

射频识别贴片天线研究

李浩宇 吴群 林世荣

(哈尔滨工业大学电子与信息工程学院电磁场与微波技术, 哈尔滨 010001)

摘要: 近年来, 自动识别方法在许多服务领域, 诸如货物采购与分配、商业贸易、生产制造和物流等领域中, 得到了快速地普及和推广。自动识别的任务和目的是提供关于个人、动物和商品的信息。自动识别系统克服了标签存储容量小和不能改写的缺点。自动识别系统在数据载体与一个所属阅读器之间进行非接触式传输。根据自动识别系统使用的能量和数据传输方法, 我们把非接触式识别系统称为 RFID 系统。RFID 系统是通过阅读器与标签之间的天线之间交换能量来读取数据的。常用于 RFID 系统中的天线有偶极天线、Yaugi-Uda 天线、片状或微带天线和缝隙天线。

关键词: 射频识别; 微带贴片天线; 阅读器

Researching of the Patch Antennas Using for RFID

LI Hao-yu, WU Qun, LIN Shi-rong

(College of Electronics Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, harbin, 010001 China)

Abstract: In recent years, RFID has been quickly popularized and used in many service field like purchase, distribution, commercial, manufacture, logistics and other fields. The tasks and aims of RFID is providing the information of individuals, animals and goods. RFID system overcomes the problem that the label cannot store much information and cannot rewrite information. RFID system non-connect exchange information between data carrier and the reader. Accord to the method how the RFID system uses energy and change information. We called the non-connect identification system RFID system. The reader reads information from data carrier by exchange energy. The common antennas used in RFID system are dipole antenna, yaugi-uda antenna, patch antenna, microstrip antenna and slot antenna.

Key words: RFID; microstrip patch antenna; reader

引言

RFID(Radio Frequency Identification)系统与常用的 IC 卡有着非常相似的地方。采用了无线电和雷达技术。微带贴片天线作为一种片状天线, 广泛应用于现代通信技术中, 即应用于体积越来越小的 GPS 接收器和手机中。正是由于这种天线的特殊结构, 所以也可以在 RFID 系统中使用。

微带天线是在带有导体接地板的介质基片上贴加导体薄片而形成的天线。它通过微带线或同轴线等馈线馈电, 在导体贴片与接地板之间激励起射频电磁场, 并通过贴片四周与接地板间的缝隙向外辐射。最早的实际的微带天线是在上世纪 20 年代初期研制成功的。这以后, 微带天线有了迅猛的发展。新形式和新性能的微带天线不断涌现, 人们发表了大量的学术论文和研究报告, 召开了专题会议, 出版了专集。这一切表明微带天线终于成为天线研究中的重要课题, 受到了各方面的注意。

1 RFID 系统的组成

通常 RFID 系统(见图 1)有以下两部分组成:

(1) 应答器: 应答器放置在被识别物体之处; (2) 阅读器: 阅读器是一种读或写/只读装置, 这取决于使用的结构和技术。

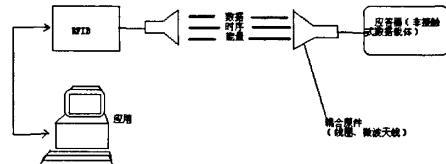


图 1 阅读器和应答器是各种射频识别系统的基本组成

2 RFID 系统的基本工作原理

RFID 系统分为一位系统和 n 比特系统两种, 其工作机制如图 2 所示。

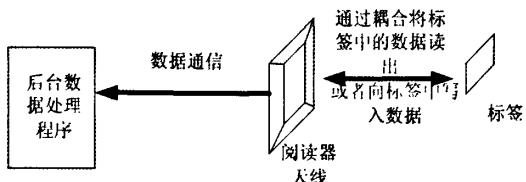


图 2 RFID 各个部件工作机制

工作原理: 阅读器发送一定频率的射频信号, 当电子标签进入发射天线的工作区域时产生感应电流, 电子标签获得能量被激活。电子标签将自身编码等信息通过片内内置发送天线发送出去。

系统接收天线接收到电子标签发送来的载波信号，经过天线调节器传送到阅读器，阅读器对接收到信号进行解调和解码，然后送到后台主程序进行相关处理；主系统根据逻辑判断该卡的合法性，针对不同的设定做出相应的处理和控制。发出指令信号控制相关执行机构动作。即标签和阅读器之间通过元件耦合来实现射频信号的空间耦合。

这种耦合有两种：电感耦合和电磁反向散射耦合。

(1) 电感耦合式应答器由一个电子数据做载体、一个独立的微芯片和一个做天线用的大面积线圈。电感耦合的应答器几乎都是无源工作的。这意味着：微芯片工作时所需的能量都是由阅读器提供的。阅读器天线线圈产生高频的强电磁场，这种电磁场穿过线圈横截面和线圈周围的空间。因此使用频率范围(135kHz: 2400m, 13.56MHz: 22.1m)内的波长比阅读器天线和应答器之间的距离大很多倍，所以把应答器到天线的距离间的电磁场从数学上作为简单的交变磁场来对待。

(2) 电磁反向散射耦合，对于在阅读器和应答器之间的有效作用距离大于 1m 的 RFID 系统称为长距离系统，其工作频率为超高频 868MHz (欧洲) 915MHz (美国)，以及微波频率 2.5GHz 和 5.8GHz。这两个频率的波长较短，他与工作在频率为 30MHz 的情况相比，可使天线的结构尺寸进一步缩小，并具有更高的效率。在这种耦合模式下，阅读器和应答器之间的空间衰减：

$$A = -147.6 + 20 \log(r) + 20 \log(f) - 10 \log(G_r) - 10 \log(G_t)$$

即电磁反向散射耦合就是电磁波空间传播规律，它主要适用于高频、微波工作的远距离 RFID 系统。典型工作频率有：868MHz、915MHz、2.45GHz 等。识别距离在 3~10m。

3 RFID 微带贴片天线

3.1 微带贴片天线基片研究

研究微带贴片天线的第一个步骤就是选取介质基片，因为基片的介质参数对于微带天线是如此重要。直接影响者天线的一系列性能参数。主要影响有：

首先，对微带贴片天线的体积重量有直接影响。工作于主模 TM_{01} 模矩形微带天线贴片长度 L 近似为 $\lambda_g / 2$ ， λ_g 为介质内波长。 $\lambda_g = \lambda_0 \sqrt{\epsilon_r}$ ， λ_0 为自由空间波长， ϵ_r 为有效介电常数， ϵ_r 可以表示为：

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

可见 L 值与 ϵ_r 直接相关。当 L 、 W 取定后， h 的取值决定着天线的体积和重量。显然，当要求天线工作于较低的频段时，如果天线的安装面积和重量有影响，那么最好选择 ϵ_r 较大的基板。

其次，对方向特性有影响，矩形微带天线的 E 面方向图宽度与两辐射边间距 L 有关；E 面束宽度可根据二元阵公式算出，

$$f(\theta) = 2A \left[\cos \left(\frac{s^0}{2} \sin \theta \right) \right]$$

式子中 A 时每一个元的激励幅度， s^0 时用电角度表示的元的间隔。当介质基片的 ϵ_r 为 1.0 时，E 面半功率宽度为 60° 。当介质基片的介电常数增大时，E 面半功率宽度不断增大。

另外，对频带的影响，频带窄是微带天线的主要缺点之一，对于矩形微带天线其原因可以理解为两个辐射缝之间低的传输线特性阻抗所致。 H 的增大时传输线特性阻抗增大从而使频带变宽。当厚度 $h < \lambda / 16$ 时， $VSWR \leq 2$ 的频带宽度经验公式为：

$$\text{频带 (MHz)} = 4f^2 \frac{h}{(1/32)}$$

式中 f 是以 GHz 为单位的频率， h 的单位为英寸。

最后，对效率的影响，基板厚度增大有利于提高天线效率；但介质基片并不是越厚越好，微带贴片天线的其中很重要的一个优点就是它的质量轻，剖面低。基片的增厚破坏了微带贴片天线的这些特性。所以，介质基片的厚度应该考虑微带贴片天线的具体情况来考虑。最终根据实际要求选择空气为介质填充，空气介质层的厚度为 14 mm。

3.2 微带贴片天线尺寸研究

确定单元宽度 W 的尺寸。 W 的尺寸影响着微带天线的方向性函数、辐射电阻及输入阻抗，从而也就影响着频带宽度和辐射效率。所以 W 直接决定着天线的尺寸。在安装尺寸应许的条件下取得适当大一些对频率、效率及阻抗匹配都有利，但当 W 尺寸过大时，会产生高次模，从而引起场的畸变。这个尺寸由下面的式子确定：

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

式中 c 时光速, f_r 是谐振频率, 由上式可以看出 W 总是小于 $\lambda_0/2$ 的值。在本次课设中, 由于基板的介电常数为 1.0, 所以 W 理论上可以取到 164mm, 但是实际的大小应该由实际情况和仿真过程最终确定为 137.5mm。

矩形微带贴片天线的长度 L 理论上可以取到 $\lambda_g/2$, 但实际上由于边缘场的影响在设计 L 的尺寸时应从 $\lambda_g/2$ 中减去 $2\Delta L$ 。 ΔL 的值由下面式子求:

$$L = 0.5\lambda_g - 2\Delta L$$

而 ΔL 可以由下面的式子确定:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_e + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(W/h + 0.8)}$$

由此可见微带贴片天线的长度 L 不仅与 ϵ_r 、 W 有关, 而且还和厚度 h 有关。根据上式计算出 ΔL 为 9.2, 从而得出 L 为 137.5mm。

3.3 微带贴片天线电参数

天线的方向系数定义为最大辐射方向上的辐射功率密度与平均功率密度之比。微带天线的辐射可以看成一段传输线分开的两个缝隙构成, 其中一个缝隙的方向性系数可表示成

$$D_1 = \frac{\frac{1}{2} R_e (E_\theta H_\phi^* - E_\phi H_\theta^*)|_{\theta=\pi/2}}{\rho_r / (4\pi r^2)} = \frac{4W^2 \pi^2}{I_r \lambda_0^2}$$

式中

$$I = \int_0^\pi \sin^2 \left(\frac{k_0 W \cos \theta}{2} \right) \tan^2 \theta \sin \theta d\theta$$

上面对应的坐标关系如图 3 所示。

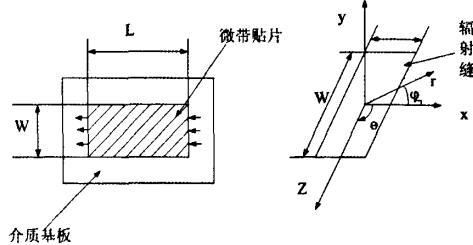


图 3 求单缝方向系数的坐标系

因此, 间隔为 L 的两个缝隙的微带贴片天线的方向性系数为

$$D = \frac{2D_1}{1 + g_{12}}$$

式中 g_{12} 为归一化导纳, 可根据下式计算

$$g_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \frac{\sin \left(\frac{\pi W}{\lambda_0} \cos \theta \right) \tan^2 \theta J_0 \left(\frac{2\pi L}{\lambda_0} \sin \theta \right)}{G_1} d\theta$$

式中 G_1 为单槽辐射电导, $J_0(x)$ 是以 x 为变量的零阶贝塞尔函数。微带天线的增益等于

$$G = \eta D$$

式中天线效率

$$\eta = \frac{G_r}{G_r + G_d + G_e} \times 100\%$$

式中 G_r 、 G_d 和 G_e 分别为辐射电导、介质电导、和导体电导。

用微带天线实现圆极化的关键在于产生两个极化方向正交而幅度相等并且相位差 90° 的线极化波。如图 4 所示, 其中馈电点在 x 轴或 y 轴上的矩形微带天线称为 A 型; 馈点在对角线上的矩形微带天线叫 B 型。 $\square s = \square s_1 + \square s_2$, 称为简并分离单元。使矩形微带天线面积减小的简并分离单元记为负, 即 $\Delta S < 0$; 使矩形微带天线面积增加的简并分离单元记为正, 即 $\Delta S > 0$ 。

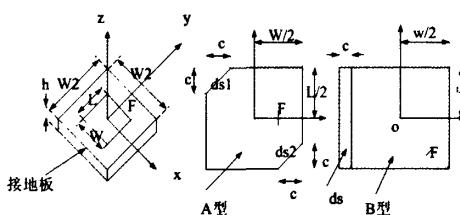


图 4 点馈电矩形圆极化微带天线

4 宽频带的实现

频带窄是微带贴片天线的一个主要缺陷之一。频带窄是微带天线固有特点也主要指这种天线。微带贴片天线的窄频带是由其高 Q 的谐振本性所决定的。也就是说贮存于天线结构中的能量比辐射和其他的耗散能量大得多。这意味着在谐振时实现了匹配而当频率偏离谐振时电抗分量急剧变动使之失配。

针对频带比较窄这一缺点, 有以下几种解决方案:

(1) 采用厚基板, 在一些空气动力性能及重量限制不甚苛刻的场合这种方法还是行之有效的。从物理意义上讲, 增大基板厚度之所以能使频带加宽是由于厚度 h 的增加辐射点到随之增大, 使辐射对应的 Q_d 值下降。

(2) 采用较小 ϵ_r 或 $\tan \delta$ 较大的基板。对于一种确定的介质基板, ϵ_r 和 $\tan \delta$ 是同时给出的。而对于课题所设计的微带贴片天线来说, 介电常数 ϵ_r 是 1 (采用空气介质)。从物理意义上可以分开解释。当 ϵ_r 减小时, 介质对场的“束缚”减小, 易于辐射; 且天线的储能也因 ϵ_r 的减小而减小, 这样将使辐射对应的 Q_d 下降, 从而使频带变宽。 $\tan \delta$ 的增加使介质损耗加大, Q_d 下降, 也使频带变宽。由于此次毕业设计所用的介质采用的是空气, 所以这项方案没有用上。

(3) 附加阻抗匹配网络, 工作于主模的矩形或者圆形等微带贴片天线、其等效电路可以用一个 RLC 并联谐振回路来描述。在背馈的情况下, 馈电探针的电抗作用应予考虑。尤其当基板厚度 $h \geq 0.1 \lambda_g$ 时, 馈电探针的作用更为显著。若 $h < \lambda_g/4$, 其作用等效与一个电感, 这个电感与上述并联谐振回路相串联形成 的输入阻抗, 为了使这个阻抗与 50Ω 的馈线在最大的频带范围内相匹配, 需要进行网络综合。可以用计算机辅助设计方法实施最

优设计。对于圆形微带贴片天线, 发现上述最优设计结果的主要匹配元件是一个串联电容。在天线工作频率上这个电容与馈电探针等效电感大致构成串联谐振。串并谐振回路在谐振频率附近的电抗趋于抵消, 使之避免了偏离谐振使电抗迅速变化从而展宽了频带。

5 结 论

文章对于 RFID 微带贴片天线进行了设计, 讨论并确定天线结构和参数。然后, 对微带贴片天线带宽的展宽进行了研究, 实现带宽展宽。

参 考 文 献

- [1] D. Small. The Potential of RFID is Finally a Reality. *Industrial Engineering*.
- [2] S. C. Q. Chen, V. Tomas. Optimization of Inductive RFID Technology[J]. *Electronics and the Environment*, 2001, 5:82-87
- [3] D. J. Hind. Radio Frequency Identification and Tracking Systems in Hazardous Areas[J]. *Electrical safety in Hazardous Environments*, 1994, 4:215-227
- [4] 云振新. 射频识别技术的发展与应用[J]. 新技术, 1995, (5): 17-19
- [5] 李元忠. 射频识别技术及其在交通领域的应用[J]. 电讯技术, 2002, (5): 5-9
- [6] 岳喜成, 王文琪, 王媛媛. 一种用于微波射频识别卡的圆极化微带天线[J]. 微波学报, 2003, 19(1): 25-28
- [7] S. K. Padhi, N. C. Karmakar and C. L. Law. A Dual Polarized Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna with High Isolation for RFID Applications[J]. *Antennas and Propagation Society*, 2001, 2:2-5
- [8] 张钧, 刘克诚, 张贤铎, 赫崇骏. 微带天线理论与工程 [M]. 国防工业出版社, 1988:1-300
- [9] (美) John D. Kraus, Ronald J. Marhefka 著. 章文勋译. 天线 [M]. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2004 201-230
- [11] (德) Klaus Finkenzeller 著. 陈大才等译. 射频识别 (RFID) 技术 [M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2001: 19-20
- [12] 毛乃宏, 俱德新. 天线测量手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1987: 67-85

李浩宇 男, 1985 年生, 硕士生。主要研究方向: 射频电路、MEMS 器件、天线设计、异向介质、电波传播特性、电磁场数值解法等。

E-mail: lihaoyuhit@163.com

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>