

特别注意

考试时间：2024-11-15 14:00~16:00

考试地点：金花6-504、505、509、510

考试类型：闭卷

考试题型：填空(10空/10分)、选择(10题/10分)、判断题(10题/10分)、简答(4题/20分)、计算题(2题/20分)、综合题(1题/实验、计算和分析/30分)

《检测技术与智能仪表》授课纲要

主讲教师：全威

2024年10月31日

绪论

- 了解本课程的历史和现状
 - 传感器的基本概述 *
 - 检测系统的基本组成及信号处理方法
-

授课重点

- 什么是传感器？
- 传感器的基本结构？
- 传感器的分类？（参数、工作原理、能量传递方式……等）
- 传感器的静态特性指标？（线性度、灵敏度、迟滞、重复性等）
- 传感器动态性能指标？（瞬态响应/频率响应）
- ◆ 考查项目：基本概念

什么是传感器

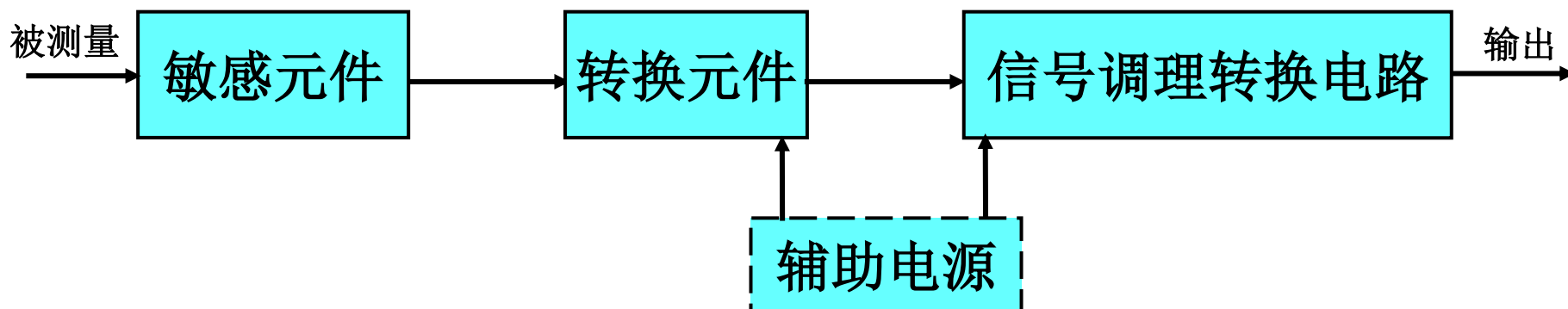
发送器、传送器、变送器、换能器

- 是检测系统的第一个重要环节；是与人的感觉器官相对应的元件；能够感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可输出信号的器件或装置；
- 一感二传，即感受被测信息，并传送出去



传感器基本结构

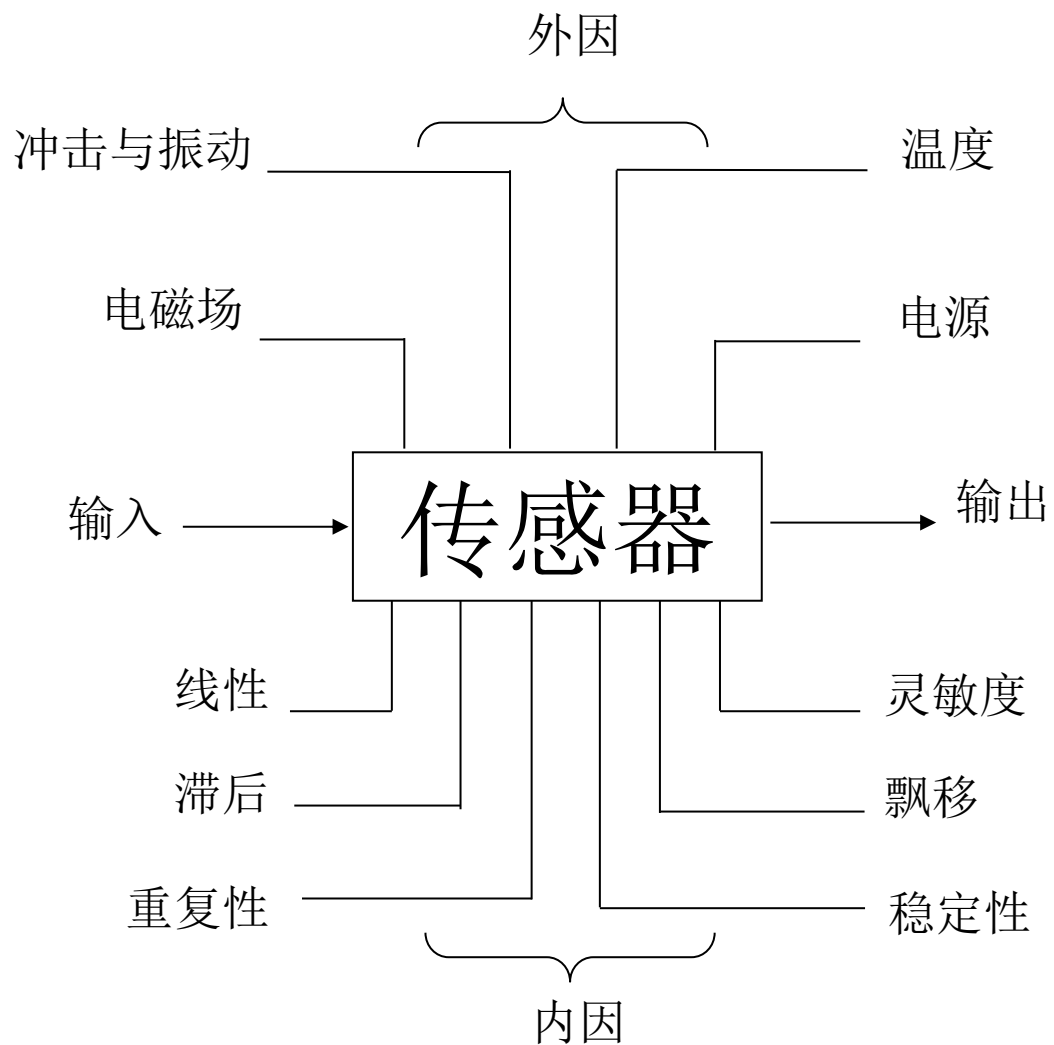
- 通常由敏感元件、转换元件和转换电路组成。



传感器的分类

- 按工作机理：物理型、化学型、生物型等
- 按**能量传递方式**：无源和有源
- 按**工作原理**：应变、电压、电容、涡流、差动变压器.....
- 按**被测参数**：温度、压力、位移、速度.....
- 其他：**模拟/数字、单向/可逆**





静态特性与性能指标

线性度

灵敏度

迟滞（又称为回差或变差）

重复性

漂移

稳定性

精度、可靠性、分辨率

死区、测量范围

瞬态响应特性

时间常数、延迟时间、

上升时间、峰值时间、

超调量、衰减比、

固有频率

频率响应特性

通频带、工作频率、

时间常数、固有频率、

相位误差、跟随角

动态特性与性能指标



第1章 传感与检测技术的理论基础

□ 测量*

□ 测量误差*

□ 测量数据的处理方法*

授课重点

- 测量及测量方法的分类、比较？
- 测量误差的表示方法？
- 系统误差的判定及处理方法？
- 随机误差的判定、性质、数字特征及处理方法？
- 粗大误差的判定及处理方法？
- 不等精度测量的误差与“权”之间的关系？
- 误差的合成与分配？

◆ 考查项目：基本概念、应用计算

测量

- 测量是以确定量值为目的的一系列操作。所以测量也就是将被测量与同种性质的标准量进行比较, 确定被测量对标准量的倍数。它可由下式表示:

$$X = nu$$

式中 : x ——被测量值;

u ——标准量, 即测量单位;

n ——比值 (纯数), 含有测量误差。

测量方法

实现被测量与标准量比较得出比值的方法, 称为测量方法。

- 直接测量、 间接测量与组合测量
- 偏差式测量、 零位式测量与微差式测量
- 等精度测量与不等精度测量
- 静态测量与动态测量



测量误差

- 测量误差就是测量值与真实值之间的差值。

测量误差的表示方法

- 绝对误差: $\Delta = x - L$
- 相对误差: $\delta = \Delta / L \times 100\%$
- 引用误差: $\gamma = \Delta / \text{测量范围} \times 100\%$
- 基本误差
- 附加误差



系统误差发现

- (1) 实验对比法
- (2) 残余误差观察法
- (3) 准则检查法

系统误差消除

- (1) 测量结果修正
- (2) 仔细检查仪表
- (3) 找规律自动补偿消除
- (4) 实时反馈修正

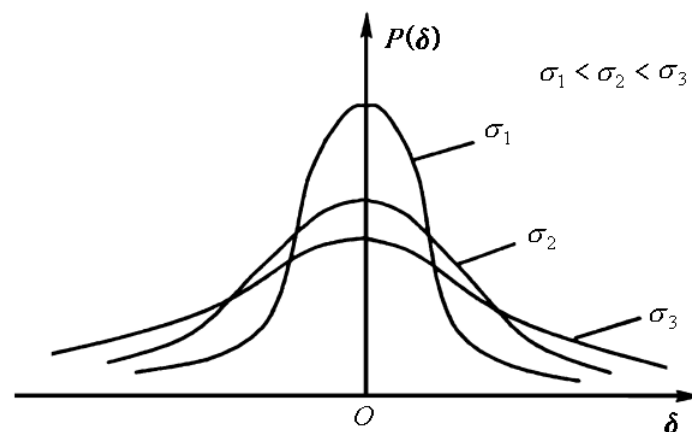
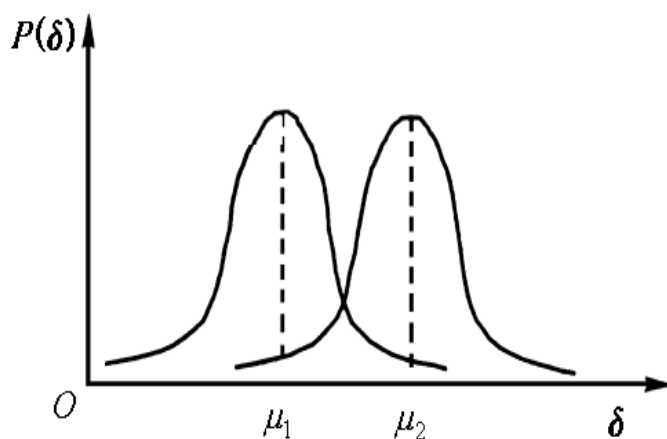


算术平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

均方根偏差 标准偏差

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - L)^2}{n}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}}$$



算术平均值是反映随机误差的分布中心
均方根偏差则反映随机误差的分散程度

均方根偏差估计值

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}$$

算术平均值的均方根偏差

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{n}}$$

测量结果可表示为

$$x = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}} (p_a = 0.6827)$$

$$x = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} (p_a = 0.9973)$$



粗大误差判定总结

$$|v_i| > k\sigma_s$$

↑
残余
误差
 $x_i - \bar{x}$

↑
超出

↑
预期

莱以达准则： k 为常数3

肖维勒准则： k 与测量次数 n 有关

格莱布斯准则： k 与测量次数 n 、
置信概率 P_a 有关

注意

σ_s 是标准差 σ 的估计

$\sigma_{\bar{x}}$ 是测量结果 \bar{x} 的误差估计



用各组测量列的标准差平方的倒数的比值表示，
并取误差较大的测量列的权为1。

考虑各测量列
的权的情况

加 权
算术平均值

$$P_1 : P_2 : \cdots : P_m = \left(\frac{1}{\sigma_1} \right)^2 : \left(\frac{1}{\sigma_2} \right)^2 : \cdots : \left(\frac{1}{\sigma_m} \right)^2$$

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 p_1 + \bar{x}_2 p_2 + \cdots + \bar{x}_m p_m}{p_1 + p_2 + \cdots + p_m} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i p_i}{\sum_{i=1}^m p_i}$$

加权算术平均值
标准误差

$$\sigma_{\bar{x}p} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m p_i v_i^2}{(m-1) \sum_{i=1}^m p_i}}$$



(1) 系统误差的合成:

由于: $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

误差可用微分来表示, 故其合成表达式为

$$dy = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} dx_n$$

(2) 标准差的合成:

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma_{x_i}^2}$$

(3) 总合成误差:

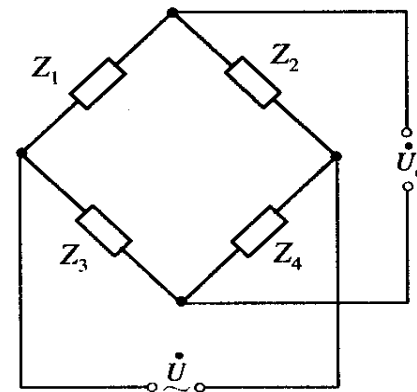
$$\varepsilon = \Delta_y \pm \sigma_y$$



第3章 电阻式传感器 (无源传感器1)

- 电位器式传感器及其应用
 - 应变式传感器及其应用*
 - 热(敏)电阻热及其应用
-

授课重点



- 电位器式传感器的工作原理？
- 电阻（金属、半导体）应变式传感器的工作原理？（几何尺寸、压阻效应）
- 应变片的种类、结构及各部件作用？
- 应变片的横向效应及处理方法？
- 电阻应变式传感器温度影响（温度系数、线膨胀系数）及补偿方法？（线路补偿、自补偿）
- 电阻应变式传感器测量电路（直流、交流）平衡条件及简单电路分析（单臂、半桥和全桥）？
- 金属热电阻工作原理、引线方式（三线制）及分度表使用？

◆ 考查项目：基本概念、应用计算

第4章 电感式传感器 (无源传感器2)

- 自感式传感器及应用 *
 - 互感式(差动变压器)传感器及应用 *
 - 电涡流传感器及应用 *
-

授课重点

□ 电感式传感器的原理及分类(变气隙、变面积和变螺线管)?

□ 自感式传感器

回路磁阻计算, 三类传感器输出特性比较, 等效电路及引线电缆, 测量电路(交流/变压器电桥、调振) 分析

□ 互感式(差动变压器)传感器

零点残余电压产生原因及消除, 测量电路(差动整流、相敏检波)分析

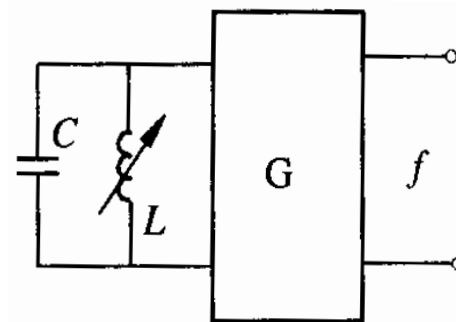
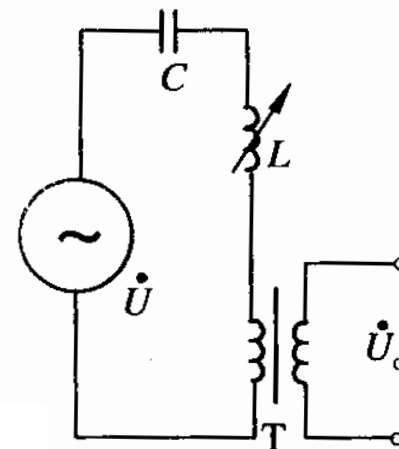
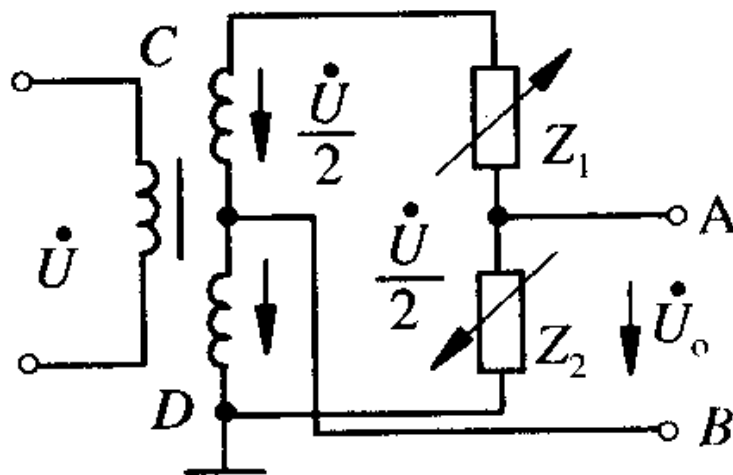
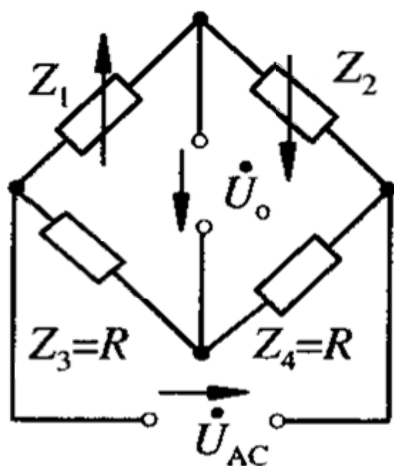
□ 电涡流传感器

电涡流效应, 测量电路分析, 工程应用(非接触测量)

◆ 考查项目: 基本概念、应用计算

自感式传感器测量电路

- ※ 交流电桥式测量电路
- ※ 变压器式交流电桥
- ※ 谐振式测量电路



互感式传感器测量电路

👓 互感式传感器（差动变压器式）

※ 工作原理 ☆

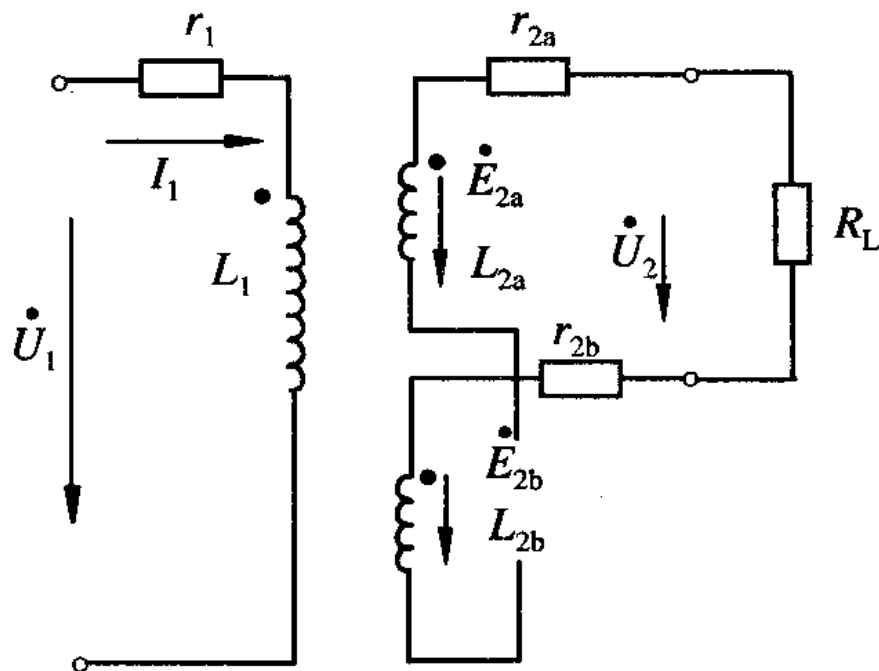
※ 输出特性

※ 测量电路

👓 测量电路

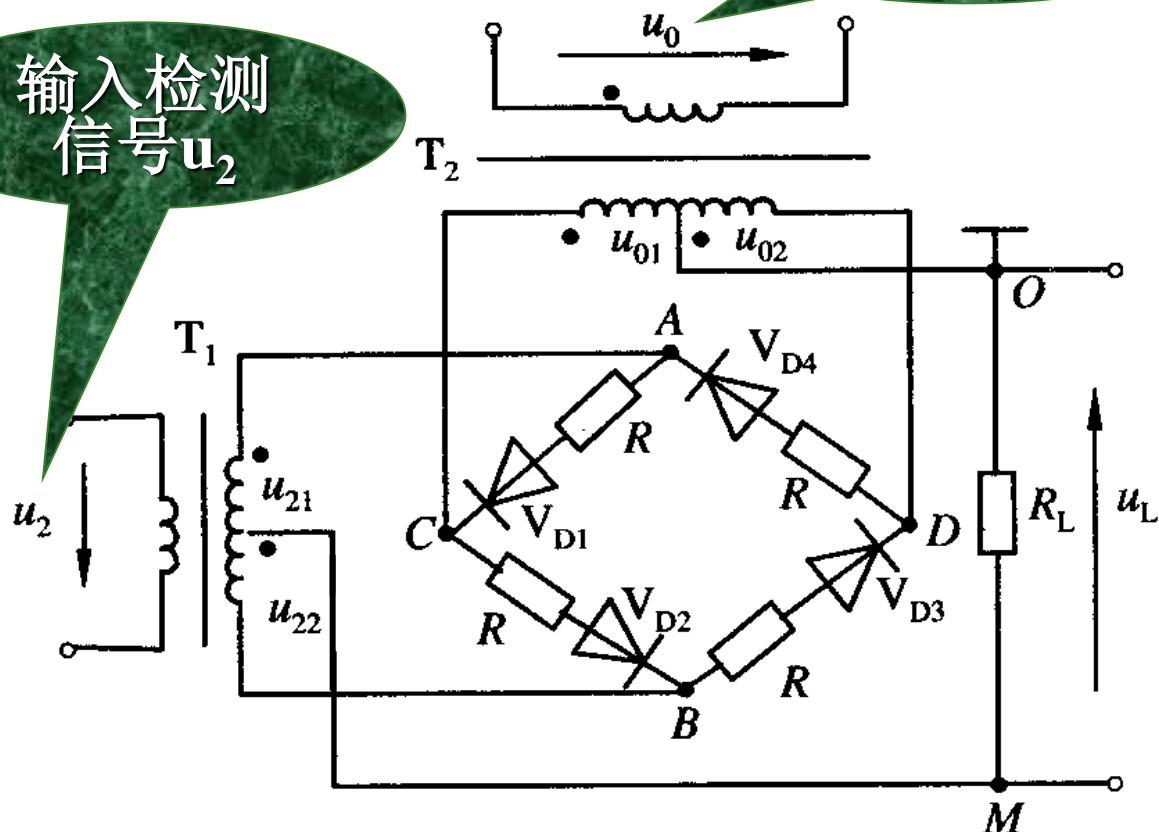
※ 差动整流电路

※ 相敏检波电路 ☆



相敏检波电路

- u_0 的幅值要远大于输入信号 u_2 的幅值，以便有效控制四个二极管的导通状态。



- u_0 和 u_2 由同一振荡器供电，保证二者同频、同相或反相。



第5章 电容式传感器 (无源传感器3)

- 电容式传感器工作原理及分类*
 - 变极距*(面积*、介质)型电容式传感器输出特性及比较
 - 电容式传感器等效电路，测量电路*
 - 电容式传感器工程应用
-

授课重点

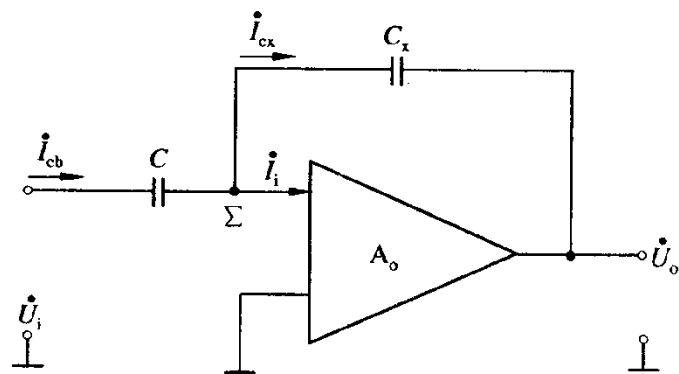
- 电容式传感器的原理及分类（变极距、变面积和介电常数）？
- 电容式传感器线性度、灵敏度及差动结构？
- 电容式传感器（单电容、差动电容）测量电路分析（运算放大器式、二极管双T型交流电桥、脉宽调制）？
- 电容式传感器工程应用范围？

◆ 考查项目：基本概念、应用计算

运算放大器式电路

$$U_0 = -\frac{C}{C_x} \dot{U}_i$$

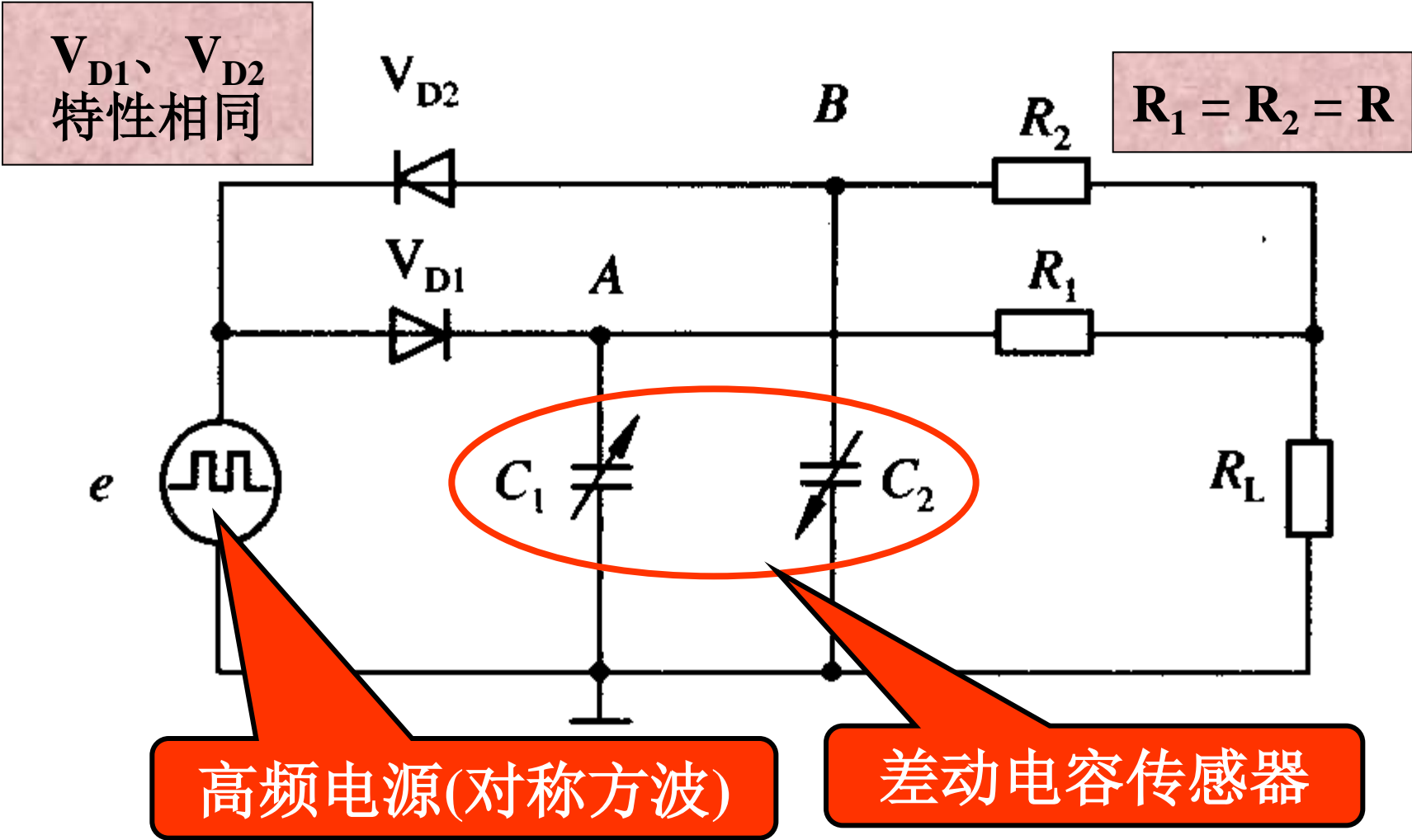
$$\dot{U}_0 = -\dot{U}_i \frac{c}{\varepsilon A} d$$



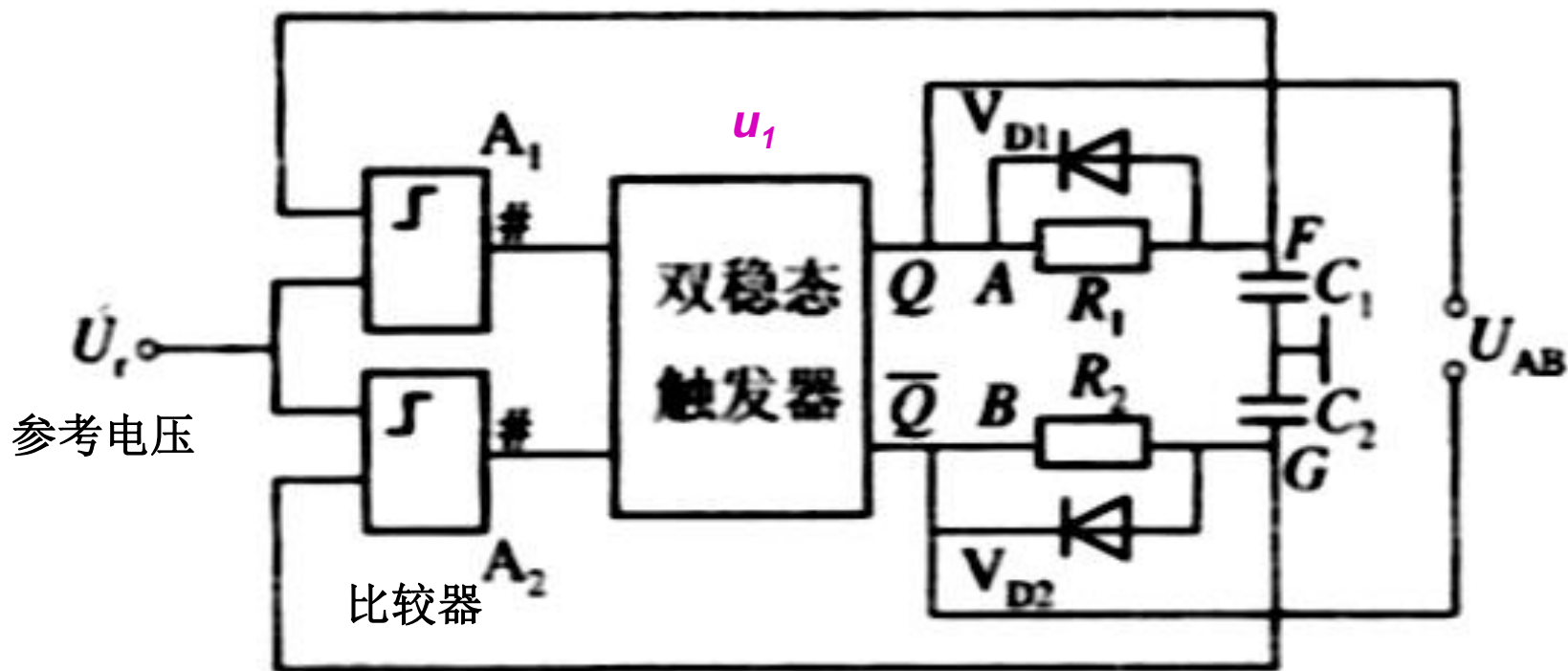
运算放大器式电路原理图

运算放大器的输出电压与极板间距离 d 呈线性关系

二极管双T型交流电桥



脉冲宽度调制电路



脉冲宽度调制电路



第6章 压电式传感器

- 压电式传感器的工作原理及压电材料 *
 - 压电式传感器的等效电路及串并联电路 *
 - 压电式传感器的测量电路 *
 - 压电式传感器的工程应用
-

授课重点

- 正（反）**压电效应**及压电材料？
- 石英晶体压电模型分析及**方向轴定义**？
- 压电陶瓷的**电畴极化**？
- 压电式传感器的**预载力**及动态测量？
- 压电式传感器的电荷（压）等效电路及压电元件的连接特性（**串联、并联**）？
- 压电式传感器的测量电路特性及引线电缆？

◆ 考查项目：基本概念及应用

第7章 磁电式传感器

□ 磁电感应式传感器及其应用 *

□ 霍尔传感器及其应用 *

□ 磁敏传感器及其应用

授课重点

□ 磁电感应式传感器（速度传感器）

工作原理，分类，与电磁式传感器比较，非线性误差及补偿，温度误差补偿，测量电路

□ 霍尔传感器

霍尔效应，霍尔电势，霍尔元件，不等位电势及其补偿，温度补偿方法

□ 磁敏二极管和磁敏三极管

◆ 考查项目：基本概念及应用

第8章 光电式传感器

- 光电式传感器的工作原理*
 - 光电器件*
 - 电荷耦合器件(CCD 传感器)
 - 光纤传感器*
-

授课重点

- 内（外）光电效应？
- 光电器件的特性？红限频率？
- 光电式传感器基本组成及类型？
- 电荷耦合器件基本结构？分类？
- 光纤的结构（纤芯、包层和保护层）及传光原理（全反射）？
- 光纤传感器的工作原理（传感型/传光型）？

◆ 考查项目：基本概念及应用

第9章 半导体传感器

□ 气敏传感器

□ 湿敏传感器

□ 色敏传感器

◆ 考查项目：基本概念

第10章 超声波传感器

- 超声波
 - 超声波传感器的工作原理*
 - 超声波传感器的工程应用*
-

授课重点

- 超声波的**频率范围**及分类？
- 超声波的反射与折射？
- 超声波探头**工作原理及分类**？
- 超声波传感器的工程应用？（**超声波测距**）

◆ 考查项目：基本概念及应用

第11-12章 微波、辐射传感器

□ 微波

□ 红外线

◆ 考查项目：基本概念

第13章 数字式传感器

□ 数字式传感器特点

□ 编码器*

□ 光栅*

授课重点

□ 数字式传感器相对模拟式传感器的**优点**？

□ 光电编码器

绝对编码器结构特点，**工作原理**，**码制**特点及相互关系

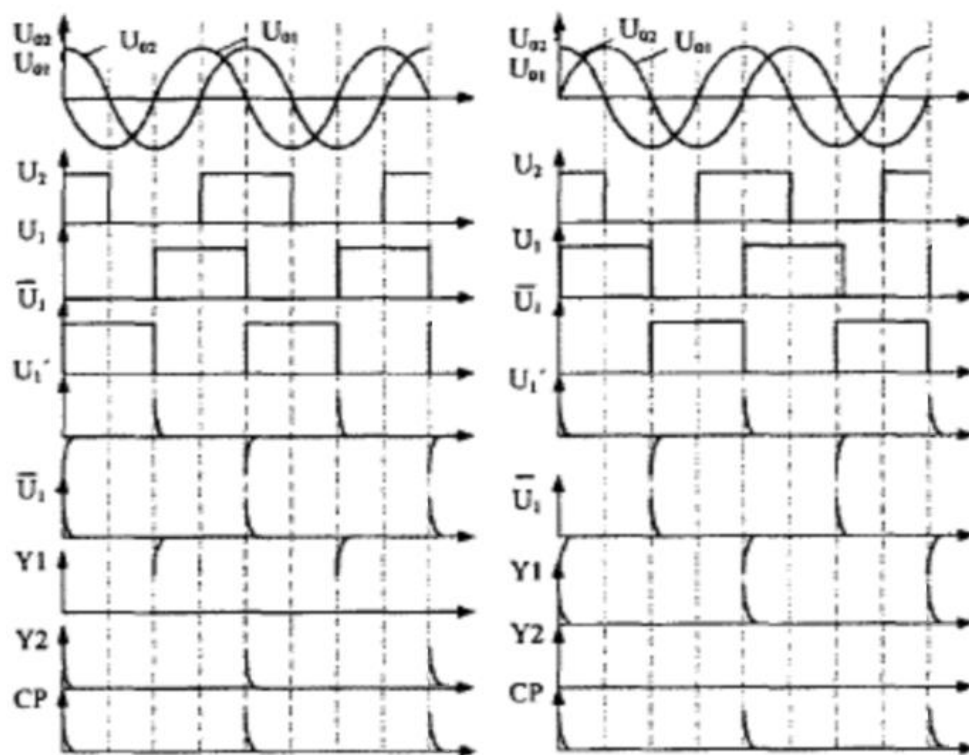
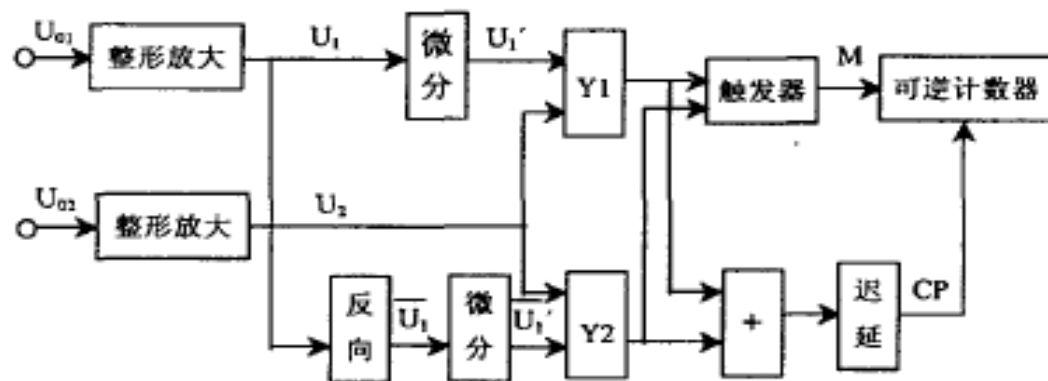
增量编码器结构特点，**工作原理**

□ 光栅

光栅分类，传感器结构，**莫尔条纹**及其特点，辨向原理，**细分技术**

◆ 考查项目：基本概念、应用计算

辨向电路及分析



(a) 正向移动的波形

(b) 反向移动的波形



第14章 传感器发展趋势

- 开发新型传感器
- 传感器的集成化与多功能化
- 智能化
- 仿生传感器
- 生物传感器
- 无线传感器网络与物联网

◆ 考查项目：基本概念

第15章 传感器在工程检测中的应用

□ 温度测量*

□ 压力测量

□ 流量测量

□ 物位测量

授课重点

□ 温度测量

温度与温标，温度测量方法分类，热电偶测温原理(热电效应，热电偶基本定律*，分度表使用，补偿导线及冷端温度补偿*)

□ 压力/流量/物位测量

压力/流量/物位及表达方式(电磁流量计)

压力/流量/物位测量方法

◆ 考查项目：基本概念、应用计算

第16章 智能仪表技术概述

- 仪表的发展历程
 - 智能仪表的分类、基本结构和功能*
 - 智能仪表的基本技术指标*
 - 智能仪表的设计开发过程
-

授课重点

□ 智能仪表的基本结构

主机电路，过程输入输出通道，人机接口，通讯接口

□ 基本技术指标

测量范围、上下限及量程、零点迁移和量程迁移、灵敏度和分辨率、误差、精确度、滞环、死区和回差、重复性和再现性、可靠性

□ 基本技术指标

确定任务、拟制设计方案；硬/软件研制及仪表结构设计；仪表总调、性能测试

◆ 考查项目：基本概念

第17章 智能仪表硬件系统开发

- 主机电路设计
 - 过程输入/输出通道设计
 - 人机接口电路介绍
 - 智能仪表数字化通信技术
 - 现场总线技术与蓝牙技术
-

授课重点

□ 主电路设计（**MCU**）

AT89C51、**ARM**系列单片机、**DSP**数字处理器

□ 输入输出接口概述

数字量输入/输出接口、模拟量输入接口、模拟量输出接口

□ 人机交互接口

键盘、输出设备（**LED****LCD**、打印机）

◆ 考查项目：基本概念

授课重点

□ 智能仪表数字化通信技术

串行通信、**RS-232C**、**RS-422**和**RS-485**、**USB**

□ 现场总线技术与蓝牙技术

ModBus现场总线、**CAN**总线、**Profibus**总线、基金会现场总线(**FF**总线)、**LonWorks**、工业以太网、工业无线网络、蓝牙通信技术

◆ 考查项目：基本概念

第18章 智能仪表软件系统开发

- 软件设计方法
 - 软件功能测试
 - 软件的运行、维护和改进
 - 监控程序设计
 - 主要模块程序设计
-

授课重点

1、软件设计方法

- 软件开发一般经历**分析、设计、编程、测试及运行与维护**等阶段。
 - 软件设计部分主要是设计软件系统的**模块层次结构、控制流程及数据库的结构**等。
 - 这个阶段可以分为两个部分，即**总体设计和详细设计**。
 - 目前广泛采用的设计方法主要是**结构化设计和结构化编程**。
-

授课重点

□ 软件功能测试

常用的方法有功能测试法和程序逻辑结构测试法两种*

测试的基本原则

□ 软件的运行、维护和改进

□ 监控程序设计

□ 主要模块程序设计*

监控主程序、初始化管理、键盘管理、显示管理、中断管理、时钟管理、手自动控制、自诊断处理

◆ 考查项目：基本概念

实验/综合题

模拟量电感式传感器 (材质/尺寸)

模拟量光电式漫射传感器 (颜色/粗糙度/厚度)

工业力传感器实验 (1/4、半、全桥(调零)/未知力)

模拟量压力传感器 (压力校准/力与压力转换(调零))

◆考查项目：实验器材、实验原理和实验步骤

-
- ☐ 测量数据估计 P25 1-11,12,14
 - ☐ 电阻式传感器 P58 3-5,6,7
 - ☐ 电感式传感器 P81 4-5,7,8
 - ☐ 电容式传感器 P96 5-4,5 补充题
 - ☐ 数字式传感器 补充题
 - ☐ 热电偶 P276 15-7,8

课堂学习完成

预祝同学们在课程考核中
取得好成绩！
