

一种高精度电导率水质检测传感器的设计

李 文 张志永 吕 赫 何云霄

(北方工业大学 机械与材料工程学院 北京 100144)

摘要: 基于目前电导率水质传感器存在在线检测精度低、稳定性差、不适合集成的问题,设计出一款采用 ADuCM360 芯片的高精度电导率水质传感器。传感器采用脉冲激励电极的方法,减弱了电导率电极极化现象。通过脉冲宽度调制(PWM)改变脉冲宽度和占空比,避免了通过硬件改变 PWM 波形的不便,使传感器调试更加智能化。采用 Pt1000 作温度补偿,提高传感器检测精度。数据传输采用抗干扰能力强的 ADM2587 作为 RS-485 收发器,实现与上位机通信。实验结果表明:设计的电导率水质传感器零点漂移 0.22%,重复性误差 0.50%,温度补偿精度 0.8%,各项实验指标满足行业标准的要求。

关键词: 电导率;检测精度;脉冲激励;脉冲宽度调制;温度补偿

中图分类号: X52

文献标志码: A

0 引言

电导率表征了水体导电能力的大小。按照电导率检测原理可将传感器分为电极型传感器^[1]和电感性传感器^[2]。电感型传感器测量范围大,在低浓度测量时精度较低,对生产有严格要求^[3],不利于多参数集成使用;电极型传感器因其体积小、测量准确、集成方便,被大部分行业采用。本文对电极型检测原理的电导率传感器进行研究设计。

在电极型传感器测量中,测量精度和稳定性是传感器的重要参数。影响电导率传感器测量精度和稳定性的因素,主要包括电极间电阻不平衡引起的漂移、电极极化、电源电压变化,以及电器元件随温度和工作时间产生的特性变化等。为了提高电导率测量精度,国内外学者做了大量的研究工作。文献[1]设计了一种测量范围广的四电极电导率传感器。文献[4]采用脉宽可调的脉冲电压作为电导率测量的激励源,减小了电容效应带来的误差。文献[5]利用精确控制球体电极的间隔提取电导率数值,该技术无需事先校正。文献[6]开发了新型的电阻层析成像测量系统,该系统可以消除存在于溶液界面处的直流(direct current,DC)分量。尽管电导率传感器取得了许多研究成果,但应用于在线检测环境下的传感器还存在很多问题,例如传感器精度不高、校准不智能化、未考虑温度补偿精度、输出信号不统一、不易集成等。因此,设计一款精度高、稳定性好、智能化的电导率传感器具有重要意义。本文采用脉冲电源激励电极,通过 ADM2587 收发器与上位机通信,采用 Pt1000 温度传感器进行温度补偿。

1 测量原理

1.1 电极极化原理

电导率电极由两个相互平行的电极板组成。通过在极板间施加交直流电压,测量极板间流过的电流,计算出溶液的电导率。交流作为激励源时,电极系统容易发生化学极化和浓度极化现象^[7],该现象由溶液在外电场作用下的电化学反应和液体中正负离子的定向移动引起,其生成的内电场与激励电场相反,增加了电极的内阻和电容,造成了测量误差。在分析过程中发现,方波在频率合适的情况下,电容的充放电完成、极化作用最小,选用方波既能保持交流电减弱电极极化的影响,又能保持直流源稳定的

基金项目: 国家自然科学基金项目(51205005);北京市科技创新服务能力建设基金项目(PXM2017-014212-000013)

作者简介: 李文(1975-)男,山东泰安人,副教授,博士,主要研究方向为智能传感器和在线监测技术。

收稿日期: 2018-04-20

优势。

1.2 电导率测量原理

电导率 K 是电阻率 ρ 的倒数 $K = \frac{1}{\rho} \times K_{\text{cell}}^{[1-2]}$ 其中: U 为已知极板间电压, N ; I 为极板间测量电流, A。对某一固定的电极, 极板间对应的有效面积 A 、极板间的距离 l 为常数, 故 K_{cell} 为无量纲的电极常数。测量出 I , 可得电导率 K 。不同的电极常数对应不同的测量范围, 常见电极常数为 0.01、0.10、0.50、1.00、10.00。本文选用 $K_{\text{cell}} = 1.00$ 的石墨电极, 对应的电导率测量值为 0~2 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

1.3 温度补偿原理

电导率测量值对温度比较敏感。温度升高, 离子的活性增加, 使电导率测量误差增大, 增加电导率温度补偿系统对电导率测量精度至关重要。在电导率测量中, 国家标准规定 25 $^{\circ}\text{C}$ 为测定溶液的标准温度^[8], 温度每升高 1 $^{\circ}\text{C}$, 电导率增加 2.2%^[9]。在电导率测量时, 通过 Pt1000 温度传感器采集的温度与 25 $^{\circ}\text{C}$ 进行差值计算后, 进行当前温度的补偿, 其关系式为^[10-13]:

$$K_t = K_{25^{\circ}\text{C}} + K_{25^{\circ}\text{C}} \times \alpha \times (t - 25) \quad (1)$$

其中: K_t 为所测电导率 $\mu\text{S}/\text{cm}$; $K_{25^{\circ}\text{C}}$ 为标准温度下测量的电导率 $\mu\text{S}/\text{cm}$; α 为补偿系数, 取 2.1%; t 为所测温度 $^{\circ}\text{C}$ 。

Pt1000 温度传感器采用 0.01 $^{\circ}\text{C}$ 高精度测量芯片, 在进行温度补偿的同时可监测环境温度, 保护仪器。

2 系统设计

2.1 系统原理图设计

电导率传感器主要分为信号采样模块、信号放大模块、真有效值转换模块、电源模块、中央处理器 (central processing unit, CPU) 模块、温度补偿模块、RS-485 模块, 其系统原理图如图 1 所示。

通过图 1 可知: 电导率电极由 ADuCM360 芯片内部的 PWM 提供激励, 产生的信号经采样电阻 R 采样后送入放大器 AD820; 放大器利用反馈电阻 R_f 适当放大, 将放大后的信号再传输到真有效值转换芯片 AD736, 变为真有效值; 随后经模拟输入通道 AIN1 输入到 ADuCM360; Pt1000 温度传感器信号经模拟输入通道 AIN2 输入; AIN1 与 AIN2 的信号经过运算后由接收/发送 (RXD/TXD) 端口传输到收发器 ADM2587, 由收发器完成与上位机的通信。

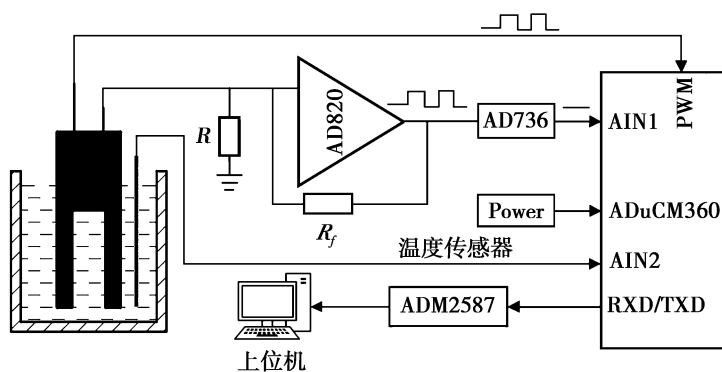


图 1 系统原理图

2.2 硬件电路设计

2.2.1 脉冲电源设计

脉冲电源为电导率电极提供激励源, 驱动电极产生信号, 提供高质量、稳定的激励源是保证传感器精度的必要条件。本文利用 ADuCM360 集成 PWM 的优势进行设计, 该芯片提供 3 对 6 路 PWM 输出, 其波形由 16 位定时器的计数值和比较寄存器决定。在设置 PWM 时, 首先对 PWM 的周期进行调制, 然后在 1 个周期内控制脉冲上升和下降时间, 从而完成预定 PWM 输出。在应用中选择 PWM0 为输出端口, 其输出周期 T 和时长 t 分别为:

$$T = t_{\text{CLK/DIV}} \times (\text{PWMOLEN} + 1) \times N_{\text{PRESCALE}} \quad (2)$$

$$t = t_{\text{CLK/DIV}} \times (\text{PWMOCOMO} - \text{PWMOCOM1}) \times N_{\text{PRESCALE}} \quad (3)$$

其中: $t_{UCLK/DIV}$ 为选择的时钟频率, kHz; $N_{PRESCALE}$ 为预分频器值; $PWMOLEN$ 为 PWM 周期长度, μs ; $PWM0COMX$ (其中, $X=0, 1$) 为改变 PWM 输出状态的时间, μs 。

该设计实现了程序控制 PWM 频率和占空比, 通过选择 2、4、8 等不同的预分频值和高低电平到达的时间, 实现 PWM 最高频率 8 MHz、占空比 0~99 的输出。该系统调制范围大, 避免了集成芯片通过改变外置电阻而改变 PWM 波形的不便^[14], 使传感器的调试更加智能化。

2.2.2 数据通信

传感器与上位机的通信分为模拟信号和数字量信号。模拟信号有电压、电流等, 数字量信号包括串口等各种总线通信。电压信号传输距离短, 易受线缆影响, 232 信号存在共模噪声, 抗干扰能力差等问题。电流型与 RS-485 型属于常用的通信信号, 通信距离远, 抗干扰能力强。与 RS-485 传输信号相比, 电流信号不易使用多点互联结构进行总线收发设置, 与其他传感器集成困难, 因此, 本文选用 RS-485 进行数据通信。考虑到水体环境的复杂性, 使用了具有电气隔离、抗电磁干扰能力强的 ADM2587 收发器。为增大传感器的通用性, 采用标准 Modbus 作为通信协议。

2.3 软件设计

该传感器软件主要完成系统数据的定时采集与运算、PWM 控制、串口与上位机通信等功能, 具体应用部分包括模数转换器 (analog-to-digital converter, ADC)、串口、时钟、flash、校正模块。在数据处理中, 为使采集到的数据更加稳定, 首先对信号进行滤波处理, 过滤掉冗余噪声信号, 然后将滤波的信号进行均值处理、公式运算和温度校正后输出。其中, 数据采样频率可以通过内部程序进行设置, 以适应不同测量精度和采集频率的需要, 默认为 16 次/s。该系统程序流程图如图 2 所示。

通过图 2 可知: 软件系统工作时将硬件端口初始化, 进行 PWM 控制输出; 检测是否收到传感器指令包, 读取 flash 配置, 进行数据的周期采集。采集到的数据经过滤波、均值、校正处理后, 送入温度校正模块输出, 最后控制是否通过串口输出电导率值。

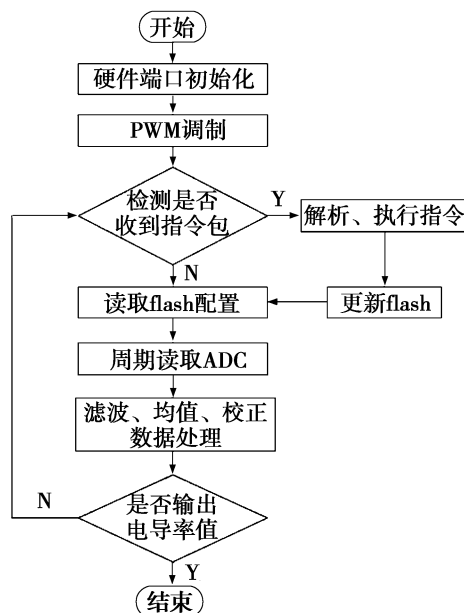


图2 系统程序流程图

3 实验与数据分析

按照行业标准 HJ/T 97—2003 进行实验平台的搭建与技术指标运算^[15]。

3.1 实验准备与平台搭建

按照行业标准 HJ/T 97—2003 进行实验器材和标准试剂的准备^[15]。其中, 零点校正液采用超纯水, 电导率 $K \leq 0.055 \mu S/cm$; 标准溶液采用中国计量科学研究院提供的 GBW(E) 130108、GBW(E) 130107 标准溶液, 不确定度为 0.25%。

将装配好的电导率传感器放置于铁架台并固定好, 调节水浴加热器到适当的温度 (25 °C) 将标准物质溶液从冷藏箱中取出, 依次放进水浴箱中加热 (冷却) 至目标温度。为保证测量的准确性, 电导率溶液从低到高依次测量。电导率实验平台如图 3 所示。

3.2 零点漂移

将电极系统浸入零点校正液, 读取 5 min 后的电导率值作为初始值, 连续测定 24 h, 与初始值比较, 计算该段时间内测量值的最大变化幅度相对于量程的百分率^[15]。同时, 在该过程中对比了 25 °C、10 °C、5 °C 情况下零点校正液的测量结果。不同温度零点校正液电导率测量值见表 1。



图3 电导率实验平台

表 1 不同温度零点校正液电导率测量值

溶液温度/℃	μS/cm					
	测量次数 i					
	1	2	3	4	5	6
25	1.1	3.0	4.2	4.3	3.5	3.8
10	0.8	1.2	1.2	1.5	1.1	0.9
5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2

注:第 1 次测量值为初始值。

$$25\text{ }^{\circ}\text{C 零点漂移} = \frac{|\text{标准值} - X_i|}{\text{量程值}} \times 100\% = 0.22\% , \quad (4)$$

其中: X_i 为第 i 次测量的数值,下同。

同理可得: $10\text{ }^{\circ}\text{C 零点漂移} = 0.02\%$ $5\text{ }^{\circ}\text{C 零点漂移} = 0.01\%$ 。

经计算可知: $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的零点漂移均小于标准要求的 $\pm 1\%$,且量程漂移随温度升高而变大。可能是由于超纯水并非理想的无离子水,温度较高时,微量的离子活性、不确定性增加,最终引起零点漂移偏大。

3.3 重复性误差

在同一工况下,将电极浸入 GBW(E) 130108 标准溶液,重复测定 GBW(E) 130108 标准溶液 12 次,计算测量结果的相对标准偏差 $RSD^{[15]}$ 。GBW(E) 130108 标准溶液电导率测量值见表 2。

表 2 GBW(E) 130108 标准溶液电导率测量值

测量次数 i	μS/cm											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GBW(E) 130108 电导率测量值	145.2	147.7	147.1	148.1	146.9	147.4	147.9	147.3	147.5	147.2	147.6	147.5

$$RSD = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} / \bar{X} \right) \times 100\% = 0.50\% , \quad (5)$$

其中: \bar{X} 为 n 次测量的算术平均值; n 为测量的总次数。

经计算可知:同一工况下,该传感器重复性误差为 0.50% ,符合行业标准的要求。其中,1~7 次测量的数据重复性误差为 0.66% ,数据重复性误差较大,这是由于系统和水浴加热器均需要时间来稳定所引起的,故测量数据呈现先微小波动后稳定的趋势。

3.4 温度补偿精度

将传感器放入 GBW(E) 130108 标准溶液中,在 $10\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的变幅改变水浴加热器的温度并测定标准溶液的电导率值,根据测定结果,求出各测量值与标准溶液电导率值($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)之差相对于标准电导率值($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)的百分率^[15]。同时,增加了不同标准溶液的温度补偿与未补偿的结果比较。GBW(E) 130108、GBW(E) 130107 溶液温度补偿与未补偿电导率测量值分别如表 3 和表 4 所示。不同温度不同溶液温度补偿精度如表 5 所示。

表 3 GBW(E) 130108 溶液温度补偿与未补偿的电导率测量值

溶液温度/℃	μS/cm		
	不同温度标准溶液值	未加温度补偿测量值	增加温度补偿测量值
10	108.0	107.1	146.5
15	120.0	118.9	146.7
20	133.3	134.5	147.1
25	147.7	146.5	147.9
30	162.5	161.2	148.5

注: $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 标准溶液的电导率值依据 GBW(E) 130108 标准物质证书给定的 $+2\%/^{\circ}\text{C}$ 计算所得。

表 4 GBW(E) 130107 溶液温度补偿与未补偿的电导率测量值

μS/cm

溶液温度/℃	不同温度标准溶液值	未加温度补偿测量值	增加温度补偿测量值
10	1 225.5	1 210.4	1 398.3
15	1 250.0	1 234.8	1 404.5
20	1 275.0	1 261.2	1 407.2
25	1 410.0	1 380.5	1 413.6
30	1 438.2	1 425.4	1 415.3

注: 10 ℃、15 ℃、30 ℃ 标准溶液的电导率值依据 GBW(E) 130107 标准物质证书给定的值+2% /℃ 计算所得。

表 5 不同温度不同溶液的温度补偿精度

%

溶液温度/℃	GBW(E) 130108 标准溶液温度补偿精度		GBW(E) 130107 标准溶液温度补偿精度	
	未加温度补偿	增加温度补偿	未加温度补偿	增加温度补偿
10	27.5	0.8	-14.2	-0.2
15	19.5	0.6	-12.4	-0.4
20	8.9	0.4	-10.6	-0.2
25	0.8	-0.1	-2.1	0.3

由表 3~表 5 数据可知: 未加温度补偿的测量误差在 10 ℃ 时达到 27.5% , 远超过行业标准温度补偿精度(±1%) 的要求 , 增加温度补偿后 , 所测量的最大误差为 0.8% , 满足行业标准的要求。表 4 数据与表 3 呈现出同样的现象 , 增加温度补偿后测量的数据满足行业要求 , 未增加温度补偿测量数据超过标准所要求的范围。由表 3~表 4 测量数据可知: 在低电导率测量时 , 温度补偿后数据比较稳定 , 在高电导率测量时 , 温度补偿后的数据波动较大 , 这是由于在电导率值较高时 , 溶液中活性离子较多 , 受温度影响较大引起的。通过温度补偿精度的实验数据可以说明 , 温度补偿使电导率测量更加准确 , 满足了行业标准的要求。

4 结论

- (1) 设计了一款基于 ADuCM360 的水质高精度电导率传感器 , 提高了传感器的检测精度和稳定性。设计了稳定的脉冲激励电源 , 减小了电导率极化现象。
- (2) 通过软件设置 , 控制 PWM 输出 , 同改变硬件方法相比 , 传感器调试更智能化。
- (3) 采用 Pt1000 温度传感器对传感器进行温度补偿 , 提高了检测精度。
- (4) 使用隔离、抗干扰能力强的 ADM2587 作为 RS-485 收发器 , 数据传输稳定。
- (5) 通过实验验证 , 设计的传感器零点漂移为 0.22% , 重复性误差为 0.50% , 温度补偿精度为 0.8% , 各项指标均满足行业标准的要求。

参考文献:

[1] 李学胜 , 卢欣春 , 罗孝兵 等. 一种四电极电导率传感器的研制 [J]. 传感器与微系统 , 2013 , 32(2) : 105-107.

[2] 兰卉 , 林玉池 , 贾文娟 等. 感应式低电导率传感器设计 [J]. 传感器与微系统 , 2012 , 31(10) : 78-80.

[3] 喻嵘 , 王玉峰 , 王晓磊 等. 一种新型的混合平面结构电导率传感器的设计与实现 [J]. 传感技术学报 , 2017 , 30(10) : 1614-1618.

[4] 张媛媛 , 罗益民 , 邵铃. 基于 C8051F 单片机的智能电导率分析仪的研制 [J]. 仪表技术与传感器 , 2015(4) : 33-35.

[5] HONG S M , JEFFREY H L , ALEXANDER H S. Calibration-free measurement of liquid permittivity and conductivity using electrochemical impedance test cell with servo-mechanically adjustable cell constant [J]. IEEE sensors journal , 2009 , 9(5) : 515-524.

[6] CILLIERS J J , XIE W , NEETHLING S J , et al. Electrical resistance tomography using a bi-directional current pulse

technique[J].Measurement science and technology 2001,12(8):997-1001.

- [7] 朱澄 徐方甫 车晓镭.基于 ST7 单片机的液体电导率传感器[J].物理实验 2009 29(2):17-19.
- [8] 陈小平 陈红仙.水电导率的双频测定方法[J].仪器仪表学报 2006(5):520-522.
- [9] 王海燕 朱孟府 宿红波 等.在线水质电导率信号采集系统的电路设计[J].医疗卫生装备 2008(10):24-26.
- [10] 王少明.快速准确测定地表水的电导率[J].水资源保护 1993(4):50-49.
- [11] 祁建广 李宝营 李仁庆.低功耗水质电导率测量仪设计[J].仪表技术与传感器 2017(5):49-52.
- [12] 罗倩 周孟然 刘骏.插值法在电导率温度补偿系统设计中的应用[J].河南科技大学学报(自然科学版) 2016, 37(5):33-36.
- [13] 张勇 黄赛清.微处理器电导率仪的研制[J].上海海运学院学报 2003(4):355-359.
- [14] 慕声波 黄霖 尹保安.一种基于两电极体系的电导率检测系统[J].机电工程 2019 36(2):158-162.
- [15] 国家环境保护总局.电导率水质自动分析仪技术要求: HJ/T 97—2003[S].北京:中国环境科学出版社 2003.

本文引用格式:

李文 张志永 吕赫,等.一种高精度电导率水质检测传感器的设计[J].河南科技大学学报(自然科学版) 2019, 40(5):19-24.

LI W ZHANG Z Y ,LV H ,et al.Design of high precision conductivity sensor in water quality monitoring [J].Journal of Henan university of science and technology(natural science) 2019 40(5):19-24.

(上接第 18 页)

- [18] NIETODELGADO C ,RANGELMENDEZ J R.Production of activated carbon from organic by-products from the alcoholic beverage industry: surface area and hardness optimization by using the response surface methodology [J].Industrial crops & products 2011 34(3):1528-1537.
- [19] LIU T L. Development of mesoporous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation[J].Chemical engineering journal 2010 158(2):129-142.
- [20] GRIGOROVA E ,MANDZHUKOVA T ,TSYNTSARSKI B ,et al.Effect of activated carbons derived from different precursors on the hydrogen sorption properties of magnesium[J].Fuel processing technology 2011 92(10):1963-1969.
- [21] NJOKU V O ,HAMEED B H.Preparation and characterization of activated carbon from corncob by chemical activation with H_3PO_4 for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid adsorption[J].Chemical engineering journal 2011 173(2):391-399.
- [22] 苗天博 陈萍 刘明华.氰乙基球形木质素吸附剂对亚甲基蓝的吸附行为研究[J].中国造纸学报 2015 30(1):40-45.

本文引用格式:

邓秀春 白小杰 林露,等.造纸白泥活化莲藕渣制备活性炭及其表征[J].河南科技大学学报(自然科学版) 2019, 40(5):13-18 24.

DENG X C ,BAI X J ,LIN L ,et al.Preparation and characterization of activated carbon derived from lotus root residue [J].Journal of Henan university of science and technology(natural science) 2019 40(5):13-18 24.

Preparation and Characterization of Activated Carbon Derived from Lotus Root Residue ... (13)

DENG Xiuchun ,BAI Xiaojie ,LIN Lu ,CHEN Yandan (*College of Material Engineering ,Fujian Agriculture & Forestry University ,Fuzhou 350002 ,China*)

Abstract: The activated carbon was prepared by using lotus root residue as raw material based on the in-situ physical activation effect resulting from papermaking white mud. The effects of papermaking white mud dosage , activation temperature and activation time on the yield and adsorption properties of lotus root-based activated carbon were investigated. The pore structure , surface functional groups and surface micro-morphology of lotus root-based activated carbon were characterized by porosity analyzer , Fourier transform infrared spectrometer and scanning electron microscopy. The experimental results show that when the mass ratio of lotus root to white mud is 1 :1 , the activation temperature is 850 °C , and the activation time is 1 h , the as-prepared lotus root-based activated carbon has a specific surface area of 858 cm² · g⁻¹ and an average pore diameter of 2.63 nm. At 30 °C , lotus root-based activated carbon displays a high adsorption efficiency for methylene blue aqueous solution , and the adsorption equilibrium can be achieved within 60 min with a removal rate of 96.8%. The adsorption process of methylene blue on lotus root-based activated carbon accords with the quasi-second-order kinetic equation.

Key words: lotus root residue; papermaking white mud; activated carbon; methylene blue; adsorption

CLC number: X705

Document code: A

Article ID: 1672-6871(2019) 05-0013-06

• Machinery and Instruments •

Design of High Precision Conductivity Sensor in Water Quality Monitoring (19)

LI Wen ,ZHANG Zhiyong ,LV He ,HE Yunxiao (*Institute of Mechanical & Material Engineering ,North China University of Technology ,Beijing 100144 ,China*)

Abstract: In order to solve the problem that the online detection results of the conductivity sensor in water quality monitoring were widely inaccurate , unstable and unsuitable integration , the high precision conductivity sensor based on ADuCM360 chips was designed. The sensor adopted the method of pulse excitation electrode , which effectively weakened the polarization phenomenon of the conductivity electrode by changing the pulse width and the duty ratio of pulse-width modulation (PWM) , the inconvenience of changing the PWM waveform by hardware was avoided , and the sensor debugging was more intelligent. The Pt1000 was used for temperature compensation to improve the detection accuracy of the sensor. The data transmission adopted the strong anti-interference ability ADM2587 as the RS-485 transceiver to realize communication with the host computer. The experiments show that the zero drift is 0.22% , the repeatability error is 0.50% , and the temperature compensation precision is 0.8%. All the parameters meet the requirements of the industry standard.

Key words: conductivity; monitoring accuracy; pulse excitation; pulse-width modulation; temperature compensation

CLC number: X52

Document code: A

Article ID: 1672-6871(2019) 05-0019-06

Design of High-precision Phase Measuring Instrument Based on All Phase FFT Method ... (25)

XU Qiaoyu¹ ,LIU Jinxia¹ ,WANG Junwei² ,ZHU Pei¹ ,HUANG Mengbin³ (1. *Mechatronics Engineering School ,Henan University of Science & Technology ,Luoyang 471003 ,China*; 2. *Luoyang GINGKO Technology Co. Ltd. ,Luoyang 471003 ,China*; 3. *No.722 Research Institute ,China Shipbuilding Industry Corp. ,Wuhan 430205 ,China*)

Abstract: To overcome low precision and complex structure of traditional phase measuring instrument , a high-precision phase measuring instrument based on all phase fast Fourier transform algorithm (FFT) was proposed. The STM32F407VGT6 with high performance Cortex-M4 kernel was taken as the core of the system , and the phase signal was acquired by the high-speed synchronous analog-to-digital converter AD7606. The high-precision all-phase FFT was adopted to calculate the phase , and remote transmission and display of the data through the Ethernet interface were achieved in this scheme. The experimental results show that the actual error