

测试技术习题

一、基础题

判断题

1. 惯性式加速度传感器的等效弹簧刚度越大则其固有频率就越低。(×)
2. 固有频率 $f_n=600\text{ Hz}$ 的典型二阶系统的工作频带上限频率肯定大于 600 Hz 。(×)
3. 一台仪器的重复性很好,但其静态测量结果也可能存在很大的误差。(√)
4. 对连续时间信号进行离散采样时,只要采样频率足够高,就可以避免频谱“泄漏”。(×)
5. $\int_{-\infty}^{+\infty} x(t)te^{-j2\pi ft} dt$ 称为信号 $x(t)$ 的频率响应函数。(×)
6. A/D 转换就是把模拟信号转换成数字信号。(√)
7. RS232 是串行接口总线标准。(√)
8. 同一测量系统,测量有效频带不同的信号时肯定表现出不同的幅频特性。(×)
9. 如果测量系统的静态特性理想,就可保证其测量输出 $y(t)$ 与输入 $x(t)$ 的时域波形完全相似,即 $y(t) = Kx(t - \tau)$, K 、 τ 为常量。(×)
10. 压电式传感器与电压放大器配合使用时,传感器的灵敏度与电缆长度无关。(×)
11. 自相关函数是实偶函数,互相关函数也是实偶函数。(×)
12. 互相关函数可以描述两个信号的相似程度。(√)
13. 调幅波可看作是载波与调制信号在时域的叠加。(×)
14. 压电式传感器采用电荷放大器或电压放大器,所构成测量系统的特性总是相同的。(×)
15. 一台仪器的重复性很好,但测得的结果并不准确,这是由于存在系统误差的缘故。(√)
16. 对一个具有有限频谱 ($0 \sim f_c$) 的连续信号采样,若满足 $2f_c T_s \geq 1$,则由采样得到的信号能恢复原来的信号。[T_s 为采样时间间隔] (×)
17. 交流电桥的输出信号经放大后,直接记录就能获得其桥臂输入信号。(×)
18. 测量小应变时,应选用灵敏度高的金属丝应变片;测量大应变时,应选用灵敏度低的半导体应变片。(×)
19. 频(率)响(应)函数表征了系统的固有特性,并反映了系统的物理结构。因此,凡频(率)响函数相同的系统,其物理结构必然相同。(×)

20. $\int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$ 称为信号 $x(t)$ 的频率响应函数。(X)
21. A/D 转换就是把模拟信号转换成连续的数字信号。(X)
23. 固有频率 $f_n=400\text{Hz}$ 的振动子的工作频率范围为 $f > 400\text{Hz}$ 。(X)
24. 信号在时域上波形有所变化, 必然引起频谱的相应变化。(X)
25. 由仪表本身或附件所引入的仪器误差, 在测量结果中总表现为系统误差。(√)
26. 光线示波器是一种检流计式记录仪器。(√)
27. 传递函数表征了系统的传递特性, 并反映了物理结构, 因此凡传递函数相同的系统, 其物理结构必然相同。(X)
28. $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt$ 称为信号 $x(t)$ 的频率响应函数。(X)
29. 作为温度补偿的应变片应和工作应变片作相邻桥臂且分别贴在与被测试件相同的置于同一温度场的材料上。(√)
29. 电压放大器的连接电缆越长, 则输出电压就越低, 灵敏度也越就越低。(√)
30. 电桥是一调幅装置, 其输出是调幅波。(√)
31. 一阶系统的动态参数时间常数 τ 一搬要求越小越好。(√)
32. 在输入量不变的条件下, 经过一段时间后测试系统输出量的细微变化称为零漂。(X)
33. 在同样的测试条件下, 输入信号由小增大, 然后由大减小时, 对同一输入量所得到的不同输出量之差称为回程误差。(X)
34. 信号的时域函数变化越缓慢, 它包含的高频成分就越多。(X)
35. 频率不变性原理是指任何测试系统的输出信号频率总等于输入信号的频率。(√)
36. 利用函数的卷积可在频域上说明信号输入、输出和测试系统特性三者之间关系。(√)
37. 一线性系统不满足“不失真测试”的条件, 若用它测量一频率为 500Hz 的正弦信号, 则必然导致输出波形的失真。(X)
38. 物性型传感器是利用敏感元件本身物理性质的变化来实现信号变换的。(√)
38. 幅频特性是指响应与激励信号的振幅比与频率之关系。(√)
39. 对一个具有有限频谱 ($0 \sim f_c$) 的连续信号采样, 若满足 $2f_c T_s \geq 1$, 采样后得到的输出信号能恢复为原来的信号。(X) [T_s 为采样频率]
40. 应变片的零漂是指应变片在承受恒定载荷下, 输出电阻指示值随时间变化而产生的细微变化。(X)
41. 在常系数线性系统中, 当初始条件为零时, 系统输出量与输入量之比的拉氏变换称之为

传递函数。(√)

42.根据压电效应,在压电材料的任何一个表面上施加力,均会在相应的表面产生电荷。(×)

43.接触式测温是基于热平衡原理进行的,而非接触式测温是基于热辐射原理进行的。

(√)

44.由一种均质导体组成的闭合回路,无论回路中是否存在温度梯度,都不会产生热电势。(√)

45.测量系统能进行不失真测试的条件是其幅频特性为常数,相频特性为0。(×)

46.固有频率 $f_n=600\text{ Hz}$ 的振动物子测量 600 Hz 的谐波信号,输出不会失真。(×)

47.相关系数是表征两变量线性相关的密切程度,其值越大则相关越密切。(√)

48.相敏检波器是一种能鉴别信号的相位和极性又具有放大能力的检波电路。(×)

49.针对电涡流传感器而言,一般来说被测体的电导率越高,则灵敏度越高。(×)

50.传递函数表征了系统的固有特性,并反映了物理结构,因此,凡传递函数相同的系统,其物理结构必然相同。(×)

51. $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt$ 称为信号 $f(t)$ 的频率响应函数。(×)

52.RS—485 是常用的通用的串行接口总线标准。(√)

53. 上升沿陡峭的气室压力曲线较上升沿缓慢的气室端面压力曲线所包含的高频分量丰富。

(√)

54. 交流电桥的输出信号经放大后,直接记录就能获得其输入信号的模拟信号了。(×)

56. $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt$ 称为信号 $f(t)$ 的频率响应函数。(×)

57.设信号 $x_i(t)$ 对应的付氏变换为 $X_i(f)$,则有 $x_1(t)$ 与 $x_2(t)$ 的乘积的付氏变换为 $X_1(f) \cdot X_2(f)$ 。(×)

58.设激励为 $x(t)$, 系统之响应为 $y(t)$, $r_{xy}^2(f)$ 为两者之相干函数,当 $r_{xy}^2(f)=0$ 时,则系统为一线性系统。(×)

59.对一个具有有限频谱 ($0 \sim f_c$) 的连续信号采样,若满足 $2f_c T_s \geq 1$,采样后得到的输出信号能恢复为原来的信号。(×) [T_s 为采样频率]

60.设某周期信号 $x(t)$ 之单位为 μ , 则其均方根谱之单位为 μ^2 , 其功率谱之单位为 μ 。(×)

61.要使测量具有普遍的科学意义,则系统应具备不失真测量的条件。(√)

62.D/A 转换器是将连续的数字信号转换成离散的模拟电压(流)信号。(×)

63.固有频率 $f_n=600\text{ Hz}$ 的振动物子测量 $100\sin(1600\pi t + \pi/2)$ 的周期信号其输出波形不会失真。

(√)

64.描述周期信号的数学工具是付氏级数,而描述非周期信号的数学工具是付氏变换。(×)

- 65.相敏检波器是一种能鉴别信号的相位及具有放大能力的检波放大器。(√)
- 66.为提高电桥灵敏度可采取在相应桥臂中串联数片电阻应变片及提高电桥的桥源电压。
(√)
67. $\int_{-\infty}^{+\infty} h(t)e^{-j2\pi ft} dt$ 称为信号 $h(t)$ 的频率响应函数。(√)
- 68.一台仪器的重复性很好,但测得的结果并不准确,这是由于存在随机误差的缘故。(×)
- 69.在桥臂上串联应变片,可以提高测力应变电桥的灵敏度。(√)
- 70.用近似公式或近似值计算测量值所造成的误差,一般属于系统误差。(×)
- 71.压电式传感器采用电压放大器或电荷放大器,其测量效果总是相同的。(×)
- 72.由于存在横向效应,所以用金属丝应变片单独测定横向应变时,其灵敏度比测定纵向应变要低。(√)
73. 用固有频率 $f_n=600\text{ Hz}$ 的振动子测量 600 Hz 的谐波信号,输出不会失真。(×)
74. 用热电偶测温时,冷端温度的改变对测量结果是有影响的。(√)
75. 单自由度系统的刚度越大则其固有频率就越低。(×)
76. 建立时间是指一阶系统在阶跃输入后达到并保持最终数值所需要的时间。(×)
77. 相敏检波器是一种能鉴别信号的相位和极性却无放大能力的检波电路。(×)
78. 由于 $H(s)=y(s)/x(s)$,即将 $x(s)$ 减小时, $H(s)$ 将增大,因此 $H(s)$ 和输入有关。×
79. GP-IB 是串行接口总线标准。(×)
80. 任意两个变量 x 和 y 之间的真实关系均可用一元线性回归方程来描述。(×)
81. 对多次测量的数据取算数平均值,就可以减少随机误差的影响。(√)
82. 测量系统的固有频率越高,其灵敏度也越高。(×)
83. 同一材料构成的热电偶,即使两端点温度不等,也不会形成热电势。(√)
84. 只要信号一经截断,就不可避免地引起混叠。(×)
85. 固有频率 $f_n=400\text{ Hz}$ 的振动子的工作频率范围为 $f > 400\text{ Hz}$ 。(×)
86. 一般来说测量系统的固有频率越高,则其灵敏度就越低。(√)
87. 作为温度补偿的应变片应和工作应变片作相邻桥臂且分别贴在与被测试件相同的置于同一温度场的材料上。(√)

选择题

- 对连续时间信号进行离散采样时，若采样的时间区间不变，采样频率越高，(a)。
 - 采样点数就越多；
 - 频域分辨率就越低；
 - 泄漏误差就越大；
 - 量化误差越小
- 测量加速度的惯性式加速度计之动态特性近似典型二阶系统，其工作频带的下限频率为(a)。
 - 0 Hz ；
 - 固有频率的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{3}$ ；
 - 略高于固有频率
- 时限连续信号的频谱是(c)。
 - 离散谱；
 - 带限（在有限频带之外绝对无谐波分量）连续谱；
 - 非带限连续谱
- 用谐波激励法辨识测量系统的频响特性时，所加激励应为一系列(a)的谐波。
 - 频率不同—覆盖所关心频带；
 - 幅度不同—覆盖测量系统量程；
 - 零时相位不同—覆盖 $0 \sim \pi$
- 对于阻尼率小于 0.707 的二阶线性测量系统，阻尼率越小，其工作频带(b)。
 - 上限越高；
 - 上限越低；
 - 下限越高；
 - 下限越低
- 压电式传感器与一般电压放大器连接使用时，中间要加一级前置放大器，其主要作用是(b)。
 - 获得高的放大倍数；
 - 实现高阻抗输入、低阻抗输出的变换；
 - 实现低阻抗输入、高阻抗输出的变换
- 典型二阶测量系统中追求合适阻尼率的目的是(b)。
 - 使系统的输出信号不发生振荡；
 - 获得更宽的工作频带；
 - 获得更高的灵敏度
- 用压电式加速度计组成的测量系统其工作频带下限频率取决于(c)。

加速度计的机械结构特性；

 - 压电晶体的压电系数；
 - 测量等效电路的时间常数
- 某间接测量的函数式为： $y = \frac{x_1}{x_2}$ ，则 y 的标准误差 σ_y 为(d)。

[式中 σ_1 、 σ_2 分别为 x_1 、 x_2 测量的标准误差]

a. $\sigma_y = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ ； b. $\sigma_y = \sqrt{x_1^2 \sigma_1^2 + x_2^2 \sigma_2^2}$ ； c. $\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{x_1}\right)^2}$ ；

$$d. \sigma_y = \frac{l}{|x_2|} \sqrt{\sigma_1^2 + \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2 \sigma_2^2}$$

10.测量弯曲应变时，通常在构件上下表面对称布置 4 片应变片，若在同载荷下单臂测量电桥输出为 A、上下各取 1 应变片接成邻臂半桥的输出为 2A，则取 4 应变片构成全桥时的输出可能是 (a)。

a. $\pm 4A$ 或 0； b. $\pm 3A$ 或 0； c. $\pm 3A$ 或 $\pm A$ ； d. $\pm 2A$ 或 0

11.理想滤波器不能实际应用的原因是 (b)。

a.其动态特性不好—冲激（脉冲）响应、阶跃响应都存在明显动态失真；

b.其无法实现—它是一种有“先知”的非因果系统

12. 用动态特性近似典型二阶系统的惯性式加速度计进行测量，为获得较宽的工作频带，应选择适当的阻尼比 β 。一般追求 (a)。

a. $\beta=0$ ； b. $\beta \approx 0.7$ ； c. $\beta=1$ ； d. β 尽量取大值

13. 若要用惯性加速度计测量 $x(t)=50\sin(40\pi t) + 10\sin(2000\pi t)$ 的振动位移信号，为了尽量减少失真，应采用固有频率及阻尼比分别为 (c) 的惯性加速度计。

$f_n=15\text{Hz}$ 、 $\beta=0.707$ ； b. $f_n=1000\text{Hz}$ 、 $\beta=0.707$ ； c. $f_n=50\text{kHz}$ 、 $\beta=0.04$ ； d. $f_n=1000\text{Hz}$ 、 $\beta=0.04$

14. 自相关函数是一个 (b) 函数

a. 奇函数； b. 偶函数； c. 非奇非偶函数； d. 三角函数

15. 对某二阶系统输入周期信号 $x(t)=A_0\sin\omega_m t$ ，其中 ω_m 大于系统的固有角频率 ω_n ，则系统输出信号有以下特性 (c)。

a. 幅值、频率、零时相位皆不变； b. 频率改变，幅值、零时相位不变；

c. 幅值、零时相位改变，频率不变； d. 零时相位不变，幅值、频率改变

16. 金属丝应变片在测量某一构件的应变时，其电阻的相对变化主要由 (b) 引起的。

a.贴片位置的温度变化； b.电阻丝几何尺寸的变化； c.电阻材料的电阻率的变化

17. 时不变线性测量系统的频率响应函数等于 (b)

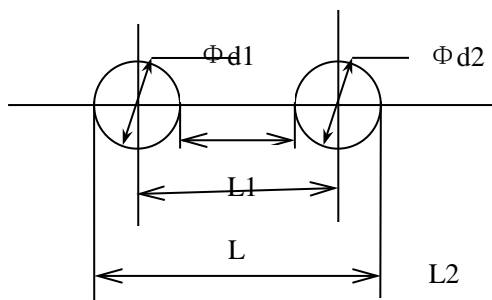
a.系统的正弦输出与输入之比； b.系统输出的 **Fourier** 变换像函数与输入的频谱密度函数之比； c. 系统对单位阶跃输入的响应(输出)与单位阶跃信号之比

18.压电式加速度计测量系统的工作频率下限取决于 (c)

a.加速度计力学系统的频率特性； b.压电晶体的电路特性； c.测量电路的时间常数。

19.如果一信号的自相关函数 $R_x(\tau)$ 呈一定周期性不衰减，则说明该信号 (a)

- a.均值不为零； b.含周期分量； c.是各态历经的
- 20.测量系统的固有频率愈高，则其系统的灵敏度愈（b）
- a.高； b.低； c.不变； d.不好确定
- 21.测试系统所能检测输入信号的最小变化能力称为（d）
- a.精度； b.灵敏度； c.精密度； d.分辨率
- 22.输出信号与输入信号的相位差随频率变化的关系称（b）
- a.幅频特性； b.相频特性； c.传递函数； d.权函数
- 23.二阶系统中引入合适的阻尼的目的是为了（c）
- 使得输出稳定； b. 使系统不共振； c.获得较好的幅频、相频特性； d. 无什么目的
24. 既能检波又能检相的电路称为（c）
- a.桥式整流； b.相位鉴频； c.相敏检波； d.直流放大
25. 在一定条件下，RC 带通滤波器实际上是低通滤波器与高通滤波器（c）而成的。
- a.串联； b.并联； c.串并联； d.叠加
26. 自相关函数是一个（b）函数
- a.奇函数； b.偶函数； c.非奇非偶函数； d. 三角函数
27. 直流电桥中，通常（c）接法灵敏度最高。
- a.半桥单臂； b.半桥双臂； c.全桥
28. 为测量如图所示的二孔中心距，应选择（c）
- 测量计算方案可使精度最高。
- a. $L_1 + d_1/2 + d_2/2$ ； b. $L_2 - d_1/2 - d_2/2$ ； c. $L_1/2 + L_2/2$



29. 为提高电桥灵敏度，可采取（c）
- 半桥双臂各串联一片电阻应变片； b. 半桥双臂各并联一片电阻应变片；
- c. 适当提高电桥的电源电压； d. 增大应变片的初始电阻值

30. 压电式加速度计工作原理是基于 (c)

a. 电阻应变效应; b. 压阻效应; c. 压电效应; d. 电磁效应

31. 变间距式电容传感器适用于测量微小位移是因为 (b)

a. 电容量微弱, 灵敏度太低; b. 传感器灵敏度与间距平方成反比, 间距变化大则非线性误差大;

c. 需要做非接触式测量

32. 半导体应变片是根据 (b) 原理工作的

a. 电阻应变效应; b. 压阻效应; c. 热阻效应; d. 磁阻效应

33. 压电式传感器特别适合于测量 (c)

a. 静态量; b. 准静态量; c. 动态量; d. 所有频率分量都可以

34. 既能检波又能检相的电路称为 (d)

a. 桥式整流; b. 相位鉴频; c. 相敏整流; d. 相敏检波

35. 交流电桥供桥电压的频率 f_0 和输入信号的最高频率分量 f_m 的关系是 (d)

a. $f_0 = f_m$; b. $f_0 < f_m$; c. $f_0 \geq f_m$; d. $f_0 \gg f_m$

36. 对某二阶系统输入周期信号 $X(t) = A_0 \sin \omega_m t$, 则系统输出信号有以下特性 (c)

[注: $\omega_m > \omega_n$]

a. 幅值、频率、相位皆不变; b. 频率改变, 幅值、相位不变; c. 幅值、相位改变、频率不变; d. 相位不变, 幅值、频率改变

37. 压电式传感器与一般电压放大器连接使用时, 中间要加一级前置放大器, 该放大器主要用来 b)

a. 来获得高的放大倍数; b. 实现高阻抗输入, 低阻抗输出的变换; c. 实现低阻抗输入, 高阻抗输出的变换

38. 为保证二阶系统的输出不产生幅、相频失真, 应使选用的仪器满足 (c) 和 (d) 条件

a. $\xi = 0.7$; b. 灵敏度足够大; c. 系统的量程足够大; d. $\omega_n > (2.5 \sim 3.5)\omega_{\max}$

(注: ω_n 系统固有圆频率, ξ 为系统阻尼率, ω_{\max} 为被测信号最高圆频率分量)

39. 某间接测量的函数式为 $y = a_0 x_1 x_2$, 则 y 的标准误差为 (d) (式中 σ_{x1} 、 σ_{x2} 分别为直接测

量值 x_1 、 x_2 的标准误差)

a. $\sigma_y = (\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2)^{1/2}$; b. $\sigma_y = a_0 (\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2)^{1/2}$; c.

$$\sigma_y = (x_1^2 \sigma_{x1}^2 + x_2^2 \sigma_{x2}^2)^{1/2} ;$$

$$d. \sigma_y = a_0 (x_1^2 \sigma_{x2}^2 + x_2^2 \sigma_{x1}^2)^{1/2}$$

40. 平稳随机过程必须是 (c)

a. 连续的; b. 各态历经的; c. 集合平均统计特征与时间无关; d. 时间平均统计特征等于集合平均统计特征

41. 表示随机信号中动态分量的统计常数是 (d)

a. 均方值; b. 均值; c. 均方差; d. 概率密度函数

42. 在频谱分析中, 常用 (d) 描述随机信号的频谱特性。

a. 自谱密度 PSD(k); b. 能量谱密度 ESD(k); c. 均方根谱 RMS(k); d. 功率谱 PWR(k)

43. 线性测量系统的灵敏度是 (b)

a. 随机变量; b. 常数; c. 时间的线性函数; d. 不好确定

44. 二阶系统的阻尼率越小, 则其对应的阶跃响应的超调量 (a)

a. 越大; b. 越小; c. 不存在; d. 不好确定

45. 半导体热敏电阻的电阻温度系数 α 可用下式 (a) 表示 (已知半导体热敏电阻与温度系数

关系可用 $R = Ae^{\frac{B}{T}}$ 描述)

$$a. \alpha = \frac{dR/dT}{R} ; \quad b. \alpha = \frac{B}{T^2} ; \quad c. \alpha = \frac{A}{T^2} ; \quad d. \alpha = \frac{\ln R_1 - \ln R_0}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}} \quad (R_1, R_0 \text{ 分别是温度}$$

T_1, T_0 时的电阻值)

46. 线性系统的迭加原理表明 (a)

a. 加于线性系统的各个输入量所产生的响应过程互不影响; b. 系统的输出响应频率等于输入激励的频率; c. 一定倍数的原信号作用于系统所产生的响应, 等于原信号的响应乘以该倍数

47. 某间接测量的函数式为: $y=x_1/x_2$, 则 y 的标准误差 σ_y 为 (c)。(式中 σ_{x1} , σ_{x2} 分别为 x_1, x_2 测量的标准误差。)

$$a. \sigma_y = \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2} \quad b. \sigma_y = \sqrt{x_1^2 \sigma_{x1}^2 + x_2^2 \sigma_{x2}^2} \quad c. \sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x1}}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{x2}}{x_1}\right)^2}$$

$$d. \sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x1}}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{x_1 \sigma_{x2}}{x_2}\right)^2}$$

48. 半导体电阻应变片在测量某一构件应变时，其电阻的相对变化主要是由（a）引起。

a. 半导体电阻率的变化； b. 半导体几何尺寸的变化； c. 贴片位置的温度变化； d. 供桥电源的变化

49. 为使某一频率在 $f_{c1} \sim f_{c2}$ 间的信号通过，应采用（b）滤波器

a. 带阻； b. 带通； c. 高通； d. 低通

50. 用惯性式加速度计进行测量，为保证相位关系不变，应选择适当的阻尼比 β ，一般取 $\beta =$ （b）

a. $\beta = 0$ ； b. $\beta = 0.7$ ； c. $\beta = 1$ ； d. $\beta = 0.86$

51. 要测量 $x(t) = 50\sin 40\pi t + 10\sin 2000\pi t$ 的振动位移信号，为了尽量减少失真，应采用（b）的惯性加速度计。

$f_n = 15\text{Hz}$ 、 $\beta = 0.707$ ； b. $f_n = 1000\text{Hz}$ 、 $\beta = 0.707$ ； c. $f_n = 50\text{kHz}$ 、 $\beta = 0.04$ ； d. $f_n = 1000\text{Hz}$ 、 $\beta = 0.04$

52. 将时域信号进行时移，则频域信号将会（c）

a. 扩展； b. 压缩； c. 不变； d. 仅有相移

53. 概率密度函数是在（d）域，相关函数是在（a）域，功率谱密度函数是在（d）域上来描述随机信号。

a. 时间； b. 空间； c. 幅值； d. 频率

54. 压电式传感器最好采用电荷放大器的原因是（c）

a. 使放大器的增益大； b. 非线性失真小； c. 可忽略导线电容和分布电容； d. 频率特性好

55. 对两个不同长度量进行测量，测量精度高的是（b）

a. 绝对误差小的； b. 相对误差小的； c. 测量值大的； d. 两种测量不可比

57. 用压电式加速度计组成的测量系统其工作频率下限取决于（c）

a. 加速度计力学系统的频率特性； b. 压电晶体的电路特性； c. 测量电路的时间常数

58. 描述非周期性信号的数学工具是（b）。

拉氏变换； b. 付氏变换； c. 付氏级数； d. 三角函数

59. 复杂周期信号的频谱是（a）。

离散谱； b. 连续谱； c. δ 函数； d. sinc 函数

60. 用一缓变综合信号 $e(t) = A\cos 2\pi t + B\cos 200\pi t$ 调制一载波 $e_0(t) = E\sin 2000\pi t$ ，得到的调幅波的频带宽度为（b）。

- a. $(1000-10) \sim (1000+10)$ Hz; b. $-(1000+100) \sim (1000+100)$ Hz; c. $(1000-100) \sim (1000+100)$ Hz;
d. $-(1000-10) \sim (1000+10)$ Hz

61. 要测量 $x(t)=5a\sin 40\pi t+a\sin 2000\pi t$ 的振动位移信号, 为了尽量减少失真, 应采用 (b) 的惯性加速度计。

- a. $f_n=15$ Hz、 $\beta=0.707$; b. $f_n=1000$ Hz、 $\beta=0.707$; c. $f_n=50$ kHz、 $\beta=0.04$

63. 描述非周期信号的数学工具是 (c)。

- a. 三角函数; b. 拉氏变换; c. 付氏变换; d. 付氏级数

64. 在频谱分析中, 常用 (d) 描述随机信号的频谱特性。

- a. 自谱密度 PSD(k); b. 能量谱密度 ESD(k); c. 均方根谱 RMS(k); d. 功率谱 PWR(k)

65. 对于一阶线性测量系统, 输出幅值是输入幅值的 (c) 所对应的时间即为时间常数 τ 。

- a. 37%; b. 50%; c. 63%; d. 100%

66. 用一缓变综合信号 $e(t)=A\cos 2\pi t+B\cos 100\pi t$ 调制一载波 $e_0(t)=E\sin 2000\pi t$, 得到的调幅波的频带宽度为 (c)。

- a. $(1000-10) \sim (1000+10)$ Hz; b. $-(1000+50) \sim (1000+50)$ Hz; c. $(1000-50) \sim (1000+50)$ Hz;
d. $-(1000-50) \sim (1000-50)$ Hz

67. 半导体电阻应变片在测量某一构件应变时, 其电阻的相对变化主要是由 (a) 引起。

- a. 半导体电阻率的变化; b. 半导体几何尺寸的变化; c. 贴片位置的温度变化; d. 供桥电源的变化

68. 用惯性式位移传感器进行振动测量时, 为保证相位关系不变, 应选择适当的阻尼比 β , 一般取

$$\beta = (b)$$

- a. $\beta=0$; b. $\beta=0.707$; c. $\beta=1$; d. $\beta=0.86$

69. 下述参量的测量属于间接测量法的是 (d)

- a. 用天平测量物体质量; b. 用弹簧秤称物体重量; c. 水银温度计测体温;
d. 用加速度传感器测量振动体的运动位移

70. 半导体应变片是根据 (d) 原理工作的。

- a. 电阻应变效应; b. 压电效应; c. 热阻效应; d. 压阻效应

71. 用一缓变综合信号 $e(t)=A\cos 2\pi t+B\cos 200\pi t$ 调制一载波 $e_0(t)=E\sin 2000\pi t$, 得到的调幅波的频带宽度为 (b)。

- a. $(1000-10) \sim (1000+10)$ Hz; b. $-(1000+100) \sim (1000+100)$ Hz; c. $(1000-100) \sim (1000+100)$ Hz;

d. $-(1000-10) \sim (1000+10)\text{Hz}$

72. 把连续时间信号进行离散化时产生混迭的主要原因是 (d)

a. 记录时间太长; b. 采样速率太大; c. 记录时间太短; d. 采样速率太小

73. 把连续时间信号进行离散化时产生混迭的主要原因是 (b)

记录时间太长; b. 采样时间间隔太宽; c. 记录时间太短; d. 采样时间间隔太窄

74. 时不变线性系统的频率响应函数等于 (b)

系统的正弦输出与输入之比; b. 系统稳态正弦输出的付氏变换与正弦输入的付氏变换之比;

c. 用虚指数函数表示系统稳态正弦输出与正弦输入之比

75. 不失真测量条件除要求测量装置幅频特性是常值外, 其相频特性要求满足 (a)

a. 相移与频率成正比; b. 常值相移; c. 任意相移; d. 无特殊要求

76. 二阶线性测量系统的阻尼率越小, 则其对阶跃响应的超调量 (a)

a. 越大; b. 越小; c. 略有关系但可忽略不计; d. 不好确定

77. 将时域信号持续时间压缩, 则频域中低频成分 (a)

a. 不变; b. 增加; c. 减少; d. 变化不定

78. 二阶系统中引入合适的阻尼率的目的是 (c)

a. 使得系统输出值稳定; b. 使系统不共振; c. 获得较好的幅频、相频特性; d. 获得好的灵敏度

79. 在光作用下, 使电子逸出物体表面的现象称 (b) 效应。

a. 内光电; b. 外光电; c. 热电; d. 阻挡层;

80. 电容式传感器是 (b) 的传感器

a. 接触式; b. 非接触式; c. 结构型; d. 物性型

81. 半导体应变片主要是利用半导体材料的 (b)

a. 形变; b. 电阻率的变化; c. 弹性模量的变化; d. 泊松比的变化

82. 压电加速度测量系统的工作频率下限取决于 (c)

加速度力学系统的频率特性; b. 压电晶体的电路特性; c. 测量电路的时间常数

83. 在光作用下, 使物体的内部产生定向电动势的现象, 称 (a) 效应。

a. 内光电; b. 外光电; c. 热电; d. 阻挡层光电

84. (d) 传感器是根据敏感元件材料本身的物理性质变化而工作的。

a. 差动变压器式; b. 变间隙电容式; c. 变阻器式; d. 电压式

85. 用方程法求解回归直线时, 误差最小的方法是 (b)

- a.图解法; b.最小二乘法; c.分值法; d.端点连线法
- 86.压电式加速度传感器的阻尼率一般为 (d)
- a. $\beta > 1$; b. $0.707 < \beta < 1$; c. $\beta = 0.707$; d. $\beta \ll 0.707$
- 87.测量等速变化的温度时,为了减小测量误差,希望测温传感器的时间常数 (b)
- a.大些好; b.小些好; c.要适中; d.可不考虑
- 88.半导体应变片是根据 (b,c) 原理工作的;压电式加速度计的工作原理是基于 ()
- 电阻应变效应; b.压阻效应; c.压电效应; d.电磁效应
- 89.金属丝应变片在测量某一构件的应变时,其电阻的相对变化主要由 (b) 引起的。
- a.贴片位置的温度变化; b.电阻丝几何尺寸的变化; c.电阻材料的电阻率的变化
- 90.用一缓变综合信号 $e(t) = A\cos 2\pi t + B\cos 200\pi t$ 调制一载波 $e_0(t) = E\sin 2000\pi t$,得到的调幅波的频带宽度为 (b)
- a. $(1000-10) \sim (1000+10)\text{Hz}$; b. $-(1000+100) \sim (1000+100)\text{Hz}$; c. $(1000-100) \sim (1000+100)\text{Hz}$;
- 91.常用解决光线示波器低频振子阻尼率 β 达到 0.7 的方法是 (a)
- a.充入硅油; b.保证要求的外阻; c.串联一合适电阻; d.并联一合适电阻

填空题

二、综合题

1.用简图说明在应变测量技术中信号的转变历程包括哪些?

历程: 压力(力、位移、加速度....)信号 \rightarrow 弹性敏感元件 \rightarrow 应变信号 \rightarrow 应变片 \rightarrow 电阻(变化)信号 \rightarrow 电桥电路 \rightarrow 电压(流)信号 \rightarrow 放大电路 \rightarrow 便于记录(采集)的电压(流)信号 \rightarrow 记录(采集)设备

2.举一典型一阶测量系统(环节)实例,导出其幅频特性表达式、绘出一种幅频特性图,并说明其工作频带与系统结构参数的关系。

简化的热电偶测温系统：

微分方程： $\tau \frac{dy}{dt} + y(t) = k_0 x(t)$ ，其中 $\tau = \frac{mc}{hS}$ ， m 为偶节点质量， c 为偶节点比热， h 为

偶节点导热系数， S 为偶节点表面积； k_0 为热电系数， $x(t)$ 为待测温度， $y(t)$ 为输出热电势。

$$\text{幅频特性： } A(\omega) = \frac{k_0}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

τ 越小，系统的工作频带上限越高。

3. 简述压电测量系统工作频带下限不能达到 0 Hz 的主要原因。

压电晶体极板间不可避免地存在漏电阻，后续放大器的输入阻抗也不可能无限大，从而导致压电产生的电荷泄露。

4. 欲测量某回路中一标称值为 $10 \pm 0.1 \Omega$ (95%) 电阻器的功率损耗 P ，可采用两种方法进行，一是只测电阻器两端的电压 V ，然后用公式 $P = V^2/R$ 计算功率损耗；二是分别测量电阻器两端的电压 V 和流过电阻器的电流 I ，由公式 $P = VI$ 计算电阻器上的功率损耗。估算这两种方案的电功率测量不确定度值。设 V 和 I 的测量结果为 $V = 100 \pm 1 \text{ V}$ (95%)， $I = 10 \pm 0.1 \text{ A}$ (95%)。

$$\text{方法一： } \because \frac{\partial P}{\partial V} = \frac{2V}{R}, \frac{\partial P}{\partial R} = -\frac{V^2}{R^2}$$

$$\therefore \sigma_P = \left[\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)^2 \sigma_V^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial R} \right)^2 \sigma_R^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{4V^2}{R^2} \sigma_V^2 + \frac{V^4}{R^4} \sigma_R^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V}{R} \left[4\sigma_V^2 + \frac{V^2}{R^2} \sigma_R^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$U_P = \frac{V}{R} \left[4U_V^2 + \frac{V^2}{R^2} U_R^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 10 \times [4 \times 1^2 + 100 \times (0.1)^2]^{\frac{1}{2}} = 22.36 \text{ W (95\%)}$$

$$\text{方法二： } \because \frac{\partial P}{\partial V} = I, \frac{\partial P}{\partial I} = V \quad \therefore \sigma_P = [I^2 \sigma_V^2 + V^2 \sigma_I^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$U_P = [I^2 U_V^2 + V^2 U_I^2]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{(10 \times 1)^2 + (100 \times 0.1)^2} = 14.14 \text{ W (95\%)}$$

5. 试说明：有效地完成一项工程测试（测动态量）一般要进行哪些工作？

有效完成一项工程测试要进行的工作包括：

了解被测对象：被测信号的幅度大致变化范围？被测信号的大致有效频带？

对测量传感器的工作环境要求？

制定测试方案、组建测试系统；

对测试系统实施必要的标定（确认系统灵敏度及静、动态特性）；

实施测试，监视测试工况并如实记录测试中出现的问题；

测试数据分析、测试结果报告。

6. 试证明：固有（角）频率为 ω_n 、阻尼率 $\beta=0.7$ 的二阶测量系统，在 $0 \sim 0.58 \omega_n$ 的（角）频率范围内，其幅频特性 $A(\omega)$ 的变化不超过 5%。

$$A(\omega) = \frac{k_0}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4\beta^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

当 $\beta = 0.7$ ，系统存在共振，共振（角）频率 $\omega_r = \sqrt{1 - 2\beta^2} \omega_n = 0.1414 \omega_n$

由于 $A(0) = k_0$ 、 $A(\omega_r) = 1.0002 k_0$ 、 $A(0.58 \omega_n) = 0.954 k_0$ ， $\therefore A(\omega)$ 的变化不超过 5%。

7. 已知某周期信号 $x(t)$ 的平均功率为 $P = \frac{A^2}{3}$ ，按 $x(t) = \sum_{n=0}^{+\infty} [a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t)]$

展开（分解）的系数为 $a_0 = \frac{A}{3}$ ， $b_0 = 0$ ； $a_n = \frac{A}{n\pi} \sin(\frac{2}{3} n\pi)$ 、 $b_n = \frac{A}{n\pi} [1 - \cos(\frac{2}{3} n\pi)]$ ，

$n \geq 1$ 。其中， $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ ， A 、 T 均为正实常数。

（1）绘制此信号的一种（请说明）幅度谱图（绘至 5 次谐波）；

（2）按某种标准（请说明）估计该信号的有效频带。

信号按 $x(t) = \sum_{n=0}^{+\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n)$ 分解的三角幅度谱为

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} : A_0 = \frac{A}{3} ; \quad n \geq 1, A_n = \frac{A}{n\pi} \sqrt{2[1 - \cos(\frac{2n\pi}{3})]} \quad \text{—} \quad A_1 = 0.5513A;$$

$$A_2 = 0.2757A;$$

$$A_3 = 0; \quad A_4 = 0.1378A; \quad A_5 = 0.1103A; \quad A_6 = 0;$$

$$A_7 = 0.0788A; \dots$$

信号的三角幅度谱如图 (7.1) 所示。

(2) 按功率 95% 的标准估计信号的有效频带:

信号的三角功率谱为

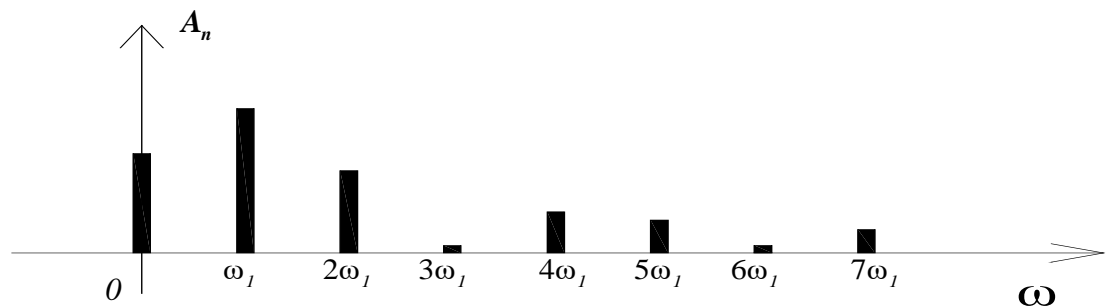
$$G_0 = A_0^2 = \frac{1}{9}A^2; \quad G_n = \frac{1}{2}A_n^2; \quad G_1 = 0.151982A^2, \quad G_2 = 0.037995A^2,$$

$$G_4 = 0.009499A^2,$$

$$G_5 = 0.00608A^2, \quad G_7 = 0.0031A^2, \dots$$

由频谱图 (幅度谱图) 可知: 信号有效频带的下限为 $\omega_l = 0$ 。

试取有效频带的上限为 $\omega_h = 2\omega_l$, 则频带内谐波合成信号 $x_*(t)$ 的平均功率为



图(7.1) 信号的三角幅度谱

$$P_* = \sum_{n=0}^2 G_n = 0.3011A^2.$$

由于 $P \times 95\% = 0.3167A^2$, 故未满足 $P_* \geq P \times 95\%$.

试取有效频带的上限为 $\omega_h = 5\omega_l$, 则频带内谐波合成信号 $x_*(t)$ 的平均功率为

$$P_* = \sum_{n=0}^5 G_n = 0.3167A^2, \text{ 已满足 } P_* \geq P \times 95\%.$$

于是, 可取信号的有效频带为 $\omega \in [0, 5\omega_l]$ (95% 功率)。

8. 已知某线性测量系统的幅频特性和相频特性分别为 $A(\omega) = K_0/(1+0.01\omega^2)^{1/2}$, $\phi(\omega)$

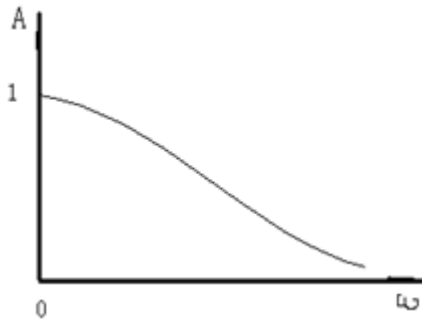
$=\arctg(0.1\omega), K_0>0$ 。

(1) 绘制系统的一种幅频特性图；

(2) 若已知系统的公称增益（灵敏度）为 K_0 , 请按增益误差 5% 的标准估计其工作频带的上限频率；

(3) 如果测得某输入信号 $x(t)$ 的输出为 $y(t)=10 K_0 \sin(30t-45^\circ)$, 试求此输入信号 $x(t)$ 。

当灵敏度 $K_0=1$ 时, 幅频特性如下图。



$$x(t) = \frac{10}{A(\omega)} \sin[30t - 45^\circ - \varphi(\omega)]$$

$$\text{其中 } \omega=30 \quad A(\omega) = 1/(1+0.01\omega^2)^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{10}} \quad \varphi(\omega) = \arctg 0.1\omega = 71.5^\circ$$

$$\therefore x(t) = \sqrt{10} \sin(30t - 116.5^\circ)$$

$$\because |1 - A(\omega)| \leq 5\% \quad \text{即} \quad A(\omega) \geq 95\%$$

$$\text{即} \quad 1/(1+0.01\omega^2)^{1/2} \geq 95\% \Rightarrow \omega \leq 3.3\text{KHz}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 525\text{Hz} \quad \text{即最高频率为} 525\text{Hz}$$

9. 某些机械量测量系统（环节）的输入输出方程可表达为

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = x(t), \text{其中 } m \text{ 为等效质量, } c \text{ 为等效阻尼。}$$

(1) 试求其频响函数, 并导出幅频特性和相频特性的函数表达式；

(2) 说明典型二阶系统 $\frac{1}{\omega_n^2} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{2\beta}{\omega_n} \frac{dy}{dt} + y(t) = K_0 x(t)$ 各参数 ω_n 、 ω_d 、 ω_r 、 β 、 K_0

的物理意义及其与 m 、 c 、 k 的对应关系。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = f(x)$$

$$mS^2Z(S) + CSZ(S) + KZ(S) = F(S)$$

$$H(S) = \frac{Z(S)}{F(S)} = \frac{1}{mS^2 + CS + k}$$

$$\text{即 } H(j\omega) = \frac{1}{1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2 + j2\beta \frac{\omega}{\omega_n}} \quad \text{其中 } \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \beta = \frac{C}{2m\omega_n}$$

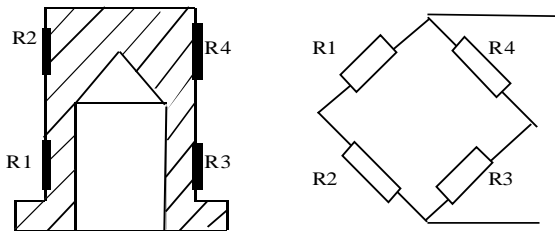
$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2]^2 + (2\beta \frac{\omega}{\omega_n})^2}} \quad \varphi(\omega) = -\text{tg}^{-1} \frac{2\beta \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2}$$

式中 ω_n 为无阻尼时固有频率； β 为阻尼比； ω_d 为有阻尼时固有频率

10. (a) 画图说明应变筒式测压传感器是如何进行温度补偿的？

(b) 简述压电式测压传感器是如何实现加速度补偿的？

在压电式测压传感器结构中，增设补偿质量块 m 和一组极性相反的补偿压电晶片组。当传感器承受轴向的振动加速度时，由于膜片及晶片质量造成惯性力的作用，压电晶片将感受加速度而产生电荷，由于补偿质量块使补偿压电晶片组产生的电荷的极性和测量压电晶片组因振动而产生的电荷极性相反，适当调节补偿质量，将使他们相互抵消。



11. 试说明测试工作各阶段的主要任务是什么

测试主要分为：

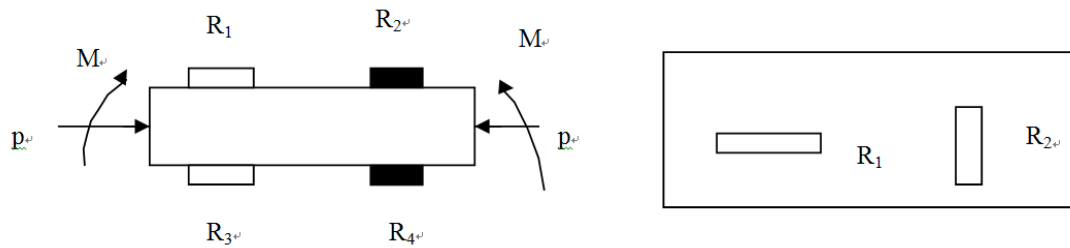
准备阶段：主要工作有制定测试工作指导性技术文件（大纲）；设备、仪器的准备；人员配备、辅助物料准备。

实施阶段：按照规定的原则进行起动预热、工况监测、采样读数、校核数据工作。

总结阶段。对测试数据进行定性、定量分析，提出改进意见和建议，并写出测试报告。

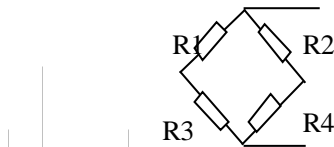
12. (1) 图中为受弯和拉力作用的某构件，请合理安排四个电阻在桥臂上的位置来测量弯矩 M ，同时要求既能消除环境温度对 M 的影响又不受拉压力 p 的影响。[只要求画出桥路]

($R_1=R_2=R_3=R_4=120\ \Omega$)



(2) 用四片 $K=2.0$ 的金属丝应变片组成全桥测量某构件的应变，供桥电压为 $4V$ ， $|\Delta R_1| = |\Delta R_2| = |\Delta R_3| = |\Delta R_4|$ ， $R_1=R_2=R_3=R_4=120\ \Omega$ ，求最大全桥输出电压为 $U_{\max}=3mV$ 时，构件的应变应为多少 $\mu\ \varepsilon$ 。

(1)



$$(2) U_{\max} = \varepsilon k E$$

$$\text{则 } \varepsilon = \frac{U_{0\max}}{kE} = \frac{3mV}{4 \times 2} = 375\mu\varepsilon$$

13. (1) 在压电测量系统中为什么一般使用电荷放大器？

(2) 在压电测量系统中作归一化处理的目的是什么？

(1) 电压放大器的灵敏度受导线长度、位置、分布电容影响很大，而电荷放大器与导线的长度无关，因此多采用电荷放大器。

(2) 压电测量中作归一化处理目的是便于记录处理数据

14. 简述测量系统静态标定的目的及标定与数据处理步骤。

用已知的标准去校正测试系统或仪器的过程，称为标定。标定可分为动态标定和静态标定。

静态标定是向测量系统依次施加一系列已知的静态输入量，将输出结果纪录下来，并确定输入输出关系的过程。静态作用：

①获得输入与输出的静态关系，获得仪器分度

②获得系统的静态指标（非线性，灵敏度等）

③消除系统误差，改善系统正确度

步骤：按有关规范正向加载到标定极限值，然后反程加载（即卸载）到最小值，记录该过程

的输入输出数据。并一般重复三次上述过程。然后计算标准差、迟滞误差、确定工程直线、确定满量程输出值、计算各静态特性指标。

15. 欲使测量结果具有普遍科学意义的条件有哪些？

非电量电测法的基本思想是什么？常用非电量电测系统的组成部分包括哪些环节，并说明各组成部分的主要作用？

答：非电量电测法的基本思想：通过某一转换装置（传感器），根据相应的工作原理或准则，将被测非电量转换成电信号进行测量。

一个完整的测试系统包括以下几部分：传感器、信号变换与测量电路、显示与记录器及数据处理器、打印机等外围设备。（或传感器，中间调理电路及记录显示设备。或一次仪表，二次仪表，三次仪表。）如图 1 所示。

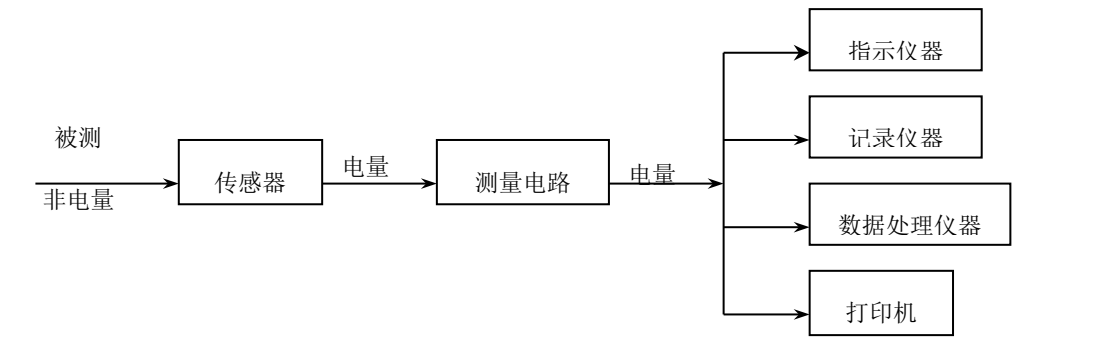


图 1 测试系统的组成

（1）传感器是测试系统实现测试的首要关键环节，它的作用是将被测非电量转换成便于放大、记录的电量。

（2）中间变换与测量电路依测量任务的不同而有很大的伸缩性。在简单的测量中可能完全省略，将传感器的输出直接进行显示或记录。在一般的测量中信号的转换（放大、调制解调、滤波等）是不可缺少的，可能包括多台仪器。复杂的测量往往借助于计算机进行数据处理。如果是远距离测量，则数据传输系统是不可少的。

（3）显示与记录器的作用是把中间变换与测量电路送来的电压或电流信号不失真地显示和记录出来。

16. 何为直接测量及间接测量？两种测量方法的主要区别是什么？

直接测量：无需经过函数关系的计算，直接通过测量仪器得到被测量值的测量为直接测量。

例如要测量一根圆钢的长度，最常用的办法是用一把钢皮尺和它作比较。

例如要测量体温，最常用的是水银温度计。根据水银热胀冷缩的物理规律，温度越高，水银膨胀得越利害，毛细管中的水银柱就上升得越高，水银柱的高度和体温之间有着确定的函数关系，可以用水银柱的高度作为被测温度的量度。

间接测量：在直接测量的基础上，根据已知的函数关系，计算出所要测量的物理量的大小。

例如在弹道实验中测量弹丸的初速，就是先用直接测量测出两靶之间的距离和弹丸飞过这段距离所需要的时间，然后由平均速度公式计算出弹丸的飞行速度。这种测定弹丸速度的方法，属于间接测量。

17. 周期信号频谱结构有哪些特点？对周期信号进行频谱分析时，一般采用何种数学方法？

简要说明周期信号与时限信号频谱分析方法的差异。

周期信号的频谱结构有三个特点：

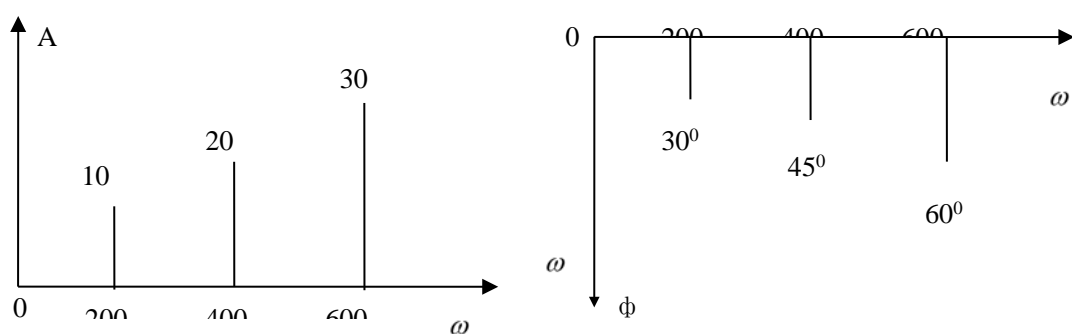
- a、离散性：频谱由一条条不连续的谱线组成，是离散的；
- b、谐波性：各频率分量符合谐波关系，其频率是基频的整数倍；
- c、收敛性：谐波分量的幅值有随其阶数的增高而逐渐减小的总趋势。

周期信号的频谱分析采用傅里叶级数展开的方法进行；

时限信号的频谱分析采用傅里叶变换的方法进行。

18. 画出下述信号的幅度谱及相位谱。

$$x(t) = 100 + 10\cos(200\pi t - 30^\circ) + 20\cos(400\pi t - 45^\circ) + 30\cos(600\pi t - 60^\circ)$$



19. 描述测量系统静态工作特性的技术指标主要有灵敏度、线性度、迟滞、分辨率、量程等，请给出灵敏度的定义，并结合典型二阶系统讨论灵敏度选择的具体注意事项，举例说明这些特性指标如何获得？

灵敏度 k 是传感器在静态条件下输出量的变化 Δy 和与之相对应的输入量变化 Δx 的比值。

非线性通常也称为线性度,是指传感器的实际输入输出特性曲线对于理想线性输入输出特性的接近或偏离程度。

重复性表示传感器在同一工作条件下,按同一方向作全量程多次(3次以上)测量时,对于同一个激励量其测量结果的不一致程度。

迟滞亦称滞后量、滞后或回程误差,表征传感器在全量程范围内,输入量由小到大(正行程)或由大到小(反行程)两者静态特性不一致的程度。

20. 对测量系统进行静态标定的作用有哪些?

答: 1) 确定仪器或测量系统的输入—输出关系, 赋予仪器或测量系统分度值;

2) 确定仪器或测量系统的静态特性指标;

3) 消除系统误差, 改善仪器或测量系统的正确度。

21. 推导测量系统不失真测量的条件, 并说明典型二阶测量系统追求阻尼比为 0.6~0.7 的原因。

解: ①在时域内, 测量系统输出和输入应满足下列关系:

$$y(t) = A_0 x(t - \tau_0) \quad \text{符号意义如教科书所述。}$$

取傅里叶变换, 得到

$$Y(j\omega) = A_0 e^{-j\tau_0\omega} X(j\omega)$$

可见, 如果输出的波形要无失真地复现输入波形, 则测量系统的频率响应应当满足:

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = A_0 e^{-j\tau_0\omega}$$

即 $A(\omega) = A_0 = \text{常数}$, $\phi(\omega) = -\tau_0\omega$

就是说, 理想的测量系统的幅频特性应当是常数, 相频特性应当是线性关系, 否则就会产生失真。

②取合适的阻尼比的目的是获得宽的工作频带范围, 一般当 ξ 取 0.6~0.7 时, 二阶系统幅频特性的平直段最宽。

22. 求周期信号 $x(t) = 3\sin(100t - 45^\circ)$ 通过传递函数为 $H(s) = \frac{1}{0.005s + 1}$ 的测量系统后的稳态响应。

由于是稳态输出, 故输出形式为 $y(t) = A \sin(100t - \phi)$

由系统的传递函数 $H(S)$ 得其幅、相频特性函数分别为：

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (0.005\omega)^2}},$$

$$\phi(\omega) = -\arctan(0.005\omega)$$

又输入为

$$x(t) = 3 \sin(100t - 45^\circ)$$

对 $x(t)$ ，其稳态输出 $y(t)$ 的幅值和相角分别为：

$$A = A(\omega)Z(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (0.005 \times 100)^2}} \times 3 = 0.8944 \times 3 \approx 2.683$$

$$\phi = -45^\circ - \arctan(0.005 \times 100) \approx -71.565^\circ$$

系统的稳态输出：

$$y(t) = Y(\omega) \cos(100t + \phi_2(\omega)) = 2.683 \sin(100t - 71.565^\circ)$$

23. 求 周 期 信 号 $x(t) = 0.5 \cos 10t + 0.2 \cos(100t - 45^\circ)$ 通 过 传 递 函 数 为

$$H(s) = \frac{1}{0.005s + 1} \text{ 的测量系统后的稳态响应。}$$

由系统的传递函数 $H(S)$ 得其幅、相频特性函数分别为：

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (0.005\omega)^2}}, \quad \phi(\omega) = -\arctan(0.005\omega)$$

由于输入信号是周期简谐信号的叠加，根据线性系统的叠加原理和频率不变性。设：

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t), \quad \text{其中 } x_1(t) = 0.5 \cos 10t, \quad x_2(t) = 0.2 \cos(100t - 45^\circ)$$

(1) 对 $x_1(t)$ ，其稳态输出 $y_1(t)$ 的幅值和相角分别为：

$$X_1(\omega_1) = A(\omega_1) \cdot Z_1(\omega_1) = \frac{1}{\sqrt{1 + (0.005 \times 10)^2}} \times 0.5 = 0.999 \times 0.5 \approx 0.5$$

$$\phi_1(\omega_1) = 0 + \phi_{x_1}(\omega_1) = 0 - \arctan(0.005 \times 10) \approx -2.8624^\circ$$

$$\therefore y_1(t) = 0.5 \cos(10t - 2.8624^\circ)$$

(2) 对 $x_2(t)$ ，其稳态输出 $y_2(t)$ 的幅值和相角分别为：

$$Y_2(\omega_2) = A(\omega_2)Z_2(\omega_2) = \frac{1}{\sqrt{1 + (0.005 \times 100)^2}} \times 0.2 = 0.8944 \times 0.2 \approx 0.179$$

$$\phi_2(\omega_2) = -45^\circ - \arctan(0.005 \times 100) \approx -71.565^\circ$$

$$\therefore y_2(t) = Y_2(\omega_2) \cos(100t + \phi_2(\omega_2)) = 0.179 \cos(100t - 71.565^\circ)$$

由叠加原理，系统总的稳态输出：

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) = 0.5 \cos(10t - 2.8624^\circ) + 0.179 \cos(100t - 71.565^\circ)$$

24. A 类不确定度与 B 类不确定度的定义。

不确定度的 A 类评定：用对观测列进行统计分析的方法来评定标准不确定度。

不确定度的 B 类评定：不能用统计分析的方法来评定标准不确定度。

25. 最小二乘法的基本思想是什么？

最小二乘法在误差理论中的基本含义是：在具有等精度的多次测量中，求得的最可靠（最可靠）值是指当各测量值的残差平方和为最小时所求的值。

26. 用精度为 0.02mm 的游标卡尺对某物体长度进行 10 次测量，测量值分别为：71.40mm、71.50 mm、71.38 mm、79.48 mm、71.42 mm、71.46 mm、71.44 mm、71.36 mm、71.40 mm、71.48 mm。求其测量结果。要求计算其测量均值、单项测量的标准偏差、平均值的标准偏差、测量结果的表示方式。

首先，由于 79.48mm 为粗大误差，计算时需要剔除

先求算术平均差

$$\bar{x} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 x_i = 71.42$$

$$\text{由贝塞尔公式, } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

带入，得： $s(x_i) = 0.047$

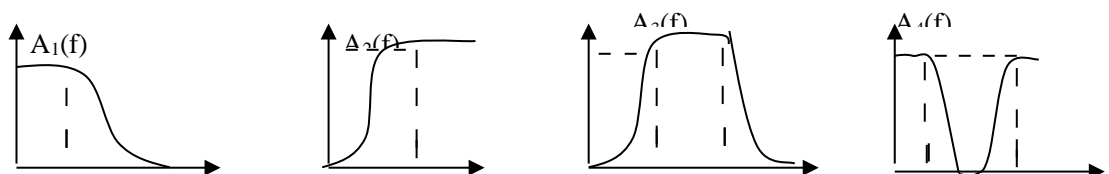
$$\text{算术平均值的实验标准差为: } s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{9}} = 0.02 \text{ mm}$$

即测量的算术平均值为 71.42，A 类不确定度为 0.02。

或 $X = 71.42 \pm 0.02 \text{ mm}$

26. 根据滤波器的选频作用，一般分为哪几种滤波器，请分别画出它们的幅频特性图。

根据滤波器的选频作用，一般分为低通、高通、带通、带阻滤波器这四种滤波器，其幅频特性如图：



0	f2	f	0	f1	f	0	f1	f2	f	0	f1	f2	f
低通				高通				带通				带阻	

27. 简答下列有关 IEEE488 接口基本特性问题:

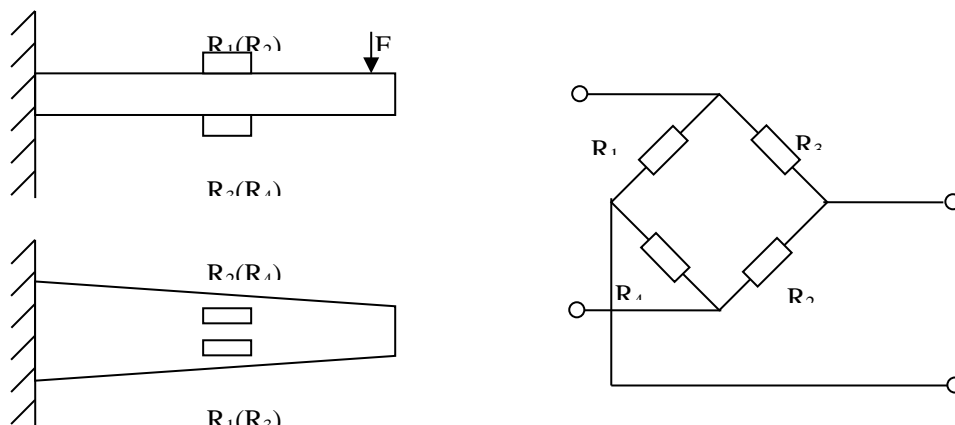
- (1) 采用何种信息传递方式?
- (2) 接口的逻辑电平是怎样规定的?
- (3) 控者、听者、讲者之间的关系?

(1) GPIB 采用字节串行/位并行协议。GPIB 通过连接总线传输信息而实现通信。

(2) GPIB 使用负逻辑, (标准的 TTL 电平), 任一个线上都以零逻辑代表“真”条件 (即“低有效”条件), 这样做的重要原因之一是负逻辑方式能提高对噪声的抗御能力。

(3) 控者讲明谁是讲者, 谁是听者。每个 GPIB 系统都必须定义一个系统执行控者。讲者指发送数据到其它器件的器件, 听者指接收讲者发送的数据的器件。大多数 GPIB 器件都可充当讲者和听者。

28. 如题图所示, 在等强度悬臂梁上对称位置粘贴电阻值 $R=120\Omega$, 灵敏系数 $k=2.0$ 的应变片, 构成全桥, 供桥电压为 $5V$, 在忽略横向效应的条件下, 求最大输出电压 $U_{sc}=10mV$ 时, 力 F 引起悬臂梁产生的应变 ε 应为多少 $\mu\varepsilon$ 。



解: 用 4 片同型号的应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 按题图的方式构成直流测量全桥时, 由应变片

承受的应变 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 产生的输出电压为

$$u_{sc} = \pm \frac{1}{4} U_B \cdot k(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (1)$$

其中 U_B 为供桥电压。

当 4 应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 按题图的方式粘贴于等强度悬臂梁时，有

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \varepsilon_2 = \varepsilon \\ \varepsilon_3 &= \varepsilon_4 = -\varepsilon \end{aligned}$$

于是可得

$$u_{sc} = \pm U_B \cdot k \cdot \varepsilon$$

按题目给定的条件取正号，有

$$u_{sc} = U_B \cdot k \cdot \varepsilon \quad (2)$$

当 $u_{sc} = 10\text{mV} = 10 \times 10^3 \mu\text{V}$ ，而 $U_B = 5\text{V}$ 、 $k = 2$ 时，可得

$$\varepsilon = \frac{u_{sc}}{U_B \cdot k} = \frac{10 \times 10^3}{5 \times 2} = 1000 \mu\varepsilon$$

29. 有一电阻阻值为 $R=120\Omega$ ，灵敏系数 $K_s=2.0$ ，其电阻温度系数 $\alpha=2.0 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ ，线膨胀系数 $\beta_1=12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 的电阻应变片贴于线膨胀系数为 $\beta_2=14.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 的工件上，若工件在外力作用下产生应变量为 $100\mu\varepsilon$ ，试求当环境温度改变 10°C 时，如果未采取温度补偿措施，电阻变化量为多少？

电阻由于温度变化引起的电阻的变化： $\Delta R_{lt} = \alpha \cdot \Delta t \cdot R = 0.24\Omega$

由于电阻应变片和工件线膨胀系数不同引起的电阻的变化：

$$\Delta R_{2t} = R \cdot K_s \cdot (\beta_2 - \beta_1) \Delta t = 0.00528\Omega$$

$$\therefore \Delta R_t = \Delta R_{lt} + \Delta R_{2t} = 0.24528\Omega$$

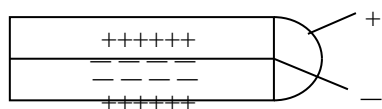
仅由于外力作用引起的电阻的变化 $\Delta R_\varepsilon = K_s \cdot \varepsilon \cdot R_\varepsilon = 0.024\Omega$

$$\therefore \Delta R = \Delta R_t + \Delta R_\varepsilon = 0.26928\Omega$$

30. 为提高压电式传感器的灵敏度，常采用“压电晶体堆”方式，请用简图说明压电晶体堆提高传感器工作灵敏度的基本思想。

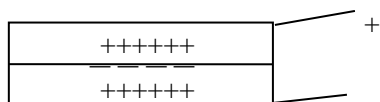
在使用压电晶体时，如仅用单片压电片工作，要产生足够的表面电荷就要有很大的作用力，常把两片或多片的压电片组合在一起。由于压电材料是有极性的，因此存在并联和串联

两种方式。



两压电片并联，总电容量 C' 、总电压 U' 、总电荷 Q' 与单片的 C 、 U 、 Q 的关系为

两压电片串联，其关系为

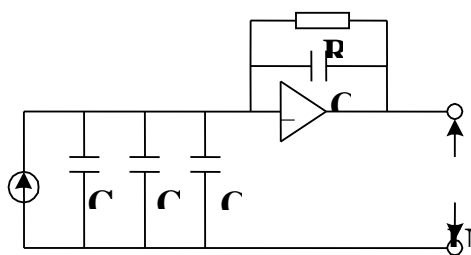


$$C' = C/2$$

$$U' = 2U$$

31. 请画出压电式传感器与电荷放大器相连的等效电路图，并说明电荷放大器的输出电压 u_0 与传感器产生的电荷量 Q 及电荷放大器反馈电容 C_f 之间的关系。

压电式传感器与电荷放大器连接的等效电路：



由“虚地”原理可知，反馈电容 C_f 折合到放大器输入端的有效电容 C'_f 为

$$C'_f = (1+k)C_f$$

设放大器输入电容为 C_i 、传感器的内部电容为 C_a 和电缆电容为 C_c ，则放大器的输出电压

$$U_0 = \frac{-kQ}{C_a + C_c + C_i + (1+k)C_f}$$

当 $(1+k)C_f \gg (C_a + C_c + C_i)$ ，放大器的输出电压为

$$U_0 \approx -\frac{Q}{C_f}$$

32. 以热电偶为例（一阶测量系统），推导出其幅频特性，并说明时间常数 τ 对系统动态特性的影响。

热电偶是一种一阶测量器件，它的工作状态方程为

$$\tau \frac{dT}{dt} + T = T_i$$

其中， τ 是热电偶的时间常数，可由实验测定， T_i 是待测温度随着时间的变化规律， T 为热电偶所指示的温度函数。

测试系统的传递函数 $H(s)$ 、频率特性 $H(j\omega)$ 、幅频特性 $A(\omega)$ 、相频特性 $\phi(\omega)$ 分别为

$$H(S) = \frac{1}{1 + \tau s}$$

$$H(j\omega) = \frac{1}{\tau(j\omega) + 1}$$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\tau\omega)^2}}$$

$$\phi(\omega) = -\arctan(\tau\omega)$$

可见 τ 越小，系统动态特性越好

33. 试述热电偶测温原理，并说明用热电偶测温时，为何常进行冷端温度补偿。

热电偶的测温原理基于热电效应：将两种不同材料的金属 A 和 B 连成闭合回路，当两个接点处的温度不同时，回路将产生热电势，这种现象叫 Seebeck 效应。

热电偶冷端补偿的原因：

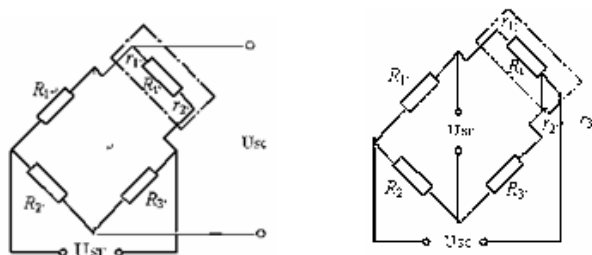
(1) 用热电偶测温时，热电势的大小决定于冷热端温度之差。如冷端温度是变化的，将会引起测量误差。

(2) 分度表制定是根据冷端为 0℃ 时制作的。

(3) 在使用过程中，由于冷热端较近，冷端容易受到环境温度的影响，因此冷端温度难以保持恒定。

34. 用热电阻测量时，热电阻的阻值一般可用电桥电路测量，请说明二线制、三线制热电阻是如何接桥，并说明各种接法有何优缺点。

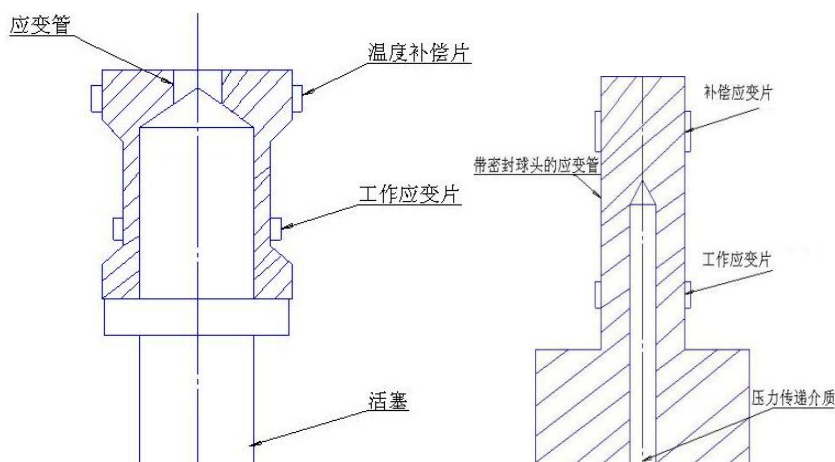
“二线制”接法的两根导线接在电桥的同一臂上，当外界环境温度发生变化或是有电流通过引起温度发生变化时，将会产生附加电阻，对测量结果带来影响（1.5 分）；“三线制”接法采用温度系数相同的导线接于相邻的两个桥臂上，此时由于附加电阻引起的电桥输出将自行抵消，测量的结果消除了导线由于温度引起的影响。（1.5 分）



35. 画出筒式应变测压传感器与活塞式应变测压传感器的结构示意图，并阐述其工作原理，贴片与布桥方式。

筒式应变压力传感器的弹性元件是一只钻了盲孔的圆筒，称为应变筒。使用时空腔中注满油脂，所注油脂的种类和测量压力的大小有关。测量时把传感器安装到测量位置的测量孔中，压力作用在油脂上，油脂受压后，把压力传送到应变筒的内壁，使应变筒外壁膨胀，发生弹性变形。在应变筒外壁的中部，沿圆周方向贴有一片或两片工作片，以感受应变筒受压力作用时所产生的应变。

活塞式应变测压传感器的弹性元件是应变管。使用时传感器安装在测压孔中，压力 p 作用在活塞的一端。活塞把压力转化为集中力 F ($F = P \cdot S$, S 为活塞杆的面积)作用在应变管上，使应变管产生轴向压缩弹性变形。在应变管上部较粗的部位，沿周向黏贴一片或两片与工作应变片同一阻值、同一批号的温度补偿片。活塞式应变压力传感器主要是通过活塞杆，而不是通过油脂传递压力的，所以它的固有频率比较高。



活塞式

筒式

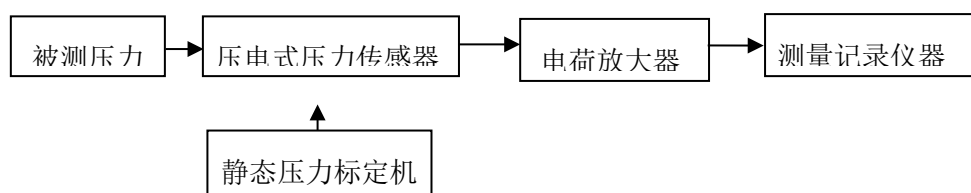
36 以压力测量为例，给出压电式测压系统的组成框图；

压电式测压系统的组成框图如下图所示：

p

Q

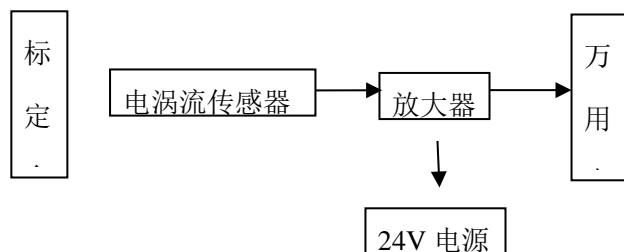
V



37. 电涡流传感器静态特性标定实验

1) 请阐述电涡流传感器的工作原理；2) 给出实验系统组成方框图；3) 被测导体的电阻率和磁导率对电涡流传感器的灵敏度有何影响？

1) 电涡流传感器是利用电涡流效应，将位移、温度等非电量转换为阻抗的变化或电感的变化（或 Q 值的变化）从而进行非电量电测的。

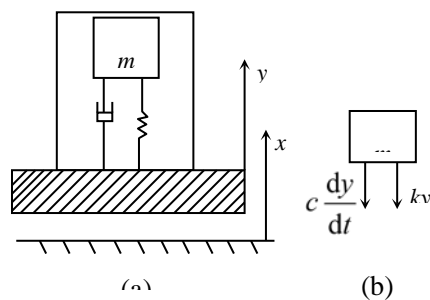


2) 被测导体的电导率越大和磁导率 μ 越小，传感器的灵敏度就越高。

38. 惯性式加速度传感器

1) 用简图说明惯性式加速度传感器的工作原理；

2) 建立该传感器的力学模型，推导其运动方程，并说明激励与响应的关系；3) 推导其传递函数，频率响应函数，幅频函数及相频函数；4) 用图定性画出该传感器的幅频特性及相频特性曲线。



二阶惯性系统的物理模型图

1) 质量块感受加速度并产生与加速度成正比例的惯性力，从而使弹簧产生与质量块相

对位移相等的伸缩变形，弹簧变形又产生与变形量成比例的反作用力。当惯性力与弹簧反作用力相平衡时，质量块相对于基座的位移与加速度成正比例，故可通过该位移或惯性力来测量加速度。

2) 建立如题图 (a) 所示的两个坐标系，以坐标 x 表示传感器基座的位置，以坐标 y 表示质量块相对于传感器基座的位置。以静止状态下的位置为坐标原点。

假设壳体和质量块都沿坐标轴正方向运动。对质量 m 取隔离体，受力状态如题图(b)。

质量体的绝对运动应当等于其牵连运动和相对运动之和。因此，由牛顿运动定律，有

$$m\left(\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{d^2y}{dt^2}\right) = -c\frac{dy}{dt} - ky$$

经整理后得

$$m\frac{d^2y}{dt^2} + c\frac{dy}{dt} + ky = -m\frac{d^2x}{dt^2}$$

上式可写成

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2\xi\omega_n\frac{dy}{dt} + \omega_n^2y = -\frac{d^2x}{dt^2}$$

式中, ω_n 为二阶系统的固有角频率, ($\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$); ξ 为系统的阻尼比 ($\xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$); m 为质量块的质量; k 为弹簧刚度系数; c 为阻尼系数。

以待测物体的加速度 $\frac{d^2x}{dt^2}$ 为激励, 并记 $a = \frac{d^2x}{dt^2}$, 以质量块的相对位移 y 为响应。

3) 对上式取拉氏变换, 有

$$S^2Y(S) + 2\xi\omega_nSY(S) + \omega_n^2Y(S) = -A(S)$$

拉氏传递函数 $H(S)$ 为

$$H(S) = \frac{Y(S)}{A(S)} = -\frac{1}{S^2 + 2\xi\omega_nS + \omega_n^2}$$

频率响应函数 $H_0(j\omega)$ 为

$$\begin{aligned} H(j\omega) &= -\frac{1}{(j\omega)^2 + 2\xi\omega_nj\omega + \omega_n^2} \\ &= -\frac{1}{\omega_n^2} \frac{1}{[1 - (\omega/\omega_n)^2] + j2\xi\omega/\omega_n} \end{aligned}$$

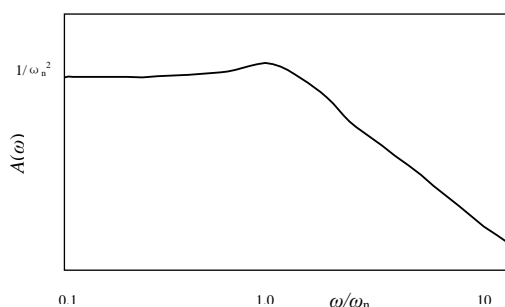
幅频特性为

$$A_a(\omega) = \frac{1}{\omega_n^2} \frac{1}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + (2\xi\omega/\omega_n)^2}}$$

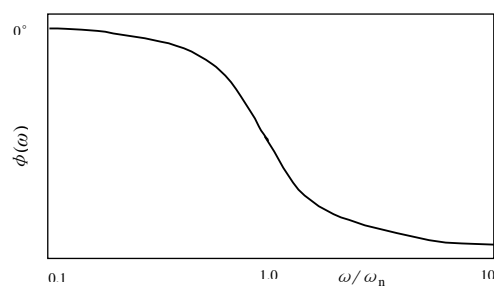
相频特性为

$$\varphi_a(\omega) = -\arctg \frac{2\xi\omega/\omega_n}{1 - (\omega/\omega_n)^2}$$

4) 传感器的幅频特性及相频特性如图:



(a)



(b)

传感器的频率特性图

(a)幅频特性; (b)相频特性。

39. 为改善传感器性能，常采用差动结构，阐述其基本思想。

1、用两个完全相同的传感器；2、接受大小相等、符号相反的输入量；3、二者输出相减，取其差值。可以使输出非线性得到了较好的抑制，并提高输出灵敏度。

40. 求理想一阶系统的拉氏传递函数，根据所求传递函数写出其频率响应函数，系统的幅频特性及相频特性表示式，并用简图画出其幅频特性。[注：一阶系统的运动微分方程为：

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = A_0 x(t)]$$

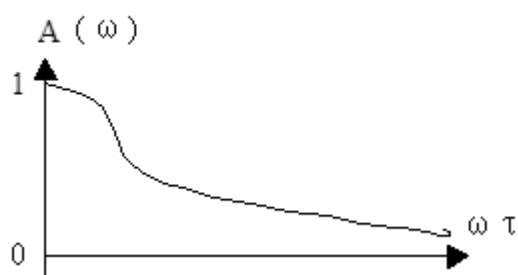
$$\text{解：} \because \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = A_0 x(t)$$

$$\therefore H(j\omega) = \frac{A_0}{1 + j\omega\tau}$$

$$\text{幅频特性：} A(\omega) = |H(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

$$\text{相频特性：} \varphi(\omega) = \arg[H(j\omega)] = -\tan^{-1}(\omega\tau)$$

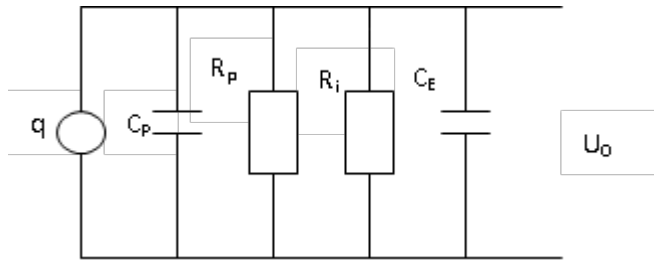
幅频特性图：



40 压电测压传感器与电荷放大器相接时，为能测量静态压力信号即防止静电泄漏，从放大器本身出发，应采取哪些措施？[提示：等效电路见图，运动方程为：

$$RC \frac{du_0}{dt} + u_0 = R d \frac{dF}{dt}, \quad q = d \cdot F, \quad c = c_p + c_e, \quad R = R_p // R_i, \quad c_p \text{ 为压电晶体等效}$$

电容， R_p 为传感器输出电阻， c_e 为电缆电容， R_i 为电压放大器的输入电阻。]

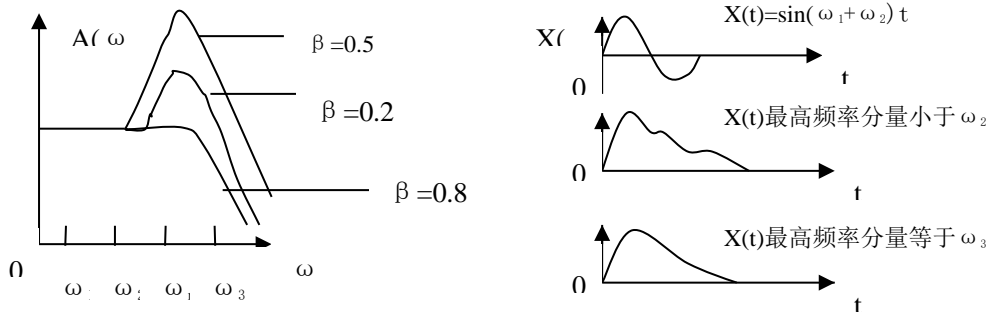


为防止静电泄露，应增大系统的时间常数 τ 。

$$\because \tau = RC \quad R = R_p // R_i \therefore$$

只要增大电荷放大器的输入电阻 R_i 即可。

41 有人将某二阶系统的幅频特性曲线绘成了如图所示形状，请指出图中有何问题？当输入图示三种信号时，问系统输出有无失真（假定相频特性符合要求）回答在括号内。



图中 $\beta = 0.5$ 与 $\beta = 0.2$ 的两条曲线画反了，前者应为 $\beta = 0.2$ ，

后者 $\beta = 0.5$ ，当输入为前两种时无失真，第三种输入会产生失真。

42. (4分)为何在调节二阶系统 β 时，一般都取 $\beta = 0.6 \sim 0.8$ 。

\therefore ① β 越接近 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ，系统的频率上限越高，这样可以扩频率范围

② $\varphi(\omega)$ 与 ω 近似为线性关系。

43. 弹性测压法与塑性测压法的主要区别是什么？简述应变筒式测压传感器是如何进行温度补偿的？

弹性测压法是利用压力作用下，弹性敏感元件产生弹性形变，经二次变换，得到电量后进行测量。可以测得压力的动态变化，塑性测压法是利用压力作用下，测压试件的。塑性变形作为压力的量度，只能测得压力峰值。在应变筒顶端的实心部位贴一片或两片与工作应变片同一阻值，同一型号的应变片，作为温度补偿片。

44. 永磁式感应测速传感器的磁头件安装有何要求？描述该传感器中位移线圈的绕制方法，该传感器速度线圈采用串联的目的是什么？

磁头件安装在两平行线圈之间的运动杆上。

位移线圈的绕制方法是：相邻两个位移槽内绕组的绕向相反，

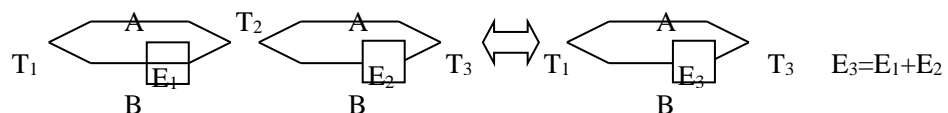
速度线圈串联的目的是：一、提高传感器的灵敏度

二、变化时保持感应电动势与速度之间的比例系数不变，

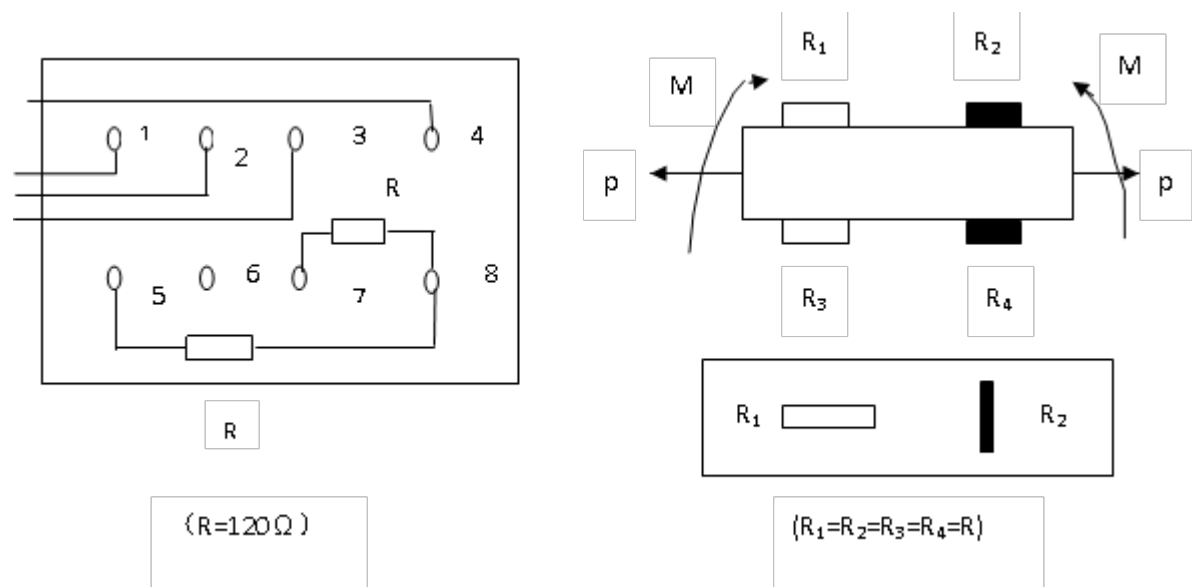
消除弹跳引起的测量误差。

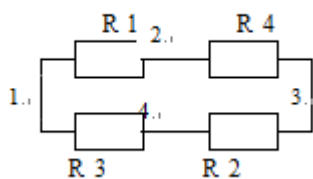
45 举例说明热电偶测温的中间温度定律。

设某热电偶接点温度为 T_1 和 T_2 的热电势为 E_1 ，接点温度为 T_2 和 T_3 时的热电势为 E_2 ，则当接点温度为 T_1 和 T_3 时的热电势为 $E_1 + E_2$ ，如图



46. 图为受弯和拉作用的某构件，请合理安排四个电阻在桥臂上的位置测量弯矩 M ，既能消除温度对 M 的影响又不受力 P 的影响。根据给定的桥盒画出正确的搭桥线路。（





47.简要说明电涡流位移传感器的工作原理。

电涡流传感器是一个绕在硬塑料框架上的扁平线圈。工作时，线圈内通有高频电流，在线圈周围的空间会产生变亮的高频磁场，当一块金属平板接近传感器线圈时将产生：

- (1) 由于交变磁场的作用，在和线圈的中心线垂直的金属板表面产生电涡流
- (2) 电涡流也产生一个反抗原来磁场变化的磁场
- (3) 电涡流在金属板中流动，回路呈现一定的电阻，消耗部分能量

48 简要说明压电式加速度计或应变式加速度计的工作原理。

压电式加速度计量是由壳体、弹簧、质量块、压电晶片、基底组成、换能元件为上面压着质量块的压电晶片。工作时，通过连接螺栓把加速度壳体牢牢固定在被测对象的振动方向上。当加速度计壳体随被对象振动时，质量块也将振动，质量块的惯性力作用在压电晶片使压电晶片产生变形而在其表面产生电荷，通过电荷放大器即可测量。

49.将连续时间信号进行离散化时产生混迭的主要原因是什么？

当连续信号的最高工作频率 ω_{\max} 大于采样频率 ω_s 的 $\frac{1}{2}$ 倍时（ $\omega_m > \frac{1}{2}\omega_s$ ）即产生混迭。

50. 根据二阶测量系统的运动微分方程，求解二阶测量系统的拉氏传递函数；写出二阶系统的频率响应函数，幅频特性，相频特性关系式；并画出二阶系统的幅频特性图。

典型二阶系统

$$\frac{1}{\omega_n^2} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{2\xi}{\omega_n} \frac{dy}{dt} + y(t) = k_0 x(t)$$

$$H(s) = \frac{k_0}{\omega_n^2 S^2 + \frac{2\xi}{\omega_n} S + 1}$$

$$H(j\omega) = \frac{k_0}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2\xi \frac{\omega}{\omega_n} j}$$

$$H(\omega) = \frac{k_0}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4\xi^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

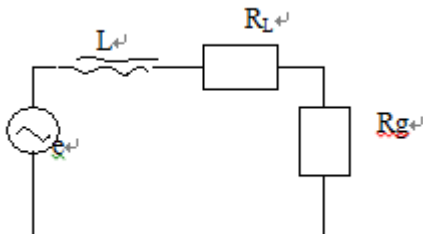
$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4\xi^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{200\pi}{400\pi}\right)^2\right]^2 + 4 \times 0.1^2 \times \left(\frac{200\pi}{400\pi}\right)^2}}$$

=0.76

$$\text{误差 } r = 1 - 0.76 = 0.24 = 24\%$$

51. 为改善永磁感应测速传感器的动态特性, 要求与其相连的放大器应具有什么条件? 要求画出等效电路, 写出运动微分方程并进行适当的讨论。



等效电路

$$L \frac{di}{dt} + (R_L + R_g)i = e$$

$$H(s) = \frac{\frac{1}{k}}{\tau s + 1} \quad \text{其中} \quad \tau = \frac{L}{R} \quad R = R_2 + R_g$$

$$H(j\omega) = \frac{\frac{1}{R}}{1 + j\omega\tau} \quad A(\omega) = \frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

∴ τ 愈小，测量电路的动态响应特性愈好

又 传感器的 L、R_L 值已定，

∴ 为改善测速传感器的动态特性要求放大器有较大的输入阻抗 R_g

52. 在压电测量系统中为什么一般使用电荷放大器而不使用电压放大器？使用时要注意什么？

电荷放大器一般不受电缆长度及分布电容的影响，而电压放大器的灵敏度受其影响很大，所以实际应用中一般选用电荷放大器。使用时注意事项：①不能测量零频信号②使用前要短接传感器输出端，以免静电击穿电荷放大器③保持传感器及电缆干燥增大 τ ④使用时归一化。

53. 测量系统静态标定的意义或作用是什么？

静态标定的意义：①获得输入与输出的静态关系，获得仪器分度
②获得系统的静态指标（非线性，灵敏度等）
③消除系统误差，改善系统正确度

54. 塑性测压法与弹性测压法有哪些主要差异。

弹性测压法是利用压力作用下，弹性敏感元件产生弹性形变，经二次变换，得到电量后进行测量。可以测得压力的动态变化，塑性测压法是利用压力作用下，测压试件的塑性变形作为压力的量度，只能测得压力峰值。

55. 挂接在 IEEE488 接口总线上的器件按它们的作用不同可分为讲者，听者，控者三类器件，分别解释何为讲者器件，听者器件，控者器件，在该总线上三者之间的关系有何规定？

读者器件：指发送数据到其他器件的器件。

听者器件：指接收讲者发送的数据的器件

控者器件：是指接口总线上各仪器进行数据交换的器件

对于一个特定的器件只能充当上述三种角色的一种，也可身兼两职或三职，但在任一时刻，一个系统中由一条总线连接的器件中只能有一个讲者，可以有多个听者，但一个器件不能同时作为讲和听者。同一时刻，一个系统中只有一个控者。

56. 应变筒式测压传感器与应变管式测压传感器的主要区别是什么？简述应变筒式测压传感器是如何进行温度补偿的？

区别：应变筒式测压传感器的应变筒内装有测压油，在压力作用下，应变筒产生周向形变，工作应变片应沿筒的周向粘贴。应变管式测压传感器的应变管承受来自活塞的集中应力，产生轴向形变，应变片应沿管的轴向粘贴，高频响应较好。

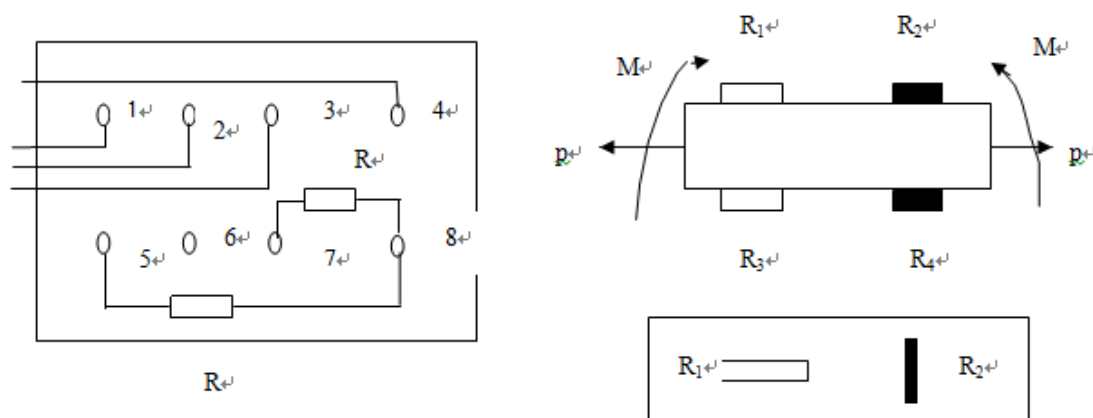
补偿：在应变筒顶端的实心部位贴一片或两片与工作应变片同一阻值，同一型号的应变片，作为温度补偿片。

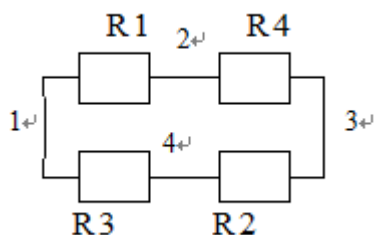
57. 对于一个复杂波形的输入信号，为什么要求动态测试系统有良好的幅频特征和相频特征？如果输入为一个单独的正弦信号，是否要考虑幅频特征和相频特征？

对于一个复杂波形的输入信号，为保证输出波型不失真，所以要求动态测试系统有良好的幅频特征和相频特征。若输入为单独的真正弦信号，不必考虑其幅频相频特征。

58. 某构件受力如图示，某工程设计人员要求测量该构件所受弯矩大小，请合理安排四个电阻应变片，用其进行测量。根据给定的桥盒，画出你所设计的桥路的搭桥线路。（5分）

已知：($R=120\ \Omega$) , ($R_1=R_2=R_3=R_4=R$)





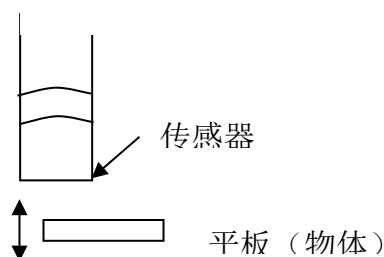
59. 将 $120\ \Omega$ 的一个应变片粘贴在低碳钢制成的拉伸试件上, 若试件的等截面积为 $0.4 \times 10^{-4} \text{m}^2$, 低碳钢的弹性模量 $E=210 \times 10^9 \text{N/m}^2$, 由 50KN 的拉力所引起的应变片电阻变化为 $1\ \Omega$, 试求该应变片的灵敏系数。

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{F}{SE}} = \frac{\frac{1}{120}}{\frac{50 \times 10^3}{0.4 \times 10^{-4} \times 210 \times 10^9}} = 1.4$$

60. 说明感应电涡流位移传感器的工作原理, 并举一该传感器的使用例子。

电涡流传感器是一个绕在硬塑料框架上的扁平线圈。工作时, 线圈内通有高频电流, 在线圈周围的空间会产生交变的高频磁场, 当一块金属平板接近传感器线圈时将产生电涡流。电涡流也产生一个磁场来影响原来的磁场, 并且电涡流在金属板中, 消耗部分能量 (回路中有等效电阻), 当传感器及平板确定后, 传感器的阻抗之只受其与平板的距离 X 影响, 因此可以测定来求 X 。

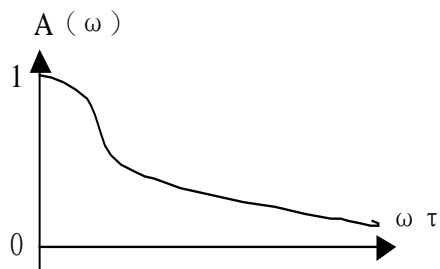
例: 电涡流位移传感器



61. 根据一阶测量系统的运动微分方程, 求解一阶测量系统的拉氏传递函数; 写出一阶系统的频率 响应函数, 幅频特性, 相频特性关系式; 并画出一阶系统的幅频特性图。

$$\tau \frac{dy}{dt} + y(t) = k_0 x(t) \quad H(s) = \frac{k_0}{\tau s + 1}$$

$$H(j\omega) = \frac{k_0}{j\tau\omega + 1} \quad A(\omega) = \frac{k_0}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad \varphi(\omega) = -\text{tg}^{-1}(\omega\tau)$$



62. (1) 为何在调节二阶系统阻尼 β 时,一般都取 $\beta=0.6 \sim 0.8$ (5 分)

(2) 某二阶线性测量系统,阻尼率为 0.1, $\omega_n=400\pi$, 试确定用该系统测量最高频率分量为 100Hz 时动态力的动态误差为多少? (5 分)

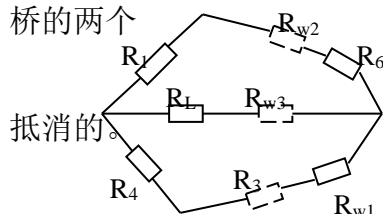
(1) 因为当 $\beta = 0.707$ 时, 系统的 ω_H 最接近 ω_n , 即测量频段最宽

$$(2) r = 1 - \frac{A(\omega)}{k_0} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \approx 0.24 = 24\%$$

63. 用热电阻测温时,热电阻的阻值一般可用电桥电路来测量,请解释在接线时为何采用“三线接法”而不用“二线接法”,请画出接线图。

.使用三线接法是为了减小引线电阻对测量的影响。

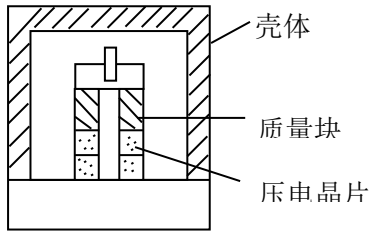
如图示: $R_{\omega 3}$ 和负载 R_{ω} 是串联的,不影响电桥输出而 $R_{\omega 1}$, $R_{\omega 2}$ 分别接在电桥的两个



相邻桥臂中,它们对电桥输出的影响是相互抵消的。

64. 用简图说明压电式加速度计的工作原理,并说明用压电式加速度计构成的加速度测量系统的工作频率下限有那些因素决定。

压缩型压电加速度计的结构如图,其换能元件是上面压着质量块的压电晶片,连接螺纹通过硬弹簧给质量块预先加载,压紧在压电晶片上,整个组件连接在厚基底的壳体内。使用时通过螺栓把加速度计固定在被测对象振动方向上。当加速度计壳体随被测对象振动时,质量块也将振动,质量块的惯性力作用在压电晶体上,使压电晶片发生变形,而在晶体表面产生电荷。当 $\omega_n \gg \omega$ 时,质量块的惯性力与被测加速度成正比,压电晶片表面产生的电荷也与加速度成正比,从而反应了被测量频率下限只要由时间常数 τ 决定,它与传感器的阻抗及放大器的输入阻抗,导线的分布电容有关。



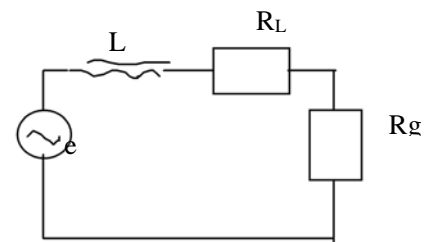
65. 简要说明应变测量中信号转变的历程。

1. 信号转变历程：压力信号——敏感元件形变——应变片阻值——电量（电压、电流）

66. 举一理想一阶测量系统例子，写出其幅频特性及相频特性函数关系式。

热电偶工作状态可用微分方程来表示： $\tau \frac{dy}{dt} + y(t) = k_0 x(t)$

$$A(\omega) = \frac{k_0}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad \varphi(\omega) = -\tan^{-1}(\omega\tau)$$



67. 为改善永磁式测速传感器的动态特性，讨论与其相连的放大器

[解题步骤：（1）写出其运动微分方程，画等效电路

（2）求传递函数及频率响应

（3）讨论要求的系统参数值]

$$(1) L \frac{di}{dt} + (R_L + R_g)i = e$$

$$(2) H(s) = \frac{\frac{1}{k}}{\tau s + 1} \quad \text{其中} \quad \tau = \frac{L}{R} \quad R = R_L + R_g$$

$$H(j\omega) = \frac{\frac{1}{R}}{1 + j\omega\tau} \quad A(\omega) = \frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

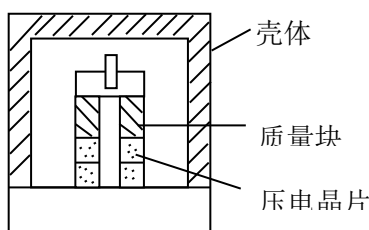
（3） $\because \tau$ 愈小，测量电路的动态响应特性愈好

又 传感器的 L, R_L 值已定，

\therefore 为改善测速传感器的动态特性要求放大器有较大的输入阻抗 R

68. 用图简要说明压电式加速度传感器的工作原理。

压电加速度计的结构如图，其换能元件是上面压着质量块的



压电晶片，连接螺纹通过硬弹，连接螺纹通过硬弹簧给质量块预先加载，压紧在压电晶片上，整个组件连接在

厚基底的壳体内。使用时通过螺栓把加速度计固定在被测对象振动方向上。当加速度计壳体随被测对象振动时，质量块也将振动，质量块的惯性力作用在压电晶体上，使压电晶片发生变形，而在晶体表面产生电荷。当 $\omega_n \gg \omega$ 时，质量块的惯性力与被测加速度成正比，测得电荷量即可得到加速度值。

69. 欲测量某回路中一标称值为 $10\Omega \pm 1\%$ 电阻器的功率损耗 P ，可采用两种方法进行，一是只测电阻器两端的电压 V ，然后用公式 $P = V^2/R$ 计算功率损耗；二是分别测量电阻器两端的电压 V 和流过电阻器的电流 I ，由公式 $P = VI$ 计算电阻器上的功率损耗。估算这两种方案的电功率误差，设 V 和 I 的测量结果为 $V = 100 \pm 1\%(V)$ ， $I = 10 \pm 1\%(A)$ 。

$$\text{方法一: } \because \frac{\partial P}{\partial V} = \frac{2V}{R} \quad \frac{\partial P}{\partial R} = -\frac{V^2}{R^2}$$

$$\begin{aligned} \therefore \sigma_P &= \left[\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)^2 \sigma_V^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial R} \right)^2 \sigma_R^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[\frac{4V^2}{R^2} \sigma_V^2 + \frac{V^4}{R^4} \sigma_R^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_P}{P} = \left[4 \left(\frac{\sigma_V}{V} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_R}{R} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = [4 \times 0.01^2 + (0.01)^2]^{\frac{1}{2}} = 2.236\%$$

$$\text{方法二: } \because \frac{\partial P}{\partial V} = I \quad \frac{\partial P}{\partial I} = V$$

$$\therefore \sigma_P = [I^2 \sigma_I^2 + V^2 \sigma_V^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{\sigma_P}{P} = \left[\left(\frac{\sigma_V}{V} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_I}{I} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{0.01^2 + 0.01^2} = 1.414\%$$

70. 试推导测量系统不失真测量的条件，并简要说明可采取哪些措施来保证测量值不失真。

实现测量系统不失真的条件为 $A(\omega) = \text{常数}$ ， $\varphi(\omega) = -t_0 \omega$

若要输出波形精确地与输入波形一样而没有幅值失真，相位失真，装置的频率性

$$\text{对二阶系统} \quad H(j\omega) = \frac{k_0}{1 + 2\xi \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right) j - x \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2} \quad \text{应使 } \omega \ll \omega_n \quad \xi = 0.707$$

以保证测量值不失真。

71. 简要说明何为标定, 标定可分为几类? 静态标定的作用或意义有哪些? 在测量数据处理中, 应如何对待参考工作直线中的系统误差。

用已知的标准校正仪器或测量系统的过程, 称之为标定。

标定分为动标和静标。

静态标定的意义: ①获得输入与输出的静态关系, 获得仪器分度

②获得系统的静态指标 (非线性, 灵敏度等)

③消除系统误差, 改善系统正确度

通常用线性度来说明参考直线取代实际输入—输出关系所带来的误差程度, 也可以通过分段线性化来克服。

72. 压电式测量传感器在组建测量系统时, 为何选用电荷放大器作为二次仪表而不选用电压放大器, 请简要说明其原因。

电压放大器的灵敏度受导线长度、位置、分布电容的影响很大, 因此实际复杂用电荷它基本不受分布电容的影响。使用时要注意先短接传感器形成, 以免静电击穿场效应管。

73. 压电式传感器的上限频率和下限频率各取决于什么因素? 简要说明。

压电式传感器一般输出信号很弱, 必须配备具有很高输入阻抗的前置放大器进行阻抗匹配与前置放大。前置放大装置型式不同对传感器的上下限频率有一定影响。由于无论是电压放大式还是电荷放大式, 其高频特性均较好。由于自振频率愈高, 可测压力变化频率愈高, 而自振频率与其结构尺寸有关, 对压电晶体, 其厚度影响自振频率, 即自振频率与压电晶体厚度成反比。但电压放大式的低频响应差, 它与测量回路时间常数 τ 有关, 为提高其低频特性, 应增大 τ , 可以靠增大测量回路的电阻来提高 τ 值。

74. 为什么变面积式电容传感器的线性较变极距式电容传感器好。

变极板距式电容增量与极板距变化量关系为

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left[1 + \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 + \cdots \right]$$

而变面积式电容增量与相对有效面积变化量关系为: $\frac{\Delta C}{C_0} = -\frac{\Delta x}{a}$

Δd , a , Δx , C_0 , ΔC 分别为极板距, 极板距变化量, 变面积式电容板的长度, 变面

积式电容板的宽度变化量，初始电容，电容增量。

由两个公式可以看出变极板距式电容增量与极板距变化量为近似线性关系，而变面积式电容增量与相对有效面积变化量关系为线性的。所以变面积式比变极板距式电容传感器线性好。

75.欲测量某回路中一标称值为 $10\Omega \pm 1\%$ 电阻器的功率损耗 P ,可采用两种方法进行，一是只测电阻器两端的电压 V ,然后用公式 $P=V^2/R$ 计算功率损耗；二是分别测量电阻器两端的电压 V 和流过电阻器的电流 I ,由公式 $P=VI$ 计算电阻器上的功率损耗。估算这两种方案的电功率误差，设 V 和 I 的测量结果为 $V=100 \pm 1\%(V)$, $I=10 \pm 1\%(A)$ 。

方案一,即用公式 $P=V^2/R$ 计算时，电功率误差

$$\Delta P = \left| \frac{\partial P}{\partial R} \Delta R \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial V} \Delta V \right| = \left| -\frac{V^2}{R^2} \Delta R \right| + \left| \frac{2V}{R} \Delta V \right| = 20 + 40 = 60$$

方案二,即用公式 $P=VI$ 计算时，电功率误差

$$\Delta P = \left| \frac{\partial P}{\partial I} \Delta I \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial V} \Delta V \right| = |V \Delta I| + |I \Delta V| = 20 + 20 = 40$$

76.简答下列有关 IEEE488 接口基本特性问题：

IEEE488 接口中采用何种信息传递方式？

接口逻辑电平采取的是？

8 根数据总线在使用中有几种工作模式？

1.IEEE488 接口采用了串行拜特 (BYTE),并行比特 (bit),异步双向传递，采用三线挂钩技术。

2.接口逻辑电平采取的负逻辑规定：高电平 ($\geq +20V$) 为“假值” (逻辑“0”)；低电平 ($\leq +0.8V$) 为“真值” (逻辑“1”)。

3.有两种工作模式：串行拜特,并行比特。

77.计算题：用一个一阶系统作 100Hz 正弦信号测量。1)如果要求限制振幅误差在 5%以内，则时间常数 τ 应取多少？2)若用具有该时间常数的同一系统作 50Hz 信号的测试，此时的振幅误差和相角差各是多少？

(b) 将 100Ω 的一个应变片粘贴在低碳钢制的拉伸试件上,若试件的等截面积为 $0.5 \times 10^{-4} m^2$,低碳钢的弹性模量 $E=200 \times 10^9 N/m^2$,由 50KN 的拉力所引起的应变计电阻变化为 1Ω ,试求该应变计的灵敏系数。

已知 $f=100HZ$, $\omega=2\pi f=628.3185$

求幅值误差小于等于 5%，即

$$1 - \frac{1}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}} \leq 5\%$$

代入已知量得 $\geq 5.23 \times 10^{-4}$

2) 已知 $\tau = 5.23 \times 10^{-4}$ 秒, $f = 50\text{HZ}$, $\omega = 2\pi f = 314.159$

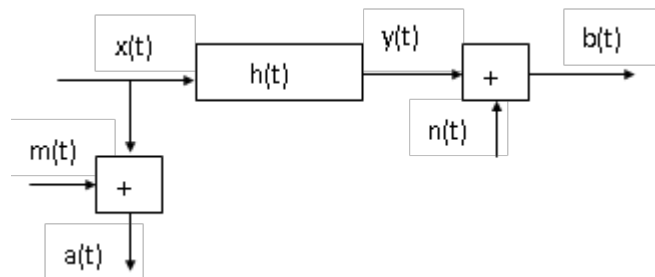
则幅值误差

$$\Delta = 1 - \frac{1}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}} = 0.0132$$

相角差 $\phi = -\arctg(\omega\tau) = -\arctg(0.16430517) = -9.3306^\circ$

78. 求取图示测量系统的传递函数, 并讨论在何种条件下才能获得准确的测量系统传递函数。

已知 $m(t)$ 与 $x(t)$, $n(t)$ 与 $y(t)$ 不相关



答: $a(t) = x(t) + m(t)$, $b(t) = n(t) + y(t)$

则相应的拉氏变换为: $a(S) = x(S) + m(S)$, $b(S) = y(S) + n(S)$

$$\frac{b(S)}{a(S)} = \frac{Y(S) + n(S)}{X(S) + m(S)}$$

$$\frac{Y(S)}{X(S)} = H(s)$$

要获得准确的传递函数须: $\frac{b(S)}{a(S)} = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{Y(S) + n(S)}{X(S) + m(S)} = H(S)$

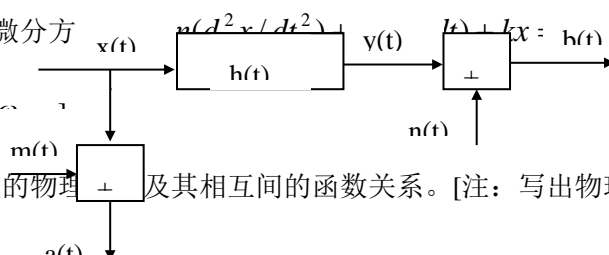
则 $n(S) = H(S)m(S)$

79. (a) 写出理想二阶线性系统的拉氏传递函数, 并导出其幅频特性和相频特性的函数表达式。

[提示: 单自由度二阶强迫振动的运动微分方程]

其中 m 为质量, c 为阻尼, $\beta = c/2m$

(b) 说明 ω_n 、 ω_d 、 ω_r 、 k 、 m 各量值的物理意义及其相互间的函数关系。[注: 写出物理



意义及两个函数关系式或两个以上关系式给全分]

$$\text{由 } m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = f(t)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \beta = c / (2m\omega_n)$$

灵敏度归一化后的运动微分方程为: $\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta\omega_n \frac{dx}{dt} + \omega_n^2 x = \omega_n^2 f(t)$

$$H(S) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\beta\omega_n s + \omega_n^2} \quad H(j\omega) = \frac{\omega_n^2}{(j\omega)^2 + 2\beta\omega_n (j\omega) + \omega_n^2}$$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2]^2 + (2\beta \frac{\omega}{\omega_n})^2}} \quad \varphi(\omega) = -\tan^{-1} \frac{2\beta\omega/\omega_n}{1 - (\omega/\omega_n)^2}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \omega_d = \frac{\omega_n}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \omega_r = \omega_n \sqrt{1 - 2\beta^2}$$

ω_n 为无阻尼固有圆频率; ω_r 为幅频特性极值点圆频率; ω_d 为有阻尼时固有圆频率。

80. (1) 叙述测量系统实现不失真测量的条件。(6分)

(2) 测量系统静态标定的意义是什么? (4分)

答: 1) 对一个测试装置, 其输出 $y(t)$ 和输入 $x(t)$ 满足 $y(t) = A_0 x(t - \tau_0)$ 。式中 A_0 、 τ_0 均为常量。则 $H(j\omega) = A_0 e^{-j\tau_0 \omega}$, 即实现不失真测量的基本条件为 $A(\omega) = A_0 = \text{常数}$, $\phi(\omega) = -\tau_0 \omega$

2) 确定仪器或测量系统的输出与输入关系, 赋予仪器或测量系统分度值; 确定仪器或测量系统的静态特性指标; 消除系统误差, 改善仪器或测量系统的正确度。

81. 永磁式感应测速传感器的磁头件安装有何要求? 该传感器速度线圈采用串联的目的是什么?

磁头件铁芯上开有等间距的窄凹槽, 在凹槽内嵌绕着位移线圈, 其绕法是相邻两个位移

槽内绕组的绕向相反。该种传感器速度线圈采用串联的目的是提高速度线圈中的感应电动势的数值。

82. 已知某线性系统 $A(\omega)=1/(1+0.01\omega^2)^{1/2}$, $\phi(\omega)=\arctg 0.1\omega$, 现测得某激励的稳态输出为 $y(t)=10\sin(30t-45^\circ)$ 。试求系统的输入信号 $x(t)$; 若用该系统进行测量, 要求振幅误差在 5% 以内, 则被测信号的最高频率应控制在什么范围内?

$$x(t) = \frac{10}{A(\omega)} \sin(30t - 45^\circ - \arctg 0.1\omega)$$

$$\text{其中, } \omega=30, A(\omega) = \frac{1}{(1+0.01 \times 30^2)^{1/2}} = \frac{1}{\sqrt{10}}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg 0.1\omega = \arctg 3 = 71.5^\circ$$

$$\therefore x(t) = \sqrt{10} \sin(30t - 116.5^\circ)$$

$$\because |1 - A(\omega)| \leq 5\%, \text{ 即 } A(\omega) \geq 95\%$$

$$\frac{1}{(1+0.01\omega^2)^{1/2}} \geq 95\% \Rightarrow \omega \leq 3.3\text{KHz}$$

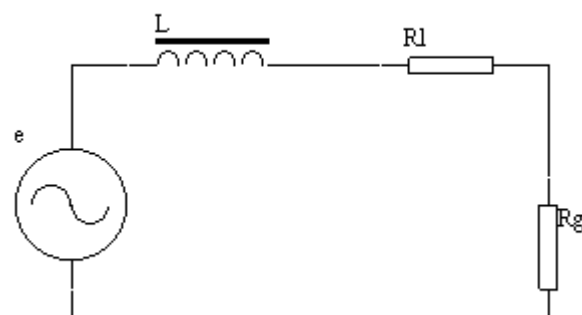
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{3.3\text{KHz}}{2\pi} = 525\text{Hz}, \text{ 即最高频率为 } 525\text{Hz}$$

83. (1) 试描述永磁感应测速传感器中位移线圈的绕法及其工作原理。

(2) 对永磁式感应测速传感器的磁头件及其安装有何要求。

绕法是相邻两个位移槽内绕组的绕向相反。

其工作原理图为



磁头件安装在两平行线圈之间的运动杆上。

84. 根据所学知识, 阐明下述观点是否正确: “由于存在横向效应, 所以用金属丝应变片单独测量横向应变时, 其灵敏度比测定纵向应变要低。”

正确。因测横向应变时, 只有应变片的圆弧段感受应变, 而直线段感受的量为 $-\mu\varepsilon$ 。

测纵向应变时，直线段感受应变 ε ，圆弧段感受 $\mu\varepsilon$ 。

∵直线段大大超过圆弧段，∴原命题正确。

85. 何为标定？标定可分为几种类型？静态标定的作用和意义有哪些？

用已知的标准去校正测试系统或仪器的过程，称为标定。

标定可分为动态标定和静态标定

静态作用：①获得输入与输出的静态关系，获得仪器分度

②获得系统的静态指标（非线性，灵敏度等）

③消除系统误差，改善系统正确度

86. (a)简述在“振动物幅频特性测定”实验中，你采取了何种措施来实现改变阻尼率 β 值的，其取值大小与 β 的定性关系是什么？

采用电磁阻尼来改变了 β ，其取值大小取决于电路电阻 R ，即
$$\beta = \frac{1}{2\sqrt{J\omega}} \cdot \frac{(B\omega S)}{R_n + R}$$

87. 磁电式速度传感器中，速度线圈采取上下两绕组相串联的目的是什么？磁头件与被测物体固紧时有何要求？

串联的作用：①使两线圈的输出叠加，提高系统灵敏度

②当永磁体有弹跳时，保证其与两线圈的距离和相等，可以消除弹跳引起的误差。

固紧要求：①连接件的质量要小，刚度要大

②固紧刚度要大。

目的：提高系统固有频率。

88. 应变筒式测压传感器与应变管式测压传感器主要有哪些区别？

筒式应变测压传感器的弹性元件是一只钻了盲孔的圆筒内部装有测压油。当有压力作用时，应变片感受筒的周向应变。

管式应变测压传感器的弹性元件是一只应变管，它感受活塞上加载的集中应力、发生径向形变，应变片贴于径向上。这种传感器的固有频率的筒式的高。

89. 设某科研项目中需测定一设备的油缸压力，已知该压力最大值小于 300MP,压力持续时间为 6—8ms,用你所学知识组建两种类型的电测压力系统，要求：根据所选传感器真确选用二次 仪表及三次仪表，并简要说明各部分的功能。

…………筒式测压传感器→电阻应变仪→显示、记录设备↵

↓…………↓↵

将压力信号转换为…进行放大, ↵

调制过的电信号…相敏检波、滤波↵

方法二: ↵

压电式压力传感器→电荷放大器→显示记录设备↵

↓…………↓↵

将压力信号转变为电信号…对电荷量放大进行阻抗变换↵

90. 某测量系统的频率响应曲线,若输入周期信号 $x(t)=2\cos 10t+0.8\cos(100t-300^\circ)$,式求其响应 $y(t)$.

$$H(j\omega) = \frac{1}{1+0.05j\omega} \quad A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+(0.05\omega)^2}} \quad \varphi(\omega) = -\arctg(0.05\omega)$$

$$\therefore x(t) = 2\cos 10t + 0.8\cos(100t - 30^\circ)$$

$$\therefore y(t) = 1.79\cos 10(t - 26.6^\circ) + 0.157\cos 100(t - 79^\circ)$$

91 . 何为动态误差? 为了减少动态误差,在一、二阶测量系统中可采取哪些相应的措施?

动态误差: 当用理想关系 $y \approx k \cdot x(t - \tau)$ 来衡量实际系统时产生的误差。

$$\varepsilon(t) = x_s(t) - x(t) = \frac{y(t + \tau)}{k} - x(t)$$

对于一阶应减小时间常数 τ 使 ω_H 增大, 无失真测量的范围更广。

对于二阶系统应使 $\frac{\omega}{\omega_n} \ll 1, \xi \rightarrow 0.707$, 这样 ω_H 增大, 不失真测量的范围变大。

92. 写出理想二阶线性系统的运动微分方程及拉氏传递函数,并导出其幅频特性和相频特性的函数表达式。

二阶线性系统的运动方程为:

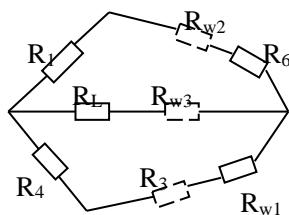
$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = f(t)$$

$$\text{拉氏传递函数为: } H(j\omega) = \frac{1}{1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2 + 2j\beta \frac{\omega}{\omega_n}}$$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2]^2 + (2\beta \frac{\omega}{\omega_n})^2}} \quad \varphi(\omega) = -\tan^{-1} \frac{2\beta \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2}$$

93. 用热电阻测温时，热电阻的阻值一般用电桥电路来测定。请解释在接线时为什么用“三线法”而不用“二线法”，请画出桥路图。

使用三线接法是为了减小引线电阻对测量的影响。如图： R_{w3} 是和负载 R_l 串联的，不影响电桥输出，而 R_{w1}, R_{w2} 分别在相邻桥臂中，它们对电桥输出的影响是相互抵消的。



94. 用镍铬—镍硅热电偶测炉温。当冷端温度 $T_0=40^\circ\text{C}$ 时，测得热电势为 $E(T, T_0)=39.17\text{mv}$ ，若冷端温度变为常温 20°C 测该炉温时，则应测得热电势为多少 mv ？（6分）

[附：已知该热电偶有 $E(40,0)=1.61\text{mv}$ ， $E(-40,0)=-1.50\text{mv}$ ， $E(20,0)=0.80\text{mv}$ ， $E(-20,0)=-0.77\text{mv}$]

$$\begin{aligned} E(T, 40^\circ) + E(40^\circ, 0^\circ) &= E(T, 20^\circ) + E(20^\circ, 10^\circ) \\ E(T, 20^\circ) &= E(T, 40^\circ) + E(40^\circ, 0^\circ) - E(20^\circ, 0^\circ) \\ &= 39.17 + 1.61 - 0.80 \\ &= 39.98 \end{aligned}$$

95. 何为动态误差？在使用一、二阶测量系统时为尽可能减小动态误差，我们可采取哪些措施？

动态误差：当用理想 $y = kx(t-2)$ 来测量实际系统时产生的误差

$$\varepsilon(t) = x_* - x(t) \quad \text{其中 } x_*(t) = \frac{y(t+\tau)}{k}$$

对于二阶系统：应使 $\omega \ll \omega_n$ $\xi \rightarrow 0.707$ 则才能减小动态误差，使系统的动态响应越好。

96. 试证明一阶线性测量系统的频率响应函数为 $H(j\omega) = \frac{1}{1 + jt\omega}$ 并推导出它的幅频特性

和相频特性的表达式。

\therefore 一阶系统微分方程为 $\tau \frac{dy}{dt} + y(t) = x(t)$

两边拉氏变换得 $\tau s Y(s) + Y(s) = Z(s)$

$$(\tau s + 1)Y(s) = Z(s)$$

$$H(s) = \frac{Y(s)}{Z(s)} = \frac{1}{1 + \tau s}$$

$$\therefore H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

$$\therefore A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad \varphi(\omega) = -\tan^{-1}(\omega\tau)$$

97. 在测量系统静态标定数据处理时，我们常采用最小二乘法求系统的参考工作直线，请简要说明最小二乘法的基本思想及在求参考工作直线时如何应用该方法。

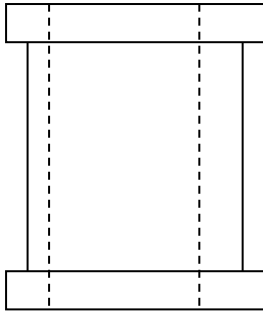
对于 N 点实验数据 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, N$) 可用直线方程 $\hat{y} = a + bx$ 来表述。最小二乘法思

想是：使 实验测值对回归直线的偏差平方和为最小即 $Q(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ 能使 Q (a, b)

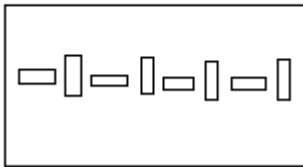
取最小值的直线应当是和各数据点有最佳拟和效果的直线。

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i = 0 \end{cases} \quad \text{即得 a, b 值 则 } \hat{y} = a + bx \text{ 为回归方程。}$$

98. 用一薄壁圆筒为弹性敏感元件，设计一应变式测力仪。要求在其外圆柱面上贴八个应变片，构成一能抗弯并能进行温度补偿测量桥路。(应变片的布贴位置可用圆筒的展开图表示。)



圆筒展开图



99. 用来衡量测量系统静态特性的主要指标有哪些？线性度的定义是什么？

常用静态指标有：灵敏度、迟滞、线性度、重复性、测量范围等。

线性度：测量系统的平均静态特性和参考线的最大偏差的绝对值 $|\Delta y_{\max}|$ 与满量程输出 y_{FS} 的百分化：

$$\Delta_L = \frac{|\Delta_{\max}|}{y_{FS}} \times 100\%$$

100. 至今尚无标准的线速度标准，在速度测量中我们常采用积分标定法来确定速度曲线的比例尺(灵敏度),试解释速度曲线积分标定的基本思想。

以数值积分定为例：物体在运动全过程或已知运动位移的局部段内速度对时间积分等于该段位移值。 $\int_0^{t_1} k_v y dt = S$

标定系数 $k_v = \frac{S}{\int_0^{t_1} y dt}$

101. 你对测量系统“不失真测量”的条件是如何理解的。

不失真测量：若要输出波形精确地与输入波形一样而没有幅值失真，相位失真，装置

的频率特性 $H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{x(j\omega)} = A_0 e^{-jt_0\omega}$

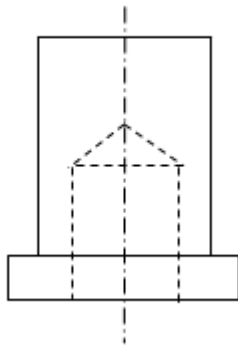
即使：幅频特性 $A(\omega) = \text{常数}$ ，频特性 $\varphi(\omega) = -t_0\omega$

102. 对二阶测量系统来说，为减少动态误差，一般采取哪些措施？

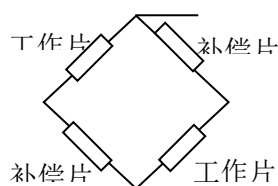
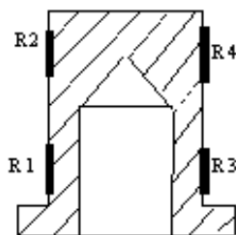
对二阶系统，为减小动态误差，一般应使 ω_n 尽量大，且 $\beta \rightarrow 0.707$ 。

这样系统的不失真测量频率上限 ω_H 就越大，系统的工作范围就越宽。

103. 图示具有温度补偿作用的筒式应变测压传感器的敏感元件——应变筒，请画出四片应变片的粘贴位置，注明应变片的粘贴方向，注明各应变片的作用，画出桥路图，并阐明理由。



补偿片是与工作片同型号，同阻值，并在同一温度场内的片子。由于电桥的作用，由温度引起的阻值变化被抵消，从而消除了温度的影响。



104. 试证明在阶跃信号输入到一阶系统 τ 秒后，系统输出将达到阶跃值的 63%。

(τ 为时间常数, $e^{-1}=0.37$)

证明：一阶系统的阶跃响应为： $h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$

$$h(\tau) = 1 - e^{-1} = 0.63 = 63\%$$

∴ 原命题待证。

105. 某二阶线性测量系统，阻尼率为 0.1，固有频率为 400Hz，试确定动态误差为不超过 5% 的输入频率范围。

$$\left| 1 - \frac{A(\omega)}{k_0} \right| \times 100\% \leq 5\%$$

$$\left| 1 - \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \right]^2 + 4\beta^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2}} \right| \times 100\% \leq 5\%$$

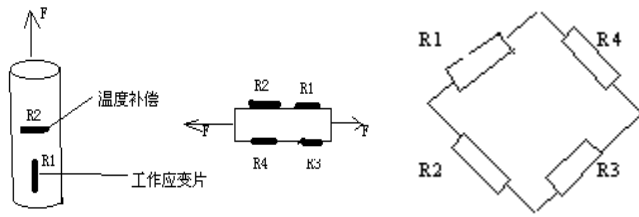
解之得 $\omega \leq 88.4 \text{ Hz}$

106. 为什么使用电阻应变片需要温度补偿？实现电路温度补偿的基本原理是什么？设一作为传感器敏感元件的杆件受拉伸作用，应当怎样贴片和接桥以实现温度补偿？请画出应变片的粘贴位置。注明各应变片的作用，应变片的粘贴方向并画出桥路图。



大多数电阻应变片当温度变化时，其阻值也会发生变化。这种特性对于利用应变片作敏感元件是不利的。因为我们无法判断应变片的电阻变化究竟是由于机械应变引起的，还是由于温度变化引起的为应变。因此使用应变片时应该进行温度补偿，消除温度对应变的影响。如果有电桥的相邻两个臂中，由于温度变化而产生大小相等的电阻变化，它们对输出的影响将相

互抵消。电桥输出就只有和它们所受的应变有关，从而起到温度补偿作用。



107. 热电偶标定方法可分为直接及间接标定方法，试解释热电偶直接标定和间接标定的基本思想。

直接标定：用工作热片偶和标准测温系统同时测定同一静态热源的强度，以确定工作热电偶的热电势和温度的对比关系。

间接标定：根据工作热电偶的分度表查出相应于标定温度的热电势的数值。调节可变电阻，从电位差计上读出该电压值，然后将它输入测量系统记录下来。

108. 现选用一个一阶系统的仪器去测一信号。已知该信号的最高频率为 200Hz。若要求其幅值误差小于 5%，试问应怎样要求该仪器的时间常数 τ ？在选定 τ 之后，试求信号频率分别为 100Hz 和 150Hz 时的相位误差。

$$\text{根据 } A(\omega) = |H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad \begin{cases} \delta = 1 - A(\omega) \leq 5\% \\ \omega = 2\pi f \end{cases}$$

当信号频率分别为 100HZ, 150HZ 时

$$\text{根据 } \varphi(\omega) = -\text{tg}^{-1} \omega\tau$$

$$\begin{aligned} \text{可求得 } f_1=100\text{HZ 时, } \varphi_1 &= \text{arctg}(-2\pi f_1 \tau) = \text{arctg}(-2\pi \times 100 \times 2.62 \times 10^{-4}) \\ &= -9.35^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2=150\text{HZ 时, } \varphi_1 &= \text{arctg}(-2\pi f_1 \tau) \\ &= \text{arctg}(-2\pi \times 150 \times 2.62 \times 10^{-4}) \\ &= -13.87^\circ \end{aligned}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = -9.35^\circ + 13.87^\circ = 4.52^\circ$$

109. 周期信号的频谱有哪三个特性？

离散性：收敛性， 谐波性

110. 什么叫线性度？线性度一般是如何表示的？

线性度 ΔL 定义为测量系统的平均静态特性和参考线的最大偏差的绝对值 $|\Delta y_{\max}|$ 与满

量程输出 y_{FS} 的自分化:

$$\Delta_L = \frac{|\Delta y_{\max}|}{y_{FS}} \times 100\%$$

111. 叙述采样定理，并说明你对该定理是如何理解的。

采样定理：对于一个有限频谱($-\omega_{\max} < \omega < \omega_{\max}$)的连续信号，当采样频率

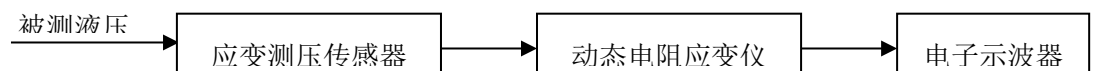
$\omega_s \geq 2\omega_{\max}$ 时，采样函数才能不失真地恢复到原来的连续信号。

采样定理规定了最低的采样频率 $\omega_s = 2\omega_{\max}$ ，若低于最低采样频率，则会产生混叠现象。

然而在实际使用时，由于信号 $f(t)$ 的最高频率一般难以确定。特别是有噪声时，因而实际的采样频率之于理论值，一般为信号最高频率的 5~10 倍。

112. 一般测试系统包括哪些测量环节？以测量某液压为例，用框图表明组成测量系统选用的仪器，并简要说明各仪器的作用。

一般测试系统包括以下环节：①传感器②中间变换电路③记录显示设备



应变测压传感器：将被测压力转变为电阻的变化
动态电阻应变仪：将电阻变化，进一步转变为电流或电压的变化，并放大为适合的幅度。
电子示波器：显示记录液压的变化过程。

113. 根据热电偶的工作定理，热电偶能产生热电势的基本条件有哪些？

热电偶产生热电势的基本条件为：必须有两种材料不同的导体组成闭合回路，且接触点温度不相同，存在温度差，才能产生热电势。

114. 简述直流电桥和交流电桥的异同点。

相同点：交直流电桥都是电阻应变片的信号调理电路。电路测量精度高，且可进行温度补偿。

一般输出端多接至应变仪的放大器，且输入电阻 R_g 远大于桥臂电阻。

不同点：直流电桥的桥臂为电阻，而交流电桥可为电阻、电感、电容，直流电桥输出是电流时，不用放大器，而且接与显示记录设备相连。直流电桥的输出与应变片的电阻变化率和电源有关。交流电桥没有电阻平衡装置和电容平衡装置。