

第二章 测试装置的基本特性

2.1 概述

测量装置的基本特性决定了测量的准确性

- 基本特性
 - 静态特性
 - 动态特性
 - 负载特性
 - 抗干扰特性

2.1 概述

1. 静态特性

1) 定义

在静态测量情况下描述实际测量装置与理想时不变线性系统的接近程度。

2) 通过静态标定来确定

3) 静态标定：在一个输入（被测量）变化、其他可能的输入严格保持不变的情况下进行的实验过程。

2.1 概述

2. 标准和标准传递

3. 动态特性

被测量即输入量随时间快速变化时，测量装置的输入与输出之间动态关系的数学描述。

- (1) 微分方程
- (2) 传递函数
- (3) 频响函数
- (4) 单位脉冲响应函数

2.1 概述

4. 负载特性/负载效应

测量装置接触被测物体时，要从被测物体中吸收能量或产生干扰，使被测量偏离原有的量值，从而不可能实现理想的测量。

5. 抗干扰性

2.1 概述

6 对测试装置(系统)的基本要求

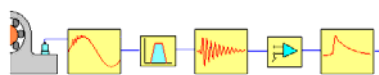
系统：由若干个相互作用、相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体。

测试装置/系统：执行测试任务的传感器、仪器和设备的总称。

简单测试系统(光电池)



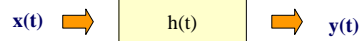
复杂测试系统(轴承缺陷检测)



6 对测试装置的基本要求

1) 系统分析的内容

无论复杂度如何，把测量装置作为一个系统来看待。问题简化为处理输入量 $x(t)$ 、系统传输特性 $h(t)$ 和输出 $y(t)$ 三者之间的关系。



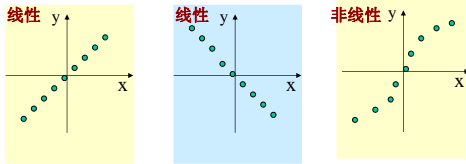
系统分析中的三类问题：

- 1) 当输入、输出是可测量的(已知)，可以通过它们推断系统的传输特性。(系统辨识)
- 2) 当系统特性已知，输出可测量，可以通过它们推断导致该输出的输入量。(反求)
- 3) 如果输入和系统特性已知，则可以推断和估计系统的输出量。(预测)

6.对测试装置的基本要求

2) 对测试系统基本要求

理想的测试系统应该具有单值的、确定的输入—输出关系。对于每一输入量都应该只有单一的输出量与之对应。知道其中一个量就可以确定另一个量。其中以输出和输入成线性关系最佳。



广东工业大学 机电工程学院 2006年3月9日星期四 00:13

2.1 概述

7. 线性系统

1). 定义

系统输入 $x(t)$ 和输出 $y(t)$ 间的关系可以用常系数线性微分方程来描述

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_n x^{(n)}(t) + b_{n-1} x^{(n-1)}(t) + b_1 x'(t) + b_0 x(t)$$

一般在工程中使用的测试装置都是线性系统。

2). 线性系统性质

a) 叠加性

系统对各输入之和的输出等于各单个输入的输出之和，即

$$\text{若 } x_1(t) \rightarrow y_1(t), x_2(t) \rightarrow y_2(t)$$

$$\text{则 } x_1(t) \pm x_2(t) \rightarrow y_1(t) \pm y_2(t)$$

广东工业大学 机电工程学院 2006年3月9日星期四 00:13

2) 线性系统性质

b) 比例性

常数倍输入所得的输出等于原输入所得输出的常数倍，即

$$\text{若 } x(t) \rightarrow y(t)$$
$$\text{则 } kx(t) \rightarrow ky(t)$$

c) 微分性

系统对原输入信号的微分等于原输出信号的微分，即

$$\text{若 } x(t) \rightarrow y(t)$$
$$\text{则 } x'(t) \rightarrow y'(t)$$

d) 积分性

当初始条件为零时，系统对原输入信号的积分等于原输出信号的积分，即

$$\text{若 } x(t) \rightarrow y(t)$$
$$\text{则 } \int x(t) dt \rightarrow \int y(t) dt$$

广东工业大学 机电工程学院 2006年3月9日星期四 00:13

2. 线性系统性质

e) 频率保持性

若系统的输入为某一频率的谐波信号，则系统的稳态输出将为同一频率的谐波信号，即

$$\text{若 } x(t) = A \cos(\omega t + \phi_x)$$
$$\text{则 } y(t) = B \cos(\omega t + \phi_y)$$

线性系统的这些主要特性，特别是符合叠加原理和频率保持性，在测量工作中具有重要作用。

广东工业大学 机电工程学院 2006年3月9日星期四 00:13

2.1 概述

8. 有关测试和测试装置的若干术语

1) 信噪比SNR

信号的功率 N_s 与干扰（噪声）功率 N_n 之比，单位为分贝(dB)

$$SNR = 10 \lg \frac{N_s}{N_n}$$

有时也用信号的电压 V_s 与干扰（噪声）电压 V_n 之比来表示，

$$SNR = 10 \lg \frac{V_s}{V_n}$$

5) 动态范围DR

指测试装置不受噪声影响而能获得不失真输出的测量上限值 y_{\max} 和下限值 y_{\min} 之比。

$$DR = 20 \lg \frac{y_{\max}}{y_{\min}}$$

广东工业大学 机电工程学院 2006年3月9日星期四 00:13

2.1 概述

2.1.3 有关测试和测试装置的若干术语

5. 动态范围DR

指测试装置不受噪声影响而能获得不失真输出的测量上限值 y_{\max} 和下限值 y_{\min} 之比。

$$DR = 20 \lg \frac{y_{\max}}{y_{\min}}$$

2.1.4 测试装置的特性

1. 静态特性：静态测量时应考虑的性能指标；
2. 动态特性：动态测量时应考虑的性能指标；

广东工业大学 机电工程学院 2006年3月9日星期四 00:13

第2章 测试装置的基本特性

2.2 测试系统静态特性

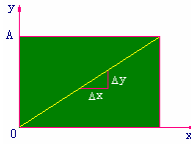
静态测量时，理想线性定常系统的输入—输出间的关系为
 $a_0 y = b_0 x \Rightarrow y = (b_0 / a_0) x = S x$ S 为常数

实际测试线性系统的输入—输出间的关系为
 $y = (S_1 + S_1 x + S_2 x^2 + \dots) x$

1. 灵敏度

当测试装置的输入 x 有一增量 Δx ，引起输出 y 发生相应的变化 Δy 时，则定义：
 $S = \Delta y / \Delta x$

量纲：为输出量的量纲与输入量的量纲之比



广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

2.2 测试系统静态特性

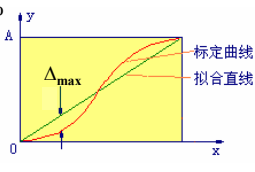
2. 线性度：
 标定曲线（测量曲线）与拟合直线（理想直线）的偏离程度。

线性误差： 标定曲线与拟合直线的最大偏离值 Δ_{max}

线性误差 = $\frac{\Delta_{max}}{Y_{max} - Y_{min}} \times 100\%$

拟合直线的确定方法

- 端点连线法：
- 最小二乘法：



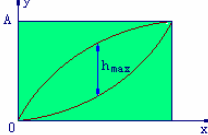
广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

2.2 测试系统静态特性

3. 回程误差：迟滞

测试装置在输入量由小增大和由大减小的测试过程中，对于同一个输入量所得到的两个数值不同的输出量之间差值最大者为 h_{max} ，则定义回程误差为

回程误差 = $\frac{h_{max}}{A} \times 100\%$



4. 分辨力

指能引起输出量发生变化时输入量的最小变化量，表明测试装置分辨输入量微小变化的能力。

广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

2.2 测试系统静态特性

5 零点漂移和灵敏度漂移

零点漂移： 测量装置的输出零点偏离原始零点的距离

灵敏度漂移： 测量装置的灵敏度偏离原始灵敏度的距离

6. 静态特性的其他描述

精度： 是与评价测试装置产生的测量误差大小有关的指标。

灵敏阈： 又称为死区，用来衡量测量起始点不灵敏的程度。

测量范围： 是指测试装置能正常测量最小输入量和最大输入量之间的范围。

稳定性： 是指在一定工作条件下，当输入量不变时，输出量随时间变化的程度。

可靠性： 是与测试装置无故障工作时间长短有关的一种描述。

广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

第二章 测试装置的基本特性

2.3 测试系统的动态特性

在对动态物理量进行测试时，测试装置的输出变化是否能真实地反映输入变化，则取决于测试装置的动态响应特性。

$x(t) \Rightarrow h(t) \Rightarrow y(t)$

属于系统分析中的第1类问题

当输入、输出是可测量的(已知)，可以通过它们推断系统的传输特性。

测试系统的动态特性是用频率特性来描述的

广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

2.3 测试系统的动态特性

2.3.1 拉普拉斯变换

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

2.3.2 传递函数H(s)

零初始条件下，输入输出的拉普拉斯变换之比

$$H(s) = Y(s) / X(s)$$

$X(S) \Rightarrow H(s) \Rightarrow Y(S)$

广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

2.3 测试系统的动态特性

2.3.3 动态特性——频率特性

$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_1) \Rightarrow H(s) \Rightarrow y(t) = B \sin(\omega t + \varphi_2)$

设 $H(s) = \frac{1}{0.1s + 1}$, $A = 100, \varphi_1 = 15^\circ$

当 $\omega = 1$ 时, $B = 99.5, \varphi_2 = 9.3^\circ$

当 $\omega = 10$ 时, $B = 70.7, \varphi_2 = -30^\circ$

当 $\omega = 20$ 时, $B = 44.72, \varphi_2 = -48.44^\circ$

当 $\omega = 50$ 时, $B = 19.6, \varphi_2 = -63.69^\circ$

当 $\omega = 100$ 时, $B = 9.95, \varphi_2 = -69.29^\circ$

可看出, 随着 ω 的增大, B 衰减得越多, φ_2 滞后的越多。可见, B 和 φ_2 是与输入的频率 ω 有关的。

3. 动态特性——频率特性

$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_1) \Rightarrow h(t) \Rightarrow y(t) = B \sin(\omega t + \varphi_2)$

1. 频率特性: 系统的稳态输出与简谐激励信号之间的幅值比、相位差随激励频率变化的特性, 包括

- 幅频特性 $A(\omega)$: 频率响应即稳态输出信号和输入信号的幅值之比与激励频率的关系。
- 相频特性 $\varphi(\omega)$: 频率响应即稳态输出信号和输入信号的相位之差与激励频率的关系

$$\begin{cases} A(\omega) = B / A \Rightarrow B = A \cdot A(\omega) \\ \varphi(\omega) = \varphi_2 - \varphi_1 \end{cases}$$

$A(\omega) \begin{cases} \geq 1 & \text{放大} \\ < 1 & \text{缩小} \end{cases} \quad \varphi(\omega) \begin{cases} \geq 0 & \text{超前} \\ < 0 & \text{滞后} \end{cases}$

3. 动态特性——频率特性

2. 频率响应函数 $H(\omega)$

$H(\omega)$ 为以 $A(\omega)$ 为模, $\varphi(\omega)$ 为相位角关于 ω 的复变函数。即

$$H(\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = \text{Re}[H(\omega)] + j \text{Im}[H(\omega)]$$

频率特性的应用: 求系统的稳态输出

$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_1) \Rightarrow H(\omega) \Rightarrow y(t) = B \sin(\omega t + \varphi_2)$

输入输出间的关系为

$$y(t) = A(\omega)A \sin[\omega t + \varphi(\omega) + \varphi_1]$$

3. 动态特性——频率特性

3. 频率特性的求取

传递函数法: 令 $H(s)$ 中的 $s = j\omega \Rightarrow H(j\omega)$

$$\begin{cases} A(\omega) = |H(j\omega)| = \sqrt{\text{Re}[H(j\omega)]^2 + \text{Im}[H(j\omega)]^2} \\ \varphi(\omega) = \text{arctg}(\text{Re}[H(j\omega)] / \text{Im}[H(j\omega)]) \end{cases}$$

2.3.3 动态特性——频率特性

4. 频率特性的图示方法

(1) 乃奎斯特图: 极坐标图

(2) 伯德图: 对数幅相频特性图

优点: 直观的反映了系统对不同频率成分输入信号的扭曲情况。

$$A(\omega) = |H(j\omega)| = \sqrt{\text{Re}[H(j\omega)]^2 + \text{Im}[H(j\omega)]^2}$$

$$\varphi(\omega) = \text{arctg}(\text{Re}[H(j\omega)] / \text{Im}[H(j\omega)])$$

2.3 测试系统的动态特性

传递函数测量

实验求传递函数的原理, 简单明了。依次用不同频率 f 的简谐信号去激励被测系统, 同时测出激励和系统的稳态输出的幅值、相位, 得到幅值比 A_f 、相位差 ϕ_i 。

从系统的最低测量频率 f_{\min} 到系统的最高测量频率 f_{\max} , 按一定的增量方式逐步增加正弦激励信号频率 f , 记录下各频率对应的幅值比和相位差, 绘制在图上就可以得到系统的幅频和相频特性曲线。

依据: 频率保持性

若 $x(t) = A \cos(\omega t + \phi_x)$

则 $y(t) = B \cos(\omega t + \phi_y)$

2.1.3 测试系统的动态特性

4. 脉冲响应函数

若装置的输入为单位脉冲 $\delta(t)$ ，因 $\delta(t)$ 的傅立叶变换为1，因此装置输出 $y(t)$ 的傅立叶必将是 $H(f)$ ，即 $Y(f)=H(f)$ ，或 $y(t)=F^{-1}[H(S)]$ ，并可以记为 $h(t)$ ，常称它为装置的脉冲响应函数或权函数。

时域波形参数识别

优点：直观
缺点：简单系统识别

4 脉冲响应函数

脉冲响应函数测量

实验求脉冲响应函数简单明了，产生一个冲击信号，再测量系统输出就可以了。

案例：桥梁固有频率测量

原理：在桥中设置一三角形障碍物，利用汽车碍时的冲击对桥梁进行激励，再通过应变片测量桥梁动态变形，得到桥梁固有频率。

2.3 测试系统动态特性

2.3.5 一阶、二阶系统的动态特性

1. 一阶系统

如图，装置分属于力学、电学范畴，但均属于一阶系统，均可用一阶微分方程来描述。

一般形式的一阶微分方程为

$$a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t)$$

改写为 $\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Sx(t)$

式中 $\tau = a_1/a_0$ 为时间常数； $S = b_0/a_0$ 为系统灵敏度，是一个常数。令 $S=1$ ，即 $\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$

传递函数 $H(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$

频率响应函数 $H(j\omega) = \frac{1}{j\omega\tau + 1} \begin{cases} A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\tau\omega)^2}} \\ \phi(\omega) = -\arctan(\tau\omega) \end{cases}$

一阶系统的奈魁斯特图

一阶系统的特点：

- 1) 当 $\omega \ll 1/\tau$ 时， $A(\omega) \approx 1$ ；当 $\omega \gg 1/\tau$ 时， $A(\omega) \rightarrow 0$ 。
- 2) 在 $\omega = \frac{1}{\tau}$ 处， $A(\omega)$ 为 0.707 (-3db), 相角滞后-45°。
- 3) 一阶系统的伯德图可用一条折线来近似描述。这条折线在 $\omega > \frac{1}{\tau}$ 段为 $A(\omega)=1$, 在 $\omega < \frac{1}{\tau}$ 段为 -20db/10倍频斜率的直线。 $\frac{1}{\tau}$ 点称转折频率。

$$H(s) = \frac{1}{0.35s + 1}$$

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(0.35\omega)^2 + 1}} \Big|_{\omega=2\pi} = 0.9$$

$$\phi(\omega) = -\arctan 0.35\omega = -65.5^\circ$$

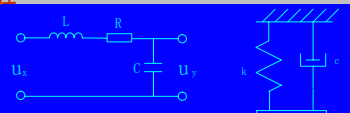
$$\omega = 2\pi f = 2\pi / T$$

幅值误差： $\Delta A = (1 - A(\omega)) \times 100\% = 10\%$

相位滞后： 65.5°

2.3 测试系统动态特性

2. 二阶系统

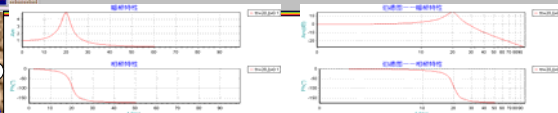


传递函数 $H(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$

频率响应函数 $H(j\omega) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + j2\zeta\frac{\omega}{\omega_n}}$

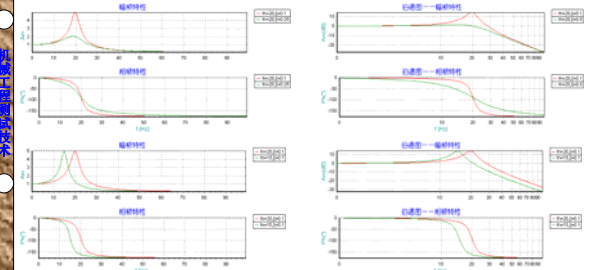
幅频特性 $A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 4\zeta^2\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$

相频特性 $\phi(\omega) = -\arctan \frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$



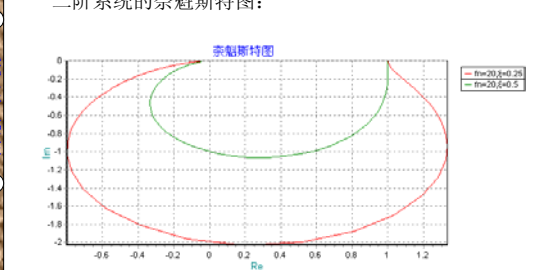
- 1) 当 $\omega \ll \omega_n$ 时, $H(\omega) \approx 1$; 当 $\omega \gg \omega_n$ 时, $H(\omega) \rightarrow 0$ 。
- 2) 二阶系统的伯德图可用折线来近似。在 $\omega > 2\omega_n$ 段, $A(\omega)$ 可用 0dB 水平线近似。在 $\omega < 0.5\omega_n$ 段, 可用斜率为 -40dB/10 倍频的直线来近似。
- 3) 在 $\omega \ll \omega_n$ 段, $\phi(\omega)$ 甚小, 且和频率近似成正比增加。在 $\omega \gg \omega_n$ 段, $\phi(\omega)$ 趋近于 180° , 即输出信号几乎和输入反相。在 ω 靠近 ω_n 区间, $\phi(\omega)$ 随频率的变化而剧烈变化, 而且 ζ 越小, 这种变化越剧烈。

4) 影响二阶系统动态特性的参数是固有频率和阻尼比。



一般取 $\omega \leq (0.6 \sim 0.8)\omega_n$ $\zeta = (0.65 \sim 0.7)$

二阶系统的奈魁斯特图:



上页
目录

第二章 测试装置的基本特性

2.4 测试装置对任意输入的响应

一、系统对任意输入的响应

将输入 $x(t)$ 分割成众多相邻接的、持续时间为 $\Delta \tau$ 的脉冲信号。在 t 时刻系统的输出 $y(t) \approx \sum_{\tau=0}^t [x(\tau)\Delta\tau]h(t-\tau)$

对 $\Delta \tau$ 取极限, 得 $y(t) = \int_0^t x(\tau)h(t-\tau)d\tau$

$x(t)$ 和 $h(t)$ 的卷积为 $x(t)*h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau$

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

$$x(t)*h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

对于当 $t < 0$ 时, $x(t)=0$ 和 $h(t)=0$ 的情况, 上述积分下限可取为 0, 上限则成为 t 。

因此, $y(t)$ 实际上就是 $x(t)$ 和 $h(t)$ 的卷积, 可记为 $y(t) = x(t)*h(t)$

从时域看, 系统对任意输入的响应是该输入与系统的脉冲响应函数的卷积。

二、系统对单位阶跃输入响应

单位阶跃输入

$$x(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t \geq 0 \end{cases}$$

$$X(s) = \frac{1}{s}$$

一阶系统对单位阶跃输入的响应:

$$y(t) = 1 - e^{-t/\tau}$$

$t = (3 \sim 4)\tau$ 时, $y(t) \approx 1$

一阶装置的时间常数 τ 越小越好。

二阶系统对单位阶跃输入的响应:

$$y(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_d t + \phi_2), \zeta < 1$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}, \phi_2 = \arctan \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$

二阶系统, 系统的响应在很大程度上决定于阻尼比 ζ 和固有频率 ω_n 。 ω_n 越高, 系统的响应越快。阻尼比直接影响超调量和振荡次数。 ζ 选在 0.6~0.8 之间。

三、系统对单位脉冲输入的响应

一阶装置

脉冲响应函数为 $h(t) = \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau}$

其图形为

二阶系统

脉冲响应函数为

$$h(t) = \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin \sqrt{1-\zeta^2} \omega_n t \quad 0 < \zeta < 1$$

其图形为

第二章 测试装置的基本特性

2.5 实现不失真测试的条件

测试装置的输出 $y(t)$ 和输入 $x(t)$ 满足关系 $y(t) = A_0 x(t - t_0)$ 认为测试装置实现了不失真测量。其中 A_0 和 t_0 都是常量。表明这个装置输出的波形和输入波形精确地一致, 只是幅值放大了 A_0 倍和在时间上延迟了 t_0 而已。

对该式作傅立叶变换 $Y(\omega) = A_0 e^{-j\omega t_0} X(\omega)$

当 $t < 0$ 时, $x(t) = 0, y(t) = 0$, 有

$$H(\omega) = A(\omega) e^{j\phi(\omega)} = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = A_0 e^{-j\omega t_0}$$

若要求装置的输出波形不失真, 则其幅频和相频特性应分别满足

$$A(\omega) = A_0 = C$$

$$\phi(\omega) = -t_0 \omega$$

实际测量装置不可能在非常宽广的频率范围内都满足不失真测试条件, 即使在某一频率范围内工作, 也难以完全理想的实现不失真测试。只能努力把波形失真限制在一定的误差范围内。

因此, 首先要选择合适的测试装置。其次, 应对输入信号做必要的前置处理, 及时滤去非信号频带内的噪声。

第二章 测试装置的基本特性

2.6 测试装置动态特性的测试

对装置的静态参数测试：以经过校准的“标准”静态量作为输入，求出输出-输入曲线。根据这条曲线确定其回程误差，整理和确定其校准曲线、线性误差和灵敏度。

对装置动态特性的测试：

一、频率响应法

通过稳态正弦激励试验求得幅频和相频特性曲线。

一阶装置

通过幅频特性 $A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+(\tau\omega)^2}}$ 或相频特性 $\varphi(\omega) = -\arctan(\tau\omega)$ 直接确定其动态特性参数 τ 。

2.6 测试装置动态特性的测试

2.6.2 阶跃响应法

二阶装置，动态特性参数为：固有频率 ω_n 和阻尼比 ζ 。参数可从相频特性曲线直接估计，但相角测量较困难。通常通过幅频曲线估计其参数。

$$\omega_n = \frac{\omega_r}{\sqrt{1-2\zeta^2}} \approx \omega_r$$

对于欠阻尼系统 ($\zeta < 1$)

令 $\omega_1 = (1-\zeta)\omega_n$ 、 $\omega_2 = (1+\zeta)\omega_n$

有 $A(\omega_1) \approx \frac{1}{2\sqrt{2}\zeta} \approx A(\omega_2)$

阻尼比 ζ 为 $\zeta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_n}$

有时也可用右式求 ζ

$$\frac{A(\omega_r)}{A(0)} = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}}$$

2.6.2 阶跃响应法

1. 由一阶装置的阶跃响应求其动态特性参数

1) 测得一阶装置的阶跃响应，取该输出值达到最终稳态值的63%所经过的时间作为时间常数 τ 。但测量结果的可靠性很差。

2) 将一阶装置的阶跃响应表达式改写为

$$1 - y_u(t) = e^{-t/\tau}$$

两边取对数，有 $-\frac{t}{\tau} = \ln[1 - y_u(t)]$

根据测得 $y_u(t)$ 值作出 $\ln[1 - y_u(t)] - t$ 曲线，根据其斜率值确定时间常数 τ 。

2.6.2 阶跃响应法

2. 由二阶装置的阶跃响应求其动态特性参数

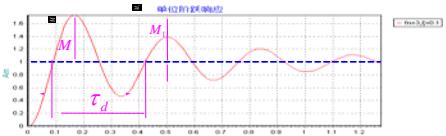
单位阶跃响应

1) 求有阻尼固有频率 ω_d

$$\omega_d = \frac{2\pi}{\tau_d}$$

2. 由二阶装置的阶跃响应求其动态特性参数

2) 求取阻尼比 ξ



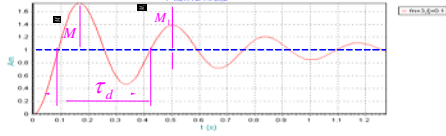
(1) 根据最大超调量 M 求阻尼比 ξ

$$M = e^{-\left(\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \rightarrow \xi = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{\ln M}\right)^2 + 1}}$$

广东工业大学 机电工程学院 | 2007年5月24日12时15分

2. 由二阶装置的阶跃响应求其动态特性参数

2) 求取阻尼比 ξ

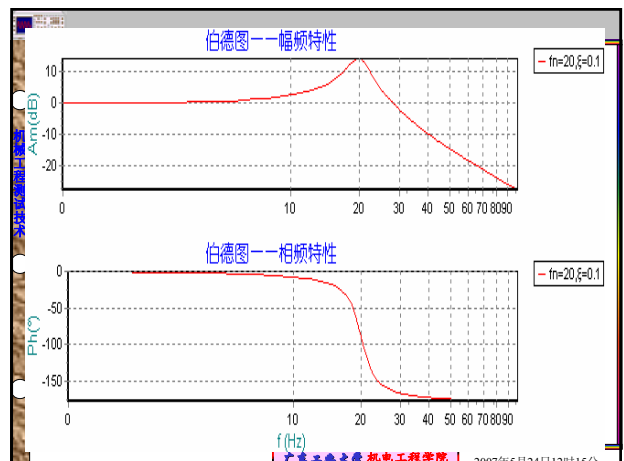
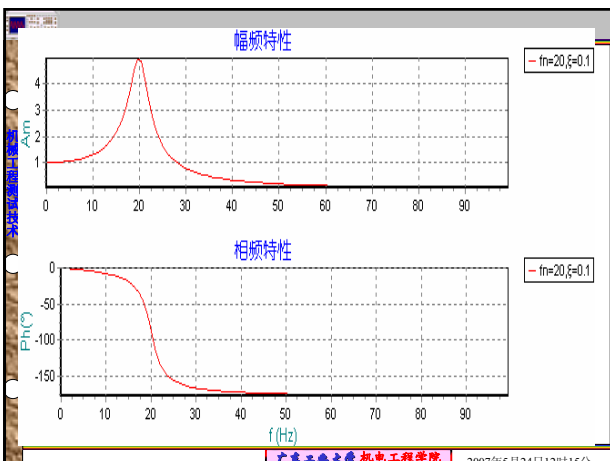
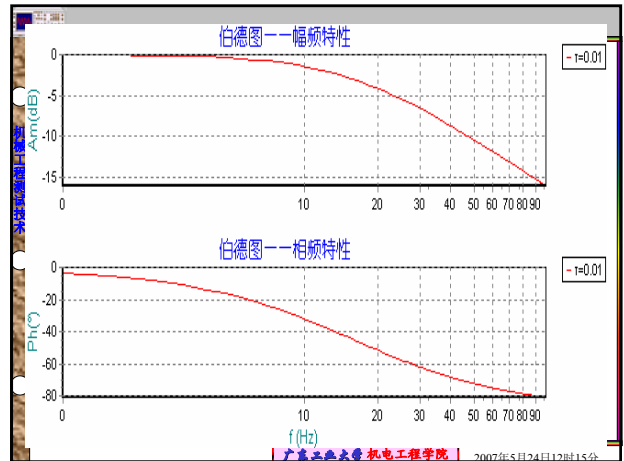
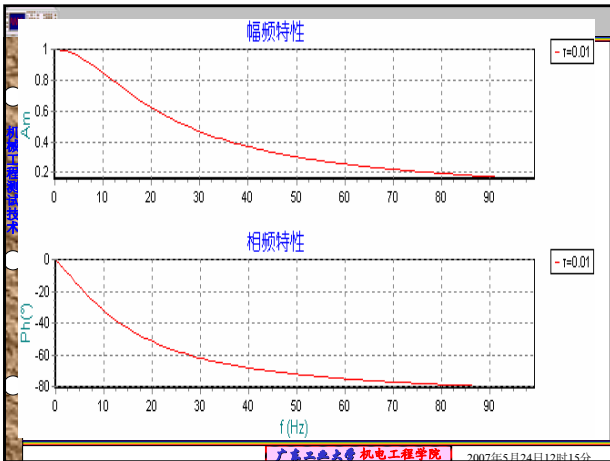


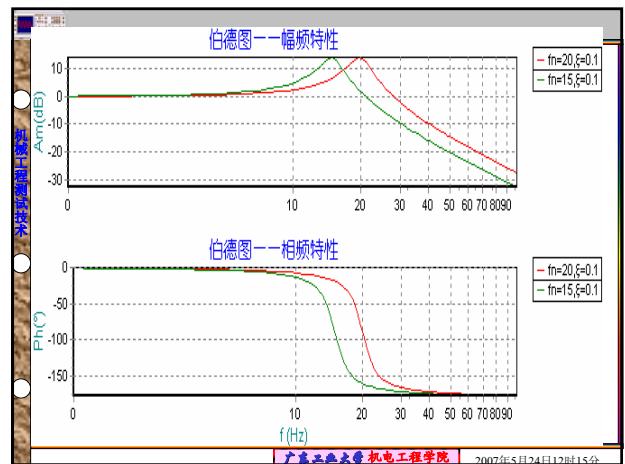
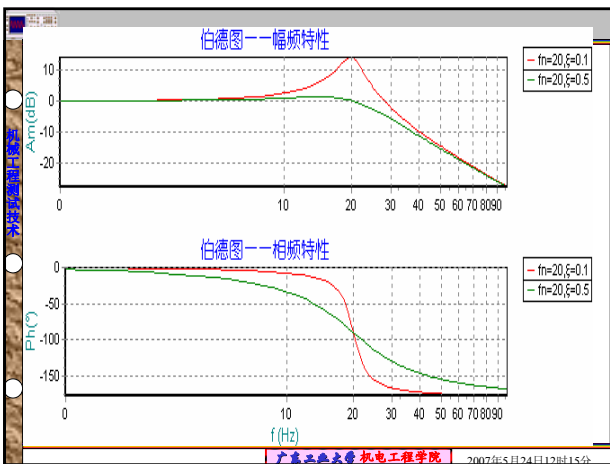
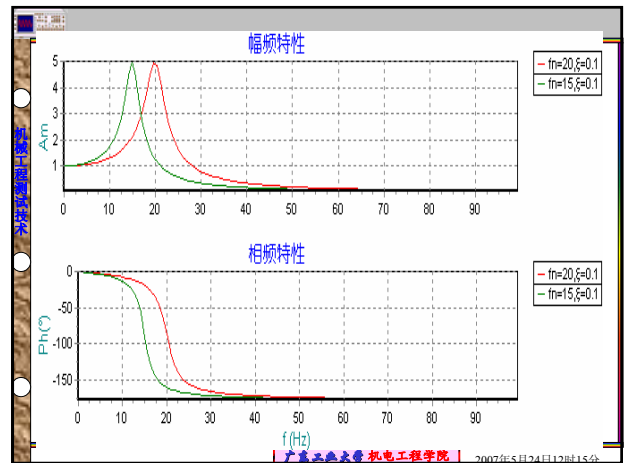
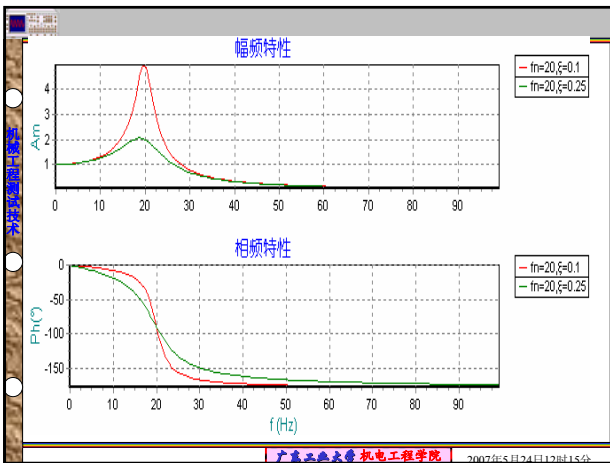
(2) 根据任意两个超调量 M_i 和 M_{i+n} 求阻尼比 ξ

$$\xi = \frac{\delta_n^2}{\sqrt{\delta_n^2 + 4\pi^2 n^2}} \quad \delta_n = \ln \frac{M_i}{M_{i+n}}$$

当 $\xi < 0.3$ 时, 则可按下式计算 $\xi \approx \frac{\ln \frac{M_i}{M_{i+n}}}{2\pi n}$

广东工业大学 机电工程学院 | 2007年5月24日12时15分





第二章 测试装置基本特性

2.7 负载效应

1. 测量系统由许多环节(部分)串联或并联而成;后一个环节成为前一个环节的负载,产生能量交换。
2. 负载效应:某装置由于后接另一装置而产生的种种现象。

未接入测量电路时,
R₂上的电压降为:
 $U_2 = E R_2 / (R_2 + R_1)$

接入测量电路后,
R₂上的电压降为:
 $U_2 = E R_2 R_m / [R_1 (R_m + R_2) + R_m R_2]$

$R_m = 150K$, 得: $U_0 = 90V$, $U_1 = 64.3V$, 误差达28.6%。

$R_m = 1M$, 则 $U_1 = 84.9V$, 误差减小为5.76%。

2.7 负载效应

3. 减轻负载效应的措施

$U_2 = E R_2 R_m / [R_1 (R_m + R_2) + R_m R_2]$

$U_2 = E R_2 / (R_2 + R_1)$

- 1) 提高后续环节(负载)的输入阻抗。
- 2) 在两个相联接的环节之间插入高输入阻抗、低输出阻抗的放大器。
- 3) 使用反馈或零点测量原理。

第二章 测试装置基本特性

2.8 测量装置的抗干扰

一. 测量装置的干扰源

1. 电磁干扰：电磁辐射。
2. 信道干扰：信道中各元器件产生的噪声或非线性畸变产生的干扰。
3. 电源干扰：电源波动。

广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

2.8 测量装置的抗干扰

二. 供电系统干扰及其抗干扰

1. 电源电网噪声：电压跳变，持续时间 Δt
 - (1) 过压和欠压噪声： $\Delta t > 1s$
 - (2) 涌浪和下陷噪声： $1ms < \Delta t < 1s$
 - (3) 尖峰噪声： $\Delta t < 1ms$
2. 供电系统的抗干扰措施
 - (1) 交流稳压器：消除过压、欠压噪声；
 - (2) 隔离稳压器：消除涌浪、尖峰噪声；
 - (3) 低通滤波器：滤去大于50Hz的高频干扰；
 - (4) 独立功能块单独供电

广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

2.8 测量装置的抗干扰

三. 信道干扰及其抗干扰

1. 信道干扰种类
 - (1) 元器件噪声
 - (2) 信号窜扰
 - (3) 长线传输干扰
2. 信道干扰的抗干扰措施
 - (1) 合理选用元器件和设计方案；
 - (2) 印刷电路板设计时元器件排放要合理；
 - (3) 长距离的数字信号传输可采用光耦合隔离技术、双绞线传输。

广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分

2.8 测量装置的抗干扰

四. 接地设计

1. 单点接地：不存在环形回路和环路电流
2. 串联接地
 - (1) 小信号电路尽可能靠近电源
 - (2) 所有地线尽可能地粗些，以降低电阻
3. 多点接点
4. 模拟地和数字点

广东工业大学 机电工程学院 2007年5月24日12时15分