DISCUSS. DESIGN. DELIVER.

ADI设计峰会 2013

# 仪器仪表：测试和测量方法及解决方案

## 参考设计与系统应用

李强，系统应用工程师，精密仪器业务

XILINX ALL PROGRAMMABLE

ANALOG DEVICES

# 法律声明

- **专有信息说明，免责与免除担保**

**ADI演示文稿是ADI公司的财产。ADI演示文稿以及ADI提供或在此处使用的软件、文本、图片、设计元素、音频和所有其他资料（简称“ADI信息”）的所有版权、商标和其他知识产权和所有权均属ADI公司及其许可人所有。事先未经ADI书面许可，不得以任何方式、通过任何形式或媒介复制、出版、改编、修改、展示、分发或销售ADI信息。**
**ADI信息和ADI演示文稿均按“原样”提供。尽管ADI希望ADI信息和ADI演示文稿准确无误，但ADI不对ADI演示文稿和ADI信息作任何担保，包括但不限于关于准确性和完整性的担保。排字错误和其他失误都可能存在。ADI不保证ADI信息和ADI演示文稿能满足您的要求、准确、不会中断或不存在错误。ADI不对适销性、特定用途实用性或不侵犯任何第三方知识产权作任何明示或暗示的担保。对于因您使用ADI信息和ADI演示文稿而引起的或与其相关的任何损害或损失，包括但不限于数据丢失或损坏、电脑病毒、错误、遗漏、中断、缺陷或其他故障，无论此等责任属于侵权、合同或其他，ADI均不承担任何责任。使用其中提到的任何第三方参考软件须遵循与此等第三方签订的适用许可协议（若有）。**

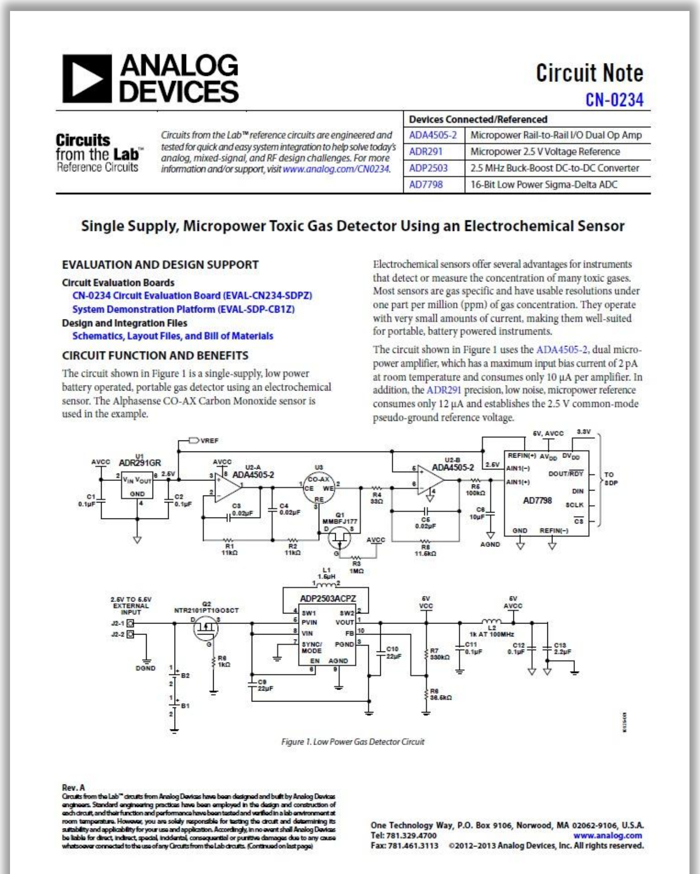
# 今日议程



- **了解检测应用中精密数据采集面临的挑战**
  - 在较宽范围内进行复杂的阻抗测量(CN0217)
  - 使用双轴低*g* *i*MEMS®加速度计进行360°全范围倾斜测量(CN0189)
  - 以高无噪声代码分辨率实现电子秤信号调理和低电平信号的数字化(CN0216, CN0102)
- **用于展示适用于多种精密传感器调理电路（包括MEMS）的重要设计原则的精选应用**
- **考察来自Circuits from the Lab®*参考电路信号链解决方案并经过测试和验证、旨在展示设计原理的电路***
  - 现有低成本评估硬件和软件
  - 完整的文档包：
    - 原理图、BOM、布局、Gerber文件、组件

# 参考电路

- **Circuits from the Lab ®参考电路是经过测试的参考电路，有助于加速设计，同时简化系统集成，帮助并解决当今的模拟、混合信号和RF设计挑战。**



ANALOG DEVICES

Circuit Note
CN-0234

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

*Circuits from the Lab™ reference circuits are engineered and tested for quick and easy system integration to help solve today's analog, mixed-signal, and RF design challenges. For more information and/or support, visit www.analog.com/CN0234.*

| Devices Connected/Referenced | |
|---|---|
| ADA4505-2 | Micropower Rail-to-Rail I/O Dual Op Amp |
| ADR291 | Micropower 2.5 V Voltage Reference |
| ADP2503 | 2.5 MHz Buck-Boost DC-to-DC Converter |
| AD7798 | 16-Bit Low Power Sigma-Delta ADC |

**Single Supply, Micropower Toxic Gas Detector Using an Electrochemical Sensor**

EVALUATION AND DESIGN SUPPORT

Circuit Evaluation Boards
CN-0234 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN234-SDPZ)
System Demonstration Platform (EVAL-SDP-CB1Z)
Design and Integration Files
Schematics, Layout Files, and Bill of Materials

CIRCUIT FUNCTION AND BENEFITS

The circuit shown in Figure 1 is a single-supply, low power battery operated, portable gas detector using an electrochemical sensor. The Alphasense CO-AX Carbon Monoxide sensor is used in the example.

Electrochemical sensors offer several advantages for instruments that detect or measure the concentration of many toxic gases. Most sensors are gas specific and have usable resolutions under one part per million (ppm) of gas concentration. They operate with very small amounts of current, making them well-suited for portable, battery powered instruments.

The circuit shown in Figure 1 uses the ADA4505-2, dual micropower amplifier, which has a maximum input bias current of 2 pA at room temperature and consumes only 10 µA per amplifier. In addition, the ADR291 precision, low noise, micropower reference consumes only 12 µA and establishes the 2.5 V common-mode pseudo-ground reference voltage.

Figure 1. Low Power Gas Detector Circuit

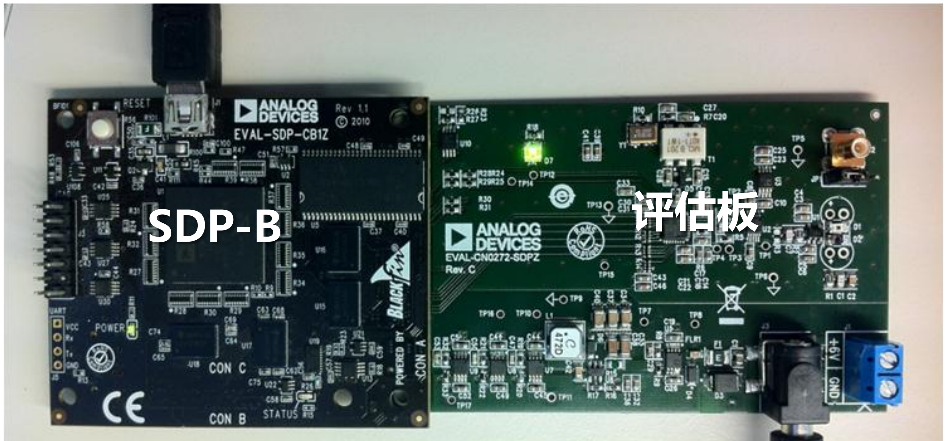
Rev. A
Circuits from the Lab™ circuits from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

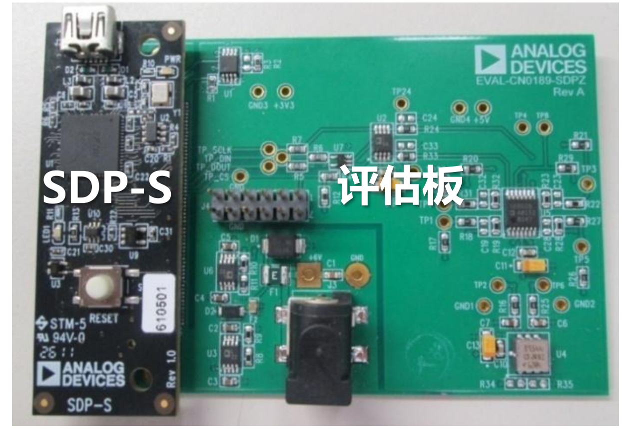
One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

- **评估板硬件**


- **设计文件和软件**
  - Windows评估软件
  - 原理图
  - 物料清单
  - PAD布局
  - Gerber文件
  - 装配图
  - 产品器件驱动器

# 系统演示平台（SDP-B、SDP-S）




- **SDP（系统演示平台）板在ADI公司出品的许多评估板和参考电路板以及运行评估软件的PC之间提供了智能化的USB通信方案**

- **SDP-B（基于ADSP-BF527 Blackfin®）**
  - 两个120引脚小型接头
  - 支持的外设：
    - $I^2C$
    - SPI
    - SPORT
    - 异步并行端口
    - PPI（并行像素接口）
    - 定时器

- **SDP-S（基于USB到串行引擎）**
  - 一个120引脚小型接头
  - 支持的外设：
    - $I^2C$
    - SPI
    - GPIO

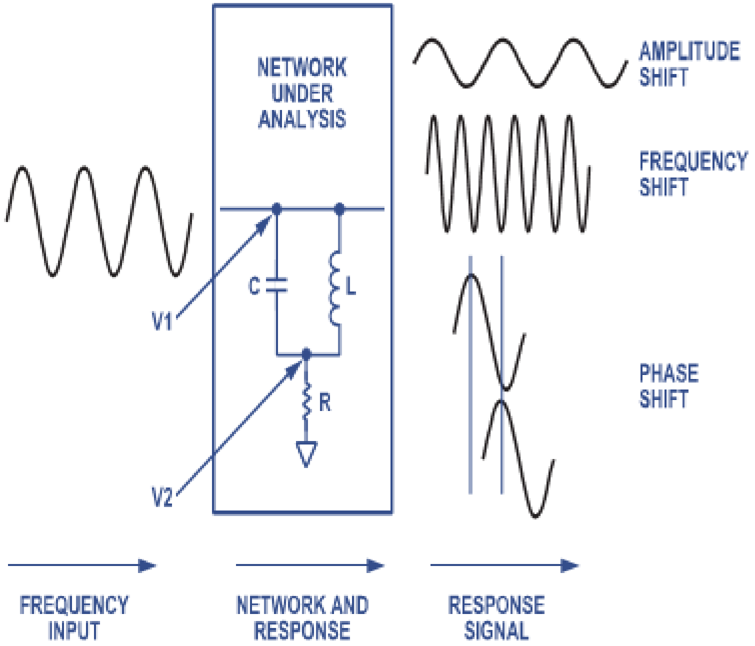
# 阻抗测量应用

- **消费和生物医学市场**
  - 高端生物医学设备
    - 生物医学组织的电阻率/传导性
    - 医学样本分析
  - 消费电子
    - 医学样本分析（如葡萄糖）

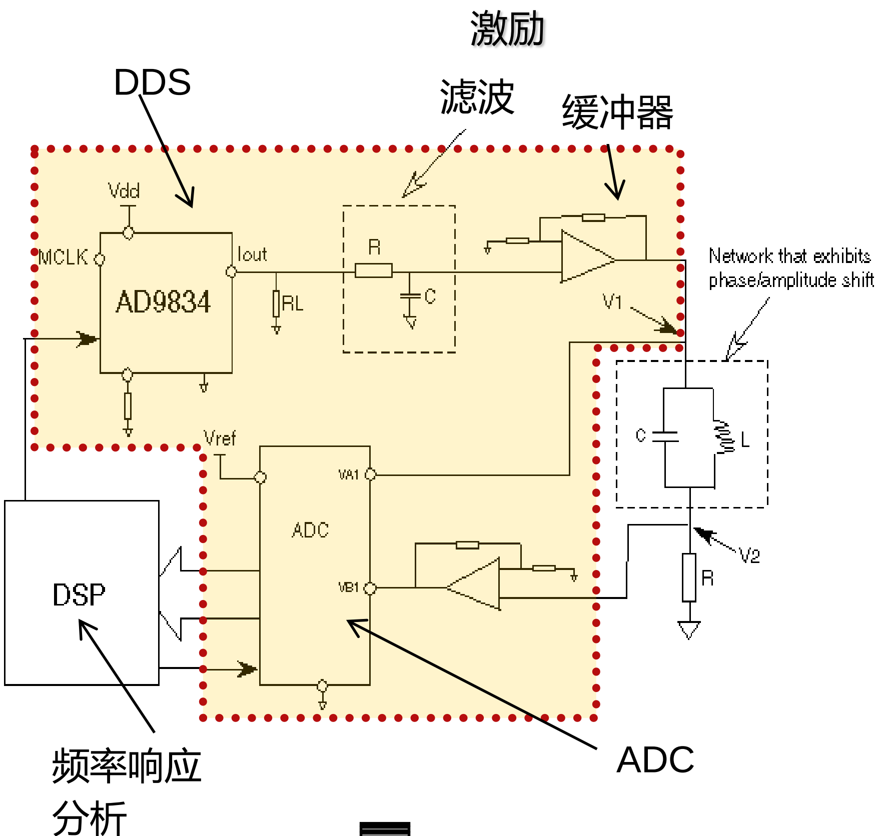
- **工业和仪器仪表市场**
  - 电阻抗光谱测定
    - 腐蚀分析
    - 液体环境分析
    - 传感器接口（传感器阻抗随某些外部事件而变化）

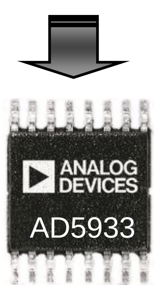
# 阻抗测量器件

- **阻抗测量是一项困难的信号处理任务**
- **需要测量复阻抗，而不仅仅是R、L或C**
- **阻抗转换**
  - …在许多传感器/诊断相关应用中显得越来越重要
  - …传统上通过分立式解决方案实现
  - …通常需要极高的模拟设计技巧才能抽取出未知阻抗的频率响应



# 阻抗测量面临的挑战



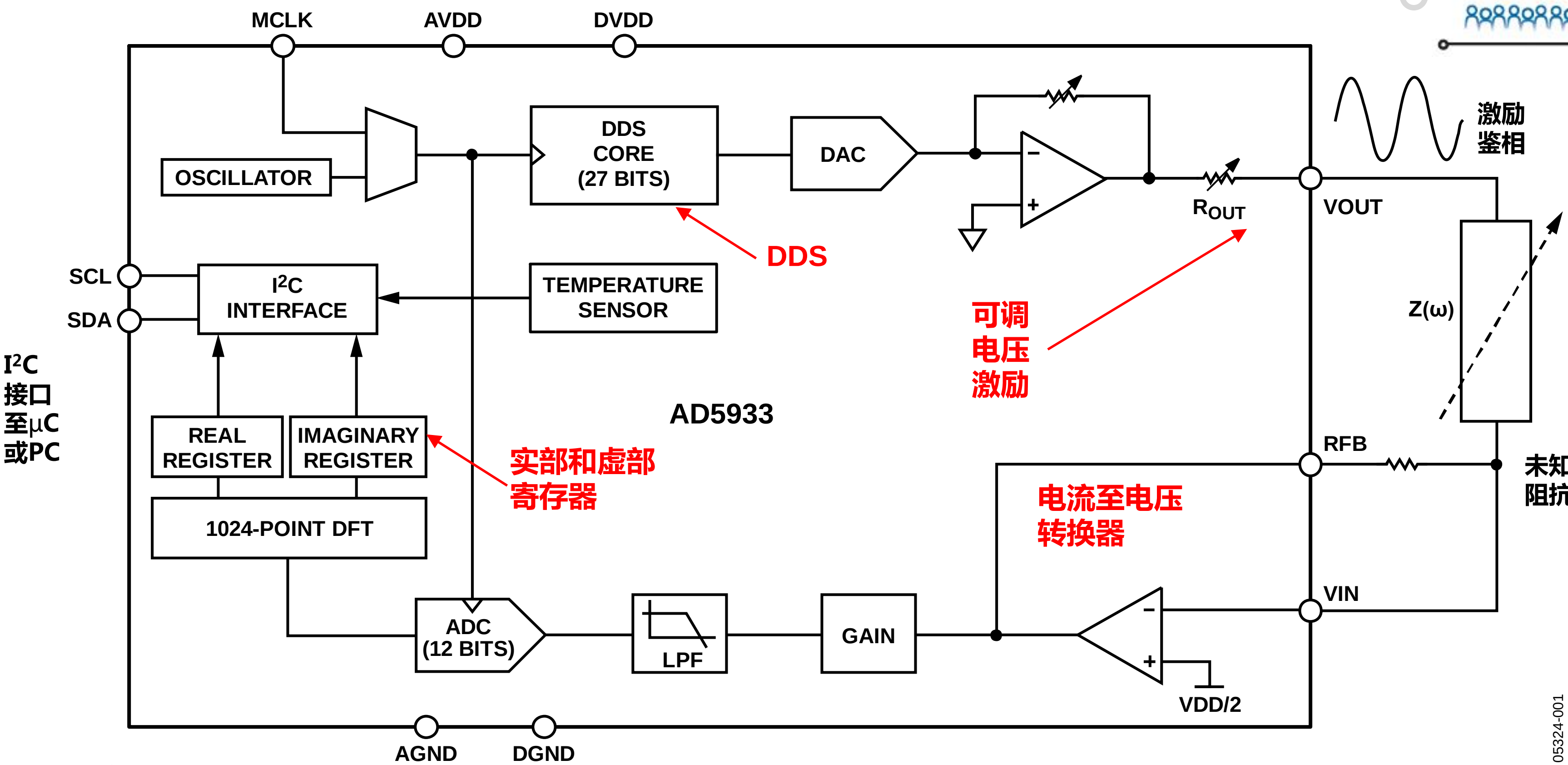




集成单芯片解决方案

## ▶ 问题：

- 如何分析复阻抗
  - 如何以DDS输出频率为基础，控制ADC采样频率（窗口采样与相干采样）？
  - 如何管理元件选择？
  - 必须开发软件以控制DDS
  - FFT需要软件
  - 如何计算误差预算？
  - 如何计算温度效应？
  - 电路板面积和成本最后往往超出预算？

# AD5933/AD5934阻抗转换器




- **阻抗范围：1 kΩ至10 MΩ**
- **阻抗分辨率：12位**
- **最大激励频率：100 kHz**
- **可调电压激励**
- **用户可编程频率扫描**
- **单频能力**
- **1 MSPS SAR ADC (AD5933)**

- **在各频率点进行DFT**
- **手动校准程序**
- 带内部**DSP**的单芯片解决方案
- 各频率下的输出为实部和虚部数据字
- 需要进行简单的片外处理以计算幅度和相位

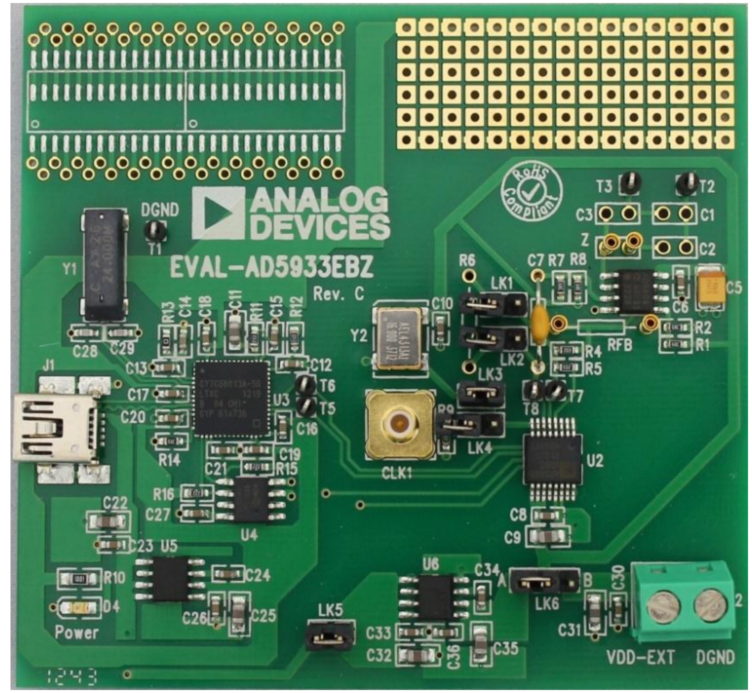


ANALOG DEVICES

# CN0217：用12位阻抗转换器实现高精度阻抗测量

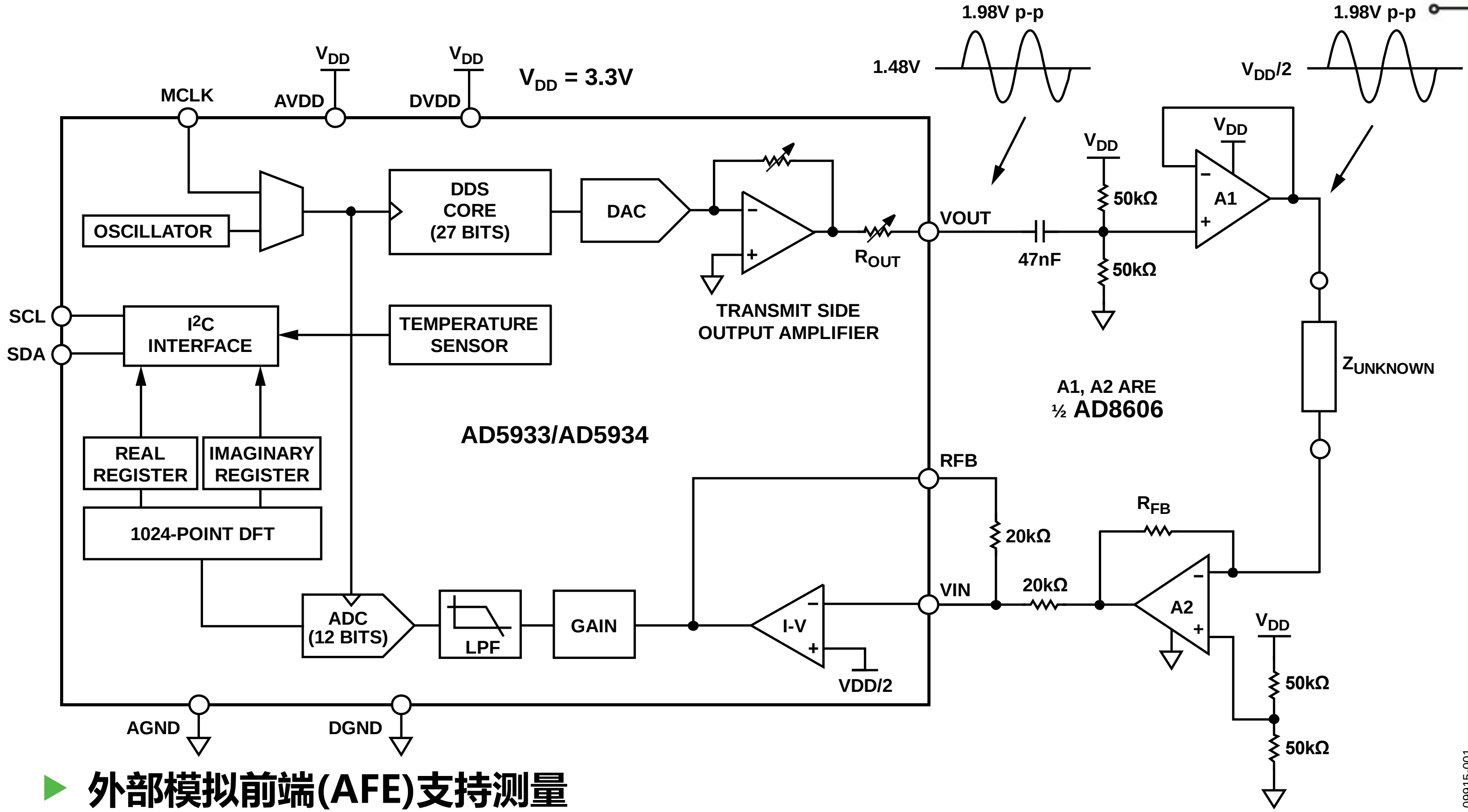
## 电路特性
- 宽阻抗范围
- 12位精度
- 模拟前端(AFE)支持低于1 kΩ的阻抗测量

## 电路优势
- 自足式DDS激励
- 用于计算DFT的DSP
- 复阻抗测量



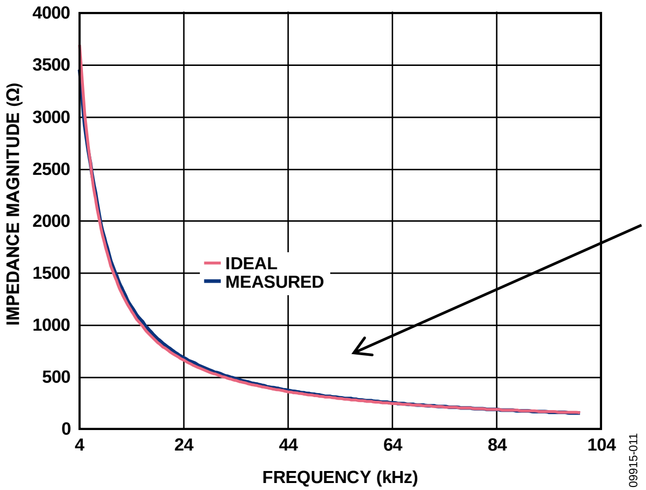

| 目标应用 | 使用的主要器件 | 接口/连接 |
|---|---|---|
| 医疗<br>消费电子<br>工业 | AD5933<br>AD8606 | I$^2$C (AD5933)<br>USB (EVAL-AD5933EBZ) |

# CN0217外部AFE信号调理



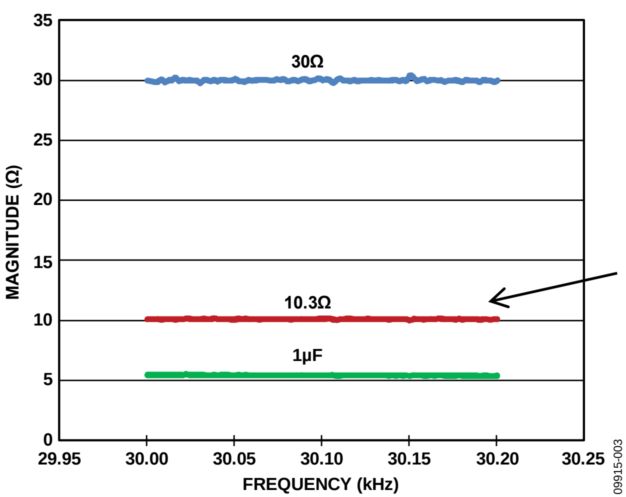

- 外部模拟前端(AFE)支持测量
  低于1 kΩ的阻抗
- 解决方案基于AD8605/AD8606运算放大器
- 激励级：低输出 Z (<1 Ω)，最高100 kHz
- 接收级：低偏置电流(<1 pA)

# 带AFE的AD5933/AD5934实现高精度性能



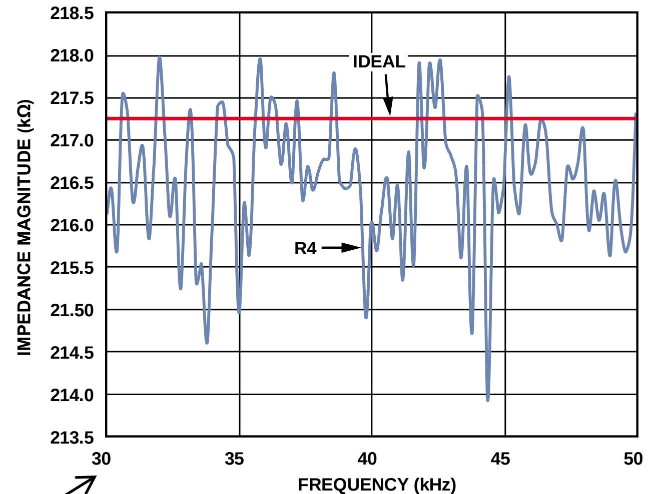

跨频
跟踪R||C

$Z_C$的幅度结果 = 10 kΩ||10 nF, $R_{CAL}$ = 1 kΩ



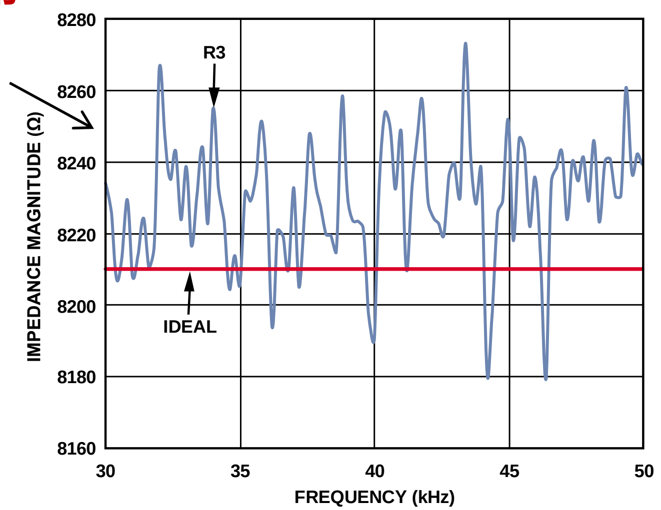

支持低值
阻抗测量

低阻抗的幅度结果




$Z_C$ = 217.25 kΩ , $R_{CAL}$ = 99.85 kΩ

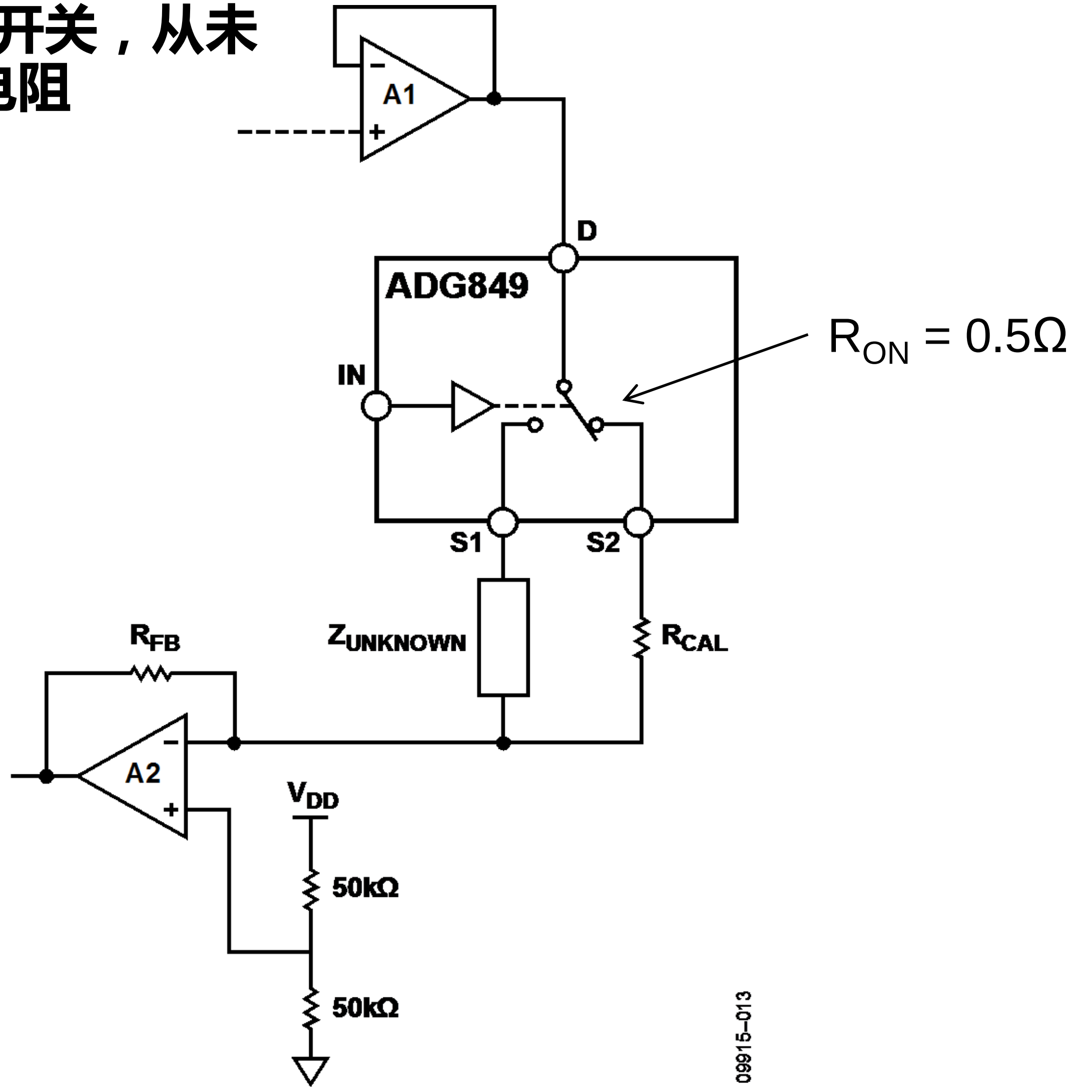
使用99.85 kΩ电阻的
一种校准方案
覆盖较宽范围



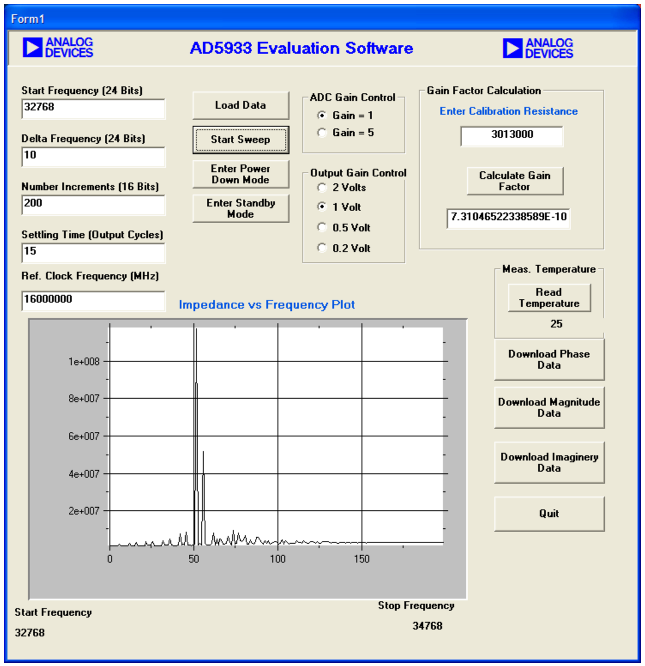

$Z_C$ = 8.21 kΩ , $R_{CAL}$ = 99.85 kΩ

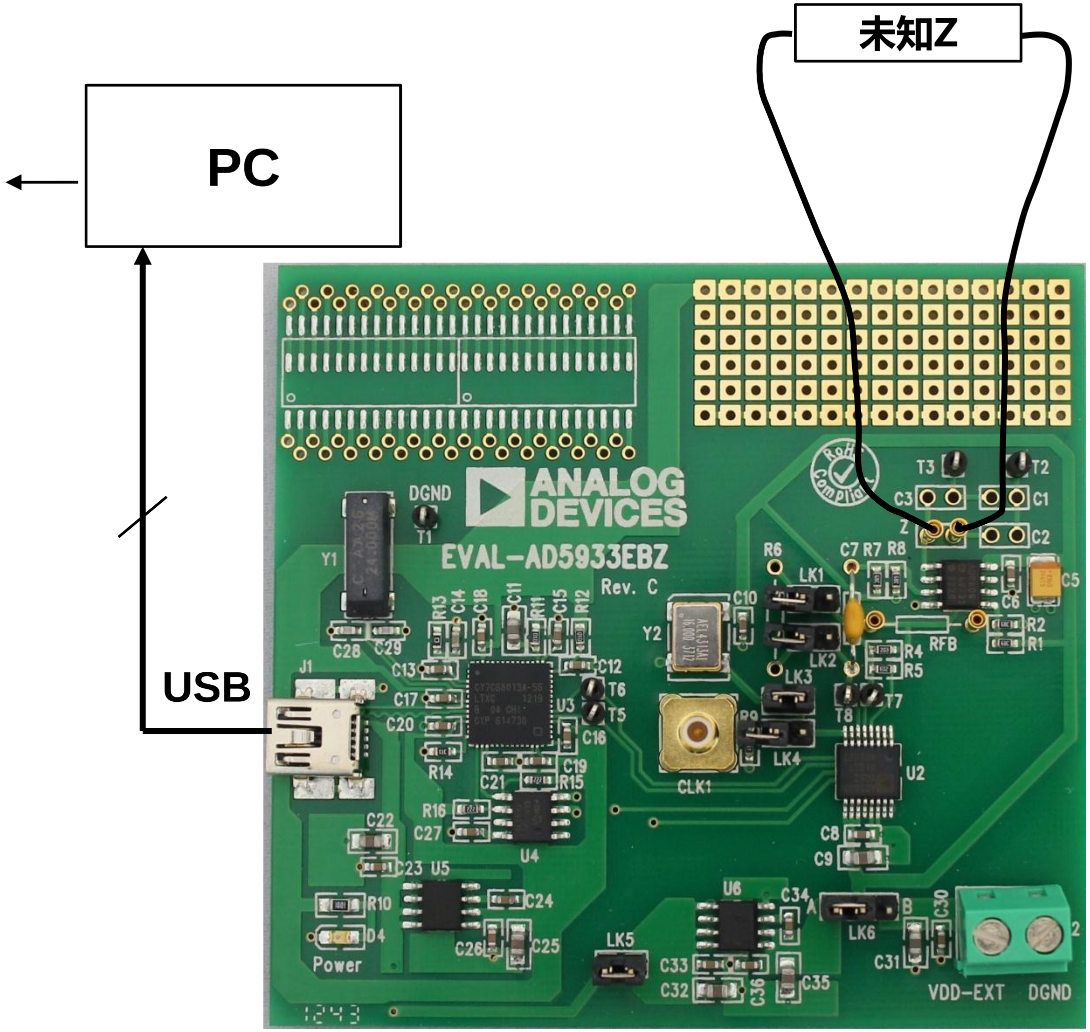
## 低$R_{ON}$ SPDT CMOS开关，用于在$R_{CAL}$和未知Z之间进行切换

- 利用低$R_{ON}$ CMOS 开关，从未知阻抗切换至校准电阻



# CN0217评估板、EVAL-CN0217-EB1Z



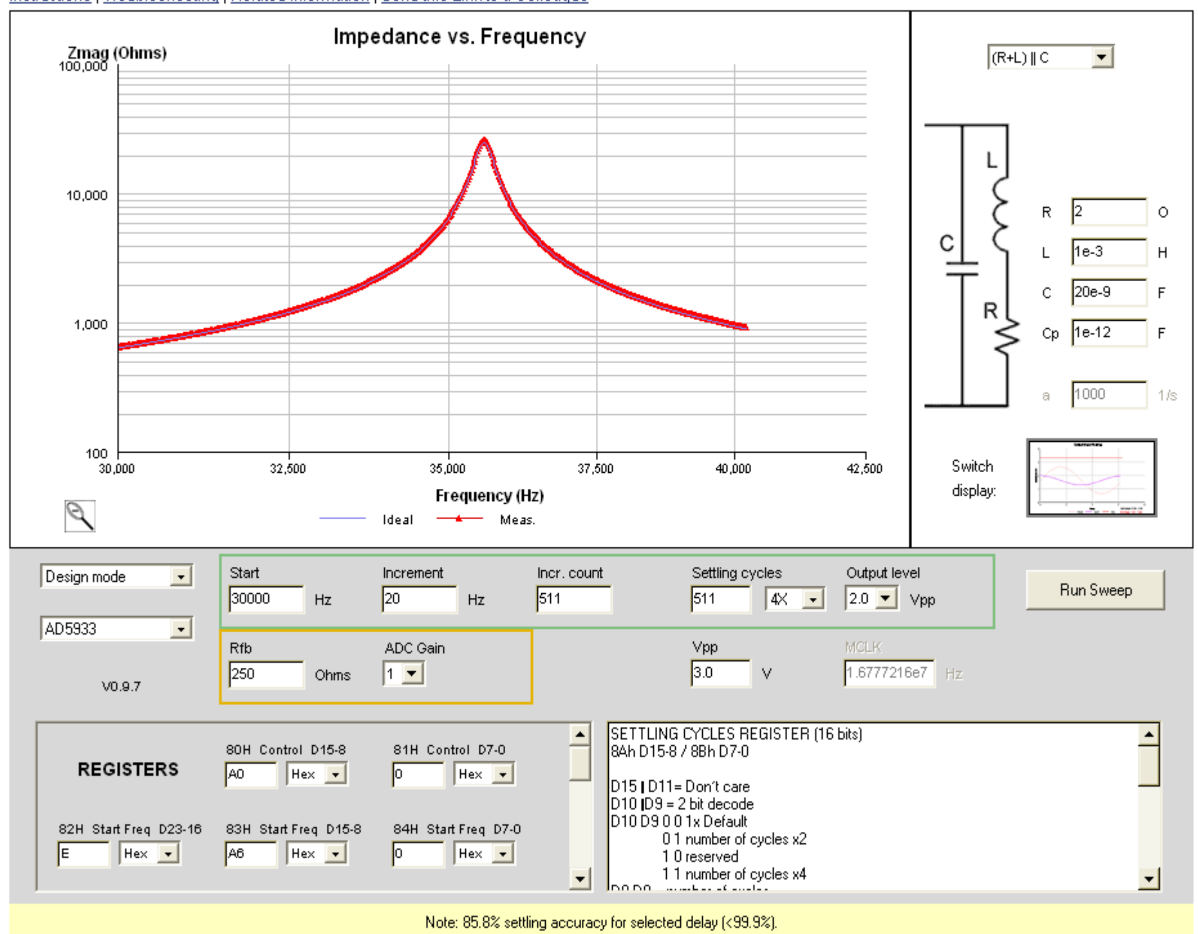

- **完整的设计文件**
  - 原理图
  - 物料清单
  - PAD布局
  - Gerber文件
  - 装配图

# AD5933基于网络的演示工具

- **网络工具演示：**
  - 输入不同的阻抗类型
  - 生成频率扫描
  - 研究阻抗曲线

**Interactive Design Tools: Impedance Measurement :**
**AD5933/4 Demonstration and Design Tool (BETA)**
A tool for demonstrating use of the AD5933/4 Impedance Converter / Network Analyzer.

Instructions | Troubleshooting | Related Information | Send this Link to a Colleague






ANALOG DEVICES

# AD5933与AFE相配合，用于测量凝血测量系统中的地基准阻抗



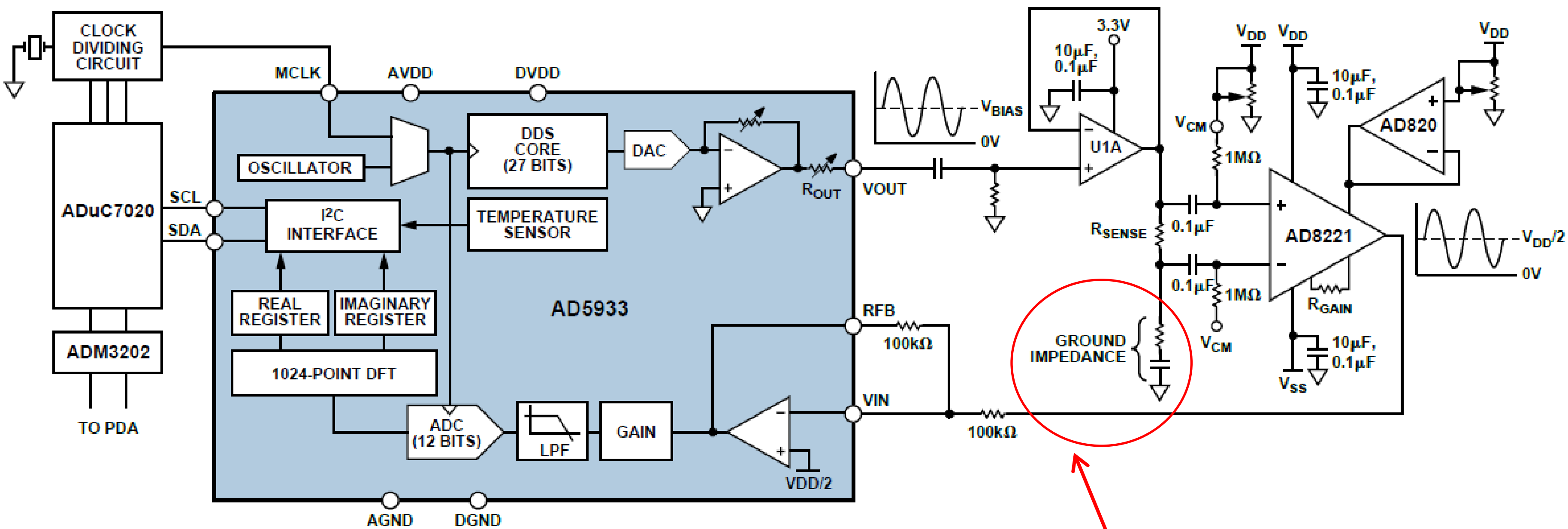



Figure 2. AD5933 with output signal conditioning.

地基准未知Z

# 凝血因子测量

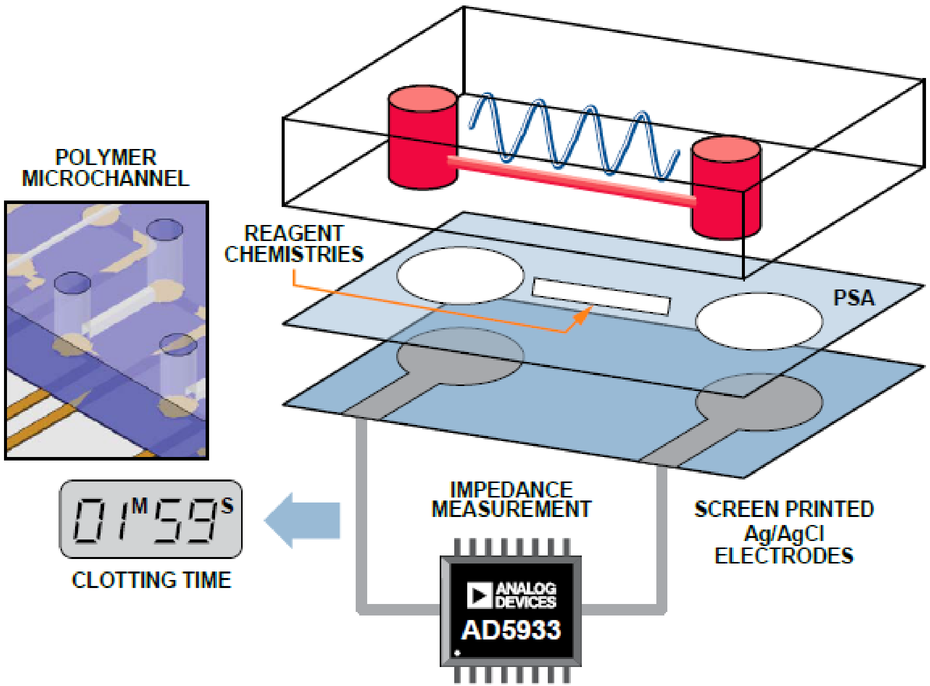



Figure 3. A schematic illustration of the impedance-measurement system with the polymer microchannel that contains the blood sample to be measured. It allows the sample to interact with the specific reagents that modulate the clotting event, and creates the interface between the sample and the AD5933 instrumentation.

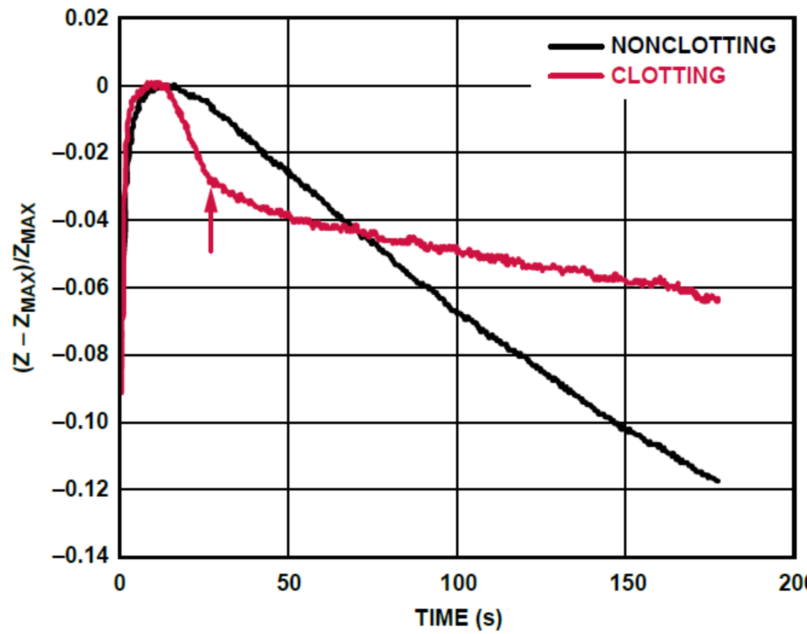
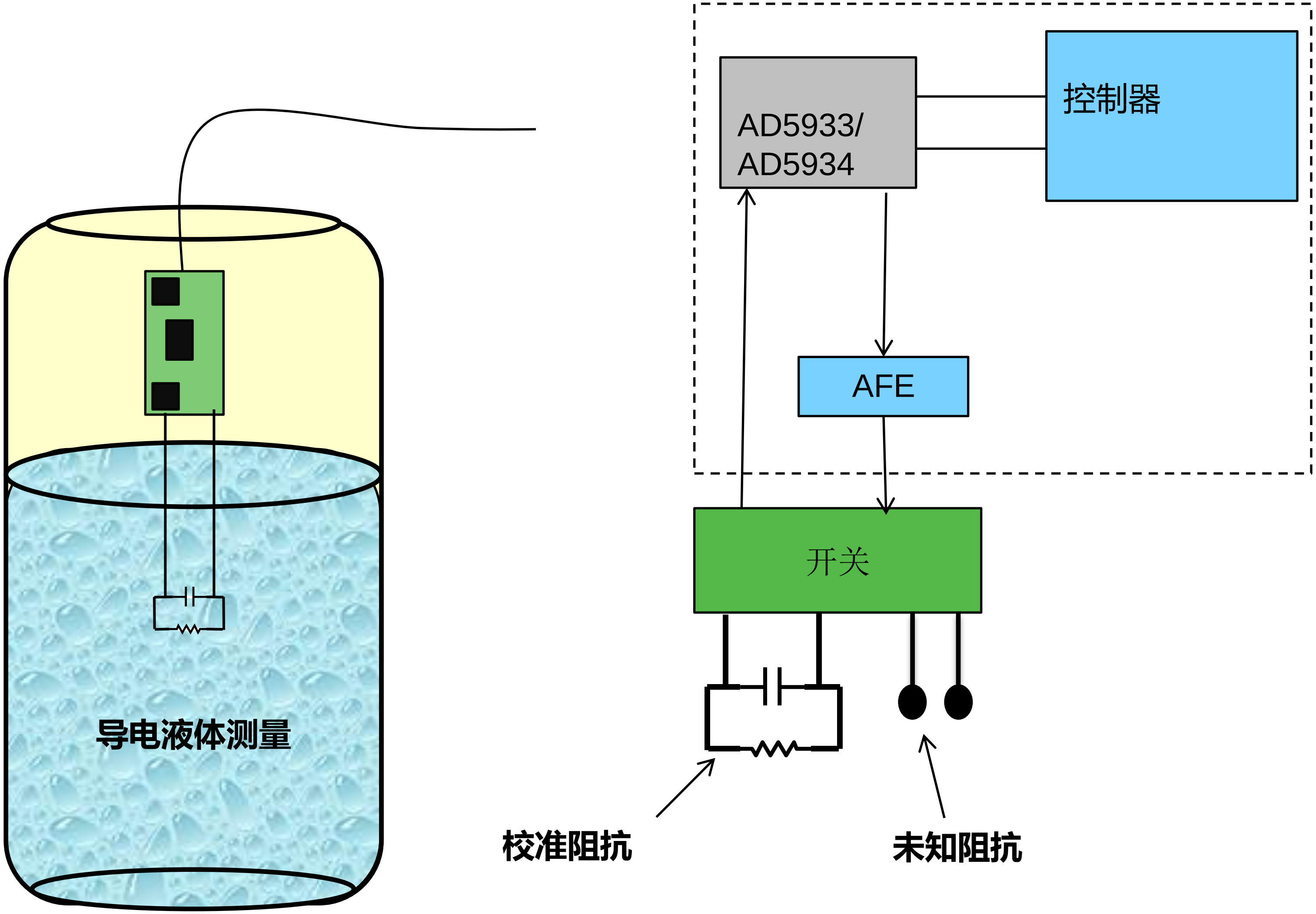



Figure 4. Comparison of impedance profiles for a nonclotting (black) and clotting (red) blood sample.

**Analog Dialogue Volume 42 Number 3**

# 液体质量阻抗测量



# 精密倾斜测量

- *i*MEMS（微机电系统）加速度计基础
- 单轴倾斜测量
- 双轴倾斜测量有利于提高精度(CN0189)
- 信号调理

# 为什么要使用加速度计测量倾斜？

- 摆锤/电位计会磨损
- 精度和带宽有限
- 可靠性较低
- 占用面积大
- 超出平面灵敏度/机械干扰
- MEMS加速度计是以电子手段有效测量倾斜的最新技术
- 良好的精度和带宽
- 电路板面积较小
- 低功耗
- 高可靠性
- 平面灵敏度低

# *i*MEMS加速度计的应用



- **倾斜**
  - 汽车报警
  - 病人监护
- **惯性力**
  - 笔记本电脑硬盘保护
  - 安全气囊碰撞传感器
  - 汽车导航系统
  - 电梯控制
- **冲击或振动**
  - 机器监控
  - 振动台控制
  - 数据记录器，用于事件/损毁鉴定
- **ADI加速度计满量程*g*范围：±2*g*至±100*g***
- **ADI加速度计频率范围：DC至1 kHz**

# 使用低*g*加速度计进行倾斜测量

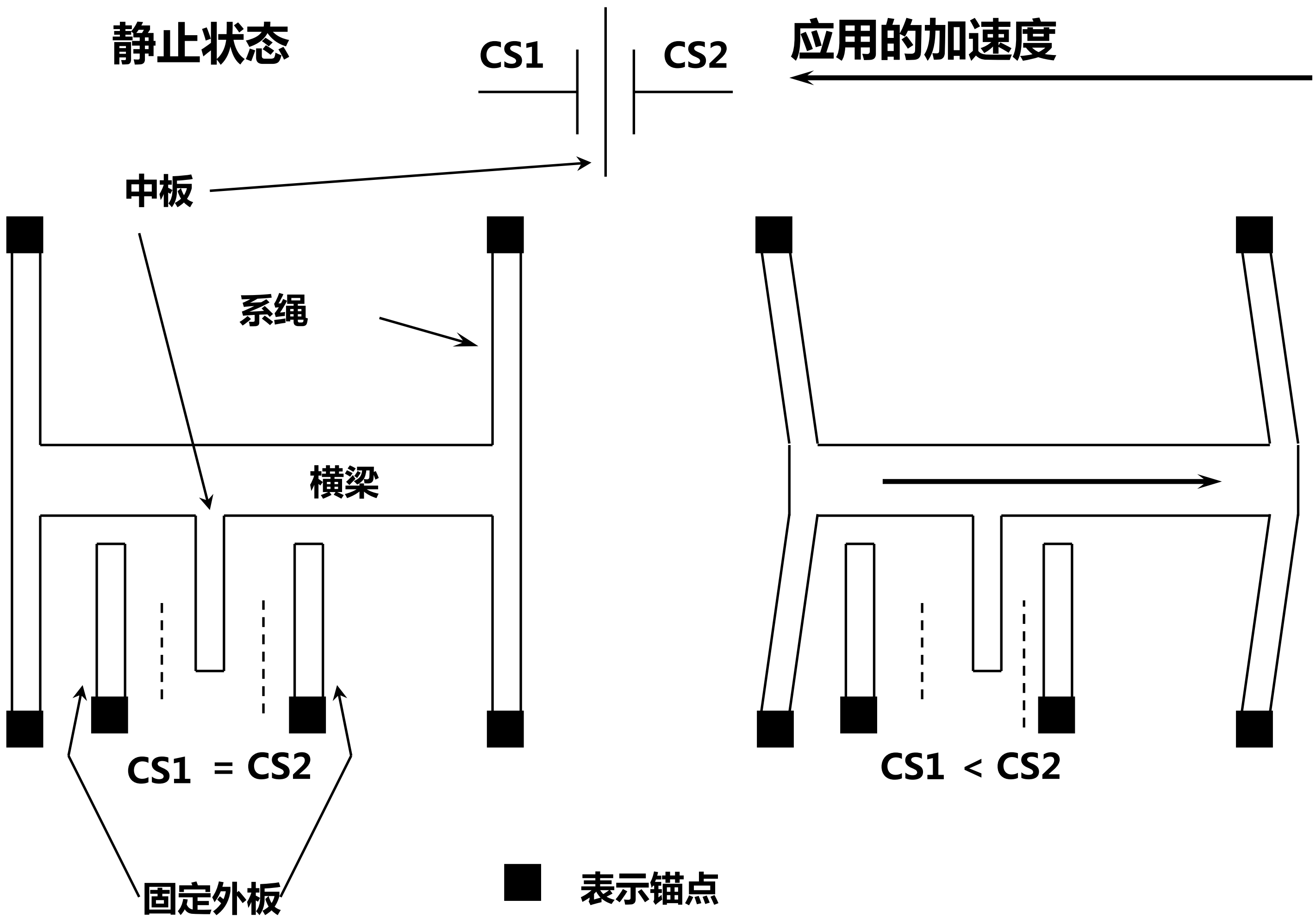


- 需要在360°全弧度范围内实现精度
- 输出误差低于0.5°
- 单电源供电
- 低功耗

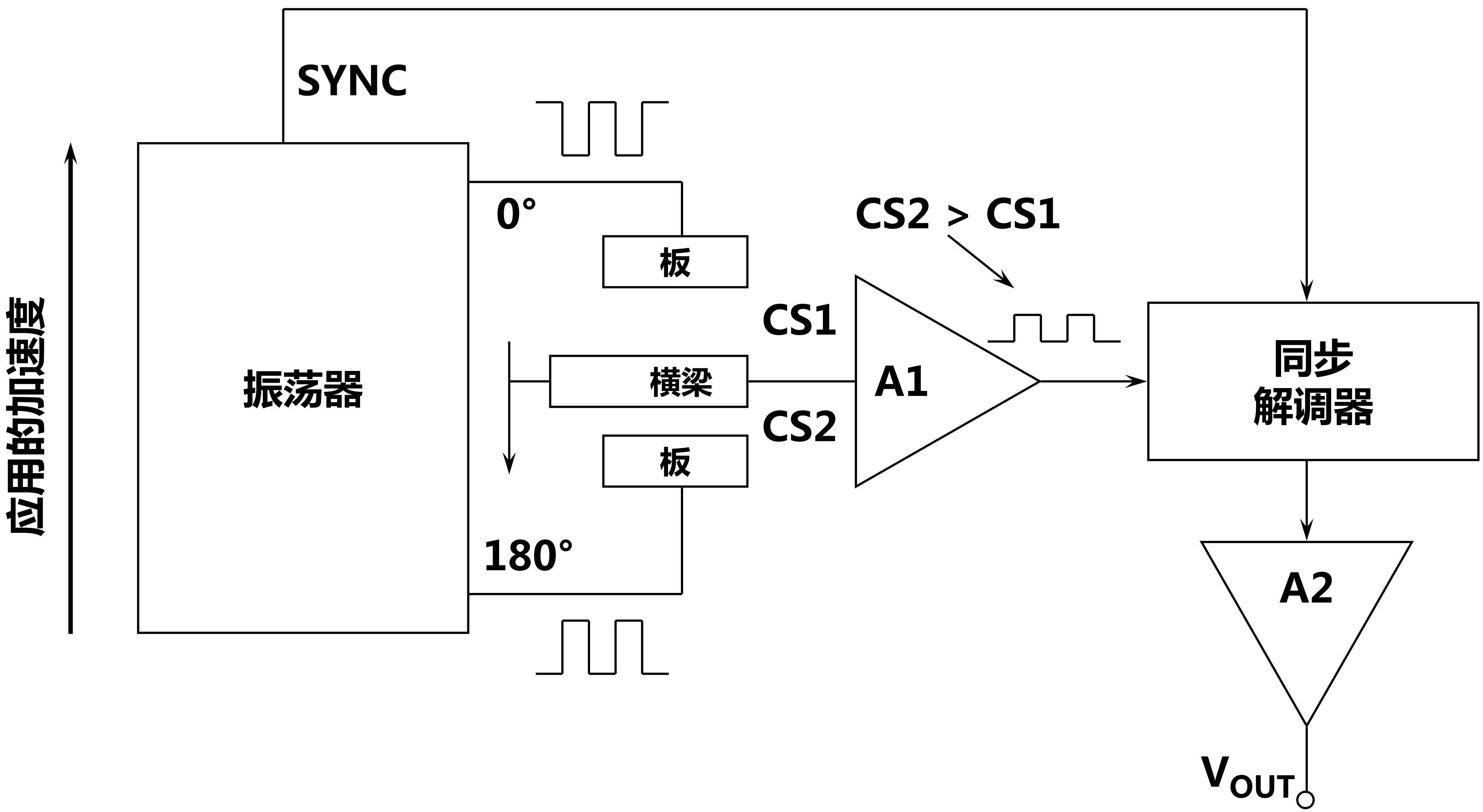
- CN0189展示的是信号链解决方案
  - 加速度计信号调理
  - 易于使用的SAR ADC
  - 低功耗、单电源
  - 提供硬件、软件和设计文件

# ADXL系列微加工iMEMS加速度计（IC顶视图）



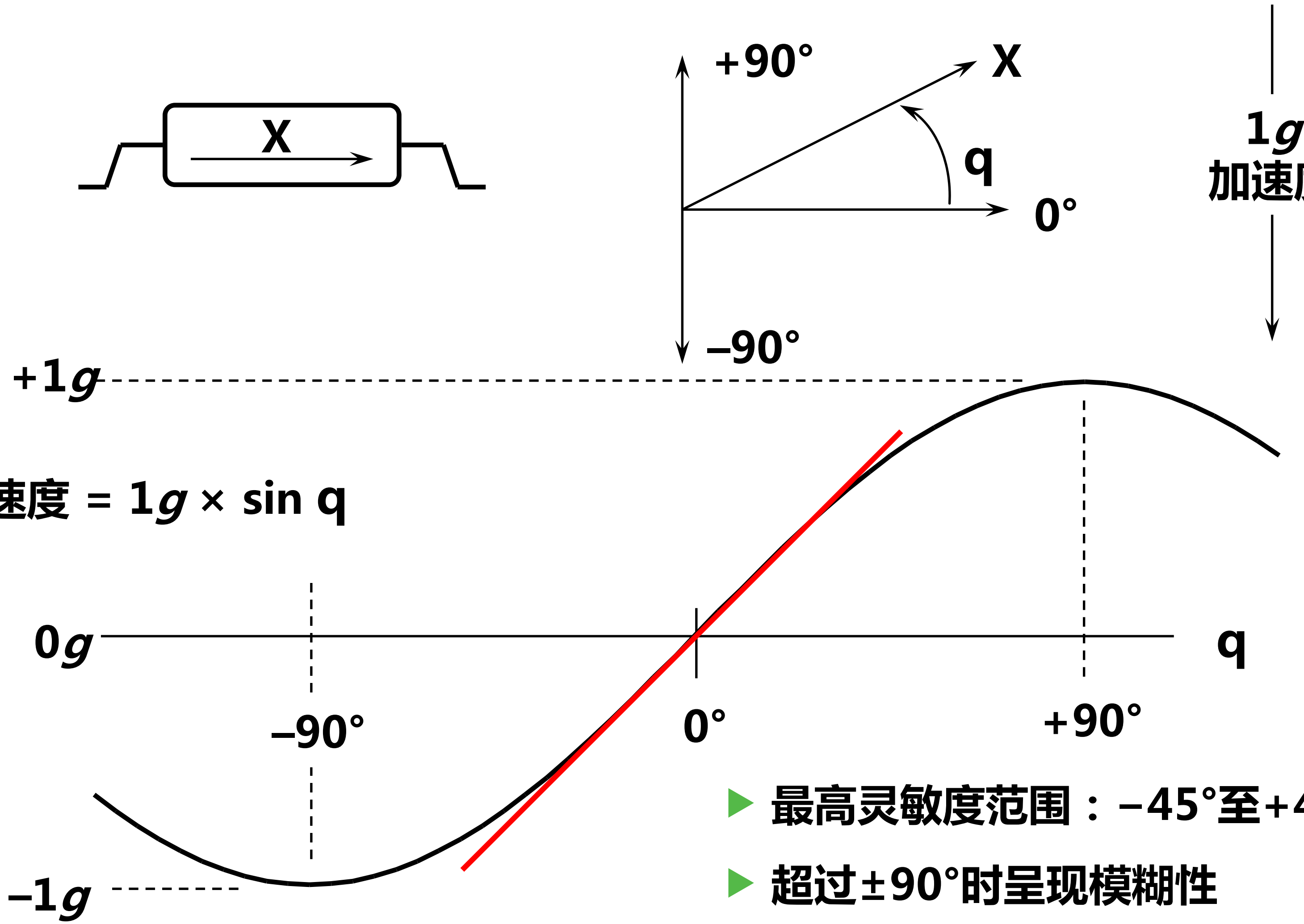


# ADXL系列*i*MEMS加速度计内部信号调理器



# 用单轴加速度计测量倾斜



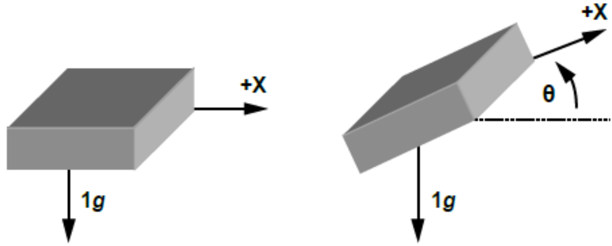


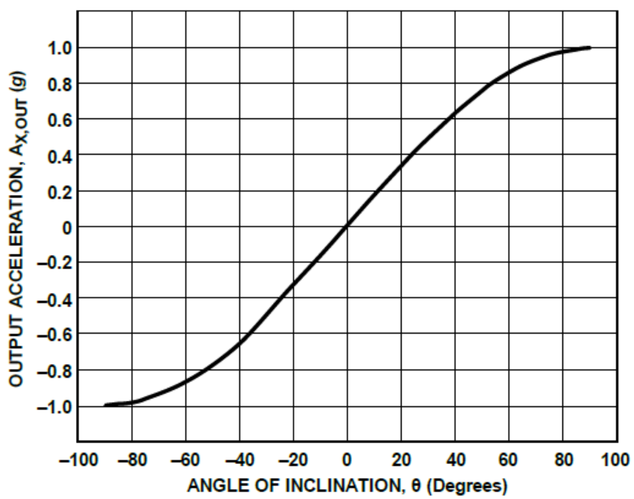

加速度 = 1g × sin q

- 最高灵敏度范围：–45°至+45°
- 超过±90°时呈现模糊性

# 单轴与双轴加速度测量

## 单轴

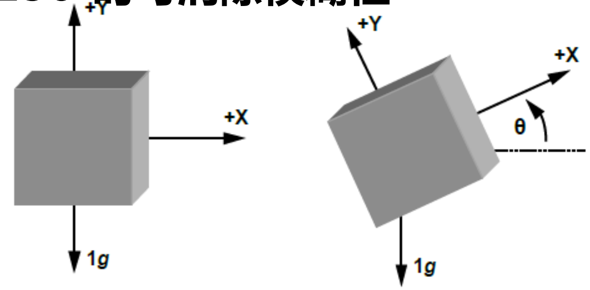


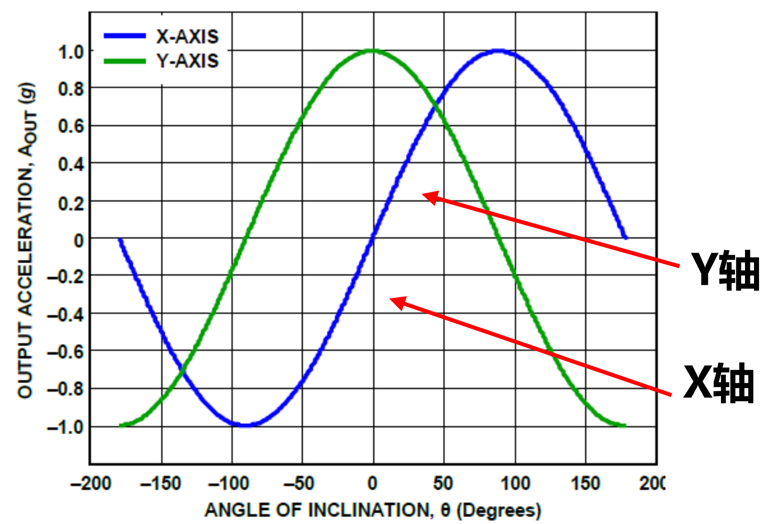




**输出加速度与倾角**

## 双轴

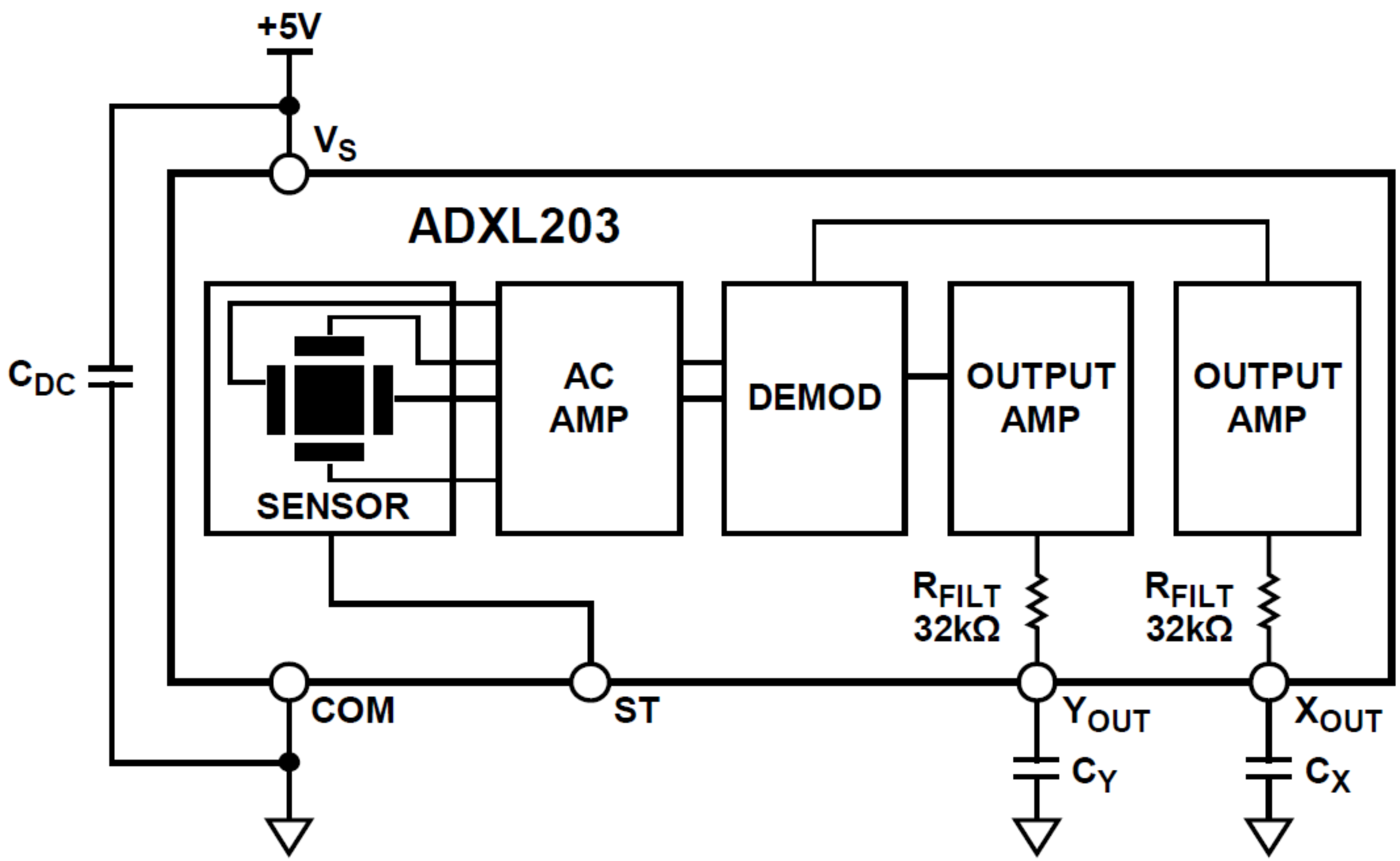
- 在整个360°范围内，灵敏度相当
- 超过±90°时可消除模糊性




**输出加速度与倾角**

# ADXL203双轴加速度计

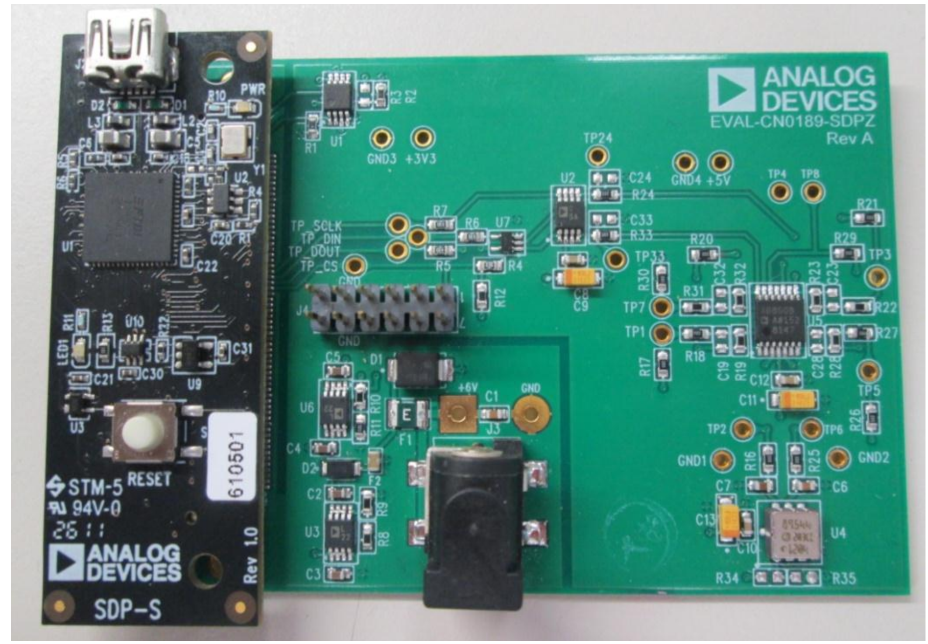



- 1 mg分辨率，带宽 BW = 60 Hz
- 5 V时电流为700 µA

# CN0189：使用双轴加速度计进行倾斜测量

## 电路特性
- 双轴倾斜测量
- 在360°全弧度范围内实现0.5°的精度

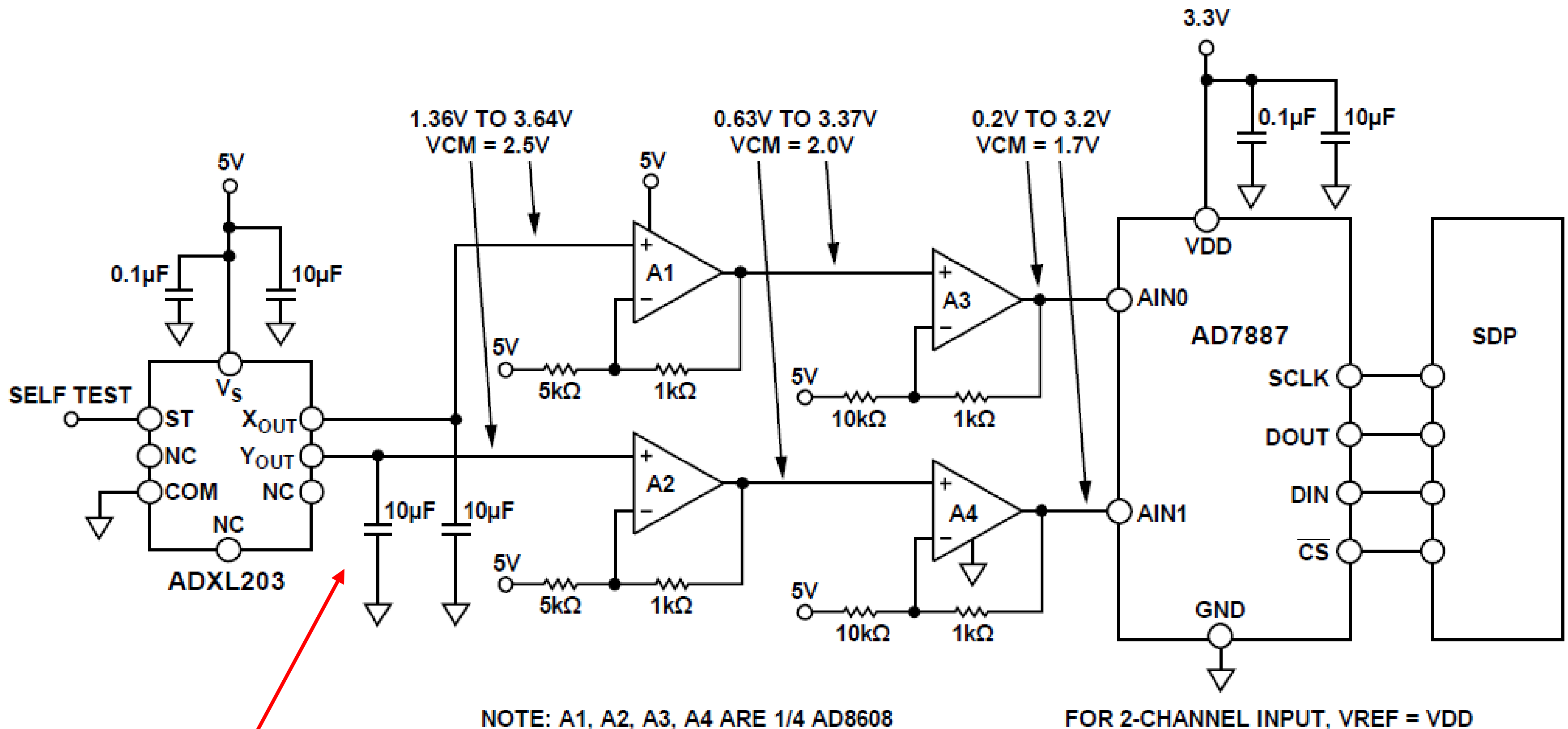
## 电路优势
- 单电源
- 低功耗
- ADXL203输出的调理电路




| 目标应用 | 使用的主要器件 | 接口/连接 |
|---|---|---|
| 医疗<br>消费电子<br>工业 | ADXL203<br>AD8608<br>AD7887 | SPI (AD7887)<br>SDP-S (EVAL-CN0189-SDPZ)<br>USB (EVAL-SDP-CS1Z) |

# CN0189双轴倾斜测量电路






0.5 Hz带宽

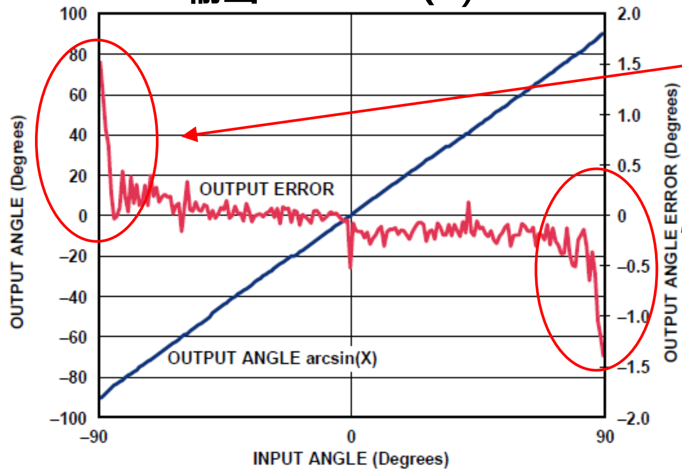
- **AD8608四通道运算放大器**
  - 65 µV输入失调电压
  - 输入偏置电流：1 pA
  - 静态电流为4 mA
- **AD7887 ADC**
  - 12位、125 kSPS SAR
  - 5 V时电流为850 µA



ANALOG DEVICES

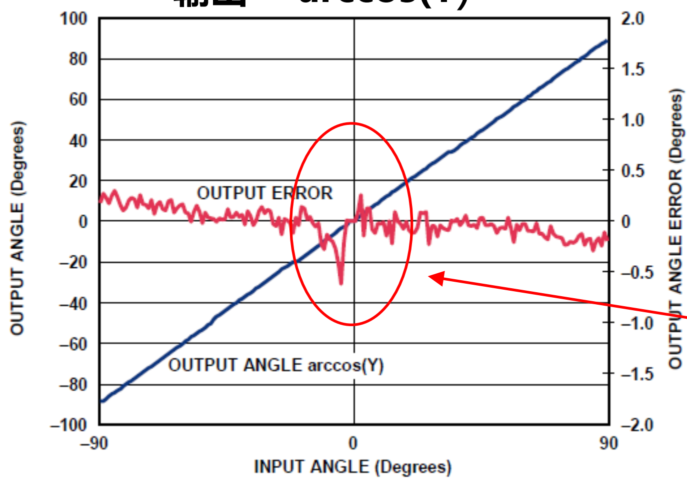
# 计算arcsin(X)、arccos(Y)和arctan(X/Y)的输出误差

输出 = arcsin(X)



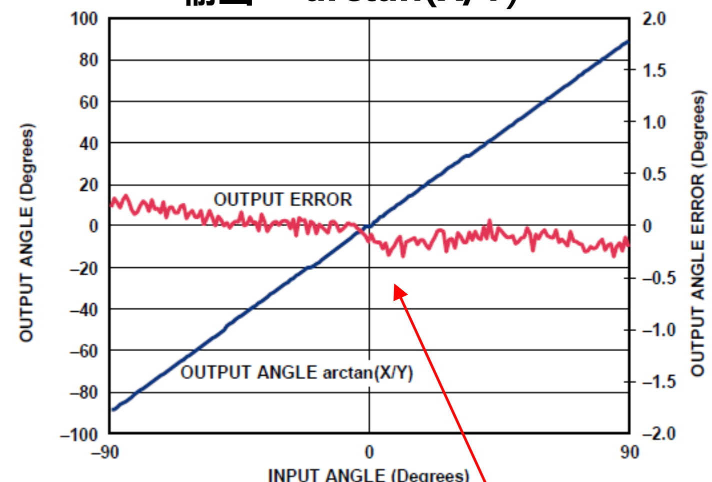

±90°时误差增加

输出 = arccos(Y)



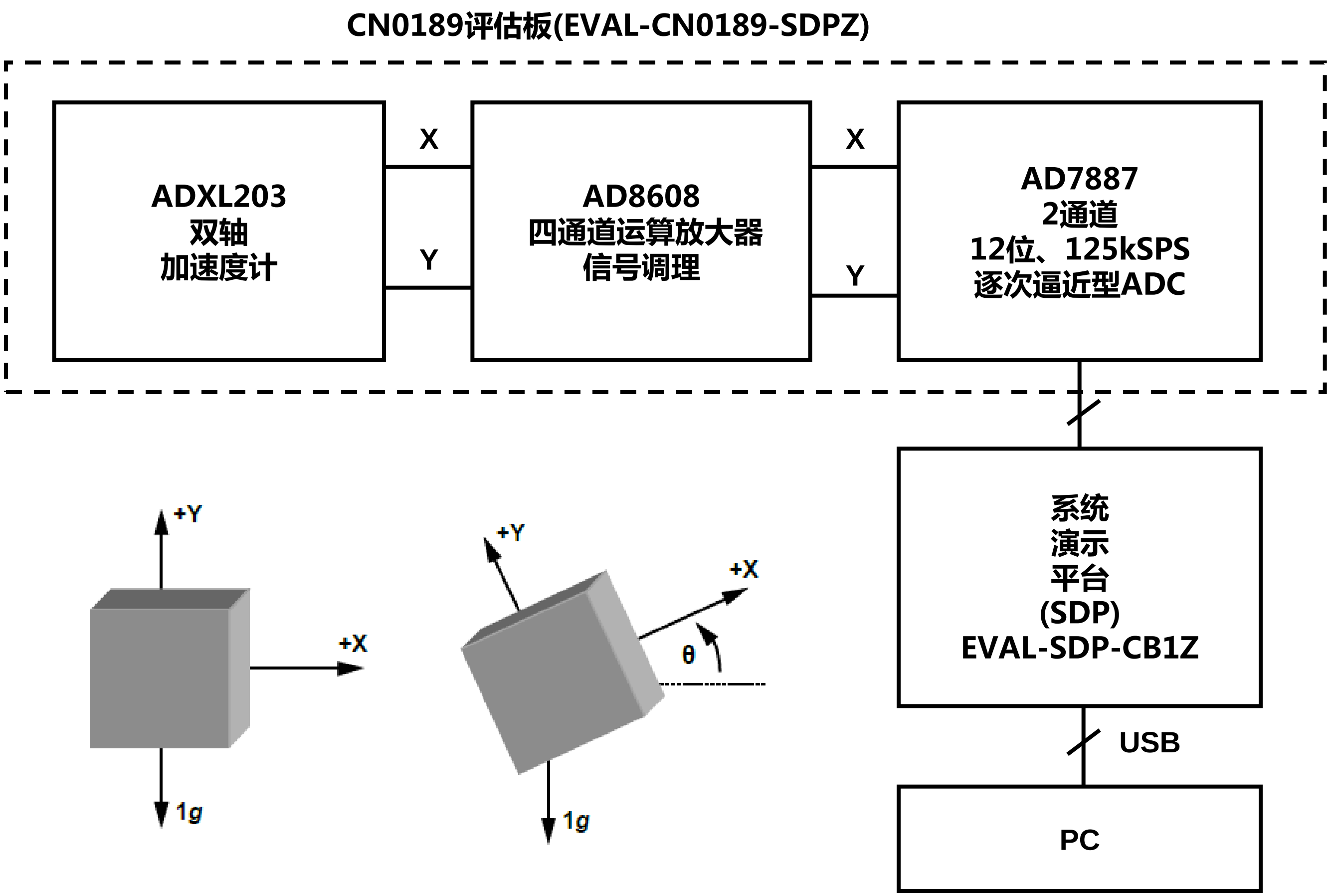

0°时误差增加

输出 = arctan(X/Y)



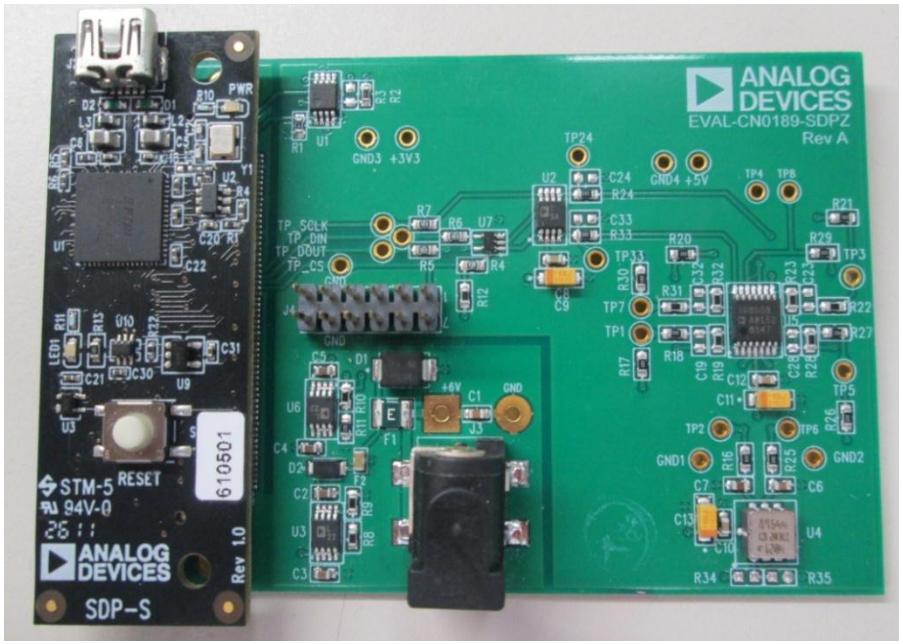

误差呈均匀分布

# 使用双轴加速度计进行倾斜测量（CN0189功能框图）

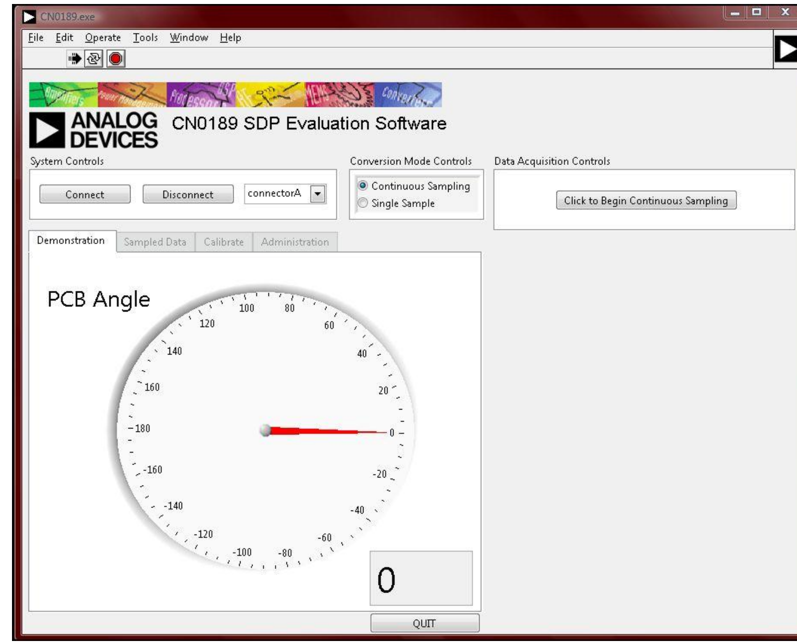


# CN0189双轴倾斜测量硬件和演示软件

**SDP-S板**　　**EVAL-CN0189-SDPZ**　　**软件输出显示**




**电源连接器**




- **完整的设计文件**
  - 原理图
  - 物料清单
  - PAD布局
  - Gerber文件
  - 装配图

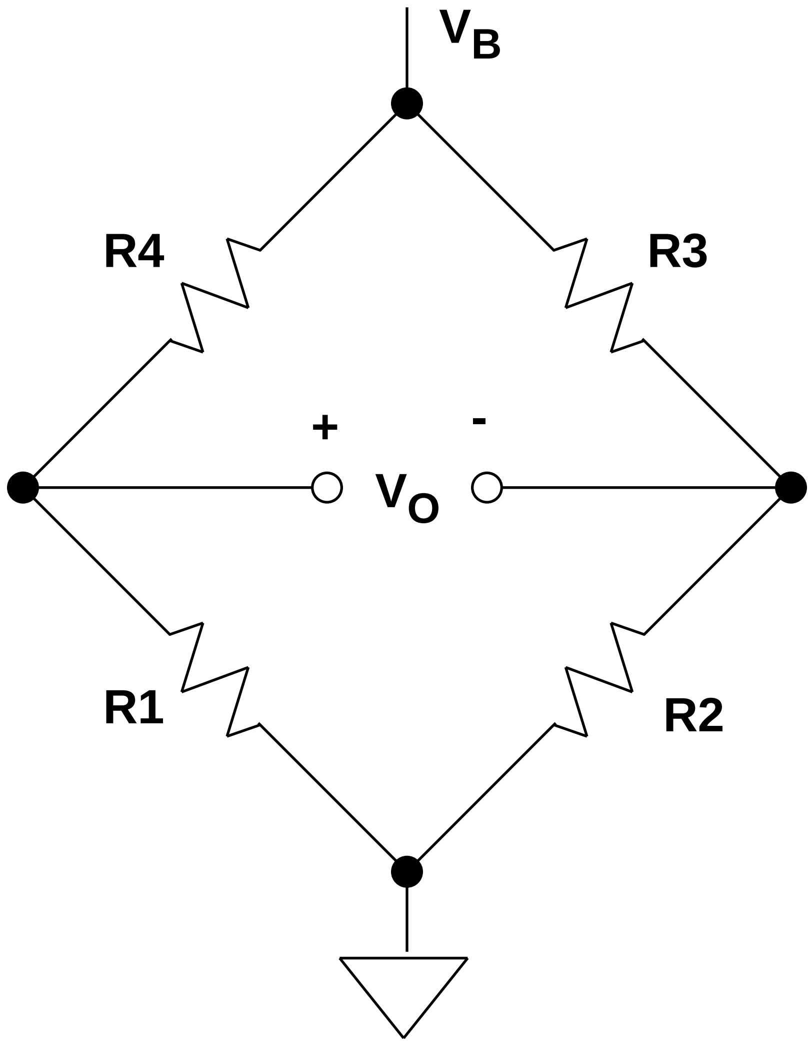
# 精密称量传感器（电子秤）

- 惠斯登电桥解决方案
- 低电平信号调理面临的问题
- 相对于信号电压，共模电压较高
- 电子秤系统要求
- 了解无噪声代码分辨率
- ΣΔ ADC与SAR ADC
- 高性能仪表放大器解决方案(CN0216)
- 高分辨率ΣΔ集成解决方案(CN0102)

# 基于电阻的传感器示例

| | |
|---|---|
| ▶ 应变计 | 120 Ω, 350 Ω, 3500 Ω |
| ▶ 电子秤称重传感器 | 350 Ω至3500 Ω |
| ▶ 压力传感器 | 350 Ω至3500 Ω |
| ▶ 相对湿度 | 100 kΩ至10 MΩ |
| ▶ 电阻温度测量器(RTD) | 100 Ω, 1000 Ω |
| ▶ 热敏电阻 | 100 Ω 至 10 MΩ |

# 面向精密电阻测量的惠斯登电桥



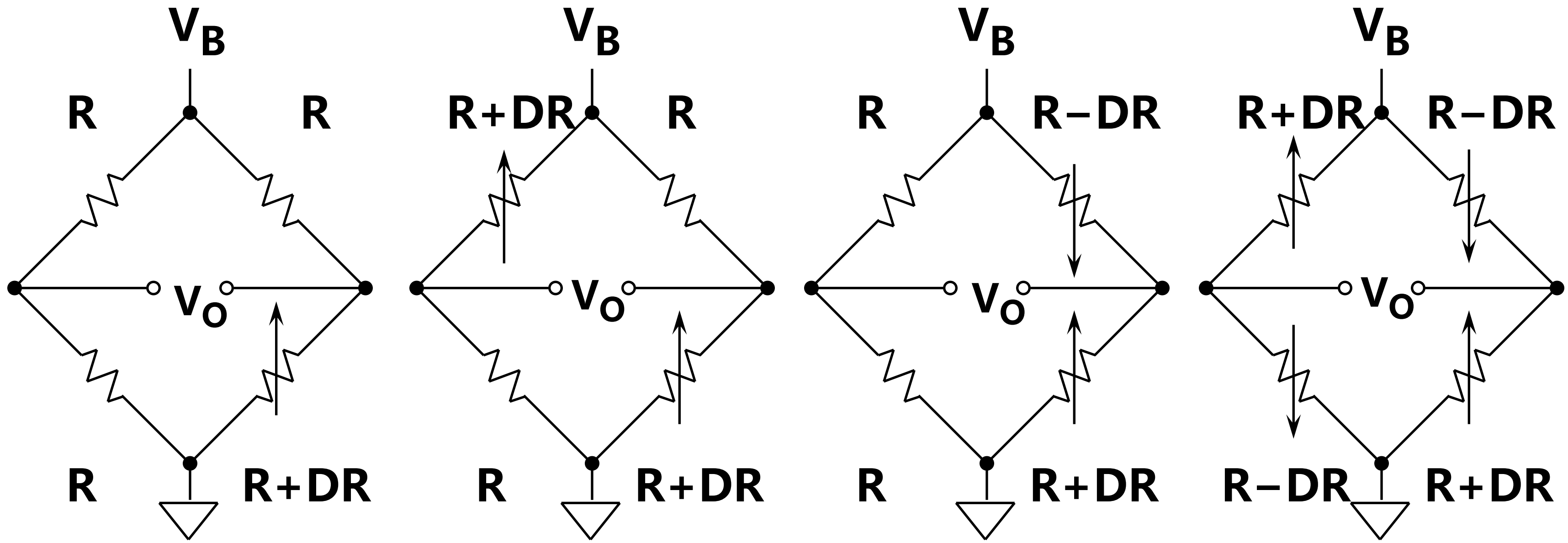

$$V_O = \frac{R1}{R1+R4}V_B - \frac{R2}{R2+R3}V_B$$

$$= \frac{\frac{R1}{R4}-\frac{R2}{R3}}{\left(1+\frac{R1}{R4}\right)\left(1+\frac{R2}{R3}\right)}V_B$$

均衡条件下，

$$V_O = 0 \quad \text{IF} \quad \frac{R1}{R4} = \frac{R2}{R3}$$

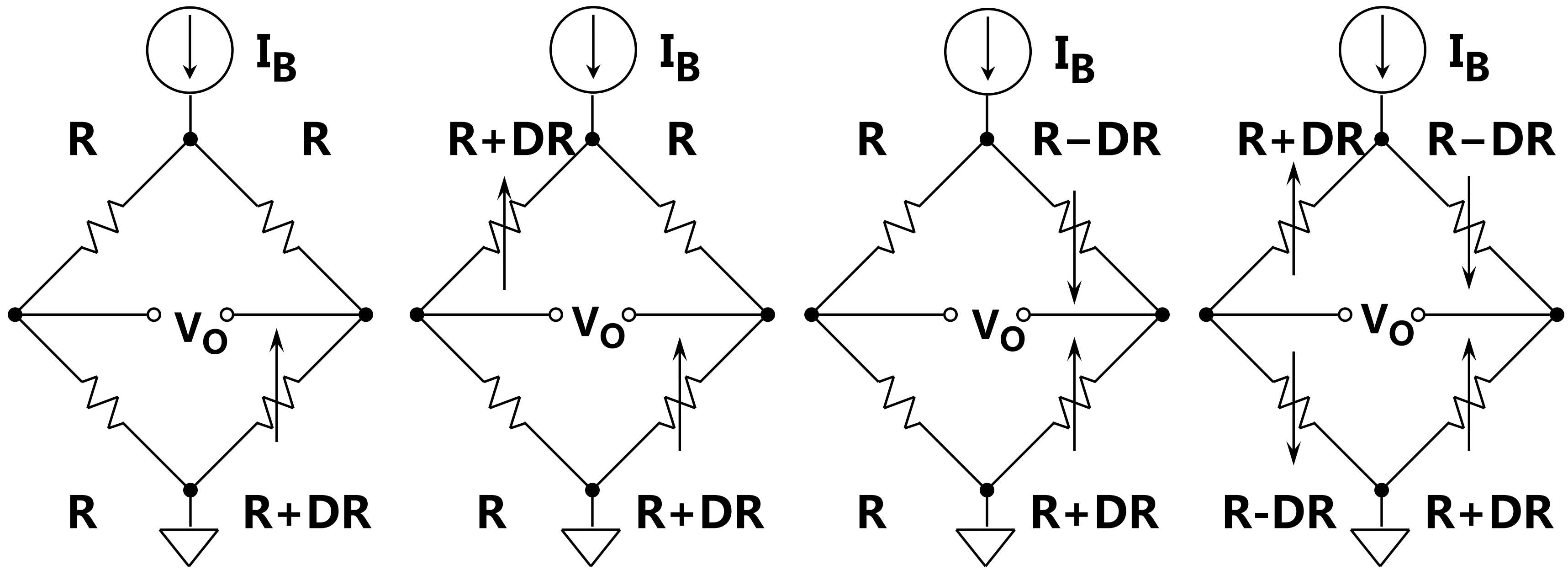
# 恒压驱动电桥的输出电压和线性度误差




| | (A)单个元件变化 | (B)两个元件变化(1) | (C)两个元件变化(2) | (D)全部元件变化 |
|---|---|---|---|---|
| $V_O$: | $\frac{V_B}{4}\left[\frac{DR}{R+\frac{DR}{2}}\right]$ | $\frac{V_B}{2}\left[\frac{DR}{R+\frac{DR}{2}}\right]$ | $\frac{V_B}{2}\left[\frac{DR}{R}\right]$ | $V_B\left[\frac{DR}{R}\right]$ |
| 线性度错误： | 0.5%/% | 0.5%/% | 0 | 0 |

## 恒流驱动电桥的输出电压和线性度误差

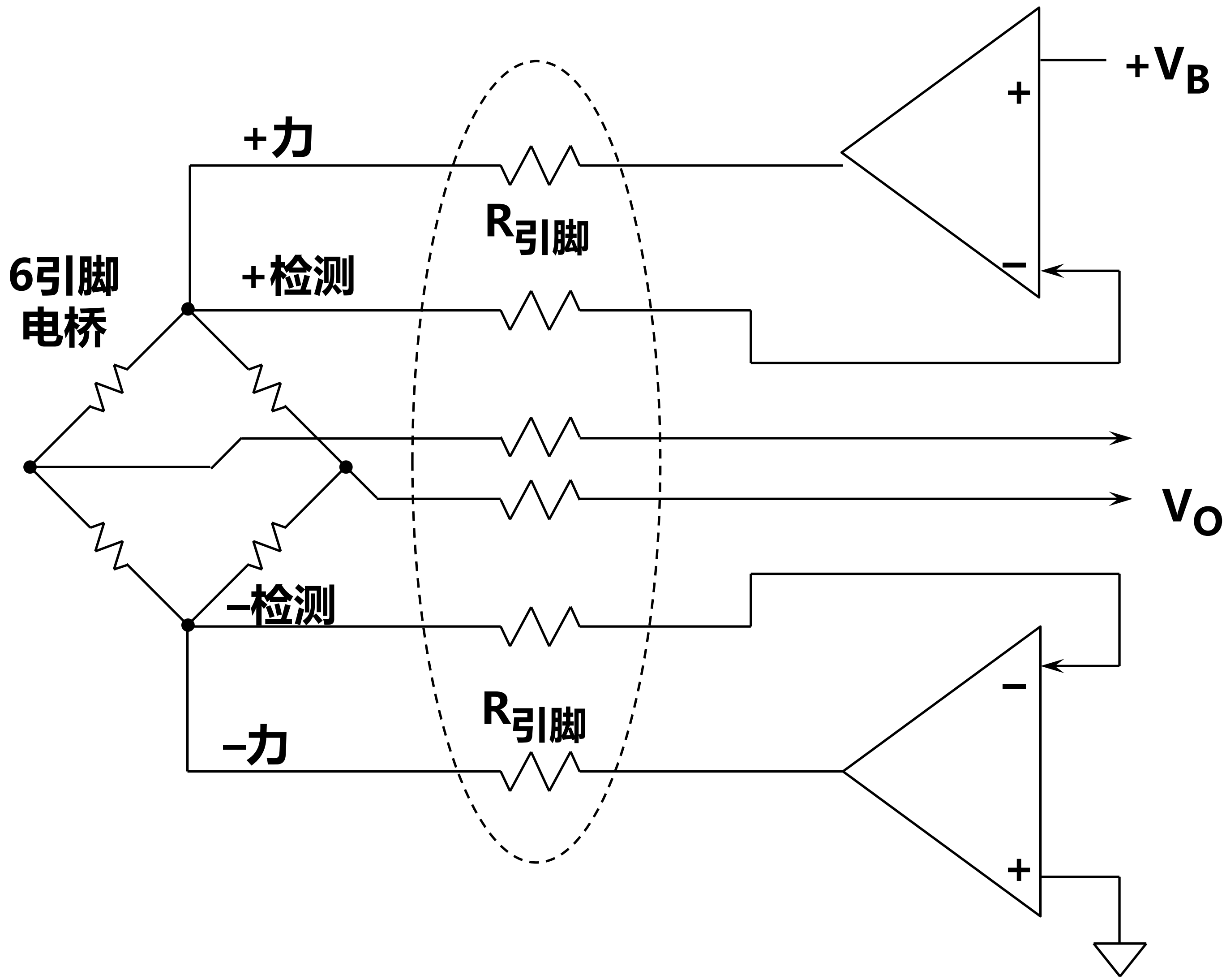




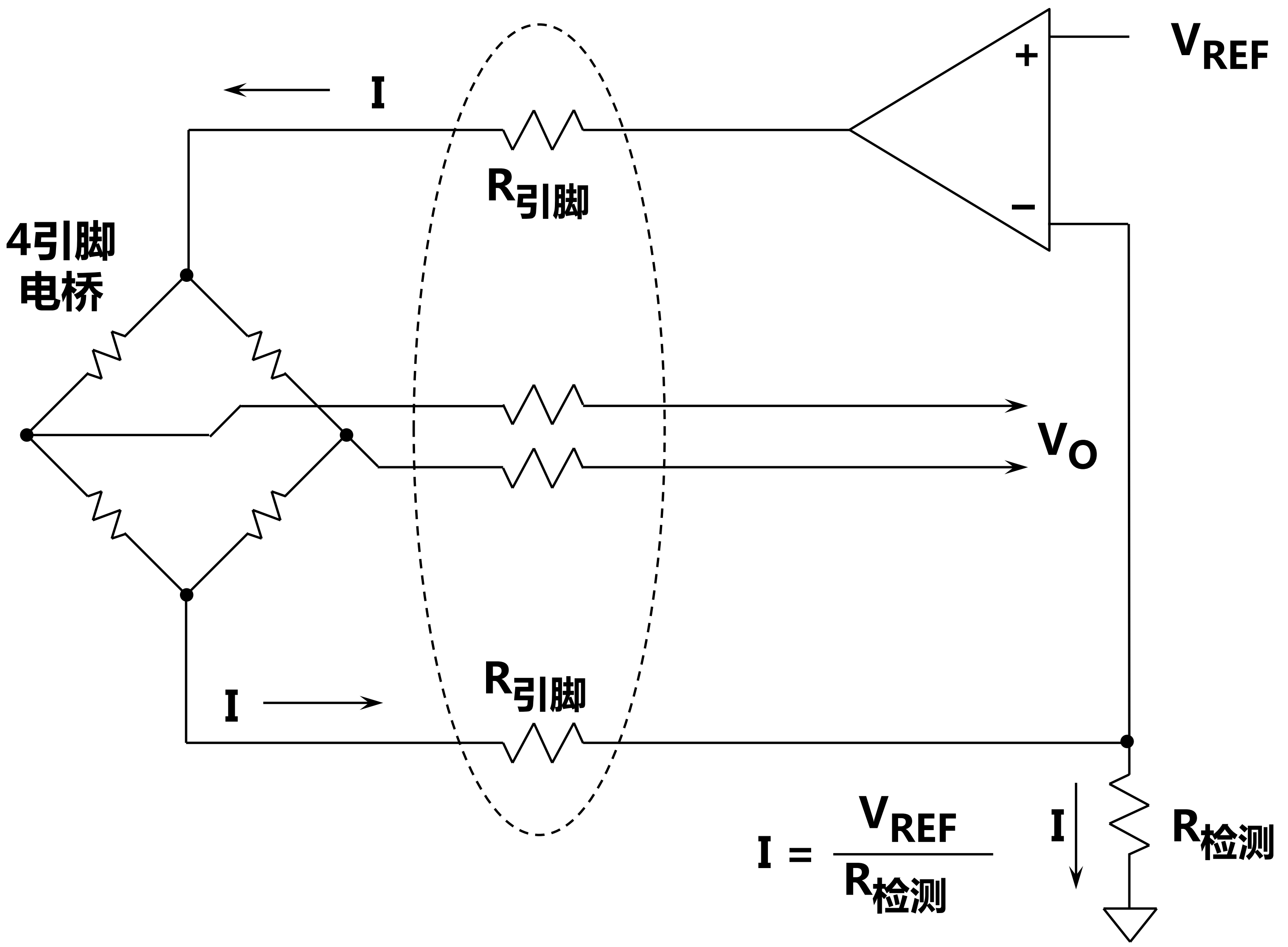

| | (A)单个元件变化 | (B)两个元件变化(1) | (C)两个元件变化(2) | (D)全部元件变化 |
|---|---|---|---|---|
| $V_O$: | $\frac{I_B R}{4}\left[\frac{DR}{R+\frac{DR}{4}}\right]$ | $\frac{I_B}{2}\left[DR\right]$ | $\frac{I_B}{2}\left[DR\right]$ | $I_B\left[DR\right]$ |
| 线性度错误： | 0.25%/% | 0 | 0 | 0 |

# 开尔文（4线）检测技术可减少因电压激励中引脚电阻而产生的误差





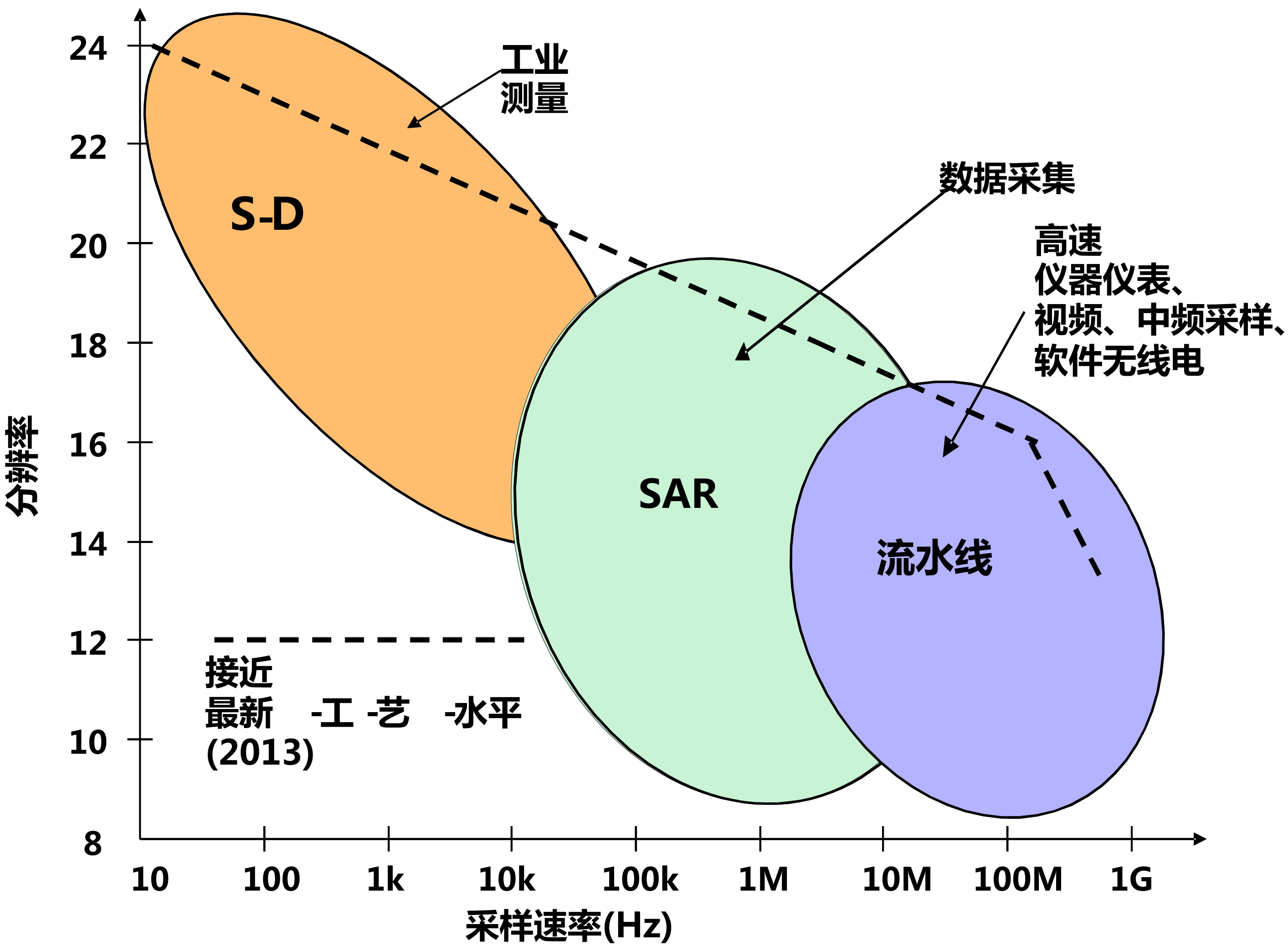
# 恒流激励也可减少线路电阻误差




$$I = \frac{V_{REF}}{R_{检测}}$$

# ADC架构、应用、分辨率、采样速率

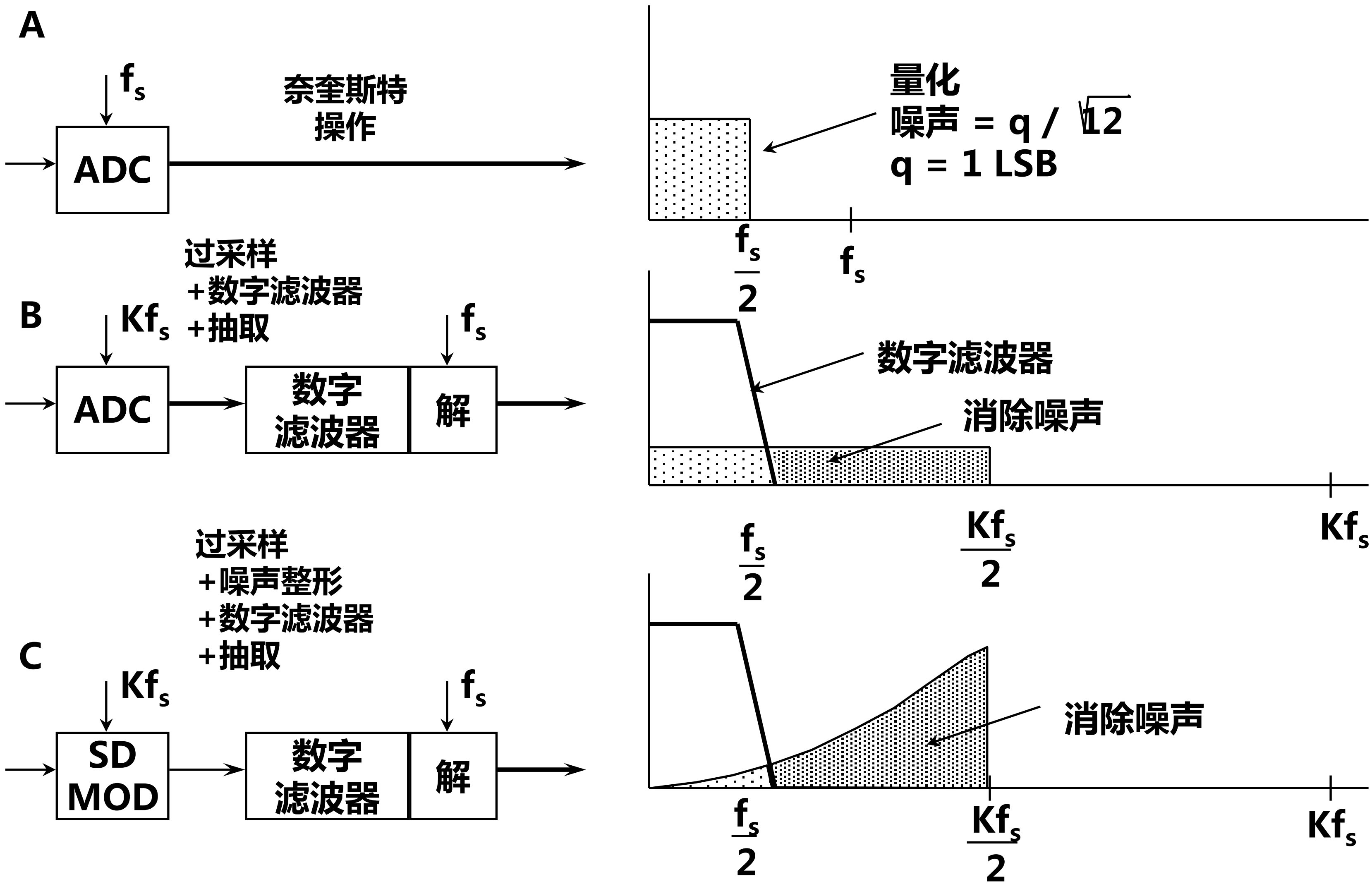




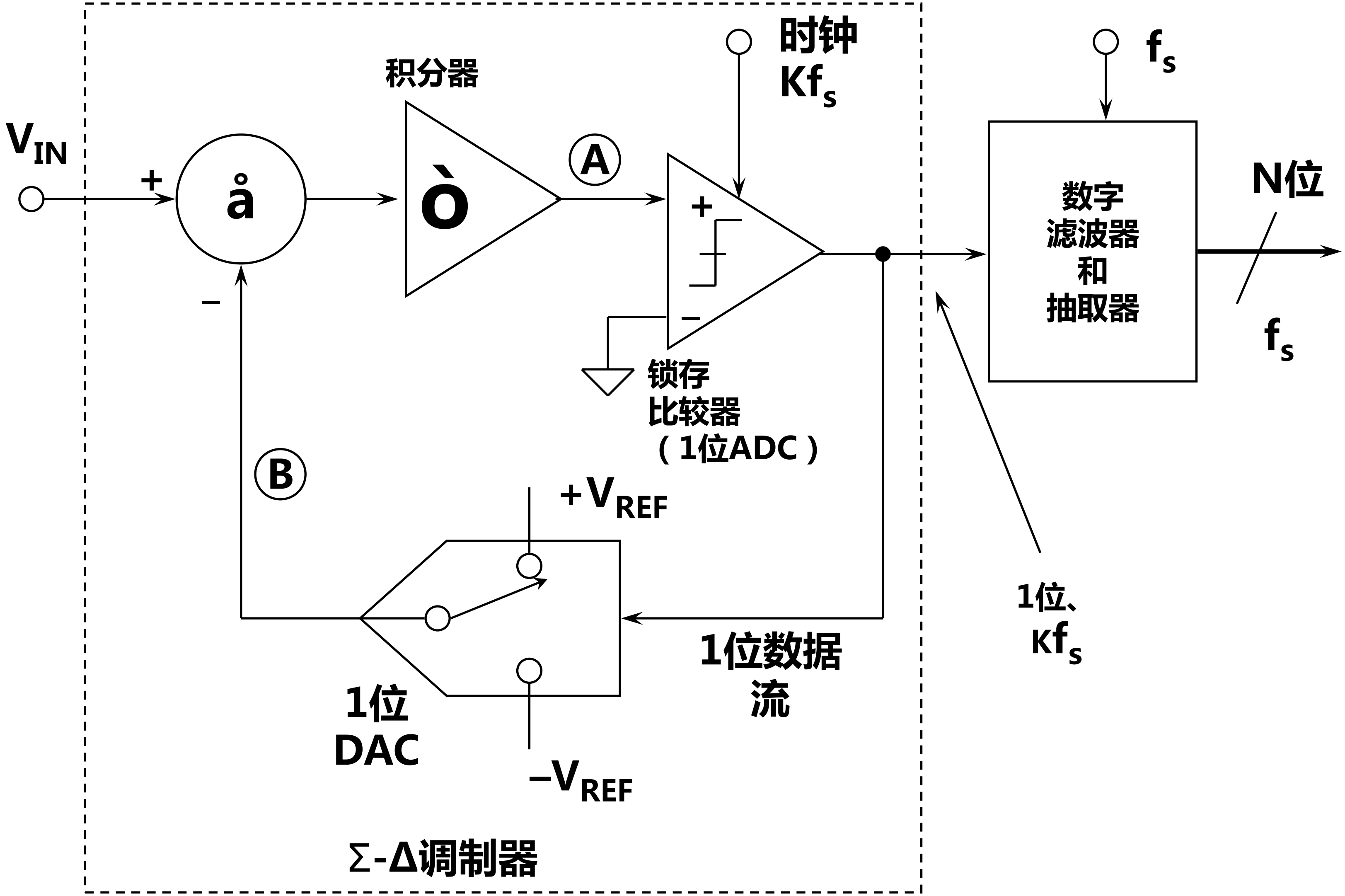
# SAR与Σ-Δ比较

- **逐次逼近(SAR)**
  - 快速建立时间，是多路复用应用的理想选择
  - 转换结束后数据立即可用（无“流水线”延迟）
  - 易于使用（编程工作量极小）
  - 要求外部仪表放大器
  - 有1/f噪声（需要大量外部滤波）
  - 模拟滤波器可能很难
- **Σ-Δ**
  - 数字滤波器会限制建立时间
  - 使用更难（需要一定的编程工作）
  - 部分有内部PGA
  - 部分有斩波（消除1/f噪声）
  - 内部数字滤波器（消除电源线路噪声）
  - 过采样可降低对模拟滤波器的要求

# Σ-Δ概念：过采样、数字滤波、噪声整形和抽取



# 一阶Σ-Δ型ADC



积分器
时钟
Kfs
fs
VIN
+
å
ò
A
+
–
数字
滤波器
和
抽取器
N位
fs
锁存
比较器
（1位ADC）
B
+VREF
1位、
Kfs
1位数据
流
1位
DAC
–VREF
Σ-Δ调制器

# Σ-Δ ADC架构的优势



- **高分辨率**
  - 24位无失码
  - 22位有效分辨率(RMS)
  - 19位无噪声代码分辨率（峰峰值）
  - 片内PGA
- **高精度**
  - 积分非线性(INL)：2 ppm，满量程~ 1 LSB，19位
  - 增益漂移：0.5ppm/°C
- **数字化程度高，模拟程度低**
  - 速度×与分辨率之间实现可编程均衡
- **过采样和数字滤波**
  - 50 Hz/60 Hz抑制
  - 高过采样速率简化抗混叠滤波器
- **宽动态范围**
- **低成本**

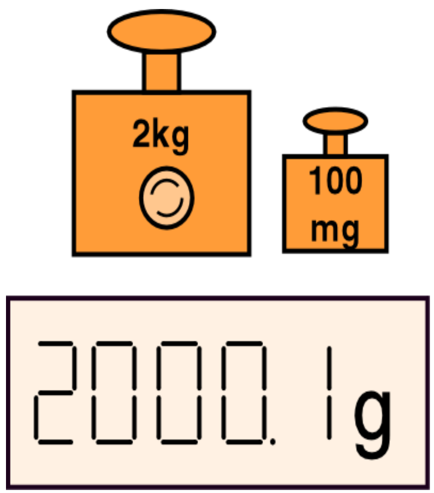
# 高分辨率Σ-Δ ADC的典型应用

- **过程控制**
  - 4 mA至20 mA
- **传感器**
  - 电子秤
  - 压力
  - 温度
- **仪器仪表**
  - 气体监测
  - 便携式仪器仪表
  - 医疗仪器

电子秤

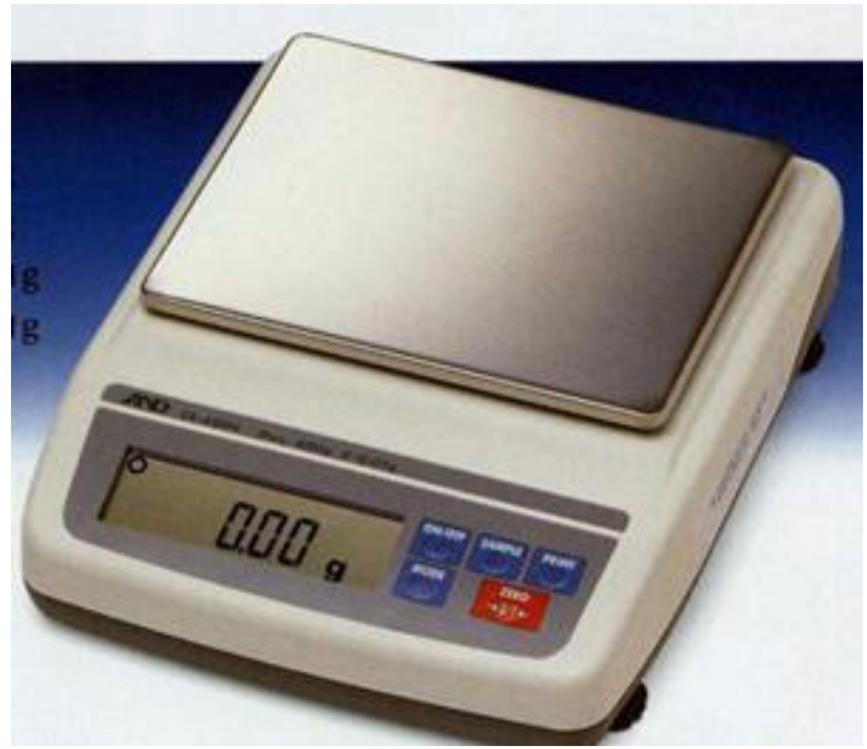
# 精密电子秤—工业和高精度商业

- 实验室电子秤
- 过程控制
  - 漏斗秤
  - 皮带秤
- 存货控制
  - 计数秤
- 零售秤




# 电子秤产品定义

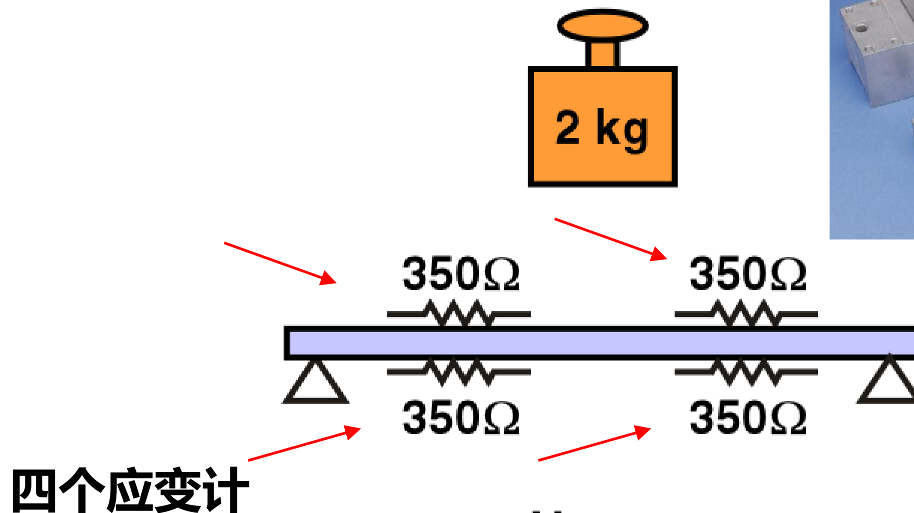
- **称量 2 kg**
- **灵敏度 0.1 g**
- **其它特性**
  - 精度：0.1 %
  - 线性度： ±0.1 g
  - 温度漂移：(±20 ppm，10°C ~ 30°C)
  - 数据速率：5 Hz至10 Hz
  - 电源：120 V AC
  - 尺寸：7.5” × 8.6” × 2.6”
  - 认证（“符合交易”）

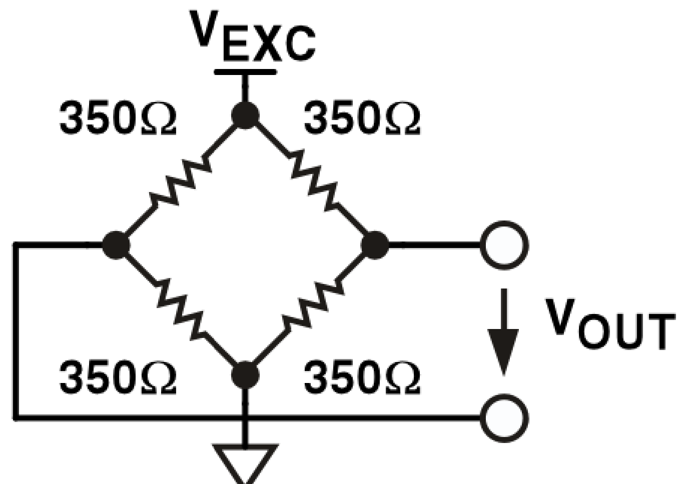


# Tedea Huntleigh
# 505H-0002-F070称重传感器的特性

- **满负载　　2 kg**
- **灵敏度　　2 mV/V**
- **激励　　　5 V**

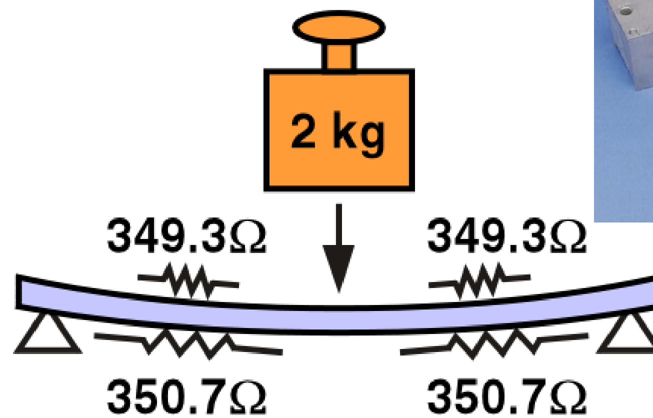
- **其它特性**
  - 阻抗：350 W
  - 总误差：0.025%
  - 迟滞：0.025%
  - 可重复性：0.01
  - 温度漂移：10 ppm/°C
  - 过载：150%

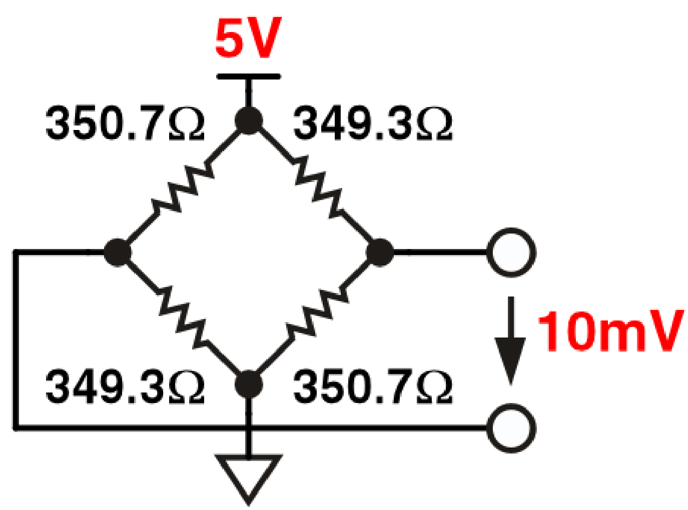



# Tedea Huntleigh
# 505H-0002-F070称重传感器的特性

- **满负载　2 kg**
- **灵敏度　2 mV/V**
- **激励　　5 V**
  - $V_{FS} = V_{EXC} \times$ 灵敏度
  - $V_{FS} = 5\ \text{V} \times 2\ \text{mV/V} = 10\ \text{mV}$
  - $V_{CM} = 2.5\ \text{V}$
- **满量程电压　10 mV**
- **与激励成比例**
  - **“比率”**



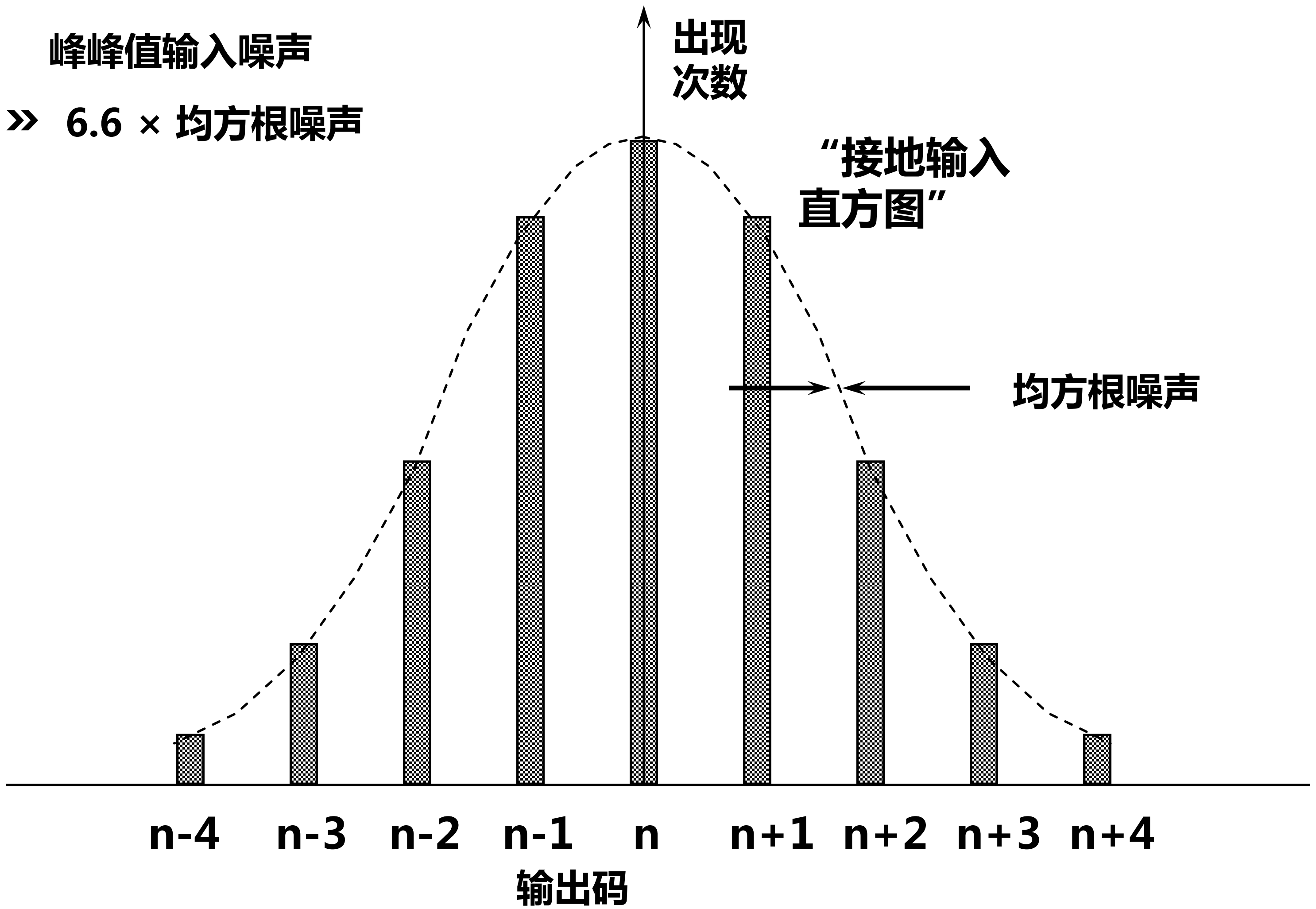



# ADC的等效输入噪声决定“无噪声代码分辨率”



峰峰值输入噪声

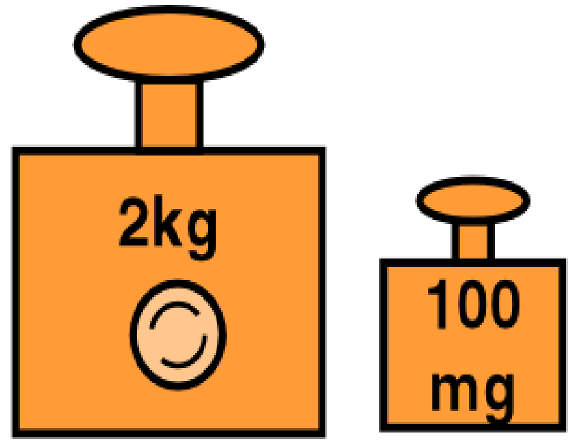
» 6.6 × 均方根噪声

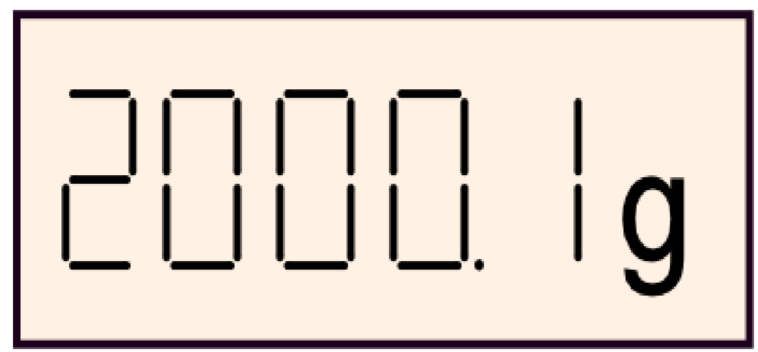


# 性能要求 – 分辨率



- **要求：0.1 g，2 kg**
  - 无噪声计数次数 = 满量程/峰峰值噪声（单位：g）
  - 无噪声计数次数 = 2000 g/0.1 g = 20,000
- 20,000次
  - $V_{FS}$ = 10 mV（5 V激励）
  - $V_{峰峰值噪声} < V_{FS}/次数$
  - $V_{峰峰值噪声}$ < 10 mV/20,000 = 0.0005 mV
- 0.5 µV 峰峰值噪声
  - $V_{均方根噪声} \approx V_{峰峰值噪声}/6.6$
  - $V_{均方根噪声} \approx$ 0.5 µV/6.6 = 0.075 µV
- 75 nV均方根噪声
  - 无噪声位数 = $\log_2(V_{FS}/V_{峰峰值噪声})$
  - 无噪声位数 = $\log_{10}(V_{FS}/V_{峰峰值噪声}) / \log_{10}(2)$
  - 无噪声位数 = $\log_{10}$(10 mV/0.0005 mV)/0.3
  - 无噪声位数 = 14.3（最小值）
- 14.3位峰峰值（范围：10 mV）：
  - 均方根位数 = $\log_{10}(V_{FS}/V_{均方根噪声})/\log_{10}(2)$
  - 均方根位数= $\log_{10}$( 10 mV/0.000075)/0.3
- 17.0位均方根，电压范围：10 mV



# “无噪声”代码分辨率和“有效”分辨率的定义

- $$\text{有效分辨率} = \log_2\left[\frac{\text{满量程范围}}{\text{均方根噪声}}\right]\text{位}$$

- $$\text{无噪声代码分辨率} = \log_2\left[\frac{\text{满量程范围}}{\text{峰峰值噪声}}\right]\text{位}$$

$$\text{峰峰值噪声} = 6.6 \times \text{均方根噪声}$$

- $$\text{无噪声代码分辨率} = \log_2\left[\frac{\text{满量程范围}}{6.6 \times \text{均方根噪声}}\right]\text{位}$$

$$= \text{有效分辨率} - 2.72\ \text{位}$$

- $$\log_2(x) = \frac{\log_{10}(x)}{\log_{10}(2)} = \frac{\log_{10}(x)}{0.301}$$

# 基于峰峰值和均方根噪声的分辨率的有关术语

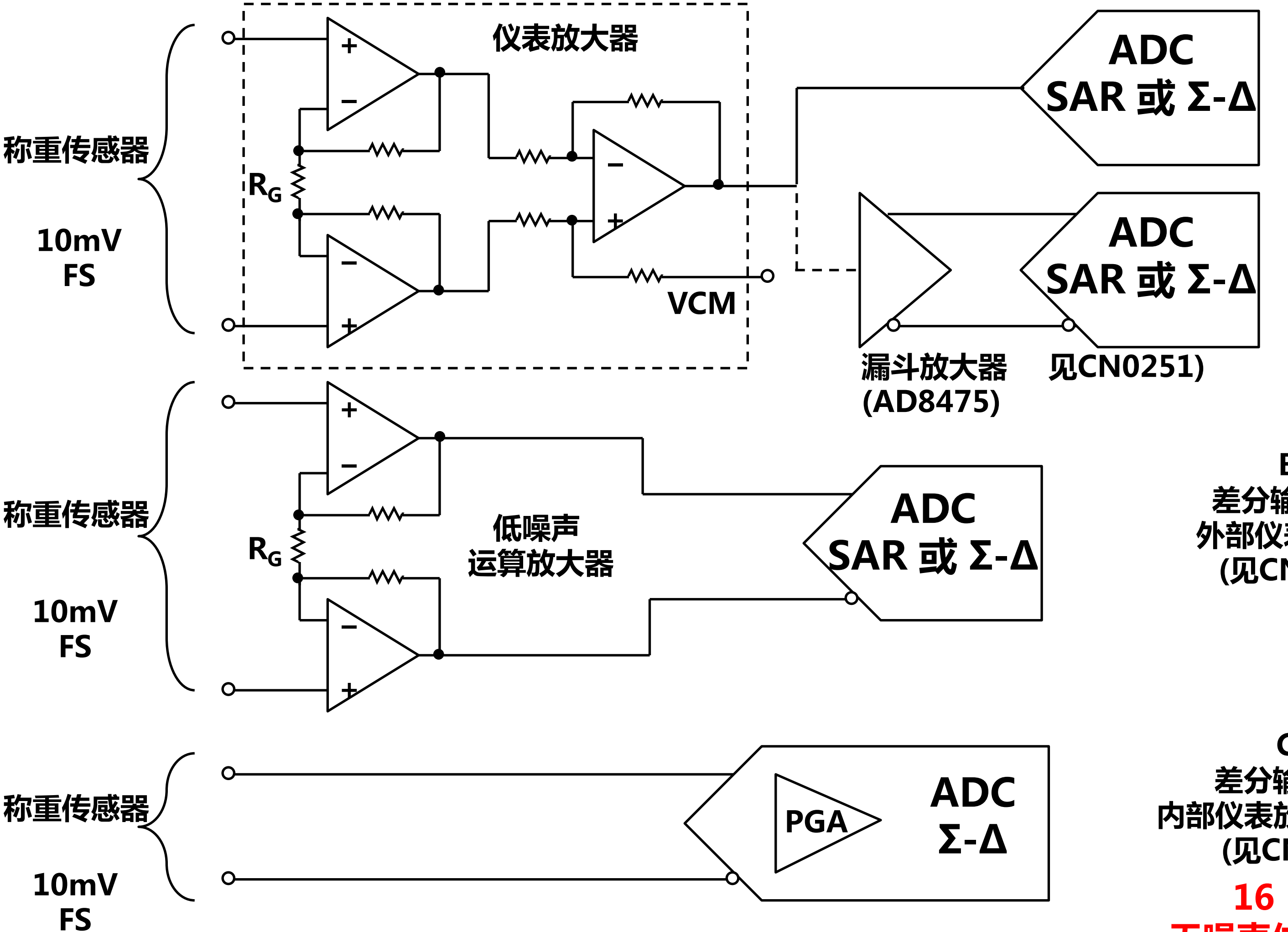
## 峰峰值噪声：

- 无噪声代码分辨率：
- 无噪声位数
- 无跳动位数
- 峰峰值分辨率

## 均方根(RMS)噪声：

- 有效分辨率
- 均方根分辨率
- 术语“有效位数”(ENOB)适用于具有正弦波输入的高速ADC：
  $ENOB = \log_2$（FS正弦波/均方根噪声的均方根值）
  该术语不应与“有效分辨率”相混淆

# 调理称重传感器输出选项




~12
无噪声位数
对于10mV FS

A：
外部仪表放大器

~12
无噪声位数
对于10mV FS

B：
差分输入ADC
外部仪表放大器
(见CN0216)

15
无噪声位数
对于10mV FS

C：
差分输入ADC
内部仪表放大器或PGA
(见CN0102)

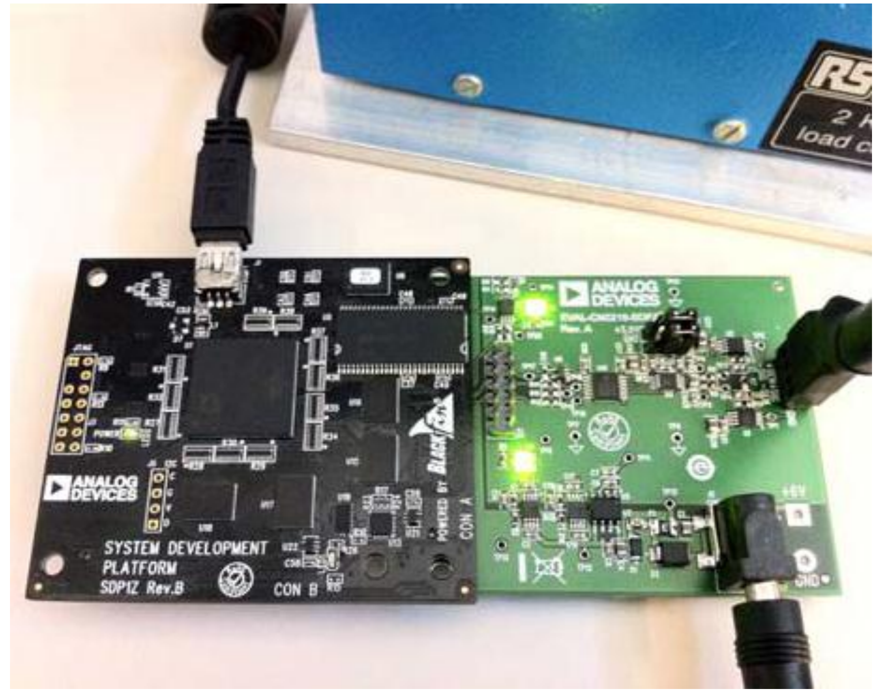
16
无噪声位数
对于10mV FS

# CN0216：以差分输入ADC和外部仪表放大器实现称重传感器信号调理

## 电路特性
- 375低噪声仪表放大器的增益
- 15.3无噪声分辨率的位数

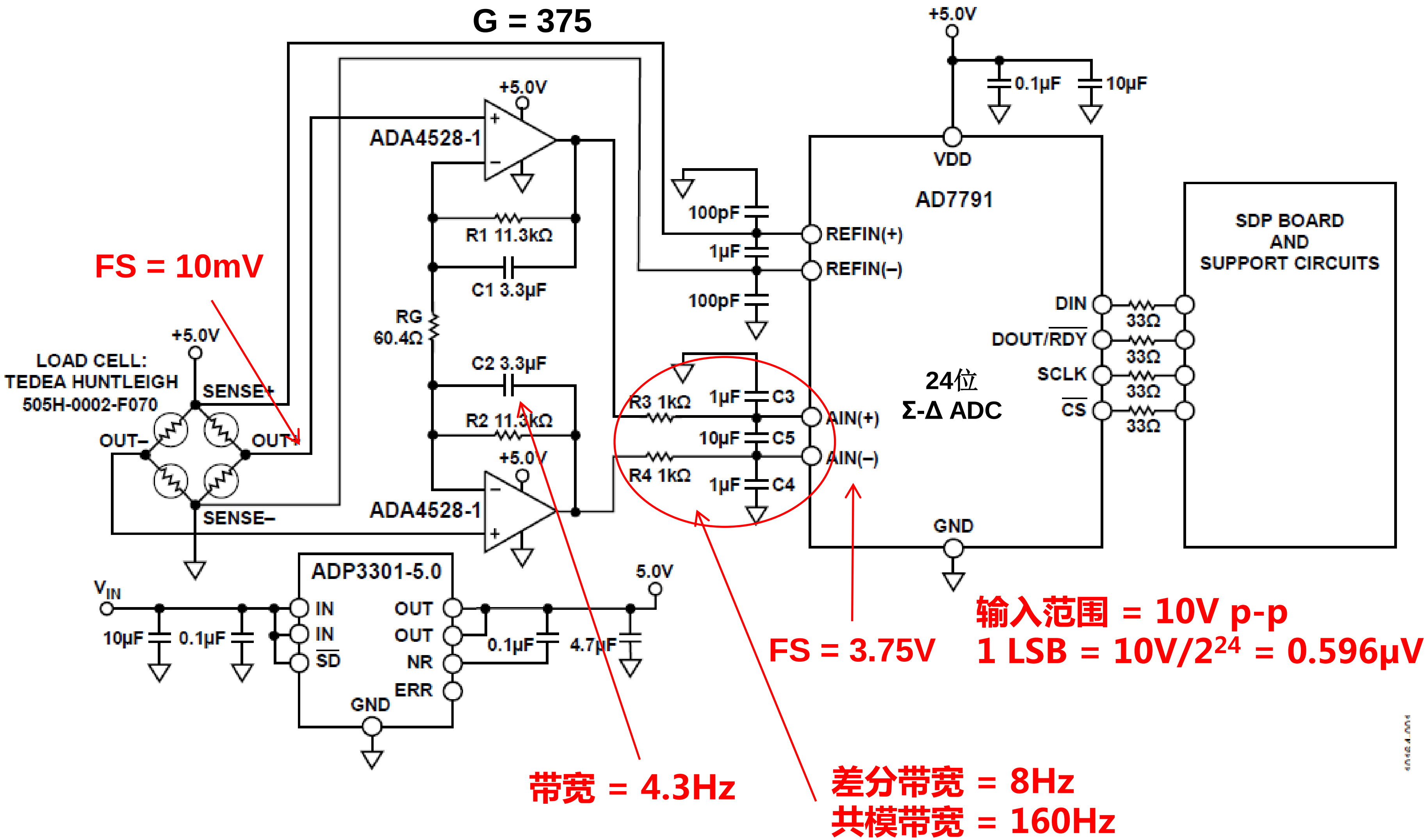
## 电路优势
- 精密称重传感器调理
- 零漂移仪表放大器
- +5 V单电源供电

## 输入
- 10 mV满量程

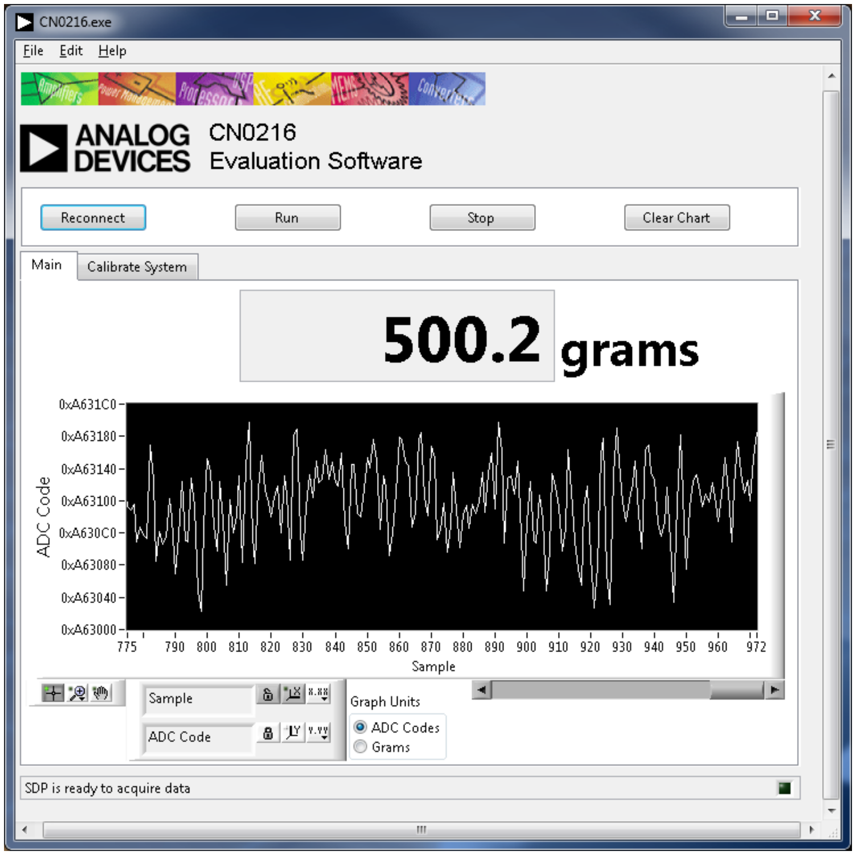



| 目标应用 | 使用的主要器件 | 接口/连接 |
|---|---|---|
| 称重传感器<br>电子秤 | AD7791<br>ADA4528-1<br>ADP3301 | SPI (AD7791)<br>SDP (EVAL-CN0216-SDPZ)<br>USB (EVAL-SDP-CB1Z) |

# CN0216：以差分输入ADC和外部仪表放大器实现称重传感器调理



# CN0216噪声性能



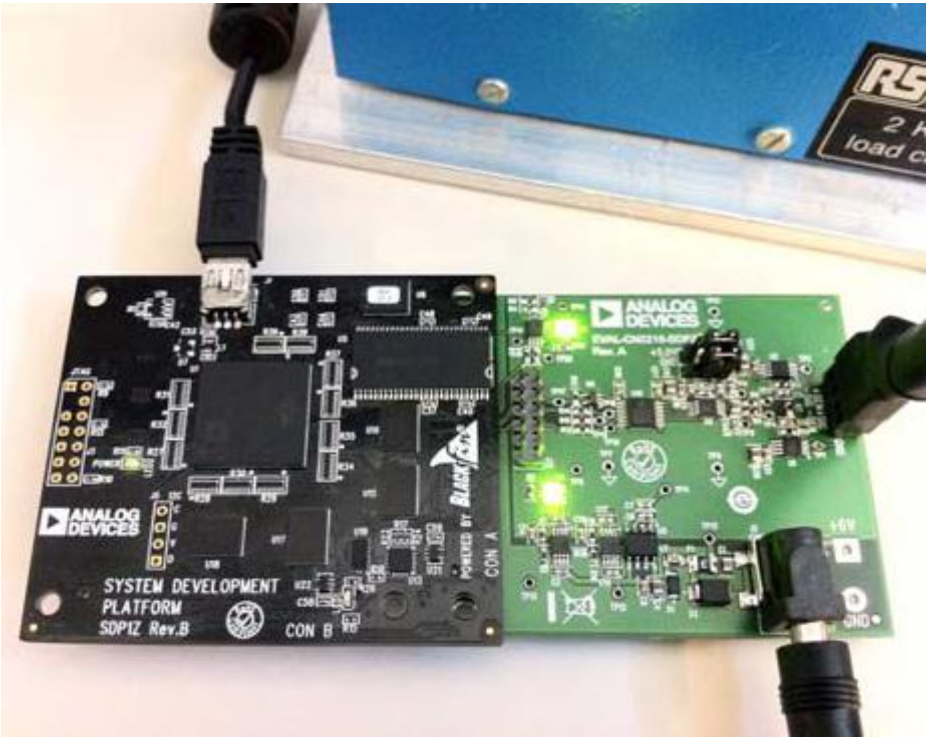

- 数据速率 = 9.5 Hz
- $V_{峰峰值噪声}$ = 159次 × 0.596 μV = 94.8 μV
- $V_{FS}$ = 3.75 V
- 无噪声数 = $V_{FS}$ / $V_{峰峰值噪声}$

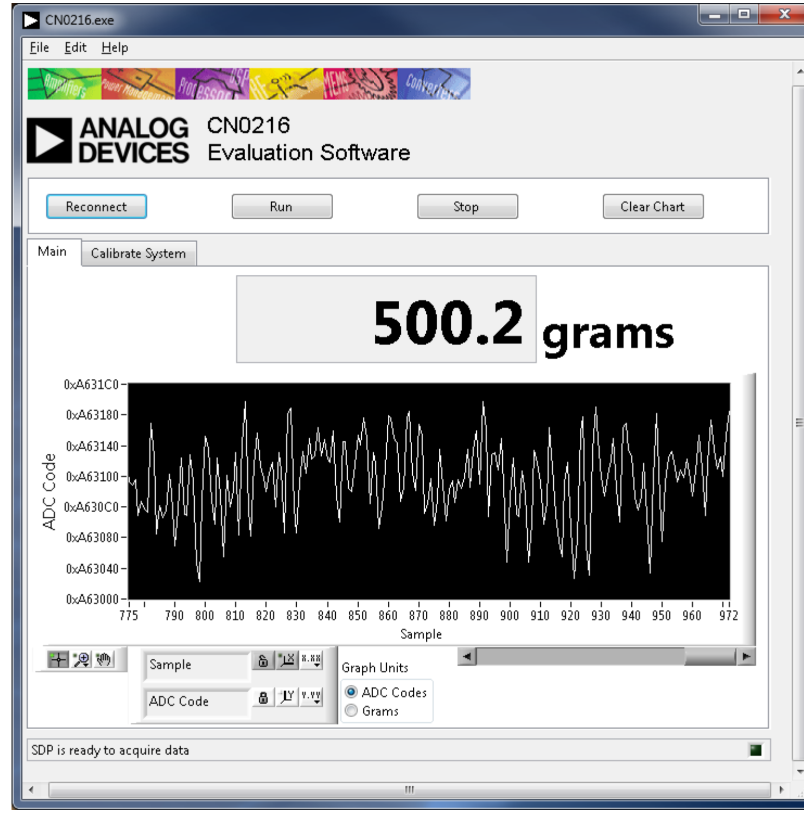
  = 3.75 V/94.8 μV

  = 39,557
- 无噪声位数 = $\log_2(39{,}557)$

  = 15.3 位

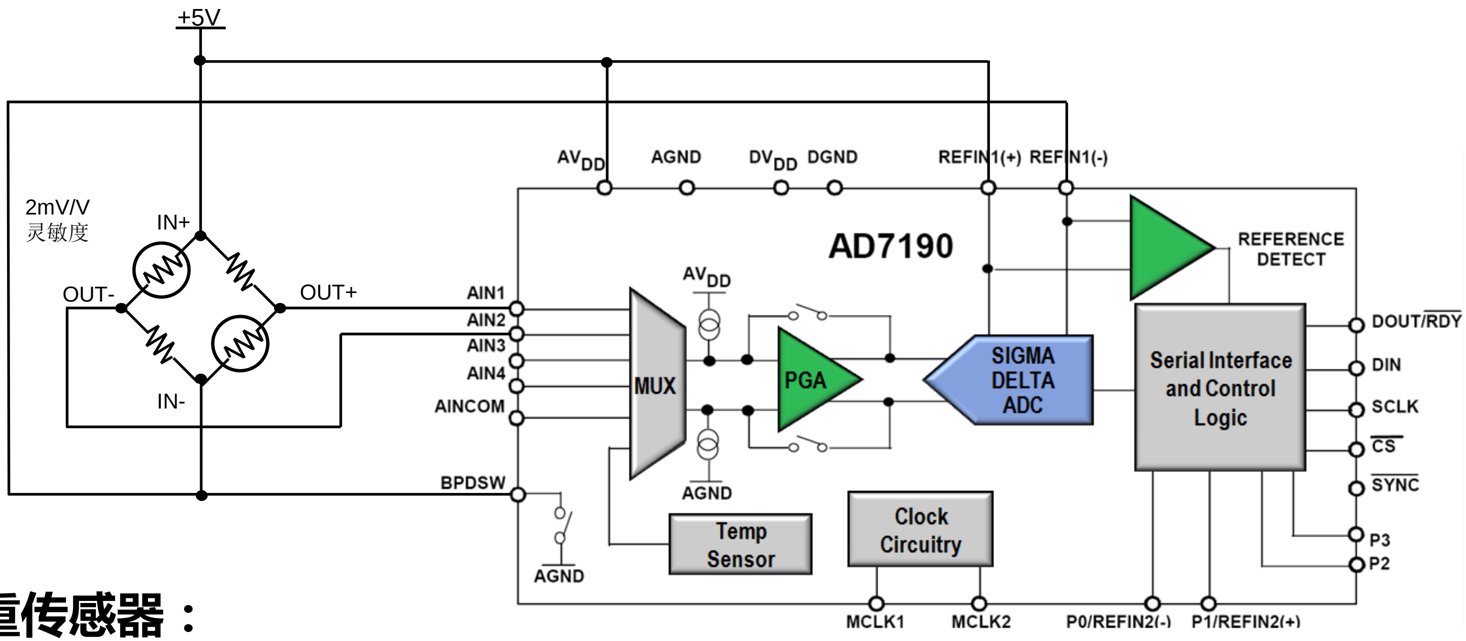
# CN0216评估板和软件




- **完整的设计文件**
  - 原理图
  - 物料清单
  - PAD布局
  - Gerber文件
  - 装配图

# AD7190，24位Σ-Δ ADC：带比率处理的电子秤




- **称重传感器：**
  - 2 mV/V（典型值）=> +5 V激励，来自称重传感器的满量程信号 = 10 mV。
- **AD7190**
  - VREF = 5 V，增益 = 128，满量程信号 = ±40 mV (80 mV峰峰值)。
  - 12.5%的范围被称重传感器信号使用(10 mV ÷ 80 mV = 0.125)。
  - The 称重传感器有失调(~50%)和满量程误差(~±20%)。AD7190较宽的范围可以避免失调和满量程误差使AD7190过载。
  - 因为使用比率运算则无需外部基准电压源。

# AD7190 Σ-Δ系统片内特性

- **模拟输入缓冲选项**
  - 驱动Σ-Δ调制器，降低动态输入电流
- **差分AIN、REFIN**
  - 比率配置消除了精确基准电压源的必要性
- **多路复用器**
- **PGA**
- **校准**
  - 自校准、系统校准、自动校准
- **斩波选项**
  - 无失调和失调漂移
  - 减少寄生热电偶的影响

# CN0102：精密电子秤系统

## 电路特性
- 搭载PGA的集成式解决方案
- 16.8无噪声位

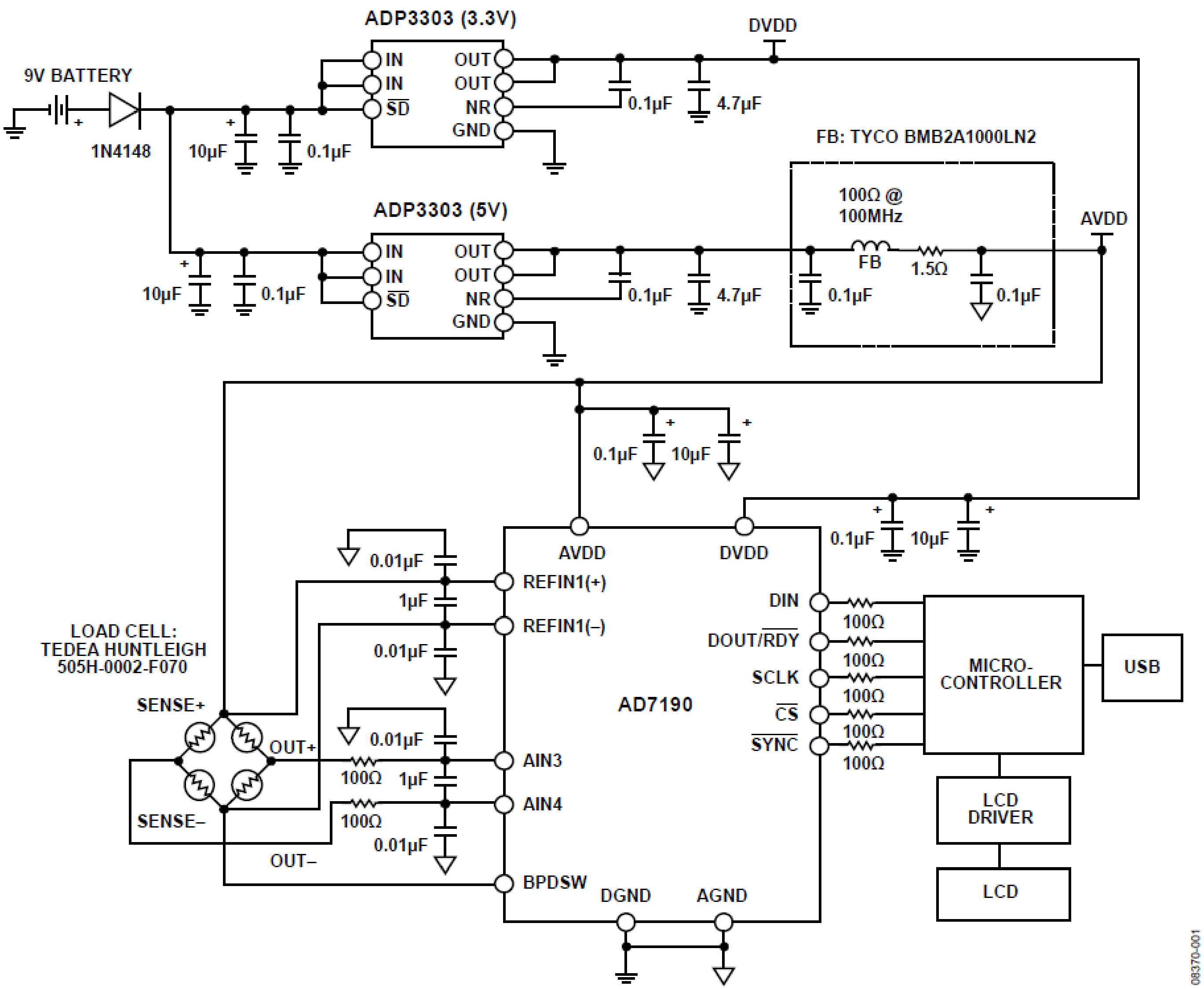
## 电路优势
- 单电源
- 针对电子秤而优化

## 输入
- 10 mV满量程


| 目标应用 | 使用的主要器件 | 接口/连接 |
|---|---|---|
| 电子秤<br>称重传感器 | AD7190<br>ADP3303 | SPI (AD7190)<br>USB (EVAL-AD7190EBZ) |

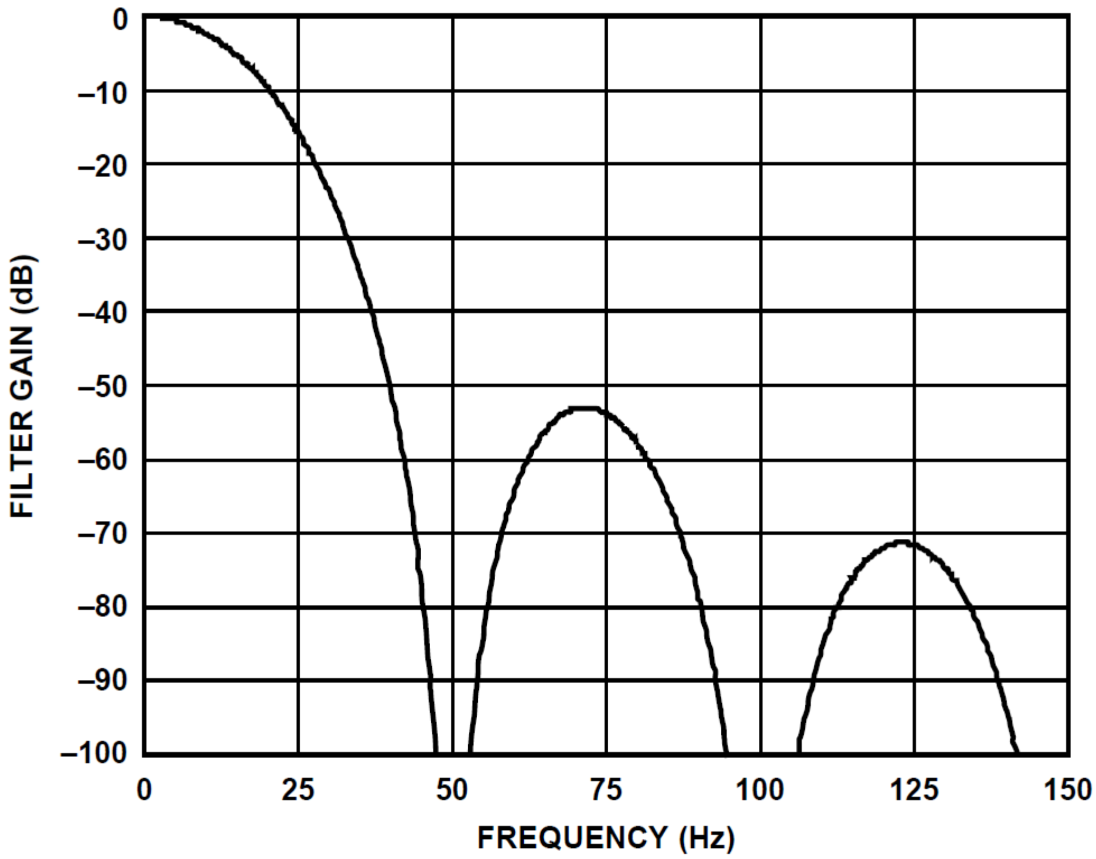
# CN0102精密电子秤系统





# AD7190 Sinc$^4$ 滤波器响应，输出数据速率为50 Hz





# AD7190噪声和分辨率，Sinc⁴滤波器，斩波被禁用

ADI设计峰会 2013

Table 6. RMS Noise (nV) vs. Gain and Output Data Rate

| Filter Word (Decimal) | Output Data Rate (Hz) | Settling Time (ms) | Gain of 1 | Gain of 8 | Gain of 16 | Gain of 32 | Gain of 64 | Gain of 128 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1023 | 4.7 | 852.5 | 250 | 38 | 21 | 12 | 10 | $\boxed{8.5}$ |
| 640 | 7.5 | 533 | 310 | 45 | 25 | 16 | 12 | 10.5 |
| 480 | 10 | 400 | 330 | 50 | 30 | 18 | 14 | 11.5 |
| 96 | 50 | 80 | 900 | 125 | 78 | 45 | 33 | 28 |
| 80 | 60 | 66.7 | 970 | 140 | 88 | 52 | 36 | 31 |
| 32 | 150 | 26.7 | 1460 | 215 | 125 | 75 | 55 | 48 |
| 16 | 300 | 13.3 | 1900 | 285 | 170 | 100 | 75 | 67 |
| 5 | 960 | 4.17 | 3000 | 480 | 280 | 175 | 140 | 121 |
| 2 | 2400 | 1.67 | 5000 | 780 | 440 | 280 | 220 | 198 |
| 1 | 4800 | 0.83 | 14,300 | 1920 | 1000 | 550 | 380 | 295 |

对于G = 128
VREF = 5 V，
FS = 80 mV峰峰值

Table 7. Effective Resolution (Peak-to-Peak Resolution) vs. Gain and Output Data Rate

在80 mV的范围中仅使用10 mV

| Filter Word (Decimal) | Output Data Rate (Hz) | Settling Time (ms) | Gain of 1[1] | Gain of 8[1] | Gain of 16[1] | Gain of 32[1] | Gain of 64[1] | Gain of 128[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1023 | 4.7 | 852.5 | 24 (22.5) | 24 (22) | 24 (22) | 24 (22) | 24 (21) | 23 $\boxed{(20.5)}$ |
| 640 | 7.5 | 533 | 24 (22) | 24 (22) | 24 (22) | 24 (21.5) | 23.5 (21) | 23 (20) |
| 480 | 10 | 400 | 24 (22) | 24 (22) | 24 (21.5) | 24 (21.5) | 23.5 (20.5) | 22.5 (20) |
| 96 | 50 | 80 | 23.5 (20.5) | 23.5 (20.5) | 23 (20) | 22.5 (20) | 22 (19.5) | 21.5 (18.5) |
| 80 | 60 | 66.7 | 23.5 (20.5) | 23 (20.5) | 22.5 (20) | 22.5 (20) | 22 (19.5) | 21.5 (18.5) |
| 32 | 150 | 26.7 | 22.5 (20) | 22.5 (19.5) | 22.5 (19.5) | 22 (19.5) | 21.5 (18.5) | 20.5 (18) |
| 16 | 300 | 13.3 | 22.5 (19.5) | 22 (19.5) | 22 (19) | 21.5 (19) | 21 (18.5) | 20 (17.5) |
| 5 | 960 | 4.17 | 21.5 (19) | 21.5 (18.5) | 21 (18.5) | 21 (18) | 20 (17.5) | 19.5 (16.5) |
| 2 | 2400 | 1.67 | 21 (18) | 20.5 (18) | 20.5 (17.5) | 20 (17.5) | 19.5 (16.5) | 18.5 (16) |
| 1 | 4800 | 0.83 | 19.5 (16.5) | 19.5 (16.5) | 19.5 (16.5) | 19 (16.5) | 18.5 (16) | 18 (15.5) |

17.5
对于
10 mV峰峰

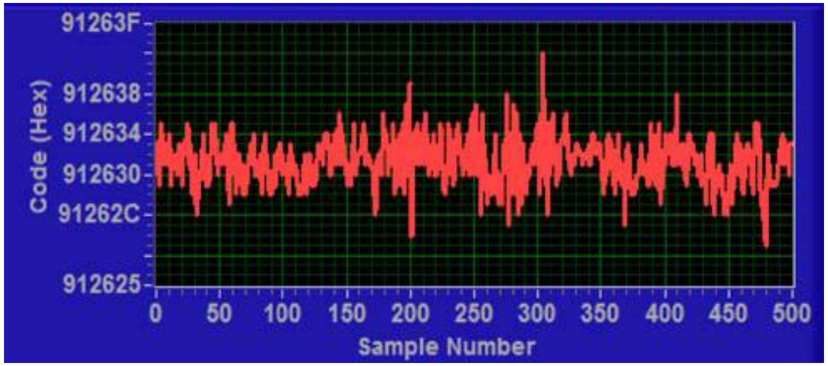
[1] The output peak-to-peak (p-p) resolution is listed in parentheses.



ANALOG DEVICES

# CN0102称重传感器测试结果，500个样本





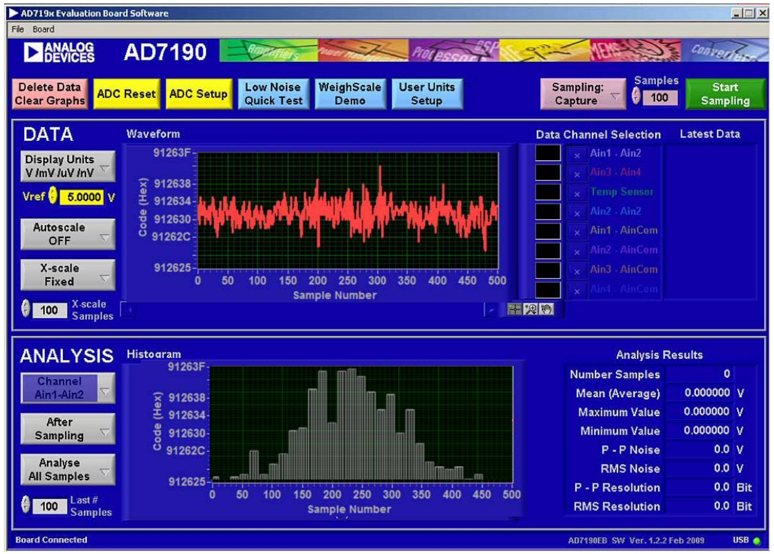

## 连接称重传感器时的系统分辨率

- 称重传感器：满量程输出 = 10 mV (2 mV/V灵敏度，$V_{EXC}$ = 5 V)
- 测得的均方根噪声 = 12 nV，4.7 Hz数据速率(G = 128)
- 测得的峰峰值噪声 = 88 nV
- 无噪声数 = {满量程输出/峰峰值噪声}
  = 10 mV/88 nV = 113,600
- 无噪声分辨率：$\log_2$(113,600) = 16.8位
  仅AD7190时为17.5位
- 如果使用一个2 kg称重传感器，则分辨率为2000 g/113,600 = 0.02 g



ANALOG DEVICES

# CN0102评估板和称重传感器




**软件显示**


- **完整的设计文件**
  - 原理图
  - 物料清单
  - PAD布局
  - Gerber文件
  - 装配图

# 内容回顾

- **使用集成解决方案进行复阻抗测量的基本知识(CN0217)**
  - 应用
  - 扩大使用模拟前端电路进行测量的范围
  - 测量结果和应用
- **使用双轴加速度度进行倾斜测量(CN0189)**
  - 应用
  - 双轴相对于单轴的优势
  - 加速度计调理电路
- **精密称重传感器（电子秤）(CN0216, CN0102)**
  - 应用与要求
  - 电桥基础
  - Σ-Δ型ADC基础
  - 噪声考虑和无噪声代码分辨率的定义
  - 使用外部仪表放大器的解决方案
  - 使用集成式PGA的解决方案

# 本研讨会涉及的设计资源



## 设计工具和资源：

| 名称 | 描述 | URL |
|---|---|---|
| AD5933/AD5934演示和设计工具 | 演示如何利用AD5933/AD5934测量阻抗 | http://designtools.analog.com/dt/ad593x/ad593x.html |
| CN0189 FMC-SDP内插器和评估板/Xilinx KC705参考设计 | 使用EVAL-CN0189-SDPZ评估板，同时配合Xilinx® KC705 FPGA板、Xilinx嵌入式开发套件(EDK)以及Micrium µC-Probe运行时监控工具。 | http://wiki.analog.com/resources/fpga/xilinx/interposer/cn0189 |
| ADXL203 Simulink®型号 | Simulink型号 | http://www.analog.com/en/mems-sensors/mems-inertial-sensors/adxl203/products/tools-software-simulation-models/index.html?location=tools-software |
| CN0216 BeMicro FPGA | CN0216专用BeMicro FPGA，带Nios驱动器 | http://wiki.analog.com/resources/fpga/altera/bemicro/cn0216 |

# 本节用到的设计资源-2



| 名称 | 描述 | URL |
| --- | --- | --- |
| 信号链设计器 | 完整的工程设计环境 | http://www.analog.com/scd |
| AD7190工具 | 工具、软件和仿真模型 | http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7190/products/tools-software-simulation-models/index.html?location=tools-software |
| AD7887工具 | 工具、软件和仿真模型 | http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7887/products/tools-software-simulation-models/index.html?location=tools-software |
| AD7791工具 | 工具、软件和仿真模型 | http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7791/products/tools-software-simulation-models/index.html?location=tools-software |

# 本节用到的设计资源-3

- 前往我们的EngineerZone®支持社区，在线提出技术问题、交流思想
  - 在主页上选择一个技术领域：
    - ezchina.analog.com
  - 点击此处访问设计会议社区：
    - www.analog.com/DC13community

# 本研讨会涉及的产品选型表

| 产品型号 | 描述 |
| --- | --- |
| AD5933 | 1 MSPS、12位阻抗转换器和网络分析仪 |
| AD8606 | 精密、低噪声、轨到轨输入输出、CMOS运算放大器（双通道） |
| ADG849 | 3 V/5 V CMOS 0.5 Ω 单刀双掷开关，采用SC70封装 |
| AD8221 | 精密仪表放大器 |
| AD820 | 单电源、轨到轨、低功耗、FET输入运算放大器 |
| ADXL203 | 精密±1.7 g、±5 g、±18 g双轴iMEMS加速度计 |
| AD8608 | 精密、低噪声、轨到轨输入输出、CMOS运算放大器（四通道） |
| AD7887 | 2.7 V至5.25 V、微功耗、双通道、125 kSPS、12位ADC，采用8引脚MSOP封装 |

# 今天涉及的产品的选型表-2

| 产品型号 | 描述 |
|---|---|
| AD7791 | 24位、单通道、超低功耗Σ-Δ ADC |
| ADA4528-1 | 5.0 V超低噪声、零漂移、轨到轨输入输出、单通道运算放大器 |
| ADP3301 | 高精度anyCAP® 100 mA、低压差线性稳压器 |
| ADP7190 | 4.8 kHz超低噪声24位Σ-Δ ADC，还PGA |
| ADP3303 | 高精度anyCAP 200 mA低压差线性稳压器 |

# 参考文献-1

- **电路笔记**
  - CN0217，阻抗测量
    - www.analog.com/zh/CN0217
  - CN0189，倾斜测量
    - www.analog.com/zh/CN0189
  - CN0216，精密电子秤，外部运算放大器
    - www.analog.com/zh/CN0216
  - CN0102，精密电子秤，内部PGA
    - www.analog.com/zh/CN0102
  - CN0251，适合宽动态范围信号调理的灵活4通道模拟前端
    - www.analog.com/zh/CN0251
  - CN0260，过采样SAR ADC，带PGA
    - www.analog.com/zh/CN0260
  - CN0189，4 mA至20 mA环路供电压力传感器发射器
    - www.analog.com/zh/CN0189

# 参考文献-2

## 小型指南

- MT-004，ADC输入噪声
  - www.analog.com/MT-004
- MT-021，逐次逼近(SAR) ADC
  - www.analog.com/MT-021
- MT-022，Σ-Δ ADC基础
  - www.analog.com/MT-022
- MT-023，Σ-Δ ADC的先进概念
  - www.analog.com/MT-023
- MT-061，仪表放大器基础
  - www.analog.com/MT-061
- MT-062，双运算放大器仪表放大器
  - www.analog.com/MT-062
- MT-063，三运算放大器仪表放大器
  - www.analog.com/MT-063

# 参考文献-3

## 小型指南

- MT-064，仪表放大器直流误差
  - www.analog.com/MT-064
- MT-065，仪表放大器噪声
  - www.analog.com/MT-065
- MT-066，仪表放大器电桥电路误差分析
  - www.analog.com/MT-066
- MT-069，仪表放大器过压保护
  - www.analog.com/MT-069
- MT-070，仪表放大器输入RFI保护
  - www.analog.com/MT-070

# 参考文献-4



## 参考书


- 传感器信号调理
  - www.analog.com/sensor_signal_conditioning
- 模数转换
  - http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/data_conversion_handbook.html
- 运算放大器应用
  - http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-05/op_amp_applications_handbook.html
- 线性电路设计
  - http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/43-09/linear_circuit_design_handbook.html
- 仪表放大器手册
  - http://www.analog.com/en/specialty-amplifiers/instrumentation-amplifiers/products/design-handbooks/cu_dh_designers_guide_to_instrumentation_amps/resources/fca.html

# 谢谢！

ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006

ADI中国地区技术支持信箱：china.support@analog.com

ADI中文技术论坛：ezchina.analog.com

ADI样片申请网址：http://www.analog.com/zh/sample