

电容式位置传感 · *Faraday* 系列

亚纳米级位置分辨率

高速数据采集

高速通讯的位置传感方案

MultiFields Technologies Co., Ltd.

5th Floor, 2# Building
Industry Park of Nonferrous Metal Research Institute
Huairou Science City
Huairou District, Beijing, China

www.multifields.com
Sudan@multifields.com
+86 13051563907

MFPCDSF.2600622a

多场低温科技（北京）有限公司

北京市
怀柔区科学城
有色金属研究院园区2号楼5层

www.multifields.com
Sudan@multifields.com
+86 13051563907



目录	页码
1	系统简介

	Faraday 系列电容式位置传感系统
	(1) 传感器, (2) 位置监视器, (3) 数据通讯和软件平台

2	传感器探头

	传感器探头 - 产品矩阵
	量程覆盖 0.2 mm, 0.5 mm, 1mm, 2mm & 3mm

3	位置监视器

3.1	型号说明

3.2	技术参数汇总

3.3	Faraday0N
	提供 Box03 和 Box08 两种机箱规格

3.4	Faraday.ECO
	紧凑型位置监视器, 单通道一体机

目录	页码
4	实测数据

4.1	分辨率 Resolution
	亚纳米级位置分辨率

4.2	线性度 Linearity
	全量程线性度误差小于 $\pm 0.01\%$ FSO

4.3	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

4.4	高速实时通讯, 用于闭环运动控制
	提供 SPI 通讯接口, 可与用户主机实现高速、稳定的实时数据交互

5	应用示例

电容式位置传感

电容式位置传感

➔ 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

2.1 位置监视器-专业型

高精度，通道数自定义

型号说明：

1. Faraday03 - 最多扩展至 3 测试通道
2. Faraday08 - 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，高速并行数据采集
2. 支持实时频谱分析
3. 提供动态链接库，支持用户二次开发

2.2 位置监视器-紧凑型

经济型，均衡选择

型号说明：

Faraday.ECO - 单通道一体机



1. 传感器探头

平板、圆柱和螺柱三种探头形式，量程 0.2 – 3 mm

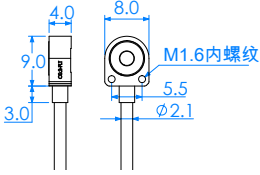
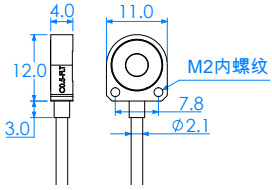
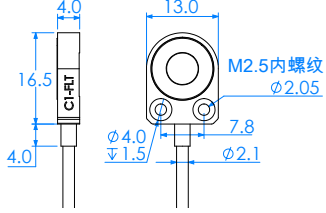
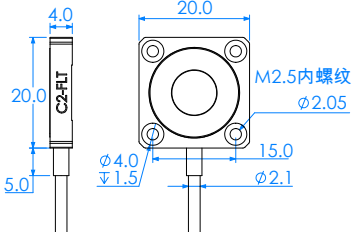
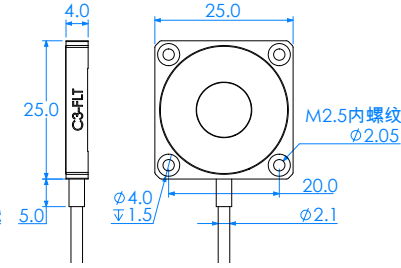
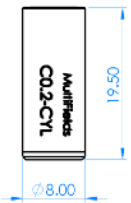
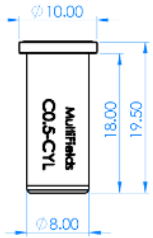
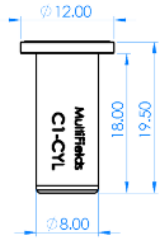
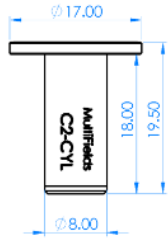
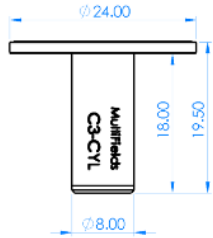
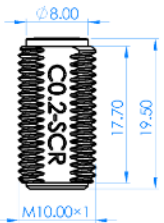
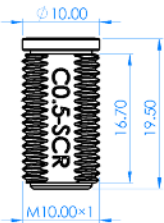
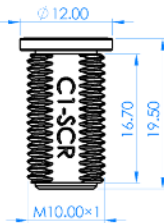
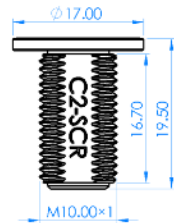
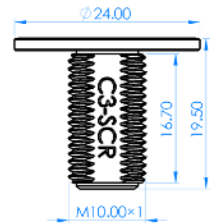
型号说明：

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

(其中，xx 代表传感器量程，单位为 mm)

➔ 电容式位置传感，2 传感器探头 - 产品矩阵

提供平板、圆柱、螺柱三种探头形式，量程覆盖 0.2 mm, 0.5 mm, 1mm, 2mm & 3mm，同时支持高真空.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	
电容式位置传感	平板型 - FLT	 C0.2-FLT	 C0.5-FLT	 C1-FLT	 C2-FLT	 C3-FLT	FLT 系列，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 版本
	圆柱型 - CYL	 C0.2-CYL	 C0.5-CYL	 C1-CYL	 C2-CYL	 C3-CYL	CYL 系列，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 版本
	螺柱型 - SCR	 C0.2-SCR	 C0.5-SCR	 C1-SCR	 C2-SCR	 C3-SCR	SCR 系列，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 版本

➔ 电容式位置传感 , 3.1 位置监视器 - 型号说明

1. 传感器探头	2. 位置监视器	
	2.1 专业型, Faraday0N (N, 通道数)	
	组件1, 信号处理板卡 (F-Board)	组件2, 主机 (Box03/08)
	一体式 信号处理板卡 (F-Board) 内置信号放大器 	3槽机箱 (Box03) 
	分体式 前置放大器 (CAmpF) 信号处理板卡 (F-Board.div)  + 	8槽机箱 (Box08) 
* 传感器探头适配于全系列 位置监视器	2.2 紧凑型, Faraday.ECO	
	 前面板后面板	

➔ 电容式位置传感 , 3.2 位置监视器 - 技术参数汇总

产品系列		I. 专业型		II. 紧凑型	
1	产品型号	Faraday0N (N, 通道数)		Faraday.ECOA	Faraday.ECO
2	整机结构	主机 + 一体式板卡 (板载信号放大器)	主机 + 分体式板卡 + 前置放大器	一体机 (不含数字接口)	一体机 (含数字接口)
	主机型号	Box03 (1~3 通道) / Box08 (1~8 通道)	Box03 (1~3 通道) / Box08 (1~8 通道)	N/A	N/A
	信号处理板卡型号	F-Board	F-Board.div	N/A	N/A
	前置放大器型号	N/A	CAmpF	N/A	N/A
3	探头线缆长度	Std. 2m; Max. 6m	Std. 2m; Max. 6m (探头 至 CAmpF)	Std. 2m; Max. 6 m	Std. 2m; Max. 6 m
4	长距离信号传输	不支持	Max. 30 m (CAmpF 至 F-Board.div)	不支持	不支持
5	模拟输出	0~10 V 默认, ± 5 V, ± 10 V 可调, 支持按需定制		0~10 V	0~10 V
6	数字接口	EtherNET & EtherCAT ; 高速SPI 接口 (可选)		无	USB串口, RS232, RS485
7	数据速率	50 kSa/s x 8 通道		N/A	10 kSa/s
8	触发功能	支持		N/A	支持
9	同步功能	支持		不支持	不支持
10	系统供电	220 VAC		24 VDC	24 VDC
11	性能参数	带宽	默认10 kHz, 1 kHz, 20 Hz 可调, 支持按需定制	固定带宽, 10 kHz /1 kHz /20 Hz 可选型	固定带宽, 10 kHz /1 kHz /20 Hz 可选型
		分辨率	0.002% FSO* @ 10 kHz; 0.0001% FSO @ 20 Hz.	0.015% FSO @ 10 kHz; 0.001% FSO @ 20 Hz.	0.015% FSO @ 10 kHz; 0.001% FSO @ 20 Hz.
		线性度误差	≤ ± 0.01% FSO	± 0.05% FSO (典型值)	± 0.025% FSO (典型值)
		灵敏度误差	≤ ± 0.05% FSO	≤ ± 0.2% FSO	≤ ± 0.1% FSO
		温度稳定性	20 ppm/°C	80 ppm/°C	100 ppm/°C

* FSO = Full Scale Output 满量程输出

➔ 电容式位置传感，3.3 位置监视器 - Faraday0N

Faraday 系列专业型位置监视器，提供 Box03 和 Box08 两种机箱规格

产品特色：

- **亚纳米级位置分辨：**兼具高分辨率与高线性度
- **灵活带宽选择：**10 kHz, 1 kHz, 20 Hz 带宽可调，支持按需定制
- **高速数据采集：**包含千兆网口，以 50 kSa/s 的数据速率稳定传输；可同时处理多路数据，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，可与用户主机实现高速、稳定的实时数据交互
- **实时频谱分析：**通过直观的频谱图界面，可清晰呈现当前时刻不同频率成分的功率信息，助力及时决策与调整
- **灵活定制服务：**探头及板卡均支持 OEM 定制

模块组成：

Faraday0N 专业型位置监视器由主机 (Box03/08) 和板卡 (F-Board)组成，高级扩展功能可选配。

- **主机 (Box03/08)**
 - 机箱框架：Box03 最大可扩展至 3 测量通道，Box08 最大可扩展至 8 测量通道
 - 供电模块：220 VAC
 - 数字模块：EtherNET & EtherCAT
 - 激励模块：支持多台监视器主机间的同步功能
- **信号处理板卡 (F-Board) x N**
 - 每个板卡对应一个独立的测量通道，分为两种类型：
 - F-Board (一体式)：内置信号放大器
 - F-Board.div (分体式)：配合前置放大器 (CAmpF)，可将信号传输距离延长至 30 米
- **定制功能：**
 - 带宽：默认10 kHz, 1 kHz, 20 Hz 可调，支持按需定制
 - 输出电压范围：0-10 V 默认，± 5 V, ± 10 V 可调，支持按需定制
 - 量程扩展：x 1 默认，0.3-3 倍可定制
- **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. Faraday03，支持 3 通道同时测量



Figure 2. Faraday08，支持 8 通道同时测量



Figure 3. CAmpF，前置放大器

➔ 电容式位置传感，3.3 位置监视器 - Faraday0N

下表所列技术参数均由 Faraday0N 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	默认10 kHz, 1 kHz, 20 Hz 可调，支持按需定制					
10	线性度	≤ ± 0.01% FSO*					
11	灵敏度偏差	≤ ± 0.05% FSO					
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： 0~10 V 默认， ± 5 V, ± 10 V 可调，支持按需定制				
		数字	EtherNET & EtherCAT；高速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 (default)						Bandwidth	9	
≤ ± 0.01% FSO						Linearity	10	
≤ ± 0.05% FSO						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 connector: 0~10V (default) ± 5V, ± 10V (available)						analog	Output interface	16
Ethernet, EtherCAT; 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，3.4 位置监视器 - Faraday.ECO

Faraday 系列紧凑型位置监视器，单通道一体机

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	± 0.05 μm	± 0.125 μm	± 0.25 μm	± 0.5 μm	± 0.75 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	30 nm	75 nm	150 nm	300 nm	450 nm
		静态	2 nm	5 nm	10 nm	20 nm	30 nm

位置监视器性能参数

9	带宽	固定带宽，10 kHz /1 kHz /20 Hz 可选型		
10	线性度	± 0.025% FSO*		
11	灵敏度偏差	≤ ± 0.1% FSO		
12	分辨率	动态	0.015% FSO @ 10 kHz	
		静态	0.001% FSO @20 Hz	
13	温度稳定性	100 ppm/°C		
14	同步操作	不支持		
15	输出接口*	模拟	0~10 V	
		数字	USB串口，RS232， RS485	
16	数据速率	10 kSa/s		
17	触发模式	TTL (3.3V)		
18	供电	24 VDC		

* FSO = Full Scale Output 满量程输出

* 可选型Faraday.ECOA，不含数字接口

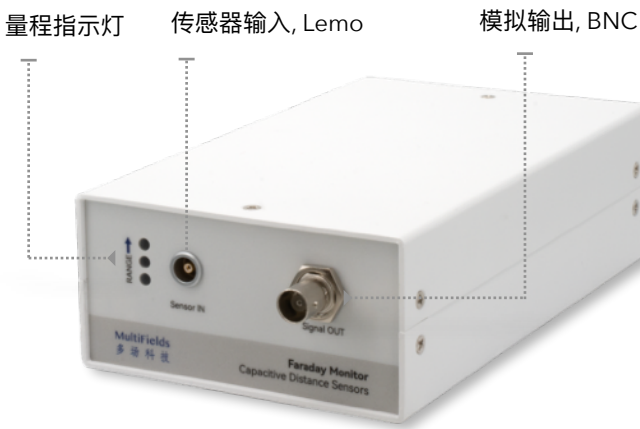


Figure 1. Faraday.ECO，前面板

一体机

170 * 102 * 50 mm

单通道独立工作

紧凑型，小尺寸

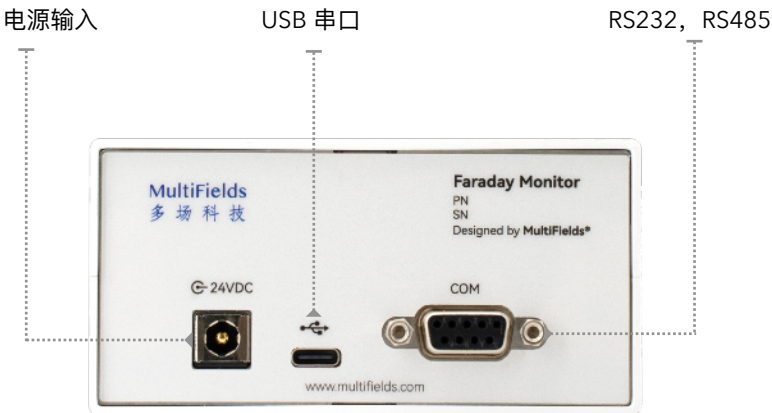


Figure 2. Faraday.ECO，后面板

丰富数字接口（另可提供纯模拟输出选型）

➔ 电容式位置传感，4.1 实测数据 - 分辨率 Resolution

亚纳米级位置分辨率

- 分辨率, RMS Noise = 0.32 nm

C0.2-FLT 传感器探头搭配 Faraday03 位置监视器实测数据, 运动步长 1 nm.

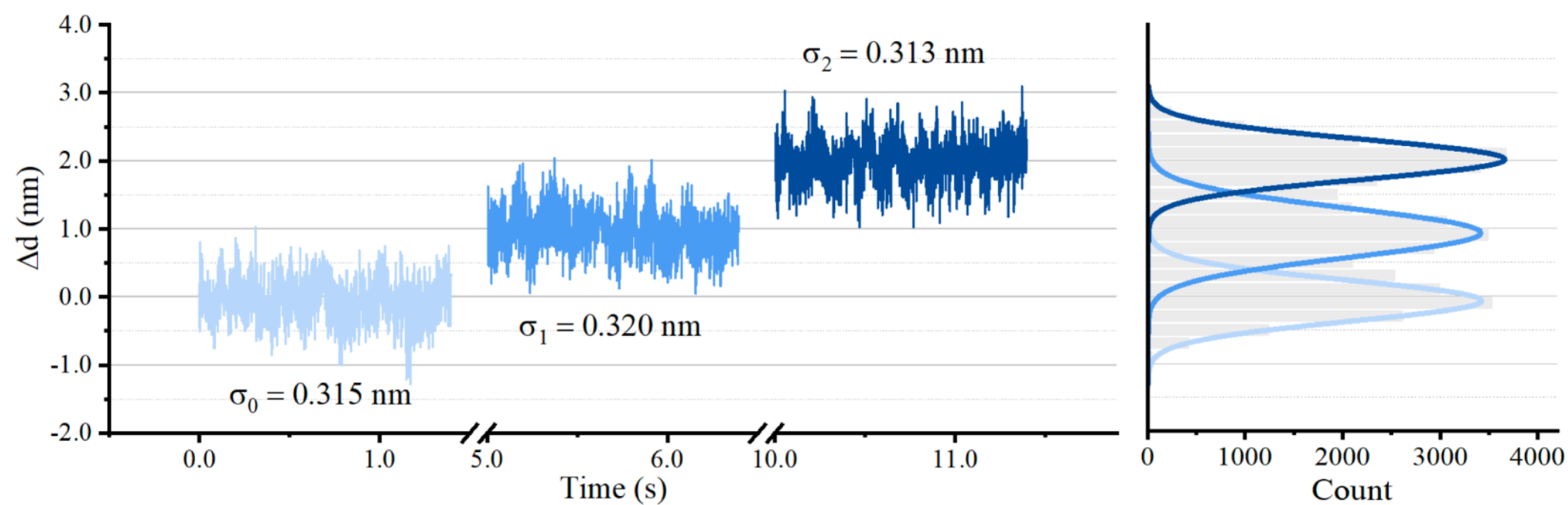


Figure 1. C0.2-FLT 传感器探头亚纳米位置分辨率实测。高速采样下的 RMS noise 分析。

→ 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 $\pm 0.01\%$ FSO (激光干涉仪校准)

• 线性度定义

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

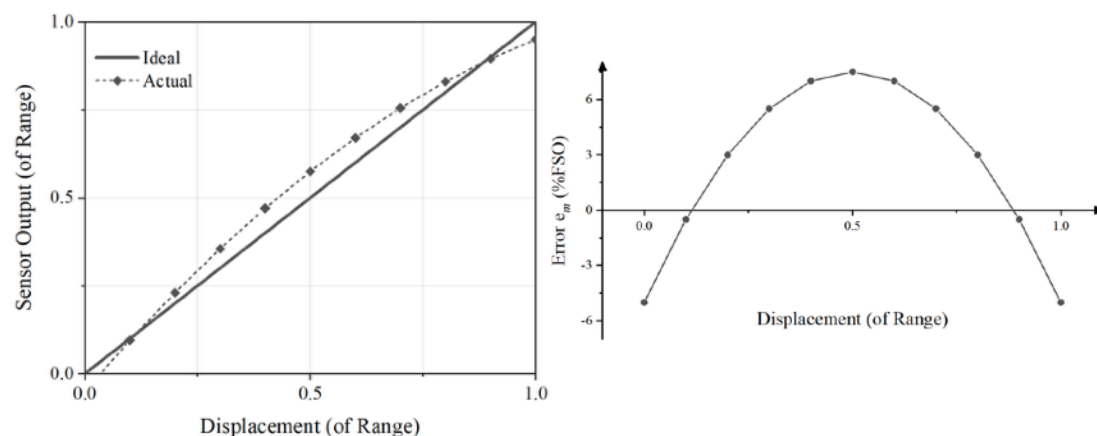


Figure 1. 线性度定义图示说明。实测曲线与理想直线之间的最大偏差值，即所有数据点中偏离理想直线最远的点的误差量。

• 线性度误差实测

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

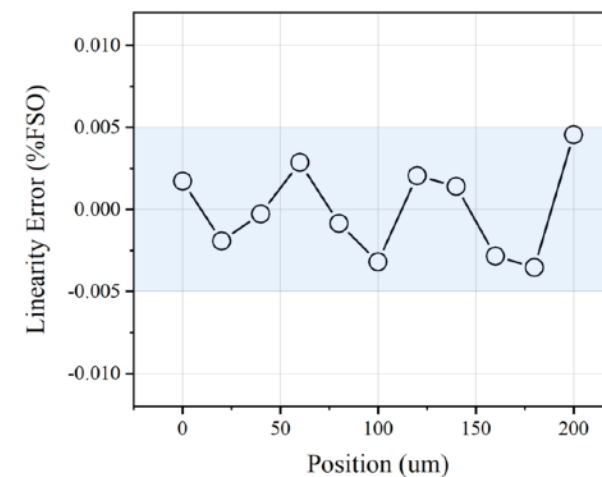
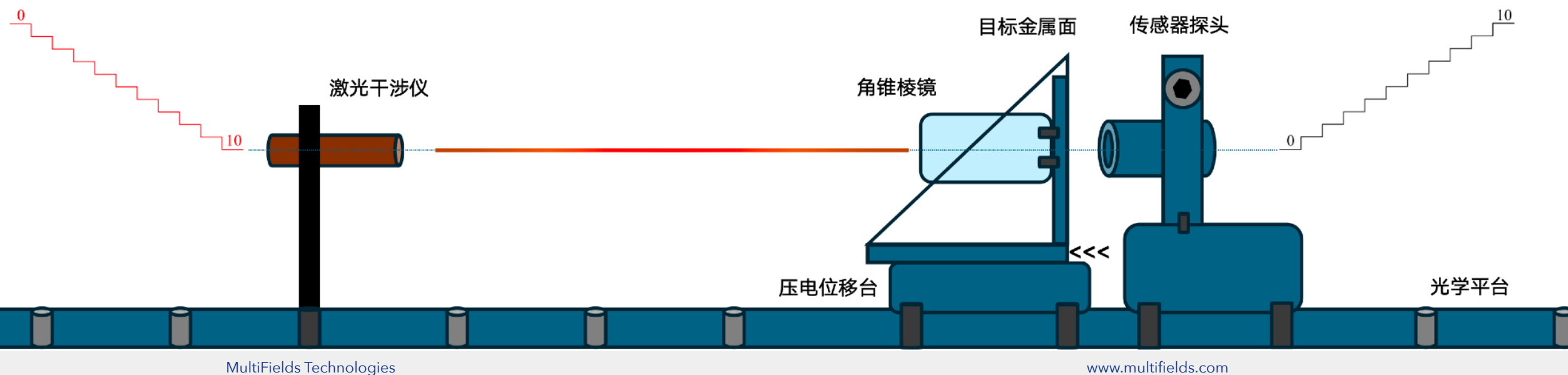


Figure 2. 线性度误差实测数据。在探头全量程范围内均匀选取 11 个测量点，线性度误差 $< \pm 0.005\%$ FSO.

• 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

- 时域数据 - 50 kSa/s 高速、高精度数据采集，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

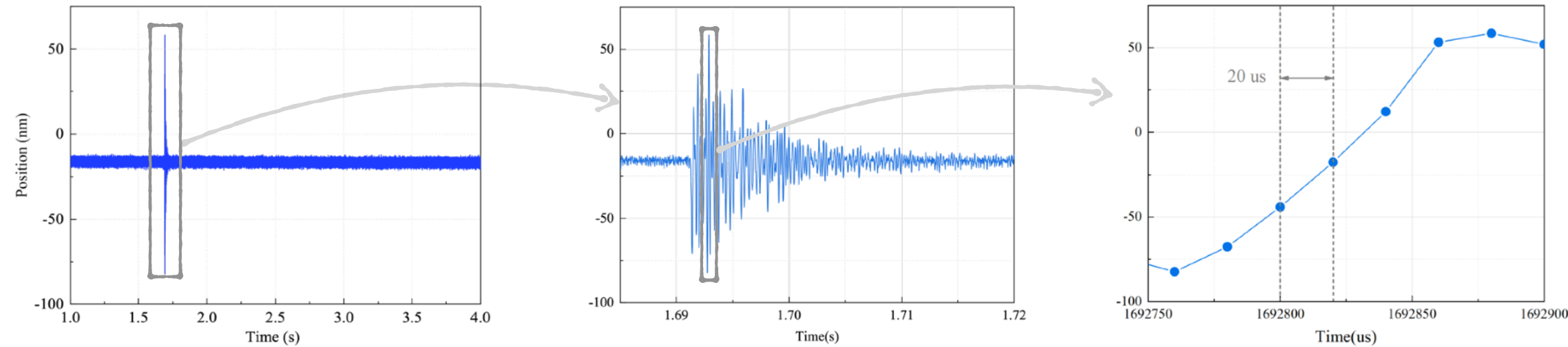
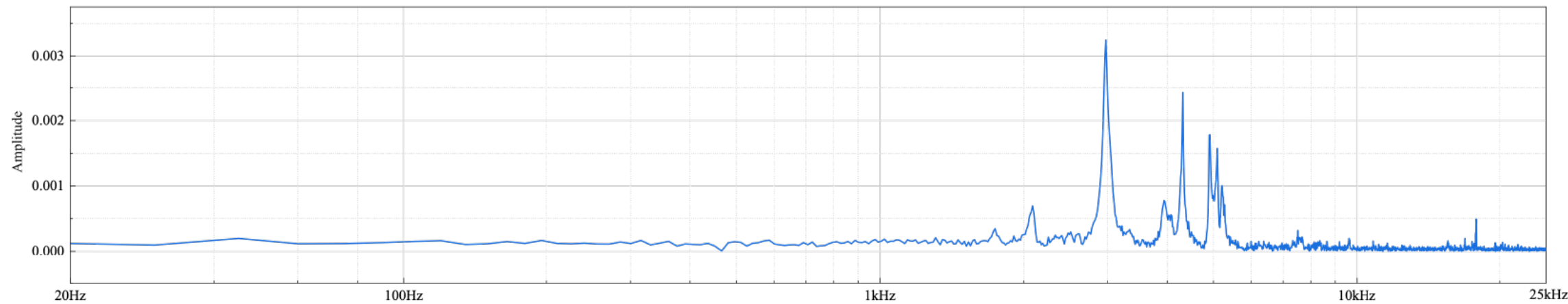


Figure 1. 动态响应实测数据。通过时间窗口的缩放，直观展示了 20 μ s/point 的数据采集能力。

- 运动频谱分析，通过直观的频谱图界面，可清晰呈现当前时刻不同频率成分的功率信息，助力及时决策与调整



➔ 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，可与用户主机实现高速、稳定的实时数据交互

● 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 Faraday03 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 的平滑阶跃，且无过冲现象。Faraday03 每 20 μs 进行一次位置更新，为 PID 动态控制提供了关键支持。

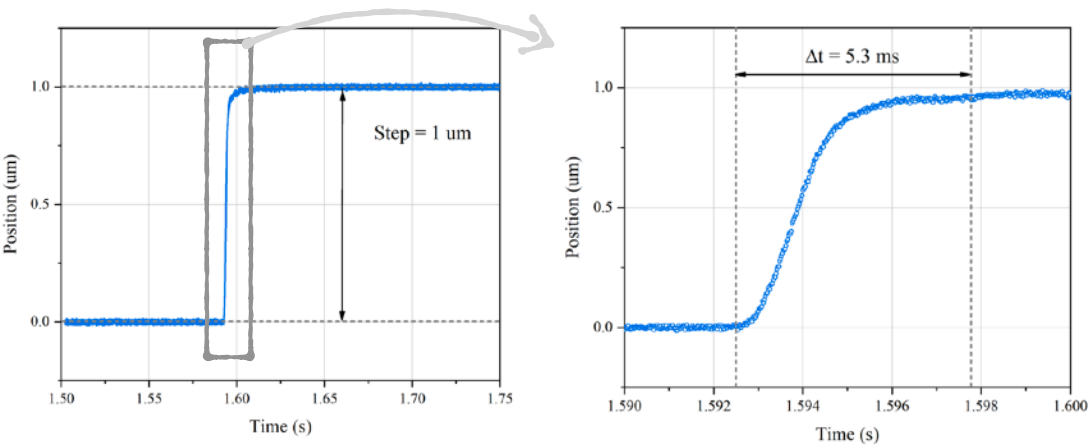


Figure 1. 在 PID 闭环控制的阶跃运动中，读取位置随时间变化。起始位置为 0，目标位置 1 μm ，闭环控制达到平衡的时间为 5.3 ms



Figure 2. 运动闭环控制流程

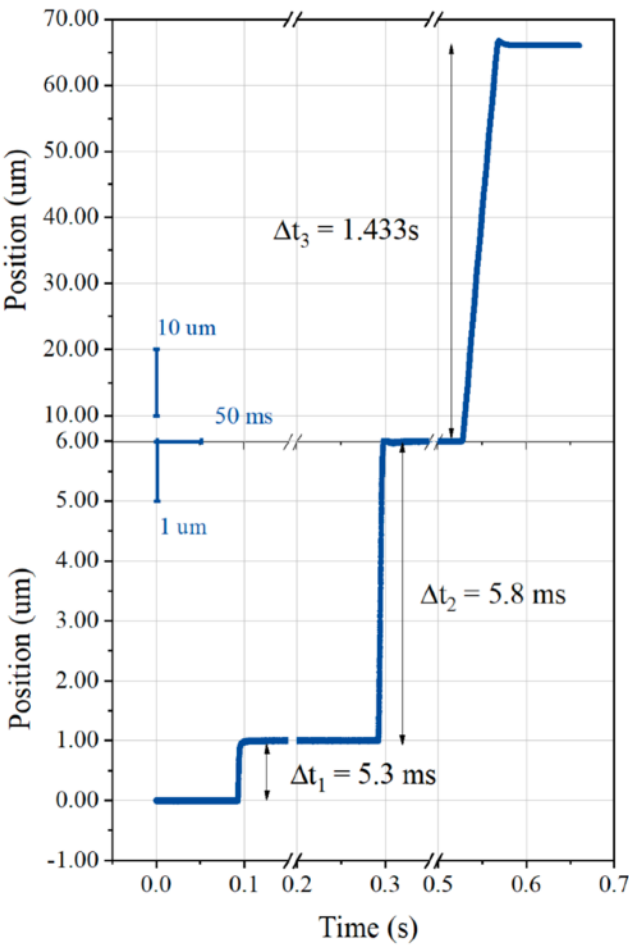
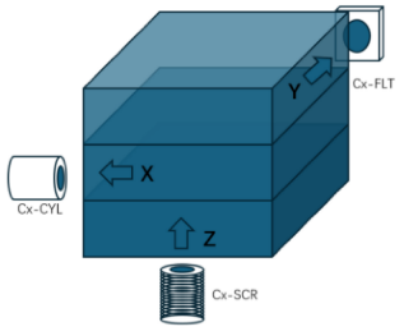


Figure 3. PID 闭环控制下的连续阶跃运动实测曲线

➔ 电容式位置传感，5 应用示例

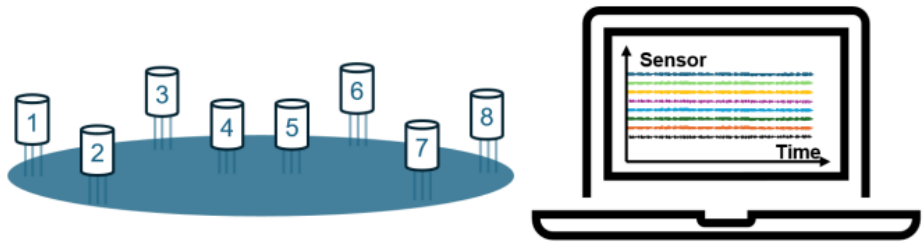
● 运动控制

- ➔ **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 μs), 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。



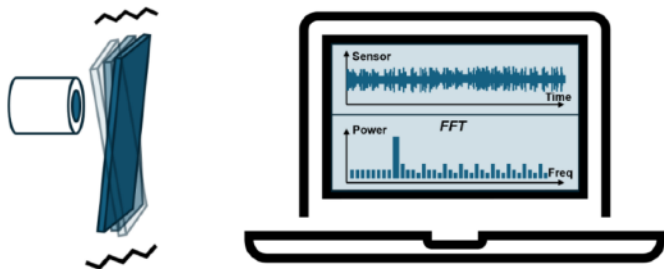
● 位移/距离/位置监测

- ➔ **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。

