

# 量水仪表中传感器与放大器组合控制电路设计<sup>\*</sup>

时新玲<sup>1</sup>, 陈梦华<sup>2</sup>, 刘云鹏<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学 生命科学学院; 2 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

**[摘要]** 对DGN-1型流量计中传感器部分进行了重新设计, 传感器压阻芯片采用全桥对称形式, 完成自动温度补偿, 消除因热形变应力而产生的漂移电压信号, 提高了传感器的灵敏度; 控制电路采用高输入阻抗的同相放大器并串联高共模抑制能力的差动放大器, 该测量电路具有较强的抑制共模干扰的能力。同时, 给出了CYG13B传感器与集成运算放大器组合控制电路的一种设计方法, 其优点是仪表从采集信号到信号放大均有较好的抗干扰性能, 使整机性能在可靠性、稳定性方面有较好的改善。

**[关键词]** 量水仪表; 压力传感器; 放大器; 组合控制电路

**[中图分类号]** TH814

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2002)06-0190-03

随着微电子技术的发展, 现代测量仪表的研制正朝着多功能、高稳定和高精度方向发展, 越来越多的新产品开发及完善依赖于微处理器、专用集成电路等微电子器件的应用来实现。应用新型微电子器件已成为改造传统仪器仪表和开发新产品的重要手段之一<sup>[1]</sup>。灌区量水是实施计划用水的必要措施, 因而自动量水仪表就成为各灌区的迫切需要。目前国内外已有的量水仪器种类很多, 有水位水深测量仪器、水下地形测量仪器、流速及流向测量仪器、流量测量仪器等。已有的流量计仅能测量流量, 能累计水量的极为少见, 且携带不方便。DGN-1型流量计既能保证精确地测量流量, 又能累计水量, 更便于灌区用水管理, 极大地满足了各种管理的需要。该自动量水仪表结合了传统量水方法, 利用CMOS集成电路技术, 适用于各种渠道的情况, 且使用简便、快速、准确直读<sup>[2]</sup>。本研究对该量水仪表的测量装置部分传感器与放大器及组合控制电路的设计进行了说明。

## 1 测量电路结构

鉴于传感器对整个测量装置和控制系统的重要性, 首先对传感器的设计和安装进行研究。本试验选用了CYG13系列通用小压力传感器。这是一种

有内部温度补偿, 但没有信号放大电路的压力传感器, 其主要技术指标为: 量程0~5 kPa~10 kPa~60 kPa; 电源恒流6~12 mA, 恒压10~20 VDC; 满量程输出 $(50 \pm 10)$  mV; 工作温度-35~80℃。

### 1.1 传感器结构设计

测量处压力传感器的安装见图1。由于传感器体积小, 重量也很轻, 故直接将其固定于硬质PVC管的一端。该管为空心结构, 中间除穿过与放大器相连的电缆外, 还保证上端通气孔与图2中 $P_x$ 处畅通, 使传感器内敏感元件上产生压差。

该压力传感器的敏感元件为压阻芯片, 压阻芯片结构和惠斯通电桥结构如图2所示。当压阻芯片上下承受不同压力作用时, 膜片产生应变。当 $P_x > P_0$ 时,  $R_1$ 和 $R_4$ 阻值减小,  $R_2$ 和 $R_3$ 阻值增大, 若在桥路A、B端采用恒流源供电, 电桥就有1个 $\Delta U$ 信号输出至放大回路。

由于传感器压阻芯片的晶轴沿着两个垂直方向布置, 两个切向电阻和两个径向电阻接成全桥形式, 自动完成了温度补偿, 并使之具有较高的灵敏度。

### 1.2 信号放大电路

信号放大电路用于对传感器输出的微弱信号进行差分放大, 以驱动后级的ADC电路。同时, 为了与传感器电路或基本转换电路相匹配, 希望放大器

<sup>\*</sup> [收稿日期] 2001-11-12  
[基金项目] 西北农林科技大学青年基金资助项目  
[作者简介] 时新玲(1968-), 女, 陕西洋县人, 讲师, 主要从事生物电子学的教学与研究工作。

具有较高的输入阻抗。为此, 采用了高输入阻抗的同相输入放大器并串联高共模抑制能力的差动放大

器, 在对测量信号差值进行放大的同时, 抑制来自环境的共模干扰, 其原理如图3所示。

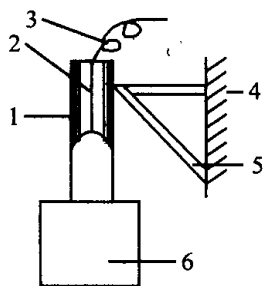


图1 传感器安装示意图

- 1 PVC管; 2 通气孔; 3 电缆线;  
4 支座; 5 支撑; 6 传感器

Fig 1 Sketch of transducer installment

- 1 PVC sleeve; 2 Air vent; 3 Wire;  
4 Bracket; 5 Base; 6 Transducer

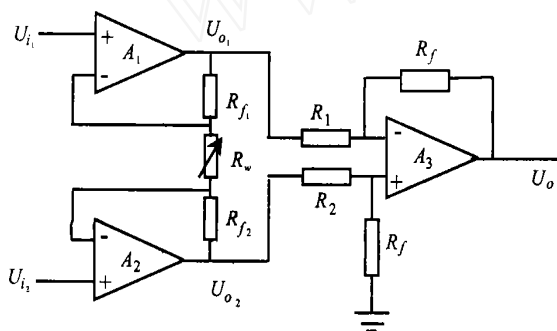


图3 同相输入并串联差动放大器的工作原理

Fig 3 The work principle of inphase input parallel and serial differential amplification

当  $R_1 = R_2$ ,  $R_{f1} = R_{f2}$  时, 电路的输出为

$$U_o = \frac{R_f}{R_1} (U_{o2} - U_{o1}). \quad (1)$$

因为  $A_1$ ,  $A_2$  为同相输入放大器, 所以存在虚短, 但不虚地。

即  $U_{1+} = U_{1-} = U_{i1}$ ,

$$U_{2+} = U_{2-} = U_{i2}$$

假设通过  $R_w$  上的电流为  $I$ , 因为  $I_+ = I_- = 0$ , 所以有

$$I = \frac{U_{i2} - U_{i1}}{R_w} = \frac{U_{o2} - U_{o1}}{R_{f2}} = \frac{U_{i1} - U_{o1}}{R_{f1}}.$$

从而

$$U_{o1} = U_{i1} - \frac{R_{f1}}{R_w} (U_{i2} - U_{i1}),$$

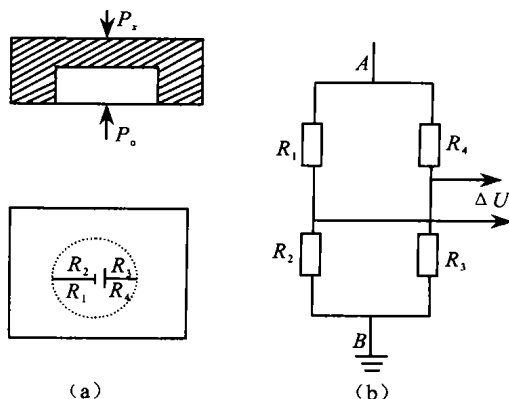


图2 传感器内部结构及测量电桥

- (a). 芯片结构; (b). 测量电桥;

$P_1$  参考电压;  $P_0$  工作电压;  $R_1 \sim R_4$  应变电阻

Fig 2 Interior structure of transducer and bridge circuit

- (a). Chip structure; (b). Measuring bridge;

$P_1$  Reference voltage;  $P_0$  Work Voltage;  $R_1 \sim R_4$  Strain resistance

$$U_{o2} = U_{i2} + \frac{R_{f1}}{R_w} (U_{i2} - U_{i1}),$$

$$U_{o2} - U_{o1} = \left(1 + \frac{2R_{f1}}{R_w}\right) (U_{i2} - U_{i1}), \quad (2)$$

将 (2) 式代入 (1) 式可得电路输出为

$$U_o = \frac{R_f}{R_1} \left(1 + \frac{2R_{f1}}{R_w}\right) (U_{i2} - U_{i1}).$$

差模增益为  $\frac{R_f}{R_1} \left(1 + \frac{2R_{f1}}{R_w}\right)$ , 共模增益为 0。

## 2 组合控制电路设计

图4为传感器与放大器组合控制电路, 其中放大器采用第四代通用型集成放大器  $\mu\text{L} 7650$ , 对应于国产的CF7650, 压力传感器采用CYG13B系列, 恒流驱动, 其电流为6mA。如果运算器的同相输入端加6V电压, 反相输入端接通  $R_b$  (1 kΩ), 则传感器中电流为

$$I_{IN} = \frac{U_b}{R_b} = \frac{6V}{1k\Omega} = 6mA.$$

压力传感器的输入电阻为1.2 kΩ, 最大为1.4 kΩ, 因此最大输入电压为  $U_{IN} = 6mA \times 1.4k\Omega = 8.4V$ , 考虑  $R_b$  上电压  $U_b = 6V$ , 则输出电压必须大于14.5V, 为此采用18V的电源。

CYG13B传感器输入电流为6mA, 压力为60 kPa, 输出电压  $U_s$  为  $(50 \pm 10)$  mV, 即最低为40 mV, 最高为60 mV, 差动放大器的增益为50~75倍 (60 kPa时,  $U_{OUT} = 3V$ ), 电路中  $A_2$ ,  $A_3$  的增益

为 25 倍, 增益可变 (2~3 倍), 电位器  $R_{w1}$  用于调整增益。

当压力为 0 时, 传感器输出应为 0, 但实际上, 压力为 0 时, 传感器桥路不平衡, 有约  $\pm 1\text{mV}$  的电压。如果  $A_2$ ,  $A_3$  的放大增益为 25 倍, 则把不平衡

的  $\pm 1\text{mV}$  电压放大 25 倍, 即有  $\pm 25\text{mV}$  的失调电压。电位器  $R_{w2}$  用于调整该失调电压。电路中取  $C_1 = C_2 = 0.1\mu\text{F}$ ,  $R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = 100\text{k}\Omega$ ,  $R_f = 120\text{k}\Omega$ 。

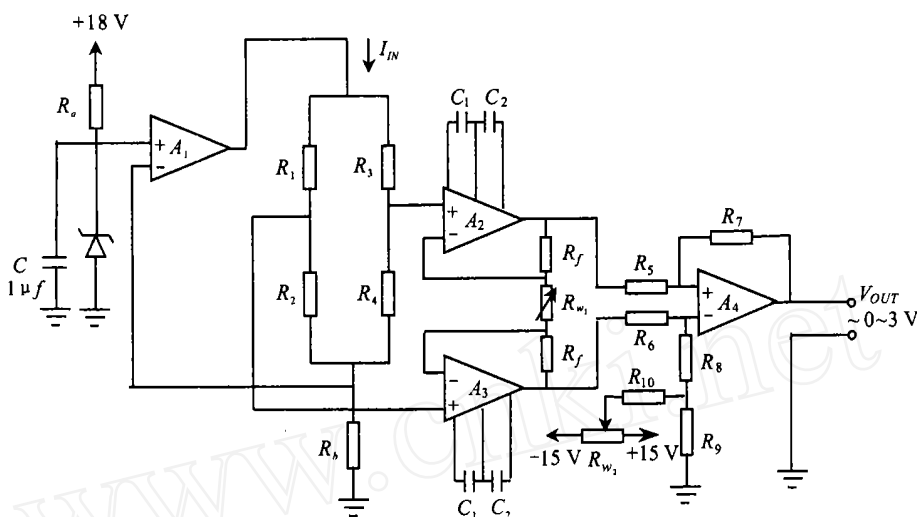


图 4 传感器与放大器组合控制电路设计

Fig. 4 The design of control circuit combined amplifiers with transducer

### 3 电源电路

电源电路如图 4 左端部分, 其中稳压二极管的稳压值为  $6\text{V}$ , 作为给传感器提供  $6\text{mA}$  恒流源的基准电压。因为电源电压为  $+18\text{V}$ , 所以  $R_a$  压降为  $12\text{V}$ ,  $R_b$  的电压与稳压二极管电压相同为  $6\text{V}$ , 又  $R_b$  为  $1\text{k}\Omega$ , 所以恒流驱动传感器的运算器  $A_1$  的输出电流为  $6\text{mA}$  ( $6\text{V}/1\text{k}\Omega$ )。

### 4 抗干扰处理

对大多数传感器来说, 都具有较高的阻抗, 这在理论上和放大器一样, 是引入干扰的原因所在。传感器输出信号幅值一般都较小, 极易受到外界的干扰; 而放大电路也是一种弱电系统。由于具有较高的灵敏度, 也同样容易受到外界干扰信号的影响。为

此采取屏蔽接地及差分放大电路等措施来解决外界因素引起的干扰。

### 5 结束语

该量水仪表在传感器的设计方面, 消除了在信号摄取时因热变而产生的干扰电压值; 在控制电路的设计方面, 增强了量水仪表的抗干扰能力, 使仪表的差模增益为  $\frac{R_f}{R_1} (1 + \frac{2R_f}{R_w})$ , 从而使整机性能在可靠性、稳定性方面有了很好的改善, 且本电路可降低仪表成本, 为自动量水仪表的推广提供了有利的条件。值得指出的是, 本测量电路虽是针对以水为介质的小压力液体的检测与控制而设计的, 但同样适用于粘滞较小的导电或不导电的电介质液位的检测与控制。

### [参考文献]

- [1] 李新, 韩克敏, 朱凤书 DGN-1 多功能流量计 [J]. 灌溉排水, 1994, 22 (增刊): 85-90
- [2] 陈梦华, 韩克敏 灌区量水技术的研究进展 [J]. 中国农村水利水电, 2001, (增刊 II): 44-45
- [3] 韩克敏, 李新 微电子电路在量水系统中的应用 [J]. 干旱半干旱地区农业研究, 1993, 11 (2): 64-71
- [4] 韩克敏, 李新, 卢太华 可编程定时电路在量水仪表中的应用 [J]. 西北农业大学学报, 1998, 26 (增刊): 6-9
- [5] 毛楠, 孙瑛 电子电路抗干扰应用技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1996

(下转第 197 页)

## [参考文献]

- [1] 田树玉 用渐近线辅助拟合法确定大粒径砂卵石最大干容重 [J]. 岩土工程学报, 1991, 14 (1): 35- 43
- [2] 郭庆国 粗粒土的工程特性及应用 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998
- [3] 刘贞草 大粒径粗粒材料最大密度的研究 [J]. 土石坝工程, 1987, (2): 59- 64
- [4] 史彦文 大粒径砂卵石最大密度的研究 [J]. 土木工程学报, 1981, (2): 53- 58
- [5] 冯冠庆, 杨荫华 堆石料最大指标密度室内试验方法的研究 [J]. 岩土工程学报, 1992, 14 (5): 37- 45
- [6] SL 237-1999, 土工试验规程 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999

## The method for detemining the placement standards of oversized cohesionless coarse grained soil

TIAN Kan-liang, ZHANG Hui-li, ZHANG Bo-ping, HU Sheng-xia

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northw est Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The maximum dry density and the minimum dry density of oversized cohesionless coarse grained soil should be determined by field compaction test because of the limitation of the method of the laboratory test and the study of model theory. The density testing barrel method is proposed so that the maximum grain diameter of testing material is increased from 100 mm to 360 mm. The method of controlling placement quality by the four-factor ( $\rho_d \sim d_{max} \sim p_s \sim D_r$ ) correlated diagram, the empirical formula of calculating oversized cohesionless coarse grained soil water content and the method for determining the placement of cohesionless coarse grained soil containing very big gravel are also introduced.

**Key words:** oversized cohesionless coarse grained soil; placement standard; maximum dry density

(上接第 192 页)

## The combined circuit device of transducer and amplifier in water-measuring meter

SHI Xin-ling<sup>1</sup>, CHEN Meng-hua<sup>2</sup>, LIU Yun-peng<sup>1</sup>

(1 College of Life Science; 2 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northw est Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The paper introduces a design and usage of transducer and amplifier in water-level meter. Firstly the transducer that is connected primarily by a chip with four strain resistance has an advantage of eliminating spurious signals automatically caused by change of temperature. Then, the sensibility of transducer is raised. Secondly the control circuit has an ability to restrain disturbance greatly from outer-circumstance because it used the in-phase amplifiers with high input impedance and combined with in-series differential amplifier. Consequentially, a high common mode ratio is caused by the combined control circuit. At the same time, the designing method of combined and controlled circuit based on CYG13B transducer and integrated amplifier was offered. Finally the new device that our water-measuring meter has is superior in reliability and stability.

**Key words:** water-level meter; pressure transducer; amplifier; combined control circuit