

文章编号:1004-9762(2009)04-0333-04

## 13.56 MHz RFID 读卡器天线的设计\*

李宝山<sup>1</sup>, 张慧元<sup>1</sup>, 侯宇<sup>2</sup>

(1. 内蒙古科技大学 信息工程学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 哈电集团(秦皇岛)重型装备有限公司, 河北 秦皇岛 066206)

关键词: RC500; RFID; 天线; 读卡器

中图分类号: TN827 文献标识码: A

摘要: 简要介绍了由 13.56 MHz 射频芯片 MFRC500 设计的 RFID 读卡器, 重点论述该读卡器天线的设计与实现。经实践证明, 该天线具有良好的性能, 使用该天线的阅读器工作稳定。

### The design of 13.56 MHz RFID reader antenna

LI Bao-shan<sup>1</sup>, ZHANG Hui-yuan<sup>1</sup>, HOU Yu<sup>2</sup>

(1. Information Engineering School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2. Harbin Electric Corporation (Qinhuangdao) Heavy Equipment Co., Ltd, Qinhuangdao 066206, China)

Key words: RC500; RFID; antenna; reader

Abstract: RFID reader designed by 13.56 MHz radio frequency chips RC500 was briefly described. The main focuses were on the design and realization of the reader antenna. The result shows that the antenna has good performance, and the reader using this antenna works steadily.

天线是一种转能器。发射时, 它把发射机的高频电流转化为空间电磁波; 接收时, 它又把从空间截获的电磁波转换为高频电流送入接收机。对于设计一个应用于射频识别系统中的小功率、短距离无线收发设备, 天线设计是其中的重要部分<sup>[1]</sup>。良好的天线系统可以使通信距离达到最佳状态。天线的种类很多, 不同的应用需要不同的天线。在小功率、短距离的 RFID 系统中, 需要一个通信可靠、价格低廉的天线系统, PCB 环型天线是比较常用的一种。

本文主要讨论用于由 NXP 公司的射频芯片 RC500 所设计的读卡器中使用的天线。由于该芯片要求的天线阻抗为  $70\ \Omega$ , 工作于 13.56 MHz, 因此在设计中, 采用 PCB 环形天线, PCB 环形天线是电小环天线的一种。所谓电小环天线, 一般定义为:  $l/\lambda \leq 1/2\pi$ , 其中,  $l$  为天线的最大几何尺寸;  $\lambda$  为工作波长<sup>[2]</sup>。

### 1 天线的设计

天线线圈等效电路图如图 1 所示, 其中  $R$  为 T1 与 T2 之间天线线圈电阻损耗,  $C$  为线圈与 T1 和 T2 之间的电容损耗,  $L$  为天线线圈电感。

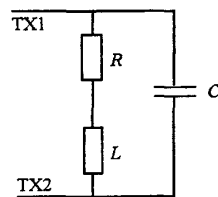


图 1 天线线圈等效电路

Fig. 1 The equivalent circuit of antenna coils

\* 收稿日期: 2009-01-11

作者简介: 李宝山(1965-), 男, 河北唐山人, 内蒙古科技大学副教授。

将电容  $C$  与天线线圈并联或者串联起来组成  $LC$  谐振电路,通过此谐振电路,阅读器可将能量传输至射频卡,并与卡进行通信.谐振电路的谐振频率可调谐至阅读器的工作频率 13.56 MHz,其值由汤姆逊公式得出<sup>[3]</sup>:

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

从式(1)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 ~ 1.5 mm 内.

阅读器与天线连接方式有二种:一种是直接匹配的天线,适用于射频模块与天线之间距离较短的系统;另一种是 50  $\Omega$  匹配的天线,适用于射频模块与天线之间距离较长的系统.本文采用直接匹配的天线设计方式,天线电路分三部分:射频模块发送端口滤波和电阻转换电路;射频模块接收端口接收电路;射频模块发射接收天线及其匹配电路.

### 1.1 射频模块发送端口滤波和电阻转换电路

阅读器的工作频率由一个 13.56 MHz 的石英晶体产生,在产生驱动 RC500 以及驱动天线的能量载波的基频同时石英晶体也产生高次谐波.由国际 EMC 规定可知,为了抑制住 13.56 MHz 中的三次、

五次和高次谐波,设计电路时在射频模块发送端口即 TX1 脚, TX2 脚和地 TVSS 脚之间引入一个低通滤波器电路<sup>[4]</sup>,该低通滤波器电路如图 2 所示,其中电感  $L_1$  和  $L_2$  均为 2.2  $\mu\text{H}$ ,电容  $C_{20}$ ,  $C_{21}$  均为 47 pF.

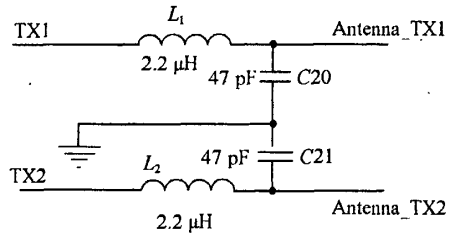


图 2 低通滤波器电路

Fig. 2 Circuit of low-pass filter

### 1.2 射频模块接收端口接收电路

RC500 内部接受电路是利用射频卡的返回应答信号在副载波的双边带上都有调制这一概念来工作的.根据 RC500 的芯片手册,由 RC500 芯片内部所产生的 VMID 作为接收信号引脚 RX 的输入偏置.为了减少干扰,提供一个稳定的参考电压,在 VMID 和地 TVSS 之间连接了一个 0.1  $\mu\text{F}$  电容  $C_{18}$ ,同时在 RX0 和 VMID 引脚间连接了一个 820  $\Omega$  的电阻  $R_7$  作为分压器<sup>[4]</sup>.图 3 为接收电路的原理图.

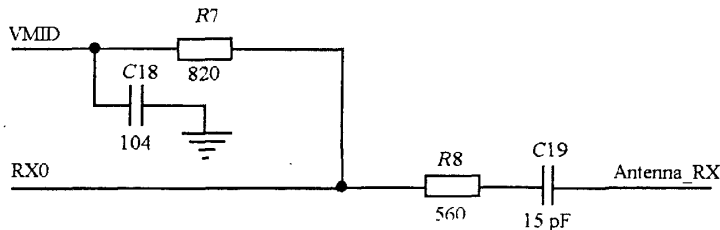


图 3 接收电路

Fig. 3 Receiving circuit

### 1.3 射频模块发射接收天线及其匹配电路

阅读器的工作距离由三方面要素决定:阅读器的天线尺寸,天线匹配电路的品质因子  $Q$  和阅读器周围环境的影响.因此,设计天线的时候要充分考虑这三方面的因素.

#### 1.3.1 天线尺寸的设计

阅读器的天线有多种形状,最常见的有两种:环形天线和矩形天线.本文的阅读器天线采用矩形天线,这种天线的距其中心垂直距离为  $X$  处的磁通量

密度可由式(2)算出:

$$B = \frac{\mu_0 \times N \times I \times a^2}{2\pi \times \left(\sqrt{\frac{a^2}{2} + X^2}\right) \left[\left(\sqrt{\frac{a^2}{2}}\right) + X^2\right]} \quad (2)$$

式中,  $B$  为磁通量密度;  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ , 其为磁场常数;  $N$  为天线线圈的匝数;  $I$  为线圈中电流强度.磁通量  $B$  与距离  $X$  成反比,磁场强度随着距离变远而弱.天线线圈的电感可由阻抗分析仪测量得到.若没有分析仪,可采用公式估算的方法得到近似的电

感值,天线电感的估算公式如下:

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

式中,  $L$  为天线电感估计值, nH;  $l_1$  为一圈天线导线环的长度, cm;  $D_1$  为 PCB 线圈导线的宽度; 若线圈为环形, 则  $K = 1.07$ , 若线圈为矩形, 则  $K = 1.47$ ;  $N$  为线圈匝数. 从式(2)和(3)中可看出, 增加线圈的匝数  $N$  可增大线圈的磁通量密度  $B$ , 延长线圈的有效工作距离, 而天线线圈电感  $L$  与线圈匝数  $N$  的 1.8 次方成正比, 增加匝数  $N$  会使线圈的电感  $L$  增大, 又由式(1)知, 线圈的电感不应超过  $5 \mu\text{H}$ , 所以必须在线圈能提供足够大的磁通量密度情况下保证线圈匝数  $N$  尽可能的小. 综合以上考试, 天线线圈匝数采用 3 圈.

为了制作出电感较小的天线线圈, 采用在 PCB 板上用导线绕制成矩形线圈的方式制作天线线圈. 环绕的导线线宽为 1 mm, 矩形长宽分别为  $72 \text{ mm} \times 37 \text{ mm}$ . PCB 设计成 2 层结构, 天线线圈在 PCB 板的底层, 顶层布有不闭合的屏蔽环, 这种布板设计较好的吸收了天线线圈 PCB 本身产生的电场, 改良了天线的 EMC 性能.

### 1.3.2 天线匹配电路的设计

由于天线本身的阻抗并不高, 需要一个匹配电路连接射频模块. 天线匹配电路设计的是否合理直接影响到天线是否能够正常工作. 这里分为理论和实际两部分对天线匹配电路进行讨论.

#### (1) 理论设计<sup>[5]</sup>

图 4 为天线的匹配电路, 由于电路的对称性, 可将电路简化为图 5 的电路图.

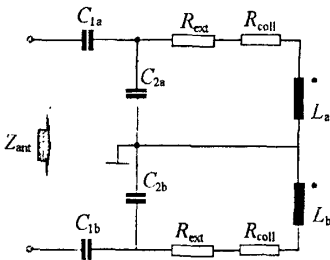


图 4 天线匹配电路

Fig. 4 Antenna matching circuit

图中线圈电阻  $R = 2R_{\text{coil}}$ , 线圈电感  $L = L_a + L_b$ ,

$L_a = L_b, Z_a = Z_b = \frac{Z_{\text{ant}}}{2}$ . 根据天线设计手册, 线圈电感  $L$  由式(3) 估算得:  $L \approx 1.3 \mu\text{F}$ , 线圈电阻测得为  $R = 0.7 \Omega, Z_a = Z_b = 350 \Omega$

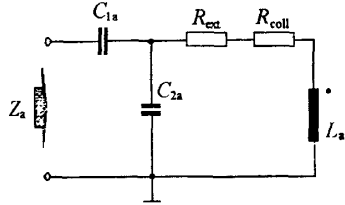


图 5 简化的匹配电路

Fig. 5 Simple matching circuit

. 匹配电路中的  $C_{1a}, C_{1b}, C_{2a}, C_{2b}$  和  $R_{\text{ext}}$  都可以由两种方法得到:

① 第一种方法是通过式(4), (5), (6) 计算得到.

$$R_{\text{ext}} = \frac{1}{2}(R_L - R), \quad (4)$$

其中,  $R_L = \frac{\omega L}{Q}, \omega = 2\pi f, f = 13.56 \text{ MHz}, Q$  为品质因素, 在 mifare 卡应用中,  $Q = 35$ .

$$C_{2a} = C_{2b} =$$

$$\frac{1}{\omega \sqrt{\left(\frac{\omega L}{R}\right)^2 - \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{1 - \frac{R}{Z_a}} + \frac{\omega L}{1 - \frac{R}{Z_a}}}}, \quad (5)$$

$$C_{1a} = C_{1b} = \frac{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C_2})}{\frac{\omega L}{C_2}(\omega L - \frac{1}{\omega C_2}) - \frac{R^2}{C_2}}. \quad (6)$$

本设计中由于没有设备对线圈的电感以及电阻进行准确的测量, 只能对其进行估算, 所以利用公式计算的这种方法将产生很大的误差, 因此在这种情况下一般采用这种方法.

② 第二种方法是利用官方提供的天线匹配电路初值进行设计, 如表 1.

表 1 显示了天线线圈电感值与电容  $C_{1a}, C_{1b}, C_{2a}, C_{2b}$  之间的对应关系, 表 1 中的电容值仅为参考值, 最终结果要由天线的调谐确定. 本文设计的天线电感估算值为  $1.3 \mu\text{H}$ , 故根据表 1, 匹配电路中  $C_{1a}$  和  $C_{1b}$  均为  $27 \text{ pF}$ ,  $C_{2a}$  和  $C_{2b}$  均为  $180 \text{ pF}$ .

表1 天线匹配电路参考值

Table 1 Reference value of antenna matching circuit

天线线圈电 感量/ $\mu\text{H}$	$C_{1a}$ /pF	$C_{1b}$ /pF	$C_{2a}$ /pF	$C_{2b}$ /pF
1.0	27	27	220	270
1.1	27	27	180    22	220
1.2	27	27	180	180    22
1.3	27	27	180	180
1.4	27	27	150	180

## (2) 实际设计

在理论设计中,匹配电路中各个电容都使用了参考值,而在实际的系统当中,由于各种因素的影响,该匹配电路不一定能取得预想的效果。所以,具体的电容值还需要由天线的调谐来确定。调试方法为:在和的两端分别并联一个可调电容,在系统工作过程中不断调节电容的大小,最终以达到调谐状态并记下可调电容的值,再加入匹配电路中。通过对整个系统的调试,最终确定匹配电路中  $C_{1a}$  和  $C_{1b}$  均为 15 pF,  $C_{2a}$  和  $C_{2b}$  均为 150 pF。并且得到了较为理想的效果。

## 2 结束语

基于 13.56 MHz 射频芯片 RC500 的 RFID 阅读器的天线设计,经实践验证,天线的有效读卡距离可达到 30 mm,并且具有良好的性能。使用此天线的阅读器运行稳定,制作成本低廉。对于 13.56 MHz RFID 阅读器的开发具有很好的参考价值和实用意义。

## 参考文献:

- [1] Finkenzeller K. 射频识别(RFID)技术[M]. 陈大才. 北京:电子工业出版社,2001.
- [2] 康行健. 天线原理与设计[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [3] 林吕禄. 天线工程手册[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [4] Philips Semiconductors. Mifare MF RC500 Highly Integrated ISO14443A Reader IC[Z]. Eindhoven, Netherlands: Philips Semiconductors, 2001.
- [5] Philips Semiconductors. EMC-Filter and Impedance Matching for MF RC500 and SL RC400[Z]. Eindhoven, Netherlands: Philips Semiconductors, 2001.

(上接第 329 页)

和分析具有很大的应用优势和价值,同时对实现医学图像存档与通信系统和远程医疗具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 全海英,杨源. DICOM 数据集与 DCM 文件格式[J]. 计算机应用,2001,21(8):14-146.
- [2] 韩学为,费向东. 数字医疗图像的显示技术及实现[J]. 微型电脑应用,2005,21(2):41-44.
- [3] 王恒,朱玉全,吴徽. DICOM 医学图像文件的信息提取及图像显示的实现[J]. 医疗设备信息,2007,22(9):1-3.
- [4] 吕晓琪,刘建勋,赵建峰. 基于 Windows 平台的 DICOM 医学影像显示技术研究[J]. 中国生物医学工程学报,2006,25(4):417-420.
- [5] 姜睿智,岳秀艳,史廷春. 基于 DCMTK 的 DICOM 医学图像显示及其调窗方法研究[J]. 计算机系统应用,2009,18(5):182-185.
- [6] 刘志健,王蓉. 基于 VTK 的医学图像系统研究[J]. CT 理论与应用研究,2005,15(2):38-42.
- [7] 邢国泉,刘柱,李义兵. Matlab 与 VC 接口在医学图像处理中的应用[J]. 中国医学影像学杂志,2008,16(6):1394-1397.
- [8] 毛宏燕,黄林鹏,孙永强. 基于 Web 服务的图像处理系统研究与实现[J]. 计算机科学,2005,32(10):190-192.

## 13.56 MHz RFID读卡器天线的设计

作者: [李宝山](#), [张慧元](#), [侯宇](#), [LI Bao-shan](#), [ZHANG Hui-yuan](#), [HOU Yu](#)  
作者单位: [李宝山, 张慧元, LI Bao-shan, ZHANG Hui-yuan \(内蒙古科技大学信息工程学院, 内蒙古, 包头, 014010\)](#), [侯宇, HOU Yu \(哈电集团\(秦皇岛\)重型装备有限公司, 河北, 秦皇岛, 066206\)](#)  
刊名: [内蒙古科技大学学报](#)  
英文刊名: [JOURNAL OF INNER MONGOLIA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY](#)  
年, 卷(期): 2009, 28(4)  
被引用次数: 0次

### 参考文献(5条)

1. [Finkenzeller K. 陈大才 射频识U\(RFID\)技术](#) 2001
2. [康行健 天线原理与设计](#) 1995
3. [林吕禄 天线工程手册](#) 2002
4. [Philips Semiconductors Mifare MF RC500 Highly Integrated IS014443A Reader IC](#) 2001
5. [Philips Semiconductors EMC-Fiher and Impedance Matching for MF RC500 and SL RC400](#) 2001

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_btgtxyxb200904011.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_btgtxyxb200904011.aspx)

授权使用: 电子科技大学(cddzkjdx), 授权号: f5d5535b-f15d-4308-a6d5-9dfe01626f12

下载时间: 2010年9月27日