

高精度在线式原油含水率检测仪设计研究

张文典¹ 孙晓东² 王凤蕴¹ 龙 玫¹

(1. 长春汽车工业高等专科学校 机电学院 长春 130013; 2. 吉林大学 通信工程学院 长春 130025)

摘要: 基于阻抗式传感器,提出一种在线式高精度原油含水率检测仪。首先采用最小二乘方法,根据实测数据获得阻抗式传感器的温度系数,然后拟合出参考温度下含水率与电压的拟关系曲线。现有的阻抗式传感器在长时间工作后会出现电荷积累效应,影响含水率测量精度;为此,设计了电荷放电电路,其在微控制器的控制下定期对激励电极的累积电荷进行放电,能有效解决电荷积累带来的测量误差问题。试验结果表明,该方法可以设计高精度在线式原油含水率检测仪。

关键词: 阻抗式传感器;在线测量;原油含水率;激励电极;测量电极;放电电路

中图分类号: TP216⁺.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

Research on the design of high accuracy online instrument for measuring crude oil content

Zhang Wendian¹ Sun Xiaodong² Wang Fengyun¹ Long Mei¹

(1. College of Mechanical Engineering, Changchun Automobile Industry Institute, Changchun 130013, China;

2. College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: Based on the impedance sensor, we design a instrument for measuring water rate in crude oil. The least square method is employed first, Based on the measured data, the temperature coefficient of the impedance sensor is obtained, then the fitting curves of the relationship between moisture content and voltage at reference temperature is achieved. The impedance sensors now available usually show the charge accumulation effect after working for a long time, which impacts the measuring precision of moisture content. In this paper, the discharge circuit is designed to discharge the stored charges regularly under the control of the microcontroller. Thus it provides an effective method to solve the problem of measurement error caused by charge accumulation. The experimental results show that this method can design the measurement of moisture content of crude oil with the high precision.

Keywords: impedance sensor; online measurement; crude oil content; exciting electrode; measurement electrode; discharge circuit

1 引言

原油含水率是原油生产中的重要数据,研究油田开发状况的重要的参数指标。近年来,含水率检测的设计方法有很多^[1],如:基于数据融合的在线设计方法^[2],基于LabVIEW的测量方法^[6],利用比重瓶和称量法的测试方法^[7],超声波共振法原油含水率测试方法^[8]。阻抗式传感器近年在工业上使用较为广泛^[5],也被应用于原油含水率的检测,如:基于BP网络的阻抗式原油含水率测量仪^[3],基于分流法高分辨率阻抗式含水率计的设计^[4]。但目前使用的阻抗式含水率测量仪激励信号不严格对称,长期工作会存在电荷积累,直接形成测量误差^[10];本设备使用MSP430系列单片机为信息处理核心,能够产生严格对称

的激励信号;并控制阻抗式传感器的正负激励电极定时短接,实现激励电极上的积累电荷放电,将干扰降到最小,还可以显著提高传感器的测量精度;本方法可以设计高精度的原油含水率测试仪。

2 系统总体方案设计

为了测量原油含水率,本文设计了阻抗式传感器,其结构如图1所示。阻抗式传感器包含两组电极,分别为激励电极和测量电极。当含水原油流经该传感器时,传感器的等效阻抗取决于原油含水率^[9]。因此当传感器的激励电极之间施加激励电压信号时,测量电极之间亦输出电压信号,且该电压信号的幅值与含水率有关。基于上述原理,设计

在线式原油含水率检测仪,其总体如图2所示。

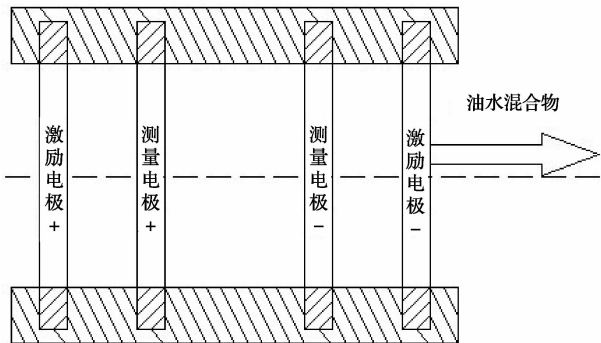


图1 阻抗式传感器示意

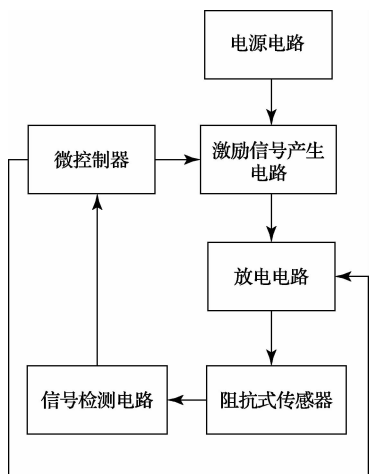


图2 在线式原油含水率检测仪总体

当系统工作时,电源电路提供5V输入电压给激励信号产生电路,微控制器定时产生中断信号控制激励信号产生电路输出严格对称的激励电压信号给阻抗式传感器;阻抗式传感器测量电极输出的测量信号直接输入到信号检测电路进行有效值处理,再反馈到微控制器进行数据拟合;放电电路能够根据微控制器提供的信号定时放电,消除电荷积累,提高测量精度。

3 系统硬件设计

系统硬件电路设计主要包含激励信号产生电路设计、信号检测电路设计、放电电路设计等,各部分介绍如下。

3.1 激励信号产生电路设计

激励信号产生电路主要用于产生阻抗式传感器所需要的激励电压信号。激励信号产生电路包含基准电路、双极性电压产生电路、高频交流激励信号产生电路、功率放大电路,具体设计如下。

1) 基准电路

基准电路的作用是产生高稳定度的参考电压,如图3所示。其中电压基准芯片型号为REF3140-4.096, AV_{DD} 为输入电压。设计中 $AV_{DD} = 8\text{ V}$, 此时输出的基准电压为 $V_{out} = 4.096\text{ V}$ 。该基准电压 V_{out} 连接双极性电压产生电路的 REF-IN 端。

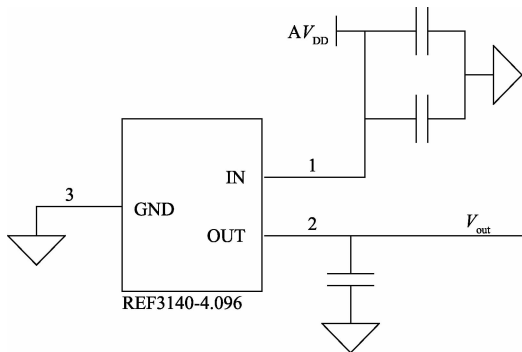


图3 基准电路

2) 双极性电压产生电路

双极性电压产生电路主要由双运放芯片 LM358 构成,如图4所示。此电路的作用是将由 REF-IN 输入的基准电压转换成稳定的正负交替的 $\pm 4.096\text{ V}$ 激励电压由 REF-OUT(\pm) 输出。LM358 包括 2 个高增益、独立的、内部频率补偿的双运放,适用于电压范围很宽的单电源,而且也适用于双电源工作方式。

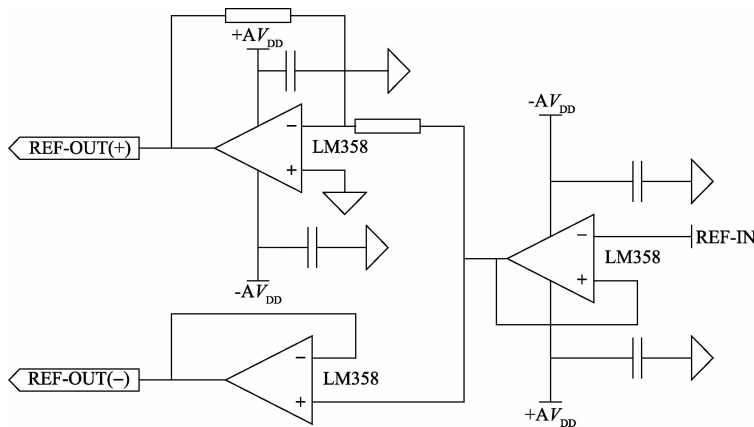


图4 双极性电压产生电路

3) 高频交流激励信号产生电路

高频交流激励信号产生电路主要由多项模拟开关 MAX4051AESE 组成,如图 5 所示:图 4 的输出信号经由 REF-OUT(±)端口输入到本电路;MAX4051AESE 的高频控制端口与微控制器的 P1.2 端口相连,微控制器通过定时产生中断信号控制 MAX4051AESE 由 Excitation Signal 口输出电压信号。图 6 为微控制器的控制流程,如图所示:微控制器的 P1.2 端口输出脉冲频率稳定,时间宽相等,则 Excitation Signal 口输出的电压信号严格对称,长期工作能够减少电荷积累,提高测量精度。

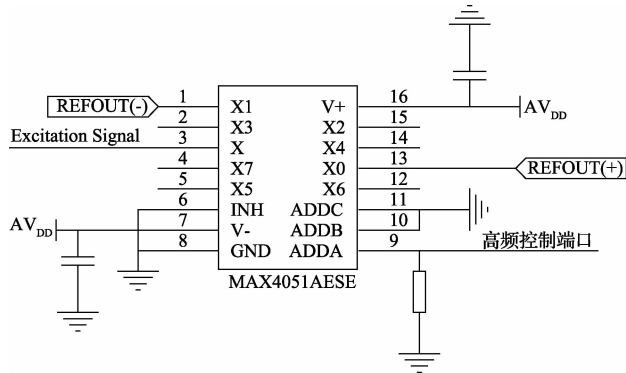


图 5 高频交流激励信号产生电路

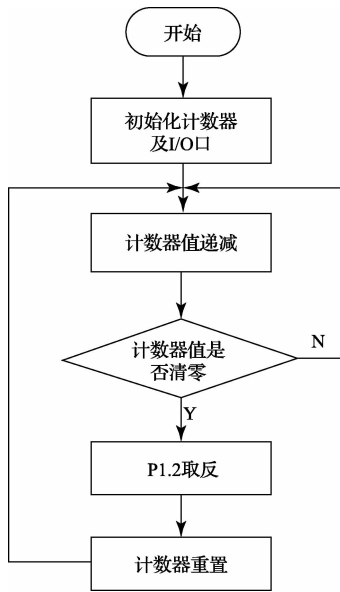


图 6 微控制器控制流程

4) 功率放大电路

功率放大电路主要由运算放大器 OPA551 构成,如图 7 所示。主要功能为将图 5 输出的电压信号放大处理,转化成稳定的激励电压信号供阻抗式传感器使用;信号由

Excitation Signal 端口输入,激励信号输出(±)端口输出。OPA551FA 是低成本运算放大器,具有高电压(60 V)和高电流(200 mA)的能力。

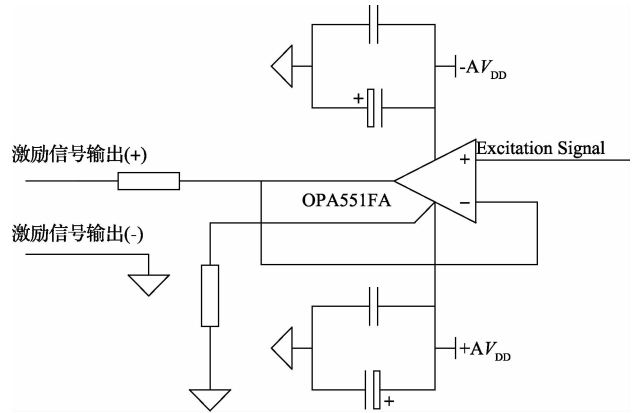


图 7 功率放大电路

3.2 放电电路设计

放电电路的放电控制端口与微控制器的 P1.0 相连,其作用为将传感器激励板的剩余电荷正负中和,消除电荷积累;如图 8 所示当微控制器提供一个高电平时,三极管 9013 导通,继电器通电吸合将簧片与数字地相接,激励板开始中和残留电荷;当微控制器提供低电平时,三极管阻断,继电器失电,簧片弹回,结束一个放电周期。

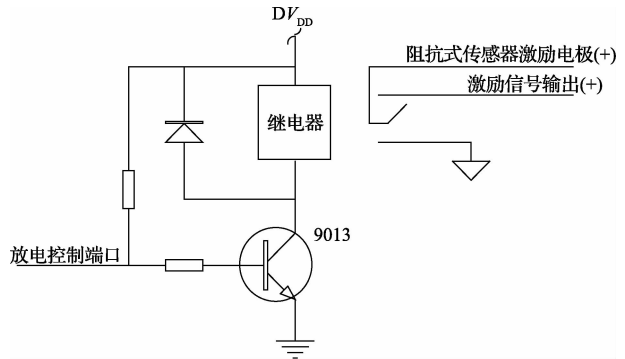


图 8 放电电路

3.3 传感器信号检测电路设计

电路主要由仪表放大器 AD620AR-S08、交/直流转换器 AD637BR 构成;如图 9 所示信号由传感器测量电极(±)输入,经过放大器 AD620AR-S08 放大及带阻滤波器滤波后,输入给 AD637BR 芯片进行有效值处理,再反馈到微控制器进行数据拟合。由于传感器输出的是被油水调制的信号,并非标准的方波,所以需要有效值电路来表示阻抗的大小。AD637BR 是一款完整的高精度、单芯片均方根直流转换器。

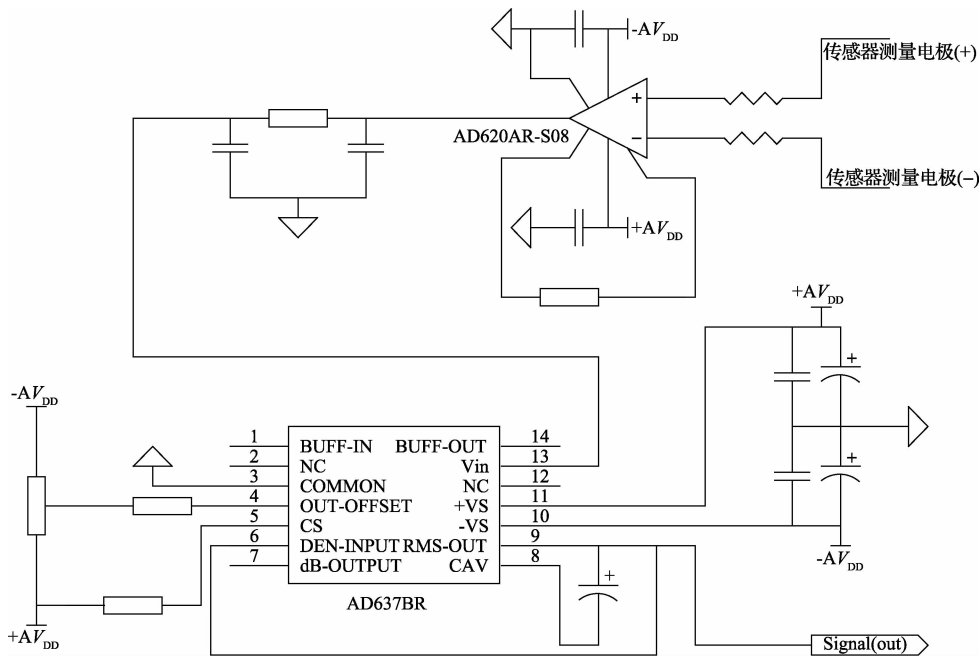


图9 信号检测电路

4 数据处理

基于上述硬件电路,当含水原油流经传感器时,测量电极输出的电压与含水率有关。此外当含水率不变时,原油温度的变化也会导致测量电极输出电压的变化。为了消除温度变化对含水率测量的影响,在数据处理中根据实际标定数据,通过选择参考温度并采用最小二乘法,分别获得:

- 1)以参考温度为基准点,阻抗式传感器的输出电压变化与温度变化的函数关系;
- 2)参考温度下含水率与电压的函数关系。

根据实际情况,选择参考温度为 31℃。以该温度为基准点,对所设计得系统进行在线标定。在标定过程中,分别记录用蒸馏法测量得到的含水率真值,以及原油的温度。当含水率不变时,温度变化量与传感器输出电压变化量之间的实测曲线如图 10 所示。

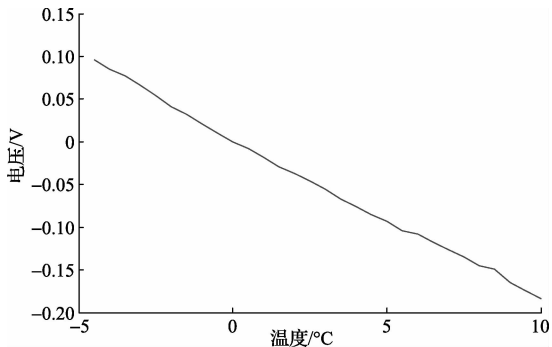


图10 电压-温度实测曲线

对上述实测数据进行拟合,可得如下函数关系:

$$y = 0.000 2x^2 - 0.02x + 0.002 1 \tag{1}$$

在得到上述函数后,把不同含水率下的输出电压归一化到参考温度下,可得传感器输出电压与含水率的实测曲线如图 11 所示。

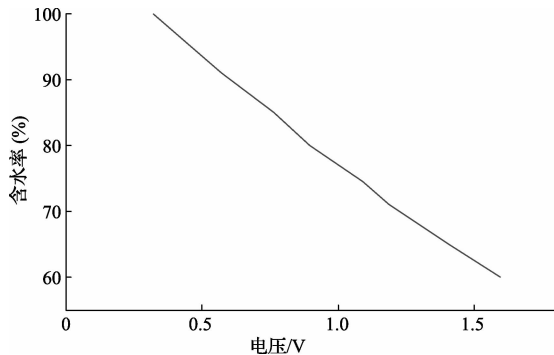


图11 电压-含水率实测曲线

对上述实测数据进行拟合,可得如下函数关系:

$$y = 4.114 8x^2 - 39.312 4x + 112.190 6 \tag{2}$$

5 试验数据

根据温度和电压数据,最终计算出实际含水率真值,计算过程为:根据实测数据获得阻抗式传感器的温度系数,首先用式(1)计算参考温度下的归一化输出电压,然后用式(2)计算实测含水率,在线测试进行比较,并和蒸馏法得到的标准含水率值比较,比较数据如表 1 所示,从表 1 可

以看出:电脱含水率和含水率真值近似相等;可见此系统在原有含水率测量过程中能够取得高精度数据。本系统与其他同类系统相比,采集数据更加精准,原因在于:1)激励信号产生装置产生的激励信号严格对称,减少电荷积累,从而减少测量误差;2)本系统设计了放电电路,由微控制器控制放电电路定时放电,将传感器激励板的剩余电荷正负中和,增加了系统的测量精度。

表1 电脱-仪表含水率数据对比 (%)

电脱	98	95	93	90	88	84
仪表	97.6	94.3	92.1	90.5	89.4	84.8

用此检测仪在大庆油田做实际测试,得出的测试结果与现场抽检的结果数据对比如表2所示。

表2 仪表-抽检含水率数据对比 (%)

抽检	96	99	97	97	98	98
仪表	95.94	99.41	97.02	96.67	97.91	98.24

通过数据对比可知,仪表检测结果与现场抽检结果吻合,试验结果表明,本方法可以设计高精度在线式原油含水率检测仪。

6 结 论

所设计的在线式原油含水率检测仪,具有测量速度快、检测范围宽、稳定性好、精度高、功能强、易操作等特点,比起其他方式的原油含水率测试仪具有明显的优势。目前本设计已经在实际产品中投入使用。现场实验表明该设计有效解决了电荷积累所造成的测量误差,它的定时放电功能能够将干扰降到最低限度,并提高原油含水率在线测量精度,具有较强的推广能力和广阔的应用前景。

参考文献

[1] 吕高峰,吴明,张金华,等.原油含水率测量技术现状分析[J].当代化工,2011,40(2):146-149.

- [2] 王艳菊,康岳屹,王怀玉.基于数据融合的原油含水率在线测量方法研究[J].压电与声光,2013,35(5):743-745.
- [3] 黄家才,李宏胜,滕福林,等.BP网络在阻抗式原油含水率测量仪中的应用[J].仪表技术与传感器,2011(12):24-26.
- [4] 丁庆荣,王敏,刘兴斌,等.基于分流法高分辨率阻抗式含水率计实验研究[J].石油仪器,2013,27(4):29-32.
- [5] 徐逸,蔡付林,花玉龙.带侧弯式连接管阻抗式调压室水力特性模拟[J].水电能源科学,2013,31(4):93-95.
- [6] 谢雁,赵凤,李利品,等.基于LabVIEW的含水率测量系统设计[J].电子测试,2013(1):59-62.
- [7] 王亚平,解海龙,李石林,等.利用比重瓶和称量法测定原油含水率[J].当代化工,2014,43(1):76-79.
- [8] 顾亚雄,张禾,赵自民.超声波共振法原油含水率测试仪研究[J].仪表技术与传感器,2011(6):17-19.
- [9] 王延军,胡金海,黄春辉,等.阻抗式含水率计自适应模块的设计及应用[J].测井技术,2010,34(5):469-472.
- [10] 史培玉,徐亮,康厂,等.原油含水率测定误差的产生原因与处理措施[J].油气储运,2010,29(12):947-949.

作者简介

张文典,1980年出生,硕士研究生,讲师。主要研究方向为控制理论与控制工程。

E-mail:zwd1980@126.com

孙晓东,1977年出生,博士,副教授。主要研究方向为控制理论与控制工程。

E-mail:zwdelite@126.com

王凤蕴,1983年出生,教授。主要研究方向为电气自动化。