

射频电子标签天线设计及印刷工艺分析*

黄辉明,徐 磊,孙道恒

(厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要:阐述了基于 13.56 MHz 射频印刷标签天线具体的设计方法和制造工艺。以 CODE 芯片为例,描述了整个标签天线结构设计方法,设计并印刷出天线。通过对印刷天线的分析,进而得出印刷天线电感及电容的获得主要取决于设计结构的结论,而对印刷工艺而言,印刷工艺的优化目标之一则是获得较低的天线阻值,从而得到较高的天线品质因子 Q ,获得理想的天线综合性能,满足感应距离的需要。

关键词: 13.56 MHz; 印刷天线; 电子标签; 品质因子 Q

中图分类号: TN82; TN305 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008 - 5300(2009)02 - 0056 - 03

Design of 13.56 MHz RFD Tag Antenna and Analysis of Fabrication by Screen Printing

HUANG Huiming, XU Lei, SUN Dao-heng

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: A design method and manufacturing process of 13.56 MHz RFD tag antenna by screen printing is described. A test structure is designed and screen printed taking the CODE chip as example. The conclusion is that the inductance and capacitance of a printed tag antenna are dependent mainly on the structure of design. For the printing process, one of the optimization objectives is to acquire a lower antenna resistance, a higher quality factor Q and desired properties to meet the needs of remote sensors.

Key words: 13.56 MHz; printed antenna; RFD tag; quality factor Q

0 引言

2007年全球 RFD 市场增长势头强劲,市场增长主力是处于高峰期的中国二代证、图书标签、RFD 旅游卡等,卡片和基础设备总值达 20 亿美元,使中国成为最大的 RFD 市场。这些项目的射频工作频率仍是最常用的高频(13.56 MHz),该频段的市场前景十分可观^[1]。

目前,有四种天线制造技术:蚀刻天线、绕线式天线、印刷天线及印刷与电镀混合制作天线,各类工艺比较见表 1。

表 1 各类天线制作工艺比较

天线类型	设备投入	生产效率	制造成本	天线性能	结构灵活	应用局限	环保问题
印刷天线	低	高	低	良好	大	较小	较小
蚀刻天线	高	高	高	优良	一般	有	有
绕制天线	低	低	低	优良	小	较小	无
直写加电镀	低	较高	低	良好	大	有	有

可以看到采用印刷方式制作天线,具有设备投入少、生产效率高、制造成本低、天线结构应用灵活及环保问题较少等特点。

1 天线设计

对基于 13.56 MHz 工作的射频天线,其基本原理是电感耦合的变压器模型,通过空间高频交变磁场实现耦合,依据的是电磁感应定律,如图 1 所示。

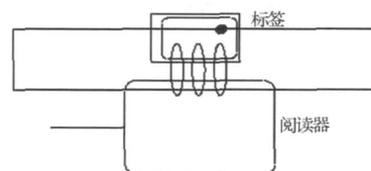


图 1 13.56 MHz 工作的标签变压器模型图

天线设计的基本原则是:设计一电感线圈,使其在 13.56 MHz 时与所选择的芯片电容发生并联谐振,线圈能保证提供给芯片足够的能量,并考虑一定的选频

* 收稿日期: 2008 - 09 - 26

特性 (品质因子 Q 值范围)。对绕线和蚀刻天线而言,因其电阻很小 ($0.5 \sim 2 \Omega$),品质因子过高,一方面能量损耗低,能保证有足够的能量供应给芯片,但另一方面,选频性能太好,感应频率稍有误差,标签即无法发生谐振,通常绕线及蚀刻天线的品质因子约为 $70 \sim 100$ 。对印刷天线而言,因其电阻通常较大,有几十个欧姆,品质因子过低,电路功率损耗过大,会导致标签芯片起动电压不足。一般 $30 < Q < 60$ 为宜^[2]。

标签天线及芯片等效电路图如图 2 所示,天线部分含天线线圈电感 L_{coil} 、线圈电阻 R_{coil} 、线圈寄生电容 C_{coil} 三个主要电参数。虚线框的芯片部分含芯片电容 C_{ic} 和芯片电阻 R_{ic} 两个主要电参数。天线线圈 L_{coil} 上并联电容以构成并联振荡电路。天线感应的电压用于给无源的标签芯片供电。并联振荡回路的谐振频率可由汤姆逊公式得出:

$$f_{res} = \frac{1}{2 \sqrt{L_{coil} \cdot C}} \quad (1)$$

其中:等效电容 $C = C_{coil} + C_{pack} + C_{ic} + C_{mount}$, C_{pack} 为天线封装电容,约 5 pF ; C_{mount} 为芯片封装电容,约 2 pF ; 天线线圈电容 C_{coil} ,约 5 pF ,不同的印刷工艺及天线结构对其有略微影响。

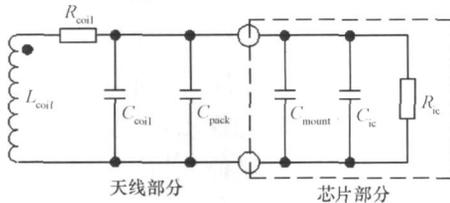


图 2 标签天线及芯片等效电路图

以 ICODE 芯片^[3]为例,设计一矩形天线如图 3 所示。

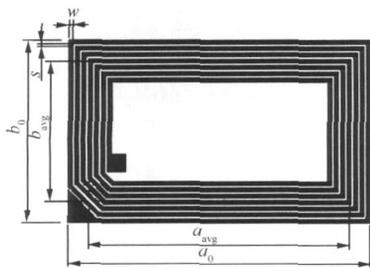


图 3 标签天线设计结构图

天线设计电感 L_{coil} 主要取决于结构,如式 (2)^[4]:

$$L_{coil} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot [x_1 + x_2 - x_3 + x_4] \cdot N^p \quad (2)$$

其中:

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{avg} \cdot \ln \left\{ \frac{2 \cdot a_{avg} \cdot b_{avg}}{d \cdot (a_{avg} + \sqrt{a_{avg}^2 + b_{avg}^2})} \right\} \\ x_2 &= b_{avg} \cdot \ln \left\{ \frac{2 \cdot a_{avg} \cdot b_{avg}}{d \cdot (b_{avg} + \sqrt{a_{avg}^2 + b_{avg}^2})} \right\} \\ x_3 &= 2 \cdot \left(a_{avg} + b_{avg} - \sqrt{a_{avg}^2 + b_{avg}^2} \right) \\ x_4 &= \frac{a_{avg} + b_{avg}}{4} \end{aligned}$$

式中: μ_0 为真空磁导率, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} \text{ H/m}$; a_{avg} 、 b_{avg} 为设计天线的平均长度及宽度; d 为等效直径,对矩形线圈而言如式 (3):

$$d = \frac{2 \cdot (t + w)}{N} \quad (3)$$

其中: t 为天线厚度; N 为设计天线的圈数; P 的取值见表 2。

表 2 各种天线制作工艺指数 P 取值

P 值	天线线圈结构
1.8 ~ 1.9	环绕线圈
1.75 ~ 1.85	Etched (蚀刻) 线圈
1.7 ~ 1.8	印刷线圈

在天线结构相同时,对不同的天线制造工艺,因指数 P 对电感的影响如图 4 所示,图 3 中天线结构数值取 $a_{avg} = 56 \text{ mm}$, $b_{avg} = 31 \text{ mm}$, $w = 0.8 \text{ mm}$, $t = 0.018 \text{ mm}$, $N = 7$ 。

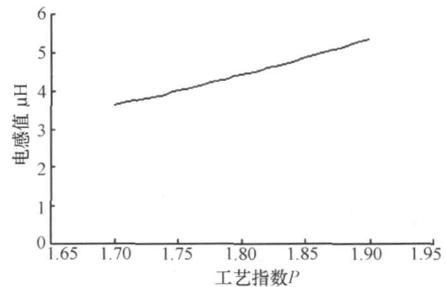


图 4 天线制造工艺指数 P 对设计电感值的影响

从图 5 中看出,不同的制造工艺对电感的影响较大。通过对指数 P 从印刷方式的最小取值 1.7 到绕线方式的最大取值 1.9 的过渡分析,工艺对天线电感的影响可能与两个因素有关,一是材质的致密度,另一个是横截面形状差异。因为印刷工艺原因,印刷天线横截面不如蚀刻天线及绕线天线的横截面规则,印刷线条的两侧会因银浆的渗流而变平,在有相同等效半径的情况下,印刷、蚀刻、绕线三种工艺天线的横截面积具有 $S_{印刷} < S_{蚀刻} < S_{绕线}$ 的关系,这两种因素都会造成 $R_{印刷} > R_{蚀刻} > R_{绕线}$,即印刷天线有着最高的能量损耗,电磁能量转化率低,相应的电感应能力因此下降。

通过以上的设计方法,设计后的天线经印刷获得成品后,需对其电感、电容及谐振频率进行测试,并校正设计前所估电容值,重新设计及测试天线,最终获得所需要的参数值。

2 天线印刷工艺分析

通过以上设计方案,设计图 3 天线结构,采用 Marabu MS-300 F 网印机,用 ED-7251 A 导电银浆和埃奇森 PF-050 银浆进行,网版选用 350 目直拉尼龙网版^[5],基材为 PET 片,固化采用温度可控加热炉,印刷天线实物如图 5 所示。

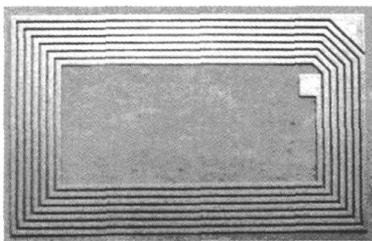


图 5 采用 Marabu MS-300 F 网印机印刷获得的天线实物图

实验结果通过阻抗分析仪 (Agilent 4294A) 进行分析,分析结果如图 6 所示。

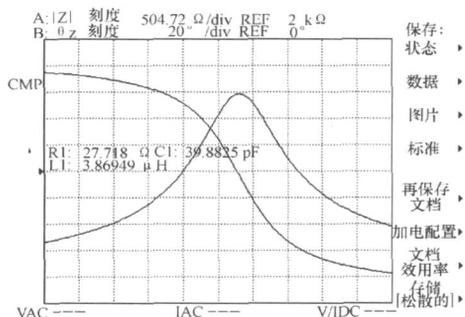


图 6 Agilent 4294A 阻抗分析仪分析 PF-050 银浆天线电参数

图 6 中显示的波峰为天线在并联一 23.5 PF 电容时的谐振频率,通过阻抗分析仪可以直接测出天线的电感、电容及电阻值,从而获得下面的分析。

分析显示:

a 使用印刷工艺,对同种银浆,如果具有同样设计结构而不论印刷工艺参数如何,印刷天线两个主要的电性能参数——电感值、电容值大体一致,见表 3。

b 不同的银浆、不同的印刷工艺,包括银浆的粘度、印刷基材、印刷速度、印刷压力、印刷刮板与承印物间的承印角、印刷过程网版与承印物间的承印距离、银浆的固化等工艺参数会对天线阻值起到较大的影响。如图 7 所示,增大固化温度对获得理想的天线阻值有明显的效果。因此优化的印刷工艺可以获得理想的较

低的天线阻值。

表 3 不同银浆不同工艺电参数统计平均值 (统计 40 片)

	ED-7251A 银浆	埃奇森 PF-050 银浆
电感 (μH)	3.93	3.87
均方差	0.009	0.008
电容 (pF)	11.3	12.9
均方差	0.052	0.075

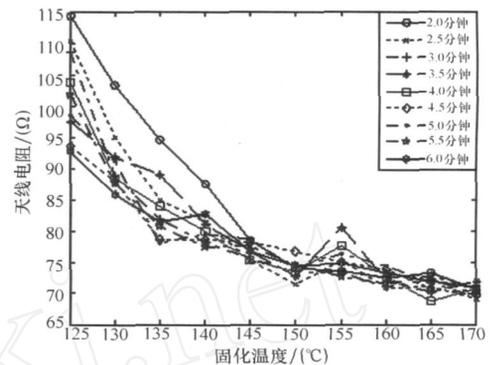


图 7 相同速度相同压力不同固化工艺下天线电阻值

c 印刷天线的结构一旦确定,其电性能通过品质因子的阻值,而最终取决于印刷工艺。品质因子 Q 如式 (4):

$$Q = \frac{2}{R} \quad (4)$$

品质因子增高可以增加天线的感应距离^[6]。对印刷天线而言,印刷电阻往往较大,通过最优的印刷工艺,可以获得较低的天线阻值,同时使选用电导率较低的银浆成为可能,从而可降低印刷成本,因此最优工艺的研究显得具有重要意义。

实验的最后,对印刷天线样品进行了实际芯片绑定测试,结果显示,在近距离 (<30cm) 的应用场合,阅读器可以提供给标签印刷天线足够的感应能量,其应用效果因不存在天线 Q 值过高选频性能太好的情况,所以印刷天线甚至优于绕线及蚀刻天线,取得了良好的感应。

3 结语

中国作为古代四大发明之一印刷术的缔造者,在印刷制造方面有着悠久的历史和丰富的经验,存在着众多的印刷企业,若能进行有效的射频天线设计及印刷工艺开发,朝着市场广袤的射频标签方向发展,结合一定的设备改造,一个传统的印刷企业很可能就转化为属于射频制造领域内关键一环的高科技企业,这里面的意义和其它一些实用的关键技术,值得进一步探讨和研究。

(下转第 61 页)

与点集 (X, Y, Z) 间距离便为拟合曲线与原始曲线间误差。

3) “逆向工程法”反射面构造步骤

用“逆向工程法”构造反射面基本流程如下:

1. 在 Scan-tools 环境中读入计算得出的反射面高密度点云数据 (PTS 格式);

2. 按规则通过点云样条拟合成扫描线,建立型值曲线;

3. 选择型值曲线构造型值曲面。

由于在本工程中所有的点都是计算得出,不同于激光扫描仪在样件表面测量出的数据点存在误差,因此不需要对点云模型进行预处理,具有数据处理上的优势。

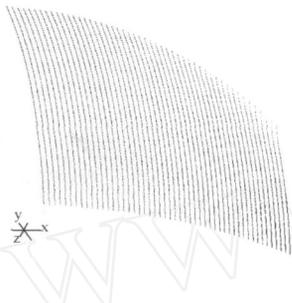


图 3 逆向工程法构造反射面的点云

获得反射面点云后,按照“逆向工程法”反射面构造步骤和曲面镜像以及用椭圆裁剪的方法,得到最终的天线反射面。所得反射面几何模型如图 4 所示。

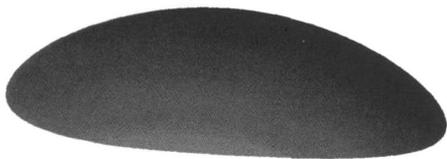


图 4 天线反射面几何模型

3 结 论

对比两种双弯曲反射面三维建模方法,可以得出以下结论:

用基准曲线构造曲面的方法可以获得和电讯设计同精度的反射面几何模型,但是输入 301 组条带曲线方程的过程比较费时费力,建模效率较低,电讯修改设计和调整参数后的曲面再重构不便;而使用“逆向工程法”法构建反射面,虽然牺牲了一些精度,但是相对与基准曲线构造法高效便捷,且只要在离散时取值合理,就有工程的实用意义。总而言之,笔者认为在工程中可以优先考虑采用“逆向工程”来构造复杂天线反射面,实现较高的建模工作效率和重构中修改的灵活性。

参考文献:

- [1] 胡明春,李建新. 赋形波束双弯曲反射面天线探讨 [J]. 现代雷达, 1996(5): 64 - 68
- [2] 查雪梅,刘胜青,罗 阳,钟 元. 逆向工程中基于 Pro/Scan-tools 的自由曲面重构 [J]. 四川大学学报 (工程科学版), 2003, 35(1): 89 - 92
- [3] 虞海峰,黄华樑,温 芳. 运用 Pro/E 的反求工程模型重构研究 [J]. 现代制造工程, 2005(12): 49 - 50
- [4] 詹友刚,洪 亮. Pro/ENGINEER 中文野火版 2.0 产品设计通用教程 [M]. 北京:清华大学出版社, 2005

作者简介:钱 庆 (1977 -),男,工程师,主要从事雷达结构信息化和数字化设计与仿真技术研究工作。

(上接第 58 页)

参考文献:

- [1] DTechEx 2007 全球 RFD 行业回顾. RFD 射频快报 [EB/OL]. RFD 世界网. <http://www.rfidworld.com.cn>
- [2] 尹 寒,陈 峰. 近耦合射频识别系统的工作原理及天线设计 [J]. 集成电路应用, 2002(12): 66 - 69
- [3] Philips Addendum. SL2 FCS20 I-CONNECT SLIFlip Chip Package Specification [M]. 2003
- [4] Philips ICODE Coil Design Guide Product Specification [S].

2002: 29 - 32

- [5] 郑德海等编著. 丝网印刷工艺 (第一版) [M]. 北京:印刷工业出版社, 2000
- [6] 吴晓峰,编译. 射频识别技术. (第 3 版) [M]. 北京:电子工业出版社, 2006

作者简介:黄辉明 (1973 -),男,工程师,主要从事机械电子产品研究及开发。