

反射调制式 RFID 阅读器研究

赖晓铮，赖声礼，刘荣

华南理工大学，电子与信息学院，广州，510640

1 反射调制式 RFID 阅读器的工作原理

射频识别（RFID）技术是利用电磁感应或微波能量进行非接触的双向通信的自动识别技术^[1]。UHF 频段 RFID 系统主要采用反射调制（Back-Scattered）式通信方式^{[2][3]}，如图 1 所示：RFID 阅读器将发射信号调制到载波上，发送给 RFID 标签，随后维持一段时间的连续无调制载波；标签从阅读器的发射信号和连续载波中获取能量，解调发射信号，并将返回信息调制到来自阅读器的连续载波上，反射给阅读器。



图 1 反射调制式 RFID 系统工作原理

由于 RFID 系统采用幅度调制（ASK）方式，所以一般可以采用零中频混频接收电路和零中频检波电路^[4]，如图 2 所示。零中频检波电路是通过二极管直接检波的方式得到标签返回的基带信号，其优点是电路简单，成本低。而且二极管可以承受大功率射频信号，不需要衰减器，接收灵敏度较高^[5]。

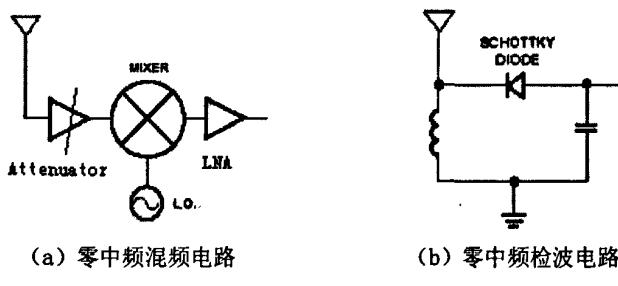


图 2 RFID 阅读器零中频接收电路结构

2 零中频检波电路的“盲点”问题

在零中频检波电路接收标签返回信号的过程中，在检波电路前端始终存在两路叠加的信号：发射通道泄漏的强载波信号，和标签返回的信号。由于标签与阅读器之间的相对位置是不确定的，甚至是移动的，所以这两路信号的相位差可以是任意值。则两路信号的叠加可能在检波二极管处产生“盲点”。

假设在阅读器接收标签返回信号的过程中，从发射通道泄漏到接收通道上的连续波信号可表示为

$$V_t = A \cos[2\pi(f - \frac{x}{\lambda})] \quad (1)$$

标签返回信号表示为：

$$V_r = B \cos[2\pi(f + \frac{x}{\lambda}) + \theta] \quad (2)$$

式(1)和(2)中 A、B 为发射信号和接收信号的振幅，且 $B \ll A$ 。f 为载波频率，θ 为连续波信号与接收信号间的相位差，跟天线和标签之间的距离有关。x 为接收通道微带传输线上检波二极管的位置。接收通道上任一点 x 上的合成信号载波 V 均为发射信号载波 V_t 和接收信号载波 V_r 混频叠加之和，由(1)和(2)式可得：

$$V = A \cos[2\pi(f - \frac{x}{\lambda})] + B \cos[2\pi(f + \frac{x}{\lambda}) + \theta] \quad (3)$$

则检波二极管所在的 x 点处输出检波电压幅值为

$$|V| = A \sqrt{1 + \tau^2 + 2\tau \cos(\frac{4\pi x}{\lambda} + \theta)} , \tau = \frac{B}{A} \quad (4)$$

假设二极管处于 x_1 点，使得：

$$\tau^2 + 2\tau \cos(\frac{4\pi x_1}{\lambda} + \theta) = 0 \quad (5)$$

则 $|V_1| = A$ ， x_1 点载波电压幅值与接收信号幅度变化无关，检波器失效。由式(5)可求得：

$$x_1 = \frac{\lambda}{4\pi} [\cos^{-1}(-\frac{\tau}{2}) - \theta] \quad (6)$$

由于标签与阅读器之间的空间关系是不确定的，对任意的返回信号（即任意的 τ），都有一个 x_1 点与之对应，在此点上检波二极管无法判断是否存在有标签返回的信号。反之，无论检波二极管处于传输线上的任意点 x' ，都将有返回信号使得在 x' 点上的检波二极管失效：

$$\tau' = -2 \cos(\frac{4\pi x'}{\lambda} + \theta) \quad (7)$$

为保证对任意情况下标签返回信号的有效提取，必须再增加一路检波通道 x_2 点，使得 x_2 点与 x_1 点相关性最强，即当 $|V_1| = A$ 时， $|V_2| = A(1 + \tau)$ 达到最大值。

此时，有 $\cos\left(\frac{4\pi x_2}{\lambda} + \theta\right) = 1$ ，求得：

$$x_2 = \frac{\lambda}{4\pi}(2n\pi - \theta) \quad (8)$$

则有

$$x_2 - x_1 = \frac{\lambda}{4\pi}[2n\pi - \cos^{-1}\left(-\frac{\tau}{2}\right)] \quad (9)$$

因为 $\tau = \frac{B}{A}$ ，而 $B \ll A$ ，故可简化为 $\tau \approx 0$ ，则有

$$x_2 - x_1 = \frac{\lambda}{4\pi}(2n\pi - \frac{\pi}{2}) = n\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{8} \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (10)$$

即 x_2 点与 x_1 点之间相隔 $\frac{\lambda}{8}$ ，两通道相关性最强。采用两路通道直接检波法，将可以有效

捕捉任意的返回信号 τ ，对 RFID 标签与阅读器之间的位置没有任何要求。

3 实际电路制作与测试

根据上述推导，本文实际制作的 RFID 四通道零中频检波电路，如图 3 所示。电路板右侧有横置的印刷标记：作者所在学校——华南理工大学的英文简写（S C U T, South China University of Technology）。

图中 D_1 和 D_3 , D_2 和 D_4 相互间隔 $\frac{\lambda}{4}$ ，组成差分检波通道 I 和 II，可以有效的抑制共模噪声干扰，提高信号检波的精确度。检波通道 I 和 II 间隔 $\frac{\lambda}{8}$ （即 D_1 和 D_2 、 D_3 和 D_4 两两相隔 $\frac{\lambda}{8}$ ），相关性最强，可以有效消除信号盲区的问题。

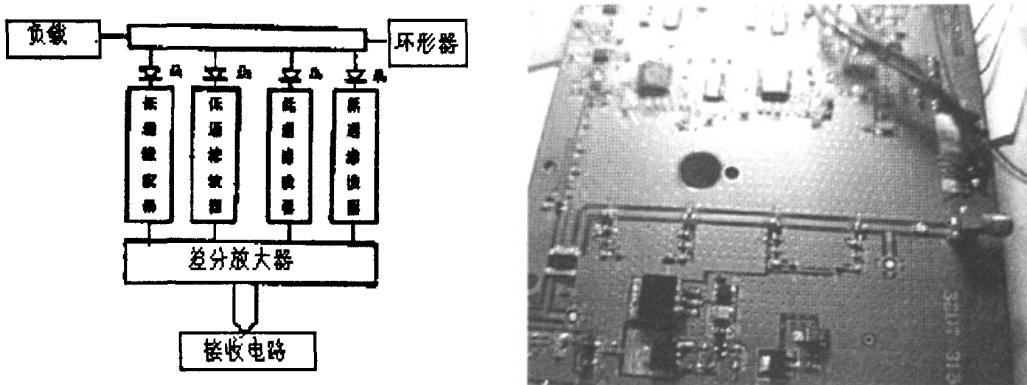


图 3 RFID 阅读器接收电路图

在距离 RFID 阅读器前方 3 米的半圆周上任意选取了若干位置，放置 RFID 标签实测到的标签返回信号如图 4 所示：经多级放大后 RFID 标签基带信号幅度在 100mV 左右，且方波信号

的形状稳定，与标签所处圆周上的位置无关。证明了本文提出的多通道直接检波接收电路的可行性。

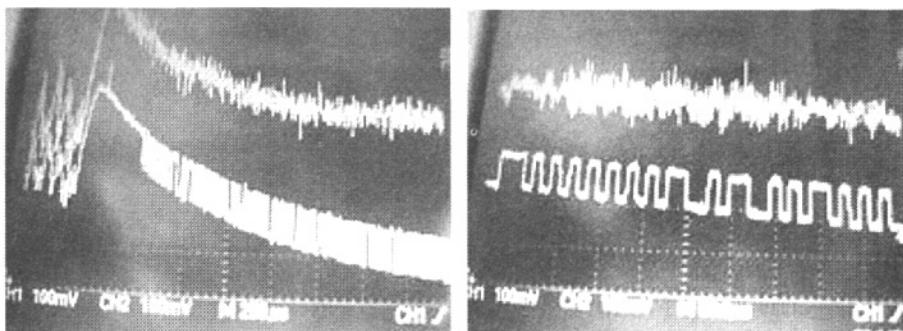


图 4 标签返回信号的实测图

4 结论

本文对 UHF 频段反射调制式 RFID 系统的射频方案进行了理论分析和实验测试，证明基于二极管检波电路的反射调制式 RFID 系统能够有效的将任意位置的标签返回信号提取出来。

参考文献

1. R.F. Harrington, Field Measurement Using Active Scatters, IEEE Trans., Vol. MIT-11, PP.454-457, 1963
2. Rao K V S. An overview of backscattered radio frequency identification system (RFID)[J], Microwave Conference, 1999 Asia Pacific, Volume 3, 1999, 746-749.
3. Moe Rahnema, "Overview of the GSM System and Protocol Architecture", IEEE Communications Magazine, Apr.1993
4. Jeremy A. Landt, Los Alamos and N. Mex. Multichannel Homodyne Receiver. IEEE Trans. On Microwave Theory Rech, 1982,27(7): 1024~1030.
5. 张益强、郑铭、张其善, 远距离无源射频识别系统设计[J], 遥测遥控, 2004 年 04 期: 45-49

Research of the Back-Scattered RFID Reader

Lai Xiaozheng, Lai Shengli, Liu Rong

South China University of Technology, Electronic & Information College, Guangzhou, 510640,