

Digital Lock-In Amplifiers

OE1022数字锁相放大器



特征参数

- 测量信号的频率范围为1mHz至102kHz
- 满量程刻度输出时的输入电平为1nV至1V
- 时间常数为10 μ s至3ks
- 动态储备大于100dB
- 相位/幅值自动调节
- 多谐波测量
- FFT频谱分析

概述

OE1022数字锁相放大器是目前最新款的核心技术产品，是一款高性能、高性价比的测量仪器。基于数字调制、输出滤波器以及高精度24位数模转换器(ADC)，采用FPGA+ARM平台架构，能够精确、快速测量出淹没在大噪声中的有效信号分量。而且，OE1022锁相放大器能够同时测量输入信号的幅度和相位信息，在测量精度、工作频率范围、信噪比、动态储备等核心参数方面，均与国际同行业的顶尖技术相媲美。同时新开发了多谐波测量、高精度FFT等功能，使得OE1022功能可以满足多种科研及工业用途。

输入信号通道

锁相放大器OE1022中所采用的低噪声模拟前端放大器能够有效地处理差分信号或者单端信号，其等效输入噪声为10nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 。本通道的输入阻抗为10M Ω ，在满量程输出时能够检测到的输入信号电平为1nV至1V。此外，OE1022能够应用于输入电流信号的测量，其前端可变电增益为10⁶或10⁸V/A。OE1022设计了两个陷波器（中心频率为50/60Hz和100/120Hz）以限制工频干扰的影响。OE1022的动态范围可以达到100dB以上，其可以根据输入信号的幅度来调节内部的可编程的增益放大器以改变整个系统的动态储备。高精度的24位ADC的采样率为20MSPS，在ADC前面的抗混叠滤波器能够有效地防止信号混叠。

参考信号通道

OE1022数字锁相放大器的参考信号可根据用户的实际情况来选择正弦波信号或者是方波信号，同时也可以利用仪器内部数字合成的参考信号。当OE1022设定为内部参考信号模式时，仪器内部的高精度振荡器和数字合成算法能够产生用于和输入信号相乘的正弦波信号，此

时的内部参考信号几乎不会受到相位噪声的影响。利用数字移相技术，内部参考信号的相位能够达到0.01°的分辨率精度。本仪器的内部参考信号模式能够在1mHz至102kHz的频率范围内正常工作。此外，OE1022也能够使用外部参考信号模式，正弦波信号和TTL逻辑电平可作为外部参考信号。外部参考信号的上升沿或者下降沿会触发内部的锁相环(PLL)。基于参考信号的频率，OE1022可以对信号谐波进行检测，其所能检测到的最大谐波信号频率是基频的32767倍，但最大谐波频率不能超过仪器的工作频率102kHz。

数字调制器和输出滤波器

OE1022的核心部件是调制器。相比于模拟的信号乘法器，这款仪器内部的数字调制器能够有效地遏制直流偏移和失调所带来的潜在测量误差。同时，通过优化该数字调制器内部相干信号的乘法运算，使得其计算误差为最小，保证仪器能够精确的检测出输入的微弱信号。OE1021的时间常数可以设定在10 μ s至30ks之间。输出低通滤波器的滚降速率可设定为6、12、18和24dB/octave。这款低通数字滤波器是利用无限脉冲响应(IIR)滤波器结构实现的，其信号处理的采样率为312.5kHz。OE1022采用的数字调制方法和滤波器结构，保证其相对于模拟锁相放大器来说拥有更高的动态储备(>100dB)、精确的相位（绝对相位误差<1°）、零直流漂移和良好的正交性。此外，在输入信号的频率低于200Hz时，OE1022还会使用同步滤波器来消除参考信号的谐波影响，保证仪器能够快速检测出有效的低频信号。

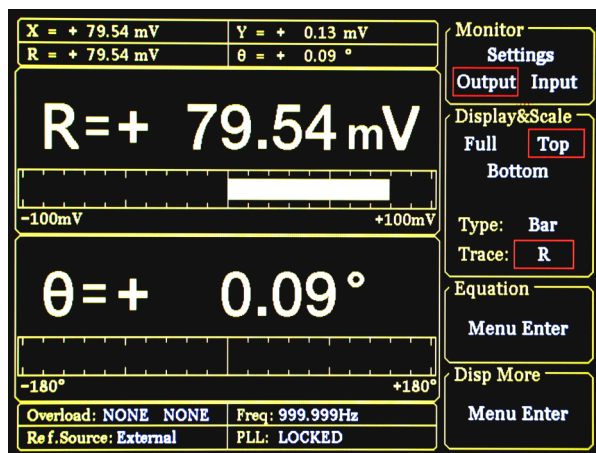
显示功能

OE1022选用的是5.6英寸的640 \times 480分辨率的TFT彩色屏作为仪器的主显示屏。本款锁相放大器所能够检测到的数据，例如：信号的X值、Y值、R值、 θ 值，可以同

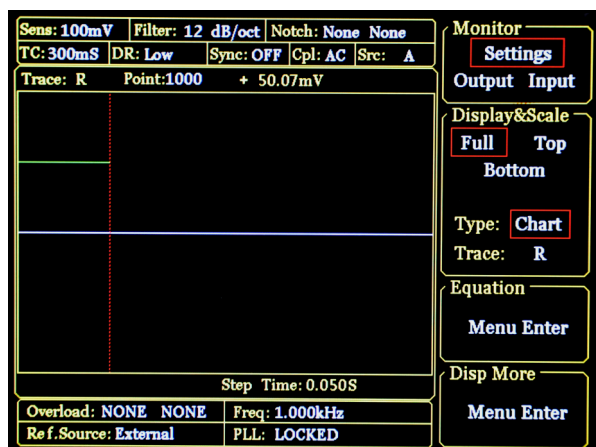
Digital Lock-In Amplifiers

OE1022数字锁相放大器

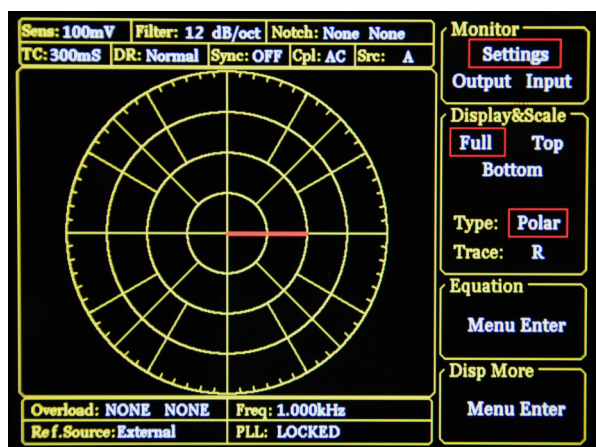
时以数值和条形图来显示。



同时OE1022也可以选择显示时间-幅值关系的XY坐标图，显示测量值得曲线图形，并可通过旋钮控制Cursor来查看采样点的数值大小。

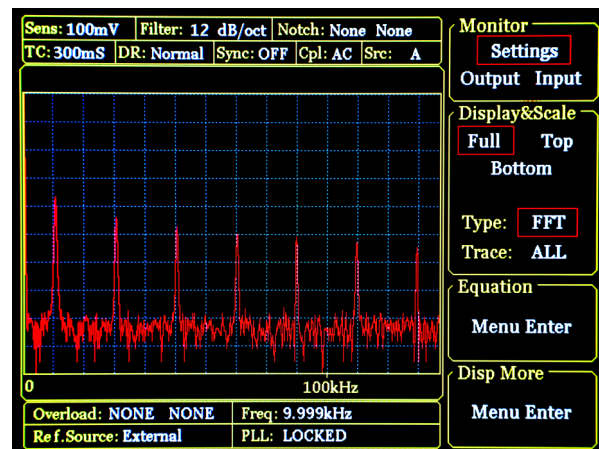


此外，OE1022还能够利用极坐标显示输入待测信号的同相分量和正交分量所组成的矢量。所有的显示方式可以简单地通过人工操作来进行显示比例的调整，同时仪器所具备的自动调整功能也可以快速优化仪器的显示方式。OE1022的显示屏可以被设定为单一方框的整屏显示模式或者是两个分离的水平方框的显示模式。



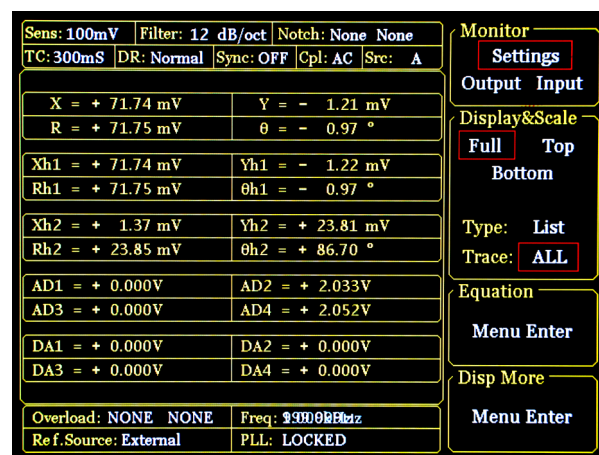
FFT频谱分析

为了能够全方位分析测量信号的噪声分量，OE1022开发并集成了FFT（快速傅里叶变换）高精度频谱分析功能，可以在1 kHz至102 kHz范围内实现高精度频域测量，并实时显示信号的频谱分布。



多谐波同时测量

传统的锁相放大器中，同一时间只能测量基频信号或者某个谐波信号分量。因此对于某些需要同时多个频率分量的幅值及相位的情况，传统锁相放大器无法满足测量要求。OE1022的数字端将FPGA与ARM技术相结合，实现更高的处理带宽及更灵活的数字架构，数字处理精度可达到48位，可以同时进行3通道谐波分量的测量。使得1台OE1022相当于3台传统锁相放大器。



振荡器

锁相放大器OE1022内部振荡器能够给仪器提供低失真度(-80dBc)的参考信号。单一正弦波参考信号的频率可以从1mHz变化至102kHz，同时所产生的参考信号的频率分辨率能够达到0.1mHz。利用OE1022的前面板或者计算机通信，能够设定内部振荡器所产生的参考信号的频率和振幅。而当仪器选用外部参考信号模式时，内部振荡器产生的信号与外部参考信号保持相位锁定的关系。

Digital Lock-In Amplifiers

OE1022数字锁相放大器

信号发生器

基于16位的数模转换器（DAC），OE1022能够产生频率范围在1 mHz到102 kHz之内的正弦波信号，其信号的幅值和相位与仪器内部的振荡器有关，可以通过仪器的控制目录能够设定仪器所产生的正弦信号的幅值。OE1022的信号发生器所能产生的正弦波信号的最大幅值为5 Vrms。

人工操作

在显示测试数据的同时，TFT液晶屏也是用来显示仪器的控制目录的。结合仪器的主屏幕周围的软键和仪器前面板上的数值键盘，用户能够有效地调整仪器的工作参数，例如：内部振荡器的频率，其能够被设定成一个所需的固定值，而且具备很高的精度。

自动功能

数字锁相放大器OE1022可以自动调节仪器的工作参数以获取针对不同的输入信号而需要的最优测量模式。使用仪器的控制目录中独立的不同按键，用户可以合理地调节仪器整体的增益、内部参考信号的相位、动态储备和仪器的显示比例。基于自动调节功能，仪器能够自动简易地测量出输入的待测信号。

接口

OE1022的接口标准为RS-232转接USB接口。通过USB接口，本仪器所具备的全部功能都可以被控制，而且所测得的数据也能够被实时读取。同时，为了使用户能更加方便的使用各种功能，仪器的接口分布设置于前面板和后面板，在调试过程中用户能够在前面板的显示屏中直观地观察到仪器所收到的和发出的信息。

PC软件操作

本仪器所采用的内部RS232转USB接口保证用户能够在控制计算机上有效地使用OE1022的所有测试功能，包括设定仪器的合理控制参数和读取仪器所测的数据。本款仪器配备有对应的免费LabVIEW程序，这使得OE1022能够简单地应用于复杂的科学实验当中。在LabVIEW的程序界面上，用户能够看到所有的控制命令和仪器反馈的响应。



输入信号通道

电压输入模式	单端输入或差分输入
满量程灵敏度	1nV至1 V 以1-2-5步进递增
电流输入增益	10 ⁶ 或 10 ⁸ V/A
输入阻抗	
电压输入	10MΩ/25pF, 直流耦合或交流耦合
电流输入	1kΩ至虚地端
共模抑制比	>100 dB (在10 kHz以内), 之后以6dB/oct递减
动态储备	>100dB
增益精度	典型值为0.2%, 最大值为1%
噪声性能	
1 kHz时	10nV/√Hz (电压) 0.13pA/√Hz (电流)
100 Hz时	0.013pA/√Hz (电流)
线路滤波器	50/60 Hz和100/120 Hz
接地	BNC接头可以直接接地或通过1kΩ电阻接至浮地

参考信号通道

输入信号	
频率范围	1mHz至102kHz
输入信号类型	TTL逻辑电平或正弦波
输入阻抗	1MΩ/25pF
相位	
分辨率	0.01°
绝对相位误差	<1°
相对相位误差	<0.01°
正交性	
内部参考	综合, 在1kHz时<0.0001°rms
外部参考	在1kHz时: 0.005°rms (时间常数为100 ms, 12 dB/oct)
温漂	
低于10kHz	<0.01°/°C
高于10kHz	<0.1°/°C
谐波检测	2F,3F,...nF至100kHz (n<32,767)
采集时间	
内部参考	即时获取
外部参考	(2个周期 + 5ms) 或40ms

解调器

稳定性	
数字输出	所有设置均无零点漂移
显示	所有设置均无零点漂移
模拟输出	所有动态储备设置<5ppm/°C
谐波抑制	-90 dB
时间常数	10μs至3ks (<200Hz) 10μs至30s (>200Hz) (6、12、18、24dB/oct陡降)
同步滤波器	<200Hz, 18、24dB/oct陡降有效

内部振荡器

频率	
范围	1mHz至102kHz
精度	25ppm + 30μHz
分辨率	1 mHz
失真度	-80dBc (f<10kHz), -70dBc (f>10kHz)
幅度	0.001至5Vrms (分辨率1mVrms)
误差	1%
温度稳定性	50ppm/°C
输出	正弦信号, 输出阻抗为50Ω

显示

显示屏	5.6 英寸, 640×480彩色TFT
屏幕格式	单通道或双通道显示
显示值	每个通道均可显示X、Y、R、θ值
显示类型	数字显示图, 条形图, XY坐标图和极坐标图

输出

通道1和通道2	
功能	X、Y、R、θ、谐波
幅度	±10V
阻抗	100Ω
AUX Inputs	
功能	4通道输入
幅度	±10V
阻抗	10MΩ
AUX Outputs	
功能	4通道输出
幅度	±10V
Trigger Input	
功能	TTL外部触发用于数据存储
Monitor Output	
功能	信号放大器的模拟输出

接口

RS-232转USB	RS-232转USB接口控制和读取仪器参数及数据
------------	--------------------------

其他

电源要求	
电压	220/240V AC
频率	50/60Hz
功率	40W
外形尺寸	
宽度	473mm
深度	490mm
高度	
带支脚	160mm
不带支脚	147mm