

- Chapter 5 传感器性能与电参数测量
 - 传感器基本概念
 - 定义
 - 类型
 - 组成
 - 信号调理与接口
 - 信号调理
 - 接口
 - 性能评价
 - 静态特性
 - 评价指标
 - 动态特性
 - 时域响应和动态品质评价
 - 电参数测量
 - 电阻传感器
 - 电阻测量方法
 - 电容传感器
 - 电容参数测量
 - 电感传感器
 - 自感式传感器
 - 互感式传感器
 - 电感参数测量

Chapter 5 传感器性能与电参数测量

传感器基本概念

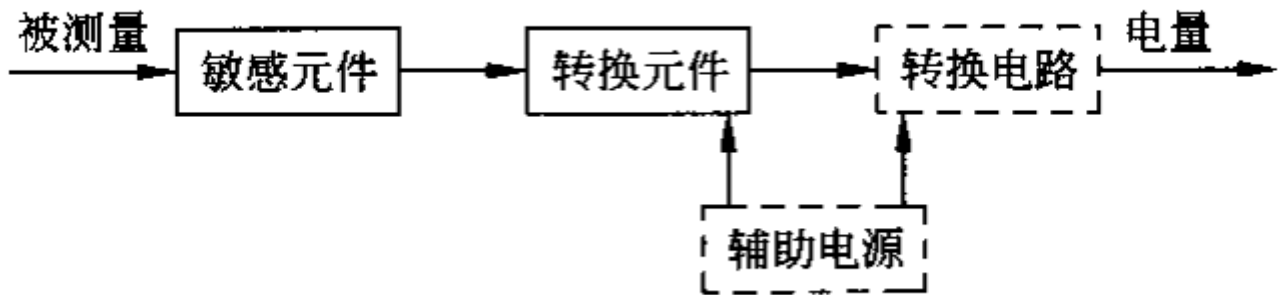
定义

- 能感受被测量并按一定规律转换成可用信号的器件。最基本的组成元件：敏感元件和转换元件

类型

- 按基本效应
- 按构成原理
- 按能量转换原理
- 按输出信号的性质
- 按输入物理量
- 按工作原理
- 按测量方式

组成



- 敏感元件：感知+输出
- 转换原件：参量类型变换
- 转换电路：有用信号输出

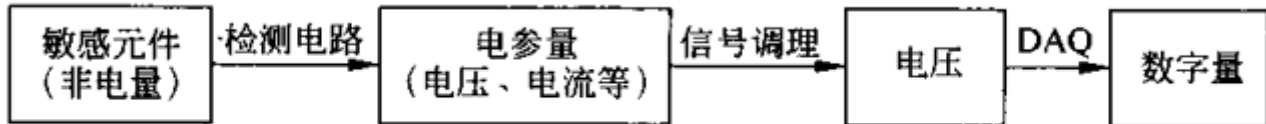
信号调理与接口

信号调理

📁 作用

- 调理敏感/转换元件或传感器的输出信号，使其更好地满足后续信号传输、处理或显示的要求

📁 所处位置



型：

信号调理环节在传感器测量系统中的位置

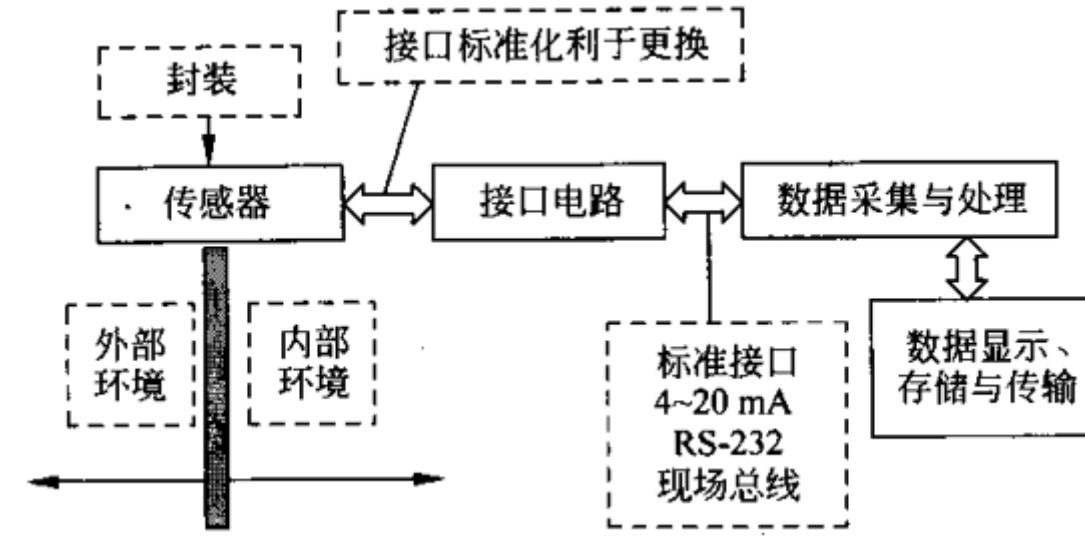
📁 主要类型

- 电平调整
- 线性化
- 信号形式变换
- 滤波
- 阻抗匹配

📁 主要实现方式

- 模拟电路

接口



- **系统模块化和输出标准化的意义**——不必深入了解各功能模块内部原理及结构，就可对整个系统进行设计、实现且便于维护

📁 接口定义

- 实现两功能模块间电气参数连接的部分
- 接口电路可将信号从一个数域变换到另一个数域,如A/D转换,也可将输出信号标准化

📁 数域

- 模拟数域的信息由**信号幅度**(如电压、电流)携带
- 时间数域的信息由**时间关系**(周期/频率、脉宽或相位)携带
- 数字数域的信息由**脉冲数**或**0/1编码串**携带

性能评价

📁 传感器的总特性

- 与被测对象和后接仪器装置的**输入、输出匹配**
- 机械特性
- 工作特性
 - 静态特性
 - 动态特性
 - 环境特性
- 误差

📁 传感器的标定

- 利用已知量输入到传感器，测量其相应输出量，进而得到**传感器输出-输入特性**的过程

📁 传感器的校准

- 传感器使用后的性能复测。**标定和校准本质相同**

📁 传感器的精度、精密度、不确定度

📁 传感器设计和选择三原则

- 整体需要原则
- 高可靠性原则
- 高性价比原则
- 精度
 - 测量值与真值的符合程度
- 精密度
 - 测量的重复程度
- 不确定度
 - 测量值位于一个区间

静态特性

🔖 定义

- 传感器在被测量处于**稳定状态时的输出-输入静态函数关系**，表征其工作质量，由传感器内部结构参数决定

🔖 输出-输入静态函数关系

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n$$

- 利用**差动技术**，可以消除函数中的偶次非线性项
 - 差动技术：将两个相同特性的传感器差动组合

评价指标

1. 线性度(非线性误差)

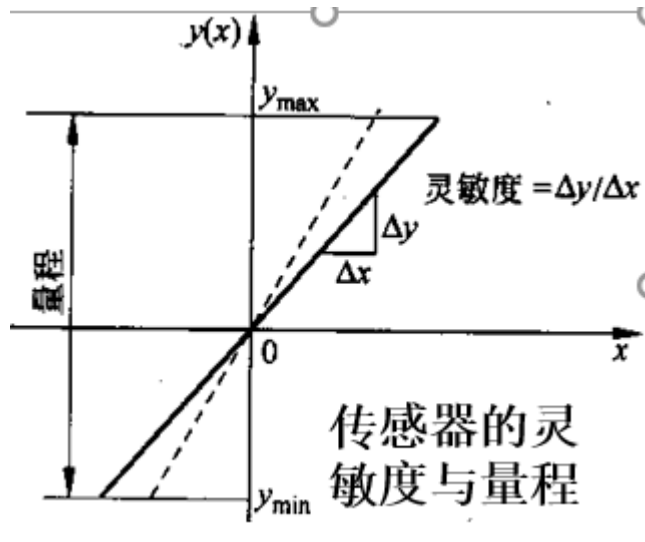
🔖 表征传感器的校准曲线与拟合直线的偏差程度

$$r_L = \pm \frac{\Delta L_{max}}{y_{FS}} \times 100\%$$

ΔL_{max} 为最大偏差 y_{FS} 为满量程时的输出值

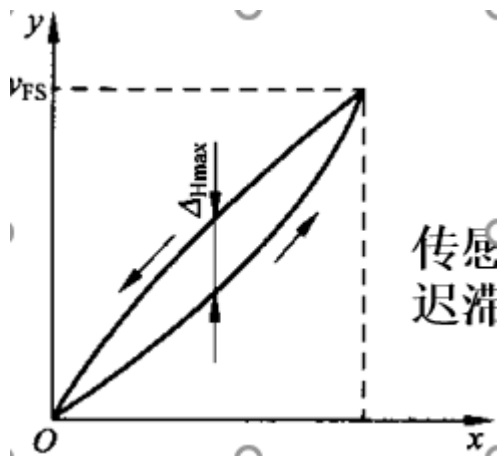
2. 灵敏度

🔖 传感器的输出增量与相应的输入增量之比



3. 迟滞

☞ 传感器对正向输入(输入增大)和反向输入(输入减小)的**实际响应特性曲线的不重合程度**



- 迟滞环：正、反向特性曲线形成的闭环
- 迟滞误差：为正反行程最大输出差值与满量程输出值之比

$$r_H = \pm \frac{\Delta H_{max}}{y_{FS}} \times 100$$

4. 重复性

☞ 传感器在**同一工作条件下**，输入按同方向做连续多次变化时测得的多个特性曲线的**不重合程度**，为输出量最大不重复误差与满量程输出之比，反映数据的**离散程度**

$$r_R = \pm \frac{\Delta R_{max}}{y_{FS}} \times 100$$

5. 分辨力

☞ 传感器能检测到的最小输入增量

6. 分辨率

☞ 分辨力与满量程输入之比

7. 阈值

☞ 当输入量小到某一值时，观察不到输出变化，这时的输入量称为传感器的**阈值**，它是传感器的**零位分辨力**

8. 稳定性

- 零点温漂
- 时间温漂
- 灵敏度温漂

9. 综合误差

☞ 综合考虑线性度, r_L , 迟滞误差, r_H , 重复性误差, r_R , 的综合值

☞ 综上

- 量程，灵敏度，分辨力是衡量传感器**基本功能特性的指标**，决定其工作能力
- 线性度，重复性，迟滞，漂移，稳定性，综合误差是反映**精度特性的指标**，决定传感器在何种程度上能完成测量

动态特性

☞ 定义

- 传感器对**随时间变化的输入量的响应特性**

☞ 时间常数

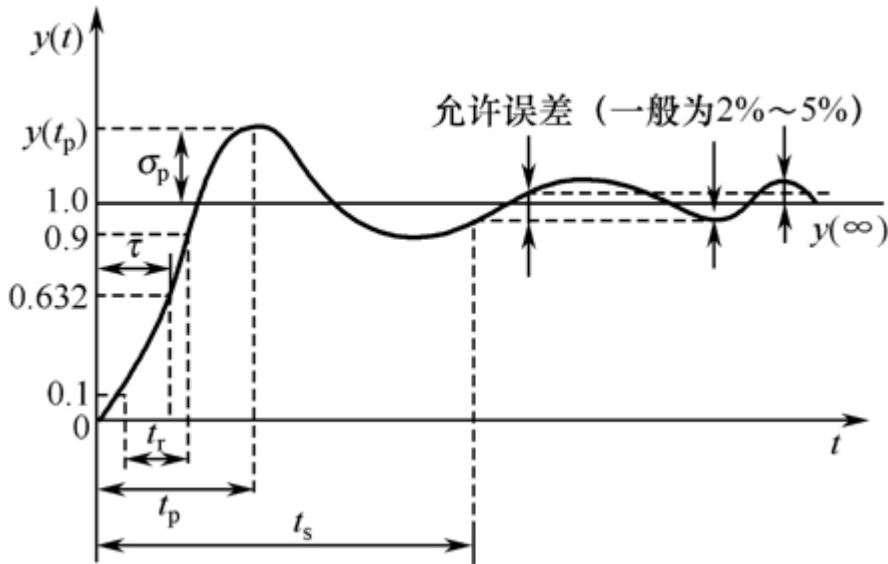
- 时域内研究传感器对**标准**输入信号的响应特性

☞ 保持幅值稳定的响应带宽

- 在频域内研究传感器对正弦输入的响应特性，包括**幅频特性**和**相频特性**

时域响应和动态品质评价

☞ 时间响应特性与动态品质的关系



- 时间常数, τ ,——传感器输出值由零上升至稳定值的, 63.2所需要的时间
- 上升时间, t_r ,——响应从最初稳态值的, 5或, 10上升, 第一次达到稳态值的, 90或, 95需要的时间
- 响应时间, t_s ,——输入量**开始起作用到输出进入规定的稳定值范围**的时间。
- 超调量, σ_p ,——输出第一次**达到稳定值又超出稳定值**出现的最大偏差
- 峰值时间, t_p ,——输出值由零上升超过稳定值, 达到第一个峰值所需的时间

电参数测量

电阻传感器

☞ 原理

- 被测量的变化转换成电阻值变化

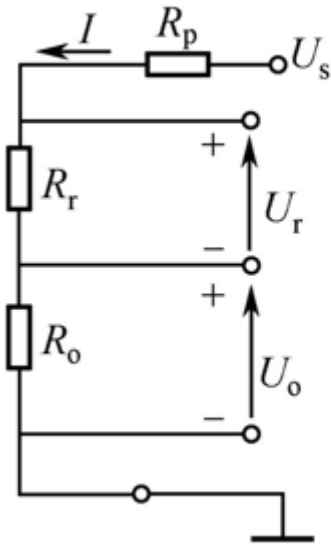
电阻测量方法

- 中、高阻值的测量常用**伏安法**
- 低阻值的测量需要能**克服被测电阻引线电阻和接触电阻的影响**的方法, 如**4线制测量法**
- 超高阻值的测量常用**基于电容充电原理**的测量方法
- 高精度要求, 需要考虑电源稳定性的影响

☞ 一般方法

- 偏转法
 - 用恒压源供电测电阻电流
 - 用恒流源供电测电阻电压
- 双读数法
 - 先读固定电阻的端电压, $U_r = IR_r$, , 再读串接的待测电阻端电压, $U_o = IR_o$, , 计算可得

$$R_o = \frac{R_r U_o}{U_r}$$



恒流激励的电阻
测量双读数法

- 分压法
 - 用于测阻值变化范围很大的以及非线性敏感的电阻的检测方法
- 电桥法
 - 用于测量小的阻值变化

📁 总结

- 测电阻的一般方法
 - 偏差法
 - 分压法
 - 平衡电桥法
 - 不平衡电桥法
- 电阻测量中常见问题
 - 自热和引线电阻影响
 - 非线性
 - 电源电压波动影响
- 常见对策
 - 限制工作电流
 - 三线或四线电阻法
 - 降低灵敏度
 - 采用差动电桥
 - 借助A/D转换器进行比例测量

电容传感器

📁 电容量为

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

📁 原理

- 改变上式中任何一个参数，都可使电容量改变，从而转换为测量某个参数

📁 作用形式

- 直接作用式
 - 传感器即电容变换器，不需要弹性元件，直接感受被测量
- 间接作用式
 - 电容传感器由弹性元件与电容变换器组成
 - 由敏感元件感受被测量，输出中间变量，电容变换器再将中间变量转换为电容变化输出

电容参数测量

🔗 转换为**电压、频率、脉宽**等变化来测量

🔗 优缺点

- 优点
 - 电路和测法简单，便于实现高精度
- 缺点
 - 一般电容传感器的电容变化范围太小，检测电路的分辨率应达, fF , 级，须**高灵敏度、低漂移**

🔗 影响测量的因素

- 激励频率
 - 频率适中
- 激励信号
 - 常用方波
- 连接导线带来的寄生电容

🔗 主要测量电路

- 振荡器式检测电路
- 电桥
- 充/放电式电路

电感传感器

🔗 原理

- 利用被测量产生的**磁阻变化**使传感线圈的电感变化实现感测

🔗 测量特点

- 测量方法属于间接式
 - 转换为**位移的非电量**
 - 测量能借助磁特性变化引起线圈电感变化的参量

自感式传感器

🔗 以位移传感器为例

- 变气隙型自感式传感器
- 气隙面积变化型自感式传感器
- 螺管型自感式传感器

互感式传感器

📖 基本原理

- 电磁感应中的互感现象
- 实质是变压器

📖 以位移传感器为例

- 电涡流式传感器

电感参数测量

📖 单线圈参数的测量

- 调幅式
- 调频式

📖 双线圈测量

- 差动整流电路
- 相敏检波电路