

小型蓝牙标签天线的仿真设计*

殷晓敏 顾宇 邵蔚

(南通大学电子信息学院 南通 226019)

摘要: 小型标签 RFID 芯片的工作频率为 13.56 MHz, 本文主要设计了小型蓝牙标签的天线, 该天线采用电感耦合的形式。用 ANSYS 公司的电磁仿真软件 HFSS 对小型标签天线的各种形状, 厚度, 层数, 圈数的场强进行仿真分析和比较, 做好线圈的电感匹配, 并查看天线的 S 参数使其频率在 13.56 MHz 时有较好的谐振, 设计出了满足在小型标签中尺寸小, 抗干扰性能强的天线, 使其在 13.56 MHz 时具有最好的传输性能。最后将天线安装在 RFID 芯片上后进行封装, 得到成本低, 实用性强, 应用广泛的小型标签。结果测得标签的最远读取距离为 35 cm。

关键词: 线圈天线; 射频识别; HFSS 仿真; 阻抗匹配; 电感耦合

中图分类号: TP319 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

Simulation and designing of miniaturized bluetooth tag antennas

Yin Xiaomin Gu Yu Shao Wei

(School of Electronic and Information, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: the frequency of RFID chip of miniaturized tag is 13.56MHz. In this paper, we designed a miniaturized bluetooth tag antenna, which in the form of inductive coupling. The electromagnetic simulation software HFSS of ANSYS was used to simulate and analyze the field strength of various shapes, thickness, number of layers and rings of the miniaturized tag antenna. We researched the inductance matching of coils. And checked the S parameters of the antenna to make the frequency of the 13.56 MHz have a fine resonance. We designed a miniaturized tag antenna that the size of it was small and the performance of anti-interference was strong. Which made it have the best transmission performance in 13.56 MHz. Finally, The module was packaged after the antenna installed on the RFID chip, which had a low cost, high practicability and wide application. The result of the most remote reading distance of the tag was 35 cm.

Keywords: coil antennas; RFID; HFSS simulation; impedance matching; inductive coupling

1 引言

随着电子设备的小型化、可穿戴化、RFID 标签轻薄化才能跟上时代的脚步。小型标签可以在狭窄的空间内使用, 例如 smartrac 公司研发的可以植入动物体内的玻璃标签^[1], 服务业中可以嵌入衣物的洗衣标签^[2], 在生产自动物流方面应用的智能轮胎^[3]等, 并且成本低、功耗低。在蓝牙耳机、NFC 技术^[4]、智能手表、门禁系统^[5], 甚至医用设备^[6-7]的一些细节方面都用到了射频识别技术。而作为这系统中不可缺少的部分, 天线的设计要求也越来越高。天线小型化减小了标签的体积, 使产品便于携带, 使用广泛。

本文设计的小型蓝牙标签天线系统为无源标签工作模式, 主要应用于体积较小的蓝牙耳机中。电感耦合天线就是线圈天线, 本设计中将某种特定宽度的导线按照一定的形状, 一定的间距绕合适的圈数, 再在导线的两端加上激励, 就能发射信号。天线的性能影响着 RFID 系统的性能, 而天线的结构直接影响了天线的性能。不同结构的线圈, 会有不同输入阻抗特性, 不同的方向性。

2 小型蓝牙标签天线工作原理

小型蓝牙标签的性能很大程度上取决于标签天线的性能, 而天线的结构决定了天线的性能参数, 而天线的性能参数包含辐射强度、增益和方向性、效率、输入阻抗等^[8]。

收稿日期: 2016-01

* 基金项目: 国家自然科学基金(61504071)、江苏省高校自然科学研究面上项目(14KJB510028)、南通市科技计划(BK2014061)、南通大学自然科学(13Z021, 13Z027, 13ZJ008)资助项目

2.1 天线输入阻抗

天线的输入阻抗^[9] Z_{in} 是天线输入端信号电压与信号电流的比值,它是 1 个复数,用 R_{in} 表示它电阻分量的实部,用 X_{in} 表示它电抗分量的虚部,其阻抗的公式为:

$$Z_{in} = R_{in} + j \cdot X_{in} \quad (1)$$

由于一般通信天线的特性阻抗都是表现为电阻特性,在设计中要尽可能减小其电抗,使其趋近于 0,即做好阻抗匹配,这样就能减小天线的能量损失,使天线的性能做到最佳,增加 RFID 系统的读取距离。

天线的输入阻抗取决于天线的结构,工作频率等因素,在极少数情况下可以用理论公式计算,一般在工程中采用的是实际测量或者是近似计算。在天线设计过程中我们可以通过 HFSS 软件查看天线的 Z 参数来反映天线的输入阻抗特性。

2.2 天线电感的计算

根据 LC 谐振频率计算公式:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (2)$$

式中: L 为电感, C 为电容, f 为频率。本设计中频率 f 为 13.56 MHz,RFID 标签芯片的电容为 50 pf,由公式计算得电感值约为 2.76 μ H。此电感值是在不考虑线圈天线的寄生电容的情况下得到的,所以在线圈天线设计完成后再做调整。

而根据线圈电感的近似计算公式^[10]:

$$L = 2 \times l_1 \times \left[\ln\left(\frac{l_1}{D_1}\right) - K \right] \times N^{1.8} \quad (3)$$

式中: L 为电感值,单位为 nH; l_1 为一线圈天线导线环的长度,单位为 cm; D_1 为 PCB 线圈导线的宽度; K 为一个常量,当线圈为环形时, $K = 1.07$,当线圈为矩形时, $K = 1.47$; N 为线圈的匝数。由于所设计的线圈天线尺寸是有限制的,首先按照最大尺寸估算,再根据 LC 谐振公式计算得到的近似感值,可以粗略估计所设计线圈的圈数。如需要精确的知道线圈电感的感值,则需要依靠仿真软件,如 HFSS、CST、ADS 等。

在 13.56 MHz 时通过仿真软件得到电感线圈的阻抗值 Z_{in} ,其电抗分量 X_{in} 的值

$$X_{in} = \omega L = 2\pi fL \quad (4)$$

式中: L 为电感的感值, f 即为 13.56 MHz 的频率值。由此可以利用仿真软件精确的计算出所设计天线的电感值大小。

3 天线的研究设计

3.1 矩形天线的研究

在小型标签中加入 RFID 标签,要求尺寸在 15 \times 15 mm 以内,在设计中只能通过改变线圈的匝数和导线的粗细来改变电感值。根据式(3)估计天线的圈数为 18 圈左右,由于面积限制,以及采用铝刻蚀薄膜工艺制作天线,受

导线的宽度以及导线之间的间隔大于等于 0.22 mm 的限制,本设计中天线采用双层结构。

在 HFSS 中,采用参数法建立线圈天线的模型如图 1 所示。

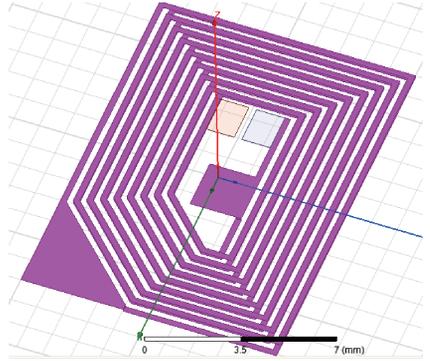


图 1 小型标签矩形天线模型

线圈天线模型的参数表示如表 1 所示。天线采用双层结构,通过打孔联通上下两层,模型中大三角与正方形部分为打过孔部分,过孔要求最小尺寸为 2 mm。两个矩形部分为芯片引脚的焊盘,间距为 0.3 mm。导线的材质为铝,其介电常数为 8.8。

表 1 天线模型参数

模型名称	参数	初始值	单位
薄膜厚度	H	0.1	mm
线圈最外圈 x 方向长度	L_x	14	mm
线圈最外圈 y 方向长度	L_y	10	mm
导线宽度	W	0.22	mm
导线间距	S	0.22	mm

在 HFSS 中仿真得到线圈天线的 Z 参数,根据式(4),在 output variables 中设定线圈天线的电感值 L 的计算公式为: $L = \text{im}(Z_t(T1, T1)) \cdot 10^{-6} / (2 \cdot \pi \cdot \text{Freq})$,单位为 μ H。查看电感值随频率变化关系如图 2 所示。由图知,在

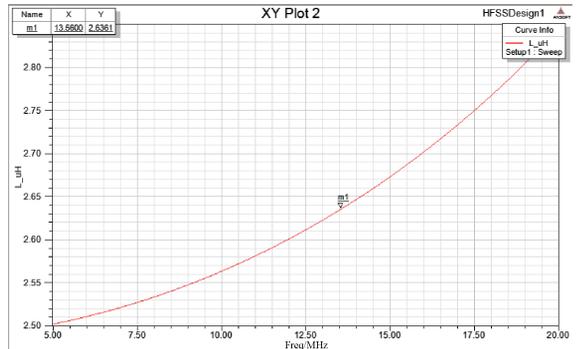


图 2 电感值随频率变化关系图

13.56 MHz 时天线电感为 $2.63 \mu\text{H}$ 。由计算可知线圈天线的寄生电容约为 10 pf ，考虑寄生电容的影响，本设计中电感值应做到 $2.3 \mu\text{H}$ ，所以将线圈的圈数减小为 15 圈，再对 y 方向的长度做一个扫描分析。将 L_y 的值从 $10 \sim 11 \text{ mm}$ 做扫描，步长为 0.05 mm ，其电感值随 L_y 值变化的结果如图 3 所示。从图中可以看出，在 $L_y=10.05 \text{ mm}$ 的时候其电感值最接近 $2.3 \mu\text{H}$ 。

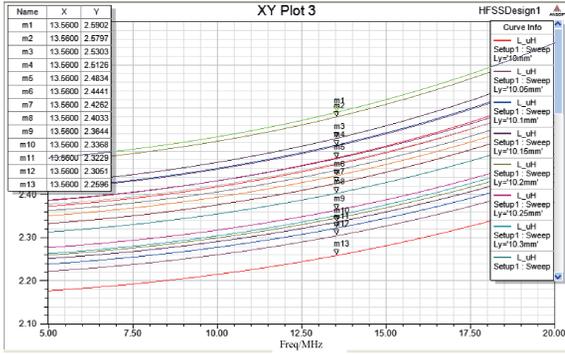


图 3 电感值随 L_y 值变化的关系

3.2 圆形天线的研究

导线材质的介电常数设置为 8.8，导线宽度为 0.22 mm ，导线间距为 0.22 mm ，双层圆形天线的半径的初始值为 7 mm ，线圈匝数为 20。其模型如图 4 所示。

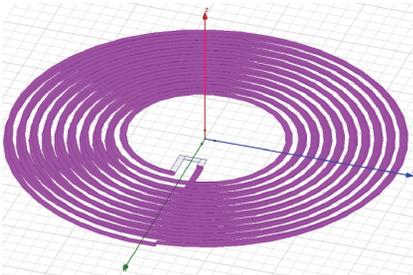


图 4 小型标签圆形天线模型

将线圈半径 R_a 从 $7 \sim 8 \text{ mm}$ 做扫描，步长为 0.05 mm 。电感值随半径变化结果如图 5 所示。从图中可以看出，当 $R_a=7.6 \text{ mm}$ 的时候其电感值最接近 $2.3 \mu\text{H}$ 。

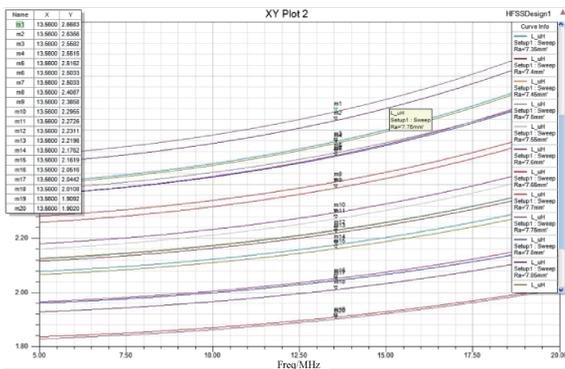


图 5 电感值随 R_a 值变化的关系

4 阻抗匹配的研究

一般通信天线的特性阻抗为电阻分量，没有虚部电抗分量。在设计过程中，追求的是最好没有反射波，因此必须尽可能的减少反射波，目的是提高输入阻抗和特性阻抗的匹配程度，最终使得天线的能量传输效率最好。能够达到这样的要求，所设计天线输入阻抗为纯电阻，也就是

$$Z_{in} = R_{in} \quad (5)$$

但实际设计天线时是不可能为纯电阻的，在这种条件下，并联一电容和天线组成 LC 谐振回路。最终通过软件设计出来的性能最佳的天线最直观的表现就是在工作频率 13.56 MHz 下的回波损耗 S_{11} 最小。

利用 HFSS 得到矩形线圈的 S 参数，其回波损耗随着频率的增大而减小，但是没有最低点。在 HFSS 中， C_1 与激励并联， C_2 与负载串联。电阻 R 与并联的 C 串联。电容的作用为调整输入阻抗，使得阻抗和芯片阻抗共轭匹配，电阻的作用为调整天线的 Q 值，满足天线的 Q 值或带宽。

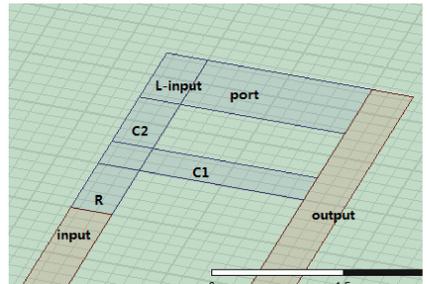


图 6 匹配后的天线激励源

匹配好后线圈天线的回波损耗图如图 7 所示，由图可以看出，当在 13.56 MHz 时天线的回波损耗最小。这就实现了阻抗匹配，使得天线在 13.56 MHz 工作频率下的效率最高。

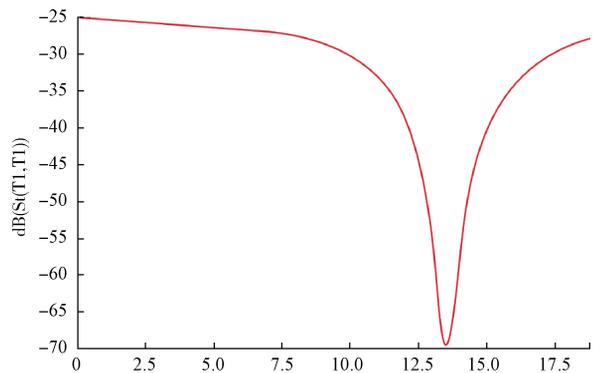


图 7 匹配后天线的 S 参数

5 测 试

天线绑定了基于 ISO 15693 标准的 RFID 芯片后的整

个模块如图 8 所示,线圈天线是由铝刻蚀在塑料薄膜上制作完成,其长度为 15 mm,宽度为 10 mm,呈正反面环绕而成,两个焊盘中间的小黑点为绑定的芯片。经测试,做成样品有 30 个,其中 28 个可以读取,其读取距离为 25~35 cm,谐振频率均在 13.4~13.7 MHz 之间;2 个不能读取,MP300 测试中不能读取谐振点。

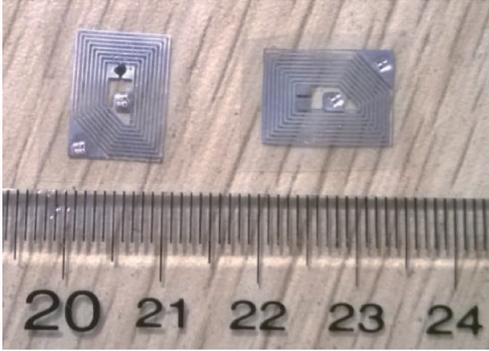


图 8 小型标签模块

测试结果分析,整体谐振在 13.56 MHz 左右,符合设计要求,有两个无法读取是由于手工打样的关系。

6 结 论

本文对于 13.56 MHz 小型蓝牙标签天线进行了研究,针对标签要求的尺寸小,功耗低,阅读距离大于 20 cm 的情况下,对比的矩形和环形天线的参数,综合考虑下使用矩形双面线圈天线作为 13.56 MHz 小型标签的天线。测试结果表明:13.56 MHz 矩形双面线圈天线的尺寸小、功耗低、成本低,其电感值为 $2.3 \mu\text{H}$,符合蓝牙天线设计要求。

参 考 文 献

- [1] 美国商业资讯. SMARTRAC 面向动物识别标签提供小型解决方案[J]. 物联网技术, 2014(1):15-15.
- [2] VAN N T, LEE S J, JUNG K K. An implementation of laundry management system based on RFID hanger and wireless sensor network [J]. 2012 Fourth International Conference on Ubiquitous and Future

Networks (ICUFN), 2012:490-493.

- [3] SHAO S, KIOURTI A, BURKHOLDER R, et al. Flexible and stretchable UHF RFID tag antennas for automotive tire sensing [J]. The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), 2014:2908-2910.
- [4] 李力. NFC 天线研究与设计[D]. 北京:北京邮电大学, 2012.
- [5] 张艳艳. 基于 RFID 技术的门禁系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(10):59-61.
- [6] PACHLER W, BÖSCH W, HOLWEG G, et al. A novel booster antenna design coupled to a one square millimeter coil-on-chip RFID tag enabling new medical applications[J]. Proceedings of the 43rd European Microwave Conference, IEEE Conference Publications. 2013:1003-1006.
- [7] 刘青,徐赞. 便携式远程心电分析监护仪的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(10):62-66.
- [8] 谢晶晶,赵东东. UHF Passive RFID 标签最大阅读距离的研究[J]. 电子测量技术, 2012, 35(3):45-49.
- [9] 解光军,顾云海,夏禹根,等. 用于 RFID 的自动天线调谐系统的设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(3):49-53.
- [10] 田锦,钱长云,孔路遥,等. 物联网感知线圈电感量设计与阻抗匹配[J]. 现代雷达, 2013, 35(5): 63-66.

作 者 简 介

殷晓敏, 1984 年出生,工学硕士,助理研究员,主要研究方向为通信与信息系统、数字电路系统等。

E-mail: xiaomin1226_2006@163.com

顾宇, 工学硕士,博士研究生在读,研究实习员,主要研究方向为数字集成系统,RFID 系统等。

E-mail: 414922470@qq.com

邵蔚, 工学硕士,博士研究生在读,实验师,主要研究方向为无线传感网络、光学涡旋通信等。

E-mail: ntsw@163.com