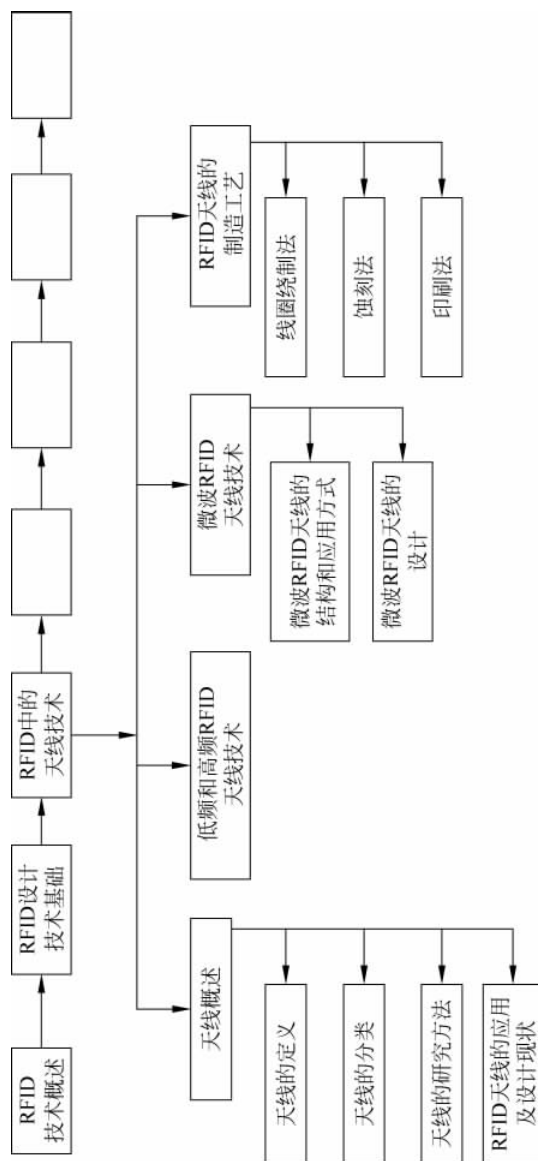


学习导航



学习目标

- 了解天线概述
- 掌握低频和高频 RFID 天线技术
- 掌握微波 RFID 天线技术
- 了解 RFID 天线的制作工艺

在无线通信领域,天线是不可缺少的组成部分。广播、通信、雷达、导航、遥测和遥控等都是利用无线电波传递信息的。RFID 也是利用无线电波传递信息,当信息通过电磁波在空间传播时,电磁波的产生和接收要通过天线完成。此外,在用电磁波传送能量方面,非信号的能量辐射也需要通过天线完成。

天线技术对 RFID 系统十分重要,是决定 RFID 系统性能的关键部件。RFID 天线可以分为低频天线、高频天线、超高频天线及微波天线,每一频段天线又分为电子标签天线和读写器天线,不同频段天线的结构、工作原理、设计方法和应用方式有很大差异,导致 RFID 天线种类繁多、应用各异。在低频和高频频段,读写器与电子标签基本都采用线圈天线。微波 RFID 天线形式多样,可以采用对称振子天线、微带天线、阵列天线和宽带天线等,同时微波 RFID 的电子标签较小,天线要求低造价、小型化,因此微波 RFID 出现了许多天线制作的新技术。

为适应电子标签的快速应用和不断发展,需要提高 RFID 天线的设计效率,降低 RFID 天线的制作成本,因此大量使用仿真软件对 RFID 天线进行设计,并采用了多种制作工艺。天线仿真软件功能强大,已经成为天线技术的一个重要手段。天线仿真和测试相结合,可以满足 RFID 天线设计的需要。RFID 天线制作工艺主要有线圈绕制法、蚀刻法和印刷法,这些工艺既有传统的制作方法,也有近年来发展起来的新技术,天线制作的新工艺可使 RFID 天线制作成本大大降低,走出应用成本瓶颈,并促进 RFID 技术进一步发展。

3.1 天线概述

由发射机产生的高频振荡能量,经过传输线(在天线领域,传输线也称为馈线)传送到发射天线,然后由发射天线变为电磁波能量,向预定方向辐射。电磁波通过传播媒质到达接收天线后,接收天线将接收到的电磁波能量转变为导行电磁波,然后通过馈线送到接收机,完成无线电波传输的过程。天线在无线电波传输的过程中,是无线通信系统的第一个和最后一个器件,如图 3-1 所示。

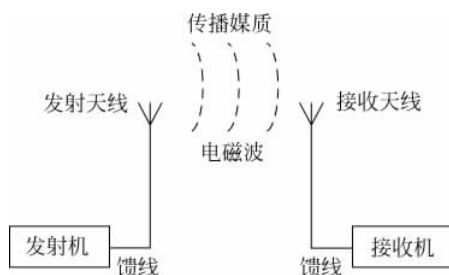


图 3-1 无线通信系统框图

3.1.1 天线的定义

凡是利用电磁波传递信息和能量的,都依靠天线进行工作。天线是用来发射或接收无

线电波的装置和部件。

对于天线,人们关心的主要是它的辐射场。任何一个天线都有一定的方向性、输入阻抗、带宽、功率容量、效率等,由于应用领域众多,对天线的要求也是多种多样。因此,天线种类繁多,功能各异。

天线对不同方向的辐射或接收效果并不一样,带有方向性。以发射天线为例,天线辐射的能量在某些方向强、在某些方向弱、在某些方向为零。设计天线时天线的方向性是要考虑的主要因素之一。

天线可以视为传输线的终端器件。天线作为一个单端口元件,要求与相连接的馈线阻抗匹配。天线的馈线上要尽可能传输行波,使从馈线入射到天线上的能量不被天线反射,尽可能多地辐射出去。天线与馈线、接收机、发射机的匹配或最佳贯通,是天线工程最关心的问题之一。

3.1.2 天线的分类

天线的种类很多,可以按照不同的方式进行分类。

1. 按照波段分类

按照天线适用的波段分类,天线可分为长波天线、中波天线、短波天线、超短波天线、微波天线等。

2. 按照结构分类

按照天线的结构分类,天线可分为线状天线、面状天线、缝隙天线、微带天线等。

(1) 线状天线。线状天线是指线半径远小于线本身的长度和波长,且载有高频电流的金属导线。线状天线随处可见,如在房顶上、船上、汽车上、飞机上等。线状天线有直线形、环形、螺旋形等多种形状。

(2) 面状天线。面状天线由尺寸大于波长的金属面构成,主要用于微波波段,形状可以是喇叭状、抛物面状等。

(3) 缝隙天线。缝隙天线是金属面上的线状长槽,长槽的横向尺寸远小于波长及纵向尺寸,长槽上有横向高频电场。

(4) 微带天线。微带天线由一个金属贴片和一个金属接地板构成。金属贴片可以有各种形状,其中长方形和圆形最常见。金属贴片与金属接地板距离很近,使微带天线侧面很薄,适用于平面和非平面结构,并且可以用印刷电路技术来制作。

3. 按照用途分类

按照天线的用途分类,天线可分为广播天线、通信天线、雷达天线、导航天线和 RFID 天线。

3.1.3 天线的研究方法

电磁场随时间变化是产生辐射的原因。频率低时,辐射较微弱;频率越高,辐射就越强。天线的结构应该使电场和磁场分布在同一空间,这样可以使两者能量直接转化,电磁能量可以向远处辐射。

1. 叠加原理

天线的辐射符合叠加原理。

(1) 线天线。线天线首先求出元电流(或称电基本振子)的辐射场,然后找出线天线上的电流分布,线天线的辐射是元电流辐射的线积分。

(2) 面天线。面天线将辐射问题分为内问题和外问题,由已知激励源求天线封闭面上的场为内问题,由封闭面上的场求外部空间辐射场为外问题。在求天线的外问题时,辐射场也要用到叠加原理。

2. 研究天线的3个方法

研究天线辐射的常用方法有如下3种。

(1) 解析解。天线的辐射性能是宏观电磁场问题,严格的分析方法是找出解析解。解析解是满足边界条件的麦克斯韦方程解。

(2) 数值解。实际天线的计算中,严格的求解会出现数学上的困难,有时甚至无法求出解析解,所以天线实际上都是采用数值近似解法。常用的天线数值解法有矩量法、有限元法和时域有限差分法等。

(3) 仿真软件。目前天线的设计与计算广泛采用仿真软件,现在国际上比较流行的电磁三维仿真软件有 Ansoft 公司的 HFSS(High Frequency Structure Simulator)和 CST 公司的 MWS(Microwave Studio)。这些软件可以求解任意三维射频、微波器件的电磁场分布,并可以直接得到辐射场和天线方向图,仿真结果与实测结果具备很好的一致性,是高效、可靠的天线设计方法。

3.1.4 RFID 天线的应用及设计现状

RFID 在不同的应用环境中使用不同的工作频段,需要采用不同的天线通信技术,来实现数据的无线交换。按照现在 RFID 系统的工作频段,天线可以分为低频 LF、高频 HF、超高频 UHF 及微波天线,不同频段天线的工作原理不同,使得不同天线的设计方法也有本质的不同。在 RFID 系统中,天线分为电子标签天线和读写器天线,这两种天线按方向性可分为全向天线、定向天线等;按外形可分为线状天线、面状天线等;按结构和形式可分为环形天线、偶极天线、双偶极天线、阵列天线、八木天线、微带天线、螺旋天线等。在低频和高频频段,RFID 系统主要采用环形天线,用以完成能量和数据的电感耦合;在 433MHz、

800/900MHz、2.45GHz 和 5.8GHz 的微波频段,RFID 系统可以采用的天线形式多样,用以完成不同任务。

1. RFID 天线的应用现状

影响 RFID 天线应用性能的参数主要有天线类型、尺寸结构、材料特性、成本价格、工作频率、频带宽度、极化方向、方向性、增益、波瓣宽度、阻抗问题和环境影响等,RFID 天线的应用需要对上述参数加以权衡。

1) RFID 天线应用的一般要求

(1) 电子标签天线。一般来讲,RFID 电子标签天线需要满足如下条件。

- ① RFID 天线必须足够小,以至于能够附着到需要的物品上。
- ② RFID 天线必须与电子标签有机地结合成一体,或贴在表面,或嵌入物体内部。
- ③ RFID 天线的读取距离依赖天线的方向性,一些应用需要标签具备特定的方向性,如有全向或半球覆盖的方向性,以满足零售商品跟踪等的需要。
- ④ RFID 天线提供最大可能的信号给多种标签的芯片。
- ⑤ 无论物品在什么方向,RFID 天线的极化都能与读写器的询问信号相匹配。
- ⑥ RFID 天线具有应用的灵活性。电子标签可能被用在高速的传输带上,此时有多普勒频移,天线的频率和带宽要不影响 RFID 工作。电子标签在读写器读取区域的时间很少,要求有很高的读取速率,所以 RFID 系统必须保证标签识别的快速无误。
- ⑦ RFID 天线具有应用的可靠性。RFID 标签必须可靠,并保证因温度、湿度、压力和标签插入、印刷和层压处理中的存活率。
- ⑧ RFID 天线的频率和频带。频率和频带要满足技术标准,标签期望的工作频率带宽依赖于标签使用地的规定。
- ⑨ RFID 天线具有鲁棒性。
- ⑩ RFID 天线非常便宜。RFID 标签天线必须是低成本,这约束了天线结构和根据结构使用的材料。标签天线多采用铜、铝或银油墨。

(2) 读写器天线。读写器天线既可以与读写器集成在一起,也可以采用分离式。对于远距离系统,天线和读写器采取分离式结构,并通过阻抗匹配的同轴电缆连接到一起。

① 读写器天线设计要求低剖面、小型化。读写器由于结构、安装和使用环境等变化多样,读写器产品朝着小型化甚至超小型化发展。

② 读写器天线设计要求多频段覆盖。

③ 对于分离式读写器,还将涉及天线阵的设计问题。

④ 目前,国际上已经开始研究读写器应用的智能波束扫描天线阵。

2) RFID 天线的极化

不同的 RFID 系统采用的天线极化方式不同。有些应用可以采用线极化。例如,在流水线上,这时电子标签的位置基本上是固定不变的,电子标签的天线可以采用线极化方式。在大多数场合,由于电子标签的方位是不可知的,大部分 RFID 系统采用圆极化天线,以使 RFID 系统对电子标签的方位敏感性降低。

3) RFID 天线的方向性

RFID 系统的工作距离,主要与读写器给电子标签的供电有关。随着低功耗电子标签芯片技术的发展,电子标签的工作电压不断降低,所需功耗很小,这使得进一步增大系统工作距离的潜能转移到天线上,这就要求有方向性较强的天线。

如果天线波瓣宽度越窄,天线的方向性越好,天线的增益越大,天线作用的距离越远,抗干扰能力越强,但同时天线的覆盖范围也就越小。

4) RFID 天线的阻抗问题

为了以最大功率传输,芯片的输入阻抗必须和天线的输出阻抗匹配。几十年来,天线设计多采用 50Ω 或 75Ω 的阻抗匹配,但是可能还有其他情况。例如,一个缝隙天线可以设计几百欧姆的阻抗;一个折叠偶极子的阻抗可以是一个标准半波偶极子阻抗的几倍;印刷贴片天线的引出点能够提供提供一个 $40\sim 100\Omega$ 的阻抗。

5) RFID 的环境影响

电子标签天线的特性,受所标识物体的形状和电参数影响。例如,金属对电磁波有衰减作用,金属表面对电磁波有反射作用,弹性衬底会造成天线变形等,这些影响在天线设计与应用中必须解决。以在金属物体表面使用天线为例,目前有价值的解决方案有两个,一个是从天线的形式出发,采用微带贴片天线或倒 F 天线等;另一个是采用双层介质、介质覆盖或电磁带隙等。

2. RFID 天线的设计现状

在 RFID 系统中,天线分为电子标签天线和读写器天线,这两种天线的设计要求和面临的技术问题是不同的。

1) RFID 电子标签天线的设计

电子标签天线的设计目标是传输最大的能量进出标签芯片,需要仔细设计天线和自由空间的匹配,以及天线与标签芯片的匹配。当工作频率增加到微波波段,天线与电子标签芯片之间的匹配问题变得更加严峻。一直以来,电子标签天线的开发是基于 50Ω 或者 75Ω 输入阻抗。而在 RFID 应用中,芯片的输入阻抗可能是任意值,并且很难在工作状态下准确测试,缺少准确的参数,天线的设计难以达到最佳。

电子标签天线的设计还面临许多其他难题,如相应的小尺寸要求、低成本要求、所标识物体的形状及物理特性要求、电子标签到贴标签物体的距离要求、贴标签物体的介电常数要求、金属表面的反射要求、局部结构对辐射模式的影响要求等,这些都将影响电子标签天线的特性,都是电子标签设计面临的问题。

2) RFID 读写器天线的设计

对于近距离 RFID 系统(如 13.56MHz 小于 10cm 的识别系统),天线一般和读写器集成在一起;对于远距离 RFID 系统(如 UHF 频段大于 3m 的识别系统),天线和读写器常采取分离式结构,并通过阻抗匹配的同轴电缆将读写器和天线连接到一起。读写器由于结构、安装和使用环境等变化多样,并且读写器产品朝着小型化甚至超小型化发展,使得读写器天线的设计面临新的挑战。

读写器天线设计要求低剖面、小型化以及多频段覆盖。对于分离式读写器,还将涉及天线阵的设计问题,小型化带来的低效率、低增益问题等,这些目前是国内外共同关注的研究课题。目前已经开始研究读写器应用的智能波束扫描天线阵,读写器可以按照一定的处理顺序,通过智能天线使系统能够感知天线覆盖区域的电子标签,增大系统覆盖范围,使读写器能够判定目标的方位、速度和方向信息,具有空间感应能力。

3) RFID 天线的设计步骤

RFID 电子标签天线的性能,很大程度依赖于芯片的复数阻抗,复数阻抗是随频率变换的,因此天线尺寸和工作频率限制了最大可达到的增益和带宽,为获得最佳的标签性能,需要在设计时做折中,以满足设计要求。在天线的设计步骤中,电子标签的读取范围必须严密监控,在标签构成发生变更或不同材料不同频率的天线进行性能优化时,通常采用可调天线设计,以满足设计允许的偏差。

设计 RFID 天线时,首先选定应用的种类,确定电子标签天线的需求参数;然后根据电子标签天线的参数,确定天线采用的材料,并确定电子标签天线的结构和 ASIC 封装后的阻抗;最后采用优化的方式,使 ASIC 封装后的阻抗与天线匹配,综合仿真天线的其他参数,让天线满足技术指标,并用网络分析仪检测各项指标。RFID 电子标签天线的设计步骤如图 3-2 所示。

很多天线因为使用环境复杂,使得 RFID 天线的解析方法也很复杂,天线通常采用电磁模型和仿真工具来分析。天线典型的电磁模型分析方法为有限元法 FEM、矩量法 MOM 和时域有限差分法 FDTD 等。仿真工具对天线的设计非常重要,是一种快速有效的天线设计工具,目前在天线技术中使用越来越多。典型的天线设计方法,首先是将天线模型化,然后将模型仿真,在仿真中监测天线射程、天线增益和天线阻抗等,并采用优化的方法进一步调整设计,最后对天线加工并测量,直到满足要求。



图 3-2 RFID 电子标签天线的设计步骤

3.2 低频和高频 RFID 天线技术

在低频和高频频段,读写器与电子标签基本都采用线圈天线,线圈之间存在互感,使一个线圈的能量可以耦合到另一个线圈,因此读写器天线与电子标签天线之间采用电感耦合的方式工作。读写器天线与电子标签天线是近场耦合,电子标签处于读写器的近区,当超出上述范围时,近场耦合便失去作用,开始过渡到远距离的电磁场。当电子标签逐渐远离读写器,处于读写器的远区时,电磁场将摆脱天线,并作为电磁波进入空间。本节所讨论的低频和高频 RFID 天线,是基于近场耦合的概念进行设计。对低频和高频 RFID 天线的磁场、最佳尺寸的分析见 4.1.3 小节。

低频和高频 RFID 天线可以有不同的构成方式,并可采用不同的材料。图 3-3 所示为几种实际低频和高频 RFID 天线的图片,由这些图片可以看出各种 RFID 天线的结构,同时这些图片还给出了与天线相连的芯片。

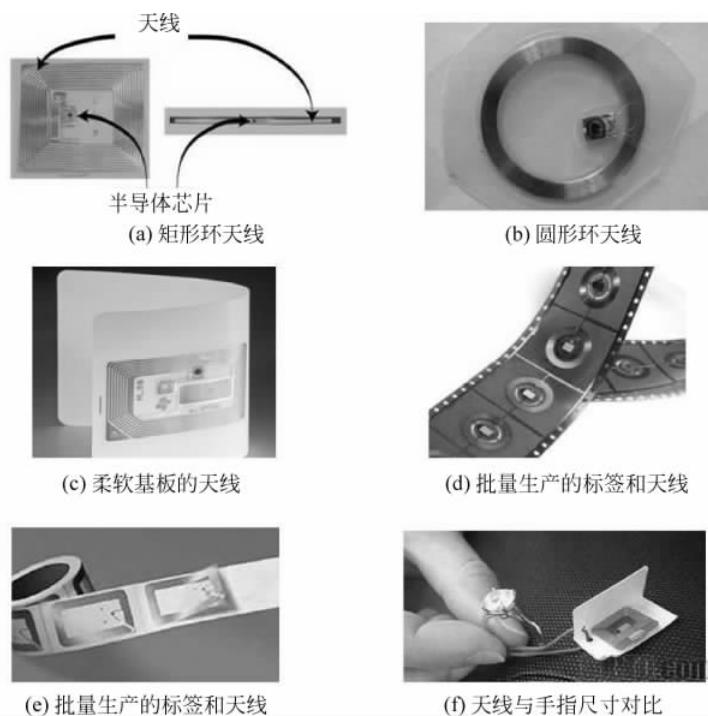


图 3-3 低频和高频 RFID 天线

由图 3-3 可以看出,低频和高频 RFID 天线有如下特点。

- (1) 天线都采用线圈的形式。
- (2) 线圈的形式多样,可以是圆形环,也可以是矩形环。
- (3) 天线的尺寸比芯片的尺寸大很多,电子标签的尺寸主要由天线决定。
- (4) 有些天线的基板是柔软的,适合粘贴在各种物体的表面。
- (5) 由天线和芯片构成的电子标签,可以比拇指还小。
- (6) 由天线和芯片构成的电子标签,可以在条带上批量生产。

3.3 微波 RFID 天线技术

微波 RFID 技术是目前 RFID 技术最为活跃和发展最为迅速的领域,微波 RFID 天线与低频、高频 RFID 天线相比有本质上的不同。微波 RFID 天线采用电磁辐射的方式工作,读写器天线与电子标签天线之间的距离较远,一般超过 1m,典型值为 1~10m;微波 RFID 的电子标签较小,使天线的小型化成为设计的重点;微波 RFID 天线形式多样,可以采用对称振子天线、微带天线、阵列天线和宽带天线等;微波 RFID 天线要求低造价,因此出现了许多天线制作的新技术。

3.3.1 微波 RFID 天线的结构和应用方式

微波 RFID 天线结构多样,是物联网天线的主要形式,可以应用在制造、物流、防伪和交通等多个领域,是现在 RFID 天线的主要形式。

1. 微波 RFID 天线的结构

图 3-4 给出了实际 RFID 微波天线的图片,由这些图片可以看出各种微波 RFID 天线的结构以及与天线相连的芯片。

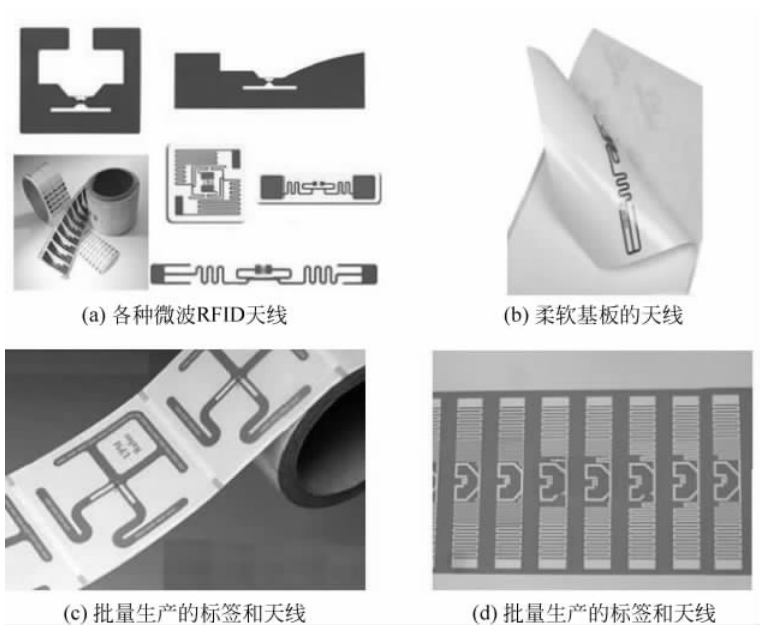


图 3-4 微波 RFID 天线

由图 3-4 可以看出,微波 RFID 天线有如下特点。

- (1) 微波 RFID 天线的结构多样。
- (2) 很多电子标签天线的基板是柔软的,适合粘贴在各种物体的表面。
- (3) 天线的尺寸比芯片的尺寸大很多,电子标签的尺寸主要由天线决定。
- (4) 由天线和芯片构成的电子标签,很多是在条带上批量生产。
- (5) 由天线和芯片构成的电子标签尺寸很小。
- (6) 有些天线提供可扩充装置,来提供短距离和长距离的 RFID 电子标签。

2. 微波 RFID 天线的应用方式

微波 RFID 天线的应用方式很多,下面以仓库流水线上纸箱跟踪为例,给出微波 RFID 天线在跟踪纸箱过程中的使用方法。

- (1) 纸箱放在流水线上,通过传动皮带送入仓库。
 - (2) 纸箱上贴有标签,标签有两种形式,一种是电子标签,另一种是条码标签。为防止电子标签损毁,纸箱上还贴有条码标签,以作备用。
 - (3) 在仓库门口,放置 3 个读写器天线,读写器天线用来识别纸箱上的电子标签,从而完成物品识别与跟踪的任务。
- 微波 RFID 天线在纸箱跟踪中的应用如图 3-5 所示。

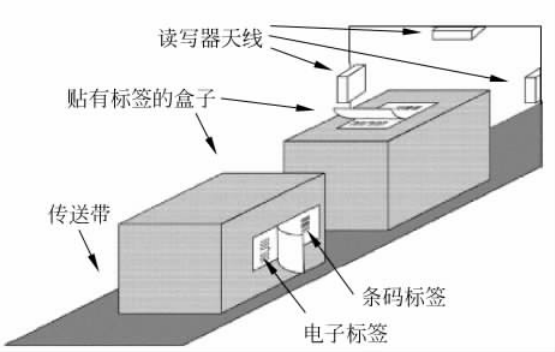


图 3-5 微波 RFID 天线在纸箱跟踪中的应用

3.3.2 微波 RFID 天线的设计

微波 RFID 天线的设计,需要考虑天线采用的材料、天线的尺寸、天线的的作用距离,并需要考考虑频带宽度、方向性和增益等电参数。微波 RFID 天线主要采用偶极子天线、微带天线、阵列天线和非频变天线等,下面对这些天线加以讨论。

1. 偶极子天线

偶极子天线即振子天线,是微波 RFID 常用的天线。为了缩短天线的尺寸,在微波 RFID 中偶极子天线常采用弯曲结构。弯曲偶极子天线纵向延伸方向至少折返一次,从而具有至少两个导体段,每个导体段分别具有一个延伸轴,这些导体段借助于一个连接段相互平行且有间隔地排列,并且第一导体段向空间延伸,折返的第二导体段与第一导体段垂直,第一和第二导体段扩展成一个导体平面。弯曲偶极子天线如图 3-6 所示。

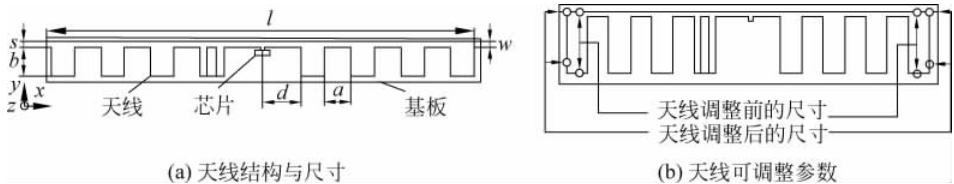


图 3-6 弯曲偶极子天线

因为尺寸和调谐的要求,偶极子天线采用弯曲结构是一个恰当的选择。弯曲允许天线紧凑,并提供了与弯曲轴垂直平面上的全向性能。为更好控制天线电阻,增加了一个同等宽

度的载荷棒作为弯曲轮廓；为供给芯片一个好的电容性阻抗,需进一步弯曲截面；弯曲轮廓的长度和载荷棒可以变更,以获得适宜的阻抗匹配。

弯曲天线有几个关键的参数,如载荷棒宽度、距离、间距、弯曲步幅宽度和弯曲步幅高度等。通过调整上述参数,可以改变天线的增益和阻抗,并改变电子标签的谐振、最高射程和带宽。图 3-7 给出了一种最高射程与频率的曲线关系。

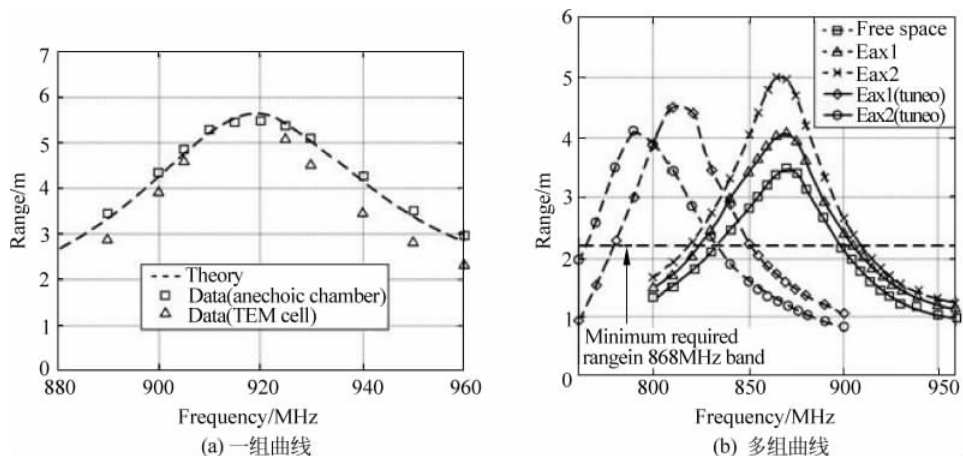


图 3-7 电子标签最高射程与频率的曲线关系

2. 微带天线

微波 RFID 常采用微带天线。微带天线是平面型天线,具有小型化、易集成、方向性好等优点,可以做成共形天线,易于形成圆极化,制作成本低,易于大量生产。

微带天线按结构特征分类,可分为微带贴片天线和微带缝隙天线两大类;微带天线按形状分类,可分为矩形、圆形和环形微带天线等;微带天线按工作原理分类,可分为谐振型(驻波型)和非谐振型(行波型)微带天线。下面将微带天线分为 3 种基本类型进行讨论,这 3 种类型分别是微带驻波贴片天线、微带行波贴片天线和微带缝隙天线。

(1) 微带驻波贴片天线。微带贴片天线是由介质基片、在基片一面上任意平面几何形状的导电贴片和基片另一面上的地板所构成。贴片形状可以是多种多样的,实际应用中由于某些特殊的性能要求和安装条件的限制,必须用到某种形状的微带贴片天线,为使微带天线适用于各种特殊用途,对各种几何形状的微带贴片天线进行分析就相当重要。各种微带贴片天线的贴片形状如图 3-8 所示。

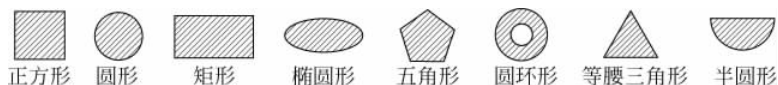


图 3-8 各种微带贴片天线的贴片形状

(2) 微带行波贴片天线。微带行波天线是由基片、在基片一面上的链形周期结构或普通的长 TEM 波传输线和基片另一面上的地板组成。TEM 波传输线的末端接匹配负载,当天线上维持行波时,可从天线结构设计上使主波束位于从边射到端射的任意方向。各种微

带行波天线的形状如图 3-9 所示。

(3) 微带缝隙天线。微带缝隙天线由微带馈线和开在地板上的缝隙组成,微带缝隙天线是把接地板刻出窗口即缝隙,而在介质基片的另一面印刷出微带线对缝隙馈电,缝隙可以是矩形、圆形或环形。各种微带缝隙天线的形状如图 3-10 所示。

(4) 微带天线的工作原理。微带天线进行工程设计时,对天线的性能参数(如方向图、方向性系数、效率、输入阻抗、极化和频带等)预先进行估算,将大大提高天线研制的质量和效率,降低研制的成本。这种理论工作的开展,带来了多种分析微带天线的方法,如传输线、腔模理论、格林函数法、积分方程法和矩量法等。用上述各种方法计算微带天线的方向图,其结果基本一致,特别是主波束。

大多数微带天线只在介质基片的一面上有辐射单元,因此可以用微带天线或同轴线馈电。因为天线输入阻抗不等于通常的 50Ω 传输线阻抗,所以需要匹配。矩形微带天线的馈电方式基本上分成侧馈和背馈两种,不论哪种馈电方式,其谐振输入电阻 R_{in} 很大,为使 R_{in} 与 50Ω 馈电系统相匹配,阻抗变换器是不可少的。为实现匹配,必须知道输入阻抗的大小,匹配可由适当选择馈电的位置实现,但是馈电的位置也影响辐射特性。

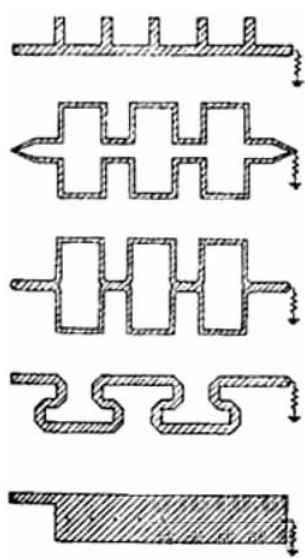


图 3-9 各种微带行波天线的形状

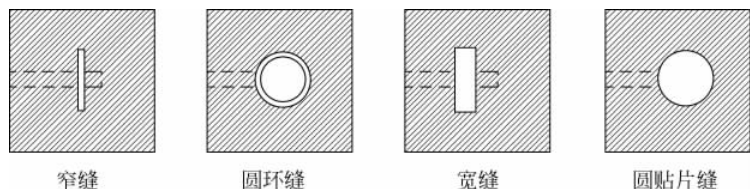


图 3-10 各种微带缝隙天线的形状

很多微带天线接近开路状态,因此限制了天线的阻抗频带。为了使频带加宽,可增加基片的厚度或减小基片的 ϵ_r 值。

微带阵列天线的方向函数由两个因子组成,一个为基本元天线的方向函数,另一个就是长度为 L 的等幅同相连续阵的阵因子。如果改变介质板的厚度、介电常数和微带贴片的宽度等,就从根本上改变了微带传输线上的波形。从对方向图影响的角度来看,赤道面上方向图影响不大,但在子午面上方向图影响明显,前倾的半圆形方向图可能会变成横 8 字形方向图。

3. 阵列天线

阵列天线是一类由不少于两个天线单元规则或随机排列,并通过适当激励获得预定辐射特性的天线。就发射天线来说,简单的辐射源(如点源、对称振子源)是常见的,阵列天线是将它们按照直线或者更复杂的形式,排成某种阵列样子,构成阵列形式的辐射源,并通过

调整阵列天线馈电电流、间距、电长度等不同参数获取最好的辐射方向性。

目前,随着通信技术的迅速发展,以及对天线诸多研究方向的提出,都促使了新型天线的诞生,其中就包括智能天线。智能天线技术利用各个用户间信号空间特征差异,通过阵列天线技术在同一信道上接收和发射多个用户信号而不发生相互干扰,使无线电频谱的利用和信号的传输更为有效。

自适应阵列天线是智能天线的主要类型,可以实现全向天线,完成用户信号的接收和发送。自适应阵列天线采用数字信号处理技术识别用户信号到达的方向,并在该方向形成天线主波束。自适应天线阵是一个由天线阵和实时自适应信号接收处理器组成的一个闭环反馈控制系统,用反馈控制方法自动调准天线阵的方向图,在干扰方向形成零陷,将干扰信号抵消,而且可以使有用信号得到加强,从而达到抗干扰的目的。

(1) 微带阵列天线。微带阵列天线一般应用在几百兆赫兹到几十吉赫兹的频率范围,适合 RFID 系统使用。微带阵列天线的优点是馈电网络可以与辐射元一起制作,并且可以将发送和接收电路集成在一起,是使用较为广泛的阵列天线。

图 3-11 给出了一种八元微带阵列天线,这个微带阵列天线与物体的外立面共形,每个阵元为矩形,采用微带线将阵元连接起来,并用同轴线当作馈线,同时给出了阵元的结构、阵元的连接方法、匹配的方法、馈电点的选取和馈线的形式等。

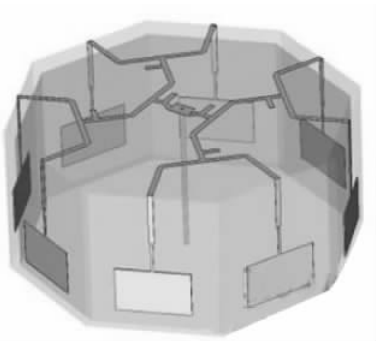
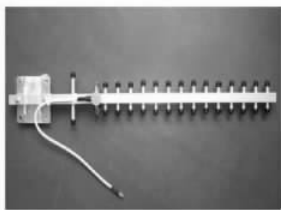


图 3-11 八元微带阵列天线

(2) 八木天线。八木天线是一种寄生天线阵,只有一个阵元是直接馈电的,其他阵元都是非直接激励,是采用近场耦合从有源阵元获得激励。八木天线有很好的方向性,较偶极子天线有较高的增益,实现了阵列天线提高增益的目的。八木天线如图 3-12 所示。



(a) 16元八木天线



(b) 5元八木天线

图 3-12 八木天线

① 八木天线的方向性。八木天线比有源振子稍长一点的称为反射器,它在有源振子的一侧,起着削弱从这个方向传来的电波或从本天线发射去的电波的作用;比有源振子略短的称为引向器,它位于有源振子的另一侧,能增强从这一侧方向传来的或从这个方向发射出去的电波。引向器可以有多个,每根长度都要与其相邻的、并靠近有源振子的那根相同或略短一点。引向器数量越多,方向越尖锐,增益越高,但实际上超过四五个引向器之后,这种增加就不太明显了,而体积大、自重增加、对材料强度要求提高、成本加入等问题却逐渐突出。

② 八木天线的“大梁”。八木天线每个引向器和反射器都是用一根金属棒做成的,所有振子都是按一定的间距平行固定在一根“大梁”上,大梁也是用金属材料做成的。振子中点不需要与大梁绝缘,振子的中点正好位于电压的零点,零点接地没有问题。它还有一个好处,在空间感应到的静电正好可以通过这个中间接触点,将天线金属立杆导通到建筑物的避雷地网中。

③ 八木天线的有源振子。八木天线的有源振子是一个关键的单元,有源振子有两种常见的形态,一种是直振子;另一种是折合振子。直振子是二分之一波长偶极振子,折合振子是直振子的变形。有源振子与馈线相接的地方必须与主梁保持良好的绝缘,而折合振子中点仍可以与大梁相通。

④ 八木天线的输入阻抗。二分之一波长折合振子的输入阻抗,比二分之一波长偶极天线的输入阻抗高 4 倍。当加了引向器和反射器后,输入阻抗的关系就变得复杂起来了。总体来说,八木天线的输入阻抗比仅有基本振子的输入阻抗要低很多,而且八木天线各单元间距越大则阻抗越高,反之则阻抗变低,同时天线的效率也降低。

⑤ 八木天线的阻抗匹配。八木天线需要与馈线达到阻抗匹配,于是就有了各种各样的匹配方法。一种匹配方法是在馈电处并接一段 U 形导体,它起着一个电感器的作用,和天线本身的电容形成并联谐振,从而提高了天线阻抗。还有一种简单的匹配方法,是把靠近天线馈电处的馈线绕成一个约六七圈的线圈挂在那里,这与 U 形导体匹配的原理类似。

⑥ 八木天线的平衡输出。八木天线是平衡输出,它的两个馈电点对“地”呈现相同的特性。通常的收发机天线端口却是不平衡的,这将破坏天线原有的方向特性,而且在馈线上也会产生不必要的发射。一副好的八木天线,应该有“平衡—不平衡”转换。

⑦ 八木天线振子的直径。八木天线振子的直径对天线性能有影响。直径影响振子的长度,直径大则长度应略短。直径影响带宽,直径大,天线 Q 值低些,工作频率带宽就大一些。

⑧ 八木天线的架设。架设八木天线时,要注意振子是与大地平行还是垂直,并注意收信、发信双方保持姿态一致,以确保收发双方保持相同的极化方式。振子以大地为参考面,振子水平时,发射电波的电场与大地平行,称为水平极化波;振子与地垂直时,发射的电波与大地垂直,是垂直极化波。

4. 非频变天线

一般来说,若天线的相对带宽达到百分之几十,这类天线称为宽频带天线;若天线的频带宽度能够达到 10:1,则称为非频变天线。非频变天线能在一个很宽的频率范围内,保持天线的阻抗特性和方向特性基本不变或稍有变化。

现在 RFID 使用的频率很多,这要求一台读写器可以接收不同频率电子标签的信号,因此读写器发展的一个趋势是可以在不同的频率使用,这使得非频变天线成为 RFID 的一个关键技术。

非频变天线有多种形式,主要包括平面等角螺旋天线、圆锥等角螺旋天线和对数周期天线等。下面对上述非频变天线进行介绍。

(1) 平面等角螺旋天线。平面等角螺旋天线是一种角度天线,有两条臂,每条臂都有两条边缘线,每条边缘线均为等角螺旋线。平面等角螺旋天线如图 3-13 所示。

平面等角螺旋天线的螺旋线符合如下极坐标方程

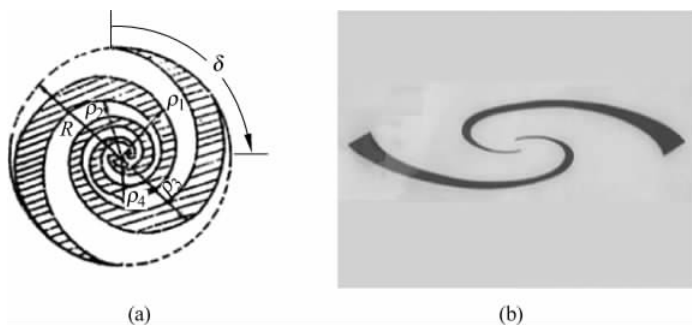


图 3-13 平面等角螺旋天线

$$\rho = \rho_0 e^{a\phi}$$

在图 3-13 中,两个臂四条边缘有相同的 a , 由于平面等角螺旋天线的边缘臂仅由角度决定, 因此平面等角螺旋天线满足非频变天线对形状的要求。

平面等角螺旋天线的两个臂可以看成是一对变形的传输线, 臂上电流沿传输线边传输, 边辐射, 边衰减, 臂上每一小段都是辐射元, 总的辐射场就是辐射元的叠加。实验表明, 臂上电流在流过约一个波长后, 就迅速衰减到 20dB 以下, 终端效应很弱, 存在截断点效应, 超过截断点的螺旋线对天线辐射影响不大。

平面等角螺旋天线的最大辐射方向与天线平面垂直波, 其方向图近似为正弦函数, 半功率瓣宽度为 90° , 极化方式接近于圆极化。

(2) 圆锥等角螺旋天线。平面等角螺旋天线的辐射是双方向的, 为了得到单方向辐射, 可以做成圆锥等角螺旋天线。图 3-14 和图 3-15 给出了两种实际的圆锥等角螺旋天线。

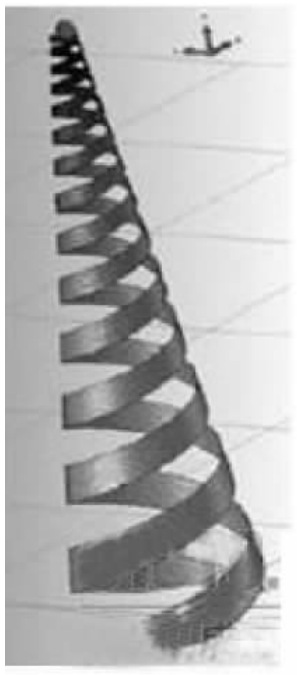


图 3-14 内部空心的圆锥等角螺旋天线



图 3-15 有基层的圆锥等角螺旋天线

(3) 对数周期天线。对数周期天线是非频变天线的另一种形式,基于以下的概念:当某一天线按某一比例因子 τ 变换后,若依然等于它原来的结构,则天线的性能在频率为 f 和频率为 τf 时保持相同。对数周期天线常采用振子结构,其结构简单,在短波、超短波和微波波段都得到了广泛应用。对数周期天线如图 3-16 所示。

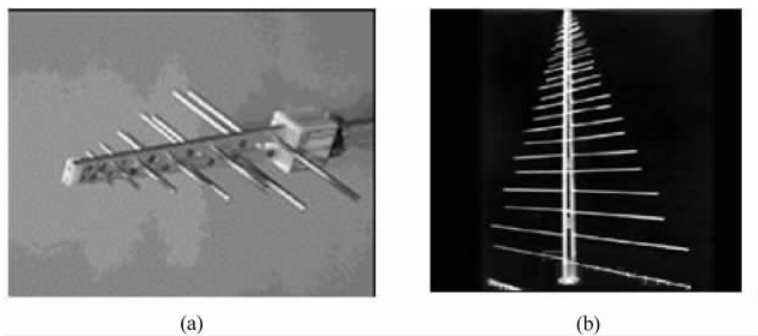


图 3-16 对数周期天线

对数周期天线的馈电点选择在最短振子处,天线的最大辐射方向由最长振子端指向最短振子端,极化方式为线性化,方向性系数主要为 5~8dB。

对数周期天线有时需要极化,两副对数周期天线可以构成圆极化,这需要将这两副天线振子相对垂直放置。圆极化对数天线如图 3-17 所示。

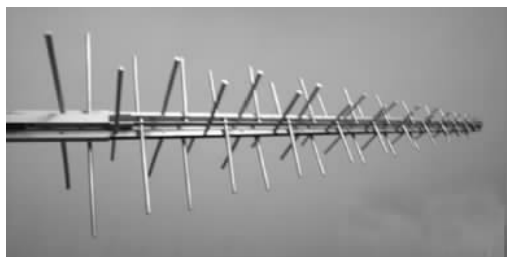


图 3-17 圆极化对数周期天线

3.4 RFID 天线的制作工艺

为适应世界范围电子标签的快速应用和发展,RFID 天线采用了多种制作工艺。这些工艺既有传统的制作方法,也有近年来发展起来的新技术。RFID 标签天线应该具有低成本、高效率 and 低污染的特性,并应考虑各种工艺对参数的影响,通过导电材料选取、网版选用和基材选择等,结合实际工艺方法和工艺实验,制作出天线实物。

RFID 天线制作工艺主要有线圈绕制法、蚀刻法和印刷法。低频 RFID 电子标签天线基本是采用绕线方式制作而成的;高频 RFID 电子标签天线利用以上 3 种方式均可实现,但以蚀刻天线为主,其材料一般为铝或铜;UHF RFID 电子标签天线则以印刷天线为主。各种标签天线制作工艺都有优缺点,下面将对各种工艺加以介绍。

3.4.1 线圈绕制法

利用线圈绕制法制作 RFID 天线时,要在一个绕制工具上绕制标签线圈,并使用烤漆对其进行固定,此时天线线圈的匝数一般较多。将芯片焊接到天线上之后,需要对天线和芯片进行黏合,并加以固定。线圈绕制法制作的 RFID 天线如图 3-18 所示。

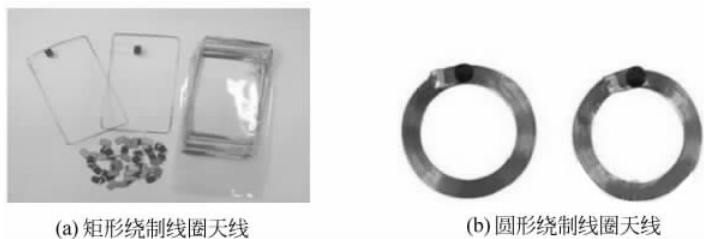


图 3-18 线圈绕制法制作的 RFID 天线

线圈绕制法的特点如下。

- (1) 频率范围为 125~134kHz 的 RFID 电子标签,只能采用这种工艺,线圈的圈数一般为几百到上千圈。
- (2) 这种方法的缺点是成本高、生产速度慢。
- (3) 高频 RFID 天线也可以采用这种工艺,线圈的圈数一般在 100 圈以内。
- (4) UHF 天线很少采用这种工艺。
- (5) 这种方法制作的天线通常采用焊接的方式与芯片连接,这种技术只有在确保焊接牢靠、天线硬实、模块位置十分准确及焊接电流控制较好的情况下,才能确保较好的连接。由于受控的因素较多,这种方法容易出现虚焊、假焊和偏焊等缺陷。

3.4.2 蚀刻法

蚀刻法是在一个塑料薄膜上层压一个平面铜箔片,再在铜箔片上涂覆光敏胶,干燥后通过一个正片(具有所需形状的图案)对其进行光照,然后放入化学显影液中,此时感光胶的光照部分被洗掉,露出铜,最后放入蚀刻池,所有未被感光胶覆盖部分的铜被蚀刻掉,从而得到所需形状的天线。蚀刻法制作的 RFID 天线如图 3-19 所示。

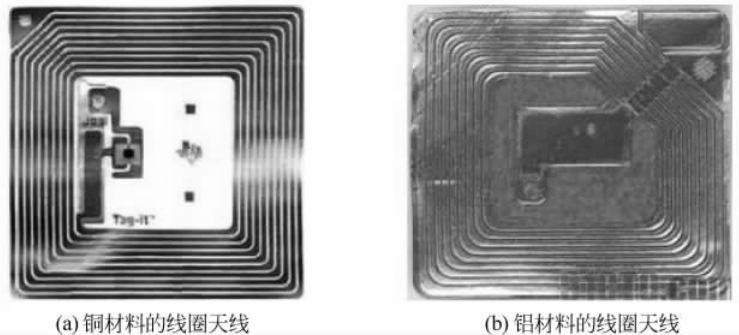


图 3-19 蚀刻法制作的 RFID 天线

蚀刻法的特点如下。

(1) 蚀刻天线精度高,能够和读写器的询问信号相匹配,天线的阻抗、方向性等性能都很好,天线性能优异稳定。

(2) 这种方法的缺点就是成本太高、制作程序烦琐,产能低下。

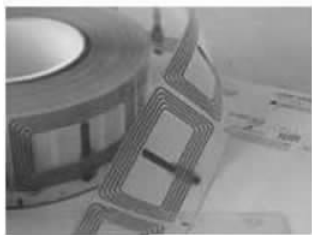
(3) 高频 RFID 标签常采用这种工艺。

(4) 蚀刻的 RFID 标签耐用年限为 10 年以上。

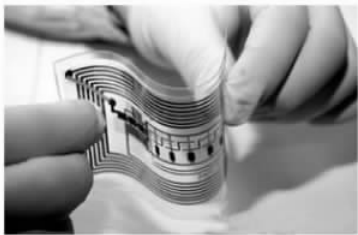
3.4.3 印刷法

印刷天线是直接用电导油墨在绝缘基板(薄膜)上印刷导电路径,形成天线和电路。目前印刷天线的主要印刷方法已从只用丝网印刷,扩展到胶印印刷、柔性版印刷和凹印印刷等,较为成熟的制作工艺为网印技术与凹印技术。印刷天线技术的进步,使 RFID 标签的生产成本降低,从而促进了 RFID 电子标签的应用。

印刷天线技术可以用于大量制造 13.56MHz 和 UHF 频段的 RFID 电子标签。该工艺的优点是产出最大、成本最低;但是这种方法的缺点是电阻大、附着力低、耐用年限较短。印刷法制作的 RFID 天线如图 3-20 所示。



(a) 印刷法制作的天线可批量生产



(b) 印刷法制作的天线有柔性

图 3-20 印刷法制作的 RFID 天线

1. 印刷天线的特点

印刷天线与蚀刻天线、线圈绕制天线相比,具有以下独特之处。

(1) 可更加精确地调整电性能参数。

RFID 标签的主要技术参数有谐振频率、Q 值、阻抗等。为了达到天线的最优性能,印刷 RFID 标签可以采用改变天线匝数、改变天线尺寸和改变线径粗细的方法,将电性能参数精确调整到所需的目标值。

(2) 可满足各种个性化要求。

印刷天线技术可以通过局部改变线的宽度、改变晶片层的厚度、改变物体表面的曲率和角度等,来完成 RFID 多种使用用途,以满足客户各种个性化的要求,而不降低任何使用性能。

(3) 可使用各种不同基体材料。

印刷天线可按用户要求使用不同基体材料,除可以使用聚氯乙烯(PVC)外,还可使用共聚酯(PET-G)、聚酯(PET)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)、聚碳酸酯(PC)和纸基

材料等。如果采用线圈绕线技术或蚀刻技术,就很难用 PC 等材料生产出适应恶劣环境条件的 RFID 标签。

(4) 可使用各种不同厂家提供的晶片模块。

随着 RFID 标签的广泛使用,越来越多的 IC 晶片厂家加入 RFID 晶片模块生产的队伍。由于缺乏统一标准,IC 晶片电性能参数也都不同,而印刷天线的灵活结构,可分别与各种不同晶片以及采用不同封装形式的模块相匹配,能达到最佳使用性能。

2. 导电油墨与 RFID 印刷天线技术

导电油墨是一种特殊油墨,可在 UV 油墨、水性油墨或特殊胶印油墨中加入可导电的载体,使油墨具有导电性。导电油墨主要由导电填料(包括金属粉末、金属氧化物、非金属和其他复合粉末)、连接剂(主要有合成树脂、光敏树脂、低熔点有机玻璃等)、添加剂(主要有分散剂、调节剂、增稠剂、增塑剂、润滑剂、抑制剂等)、溶剂(主要有芳烃、醇、酮、酯、醇醚等)等组成,可以制成碳浆油墨和银浆油墨等导电油墨。碳浆油墨成膜固化后具有保护铜箔和传导电流的作用,具有良好的导电性,同时不易氧化,性能稳定,耐酸、碱和化学溶剂的侵蚀,具有耐磨性强、抗磨损、抗热冲击性好等特点。银浆油墨有极强的附着力和遮盖力,可低温固化,具有可控导电性和很低的电阻值,这种导电油墨不仅印刷的膜层薄、均匀光滑、性能优良,而且还可大量节省材料。

在电子标签的制印中,导电油墨主要用于印制天线,替代传统的金属天线。传统的金属天线工艺复杂,成品制作时间长,消耗金属材料,成本较高。用导电油墨印制的天线,是利用高速的印刷方法制成,高效快速,导电油墨原材料成本要低于传统的金属天线,是印刷天线中首选的既快又便宜的方法。如今,导电油墨已开始取代有些频率段的蚀刻天线,如在微波频段(860~950MHz 和 2450MHz),用导电油墨印刷的天线可以与传统蚀刻的铜天线相比拟,这对于降低电子标签的制作成本有很大的意义。

RFID 印刷天线之所以具有强于传统天线的特点,主要取决于导电油墨的特性及其与印刷技术的完美结合。导电油墨由细微导电粒子或其他特殊材料(如导电的聚合物等)组成,印刷在柔性或硬质承印物上,可制成印刷电路,起到导线、天线和电阻的作用。

导电油墨印刷天线技术的特点如下。

(1) 成本低。成本低主要取决于导电油墨材料和网印工序这两个方面的原因。

从材料本身的成本来讲,油墨要比冲压或蚀刻金属线圈的价格低,特别是在铜、银的价格上涨的情况下,采用导电油墨印刷法制作 RFID 天线不失为一种理想的替代方法。

网印工序之所以能降低成本,原因之一是引进印刷设备的投资比引进铜蚀刻设备要便宜得多。此外,由于印刷过程中无须因环保要求而追加额外的投资,故生产及设备的维护成本比铜蚀刻方法要低,从而降低了标签的单件成本。

(2) 导电性好。导电油墨干燥后,由于导电粒子间的距离变小,自由电子沿外加电场方向移动形成电流,因此 RFID 印刷天线具有良好的导电性能。

(3) 操作容易。印刷技术作为一种添加法制作技术,较之减法制作技术(如蚀刻)而言,是一种容易控制、一步到位的工艺过程。

(4) 无污染。铜蚀刻过程必须采用的光敏胶和其他化学试剂都具有较强的侵蚀性,所产生的废料及排出物对环境造成较大的污染。而采用导电油墨直接在基材上进行印刷,无须使用化学试剂,因而具有无污染的优点。

(5) 使用时间短。印刷技术较蚀刻的差别是耐用年限较短,一般印刷的 RFID 标签耐用年限为 2~3 年,而蚀刻的 RFID 标签耐用年限为 10 年以上。

3. RFID 印刷天线的应用价值

(1) 促进各行业 RFID 应用。对于一般商品,RFID 标签的使用会导致产品成本的提高,从而阻碍了 RFID 技术的进一步应用。但导电油墨技术可使 RFID 应用走出成本瓶颈,利用导电油墨进行 RFID 标签天线的印刷,可大大降低 HF 及 UHF 天线的制作成本,从而降低 RFID 标签的总体成本。

(2) 促进印刷产业的发展。RFID 天线的制作需要借助于先进的印刷技术,这无疑为印刷行业拓宽了发展的方向,使印刷行业不再仅仅局限于传统的纸面印刷,而是与自动识别行业、半导体行业等有了交叉点,这可以促进各个行业的共同进步。

习题 3

3-1 填空题

(1) 电感耦合式系统的工作模型类似于变压器模型,其中变压器的初级和次级线圈分别是_____和_____。

(2) 在低频和高频频段,读写器与电子标签基本都采用_____天线。读写器天线与电子标签天线工作在_____区。

(3) 微波 RFID 天线形式多样,可以采用_____天线、_____天线、_____天线、_____天线等。

(4) RFID 天线制作工艺主要有_____法、_____法和_____法。

(5) 按天线的结构来分类,天线可以分为_____天线、_____天线、_____天线、_____天线等。

(6) 研究天线辐射的常用 3 种方法是:_____、_____和_____。

(7) 为了以最大功率传输,芯片的输入阻抗必须和天线的输出阻抗匹配,天线设计多采用_____Ω 或_____Ω 的阻抗匹配。

(8) 微波 RFID 天线采用电磁辐射的方式工作,读写器天线与电子标签天线之间的距离较远,一般超过 1m,典型值为____~____m。

(9) 微波 RFID 天线主要采用_____天线、_____天线、_____天线、_____天线等。

3-2 天线的定义是什么?

3-3 简述天线的分类方法。

3-4 电子标签天线和读写器天线分别应满足哪些要求?

3-5 简述电子标签天线的设计步骤。

- 3-6 简述低频和高频 RFID 天线的特点。
- 3-7 微波 RFID 天线有哪些特点？
- 3-8 微波 RFID 天线主要有哪些种类？
- 3-9 RFID 天线主要有哪些制造工艺？它们分别适用于哪个频段？
- 3-10 什么是导电油墨？导电油墨印刷天线技术有哪些特点？