

基于电子标签导电油墨厚度的研究

吴光远, 钱军浩, 唐 铨

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 在电子标签的印制中, 采用分层印刷电子标签天线的思路, 提出了分层蝶形天线模型, 并进行了仿真模拟, 研究了墨层厚度对蝶形天线辐射效率的影响。由仿真结果分析可知: 不同区域电流密度的高低影响分层天线的辐射效率, 在天线上找到了分层最佳点, 分层天线的辐射效率比单层天线高。解决了印刷天线墨层厚度与辐射效率矛盾的问题。

关键词: 电子标签; 导电油墨; 油墨厚度; 分层印刷; 组合印刷; 辐射效率

中图分类号: TS802.3; TS851⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)05-0119-03

Research on Electrically Conductive Ink Thickness Based on RFID

WU Guang-yuan, QIAN Jun-hao, TANG Cheng

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: A layered-printed RFID antenna idea and layered butterfly antenna model were put forward for RFID printing. Simulations were carried out and the influence of ink thickness on radiation efficiency of butterfly antenna was studied. Simulation results showed that the current density in different area has influence on radiation efficiency; there is a best point on the antenna which can improve the radiation efficiency of layered antenna higher than single-layer printed antenna. The problems of contradiction between ink thickness and radiation efficiency can be solved through optimization.

Key words: RFID; electrically conductive ink; ink thickness; layered-printed; combined printing; radiation efficiency

电子标签的核心部分主要是由具有储存信息功能的芯片和具有感应功能的天线组成^[1]。在电子标签天线的生产工艺中印刷^[2]是最环保、最具市场潜力的制作工艺, 但是, 印刷天线存在着至少 2 个致命的问题: 一是导电油墨的电路参量(如导电率)没有金属固体(如铝)好; 二是价格偏贵, 因为最好的油墨导电颗粒是银粉或以银为覆盖层的颗粒, 它的制造价格相对银本身要贵的多。这导致印刷天线的矛盾: 墨层越厚越有利于提高电子标签的辐射效率, 但不利于保持产品的价格优势^[3]。

天线的辐射效率是被动式电子标签的一个关键参数, 因为印刷天线截取空间的电磁波来获得输入功率, 损耗功率越小则辐射功率越大。在 UHF 频率段中, 最常用的 2 种天线模型为: 蝶形天线和半波长偶极子天线。由于印刷偶极子天线可能因微小的划痕

而丧失天线性能, 而蝶形天线具有制作简单、作用距离远和频带宽等优点, 因此本文选取蝶形天线为研究对象。

1 理论分析与设计

1.1 理论分析

在相同的入射功率下, 损耗功率越小, 则辐射功率越大。其中, 损耗功率与电流密度 I 的平方成正比, 与自身的电阻 R 成正比, 即:

$$P = I^2 R \quad (1)$$

通过任意导体有限截面 S 的电流为:

$$I = \int_s J \cdot dS \quad (2)$$

式中: J 是单位面积 dS 处的电流密度。

收稿日期: 2011-11-02

作者简介: 吴光远(1988—), 男, 山东人, 江南大学硕士生, 主攻印刷技术在 RFID 中的应用。

采用基本的方法来计算电流密度^[4],得:

$$J(k, \omega) = \sigma(k, \omega) E(k, \omega) \quad (3)$$

式中: $\sigma(k, \omega)$ 是参数为波矢量 k 和角频率 ω 的电导率复函数; E 是电场强度。

导体在高频工作状态下,出现趋肤效应。趋肤深度 δ 为电流密度从表面向内下降到表面电流密度的 0.368(即 $1/e$) 处时的厚度:

$$\delta = \sqrt{2k / (\omega \sigma \mu)} \quad (4)$$

式中: k 是材料电导率(或电阻率)温度系数; ω 是电磁波的角频率; μ 是导体的磁导率。

$$P' = \frac{I_{\text{rms}}^2 l}{4\tau \omega \delta \sigma} (1 - e^{-t/\delta})(1 - e^{-t/2\delta})^{-2} \quad (5)$$

式中: I_{rms} 为电流的方均根值; l 为长度; t 为导体厚度^[5]。

当 $t \ll \delta$ 时:

$$(1 - e^{-t/\delta})(1 - e^{-t/2\delta})^{-2} \approx \frac{4\delta}{t} \quad (6)$$

$$\lim P' = \lim P = \frac{I_{\text{rms}}^2 l}{\omega t \sigma} \quad (7)$$

由于天线损耗的存在,一部分能量以热的形式损耗,天线的辐射效率为:

$$\eta_A = \frac{P_r}{P_{\text{in}}} = \frac{P_r}{P_r + P_d} \quad (8)$$

式中: P_r 为辐射功率; P_d 为损耗功率; P_{in} 为天线的输入功率。

1.2 蝶形天线模型

为了研究蝶形天线的性能,利用 ANSOFT HFSS^[6] 软件观察蝶形天线表面电流密度见图 1。由图 1

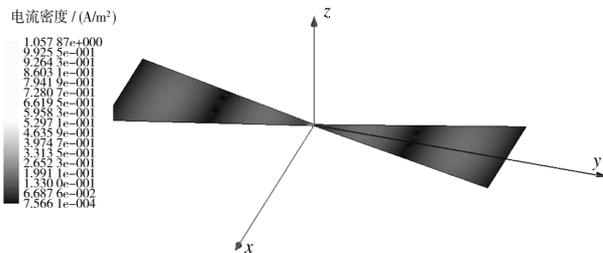


图 1 蝶形天线表面的电流密度

Fig. 1 Surface current density of butterfly antenna

知,天线表面高电流密度区域为天线臂的 $1/3$ 处和 $2/3$ 处。由式(2)得,相同的导体在电流密度越高的地方产生的损耗功率越大。

1.3 分层蝶形天线模型

由于单层天线在 $1/3$ 处和 $2/3$ 处损耗功率比其

他部分高,而由式(8)知,损耗功率越小,则辐射功率越大。由式(7)知,电流密度与导体的长度、厚度有关。分层蝶形天线模型就是在单层蝶形天线的基础上,局部增加墨层,形成上下层见图 2。通过改变不

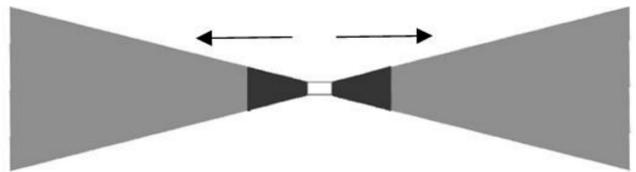


图 2 分层蝶形天线模型

Fig. 2 Model of layered butterfly antenna

同区域油墨厚度来实现导电油墨用量与印刷线路辐射效率最优化。

2 仿真测试与结果分析

2.1 实验条件

测试模型选择的频率段为 $800 \sim 950$ MHz,主要研究蝶形天线的辐射效率。蝶形天线的夹角选择 30° 左右,因为夹角越大,整个频段内的辐射功率越小^[7]。天线的臂长设计为 60 mm,油墨的底层设计厚度为 $10 \mu\text{m}$ 。上层设计以原点为基准,以 5 mm 为间隔向天线臂方向平移。

导体边设为有限导体边界,即定义为有耗导体,非理想导体边界。非理想导体的表面电场存在切向分量,用以模拟表面的耗损。每次改变油墨厚度时,都需要利用趋肤深度式(4)计算天线臂的趋肤深度 δ 。

在求解微波外问题时,需要利用吸收边界条件将问题区域进行有限截断。辐射边界就是一种模拟波辐射到空间无限远处的吸收边界条件。创建辐射边界,数值应为 $1/4$ 波长,分析将在 $800 \sim 950$ MHz 的频段上进行,因此空气容积层与辐射缝隙之间的最小距离在 800 MHz 时应该是 $1/4$ 波长^[6]。

2.2 实验

2.2.1 实验 1

采用 ANSOFT HFSS 软件对蝶形天线模型进行电磁仿真模拟,选择 13 个点,其辐射效率测量值与位置的关系见图 3。

分析表 1 和图 3 可知,不同区域电流密度的高低影响分层天线的辐射效率,且辐射效率高的点集中在 12.5 mm 和 47.5 mm 左右;而对于导电油墨用量来

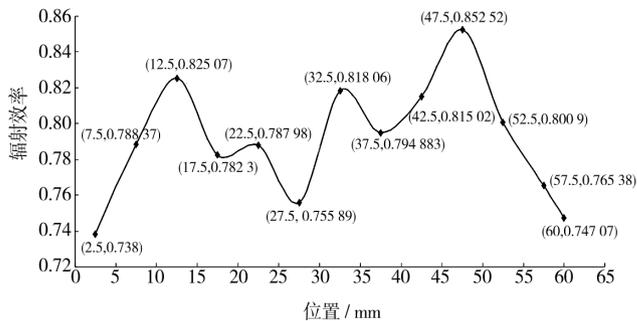


图3 位置与辐射效率的关系

Fig. 3 Relationship between radiation efficiency and position

说,在 47.5 mm 处使用的油墨量要远大于 12.5 mm 处。从经济效益因素考虑,应选择 12.5 mm 处。同时,对 12.5 mm 处进行再次优化,选择 4 个点:11.5, 12, 13, 13.5 mm,进行仿真模拟,其结果见图 4。

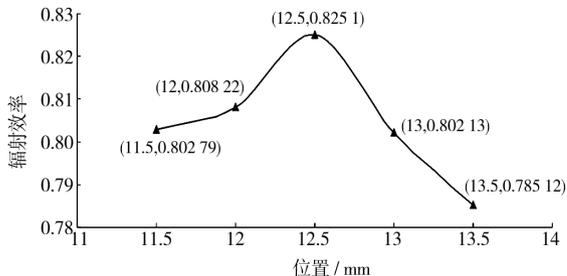


图4 [11.5, 13.5]区间内不同位置的辐射效率

Fig. 4 Radiation efficiency at

different locations in interval [11.5, 13.5]

由上述结果知,此区间内辐射效率最高点为 12.5 mm 处。

2.2.2 实验 2

初始单层天线的辐射效率为 0.738。同一条件下,将增加到 12.5 mm 处分层天线(天线 1)的辐射效率与其油墨体积相同的单层天线(天线 2)进行对比。结果表明:天线 1 的辐射效率为 0.825 07;天线 2 的辐射效率为 0.739 57。由模拟结果知:天线 1 和天线 2 的辐射效率都大于初始单层天线。但天线 1 比天线 2 辐射效率要高,即分层天线的辐射效率大于单层天线,其原因为:墨层越厚辐射效率越高,而电流密度越高的地方,对油墨厚度敏感度越高。

2.2.3 实验 3

在图 1 中,天线臂 2/3 处电流密度较高。表 1 和图 4 中,上层在 47.5 mm 处,辐射效率达到一个区间

的最大值,即辐射效率为 0.852 5,但不确定在 47.5 mm 左右增加油墨,是否同样可以增大辐射效率。

对上述模型再次进行优化,即在增加到 12.5 mm 的基础上,只增加 47.5 mm 左右小区间的油墨,见图 5。

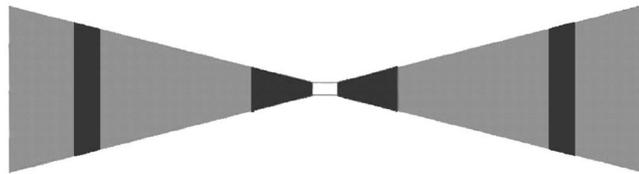


图5 分层蝶形天线优化模型

Fig. 5 Optimized model of layered butterfly antenna

选择[46.5, 48]和[46, 48]2 个区域及与其油墨体积相同的单层天线进行测试,所得到的辐射效率分别为 0.830 73, 0.838 74, 0.741 07, 0.741 2。选择的 2 个区域辐射效率值都大于只增加到 12.5 mm 处的 0.825 1,所以这种优化不仅验证了分层天线的辐射效率大于单层天线,而且还验证了电流密度高的地方对油墨厚度敏感性高。

3 结论

通过仿真模拟电子标签蝶形天线,提出了分层蝶形天线模型并研究了墨层厚度对天线辐射效率的影响。由仿真结果分析可知:不同区域电流密度的高低影响分层天线的辐射效率,分层天线的辐射效率比单层天线高;在分层天线上找到了分层印刷最佳点,同时进行优化设计。随着印刷技术的发展,印刷分层电子标签天线成为可能,为组合印刷在印刷电子标签天线行业奠定了理论基础和实践依据。

参考文献:

- [1] 吴光远. 电子标签——标签的“实力派”[J]. 印刷世界, 2011(9):24-25.
WU Guang-yuan. RFID—the Label of "Excellent"[J]. Print World, 2011(9):24-25.
- [2] 王森, 钱军浩. RFID 丝印墨层厚度影响因素的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(19):97-100.
WANG Sen, QIAN Jun-hao. Study on Influencing Factors of Ink Thickness by RFID Screen Printing[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19):97-100.

4 结语

针对目前我国家电运输破损严重的现状,提出了采用运输环境采集设备(SAVER 9X30)监控家电产品物流运输过程的方法,该设备能实现对运输环境进行追踪数据采集并在实验室重现,为运输包装设计合理化、实际运输环境中对家电物流的监控、产品优化与产品运输可靠性评测提供了一种有效的手段。由于该项工作在我国刚刚起步,还有不少问题需要解决,如还没有系统的运输环境路谱、跌落高度数据库。利用路谱数据库进行设计与加速测试的理论依据、路谱数据库在包装设计与物流监控中的应用与相关标准的建立、价廉物美的物流过程监控与采集设备的开发与应用等工作,都有待进一步研究与完善。

参考文献:

- [1] 陈志强,陈振强. 解析运输包装随机振动试验[J]. 印刷技术,2010(11):46-47.
CHEN Zhi-qiang, CHEN Zhen-qiang. Analysis of Transport Packaging Random Vibration Test [J]. Printing Technology, 2010(11):46-47.
- [2] JARIMOPAS B. Measurement and Analysis of Truck Transport Vibration Levels and Damage to Packaged Tangerines during Transit [J]. Packaging Technology and Science, 2005, 18: 179-188.

- [3] 路冰琳,陈振强. 铁路运输随机振动数据的分析与研究[J]. 包装工程,2008,29(2):82-84.
LU Bing-lin, CHEN Zhen-qiang. Analysis and Study of the Data to Railway Random Vibration [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2):82-84.
- [4] 苏远,赵德坚. 小型货车的随机振动谱的测量[J]. 包装工程,2004,25(3):183-185.
SU Yuan, ZHAO De-jian. Measurement of Random Vibration on Light Truck [J]. Packaging Engineering, 2004, 25(3):183-185.
- [5] 杨凯. 公路运输环境的研究与分析[J]. 中国包装工业, 2011(6):71-73.
YANG Kai. Study and Analysis of Highway Transportation Environment [J]. China Packaging Industry, 2011 (6):71-73.
- [6] GB/T 4857. 23-2003, 随机振动试验方法[S].
GB/T 4857. 23-2003, Random Vibration Test Method [S].
- [7] ROUILLARD V. A Novel Approach to Analysing and Simulating Railcar Shock and Vibrations [J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20: 17-26.
- [8] 陈志强. 运输包装振动试验方法解析[J]. 印刷技术, 2009 (11):27-30.
CHEN Zhi-qiang. Research on Transport Packaging Vibration Test Method [J]. Printing Technology, 2009 (11):27-30.
- [9] HALFPENNY A. Accelerated Vibration Testing Based on Fatigue Damage Spectra [J]. White Paper. (余不详)

(上接第 121 页)

- [3] SIDEN J, FEIN M K, KOPTYUG A, et al. Printed Antennas with Variable Conductive Ink Layer Thickness [J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2007, 8 (1):401-407.
- [4] RAMMER Jørgen. Quantum Field Theory of Non-equilibrium States [M]. Cambridge University Press, 2007.
- [5] MERILAMPI S L, BJO RNINEN T, VUORIMA KI A, et al. The Effect of Conductive Ink Layer Thickness on the Functioning of Printed UHF RFID Antennas [J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 9(98):1610-1619.

- [6] 谢拥军. HFSS 原理与工程应用 [M]. 北京:科学出版社, 2009.
XIE Yong-jun. HFSS Theory and Engineering Applications [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [7] 李长勇,杨士中,曹海林,等. 不同夹角 V 型蝶形天线性能比较 [J]. 重庆大学学报, 2008, 31(7):775-780.
LI Chang-yong, YANG Shi-zhong, CAO Hai-lin, et al. A Performance Comparison of V-shaped Bowtie Antennae [J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(7):775-780.