

高精度新型调制变送器设计与应用

李正兵¹, 蒋兴加², 王小丽¹

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100; 广西机电职业技术学院, 广西 南宁 530007)

摘 要: 从传感器测量物理量的原理出发, 通过对传感器输出信号的特点分析, 阐述了高精度新型调制变送器获取被测信号的设计思想与组成单元, 详细分析了变送器关键电路设计原理。电容变送器在试车台液位远传系统中的成功应用表明, 新型调制变送器具有精度高、通用性强、使用可靠等特点。

关键词: 信号变换; 交流激励; 变送器

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2011) 05-0069-05

Design and application of new type high-accuracy modulation transmitter

LI Zheng-bing, JIANG Xing-jia, WANG Xiao-li

(1. Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710000, China;

2. Guangxi Electromechanical Technology College, Nanning 530007, China)

Abstract: Proceeding from the principle of physical quantity measurement with a sensor, the design idea of catching the detected signal by the high-accuracy modulation transmitter and its composition are described by analyzing characteristics of the sensor output signals. The design principle of the key circuits in the transmitter is analyzed in detail. The successful application of the capacitance transmitter in the long range liquid level transmission system of the rocket engine test-stand shows that the new modulation transmitter has the characteristics of high accuracy, generalization and high reliability.

Keywords: signal transformation; AC excitation; transmitter

0 引言

传感器就是将被测物理量按照一定的规律转换成电信号的器件或装置, 通常由敏感元件和转换元件组成。由于受传感器结构等因素的影响,

其输出信号一般需要经过变换器处理。变送器是将非标准的传感器输出的信号调理成标准电压或电流信号的电路单元, 以方便数字仪表、PLC、计算机等测控系统使用。对于输出为电阻 R_x 、电感 L_x 或电容 C_x 等参数类型的传感器, 需要将可变换参数 R_x , L_x 和 C_x 变换成标准电流或电压输出,

收稿日期: 2010-06-19; 修回日期: 2010-12-06

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目

作者简介: 李正兵 (1968—), 男, 高级工程师, 研究领域为液体火箭发动机试车测量与控制技术

这种变送器称为调制变送器。对于传统电容或电感变送器,将传感器输出电容 C_x 或电感 L_x 作为振荡电路的阻抗元件,通过测量阻抗引起振动频率的变化,表征被测物理量,该类变送器通用性和线性较差,精度低,维护困难。本文针对连续式电容液面计设计的高精度新型调制变送器可以适用于电容、电阻及电感等参数的变换要求。

1 调制变送器设计原理

调制变送器需要把传感器输出的电信号变换为标准的电压或电流,即把物理量引起的电阻、电感、电容变化转换为电压信号,然后对电压进行放大、滤波、调零等处理。调制变送器设计原理框图如图 1 所示。

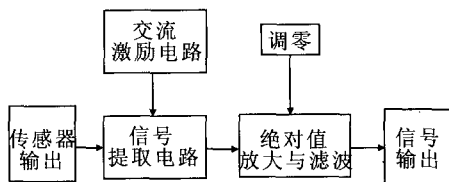


图 1 调制变送器原理框图

Fig. 1 Principle diagram of modulation transmitter

变送器信号提取电路利用欧姆定律的原理,其电路如图 2 所示。

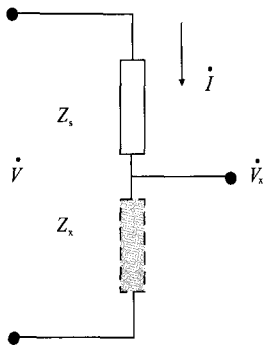


图 2 传感器输出信号提取电路

Fig. 2 Output signal extraction circuit of sensor

在交流电源的作用下,把传感器阻抗变换为电压信号 \dot{V}_x , Z_x 为传感器输出阻抗, Z_s 为变送器使用的标准阻抗, \dot{V} 为变送器施加标准激励电

压。当阻抗 Z_x 变化时,根据电路原理有:

$$\dot{V}_x = i \times Z_x = \frac{\dot{V}}{Z_x + Z_s} \times Z_x \quad (1)$$

当 $Z_s \gg Z_x$ 时,有

$$\begin{aligned} \dot{V}_x &= \frac{\dot{V}}{Z_x + Z_s} \times Z_x \approx \frac{\dot{V}}{Z_s} \times Z_x = k Z_x \\ &= k (Z_0 + \Delta X) = k Z_0 + k \Delta X = V_0 + k \Delta X \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $V_0 = k \cdot Z_0$, $k = \frac{\dot{V}}{Z_s}$

即当标准电压 \dot{V} 、标准阻抗 Z_s 一定时, k 为常数;传感器的输出阻抗 Z_x 随被测物理量线性变化时, \dot{V}_x 也将线性变化,变送器将 \dot{V}_x 变成标准电流或电压,即可方便显示被测物理量。对电容液面传感器而言,其输出为电容,图 2 中 Z_x 与 Z_s 交换位置,电压关系分析如下:

$$Z = \frac{1}{2\pi f C} \quad (3)$$

$$\dot{V}_x = \frac{\dot{V}}{\frac{1}{2\pi f C_x} + \frac{1}{2\pi f C_s}} \times \frac{1}{2\pi f C_s} = \frac{\dot{V}}{C_s + C_x} C_x \quad (4)$$

当 $C_s \gg C_x$ 时,公式 (4) 变成

$$\dot{V}_x \approx \frac{\dot{V}}{C_s} \times C_x = k C_x = k C_0 + k \Delta X = V_0 + k \Delta X \quad (5)$$

根据公式 (5),当传感器随着被测物理量线性变化 ΔX 时,电压 \dot{V}_x 也将线性改变。

传感器输出为电容或电感时,需要交流激励源为信号提取电路提供标准电压 \dot{V} 。已知传感器输出阻抗 Z_x ,所设计变送器的标准阻抗 Z_s 一般为 Z_x 的 10 倍以上,式 (2) 成立,变送器转换信号的精度与线性方可满足需要。

由于信号提取电路获得的电压值较小,并且为交流电压,需利用高精度运算放大器组成绝对值电路、放大及滤波电路,对交流信号 $k \Delta X$ 进行直流变换及线性放大、滤波处理。调零电路完成变送器输出零位 V_0 调整,信号输出模块实现直流信号到标准电流或电压输出变换。

另外, 当传感器输出电压与被测物理量不成线性变化时, 可通过现场校验的办法对传感器进行原位校验, 得到物理量与变送器输出电压的对应表。数据处理时, 对采集到的电压按照校验结果进行插值或查表计算, 得到其相应物理量。

2 调制变送器电路实现

2.1 精密交流电压源设计

精密交流电压源为变送器的关键电路模块, 其稳定性直接关系到变送器与传感器的测试精度。通过对 T 型、LC 及 RC 等振荡电路的分析、比较, 选择使用文氏振荡阻容电桥与高精密稳压

二极管结合技术, 得到输出频率、幅值连续可调的高稳定激励交流电压源, 其组成原理如图 3 所示。电路中的 R31, W2, C5 及 C6 为振荡选频网络, 与 IC8A, W1 及 R30 组成正弦信号发生器; W3 对振荡信号进行幅值调整; IC9 与高精度稳压管对交流电源进行稳压与驱动。电路参数调整完毕后, 为了确保电路的可靠性, 应将电阻器 W1, W2 和 W3 替换成精密电阻, 提高信号稳定性。为了验证所设计的精密交流激励源输出电压的精度和稳定性, 每隔 30 min 对交流激励电压源进行了测试, 测试结果如表 1 所示。测试结果表明, 其赋值与频率精度分别优于 0.1% 和 0.2%, 完全能满足变送器激励电源的需要。

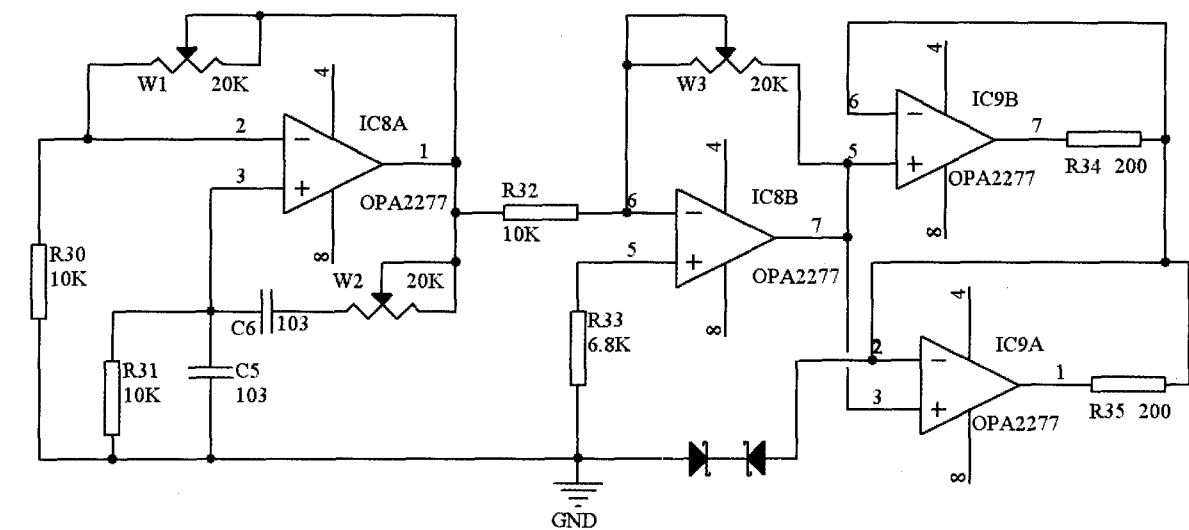


图 3 精密交流激励源电压原理图

Fig. 3 Voltage principle of accurate alternating excitation source

表 1 交流激励电压源 4 h 稳定性测试数据

Tab. 1 Data of 4 h stability testing of AC excitation source

| 序数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 赋值/V | 10.225 | 10.221 | 10.226 | 10.228 | 10.223 | 10.218 | 10.222 | 10.219 | 10.225 |
| 频率/Hz | 1046 | 1046 | 1047 | 1045 | 1045 | 1047 | 1046 | 1045 | 1046 |

2.2 精密绝对值与滤波电路设计

根据二极管的单向导电性原理, 对交流信号进行整流, 精密绝对值与滤波电路设计如图 4 所示。电路工作过程: 交流负半周信号通过 IC2A、整流二极管 D1、D2、电阻 R5 及 R7 输出; 正半

周信号通过 IC2B 通道输出; 集成运放器 IC3 和 IC4 与电阻、电解电容组成放大与滤波电路, 对整流后的直流信号进行二次放大与滤波; 电阻器 Wman 为变送器灵敏度调整电位器; 经过滤波的直流信号 V_0 送到输出电路。

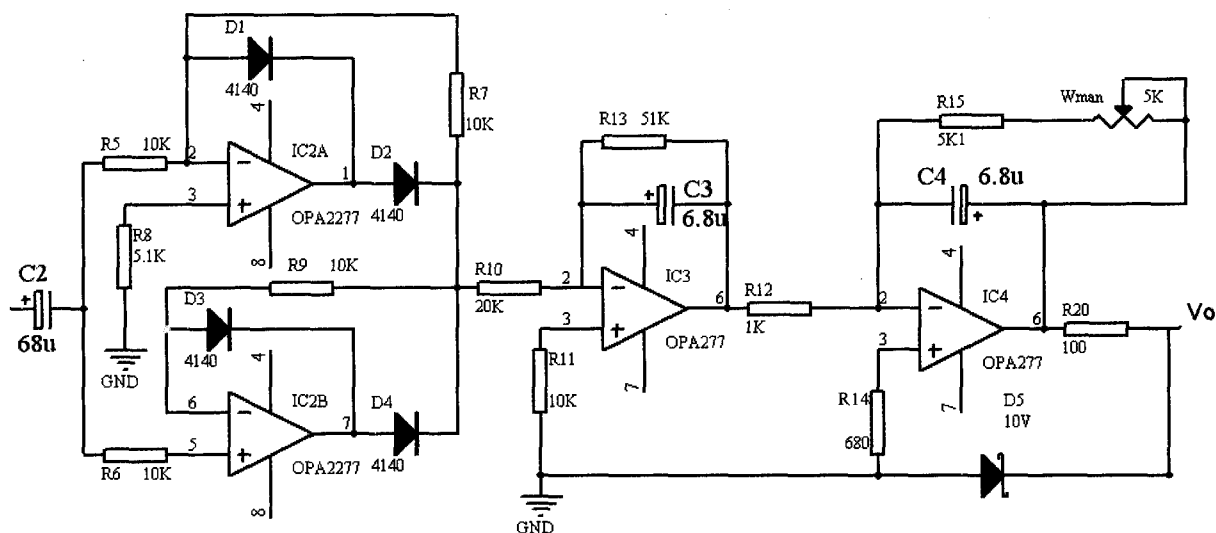


图4 绝对值、放大及滤波电路原理图

Fig. 4 Principle diagram of absolute value, amplifier and filtering circuit

2.3 调零电路设计

由于传感器本身具有自身阻抗 Z_0 ，加上电路本身存在温漂与零漂等因素，信号变换过程中需对此进行调零。其电路原理如图5所示。调零电路的基准电压要求非常准确，采用稳定度优于

0.02%的基准电压芯片 5G1403。当输入电源变化时，其输出恒定为 2.5 V。运放 IC5A 与调零电位器 W0T 组成幅值调整电路，输出信号经过 IC5B 缓冲器后送到 IC3 输入负端，实现对变送器输出信号的零位调整。

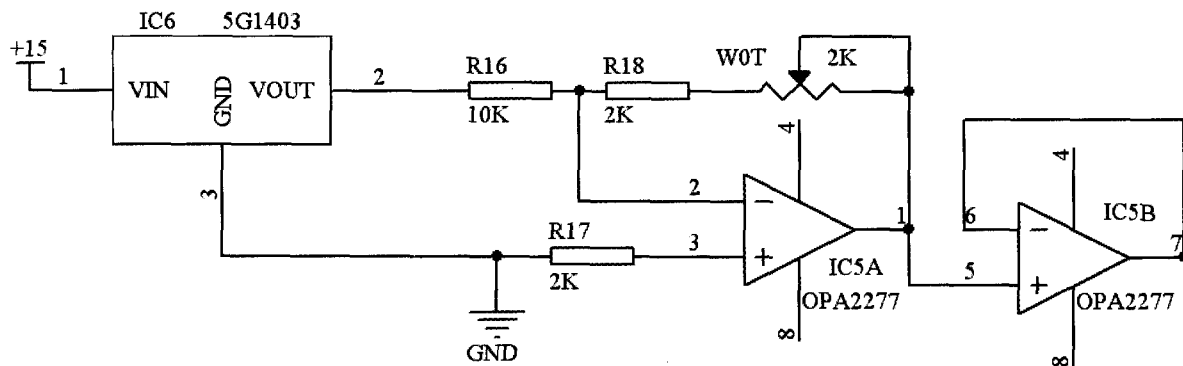


图5 调零电路原理图

Fig. 5 Principle diagram of zero setting circuit for potentiometer

2.4 输出电路设计

通过放大滤波后的信号，分别经过两个缓冲器，一路直接输出 0-10 V 的电压信号；另一路连接到电压转换电流芯片 AD694 信号输入端。AD694 芯片 1、2 脚短路，7、8 脚短接，被设置成 0-10 V 变换成标准 4-20 mA 电流信号工作模

式。其电路原理如图6所示。用户可根据实际需要选择电流或电压信号进行记录。

3 新型调制变送器在试车台液位远传系统中的应用

在试车台 30 m³ 煤油容器加注中，新设计的

调制变送器安装在容器附近接线箱中, 通过低噪声电缆连接连续式电容液面计, 输出电压或电流接至二次仪表, 进行了实验测试及应用。系统上电后, 先预热 30 min, 然后调整调零电位器, 使二次仪表显示零。在容器加注过程中, 分别记录

液面高度与仪表显示数, 记录数据与计算结果如表 2 所示。测试结果表明, 系统标准偏差优于 0.2%, 精度明显优于传统的变送器。按表中 A、B 值设置仪表参数, 仪表可直接显示容器液面高度或对应体积, 多次试车标明, 数据准确可靠。

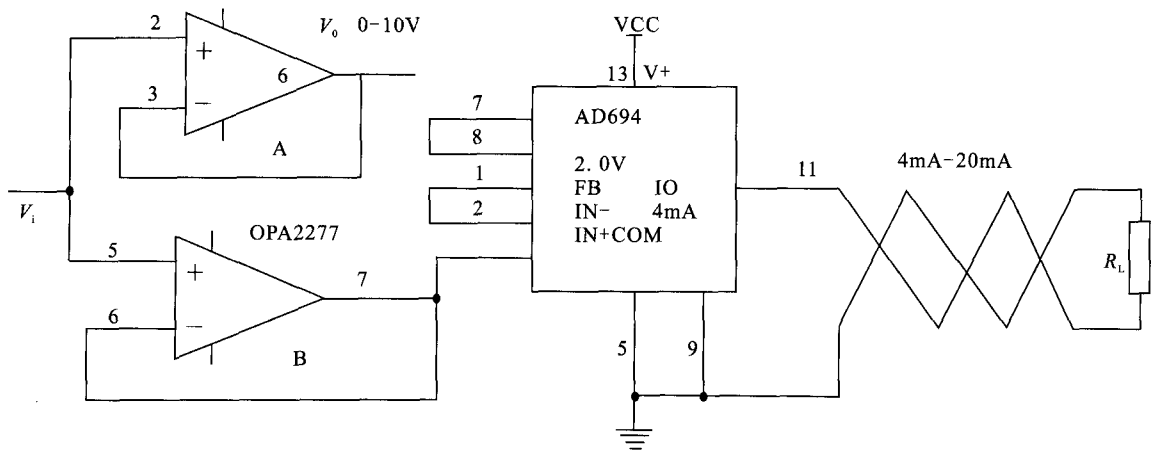


图 6 输出电路原理图

Fig. 6 Principle diagram of output circuit

表 2 煤油加注过程中二次仪表测量变送器输出值

Tab. 2 Transmitter output values measured by secondary meter during kerosene filling

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|------|------------------------|------|------|
| 高度/m | 1.60 | 1.8 | 1.9 | 2 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3.01 |
| 电压/V | 1.12 | 1.34 | 1.45 | 1.57 | 1.79 | 1.91 | 2.02 | 2.13 | 2.24 | 2.35 | 2.46 | 2.57 | 2.68 |
| 计算结果 | 斜率: $B=0.00894918$ | | | | | 截距: $A=0.598507$ | | | | | 标准偏差: $S_2=0.00180931$ | | |

4 结论

利用电阻定律与信号变换电路原理设计的调制变送器不仅具有信号变换精度高、性能稳定、工作可靠等优点, 而且具有通用性强、接口简单、安装操作方便等特点, 可应用于液位、位移及压力参数测量领域。

参考文献:

[1] 马场清太郎. 运算放大器应用电路设计[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[2] 扬振江, 孙占彪. 智能仪器与数据采集系统中的新器件及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.

[3] 李建军. 液氧平均流量测量研究[J]. 火箭推进, 2010, 36 (1): 67-69.

[4] 黄建设. 电容式变送器的一种故障的诊断处理[J]. 控制工程, 2003, 11(6): 495-496.

(编辑: 陈红霞)