

RFID 技术原理及其射频天线设计

陈华君¹,林凡²,郭东辉^{1,2,3*},吴孙桃²

(1. 厦门大学物理学系, 2. 厦门大学 MEMS 中心, 3. 厦门大学电子工程系, 福建 厦门 361005)

摘要:首先简要介绍 RFID 技术的基本工作原理,说明射频天线是 RFID 系统设计的技术关键,然后介绍了几种基本的 RFID 射频天线及其工作原理,并针对普遍使用的偶极子天线在 RFID 系统中方向性上的不足提出改进,最后,给出一个具有全向收发功能的 RFID 天线设计.通过设计仿真工具模拟仿真,并进行实际样品测试,获得较满意的设计结果.

关键词:RFID;射频天线;电子标签

中图分类号: TN 820.12; TN 821.4

文献标识码:A

文章编号:0438-0479(2005)Sup-0312-04

自 1970 年第一张 IC 卡问世起,IC 卡成为当时微电子技术市场增长最快的产品之一,到 1996 年全世界发售 IC 卡就有 7 亿多张^[1].但是,这种以接触式使用的 IC 卡有其自身不可避免的缺点,即接触点对腐蚀和污染缺乏抵抗能力,大大降低了 IC 卡的使用寿命和使用范围.近年来人们开始开发应用非接触式 IC 卡来逐步替代接触式 IC 卡,其中射频识别(RFID,radio frequency identification)卡就是一种典型的非接触式 IC 卡,它是利用无线通信技术来实现系统与 IC 卡之间数据交换的,显示出比一般接触式 IC 卡使用更便利的优点,已被广泛应用于制作电子标签或身份识别卡.然而,RFID 在不同的应用环境中需要采用不同天线通讯技术来实现数据交换的.这里我们将首先通过介绍 RFID 应用系统的基本工作原理来具体说明射频天线的设计是 RFID 不同应用系统的关键,然后分别介绍几种典型的 RFID 天线及其设计原理,最后介绍利用 Ansoft HFSS 工具来设计了一种全向的 RFID 天线.

1 RFID 技术原理

通常情况下,RFID 的应用系统主要由读写器和 RFID 卡两部分组成的,如图 1 所示.其中,读写器一般作为计算机终端,用来实现对 RFID 卡的数据读写和存储,它是由控制单元、高频通讯模块和天线组成.而 RFID 卡则是一种无源的应答器,主要是由一块集成电路(IC)芯片及其外接天线组成,其中 RFID 芯片

通常集成有射频前端、逻辑控制、存储器等电路^[2],有的甚至将天线一起集成在同一芯片上^[3].

RFID 应用系统的基本工作原理是 RFID 卡进入读写器的射频场后,由其天线获得的感应电流经升压电路作为芯片的电源,同时将带信息的感应电流通过射频前端电路检得数字信号送入逻辑控制电路进行信息处理;所需回复的信息则从存储器中获取经由逻辑控制电路送回射频前端电路,最后通过天线发回给读写器.可见,RFID 卡与读写器实现数据通讯过程中起关键的作用是天线.一方面,无源的 RFID 卡芯片要启动电路工作需要通过天线在读写器天线产生的电磁场中获得足够的能量;另一方面,天线决定了 RFID 卡与读写器之间的通讯信道和通讯方式.

目前 RFID 已经得到了广泛应用,且有国际标准: ISO10536,ISO14443,ISO15693,ISO18000 等几种.这些标准除规定了通讯数据帧协议外,还着重对工作距离、频率、耦合方式等与天线物理特性相关的技术规格进行了规范. RFID 应用系统的标准制定决定了 RFID 天线的选择,下面将分别介绍已广泛应用的各种类型的 RFID 天线及其性能.

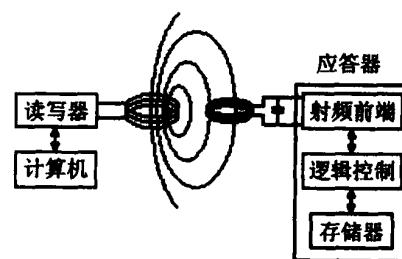


图 1 射频识别系统原理图

Fig. 1 Structure of RFID system

收稿日期:2005-03-10

基金项目:国家人事部留学人员创业基金,福建省自然科学基金计

划资助项目(A0410007)

作者简介:陈华君(1977-),男,博士研究生.

*通讯作者:dhguo@xmu.edu.cn

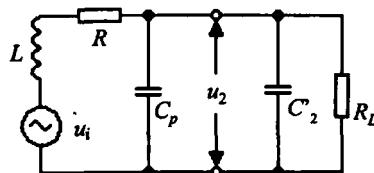


图 2 应答器等效电路图

Fig. 2 Equivalent circuit diagram of responder

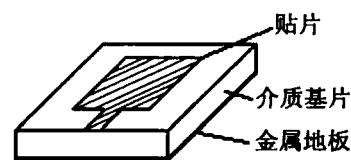


图 3 微带天线

Fig. 3 Microstrip antenna

2 RFID 天线类型

RFID 主要有线圈型、微带贴片型、偶极子型 3 种基本形式的天线。其中,小于 1 m 的近距离应用系统的 RFID 天线一般采用工艺简单、成本低的线圈型天线,它们主要工作在中低频段。而 1 m 以上远距离的应用系统需要采用微带贴片型或偶极子型的 RFID 天线,它们工作在高频及微波频段。这几种类型天线的工作原理是不相同的。

2.1 线圈天线

当 RFID 的线圈天线进入读写器产生的交变磁场中,RFID 天线与读写器天线之间的相互作用就类似于变压器,两者的线圈相当于变压器的初级线圈和次级线圈。由 RFID 的线圈天线形成的谐振回路如图 2 所示,它包括 RFID 天线的线圈电感 L 、寄生电容 C_p 和并联电容 C_2 ,其谐振频率为: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$ (式中 C 为 C_p 和 C_2 的并联等效电容)。RFID 应用系统就是通过这一频率载波实现双向数据通讯的。常用的 ID-1 型非接触式 IC 卡的外观为一小型的塑料卡 (85.72 mm × 54.03 mm × 0.76 mm), 天线线圈谐振工作频率通常为 13.56 MHz。目前已研发出面积最小为 0.4 mm × 0.4 mm 线圈天线^[3]的短距离 RFID 应用系统。

某些应用要求 RFID 天线线圈外形很小,且需一定的工作距离,如用于动物识别的 RFID。线圈外形即面积小的话,RFID 与读写器间的天线线圈互感量 M 就明显不能满足实际使用。通常在 RFID 的天线线圈内部插入具有高导磁率 μ 的铁氧体材料,以增大互感量,从而补偿线圈横截面减小的问题。

2.2 微带贴片天线

微带贴片天线是由贴在带有金属地板的介质基片上的辐射贴片导体所构成的^[4],如图 3 所示。根据天线辐射特性的需要,可以设计贴片导体为各种形状。通常贴片天线的辐射导体与金属地板距离为几十分之一波长,假设辐射电场沿导体的横向与纵向两个方向没有变化,仅沿约为半波长 ($\lambda/2$) 的导体长度方向变化。则微带贴片天线的辐射基本上是由贴片导体开路边沿的

边缘场引起的,辐射方向基本确定,因此,一般适用于通讯方向变化不大的 RFID 应用系统中。为了提高天线的性能并考虑其通讯方向性问题,人们还提出了各种不同的微带缝隙天线,如文献[5,6]设计了一种工作在 24 GHz 的单缝隙天线和 5.9 GHz 的双缝隙天线,其辐射波为线极化波;文献[7,8]开发了一种圆极化缝隙耦合贴片天线,它是可以采用左旋圆极化和右旋圆极化来对二进制数据中的‘1’和‘0’进行编码。

2.3 偶极子天线

在远距离耦合的 RFID 应用系统中,最常用的是偶极子天线(又称对称振子天线)^[9]。偶极子天线及其演化形式如图 4 所示,其中偶极子天线由两段同样粗细和等长的直导线排成一条直线构成,信号从中间的两个端点馈入,在偶极子的两臂上将产生一定的电流分布,这种电流分布就在天线周围空间激发出电磁场。利用麦克斯韦方程就可以求出其辐射场方程:

$$E = \frac{l}{r} dE = \frac{l}{r} \frac{60L}{r} \sin \cos(\theta) dz$$

式中 I_z 为沿振子臂分布的电流, θ 为相位常数, r 是振子中点到观察点的距离, θ 为振子轴到 r 的夹角, l 为单个振子臂的长度。同样,也可以得到天线的输入阻抗、输入回波损耗 S_{11} 、阻抗带宽和天线增益等等特性参数^[9]。

当单个振子臂的长度 $l = \lambda/4$ 时(半波振子),输入阻抗的电抗分量为零,天线输入阻抗可视为一个纯电阻。在忽略天线粗细的横向影响下,简单的偶极子天线设计可以取振子的长度 l 为 $\lambda/4$ 的整数倍,如工作频

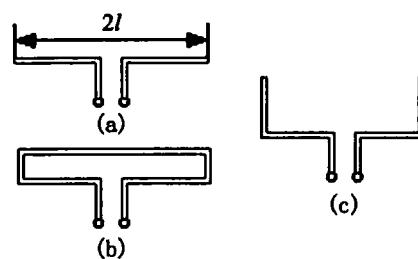


图 4 偶极子天线

- (a) 偶极子天线;
- (b) 折合振子天线;
- (c) 变形偶极子天线

Fig. 4 Dipole antenna

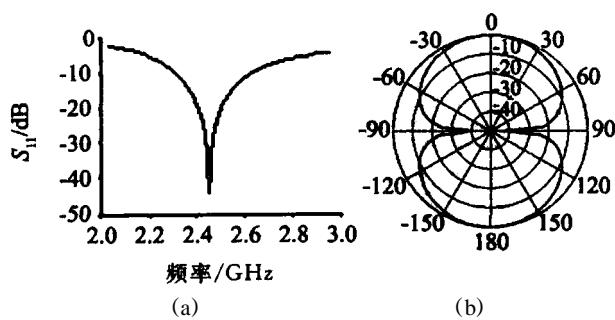


图 5 偶极子天线

(a) 回波损耗 S_{11} ; (b) 辐射方向图

Fig. 5 Dipole antenna

率为 2.45 GHz 的半波偶极子天线, 其长度约为 6 cm。当要求偶极子天线有较大的输入阻抗时, 可采用图 4-b 的折合振子。

3 RFID 射频天线的设计

从 RFID 技术原理和 RFID 天线类型介绍上看, RFID 具体应用的关键在于 RFID 天线的特点和性能。目前线圈型天线的实现技术很成熟, 虽然都已广泛地应用在如身份识别、货物标签等 RFID 应用系统中, 但是对于那些要求频率高、信息量大、工作距离和方向不确定的 RFID 应用场合, 采用线圈型天线则难以设计实现相应的性能指标。同样, 如果采用微带贴片天线的话, 由于实现工艺较复杂, 成本较高, 一时还无法被低成本的 RFID 应用系统所选择。偶极子天线具有辐射能力较强、制造简单和成本低等优点, 且可以设计成适用于全方向通讯的 RFID 应用系统, 因此, 下面我们来具体设计一个工作于 2.45 GHz(国际工业医疗研究自由频段)的 RFID 偶极子天线。

半波偶极子天线模型如图 4-a 所示。天线采用铜材料(电导率: 5.8×10^7 S/m, 磁导率: 1), 位于充满空气的立方体中心。在立方体外表面设定辐射吸收边界。输入信号由天线中心处馈入, 也就是 RFID 芯片的所在位置。对于 2.45 GHz 的工作频率其半波长度约为 61 mm, 设偶极子天线臂宽 w 为 1 mm, 且无限薄, 由于天线臂宽的影响, 要求实际的半波偶极子天线长度为 57 mm。在 Ansoft HFSS 工具平台上, 采用有限元算法^[10]对该天线进行仿真, 获得的输入回波损耗 S_{11} 分布图如图 5-a 所示, 辐射场 E 面(即最大辐射方向和电场矢量所在的平面)方向图如图 5-b 所示。天线输入阻抗约为 72 Ω, 电压驻波比(VSWR)小于 2.0 时的阻抗带宽为 14.3%, 天线增益为 1.8。

从图 5-b 可以看到在天线轴方向上, 天线几乎无辐射。如果此时读写器处于该方向上, 应答器将不会做

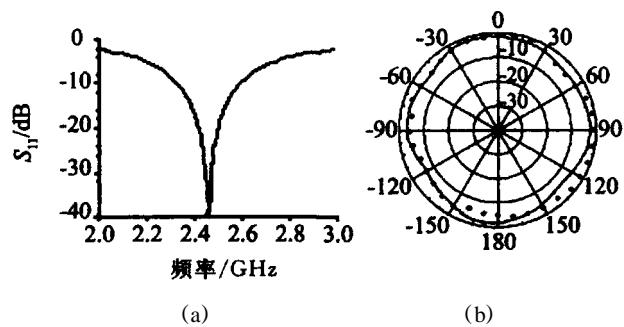


图 6 变形偶极子天线

(a) 回波损耗 S_{11} ; (b) 辐射方向图

Fig. 6 Changed dipole antenna

出任何反应。为了获得全方位辐射的天线以克服该缺点, 可以对天线做适当的变形, 如在将偶极子天线臂末端垂直方向上延长 $1/4$ 成图 4-c 所示。这样天线总长度修改为 $(57.0 \text{ mm} + 2 \times 28.5 \text{ mm})$, 天线臂宽仍然为 1 mm。天线臂延长 $1/4$ 后, 整个天线谐振于 1 个波长, 而非原来的半个波长。这就使得天线的输入阻抗大大地增加, 仿真计算结果约为 $2 \text{ k}\Omega$ 。其输入回波损耗 S_{11} 如图 6-a 所示。图 6-b 为 E 面(天线平面)上的辐射场方向图, 其中实线为仿真结果, 黑点为实际样品测量数据, 两者结果较为吻合说明了该设计是正确的。从图 6-b 可以看到在原来弱辐射的方向上得到了很大的改善, 其辐射已经近似为全方向的了。电压驻波比(VSWR)小于 2.0 时的阻抗带宽为 12.2%, 增益为 1.4, 对于大部分 RFID 应用系统, 该偶极子天线可以满足要求。

4 结束语

总之, RFID 的实际应用关键在于天线设计上, 特别是对于具有非常大市场容量的商品标签来说, 要求 RFID 能够实现全方向的无线数据通讯, 且还要价格低廉、体积小。因此, 我们所设计的上述这种全向型偶极子天线的结构简单、易于批量加工制造, 是可以满足实际需要的。通过对设计出来实际样品的进行参数测试, 测试结果与我们的设计预期结果是一致的。

参考文献:

- [1] 苏雪莲. IC 卡的国内外发展现状[J]. 微电子技术, 1997, (2): 1-9.
- [2] Friedman D, Heinrich H, Duan D W. A low-power CMOS integrated circuit for field-powered radio frequency identification tags [A]. Solid-State Circuits Conference [C]. 1997, 294 - 295, 474.
- [3] Usami M. An ultra small RFID chip: u-chip [A]. Radio

- Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium [C]. 2004. 241 - 244.
- [4] [美]鲍尔 IJ ,布哈蒂亚 P ,著. 微带天线 [M]. 梁联倬 ,寇廷耀 ,译. 北京 :电子工业出版社 ,1984.
- [5] Padhi S K ,Karmakar N C ,Law C L ,et al. Microstrip-fed slot antenna for millimetre-wave RFID system [A]. Microwave Conference ,Asia-Pacific [C]. 2000. 1 396 - 1 399.
- [6] Padhi S K ,Karmakar N C ,Law C L ,et al. A dual polarized aperture coupled microstrip patch antenna with high isolation for RFID applications [J]. Antennas and Propagation Society ,2001 ,2:2 - 5.
- [7] Kossel M ,Benedickter H ,Baechtold W. Circular polarized aperture coupled patch antennas for an RFID system in the 2.4 GHz ISM band [A]. Radio and Wireless Conference . RAWCON 99 [C]. 1999. 235 - 238.
- [8] Kossel M ,Benedickter H ,Baechtold W. An active tagging system using circular polarization modulation [J]. Microwave Symposium Digest ,1999 ,4:1 595 - 1 598.
- [9] 朱崇灿 ,黄景熙 ,鲁述 ,编. 天线 [M]. 武汉 :武汉大学出版社 ,1996. 10.
- [10] 杜平安 ,甘娥忠 ,于亚婷. 有限元法 :原理、建模及应用 [M]. 北京 :国防工业出版社 ,2004.

Principle of RF Antenna and Design for RFID

CHEN Hua-jun¹, LIN Fan², GUO Dong-hui^{1,2,3*}, WU Sun-tao²

(1. Dept. of Phys. ,Xiamen University , 2. Dept. of MEMS Center ,Xiamen University ,
3. Dept. of Electr. Eng. ,Xiamen University ,Xiamen 361005 ,China)

Abstract : Antenna is the key part of the RFID (Radio Frequency IDentification) system. This paper introduces the principle of RFID system and its antennae ,and designs an omni antenna for RFID system to improve the shortage of radiation pattern of traditional dipole antenna used in RFID system. The results of both simulation and measurement are identical.

Key words : RFID ;RF Antenna ;electronic tag

射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

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，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 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。

易迪拓培训推荐课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术，内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计，最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计，以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计，通过该套课程的学习，可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计，以及天线及其匹配电路的设计和调试…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP) 公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像，课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结，主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用，匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识，以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您，绝对值得拥有和学习！…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出，是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装，所有课程都由经验丰富的专家授课，视频教学，可以帮助您从零开始，全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装，还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验，
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授，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>