

RFID读写器天线的研究与设计

郑杰，徐晶

(华中科技大学 电信系，武汉 430074)

来源：微计算机信息

摘要：本文简要介绍了RFID技术的基本工作原理，指出天线设计是RFID系统设计的关键部分。

然后介绍了RFID读写器天线的基本工作原理，指明其相应的物理基础，说明了天线设计的基本步骤，并给出了一些优化措施。

关键词：RFID；读写器；天线；磁通量

1. 引言

RFID 是 Radio Frequency Identification 的缩写，即射频识别。RFID 射频识别是一种非接触式的自动识别技术，它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据，识别工作无需人工干预，可工作于各种恶劣环境。RFID 技术可识别高速运动物体并可同时识别多个标签，操作快捷方便。

通常情况下，RFID 读写器发送的频率称为 RFID 系统的工作频率或载波频率。对于所设计的工作于高频 13.56MHz 的 RFID 读写器，其标签采用的是能量来源于读写器电磁场的无源标签。基本的工作原理是采用电磁耦合的方式使得标签从读写器耦合线圈的辐射近场中获得能量，从而达到与读写器进行数据交换的目的，这一过程如图 1-1 所示。

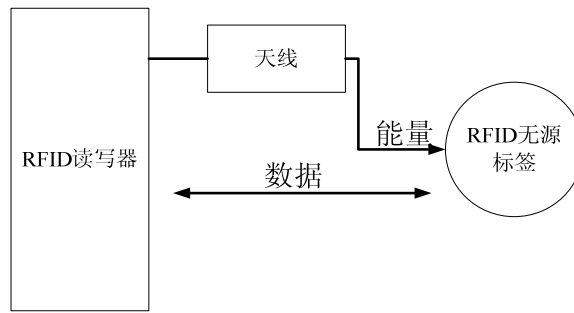


图 1-1 RFID 读写器与标签耦合示意图

由此可见，在该无源电感耦合式射频识别系统中，读写器的天线起着重要作用。一方面，无源的 RFID 标签要启动电路工作需要通过天线在读写器天线产生的电磁场中获得足够的能量；另一方面，天线决定了 RFID 标签与读写器之间的通讯信道和通讯方式。因此研究该 13.56MHz RFID 系统的天线设计有着重要的意义，本文旨在对该系统的天线设计做一个综合性的研究与说明。

2. 天线设计的物理基础

对于一个 RFID 系统，当其所处理的标签进入到读写器的电磁场范围后，标签天线上就会产生感应电压，从而开始对存储电容充电，当充电达到了一定的电荷量以后标签芯片就可以开始工作，这一过程可以通过电感变压器模型来进行模拟，如图 2-1 所示。

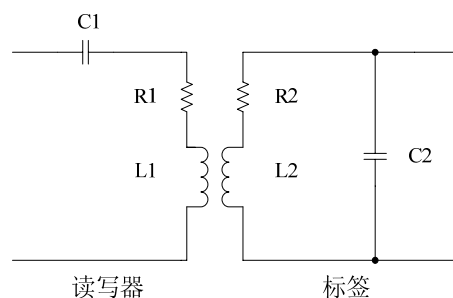


图 2-1 读写器与标签间的等效电路图

读写器通过天线将电磁场能量传递给标签。常见的一般都是环形天线，这种天线是边长为 a 的方形导体回路。假设在离该天线中心垂直距离为 x 处的磁感应强度为 B ，那么 B 的大

小可以通过①式来进行计算：

$$B = \frac{\mu_0 N I a^2}{2\pi \sqrt{\frac{a^2}{2} + x^2} [(\frac{a}{2})^2 + x^2]} \quad ①$$

式中： μ_0 为自由空间的介电常数($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$)； N 为环形天线的匝数； I 为环形天线中的电流。

我们注意到，当 $x^2 \gg a^2$ 时，①式可以简化为：

$$B = \frac{\mu_0 N I a^2}{2\pi x^3} \quad ②$$

由此可以得到一个结论，即某一点处的磁感应强度 B 与该点距环形天线中心的距离 x 有关， B 反比于 x^3 。随着 x 的增大 B 会非常迅速的减小，这也就是 RFID 系统读写距离受限的主要原因。

由电磁感应定律可知，标签天线上的感应电压为：

$$V = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad ③$$

式中： N 为标签天线线圈的匝数； Φ 为穿过标签天线的磁通量。

假设标签天线的面积为 S ， α 为读写器天线产生的磁感应强度 B 与标签天线的夹角。

显然，当读写器天线与标签天线平行，即 $\alpha = 90^\circ$ 时， Φ 全部穿过标签天线，由此得到标签天线上产生的最大感应电压：

$$V = -\frac{\mu_0 N_1 N_2 (\pi b^2)}{2(a^2 + x^2)^{3/2}} \frac{di}{dt} \quad ④$$

式中： V 为标签天线上的感应电压； N_1 为读写器天线的线圈匝数； N_2 为标签天线的线圈匝数； a 为读写器环形天线的边长； b 为标签天线的边长； x 为读写器天线与标签天线间的距离； i 为流经读写器天线的瞬时电流。

由①式和④式可以推得读写器的磁场在标签天线上产生的感应直流电压 V_{DC} ：

$$V_{DC} = 2\pi fNSQB \sin \alpha \quad (5)$$

式中：N 为标签线圈的线圈匝数；S 为标签天线的面积；Q 为标签线圈的品质因数。

3. 天线的设计与优化

3.1 安培匝数 NI 最小

观察①式，当一个 RFID 系统正常工作时所需要的磁感应强度 B 一定时，安培匝数 NI 由环形天线的边长 a 与标签与读写器天线的距离 x 来共同决定。对①式做如下变换：

$$NI = \frac{2\pi B \sqrt{\frac{a^2}{2} + x^2} [(\frac{a}{2})^2 + x^2]}{\mu_0 a^2} \quad (6)$$

由⑤式可知，要增加 RFID 系统的读写距离，可以增加标签天线产生的感应电压，亦即需要增加磁感应强度 B 的大小；由⑥式知可以通过增加 NI 来达到增加 B 的目的。但是在实际运用中增大 NI 会带来一些负面影响。因此，有必要在使读写器产生的磁感应强度 B 尽可能大的情况下保持 NI 尽可能小。

下面以环形天线为例来定量的说明天线大小与安培匝数 NI 的关系。

观察⑥式，此为 NI 关于天线边长 a 的一个方程。为了求得 NI 与 a 的关系，对⑥式右边部分对 a 求导，并令其为 0，可得：

$$\text{当 } a^2 = (2 + 2\sqrt{5})x^2 \quad (7)$$

时，NI 取得最小值。

通过⑦式不难理解当读写距离 x 增大时，要保证 NI 尽可能小，必然要增加天线的边长，这样就会造成上述所说的负面影响。所以 NI 和 a 都要尽可能的小必然会造成矛盾，这样就需要折衷考虑，使得 NI 和 a 取一个合适的值而不会给 RFID 读写器系统的成本和读写距离效率等带来太大的影响。

3.2 天线的品质因数

天线的性能与它的品质因数 Q 有关。一般而言， Q 一方面衡量能量的传输效率；另一方面也衡量频率的选择性。 Q 值越高，天线的输出能量越高，然而太高的 Q 值会干扰读写器的带通特性。对于并联谐振回路， Q 可以定义为：

$$Q = 2\pi fRC = \frac{R}{2\pi fL} \quad (f \text{ 在本系统中为 } 13.56\text{MHz}) \quad \textcircled{8}$$

式中： f 为谐振频率； R 为负载电阻； L 为回路电感； C 为回路电容。

经验表明，当品质因数 $Q=20$ 时，整个系统的带通特性与带宽都比较好。一般 RFID 系统的品质因数在 10-30 内取值，最大不要超过 60。如果要降低品质因数 Q ，可以通过并联一个电阻 R 来解决。在我们实际的解决方法中，对 R 取值为 20 欧。

3.3 天线的匹配

由于本文所述的 RFID 读写器工作在 13.56MHz，为了有效的抑制功率反射、寄生辐射等高频效应，普遍的做法是将读写器天线通过同轴电缆连接到读写器的高频模块。同轴电缆的阻抗一般都是 50Ω 。因此，天线的阻抗匹配就是通过一定的无源匹配电路改变读写器天线的输入阻抗，使其与同轴电缆的阻抗保持一致，这样就可以使能量通过同轴电缆几乎无损失的从读写器传送出去。

3.4 天线设计的步骤

综上所述，我们现在可以将一个 RFID 天线设计的步骤总结如下：

- (1)根据实际系统的需求首先确定 RFID 读写器读取标签的距离 x 。
- (2)根据⑦式可以确定环形天线的边长 a 。
- (3)由此可以根据⑥式来计算安培匝数 NI ，从而可以确定一个环形天线的两个重要参

数 a 和 NI 。

(4)通过 3.2 节所述的方法以及⑧式可以大致确定天线的品质因数 Q 。如果不合适的话可以适当的对其进行调整。

(5)按照 3.3 节的方法进行天线的匹配。

4. 结语

随着 RFID 技术的不断完善, RFID 系统必将在以后的工作生活中扮演更为重要的角色。而 RFID 系统的实际应用关键在于其天线设计上。按照本文提出的 RFID 天线设计优化方法,可以使天线结构简单,设计工作简单快捷,并且调试方便,同时可以提高天线的效率。在实际使用的系统中,参照文中天线设计优化方法,对使用中的天线进行了改进,结果表明对于同一种标签,改进后的天线具有更大的识别距离和更高的能量利用率,使整个系统的使用价值得以提高。因此,该天线设计优化方法对于 RFID 系统的天线设计具有一定的参考价值。

5. 本文创新点

本文作者创新点在于通过量化的物理学公式结合数学分析方法,对 RFID 系统读写器天线的设计及优化给出了具体的方法和步骤。

参考文献

- [1]王宏, RFID 自动识别设备的分类及选型初探, 微计算机信息, 2005 年第 21 卷第 1 期
- [2]刘欣, 杨晖等, 远距离 RFID 天线设计, 仪表技术, 2005.5
- [3]YOUNG LEE. RFID Coil Design. Microchip Technology Inc, AN678. 1998
- [4]黄涛, 邹雪城等, 13.56MHz 射频识别系统性能的优化, 计算机与数字工程, 第 33

卷(2005)第 5 期

[5]尹寒, 陈峰, 近耦合射频识别系统的工作原理及天线设计, 单片机与嵌入式系统应用,

2002.1