性能提出了不同的要求,在要求远

距离识别的场合如货箱识别,需要达到数米的识别距离,天线通常和阅读器分离,采用外置的形式,这样可以采用具有高增益、圆极化特性的外置天线。在一些近距离使用场合如货架商品管理上,阅读器识别距离为 0.3 ~ 0.5 m,天线可以和阅读器模块集成,进一步减小阅读器体积,但为了保证有效的读写距离,对内置天线的小型化设计

收稿日期:2010-11-30 修回日期:2011-01-23

基金项目:航空科学基金(20080177011);哈尔滨工业大学科研创新基金(20090118)

作者简介:宋朝晖(1970-),男,博士,教授,主要研究方向:天线理论与技术、电波传播理论及射频识别,E-mail: songzh@hit.edu.cn。

提出了要求:低剖面、体积小、重量轻、结构简单、易于集成和加工。

文献[3]通过把折叠的偶极子天线弯曲成环状,增加寄生电容,来增加天线的电长度从而减小天线的尺寸。文献[4]采用两层的周期性结构,将用于 RFID 阅读器的偶极子天线体积减小了 50%。文献[5]将倒 F 天线(Inverted-F-antenna, IFA)集成在移动 RFID 阅读器电路,通过开关的通断控制天线工作的频率范围。文献[6]将 IFA 折叠,采用四臂螺旋形式减小天线尺寸,并采用阵列形式增加天线增益。上述的设计中,大部分天线的尺寸较大,不小于 60 mm×60 mm,易于集成的、体积较小的天线,增益都在 0 dB 以下,小型化之后天线的效率降低、带宽变窄。

本文对 PIFA 和单缝隙天线进行小型化设计,以实现结构简单、体积较小 RFID 阅读器天线,采用电磁场软件仿真和实验的方法,详细分析了天线的各个参数对性能的影响。

1 PIFA 的改进设计

适合 UHF 频段的 RFID 阅读器使用的天线如微带贴片天线、偶极子天线需要半个波长的谐振长度,不利于实现天线的小型化,而像 PIFA、单极子天线只需要四分之一半波长的物理尺寸,适合用于设计小型化的阅读器天线^[5]。

平面倒 F 天线(Planar inverted-F-antenna, PIFA)是一种常用的平面天线,它具有体积小、重量轻、低剖面、结构简单等优点,被广泛应用于移动通信终端设备上。PIFA 天线由地板、贴片、馈线和接地线构成,它可以看作在贴片长度为半波长的微带贴片天线的基础上,根据镜像原理,将贴片中间接地,贴片长度缩小约一半得到。

PIFA 的接地使得天线的谐振波长由传统的 $\lambda/2$ 缩短为 $\lambda/4$,这是天线小型化的一个主要的原因。现 PIFA 的馈电和接地常采用的是弹性触片加载和探针加载两种形式;不同于其他小型天线通常带宽阻抗呈“容性”,PIFA 因为接地片的原因带宽阻抗一般呈“感性”。馈电片和接地片结合在一起可以看作双线传输线。忽略其分布电阻和电导,其分布电感和分布电容可以表示为

$$L = (h\mu/\pi) \cosh^{-1}(d/2a)$$

$$C = (h\pi\epsilon)/\cosh^{-1}(d/2a)$$

式中: h 为辐射单元和接地面之间的高度, d 为接

地片和馈电片中心的距离; $2a$ 为接地片和馈电片的宽度。通过调整接地片和馈电片各自的宽度和长度、它们之间的距离,以及在它们与天线主体连接处开适当尺寸的缝隙可调节天线阻抗,是直接影响天线的谐振频率和带宽的手段。

对于矩形贴片 PIFA,其谐振频率可以由下式近似得出

$$f_r = c/[4 \times (a+b)]$$

式中: c 为真空中光速, a 为矩形贴片长度, b 为矩形贴片宽度。

图 1 为设计的 PIFA 结构图,采用在矩形辐射贴片上下两侧开槽的方式增加天线的电长度,减小辐射贴片的尺寸。PIFA 的地板尺寸为 100 mm×40 mm,和移动 RFID 阅读器的电路地板相比拟。采用 CST Microwave Studio 仿真软件分析了各个参数对天线性能的影响。仿真结果如图 2 所示,馈电点和短路点之间的距离 d 越大天线的谐振频率越高,贴片和地板之间的高度 h 越高,天线带宽越宽,开槽的长度增加,天线谐振频率下降。开槽的宽度 l 对天线谐振频率和带宽影响不大。优化后贴片尺寸为 36 mm×20 mm。

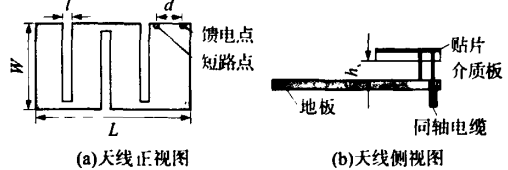


图 1 PIFA 结构示意图

在贴片上开槽能有效地降低天线谐振频率,但是研究发现,在此基础上,在贴片远离馈电点端增加开槽的数目,对天线的谐振频率没有太大影响,原因是物理长度增加,远离馈电点的部分表面电流迅速减小,不能有效地增加天线的谐振长度。因此,做了上述分析后,对该天线进行了改进,在辐射贴片的短边增加了缝 1 和缝 2,可以减小短边的尺寸。优化之后,天线结构如图 3(a) 所示,天线的各个参数为 $L = 36$ mm, $W = 20$ mm,槽长 18 mm,槽宽为 2 mm,缝 1 的尺寸为 15 mm×4 mm,缝 2 的尺寸为 14 mm×7 mm。辐射贴片尺寸较前面减小了 13%。图 3(b) 为天线实物图。PIFA 为线极化天线,这种改进后的天线没有改变 PIFA 的极化特征,天线的电流方向决定了远区辐射场的极化特性,因此具有 3 个相互垂直的极化方向,但以 L 方向的极化为主,这种特性适合于移动 RFID 设备的使用特点。

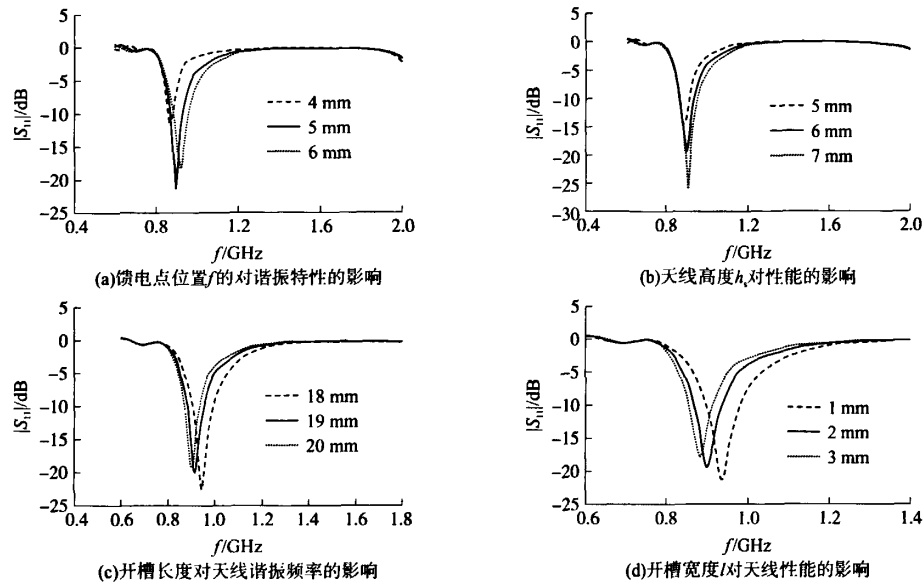


图 2 天线尺寸对性能的影响

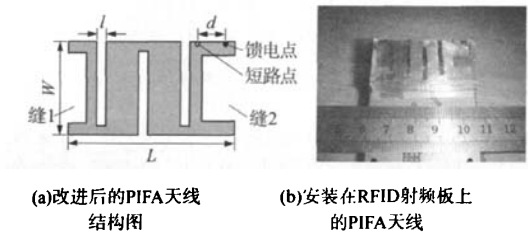


图 3 改进后的 PIFA 天线结构示意图

图 4 为反射损耗仿真与实测对比图,图 5 为天线远场方向图仿真与实测对比图。实测得中心频率为 922 MHz 时的驻波比小于 2.5 (或者反射损耗 7.3 dB),带宽为 42 MHz,相对带宽为 4.6%。在频率 898、922、940 MHz 时增益分别为 1.2、1.4、1.38 dBi,如表 1 所示。仿真和实测结果吻合较好,说明在贴片四周开槽的方式能有效地减小天线的整体尺寸。

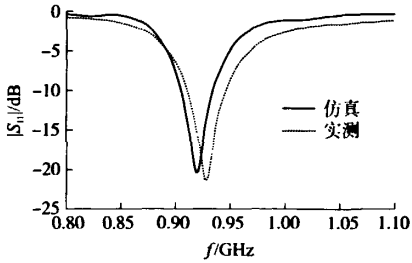


图 4 改进 PIFA 的反射损耗

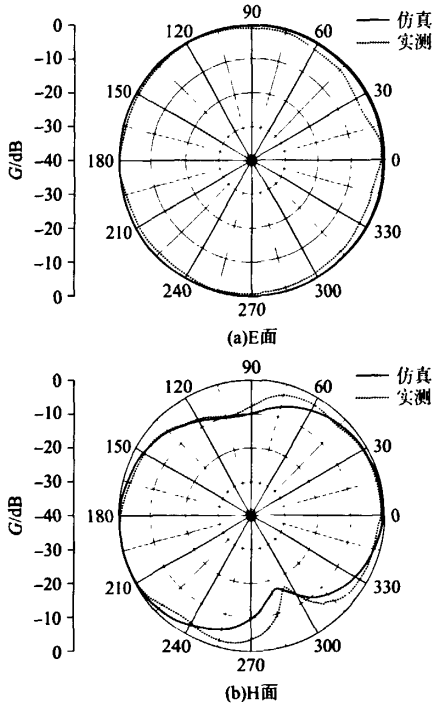


图 5 改进 PIFA 的方向图

表 1 改进 PIFA 增益		
工作频率/MHz	仿真/dBi	实测/dBi
898	1.59	1.20
922	1.57	1.40
940	1.60	1.38

2 四分之一波长双缝天线

微带线馈电的缝隙天线是由 Yoshimura 等人首次提出的一种新型的天线结构^[7],在介质基板的一面开缝,在基板的另一面采用开路微带线馈电,开路微带线和缝隙在空间上正交,通过调整微带线终端与缝隙中心的相对位置以及缝隙尺寸来获得最佳匹配。一般缝隙的长度为半个波长。此后很多人对这种类型的天线做了大量的研究,近年来,提出了在地板边缘开四分之一波长的缝隙实现辐射的缝隙天线结构^[8,9]。和传统微带缝隙天线相比,这种结构可以获得更小的体积,而且这种平面结构的天线可以和电路板集成在一起,实现简单,非常适合于移动终端设备使用。

本文设计了图 6 所示的四分之一波长双缝天线,在频率为 910 MHz 时,计算得到四分之一波长 $\lambda_g/4$ 约为 39.3 mm,采用 50 Ω 的微带线对地板上的两个缝隙进行耦合馈电。在地板的边缘处加载了两条缝隙,一条 L 形缝隙,一条直线形缝隙,优化后长度分别为 52 和 25 mm。采用两条缝隙加载相当于有两个谐振频率点,这样可以增加天线的带宽。微带馈线的长度为 25.75 mm,宽为 1.8 mm,特性阻抗为 50 Ω 。基板大小为 40 mm×40 mm,厚度为 0.8 mm,介电常数 4.4 的 FR4 板材。该天线为线极化天线,可以同时接收垂直极化和水平极化的波,适合用于移动 RFID 设备上。

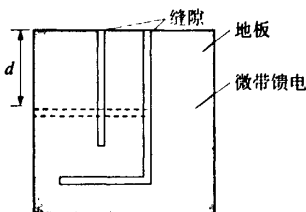


图 6 四分之一波长双缝天线

仿真过程中发现,两条缝隙对天线性能的影响是相同的,以 L 形缝隙为例,进行单缝隙仿真,研究馈线距地板边缘处的距离 d 和缝隙长度对天性能的影响。 d 影响天线的匹配情况,在适当位置处天线匹配性能良好,但是 d 的大小对天线的谐振频率几乎没有影响,如图 7 所示。最终确定 d 的尺寸为 17.25 mm。同时,微带馈线长度越长,谐振频率有所上升,如图 8 所示。同时也研究了 L 型缝隙对天线的影响,如图 9 所示,缝隙越长,等效电流长度增

加,谐振频率下降,缝隙的长度对天线的谐振频率有很大的影响。图 10 为天线制作后实物图。

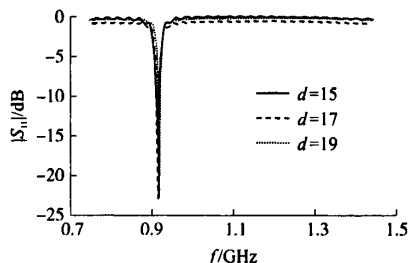


图 7 馈线距地板边缘处的距离 d 对天性能的影响

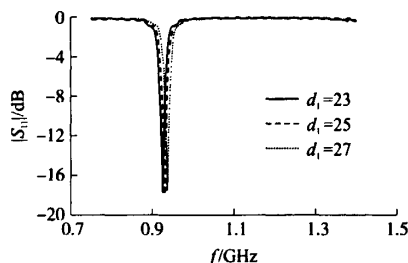


图 8 馈线长度对天线性能的影响

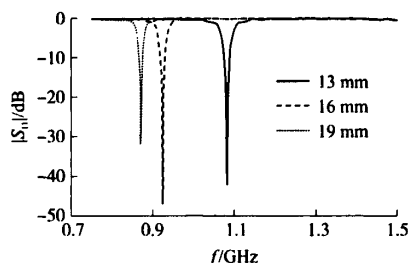


图 9 开槽长度对天线性能的影响

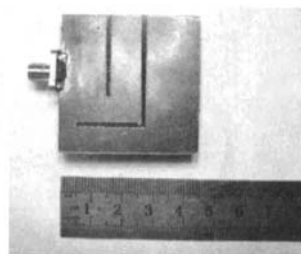


图 10 四分之一波长双缝天线实物图

图 11 为天线的反射损耗仿真结果和实测结果对比。从图 11 中可以明显地看到,通过两条缝隙加载,有效地提高了天线的带宽。当驻波比 2.5 时,仿真得带天线带宽为 71 MHz,实测带宽约为 100 MHz(859.8 ~ 960 MHz),由于仿真是理想情况,但制作天线实物所采用的介质基板不可避免地存在一定的介电损耗,所以天线的带宽有

所提高,但与实测增益相比仿真结果会有所下降,这从表 2 中也可以看出。从天线的方向图中可以看出,天线在 E 和 H 面近似全向。总体来说该天线具有良好的带宽特性,能覆盖 UHF 协议规定的 RFID 的频率范围,适合小型化阅读器使用。

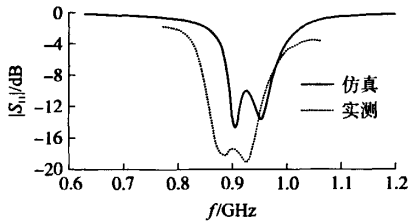


图 11 四分之一波长双缝天线反射损耗

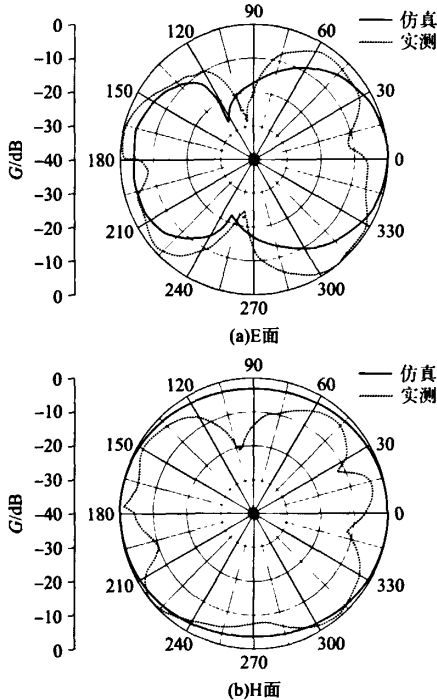


图 12 缝隙天线远场方向图

表 2 四分之一波长双缝天线增益

工作频率/MHz	仿真/dBi	实测/dBi
860	0.65	0.22
910	1.42	1.20
960	0.57	0.34

3 结束语

本文设计了两种适合 RFID 阅读器使用的小型化天线。第一种采用在 PIFA 辐射贴片四周开槽

的方式有效地减小了天线的体积,同时该天线具有良好的增益和方向图特性;第二种方案四分之一波长双缝天线具有 11% 的相对带宽,能覆盖 UHF RFID 协议规定的 860 ~ 960 MHz 的频率范围。这两种天线都具有低剖面、体积小、重量轻等优点,适合用作小型化以及便携式 RFID 阅读器天线。

参考文献:

[1] Leong K S, Ng M L, Cole P H. Miniaturization of dual frequency RFID antenna with high frequency ratio [A]. Antennas and Propagation Society International Symposium [C]. Honolulu, HI, USA: IEEE, 2007: 5475-5478.

[2] Park Dae-Seung, Heo Pil-Sun, Rim Myung-Hwan, et al. The business value of mobile RFID services in Korea [A]. Proceedings of Portland International Conference on Management of Engineering & Technology [C]. Cape Town, South Africa: PICMET, 2008: 1681-1688.

[3] Kang Jeong-Jin, Lee Dong-Joon, Chen Chia-Chu, et al. Compact mobile RFID antenna design and analysis using photonic-assisted vector near-field characterization [A]. IEEE International Conference on RFID [C]. Las Vegas, USA: IEEE, 2008: 81-88.

[4] Zhou C Z, Yang H. RFID antenna size minimization using double-layer periodic structures [A]. Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium [C]. Honolulu, Hawaii, USA: IEEE, 2007: 5411-5414.

[5] Ping H, Sassan I. Design considerations for UHF RFID antennas for mobile phones [A]. Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference [C]. Bangkok: APMC, 2007: 1-4.

[6] Son W I, Lim W G, Lee M Q, et. al. Printed square quadrifilar spiral antenna for UHF RFID reader [A]. Proceedings of IEEE Antennas and Propagation International Symposium [C]. Honolulu, USA: IEEE, 2007: 305-308.

[7] Yoshimura Y. A microstripline slot antenna [J]. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1972, 20, (11): 760-762

[8] Sharma S K, Shafai L, Jacob N. Investigation of wide-band microstrip slot antenna [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2004, 52(3): 865-872.

[9] Chu F H, Wong K L. Simple folded monopole slot antenna for Penta-band clamshell mobile phone application [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2009, 57(11): 3680-3684.

[10] Li Yue, Zhang Zhijun, Chen Wenhua, et al. A dual-polarization slot antenna using a Compact CPW feeding structure [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, 9: 191-194.

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,一直致力和专注于微波、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>