

# 静态和动态信号采集 确保测量精度

饶骞

2021.11.24

电源和通用测量仪器市场经理



# 从千差万别的物理信号到电信号

## 无处不在的传感器



### PHYSICAL PARAMETERS

TEMPERATURE

FLOW

PRESSURE

STRAIN

POSITION

SPEED

ACCELERATION

SENSOR

### ELECTRICAL SIGNALS

DC VOLTS

AC VOLTS

DC CURRENT

AC CURRENT

RESISTANCE

FREQUENCY

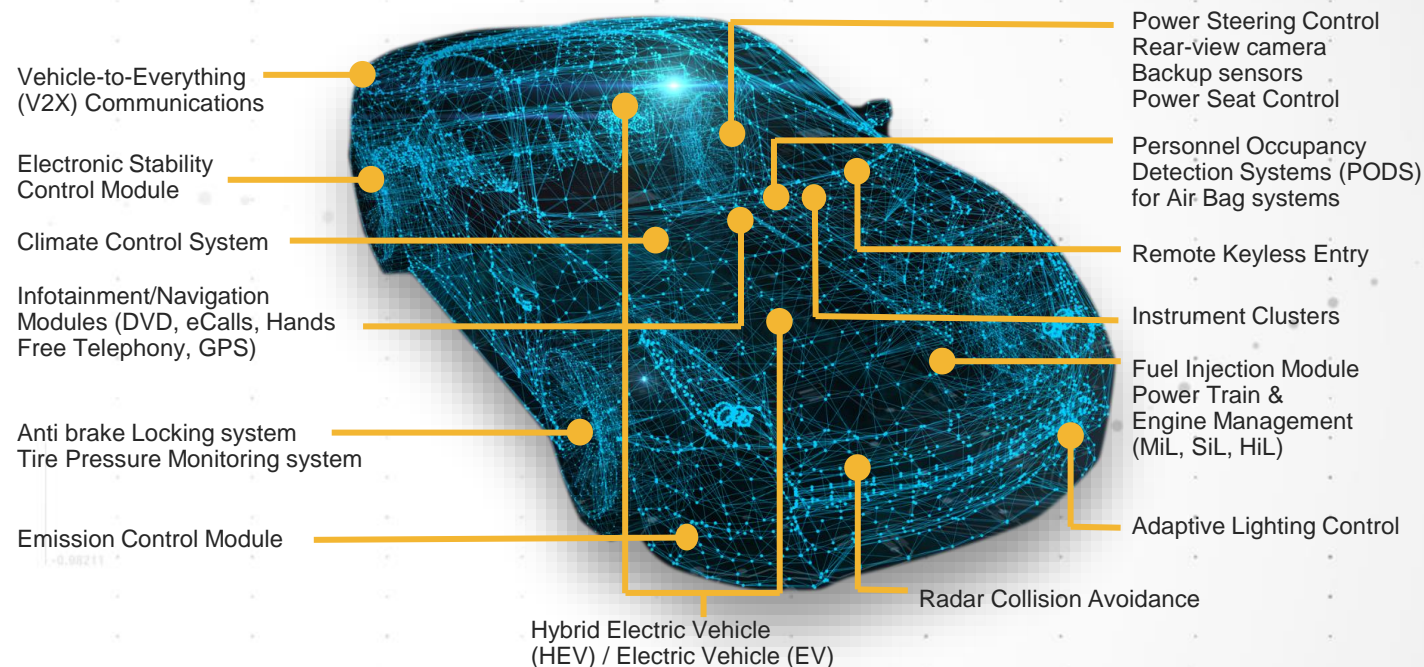
# 提纲

- 传感器的类型和输出信号的特征
- 测量仪表和精确的静态信号采集
- 动态信号的同步采集和混合信号数采
- BenchVue控制和分析软件
- 演示

# 快速成长的传感器应用和市场

## 不计其数的应用

- 极其多元化的应用
- 超高1000亿美元的年度销售额，两位数的复合增长率
- 融合了众多的技术种类，从基础型的传感器，到更为复杂的类型，包括超声、磁性技术、MEMS, 射频、激光等等
- 传感器应用领域包括粘度、倾斜度、振动、扭矩、应变量表、敲击、速度、运动、加速度、图像、气体、湿度、雨水、湿度、激光雷达等等



## 汽车工业的传感器应用

# 传感器的类型

## 主动式和被动式

### 主动式传感器:

- 主动传感器需要外部激励源

### 被动式传感器:

- 被动传感器产生自己的输出信号，无需任何外部电压或电流。

-0.80221

分类	物理信号	传感器类型
主动式	温度 张力 加速度 位置 流量	热敏电阻, RTD, 应变表 加速度计 超声/微波 热流量计
被动式	温度 力/压力 光	热电偶 压电的 光电二极管

1. Resistance Temperature Detector
2. Linear Voltage Differential Transformer

Source: BBC Research LLC, IAS006J Sensors: Technologies and Markets to 2023



# 传感器输出参数特性

直接关系到测试的准确性

Measurement	Typical transducer types	Typical transducer output
Temperature	Thermocouple	0 mV to 80 mV
	RTD	2-wire or 4-wire resistance from 5 $\Omega$ to 500 $\Omega$
	Thermistor	2-wire resistance from 10 $\Omega$ to 1 M $\Omega$
Pressure	Solid state	$\pm$ 10 Vdc
Flow	Rotary type	4 mA to 20 mA
	Thermal type	
Strain	Resistive elements	4-wire resistance from 10 $\Omega$ to 10 k $\Omega$
Events	Limit switches	0 V or 5 V Pulse train
	Optical counters	
	Rotary encoders	
Digital	System	TTL Levels

传感器信号的输出特性和指标:

- 范围/量程
- 线性度
- 2/4 线输出
- 准确性
- 重复性
- 响应时间

# 传感器的关键参数

## 灵敏度

- 传感器的灵敏度是变化的比率,

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{Electrical Output}}{\text{Physical Input}}$$

- 输入为某种形式的物理参数变化, 如流明 (光强度)、C/F 度 (温度)、PSI (压力) 等。
- 输出表示电压、电流、电阻或电容变化等电气输出。
- 输出斜率越高, 灵敏度越高。

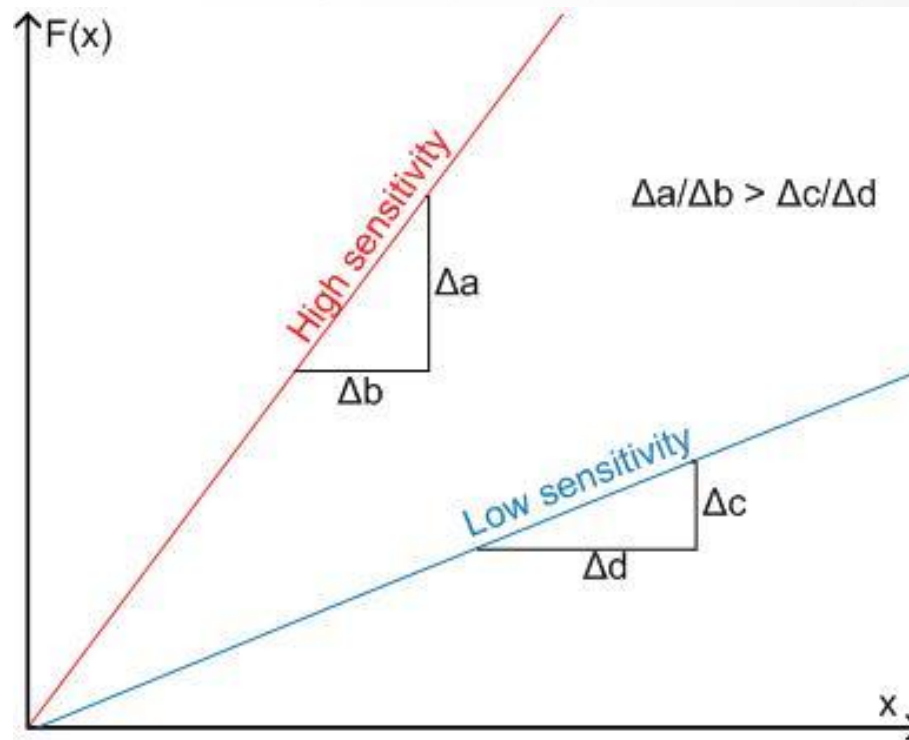
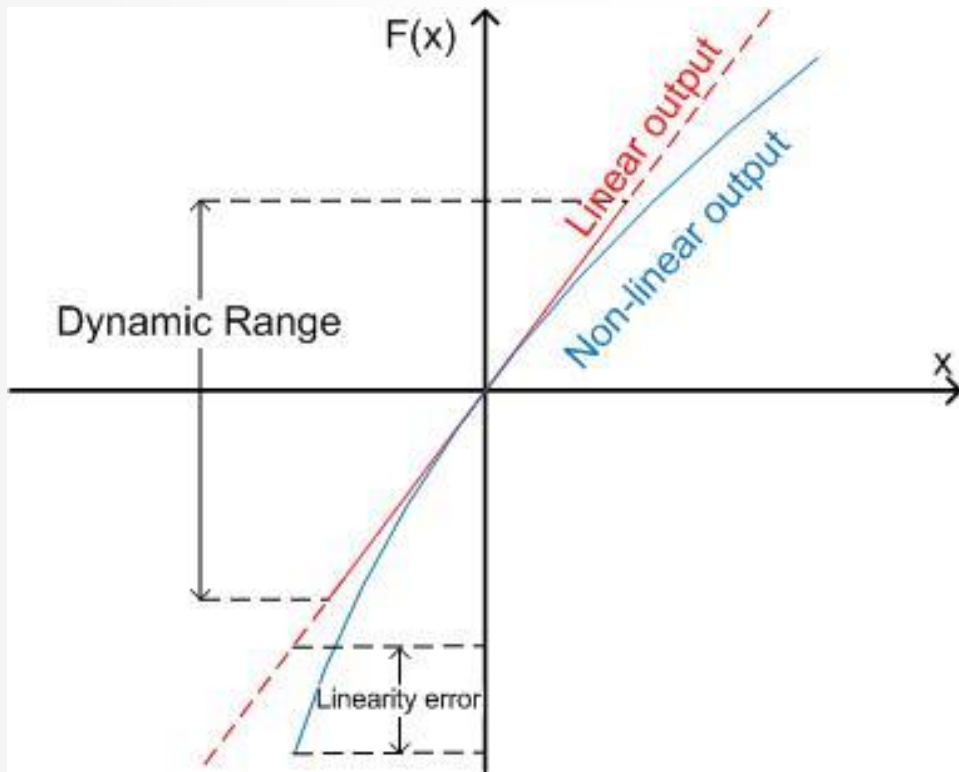


Figure. Sensitivity graph

# 传感器的关键指标

## 动态范围和线性度



传感器的动态范围和线性

- 动态范围是传感器可以测量的整个范围，它可以用分贝 (dB) 表示，例如音频麦克风传感器的 DR，

$$\text{Audio (dB)} = 20 \log \frac{\text{Largest measurable } V_{\text{rms}}}{\text{Smallest measurable } V_{\text{rms}}}$$

- 通常，传感器不会产生完美的线性输出。
- 线性度是传感器实际输出曲线与的理想直线只差
- 对于线性度好的传感器， 读数即可用  $mX + b$  直接得到读数
- 对于线性度差的， 需要用拟合的方法， 从仪表的内置参数表格中对照后读出



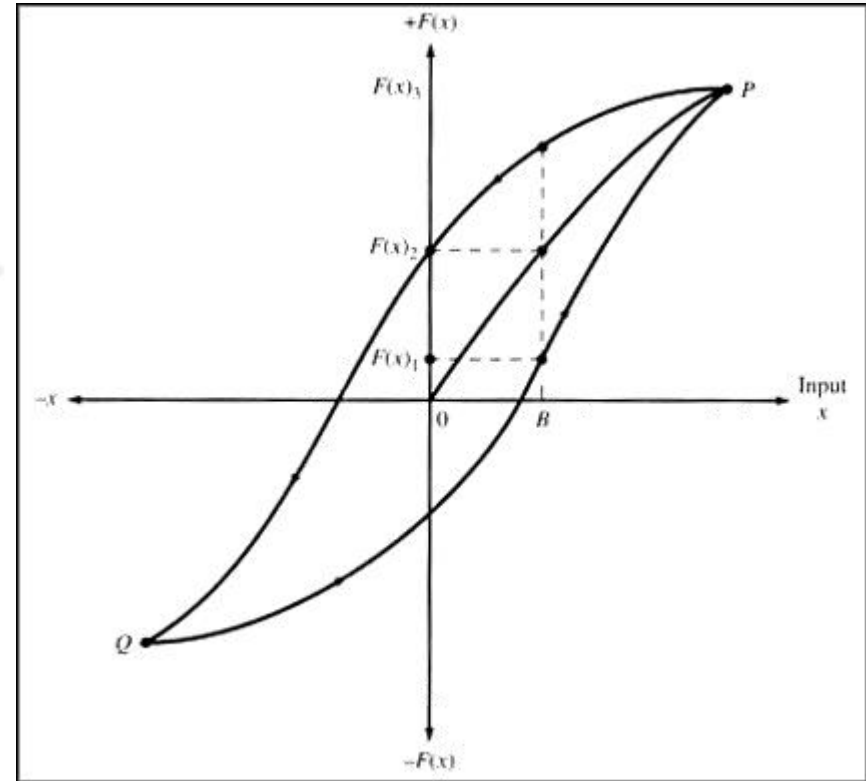
# 传感器的关键指标

## 迟滞效应和可重复性

- ❑ 某些传感器表现出迟滞效应
- ❑ 热电偶温度传感器是具有迟滞效应的传感器的示例
- ❑ 它会导致传感器测量的不可重复性
- ❑ 但是，不可重复性也可能是由于其他原因，如噪音或电磁干扰（EMI）

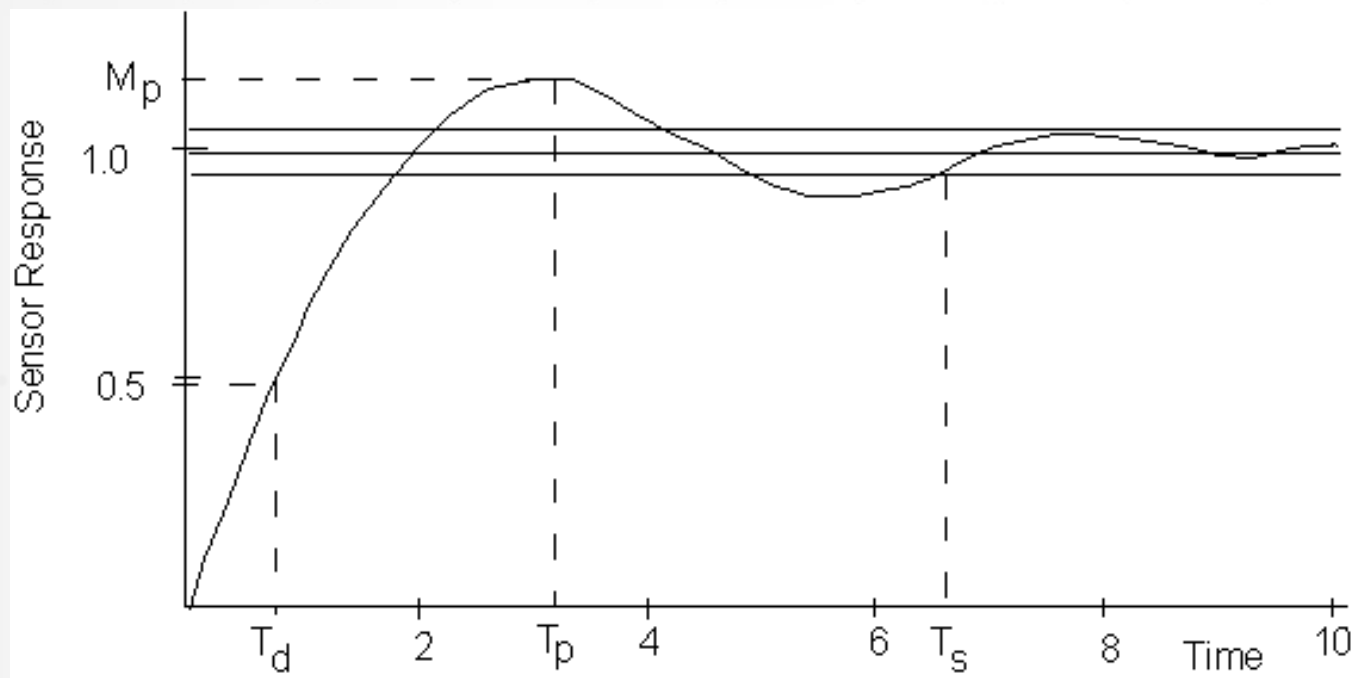
### 迟滞效应:

系统的一种属性，使得输出值不是相应输入的严格函数，而且还包含一些滞后、延迟或历史依赖性，特别是当输入变量中上升响应与下降响应不同时。 - 维基百科



# 传感器的关键指标

## 响应时间



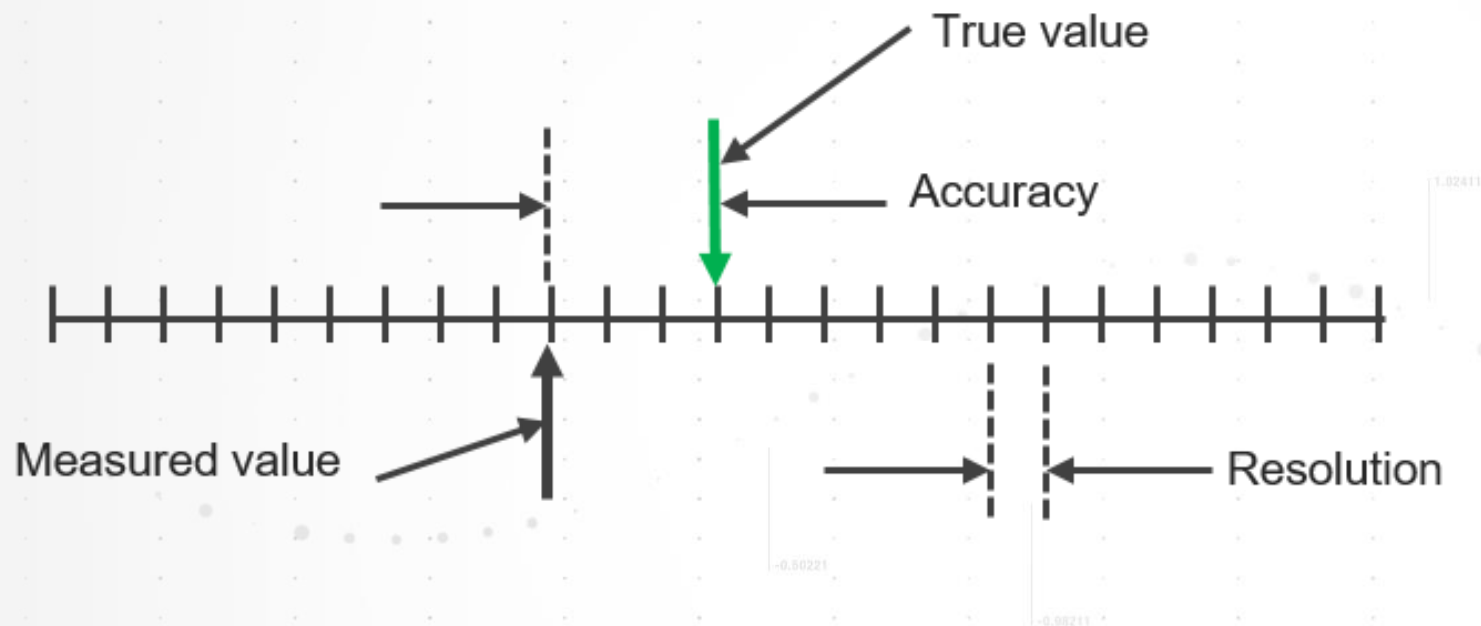
$T_d$  - 延迟时间：达到稳定状态 50% 的时间

$T_p$  - 峰值时间：第一次达到最大读数的时间

$T_s$  - 稳定状态时间：达到预期稳定状态值的时间。  
稳定状态误差：实际稳定状态值与预期值的偏差。

# 数字万用表和数据采集测量传感器信号

## 需要特别关注的几个问题



关键特性:

- 精度 (有多准)
- 分辨率 (有多细)
- 速度 (有多快)
- 量程 (有多宽)



# 真实的传感器信号输出

## 融合有多种干扰信号

工频干扰 (市电及谐波)

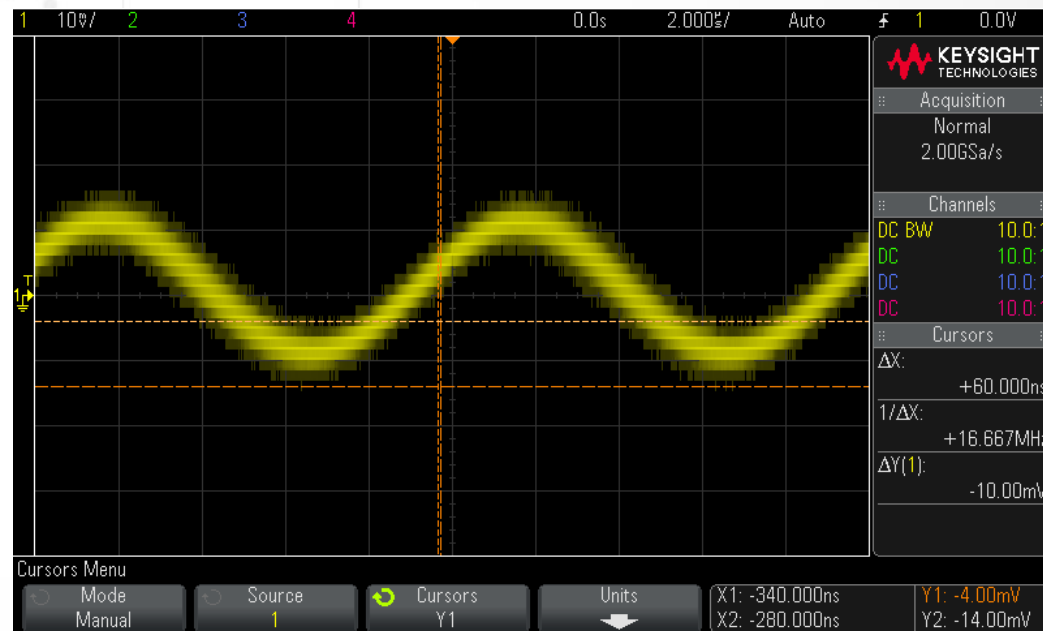
环境噪声 (电磁、静电干扰等)

仪表和连接线的影



Resultant noisy AC signal

干扰信号串入了测量信号  
导致精度下降



\*  $\Sigma$  - Sum of various extraneous signals on the actual signal

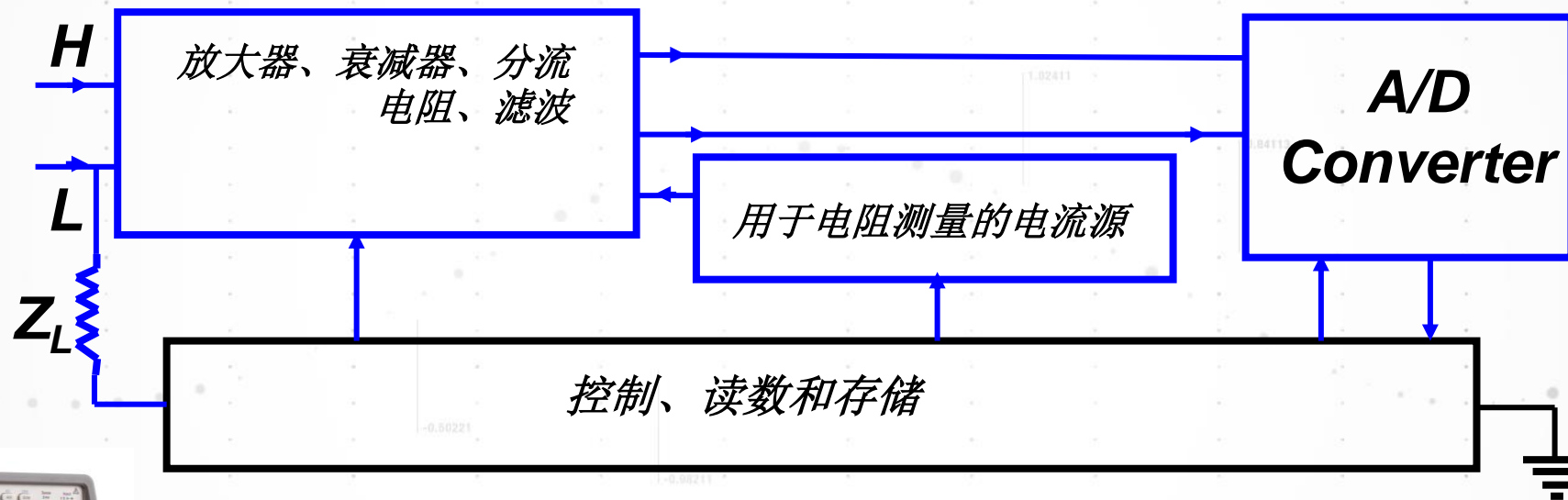
# 提纲



- 传感器的类型和输出信号的特征
- 测量仪表和精确的静态信号采集
- 动态信号的同步采集和混合信号数采
- BenchVue控制和分析软件
- 演示

# 数字万用表

电压、电流、电阻、温度等单路测量和采集



使用者能最大程度上减少额外的对复杂信号的放大或衰减





# 数据采集器的结构

提供多点的温度、压力、湿度、电压、电流、频率等参数的测量

数据分析  
报表生成

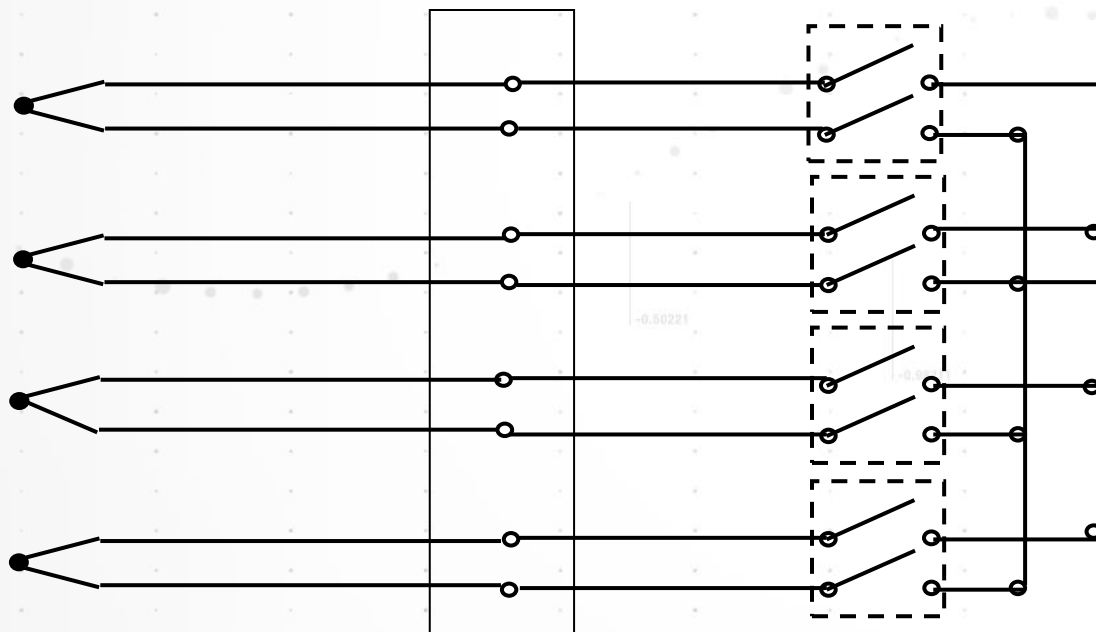
传感器

信号调理

多路开关

测量引擎

连接PC



DMM

SCAN  
MON  
VIEW

**28.32 C**

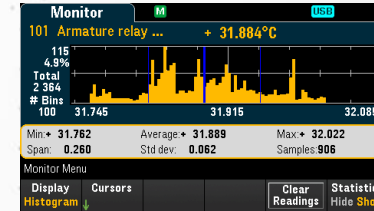
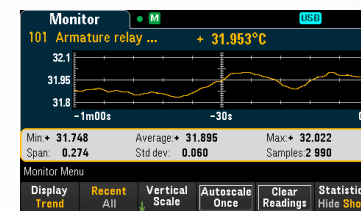
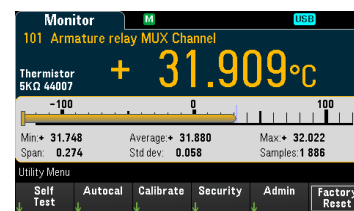
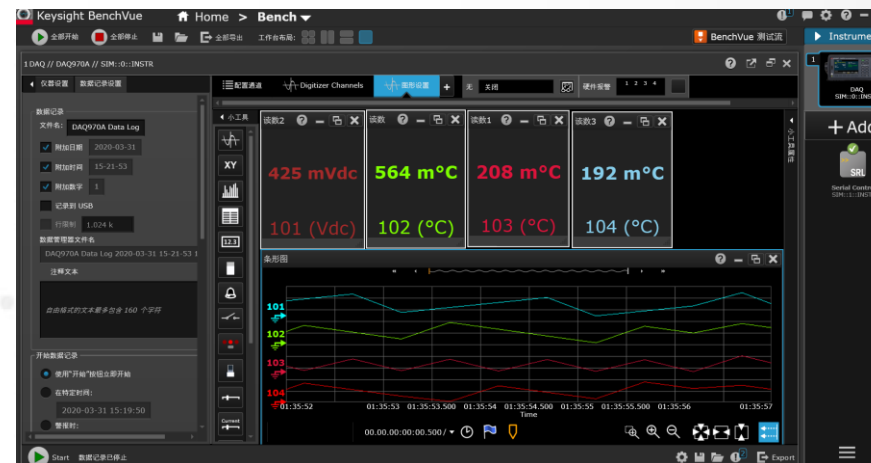


Identifying and  
Characterizing  
Thermal Points

# DAQ970A 数据采集系统

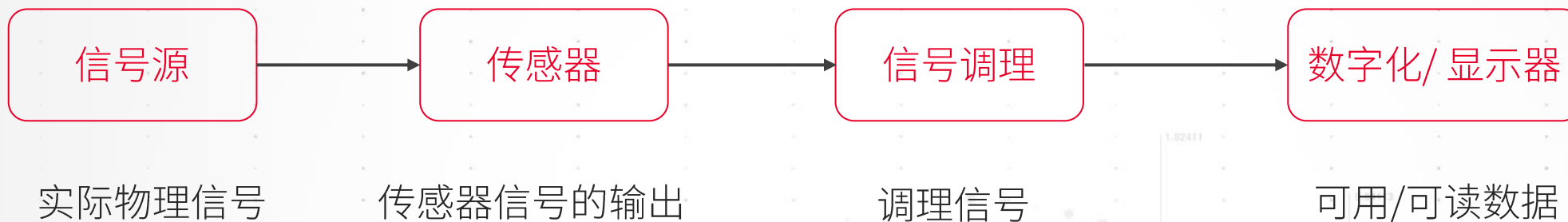
## 34970A / 34972A 性能的全面提升

- 10种可选择的模块
  - DAQM900A 高速固态多路复用器, 450 ch/s 的切换速度
  - DAQM909A 4路同步高速数字化仪模块, 800KSa/s
- 更强大的测试引擎:
  - 0.003% DC测量精度
  - 6位显示时, 读出速度 50K/s, 1M点存储深度
  - 1uA 的DCI电流量程, pA 级电流分辨率
- 直接测量 DCI/DCV, ACI/ACV, 温度、电容、电阻、应变、频率/周期
- BenchVue DAQ应用软件可用。无需编程即可轻松配置测量和测试自动化
- 更高的性能和灵活性, 同时保持与34970A / 72A的兼容性



# 为什么需要信号调理?

## 传感器的特性和局限性



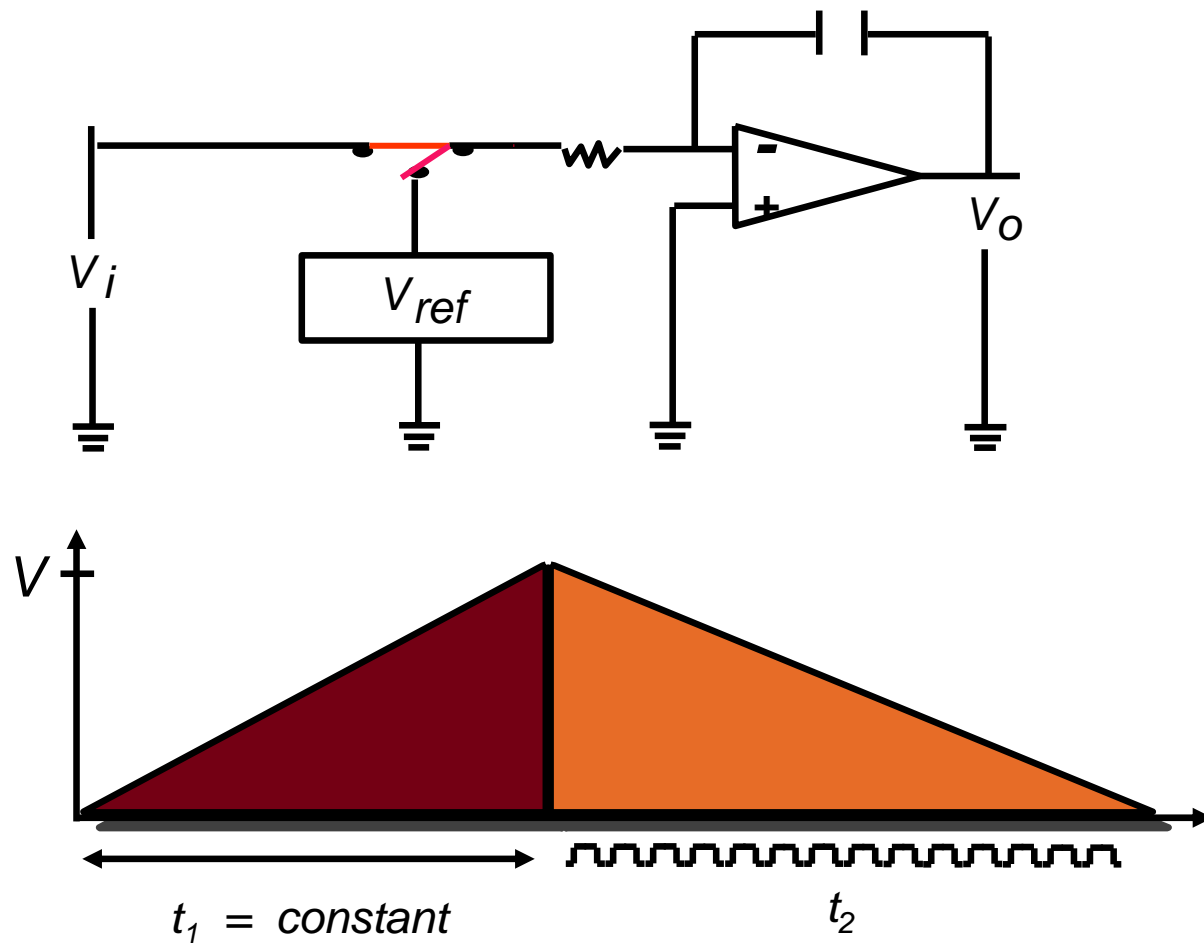
光强度  
温度  
压力  
流量  
速度  
距离

幅度小	→	放大
幅度高	→	衰减
噪声	→	滤波
混叠	→	滤波
非线性	→	硬件/软件 线性化

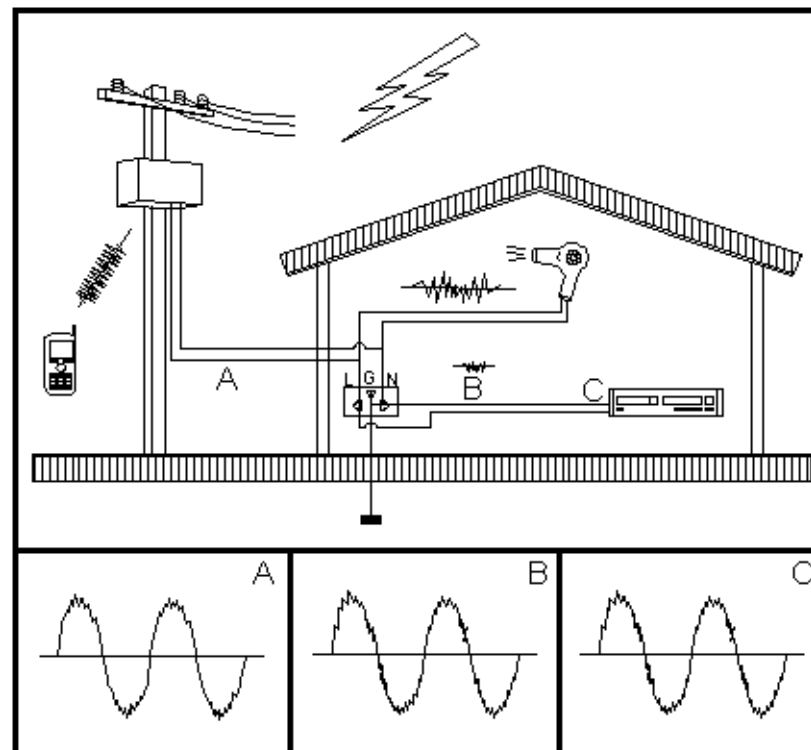


# 万用表和数据采集的高精度测量

对噪声信号的有效抑制

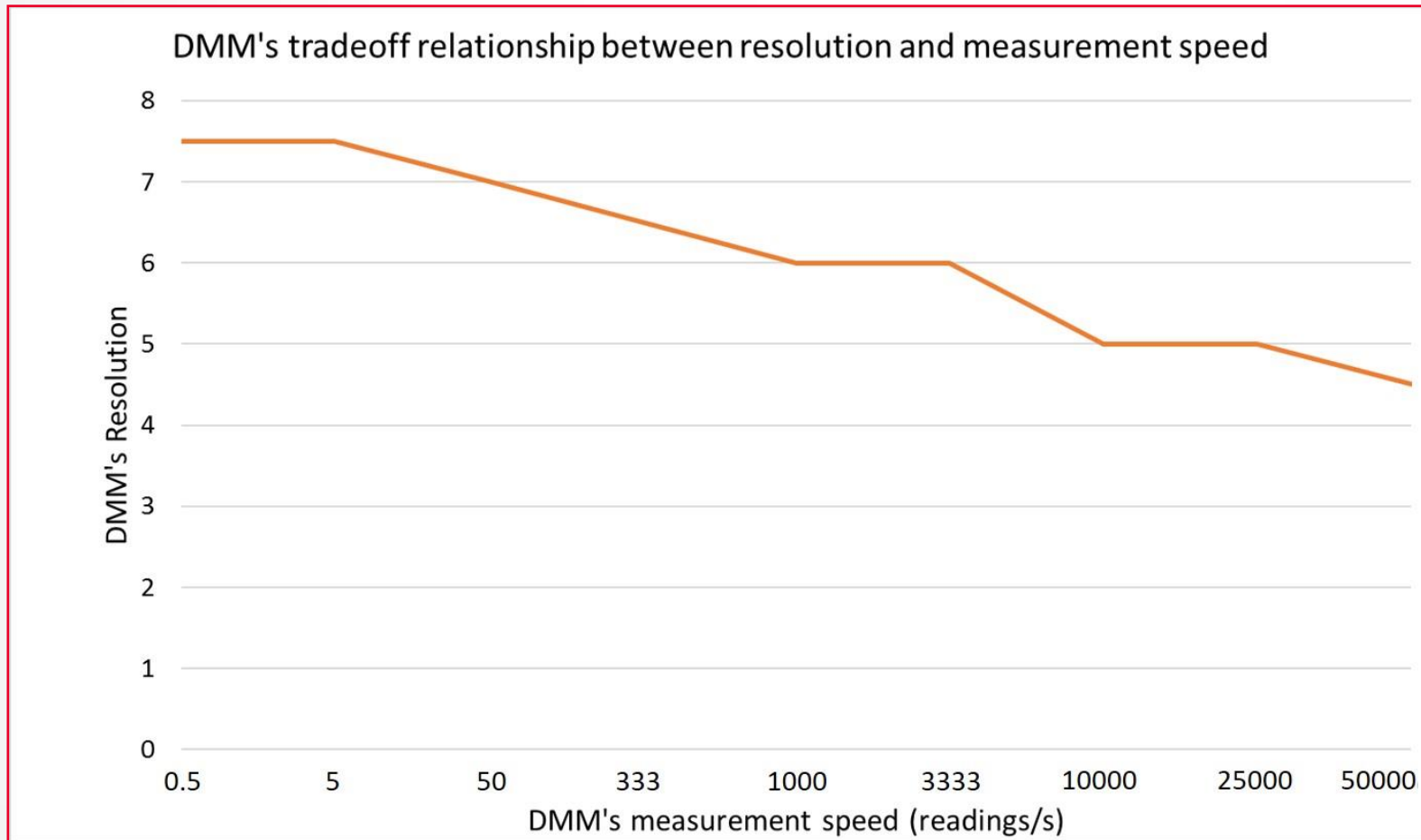


双斜式AD转换器



# 测量精度和速度

快速测量会降低测量精度和分辨率

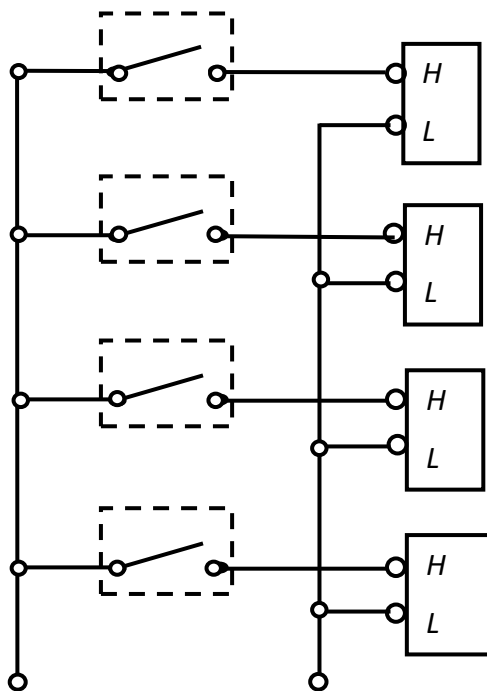


## Tradeoff

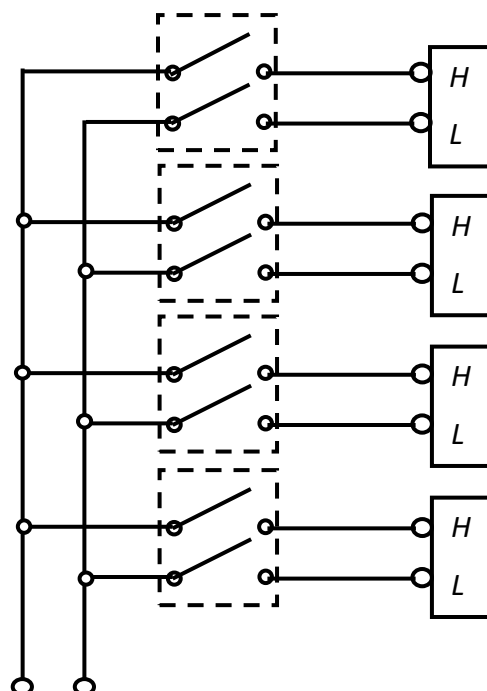
- ❑ 当您增加 DMM 的分辨率时，DMM 的测量速度会降低
- ❑ 并非所有 DMM 硬件的性能相同
- ❑ 以34465A和DAQ970A为例
  - ❑ 1000Sa/s @ 6位
  - ❑ 10000Sa/s @ 5位
  - ❑ 50000Sa/s @ 4 ½ 位

# 数据采集的多路扫描

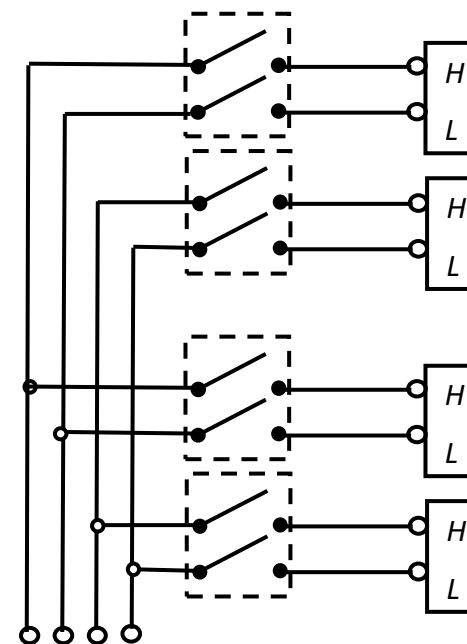
## 开关模块的结构



单线共地多路开关



双线隔离多路开关

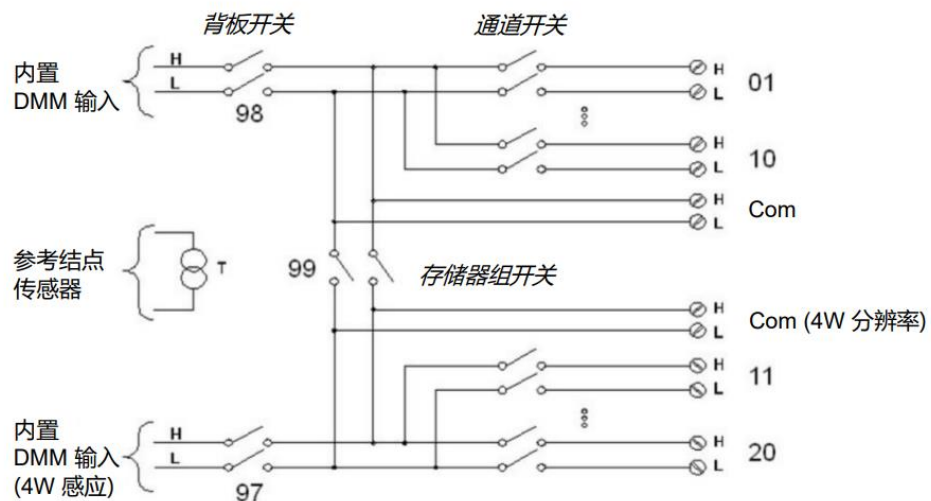


四线隔离多路开关



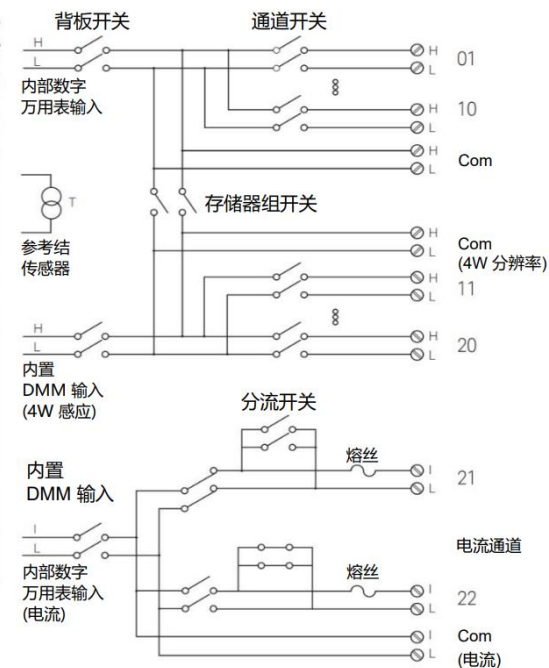
# 最典型的模块

## 通用模块和高速模块



### DAQM900A 20 通道通用多路复用器

- 450 通道/秒的扫描速率, 120 VDC最高电压
- 2 线和 4 线扫描
- 内置热电偶参考结点



- DAQM901A 20 通道通用多路复用器
- 80 通道/秒的扫描速率, 300 VDC最高电压
- 2 线和 4 线扫描
- 内置热电偶参考结点
- 2个电流测量通道, 最高1A

# 误差的评估

## DC 电压测试误差

举例：数字万用表34461A进行测量：

- 实际测量：1V 量程，0.500000V 读数，32°C环境下，校准温度为23 °C，1年精度
- 误差计算： 误差 = 量程误差 + 读数误差 + 温度系数引入的误差

$$= \{0.0035\% \times 0.5V + 0.0007\% \times 1V\} + \{4 \times (0.0005\% \times 0.5V + 0.0001\% \times 1V)\}$$

$$= 0.000018 + 0.000014 = 0.000032V$$

$$\text{相对误差} = 0.000032 / 0.5 = 0.0064\%$$

Accuracy Specifications ( % of reading + % of range ) [1]

Function	Range [3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour [2] T <sub>CAL</sub> ± 1 °C	90 Day T <sub>CAL</sub> ± 5 °C	1 Year T <sub>CAL</sub> ± 5 °C	Temperature Coefficient 0 °C to (T <sub>CAL</sub> - 5 °C) (T <sub>CAL</sub> + 5 °C) to 55 °C
DC	100.0000 mV		0.0030+0.0030	0.0040+0.0035	0.0050+0.0035	0.0005+0.0005
	1.000000 V		0.0020+0.0006	0.0030+0.0007	0.0035+0.0007	0.0005+0.0001
	10.00000 V		0.0015+0.0004	0.0020+0.0005	0.0030+0.0005	0.0005+0.0001
	100.0000 V		0.0020+0.0006	0.0035+0.0006	0.0040+0.0006	0.0005+0.0001
	1000.000 V [5]		0.0020+0.0006	0.0035+0.0006	0.0040+0.0006	0.0005+0.0001

# 测量误差的评估

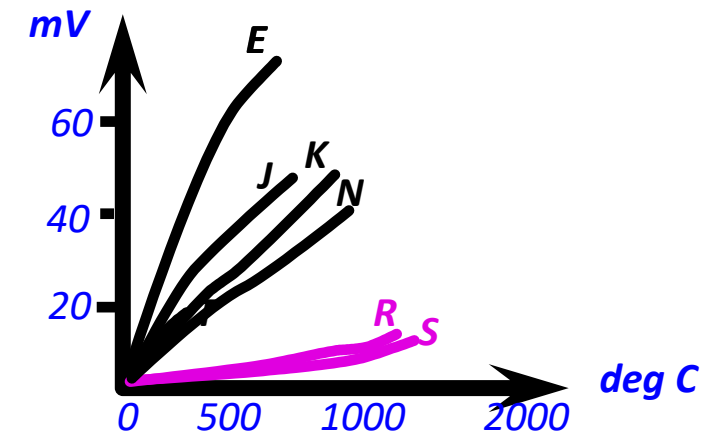
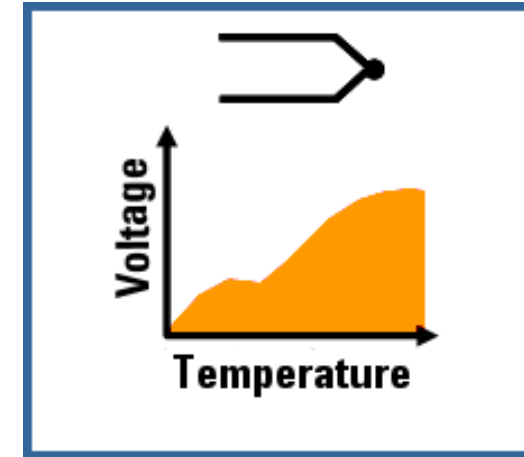
## 温度测量

- 温度测量误差 = 仪器的测量误差 + 传感误差
- 仪器测量误差技术指标中已经包含开关、转换和参考结点误差
- 例如 J 型热电偶输入读数为 150°C。

总误差为 = 热电偶误差 + 1.0°C 热电偶误差 (厂商指定为 为1.1°C 或 0.4%，取二者中的较大值)

= 1.0°C + 1.1°C = 2.1°C 总误差，或 1.4%

- 针对不同传感器，仪器的系统误差不同 (以DAQ970A为例)
  - 铂电阻PT100: 0.05°C
  - 热敏电阻 (2K, 5K, 10K) : 0.1°C
  - 热电偶 (与类型和温度范围相关) : 0.5°C - 2 °C



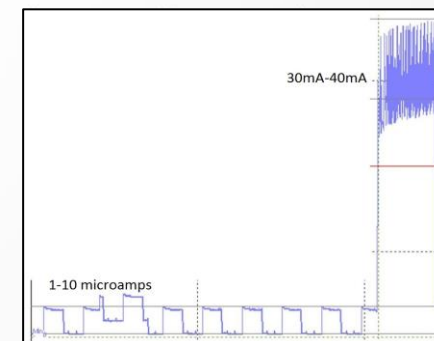
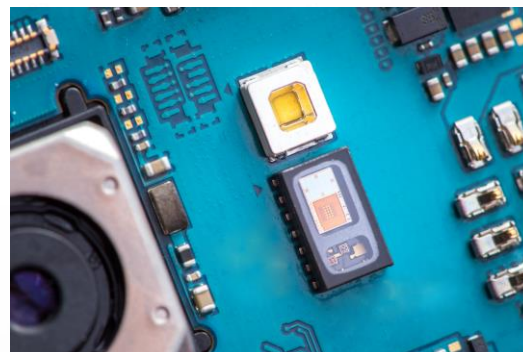
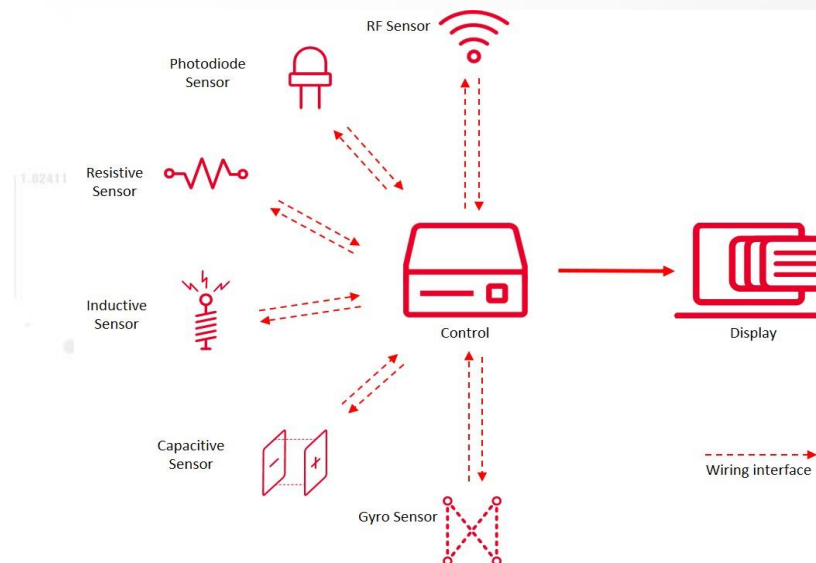
# 提纲

- 传感器的类型和输出信号的特征
- 测量仪表和精确的静态信号采集
- 动态信号的同步采集和混合信号数采
- BenchVue控制和软件
- 演示

# 先进传感器的更大测试挑战

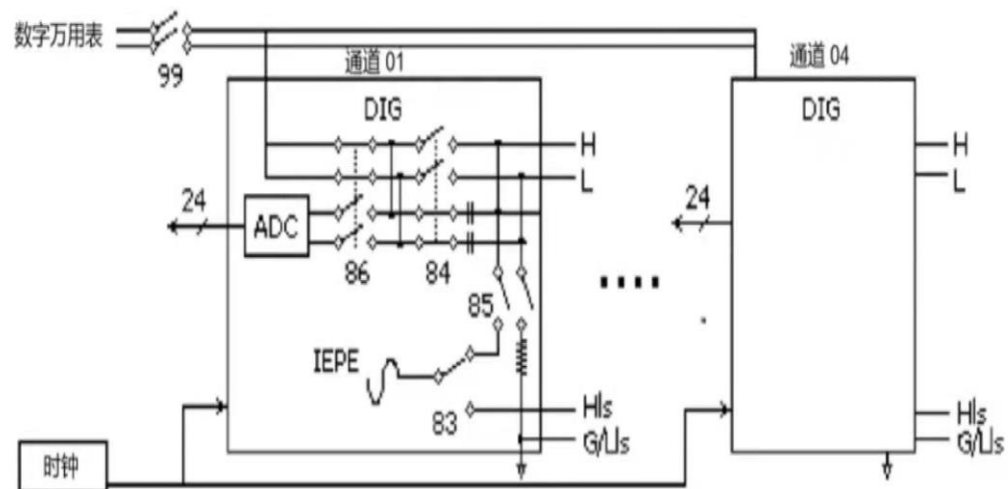
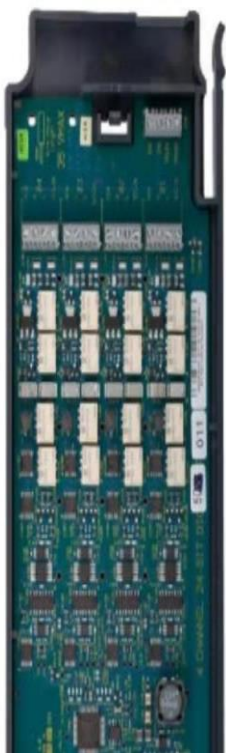
在有限的空间内，集成了多种类型的传感器

1. 多路、多种信号的同时采集
2. 静态信号的动态信号相互伴随
3. 多路、多种工作模式 – 休眠、等待、活动状态
4. 对数据采集提出了更高的要求：
  - 内置信号调理
  - 测量多种信号的能力：ACV/DCV, ACI/DCI, 二线和四线电阻、电容、温度、张力
  - 宽动态范围
  - 多路长时间的数据记录
  - 多路同步数字化（对动态信号的测试）
  - 先进的触发



# 数字化仪模块

每路有独立的测试引擎，适合多路同步动态信号采集



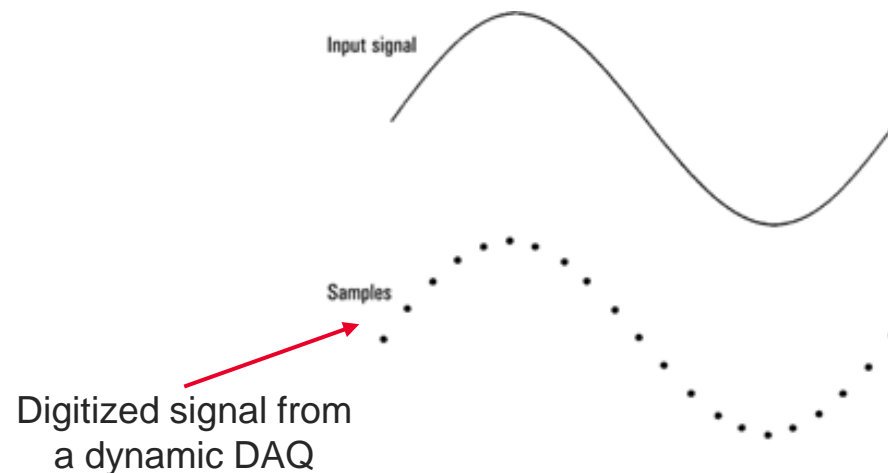
- 800KSa/s采样率
- 24bit 分辨率
- 4通道/模块 (12通道/DAQ主机)
- 300mV, 36Vpk
- 差分输入或单端输入
- 每个通道可提供高达 4mA 的恒定电流，以便为集成化压电传感器测试供电
- BenchVue软件时域/频域分析



# 多路同步采集

## 时间相关的多路动态信号

1. 静态数据采集是数据记录器。与动态数据采集不同，它不能对多路信号进行连续的数字化
2. 静态数据采集采样在一个时间孔径内测量信号，获得信号的平均值。使用动态数据采集测量时，将对信号进行逐点数字化，记录下一组数字化数据
3. 在扫描多个通道时，测量之间的额外延迟
4. 静态数据采集无法设置触发条件，如电平或外部触发、度数预触发等。因此很难捕捉到想要的难以捉摸的瞬态信号，例如波纹、开关瞬变等



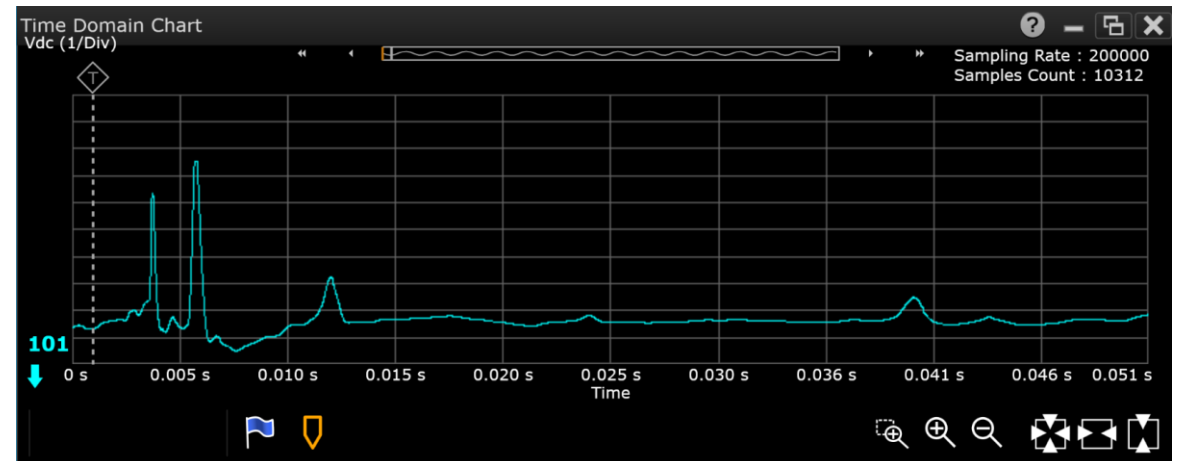
	Static DAQ system	Dynamic DAQ system
Sampling method	Sample interval	Sample rate
Duration	Time or the number of readings to log	Time or the number of points to digitize
Triggering conditions	Normally initiate start scanning or data logging	Level or external triggering, pre-trigger readings

# 动态数据采集系统的优势

## 在精确的事件时间范围内监控动态信号

- 动态数据采集有助于捕获非常快速的动态变化：
- 结构的冲击和冲击应力
- 电机振动
- 材料或身体的声学共振
- 环境噪声变化
- 供电线路瞬变

频率范围	应用
0 – 100 Hz	非静止瞬态事件引起的低频率冲击、振动或应变
10 Hz – 2 kHz	高频振动和应变
10 Hz – 10 kHz	高频航空声学
100 Hz – 1 MHz	冲击测量



# 动态数据采集系统的优势

## 同时监控多个动态信号



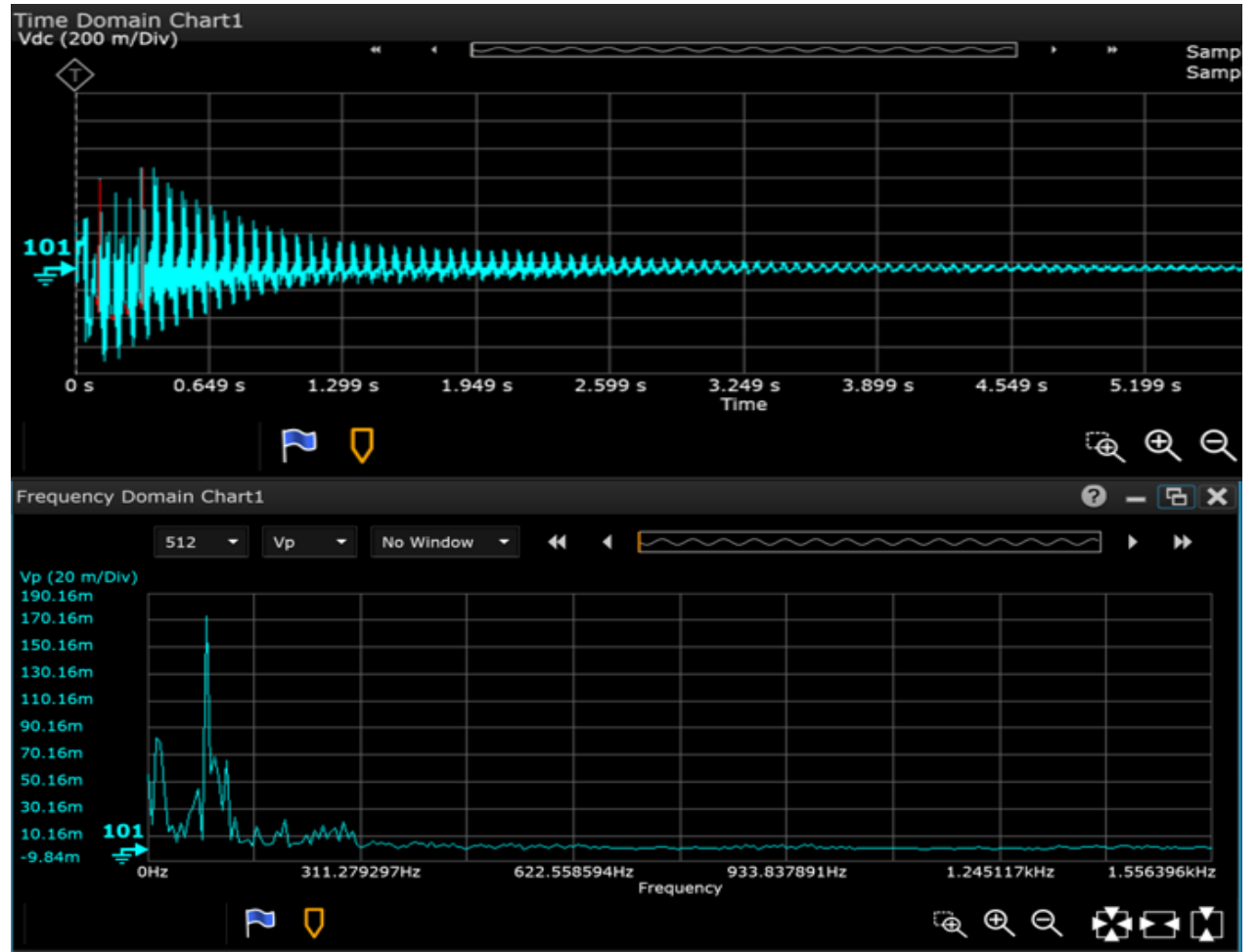
同时监控多个不同的动态信号，例如：

- 飞机机翼结构上的多点应变测量
- 对非静止物体（如车辆甚至火箭）进行多向加速度测量
- 噪声和瞬变的供电线路监控
- 麦克风测试，以确认结构上波动压力负载时间相关的空间分布

# 动态数据采集系统的优势

## 在时域和频域中监控动态信号

- 大多数动态分析需要将数据从时域转换为频域。主要原因是大多数物理结构具有频率相关谐振响应或特征。
- 
- 潜在的物理结构故障，如疲劳、裂纹传播和单峰值负载超过，高度依赖于这些共振



# 动态数据采集系统应用案例1

## 电机振动信号的测试



Dynamic DAQ system

IEPE 加速度计

AC motor

图 1 和图 2 是加速度计电压输出的时域图。图 2 是图 1 的放大窗口。有时，在图 1 中看到整体振动会显示个异常行为的包络标志信号。

图 3 和图 4 是加速度计输出的频率域图。图 4 可放大谐波以查看特定感兴趣频率的详细信息。

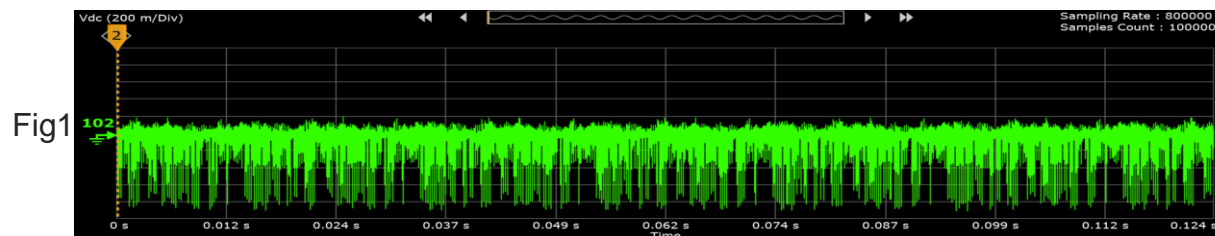
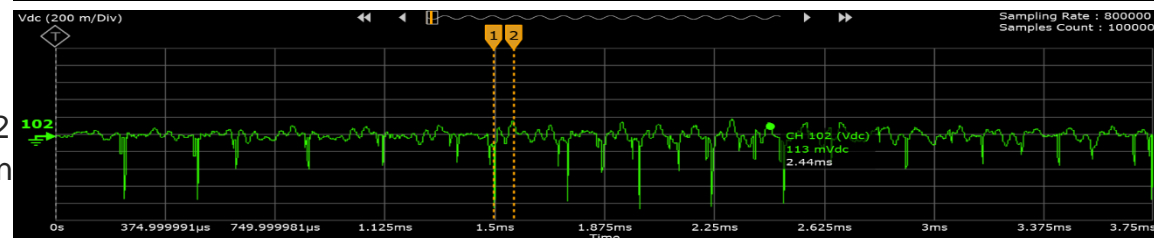


Fig1

Fig2  
Zoomed in



Time domain voltage output from accelerometer

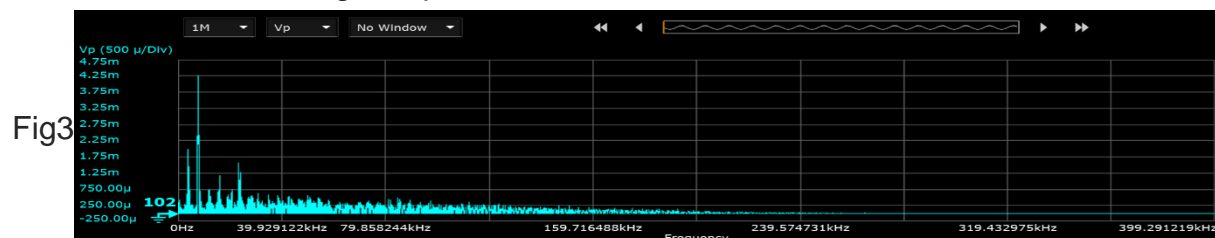
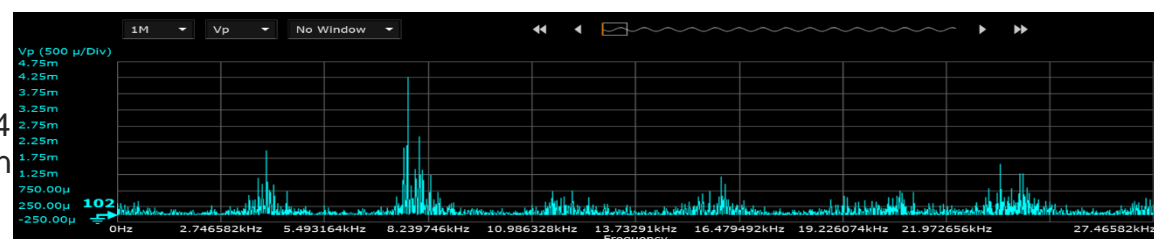


Fig3

Fig4  
Zoomed in



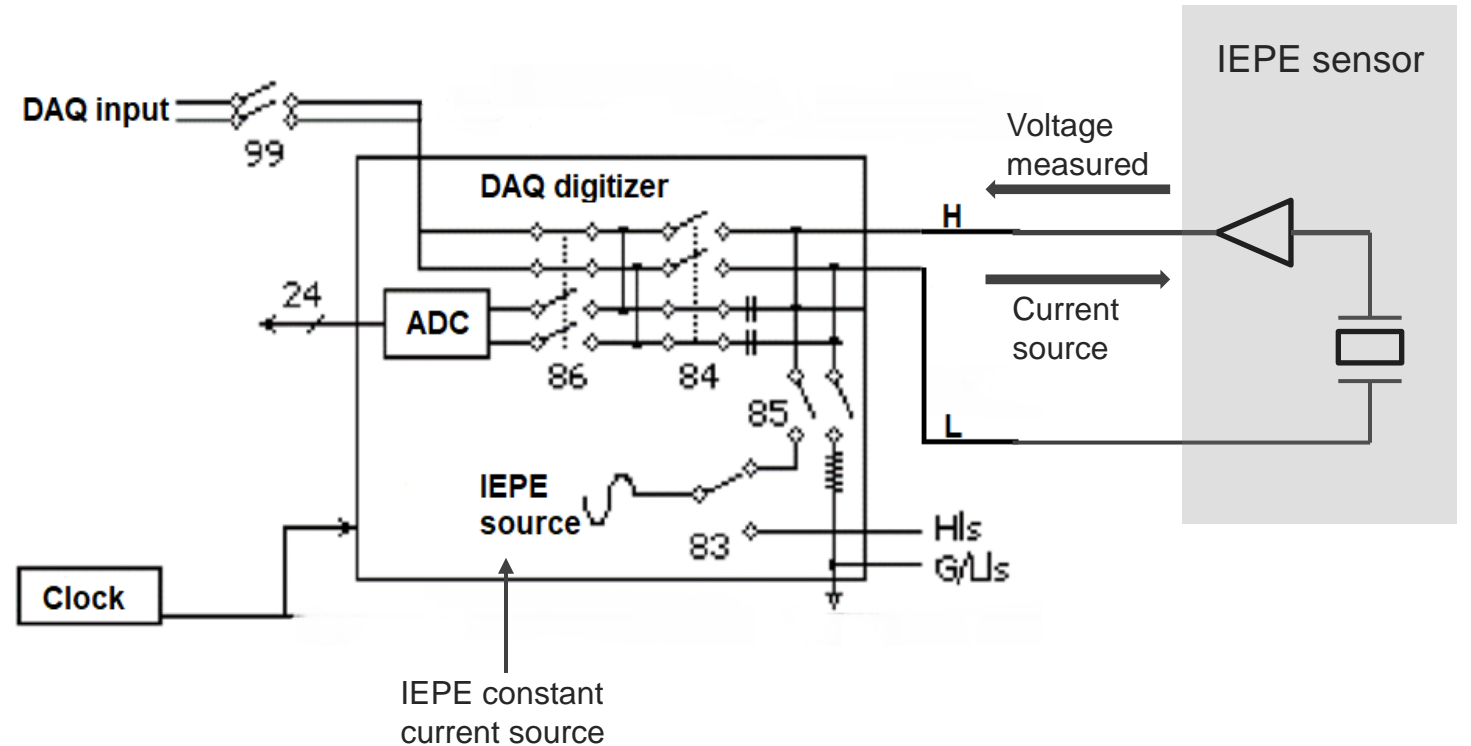
Frequency domain after fast fourier transform (FFT) from PC DAQ software

# 动态数据采集系统应用案例1

## 压电加速度传感器

### 集成电子压电传感器 (IEPE) :

- 内置电路，可将压电传感器的高阻抗信号转换为低阻抗信号，从而通过长电缆传输，而不会损失信号质量
- DAQ 系统可以提供恒定的电流源，2mA ~ 20 mA，但通常 4 mA 是最常用的值
- 传感器类型包括声学、加速度、力、压力等.

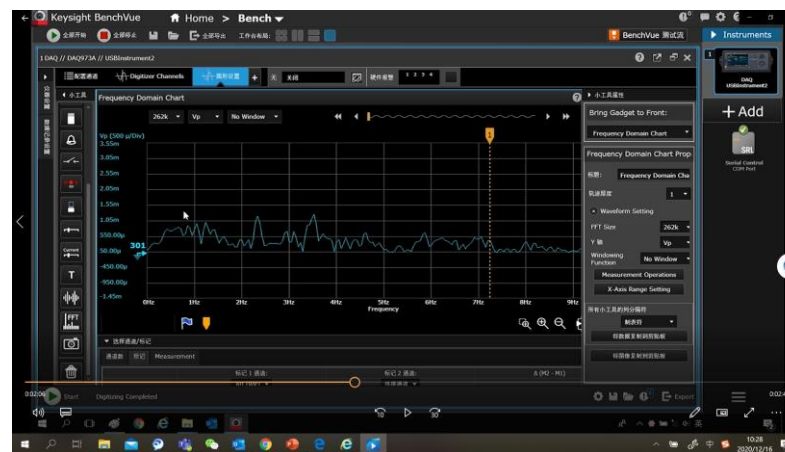
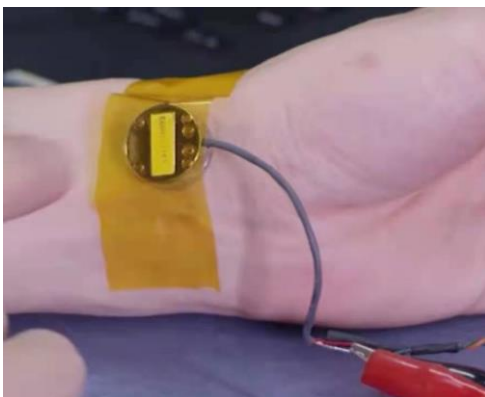




# 动态数据采集系统应用案例 2

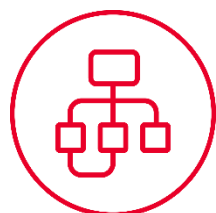
## 脉搏传感器的微弱信号测试

- 频率：约为1Hz
- 幅度：几十毫伏的峰-峰值
- DAQM909A 24bit 数字化仪提供uV 级的分辨率，直接分析信号中的细节
- 频域分析直接得到基波和多次谐波

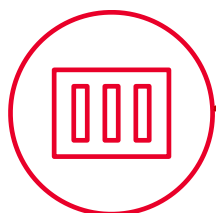


# 动态数据采集系统应用案例 3

## 混合静态-动态分析



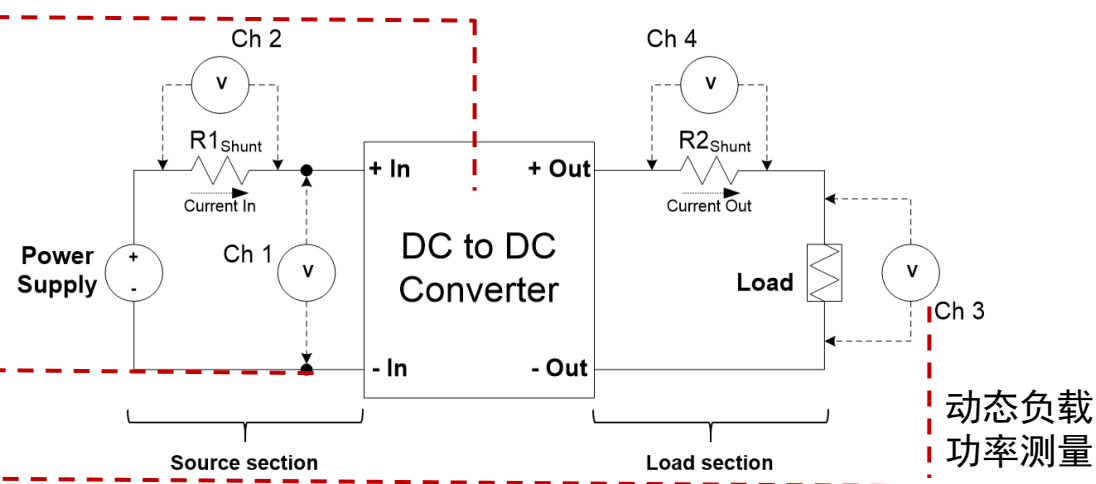
数采系统



多路数采模块

静态温度  
测量

动态功率  
测试



Sensor	Static	Dynamic
温度 (慢响应传感器)	适合	不适合
湿度 (慢响应传感器)	适合	不适合
电压 (快速动态信号)	适合	适合
电流 (快速动态信号)	适合	适合
功率 (基于电压和电流的快速信号)	适合	适合



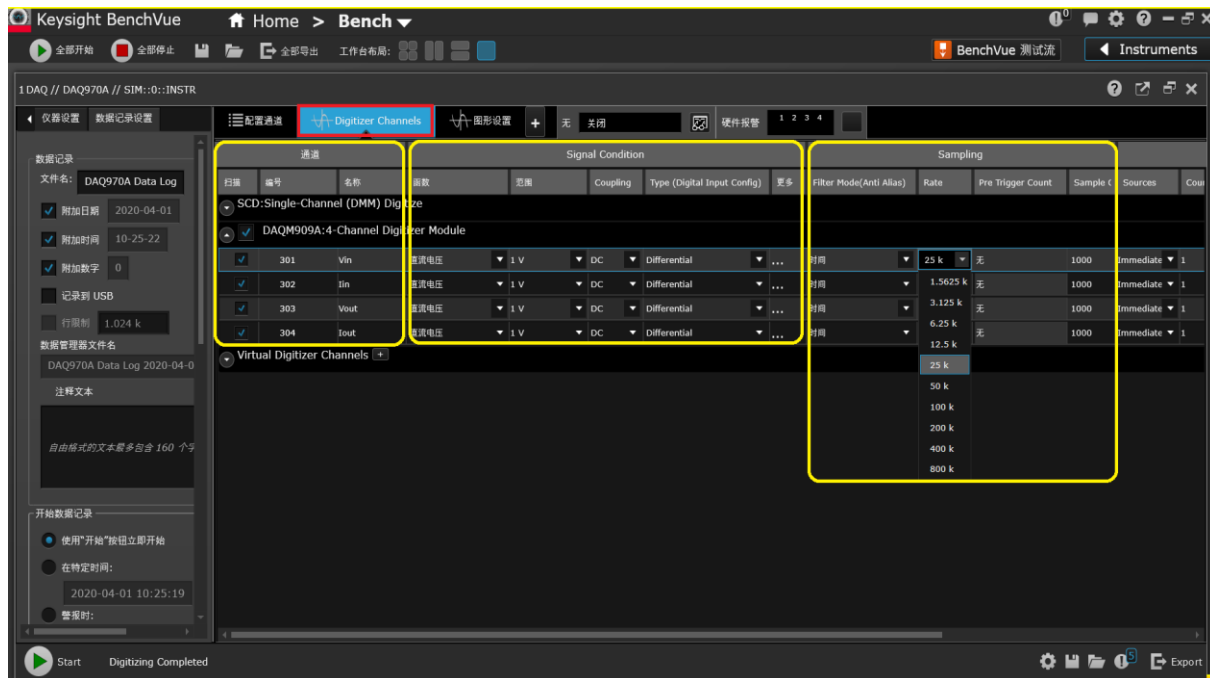
# 提纲



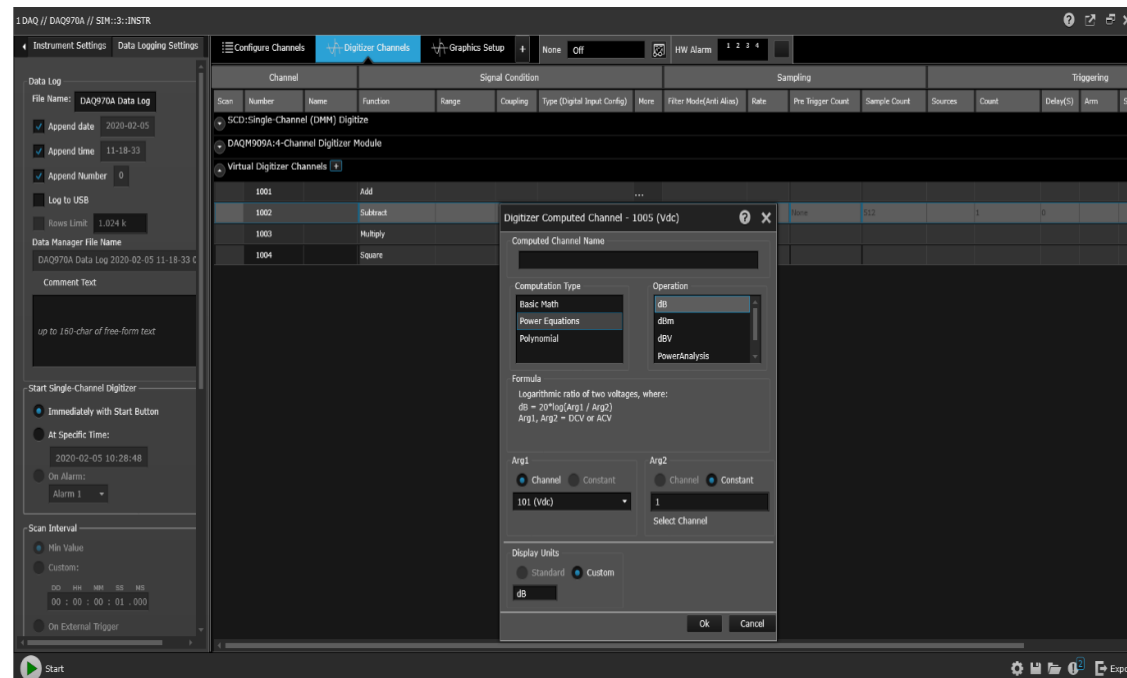
- 传感器的类型和输出信号的特征
- 测量仪表和精确的静态信号采集
- 动态信号的同步采集和混合信号数采
- BenchVue控制和分析软件
- 演示

# BenchVue 控制和分析软件

## 通道设置、运算通道和虚拟通道



- 便捷设置每一个采集通道的参数
- 即插即用的连接， 无需编程
- 可以快速集成其他的测试仪器



运算或虚拟通道可帮助您使用数学运算

- 在两个实际测量通道之间乘、除、加、减运算
- 显示一个实际测量通道和一个恒定值的运算结果
- 利用两个运算通道的值， 进一步进行运算

# BenchVue 控制和分析软件

## 时域显示分析



从时域分析中获取的一些快速测量:

- 幅度（最小或最大值）
- 占空比
- 频率
- 上升和下降时间
- 大小
- 正脉冲宽度或负脉冲宽度
- 时间间隔、相位
- RMS（根均方）
- 最小值、最大值、平均值
- 标准偏差

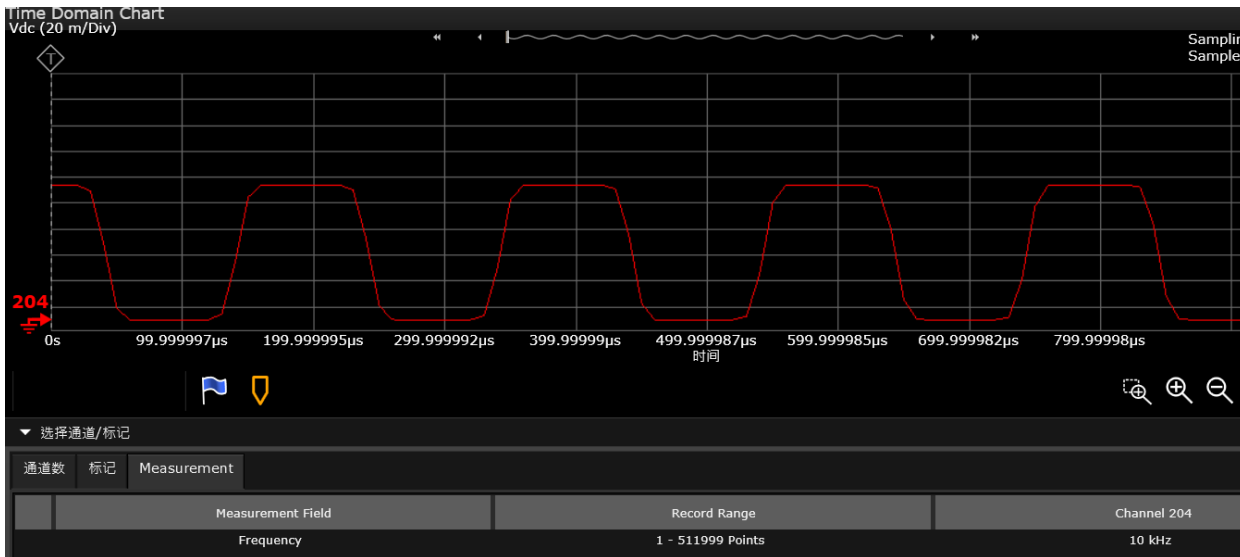
帮助显示时域图并得出大量统计测量值

# BenchVue 控制和分析软件

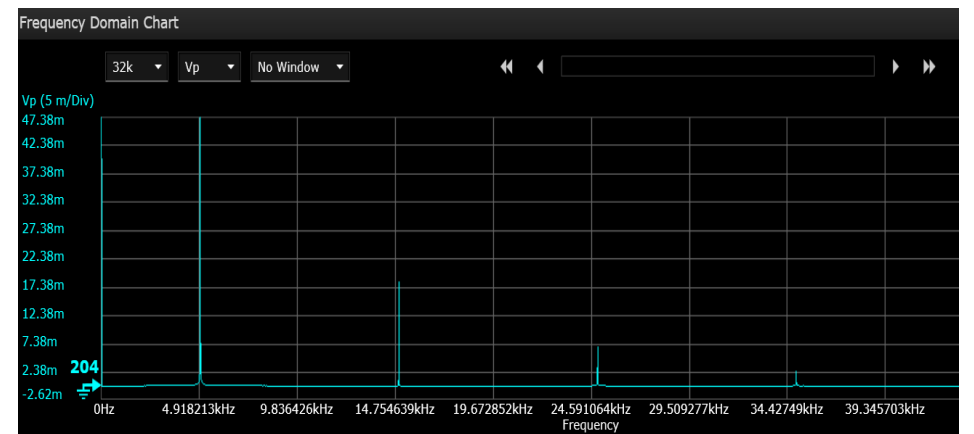
## 频域显示和分析

显示频域图并得出一些快速测量值，例如：

- THD: 总谐波失真
- THD+N: 伴有噪声的总谐波失真
- SINAD: 信噪比和信号失真比



Harmonic Number	inel 204 (1 - 32768 Po
2	24 m%
3	28.382 %
4	31 m%
5	12.191 %
6	30 m%
7	5.167 %
8	22 m%
9	1.919 %



# 提纲



- 传感器的类型和输出信号的特征
- 测量仪表和精确的静态信号采集
- 动态信号的同步采集和混合信号数采
- BenchVue控制和分析软件

- 演示



# 演示



# 总结

## KEYSIGHT'S 新一代数采系统

机电设备在设计、集成和特性方面变得更加复杂。当您需要测试产品的物理和电气参数时，您需要高精度、完整的通信接口灵活性，以及自动执行测试序列的最简单方法。



将 DAQ970A/DAQ973A 多通道数据采集系统的与BenchVue PC 软件功能相结合，实现：

- 最快的读数测量高达 50,000 次读数/秒，扫描速率高达 450 个通道/秒
- 使用新的 4 通道同步采样数字化仪进行动态数据采集，每个通道的采样率高达 800 kSa/s
- 能够测量高达 300 VDC 的高压，
- 宽范围的温度测量：从  $-200^{\circ}\text{C}$  到  $1800^{\circ}\text{C}$
- 适用于多种不同信号类型的精确测量，无需编程的测试自动化和最广泛的测量选项，以及业界领先的扫描和读取速率，从而加快您的开发过程。

# 总结

## KEYSIGHT'S PATHWAVE BENCHVUE 数采应用软件



- 即插即用的连接
- 简单易用
- 无需编程
- 可以快速集成其他的测试仪器

When used with DAQM909A 4 channel digitizer, the software can perform additional time and frequency analysis