

哈尔滨工程大学本科生考试试卷

(2008-2009 年 2 学期)

课程编号: 04010080 课程名称: 检测与转换技术 A A 卷

注: 全卷共五大题, 满分 100 分, 所有答案写在答题纸上。

第一题 填空: 共 12 分, 每题 2 分

1. 检测与转换技术是以研究自动检测系统中的信息提取, 信息转换以及信息处理和_____为主要内容的应用技术学科。
2. $f(t) = \sin \omega_1 t + \frac{1}{3} \sin 1/3 \omega_1 t + \frac{1}{5} \sin 1/5 \omega_1 t + \frac{1}{7} \sin 1/7 \omega_1 t$ 属于_____信号。
3. 热电偶制定分度表的理论基础是_____中间温度定律_____。
4. 0 摄氏度相当于热力学温标的 273.15 K。

5. 1 标准大气压下压力表测得压力是 $1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$, 绝对压力是_____ mmHg。

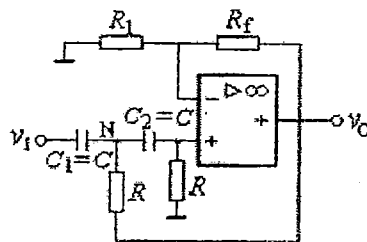
6. 目前常用的节流装置有: _____、_____和_____。

第二题 选择: 共 18 分, 每题 3 分

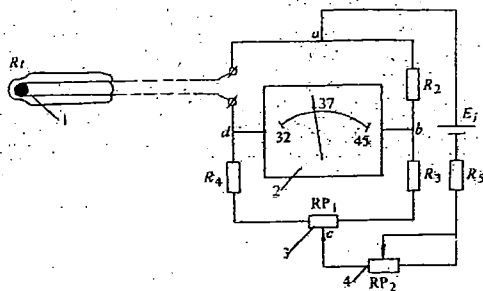
1. 在选购线性仪表时, 必须在同一系列的仪表中选择适当的量程。这时必须考虑到应尽量使选购的仪表量程为欲测量值的_____C_____左右为宜。
A. 3 倍 B. 10 倍 C. 1.5 倍 D. 0.75 倍
2. 检测仪表附近存在一个工频漏感很大的电焊机, 该仪表机箱和信号线必须_____B_____。
A. 静电屏蔽 B. 铁皮低频屏蔽 C. 高频电磁屏蔽 D. 铝质机箱并接大地
3. 螺线管式自感传感器采用差动结构是为了_____B_____。
A. 加长线圈的长度从而增加线性范围 B. 提高灵敏度, 减小温漂
C. 降低成本 D. 增加线圈对衔铁的吸引力
4. 霍尔元件采用恒流源激励是为了_____B_____。
A. 提高灵敏度 B. 克服温漂 C. 增大输入阻抗 D. 增大输出电压
5. 将超声波(机械振动波)转换成电信号是利用压电材料的_____C_____; 蜂鸣器中发出“嘀……嘀……”声的压电片发声原理是利用压电材料的_____。
A. 应变效应 B. 电涡流效应 C. 压电效应 D. 逆压电效应
6. 绝对式位置传感器输出的信号是_____C_____ , 增量式位置传感器输出的信号是_____B_____。
A. 电流信号 B. 脉冲信号 C. 二进制格雷码 D. 电压信号

第三题 简答: 共 28 分, 每题 7 分 (给出简单说明和推导)

1. 请通过分析说明如下图所示的滤波器属于何种类型滤波器。



2. 热敏电阻按其基本性能可分为那几种类型? 下图是热敏电阻体温表, 请说明两只电位器 RP_1 和 RP_2 在电路中的作用。

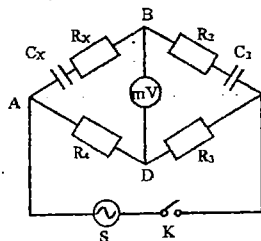


3. 已知待测拉力约为 70N 左右。现有两只测力仪表，一只为 0.5 级，测量范围为 0 ~ 500N；另一只为 1.0 级，测量范围为 0 ~ 100N。问选用哪一只测力仪表较好？为什么？

用 0.5 级 0-500N
$$r_x = \frac{0.5}{A} \times 100\% = \frac{500 \times 0.5\%}{70} \times 100\% = 3.57\%$$

用 1.0 级 0-100N
$$r_x = \frac{1.0}{A} \times 100\% = \frac{100 \times 1.0\%}{70} \times 100\% = 1.43\%$$
 因为 $r_x < r_n$ 所以应采用 1.0 级 0-100N 表

4. 推导如下图所示交流电桥被测量的表达式。被测电容器的损耗是多少？



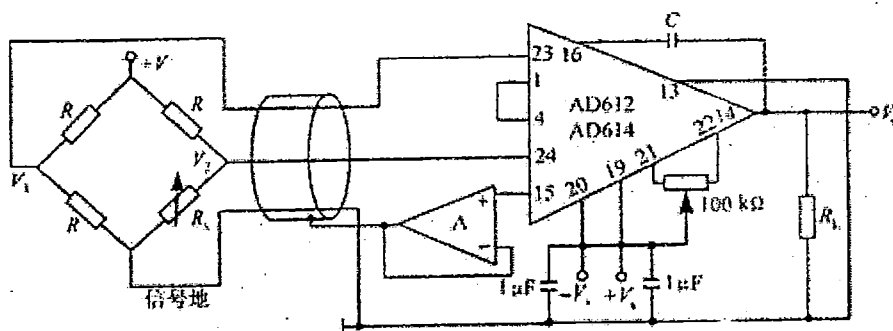
第四题 计算题：共 30 分，每题 10 分（必须给出计算步骤）

1. 对某量进行反复 10 次等精度测量，测量结果如下：

167.95, 167.45, 167.60, 167.60, 167.87,
167.88, 168.00, 167.85, 167.82, 167.60

试求标准误差与极限误差，并写出测量结果表达式。

2. 下图中，已知电桥电源电压 $V=5V$, $R=200\Omega$, R_x 为 200Ω 应变片，其灵敏度系数为 2，应变为 0.01，测量放大器 AD612 共模抑制为 100db，试计算 AD612 的输出电压 U_0 。



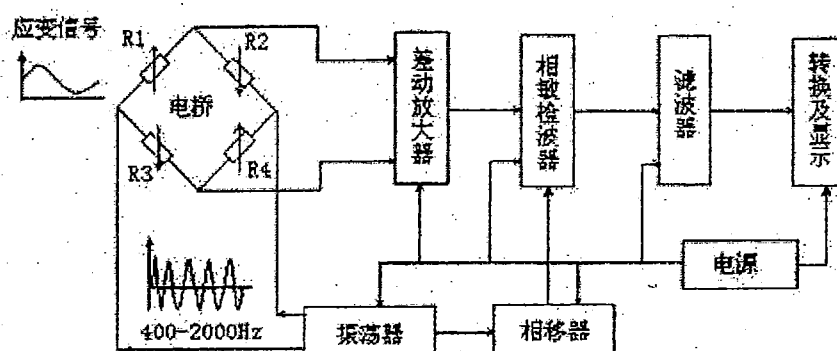
3. 用铂铑₁₀-铂铑₆热电偶测温度，已知冷端温度为 20°C ，用高精度毫伏表测得这时的热电势为 7.934mV ，求被测点温度。

第五题 综合问答题：共 12 分（给出分析过程）

下图是电阻应变仪电路框图，电桥采用交流供电，应变信号为一正弦变化的信号频率为 20Hz ，振荡频率

4KHz。请：

1. 说明各环节的作用
2. 画出放大器、相敏检波器、低通滤波器的输出波形示意图。



哈尔滨工程大学本科生考试试卷

(2008-2009 年 2 学期)

课程编号: 04010080 课程名称: 检测与转换技术 A A 卷

注: 全卷共五大题, 满分 100 分, 所有答案写在答题纸上。

第一题 填空: 共 12 分, 每题 2 分

1. 检测与转换技术是以研究自动检测系统中_____、_____、_____和_____为主要内容的应用技术学科。
2. $f(t) = \sin \omega_1 t + \frac{1}{3} \sin 1/3 \omega_1 t + \frac{1}{5} \sin 1/5 \omega_1 t + \frac{1}{7} \sin 1/7 \omega_1 t$ 属于_____信号。
3. 热电偶制定分度表的理论基础是_____。
4. 0 摄氏度相当于热力学温标的_____K。
5. 1 标准大气压下压力表测得压力是 $1.1 \times 10^5 \text{Pa}$, 绝对压力是_____mmHg。
6. 目前常用的节流装置有: _____、_____和_____。

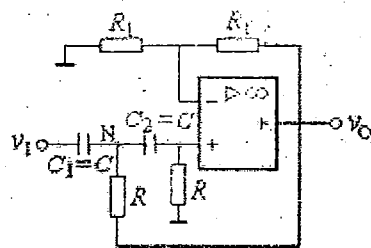
第二题 选择: 共 18 分, 每题 3 分

1. 在选购线性仪表时, 必须在同一系列的仪表中选择适当的量程。这时必须考虑到应尽量使选购的仪表量程为欲测量值的_____左右为宜。
A. 3 倍 B. 10 倍 C. 1.5 倍 D. 0.75 倍
2. 检测仪表附近存在一个工频漏感很大的电焊机, 该仪表机箱和信号线必须_____。
A. 静电屏蔽 B. 铁皮低频屏蔽 C. 高频电磁屏蔽 D. 铝质机箱并接大地
3. 螺线管式自感传感器采用差动结构是为了_____。
A. 加长线圈的长度从而增加线性范围 B. 提高灵敏度, 减小温漂
C. 降低成本 D. 增加线圈对衔铁的吸引力
4. 霍尔元件采用恒流源激励是为了_____。
A. 提高灵敏度 B. 克服温漂 C. 增大输入阻抗 D. 增大输出电压
5. 将超声波 (机械振动波) 转换成电信号是利用压电材料的_____; 蜂鸣器中发出“嘀……嘀……”声的压电片发声原理是利用压电材料的_____。
A. 应变效应 B. 电涡流效应 C. 压电效应 D. 逆压电效应
6. 绝对式位置传感器输出的信号是_____, 增量式位置传感器输出的信号是_____。
A. 电流信号 B. 脉冲信号 C. 二进制格雷码 D. 电压信号

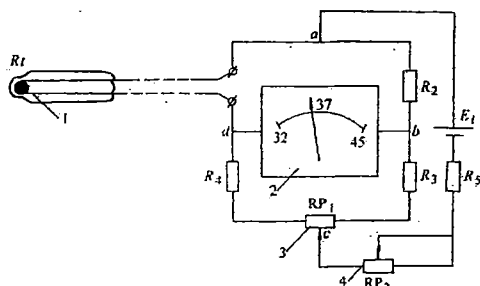
第三题 简答: 共 28 分, 每题 7 分 (给出简单说明和推导)

1. 请通过分析说明如下图所示的滤波器属于何种类型滤波器。

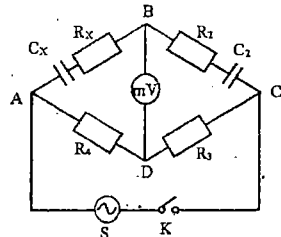
41



2. 热敏电阻按其基本性能可分为那几种类型？下图是热敏电阻体温表，请说明两只电位器 RP_1 和 RP_2 在电路中的作用。

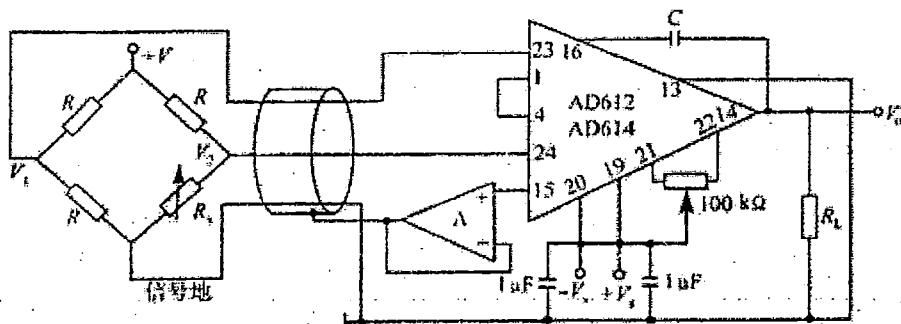


3. 已知待测拉力约为 70N 左右。现有两只测力仪表，一只为 0.5 级，测量范围为 0 ~ 500N；另一只为 1.0 级，测量范围为 0 ~ 100N。问选用哪一只测力仪表较好？为什么？
4. 推导如下图所示交流电桥被测量的表达式。被测电容器的损耗是多少？



第四题 计算题：共 30 分，每题 10 分（必须给出计算步骤）

1. 对某量进行反复 10 次等精度测量，测量结果如下：
167.95, 167.45, 167.60, 167.60, 167.87,
167.88, 168.00, 167.85, 167.82, 167.60
试求标准误差与极限误差，并写出测量结果表达式。
2. 下图中，已知电桥电源电压 $V=5V$ ， $R=200\Omega$ ， R_x 为 200Ω 应变片，其灵敏度系数为 2，应变为 0.01，测量放大器 AD612 共模抑制为 100db，试计算 AD612 的输出电压 U_0 。



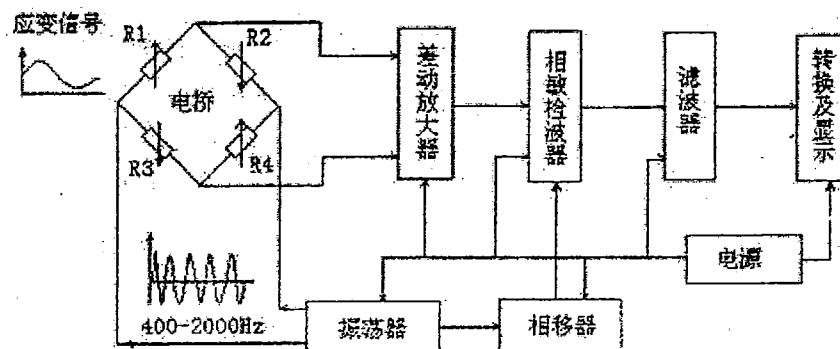
3. 用铂铑₁₀-铂铑₆热电偶测温度，已知冷端温度为 20°C，用高精度毫伏表测得

这时的热电势为 7.934 mV，求被测点温度。

第五题 综合问答题：共 12 分（给出分析过程）

下图是电阻应变仪电路框图，电桥采用交流供电，应变信号为一正弦变化的信号，频率为 20Hz，振荡频率 4KHz。请：

1. 说明各环节的作用
2. 画出放大器、相敏检波器、低通滤波器的输出波形示意图。



标准答案及评分标准

第 1 页

课程名称: (检测与转换技术 A A 卷)

第一题 填空: 共 12 分, 每题 2 分

1. 检测与转换技术是以研究自动检测系统中_____、_____和_____为主要内容的应用技术学科。
2. $f(t) = \sin \omega_1 t + \frac{1}{3} \sin 1/3 \omega_1 t + \frac{1}{5} \sin 1/5 \omega_1 t + \frac{1}{7} \sin 1/7 \omega_1 t$ 属于_____信号。
3. 热电偶制定分度表的理论基础是_____。
4. 0 摄氏度相当于热力学温标的_____K。
5. 1 标准大气压下压力表测得压力是 $1.1 \times 10^5 \text{Pa}$, 绝对压力是_____mmHg。
6. 目前常用的节流装置有: _____和_____。

答案:

- 1、信息提取、信息转换、信息处理、信息传输
- 2、非周期信号(准周期信号)
- 3、中间温度定律
- 4、273.15K
- 5、768.250 mmHg
- 6、孔板、文丘里管、喷嘴

第二题 选择: 共 18 分, 每题 3 分

1. 在选购线性仪表时, 必须在同一系列的仪表中选择适当的量程。这时必须考虑到应尽量使选购的仪表量程为欲测量的_____左右为宜。
A. 3 倍 B. 10 倍 C. 1.5 倍 D. 0.75 倍
2. 检测仪表附近存在一个工频漏感很大的电焊机, 该仪表机箱和信号线必须_____。
A. 静电屏蔽 B. 铁皮低频屏蔽 C. 高频电磁屏蔽 D. 铝质机箱并接大地
3. 螺线管式自感传感器采用差动结构是为了_____。
A. 加长线圈的长度从而增加线性范围 B. 提高灵敏度, 减小温漂
C. 降低成本 D. 增加线圈对衔铁的吸引力
4. 霍尔元件采用恒流源激励是为了_____。
A. 提高灵敏度 B. 克服温漂 C. 增大输入阻抗 D. 增大输出电压
5. 将超声波(机械振动波)转换成电信号是利用压电材料的_____; 蜂鸣器中发出“嘀……嘀……”声的压电片发声原理是利用压电材料的_____。

43

标准答案及评分标准

第 2 页

A. 应变效应 B. 电涡流效应 C. 压电效应 D. 逆压电效应

6. 绝对式位置传感器输出的信号是_____, 增量式位置传感器输出的信号是_____。

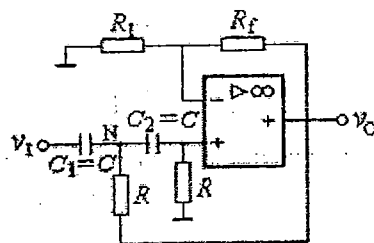
A. 电流信号 B. 脉冲信号 C. 二进制格雷码 D. 电压信号

答案:

1、B 2、B 3、B 4、B 5、CD 6、CB

第三题 简答: 共 28 分, 每题 7 分 (给出简单说明和推导)

1. 请说明如下图所示的滤波器属于何种类型滤波器。



答案: 根据电路图, 求得: 通带增益为: $A_{vp} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$

根据运算放大器特点和基尔霍夫定律, 列写电路方程, 得到:

$$\begin{cases} \frac{V_i(s) - V_N(s)}{1/Cs} = \frac{V_N(s) - V_o(s)}{R} + \frac{V_N(s)}{1/Cs + R} \\ \frac{V_N(s)}{1/Cs + R} \cdot R = \frac{V_o(s)}{R_1 + R_f} \cdot R_1 \end{cases} \quad 2 \text{ 分}$$

整理得到传递函数: $A_v(s) = \frac{(sCR)^2 A_{vp}}{1 + (3 - A_{vp})sCR + (sCR)^2}$ 2 分

将传递函数化为标准形式: $A_v(s) = \frac{A_{vp}s^2}{s^2 + \frac{3 - A_{vp}}{CR}s + (\frac{1}{CR})^2}$ 1 分

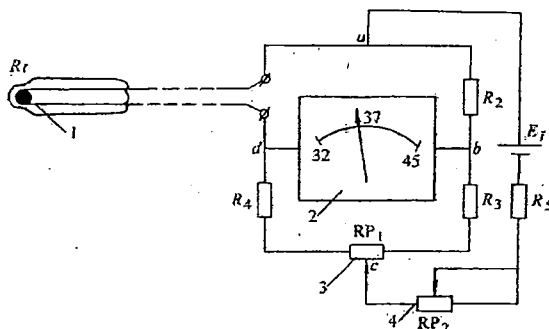
令 $f_0 = \frac{1}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi RC}$, $Q = \frac{1}{3 - A_{vp}}$ 代如上式, 整理得到频率响应表达式:

$$A_v(j\omega) = \frac{A_{vp}}{1 - (\frac{f_0}{f})^2 + j\frac{1}{Q}(\frac{f_0}{f})^2} \quad 1 \text{ 分}$$

所以该滤波器为：二阶高通有源滤波器。

1 分

2. 热敏电阻按其基本性能可分为那几种类型？下图是热敏电阻体温表，请说明两只电位器 RP_1 和 RP_2 在电路中的作用。



答案：热敏电阻按其基本性能可分为三种类型：

负温度系数 NTC 型 1 分

正温度系数 PTC 型 1 分

临界温度 CTR 型 1 分

根据电路图，调节 RP_2 能够调节电桥的供电电压，起到量程调节作用。 2 分

调节 RP_1 能够调节电桥的平衡，起到零位调节作用。 2 分

3. 已知待测拉力约为 70N 左右。现有两只测力仪表，一只为 0.5 级，测量范围为 0 ~ 500N；另一只为 1.0 级，测量范围为 0 ~ 100N。问选用哪一只测力仪表较好？为什么？

答案：对于第一块仪表量限 0-500N：

测量绝对误差为： $\delta_{\max 1} = G_1 \% B_1 = 0.5\% \times 500 = 2.5N$ 1 分

相对测量误差为： $\nu_1 = \frac{\delta_{\max 1}}{x} \times 100\% = \frac{2.5}{70} \times 100\% = 3.57\%$ 1 分

对于第二块仪表量限 0-100N：

测量绝对误差为： $\delta_{\max 2} = G_2 \% B_2 = 1.0\% \times 100 = 1.0N$ 1 分

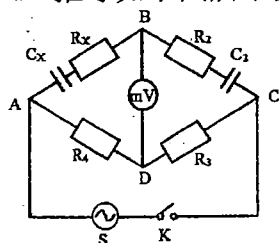
相对测量误差为： $\nu_2 = \frac{\delta_{\max 2}}{x} \times 100\% = \frac{1.0}{70} \times 100\% = 1.43\%$ 1 分

两块仪表的两域都满足要求，但第二块测量误差小，且满足被测量在仪表量程的 2/3 以上基本要求。 1 分

综合上述分析，选择 1.0 级量限 0-100N 的表比较好。 2 分

44

4. 推导如下图所示交流电桥被测量的表达式。被测电容器的损耗是多少？



答案：当交流电桥平衡时，可得：

$$R_X + \frac{1}{j\omega C_X} = \frac{R_4}{R_3} \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right) \quad 2 \text{ 分}$$

$$\begin{cases} R_X = \frac{R_2}{R_3} R_4 \\ \frac{1}{j\omega C_X} = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} \end{cases} \quad 1 \text{ 分}$$

求得：

$$C_X = \frac{R_3}{R_4} C_2 \quad R_X = \frac{R_4}{R_3} R_2 \quad 2 \text{ 分}$$

电容器的损耗：

$$\tan \sigma = \omega R_X C_X = R_2 C_2 \omega \quad 2 \text{ 分}$$

第四题 计算题：共 30 分，每题 10 分（必须给出计算步骤）

1. 对某量进行反复 10 次等精度测量，测量结果如下：

167.95, 167.45, 167.60, 167.60, 167.87,

167.88, 168.00, 167.85, 167.82, 167.60

试求标准误差与极限误差，并写出测量结果表达式。

$$\text{答案：} \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_N}{n} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N} = \sum_{i=1}^{10} \frac{x_i}{10} = 167.762 \quad 1 \text{ 分}$$

残差： $v_i = x_i - \bar{x}$

$$v_1 = 0.188, v_2 = -0.312, v_3 = -0.162, v_4 = -0.162$$

$$\text{得：} v_5 = 0.108, v_6 = 0.118, v_7 = 0.238, v_8 = 0.088$$

$$v_9 = 0.058, v_{10} = -0.162$$

得: $\sum_{i=1}^{10} v_i^2 = 0$, 测量列仅有随即误差。

2 分

$$\text{均方根误差 } \sigma = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} v_i^2}{10-1}} = 0.184$$

2 分

$$\text{算术平均值得均方根误差 } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{10}} = 0.058$$

1 分

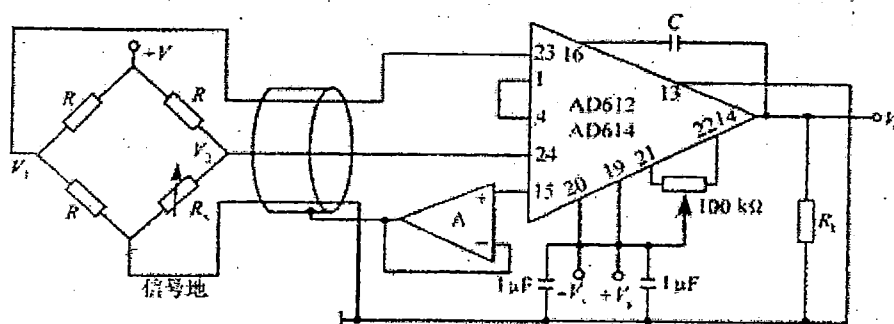
$$\text{极限误差: } 3\sigma_{\bar{x}} = 0.175$$

1 分

$$\text{测量结果: } x = \bar{x} \pm z\sigma_{\bar{x}} = \bar{x} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 167.762 \pm 0.058z, z=1,2,3$$

1 分

2. 下图中, 已知电桥电源电压 $V=5V$, $R=200\Omega$, R_x 为 200Ω 应变片, 其灵敏度系数为 2, 应变为 0.01, 测量放大器 AD612 共模抑制为 100db, 试计算 AD612 的输出电压 U_0 。



答案: 1 计算应变电阻变化量:

$$\frac{\Delta R}{R} = 2 \times 0.01 = 0.02 \Rightarrow \Delta R = 0.02 \times 200 = 4\Omega$$

1 分

2 计算电桥的两输出端电压 V_1 和 V_2 :

$$V_1 = \frac{V}{2R} R = \frac{5}{2 \times 100} \times 100 = 2.5V$$

1 分

$$V_2 = \frac{V}{2R + \Delta R} (R + \Delta R) = \frac{5}{2 \times 200 + 4} \times (200 + 4) = 2.525V$$

1 分

3 计算差模信号 V_d 和共模信号 V_c :

$$V_d = V_2 - V_1 = 0.025V \quad 1 \text{ 分}$$

$$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2} = 2.512V \quad 1 \text{ 分}$$

4 计算 AD612 的增益:

$$A_f = 1 + \frac{80k\Omega}{R_G} = 1 + \frac{80k\Omega}{26.67k\Omega} = 4 \quad 2 \text{ 分}$$

5 计算放大器对差模信号放大后输出 V_{od} :

$$V_{od} = V_d \times A_f = 0.025 \times 4 = 0.1V \quad 1 \text{ 分}$$

6 计算共模信号等效的差模信号输出 V_{oc} :

$$100dB = CMRR = 20\lg \left| \frac{Gain \cdot V_c}{V_{oc}} \right| = 20\lg \left| \frac{4 \times 2.512}{V_{oc}} \right| \quad 1 \text{ 分}$$

$$\Rightarrow V_{oc} = \frac{1.0048}{10^4} = 1.0048 \times 10^{-4}V$$

7 计算输出

$$V_o = V_{od} + V_{oc} = 0.1 + 1.0048 \times 10^{-4} \approx 0.1V \quad 1 \text{ 分}$$

3. 用铂铑₁₀-铂铑₆热电偶测温度, 已知冷端温度为 $20^\circ C$, 用高精度毫伏表测得这时的热电势为 7.934 mV , 求被测点温度。

答案: 冷端温度不为 0 摄氏度, 此时不能用热电偶分度表直接得到被测温度。根据题意, 此时热电偶冷端温度为 20 摄氏度。

根据中间温度定律, 1 分

此时热电偶的输出热电势可以表示为:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_n) + E_{AB}(t_n, t_0) = E_{AB}(t, 20^\circ C) + E_{AB}(20^\circ C, 0^\circ C) \quad 2 \text{ 分}$$

查铂铑₁₀-铂铑₆热电偶分度表, 得到:

$$E_{AB}(20^\circ C, 0^\circ C) = 0.133mV \quad 1 \text{ 分}$$

$$\text{所以: } E_{AB}(t, t_0) = 7.934 + 0.133 = 8.067mV \quad 1 \text{ 分}$$

反查分度表:

$$E_{AB}(860^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}) = 8.003\text{mV} \quad 1 \text{ 分}$$

$$E_{AB}(870^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}) = 8.114\text{mV} \quad 1 \text{ 分}$$

被测温度介于 860 度和 870 度之间, 按线性化处理, 得:

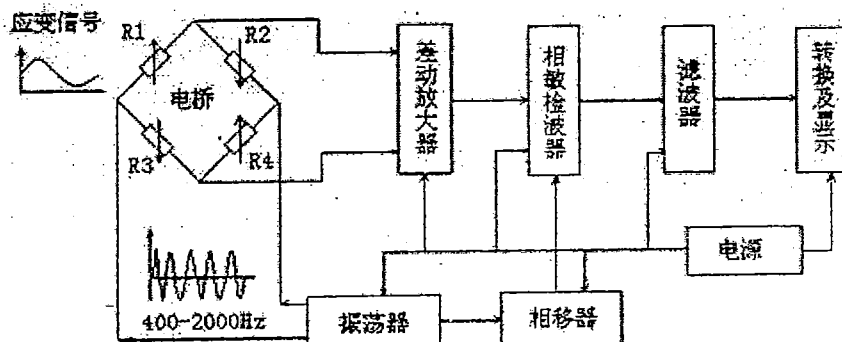
$$\frac{8.114 - 8.067}{870 - t_x} = \frac{8.114 - 8.003}{870 - 860} \quad 2 \text{ 分}$$

得到: $t_x = 865.77$ 摄氏度 1 分

第五题 综合问答题: 共 12 分 (给出分析过程)

下图是电阻应变仪电路框图, 电桥采用交流供电, 应变信号为一正弦变化的信号频率为 20Hz, 振荡频率 4KHz。请:

1. 说明各环节的作用
2. 画出放大器、相敏检波器、低通滤波器的输出波形示意图。



答案:

1. 各环节作用:

电源: 系统供电。0.5 分

振荡器: 为交流电桥提供高频振荡电源信号; 也是调制电路的载波信号; 也是相敏检波电路的参考信号。1 分

交流电桥: 将被测信号转换为电压信号输出。1 分

差动放大器: 对调制信号进行幅值放大。0.5 分

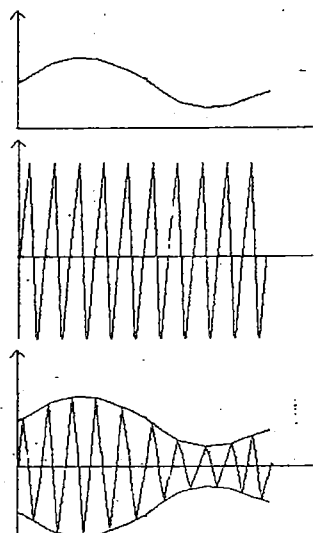
相敏检波电路: 对调制信号进行解调。0.5 分

低通滤波器: 滤掉信号中的高频成分。0.5 分

移相器: 改变相敏检波电路的输入信号和参考信号的相位差。0.5 分

记录仪: 数据显示和记录。0.5 分

2. 画出放大器、相敏检波器、低通滤波器的输出波形示意图。

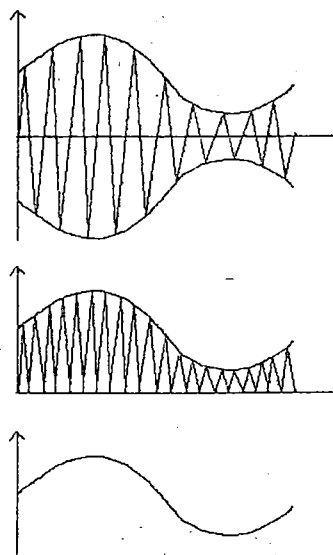


应变信号;

载波信号

(1 分, 载波信号的频率是应变信号频率的 2-10 倍);

电桥输出调幅波信号 (1 分)



差动放大器输出信号 1 分 (幅值放大)

相敏检波电路输出信号 1 分 (频率是应变信号的 4-20 倍)

滤波器输出信号 1 分

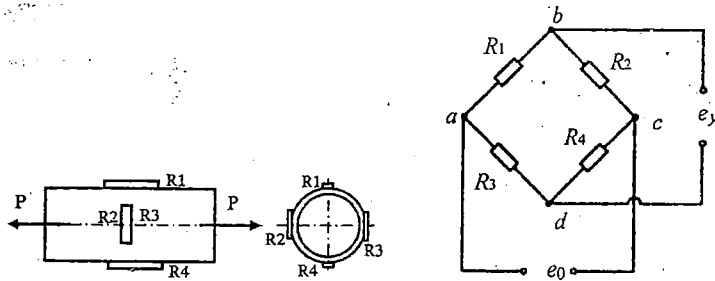
哈尔滨工程大学本科生考试试卷

(2007-2008 年 2 学期)

课程编号: 04010080 课程名称: 检测与转换技术

注: 全卷共八题, 满分 100 分, 所有答案写在答题纸上。

1. 请指出三种常见的测量直线位移和力的传感器, 并说明其工作原理。(18 分)
2. 若让你利用调制与解调技术, 基于电容式传感器设计测压力系统, 画出此系统组成框图, 并说明各部分作用。(10 分)
3. 调幅波 $x_m(t) = (100 + 30\cos\Omega t + 20\cos3\Omega t)\cos\omega_c t$, 已知 $\omega_c = 2000\pi(\text{rad/s})$, $\Omega = 1000\pi(\text{rad/s})$, 画出 $x_m(t)$ 的幅频谱。(12 分)
4. 某复合信号由频率分别为 700Hz、350Hz、56Hz、7Hz 的同相正弦波叠加而成, 问①该复合信号是周期信号吗? ②若是其周期为多少? ③对该复合信号进行不失真采样的最小频率为多少? (12 分)
5. 有一薄壁圆管式拉力传感器示意图如图所示。已知其弹性元件的材料泊桑比为 0.3, 电阻应变片的灵敏系数为 3, 贴片位置如图。若受拉力 P 作用, 问①为了测量 F 的大小, 应如何正确组成电桥(请画出电桥图)? ②当供桥电压为 5V, 应变片 R_1 和 R_4 产生 $200\mu\varepsilon$ ($1\mu\varepsilon = 1 \times 10^{-6}$), 电桥输出电压是多少? (12 分)



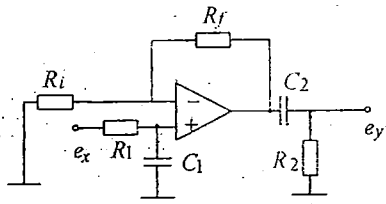
6. 测力传感器的静态标定数据如下表所示:

拉力 $P(\text{N})$	0	10	20	30	40	50
电压 $U(\text{V})$	0	76	152	228	310	400
拉力 $P(\text{N})$	40	30	20	10	0	
电压 $U(\text{V})$	330	252	168	84	2	

试求: 1) 设 $\hat{u} = bP$, 用平均法推导 b 的表达式;

2) 传感器的灵敏度, 线性度, 滞后量。(14 分)

7. 如图所示滤波器是有源滤波器还是无源滤波器? 是低通滤波器还是其它什么滤波器? 是几阶滤波器? 写出其通带增益和截止频率的表达式。(12 分)



8. 压电式传感器常接电荷放大器和电压放大器，简述压电传感器对测量电路的要求。为什么说电荷放大器与导线无关。（10 分）

标准答案及评分标准

第 1 页

课程名称: (检测与转换技术)

1、请指出三种常见的测量直线位移和力的传感器, 并说明其工作原理。(18 分)

答: 测直线位移:

变极距式电容传感器-----1 分

如图所示的是极距变化式电容传感器的原理图。当动极板因被测量变化而向上下移动时, 改变了两极板之间的间距, 从而引起电容量变化。-----2 分

变面积式直线位移电容器电容传感器-----1 分

当动极板移动后, 覆盖面积发生变化, 由此产生的电容变化量。-----2 分

变气隙式自感传感器-----1 分

传感器由线圈、铁芯及衔铁组成。当铁芯和线圈一定时, 自感系数与气隙长度成反比, 改变气隙长度, 自感系数也发生变化。-----2 分

测力:

电阻应变片-----1 分

是利用金属电阻丝在外力作用下发生机械变形时, 其电阻值也将发生变化将被测机械量转换成电阻变化-----2 分

压阻式传感器-----1 分

利用半导体材料受到应力作用时, 其电阻率会发生变化, 从而引起电阻变化而测力的;

-----2 分

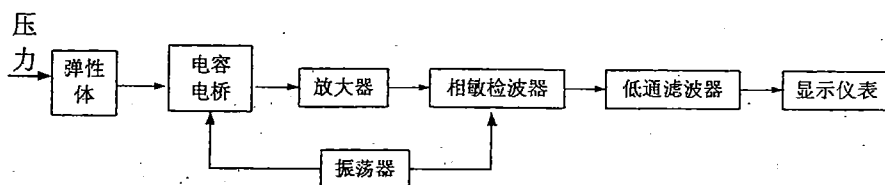
压电式传感器-----1 分

是基于某些晶体材料某些晶体材料, 在沿着某一方向施加外力而使之变形时, 内部就会产生电荷, 通过测电荷而测力的。-----2 分

评分标准: 按上述步骤给分。本题答案不唯一, 答其他传感器正确参照上述步骤给分。

2、若让你利用调制与解调技术, 基于电容式传感器设计测压力系统, 画出此系统组成框图, 并说明各部分作用。(10 分)

答:



-----5 分

弹性体将受力转变为变形, 应变片将弹性体变形转变为电阻变化, 电桥工作与交流状态, 进行信号的调制, 放大器放大信号, 振荡器提供高频载波, 相敏检波器解调已调波, 低通滤波器滤除高频信号, 恢复测试信号, 显示仪表显示测量值。-----5 分

评分标准: 画图全对得 5 分, 错一处扣 0.5 分, 直至扣完 5 分为止; 各部分作用全答对得 5 分, 错 1 分, 直至扣完 5 分为止。

48

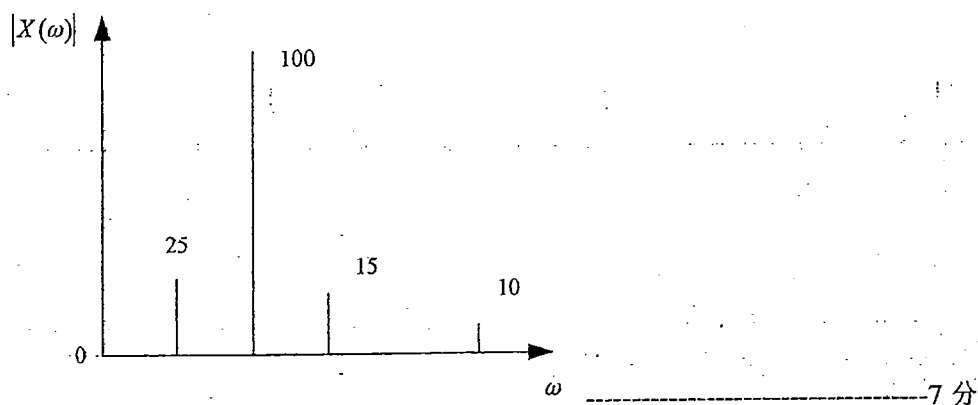
3、调幅波 $x_m(t) = (100 + 30\cos\Omega t + 20\cos 3\Omega t)\cos\omega_c t$ ，已知 $\omega_c = 2000\pi(\text{rad/s})$ ， $\Omega = 1000\pi(\text{rad/s})$ ，画出 $x_m(t)$ 的幅频谱。(12 分)

答：

$$x_m(t) = (100 + 30\cos\Omega t + 20\cos 3\Omega t)\cos\omega_c t = 100\cos\omega_c t + 30\cos\Omega t \cos\omega_c t + 20\cos 3\Omega t \cos\omega_c t$$

$$= 100\cos 2000\pi t + 15\cos(3000\pi t) + 25\cos(1000\pi t) + 10\cos(5000\pi t) \text{-----5 分}$$

则所求 $x_m(t)$ 的幅频谱如下图所示：



评分标准：按上述答案分步给分。幅频谱图除数字可省略外，其他符号漏标、误标均为错误，本步骤得 0 分。谱线若不全正确，可酌情扣分。

4、某复合信号由频率分别为 700Hz、350Hz、56Hz、7Hz 的同相正弦波叠加而成，问①该复合信号是周期信号吗？②若是其周期为多少？③对该复合信号进行不失真采样的最小频率为多少？(12 分)

答：应为各频率分量频率相互之比为有理数，-----2 分

因此此复合信号是周期信号。-----2 分

其周期是各频率的最大公约数 7Hz。-----3 分

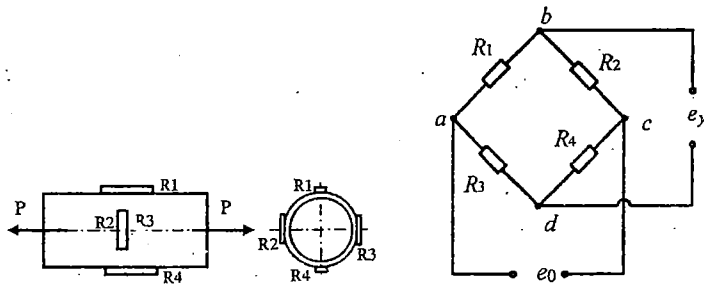
根据采样定理：-----2 分

对该复合信号进行不失真采样的最小频率为 $700 \times 2 = 1400\text{Hz}$ -----3 分

评分标准：按上述答案分步给分，单位答错本步骤不给分，答非所问本步骤不给分。

有一薄壁圆管式拉力传感器示意图如图所示。已知其弹性元件的材料泊桑比为 0.3，电阻应变片的灵敏数为 3，贴片位置如图。若受拉力 P 作用，问①为了测量 F 的大小，应如何正确组成电桥（请画出电桥）②当供桥电压为 5V，应变片 R_1 和 R_4 产生 $200\mu\epsilon$ ($1\mu\epsilon = 1 \times 10^{-6}$)，电桥输出电压是多少？(12 分)

5、



答：按如图所示组桥。-----5 分

$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \mu \varepsilon_1 = 0.3 \times 200 = 60 \mu\varepsilon$ -----2 分

$$e_y = \frac{e_0}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) = \frac{e_0}{4} s(\varepsilon_1 - \varepsilon_3 - \varepsilon_2 + \varepsilon_4) = \frac{5}{4} \times 3 \times (200 + 60 + 60 + 200) \times 10^{-6} = 1.9 \text{mV}$$

-----5 分

评分标准：按上述答案分步给分。

6、测力传感器的静态标定数据如下表所示：

拉力 P(N)	0	10	20	30	40	50
电压 U (V)	0	76	152	228	310	400
拉力 P(N)	40	30	20	10	0	
电压 U (V)	330	252	168	84	2	

试求：1) 设 $\hat{U} = bP$ ，用平均法推导 b 的表达式；

2) 传感器的灵敏度，线性度，滞后量。(14 分)

答：根据平均法：

$\left\{ \sum_{i=1}^{11} y_i = b \sum_{i=1}^{11} x_i \right\}$ 则 $b=8.08$ -----3 分

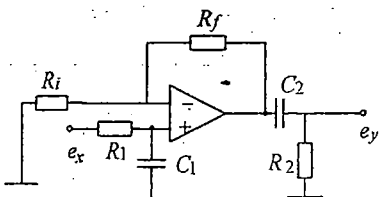
灵敏度为 8.08 -----3 分

实际与拟合直线最大误差为 14.4，线性度： $e = \frac{14.4}{50} \times 100\% = 28.8\%$ -----3 分

滞后量：6.4 或 12.8% -----3 分

评分标准：按上述答案分步给分，仅有答案不给分。

7、 如图所示滤波器是有源滤波器还是无源滤波器？是低通滤波器还是其它什么滤波器？是几阶滤波器？写出其通带增益和截止频率的表达式。(12 分)



答：是有源滤波器 -----2 分

49

是带通滤波器-----2 分

是二阶滤波器-----2 分

通带增益为: $1+R_f/R_i$ -----2 分

下限截止频率为: $f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$ -----2 分

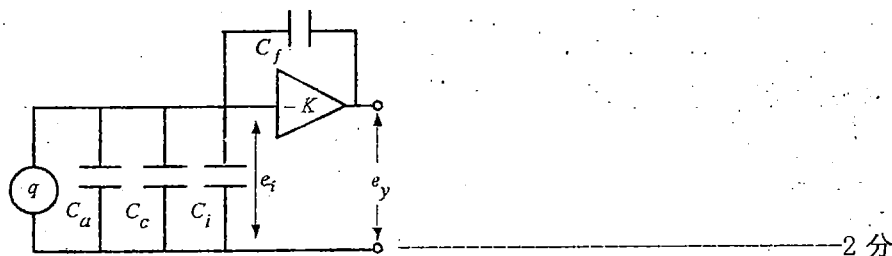
上限截止频率为: $f_{c2} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ -----2 分

评分标准: 按上述答案分步给分。

8、压电式传感器常接电荷放大器和电压放大器, 简述压电传感器对测量电路的要求。为什么说电荷放大器与导线无关。(10 分)

答:

因为只有在外电路负载为无穷大, 内部也无漏电时, 受力后压电晶体所产生电荷才能长久保持。若外电路负载阻抗不是无穷大, 电路会按指数规律放电。压电传感器要求测量电路具有极高的输入阻抗。-----2 分



如图所示是电荷放大器的等效电路图。电荷放大器是一个带有深度负反馈的高输入阻抗、高增益运算放大器。略去传感器的漏电阻和放大器的输入电阻, 且传感器产生的电荷 q 全部落到 C_a 、 C_c 、 C_i 和 C_f 上, 则

$$q = e_i(C_a + C_c + C_i) + C_f(e_i - e_y)$$

式中 e_i ——放大器输入电压;

K ——放大器的放大倍数, $K=10^4 \sim 10^6$;

C_f ——放大器的反馈电容;

e_y ——放大器的输出电压, $e_y = -Ke_i$ 。-----2 分

将 $e_y = -Ke_i$ 代入上式得

$$e_y = \frac{-Kq}{C_a + C_c + C_i + C_f(1+K)} \text{-----1 分}$$

因 $K \gg 1$, 故 $KC_f = C_a + C_i + C_c + C_f$, 上式可简化为

$$e_y = -\frac{q}{C_f} \text{-----1 分}$$

上式表明, 电荷放大器的输出电压与传感器产生的电荷量成正比, 与电缆电容即电缆型号和长度无关。传感器与电荷放大器之间可以连接较长的导线, 且长度及型号的变化不会引起灵敏度变化。

-----2 分

评分标准: 按上述答案分步给分, 仅有答案不给分。

哈尔滨工程大学本科生考试试卷

(2006-2007 年 2 学期)

课程编号: 04010080 课程名称: 检测与转换技术 A A 卷

注: 全卷共四题, 满分 80 分, 占总成绩的 80%, 所有答案写在答题纸上。

第一题 填空: 共 12 分, 每空 2 分

1. 涡流传感器是基于_____和_____效应来实现信号的感受和变换的。
2. 要使直流电桥平衡, 必须使电桥相对臂电阻值的_____相等。
3. 在热电偶中, 当引入第三个导体时, 只要保持其两端的温度相同, 则对总热电动势无影响。这一结论被称为热电偶的_____定律。
4. 交流电桥各桥臂的复阻抗分别为 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , 各阻抗的相位角分别为 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, 若电桥平衡条件为 $Z_1/Z_4=Z_2/Z_3$, 那么相位平衡条件应为_____。
5. 当信号的方差变为原来的 4 倍时, 该信号的标准差将变为原来的_____倍。

第二题 选择: 共 12 分, 每空 2 分

1. 无源 RC 低通滤波器从()两端引出输出电压。
A. 电阻 B. 电容 C. 运算放大器 D. 电感
2. 自感系数 L 与哪些物理量无关()。
A. 线圈匝数 B. 磁路几何尺寸 C. 介质磁导率 D. 磁场强度
3. 压电式加速度传感器是()信号的传感器。
A. 适于测量任意 B. 适于测量直流
C. 适于测量静态 D. 适于测量动态
4. 传感器能感知的输入变化量越小, 表示传感器的()。
A. 线性度越好 B. 迟滞越小
C. 重复性越好 D. 分辨力越高
5. 光敏二极管和光电管分别基于()和()效应制成的。
A. 外光电效应 B. 光电导效应 C. 光生伏特效应

注: 全卷共四题, 满分 80 分, 占总成绩的 80%, 所有答案写在答题纸上。

第一题 填空: 共 12 分, 每空 2 分

1. 涡流传感器是基于_____和_____效应来实现信号的感受和变换的。
2. 要使直流电桥平衡, 必须使电桥相对臂电阻值的_____相等。
3. 在热电偶中, 当引入第三个导体时, 只要保持其两端的温度相同, 则对总热

51

电动势无影响。这一结论被称为热电偶的_____定律。

4. 交流电桥各桥臂的复阻抗分别为 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , 各阻抗的相位角分别为 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, 若电桥平衡条件为 $Z_1/Z_4=Z_2/Z_3$, 那么相位平衡条件应为_____。

5. 当信号的方差变为原来的 4 倍时, 该信号的标准差将变为原来的_____倍。

第二题 选择: 共 12 分, 每空 2 分

1. 无源 RC 低通滤波器从()两端引出输出电压。

A. 电阻 B. 电容 C. 运算放大器 D. 电感

2. 自感系数 L 与哪些物理量无关()。

A. 线圈匝数 B. 磁路几何尺寸 C. 介质磁导率 D. 磁场强度

3. 压电式加速度传感器是()信号的传感器。

A. 适于测量任意 B. 适于测量直流

C. 适于测量静态 D. 适于测量动态

4. 传感器能感知的输入变化量越小, 表示传感器的()。

A. 线性度越好 B. 迟滞越小

C. 重复性越好 D. 分辨力越高

5. 光敏二极管和光电管分别基于()和()效应制成的。

A. 外光电效应 B. 光电导效应 C. 光生伏特效应

第四题 计算题: 共 32 分

1. 两金属片 R_1, R_2 阻值均为 120Ω , 灵敏度系数 $K=2$; 两应变片一个受拉, 另一个受压, 应变分别为 $1000\mu\varepsilon$ 和 $-1000\mu\varepsilon$ 。两者接入差动直流电桥, 电源电压 $U=5V$ 。求 (1) ΔR 和 $\Delta R/R$ (2) 电桥输出电压。(10 分)

2. 用游标卡尺对某一尺寸测量 10 次, 假定已消除系统误差和粗大误差, 得到数据如下 (单位为 mm):

75.01, 75.04, 75.07, 75.00, 75.03, 75.09, 75.06, 75.02, 75.05, 75.08

求算术平均值及均方根误差。(10 分)

3. 用镍铬-镍硅 (K) 热电偶测温度, 已知冷端温度为 20°C , 用高精度毫伏表测得这时的热电势为 29.186mV , 求被测点温度。(12 分)

附录 E 镍铬-镍硅 K 热电偶分度表 (自由端温度为 0℃)

工作端温度/ ℃	热电势/ mV	工作端 温度/ ℃	热电势/ mV	工作端 温度/ ℃	热电势/ mV	工作端 温度/ ℃	热电势/ mV
-270	-6.458	0	0.000	270	10.971	540	22.350
-260	-6.441	10	0.397	280	11.382	550	22.776
-250	-6.404	20	0.798	290	11.795	560	23.203
-240	-6.344	30	1.203	300	12.209	570	23.629
-230	-6.262	40	1.612	310	12.624	580	24.055
-220	-6.158	50	2.023	320	13.040	590	24.480
-210	-6.035	60	2.436	330	13.457	600	24.905
-200	-5.891	70	2.851	340	13.874	610	25.330
-190	-5.730	80	3.267	350	14.293	620	25.755
-180	-5.550	90	3.682	360	14.713	630	26.179
-170	-5.354	100	4.096	370	15.133	640	26.602
-160	-5.141	110	4.509	380	15.554	650	27.025
-150	-4.913	120	4.920	390	15.975	660	27.447
-140	-4.669	130	5.328	400	16.397	670	27.869
-130	-4.411	140	5.735	410	16.820	680	28.289
-120	-4.138	150	6.138	420	17.243	690	28.710
-110	-3.852	160	6.540	430	17.667	700	29.129
-100	-3.554	170	6.941	440	18.091	710	29.548
-90	-3.243	180	7.340	450	18.516	720	29.965
-80	-2.920	190	7.739	460	18.941	730	30.382
-70	-2.587	200	8.138	470	19.366	740	30.798
-60	-2.243	210	8.539	480	19.792	750	31.213
-50	-1.889	220	8.940	490	20.218	760	31.628
-40	-1.527	230	9.343	500	20.644	770	32.041
-30	-1.156	240	9.747	510	21.071	780	32.453
-20	-0.778	250	10.153	520	21.497	790	32.865
-10	-0.392	260	10.561	530	21.924	800	33.275

标准答案及评分标准

第 1 页

课程名称: (检测与转换技术)

第一题 填空: 共 12 分, 每空 2 分

1. 涡流传感器是基于涡流和磁滞效应来实现信号的感受和变换的。
2. 要使直流电桥平衡, 必须使电桥相对臂电阻值的乘积相等。
3. 在热电偶中, 当引入第三个导体时, 只要保持其两端的温度相同, 则对总热电动势无影响。这一结论被称为热电偶的中间导体定律。
4. 交流电桥各桥臂的复阻抗分别为 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , 各阻抗的相位角分别为 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, 若电桥平衡条件为 $Z_1/Z_4 = Z_2/Z_3$, 那么相位平衡条件应为 $\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$ 。
5. 当信号的方差变为原来的 4 倍时, 该信号的标准差将变为原来的2倍。

答案:

- 1、涡电流、集肤 2、乘积 3、中间导体 4、 $\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$ 5、2

第二题 选择: 共 12 分, 每空 2 分

1. 无源 RC 低通滤波器从()两端引出输出电压。
A. 电阻 B. 电容 C. 运算放大器 D. 电感
2. 自感系数 L 与哪些物理量无关()。
A. 线圈匝数 B. 磁路几何尺寸 C. 介质磁导率 D. 磁场强度
3. 压电式加速度传感器是()信号的传感器。
A. 适于测量任意 B. 适于测量直流
C. 适于测量静态 D. 适于测量动态
4. 传感器能感知的输入变化量越小, 表示传感器的()。
A. 线性度越好 B. 迟滞越小
C. 重复性越好 D. 分辨力越高
5. 光敏二极管和光电管分别基于()和()效应制成的。
A. 外光电效应 B. 光电导效应 C. 光生伏特效应

答案:

- 1、B 2、D 3、D 4、D 5、C A

53

第三题 简答： 共 24 分，每题 6 分

1. 什么是共模信号、差模信号？电路的共模抑制比=80dB，那么该电路对差模信号和共模信号的放大关系是怎样的？

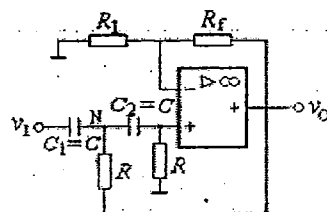
答案：

大小和极性都一样（相同）的信号为共模信号(2 分)，大小相同、极性相反的信号为差模信号(2 分)。如果电路的共模抑制比=80db，那么该电路的差模放大倍数与共模放大倍数之比是 10000：1。(2 分)

2. 请给出如下图所示的滤波器的通带增益、传递函数以及频率响应表达式，说明该滤波器属于何种类型滤波器。

答案：根据电路图，求得：通带增益为： $A_{vp} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ 1 分

根据运算放大器特点和基尔霍夫定律，列写电路方程，得到：



$$\begin{cases} \frac{V_i(s) - V_N(s)}{1/Cs} = \frac{V_N(s) - V_o(s)}{R} + \frac{V_N(s)}{1/Cs + R} \\ \frac{V_N(s)}{1/Cs + R} \cdot R = \frac{V_o(s)}{R_1 + R_f} \cdot R_1 \end{cases} \quad 2 \text{ 分}$$

整理得到传递函数： $A_v(s) = \frac{(sCR)^2 A_{vp}}{1 + (3 - A_{vp})sCR + (sCR)^2}$ 1 分

将传递函数化为标准形式： $A_v(s) = \frac{A_{vp}s^2}{s^2 + \frac{3 - A_{vp}}{CR}s + (\frac{1}{CR})^2}$

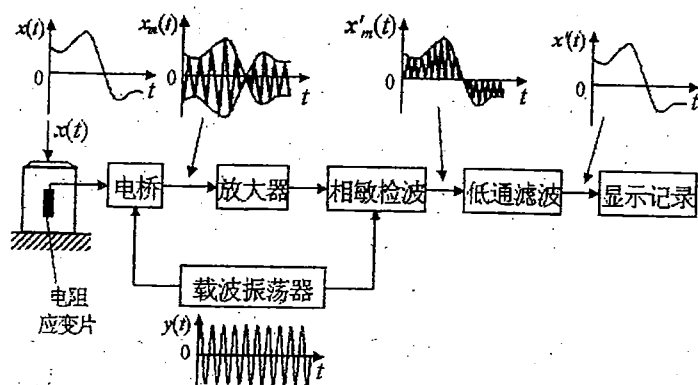
令 $f_0 = \frac{1}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi RC}$, $Q = \frac{1}{3 - A_{vp}}$ 代如上式，整理得到频率响应表达式：

$$A_v(j\omega) = \frac{A_{vp}}{1 - (\frac{f_0}{f})^2 + j \frac{1}{Q} (\frac{f_0}{f})^2} \quad 1 \text{ 分}$$

所以该滤波器为：二阶高通有源滤波器。 1 分

3. 动态电阻应变仪构成如下，试分析各环节的作用。

动态电阻应变仪



答案:

各环节作用:

电桥: 将被测信号转换为电压信号输出。1 分

振荡器: 为交流电桥提供高频振荡信号, 即是调制电路的载波信号。1 分

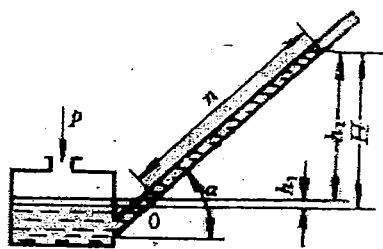
放大器: 对调制信号进行幅值放大。1 分

相敏检波电路和低通滤波器: 对调制信号进行解调, 1 判断信号极性。1 分

低通滤波器: 滤掉信号中的高频成份。1 分

记录仪: 数据显示和记录。1 分

4. 为测量炉膛内的真空度, 可用倾斜式(斜管式)压力计, 设斜管倾角 $\alpha=30^\circ$, 水银在斜管中上升距离 $n=180\text{mm}$, 细管与杯形容器的面积比为 0.1, 大气压力为 760mmHg , 求炉膛内的绝对压力为多少?



答案:

$$P_g = n(\sin \alpha + s_1/s) = 180 \times (0.5 + 0.1) = 108\text{mmHg} \quad 3 \text{ 分}$$

$$P_a = P_g + P_b = 108 + 760 = 868\text{mmHg} \quad 3 \text{ 分}$$

第四题 计算题：共 32 分

1. 两金属片 R1、R2 阻值均为 120Ω ，灵敏度系数 $K=2$ ；两应变片一个受拉，另一个受压，应变分别为 $1000\mu\varepsilon$ 和 $-1000\mu\varepsilon$ 。两者接入差动直流电桥，电源电压 $U=5V$ 。求 (1) ΔR 和 $\Delta R/R$ (2) 电桥输出电压。(10 分)

答案：

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon = 2 \times 1000 \times 10^{-6} = 0.002 \quad 3 \text{ 分}$$

$$\Delta R = RK\varepsilon = 120 \times 0.002 = 0.24\Omega \quad 3 \text{ 分}$$

$$U_0 = \frac{1}{2}U \frac{\Delta R}{R} = 5/2 \times 0.002 = 0.005V \quad 4 \text{ 分}$$

2. 用游标卡尺对某一尺寸测量 10 次，假定已消除系统误差和粗大误差，得到数据如下 (单位为 mm)：

75.01, 75.04, 75.07, 75.00, 75.03, 75.09, 75.06, 75.02, 75.05, 75.08

求算术平均值及均方根误差。(10 分)

答案：算术平均值 $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 75.045mm \quad 5 \text{ 分}$

$$\text{均方根误差 } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.03 \quad 5 \text{ 分}$$

3. 用镍铬-镍硅 (K) 热电偶测温度，已知冷端温度为 $20^\circ C$ ，用高精度毫伏表测得这时的热电势为 $29.186mV$ ，求被测点温度。(12 分)

答案：

查镍铬-镍硅 (K) 热电偶分度表，得到： $E_{AB}(20^\circ C, 0^\circ C) = 0.798mV \quad 2 \text{ 分}$

所以： $E_{AB}(t, t_0) = 29.186 + 0.759 = 29.984mV \quad 2 \text{ 分}$

反查镍铬-镍硅 (K) 热电偶分度表：

$E_{AB}(730^\circ C, 0^\circ C) = 30.382mV \quad 2 \text{ 分}$ $E_{AB}(720^\circ C, 0^\circ C) = 29.965mV \quad 2 \text{ 分}$

$$\frac{30.382 - 29.965}{730 - 720} = \frac{30.382 - 29.984}{730 - t_x} \quad 2 \text{ 分}$$

得到： $t_x = 720.46$ 摄氏度 2 分

哈尔滨工程大学试卷

考试科目: 检测与转换技术

题号	一	二	三	四	五	总分
分数						
评卷人						

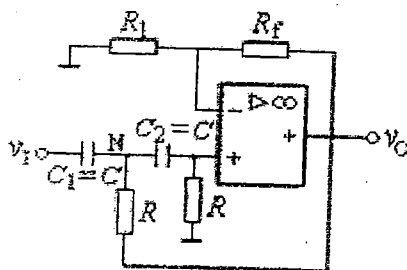
注意: 所有答案写在答题纸上

一、选择填空题 共 20 分, 每空 2 分

- 电涡流传感器是利用_____材料的电涡流效应工作的。
A. 金属导体 B. 半导体 C. 非金属材料
- 高频反射式涡流传感器是基于_____和_____效应来实现信号感受和变换的。
A. 涡电流 B. 纵向 C. 横向 D. 集肤
- 热电偶接入测量仪表以及制定分度表的理论基础分别是_____和_____。
A. 中间导体定律 B. 中间温度定律 C. 匀质导体定律
- 自感式传感器通过改变_____和_____从而改变线圈的自感量。
A. 线圈匝数 B. 气隙的有效截面积 C. 磁导率 D. 气隙厚度。
- 光敏电阻和光电池分别基于_____和_____制成的。
A. 外光电效应 B. 内光电效应 C. 光生伏特效应

二、简答题 共 14 分, 每题 7 分

- 某待测的电压约为 100V, 现有 0.5 级量限 0-300V 和 1.0 级量限 0-100V 两个电压表, 问用哪一个电压表测量较好?
- 请给出如下图所示的滤波器的通带增益、传递函数以及频率响应表达式, 说明该滤波器属于何种类型滤波器。



三、计算题 共 16 分, 每题 8 分

- 对某量进行反复 20 次等精度测量, 测量结果如下:

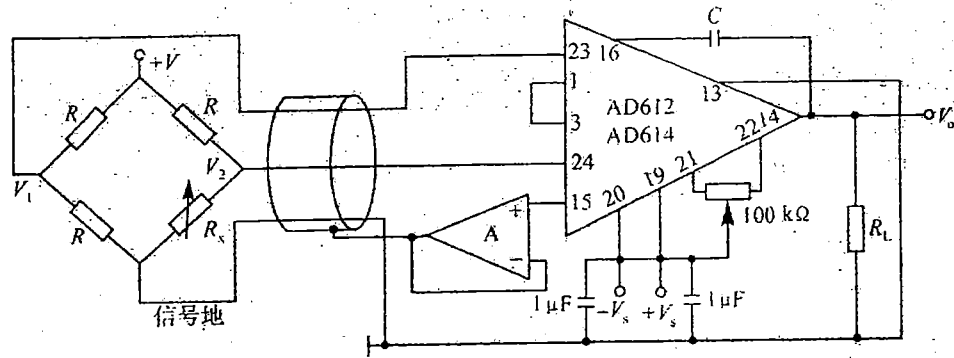
324.08	324.03	324.02	324.11	324.14
324.06	324.11	324.17	324.19	324.23
324.18	324.03	324.01	324.12	324.08
324.16	324.12	324.06	324.21	324.14

试求测量列的算术平均值, 标准误差与极限误差, 并写出测量结果表达式。

- 下图中, 已知电桥电源电压 $V=5V$, $R=100\Omega$, R_x 为 100Ω 应变片, 其灵敏度系数为 2, 应变为 0.005, 测量放大器 AD612 共模抑制为 120db, 试计算 AD612

56

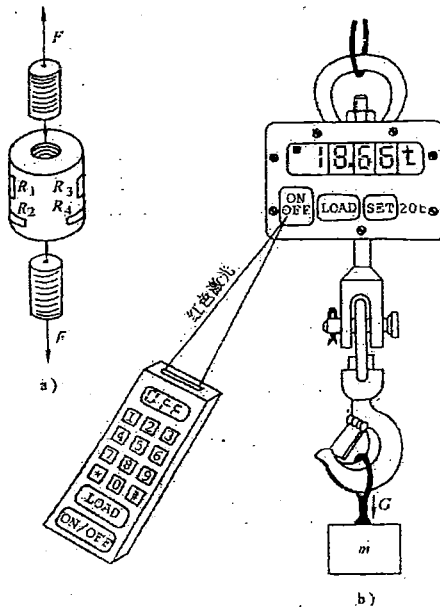
的输出电压 U_o 。



四、设计分析题 10 分

有一测量吊车起吊物质量的拉力传感器（吊钩秤）， R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为应变电阻，分别贴在如图所示的等截面轴上：

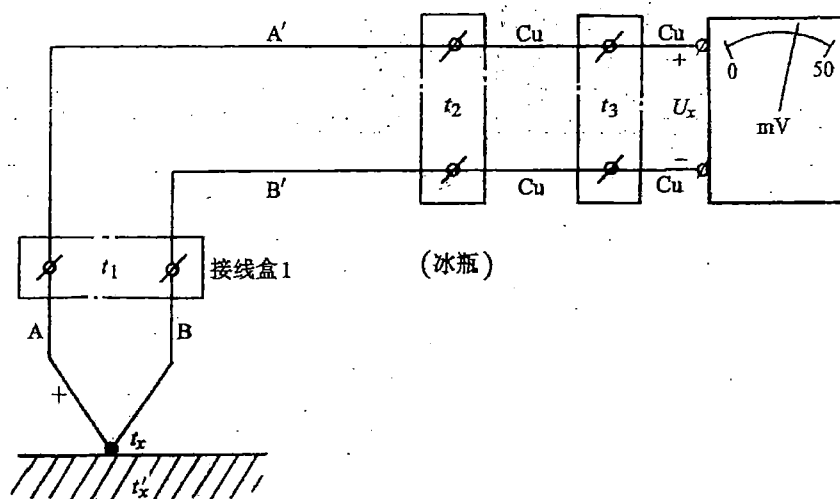
1. 说明应变电阻工作原理。5 分
2. 设计出测量转换电路，说明电路设计原理。5 分



五、综合问答计算题 20 分

用镍铬-镍硅（K）热电偶组成测温电路， A' 、 B' 为补偿导线，已知接线盒 1 的温度 $t_1=35^\circ\text{C}$ ，冰瓶中为冰水混合物，接线盒 3 的温度 $t_3=20.0^\circ\text{C}$ 。求：

1. 冰瓶的温度 t_2 。3 分
2. 当 $U_x=29.8\text{mV}$ 时，估算被测点温度 t_x 。7 分
3. 如果冰瓶中的冰完全融化，温度上升，与接线盒 1 的温度相同，此时 $U_x=27.6\text{mV}$ ，再求 t_x 。10 分



镍铬-镍硅热电偶分度表如下:

附录 E 镍铬-镍硅 K 热电偶分度表 (自由端温度为 0℃)

工作端温度/ ℃	热电势/ mV	工作端 温度/ ℃	热电势/ mV	工作端 温度/ ℃	热电势/ mV	工作端 温度/ ℃	热电势/ mV
-270	-6.458	0	0.000	270	10.971	540	22.350
-260	-6.441	10	0.397	280	11.382	550	22.776
-250	-6.404	20	0.798	290	11.795	560	23.203
-240	-6.344	30	1.203	300	12.209	570	23.629
-230	-6.262	40	1.612	310	12.624	580	24.055
-220	-6.158	50	2.023	320	13.040	590	24.480
-210	-6.035	60	2.436	330	13.457	600	24.905
-200	-5.891	70	2.851	340	13.874	610	25.330
-190	-5.730	80	3.267	350	14.293	620	25.755
-180	-5.550	90	3.682	360	14.713	630	26.179
-170	-5.354	100	4.096	370	15.133	640	26.602
-160	-5.141	110	4.509	380	15.554	650	27.025
-150	-4.913	120	4.920	390	15.975	660	27.447
-140	-4.669	130	5.328	400	16.397	670	27.869
-130	-4.411	140	5.735	410	16.820	680	28.289
-120	-4.138	150	6.138	420	17.243	690	28.710
-110	-3.852	160	6.540	430	17.667	700	29.129
-100	-3.554	170	6.941	440	18.091	710	29.548
-90	-3.243	180	7.340	450	18.516	720	29.965
-80	-2.920	190	7.739	460	18.941	730	30.382
-70	-2.587	200	8.138	470	19.366	740	30.798
-60	-2.243	210	8.539	480	19.792	750	31.213
-50	-1.889	220	8.940	490	20.218	760	31.628
-40	-1.527	230	9.343	500	20.644	770	32.041
-30	-1.156	240	9.747	510	21.071	780	32.453
-20	-0.778	250	10.153	520	21.497	790	32.865
-10	-0.392	260	10.561	530	21.924	800	33.275

57

标准答案及评分标准 第1页

课程名称: 检测与转换技术

一、选择填空题 共 20 分, 每空 2 分

1. 电涡流传感器是利用_____材料的电涡流效应工作的。
A. 金属导体 B. 半导体 C. 非金属材料
2. 高频反射式涡流传感器是基于_____和_____效应来实现信号感受和变换的。
A. 涡电流 B. 纵向 C. 横向 D. 集肤
3. 热电偶接入测量仪表以及制定分度表的理论基础分别是_____和_____。
A. 中间导体定律 B. 中间温度定律 C. 匀质导体定律
4. 自感式传感器通过改变_____和_____从而改变线圈的自感量。
A. 线圈匝数 B. 气隙的有效截面积 C. 磁导率 D. 气隙厚度。
5. 光敏电阻、光电池和光电倍增管分别基于_____、_____和_____制成的。
A. 外光电效应 B. 内光电效应 C. 光生伏特效应

答案: A AD AB BD BCA

二、简答题 共 14 分, 每题 7 分

1. 某待测的电压约为 100V, 现有 0.5 级量限 0-300V 和 1.0 级量限 0-100V 两个电压表, 问用哪一个电压表测量较好?

答案: 设: Q 为允许引用误差, G 为仪表精度等级, B 为仪表量程, 则仪表在某一测量点临近处的示值误差为:

$$\left. \begin{aligned} \text{最大绝对误差: } q_{\max} &= \frac{|\delta_{\max}|}{B} \times 100\% \\ |q_{\max}| &< |Q| \end{aligned} \right\} \Rightarrow \delta_{\max} < B \times Q = B \times G\%$$

$$\text{最大相对误差: } \gamma_{\max} < \frac{B}{x} \times G\%$$

$$q_{2\max} = \frac{|\delta_{2\max}|}{B_2} \% \Rightarrow$$

$$|\delta_{2\max}| = \frac{q_{2\max} B_2}{100} = \frac{G_2 B_2}{100} = \frac{1.0 \times 100}{100} = 1.0V$$

对于量限 0-300V 电压表:

$$\text{相对测量误差为: } \gamma_1 = \frac{\delta_1}{x} \times 100\% = \frac{1.5}{100} \times 100\% = 1.5\% \quad 1 \text{ 分}$$

对于量限 0-100V 电压表:

$$\text{相对测量误差为: } \gamma_2 = \frac{\delta_2}{x} \times 100\% = \frac{1.0}{100} \times 100\% = 1.0\% \quad 1 \text{ 分}$$

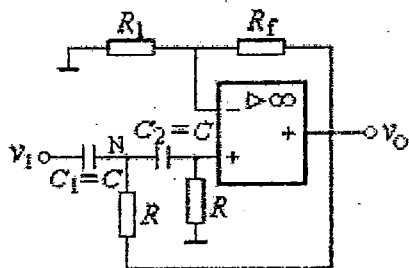
3. 量限 0-100V 电压表测量误差小于量限 0-300V 电压表测量误差

4. 但用 0-100V 电压表测量被测量仪标会满偏, 可能烧坏仪表

5. 综合上述分析, 选择 0.5 级量限 0-300V 的电压表比较好。 1 分

58

2. 请给出如下图所示的滤波器的通带增益、传递函数以及频率响应表达式, 说明该滤波器属于何种类型滤波器。



答案: 根据电路图, 求得: 通带增益为: $A_p = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ 1 分

根据运算放大器特点和基尔霍夫定律, 列写电路方程, 得到:

$$\begin{cases} \frac{V_i(s) - V_N(s)}{1/Cs} = \frac{V_N(s) - V_o(s)}{R} + \frac{V_N(s)}{1/Cs + R} \\ \frac{V_N(s)}{1/Cs + R} \cdot R = \frac{V_o(s)}{R_1 + R_f} \cdot R_1 \end{cases} \quad 1 \text{ 分}$$

整理得到传递函数: $A_v(s) = \frac{(sCR)^2 A_p}{1 + (3 - A_p)sCR + (sCR)^2}$ 1 分

将传递函数化为标准形式:

$$A_v(s) = \frac{A_{vp}s^2}{s^2 + \frac{3 - A_{vp}}{CR}s + \left(\frac{1}{CR}\right)^2} \quad 1 \text{ 分}$$

令 $\omega_0 = \frac{1}{CR}$, $s = j\omega$ 代入上式,

整理得到频率响应表达式: $A_v(j\omega) = \frac{A_{vp}}{1 - j(3 - A_{vp})\frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$ 1 分

当 $\omega \rightarrow 0, |A_v(j\omega)| \rightarrow 0; \omega \rightarrow \infty, |A_v(j\omega)| \rightarrow A_{vp}$, 所以为高通滤波器 1 分

由传递函数分母的阶次 可判断为二阶滤波器 0.5 分

由电路中含有运算放大器 可判断为有源滤波器 0.5 分

所以该滤波器为: 二阶高通有源滤波器。

三、计算题 共 16 分, 每题 8 分

1. 对某量进行反复 20 次等精度测量, 测量结果如下:

324.08	324.03	324.02	324.11	324.14
324.06	324.11	324.17	324.19	324.23
324.18	324.03	324.01	324.12	324.08
324.16	324.12	324.06	324.21	324.14

试求测量列的算术平均值, 标准误差与极限误差, 并写出测量结果表达式。

答案: 测量列算是平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} x_i = 324.1125 \quad 2 \text{ 分}$$

测量值的标准误差为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{0.0816}{20-1}} = 0.0655 \quad 2 \text{ 分}$$

测量值算术平均值的标准误差为:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0.0655}{\sqrt{19}} = 0.015 \quad 1 \text{ 分}$$

极限误差:

$$2\sigma = 0.131 \quad 0.5 \text{ 分}$$

$$2\sigma_{\bar{x}} = 0.03 \quad 0.5 \text{ 分}$$

测量结果为:

用测量值表示: $x = x_i \pm \sigma = x_i \pm 0.0655$

$$x = x_i \pm 2\sigma = x_i \pm 2 \times 0.0655 = x_i \pm 0.131 \quad 1 \text{ 分}$$

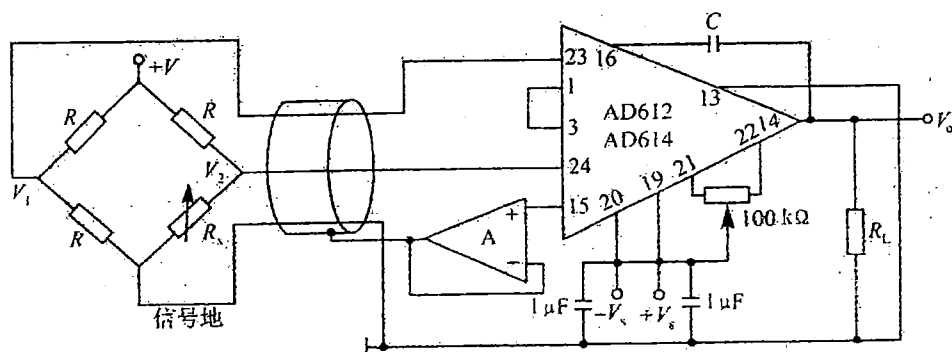
用测量值算术平均值表示:

$$x = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}} = 324.1125 \pm 0.015$$

$$x = \bar{x} \pm 2\sigma_{\bar{x}} = 324.1125 \pm 0.03 \quad 1 \text{ 分}$$

59

2. 下图中, 已知电桥电源电压 $V=5V$, $R=100\Omega$, R_x 为 100Ω 应变片, 其灵敏度系数为 2, 应变为 0.005, 测量放大器 AD612 共模抑制 120db, 试计算 AD612 的输出电压 U_o 。8 分



答案: 1 计算应变电阻变化量:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \varepsilon_x \Rightarrow \Delta R = R K \varepsilon_x = 100 \times 2 \times 0.005 = 1\Omega \quad 1 \text{ 分}$$

2 计算电桥的两输出端电压 V_1 和 V_2 :

$$V_1 = \frac{V}{2R} R = \frac{5}{2 \times 100} \times 100 = 2.5V \quad 0.5 \text{ 分}$$

$$V_2 = \frac{V}{2R + \Delta R} (R + \Delta R) = \frac{5}{2 \times 100 + 1} \times (100 + 1) = 2.512V \quad 0.5 \text{ 分}$$

3 计算差模信号 V_d 和共模信号 V_c :

$$V_d = V_2 - V_1 = 0.012V \quad 0.5 \text{ 分}$$

$$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2} = 2.501V \quad 0.5 \text{ 分}$$

4 计算 AD612 的增益:

$$A_f = 1 + \frac{80k\Omega}{R_G} = 1 + \frac{80k\Omega}{80k\Omega} = 2 \quad 1 \text{ 分}$$

5 计算放大器对差模信号放大后输出 V_{od} :

$$V_{od} = V_d \times A_f = 0.012 \times 2 = 0.024V \quad 1 \text{ 分}$$

6 计算共模信号等效的差模信号输出 V_{cd} : $120dB = CMRR = 20 \lg \left| \frac{V_c}{V_{cd}} \right| = 20 \lg \left| \frac{2.501}{V_{cd}} \right|$

$$\Rightarrow V_{cd} = \frac{2.501}{10^6} = 2.501 \times 10^{-6}V \quad 1 \text{ 分}$$

7 计算放大器对共模信号放大后输出 V_{oc} :

$$V_{oc} = V_{cd} \times A_f = 2.501 \times 10^{-6} \times 2 = 5.002 \times 10^{-6} V \quad 1 \text{ 分}$$

8 计算放大器对信号放大后输出 V_o :

$$V_o = V_{od} + V_{oc} = 0.024 + 5.002 \times 10^{-6} \approx 0.024 V \quad 1 \text{ 分}$$

四、设计分析题 10 分

有一测量吊车起吊物质量的拉力传感器（吊钩秤）， R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为应变电阻，分别贴在如图所示的等截面轴上：

1. 说明应变电阻工作原理。5 分

答案：应变电阻是基于电阻应变效应原理制成的 1 分

一般金属电阻丝的电阻

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

对式取对数再微分可得 $\ln R = \ln \rho + \ln L - \ln S$ $\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dS}{S}$

又因为 $S = \pi r^2$

$$\text{所以 } \frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - 2 \frac{dr}{r}$$

式中， $\frac{dL}{L} = \varepsilon_x$ ——金属丝的轴向应变； $\frac{dr}{r} = \varepsilon_r$ ——金属丝的径向应变。

当电阻丝沿轴向拉伸时，沿径向则缩小，二者之间的关系为 $\varepsilon_r = -\nu \varepsilon_x$

式中， ν 为电阻丝材料的泊松比。

2 分

$$\text{将上两式合并可得 } \frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + (1+2\nu)\varepsilon_x = K\varepsilon_x \quad K = \frac{d\rho}{\rho} / \varepsilon_x + (1+2\nu) = \frac{dR}{R} / \varepsilon_x$$

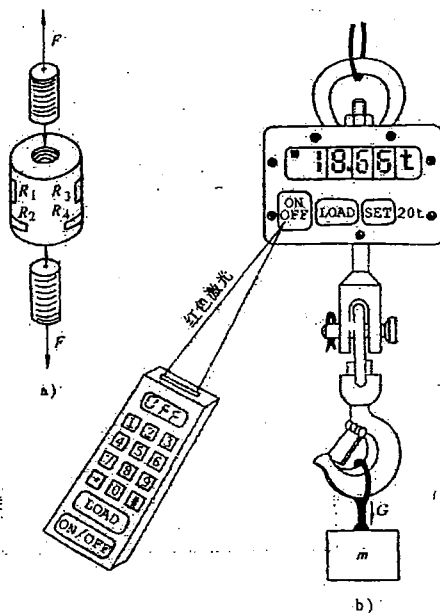
对大多数电阻丝而言 $\nu \approx 0.3$ ，则 $K = 1.6 + \frac{d\rho}{\rho} / \varepsilon_x \approx 2 \sim 3.6$

由上述分析可以看出，因为桥路输出电压的变化率与电阻的变化率成正比，而电阻的变化率与应变成正比，应变的大小与压力也成正比，所以可得

$$\frac{\Delta U}{U} \propto p_x$$

2 分

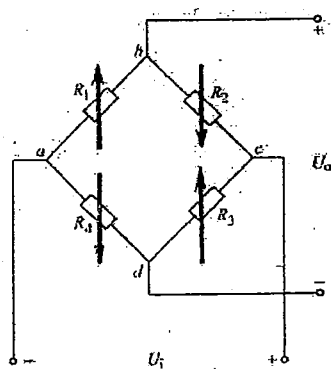
2. 设计出测量转换电路，说明电路设计原理。5 分



答案:

根据电路特点可知, 应变电阻 1, 2 受拉力电阻变大; 3, 4 受压力电阻变小。 1 分
所以可采用全桥作为转换电路。 1 分

电桥形式如下:



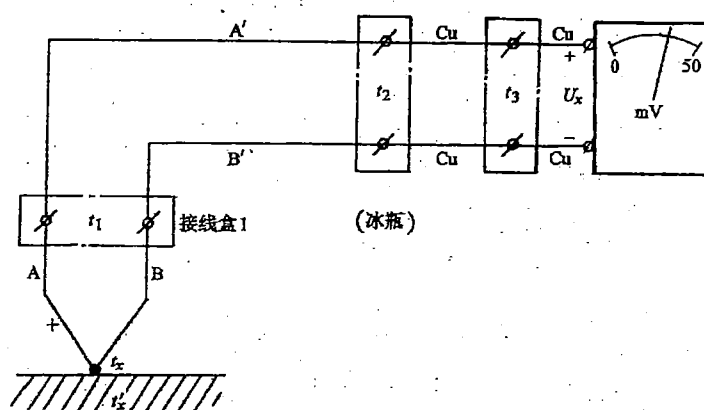
2 分

设各桥臂应变电阻初始阻值相等, 则输出电压为:

$$U_o \approx \frac{U_i}{R} \Delta R \quad 1 \text{ 分}$$

五、综合问答计算题 20 分

用镍铬-镍硅 (K) 热电偶组成测温电路, A' 、 B' 为补偿导线, 已知接线盒 1 的温度 $t_1=35^\circ\text{C}$, 冰瓶中为冰水混合物, 接线盒 3 的温度 $t_3=20.0^\circ\text{C}$ 。求:



1. 冰瓶的温度 t_2 。3 分

答案:

应为冰瓶中装有冰水混合物 1 分

所以此时其温度为 $t_2=0$ 摄氏度 2 分

2. 当 $U_x=29.8\text{mV}$ 时, 估算被测点温度 t_x 。7 分

答案: 此时冷端温度为 0 摄氏度, 所以可以直接查表得到被测点温度 1 分
查表得:

当 $U_1=29.965\text{V}$ 时, $t_{x1}=720$ 摄氏度 0.5 分

当 $U_2=29.548\text{V}$ 时, $t_{x2}=710$ 摄氏度 0.5 分

因为在此区域热电偶输出可以认为按线性规律变化, 1 分

所以有:

$$\frac{U_1 - U_2}{t_{x1} - t_{x2}} = \frac{U_1 - U_x}{t_{x1} - t_x} \Rightarrow \frac{29.965 - 29.548}{720 - 710} = \frac{29.965 - 29.8}{720 - t_x} \quad 2 \text{ 分}$$

得到: $t_x=716.04$ 摄氏度 2 分

3. 如果冰瓶中的冰完全融化, 温度上升, 与接线盒 1 的温度相同, 此时 $U_x=27.6\text{mV}$, 再求 t_x 。10 分

答案: 此时冷端温度不为 0 摄氏度, 此时不能用热电偶分度表直接得到被测温度。1 分

根据题意, 此时热电偶冷端温度为 35 摄氏度。1 分

根据中间温度定律, 1 分

此时热电偶的输出热电势可以表示为:

61

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_n) + E_{AB}(t_n, t_0) = 27.6 + E_{AB}(35^\circ C, 0^\circ C) \quad 2 \text{ 分}$$

查镍铬-镍硅 (K) 热电偶分度表, 得到:

$$\begin{aligned} E_{AB}(30^\circ C, 0^\circ C) &= 1.203 mV, E_{AB}(40^\circ C, 0^\circ C) = 1.612 mV \Rightarrow \\ E_{AB}(35^\circ C, 0^\circ C) &= (1.203 + 1.612) / 2 = 1.4075 mV \quad 2 \text{ 分} \end{aligned}$$

$$\text{所以: } E_{AB}(t, t_0) = 27.6 + 1.4075 = 29.0075 mV \quad 1 \text{ 分}$$

反查镍铬-镍硅 (K) 热电偶分度表:

$$\frac{29.129 - 28.710}{700 - 690} = \frac{29.129 - 29.0075}{700 - t_x} \quad 1 \text{ 分}$$

得到: $t_x = 697.1$ 摄氏度 1 分

思考与练习

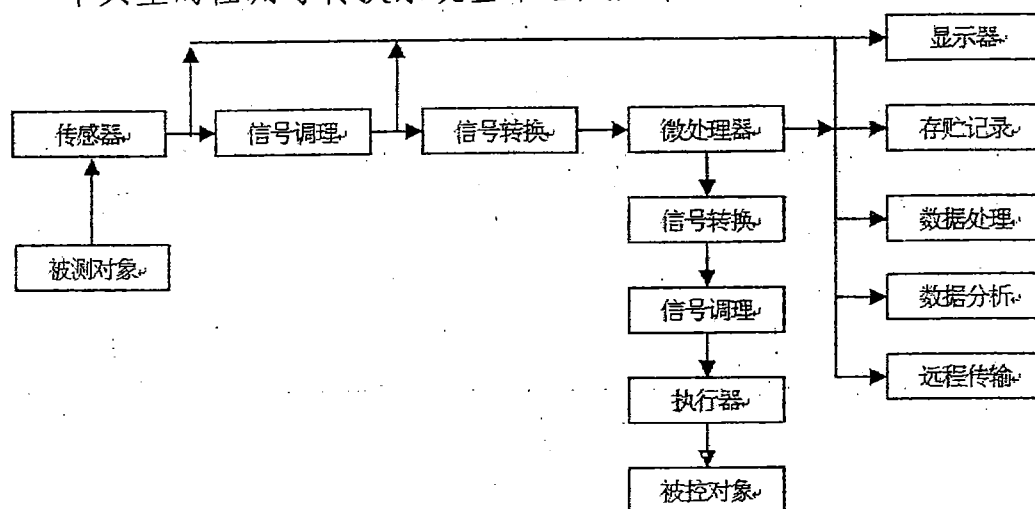
第1章 信号检测与转换技术概述

1. 自动检测与转换系统的基本组成是什么？

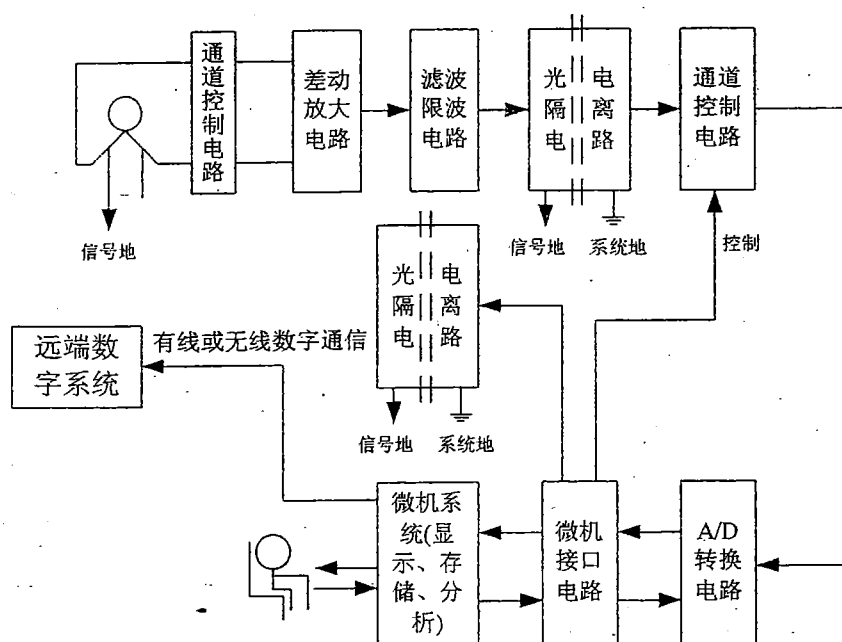
检测：通过各种科学的手段和方法获得客观事物的量值；

转换：通过各种技术手段把客观事物的大小转换成人们能够识别、存贮和传输的量值。

一个典型的检测与转换系统基本组成如下：



2. 简述心电信号检测系统的基本组成及各部分功能。



3. 简述工业检测技术涉及的主要物理量有哪些？

工业检测技术涉及主要内容包括：

热工量：温度、压力（压强）、压差、真空度、流量、流速、物位、液位等。

机械量：直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应变、力矩、振动、噪声、质量（重量）等。

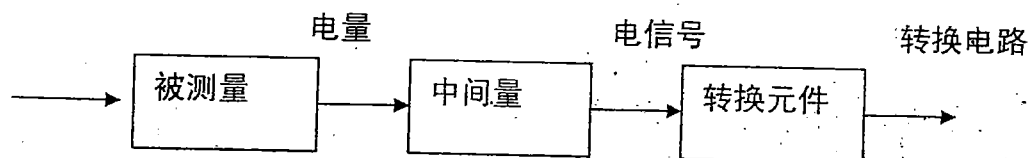
几何量：长度、厚度、角度、直径、间距、形状、粗糙度、硬度、材料缺陷等。

物体的性质和成分量：空气的湿度（绝对、相对）；气体的化学成分、浓度；液体的粘度、浊度、透明度；物体的颜色等。

状态量：工作机械的运动状态（启停等）、生产设备的异常状态（超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等）。

电工量：电压、电流、电功率、电阻、电感、电容、频率、磁场强度、磁通密度等。

4. 传感器的基本组成是什么？简述各部分主要功能。



敏感元件（如：弹簧管、波纹管、膜盒、膜片）能直接感受被测量，并将被测非电量信号按一定对应关系转换为易于转换为电信号的另一种非电量的元件。

传感元件能将敏感元件输出的非电信号或直接将被测非电量信号转换成电量信号的元件。

转换电路将传感元件输出的电量信号转换为便于显示、处理、传输的有用电信号的电路。

5. 检测仪表和检测系统的技术性能有哪些？有什么含义？如何测量或计算？

① 量程

$$B = x_{\max} - x_{\min}$$

63

② 误差

绝对误差

$$\Delta x = x - A$$

相对误差

实际相对误差 γ_A :

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\%$$

示值相对误差 γ_x :

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

满度(或引用)相对误差 γ_m :

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{B} \times 100\%$$

最大满度(或引用)相对误差 γ_{\max} :

$$\gamma_{\max} = \frac{|\Delta x_{\max}|}{B} \times 100\%$$

③ 精度等级:

$$q_{\max} < Q$$

*国家规定电工仪表精度等级分为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七级。

④ 灵敏度与分辨率:

灵敏度: 指稳态时仪表的单位输入量变化所引起的输出量的变化。

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

分辨率: 是指测量仪表能够检测出被测信号最小变化量的能力。

⑤ 迟滞性

也称为变差, 又称回差, 指当输入量上升和下降时, 对于同一输入值的仪表两个相应输出示值之间的代数差。

⑥ 线性度

实际的仪表测出的输出-输入静态特性曲线与其理论拟合直线之间的偏差, 也称为该仪表的“非线性误差”。用来说明仪表静态特性对一条指定的直线的吻合程度。

举例:

1. 某温度计的测量范围为 $0 \sim 200^\circ\text{C}$, 精度为 0.5 级, 该表可能出现的最大绝对误差为

A. 1°C B. 0.5°C

C. 10°C D. 200°C

2. 传感器能感知的输入变化量越小, 表示传感器的

A. 线性度越好

B. 迟滞越小

C. 重复性越好

D.

分辨力越高

5. 测量误差来源有那些？按误差出现的规律，测量误差分哪几类？

来源：

工具误差(仪表误差)：测量仪表组成元件本身不完善。例：标准量具的误差，仪表灵敏度不足，仪表刻度不准，变换器、放大器的误差等。

方法误差：选用测量方法不当，引用经验公式以及系数的近似性，测量中观测次数的不足。

环境误差(工作条件误差)：测量工作环境与仪表校验时的规定标准状态不同，以及随时间而变化所引起的仪表性能与被测对象本身改变所造成的误差。

个人误差：测试操作者个人的感官生理不同与变化、最小分辨力、反应速度和固有习惯以及操作不熟练、疏忽与过失等所造成的误差。

分类：

系统误差：简称系差，是按某种已知的函数规律变化而产生的误差。

随机误差：简称随差，又称偶然误差，它是由未知变化规律产生的误差，具有随机变量的一切特点，在一定条件下服从统计规律；因此经过多次测量后，对其总和可以用统计规律来描述，可以从理论上估计对测量结果的影响。

粗大误差：是指在一定的条件下测量结果显著地偏离其实际值时所对应的误差，简称粗差。

举例：

下列几种误差中，哪种属于随机误差？

- A. 仪表未校零所引起的误差
- B. 周围环境的细微变化引起的测量误差(温度传感器受空气扰动)
- C. 电表的刻度不均匀引起的误差
- D. 读数错误

6. 对某量进行多次重复的等精度测量，测量次数为 10 次，在不考虑系统误差和粗大误差的情况下，测量结果如下，试求标准误差和极限误差，并写出测量结果表达式。123.95, 123.45, 123.60, 123.60, 123.87, 123.88, 123.00, 123.85, 123.82,

123.60。

$$\text{算数平均值 } \bar{X} = \frac{123.95 + 123.45 + \dots + 123.60}{10} = 123.662$$

$$\text{标准误差 } \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} = 0.285$$

算数平均值的标准差（极限误差）

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \hat{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{10}} * 0.285 = 0.09$$

$$X = X_i \pm k\hat{\sigma} = 123.662 \pm 0.285k$$

$$X = \bar{X} \pm k\hat{\sigma}_{\bar{X}} = 123.662 \pm 0.09k$$

k 置信系数 2~3

7. 已知一组测量数据： $x=1, 2, 3, 4, 5$ ；

$y=500.6, 442.4, 428.6, 370.1, 343.1$ 。求其最小二乘线性度。要求：

用 C 语言或 Matlab 语言编程求取，给出程序代码和运行结果。

```
x=[1, 2, 3, 4, 5];  
y=[500.6, 442.4, 428.6, 370.1, 343.1];  
k=polyfit(x,y,1); //k 为最小二乘法拟合直线斜率;  
m=mean(x);  
n=mean(y);  
b=n-k*m
```

第2章 电阻式传感器

1. 什么是电阻式传感器？电阻应变效应做成的传感器可以测量哪些物理量？

电阻式传感器是把位移、力、压力、加速度、扭矩等非电物理量转换为电阻值变化的传感器。主要包括电阻应变式传感器、热电阻传感器、电位器式传感器和各种半导体电阻传感器等。

电阻应变式传感器是以电阻应变片做为传感元件的电阻式传感器。电阻应变式传感器由弹性敏感元件、电阻应变片、补偿电阻和外壳组成。弹性敏感元件受到所测量的力而产生变形，并使附着其上的电阻应变片一起变形。

2. 解释应变效应、压阻效应。试说明金属应变片与半导体应变片的相同和不同之处。

应变效应：导体或半导体材料在外界力的作用下，会产生机械变形；其电阻值也将随着发生变化。

压阻效应：一块半导体材料的某一轴向受到一定作用力时，电阻率发生变化。

与丝式和箔式应变片的灵敏系数（约为 2.0 ~ 3.6）相比，半导体应变片灵敏系数很高，约为丝式和箔式的 50 倍。此外，还有机械滞后小、横向效应小以及体积小等优点。

半导体应变片的缺点主要是电阻值及灵敏系数的温度稳定性差，测量较大的应变时非线性严重，灵敏系数的离散度较大等，这就为其使用带来一定的困难。虽然如此，在动态测量中仍被广泛采用。

3. 一应变片的电阻 $R_0 = 120\Omega$ ， $S = 2.05$ ，用作应变为 0.005 的传感元件。

(1) 求 ΔR 与 $\Delta R/R$ ；

(2) 若电源电压 $E=3V$ ，求测量电桥的非平衡输出电压 U_0 。

解：

$$\frac{\Delta R}{R} = S \varepsilon_L = 2.05 * 0.005 = 0.01025$$

$$\Delta R = 0.01025 * 120 = 1.23 \Omega$$

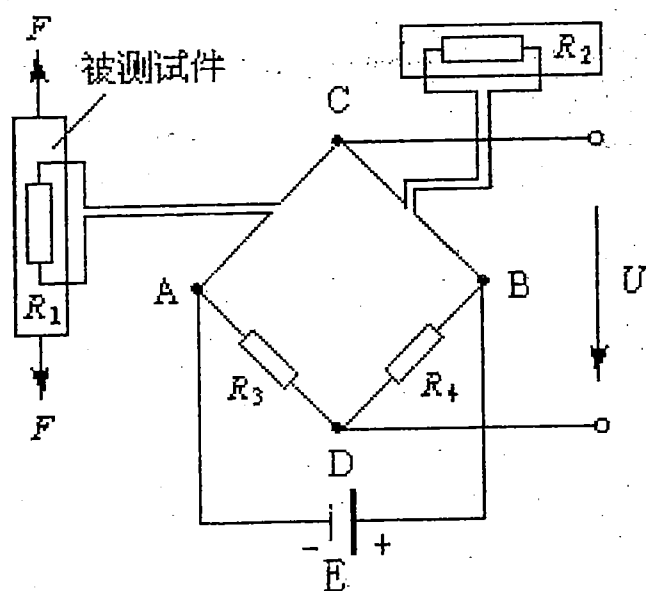
单臂电桥非平衡输出电压

$$U_o = \frac{E \Delta R}{4 R} = \frac{3}{4} * 0.01025 = 7.6875 \text{mV}$$

4. 电阻应变传感器在单臂电桥测量转换电路在测量时由于温度变化产生误差的过程。电阻应变式传感器进行温度补偿的方法是什么？

单臂电桥的输出电压与桥路中电阻之间的关系为 $U \approx \frac{E}{4R} \Delta R$ ，式中 ΔR 为应变电阻在外力的作用下的电阻变化量。当温度变化时，应变片的电阻值也会发生变化，这将给测量结果带来误差。

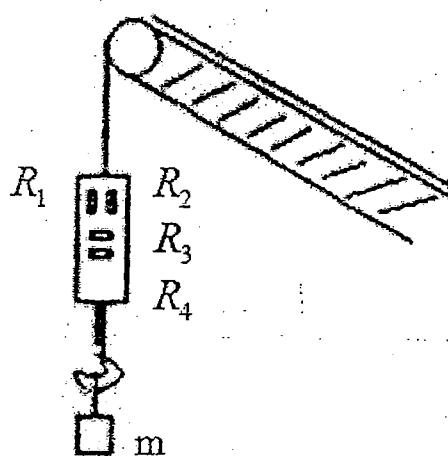
常用的温度补偿方法有：热敏电阻补偿法和电桥补偿法。



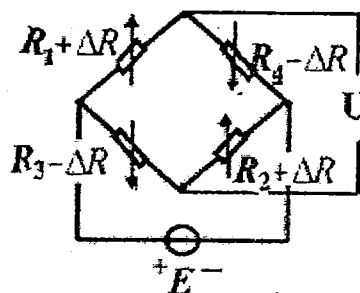
桥路补偿方法：将两个特性相同的应变片 R_1 和 R_2 ，用同样的方法粘贴在相同材质的两个试件上，置于相同的环境温度中， R_1 受应力（被测外力 F ）为工作片， R_2 不受应力为补偿片，把这两个应变片分别安置在电桥的相邻两臂。测量时，若温度发生变化，这两个应变片将引

起相同的电阻增量，对输出 U 不产生影响。

5. 有一吊车的拉力传感器如题图所示，电阻应变片贴在 R_1 , R_2 , R_3 , R_4 等截面轴上，已知四个电阻的标称阻值为 120Ω ，桥路电压 $2V$ ，物重 m 引起 R_1, R_2, R_3, R_4 变化增量为 1.2Ω 。请画出应变片电桥电路，计算出测得的输出电压和电桥输出灵敏度， R_3 , R_4 起什么作用？



解：四个应变片组成全桥测量电路



输出电压

$$U_o = \frac{E}{R} \Delta R = 2 * \frac{1.2}{120} = 0.02V$$

灵敏度

$$K = U_o / \frac{\Delta R}{R} = 2$$

R_3 和 R_4 与 R_1 和 R_2 ，组成全桥测量电路，电桥相邻两臂变化趋势相

反，对臂变化趋势相同，提高了系统的灵敏度。同时，还起到了温度补偿的作用。

第3章 电抗式和霍尔传感器

1. 电容式传感器的类型有哪些？可以测量那些物理量？有哪些优点和缺点？

极距型变化型，可测微小的线位移。

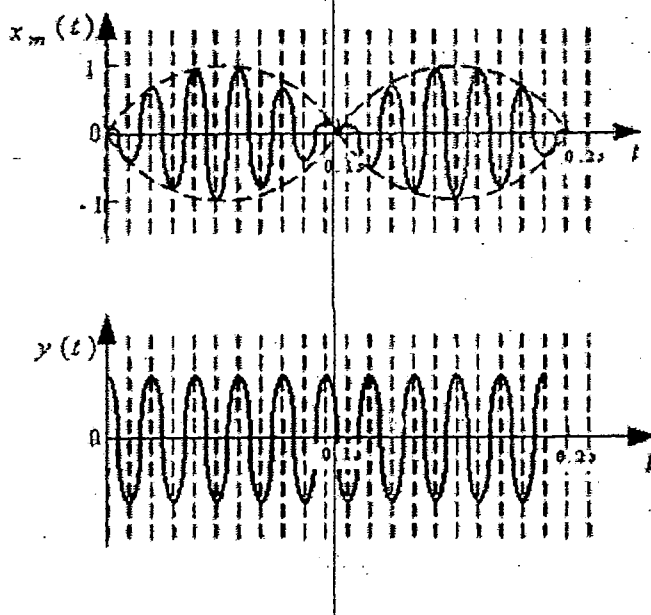
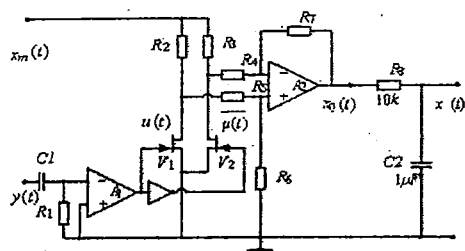
面积变化型，可测角位移或较大的线位移。

介质变化型，可测物位和各种介质的温度、密度、湿度。

2. 电容式传感器的转换电路有哪些？

交流电桥、信号放大部分-交流放大电路、交流信号转变为直流信号部分-解调电路、高频干扰的滤除部分-滤波电路等。

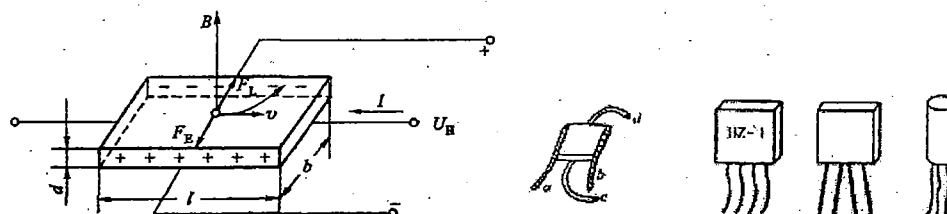
3. 如题图 3.2 所示为一开关式全波相敏检波滤波电路，输入已调波 $x_m(t)$ 和载波 $y(t)$ 如题图 3.3 所示，画出 $x_o(t)$ ， $x(t)$ 的波形。



题图 3.2

题图 3.3

4. 霍尔传感器的物理基础是什么？霍尔传感器由哪几部分组成？霍尔传感器有哪些用途？



霍尔元件的结构很简单，由霍尔片、引线 and 壳体组成。

霍尔片是一个半导体四端薄片，几何形状为长方形，在薄片的相对两侧对称地焊上两对电极引出线，其中一对为控制电流端，另外一对为霍尔电势输出端。霍尔片一般用非磁性金属、陶瓷或环氧树脂封装。

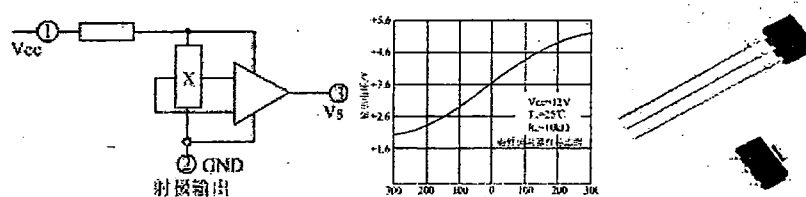
应用：

电磁测量：测量恒定的或交变的磁感应强度、有用功率、无功功率、相位、电能等参数；

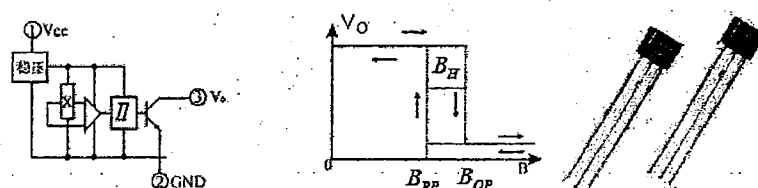
自动检测系统：多用于位移、压力的测量。

5. 霍尔集成电路有哪几种？

线性型



开关型



第4章 有源传感器

1. 什么是光电效应?光电效应的种类有哪些?

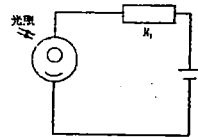
光照射到某些物质上,引起物质的电性质发生变化,也就是光能量转换成电能,这类光致电变的现象被人们称为光电效应。光电效应分为光电子发射效应、光电导效应和光生伏特效应。前一种现象发生在物体表面,又称外光电效应。后两种现象发生在物体内部,称为内光电效应。

2. 常用的光电元件种类有哪些?给出它们的电路符号和典型应用电路。

光电管



光电管符号



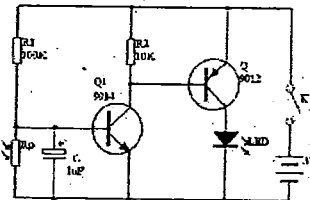
基本电路

光敏电阻



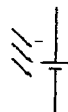
光敏电阻符号

光控灯

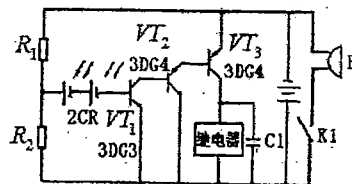


光控灯电路

光电池

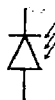


光电池符号

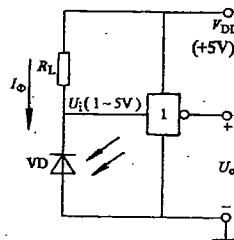


报警电路

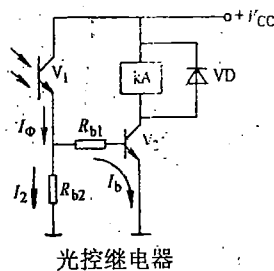
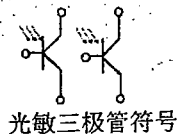
光敏晶体管



光敏二极管符号



光电开关

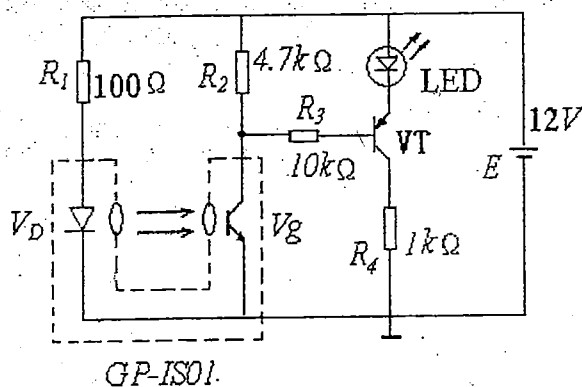


3. 光敏电阻有哪些重要特性，在工业应用中是如何发挥这些特性的？

光敏电阻主要用于各种光电控制系统，如光电自动开关门户，航标灯、路灯和其他照明系统的自动亮灭，自动给水和自动停水装置，机械上的自动保护装置，照相机自动曝光装置，光电计数器，烟雾报警器，光电跟踪系统等方面。

4. 光电传感器控制电路如题图 4.1 所示，试分析电路工作原理：

- (1) GP-IS01 是什么器件，内部由哪两种器件组成？
- (2) 当用物体遮挡光路时，发光二极管 LED 有什么变化？
- (3) R_1 是什么电阻，起什么作用？如果 V_D 最大额定电流为 60mA， R_1 应该如何选择？



题图 4.1

GP-IS01 是光电开关元件，内部由一个发光二极管和一个光敏三极管组成；

当用物体遮挡光路时， V_g 无电流，VT 截止，LED 不发光；

R_1 限流作用；设 VD 导通电压为 0.7V， $(12-0.7)$

$V/60 \times 10^{-3} A = 188.3 \Omega$ ， R_1 不小于 188.3Ω。

第5章 其他传感器

1. 光纤传感器的性能有何特殊之处？主要有哪些应用？

光纤传感器与常规传感器相比，最大优点是对电磁干扰的高度防卫，而且可以制成小型紧凑的器件，具有多路复用的能力等，在灵敏度、动态范围、可靠性等方面也具有明显的优势。

光纤传感器可测量位移、速度、加速度、液位、应变、压力、流量、振动、温度、电流、电压、磁场等物理量。

2. 光纤传感器有哪两种类型？光纤传感器调制方法有哪些？

$$E = A \sin(\omega t + \varphi)$$

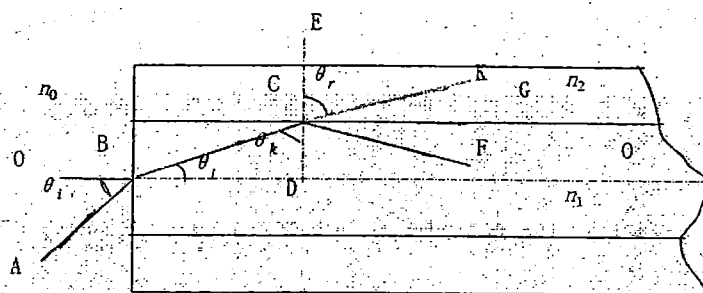
强度调制型(intensity modulated);

偏振调制型(polarization modulated);

频率调制型(frequency modulated);

相位调制型(phase modulated)。

3. 在光纤中，要使光纤的入射光在光纤纤芯内全反射，需满足什么条件？写出推导过程。



$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_j$$

$$n_1 \sin \theta_k = n_2 \sin \theta_r$$

$$\sin \theta_i = (n_1/n_0) \sin \theta_j$$

$$\sin \theta_k = (n_2/n_1) \sin \theta_r$$

因 $\theta_i = 90^\circ - \theta_k$ 所以

$$\sin \theta_i = \frac{n_1}{n_0} \sin(90^\circ - \theta_k) = \frac{n_1}{n_0} \cos \theta_k = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \sin^2 \theta_k}$$

$$\sin \theta_i = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \sin \theta_r \right)^2} = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2 \sin^2 \theta_r}$$

n_0 为入射光线 AB 所在空间的折射率，一般为空气，故 $n_0 \approx 1$ ， n_1 为纤芯折射率， n_2 为包层折射率。

$$\sin \theta_i = \sqrt{n_1^2 - n_2^2 \sin^2 \theta_r}$$

当 $\theta_r = 90^\circ$ 的临界状态时， $\theta_i = \theta_{i0}$ ， $\sin \theta_{i0} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

发生全反射的临界入射角为 $\theta_i = \arcsin(\sqrt{n_1^2 - n_2^2})$ 。

4. 光纤损耗是如何产生的？它对光纤传感器有哪些影响？

光纤在传播时，由于材料的吸收、散射和弯曲处的辐射损耗影响，不可避免的要产生损耗，用衰耗系数 a 表示，其定义为：每公里光纤对光功率信号的衰减值，可表示为：

$$a = 10 \lg \frac{P_i}{P_o} \quad (\text{dB/km})$$

式中， P_i ：输入光功率值（单位：W）； P_o ：输出光功率值（单位：W）。

如果某光纤的衰耗系数 $a = 3 \text{ dB/km}$ ，则 $P_i/P_o = 10^{0.3} = 2$ ，意味着，经过一公里的光纤传输后，其光功率信号减少了一半。

5. 求光纤 $N_1 = 1.46$ ， $N_2 = 1.45$ 时的 NA 值；如果外部的 $N_0 = 1$ ，求光纤的临界入射角。

解：

$$\theta_i = \arcsin\left(\frac{1}{N_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right)$$

$$NA = \sin \theta_i = \frac{1}{N_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{0.17}{N_0}$$

$$N_0 = 1 \text{ 时, } \theta_{i0} = \arcsin(NA) \approx 9.8^\circ$$

第 6 章 信号放大技术

1. 常见的噪声干扰有哪几种?如何防护?

- (1) 机械干扰
- (2) 湿度及化学干扰
- (3) 热干扰
- (4) 固有噪声干扰
- (5) 电、磁噪声干扰

2. 屏蔽有几种形式?各起什么作用?

屏蔽可以分为下列三类: 静电屏蔽 (electrostatic shielding), 电磁屏蔽 (electromagnetic shielding), 磁屏蔽 (magnetic shielding)。

3. 接地有几种形式?各起什么作用?

广义接地有两方面的含义, 即接实地和接虚地。接实地指的是与大地相连; 接虚地是与电位基准点连接, 建立系统的基准电位。如果这个基准电位与大地电气绝缘, 则称为浮地连接。

接地的目的有两个: 一是为了保证系统稳定可靠地运行; 防止地环路引起的干扰, 称为工作接地; 二是为了保证操作人员和设备的安全, 避免操作人员因设备绝缘损坏或下降遭受触电危险, 称为保护地。正确合理的接地技术对检测系统极为重要。

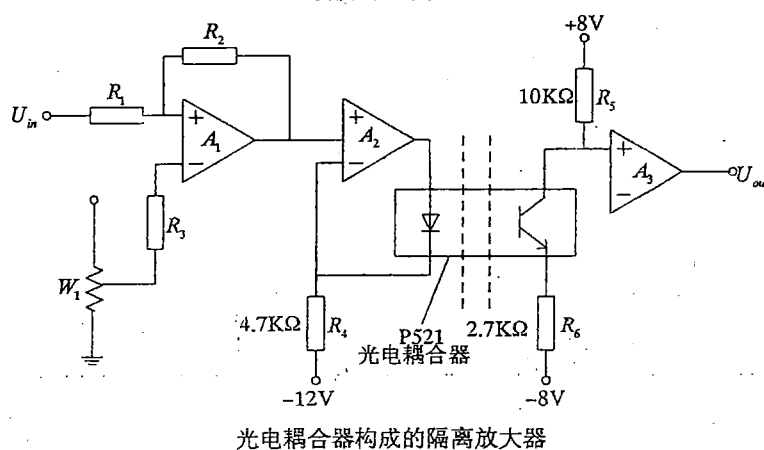
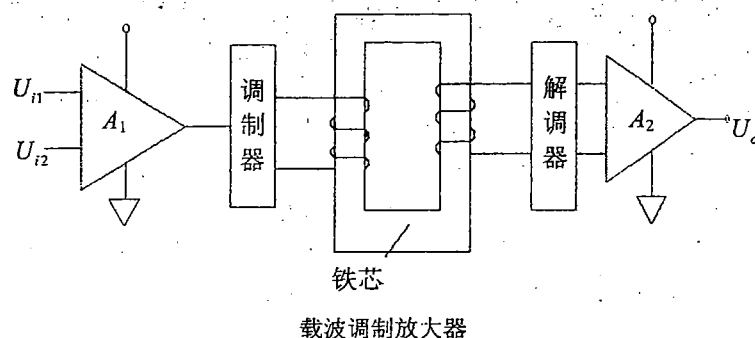
4. 测量放大器的特点是什么? 什么条件下使用它?

仪用放大器是一种精密的差动电压增益器件。它的特点是: 高输入阻抗, 低偏置电流, 低失调和低漂移, 高共模抑制比, 平衡的差动输入和单端输出。

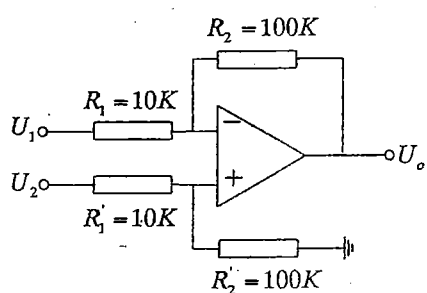
它特别适合在比较恶劣的环境下作精密测量用, 它的主要用途是作传感器的信号放大, 或用作迭加有共模信号的差模小信号的前置放大。

5. 隔离放大器有什么隔离措施? 隔离的目的是什么?

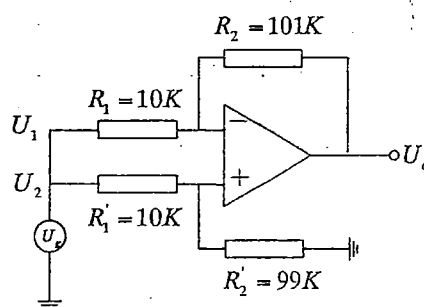
如果要求输入电路与输出电路和电源之间实现电流或电阻的隔离或者当共模电压很高的时候，则应采用隔离放大器。



6. 试计算以下放大电路的放大倍数。



题图 6.1a



题图 6.1b

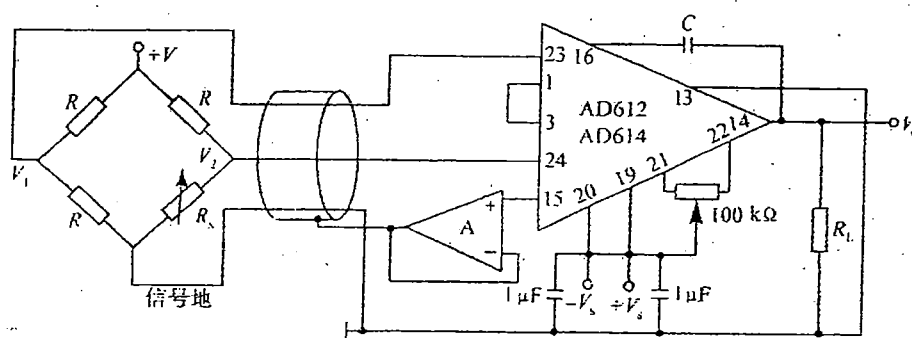
分别求出题图 6.1a 的 $\frac{U_o}{U_2 - U_1}$ 、题图 6.1b 的 $\frac{U_o}{U_g}$

解:

$$(1) \quad \frac{U_o}{U_2 - U_1} = \frac{R_2}{R_1} = 10$$

$$(2) \quad \frac{U_o}{U_g} = \frac{R'_2 - R_2}{R_1} = \frac{\Delta R_2}{R_1} = 0.2$$

7. 什么是共模抑制比？题图 6.2 中，已知电桥电源电压 $V=5V$ ， $R=100\Omega$ ， R_x 为 100Ω 应变片，其灵敏度系数为 2，应变为 0.005，测量放大器 AD612 共模抑制比为 120dB，试计算测量放大器 AD612 的输出电压 U_o 。



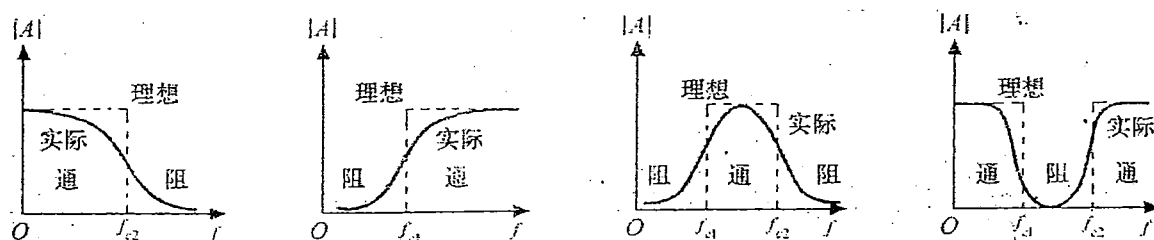
题图 6.2

第 7 章 信号滤波技术

1. 要对信号作以下处理, 使之分别满足下列要求, 试选择合适的滤波电路(低通、高通、带通、带阻)

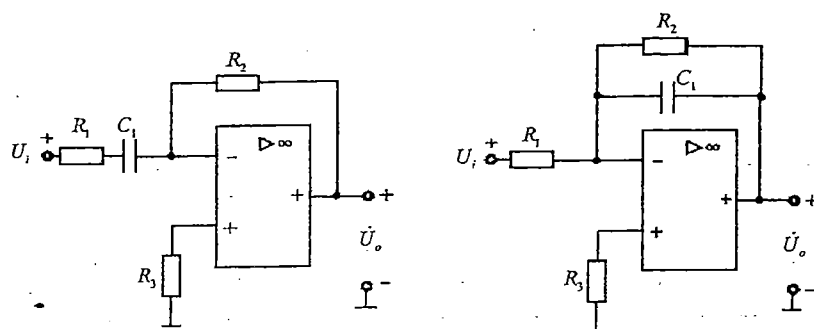
- ① 信号频率为 1kHz 至 2kHz 为所需信号
- ② 抑制 50 Hz 电源干扰。
- ③ 低于 5kHz 为所需信号。
- ④ 高于 200 kHz 信号为所需信号。

2. 画出理想的低通、高通、带通和带阻滤波器的幅频特性。



(a) 低通滤波器 (b) 高通滤波器 (c) 带通滤波器 (d) 带阻滤波器

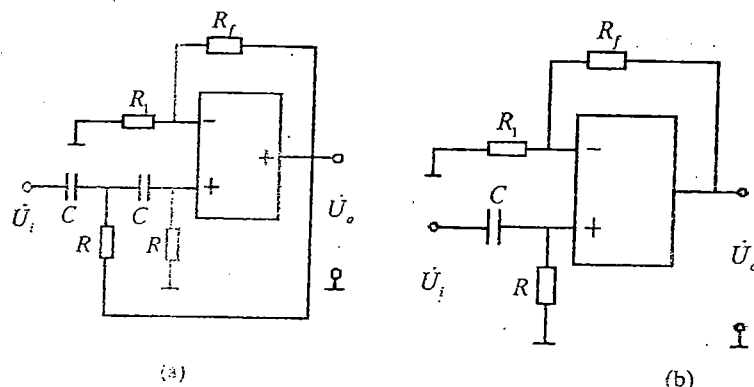
3. 试求出题图 7.1a、7.1b 所示电路的传递函数, 指出它们为什么类型的滤波电路。



(a) 高通 (b) 低通

4. 设二阶压控高通滤波器和一阶高通滤波器的如图 7.2a、7.2b 所示，它们的通带增益和特性频率都相同，若 $A_{up}=2$ ， $f_0=10$

kHz，试分别计算两图的 $|\dot{A}_u|_{f=100 \text{ kHz}}$ 和 $|\dot{A}_u|_{f=100 \text{ Hz}}$ 。



题图 7.2

(a) 二阶压控有源高通滤波器

$$\dot{A}_u = \frac{A_{up}}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + j(3 - A_{up})\frac{f}{f_0}}$$

$$|\dot{A}_u|_{f=100 \text{ kHz}} \approx 2$$

$$|\dot{A}_u|_{f=100 \text{ Hz}} \approx 0.0002$$

(b) 一阶高通滤波器

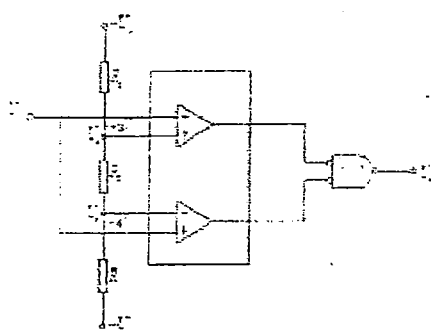
$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{A_{up}}{1 - j\frac{f_0}{f}}$$

$$|\dot{A}_u|_{f=100 \text{ kHz}} \approx 2$$

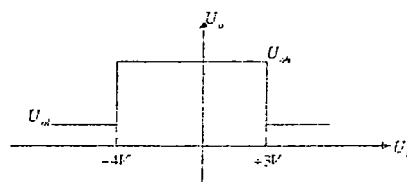
$$|\dot{A}_u|_{f=100 \text{ Hz}} \approx 0.02$$

第 8 章 信号转换技术

1. 试设计一窗口比较器，使输入信号在 $-4V \sim +3V$ 之间输出高电平，若输入信号超过这一信号时输出低电平，要求画出电路图。



(a) 原理图



(b) 输入输出关系

解：

首先计算分压网络，设电阻分压器中流过的电流为 $1mA$ ，则总电阻 R 等于：

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{U_s - (-U_s)}{I} = \frac{15 - (-15)}{1 \times 10^{-3}} = 30 \text{ k}\Omega$$

取 $U_A = -4V$ ， $U_B = +3V$ ，则有：

$$R_1 = [U_A - (-U_s)] / I = (-4 + 15) / 1 \times 10^{-3} = 11 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = (U_B - U_A) / I = (3 + 4) / 1 \times 10^{-3} = 7 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R - (R_1 + R_2) = 12 \text{ k}\Omega$$

2. 计算八位单极性 D/A 转换器的数字量分别为 7FH, 81H, F3H 时的模拟输出电压值，设其满量程电压为 $10V$ 。

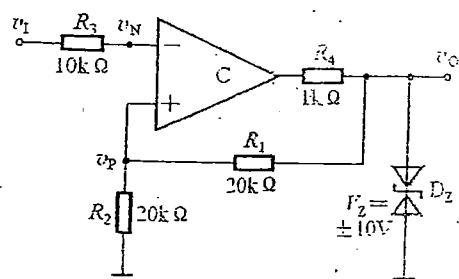
解：

7FH $4.98V$

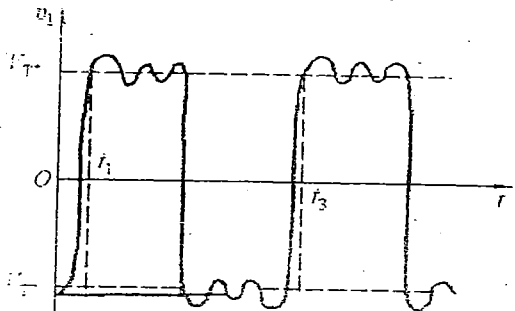
81H $5.06V$

F3H $9.53V$

例：电路如图(a)所示， D_Z 为稳压管，将输出电压限制为 $\pm 10V$ ，试求门限电压，画出传输特性和图(b)所示输入信号下的输出电压波形。



(a)



(b)

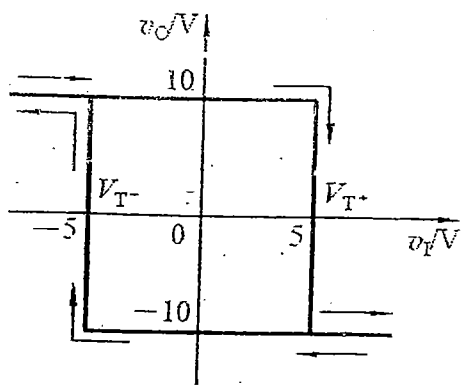
解：(1) 门限电压

$$V_{REF} = 0, V_O = \pm 10V$$

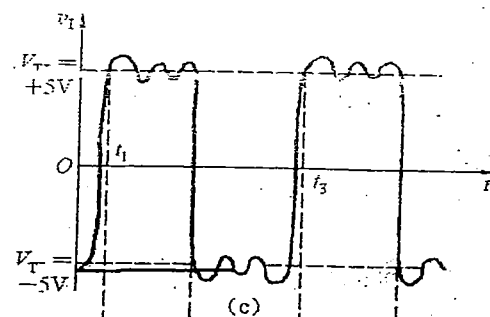
$$V_{T+} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OH}}{R_1 + R_2} = 5V$$

$$V_{T-} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OL}}{R_1 + R_2} = -5V$$

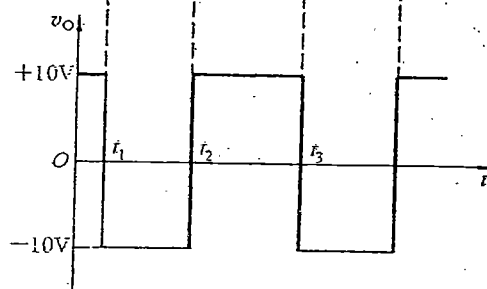
(2) 传输特性图 (3) 输出电压波形



(b)



(c)



(d)

(1) 12 位 AD1674 可否采用 8 位 STC89C52 单片机的一个并口接收数据, 为什么?

[illegible]

(1) 可以, 先传输高 8 位, 后传输低 4 位。

(2) “或非”门改为“与非”门或者是异或门，R/C直接与/W_R相接，或者是/RD去反后与/W_R相与接到R/C。