

谐振式声表面波温度传感系统查询器设计

蒋平英, 罗山焱, 龙 嶂, 施建锋, 丁 毅, 唐小龙, 陈婷婷

(中国电子科技集团公司第26研究所, 重庆 400060)

摘 要:基于声表面波的温度传感器是无源无线的,可用于开关柜等电力设备的在线温度监测。系统中查询器部分由分离元器件组合而成。发射链路采用直接数字频率合成器与本振混频,可快速切换发射频率;接收链路采用二次变频技术,防止发射信号对接收通路影响;精确控制发射接收信号时序,提高测量精度及距离。对传感头在 $-40\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下测试数据进行了详细的分析,测温精度可达 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在良好电磁环境下,最大测温距离可达1.5 m。

关键词:温度传感器;声表面波;谐振式;查询器;射频收发;基带处理

中图分类号:TN65;TP212 **文献标识码:**A

Interrogation Design of SAW Resonator Temperature Sensor System

JIANG Pingying, LUO Shanyan, LONG Zheng, SHI Jianfeng, DING Yi, TANG Xiaolong, CHEN Tingting

(26th Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: Temperature sensor system based on surface acoustic wave resonator (SAWR) is passive and wireless which can be used in substation equipment, such as switchgear. The interrogation unit is assembled with discrete components. The direct digital synthesizer(DDS) mixed with the local oscillator was adopted in RF transmitter chain circuit for satisfying fast frequency changing. The double heterodyne down-conversion was adopted in RF receiver chain for decreasing noise from transmitting. The timing of transmit and receive was exactly controlled for improving the measure precision and distance. Testing data form the sensors at $-40\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ circumstance was analyzed, giving the temperature precision of $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. In good electromagnetic circumstance, the maxim measure distance could reach to 1.5 m.

Key words: temperature sensor; surface acoustic wave (SAW); resonator; interrogation; RF transceiver; baseband process

0 引言

声表面波(SAW)传感器是SAW技术的一个新的应用领域。到目前为止,国际上已研制出种类众多的SAW传感器。由于SAW器件的自身储能机制和良好的高频特性,因此可被设计为无源无线的传感器件^[1-2],用于不易接触或无法接触环境下的参数检测。SAW传感器主要分为延迟线型和谐振器型两类^[3]。脉冲查询式延迟线传感器,占用带宽较宽,连续调频波查询式延迟线型传感器,耗费的查询时间较长。而谐振器传感器,由于比相同尺寸的延迟线具有更低的插入损耗,更高的品质因数,因此,接收器的带宽可更窄,查询时间可更快。但缺点是谐振器不能进行编码。在对编码容量要求较低的

场合可通过频分方式对传感器进行区分。

本文详细介绍了基于声表面波谐振器(SAWR)的无源无线温度传感器查询器的硬件设计。该查询器具有3个天线端口,每个端口可查询6个不同频点的谐振式传感器,即具有6个通道。其最大发射功率为10 dBm,且功率可调;测温范围为 $-25\sim +125\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;最远测温距离可达1.5 m。该系统已在变电站的开关柜中有所使用。

1 工作原理

1.1 系统工作原理

图1为无线谐振式声表面波温度传感器系统。由两个反射栅和一个叉指换能器(IDT)组成,其中声反射栅构成一个声学谐振腔,而IDT则将激励的

收稿日期:2013-12-20

基金项目:重庆市科委基金资助项目(cstc2013yykfB40010)

作者简介:蒋平英(1982-),女,重庆合川人,硕士,主要从事SAW传感器的研究。

能量引入并将谐振腔中的能量经天线发射出去。谐振器与天线构成传感器。

当连续的周期正弦信号通过天线加到 IDT 上,在压电基片的表面激励出 SAW,经反射栅反射到 IDT,转化为电磁波,发射回查询器。当查询信号频率 f 等于其固有频率 f_0 时,由于传感器的品质因数 Q 值很高,该传感器将发生谐振。传感器系统工作原理示意图如图 1 所示。

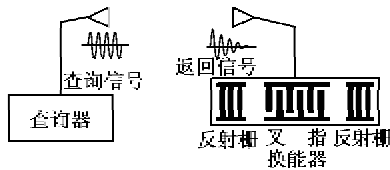


图 1 无线谐振式声表面波温度传感器系统

1.2 数据处理方式

谐振器的频率温度关系为

$$f = f_0 [1 + a_0(T - T_0) + b_0(T - T_0)^2 + L] \quad (1)$$

式中 a_0 、 b_0 分别为其一、二阶温度系数,通常忽略其高阶温度系数。将多个不同温度点的频率值通过二次拟合得到谐振器的 a_0 、 b_0 。在固定温度点 T_0 时,对传感器进行校准,得到 f_0 。而当温度发生变化, f_0 发生改变,通过测量此时的 f_0 ,就能通过式(1)计算出当前温度值。因此, f_0 的测量为传感器系统的核心。

f_0 的测量,最直观的方式即发射不同频率的激励信号(见图 2(a)),检测其返回信号的强度值(见图 2(b)),通过插值拟合,寻找强度最大时所对应的

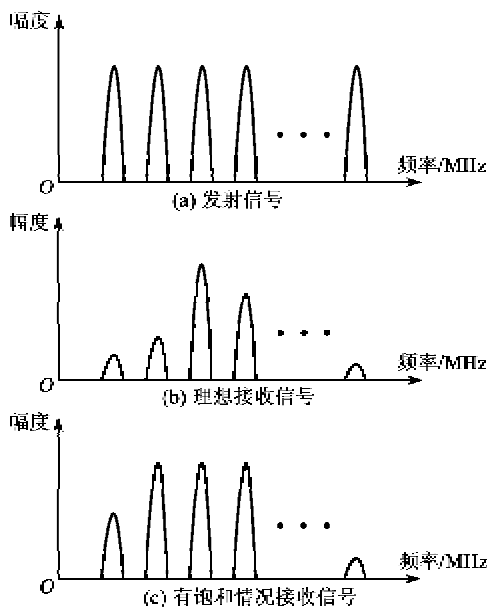


图 2 离散频点发射及对应接收强度示意图

频率,即为谐振器当前的 f_0 。但此方法实现起来却有一定困难。当传感器距离查询器天线位置较近时,会导致接收链路饱和,出现多个频点强度一致的情况(见图 2(c)),使插值拟合出来的最大点与实际值偏差较大。因此,需设置动态的增益控制,但这样会增加硬件和软件的复杂度。

本文介绍的查询器采用文献[4]中介绍的“时域”方式,通过对返回信号进行变频、放大、采样,然后做离散傅里叶变换(DFT)变换,获得返回频率值。此种方式很好的避免了饱和所带来的影响。

2 链路设计

2.1 总体设计

我们选用 26 所自行设计研制的谐振器。查询器查询温度范围为 $-25 \sim +125$ °C,因此,每个传感器的查询带宽约为 1.1 MHz。由此确定传感器的中心频点为 429~436.5 MHz,每隔 1.5 MHz 设置一个频点,共 6 个。整个查询器的收发带宽为 10 MHz。

查询器具有 3 个天线端口,每个端口可查询 6 个不同频点的传感器,如前所述。图 3 为单端口的查询器结构框图。接收链路采用二次变频的接收方式,以增强链路的抗干扰能力。综合考虑器件的可实现性和性价比因素,将查询器的第一中频(1st IF)中心频率设计为 45 MHz,基带处理信号的中心频率设计为 0.65 MHz。经由射频链路变换后的信号进入 A/D 进行采样,采样数据最终由 DSP 进行 DFT 变换,提取出频率信号。发射链路采用直接数字式频率合成器(DDS)与第一本振 LO1 混频产生,以满足快速扫描传感器固有频率的目的。DSP 芯片兼具微控制器(MCU)的功能,除负责对采样信号进行运算外,还对电路中各模块的工作状态进行控制,并通过 RS485 接口完成与上位机的通讯。

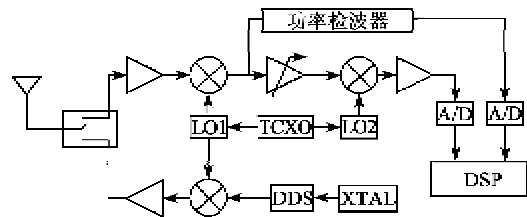


图 3 查询器结构框图

查询器的多通道采用频分的方式,而收发机制则采用时分的方式。收发控制通过开关切换实现。图 4 为查询器。

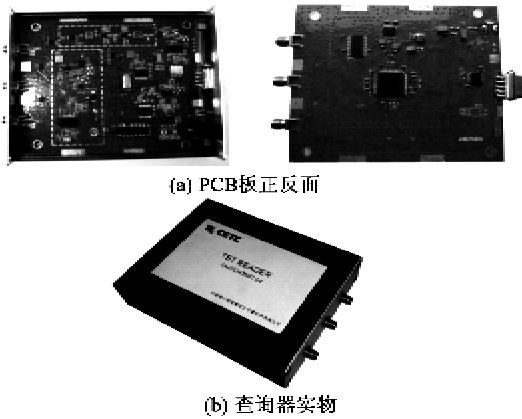


图4 查询器

2.2 发射链路设计

由于 DDS 具有输出频率精确, 频率切换速度快、可方便控制信号输出、停止等优点, 但其输出频率不高。因此, 发射信号由 DDS 与本振 LO1 通过混频产生。DDS 产生的信号为一中心频率 45 MHz, 带宽 1.5 MHz 离散频点的信号。混频器则采用有源混频器, 具有一定的增益。通过调试混频器的输入、输出端口阻抗, 使其达到合理的增益及线性度指标。混频后的信号通过增益可调的功放将小信号放大到需要的大小。功率输出从 0~10 dBm 可调, 步进 1 dBm。发射信号周期如图 5 所示, 发射时间持续 20 μs, 接收时间持续 40 μs。

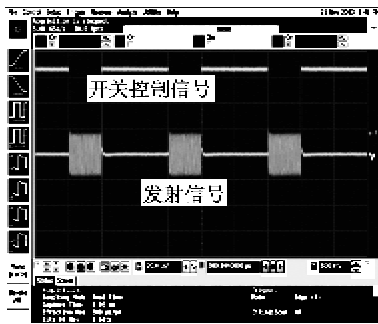


图5 发射信号周期图

2.3 接收链路设计

接收链路由传统的二次变频方案实现, 电路设计较成熟。由于最终的信号需提取其频率信号, 市面上少有满足要求的专用芯片。因此, 接收链路由分离元器件构成。

传感器被激励后产生的信号经由天线返回查询器。查询器通过接收天线将信号接收下来, 经开关将信号切入到接收链路中。接收前端由滤波器与低噪放构成, 完成信号的选取与放大。放大后的信号

与有源混频器混频后得到 1st IF。LO1 为一频率综合器, 由 DSP 完成对频率的设定。1st IF 信号分为两路, 其中一路进入到功率检测装置, 用于检测当前信号强度, 便于后续算法筛选处理。另一路信号则通过放大器进入到下一级。1st IF 信号的处理很关键。由于谐振器返回的信号为一随时间衰减的信号(信号幅度变化可通过功率检测的输出得到, 如图 6(a)所示), 若放大能力不够, 将直接影响后续采样等处理。因此, 放大器采用对数放大器, 增加链路的动态范围。1st IF 信号通过对数放大后, 与第二本振 (LO2) 进行混频, 得到待处理的基带信号。由于 A/D 采样芯片要求的满量程为 3 V_{pp}, 因此在信号进入 A/D 前加入了运放及抗混叠的低通滤波器。

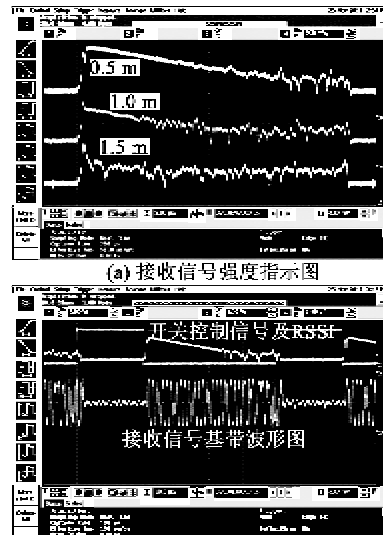


图6 接收信号波形

图 6(a)反映了传感器与发射天线在三处远近距离不同情况下, 信号幅度的变化情况。当信号强度较低时, 虽然对数放大器将信号进行了放大, 但此时信噪比很低, 不能满足测频精度要求, 应通过算法舍弃。

2.4 基带处理设计

基带处理主要通过 DSP 芯片完成。DSP 芯片具有多个通用输入输出接口 (GPIO), 通过软件可配置为 SPI 和 SCI 等接口, 满足对器件的控制及数据通讯需求。通讯接口采用工业应用较多的 RS485 接口实现与上位机通讯。同时, 也可根据需要扩展为 RS232 或 ZIGBEE 接口。

3 测试结果

温度测试在温箱中进行。为精确测量传感器所

处位置的温度,将一标准测温仪探头贴在传感器底座上放入温箱内。当温箱温度达到设定温度后,保温 0.5 h,记录数据。图 7 为温度从 $-40\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的测试结果。

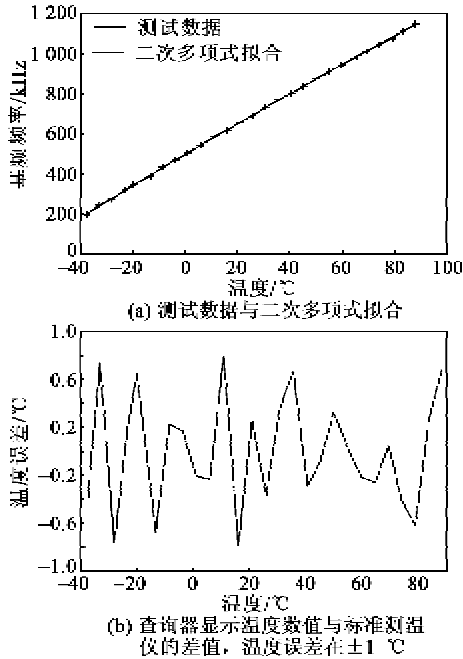
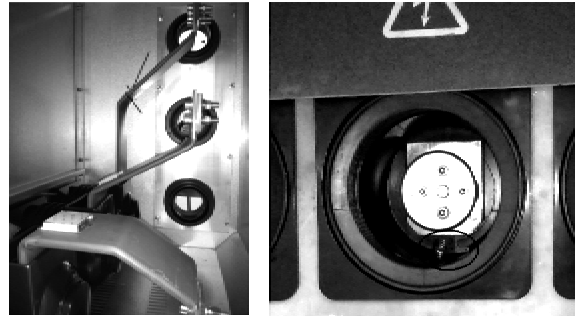


图 7 测试结果

4 系统应用

电力设备安全性、可靠性是超大规模输配电和电网安全保障的重要环节。电力开关柜中因高压断路器动、静触头接触不良,加上长期的大电流、触头老化等因素易致其接触电阻增大,从而导致长时间发热、触头温升过高甚至烧毁。随着运行时间的延长、母线排压接头的松动,绝缘老化,局部放电及高压泄漏等,同样将引起发热和温度升高,导致短路甚至火灾。实时掌控开关柜各关键点的温度变化情况是成为避免此类问题带来安全事故的有效方式。市面上应用较多的温度传感器多为有线或有源产品,均不适合在开关柜中使用。而基于 SAW 的温度传感器由于其无源无线的特性,具有高可靠性和安全性,可很好的解决实时温度监控这一难题。

图 8 为系统应用实拍图。



(a) 温度传感器在开关和母线上的应用

(b) 温度传感器在静触头上的应用

图 8 系统应用实拍图

5 结束语

本文详细介绍了基于声表面波谐振器的温度传感器系统中查询器的设计。收发链路通过开关进行切换和隔离,接收链路采用二次变频技术,增强抗干扰能力。采用对数放大器,增大接收动态范围,并把衰减信号变为等幅输出信号,更有利于 A/D 采样和数据处理。发射链路通过 DDS 与本振混频得到,切换频率快,频率输出精度高。传感器具有多种尺寸大小,可应用于电力开关柜不同部位的温度检测。在传感器采用小型化平面倒 F 天线 (PIFA),查询功率为 10 dBm 的情况下,最远测温距离可达 1.5 m ,测温精度可达 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。后续将根据优化算法调整电路设计,进一步提高查询器的测温距离。

参考文献:

- [1] BUFF W, KLETT S, RUSKO M, et al. Passive remote sensing for temperature and pressure using SAW resonator devices[J]. IEEE Trans Ultrason, Ferroelectr Freq Contr, 1998, 45(5): 1388-1392.
- [2] POHL A. A review of wireless SAW sensors[J]. IEEE Transon UFFC, 2000, 47(2): 317-332.
- [3] KALININ V. Passive wireless strain and temperature sensors based on SAW devices[J]. Proc IEEE Radio and Wireless Conf, 2004, 19/22: 187-190.
- [4] STEVENS D S, ANDLE J C, SABAH S, et al. Application of wireless temperature measurement using SAW resonators [EB/OL]. http://www.sengenuity.com/tech_ref/WIRELESS_TEMP_Applications.pdf, 2010.