机械工程测试技术 考点复习

本文档根据《测试技术复习提纲.pdf》中的考点，在您提供的课件中寻找并整理了对应的知识点。

第一部分：软件 (算法) 部分

一、 基本概念

1. **测试的定义**
    - 测量和试验技术的统称。
2. **测试的目的**
    - 获取被测对象的有用信息。
3. **信息**
    - 事物存在的方式或运动状态,以及这种方式或状态的直接或间接的表述。
4. **信号**
    - 信号是信息的载体。信号是随时间或空间变化的物理量。测试技术中常将力、温度等非电信号转换为电信号进行测量,因为电信号易于变换、处理和传输。
5. **信号处理**
    - 对信号的某种加工和变换,以获取有用信息的手段。包括消除多余成分,提高信噪比,得到易于理解和表征的特征参数。
6. **测试过程和测试系统的一般组成**
    - 一个典型的测试系统（如 `测试技术复习提纲.pdf` 中图示）通常包括：
        - **被测对象**：信息源。
        - **传感器**：获取信息，并将其转换为（通常是）电信号。
        - **信号调理**：对传感器输出的信号进行加工，如放大、滤波、调制等。
        - **信号处理**：对信号进行变换和分析，提取有用信息。
        - **显示/记录**：将结果以可见形式呈现或存储。
        - **观察者**：信息的最终接收者。
    - 系统还可能包括**激励装置**（对被测对象施加输入）和**反馈、控制**环节。
7. **各功能模块的作用**
    - **传感器**：能感知外界信息并能按一定规律将这些信息转换成可用信号的机械电子装置。
    - **信号调理**：功能包括信号变换、放大、调制解调、滤波等。
    - **信号处理**：对信号进行加工和变换,以获取有用信息的手段,如提高信噪比、提取特征参数等。
8. **测试系统设计的基本原则**
    - ① 各环节输入输出之间必须一一对应；
    - ② 尽量不失真；
    - ③ 尽可能减少和消除各种干扰。

9. **信号的分类**
    - **确定性信号与随机信号**：
        - 确定性信号：可以用明确的数学关系式描述的信号。
        - 随机信号（非确定性信号）：无法用数学关系式描述，只能用概率统计方法描述。
    - **连续信号与离散信号**：
        - 连续信号：在连续的时间范围内有定义。
        - 离散信号：仅在一些离散的瞬间才有定义。
        - 数字信号：时间和幅值均离散的信号。
    - **能量信号与功率信号**：
        - 能量信号：总能量 $W(t) = \lim_{T\to\infty} \int_{-T}^{T} x^2(t)dt < \infty$ 的信号。
        - 功率信号：总能量无限，但平均功率 $P_{av} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t)dt < \infty$ 的信号。
    - **周期信号、非周期信号、准周期信号**：
        - 周期信号：满足 $x(t) = x(t + nT_0)$。
        - 准周期信号：由多个频率成分叠加而成，但不存在公共周期（频率比为无理数）。
        - 非周期信号：不具有周期重复性的信号。
10. **时域描述**
    - 以时间 t 为独立变量，描述信号幅值随时间的变化特征。
    - **优点**：形象、直观。
    - **缺点**：不能明显揭示信号的内在结构（频率组成、幅值大小和相位大小）。
11. **频域描述**
    - 应用傅里叶级数（FS）或傅里叶变换（FT），以频率 f（或 ω）为独立变量，建立信号幅值、相位与频率之间的关系。
    - **优点**：揭示了信号内在的频率组成及其幅值和相角的大小。
    - **频谱图**：包括**幅频谱**（幅值-频率图）和**相频谱**（相位-频率图）。
12. **时域描述与频域描述的关系**
    - 两者是等价的，可以相互转换，蕴涵的信息完全相同。
    - 两者各有用武之地，不能单纯地说哪一个更好。
    - **Heisenberg测不准定理**：在时频分析中，时间和频率的最高分辨率不能同时达到最小值。想得到较高的频率分辨率，就要降低时间分辨率，反之亦然。

二、 FS (傅里叶级数)

13. **FS展开的条件 (Dirichlet条件)**
    - 在一个周期内：
        a. 连续，或只有有限个第一类间断点；
        b. 只有有限个极值点；
        c. 绝对可积。
14. **FS的三角基展开 (定义式)**

- $x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t))$
- 其中系数为：
  - **直流分量**： $a_0 = \frac{2}{T_0}\int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t)dt$
  - **余弦分量**： $a_n = \frac{2}{T_0}\int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t)\cos(n\omega_0 t)dt$
  - **正弦分量**： $b_n = \frac{2}{T_0}\int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t)\sin(n\omega_0 t)dt$

15. **FS的复指数基展开 (定义式)**
    - $x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t}$
    - 其中系数为： $C_n = \frac{1}{T_0}\int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t)e^{-jn\omega_0 t}dt$
    - C_n 和 C_{-n} 互为共轭 ($C_n = C_{-n}^*$)。
16. **周期信号频谱的特性**
    - **离散性**：周期信号的频谱是离散的谱线。
    - **谐波性**：谱线只出现在基波频率 ω_0 的整数倍上 ($n\omega_0$)。
    - **奇偶性**：（对于实信号）复指数展开的**幅值谱** $|C_n|$ 为偶函数；**相位谱** ϕ_n 为奇函数。

三、 FT (傅里叶变换)

17. **传统FT存在的条件**
    - 满足Dirichlet条件，并且在无限区间上绝对可积： $\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|dt < \infty$。
    - (通过引入 $\delta(t)$ 函数，可使周期信号、随机信号等不满足此条件的信号也获得FT表达式。)
18. **FT的定义式**
    - **角频率 ω 形式**：
      - 正变换： $X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t}dt$
      - 反变换： $x(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t}d\omega$
    - **频率 f 形式** (应用更方便)：
      - 正变换： $X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft}dt$
      - 反变换： $x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft}df$
    - **量纲**：FT的量纲是**频率密度函数**（例如 V/Hz），而FS的量纲是**幅值**（例如 V）。
19. **FT的若干性质 (以 f 形式为例)**
    - **1. 奇偶虚实性**：
      - 若 $x(t)$ 为实函数 $\implies Re[X(f)]$ 为偶函数, $Im[X(f)]$ 为奇函数。
      - 若 $x(t)$ 为实偶函数 $\implies X(f)$ 为实偶函数。
      - 若 $x(t)$ 为实奇函数 $\implies X(f)$ 为虚奇函数。
    - **2. 线性叠加性**： $ax(t) + by(t) \leftrightarrow aX(f) + bY(f)$。
    - **3. 对称性**：若 $x(t) \leftrightarrow X(f)$, 则 $X(t) \leftrightarrow x(-f)$。
    - **4. 尺度改变**： $x(kt) \leftrightarrow \frac{1}{|k|}X(\frac{f}{k})$。
    - **5. 时移、频移**：
      - 时移： $x(t \pm t_0) \leftrightarrow X(f)e^{\pm j2\pi ft_0}$。

- 频移：$x(t)e^{\mp j2\pi f_0 t} \leftrightarrow X(f \pm f_0)$。
- **6. 翻转、共轭**：
  - 翻转：$x(-t) \leftrightarrow X(-f)$。
  - 共轭：$x^*(t) \leftrightarrow X^*(-f)$。
- **7. 卷积**：
  - 时域卷积：$x_1(t) * x_2(t) \leftrightarrow X_1(f)X_2(f)$。
  - 频域卷积：$x_1(t)x_2(t) \leftrightarrow X_1(f) * X_2(f)$。
- **8. 微分积分特性**：
  - 时域微分：$\frac{d^n x(t)}{dt^n} \leftrightarrow (j2\pi f)^n X(f)$。
  - 时域积分：$\int_{-\infty}^{t} x(t)dt \leftrightarrow \frac{1}{j2\pi f}X(f)$。

20. **典型信号的FT**
- $\delta(t)$ (单位脉冲)：$\leftrightarrow 1$
- 1 (直流)：$\leftrightarrow \delta(f)$
- $u(t)$ (单位阶跃)：$\leftrightarrow \frac{1}{2}\delta(f) + \frac{1}{j2\pi f}$
- $sgn(t)$ (符号函数)：$\leftrightarrow \frac{1}{j\pi f}$
- $w(t)$ (矩形窗)：$\leftrightarrow T \cdot \mathrm{sinc}(\pi f T)$ (其中T为窗宽)
- $\cos(2\pi f_0 t)$：$\leftrightarrow \frac{1}{2}[\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)]$
- $\sin(2\pi f_0 t)$：$\leftrightarrow \frac{j}{2}[\delta(f + f_0) - \delta(f - f_0)]$
- $Comb(t, T_s)$ (梳状函数)：$\leftrightarrow \frac{1}{T_s}\sum_{k=-\infty}^{\infty}\delta(f - \frac{k}{T_s})$

四、 信号的数字化处理

21. **数字式测试系统的组成及各部分的作用**
- **组成**：[传感器] -> [信号调理 (预处理)] -> [A/D转换] -> [数字信号处理器/计算机] -> [结果显示]。
- **各部分作用**：
  - **预处理 (信号调理)**：进行电压幅值调理、滤波（抗混叠、提信噪比）、隔直、解调等。
  - **A/D 转换**：进行采样、量化并转为二进制数。
  - **数字信号处理器**：对数字序列进行运算，如截断、加窗、数字滤波、FFT等。
  - **结果显示**：显示、打印或经D/A转换后绘图。

22. **信号数字化处理的四个基本过程及问题与对策**
- **1. 采样过程 (时域离散)**
  - **问题**：**频域混叠 (Aliasing)**。高频信号被误认为是低频信号。
  - **原因**：采样信号的频谱是原始频谱以采样频率 f_s 为周期重复叠加而成。如果 $f_s < 2f_{max}$（f_{max} 为信号最高频率），频谱将发生重叠。
  - **对策**：
    a. **采样定理**：采样频率必须 $f_s \geq 2f_{max}$。
    b. **抗混叠滤波器**：采样前使用低通滤波器滤除高于 $f_s/2$ 的频率成分。

- **2. 量化过程**
  - **问题**：**量化噪声/量化误差**。
  - **原因**：将连续的幅值用离散的电平表示，A/D转换器的位数 b 有限，导致误差。最大量化误差为 $e = D/2^b$ (D为动态范围)。
  - **对策**：**提高A/D位数** (b)。
- **3. 时域信号截断**
  - **问题**：**谱泄露 (Spectral Leakage)**。
  - **原因**：截断(乘以矩形窗)在时域是相乘，在频域是卷积 ($X(f) * W(f)$)。矩形窗的频谱 $W(f)$ (Sinc函数) 具有无限宽的旁瓣，卷积导致能量从主瓣“泄漏”到旁瓣，使频谱失真。
  - **对策**：
    a. **提高采样长度** T (即矩形窗宽度)，使Sinc函数主瓣变窄。
    b. **选择合理的窗函数**：选用旁瓣低的窗函数（如Hanning窗、Hamming窗）代替矩形窗，以抑制泄漏。
- **4. 频域离散过程 (DFT)**
  - **问题**：**栅栏效应 (Picket-fence Effect)**。
  - **原因**：DFT在频域进行采样，频谱仅在离散的频率点 $k\Delta f$ 上有值，如同透过栅栏看频谱，可能丢失采样点之间的真实峰值。
  - **对策**：
    a. **整周期采样**：(针对周期信号) 使截断长度 T 恰好是信号周期 T_0 的整数倍 ($T/T_0 = \text{整数}$)。
    b. **补零 (Zero-padding)**：(不提高真实分辨率，但使谱线加密) 增加 N (总点数)，减小 $\Delta f = f_s/N$，使栅栏更密。

23. **DFT与FFT**
- **DFT (离散傅里叶变换)**：
  - 正变换： $X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$
  - 反变换： $x(n) = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} X(k)e^{j\frac{2\pi}{N}kn}$
- **FFT (快速傅里叶变换)**：是DFT的一种快速算法。
- **关系与效率**：FFT利用旋转因子 W_N 的周期性和对称性，通过“蝶形运算” 将N点DFT分解为M ($N = 2^M$) 级蝶形运算。
  - DFT计算量（复数乘法）： $O(N^2)$。
  - FFT计算量（复数乘法）： $O(N\log_2 N)$ (具体为 $\frac{N}{2}\log_2 N$)。
  - **效率提升**：N=1024时，FFT比DFT快约204.8倍。

五、 相关分析与功率谱

24. **相关系数** ρ_{xy}
- **定义**： $\rho_{xy} = E[(x-\mu_x)(y-\mu_y)]/(\sigma_x\sigma_y)$。

- **物理含义**：表示两个随机变量 x 和 y 的**线性**关联程度。$|\rho_{xy}| \leq 1$。$|\rho_{xy}| = 1$ 表示完全线性相关；$|\rho_{xy}| = 0$ 表示线性无关。

25. **自相关函数 $R_x(\tau)$**
    - **定义**：（各态历经信号） $R_x(\tau) = E[x(t)x(t+\tau)] = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T}\int_0^T x(t)x(t+\tau)dt$。
    - **物理含义**：描述信号在 t 时刻和 $t+\tau$ 时刻的相似性，反映信号的内在周期性。
    - **性质**：
        a. **有界性**： $R_x(\tau)$ 受均值 μ_x 和方差 σ_x 限制。
        b. **$\tau = 0$ 处的值**： $R_x(0) = E[x^2(t)] = \psi_x^2$ (信号的平均功率/均方值)。
        c. $\tau \to \infty$：若信号不含周期成分， $\tau \to \infty$ 时 $R_x(\tau) \to \mu_x^2$。
        d. **偶函数**： $R_x(\tau) = R_x(-\tau)$。
        e. **周期性**：若 $x(t)$ 是周期的， $R_x(\tau)$ 也是同频率的周期函数，但丢失了相位信息。
26. **互相关函数 $R_{xy}(\tau)$**
    - **定义**： $R_{xy}(\tau) = E[x(t)y(t+\tau)] = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T}\int_0^T x(t)y(t+\tau)dt$。
    - **物理含义**：描述信号 $x(t)$ 和信号 $y(t)$ 在 τ 时移下的相似性。
    - **性质**：
        a. **有界性**： $R_{xy}(\tau)$ 受 $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ 限制。
        b. **频率**：**同频相关，不同频不相关**。若 $x(t)$ 和 $y(t)$ 频率不同， $R_{xy}(\tau) = 0$。
        c. **对称性**：非偶函数非奇函数， $R_{xy}(\tau) = R_{yx}(-\tau)$。
        d. **峰值时移**： $R_{xy}(\tau)$ 的峰值 τ_m 偏离原点，反映了 $y(t)$ 相对于 $x(t)$ 的时延。
27. **自功率谱 $S_x(f)$ (PSD)**
    - **定义**：（维纳-辛钦定理）自相关函数的傅里叶变换： $S_x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau)e^{-j2\pi f\tau}d\tau$。
    - **物理含义**：信号的平均功率在频率上的分布密度。$S_x(f)$ 是**双边谱**； $G_x(f) = 2S_x(f)$ ($f \geq 0$) 是**单边谱**。
    - **应用**：
        - a) 反映信号的**频率结构**。
        - b) 反映系统的**幅频特性**： $|H(f)|^2 = S_y(f)/S_x(f)$。
        - c) **检测周期成分**：周期信号在功率谱上表现为陡峭的峰值。
28. **互功率谱 $S_{xy}(f)$ (CSD)**
    - **定义**：互相关函数的傅里叶变换： $S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau)e^{-j2\pi f\tau}d\tau$。
    - **应用**：
        - a) 求取系统的**频响函数 $H(f)$**： $H(f) = S_{xy}(f)/S_x(f)$。
29. **相干函数 $\gamma_{xy}^2(f)$**
    - **定义**： $\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_x(f)S_y(f)}$。
    - **物理含义**： $0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1$。表示在 f 频率上，输出信号 $y(t)$ 中有多大比例的功率是由输入信号 $x(t)$ 引起的。
30. **功率谱/能量谱 与 $X(f), Y(f)$ 的关系**
    - **能量谱 (Energy Spectrum)** (用于能量信号)： $|X(f)|^2$。

- **功率谱 (Power Spectrum)** (用于功率信号)： $S_x(f) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T}|X(f)|^2$。
- **互功率谱 (Cross-Spectrum)**： $\hat{S}_{xy}(f) = \frac{1}{T}X^*(f)Y(f)$。

31. **用功率谱分析的优势**
    - 功率谱与 $|X(f)|$ 的关系是平方关系。
    - **优势**：信噪比高、谱线明显。平方项使得强信号更突出，弱噪声被压制。
32. **巴塞伐尔 (Parseval) 公式**
    - **表达式**： $\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df$。
    - **物理含义**：信号在时域中的**总能量**等于其在频域中的**总能量**。
    - **广义公式**： $\int_{-\infty}^{\infty} x_1(t)x_2(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} X_1(f)X_2(-f)df$。
33. **功率谱/能量谱 与 $H(f)$ 的关系**
    - $S_y(f) = |H(f)|^2 S_x(f)$
    - $S_{xy}(f) = H(f)S_x(f)$
34. **线性系统的相干函数 $\gamma_{xy}^2(f)$**
    - 对于理想的线性系统 (无噪声、无其他输入)，$\gamma_{xy}^2(f) = 1$。
    - 若 $\gamma_{xy}^2(f) < 1$，表明：
        a. 测试中有外界**噪声**干扰；
        b. 输出 $y(t)$ 是 $x(t)$ 和**其它输入**的综合输出；
        c. 系统是**非线性**的。
35. **相关分析的应用**
    - **① 相关滤波 (抗噪)**：利用“同频相关，不同频不相关”的原理。
        - *原理*：设 $y(t) = x'(t) + n(t)$，其中 $x'(t)$ 是 $x(t)$ 经过系统的响应，$n(t)$ 是噪声。若输入 $x(t)$ 与噪声 $n(t)$ 独立无关，则 $R_{xn}(\tau) = 0$。
        - $R_{xy}(\tau) = R_{x(x'+n)}(\tau) = R_{xx'}(\tau) + R_{xn}(\tau) = R_{xx'}(\tau)$。噪声项被相关运算消除。
    - **② 时延估计 (Time Delay Estimation)**：利用互相关函数的峰值偏离 $\tau = 0$ 的位置 τ_m 来测量延迟。
        - *管道检漏*：泄漏点S到两个传感器1和2的距离分别为 $L - S$ 和 $L + S$。信号到达时间 t_2, t_1 不同。 $\tau_m = t_1 - t_2$。若波速为V, $S = \frac{1}{2}V\tau_m$。
        - *相关测速*：两个传感器相距 d，测量钢带。$y(t) = x(t - \tau_d)$。互相关峰值在 τ_d 处。速度 $V = d/\tau_d$。

第二部分：硬件模块部分

一、 传感器

36. **定义**
    - 能感知外界信息并能按一定规律将这些信息转换成可用信号的机械电子装置。
    - **构成**：由**敏感元件**（感受被测物理量）和**转换结构**（或辅助器件，如放大、阻抗匹配）组成。

37. **分类**
    - **按被测量**：位移、力、温度、压力、流量传感器等。
    - **按工作原理**：机械式、电气式、光学式等。
    - **按信号变换特征**：**物性型**（利用材料物理性质，如压电效应）；**结构型**（利用结构参量变化，如电容式）。
    - **按能量关系**：**能量转换型**（无源型/主动，将被测能量直接转换，如热电偶、压电式）；**能量控制型**（有源型/被动，用被测量控制外部辅助能量，如电阻应变计）。
38. **工作原理 (关键效应)**
    - **电阻应变效应**：导体产生机械变形时，其电阻值相应发生变化。
    - **电磁感应**：运动线圈在磁场中切割磁力线，或线圈所在磁场磁通变化时，产生感应电动势 $e = -N\frac{d\Phi}{dt}$。
    - **涡流效应**：金属导体置于变化的磁场中，导体内产生感应电流（涡流）。
    - **压电效应**：某些晶体在外力作用下，表面产生电荷。
    - **霍尔效应**：通电半导体在磁场中，在垂直于电场和磁场的方向产生横向电场（霍尔电场）。
39. **常用传感器的优缺点及应用**
    - **电阻式 (电位器)**
        - *优点*：结构简单，性能稳定，输出信号大。
        - *缺点*：有摩擦，动态响应差，分辨力低，噪声大。
        - *应用*：线位移、角位移测量。
    - **电阻式 (应变片)**
        - *优点*：精度高，频响宽，体积小，测量范围广。
        - *缺点*：产生漂移（如温度漂移）。
        - *应用*：直接测应变；配合弹性元件测量力、压力、加速度、扭矩（如电子称）。
    - **电感式 (可变磁阻式、涡流式、互感式)**
        - *优点*：(涡流式) 非接触测量，抗油污；(互感式/LVDT) 精度高，线性范围大，稳定性好。
        - *缺点*：(气隙型) 非线性；(LVDT) 含机械结构，频率响应较低。
        - *应用*：微小位移（涡流式），较大位移（LVDT），测速，接近开关，无损探伤。
    - **电容式**
        - *优点*：灵敏度高，动态特性好（固有频率高），结构简单，可非接触测量。
        - *缺点*：输出阻抗高，负载能力弱，易受电缆分布电容影响。
        - *应用*：测微小位移、加速度（极距变化型）；测液位、厚度（介质变化型）；麦克风。
    - **压电式**
        - *优点*：无源型，体积小，刚性好，频响宽，灵敏度高。
        - *缺点*：**不能测静态**，低频特性差。需高输入阻抗电路。
        - *应用*：**动态测量**，如冲击力、振动加速度，超声波换能器（探伤、测距）。
    - **磁电式**
        - *优点*：**无需外加电源**，输出信号大，可远传。
        - *缺点*：**无法测量静态参量**，对磁性干扰敏感。

    - *应用*：测速发电机（测线速度、角速度），测转速。

40. **传感器的选用原则**
    - **灵敏度**：并非越高越好，需与测量范围折衷。
    - **响应特性**：必须满足不失真测试条件（幅频恒定，相频线性）。
    - **线性范围**：决定传感器的量程。
    - **可靠性**：注意温度、湿度、蠕变、干扰等对传感器性能的影响。
    - **精确度**：在满足测试目的前提下平衡精度与价格。
    - **测量方式**：接触式 vs 非接触式，在线 vs 非在线等。

二、 放大滤波

41. **放大器类型及特性**
    - **理想特性**：足够的放大倍数、**高输入阻抗**、**低输出阻抗**、**高共模抑制比 (CMRR)**、低温漂、低噪声。
    - **类型**：
        - **同相放大器**：增益 $A = 1 + R_2/R_1$。优点：输入阻抗高。缺点：引入共模成分。
        - **反相放大器**：增益 $A = -R_2/R_1$。优点：不引入共模。缺点：输入阻抗低（易产生负载效应）。
        - **差分放大器**： $u_o = G(u_{i2} - u_{i1})$。优点：放大差模信号，抑制共模成分。
        - **仪表放大器**：(如INA114)，具有高输入阻抗和高CMRR。
42. **滤波器类型及特性**
    - **类型**：低通 (LP)、高通 (HP)、带通 (BP)、带阻 (BS)。
    - **特性**：
        - **带宽 (Bandwidth)**：决定频率分辨力。
        - **品质因子 Q** (带通)： $Q = f_0/B$。Q值越高，选择性越好。
        - **滚降速率**：如一阶RC滤波器为 -6dB/倍频程 (或-20dB/十倍频程)。

三、 传输环节

43. **调制与解调**
    - **调制**：使载波信号（高频）的参数（幅值、频率、相位）随调制信号（低频）变化的过程。
    - **解调**：从已调波中恢复原始调制信号的过程。
    - **类型**：调幅 (AM)、调频 (FM)、调相 (PM)。
    - **应用**：
        a. **便于放大**：将低频缓变信号（如应变、温度信号）调制到高频，以便使用交流放大器。
        b. **信号传输**：如广播，用不同载波频率传输多路信号，避免干扰。
        c. **传感器测量**：电容、电感传感器常使用调频电路将被测量转换为频率变化。

四、 电桥

44. **电桥类型、输出方式及应用**
    - **类型**：直流电桥（激励为直流）和交流电桥（激励为交流）。
    - **输出方式**：
        - **平衡桥**：调节桥臂使输出 $U_y = 0$，通过调节臂的阻值读数。
        - **不平衡桥**：测量 $U_y \neq 0$ 的输出电压。
    - **直流电桥** (常用于电阻应变片)：
        - *平衡条件*：$R_1R_3 = R_2R_4$。
        - *单臂 (Quarter-bridge)*：$\frac{u_y}{u_0} \approx \frac{1}{4}\frac{\Delta R}{R}$。灵敏度低，有非线性误差。
        - *半桥差动 (Half-bridge)*：$\frac{u_y}{u_0} = \frac{1}{2}\frac{\Delta R}{R}$。灵敏度提高，消除非线性。
        - *全桥差动 (Full-bridge)*：$\frac{u_y}{u_0} = \frac{\Delta R}{R}$。灵敏度最高（单臂的4倍），消除非线性。
    - **交流电桥** (常用于电感、电容传感器)：
        - *平衡条件*：$Z_1Z_3 = Z_2Z_4$。这要求**模**和**相角**同时平衡（即实部和虚部分别相等）。
    - **应用**：将 R, L, C 的变化转换为电压输出。最常用于应变片测量力、压力、应变。

第三部分：系统部分

一、 测试系统的基本特性

45. **静态特性**
    - **定义**：指输入量为静态（不随时间变化）时，系统输出与输入的关系。
    - **静态指标**：线性度、灵敏度、分辨力、迟滞、重复性、漂移等。 (定义见硬件部分第38条)
46. **动态特性**
    - **① 频响函数 $H(j\omega)$**：
        - **定义**：在频率域中描述系统的动态特性。反映系统在各个频率正弦信号激励下的**稳态响应特性**（幅值比和相位差）。
        - **与微分方程的关系**：
          系统微分方程：$a_n y^{(n)} + ... + a_0 y = b_m x^{(m)} + ... + b_0 x$
          对应传递函数 $H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + ... + b_0}{a_n s^n + ... + a_0}$
          频率响应函数：$H(j\omega) = H(s)|_{s=j\omega}$
    - **② 一、二阶子系统与整体的关系**：
        - **串联**：总传递函数 $H(s) = H_1(s)H_2(s)\cdots H_n(s)$。总幅频特性 $A(\omega) = \prod A_i(\omega)$；总相频特性 $\varphi(\omega) = \sum \varphi_i(\omega)$。
        - **并联**：总传递函数 $H(s) = \sum H_i(s)$。
    - **③ 为什么h(t)叫单位冲击响应函数?**
        - 因为 $h(t)$ 是系统对**单位脉冲输入** $\delta(t)$ 的时域响应。

- *推导*：输入 $x(t)=\delta(t)$，其傅里叶变换 $X(\omega)=1$。
- 频域输出 $Y(\omega)=H(\omega)X(\omega)=H(\omega)$。
- 时域输出 $y(t)=F^{-1}[Y(\omega)]=F^{-1}[H(\omega)]=h(t)$。

47. **负载特性**
    - **定义**：后接环节成为前面环节的负载，两者间的能量交换和相互影响改变了被测量的数值，这种效应称为负载效应。
    - **对策**：
      a. **提高**负载的**输入阻抗**；
      b. 插入高输入阻抗、低输出阻抗的**放大器**进行阻抗变换；
      c. 使用**负反馈**或**零位测量**法。
48. **抗干扰特性**
    - **干扰源类型**：**电磁干扰**（辐射）、**信道干扰**（元器件噪声）、**电源干扰**（波动）。
    - **对策**：
      - *电源*：使用交流稳压器、隔离稳压器、电源滤波器。
      - *信道*：优化电路板设计、使用双绞线、光耦隔离。
      - *电磁*：**屏蔽** (Shielding)。
      - *接地*：采用合理的接地方式（如单点接地），隔离模拟地和数字地。

二、 非失真测试

49. **非失真测试条件**
    - **时域条件**：输出 $y(t)$ 仅在幅值和时间上与输入 $x(t)$ 有差异，波形完全相似。

$$y(t)=A_0x(t-t_0)$$

(A_0 为常数, t_0 为常数延迟)

    - **频域条件**：对上式进行傅里叶变换 $Y(\omega)=A_0X(\omega)e^{-j\omega t_0}$，得到 $H(\omega)=\frac{Y(\omega)}{X(\omega)}=A_0e^{-j\omega t_0}$。
      a. **幅频特性** $|H(\omega)|=A_0$ (在信号有效带宽内为常数)。
      b. **相频特性** $\varphi(\omega)=-\omega t_0$ (与频率 ω 成线性关系，且过原点)。

三、 线性系统的特点

50. **测试系统的表征方法**
    - **时域**：常系数微分方程，脉冲响应函数 $h(t)$。
    - **复数域 (s域)**：传递函数 $H(s)$。
    - **频率域**：频率响应函数 $H(j\omega)$。
51. **线性系统特性**
    - **比例叠加特性**： $f[\alpha x_1(t)+\beta x_2(t)]=\alpha f[x_1(t)]+\beta f[x_2(t)]$。
    - **微分特性**：若 $x(t)\to y(t)$，则 $dx(t)/dt\to dy(t)/dt$。

- **积分特性**：若 $x(t) \to y(t)$ (且初始状态为0)，则 $\int x(t)dt \to \int y(t)dt$。
- **频率保持特性**：若输入为简谐信号（频率 f_0），则其稳态输出也为同频率（ f_0）的简谐信号（仅幅值和相位可能改变）。