

文章编号:1671-251X(2015)05-0034-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.05.009

黄凯,张然,卑璐璐.一种紧凑型宽频带圆极化射频识别天线设计[J].工矿自动化,2015,41(5):34-38.

一种紧凑型宽频带圆极化射频识别天线设计

黄凯^{1,2}, 张然^{1,2}, 卑璐璐^{1,2}

(1. 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008)

摘要:针对现有圆极化天线难以同时满足宽频带和小型化应用需求的问题,面向全球超高频射频识别(RFID)读写应用,采用新型功分移相馈电网络、旋转短路辐射贴片和耦合贴片、馈电探针和短路探针,设计了一种紧凑型宽频带圆极化射频识别天线。测试结果表明,该天线回波损耗大于15 dB的相对带宽为59%,轴比小于3 dB的相对带宽为34%,在全球超高频RFID频段范围内,天线辐射增益大于2.7 dBi,辐射方向十分对称和稳定,其半功率波束宽度大于101°,适用于宽角度范围读写;与现有圆极化天线的性能指标和结构相比,该天线的工作频段不仅能够覆盖全球超高频RFID频段,而且结构紧凑,有利于RFID系统的低成本设计和实施。

关键词:射频识别; 天线; 圆极化; 宽频带; 超高频; 回波损耗; 轴比; 增益

中图分类号:TD655.3 文献标志码:A 网络出版时间:2015-04-30 08:36

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150430.0836.009.html>

Design of a compact broadband circularly polarized RFID antenna

HUANG Kai^{1,2}, ZHANG Ran^{1,2}, BEI Lulu^{1,2}

(1. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Internet of Things(Perception Mine) Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: For problem that existing circularly polarized antenna is difficult to meet requirements of broadband and miniaturized application simultaneously, a compact broadband circularly polarized RFID antenna for global ultrahigh frequency(UHF) RFID read-write application was designed by use of a new type of power-dividing phase-shifting feed network, rotating short-circuit radiation patch and coupled patch as well as feed probe and grounding probe. The experimental results show that relative bandwidths of the antenna are 59% and 34% respectively when return loss is greater than 15 dB and axial ratio is less than 3 dB. Within the frequency band of global UHF RFID, antenna radiation gain is greater than 2.7 dB with symmetric and stable radiation direction, and half power beam width is greater than 101° which is suitable for wide angle reading and writing. By comparing performance and structure of the designed antenna with existing circularly polarized RFID antenna, it is found that the operating frequency band of the antenna not only covers global UHF RFID frequency, but also has compact structure which is in favor of design and implementation of RFID system with low cost.

Key words: radio frequency identification; antenna; circular polarization; broadband; ultrahigh frequency; return loss; axial ratio; gain

收稿日期:2015-04-11;修回日期:2015-04-14;责任编辑:盛男。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2013BAK06B05)。

作者简介:黄凯(1983—),男,辽宁铁岭人,博士研究生,主要研究方向为矿山通信与信息化,E-mail:hk-830110@163.com。

0 引言

随着物联网的快速发展,射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)系统已广泛应用于设备管理系统、物流运输系统、交通收费系统和人员考勤管理系统中^[1]。由于具有较高的读写数据速率、远距离读写能力和较高的可靠性等优点,超高频无源 RFID 读写系统已成为物联网应用中备受关注的技术之一。

RFID 读写天线作为物联网应用系统的信号收发装置,对整个收发系统的性能起着关键作用。在实际应用场景中,低成本的 RFID 标签一般采用线极化天线^[2-3],而且其摆放的位置是任意的,为了避免读写过程中出现天线极化失配,提高读写器与标签之间通信的可靠性,RFID 读写天线一般采用圆极化工作方式。另外,世界各国都有不同的频段用于 RFID 系统,如中国采用 840.5~844.5 MHz 和 920.5~924.5 MHz、欧洲采用 866~869 MHz、美洲采用 902~928 MHz、新加坡采用 920~925 MHz、日本采用 952~955 MHz,由此看来,全球超高频 RFID 频段分布在 840~960 MHz 频率范围,其相对带宽为 12.8%,如果 RFID 读写天线的工作频段能够覆盖该频率范围,将有利于 RFID 系统的低成本设计。此外,具有良好发展前景和市场竞争力的紧凑型 RFID 系统要求其 RFID 读写天线必须实现小型化。

参考文献[4]利用堆叠切角贴片、悬置微带馈线和 4 根馈电探针设计并实现了全球超高频圆极化 RFID 读写天线;参考文献[5]利用水平弯折带线馈电技术实现了全球超高频圆极化 RFID 读写天线;参考文献[6]采用共面寄生贴片加载的直馈单层贴片和 L 形地面设计并实现了全球超高频圆极化 RFID 读写天线,简化了天线的结构和设计过程。以上 3 种圆极化 RFID 天线的工作频段虽可满足全球超高频 RFID 频段读写应用,但其尺寸过大,不利于工程实际应用。参考文献[7-8]在小型圆极化 RFID 天线方面展开了研究,并且实现了较小的天线尺寸,但天线的工作带宽较窄,不能满足全球超高频 RFID 应用。鉴此,本文面向全球超高频 RFID 读写应用,采用新型功分移相馈电网络、旋转短路矩形贴片、电容耦合贴片组合探针的馈电技术,设计并实现了一种紧凑型宽频带圆极化 RFID 天线。

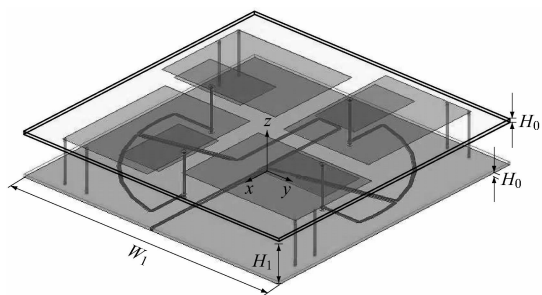
1 天线结构设计

天线的三维结构如图 1(a)所示。天线由底层和顶层 2 块介质基板构成,中间通过 4 根馈电探针和 8 根短路探针进行连接。上下介质基板尺寸相同,且均为正方形,介质基板的边长为 W_1 ,厚度为 H_0 。上下介质基板之间为空气层,其厚度为 H_1 。空气层不仅可以增加天线的工作带宽,还可以提高天线的辐射增益。

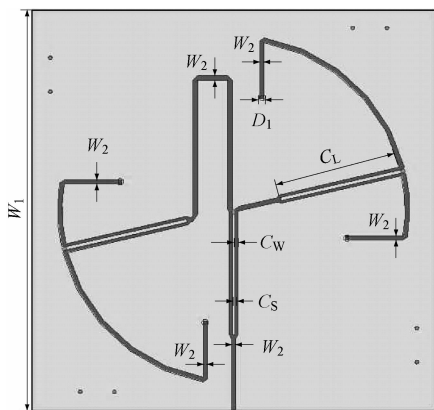
底层介质基板上下表面分别制作了功分移相馈电网络和地面,具体的结构和设计参数如图 1(b)所示。其中功分移相馈电网络包括 1 个输入端口(即天线端口)、4 个输出端口、3 个耦合线结构的威尔金森功分器、1 个特征阻抗为 $50\ \Omega$ 的 180° 微带延迟线移相器和 2 个特征阻抗为 $50\ \Omega$ 的 90° 微带延迟线移相器,在 3 个威尔金森功分器输出端的耦合线上分别放置 $100\ \Omega$ 的集总电阻,以实现威尔金森功分器 2 个输出端口之间的隔离。功分移相馈电网络及其内部各器件的输入、输出端口阻抗和器件之间的级联微带传输线的特征阻抗均设计为 $50\ \Omega$ 。其中 $50\ \Omega$ 微带传输线的宽度为 W_2 ,威尔金森功分器的耦合线宽度为 C_w ,耦合缝隙宽度为 C_s ,耦合线长度为 C_L 。功分移相馈电网络的工作原理:输入信号从输入端口馈入后,首先通过第一级威尔金森功分器和 180° 微带延迟线移相器,分为幅度相等、在中心工作频点上相位相差 180° 即相位相反的 2 路信号;然后这 2 路反相信号分别通过第二级威尔金森功分器和 90° 微带延迟线移相器,进一步分为幅度相等、相位相差 90° 的 4 路信号。由此可知,输入信号通过功分移相馈电网络后,在其输出端口得到 4 路等幅信号,在中心工作频点上,4 路输出信号的相位沿逆时针方向依次滞后 90° 。

顶层介质基板上下表面分别制作了 4 个相同的矩形辐射贴片和 4 个相同的矩形耦合贴片,辐射贴片和耦合贴片分别以 z 轴为中心呈旋转对称结构布局,上表面的辐射贴片与下表面的耦合贴片的边缘对齐,具体结构和设计参数如图 1(c)所示。其中辐射贴片的长度为 L_1 ,宽度为 K_1 ;耦合贴片的长度为 L_2 ,宽度为 K_2 ;各个辐射贴片之间的空隙宽度相等,用 G_1 表示。

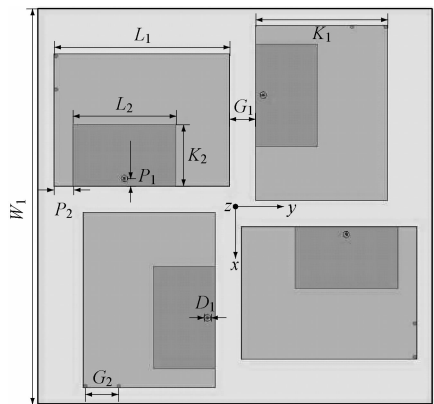
功分移相馈电网络的输出端口通过 4 根馈电探针分别对位于顶层介质基板上表面的 4 个耦合贴片



(a) 三维结构



(b) 底层介质基板



(c) 顶层介质基板

图 1 天线结构与设计参数

进行馈电,然后再通过电磁耦合对位于上表面的辐射贴片进行激励。功分移相馈电网络 4 个输出端口依次输出幅度相等、相位相差 90° 的激励信号,从而在 4 个旋转辐射贴片上分别依次激励起线极化辐射模式,在中心工作频点,相邻的线极化激励信号相互正交,从而实现圆极化辐射。馈电探针在耦合贴片上的馈电点位置位于耦合贴片长边方向的中点,而且靠近辐射贴片与耦合贴片重合的边沿,其偏离边沿的距离用 P_1 表示;此外,耦合贴片在其长边方向上与辐射贴片的偏移距离用 P_2 表示。各个辐射贴片在外围的短边边沿通过 2 根短路探针与天线的地面短路,可有效减小辐射单元体积。在各辐射单元

中,一根短路探针位于辐射贴片外围角位置,另一根短路探针与其水平距离为 G_2 。馈电探针和短路探针的直径均为 D_1 ,其中馈电探针的高度为 H_1 ,短路探针的高度为 $H_1 + 2H_0$ 。为了便于探针的安装和焊接,分别在上下介质基板的相应位置制作了过孔。另外,为了避免馈电探针与天线地面发生短路,同时防止馈电探针对于辐射贴片直接馈电,分别在地面和辐射贴片的相应位置刻蚀掉圆形区域,从而实现对馈电探针和焊接过孔的避让。

2 仿真与测试

利用高频电磁仿真软件 HFSS 对所设计的紧凑型圆极化天线进行建模和仿真。功分移相馈电网络的中心工作频点设计在 920 MHz。对辐射贴片和耦合贴片的长度和宽度、馈电点位置、短路探针之间的距离以及空气层厚度等设计参数分别进行优化,在兼顾天线回波损耗带宽、轴比带宽、辐射增益和体积等各项性能指标后,得到最终的天线设计尺寸(单位 mm): $H_0 = 0.8$, $H_1 = 11$, $W_1 = 135$, $W_2 = 1.52$, $C_W = 1$, $C_S = 0.7$, $C_L = 42$, $K_1 = 45$, $L_1 = 60$, $K_2 = 21$, $L_2 = 35$, $G_1 = 5$, $P_1 = 2.5$, $P_2 = 6.5$, $G_2 = 11.5$, $D_1 = 1$ 。采用电路设计软件 Altium Designer 对天线电路版图进行设计,并利用印刷电路板工艺制作天线的上下介质基板。为降低生产成本,天线的介质基板均采用廉价的 FR4 板材,其相对介电常数为 4.4,介质损耗角正切值为 0.02。

天线的上下介质基板利用塑料支柱螺丝进行组装和固定,每个塑料支柱螺丝包含 1 个螺钉、1 个六边形螺柱和 1 个螺帽;然后采用直径为 1 mm 的铜导线作为馈电探针和短路探针,各个探针的两端分别焊接到介质基板上相应位置的过孔中;将 3 个电阻为 $100\ \Omega$ 、型号为 0603 的贴片封装电阻焊接到威尔金森功分器输出端耦合线上,以实现 2 个输出端口之间的隔离;最后焊接用于天线测试的 SMA 射频连接头至功分移相馈电网络的输入端,至此即完成了天线实物的制作与安装,如图 2 所示。

分别采用矢量网络分析仪 E8363B 和暗室测试系统 SG24 测试天线的回波损耗和远场辐射性能。天线的回波损耗、 z 轴正方向上辐射增益和轴比的仿真和测试结果分别如图 3—图 5 所示。

由图 3 可知,天线回波损耗大于 15 dB 的仿真工作频率范围为 $660 \sim 1\ 180\ \text{MHz}$,相对带宽为 57%;相应的测试工作频率范围为 $650 \sim$

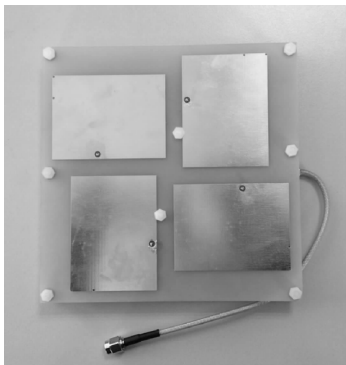


图2 天线实物

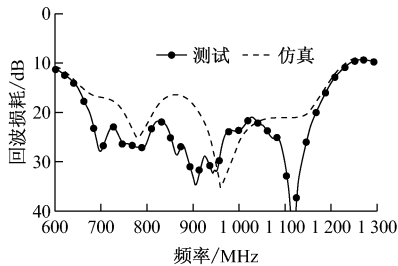


图3 天线回波损耗的仿真和测试结果

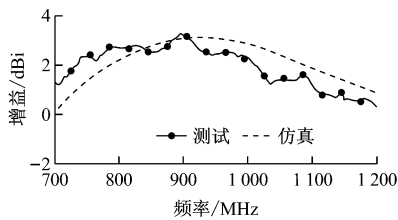


图4 天线辐射增益的仿真和测试结果

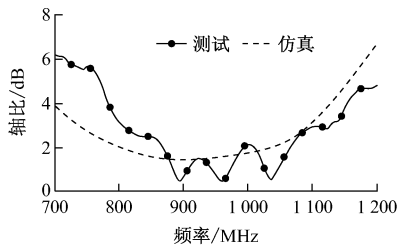


图5 天线轴比的仿真和测试结果

1 190 MHz,相对带宽为 59%。由图 4 可知,天线的仿真峰值增益为 3.2 dBi,相应的频点为 920 MHz,在全球超高频 RFID 频段范围内,天线的仿真辐射增益大于 2.8 dBi;天线的测试峰值增益为 3.4 dBi,相应的频点为 895 MHz,在全球超高频 RFID 频段范围内,天线的测试辐射增益大于 2.7 dBi。由图 5 可知,天线轴比小于 3 dB 的仿真工作频率范围为 740~1 080 MHz,相对带宽为 37%;相应的测试工作频率范围为 800~1 130 MHz,相对带宽为 34%。以上仿真和测试结果基本保持一致,表明所设计的圆极化天线在全球超高频 RFID 频段范围内,完全

能够满足回波损耗大于 15 dB、轴比小于 3 dB 的工程应用指标需求。

天线在全球超高频 RFID 频段范围内的 3 个典型工作频点,即低端频率 840 MHz、中心频率 900 MHz 和高端频率 960 MHz 上的天线辐射方向的仿真和测试结果如图 6 所示,其中 $\varphi=0^\circ$ 表示在 xoz 平面内, $\varphi=90^\circ$ 表示在 $yo z$ 平面内。从图 6 仿真结果可知,在 xoz 和 $yo z$ 平面内,天线在 840 MHz 频点上的半功率波束宽度仿真结果分别为 $117^\circ(-60^\circ\sim 57^\circ)$ 和 $117^\circ(-57^\circ\sim 60^\circ)$,在 900 MHz 频点上的半功率波束宽度仿真结果均为 $117^\circ(-60^\circ\sim 57^\circ)$,在 960 MHz 频点上的半功率波束宽度与

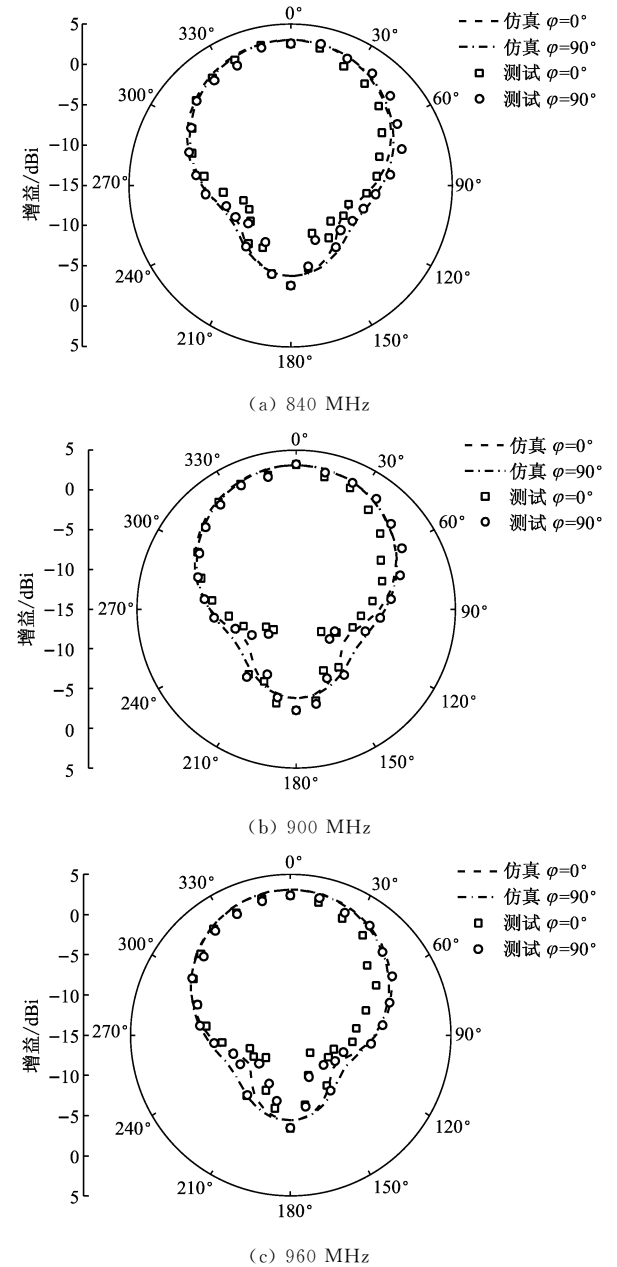


图6 天线辐射方向的仿真和测试结果

900 MHz 频点上的仿真结果基本保持一致;从图 6 测试结果可知,在 xoz 和 yoz 平面内,天线在 840 MHz 频点上的半功率波束宽度测试结果分别为 $120^{\circ}(-52^{\circ}\sim 68^{\circ})$ 和 $108^{\circ}(-58^{\circ}\sim 50^{\circ})$,在 900 MHz 频点上的半功率波束宽度测试结果分别为 $118^{\circ}(-56^{\circ}\sim 62^{\circ})$ 和 $102^{\circ}(-56^{\circ}\sim 46^{\circ})$,在 960 MHz 频点上的半功率波束宽度测试结果分别为 $112^{\circ}(-50^{\circ}\sim 62^{\circ})$ 和 $101^{\circ}(-56^{\circ}\sim 45^{\circ})$ 。由此可见,天线辐射方向的仿真和测试结果基本吻合,在全球超高频 RFID 频段范围内,天线的辐射方向十分对称和稳定,而且在各个频点上,天线的半功率波束宽度均大于 101° ,非常适合宽角度覆盖的 RFID 应用。

3 天线性能对比

本文设计的天线与现有典型 RFID 读写天线的指标参数对比见表 1。一方面,相比参考文献[4-6]中的全球超高频圆极化 RFID 读写天线,本文设计的天线结构紧凑;另一方面,本文设计的天线回波损耗带宽与轴比带宽最大,与参考文献[7-8]中的天线相比,其工作频段可轻易覆盖全球超高频 RFID 频段。

表 1 天线性能指标、尺寸对比

天线	阻抗 带宽/%	轴比 带宽/%	增益/ dBi	长×宽×厚/ (mm×mm×mm)
参考文献[4]	26	16	9.3	250×250×36
参考文献[5]	26	14	8.6	250×250×36
参考文献[6]	26	14	7.9	250×250×36
参考文献[7]	22	3	7.3	150×150×34
参考文献[8]	16	4	3	70×70×15
本文	59	34	3.4	135×135×12.6

4 结语

设计了一种面向全球超高频 RFID 读写应用的紧凑型宽频带圆极化天线。该天线由制作在底层和顶层介质基板上的新型功分移相馈电网络、旋转辐

射贴片和耦合贴片、馈电探针和短路探针组成。测试结果表明,该天线工作频段可覆盖全球超高频 RFID 频段,具有较宽的半功率波束,适合宽角度范围的 RFID 读写应用,并且其结构紧凑,可降低 RFID 系统的设计成本和实施复杂度。

参考文献:

[1] 肖林京,文艺成,孙传余,等. 矿井物流管理和人员定位系统数据库设计[J]. 工矿自动化,2015,41(4):26-29.

[2] GRILO M, ARNOLD F J, GONCALVES M S, *et al.* Novel dual-band RFID antenna configuration with independent tuning adjustment [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2012, 54(9): 2214-2217.

[3] SABRAN M I, RAHIM S K A, RAHMAN A Y A, *et al.* A dual-band diamond-shaped antenna for RFID application [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011, 10(7): 979-982.

[4] CHEN Z N, QING X M, CHUNG H L. A universal UHF RFID reader antenna[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2009, 57(5): 1275-1282.

[5] WANG Z, FANG S, FU S, *et al.* Single-fed broadband circularly polarized stacked patch antenna with horizontally meandered strip for universal UHF RFID applications [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2011, 59(4): 1066-1073.

[6] PAN Y, ZHENG L, LIU H J, *et al.* Directly-fed single-layer wideband RFID reader antenna [J]. Electronics Letters, 2012, 48(11): 607-608.

[7] SIM C, CHI C J. A slot loaded circularly polarized patch antenna for UHF RFID reader [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(10): 4516-4521.

[8] LIN Y F, CHEN H M, CHEN C H, *et al.* Compact shorted inverted-L antenna with circular polarisation for RFID handheld reader [J]. Electronics Letters, 2013, 49(7): 442-444.