微型双通道调制解调锁相放大器

Dual-channel Mini Lock-in Amplifier

用户手册

安全信息

本文档所有的声明和涉及的技术参数只适用于安全的工作环境和规范的操作方法。

警告！表示可能会造成人身伤害甚至人员死亡的影响因素；表

注意！示可能会对产品造成损坏和性能不稳定的影响因素；表

注解！示有助于用户对产品理解。

在使用之前或者使用过程中如果存在或者怀疑存在以下条件之一，产品将被禁止使用，直到检查人员检查合格以后。

- 存在损坏单元，包括本身损坏或者在运输过程中的因压力造成的损毁；
- 环境温度在产品工作范围之外，或者长期在潮湿的环境储存而被腐蚀；
- 产品不能正常工作。

1. 前言

锁相放大器(Lock-in Amplifier)是一种能够在极端噪音环境下提取一个已知载波频率信号的电子仪器。利用相位敏感检测技术(Phase Sensitive Detector, PSD)，只有存在于特定参考频率的信号可以被挑选出来，而其他频率的噪声则不会被检出。锁相放大器能够检测极微弱的 AC 信号，即使在噪声高于信号数千倍的情况下也可实现精确的测量。传统的锁相放大器利用了模拟变频混频器和 RC 滤波器，它需要大量的模拟电路设计和优化模拟信号解调。如今，锁相放大器自身正在变革，先进的集成电路技术和快速数字信号处理（DSP）的应用替代了传统的模拟器件，可使其灵敏度提高数百倍。

1.1.产品概述

警告！

- 操作过程中请做好静电防护措施

1.1.1.元件清单

此产品包括如下部件：

- 1 x HPLIA 锁相放大器
- 1 x LIA Control interface V2.1 上位机软件
- 1 x USB 连接线用于连接电脑
- 1 x 5VDC 电源及电缆

1.1.2.产品描述

锁相解调板是以当今 FPGA+ARM 单片机的业界主流配置而设计。浮点数数字

信号处理的计算任务由 FPGA 硬件加速完成，而结果数据采集和上位机交互由 ARM 单片机处理。为了提高性价比，系统以独立双输入输出通道为原则设计，从而在单板上实现双路锁相通道的应用。比如，一路通道可用作测量信号，而另一路可用作参考信号；亦或一路做一次谐波解调，而另一路做二次谐波解调。双路低噪声模数转换器将模拟信号采样，转换成了两路独立的数字数据流，接着由 FPGA 处理运算结果。FPGA 的计算结果能够被传送到 ARM 单片机做进一步的低速信号处理，然后通过串行通讯端口传送至上位机或 PC 机。锁相解调结果也可直接通过辅助数模转换器（AUX_DACs）转换为模拟信号输出。而直接数字合成器（DDS）则被用来产生模拟信号输出给两路高速数模转换器（DACs），对激光器或其他发射器进行外部调制。

1.1.3.技术参数

综述	
尺寸大小	10 cm x 11 cm
重量	250 g
电源供应	DC 5V/3A (含电源板)

模拟输入	
频率范围	AC – 0.5 MHz
输入阻抗	50 Ohm
输入噪声	10 nV/$Hz^{1/2}$ (>10 kHz)
电压范围	-1V – +1V
模/数转换	14 bit, 4 MSa/s

模拟输出	
输出	2 channels, -1V – +1V
正弦调制频率	DC – 0.5 MHz
锯齿扫描频率	0.1Hz–100Hz
数/模转换	16 bit, 4 Msa/s

解调器及参考相	
解调器数量	2 channels (内部参考)
时间常量	1ms, 10ms (可根据用户需求设定)
过滤带宽 (Hz)	1000, 100 (可根据用户需求设定)
谐波	1F, 2F, 3F, 4F
参考相位分别率	1.0 degree

辅助设备	
标准通讯接口	UART/USB
其他可选输入输出接口（GPIOs）	I^2C, SPI

2.产品操作规程

2.1.硬件装配

- 将电缆接头插入电源板插座
- 电缆另一端连接到 5V/3A 的直流电源接口
- 确认电缆安全连接，打开锁相放大器电源开关
- 将 USB 连接线插入 PC

2.2.软件安装

- 系统要求
  - 兼容的 PC
  - 1MB 的磁盘空间
  - Windows NT 4.0 / Windows 2000 or Windows XP (32/64 bit) / Windows 7 (32/64 bit) / Windows 8 (32/64 bit)
- 双击 LIA Control interface V2.1.exe 打开 GUI
- 选择此 COM 端口然后单击“Open Serial Port”建立主机和 LIA 电路板之间的连接

2.3.用户界面

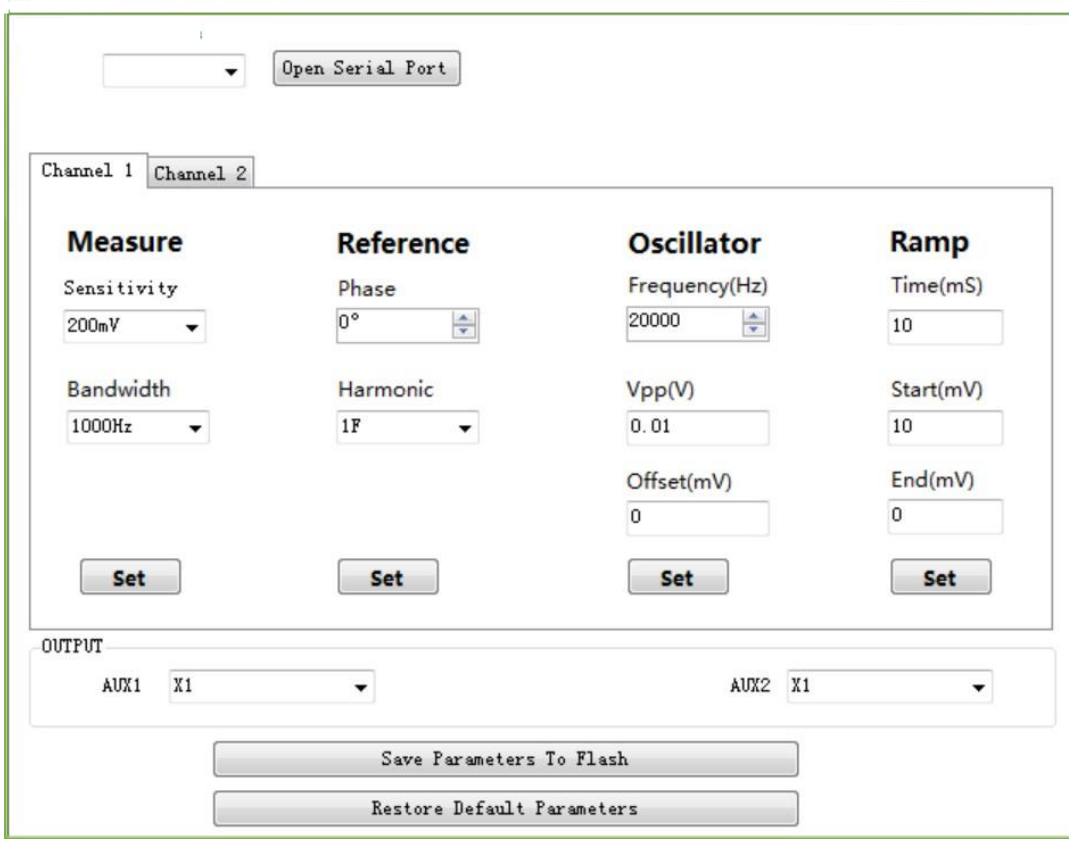
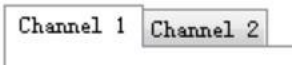


图 1. LIA 控制界面 V2.1

表 1. 锁相放大器上位机界面的使用说明

控制面板	功能	备注
	单击此键可建立主机和 LIA 模块之间的连接，再次单击连接将断开	
	两个独立的 LIA 解调通道的控制参数界面可随意切换	
	设置输出灵敏度和锁相解调器的带宽	
	设置本机振荡器的解调谐波和相位	相位只能为整数
	设置正弦波频率和振幅	频率(kHz): <500; 振幅范围(V): 0 to 1; 偏置范围(mV): -999 to 999;
	设置锯齿波周期和振幅	周期时间范围(ms): 10 to 10000; 开始值域(mV): -999 to 999; 结束值域(mV): -999 to 999
	从 AUX_DAC 通道中选择 LIA 结果信号输出	X1;Y1;X2;Y2

2.4.硬件概览

本节主要介绍锁相放大器的模拟 I/O 端口，图 2 给出了锁相放大器前后面板图。端口的具体定义如表 2 所示，端口连接请参考第 3 节的产品应用实例。

表 2. 锁相放大器 I/O 端口

I/O 端口名称	端口功能
AUX_DAC1	通道 1 解调信号输出
AUX_DAC2	通道 2 解调信号输出
DDS_DAC1	通道 1 调制信号输出
DDS_DAC2	通道 2 调制信号输出
LIA_Input1	通道 1 信号输入
LIA_Input2	通道 2 信号输入
USB	数据通讯
DC IN 5V/3A	供电输入

图 2. 锁相放大器的模拟 IO 端口

注意！

* 确保 LIA 输入端的工作电压低于±1 V

3. 产品应用实例

本节简要介绍锁相放大器在可调谐激光二极管吸收光谱技术(Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy，TDLAS)中的应用。

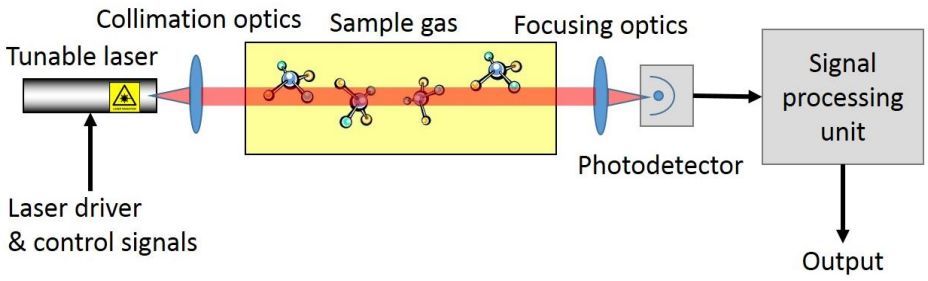


图 3. TDLAS 基本原理

TDLAS 是一种高灵敏、高分辨的气体吸收光谱检测技术，可用于多组分混合气体中一种或多种痕量气体的浓度测量。一套基本的 TDLAS 系统由可调谐二极管激光器光源、光吸收介质、探测器以及信号处理单元组成，如图 3 所示。当特定波长的激光束穿过被测气体时，由于气体吸收导致激光强度衰减，激光强度的衰减与被测气体浓度成正比，因此通过测量激光强度衰减信息就可以获得被测气体的浓度和其他特征。

为了提高 TDLAS 系统的灵敏度，采用波长调制光谱技术(Wavelength Modulation Spectroscopy，WMS)和相敏锁相检测技术。WMS 能够通过选择调制频率来抑制激光噪声和光电探测器电子噪声，而利用相敏锁相检测技术 (即锁相放大技术)则能得到与被测气体浓度成正比的谐波信号，从而有效提高测量系统的灵敏度。HealthyPhoton 提供的 HPLIA 微型双通道调制解调锁相放大器被应用到 TDLAS WMS 系统中，具有高灵敏度、绝对零点基线、在线锁定光谱等优势。图 4 展示了基于 HPLIA 的 TDLAS WMS 演示系统。该演示系统中只有一个信号通道被使用。如果希望使用两个通道，可同时连接 DDS DAC 和 LIA 输入通道到两个独立的激光器模拟驱动和光电探测器上。

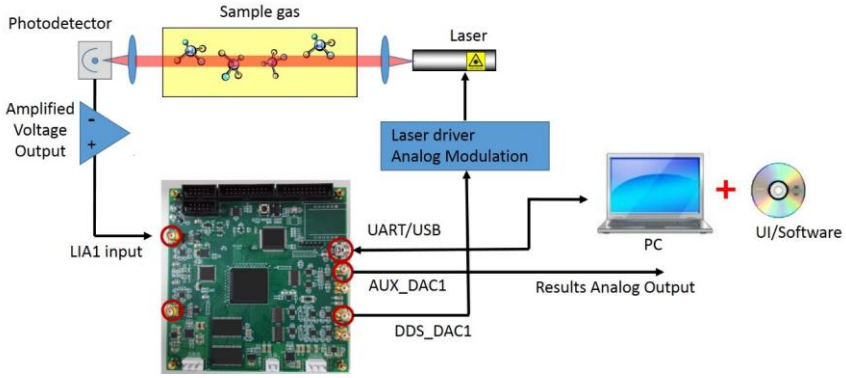


图 4. TDLAS 单通道应用的端口连接

激光调制信号包括正弦调制波形和波长扫描锯齿波，通过 DDS_DACs 生成。经放大的光电探测器信号被反馈到 LIA 输入端用于进一步的处理。调制解调信号通过 AUX_DACs 以模拟形式输出，或者作为数字形式通过 UART/USB 传送到 PC 上。所有这些参数都可以通过 PC 上安装的用户控制界面来设置。图 5 给出了通过 AUX_DAC 输出到示波器上的二次谐波信号。此实验中使用了 760nm 的激光二极管和硅探测器，目标气体为氧气，吸收池有效光程约为 3 米。

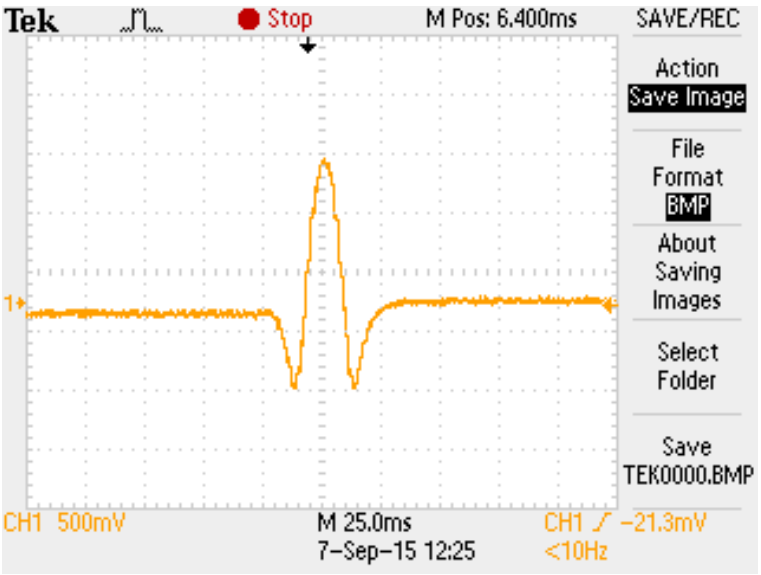


图 5.利用 HPLIA 解调后获得的二次谐波信号

4.串口通讯协议

本节讲述配置锁相放大器参数的串口通讯命令。当锁相放大器与电脑连接时，可以通过多个命令来配置其参数，表 3 给出了锁相放大器串口参数。

表 3.串口参数

串口通讯参数	波特率	115200
	数据位	8
	校验位	无
	停止位	1
	流量控制	无

每个参数设置对应一条指令，每条指令的长度固定为 6byte。每条指令分为命令段和数据段，命令段对应长度为 1-6byte。若命令段长度为 6byte，则该指令只有命令段没有数据段,具体指令解析如下表 4 和表 5 所示。

表 4.指令解析

对应指令	命令段字节数	对应命令字符	数据段类型	数据表达式
通道 1 解调信号幅度的满量程设置	1	t	ASCII 字符	数据段值=满量程值*10
通道 2 解调信号幅度的满量程设置	1	T	ASCII 字符	
通道 1 本振信号相位设置	1	p	ASCII 字符	数据段值=相位值*65536/360
通道 2 本振信号相位设置	1	P	ASCII 字符	
DDS1 正弦波输出频率设置	1	f	unsigned int	数据段值=频率值*1073.7418
DDS2 正弦波输出频率设置	1	F	unsigned int	
通道 1 解调信号的带宽设置	2	C0	ASCII 字符	0000->1000Hz 0001->100Hz
通道 2 解调信号的带宽设置	2	C1	ASCII 字符	
通道 1 本振信号频率的倍频数设置	2	B0	ASCII 字符	0001~0004 ->1F~4F
通道 2 本振信号频率的倍频数设置	2	B1	ASCII 字符	
DDS1 正弦波输出峰峰值设置	2	am	float	数据段值=峰峰值/2
DDS2 正弦波输出峰峰值设置	2	aM	float	
DDS1 正弦波输出偏置设置	3	vAd	ASCII 字符	无
DDS2 正弦波输出偏置设置	3	vBd	ASCII 字符	
DDS1 锯齿波输出周期设置	4	xraT	signed short	无
DDS2 锯齿波输出周期设置	4	xrAT	signed short	
DDS1 锯齿波输出起始值设置	4	xraS	signed short	无
DDS2 锯齿波输出起始值设置	4	xrAS	signed short	

DDS1 锯齿波输出结束值设置	4	xraE	signed short	无
DDS2 锯齿波输出结束值设置	4	xrAE	signed short	
输出通道信号选择设置	5	xyxyy	Hex	见表 3
数据保存到内部 Flash	6	bwtbwt	无	无
数据恢复出厂设置	6	crdcrd	无	无

表 5.输出信号的通道选择设置数据格式

通道 1	Bit0-3	1->x1, 2->y1, 3->x2, 4->y2
通道 2	Bit4-7	1->x1, 2->y1, 3->x2, 4->y2

指令具体设置方法可参考如下示例。

1、满量程设置示例（50mV）

字节（hex）	描述	数据类型
74	命令字符 t	1byte
30 30 35 30 30	数据字符 00500=50*10	5byte

2、本振信号相位设置示例（220° ）

字节（hex）	描述	数据类型
70	命令字符 p	1byte
34 30 30 34 39	数据字符 40049=220*65536/360	5byte

3、正弦波输出频率设置示例（20000Hz）

字节（hex）	描述	数据类型
66	命令字符 f	1byte
00 01 47 AE 14	unsigned int 数据 0x147AE14=20000*1073.7418	5byte

4、解调信号的带宽设置示例（100Hz）

字节（hex）	描述	数据类型
43 30	命令字符 C0	2byte
30 30 30 31	数据字符 0001->100Hz	4byte

5、本振信号频率的倍频数设置示例（2F）

字节（hex）	描述	数据类型
42 30	命令字符 B0	2byte
30 30 30 32	数据字符 0002->2F	4byte

6、DDS 正弦波输出峰峰值设置示例（0.1V）

字节（hex）	描述	数据类型
61 6D	命令字符 B0	2byte
3D 4C CC CD	Float 数据 0.05(0x3D4CCCCD)=0.1/2	1 Float 4byte

7、DDS 正弦波输出偏置设置示例（500mV）

字节（hex）	描述	数据类型
76 41 64	命令字符 vAd	3byte
35 30 30	数据字符 500	3byte

8、DDS 锯齿波输出周期设置示例（100mS）

字节（hex）	描述	数据类型
78 72 61 54	命令字符 xraT	4byte
00 64	signed short 数据 100（0X0064）	2byte

9、输出通道信号选择设置示例（通道 1->x1，通道 2->x2）

字节（hex）	描述	数据类型
78 79 78 79 79	命令字符 xyxyy	5byte
31	Bit0-3:1->x1 Bit4-7:3->x2	1byte

10、数据保存到内部 Flash

字节（hex）	描述	数据类型
62 77 74 62 77 74	命令字符 bwtbwt	6byte

11、数据恢复出厂设置

字节（hex）	描述	数据类型
63 72 64 63 72 64	命令字符 crdcrd	6byte

5.同步信号线束说明

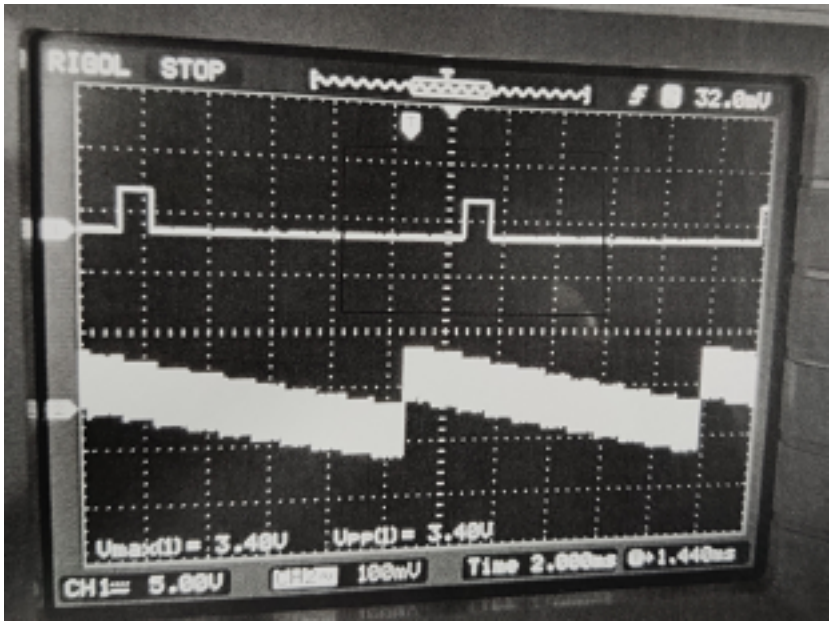
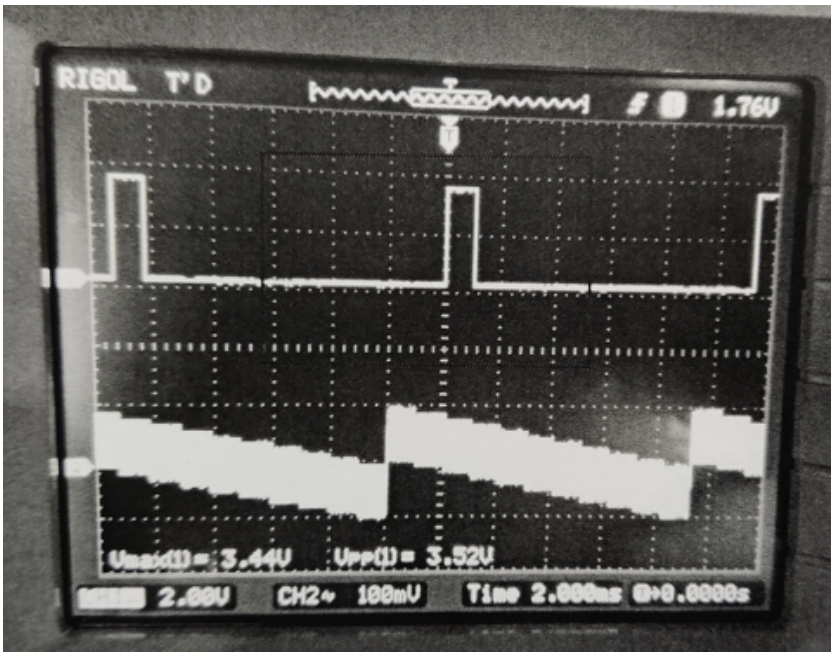
5.1 三根线束说明

- 红色线束对应DDS1
- 白色线束对应DDS1
- 黑色线束对应DDS1

注：以上为红白线束对应的同步信号信道

5.2 增加三角波同步信号线后测试如下：

DDS1三角波同步信号



DDS2三角波同步信号