

锁相放大器的软件实现与参数测量

向 英¹,吴先球²

(1.广东技术师范学院,广东 广州 510665 2.华南师范大学,广东 广州 510631)

摘要 :介绍了锁相放大器测量微弱信号的原理,进而介绍了一款基于 LabVIEW 的教学型数字锁相放大器的设计,并且用 DLIA 完成了参数测量实验,整个系统达到了实验所要求的精度。

关键词 :锁相放大器 ;虚拟仪器 ;相关检测

中图分类号 :TP311.52 **文献标识码** :A

Realization of Lock-in-amplifier Software and Parameter Measurement

XIANG Ying¹,WU Xiang-qiu²

(1. Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510665, China ;

2. South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract :The paper introduces the principle on which the lock-in-amplifier checks weak signals and the design of a LabVIEW-based and teaching-oriented digital lock-in-amplifier. then an experiment on parameter measurement is conducted with the help of DLIA, and as a result the whole system achieves the required precision.

Key words : lock-in-amplifier ; virtual instrument ; relevant measurement

0 引 言

微弱信号检测是一门新兴的科学技术,其目的是从强噪声中检测、恢复有用信号,或用一些新技术和新方法来提高检测系统输出信号的信噪比。锁相放大器(Lock-in amplifier, LIA)自问世以来,在微弱信号检测方面显示出优秀的性能,在科学研究的各个领域得到了广泛的应用。它利用待测信号和参考信号的互相关检测原理实现对信号的窄带化处理,能有效地抑制噪声,实现对信号的检测和跟踪。数字锁相放大器是伴随着计算机技术、CRT 显示技术、通信与网络技术、微电子技术的高速发展而发展起来的。由于数字锁相放大器花费小、重量轻、能用计算机进行远程控制等优点,已经逐步应用到了物理、化学、生物医学等各个领域。微机化数字锁相放大器的核心部件是微型计算机,锁相放大器所必须的各种移相、相敏检测等功能都是由微型计算机软件来实现。

本文利用美国 NI 公司优秀的虚拟仪器开发软件

LabVIEW 7.1,开发设计了一种教学型虚拟数字锁相放大器,并且利用该 DLIA 完成参数测量实验,测量结果可以实时、直观地显示出来,给 LIA 原理和应用的学习带来了极大的方便。

1 锁相放大器的工作原理

在微弱信号检测中,大都采用互相关检测原理。所谓相关,是指两个函数间有一定的关系。如果它们的乘积对时间求平均(积分)为零,则表示这两个函数不相关(彼此独立);如果不为零,则表示两者相关。相关的概念按两个函数的关系又可以分为自相关和互相关两种。由于互相关检测抗干扰能力强,因此,检测微弱信号的锁相放大器采用该原理。图 1 为锁相放大器的原理框图。

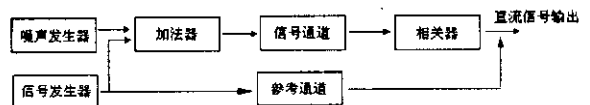


图 1 锁相放大器工作原理框图

收稿日期 2006-03-13

作者简介 :向英(1973-),女,陕西临潼人,广东技术师范学院讲师,研究方向:计算机应用和电工电子教学;吴先球(1968-),男,广东人,华南师范大学教授,博士,研究方向:虚拟仪器远程仿真实验。

相关器是用来完成求解参考信号和被测信号之间相关函数的电子线路,它由相敏检波器和积分时间无限长的积分器构成。相敏检波器是其核心部件,是用来完成参考信号和被测信号之间乘法的电子线路。图2为相关器检测原理图。

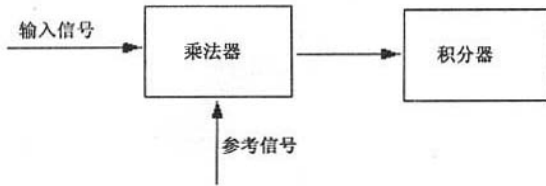


图2 相关检测器原理框图

当两输入信号的振幅一定时,相敏检波器的输出与输入信号的相位差的余弦成正比。两同相信号检波后输出最大;而反相时为负最大,相差90度或270度时为零。相敏检波器的原理比较简单,它的输出信号 V_0 是输入信号 V_s 与参考信号 V_R 的乘积。

$$V_s = E_s \cos(\omega_0 t + \theta) + E_n \cos(\omega_n t + \varphi)$$

$$V_R = E_R \cos(\omega_0 t)$$

式中 ω_0 为被测信号频率; ω_n 为随机噪声频率。通过相敏检波器后输出

$$V_0 = KAB\cos\Phi$$

式中K为积分器的传输系数。

实际电路中,常采用1:1的方波作参考信号,设 $E_R = 1V$,

$$V_0 = KAC\cos\Phi$$

可见锁相放大器输出信号与待测信号的幅度和参考信号的相位差有关。调整参考信号的相位,当 $\Phi = 0$ 时,相关器的输出信号只与待测信号的幅度成正比。

2 虚拟锁相放大器工作原理

虚拟锁相放大器是利用计算机技术实现的虚拟测量仪器,是对真实物理系统的仿真。近年来出现的虚拟仪器是随着计算机技术、电子测量技术和通信技术而发展起来的一种新型仪器,是在美国国家仪器公司(National Instruments Corp. 简称NI)于1986年提出的“软件就是仪器”这一口号的基础上发展起来的,完全利用计算机软件进行数据分析处理和显示。

虚拟锁相放大器的用户界面如图3所示。

各模块的功能简述如下:

正弦信号发生器(Multi-Function Generator):产生一个经数字采样的正弦波Y值数组。用户可以在面板上设置波幅度和频率,并在波形图上观察波形。

噪声发生器(Noise Generator):产生一个经数字采样的噪声信号Y值数组。可选择正弦波、窄带白噪声和高斯白噪声,设置对应的幅度和频率,并可在面板上观察噪声波形。

宽带相移器(Board-band Phase Shifter):对正弦信号进行相移。相移的相角值可在面板上设置,同时面板上有相移后的波形显示。

方波驱动电路(Square Waveform Driver):将相移后的正弦波转换为幅值为1mV的1:1方波。

加法器(Waveform Adder):将正弦信号与噪声信号叠加。面板上有输出波形显示。

交流放大器(AC Amplifier):对叠加后的信号进行交流放大。放大倍数由面板控制,一般设为1x,10x,100x。

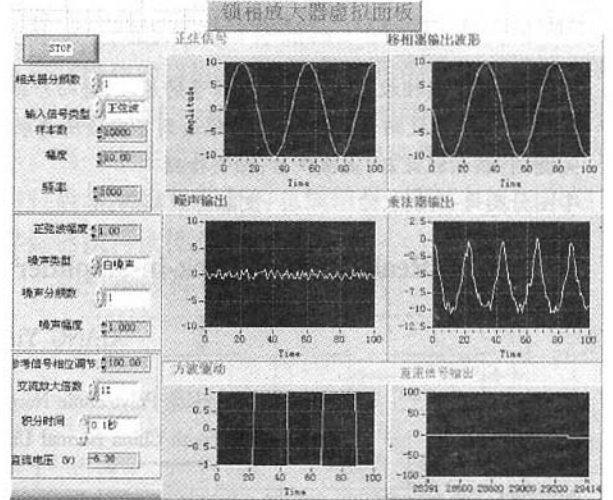


图3 虚拟锁相放大器用户界面

乘法器(Phase-sensitive Detector):相敏检波器,将方波与叠加信号相乘。面板上有输出波形显示。

低通滤波器(Lowpass Filter):对乘法器输出进行积分,获得直流信号。时间常数由面板控制,一般设为0.1s,1s,10s。

直流放大器(DC Amplifier):对直流信号进行放大,放大倍数由面板控制,一般设为1x,10x,100x。

3 基于虚拟锁相放大器的参数测量实验

(1)相敏检波器输出波形观察及锁相放大器输出电压测量。

调节正弦信号发生器,使输出频率(Frequency)在1kHz左右、振幅(Amplitude)在100mV左右。置交流放大倍数(AC Amplification Ratio)为10x,直流放大倍数(DC Amplification Ratio)为1x,低通滤波器的时间常数(Lowpass Filter Timing Const)为1s。调节宽带相移器的相移量观察相敏检波器的输出波形,测量结果如图4所示。

相移量	直流输出	PSD 输出波形
0°	+ 630mV	
90°	+ 15mV	
180°	- 630mV	
270°	+ 15mV	

图4 电压与波形测量

由分析可知,测量结果与理论值相符合,直流电压输出在误差范围之内。

(2) 相关器谐波响应的测量与观察。

将宽带相移器输入信号置 n 分频,使得相关器的输入信号的频率是参考信号的 n 倍。

测量结果如图 5 所示。

分频数	直流输出	输出波形
1	- 630mV	
2	7mV	
3	- 210mV	
4	- 10mV	
5	- 125mV	

图 5 分频后的电压与波形

通过观察判断,奇次谐波输出的直流响应电压为基波的直流响应电压的 1/n,偶次谐波输出的直流响应电压为 0,实际与理论结果相一致。

(3) 锁相放大器抑制噪声的能力。

调节交流放大倍数为 10x,直流放大倍数为 10x,时间常数为 1s,设置正弦信号发生器的频率为 1kHz,幅值为 100mV,参考信号的相移量为 0 度,设置噪声发生器的输出幅值为 0mV,即不叠加噪声。此时锁相放大器的直流输出电压为 6.29V。

选择噪声发生器的输出波形类型为高斯白噪声(Gauss White Noise),设置幅值为 100mV。此时输入信噪比为:

$$SNR_i = \frac{V_{si}}{V_{ni}} = 1$$

① 当时间常数为 0.1s 时,输出直流电压为 6.3V,输出噪声幅度为 0.2V,根据信噪改善比公式: $SNIR = \frac{SNR_o}{SNR_i}$,此时信噪改善比为 31。

② 当时间常数为 1s 时,输出直流电压为 6.36V,输出噪声幅度为 0.06V,此时信噪改善比为 106。

③ 当时间常数为 10s 时,输出直流电压为 6.36V,输出噪声幅度为 0.04V,此时信噪改善比为 159。

由测量结果可知,随着积分常数的增加,输出信噪比不断地提高。

4 结束语

由于整个系统采用数字信号处理技术,无论是信号的生成还是对信号的相关检测都采用数字离散时间信号处理方法,因此不存在采用传统电路处理方式所产生的噪声问题,但可能存在有限字长效应而影响精度。不过在不考虑有限字长效应的前提下,整个系统的精度已能达到设计要求。

参考文献:

- [1] 曾庆勇. 微弱信号检测[M]. 杭州:浙江大学出版社, 1986.
- [2] 杨乐平,李海涛,杨磊. LabVIEW 程序设计与应用(第 2 版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [3] Sanjit K Mitra. 数字信号处理——基于计算机的方法[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [4] 冯稷,陈佳圭. 光谱测量中的相敏检测物理[J]. 物理, 1993, 22(3).
- [5] 裘伟廷. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器和虚拟实验[J]. 现代科学仪器, 2002(3): 20~23.
- [6] Jose M Grima Palop, Jose M Andres Teruel. Virtual work bench for electronic instrumentation teaching[J]. IEEE Transactions on Education, 2000, 43(1): 15.

(上接第 18 页)备用 MCU 修改自身的数据库。软件实现如图 6 所示。

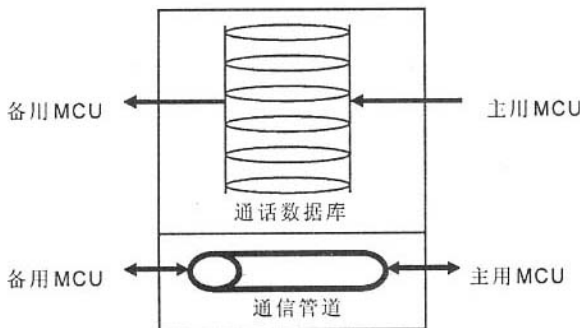


图 6 软件实现示意图

3.4 性能分析

这种分布式存储的设计方式结合了共享存储和

软件镜像方式,将共享存储器分布在主备用设备上,使存储器的可靠性大大提高。另外通过共享存储器实现管道功能,完成大容量数据的复制,解决了该方案下共享存储器容量限制对系统性能造成的影响。

参考文献:

- [1] 谢长生,姚杰. 基于共享存储的双机高可用系统的设计与实现[J]. 计算机工程与科学, 2005(5).
- [2] 高文,徐志伟,祝明发. 双机高可用系统的研究与实现[C]. 99 青岛-香港国际计算机会议, 1999, 10.
- [3] 张文冬. 程控数字交换技术原理[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 1995.
- [4] IDT Co. Specialized Memories, FIFOs & Modules Data Book[Z]. IDT Co., 1995.