



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

系统的性能指标与校正

系统的性能指标

主讲：刘希太

本讲内容：系统的性能指标类型概述

- 1、系统的性能指标类型
- 2、系统性能指标分析
- 3、常用控制系统的时、频域指标
- 4、常用控制系统的复数域指标
- 5、频域性能指标与时域性能指标的关系

一、系统的性能指标类型

1、系统的性能指标类型

- ◆ 时域性能指标(包括瞬态性能指标和稳态性能指标)
- ◆ 频域性能指标
- ◆ 综合性能指标(误差准则)

2、系统性能指标分析

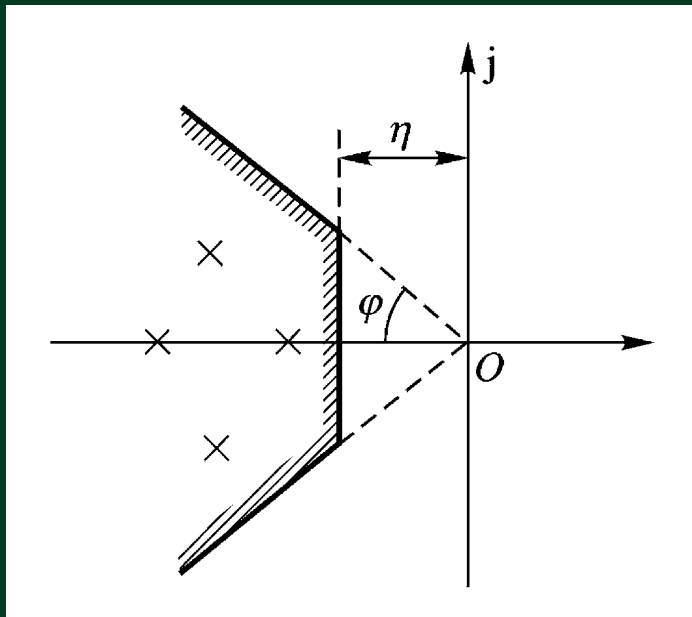
- ◆ 在确定了系统的结构与参数后，计算与分析系统的性能指标；
- ◆ 在初步选择系统的结构与参数后，核算系统的性能指标能否达到要求。如果不能，则需修改系统的参数乃至结构，或对系统进行校正；
- ◆ 给定综合性能指标（如目标函数、性能函数等），设计满足此指标的系统，包含设必要的校正环节。

3、常用控制系统的时、频域指标

- ◆ 稳态精度：稳态误差 e_{ss}
- ◆ 过渡过程响应特性
 - 时域：上升时间 t_r 、超调量 M_p 、调节时间 t_s
 - 频域：谐振峰值 M_r 、增益交界频率 ω_c 、谐振频率 ω_r 、带宽 ω_b
- ◆ 相对稳定性：增益裕量 K_g 、相位裕量 γ
- ◆ 扰动的抑制：带宽

4、常用控制系统的复数域指标

以系统的闭环极点在复平面上的分布区域来定义



振荡度对应角度 φ

衰减度对应距离 η

闭环极点的限制区域

5、频域性能指标与时域性能指标的关系

①时域性能指标

◆ 一阶系统性能指标 $t_s \approx \begin{cases} 4T, & \text{当 } \Delta = 2\text{时} \\ 3T, & \text{当 } \Delta = 5\text{时} \end{cases}$

◆ 二阶系统

临界阻尼系统	$t_s \approx \begin{cases} \frac{5.84}{\omega_n}, & \text{当 } \Delta = 2\text{时} \\ \frac{4.75}{\omega_n}, & \text{当 } \Delta = 5\text{时} \end{cases}$	
欠阻尼系统	$t_s \approx \begin{cases} \frac{4}{\xi \omega_n}, & \text{当 } \Delta = 2\text{时} \\ \frac{3}{\xi \omega_n}, & \text{当 } \Delta = 5\text{时} \end{cases}$	$M_p = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \times 100\%$
		$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} = \frac{\pi}{\omega_d}$

②频域性能指标

◆ 开环频率特性性能指标

- 幅值稳定裕度
- 相角稳定裕度
- 幅值、相位穿越频率

◆ 闭环频率特性性能指标

- 零频幅值
- 谐振峰值
- 谐振频率
- 带宽和带宽频率

③典型二阶系统时、频域指标关系

开环传递函数: $G_k(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s + 2\xi\omega_n)}$

开环频率特性: $G_k(j\omega) = \frac{\omega_n^2}{(j\omega)(j\omega + 2\xi\omega_n)}$

开环幅频特性: $A(\omega) = \frac{\omega_n^2}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}$

开环相频特性: $\varphi(\omega) = -90^\circ - \tan^{-1} \frac{\omega}{2\xi\omega_n}$

由 $A(\omega)=1$ 得幅值穿越频率: $\omega_c = \omega_n \sqrt{\sqrt{4\xi^4 + 1} - 2\xi^2}$

$$\varphi(\omega_c) = -180^\circ + \tan^{-1} \frac{2\xi}{\sqrt{\sqrt{4\xi^4 + 1} - 2\xi^2}}$$

系统相角裕量: $\gamma = \tan^{-1} \frac{2\xi}{\sqrt{\sqrt{4\xi^4 + 1} - 2\xi^2}}$

闭环传递函数：
$$\Phi(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

闭环频率特性：
$$\Phi(j\omega) = \frac{\omega_n^2}{(j\omega)^2 + 2\xi\omega_n(j\omega) + \omega_n^2}$$

幅频特性：
$$M(\omega) = \frac{\omega_n^2}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega)^2}}$$

若有 $0 < \xi < \frac{1}{\sqrt{2}}$ ，则由 $\frac{dM}{d\omega} = 0$ 可得： $\omega_r = \omega_n \sqrt{1 - 2\xi^2}$

$$M_p = \frac{1}{2\xi\sqrt{1 - \xi^2}}$$

由 $M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} M(0) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 可得带宽频率： $\omega_b = \omega_n \sqrt{1 - 2\xi^2 + \sqrt{2 - 4\xi^2 + 4\xi^4}}$

6、控制系统的**综合性能指标**(误差准则)

误差准则是系统性能的综合测度。它们是系统的希望输出与其实际输出之差的某个函数的积分。这些积分是系统参数的函数，当系统的参数(特别是某些重要参数)取最优值时，综合性能指标将取极值，从而可以通过选择适当参数得到综合性能指标为最优的系统。

6、控制系统的综合性能指标(误差准则)

◆ 常见三种综合性能指标：

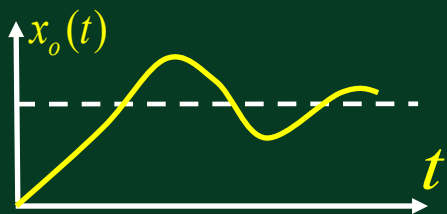
(1)误差积分性能指标：
$$I = \int_0^{\infty} e(t)dt$$

(2)误差平方积分性能指标：
$$I = \int_0^{\infty} e^2(t)dt$$

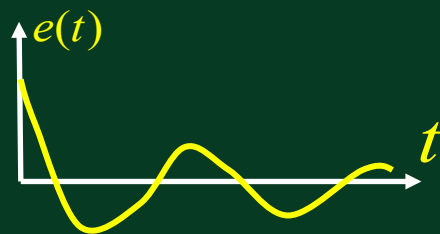
特点：重视大的误差，忽略小的误差。

(3)广义误差平方积分性能指标：
$$I = \int_0^{\infty} [e^2(t) + \dot{e}^2(t)]dt$$

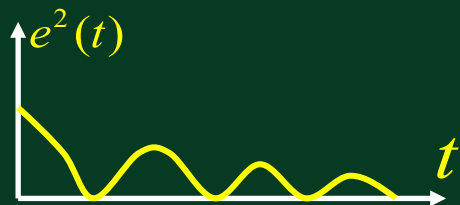
特点：既不允许大的动态误差长期存在，又不允许大的误差变化率长期存在。



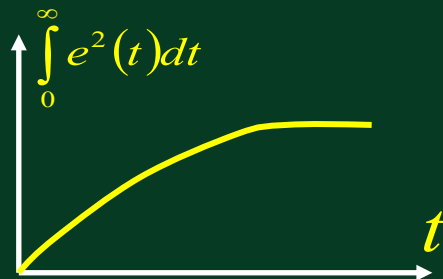
系统输出



系统误差



误差平方



误差平方积分

小结：系统的性能指标与校正

控制系统的设计：根据工艺上对被控对象的参数及控制要求，确定控制系统设计方案，包括选择适当的控制器及控制规律，选择执行机构、功率放大器、检测元件等，并进行系统的安装调试和运行。

若系统性能不满足要求，须通过调整系统参数或增加新的环节使性能得到改善。在系统原有结构上增加新的环节是改善系统性能的主要手段，控制系统的设计本质上是寻找合适的校正装置。