



概述

OE2011/OE2021 数字锁相放大器是当前最新推出的核心技术产品，具有卓越的微弱信号测量能力。该仪器基于数字调制技术，配备 24 位高精度模数转换器（ADC）和 16 位高速数模转换器（DAC），配合全新推出的流溪架构，能够精准、快速、灵活地检测隐藏在强噪声中的有效信号成分。OE2011/OE2021 能同时测量输入信号的幅度和相位信息，其在测量精度、工作频率范围、信噪比及动态储备等关键性能指标上，均已达到国际领先水平。此外，还集成了多谐波测量、示波器与 FFT 频谱分析功能、PID 控制功能，使 OE2011/OE2021 能广泛适用于科研和工业领域的多种需求。

输入信号通道

OE2011/OE2021 配备了低噪声模拟前端放大器，能够高效处理差分信号或单端信号，等效输入噪声低至 $2.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。该通道的输入阻抗为 $10\text{M}\Omega$ ，满量程灵敏度范围为 1nVrms 至 5Vrms 。此外，信号输入通道采用高精度 24 位 ADC，动态范围可以达到 130dB 以上。

输出信号通道

OE2011/OE2021 基于 32 MSPS 的 16 位数模转换器（DAC），能在 $10\ \mu\text{Hz}$ 至 $250\ \text{kHz}/1.5\ \text{MHz}$ 的频率范围内生成高精度正弦波信号，并可调节直流偏置。信号幅值范围为 0.1Vrms 至 5Vrms ，直流偏置范围为 $\pm 5\text{Vdc}$ 。

对于需要偏置电压的外部设备，如电光调制器，OE2011/OE2021 凭借其卓越的驱动能力，可以直接驱动设备而无需额外的电平转换放大器。输出信号的相位与仪器内部振荡器保持同步，并且可以独立设置相位偏移。此外，OE2011/OE2021 支持 AM/FM/PM 调制功能，方便用户对系统进行调制控制。

特征参数

- 频率范围： $10\ \mu\text{Hz}$ - $250\ \text{kHz}$ / $1.5\ \text{MHz}$
- 输入噪声（min）： $2.5\ \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- 输入量程： $1\ \text{nV}$ - $5\ \text{Vrms}$
- 时间常数： $100\ \text{ns}$ - $3\ \text{ks}$
- 动态储备： $>130\ \text{dB}$
- 8 通道解调器同步测量
- 2 通道 PID 控制器
- 频谱分析、示波器功能

参考信号通道

锁相放大器的参考信号可以采用仪器内部数字合成的参考信号，也可以根据用户实际需求由外部引入正弦波或方波信号。当 OE2011/OE2021 设置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将生成用于与输入信号相乘的正弦波信号，且该内部参考信号几乎不受相位噪声的影响。通过数字移相技术，内部参考信号的相位分辨率可达到 $1\ \mu\text{deg}$ 。

当 OE2011/OE2021 工作在外部参考信号模式，可接受正弦波信号或 TTL 逻辑电平作为外部参考信号，这一信号会被内部数字锁相环锁定。基于参考信号的频率，OE2011/OE2021 可以对信号同频及其谐波进行检测，最多可检测到基频的 10000 次谐波，但最大谐波频率不能超过仪器的测量带宽上限。

数字解调器

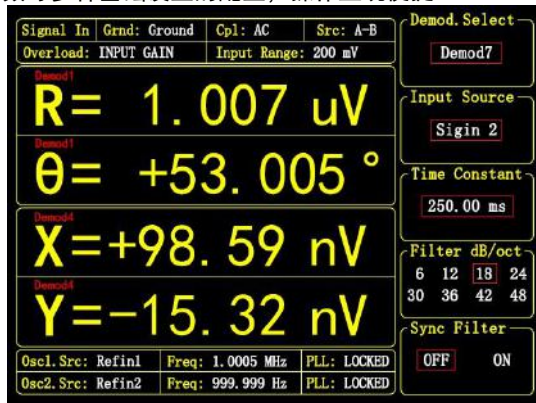
OE2011/OE2021 拥有 8 个同步的解调器，每个解调器可独立控制。OE2011/OE2021 时间常数可在 100ns 至 3ks 范围内灵活设置，用户可根据需求自定义时间常数。滤波器的陡降速率可以选择 $6 - 48\ \text{dB/oct}$ 共 8 阶。采用数字调制技术与先进滤波器结构，OE2011/OE2021 相比传统模拟锁相放大器，具有更高的动态储备 ($>130\text{dB}$)、更精确的相位（绝对相位误差 $<1\text{deg}$ ）、零直流漂移以及优异的正交性能。此外 OE2011/OE2021 提供可选的同步滤波器，能快速消除信号谐波的影响，确保仪器在快速响应的同时，准确检测低频信号。

通信接口

OE2011/OE2021 拥有 USB2.0、1000Mbps RJ45 网口、WIFI 无线网络接口、RS232 串口以及 GPIB 接口。通过各个通讯接口，用户能够在控制计算机上有效地使用

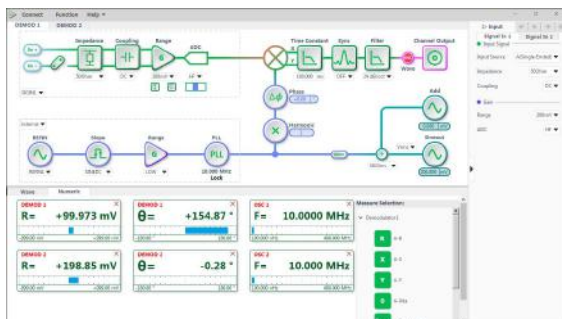
彩色显示屏

OE2011/OE2021 配备了一块 5.6 英寸的 TFT-LCD 彩色显示屏，作为仪器的主要显示界面，并可通过键盘实现对仪器的全方位独立控制。在显示屏上，用户可以灵活查看解调器的 X、Y、R、 θ 等参数，同时还可以进行滤波器常数等多种基础设置的配置，操作直观便捷。



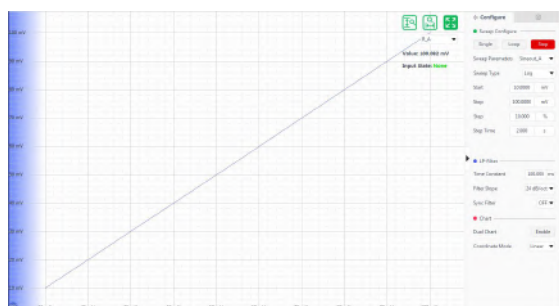
上位机软件

OE2011/OE2021 配套图形化上位机软件，拥有快捷图形按钮及丰富的图形操作功能。此外，本软件具有清晰的数值显示和波形显示功能，可实时显示测量数据，测量结果可以采用 excel 格式输出保存，供后续的专业软件进行分析，让测试得心应手。此外，我们还全面支持 Python、MATLAB 和 LabVIEW 应用程序接口（API）。



参数扫描仪

参数扫描仪为用户提供方便的快速扫描，实现频率响应、幅度响应等曲线的即时绘制，并提供了单次或循环扫描的模式。



OE2011/OE2021 的所有测试功能，设定仪器的合理控制参数和读取仪器所测的数据。

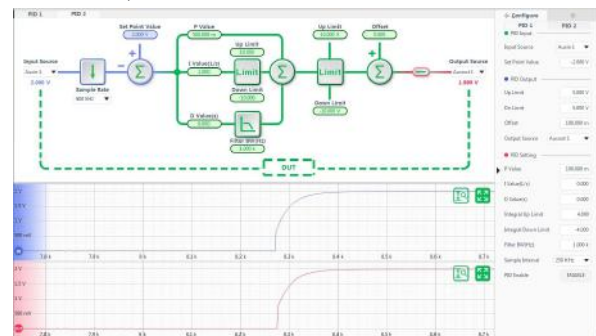
示波器功能

OE2011/OE2021 具有 2 个示波器通道，可选信号输入、参考输入、信号输出、辅助输入输出等信号，具备多种触发方式，为用户实时显示时域信号。每个通道最长 65536 采样深度，可调采样时长 65us - 1s。



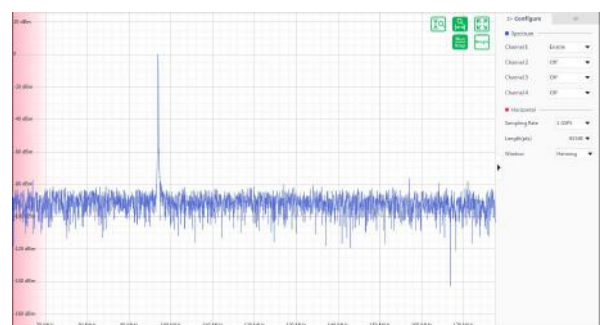
PID 控制器

OE2011/OE2021 内置独立 2 通道数字式 PID 控制器，采样率最高达 4 MSPS。PID 控制器与锁相放大器紧密衔接，可根据解调器的测量值控制输出信号的幅度、相位、频率等信号，实现多种受控量的精确调控。



FFT 频谱分析

FFT 频谱分析功能基于示波器捕捉的波形，分析信号的频域信息。根据采样速率和采样深度的不同，频谱分析的频率分辨率范围约在 1Hz - 31kHz。



输入信号通道

输入模式	
电压	单端输入或差分输入
电流	单端信号（跨阻输入）
满量程灵敏度	1 nV - 5 V（电压输入） 1 fA - 5 mA（电流输入）
电流跨阻增益电阻	1 kΩ, 1 MΩ, 100 MΩ三个档位
量程档位	1 mV 至 5 V 共计 7 档
输入耦合模式	直流耦合或交流耦合
输入阻抗	10 MΩ 25 pF（电压） 100Ω 或 1 kΩ（电流）
输入屏蔽接地	接地或 10 kΩ浮地
共模抑制比	>110 dB 至 1kHz, 以 6dB/oct 衰减
动态储备	>130 dB
幅值精度	典型值 0.5%, 最大值 1%
等效输入电压噪声	3.5 nV/√Hz (f ≥ 1 kHz) 2.5 nV/√Hz (f ≥ 10 kHz)
等效输入电流噪声	20 fA/√Hz (f = 97Hz)
模数转换器位数	24 bit

参考信号通道

参考通道数量	2
输入信号	
频率范围	10 μHz - 250 kHz (OE2011) 10 μHz - 1.5 MHz (OE2021)
支持输入波形	方波或正弦波
输入阻抗	1 MΩ
方波参考电平	3V < V _{IH} < 5V, -0.1V < V _{IL} < 0.5V
正弦参考信号	频率 > 1 Hz, 300 mV < V _{pp} < 10 V
相位	
分辨率	1.0 μdeg
相位误差	典型 ±0.5 deg, 最大 ±1 deg
温漂	< 200 ppm/°C
谐波检测	1-10000F (nF < 1.5 MHz)
采集时间	
外部参考	10 或 100 个信号周期

振荡器

数字振荡器数量	2
振荡器参数	
精度	0.3 ppm
温度稳定性	0.5 ppm / °C
老化率	< 1 ppm/year
相位噪声	-145 dBc/Hz (@1kHz)

通信接口

USB2.0	480 Mbps 高速接口
RS-232	标准 9 针 RS-232 母插座

Ethernet	RJ45-1000Mbps 有线接口
	WiFi 2.4GHz 无线网络接口
GPIOB	IEEE-488.2 接口

输出信号通道

输出频率	10 μHz - 250 kHz (OE2011) 10 μHz - 1.5 MHz (OE2021)
频率精度	2 ppm + 1 μHz
频率分辨率	1 nHz
正弦幅值	0.1 μVrms 至 5 Vrms
精度	典型值 0.5%, 最大值 2%
分辨率	0.1 μVrms
驱动能力	± 80 mA max
温度稳定性	< 200 ppm/°C
输出阻抗	50Ω
可调直流偏置	-5 VDC 至 5 VDC
同步输出	3.3V TTL/CMOS 电平 输出阻抗 50Ω
额外功能	AM/FM/PM 调制输出
数模转换器	16 bit, 32 MSPS

解调器

解调器数量	8
解调器	64 bit
时间常数	100ns - 3ks
测量带宽	50 μHz - 1.6 MHz
滤波器陡降	6,12,18,24,30,36,42,48 dB/oct
同步滤波器	< 1000 Hz 有效

辅助输入与输出

AUX Inputs	
功能	4 通道输入
幅值	± 10V, 0.1 mV 分辨率
输入阻抗	1MΩ
模数转换器	16 bit, 150 kSPS
AUX Outputs	
功能	4 通道输出
幅值	± 10V, 0.1 mV 分辨率
驱动电流	最大 ± 30 mA
模数转换器	16 bit, 500 kSPS

其他

电源要求	
电压	100/120/220/240 VAC
功率	典型 50W, 最大 70 W
电源噪声抑制	70dB@1MHz
外形尺寸	448mm × 532mm × 148mm
重量	12 kg