

· 电路与控制 ·

基于光纤光栅地震检波解调系统的微弱信号检测电路设计

闫冰¹, 丁锋²

(1. 中国石化中原油田石油化工总厂仪表车间, 河南 濮阳 457000; 2. 中国石化中原油田勘察设计研究院, 河南 濮阳 457000)

摘要: 研究了并设计了应用于光纤光栅地震勘探系统的光电检测电路。宽带光源经光纤光栅传感器反射回来的布拉格信号波很微弱, 这就对微弱信号的检测提出了一个很大的难题, 也影响着整个地震勘探解调系统的检测精度。在对一般电路设计的思路基础上, 研究和设计了可探测微弱信号的光电转换电路。经过实验证明, 此电路的噪声仅为0.19 mV, 从而提高了系统的解调精度和速度。

关键词: 光纤光栅; 光电检测; 地震勘探; 电路设计

中图分类号: TN911.23; TP368

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-05-0065-04

Design of Weak Signal Detection Circuit Based on Fiber Bragg Grating Seismic Demodulation system

YAN Bing¹, DING Feng²

(1. Zhongyuan Oilfield Petroleum & Chemical Technology General Plant Instrument Factory of Sinopec, Puyang 457000, China;
2. Zhongyuan Oilfield Survey and Design Institute of Sinopec, Puyang 457000, China)

Abstract: A photoelectric detection circuit used in fiber Bragg grating (FBG) seismic surveying system is researched and designed. The Bragg signal wave reflected by a fiber grating reflector from a broadband light source is very weak. So the detection of weak signal is very difficult and the detection accuracy of the entire seismic demodulation system is also influenced. Based on the general circuit design idea, a photoelectric conversion circuit detecting weak signals is researched and designed. Experimental results show that the noise in the circuit is only 0.19 mv. So the demodulation accuracy and speed of the system are improved.

Key words: fiber grating; photoelectric detection; seismic surveying; circuit design

在地震勘探系统中, 由于所勘察的环境和外界空间干扰源等因素的影响, 拾取地震信息的传感器也由电磁类向光类的传感器转变。随着技术的不断发展, 光纤布拉格光栅作为一种新型的光无源传感器件具有其他传感器无可比拟的优点^[1-2], 近年来国内外对光纤光栅的应变、应力和温度等物理量的传感特性进行了多方面的研究, 技术日趋成熟。利用FBG传感器的波长编码特性, 不仅可以用来检测温度、应变等准静态量, 还可以用来检测加速度、微振动^[3-6]。应用于地震勘探的各种速度、加速度传感器

越来越多, 也越来越先进。对于其检测的配套电路的设计也就成为了检测系统不可或缺的部分, 在实际应用中, 解调系统的电路设计成为了十分关键的, 往往影响着后续数据的处理。

在研究光纤光栅勘探系统的基础上发现光电转换后的信号十分微弱, 且易受环境噪音的干扰, 甚至会淹没有用信号, 所以研究并设计了光电检测电路, 从而提高了解调系统的分辨率, 可以很好地应用于各类光电检测系统中。

收稿日期: 2013-07-10

作者简介: 闫冰(1972-), 男, 工程师, 主要从事电子设计、化工仪表维护和控制系统设计等方面的研究; 丁锋(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事光电检测, 光纤地震勘探解调及化工仪表维护与油气加工设计等方面的应用研究。

1 地震检波解调系统

所建立的地震波解调系统原理图如图1所示^[4]。光源发出的光经过光隔离器和耦合器入射到检波器,由传感光栅反射后形成窄带布拉格光谱经3 dB耦合器到达光电探测器PIN并被转化为相应的电压信号,再经低噪声的放大滤波电路和数据采集系统最后进入计算机处理系统,经过一系列数据处理即可得到测量结果。系统中,光源既是系统中能量的来源,又是解调系统。图1中虚线框内的部分为光电检测电路的设计部分,即微弱信号处理电路,也是文中要解决的主要问题。

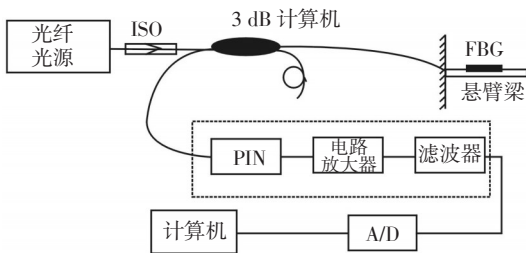


图1 光纤光栅地震勘探系统原理图

由于系统属于动态测量,对解调系统有着特殊的要求:(1)从原理上,必须选用同步采样的光纤Bragg光栅解调技术;(2)从应用上,必须满足振动测量精度、频率响应的要求。基于这两点,解调系统要达到实用化的目的,必须研究出适合动态实时监测的要求。

2 微弱信号检测电路的设计

微弱光信号检测电路的设计主要有几个部分。首先是对光信号进行光电转换,即可通过光电探测器将光信号转换为电流信号;再经过前置放大器将电流信号转换为电压信号;最后再经过二次放大,甚至加滤波,将其转换为可以有效识别的检测信号。其中前置放大在整个电路中起着至关重要的作用^[7]。微弱信号检测电路的原理图如图2所示。

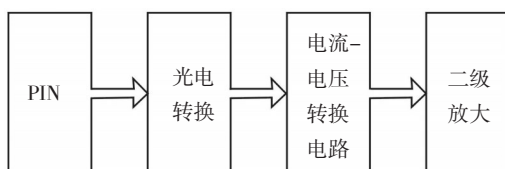


图2 微弱信号检测电路的原理图

由于光纤光栅地震检波器是以光信号为变换和传输的载体,因此必须借助光电检测电路将被调制到光载波上的外界变化量转换成电信号输出。通常光电探测器所接收到的光信号都十分微弱,转换后的电信号也非常小,而且又受到背景噪音、元件噪音、电路噪音的影响,要得到精确的检测结果有很大的难度。因此,光电检测放大电路的性能对整个解调系统性能起着决定作用。

2.1 光电探测器

由于光纤光栅传感器是以光信号为载体,因此要借助光电转换电路将光信号转换成电信号。光电转换电路通常可表示为:光→电流→电压。从光→电流的转换主要由光电探测器来完成。光电探测器是一种把光能转换成电能的光电器件,具有线性范围宽、光谱响应范围大、可靠性高、体积小等优点^[9]。

目前,最常用的光电探测器件主要有PN光电二极管、PIN光电二极管和雪崩光电二极管(APD)。系统选用PIN光电二极管。

2.2 光电转换电路的设计及分析

由于光纤光栅地震检波器反射回来的信号光带宽极窄且光功率较低,到达光电探测器的信号非常微弱,而且信号频率较低;在PIN接收的光信号功率变成与之成比例的微弱电流信号,再通过运算放大器变换成电压信号的同时,放大电路中还存在各个器件的固有噪声以及供电电源引起的噪声。因此依照弱信号检测理论,在电路设计中必须采取措施抑制噪声以提高信噪比来满足后续电子处理电路对信号的要求。为此,设计了高信噪比光信号探测电路。

放大电路的第一级使用前面所选的光电探测器完成光功率→电流的转化,如图3所示。设光生电流为 I_p ,由于负反馈的原因,运放的等效输入阻抗为

$$R_m = \left[\frac{R_1}{1 + A_{VO}} \right] // R_{id} \approx \frac{R_1}{1 + A_{VO}} \quad (1)$$

式中, R_{id} 为运放的开环输入阻抗,可视为无穷大, A_{VO} 为运放的开环增益,其值也较大,因此可计算出运放的输入阻抗 R_m 值很小,接近于零。由于开环输入阻抗较大,PIN的电流都流入了反馈电阻,故第一级的输出电压为

$$U_1 = -I_p \cdot R_1 \quad (2)$$

此时光电流与辐照光功率成良好的线性关系。

由此完成了光→电流→电压的变换。电路中 R_2 是为防止微变电阻接入为零而设置的。

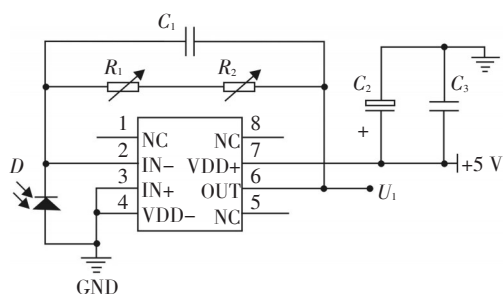


图3 放大电路的第一级

第二级采用CMOS工艺集成的斩波稳零超低漂移运算放大器进行同相比例放大,如图4所示。其输出为

$$U_2 = \left(1 + \frac{R_3}{R_6}\right) U_1 \quad (3)$$

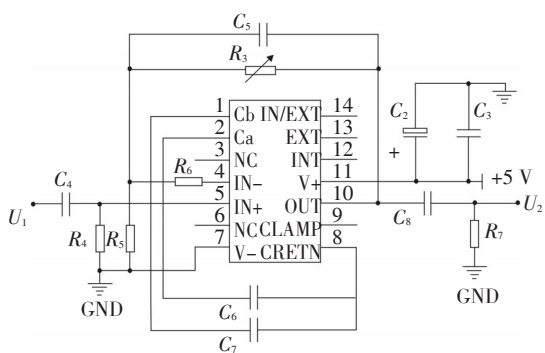


图4 放大电路的第二级

此外,由于两级运放之中产生附加相移,如果反馈过深引起的附加相移超过 180° 就会造成运放自激,因此为了防止自激在运放反馈电阻 R_1 、 R_3 上并联了取值较小的电容 C_1 、 C_5 ,以改善系统响应函数的零极点位置,达到稳定系统的目的。可根据系统要求通过调节反馈电阻 R_3 来适当改变输出信号的幅值,实验中根据输入的传感信号光的强弱和后续A/D采集芯片对输入信号的要求。

第三级采用高精度低失调电压的精密运算放大器,设计了低通滤波电路,如图5所示。滤波器的阶数可以根据实际需要而进行逐级增加,一般不宜超过八阶。

3 实验结果及分析

对所设计的电路进行噪声分析,得到噪声曲线

如图6所示。为了验证电路的可靠性,经过45 min后又进行了噪声采集。结果表明,两次采样的噪声均小于 0.19 mV ,对应的整个解调系统的波长误差为 0.24 pm ,完全符合系统实现解调精度 $\leq 1 \text{ pm}$ 的目标,这对整个系统起着至关重要的作用。

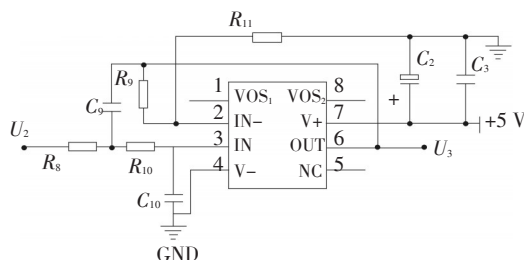


图5 放大电路的第三级

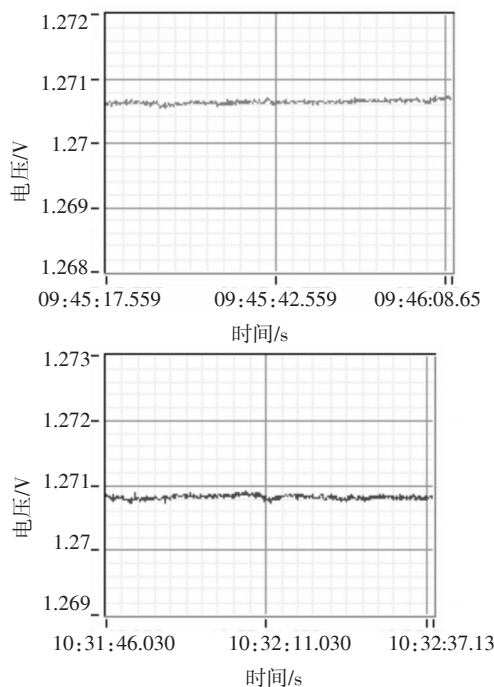


图6 间隔45 min的噪声测试曲线图

图7为采集得到的模拟地震波的信号,通过振动台给出了 15 Hz 和 20 Hz 的模拟地震波,检测系统可以很好地还原出原信号,说明所设计的电路是可靠的。

实验误差主要有漂移误差和随机误差。漂移误差是随时间、温度、地点等因素的变化而使输出产生漂移。在光电检测电路中,主要有外部噪音,如光辐射源的随机波动和附加的光调制器、光路传输介质的湍流和背景起伏、杂散光的入射以及检测系统受到的电磁干扰等,内部噪音,如光电检测器件和检测电路等器件的固有噪音,这些噪音是不可避免的。

随机误差,指测量真值与在重复性条件下对同一被测量进行多次测量所得结果的平均值之差。主要由实验条件决定,是不可避免的。光电转换随机误差,主要由光电检测器的热噪声及放大电路噪声产生。

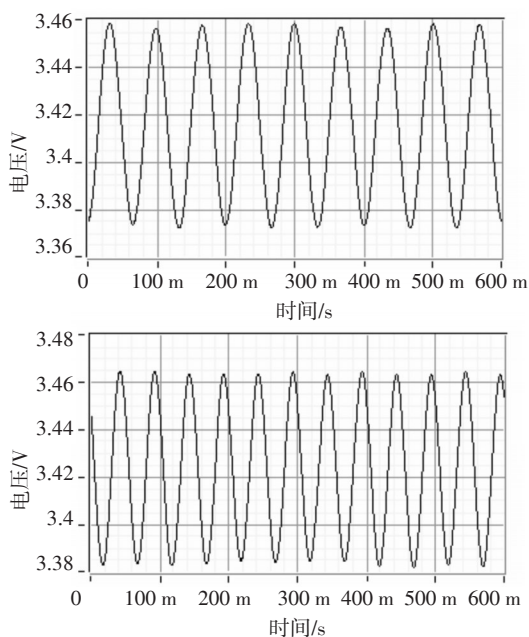


图7 系统采集得到的模拟地震波曲线图

4 结论

文中研究和设计的微弱信号检测电路,在地震勘探试验中对动态的微弱光信号进行了验证。实验证明,所设计的电路噪声仅有0.19 mV,对应的整个解调系统的波长误差为0.24 pm,完全符合系统实现

解调精度 ≤ 1 pm的目标。所以该电路可以很好地应用于光纤光栅地震勘探解调和其他光电检测系统中。

参考文献

- [1] Morey W W, Meltz G, Glenn W H. Fiber optic Bragg grating sensors[J]. Proc. SPIE, 1990, 1169:98-107.
- [2] Ball D A, Morey W W. Standing-wave monomode erbium fiber laser. Photon. Technol. Lett., 1991, 3(7):613-615.
- [3] 乔学光,丁锋,贾振安,等. 基于光源滤波的高精度光纤光栅地震检波解调系统[J]. 光学学报, 2010, 30(8): 2219-2223.
- [4] 丁锋,李翠翠,乔学光,等. 基于边缘滤波解调的光纤光栅低频地震检波器[J]. 光电子技术, 2010, 30(4): 261-264.
- [5] 乔学光,丁锋,贾振安,等. 高精度准分布式光纤光栅地震检波解调系统的研究[J]. 物理学报, 2011, 60(7): 074221 1-6.
- [6] 丁锋,王粉艳,王云建,等. 一种光纤光栅振动与温度同时区分测量的解调方法[J]. 传感技术学报 2011, 25(4): 510-514.
- [7] GONG Han, CHEN Hao-yu. The design and realization of an optic-electric detecting circuit for weak signal[J]. Science & Technology Information, 2007, 27:85-87.
- [8] HE Jin, LIU Tie-gen, MENG Zhuo, et al. Design of prime amplification circuit of photoelectric detection system for feeble signal[J]. Science Technology and Engineering, 2007, 7(9): 1904-1907.
- [9] SUN Hong-bin, MO Yong-xin. Design of amplifier circuit of photo-electric detection for weak signal[J]. Modern Electronics Technique, 2007, 18:156-158.

欢迎利用期刊网站浏览本刊已发表文章

为了满足读者对《光电技术应用》期刊文章的快速、方便、阅读需求,《光电技术应用》期刊网站(网址为:<http://www.gdjsyy.com>),为读者提供了《光电技术应用》期刊2009~2012年已发表文章的在线浏览。读者可在过刊目录下,查阅2009~2012年期刊各期目录,点击文章题目或摘要,阅读文章全文。欢迎广大读者登陆期刊网站,及时了解《光电技术应用》期刊已发表文章的最新信息。

《光电技术应用》编辑部