

基于功率检波技术的声表面波标签识别方法

钟悦芸¹, 陈智军^{1,2}, 孙 聪¹, 王昕辰¹, 童 锐¹

(1. 南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016; 2. 南京大学 近代声学教育部重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘 要: 声表面波射频识别系统应用前景广阔, 选择结构简单、解码可靠的声表面波标签识别方法十分重要。分析比较了基于 IQ 解调和功率检波两种不同技术的声表面波标签识别方法, 基于功率检波技术的识别方法更具优势。设计制作了基于功率检波技术的阅读器, 在测试了阅读器关键元件对数功率检波器静态性能和动态性能的基础上, 结合声表面波标签进一步验证了阅读器识别标签编码的能力。实验结果表明, 采用功率检波技术可以实现声表面波标签编码的准确识别, 且阅读器电路结构更简单, 成本更低。

关键词: 功率检波; 声表面波; 射频识别; 阅读器

中图分类号: TN85 **文献标识码:** A

The Identification Method of SAW Tag Based on Power Detection Technology

ZHONG Yueyun¹, CHEN Zhijun^{1,2}, SUN Cong¹, WANG Xinchen¹, TONG Rui¹

(1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Key Lab. of Modern Acoustics, Ministry of Education, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: As SAW RFID system has broad application prospects, it is vital to select an effective and uncomplicated method to identify SAW tags accurately. Through analysis and comparison of two different identification methods of SAW tags which are based on IQ demodulation technology and power detection technology respectively, the power detection technology based identification method has more advantages. A SAW-tag reader based on power detection technology is designed and manufactured. The static and dynamic performances of the power detector, which is the key part of the reader, are tested. Furthermore, utilizing the SAW tag, the practicability of the reader for SAW tag identification is verified. The experimental results show that the power detection technology based method can identify SAW tag accurately, and has simpler reader circuit structure and lower cost.

Key words: power detection; surface acoustic wave; radio frequency identification; reader

0 引言

随着射频识别技术(RFID)的不断发展, 其应用范围不断扩大, 不仅可用于生产、物流、交通管理, 还可用于军事、航空、航天等领域^[1]。典型的 RFID 系统采用集成电路(IC)标签, 然而其无法应用于高温、高速移动、强电磁干扰等环境。基于声表面波(SAW)技术的标签可实现在上述恶劣环境中的正常工作, 从而成为 IC 标签的良好补充^[1-3]。此外, 声表面波射频识别技术在普通 RFID 应用的基础上, 还可用来测量压力、扭矩和温度等参数^[4-7]。因此, SAW RFID 系统具有极其广阔的应用前景。

SAW RFID 系统通常由 SAW 标签和阅读器两部分组成。SAW 标签用于标识目标物体, 典型编码方式有开关键控编码、相位调制编码和脉冲位置编码等。其中, 脉冲位置编码是目前最常用, 也是商业化标签最主要的一种编码方式^[1]。阅读器用于识别标签编码, 根据不同的编码方式, 可以选择合适的阅读器结构。本文提出一种基于功率检波技术的 SAW 标签识别方法, 在保证识别准确性与可靠性的前提下, 阅读器的电路结构更简单, 成本更低。

1 SAW 标签识别方法分类

SAW RFID 系统的工作原理如图 1 所示。首

收稿日期: 2015-04-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51475240); 航空科学基金资助项目(2014ZD52053); 江苏高校优势学科建设工程基金资助项目

作者简介: 钟悦芸(1991-), 女, 江苏昆山山人, 硕士生, 主要从事声表面波传感与识别方向的研究。通信作者: 陈智军, 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: zjchen@nuaa.edu.cn。

先由阅读器发射查询脉冲信号,激励 SAW 标签;由于 SAW 标签是反射式标签,因此当具有多个反射栅时,产生的回波信号为一系列脉冲串^[8-9];最后由阅读器接收并分析处理回波信号,识别标签编码。对于任何编码方式的标签,其反射栅位置都是经过精确设计的,而回波脉冲串间的时延对应着反射栅的位置,因此,可通过检测回波信号包络来分析回波脉冲串峰点间的时延,从而解得标签编码^[10]。据此,我们分析下面两种不同的 SAW 标签识别方法:一种是常用的基于 IQ 解调技术的标签识别方法,另一种则是本文提出的基于功率检波技术的识别方法。



图1 SAW RFID系统的工作原理

1.1 基于 IQ 解调技术的识别方法

SAW RFID 系统的阅读器采用下变频技术识别 SAW 标签。针对下变频技术,早期受到高频滤波器的限制,采用超外差式实现标签识别^[10],然而该方法电路结构复杂,且易受像频干扰、组合频率干扰和中频干扰等。因此,在下变频技术的基础上,目前通常采用零中频式 IQ 解调方式实现标签识别^[11-12],其基本原理如图 2 所示。IQ 解调器的输入为差分信号,因此解调回波信号时,需先使用巴伦将单端信号转为差分信号;然后,输入的差分信号分别与两路正交的本振信号进行混频,得到两路信号作为 IQ 解调器的输出;最后,这两路输出信号经过低通滤波器处理,得到正交的 I、Q 两路基带信号。当通过检测回波信号包络识别 SAW 标签编码时,仅需提取 I、Q 两路基带信号的幅度信息,便可还原回波信号包络,从而识别标签编码。

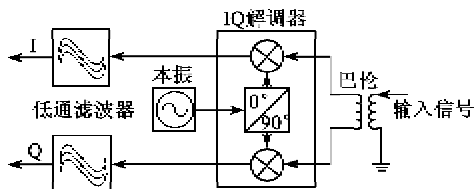


图2 I、Q解调的基本原理

其中,实现零中频 IQ 解调的关键在于本振信号,主要有两方面的要求:

1) 要求本振信号和输入信号载波频率相同,否

则解调后的信号会产生频差,不利于信号恢复。

2) 要求两路本振信号完全正交且幅度相等,否则由 I、Q 两路信号恢复原信号时会产生虚假信号。

1.2 基于功率检波技术的识别方法

本文 SAW RFID 系统的阅读器采用功率检波技术实现对标签的识别,其原理框图如图 3 所示。与下变频技术不同,采用功率检波技术无需混频,回波信号可直接输入对数功率检波器。输入的回波信号首先经过多级增益相同的限幅放大器放大,每级放大器输出经全波整流电路 (DET) 后由加法器相加,最后通过低通滤波器处理,实时输出与输入回波信号功率大小成正比的直流电压^[13]。由此,根据输出的直流电压,便可还原回波信号包络,从而识别标签编码。

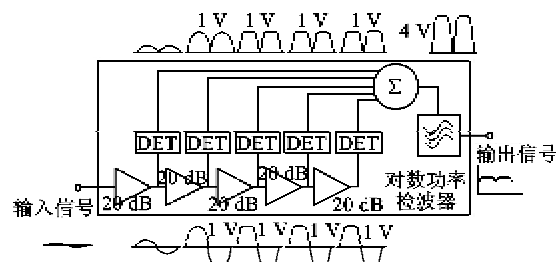


图3 对数功率检波的原理

比较基于 IQ 解调与功率检波两种不同技术的标签识别方法,可得到结论如下:

1) 采用 IQ 解调技术,阅读器解调电路较复杂,除解调芯片外,还需外接巴伦、本振源和滤波器;而采用功率检波技术,阅读器解调电路只需对数功率检波器,便可达到 IQ 解调的效果,可简化电路结构,降低成本。

2) 采用 IQ 解调技术涉及混频,对本振源的要求较高。一方面,即使保证了产生混频信号与载波信号的本振源同源,也难以保证解调信号没有频差;另一方面,想要保证 90° 移相功分器后的两路本振信号完全正交且幅值相等较难。因此,采用 I、Q 两路幅度信息求解信号包络时,脉冲串峰点可能会发生偏移,从而导致标签解码错误;而采用功率检波技术不涉及混频,直接实时地将回波信号功率信息转为电压信息,由此得到的信号包络所对应的脉冲串峰点间距更准确,即解码更精确。

3) 采用双通道的 IQ 解调技术,两路通道都将引入噪声。采用单通道的功率检波技术更可靠。

由此可见,采用功率检波技术识别标签编码更具优势。

2 基于功率检波技术的阅读器设计

基于功率检波技术的阅读器设计主要包括产生开关键控(OOK)调制查询脉冲信号的发射链路设计^[14]和采用功率检波技术的接收链路设计,其整体结构如图 4 所示。阅读器发射链路由本振、调制开关、增益可变放大器和功率放大器组成,接收链路由低噪声放大器、带通滤波器、对数功率检波器和比较器组成,此外还包括阅读器收发链路隔离开关和阅读器天线。

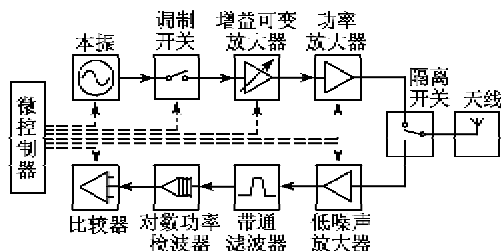


图 4 基于功率检波技术的阅读器结构

在阅读器的发射链路中,为保证阅读器与标签通信的可靠性,本振采用温度稳定性和频率准确性较好的锁相环宽带频率合成器,实现高频载波的产生。为保证调制时间准确度,减少对接收链路的干扰及降低能量损耗,调制开关采用吸收型、高隔离度、高导通速率、低插入损耗的单刀单掷开关,实现高频载波信号的 OOK 调制。采用大增益范围的增益可变放大器和功率放大器,实现发射信号功率的可调控制;为避免发射脉冲损坏接收回路和干扰回波信号,隔离开关采用高隔离度的单刀双掷开关,配合阅读器天线,可实现阅读器收发两路的切换,完成信号的发射与接收^[15-16]。阅读器发射链路的工作时序如图 5 所示。图中, τ 为查询脉冲宽度, T 为查询脉冲周期。首先开启本振,增益可变放大器和功率放大器,并保持不变;然后控制隔离开关接通阅读器发射链路,采用调制开关产生查询脉冲信号发射出去;经过一段时间后,即标签回波信号到达阅读器前,控制隔离开关接通阅读器接收链路。由此不断往复,实时识别标签编码。

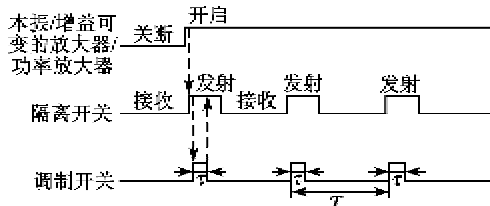


图 5 阅读器发射链路的工作时序

阅读器接收链路是实现基于功率检波技术的标签识别方法的关键。在阅读器的接收链路中,采用大增益、小噪声系数的低噪声放大器,实现微弱回波信号的放大。采用低插入损耗、通带内平坦、带外衰减快的 SAW 带通滤波器,既可在控制带宽的基础上实现有用信号的提取,又可滤去干扰噪声信号;采用高灵敏度、高响应速度的对数功率检波器,实时检测微弱回波信号的功率强度,并将其变为电压信号,实现回波信号包络的还原。采用比较器可将输入脉冲信号转为基带可处理的数字逻辑电平,完成模拟信号到数字信号的转换。阅读器接收链路对回波信号进行变换的整个过程如图 6 所示。实际回波信号是带有高频载波的脉冲信号;首先经功率检波器处理,提取了回波信号包络;最后经比较器处理,将模拟回波信号转为数字逻辑电平。

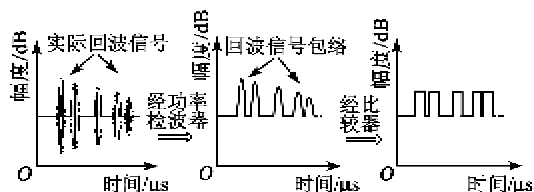


图 6 回波信号变换示意图

当阅读器检测到回波脉冲包络时,通常采用高速 A/D 将模拟回波信号变为数字信号,再由解调算法求解编码。但本设计方案提出采用比较器直接将脉冲信号转为数字逻辑电平,既可省去独立的复杂且高成本的高速 A/D,又可直接与数字电路接口,因此具有独特优势。

3 实验结果与分析

为验证功率检波技术用于 SAW 标签识别的效果,制作了基于功率检波技术的阅读器。由于对数功率检波器是阅读器检测回波信号的核心元件,因此首先对其进行了静态和动态性能的测试。在此基础上,结合 SAW 标签,进一步验证了阅读器识别脉冲位置编码标签的能力。

3.1 功率检波器性能测试

阅读器接收链路实物如图 7 所示。其中,对数功率检波器采用了 ADL5513,其工作频率范围为 1 MHz~4 GHz,动态范围为 80 dB,灵敏度达到 -70 dBm,响应时间约为 20 ns。

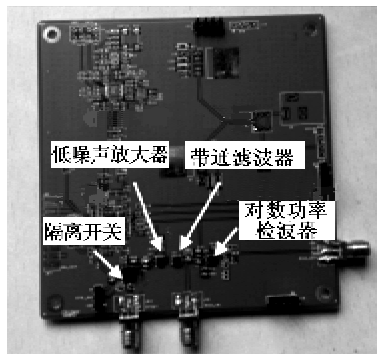


图7 阅读器接收链路实物

对数功率检波器 ADL5513 静态性能测试结果如表1所示。待测信号由矢量网络分析仪产生,测试不同输入功率下的输出电压值,并与数据手册进行比较。由于网络分析仪最小输入功率小于 -70 dBm,故实际测试时输入功率仅从 -50 dBm 变化至 10 dBm。与之对应,对数功率检波器输出电压与输入功率之间的关系如图8所示。

表1 对数功率检波器静态性能测试结果

输入功率/dBm	-50	-40	-30	-20
输出电压(手册)/V	0.80	1.00	1.20	1.43
输出电压(实测)/V	0.91	1.03	1.23	1.44
输入功率/dBm	-10	0	10	
输出电压(手册)/V	1.65	1.85	2.00	
输出电压(实测)/V	1.66	1.87	2.01	

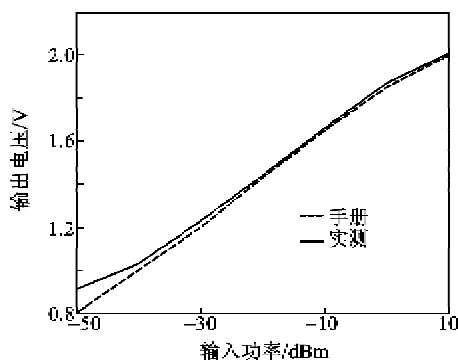
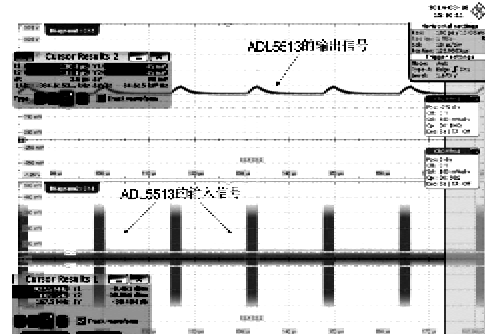


图8 对数功率检波器输出电压与输入功率之间的关系

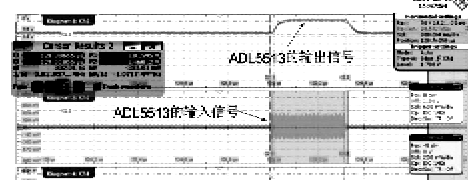
由图8可知,实际输出电压随输入功率变化的趋势与手册基本一致,因此可判断 ADL5513 工作正常,且具有高灵敏度和大动态范围。其中,实际输出电压略高于芯片手册给出的输出电压,可能是由于 ADL5513 工作频段较大,引入了环境噪声所致,但这并不影响其检测信号的回波包络。

在上述静态性能测试的基础上,对功率检波器 ADL5513 的动态响应能力进行了测试,实验结果如图9所示。由于 SAW 标签的回波脉冲信号类似于

阅读器发射脉冲信号,故 ADL5513 的输入信号由阅读器发射信号模拟。



(a) 输入脉冲信号宽度为42 ns



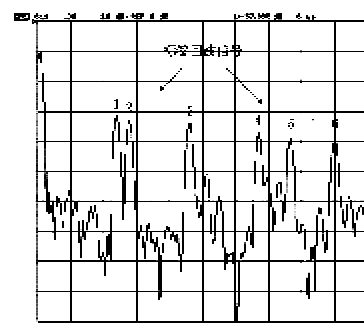
(b) 输入脉冲信号宽度为332 ns

图9 功率检波器的动态响应测试结果

由图9可知,当输入脉冲信号宽度为 42 ns 时,由于功率检波器的上升与下降时间均约 20 ns,因此无法及时响应,导致检测到的信号包络失真;当输入脉冲信号宽度为 332 ns 时,检测到的信号包络与真实信号基本一致。因此,当要求阅读器发射脉冲宽度较窄时,为提高功率检波器的响应时间。

3.2 基于功率检波技术的标签识别测试

为验证基于功率检波技术的 SAW 标签识别方法,搭建了 SAW RFID 系统。通过网络分析仪测得的 SAW 标签回波信号如图10(a)所示,通过功率检波阅读器测得的相应信号如图10(b)所示。其中,标签包括6个反射栅,分别用数字1~6表示其对应的回波脉冲。



(a) 网络分析仪测试结果

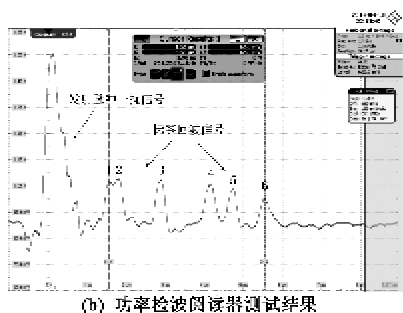


图10 声表面波标签回波信号测试结果

分析比较图10(a)、(b),可得到结论如下:

1) 采用功率检波技术识别标签时,可直接检测到平滑的回波信号包络,而无需后续滤波等处理。

2) 阅读器测试结果中的回波脉冲位置与标签设计的编码位置一致,虽然比网络分析仪测试结果的底噪大、信噪比低,但仍能可靠识别。

3) 虽然阅读器测试结果中的标签回波脉冲1和2发生了混叠,但回波脉冲的峰点并未淹没,因此通过算法仍可精确判断回波脉冲串峰点间的时延,从而确定标签编码。

因此,采用功率检波技术可实现 SAW 标签编码的准确识别,且电路结构比采用下混频方法的 IQ 解调技术简单,成本更低。

4 结束语

本文通过分析和比较两种不同的 SAW 标签识别方法表明,与基于下混频方法的 IQ 解调技术相比,基于功率检波技术的识别方法具有更简单的电路结构,且解码更精确。设计制作了相应的功率检波阅读器,并对其核心元件对数功率检波器的工作性能和标签识别能力进行了测试。实验结果表明,基于功率检波技术的识别方法能以更简单的电路结构实现标签编码的准确识别。由于功率检波器存在响应时间,响应时间越短,成本越高。阅读器的发射脉冲宽度越窄,所需功率检波器响应时间越短。因此,设计基于功率检波技术的阅读器时,需结合阅读器的发射脉冲宽度来选择功率检波器,以兼顾性能和成本。

参考文献:

[1] 陈艺慧,郑高峰,孙道恒. 声表面波射频识别技术及其发展[J]. 电子机械工程,2012,28(3):1-6.
CHEN Y H, ZHENG G F, SUN D H. Surface acoustic wave radio frequency identification technology and its development [J]. Electro-Mechanical Engineering, 2012, 28(3):1-6.

[2] HAGELAUER A, USSMUELLER T, WEIGEL R. SAW and CMOS RFID transponder-based wireless systems and their applications[C]//Baltimore, MD: 2012 IEEE International Frequency Control Symposium, 2012.

[3] PLESSKY V P, REINDL L M. Review on SAW RFID tags[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2010, 57(3):654-668.

[4] 夏前亮,陈智军,张小宁,等. 用于液体介电常数检测的乐甫波器件测试系统[J]. 仪器仪表学报, 2012, 34(11):2523-2528.
XIA Q L, CHEN Z H, ZHANG X N, et al. Love wave device testing system for liquid dielectric constant measurement[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 34(11):2523-2528.

[5] 蒋玲,陈智军,高智翔,等. 反射率补偿型声表面波标签的温度测量[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(10):2372-2377.
JIANG L, CHEN Z J, GAO Z X, et al. A new temperature measurement algorithm based on surface acoustic wave tags[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(10):2372-2377.

[6] SPRINGER A, WEIGEL R, POHL A, et al. Wireless identification and sensing using surface acoustic wave devices[J]. Mechatronics, 1999, 9(7):745-756.

[7] 章安良,朱大中. 双声路声表面波传感器测量系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2006, 20(4):42-45.
ZHANG A L, ZHU D Z. Study on measurement system of dual-path acoustic surface wave sensor[J]. Journal of Electronic Measurement And Instrument, 2006, 20(4):42-45.

[8] 韩韬,施文康,吴嘉慧,等. 无线声表面波辨识标签的分析和设计[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(1):36-39.
HAN T, SHI W K, WU J H, et al. Analysis and design of radio SAW ID-tags[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24(1):36-39.

[9] 黄鑫,陈智军,陈涛,等. 声表面波标签的仿真与实验研究[J]. 中国机械工程, 2014, 25(5):651-656.
HUANG X, CHEN Z J, CHEN T, et al. Simulation and experimental research of SAW tag[J]. China Mechanical Engineering, 2014, 25(5):651-656.

[10] 李庆亮. 声表面波射频辨识标签与系统研究[D]. 上海:上海交通大学,2008.

[11] KRISHNAMURTHY S, BAZUIN B J, ATASHBAR M Z. Wireless SAW sensors reader: architecture and design[C]//Lincoln, NE: 2005 IEEE International Conference on Electro Information Technology, 2005.

[12] 卢旭. 声表面波射频识别研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.

(下转第68页)