

一种低剖面高增益 RFID 天线的设计

□ 彭海龙 北京瑞德艾迪科技有限公司

【摘要】 本文设计了一种具有低剖面高增益的 RFID 线极化微带天线。该天线是一种空气介质的微带天线,由底板、两个矩形辐射单元和一个馈电结构组成,其中馈电结构设计巧妙、简单。经过 HFSS 仿真与优化后,实测天线驻波小于 1.5 的带宽为 23MHz,天线最大增益有 10.8dB,完全满足 UHF 频段 RFID 的应用要求。该天线产品性能参数稳定,生产成本低廉,具有较高的产业应用价值,已经批量生产,并获得了国家实用新型专利证书。

【关键词】 低剖面 微带天线 RFID 天线 高增益

一、引言

RFID 无线射频识别技术的应用由来已久,最早可追溯到第二次世界大战时英国空军飞机敌我识别系统。超高频(UHF)射频识别技术利用无源反向散射原理实现了远距离读取、标签密集性读取等特点,并在现实生活中得到了广泛的应用,例如不停车自动收费系统、图书管理^[1]、服装仓储及物流监控^[2]、生产自动化管理等。天线是 RFID 系统中的关键部件,因此天线理论研究和应用开发对 RFID 技术的成熟和广泛应用具有理论意义和实用价值。

微带天线具有剖面低、体积小、重量轻、成本低,易于有源电路集成在一起等特点而广泛研究和应用。但由于制作微带天线的微波材料昂贵,而且微带天线带宽窄,这也是微带天线的缺点,天线的小型化、高增益、高宽带、低成本等成为微带天线研究的热点方向^[3]。本文设计了一个 RFID 读卡器用的线极化天线,采用空气介质,由两个矩形辐射单元组阵而成,用一个设计巧妙的 100 欧姆的空气微带做馈电结构,天线底板为折边金属板,经过电磁仿真软件计算优化后,天线中心频率为 915MHz,天线驻波小于 1.5 的阻抗带宽为 23MHz,天线最大增益为 10.8dB,辐射前后比为 20.5dB,具有较好的定向性,完全满足 UHF 频段 RFID 的应用要求。最后加工成实物,实测天线参数与仿真参数结果完全一致。

二、微带天线的设计与仿真

微带天线辐射单元的几何形状有多种,常见的有矩形、圆形、三角形、多边形等。其中,矩形是微带天线典型应用形状^[4],有一系列比较成熟的理论作为研究依据,且形状简单、易于加工。本文从实际应用出发,选择矩形微带天线为基础来设计双辐射单元组阵天线,采用空气介质,天线中心频率设定为 915MHz,天线结构示意图如图 1 所示。

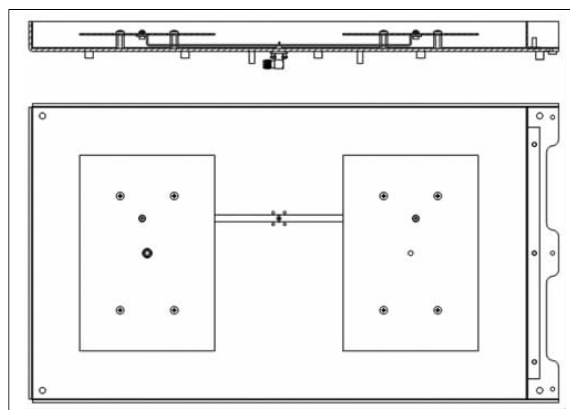


图 1 天线设计示意图

为了降低天线的剖面,辐射单元天线采用 10mm 的空气介质作为微带天线的填充介质,选用矩形 1mm 金属板

参 考 文 献

- [1] Mckeown N, Anderson T, Balakrishnan H, Parulkar G, Peterson L, Rexford J, Shenker S, Turner J. OpenFlow: Enabling innovation in campus networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008,38(2):69-74. [doi: 10.1145/1355734.1355746]
- [2] Gude N, Koponen T, Pettit J, Pfaff B, Casado M, McKeown N, Shenker S. Nox: Towards an operating system for networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008,38(3):105-110. [doi: 10.1145/1384609.1384625]
- [3] Elliott C. GENI: Opening up new classes of experiments in global networking. IEEE Internet Computing, 2010,14(1):39-42.
- [4] Gavras A, Karila A, Fdida S, May M, Potts M. Future Internet research and experimentation: The FIRE initiative. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007,37(3):89-92. [doi: 10.1145/1273445.1273460]
- [5] JGN2plus. 2012. <http://www.jgn.nict.go.jp/english/index.html>
- [6] SOFIA. 2012. http://fi.ict.ac.cn/research/sofia_overview.htm
- [7] MIT technology review. 2009. <http://www2.technologyreview.com/article/412194/tr10-software-defined-networking/>
- [8] Open networking foundation. 2012. <http://www.opennetworking.org>
- [9] 左青云, 陈鸣, 赵广松, 等. 软件学报, 2013, 24(5):1078-1097 [doi: 10.3724/SP.J.1001.2013.04390]
- [10] Jim Duffy. SDN in 2014: More of everything; More development, more deployments, more products, more applications, more deals, more money." Network World 2 Jan. 2014. Computer Database. Web. 21 Jan. 2014

作为天线辐射单元材质,这样便于批量化生产、降低天线的用料成本,还能提高天线的辐射效率。辐射单元天线的输入阻抗按照 100Ω 设计,两个辐射单元组阵,利用等幅同相馈电技术压缩天线在垂直方向的波束宽度来聚集能量提高天线增益。天线馈电结构中心位置选为整个天线的输入端口,焊接同轴射频座,无需增加其他阻抗变换结构即可实现该天线输入阻抗 50Ω 的标准化。一般天线阵辐射单元的阵间距是 0.5-0.9 倍的波长,阵间距过大则天线方向图会出现旁瓣,阵间距过小则起不到压缩波束、提高增益的效果。根据天线小型化思路,取天线间距为 0.6 倍波长。选择其中任意一个单元天线的中心位置,将天线辐射单元和天线的底板进行短路连接,实现天线的直接接地的防护设计。天线底板四周采用折臂设计,将天线的面积进行进一步缩小,并提高天线辐射的前后比。

在实际工程应用中,往往利用一些经典公式初步确定单元天线尺寸,作为天线设计的起点,然后通过仿真计算,优化天线结构尺寸^[9]。

辐射单元宽度 W 的设计公式是:

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

其中 f_r , c , ϵ_r 是已知量。

辐射单元长度 L 计算公式为:

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L \quad (2)$$

其中,等效介电常数 ϵ_e 为:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

延伸量 ΔL 为:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

空气的介电常数 $\epsilon_r=1$,由式(1)~(4)和已知参数计算得到:单元天线长度 $L=15.36\text{cm}$,单元天线宽度 $W=16.2\text{cm}$ 。其中,天线工作中心频率主要有单元天线长度 L 决定,单元天线宽度 W 对天线的效率和增益会有影响。

Ansoft HFSS 是一个基于有限元法自适应划分网格的高性能三维无源器件电磁仿真软件,有着非常友好的图形界面,可以计算天线的 S 参数、谐振频率和场,是无源射频器件仿真、研发的利器。通过准确的建模、仿真计算,可以大大提高研发效率。由于天线底板边缘竖起了金属立壁,以及天线辐射单元的厚度、天线底板厚度等原因,天线辐射单元的尺寸做了较大的优化处理。优化后的天线尺寸为 $L=14.4\text{cm}$, $W=10.0\text{cm}$, $L1=37\text{cm}$, $W2=22\text{cm}$ 。

图 2 中可以看到,天线的 S11 参数曲线在 915MHz 是最低点,这说明天线谐振的中心频率在 915MHz, S11 参数小于 -15dB(可近似认为天线的驻波比小于 1.5)的驻波带宽为 20M, S11 参数小于 -10dB(可近似认为天线的驻波

比小于 2)的驻波带宽为 36M;天线输入端口的阻抗匹配良好,满足射频系统的带宽范围要求。从天线方向图的仿真结果图(图 3)中可以看到,天线最大仿真增益为 11.5dB, 3dB 波束宽度 45°, 天线辐射前后比为 -18.7dB, 具有较好的定向性,满足天线波束定向的设计要求。

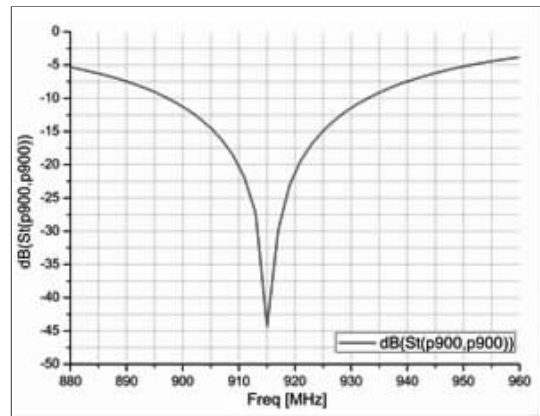


图 2 天线输入端口 S11 参数仿真结果

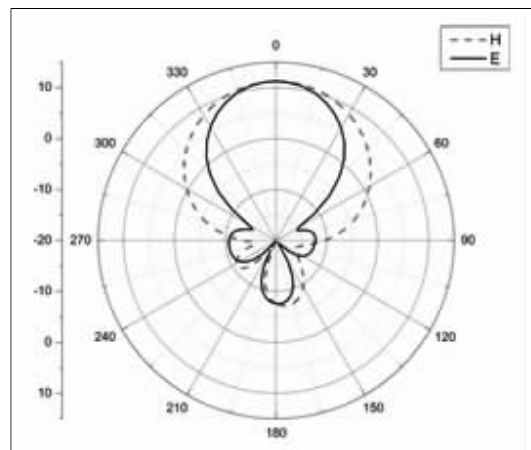


图 3 天线方向图仿真结果

三、微带天线阵加工及测试

在上述天线设计基础上,本文对天线做了实际加工和测试,天线实物如图 4 所示。

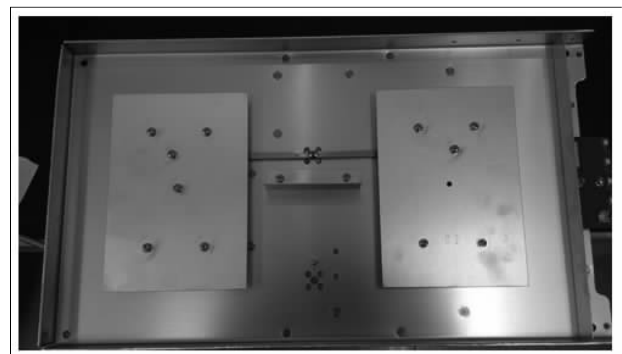


图 4 天线实物图

整个天线材料全部选用金属铝板为基材,以降低天线的重量和成本,铝材表面采用阳极氧化防腐工艺处理,提高天线的使用寿命和天线性能的稳定性。天线底板选用 2mm 厚的铝板,四周做弯折结构,在满足天线设计要求的同 时,可以提高天线底板的强度,天线外罩、电路板等外围设备都是以天线底板为基础来做生产组装的。天线辐射单元选用的是 1mm 厚铝板做基材,按照设计尺寸裁切后打定位孔,用内螺纹双通塑料螺母将两个天线辐射单元固定在天线底板上。其中一个天线辐射单元的中心位置开孔,经过一个双通塑料柱支撑后固定在铆接在天线底板上的铆接螺钉上,完成天线的直流接地保护。连接两个辐射单元的空气微带结构选用 1mm 的黄铜材料,因为要在起中心位置焊接射频座,采用铝质材料的话不能焊接。按照设计尺寸将铜条弯折后,在与天线辐射单元连接地方铆接内嵌螺母,通过螺钉将馈电结构和天线辐射单元固定在一起,焊接上射频座并保证同条距底板的距离为 2mm,这样就完成了天线的组装。

天线实物用长约 20cm 的 RG36 同轴线焊接好,在微波暗室中测试天线输入端口的回波损耗和方向图,测试结果如图 5 和图 6。天线的中心频率为 917MHz, S11 参数小于 -15dB(可近似为天线的驻波比小于 1.5)的驻波带宽为 23M, S11 参数小于 -10dB(可近似为天线的驻波比小于 2)的驻波带宽为 34M,天线输入端口的阻抗匹配良好。从实测天线方向图中可以看到,天线最大增益为 10.8dB, 3dB 波束宽度 48°, 天线辐射前后达到 -20.5dB,具有良好的定向性。对比天线仿真结果和实测结果,天线中心频率偏移和天线增益的偏差,是由仿真结果时对金属属性设置偏差和实物加工尺寸的偏差造成的。总之,实测结果与仿真结果基本一致。

将天线装配到我公司自主研发的远距离读卡一体机上,使用美国意联的标准标签 ALN-9662 测试,稳定读卡距离能达到 10 米,最远读卡距离能达到 15 米,完全满足工程上的使用,效果良好。

四、结论

本文根据工程应用设计了一个具有低剖面高增益的 RFID 线极化微带天线,该天线是一种空气介质的微带天线,由底板、两个矩形辐射单元和一个馈电结构组成,其

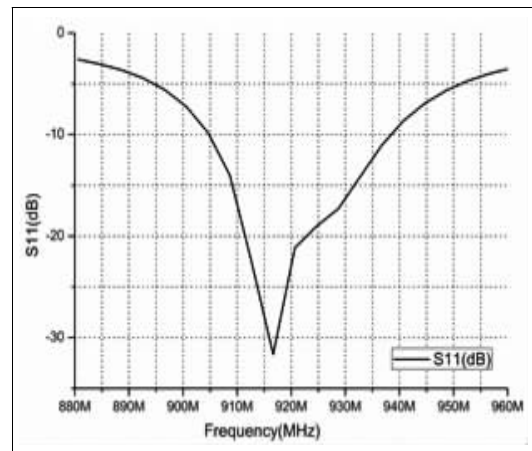


图 5 天线输入端口 S11 实测结果

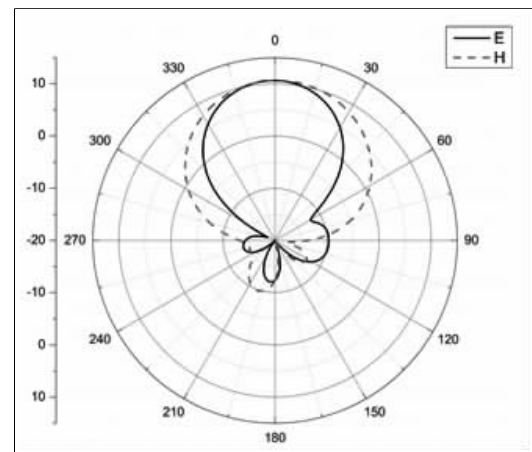


图 6 天线方向图实测结果

中馈电结构设计巧妙、简单。经过电磁软件仿真与优化后,天线实测结果与仿真结果高度一致,天线驻波小于 1.5 的带宽为 23M,天线最大增益有 10.8dB,完全满足我国 UHF 频段 RFID 的应用要求,实测应用达到满意效果。该天线产品性能参数稳定,生产成本低廉,加工简单、易于生产组装,具有较高的产业应用价值,已经批量生产,并获得了国家实用新型专利证书。

参 考 文 献

- [1] 王显燕. 关于 RFID 技术在图书管理中的应用研究[J]. 河南图书馆学刊. 2011 年 04 期
- [2] 晏玲. 物联网对电子商务商品流通的影响探析[J]. 商业时代. 2011 年 17 期
- [3] 陈雅娟, 龙云亮. 宽带微带贴片天线的研究进展[J]. 电波科学学报. 1999 年 03 期
- [4] 约翰·克劳斯著, 章文勋译. 天线[M]. 电子工业出版社. 2006
- [5] J 鲍尔 P. 布哈蒂亚. 微带天线[M]. 电子工业出版社. 1984

作者介绍:

彭海龙, 天线研发工程师, 大连交通大学硕士研究生毕业, 现就职于北京瑞德艾迪科技有限公司, 主要研究方向微带天线、RFID 电子标签天线、射频技术应用, 已获得两项国家实用新型专利证书, 专利号 ZL 201220091033.8、ZL201120474031.2, 另有多项国家实用新型专利在受理中。