

动态应变微光信号检测系统的设计

王巧琴 顾金良 罗红娥

(南京理工大学瞬态物理重点实验室 南京 210094)

摘要: 由光纤光栅因应变而产生的干涉光信号是比较微弱的,这样的光信号难以直接应用于对应变信号解调,为此设计了用于对微光信号进行处理的低噪声高增益高频放大电路。通过仿真验证了电路参数的合理性和可靠性,经过电路设计和相关调试,完成的光电转换前置放大和后续交流放大电路能够比较好地实现光电信号的转换和放大。对带有应变信号的电压数据进行采集处理,能够比较好地解调出动态应变变化,证明了设计的微光信号检测系统具有实用价值。

关键词: 动态;微光;光电转换;信号检测

中图分类号: TH823 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4010

The design of dynamic strain weak light signal detection system

Wang Qiaoqin Gu Jinliang Luo Hong'e

(National Key Laboratory of Transient Physics, NUST, Nanjing 210094, China)

Abstract: Optical interference signal is relatively weak which is produced by the fiber bragg grating strain, Demodulating optical signal that cannot be directly applied to the corresponding signal, The amplifier circuit of low noise, high gain and high frequency is designed to process the weak light. To verify the circuit parameters are determined by simulation, after the design and related debugging of the circuit, photoelectric conversion completed preamplifier and subsequent amplification circuit which can better realizes the photoelectric conversion and amplification. The dynamic stain signal is demodulated, The voltage data with strain signal acquisition and processing, the design of the weak light signal detection system is proved that has the practical value.

Keywords: dynamic ;weak light; photoelectric conversion; signal detection

1 引言

短尺度的应变信号比较微弱,传统的应变片由于有一定的面积,加之需要组成桥式电路,需要有恒定桥压才能比较好地对应变量进行精确测量。特别是在较强电磁场环境下,应变片检测系统检测的应变信号比电磁场干扰信号还小,基本淹没在干扰信号中,此时采用光纤传感方式进行应变信号测量能够有效解决电磁场干扰环境下的微应变测量。至今为止对光纤传感用于应变测量的研究中,国内外学者做了许多实验。2004年,陈晓梅基于强度-波长转换原理,应用8通道DWDM实现FBG用于动态应变传感测量^[1]。天津大学的李丽等设计了一套基于相位载波零差法的非平衡Mach-Zender干涉解调系统,并对相位载波解调技术进行了分析,通过在分离式Hopkinson压杆(SHPB)上的实验,成功的解调出动态应变信号^[2],但研究的动态应变信号频率不是很高,幅值也不是十分微小。为了能够测

量高速变化的微应变信号,采用了基于 3×3 光纤耦合器构成的非平衡马赫-曾德干涉仪作为干涉回路,从干涉光信号中解调出动态应变信号^[3]。

2 微光前置放大电路设计

粘贴在待测应变物体上的光纤Bragg光栅和非平衡马赫曾德干涉仪完成干涉过程^[4],带有相位差的光信号比较微弱,微光信号难以直接应用于解调应变信号,还须做进一步的信号处理。

带尾纤光电二极管(PIN管)可以将接收到包含应变成分的光信号按一定的线性比例关系转换成相应的电流信号(选用的是 0.9mA/mW 响应度的PIN管)^[5]。采用运算放大器反馈电流法,使PIN管工作在光导模式下,构成微光PIN管前置放大电路,实现将微光信号转换成电压信号。此电路不仅使PIN管输出的微弱电流转换成电压时不受

负载阻抗、电流源输入阻抗的影响,而且还具有低噪声、高速响应的特性。如图 1 所示微光前置放大电路原理。

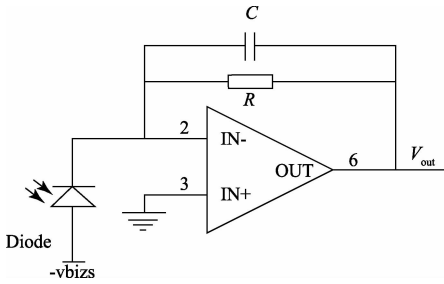


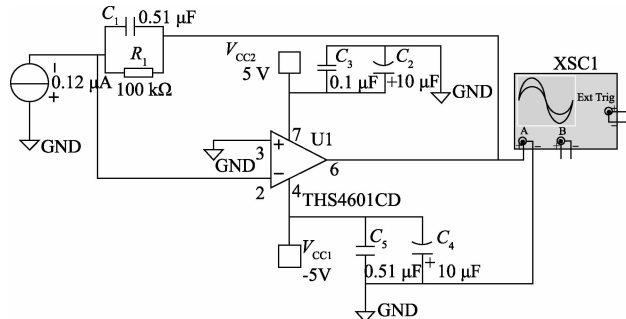
图 1 微光前置放大电路原理

因为被测的动态应变量数值较小,变化也快,所以要求光电转换电路具有高频响、高信噪比的性能,在电路设计过程中需要特别注意以下几点:

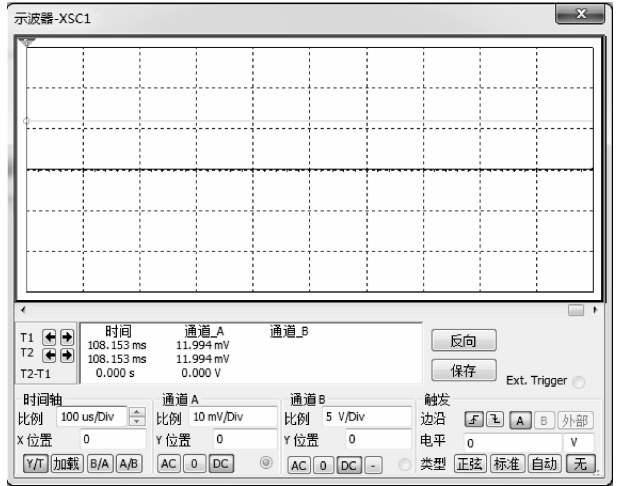
- 1) 运算放大器应具备低噪声、低失调电压、低失调电流、高输入阻抗、高频响等性能;
- 2) PIN 管探测的是动态微光信号,应选取结电容和暗电流小、灵敏度高、频响快的 PIN 管;
- 3) 反馈电阻 R 是连接在运算放大器的输入端和输出端之间,将 PIN 管输出电流转换成电压 ($U=IR$)。理论上反馈电阻阻值越大输出的电压越大,但实际应用中过大的反馈电阻不仅使电路产生自激振荡而且会带来很多的热噪声,影响电流转换成电压时的性能;
- 4) 运算放大器的滤波设计是为了滤除干扰信号,提高光电转换的信噪比^[6]。用反馈电容 C 和电阻 R 构成低通滤波器可以消除低频信号的干扰,低通滤波器的 3 dB 带宽表达式需要将 PIN 管的结电容 C_s 和运算放大器的增益带宽积 (GBP) 考虑进去,其表达式为: $F_{3dB} = [GBP / (2\pi R (C_s + C))]^{1/2}$ 。

3 放大电路的设计与仿真

当 PIN 管光敏面接受的光功率为 $0.13 \mu W$ 时,输出的电流为 $0.12 \mu A$,此微弱电流信号经过前置放大电路转换成电压信号。图 2 是基于 Multisim 给出的前置放大仿真电路和波形^[7-9]。



(a)前置放大仿真电路



(b)仿真波形

图 2 前置放大仿真电路和仿真波形

从前置放大电路仿真波形可以看出 $0.12 \mu A$ 电流经过反馈电阻 $R(R=100 k\Omega)$ 转换成 $11.994 mV$ 电压,这样小幅值的电压被采集到计算机中由于垂直位数太少使得数据处理难度较大,精度也很低,为此需要对小幅值的电压做进一步的放大处理。

为了能够无失真的放大频率在 $800 Hz \sim 3 MHz$ 范围内,幅值低至 $1 mV$ 的电压信号,放大电路采用了多级放大以此来响应高频信号。多级放大电路之间采用电容耦合,此种耦合方式不仅使各个放大电路的静态工作点相互独立,互不影响,而且电容还可以与下一级运算放大器的输入电阻构成高通滤波器来滤除无用信号的干扰。图 3 是多级放大仿真电路和波形。

在这里用 $2 MHz$ 、振幅为 $11.994 mV$ (PIN 管探测的光功率变化范围为 $0 \sim 0.2 \mu W$) 正弦交流电压信号进行仿真。此信号经过多级放大可以无失真放大成振幅为 $1.426 V$ 的电压信号。从中可以得出此多级放大电路能够实现高频率微弱动态电压信号的放大。^[10-14]



(a)多级放大输入源

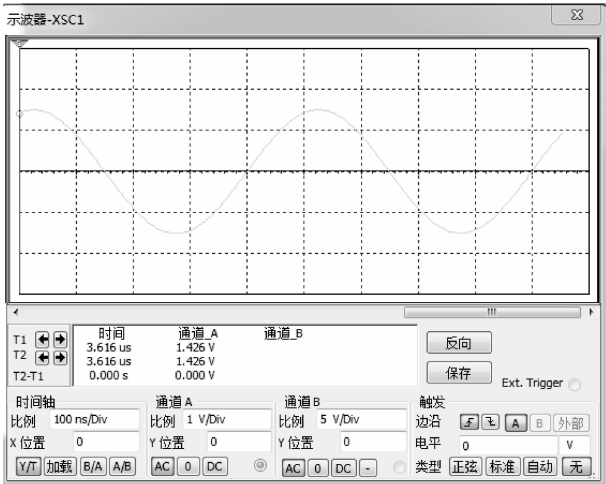
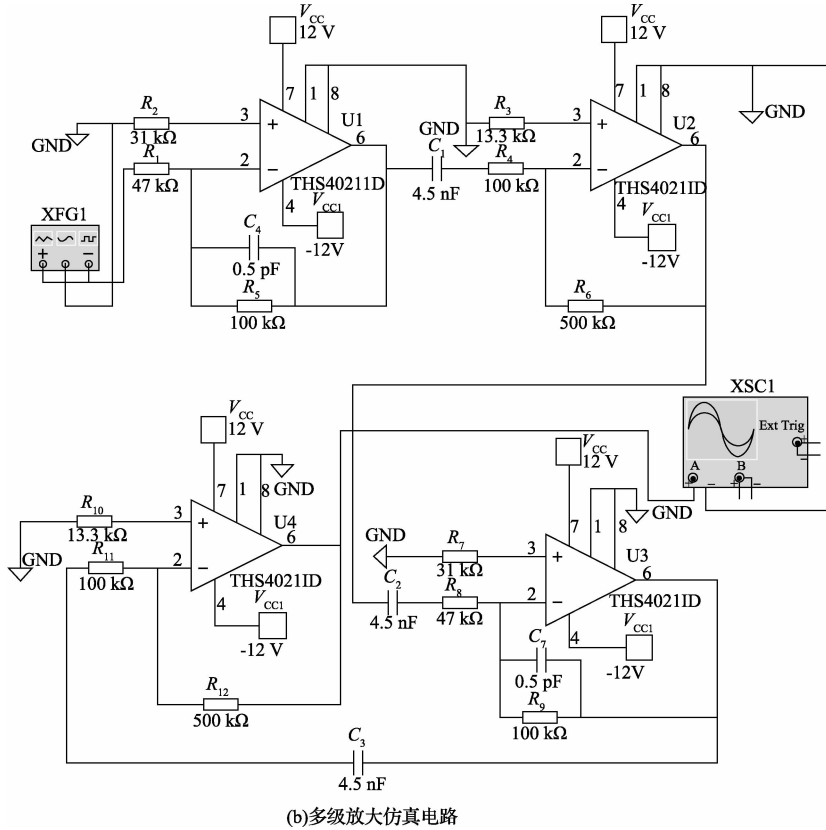


图3 多级放大电路仿真和仿真波形

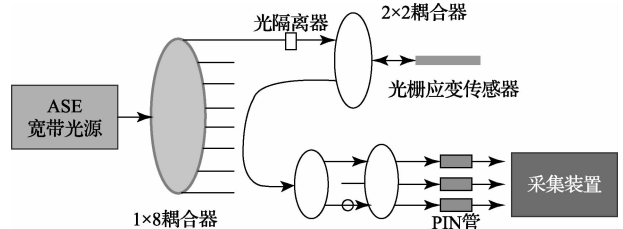


图4 光路系统

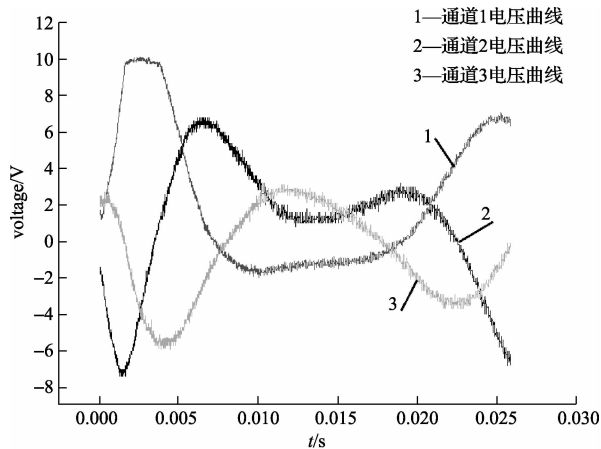
将光纤光栅粘贴在悬臂梁上,通过给悬臂梁加载变化的负荷产生脉动应变,应变的改变会导致光纤光栅反射回来的光功率也随之变化,变化的反射光经过整个光路系统,最终会从3×3耦合器输出端口输出3路动态的微弱光信号。光信号被PIN管转换为电流信号,电流信号经过放大电路得到较大幅值的电压信号,通过LabVIEW软件编写的采集界面进行数字化采集,将采集的数据导进Origin进行分析处理,解调得到应变变量。图5是采集得到的干涉信号和处理得到的动态应变变量。

实验结果中3组平滑的电压曲线可以表明光电转换电路能够将3路μW级的光功率信号转换成3组信噪比非

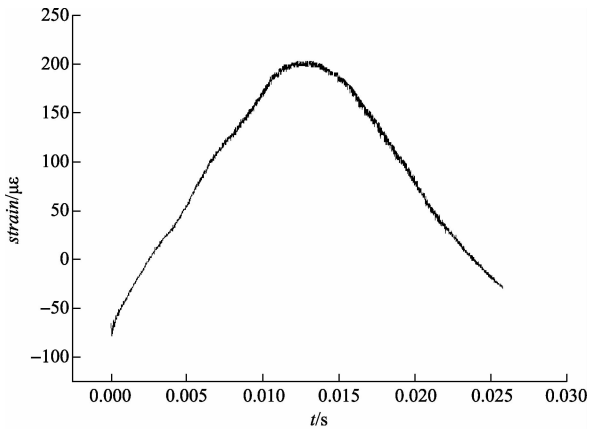
4 实验方法和结果

布拉格光纤光栅和马赫曾德干涉仪组成的干涉光路,图4是光路系统。

常高的几伏的动态电压信号。利用这3组动态电压信号进行相关的数据处理可以较好的解调出与之相关的动态微应变变化。



(a)光电转换动态电压曲线



(b)动态微应变曲线

图5 光电转换动态电压和微应变信号

5 结 论

介绍了一种高频响、高信噪比的光电转换电路,此电路适用于解调快速变化的动态微应变信号。从实验的结果可以看出光电转换电路可以将微光信号转化为能够被采集处理的电压信号,采集后的电压信号进行相关的数据

处理可以较好地解调出动态微应变变化。经过实际的测试试验,研制的系统有较高稳定性、可靠性、实用性。

参考文献

- [1] 陈晓梅. FBG 传感器微为尺度计量中应用的前景[J]. 航空计测技术, 2004, 24(2): 1-3.
- [2] 李丽, 林玉池, 沈小燕, 等. 光纤 Bragg 光栅在动态应变测量中的研究[J]. 传感技术学报, 2007, 20(5): 994-997.
- [3] 黄冲, 蔡海文, 耿健新, 等. 基于 3×3 耦合器的马赫-曾德尔干涉仪的光纤光栅波长解调技术[J]. 中国激光, 2006, 32(10): 1397-1400.
- [4] 朱萍玉, 林玉池, 王为. 光纤 Bragg 光栅用于高频应变测试的研究. [J]. 光电工程, 2007, 34(6): 135-139.
- [5] 管敏杰, 赵冬娥. 基于 PIN 型光电转换电路的噪声研究[J]. 电子测试, 2012, 2: 35-37.
- [6] 张正茂, 陈峰. 光电探测放大器的噪声分析[J]. 光电技术应用, 2012, 27(3): 37-40.
- [7] 霍戍文, 李伟, 李进, 等. 光电探测微弱信号放大器设计[J]. 浙江理工大学学报, 2005, 22(3): 259-262.
- [8] 胡桃, 司汉英. PIN 管前置放大电路设计究[J]. 光电技术应用, 2010, 25(1): 52-55.
- [9] 刘斌, 张秋蝉. 光电检测前置放大电路的设计[J]. 燕山大学学报, 2003, 27(3): 194-196.
- [10] 刘宝琦, 钱芸, 郭树旭. 直流微弱电流自动测试系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(4): 21-27.
- [11] 张若岚. 电路系统中噪声问题研究[J]. 电子技术, 2001(2): 62-65.
- [12] 段俊萍. 电路实现微弱电流检测[J]. 应用天地, 2009, 3(28): 67-68.
- [13] 宋涛, 张斌, 罗倩倩. 光电转换电路的设计与优化[J]. 光电技术应用, 2010, 25(6): 46-48.
- [14] 王俊. 电化学分析系统中 $PA \sim \mu A$ 微电流测量[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(11): 972-977.

作者简介

王巧琴, 1990 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为光电检测。