

液位检测光纤传感器系统设计

王箭¹ 肖韶荣¹

摘要

系统采用双膜盒作为水压的敏感元件,将光纤位移传感器用于检测膜盒随水压变化引起的形变.系统的信号处理电路包括光信号前置放大电路、带通滤波电路、真有效值转换电路,采用16位超低功耗的混合信号处理器 MSP430 作为数据处理模块.实验结果表明:系统可以测量0~181.0 mm的水面液位变化,分辨率为0.7 mm.增加膜盒的数量可以提高系统的分辨率.

关键词

双膜盒;光纤传感器;液位监测

中图分类号 TN253;TN29

文献标志码 A

0 引言

Introduction

目前,在气象站中常用卫星测高技术和水尺测量方法检测海平面的变化.卫星测高是以卫星为载体,借助测高仪来测量卫星到瞬时海平面的垂直距离的技术和方法,但该技术成本较高,且主要用于测量海啸、厄尔尼诺现象等大幅度的洋面变化,对于海洋表面高度的缓慢变化却很难做到精确测量^[1].在我国,主要是验潮站通过水尺测量的方法得到海面变化数据,但水尺的零点需要由验潮站水准点通过水准测量来测定^[2],由于地域的差异,不同验潮站观测得到的海面变化实际上是相对于不同的参考基准的,得到的资料往往是年平均值且精确度不高,缺乏实时性.有鉴于此,本文提出了利用光纤位移传感器检测膜盒形变的方法,用以改善和优化液位传感器的性能,这种方法的优点主要是无地域性差异、灵敏度高、实时性好,且无电气连接产生的影响,装配方便、制作过程简单.

1 光纤液位传感器的结构和原理

Structure and principle of liquid level measurement based on optical fiber sensor

1.1 检测系统构成

光纤液位传感器的结构如图1所示.传感器的主要组成部分有双膜盒^[3]、光纤位移探头和防水支撑结构.双膜盒是水压变化的敏感组

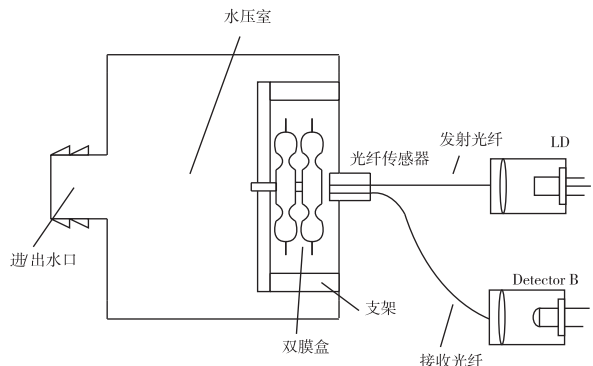


图1 双膜盒压力传感器的结构

收稿日期 2010-04-23

作者简介

王箭,男,硕士生,研究方向为光电信号与信息处理. nj_wj1001@sina.com

肖韶荣(通讯作者),男,博士,教授,博士生导师,主要从事光电信号与信息处理的研究. sr.xiao@nuist.edu.cn

¹ 南京信息工程大学 电子与信息工程学院, 南京,210044

件,膜盒中央为光滑平面,近似反射平面,为提高反射光强度,可以在膜盒中央粘贴一个小反射镜. 水压变化时,双膜盒的4个膜片均发生形变,在一定的水压范围内,膜盒中央的位移形变量与水压的变化量成正比,通过光纤位移探头测量膜盒中央的位移形变量实现对水压室水压的测量,从而得知水面高度变化量.

1.2 光纤位移探头输出特性分析

在系统中,需要确定水压传感装置的工作点^[4],即确定光纤探头端面和膜盒反射面的间隔 d ,首先需要测得光纤位移探头的输出特性曲线(图2).

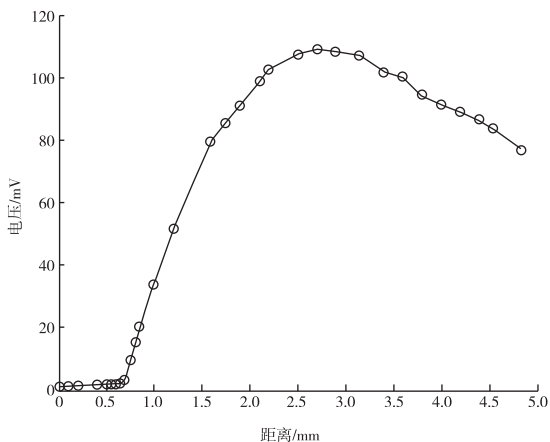


图2 电压与位移之间的关系

Fig. 2 Dependence of voltage on displacement

图2表明在波峰前端有一段线性度较好的区间,线性区的中点对应探头端面离反射面约1.25 mm处. 选择该点作为系统的工作点,确定初始状态. 在实验装置中,光纤采用多光束光纤,光纤分布呈半圆状,投射光纤输出端和接受光纤接收端纤芯直径为1 mm. 膜盒内部为低真空状态,测量时调整探头位置,将探头位置设置在输出特性曲线中较为灵敏的位置上,当水面升高引起压力增加时,膜盒压缩,间隔 d 增大;若压力减小时,膜盒膨胀,间隔 d 减小.

光纤液位传感器的系统框如图3所示,主要包括光纤位移探头、双膜盒检测器、光电探测器、前置放大器、带通滤波器、真有效值转换和后置放大器等.

该系统中,光源采用波长为650 nm、光功率为5 mW的半导体激光器,由单片机产生1 kHz的脉冲经过激光调制器后驱动光源,将输出光调制约为1 kHz的脉冲序列,实际测试为998 Hz. 该脉冲光经过光纤和双膜盒检测器后,由光敏二极管检测,输出的光电流送入前置放大器转换为电压信号,再经各自

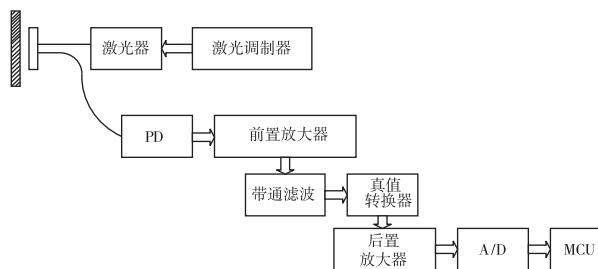


图3 系统框图

Fig. 3 Block diagram of the system

带通滤波和真有效值转换,得到的直流电压信号经后置放大后,由单片机对获得的信号进行处理,并输出显示结果.

2 电路系统设计

Design of circuit system

2.1 稳光强激光调制系统

由于系统采用单接收光纤,光源的稳定成为整个系统稳定工作的重要环节. 为此,系统设计了较为精密的稳光强电路(图4),光源系统采用负反馈方式对LD的光功率进行控制.

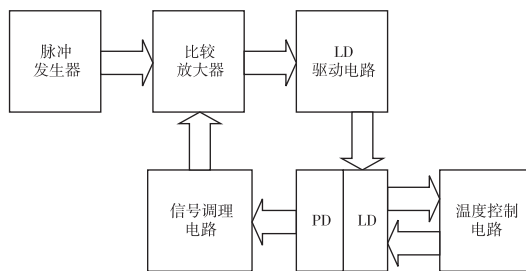


图4 稳光强系统

Fig. 4 System diagram of steady light

由脉冲发生模块产生较为稳定的脉冲信号,通过比较放大模块和激光管驱动电路驱动LD,背向光检测器(PD)接收LD的光功率并将其转化为电信号,此信号通过调理电路处理后送到比较放大模块,与脉冲信号进行比较放大,并再次送入激光管驱动电路,完成对LD光功率的稳定控制,使LD的光功率在一个很小的范围内波动.

脉冲发生模块采用MSP430产生较为稳定的脉冲,频率为1 kHz,单片机的准确定时主要取决于晶振的稳定性. 由于石英晶体的损耗非常小,即Q值非常高,做振荡器使用时,可以产生非常稳定的振荡,在温度从-10 ~ 60 °C变化时的稳定度为 $\pm 1 \times 10^{-6}$

或 $\pm 2 \times 10^{-6}$. 因此从低功耗、高稳定性和低成本考虑,采用单片机产生脉冲. 通过对单片机编程,仿真时产生 1 kHz, 50% 占空比的方波,在实际电路测试中,频率为 998 Hz.

激光器的驱动电路采用射极偏置电路^[5]. 它是交流放大电路中最常见的一种基本电路. 电路设计如图 5 所示.

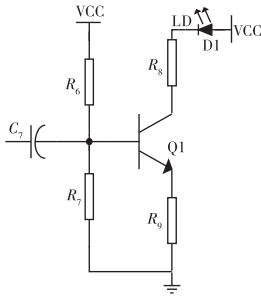


图 5 LD 驱动电路
Fig. 5 LD driving circuit

在该电路中,由于 R_9 的反馈控制,使 I_c 基本稳定,有较为稳定的 Q 点. 考虑到 LD 的实际工作状态,电路参数设定为 $C_1 = 47 \mu\text{F}$, $R_6 = 15 \text{k}\Omega$, $R_7 = 18 \text{k}\Omega$, $R_8 = 56 \Omega$, $R_9 = 91 \Omega$. 实际电路 Q 点参数为 $I_c = 40.1 \text{ mA}$, $I_b = 0.25 \text{ mA}$, $V_{ce} = 3.90 \text{ V}$.

对 I_c 的选取应注意如下几点:

1) 为了对 LD 进行有效地光功率控制,当在脉冲信号下工作时,LD 的脉冲电流必须完全处于 LD 的阈值电流之上;

2) 电路的最大电流不应该超过 LD 所能承受的最大电流值.

此电路中,LD 的最低脉冲电流为 29.1 mA,大于其阈值电流 ($I_{th} = 24.3 \text{ mA}$),电路的最大电流为 67.5 mA,在 LD 的最大承受限度之内.

对于 5 mW 系列的半导体激光器,只要适当地选取驱动电路中电阻的参数,就能做到普遍的实用性,有利于该系统的普遍性应用.

根据上述系统,测得光源的光功率,剔除数据中异常点之后得到图 6.

2.2 信号调理电路

信号调理电路包括光电流的 I/V 及前置放大电路(图 7)、带通滤波电路、真值转换电路和后置放大电路.

系统选用 PIN 光电二极管作为探测器^[6],其工作波长为 400 ~ 1 100 nm,峰值波长 850 nm,采用低功耗

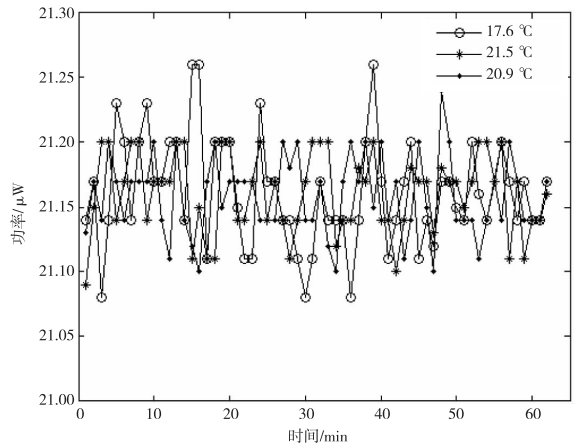


图 6 稳光强数据
Fig. 6 The stability of LD

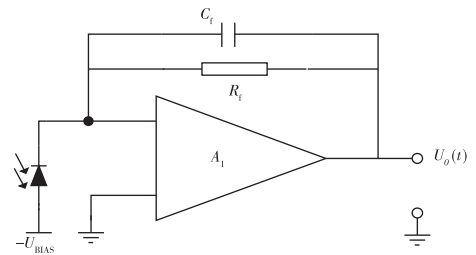


图 7 前置放大电路
Fig. 7 Pre-amplifier circuit

低噪声集成运放 op07,其输入失调电压仅为 $75 \mu\text{V}$,温漂系数为 $0.2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,电路中为防止产生自激振荡,在反馈电阻上并联一个电容,系统取 47 pF .

从出射光纤接受的信号中含有背景光噪声,经过前置放大后,需要从其中得到可用信号,所以在前置放大后需要带通滤波电路将其中有用信号提取出来. 考虑到前置放大器工作的稳定性,放大器的电流-电压转换系数不宜太大,在光信号较弱的情况下,前置输出的信号较小,因此,调理电路中的带通滤波器采用带增益的有源滤波器^[7],如图 8 所示.

实际调试结果带宽为 219 Hz,中心频率为 1 013 Hz,光电探测器输出的为准周期信号,其各次谐波谱分量位于通带之外,观测到的正弦波信号即为光脉冲的基波分量对应的信号.

带通滤波器的输出为正弦交流信号,为方便单片机 A/D 采样,将交流信号按比例转换为直流电压信号. 本系统采用 AD736 单片精密真有效值转换芯片^[8],将带通滤波输出的交流信号按有效值运算转换为直流信号. 实际电路中电容采用钽电解电容,电阻采用金属膜电阻.

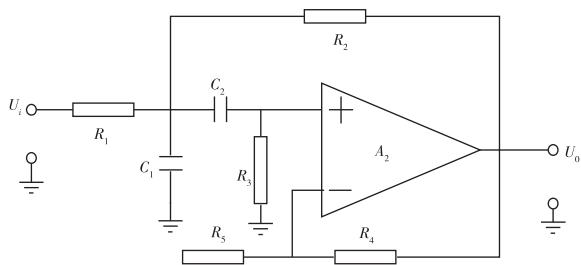


图8 二阶有源压控带通滤波电路

Fig. 8 Second order active BPF circuit

系统数据处理部分采用美国 TI 公司生产的微处理器 MSP430F149^[9],它是一种 16 位超低功耗的混合信号处理器(Mixed Signal Processor),由于它具有精简的指令集,使得程序开发和移植都很简单、快捷.该单片机内部具有 12 位 A/D 转换器,已满足系统的精度要求,无需再另外设计 A/D 转换电路,并且它可以直接驱动液晶显示器,进一步节省开发成本,使用十分方便.

3 系统测量结果与讨论

System measuring result and discussion

系统的稳定性主要取决于电源的稳定和光源的稳定性,因此在实际实验中,电源采用稳定性较好的开关电源作为整个系统的电源,光源采用稳光强电路设计.

按图 9 所示组装系统,其中水箱的高度固定在高出光纤端面水平位置约 1 m 处,以模拟系统在水下的工作状态,水箱中的水面高度为 0 ~ 181.0 mm,其系统测量的电压变化有较好的线性度(图 10),经过多次测量后,系统的分辨率可以达到 0.7 mm.

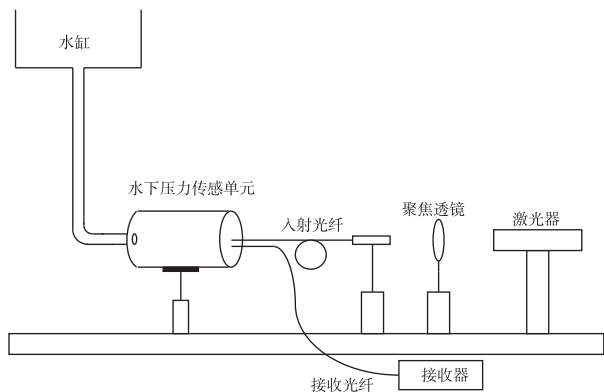


图9 系统实验框

Fig. 9 Block diagram of experiment system

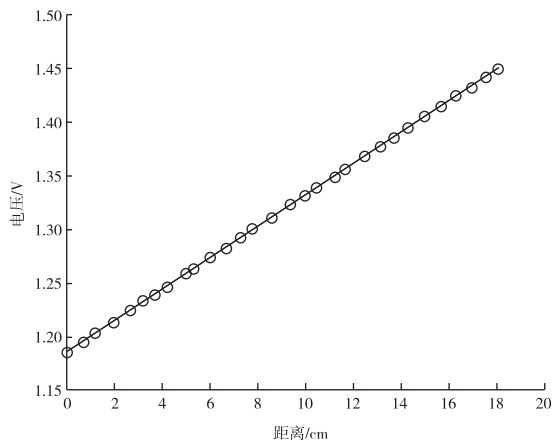


图10 水下压力与电压之间的线性关系

Fig. 10 Dependence of voltage on underwater pressure

由于系统采用单接收光纤,光源的稳定性会使系统的精度和灵敏度受到影响,如果采用双接收光纤同时接收信号光,由于光源的不稳定所导致的系统误差将会大大降低,下一步将进行此方面的研究.此外,通过增加膜盒的数量可以增加因液面变化所引起的膜盒与光纤端面的距离变化量,可以进一步提高系统的分辨率.

4 结论

Conclusion

基于光纤位移传感器的液面高度变化测量系统具有结构简单、抗环境干扰能力强、灵敏度高等优点.采用 MSP430F1XX 系列单片机进行采样和数据处理使得测量系统结构紧凑,便于智能化.可以通过增加膜盒的数量,实现更高灵敏度的测量,还可根据实际应用的要求,进一步优化结构参数.

参考文献

References

[1] 张建锋,何家富,谭哲. 海洋卫星及其应用[J]. 数字通信世界,2009 (12):48-51
ZHANG Jianfeng, HE Jiafu, TAN Zhe. Ocean satellite and application[J]. Digital Communication World, 2009 (12): 48-51

[2] 黄立人,杨国华,胡惠民. 中国沿海海面变化的均衡基准[J]. 地震地质,1991,13(1):1-14
HUANG Liren, YANG Guohua, HU Huimin. Benchmark of coastal sea level transformation of China[J]. Seismology and Geology, 1991, 13(1): 1-14

[3] 肖韶荣,贲富来,朱平,等. 双通道光纤气压传感器系统设计[J]. 量子电子学报,2008,25(5):634-638
XIAO Shaorong, BEN Fulai, ZHU Ping, et al. Design of two-path fiber atmospheric pressure sensor[J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2008, 25(5): 634-638

- [4] 肖韶荣,朱平,贲富来. 光纤气压传感器特性分析[J]. 光学精密工程,2008,16(6):1042-1047
XIAO Shaorong,ZHU Ping,BEN Fulai. Analysis on characteristics of optical fiber sensor for atmospheric pressure[J]. Optics and Precision Engineering,2008,16(6):1042-1047
- [5] 刘澄. 半导体激光器稳功率脉冲电源设计[J]. 半导体光电,2004,25(3):235-237
LIU Cheng. Design of stable pulse source for semiconductor lasers[J]. Semiconductor Optoelectronics,2004,25(3):235-237
- [6] 安毓英,曾晓东. 光电探测原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004
AN Yuying,ZENG Xiaodong. Theory of photoelectric detection[M]. Xi'an: Xidian University Press,2004
- [7] 邱关源. 现代电路理论[M]. 北京:高等教育出版社,2001
QIU Guanyuan. Modern circuit theory[M]. Beijing: Higher Education Press,2001
- [8] 刘春生. 真有效值 AC/DC 转换器 AD736 及其在 RMS 仪表电路中的应用[J]. 国外电子元器件,2001(9):66-68
LIU Chunsheng. Principle and application of true effective value AC/DC converter AD736[J]. International Electronic Elements,2001(9):66-68
- [9] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002
WEI Xiaolong. Interface and system design instance of MSP430[M]. Beijing: Beihang University Press,2002

Design of liquid level detecting based on optical fiber sensor

WANG Jian¹ XIAO Shaorong¹

¹ School of Electronics and Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract By taking a twin diaphragm box as the sensing component for underwater pressure, a micrometric optical fiber displacement sensor was employed to inspect deformation of diaphragm box with water pressure changing. The signal processing circuit mainly includes signal pre-amplifier, BPF, RMS converting circuit, and 16 Bit MSP430 with ultralow-power consumption. The experimental results indicate that the change of water level from 0 mm to 181 mm can be detected with the resolution of 0.7 mm. The resolution can be improved by increasing the amount of the diaphragm boxes.

Key words twin diaphragm box; optical fiber sensor; liquid level measurement