

## 基于锁相放大的近红外光谱信号提取电路研究

贾振安<sup>1</sup>, 王培培<sup>1</sup>, 乔学光<sup>1,2</sup>, 周红<sup>1</sup>, 王炜<sup>1</sup>

(1. 西安石油大学光电油气测井与检测教育部重点实验室 陕西西安 710065; 2. 西北大学 陕西西安 710069)

摘要: 锁相放大技术(LIA)是提取微弱信号的重要方法之一,广泛应用于近红外光谱测量领域。基于光谱吸收原理设计的甲烷检测系统,利用移相技术,实现了通过调节偏置电压的大小控制测量信号与参考信号之间的相位差,通过平衡调制解调器 AD630 实现了相敏滤波功能,有效地抑制了干扰,提高了系统的性能。结果表明: LIA 相关器输出电压与甲烷气体体积分数呈线性关系,其线性度拟合系数为 0.998 5,灵敏度为 0.045 7 V/%。

关键词: 锁相放大器; 相敏检波; 移相电路; 倍频电路

中图分类号: TN721.5 文献标识码: A 文章编号: 1002-1841(2012)04-0104-03

## Research on Near-Infrared Spectrum Detecting Circuit with LIA

JIA Zhen-an<sup>1</sup>, WANG Pei-pei<sup>1</sup>, QIAO Xue-guang<sup>1,2</sup>, ZHOU Hong<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>

(1. Xi'an University of Petroleum, Xi'an 710065, China; 2. Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** Lock-in amplifier(LIA) is one of the important techniques for weak signal detection, so it is widely used in near-infrared spectral measurements. Based on the principle of spectrum absorption, this paper used phase shifting that by adjusting the size of the bias voltage controls the phase difference between the detected signal and reference signal, and the use of balance mode-AD630 which achieves phase-sensitive detection were effective on restraining noise to improve the performance of the system. The results indicate that the output of the detective circuit is linear with the gas volume fraction, its linearity of fitting coefficients is 0.998 5, and the sensitivity is 0.045 7 V/%.

**Key words:** Lock-in amplifier; Phase sensitive detection; Phase-shift circuit; Multiplier circuit

## 0 引言

瓦斯爆炸严重威胁到煤矿作业安全,影响矿井的正常生产。矿井中瓦斯的主要成分是甲烷,所以有效准确地探测甲烷气体浓度是非常必要的。近年来,随着光纤传感技术及光电探测技术的发展,气体光纤传感检测系统的研究取得了较大的进展,其中光谱吸收型光纤气体传感器已日趋成熟。针对气体被淹没在背景噪声中的非常微弱的吸收信号,采用锁相放大技术检测淹没在噪声中微弱信号。锁相放大利用相关检测技术,基于互相关原理,使输入待测的微弱周期信号与频率相同的参考信号在相关器中实现互相关,从而将深埋在大量的非相关噪声中的微弱有用信号检测出来,起着检测器和窄带滤波的双重作用,确保在气体吸收检测中以更大信噪比获得有用检测信号。

## 1 锁相放大器原理与结构

锁相放大器利用参考信号与有用信号具有相关性,而参考信号与噪声相互独立、互不相关的性质,利用互相关运算抑制噪声,提高信噪比的原理制成的,工作原理框图如图 1 所示。

一般的锁相放大器主要由 3 个单元组成: 信号通道、参考通道、相敏检波器。信号通道将伴有噪声的待测信号进行放大,并经过滤波对通带外的噪声进行初步滤除,以满足相敏检波器的要求; 参考通道对与待测信号同频的参考信号进行整形和移相处理,输出与待测信号同步 0°~360°连续可调相位的方

波或正弦波,并送入相敏检波器作为控制信号。相敏检波器的作用是对待测信号和参考信号进行乘法运算,得到待测信号和参考信号的和频与差频,再由低通滤波器滤除和频,将交流信号转变为直流信号。

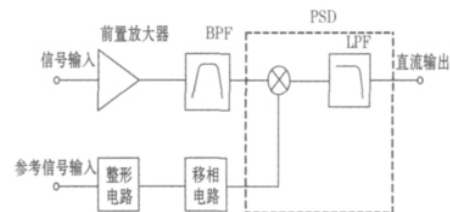


图 1 锁相放大器原理图

在实际电路中,常常采用方波信号作为锁相放大器的参考信号,设待测信号  $V_A$  为

$$V_A = V_{A0} \sin(\omega_0 t + \phi) \quad (1)$$

式中:  $V_{A0}$  为待测信号幅值;  $\omega_0$  为角频率;  $\phi$  为初相位。

参考方波信号  $V_B$  的傅里叶级数展开式:

$$V_B = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \sin[(2n+1)\omega_R t] \quad (2)$$

式中  $V_B$  是频率为  $\omega_R$  的方波。

通过模拟乘法器可以得到输出电压  $V_0$  的一级近似表达式:

$$V_0 = V_A V_B = \frac{2R_0 V_{A0}}{\pi R_1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \frac{\cos\{[\omega_0 - (2n+1)\omega_R]t + \phi + \theta_{2n+1}\}}{\sqrt{1 - \{[\omega_0 - (2n+1)\omega_R]R_0 C_0\}^2}} \quad (3)$$

式中  $R_0$  和  $C_0$  为低通滤波器参数。

可见 相敏检波器 PSD 可以通过奇次谐波而抑制偶次谐波 其基波(  $n=0$  ) 响应可以表示为

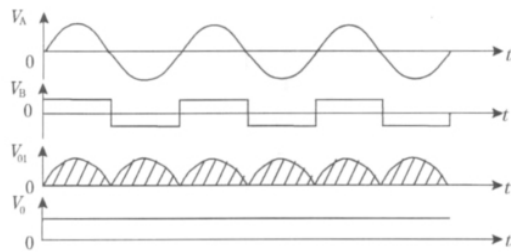
$$V_{01} = \frac{2R_0 V_{A0}}{\pi R_1} \cdot \frac{\cos [(\omega_0 - \omega_R) t + \phi + \theta_1]}{\sqrt{1 - [(\omega_0 - \omega_R) R_0 C_0]^2}} \quad (4)$$

当信号频率  $\omega_0 = \omega_R$  时 并设基波初始相位为  $\theta_1 = 0$  相关器的输出电  $V_0$  为

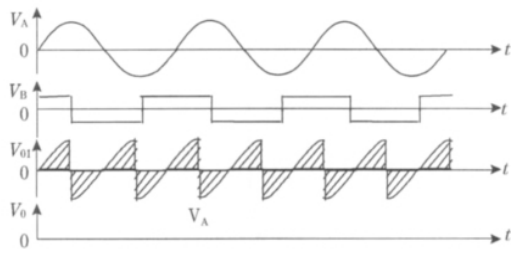
$$V_0 = \frac{2R_0 V_{A0}}{\pi R_1} \cos \phi \quad (5)$$

式中:  $V_0$  为直流电压 其大小正比于待测信号幅值  $V_{A0}$  和待测信号与参考信号之间的相位差的余弦。

图2、图3 是待测信号  $V_A$  与参考信号  $V_B$  之间存在不同相位差  $\phi$  时相敏检波器 PSD 的输出波形。

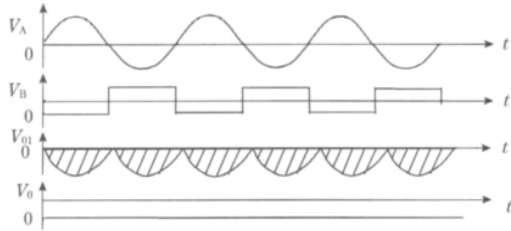


(a)  $\phi = 0^\circ$

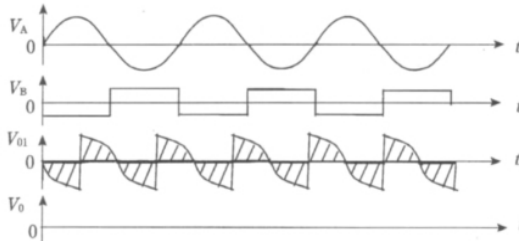


(b)  $\phi = 90^\circ$

图2 相关器输出波形 1



(a)  $\phi = 180^\circ$



(b)  $\phi = 270^\circ$

图3 相关器输出波形 2

## 2 信号提取电路设计

### 2.1 相敏检波电路

相敏检波器作为锁相放大技术中的乘法器 是整个系统的

核心 它的线性度和动态范围决定了系统的弱信号检测水平。

系统选用平衡调制解调器 AD630 作为相敏检波器件 如图3 所示 AD630 和运放连接构成相敏检波和低通滤波的功能。该芯片由运算放大器 A 和运算放大器 B、输出积分放大器 D、比较器 C 等组成。输入信号作为运算放大器 A 和运算放大器 B 的输入信号 参考方波信号作为比较器 C 的输入信号 当参考方波信号的幅值大于 0 时 运算放大器 A 开始工作; 当参考方波信号的幅值小于 0 时 运算放大器 B 开始工作。锁相放大器的输出经 OP07 组成的低通滤波器后 其输出信号中只剩下出射光强的二次谐波分量 且输出的波形不发生相移。

### 2.2 移相与倍频电路

移相电路是锁相放大器电路的一个重要环节 为了使输出信号达到最大值 系统得到较高的检测灵敏度 参考信号应与测量信号相位严格同相或反相。系统采用锁相环 CD4046 组成移相电路 在锁相环的环路滤波器的输出端叠加一个直流偏置电压后作为 VCO 的控制电压 通过改变偏置电压的大小可实现信号的相位移动。理论和实验证明: 在环路锁定的情况下 测量信号与参考信号之间的相位差与偏置电压的大小成线性关系。系统搭建的移相电路如图5 所示。

倍频电路的作用为锁相放大器提供与有用信号同频的参考信号 即产生严格的与光源驱动中的高频正弦调制信号同步的二倍频信号。

倍频电路的输出信号频率为它的输入信号频率的  $N$  倍。倍频电路由锁相环 CD4046 和计数器 CD4520 组成 如图6 所示 在这里 CD4520 相当于分频器 此计数器插在 VCO 输出和比较器之间 这样 当锁相环锁定时 计数器输出信号频率和锁相环输入信号频率相等 从而在计数器时钟输入端( 即 VCO 输出) 得到倍频输出信号。

## 3 实验结果与分析

研究选用 IPDFD1601-3113 的分布反馈式半导体激光器 (DFBLD) 作为系统光源。选用单管型 GT322D InGaAs PIN 高性能光电二极管作为光电探测器。以甲烷作为气体传感器的探测气体 选择甲烷中心波长位于 1 653.72 nm 的一条吸收谱线作为研究对象 在单光路状态下对甲烷气体进行探测。测量气室为透射型吸收气室 材质为玻璃 长度为 400 mm 将数字万用表接在锁相放大器的输出端。用洁净空气吹洗气室 之后采用不同浓度的甲烷气体分别注入吸收气室中进行测量 得到甲烷气体浓度与锁相放大器输出信号之间的一组实验数据 其线性度拟合系数为 0.998 5 灵敏度为 0.045 7 V/% 如图7 所示。

## 4 结束语

系统采用了平衡调制解调器和锁相环分别实现了相敏检波 移相和倍频电路 比传统方法集成度高 匹配好 提高了信噪比。实验表明甲烷气体浓度与锁相放大器输出信号成线性关系 其线性度拟合系数为 0.998 5 此系统的灵敏度为 0.045 7 V/%。考虑到光源受温度、PIN 噪声、光路耦合及光纤与传感器之间的耦合等因素的影响 需设计光源温控电路 以减小温度变化对系统检测的影响。

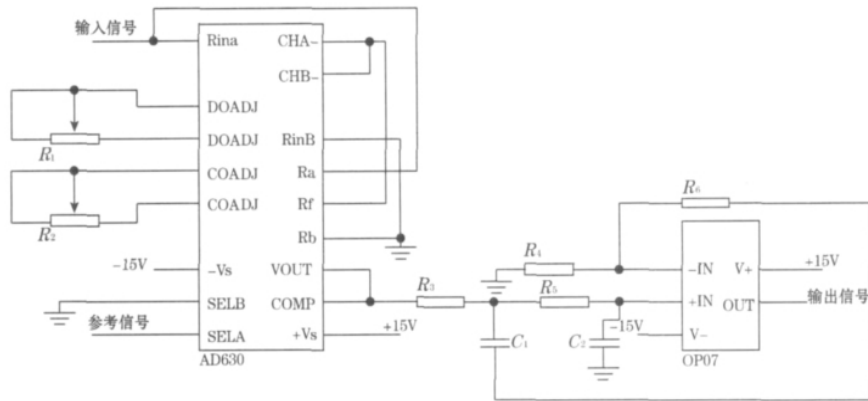


图4 锁相放大电路

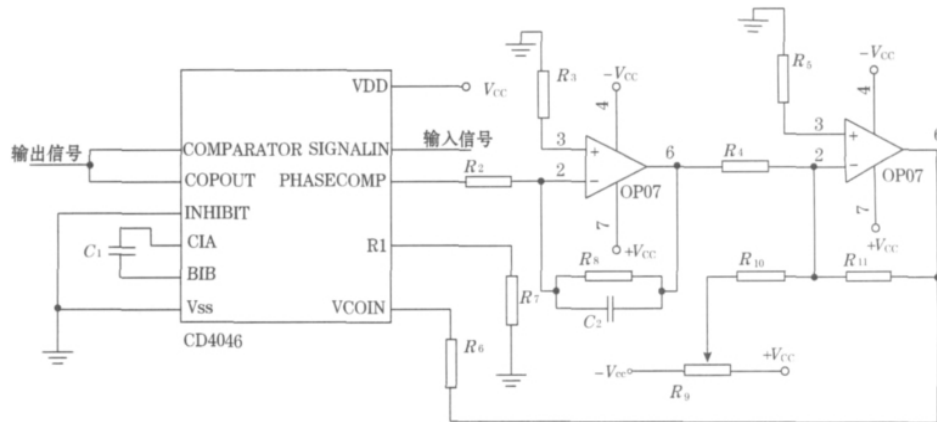


图5 移相电路

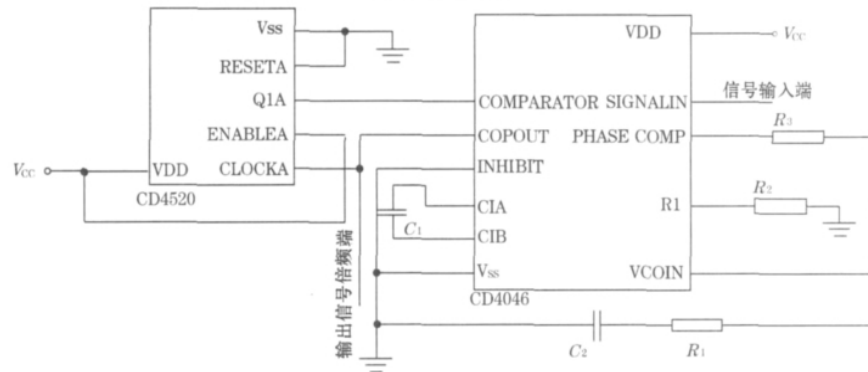


图6 倍频电路

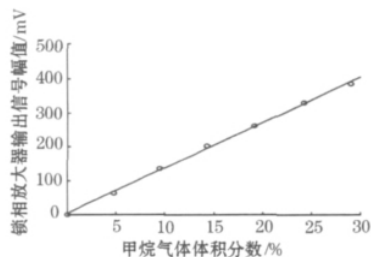


图7 二次谐波检测系统实验结果

## 参考文献:

- [1] 蔡屹. 基于双相锁相放大器的微弱信号矢量测量. 数采与监测, 2007 23(9-1): 111-112.
- [2] 徐晗, 卢启鹏, 朴仁官. 基于锁相放大的近红外光谱信号提取电路研究. 电子设计 2009 25(8-2): 233-235.
- [3] 倪家升, 刘统玉, 王昌, 等. 用于痕量检测微弱信号提取的锁相放大电路设计及实现. 山东科学 2009 22(5): 48-52.
- [4] 王艳菊, 王玉田, 刘静. CH<sub>4</sub> 检测系统微弱信号处理电路研究. 仪表技术与传感器 2006(8): 41-43.
- [5] 远坂俊昭. 测量电子电路设计. 彭军, 译. 北京: 科学出版社 2006: 197-260.
- [6] 黑田彻. 电子元器件应用技术. 彭军译. 北京: 科学出版社 2006: 1-22.
- [7] 杨栓科. 模拟电子技术基础. 2 版. 北京: 高等教育出版社 2004: 114-230.

作者简介: 贾振安 (1959—), 教授, 硕士生导师, 主要从事光纤测井技术、光纤光栅传感技术方面的研究。

E-mail: jiazhen\_an@xsyu.edu.cn.