

电容式位置传感 · *Faraday* 系列

亚纳米级空间分辨率

高速数据采集

高速通讯的位置传感方案



北京卓立汉光仪器有限公司

服务网络: 北京 | 上海 | 深圳 | 成都 | 西安 | 长春 | 郑州 | 无锡
电话: 010 56370168 邮箱: info@zolix.com.cn www.zolix.com.cn



➔ 电容式位置传感，1 系统简介

Faraday 系列电容式位置传感系统由三个核心单元构成：(1) 传感器，(2) 位置监视器，(3) 数据通讯和软件平台



1. 传感器

平板、圆柱和螺柱三种探头形式，量程 0.2 – 3 mm

型号说明

1. 平板型，Cxx - FLT
2. 圆柱型，Cxx - CYL
3. 螺柱型，Cxx - SCR

(其中，xx 代表传感器量程，单位为 mm)

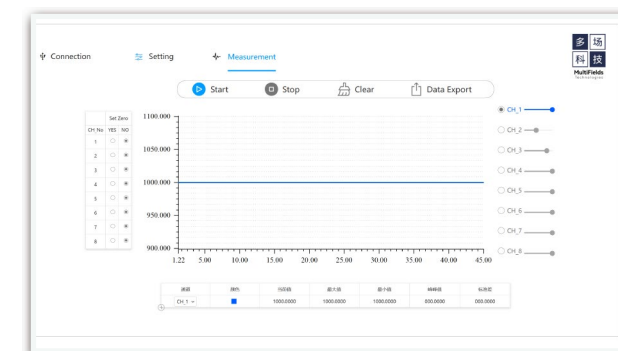


2. 位置监视器

3 通道，8 通道两种机箱框架

型号说明

1. Faraday.03 - Box03 型框架，最多扩展至 3 测试通道
2. Faraday.08 - Box08 型框架，最多扩展至 8 测试通道



3. 通讯 & 软件

高速通讯，多种数据处理模块

软件功能

1. 50 kSa/s x 8 通道并行高速数据采集
2. 支持实时频谱分析

电容式位置传感 , 2.1 传感器 – 产品矩阵

提供平板、圆柱和螺柱三种探头形式，量程覆盖范围 0.2 mm, 0.5 mm, 1mm, 2mm & 3mm，并提供高真空.HV, 超高真空.UHV 和完全无磁材料.NM 的多版本选择

量程	0.2 mm	0.5 mm	1 mm	2 mm	3 mm	
平板型. FLT	 C0.2-FLT	 C0.5-FLT	 C1-FLT	 C2-FLT	 C3-FLT	.FLT 系列，合计20款产品 共5量程 除标准款外，支持高真空.HV、超高真空.UHV 和完全无磁材料.NM 选项
圆柱型. CYL	 C0.2-CYL	 C0.5-CYL	 C1-CYL	 C2-CYL	 C3-CYL	.CYL 系列，合计20款产品 共5量程 除标准款外，支持高真空.HV、超高真空.UHV 和完全无磁材料.NM 选项
螺柱型. SCR	 C0.2-SCR	 C0.5-SCR	 C1-SCR	 C2-SCR	 C3-SCR	.SCR 系列，合计20款产品 共5量程 除标准款外，支持高真空.HV、超高真空.UHV 和完全无磁材料.NM 选项

➔ 电容式位置传感，2.2 位置监视器 – Faraday.0X

Faraday 系列电容式位置传感监视器，包括 Box03 和 Box08 两种机箱形式

产品特色：

- ▶ **亚纳米级空间分辨：** 高分辨率，高线性度
- ▶ **灵活带宽选择：** 10 kHz / 1 kHz / 20 Hz 模拟带宽可调；
- ▶ **高速数据采集：** 包含千兆网口，以 50 kSample/s 的数据速率稳定传输；能同时处理多路数据，最高支持 8 通道并行数据传输，满足复杂应用需求；
- ▶ **实时通讯能力：** 提供 SPI 通讯接口，能与用户主机实现实时通讯，数据交互高速、稳定；
- ▶ **实时频谱分析：** 用户可以通过直观的频谱图界面，清晰地看到当前时刻不同频率成分的功率等信息，以便及时做出决策和调整；
- ▶ **灵活定制：** 探头和板卡均支持 OEM 定制

模块组成：

Faraday 系列位置监视器标准版由两部分组成：主机 (Box0X) 和板卡 (Faraday)，高级扩展功能可选配。

- ▶ **主机 (Box0X)**
 - 机箱框架：Box03 最多可扩展至 3 测试通道，Box08 最多可扩展至 8 测试通道
 - 供电模块：220 VAC
 - 数字模块：EtherNET 以太网口
 - 激励模块：支持多个监视器主机间激励信号同步
- ▶ **板卡 (Faraday) x N (Nmax = 3 or 8)**
 - 每个板卡为一个独立的测试通道。
- 定制功能：
 - 输出电压范围：0–10V 默认，± 5V、± 10V 可选定
 - 量程扩展：x 1 默认，0.3–3 倍可定制
 - 零点偏置：n % x Range 可定制
- ▶ **扩展功能**
 - 提供 SPI 总线接口，数据更新间隔 20 μs，插卡式扩展



Figure 1. Faraday.03, 最多支持 3 通道同时测量

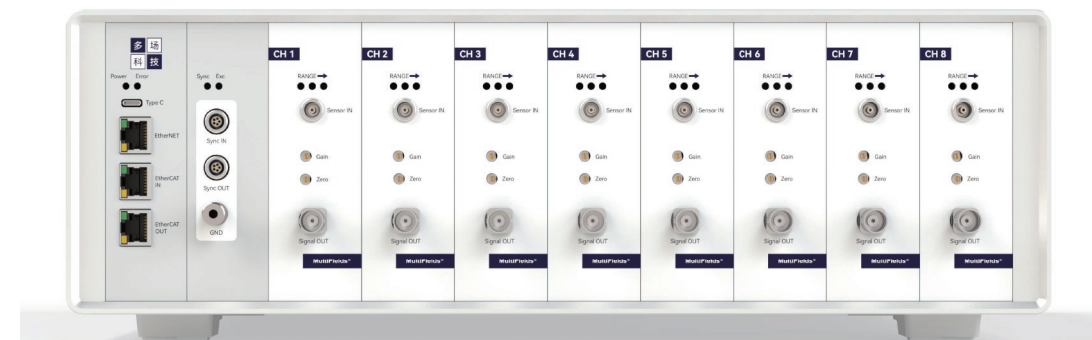


Figure 2. Faraday.08, 最多支持 8 通道同时测量

➔ 电容式位置传感，3 技术参数

下表所列技术参数均由 Faraday. 0X 位置监视器测量获得

传感器基础信息							
1	探头形式	平板型 .FLT		圆柱型 .CYL		螺柱型 .SCR	
2	安装方式	螺钉		夹持		螺纹	
		M1.6/ M2/ M2.5		Φ 8 mm		M 10 × 1	
3	线缆连接方式	集成		插拔		插拔	
4	壳体材料	纯钛					
5	测量范围	0.2 mm	0.5 mm	1 mm	2 mm	3 mm	
6	线性度	± 0.02 μm	± 0.05 μm	± 0.1 μm	± 0.2 μm	± 0.3 μm	
7	灵敏度	50 mV/um	20 mV/um	10 mV/um	5 mV/um	3.3 mV/um	
8	分辨率	动态	4 nm	10 nm	20 nm	40 nm	60 nm
	静态	0.2 nm	0.5 nm	1 nm	2 nm	3 nm	
位置监视器性能参数							
9	带宽	10 kHz /1 kHz /20 Hz					
10	线性度	± 0.01 % FSO *					
11	灵敏度偏差	≤ ± 0.05%					
12	分辨率	动态	0.002% FSO @10 kHz				
	静态	0.0001% FSO @20 Hz					
13	重复性	0.0003 % FSO					
14	温度稳定性	20 ppm/°C					
15	同步操作	可同步					
16	输出接口	模拟	BNC母座: 0~10V（默认） ± 5V / ± 10V（可选）				
	数字	Ethernet, EtherCAT（默认） SPI 接口（可选）					
17	数据速率	50 kSa/s x 8 通道					
18	通道数	单机最大支持 8 通道					
19	供电	220 VAC					

* FSO = Full Scale Output 满量程输出

					Sensor Information		
Flat sensors .FLT		Cylindrical sensor .CYL		Sensor with thread .SCR		Sensor type 1	
Screw		Clamping		Thread		Mounting 2	
M1.6/ M2/ M2.5		Φ 8 mm		M 10 × 1			
Integrated		Plug		Plug		Cable connection 3	
Ti					Shell material 4		
0.2 mm	0.5 mm	1 mm	2 mm	3 mm	Measuring range 5		
± 0.02 μm	± 0.05 μm	± 0.1 μm	± 0.2 μm	± 0.3 μm	Linearity 6		
50 mV/um	20 mV/um	10 mV/um	5 mV/um	3.3 mV/um	Sensitivity 7		
4 nm	10 nm	20 nm	40 nm	60 nm	dynamic	Resolution 8	
0.2 nm	0.5 nm	1 nm	2 nm	3 nm	static		
					Monitor Technical Data		
10 kHz /1 kHz /20 Hz					Bandwidth 9		
± 0.01 % FSO					Linearity 10		
≤ ± 0.05%					Sensitivity deviation 11		
0.002% FSO @10 kHz					Resolution 12		
0.0001% FSO @20 Hz							
0.0003 % FSO					Repeatability 13		
20 ppm/°C					Temperature stability 14		
Yes					Synchronous operation 15		
BNC female connector: 0~10V (default) ± 5V / ± 10V (available)					analog	Output interface 16	
Ethernet, EtherCAT (default) SPI Interface (available)					digital		
50 kSa/s x 8 channels					Data rate 17		
Max. 8					No. of channels 18		
220 VAC					Supply 19		

➡ 电容式位置传感, 4.1 实测数据 – 分辨率 Resolution

亚纳米级空间分辨率

- 分辨率, RMS Noise = 0.32 nm

C0.2-FLT 传感器搭配 Faraday.03 监视器实测数据, 运动步长 1 nm

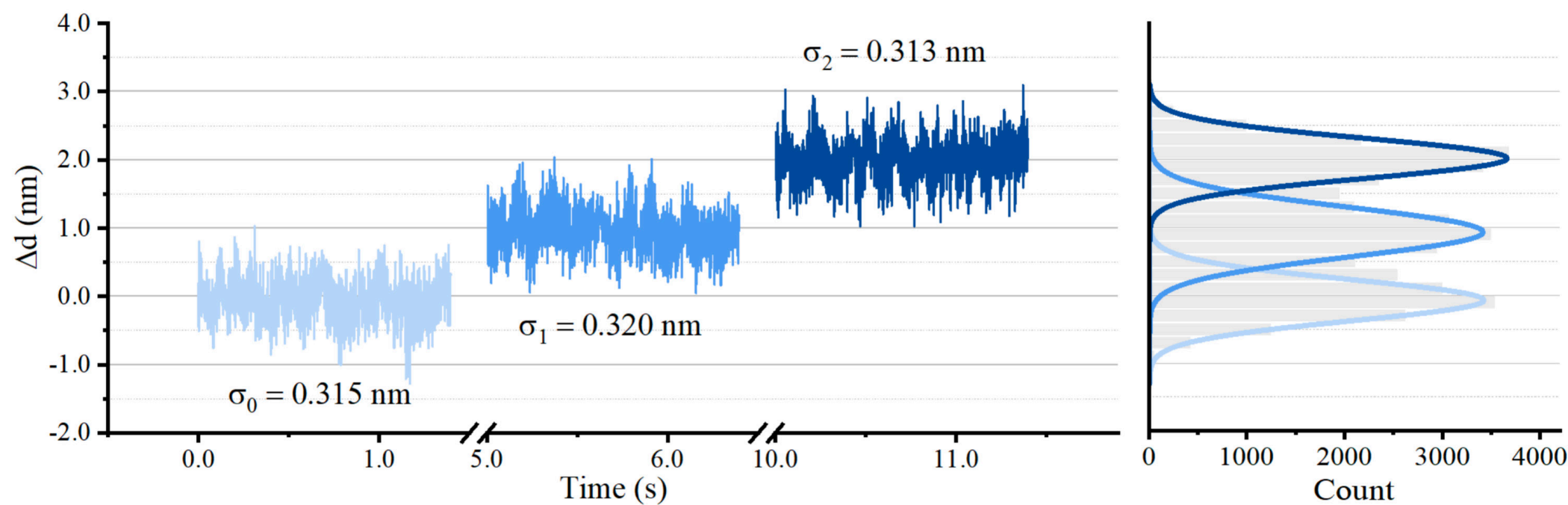


Figure 1. C0.2-FLT 传感器探头亚纳米分辨率实测。高速采样下的 RMS noise 分析。

➔ 电容式位置传感，4.2 实测数据 – 线性度 Linearity

全量程线性度误差小于 0.01% FSO (激光干涉仪校准)

• 线性度定义

$$\text{Linearity Error (\%FSO)} = \pm \max |e_m|$$

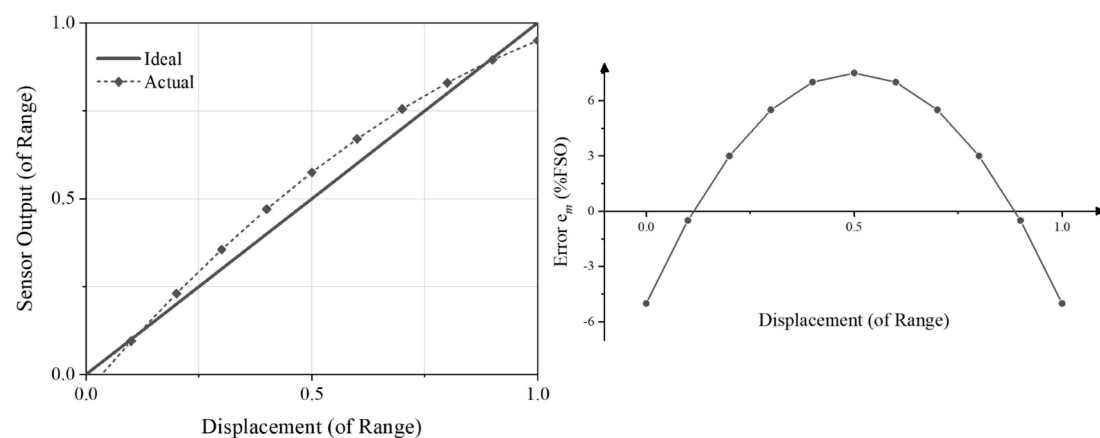


Figure 1. 线性度定义图示说明。实测曲线与理想直线之间的最大偏差值，即所有数据点中偏离理想直线最远的点的误差量。

• 线性度误差实测

Sensor Range = 200 μm , 全量程线性度误差 ± 0.005 %FSO.

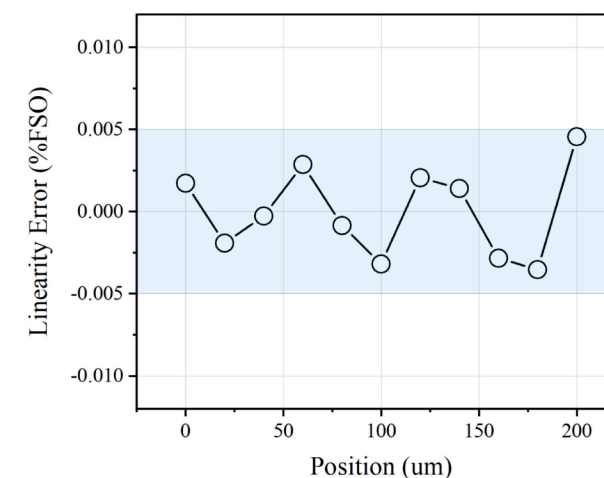
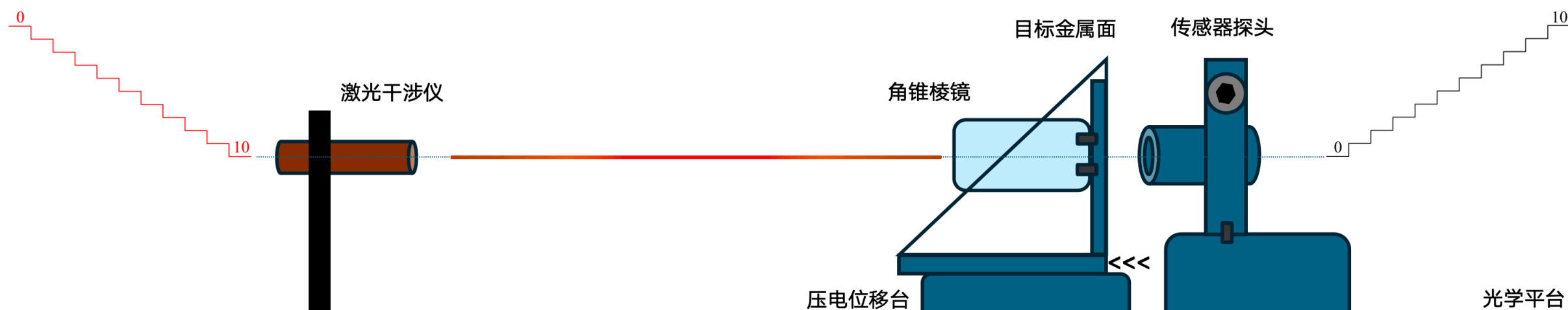


Figure 2. 线性度误差实测数据。在探头全量程范围内均匀选取 11 个测量点，线性度误差 $< \pm 0.005$ %FSO.

• 线性度标定



➔ 电容式位置传感，4.3 实测数据 – 位置监测的高动态响应 & 实时频谱分析

用于超高精度的位置监视场景，高速 & 高精度数据采集，软件支持实时频谱分析

- 50 kSa/s 高速、高精度数据采集 – 时域数据，实测数据源自单脉冲式敲击引发的平面振动，监视运动全程无死角

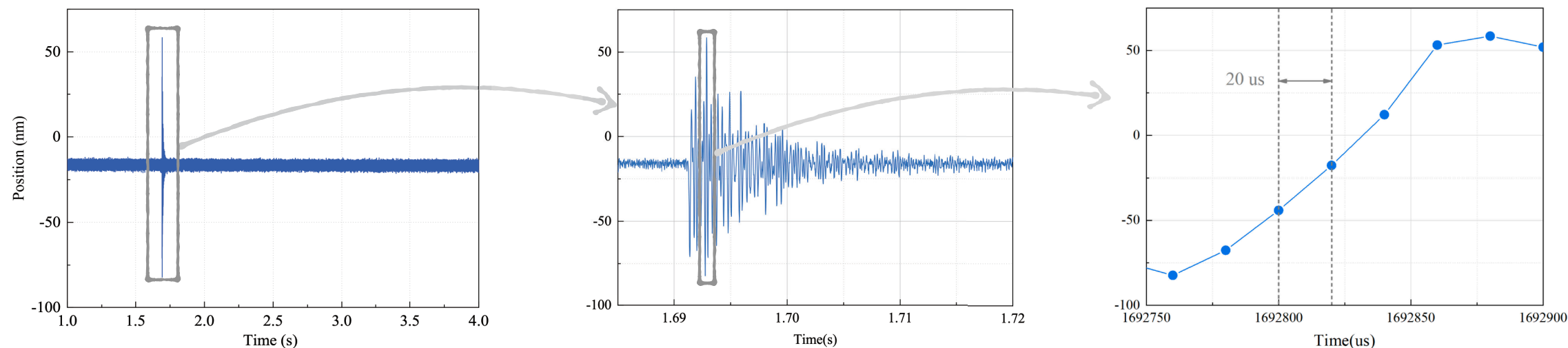
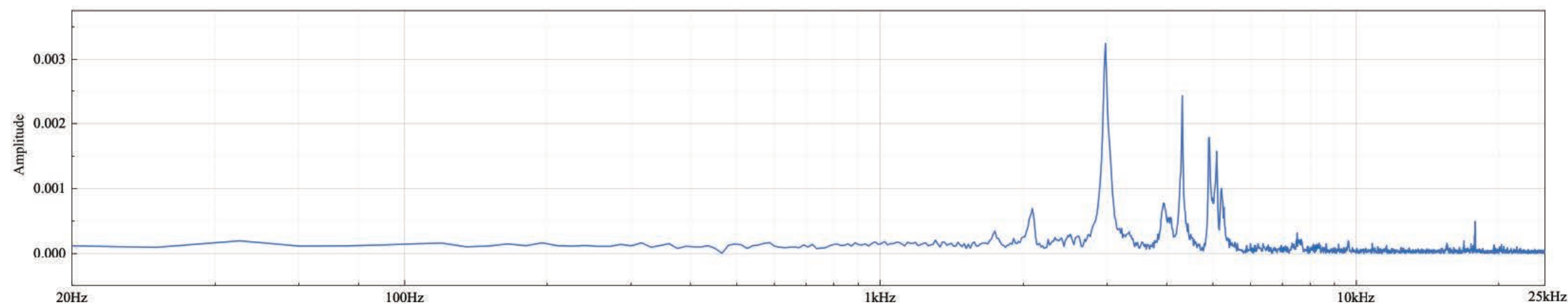


Figure 1. 动态响应实测数据。通过时间窗口的缩放，直观展示了 20 μ s/point 的数据采集能力。

- 运动频谱分析，可通过直观的频谱图界面，清晰地看到当前时刻不同频率成分的功率等信息，以便及时做出决策和调整



➔ 电容式位置传感，4.4 实测数据 – 高速实时通讯，用于闭环运动控制

提供 SPI 通讯接口，能与用户主机实现高速通讯，数据交互实时、稳定

● 高速实时通讯实例 – 纳米级高精度运动的高速闭环控制

➔ 不同使用场景下的传感器核心功能要求

	高精度位置信号 (亚纳米级精度)	高速采集 (50 kSa/s)	实时通讯	
位置监测	必须	必须	非必须	亚纳米级·位置监测
运动闭环控制	必须	必须	必须	亚纳米级·运动控制

➔ 运动闭环控制，50 kSa/s 高速实时通讯

为充分展示 Faraday 系列位置传感器在闭环运动控制中的卓越性能，我们搭建了速度达 200 mm/s 且具备纳米级精度的运动系统，并选用 C0.2-FLT 传感器搭配 Faraday.03 监视器进行位置数据读取。

运动闭环控制策略如图 2 所示。系统可在 5.3 ms 内实现启动、加速、匀速、减速和停止五个运动过程，并完成 1 μm 的平滑跃升，且无过冲现象。Faraday.03 每 20 μs 进行一次位置更新，为 PID 动态控制提供了关键支持。

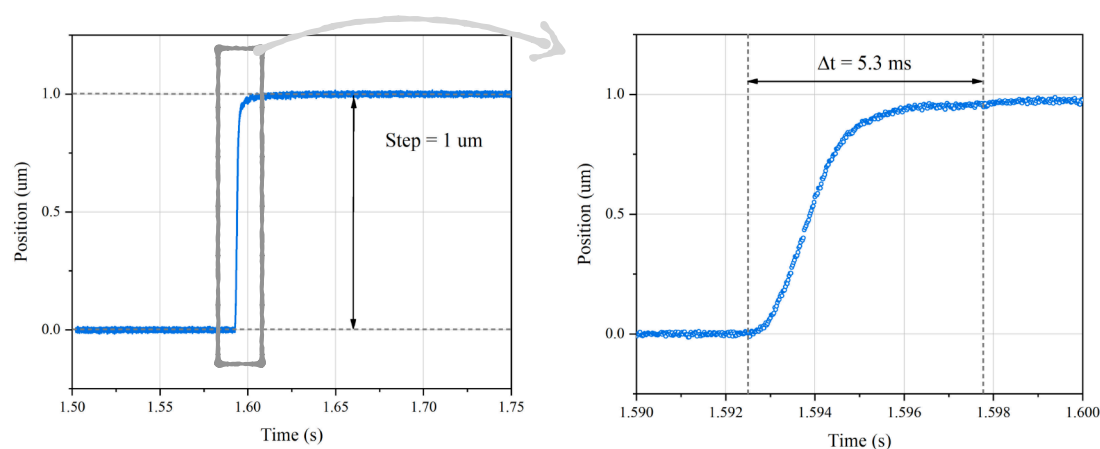


Figure 1. 在 PID 闭环控制的阶跃运动中，读取位置随时间变化。起始位置为 0，目标位置 1 μm ，闭环控制达到平衡的时间为 5.3 ms



Figure 2. 运动闭环控制流程

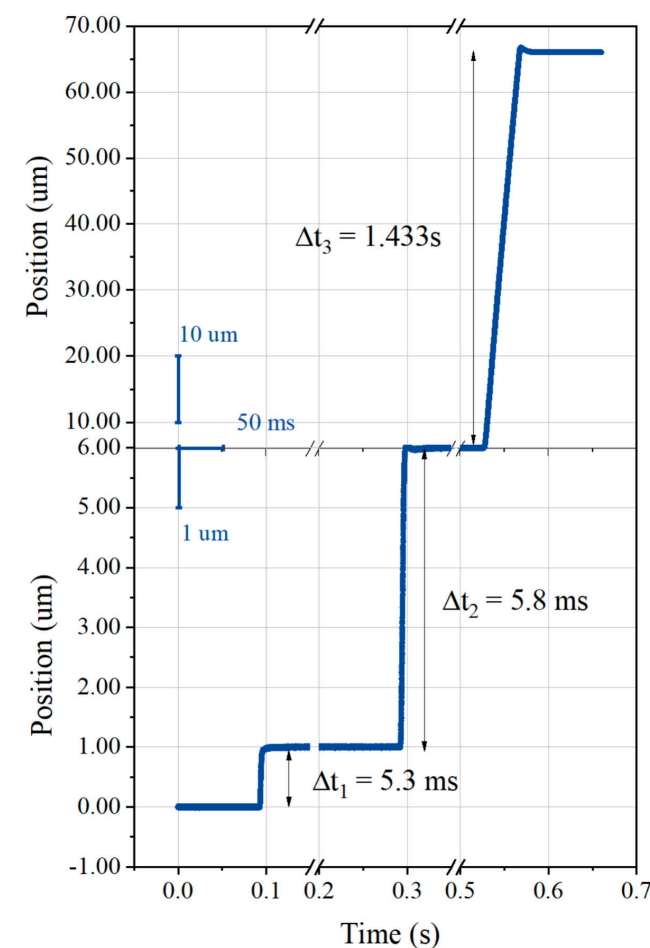
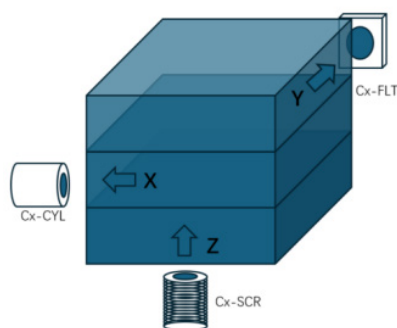


Figure 3. PID 闭环控制下的连续阶跃运动实测曲线

➔ 电容式位置传感，5 应用示例

● 运动控制

- ➔ **灵活带宽选择：** 10 kHz / 1 kHz / 20 Hz 模拟带宽可调；
- 高速数据采集：** 数据采集速率 50 kSample/s (20 μ s)，实时动态数据一手掌握；
- 实时通讯能力：** 支持 SPI 从机模式，能与用户主机实现高速通讯，数据交互实时、稳定；
- 多种数字处理算法：** 极大提升数据信噪比，面对复杂工况依然游刃有余。



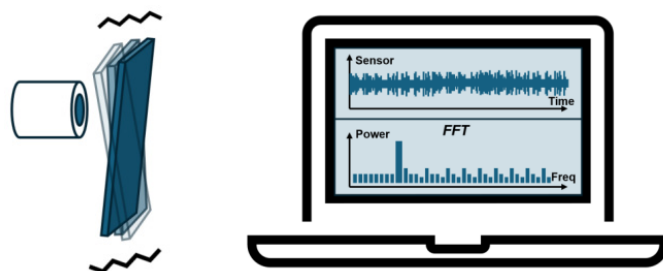
● 位移/距离/位置监测

- ➔ **高速通讯能力：** 包含千兆网口，以 50 kSample/s 的数据速率稳定传输；能同时处理多路数据，最高支持8通道并行数据传输，满足复杂应用需求；
- 温度稳定性：** 监视器电路温度稳定性为 20 ppm/°C，低温漂性能极大提升了位置读数的可靠性与一致性。



● 振动分析

- ➔ **灵活带宽选择：** 10 kHz / 1 kHz / 20 Hz 模拟带宽可调；数字带宽最高 25 kHz；
- 实时频谱分析：** 用户可以通过直观的频谱图界面，清晰地看到当前时刻不同频率成分的功率等信息，以便及时做出决策和调整。



● 导体厚度测量

- ➔ **测量原理：** 在被测导体两侧相对安装两只传感器（Sensor A 和 Sensor B），其端面之间的距离 D 固定。厚度的计算公式为 $\text{Thickness} = D - (d_A + d_B)$ ，其中 d_A 和 d_B 分别为两只传感器所测到的金属表面距离的精确读数。

非接触式测量： 确保被测表面不受损伤。

