

# 面积限定下 13.56MHz RFID 天线的仿真和设计<sup>①</sup>

刘华锐<sup>1</sup>, 郑 华<sup>1,2,3,4</sup>, 廖晓东<sup>1,4</sup>, 陈桂慧<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(福建师范大学 光电与信息工程学院, 福州 350007)

<sup>2</sup>(福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

<sup>3</sup>(福建师范大学 福建省光子技术重点实验室, 福州 350007)

<sup>4</sup>(福建师范大学 智能光电系统工程研究中心, 福州 350007)

**摘要:** 由于在实际环境下, 产品对天线的尺寸有着一定的限制, 所以对面积限定下天线磁场强度的研究具有一定的价值. 简要介绍了 RFID 系统的基本工作原理, 并通过三维电磁仿真软件 Ansoft HFSS 和 MATLAB 软件在面积限定的条件下对不同线宽、线距和匝数的环形天线的磁场强度进行了对比, 旨在找出在面积限定下具有较强磁场强度的环形天线的设计参数, 对实际设计 13.56MHz PCB 平面 RFID 读写器天线具有一定的参考价值.

**关键词:** RFID; 天线参数; HFSS; 限定面积; 磁场强度

## Design and Simulation of 13.56 MHz RFID Reader Antenna with Area Limited

LIU Hua-Rui<sup>1</sup>, ZHENG Hua<sup>1,2,3,4</sup>, LIAO Xiao-Dong<sup>1,4</sup>, CHEN Gui-Hui<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(School of Electronic College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

<sup>2</sup>(Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

<sup>3</sup>(Fujian Provincial Key Laboratory for Photonics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

<sup>4</sup>(Intelligent Optoelectronic Systems Research Centre, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** In a real environment, the products have certain restrictions on the size of antennae; as a result, there has the reference value in the research of antenna's magnetic field strength with area limited. This paper briefly introduces the basic working principle of the RFID system, and uses the 3D electromagnetic simulation software Ansoft HFSS and MATLAB software to make a comparison of magnetic field strength between different designs which have different track widths, track clearances and coil loops with area limited. Trying to find out specific parameters of a loop antenna with area limited that has a good magnetic field strength. This has some reference value for the design of the PCB plane antenna in 13.56MHz RFID reader systems.

**Key words:** RFID; antenna parameters; HFSS; area limited; magnetic field strength

射频识别技术即 RFID (Radio Frequency Identification), 是一种通信技术, 也是自动识别技术的一种. 一个基本的 RFID 系统由三部分组成: 读写器(或阅读器)、电子标签和天线, 系统可利用射频信号通过空间耦合来实现特定目标的识别和相关数据的读写, 而无需识别系统与特定目标之间建立光学或机械接触<sup>[1]</sup>. 常用的有低频(125k~134.2K)、高频(13.56Mhz)、超高频、微波等频段. RFID 技术通过发出射频信号, 实现

对特定的目标进行获取与识别, 整个识别过程自动完成. 无论是针对单个物体的具体识别, 还是多个物体的同时识别, 或者目标快速移动的情况, 以及较为恶劣的工作环境等, RFID 技术均可实现快速精确的识别和读写操作, 而且应用便利, 寿命长, 无机械磨损, 具有很高的安全性. 大规模集成电路技术的发展为射频识别技术的发展提供了坚实的技术基础, 降低了各种射频识别产品的生产成本, 因此在工业自动化、商业

① 基金项目:福建省教育厅项目(JB12039)

收稿时间:2014-08-26;收到修改稿时间:2014-10-12

自动化、交通运输控制管理、公共交通收费系统等众多领域,射频识别技术都得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>。目前RFID技术应用很广,如:图书馆,门禁系统,食品安全溯源等。而且在当今各领域技术不断融合的趋势下,射频识别技术将会应用于更加广泛的领域,因此研究RFID技术具有重要意义<sup>[3-5]</sup>。

## 1 引言

RFID天线系统包括读写器天线和标签天线。基于13.56MHz的被动式RFID系统,电子标签与读写器采用电感耦合方式来进行能量传递与数据传输。读写器的天线线圈产生高频电磁场,磁场穿过线圈的横截面和线圈周围空间,使得靠近读写器天线线圈的标签天线在交变磁场中产生感应电压从而获得能量。工作于13.56MHz的RFID天线系统采用变压器原理,遵循法拉第电磁感应定律,天线线圈在功能上等效于电感,其实际电感值取决于天线的结构、导线之间的距离、导线的厚度、天线的尺寸以及天线绕制的圈数等。

随着无线通信技术的飞速发展,无线通信终端开始往小型化,多功能方向发展。天线是无线通信系统中一个非常重要的组成部分,一个结构合理,性能优良的天线系统可以在最大程度上契合整个无线系统,由此可提高整个无线系统的性能,并可节约系统成本。并且在不同的应用场合,对天线的要求是不一样的,很多的商业产品留给天线的布局空间并不是特别大。所以在这种情况下对天线的大小,形状,尺寸设计有着一定的限制。在这种情况下,虽然天线占据的空间会减小,但是系统仍然希望获得较大的识别距离,因此需要在面积限定的条件下,找到一组相对合理的设计参数来满足系统对识别距离的要求。在目前已公开的文献和专利中,几乎没有对限定面积条件下13.56MHz RFID天线的研究。文献[6]中对天线线圈磁场强度的研究是在只改变线圈匝数的情况下来研究磁场强度的变化趋势。本文基于13.56MHz这一特定频率和限定面积的条件对不同匝数、线宽和线间距的环形天线的磁场强度进行了探究。

## 2 天线的设计

13.56MHz的工作频率位于高频频段,天线可以采用空心的电感线圈,也可以由印刷电路板(PCB)或其他介质基材的导电路径构成,其工作原理属于磁场

耦合方式,通信距离相对较近(远小于其工作波长)。天线依据使用环境的不同一般可以设计成矩形、圆形,和正多边形等。

对于环形线圈天线,其关键几何参数如下:天线线圈的半径、线圈导线宽度、导体厚度、线圈间距和线圈匝数等。天线线圈的电感值一般采用阻抗分析仪测量得到,在条件不允许的情况下,也可通过公式估算。环形线圈的电感值可由如下公式进行估算<sup>[7]</sup>:

$$L = 2 \times l \times [\ln(l/D) - 1.07] \times N^{1.8} \quad (1)$$

式中, $l$ 为一圈导线的长度(cm), $D$ 为线圈导线的宽度(cm), $N$ 为线圈匝数, $\ln$ 为自然对数函数。由式(1)可知,天线线圈的电感值 $L(\mu\text{H})$ 与线圈匝数 $N$ 的1.8次方成正比,增加匝数 $N$ 会使得线圈的电感值 $L$ 增大,另外增大导线的长度也会使天线的电感值增大。

天线线圈的等效电路如图1所示,其中 $R$ 为T1与T2之间的天线线圈电阻损耗, $C$ 为线圈与T1和T2之间的电容损耗, $L$ 为天线线圈的电感<sup>[8]</sup>。

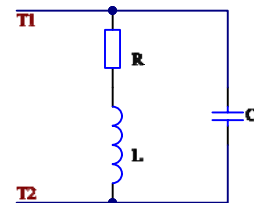


图1 天线线圈等效电路

将电容 $C$ 与天线线圈串联或并联起来组成LC谐振电路,通过该谐振电路,阅读器天线可将能量传输至射频卡,从而实现标签与阅读器的通信。谐振电路的谐振频率可调谐至阅读器的工作频率13.56MHz。其值可由汤姆逊公式得出<sup>[8]</sup>:

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

从式(2)可以看出,天线的频率跟 $LC$ 有关。天线尺寸越大,则线圈的电感 $L$ 就越大,相对的电容 $C$ 就需要变小。一旦天线的电感超过 $5\mu\text{H}$ 时,电容 $C$ 的匹配就变得困难,设计天线时应考虑天线的线圈电感值不超过 $5\mu\text{H}$ ,并且天线导体的宽度应在 $0.5\text{-}1.5\text{mm}$ 内<sup>[7]</sup>。

距环形线圈天线中心垂直距离为 $x$ 处的磁场强度 $H$ 的大小为<sup>[9]</sup>:

$$H = 0.5 \times (I \times N \times R^2) / (R^2 + x^2)^{3/2} \quad (3)$$

式中, $I$ 为电流, $N$ 为线圈匝数, $R$ 为环形线圈的外环半

径,  $x$  为离线圈中心的垂直距离. 由式(3)可以看出随着距离  $x$  的增大, 磁场强度  $H$  会迅速减小, 而增大线圈匝数或者电流会使磁场强度  $H$  增大.

### 3 建模与结果分析

我们在天线包围面积限定的条件下研究不同线宽、线距和匝数的环形天线在相同 13.56MHz 信号激励下的磁场强度, 根据上述的天线设计方法, 我们采用的是业界公认的三维电磁仿真软件 Ansoft HFSS 15.0 进行仿真验证. 模型采用集总端口激励, 中心频率设置为 13.56MHz, 采用快速扫描方式. 天线的基板选用具有较高介电性能和机械性能的玻璃布基板 FR-4, 基板的长和宽定为 40mm, 基板厚度为 1mm, 电感材质选用导电性能良好的铜箔, 以减少天线线圈的电阻损耗<sup>[10-12]</sup>.

图 2 是面积为  $10\text{cm}^2$  下 4 匝环形天线的磁场强度标量图. 图中, 线圈平面的颜色越偏冷色调, 则表示磁场能量越低, 反之, 其颜色越偏暖色调, 则表示磁场能量越强.

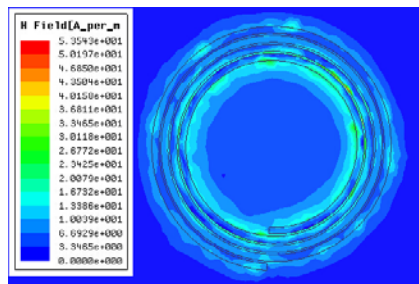


图 2 面积  $10\text{cm}^2$  4 匝环形线圈的磁场强度标量图

由于磁场强度标量图对磁场强度的显示不够直观, 我们希望能结合具体的数据进行分析, 所以我们采用 MATLAB 软件对磁场强度标量图进行处理, 采用 MATLAB 将各个颜色的面积求出来, 再与之对应的权值相乘, 最后相加得到结果. 用这个结果结合磁场强度标量图来衡量磁场强度的强弱.

在线宽为 0.5mm, 1mm 或 1.5mm 的情况下, 且线圈面积为  $4\text{cm}^2$ ,  $6\text{cm}^2$  或  $8\text{cm}^2$  时, 通过线圈匝数的变化, 由公式 1 可相对求出大致的电感值, 经计算, 所求得的结果大部分都小于  $5\mu\text{H}$ , 相对比较容易进行阻抗匹配. 所以我们实验选定的线宽为 0.5mm, 1mm 和 1.5mm, 由于考虑到实际的 PCB 加工工艺, 因此我们仿真设计采用的线间距为 0.2mm, 0.3mm 和 0.4mm.

在面积限定条件下, 改变线圈匝数来研究特定的线宽和线距组合的磁场强度, 并通过 MATLAB 软件进行处理, 可以得到天线磁场强度的变化趋势, 如图 3~5 所示.

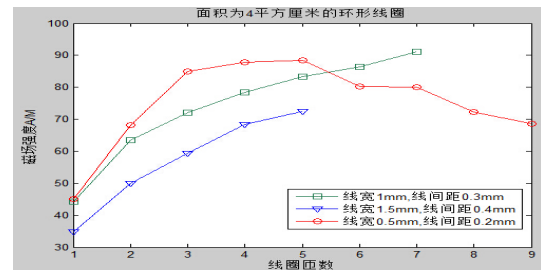


图 3 面积  $4\text{cm}^2$  环形线圈磁场强度的变化趋势

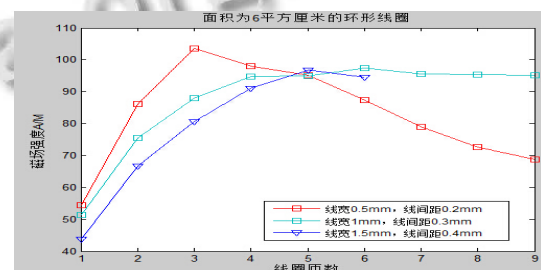


图 4 面积  $6\text{cm}^2$  环形线圈磁场强度的变化趋势

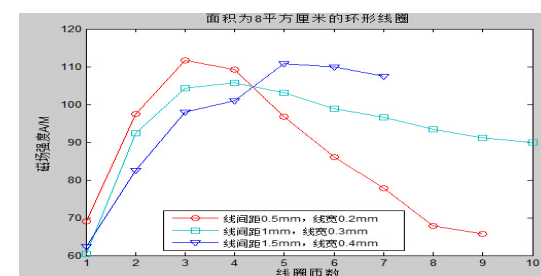


图 5 面积  $8\text{cm}^2$  环形线圈磁场强度的变化趋势

图 3 为面积为  $4\text{cm}^2$  的环形线圈的磁场强度随匝数的变化趋势, 图 4 为面积为  $6\text{cm}^2$  的环形线圈的磁场强度随匝数的变化趋势, 图 5 为面积为  $8\text{cm}^2$  的环形线圈的磁场强度随匝数的变化趋势. 每张图中都有 3 条折线, 代表不同线宽和线距组合的天线磁场强度随线圈匝数变化的趋势. 在图 3 中磁场强度最大的一组是线宽为 1mm, 线间距为 0.3mm 且线圈匝数为 7, 图 4 中磁场强度最大的一组是线宽为 0.5mm, 线间距为 0.2mm 且线圈匝数为 3, 图 5 中磁场强度最大的一组是线宽为 0.5mm, 线间距为 0.2mm 且线圈匝数为 3. 从以上分析结果我们可以看出, 在面积为 4 平方厘米的环形线圈上, 选择匝数为 7, 线间距为 0.3mm, 线宽为 1mm 产生的磁场强度相对较大. 在面积为 6 平方厘米



的环形线圈上,选择匝数为 3,线间距为 0.2mm,线宽为 0.5mm 产生的磁场强度相对较大.在面积为 8 平方厘米的环形线圈上,选择匝数为 3,线间距为 0.2mm,线宽为 0.5mm 产生的磁场强度相对较大.但是在实际制作天线时我们除了考虑磁场强度外,还要对电路匹配等其他条件进行综合考虑.

线圈的磁场强度与线圈的面积、匝数、线间距、线宽和电感线圈的厚度等有很大的关系.在其他条件不变的情况下,匝数或天线包围面积的增大会使线圈的电感值增大,电感的储能效果会更好,会产生更大的磁场强度.但是由于实际输入功率是一定的,所以随着匝数或天线包围面积的增大,线圈的电流会有一些减小,所以对线圈的磁场强度也会有一定程度的影响.而且过多的线圈匝数会产生更大的寄生电容,同时线圈产生的涡流效应会更严重.所以在线圈包围面积和输入功率一定的条件下会有一个匝数使得线圈的磁场强度相对最大.图 6~8 为面积限定条件下天线优化设计的仿真场图.

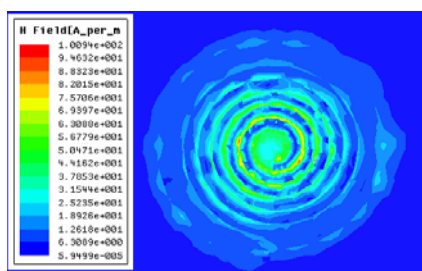


图 6 面积 4cm<sup>2</sup> 环形线圈匝数为 7 时的磁场强度

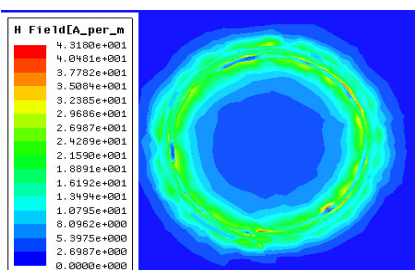


图 7 面积 6cm<sup>2</sup> 环形线圈匝数为 3 时的磁场强度

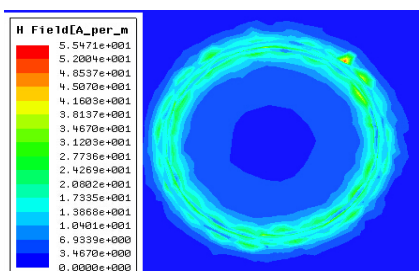


图 8 面积 8cm<sup>2</sup> 环形线圈匝数为 3 时的磁场强度

#### 4 结语

本文介绍了 13.56MHz RFID 系统的工作原理,探讨了面积限定条件下 RFID 读写器天线的设计,采用业界公认的三维电磁仿真软件 Ansoft HFSS 建立多种电感模型,并且采用了 MATLAB 图像分析处理功能,把天线的磁场强度进行了量化对比,找出了在面积限定条件下,磁场强度相对较强的环形电感模型.对 13.56MHz RFID 读写器天线的优化设计参数进行探索,对实际设计制作 PCB 平面 RFID 读写器天线具有一定的参考价值.

#### 参考文献

- 1 南春丽,刘述超,周世军,赵祥模.车联网中 RFID 模型.计算机系统应用,2013,22(4):32-35.
- 2 简献忠,严军,范建鹏,侯一欣.基于 CAN 总线和 2.4G 无线网络的 RFID 收费系统.计算机系统应用,2012,21(6):34-37.
- 3 高飞,薛艳明,王爱华.物联网核心技术 RFID 原理与应用.北京:人民邮电出版社,2010.
- 4 Park H, Kang H, Lee Y, et al. Fully roll-to-roll gravure printed rectenna on plastic foils for wireless power transmission at 13.56 MHz. Nanotechnology, 2012, 23(34): 344006.
- 5 Serkan BS, Lim K, Laskar J, et al. Design and modeling of embedded 13.56 Mhz RFID antennas. Antennas and Propagation Society International Symposium. IEEE. 2005, 4. 64-67.
- 6 戴彩艳.13.56MHz RFID 读写器天线的研究与设计[硕士学位论文].福州:福建师范大学,2013.
- 7 黄冕,罗志祥.基于 13.56MHz RFID 阅读器的天线设计与实现.计算机与数字工程,2008,35(7):151-153.
- 8 李宝山.无源高频 RFID 系统读写器天线的设计.无线工程,2008,38(5):35-38.
- 9 陈大才.射频识别(RFID)技术-无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理与应用.北京:电子工业出版社,2001.
- 10 李明洋.HFSS 天线设计.北京:电子工业出版社,2011.
- 11 曹善勇.Ansoft HFSS 磁场分析与应用实例.北京:中国水利水电出版社,2010.
- 12 李明洋.HFSS 电磁仿真设计应用详解.北京:人民邮电出版社,2011.