

文章编号:1007-6735(2012)03-0303-04

双模射频 IC 卡读写器天线设计

毛歆杰¹, 袁 焱¹, 陈 玮²
(1. 上海交通大学 电子电气与信息工程学院, 上海 200240;
2. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 通过对环形线圈磁感应强度的电磁场分析,设计实现符合 ISO 14443 国际标准的射频 IC 卡读写器天线. 根据实际需要将国民技术 2.4 GHz 微波段射频偶极子天线放置于 13.56 MHz 射频天线中,整合成双模射频 IC 卡读写器天线,为公共交通卡和 RF-SIM 卡手机支付业务提供支持.

关键词: RF-SIM; 13.56 MHz 射频 IC 卡; 国民技术 2.4 GHz; ISO 14443

中图分类号: TN 82 **文献标志码:** A

Dual-mode Radio Frequency PCD Antenna and Circuit Design

MAO Xin-jie¹, YUAN Yan¹, CHEN Wei²
(1. School of Electronic, Information and Electric Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;
2. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The RF-related design of proximity control device (PCD) was considered. Based on the working mode of inductively coupled passive RF systems and detailed theoretical description of electromagnetic field (EMF), an algorithm was created for calculating magnetic flux density and antenna terminal voltage of near-field PCD and integrated circuit (IC) card. The IC card being used is in accordance with ISO 14443 standard and together with 2.4 GHz antenna module provided by the ZTEIC, the need for subway AFC system's turnstiles can be fulfilled by providing the authority with dual-mode radio frequency PCD.

Key words: RF-SIM; 13.56 MHz RF-IC card; ZTEIC 2.4 GHz; ISO 14443

13.56 MHz 是目前大多数非接触式公交卡、NFC 通信技术的工作频率. 随着手机的普及,手机支付已成为一种大众消费方式. 为使 SIM 卡发射信号能够穿透手机电池和金属盖板的阻挡,移动支付采用工作于 2.4 GHz 微波频段的 RF-SIM 卡. RF-SIM 卡将射频 IC 卡技术与手机 SIM 卡相结合,解决了 NFC 技术等必须定制手机的弊端. 在实际应用中,将工作在上述两种频段的天线实现产品化的集成,有着十分重要的意义. 在无线通讯中,高频 13.56 MHz 射频系统^[1]的天线实现为基于电感耦合的线圈. 在 13.56 MHz 频段的电磁波波长约为 22.12 m,读卡器的工作距离设定约为 10 cm,故高频段电磁

收稿日期: 2011-04-08
作者简介: 毛歆杰(1982-),男,硕士研究生. 研究方向: 无线射频嵌入式开发. E-mail: m26e3@yahoo.com.cn
袁 焱(联系人),男,副教授. 研究方向: 基于 ARM 的嵌入式系统开发. E-mail: yyamil@sjtu.edu

波的波长远大于射频 IC 卡系统的识别距离. 读写器和卡片之间可等效为变压器耦合方式, 与读写器相连接的天线相当于变压器模型中的初级线圈, 射频 IC 卡上的天线相当于次级线圈. 通常应用于该频段的天线以小型环形天线为最佳, 该小型环形天线的周长小于 $1/4$ 波长, 约为 5.53 m .

1 13.56 MHz 射频 IC 卡读写器天线产生的磁场^[2]

高频 13.56 MHz 射频 IC 卡系统, 所采用的环形天线在近场下的磁场公式可用毕奥-萨伐尔定律推出. 该定律同时给出了环形天线上的电流 I 与天线产生的磁场中的磁感应强度 B 之间的关系. 图 1 为小型环形天线磁场分布示意图.

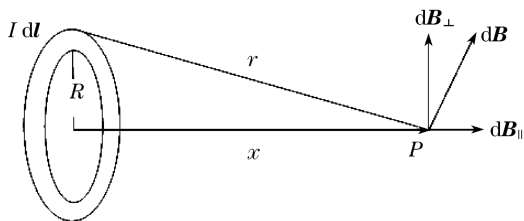


图 1 环形线圈上的磁场

Fig.1 Magnetic field of loop circle

假设单匝环形天线线圈上流过的电流是均匀分布的, 由毕奥-萨伐尔定律, 得

$$dB = \frac{uIdl \times r}{4\pi r^3}$$

图 1 中各电流元的磁感应方向可以被分解为垂直方向的 $dB_{\perp}$ 和平行方向的 $dB_{\parallel}$. 对于环形线圈, 其垂直方向的磁场强度相互抵消, 平行方向的磁感应强度互相增强. 所以图 1 中 P 点的磁感应强度为

$$B = \int dB = \frac{u}{4\pi} \int \frac{Idl}{r^2} \sin \theta = \frac{uI \sin \theta}{4\pi r^2} 2\pi R$$

式中, u 为真空中的磁导率常数, $u = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$. 图 1 中

$$r = \sqrt{R^2 + x^2}, \sin \theta = R/r = \frac{R}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$

当天线的匝数为 N 时, 沿环形天线线圈轴方向的磁感应强度为

$$B = \frac{uNIR^2}{2(R^2 + x^2) \sqrt{R^2 + x^2}}$$

即是环形天线近场下的磁场公式. 根据该公式可知环形天线的磁通量密度与工作距离的立方成反比, 当 x 增大时 B 迅速减小. 说明射频 IC 卡读写器的工作距离是系统设计时考虑的主要因素.

2 13.56 MHz 射频 IC 卡线圈上的感应电压

当 13.56 MHz 的射频 IC 卡放置在读写器天线上时, 天线产生的磁场会在 IC 卡卡片的线圈上产生驱动其芯片工作的感应电压 V . 感应电压 V 的公式^[3]为

$$V = 2\pi fNSQB \sin \alpha$$

式中, f 为信号频率; S 为标签线圈面积; Q 为标签线圈的品质因数; α 为磁场和标签的夹角 (当磁力线垂直穿过标签时为 90°).

3 高频 13.56 MHz 射频 IC 卡系统天线的设计

3.1 天线电路总体结构

射频 IC 卡系统天线部分总体电路结构如图 2 所示.

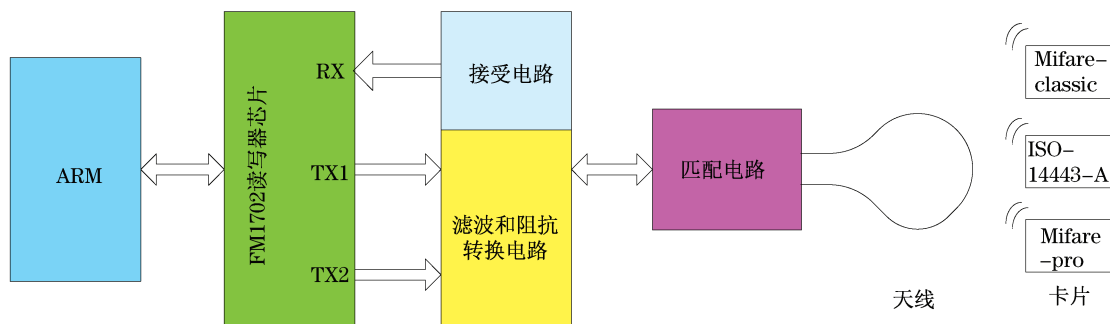


图 2 读写器天线电路总体结构

Fig.2 Overall design of reader antenna

该系统主要有3部分组成:接收电路,其主要用来接收射频IC卡发送的数据;滤波和电阻转换电路,其作用是抑制高次谐波并优化到读卡器天线的功率传输;天线线圈匹配电路使天线获得最优的性能,天线和读卡器本身用屏蔽电缆连接。

3.2 射频13.56 MHz天线尺寸计算

本系统的射频IC卡与读写器之间数据交换使用变压器原理,描述变压器的一个重要的参数是耦合系数.它可以被定义为与PCD天线和PICC线圈之间的距离以及与PCD天线和PICC线圈的大小有关的一个几何参数.因为PICC的线圈尺寸是固定的,当PCD天线和PICC线圈的固定距离等于PCD天线的半径时获得的耦合系数最大,计算使用的是环形的天线.对于一个完整的设计,环境的影响以及由于应用相关的约束对天线大小的限制也必须要考虑.其实增加天线的半径不会自动增加工作距离,从PCD到PICC的能量传输是一个限制因素,它可以用最小的耦合系数0.3表示,耦合系数的计算与PCD天线的所绕的圈数无关.天线半径与工作距离之间的关系见图3.

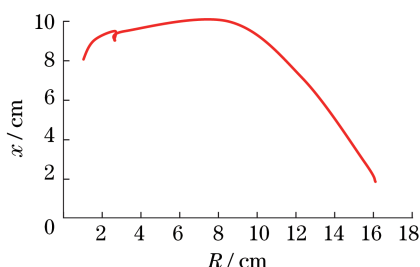


图3 读写器天线半径与工作距离关系

Fig.3 Relationship between antenna radius and working range

如图3给出了不同天线大小的 R/x 的大约距离数据,当天线的半径为10 cm时,可以获得最好的 R/x 距离大于10 cm;随着天线直径的增大,并不能使工作距离更大.因此本系统所设计的天线半径小于10 cm,考虑到在该环形天线中间需安放一块矩形的2.4 GHz的微波天线,又要使得不影响 R/x 距离的情况下,尽量使得天线小一些,故取环形天线的半径为7.5 cm.

3.3 天线接口电路阻抗匹配

对于超过1 M以上的频率,其工作的高频电压不是稳态的,如果使用非屏蔽的长导线来传输天线接收到的信号会产生不可预知的效果.如功率反射、阻抗变换以及寄生功率辐射等.他们均是由高频电

压的电磁波特性决定的.在设计中为了更好地控制这些效应,将它们的不利影响降到最低,常常采用50 Ω 的屏蔽电缆和BNC插孔连接天线至高频控制电路.这样工程中就存在一个50 Ω 阻抗匹配的问题.

3.4 天线品质因数的确定^[4]

射频IC卡读写器天线的 Q 在工程实践中会对系统性能产生影响.较高的品质因数会使天线中电流强度增大,并由此改善天线对射频IC卡的传送功率.但是 Q 过高也会使天线的传输带宽下降,从而会减弱射频IC卡接收到的调制边带.读写器天线的 Q 定义为

$$Q = \frac{2\pi f L_{\text{ant}}}{R_{\text{ant}}}$$

式中, L_{ant} , R_{ant} 为天线的电感和阻抗.通过该品质因数可以计算出天线的带宽为

$$B_{\text{ant}} = \frac{f}{Q}$$

ISO 14443标准规定近耦合射频IC卡系统使用ASK调制方式,它的波特率是105.9 kHz/s,数据从读写器传输到射频IC卡使用脉宽 T 为3 μs 的Miller编码,ASK调制系统的带宽与时间乘积的范围

$$B_{\text{ant}} T \geq 1$$

则可计算出读写器天线的 Q 所在的范围

$$Q \leq T \leq 13.56 \text{ MHz} \cdot 3 \mu\text{s} \leq 40.68$$

在一般的工程实践中采用的 Q 为35或者更低.

3.5 环境的影响

当读写器工作于环境噪音较大的情况时,读写器的工作性能会有所下降,最主要表现在射频IC卡读卡距离的降低.电感耦合式射频识别系统的读写器天线附近的金属会给天线性能带来负面影响,磁场不能穿透金属或其它导磁材料,金属物的出现会改变读写器天线附近磁力线的形状,导致金属表面磁通量衰减,读写器天线发出的能量被金属吸收,读写距离减小.这时对读写器天线的朝向稍做改动,或外加接地屏蔽可以减小其影响.

4 双模读写器天线的整合

4.1 2.4 GHz 射频读写器天线

2.4 GHz属于微波频段,其射频天线采集部分为偶极子天线.设计中读写器2.4 GHz天线部分采用国民技术提供的偶极子模块,配以集成在13.56

MHz 天线所在电路板上的处理电路组成.

4.2 与 13.56 MHz 天线的整合

为了使得双模读卡器的天线部分能够适用于原有闸机天线罩,在不影响电气性能的情况下将13.56 MHz 天线线圈电路板中间开挖出 2.4 GHz 偶极子天线的空档,将偶极子天线放置于其中,如图 4 所示.

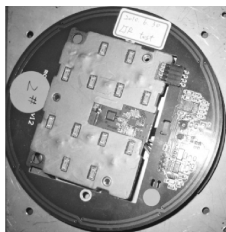


图 4 整合后的天线

Fig.4 Finished antenna

2.4 GHz 天线采集的数据强度较弱,故先将采集并提取的结果通过滤波放大电路后,经 RS232 数据接口送至读写器主板以便主控 ARM 处理. 13.56 MHz 的天线与信号采集处理电路分离,其天线部分与 2.4 GHz 串口电路共用一块 PCB 电路板,信号处理采集电路与读卡器主板集成在一起. 这样就完成了双模读写器的天线部分硬件电路设计. 值得注意的是之所以两种频段天线,采用信号采集处理电路分开在不同的 PCB 板上的设计,完全是射频 EMC 决定的. 实际工程中两组天线虽然工作在不同的频段,其数学原理模型也不尽相同,但是两组天线在实际使用的环境下会产生干扰,尤其是频段较低的

13.56 MHz 会对 2.4 GHz 产生干扰,此种干扰来自于谐波干扰和信号上升沿幅度过于陡峭所致,系统电磁兼容性(EMC)的研究比较复杂,本次设计在大量的应用基础上通过实验的方式取得折中的办法,尽量做到对对方频率的电路工作不产生影响,但对系统 EMC 不进行理论上的研究.

5 结束语

在手机支付普及的过程中 RF-SIM 卡越来越为业界所接受,由于 RF-SIM 卡信号需要穿透手机电池和金属背板的阻挡,所以手机支付工作的频段是微波 2.4 GHz. 轨道交通地铁闸机系统在支持原有 13.56 MHz 射频 IC 卡读写的同时也需要支持 2.4 GHz 天线的安装,本文结合了两不同制式的射频天线,设计完成了双模射频 IC 卡读写器天线设计,有着实际意义.

参考文献:

- [1] Baddel D. ISO/IEC JTC1/SC17/WG8, ISO/IEC 14443, Identification cards contactless integrated circuit(s). Paris:ISO,1999.
- [2] 李宝山. 无源高频 RFID 系统读写器天线的设计[J]. 无线电工程,2008(5):35-38.
- [3] 杜雪亮. 无源电感耦合射频识别系统天线的设计和優化[J]. 江南大学学报,2006,3(6):566-569.
- [4] 尹寒,陈峰. 近耦合射频识别系统的工作原理及天线设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2002(1):27-30.