

检测理论

17 检测的基本概念

检测与测量

检测是意义更为广泛的测量

测量：以确定被测对象的属性和量值为目的的全部操作

检测：测量+被测对象有用信息的信号检出

检测过程：信息提取、信号转换存储与传输、显示记录、分析处理

检测技术：检测方法、检测结构、检测信号处理的综合性技术

检测的分类

物理属性：电量、非电量

检测原理：电磁法、光学法、微波法、超声法、核辐射法、电化学分析、色谱分析、质谱分析等

检测方法：主动和被动、直接与间接、接触式与非接触式、动态和静态

测量单位

测量是将被测量与基准量相比较的过程

测量的结果是被测量为基准量的多少倍

基准量被称为单位

SI 基本单位：七个物理量单位相互独立，长度，质量，时间，电流，热力学温度，物质的量，光量

SI 组合单位：由基本单位导出

21 检测技术的作用与意义

信息化系统中不可缺少的组成部分

检测→获取信息→分析判断→自动控制

自动化：信息获取、信息转换、信息处理、信息传送、信息执行

检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步

检测手段水平决定科学研究的深度和广度

理论研究成果离不开必要的检测手段

现代工程装备中，检测环节的成本约占 50-70%

23 检测系统构成

信号检出部分

检测系统中形式最多样、与被测对象关联最密切的部分

把被测量作为信号提取出来，并传输到信号变换部分

担当检出功能的器件：传感器（基于物理化学生物原理）

变送器是输出标准信号的传感器

传感器的输出特点

输出量为电压、电流、频率的变化

输出量为数字量或模拟量

输出的电信号一般较微弱，毫级别

输出信号与噪声混杂在一起

传感器的输出特性呈线性或非线性

外界环境的变化会影响传感器的输出特性

信号变换部分

将传感器的输出信号转换为适合于分析和处理的信号

对传感器的输出量变换成易于处理或放大的量

消除或抑制传感器输出量中的无用信号

提高测量、分析的准确度

简化后续系统的组成

信号调理电路：阻抗变换，信号放大，噪声抑制，电压/电流转换，模拟/数字转换

分析处理部分

分析、处理、显示或传送

不断注入新内容，是检测系统的研究中心

以计算机为基础

实现检测的自动化、智能化测量数据分析处理

噪声与干扰抑制、零位和灵敏度校正、量程自动切换、超限自动报警

标度变换、非线性校正、统计分析、特征识别和判断决策

卡尔曼滤波、自适应滤波、人工神经网络、小波变换、智能推理等现代信号处理技术

通信接口与总线部分

管理不同系统之间的数据、状态和控制信息的传输和交换

接口分系统和上位机之间/分系统之间交换信息

通用标准接口：USB、IEEE-488、RS-232C、GPIB、VXI、PXI

总线是传送数字信号的公共通道，是信号线的集合

主控软件

多层级测量系统的上位机软件

对下位机进行参数设置

对下位机发送命令或查询下位机状态

数据处理与分析综合

结果显示和数据文件管理等

30 检测方法

直接：与同类基准进行简单的比较以得到被测量

间接：直接测量与被测量有已知函数关系的量，并通过函数式计算求得测量结果的一类测量

绝对：能直接从计量器具的读数装置读出被测量整个数值的测量。

相对：测量时由仪器的读数装置读出被测量相对于标准器的偏差，测量值等于偏差与标准量的代数和。

偏移法：完全从被测量中获得信号转换所需能量。简单，快速，精度低。

零位法：不从信号源获得能量，使参考信号与被测信号相平衡，而得被测量大小。复杂，缓慢，精度高。

微差法：将被测的未知量与已知的标准量进行比较并取得差值后，用偏移法测得此值。快速，精度高。

差分式：对称结构的两个传感器，被测量反对称作用在上面。消除共模干扰，测量原理线性化，灵敏度翻倍。

开环：输入量→传感器→输出量。简单、直观、明了，测量精度不高。

闭环：输入量→传感器→信号处理→输出量→反向传感器。精度高，复杂、成本高、要求高。

随动跟踪：基于零位法的测量，更强调负反馈的作用。精度高。

主动探索与信息反馈型检测：智能化检测的标志之一，自适应能力，自学习能力。

39 检测技术发展趋势

智能仪器：在测量仪器中嵌入微处理器，量程自动转换、自动调零、自校正和自诊断模糊判断、故障诊断、容错、多传感器的数据融合等。

网络化测量系统：将测量系统中地域上分散的基本功能单元，通过网络互连起来，构成一个分布式的测量系统。

虚拟仪器技术：用计算机取代传统仪器中的输入、处理和输出等部分，实现仪器硬件核心部分的模块化和最小化。LabVIEW，软硬件功能的模块化、分层化。依靠计算机图形处理技术。向高速、高精度、大型自动测试设备；向高性能、低成本、普及型系统发展。

GPIB 仪器总线：接在总线上的每一设备，在某一时刻只能选择控者、讲者和听者三种方式之一。每一时刻的“讲者”和“听者”是由控者根据系统需要任命，在某一时刻系统只能有一个“控者”。

VXI 仪器总线：模块式仪器最重要的总线。小型便携、高速数传、电磁兼容性好、可靠性高、可维护性好、模块式结构、系统组建及使用灵活方便、易于充分发挥计算机效能，价格昂贵。VXI 总线器件间的通信主要就是一种基于命令者和受令者（Servant）之间的分层关系。

PXI 仪器总线：基于工业标准总线的、开放式、模块化仪器总线规范。

现场总线：安装在制造或过程区域的，连接现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、双向串行和多点通信的数据总线。ProfNet，CIP，CAN。

微电子机械系统：把微传感器和微处理器及相关集成电路等封装在一起。数字化、智能化、网络化、系统化。

无线传感器网络：由一组具有计算、通信和协同能力的传感器节点组成的，通过无线网络连接起来的智能监测无线网络系统。根据给定的监测任务，自主、协作地采集和处理信息，发送给远程用户。面向应用，规模大，节点硬件资源有限，以数据为中心，全分布自治系统。

94 测量误差的基本理论

绝对误差=测得值-真值, 约定真值 (SI), 理论真值 (公式), 相对真值 (标准仪器)

相对误差=绝对误差/真值*100%

误差原因: 被测对象, 理论的假定, 材料性能和制造技术, 传递特性, 动力源, 器件特性, 环境, 方法, 人员。

误差分类: 静态误差、动态误差、系统误差 (有规律)、随机误差 (无规律, 无法修正)、粗大误差 (系统故障)。

检测精度

正确度: 测量结果接近真值的程度, 系统误差的反映。

精密性: 重复测量结果的分散程度, 随机误差的反映。

准确度: 测量结果与真值之间的一致程度, 系统误差和随机误差的反映。

99 数据处理的一般方法

数据处理是为求被测量最接近真值的估计值, 并作可信程度评定。

系统误差: 找出规律修正, 选择合理的测量方法。

粗大误差: 主观剔除。

随机误差: 统计方法, 正态分布, 均匀分布。

算术平均值是被测量数学期望 (真值) 的最佳估计。无偏性, 有效性, 一致性, 充分性。

标准偏差 (n-1) 是总体标准偏差的无偏估计。n 次测量的标准偏差是单次测量的 $\frac{1}{\sqrt{n}}$ 。

测量结果=均值±不确定度 (标准: 一倍偏差, 扩展: 2-3 倍偏差)

最小二乘法: 残差平方和最小

一元线性回归方差分析: $\sigma^2 = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}$

一元线性回归显著性分析: $F = \frac{(n-2) \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2} = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sigma^2}$

$F > F_{0.01}(v_1, v_2) \rightarrow$ 高度显著

$F_{0.05}(v_1, v_2) \leq F \leq F_{0.01}(v_1, v_2) \rightarrow$ 显著

$F < F_{0.1}(v_1, v_2) \rightarrow$ 不显著

$$y = a + bx$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

116 检测系统的特性

静态特性: 检测系统在被测量 (输入) 处于稳定状态时的输入输出关系。

理想状态: 线性关系 $y = a + bx$ a --- 零位输出
b --- 理论灵敏度

实际状态: 非线性关系 $y = f(x)$

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

示值误差 (准确度): 指示值与真值之差

重复性误差 (精确度): 样本偏差→

重复性是检测系统最基本的技术指标, 是其他各项指标的前提和保证。

非线性误差 (线性度): 实测曲线偏离理想直线的程度 ↑ ↑

获取拟合直线方法: 最小二乘直线, 端点连线, 最佳直线法 (使得正负行程的非线性偏差相等且最小)

分辨率: 能够检测出的被测量的最小变化量。相对/绝对分辨率。末位数值。

灵敏度: $k = \frac{dy}{dx}$, 线性系统为常数, 同量纲为缩放比, 外源型中与电源电压有关。

量程: 示值范围, 可测量的被测量最大值与最小值之差。

漂移: 输入不变的情况下, 检测装置的输出随时间变化的趋势 (种类: 零点, 灵敏度, 形式: 时间, 温度)

回程误差: 正向和反向行程期间, 检测曲线的不重合程度。

动态特性: 系统对输入响应的快慢程度、精确程度和抗外界干扰的能力。

表示方法: 微分方程 t, 传递函数 s, 频率响应函数 $s = j\omega$ (幅频特性), 带宽表示工作频率范围。

零阶系统: $H(s) = K e^{-as}$, 静态灵敏度 $K = \frac{b_0}{a_0}$

一阶系统: $H(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$

二阶系统: $H(s) = \frac{K}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$

相对误差 $e_L = \pm \frac{\Delta_m}{y_{F.S.}} \times 100\%$

Δ_m 输出值与理想直线的最大偏差值

$y_{F.S.}$ 满量程输出值

$$e_R = \pm \frac{K \sigma_{\max}}{y_{F.S.}} \times 100\%$$

σ_{\max} --- 正反行程输出值的标准偏差中的最大值

K 置信系数, 常取 2 或 3 $y_{F.S.}$ 满量程输出值

$$\delta_h = \frac{\Delta_{H \max}}{y_{FS}} \times 100\%$$

传感器

137 传感器概述

传感器是一种把特定的被测信息量按照一定规律转换为可用信号输出的器件或装置。

敏感元件（变/转换元件,）：感受被测量变化，并输出相对应的电信号，是传感器的核心。

自源型传感器：能量转换型，不需外部能源，从对象获得能量，转换为电量，输出较弱。如热电偶、压电器件。

激励型传感器：能量转换型，外部能源起激励作用，无信号调理和变换电路。如磁电式、霍尔传感器。

外源型传感器：能量控制型，由转换元件，外部能源，检测电路组成。如电阻应变片、电感式传感器。

143 长度-位移检测技术

电感-自感式电感传感器

原理：利用传感器线圈的电感变化来检测非电量，外源型。

特点：结构简单，工作可靠，接触式测量，不适于高频测试，0.mm，线性度 0.5%↓，分辨力 0.1μm↓

变气隙型：输出非线性，测量范围 0.1 ~ 0.5 mm。

变面积型：输出线性，可获得较大的测量范围。

螺管型：输出三次方，灵敏度低，线性范围大。

差动式：灵敏度提高一倍，消除偶次项改善非线性，减小电源电压频率稳定影响，提高稳定性。

电感-互感式电感传感器

原理：线圈互感随衔铁位移变化的变磁阻式传感器。开磁路变压器，次级线圈差分工作，又称差分变压器。

特点：非线性小，大范围位移（<100mm），外源型。

变气隙型：灵敏度较高，但测量范围小（1-100μm）

变面积型：可分辨零点几角秒的微小角位移，线性范围达±10°

螺管型：灵敏度稍低，可测量 nm 到 m 的位移，两~五段式

测量电路一般由电桥、放大器、相敏检波、滤波器和振荡器组成

光栅式传感器

原理：计量光栅将位移转换为莫尔条纹宽度。被测物体位移 → 通过光栅转换 → 莫尔条纹移动 → 通过光电元件转移 → 正弦波电压

长光栅→直线位移，圆光栅→角位移

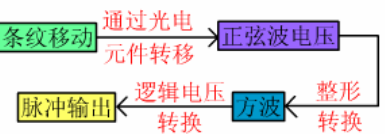
主（标尺）光栅→定光栅，指示光栅→动光栅

长度→测量范围，刻线密度→测量精度

莫尔条纹：方向性，同步性，放大性，可调性，准确性

透射式光栅传感器：输出正弦。相隔 1/4B 处放两个光电管辨向，固定的绝对零位参考标志是零位光栅。

特点：pm, 0.1", 米级量程，响应快，增量式测量，对环境要求高，电路复杂。



电容传感器

原理：将位移转换为电容变化量。

特点：结构简单，分辨力 0.01μm，非接触，动态响应好，环境适应性好。

变极距型：非线性，灵敏度与初始极距的平方成反比，常采用差分结构。

变面积型：线性，灵敏度与初始极距成反比，常采用差分结构。

变介质型：测量厚度，液位或散料物位测量。

190 长度-距离检测技术

电涡流测距传感器

原理：利用电流在导体上感应出的涡旋电场测量二者距离。

特点：非接触式、量程 100mm，分辨率 0.1%，结构简单、灵敏度高、频响范围宽、不受介质影响。

外径越大，线性范围越大，但灵敏度越低

电导率越高，磁导率越低，灵敏度越高

定频测距、调频测距。

激光测距传感器

原理：飞行时间法（非相干法），有脉冲测距法和相位差测距法（粗尺量程，精尺精度 mm）两种。

特点：量程 10km 级

超声测距传感器

原理：利用被测目标反射的超声回波（纵波）测量距离的

特点：测量范围小，精度 cm，目标不能太小

211 长度-角度检测技术

自然基准和圆周封闭原则：360°圆周，圆周上角间隔的误差之和为零。

光栅-径向光栅传感器

两块径向光栅栅距角相同，以不大的偏心叠合

莫尔条纹为圆弧形

光栅不同区域，栅线交角不同

偏心垂直位置上，横向莫尔条纹，垂直于栅线，转动时径向移动，应用。

偏心方向上，纵向莫尔条纹，平行于栅线

无偏差：光栅莫尔条纹，主光栅转过一个栅距角，透光量变化一个周期

光栅-切向光栅传感器

两块切向光栅栅距角相同，切线圆半径不同，同心重合

莫尔条纹为环形

以光栅中心为圆心的同心圆簇条纹宽度随条纹位置变化

全光栅平均效应，高精度角度测量和分度

光栅-环形光栅传感器

两块环形光栅栅线相对，以不大的偏心叠合

莫尔条纹为辐射型

偏心量一个栅距，莫尔条纹数目增加一条

编码器-光电式绝对编码器

原理：平行光源→码盘→光电元件→电信号输出

特点：高精度、高分辨力（ $360^\circ/2^n$ ）、可靠性好，绝对码输出，范围 360°，速度不高

要求：分度准确，明暗交替边缘陡峭，投影精确，码盘的精度

码制：二进制有权（易于处理，错码），格雷循环无权（需转换，无错码），十进制有权码（读数直观）

直线→旋转

编码器-光电式增量码编码器

最外增量码道，中间辨向码道，最内零位码道。

特点：结构简单、精度高、分辨率高，可靠性好，测量范围无限，速度不高，怕振动丢数。

228 热学-温度检测技术

接触-热电偶

热点效应原理：两种不同导体构成闭合回路，两个接触点温度不同，回路中产生热电势，并形成电流。

与被测介质接触的节点称为测量端或工作端、热端。另一个称为参考端或自由端、冷端。

均质导体定律：由均质材料构成的热电偶、热电动势的大小只与材料及结点温度有关。

中间导体定律：在热电偶一端接入第三种导体，只要其两端温度相同且均质，回路总电动势不变。

中间温度定律： $E_{AB}(T, T_0) = E_{AB}(T, 0) + E_{AB}(T_0, 0)$

热电偶的冷端处理：0°C 恒温法，冷端温度修正法，电桥补偿法，延伸电极法

接触-热电阻

Pt：接近线性，精度 1°C 以内，在高温和氧化介质中性能稳定，工艺性好，成本较高。

Cu：接近线性，电阻小，体积大，易被氧化腐蚀，精度略低于 Pt，价格低。

误差：热电阻的基本误差、指示仪表的误差、电阻体自热误差和引线电阻误差

三线连接法：由于热电阻的两根连线分别置于相邻两桥臂内，温度引起连线电阻的变化的影响相互抵消

四线连接法

接触-热敏电阻

负温度系数热敏电阻（NTC）：-100~300°C

测温度：流过热敏电阻的电流足够小，不足以使之发热

测流速：流过热敏电阻的电流足够大，足以使之发热

特点：灵敏度为热电阻 10-100 倍，非线性严重，精度低，结构简单，电阻大，体积小，寿命长，成本低。

非接触-全辐射温度计

辐射出射度：单位时间内，单位面积上向半球方向辐射波长为任意值（特定值：单色辐出度）的总功率。

原理：利用物体的温度与总辐射出射度全光谱范围的积分辐射能量的关系来测量温度

测温范围：-50-1000℃，高温段误差较大。

辐射温度：仪表是以绝对黑体辐射功率与温度的关系分度的，实际物体并非黑体。

非接触-部分辐射温度计

原理：热敏元件仅能对某一波长范围的光谱产生效应。

要求：工作光谱仅限于一定的光谱范围内。

光路系统：由主镜和次镜组系统来完成焦距的调整，目镜系统主要用于对目标的瞄准。

测量电路包括测量桥路、前置放大、选频、移相放大以及相敏整流等部分

非接触-颜色比色温度计

色温：某待测物体辐射功率随波长的分布曲线大致和温度为 T 的黑体辐射光谱特性相同。

二色法判定特性相同：绝对黑体辐射的两个波长的亮度比等于非黑体的相应亮度比。

维恩位移定律：不同温度时二个波长的辐射度比值 R 和温度 T 呈单值函数关系。

电路：光路系统、调制系统、单色器、光敏元件、放大器、显示仪表

特点：不影响温度分布，响应速度快，测量范围-10~1300℃，抗干扰能力强。

非接触-亮度温度计

原理：接收某一波长范围很窄的波长区的辐射。

待测物体在某波长间隔内的亮度与黑体在同波长间隔内的亮度相等时，把黑体温度定义为待测物体亮温。

289 力学-压力检测技术

电阻应变式力传感器

原理：外力→弹性体的应变→电阻应变片 ΔR →电桥电路→电量

范围： $10^{-2} \sim 10^7 \text{N}$ ， $10^3 \sim 10^8 \text{Pa}$ ， 10^3m/s^2

特点：结构简单、制造方便和精度高，静态和动态测量

电阻应变式压力传感器

单一式：应变片直接粘贴在弹性元件上

组合式：受压弹性元件（隔离恶劣环境），应变弹性元件，传力元件

压阻式压力传感器

压阻效应：对半导体材料施加压力时，材料的电阻率发生变化

半导体应变片的灵敏度 π 比金属应变片的灵敏度 K 大 1-2 个数量级

特点：减少了滞后，导热更好，温度稳定性差，较大应变时非线性严重

320 力学-速度检测技术

多普勒测速器

多普勒效应：当光源和反射体或散射体之间存在相对运动时，接收到的声波频率与入射声波频率存在差别。

多普勒频移：当单色光束光波被运动体散射，散射光频率与入射光频率的比例，产生了正比于速度的偏移。

后向散射型多普勒测速：接收散射光束的光电检测器位于被测物体后面，即与光源在同一侧。

特点：精度高、非接触、不扰乱流场、响应快、空间分辨率高、使用方便。

329 力学-加速度检测技术

压电式加速度传感器

正压电效应：某些电介质沿着一定方向受力时，表面上产生符号相反的电荷，当外力去掉后，电荷也消失。

逆压电效应：在电介质的极化方向施加电场，它们在一定方向上产生应力，撤去电场，变形或应力消失。

压电效应产生的电荷密度与外应力张量成正比。

特点：无静态输出，灵敏度及分辨率高，良好的动态性能，体积小，重量轻，结构简单

压电材料：压电晶体，压点陶瓷，新型压点材料

应变式加速度传感器

等强度弹性悬臂梁固定安装在传感器的基座上，梁的自由端固定一质量块 m。

在梁的根部附近两面上各贴一个性能相同的应变片，应变片接成对称差动电桥。

352 力学-流量检测技术

差压式流量计

原理：在管道安装节流装置时，在节流件处局部收缩，流速增大，静压力降低，在节流件前后产生压力差。

节流装置：文丘利管、喷嘴和孔板

差压计：角接取压适用于孔板和喷嘴，而法兰取压仅用于孔板。

必须在节流件的前后安装直管段，以免进入节流件前的流束扰动干扰测量结果。

特点：工业中占 80%，原理简单、工作可靠、适应性强

流阻式-转/浮子流量传感器

原理：在流体中置入一相应的阻力体，阻力体的受力大小和位置随流速改变，据此可测量流量。

当被测流体自锥管下端流入流量计时，浮子上下端面产生一差压，该差压即为浮子的上升力。

特点：线性刻度，可测气体、蒸汽和液体，对直管长度要求不高，压力损失小且恒定，测量范围宽。

转子流量计应该用实际介质进行标定。

流阻式-靶式流量传感器

原理：在测量管中心并垂直于流向的靶圆板，测量流体作用在靶上的力，靶受力大多采用力平衡式测量。

特点：气体和液体，低雷诺数（如大粘度、小流量等），含固体颗粒的浆液，腐蚀介质。

测速式-电磁流量传感器

原理：根据法拉第电磁感应定律制成的一种测量导电液体体积流量

特点：线性，导电低温液体，结构简单，无移动部件，无压力损失，腐蚀性介质，测量范围宽，反应灵敏。

测速式-涡轮式流量传感器

原理：动量矩守恒原理，被测流体经过导流架后冲击涡轮叶片，涡轮的转速随流量的变化而变化。

特点：精度误差 1% 以下，灵敏度 $0.01\text{m}^3/\text{h}$ ，动态性好，耐高压，压力损失小， $-240^\circ\text{C}\sim 540^\circ\text{C}$

测速式-超声波流量传感器

原理：声波漂移，流速与两束超声波的速度差有关，而与静止时的声速 c 无关。

特点：线性，精度误差 1% 以上（小流量小管径误差大），非接触式测量，温度影响较大。

振动式-涡街流量传感器

卡门涡街原理：在流体中放一根轴线与流向垂直的非流线形柱形体，在漩涡发生体下游规律的交替漩涡列。

特点：涡频率与流速呈线性，精度高，气体液体，使用寿命长，不受外界因素影响

直接式-质量流量传感器

原理：直接检测与质量流量成比例的量，检测元件直接反映出质量流量。

科里奥利力：流体在振动管中流动时，产生与质量流量成正比的科里奥利力。

主要通过振动的方法来产生科里奥利力，可以同时测流体密度。

间接式-质量流量传感器

原理：用体积流量计和密度计组合的仪表来测量质量流量。

403 电磁-光纤电流检测技术

光纤是用光透射率高的电介质构成的光通路。

由折射率较大的纤芯（光密介质）、折射率较小的包层（光疏介质）、涂敷层、护套构成的多层同心圆柱结构。

传光原理：全反射。只有当光从折射率大的介质进入折射率小的介质时，在界面上才能产生全反射。

NA 数值孔径：越大，光纤的集光能力越强。

单模光纤（纤芯细），多模光纤（纤芯粗）

光纤电流传感器

法拉第效应：许多物质在磁场的作用下可以使穿过它的平面偏振光的偏振方向旋转。

调制方式：据把被检测参数调制到某个光参数中。磁场→偏振角→电流

功能型传感器（FF）：利用光纤本身的特性，把光纤作为敏感元件进行测量

非功能型传感器（NF）：利用其他敏感元件感受被测量，光纤仅作为光的传输介质

偏振态检测：马吕斯定律，双路检测系统

特点：高灵敏度、精度 1%、测量范围大 1000A、高压大电流、抗电磁干扰，抗辐射性。

426 电磁-磁量检测技术

霍尔传感器

霍尔效应：置于磁场中的静止载流体的电流方向与磁场不同时，垂直于电流和磁场的两个面间产生电动势。

霍尔元件材料：半导体

温度补偿：恒流供电方法

不等位（零位）电势：源于不等位电阻，电桥补偿

特点：线性，交流直流电压电流，结构简单、体积小、动态特性好，寿命长

检测电路

440 信号调理电路

放大电路：信号源（电压源，电流源，存在共模电压的电压源），运算放大器，比例放大电路，仪用放大电路。

滤波电路

理想滤波器在通带内具有恒定的增益，阻带内无限大衰减。

巴特沃斯使通带内有最大平坦的幅频特性，但阻带衰减缓慢。

切比雪夫使阻带内衰减较快，但通带内幅频特性有波纹。

通带增益 A_0 ，谐振频率 f_0 ，截止频率 f_p (3dB)，频带宽度 BW (3dB)

品质因素 Q (带通/带阻 $Q = \frac{f_0}{BW}$)，阻尼系数 $\xi = \frac{1}{Q}$

无源滤波器：结构简单、噪声小、动态范围大

有源低通滤波器：电阻在上，电容在下

压控电压源型二阶 RC 有源低通滤波器：高输入阻抗低输出阻抗，几乎不向信号源索取电流，很强带负载能力，通带增益受一定限制，有正反馈， ξ 与 A_0 有关，可能变负而不稳定。

无限增益多路负反馈型二阶 RC 有源低通滤波器： ξ 总为正，增益选择与稳定性无关，会向信号源索取电流，级联时与前级相互影响。

高通滤波器与低通滤波器对偶：RC 互换， $j\omega$ 与 $1/j\omega$ 互换

高通*低通=带通，高通+低通=带阻

调制电路

调制是将有用信号加载到载波上的过程

$u_m = x \sin \omega_c t$ 调制波=信号*载波

交流电桥是一个调制器

解调电路

解调是从调制波中取出原来信号的过程

$u_d = u_m \sin \omega_c t = x(\sin \omega_c t)^2 = 0.5x - 0.5x \cos 2\omega_c t$

恢复出原始信号 x，高频部分可被滤去。

同步整流电路（相敏整流器，相敏检波器）

以参考信号（载波）为基准对调制信号进行整流的方法

采用开关技术，性能优良、稳定性好、使用方便

调制波与参考信号有相位差 θ 时，可得直流输出 $u_0 = 0.25(\pi x \cos \theta)$

具有很强的干扰抑制能力

低通滤波器的截止频率远小于调制波的频带范围

471 信号变换技术

测量电桥

灵敏度高、线性好、测量范围宽、容易实现温度补偿

直流电桥：电阻应变式测力称重传感器

交流电桥：电抗变化式，电感式、差动变压器式、电容式传感器

常使被测量为零时，电桥平衡。

全桥差动，半桥差动

交流电桥缺点：要求激励有稳定的幅值，稳定的频率

供桥电压的幅值就是电桥的灵敏系数

为保证电桥输出的线性，阻抗变化常设计得很小，所以电桥输出电压需要放大

电桥放大器

电源浮置的电桥放大器：电桥输出电压与 R 无关，与 u_s 有关， u_o 与 δ 线性范围较小。

差分输入式电桥放大器：线性叠加原理 (u_s 和 u_o 分别作用、 $u_a = u_b$)

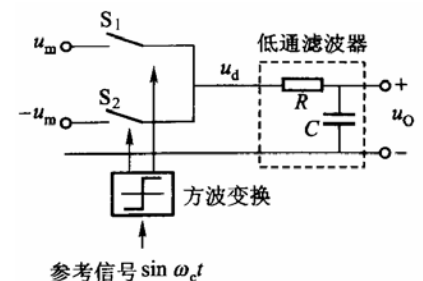
电压 - 电流转换

电压 - 频率转换

模拟 - 数字转换

在一些测量场合 $U_c \gg U_d$ ，要求放大电路有极大的差模放大倍数 A_d 和极小的共模放大倍数 A_c ，即有极大的共模抑制比

$$CMRR = 20 \lg (A_d / A_c)$$



采样与量化：低通滤波，采样保持，A/D 转换

双积分式 A/D 转换：第一次积分采样（固定时间），第二次积分比较（固定电压），第二次积分时间为输出。

逐次比较式 A/D 转换：转换速度快

增量调制型 A/D 转换：信号频率不太高的场合，较高的转换精度，性价比，且使用方便

506 噪声及干扰抑制技术

干扰的传播途径：内部外部干扰降低分辨力和灵敏度，或引起放大器饱和而进入非线性区

静电耦合：寄生电容，信号源内阻，噪声源频率

电磁耦合：互感耦合，磁感耦合，变压器的漏磁，减小接收器的环路面积

电磁辐射：电磁场产生的电磁波，电场和磁场耦合的效果，可通过屏蔽、正确的接地和高频滤波解决。

共阻抗耦合：多个电路有公共阻抗时，一路中的电流变化在共阻上产生电压，电源内阻抗，公共地线耦合。

屏蔽技术：限制或阻止电力线和磁力线超出或进入某个区域的技术措施

静电屏蔽：用一金属屏蔽盒罩住被干扰的电路且将金属盒接地，可消除外部的静电干扰。低电阻材料，导线越短越好。信号从屏蔽线内部的两芯双绞线通过，双绞线可以消除磁场干扰。

电磁屏蔽：利用涡电流产生的反磁场抵消高频干扰磁场，低电阻材料，接地。高频电路的线圈应配屏蔽罩。

磁屏蔽：利用高导磁材料制成屏蔽罩，使低频磁通干扰的磁力线大部分在屏蔽罩内构成回路。

接地技术：将某点与一个等电位点/面之间用低电阻导体连接起来，构成一个基准电位

信号地，模拟地，数字地，负载地，交流地，电源地，屏蔽地

消除地线阻抗所产生的噪声电压，不形成地环路。

几点接地：工作频率低，一点接地，工作频率高，多点就近接地。

数字模拟：数字强模拟弱，数字地应与模拟地分开走线，然后两地在一点汇集

负载交流：负载强信号弱，信号地与强电地应分开设置，同时强电地线应粗些

电缆屏蔽：电缆屏蔽层应接至放大器的公共端，如果放大器不接地，应将电缆屏蔽层接至信号源的公共端

驱动技术

驱动电缆法

有源屏蔽：电缆的芯线与内屏蔽层等点位，消除了寄生电容。

一般电场屏蔽：内、外屏蔽层之间的电容变成了电缆驱动放大器的负载