

# 非典型系统的典型化

主讲人：巩冰 讲师

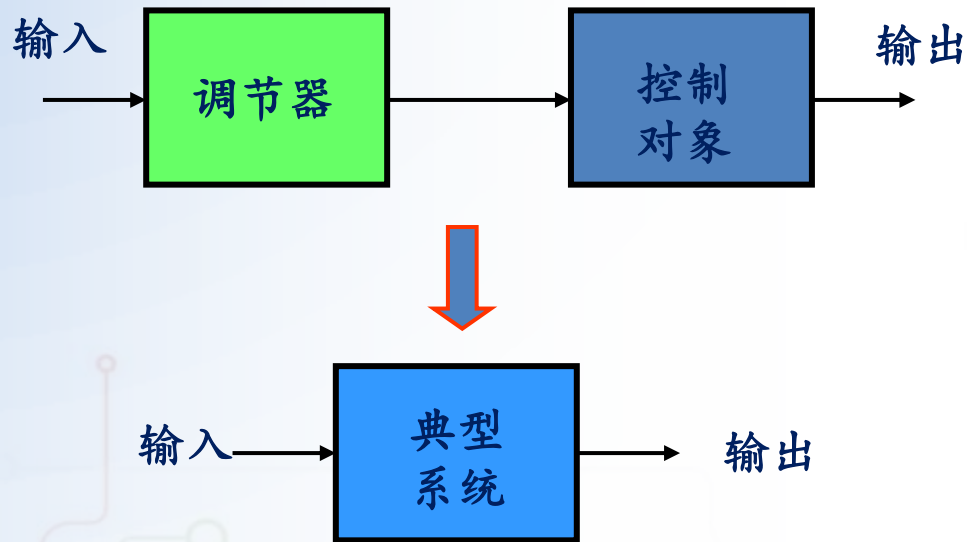
# 主要内容



- 调节器结构的选择
- 传递函数的近似处理

## 调节器结构的选择

首先确定要采用哪一种典型系统，  
然后根据控制对象选择调节器。



## 调节器结构选择实例一

已知控制对象是双惯性型，其传递函数

为：
$$W_{obj}(s) = \frac{K_2}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \quad T_1 > T_2$$

请将其校正成典型I型系统。

解：已知典型I型系统的开环传递函数为：

$$W(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)}$$

选择PI调节器：
$$W_{pi}(s) = \frac{K_{pi}(\tau_1s + 1)}{\tau_1s}$$

参数关系为：
$$\tau_1 = T_1, \quad T = T_2, \quad K = \frac{K_{pi}K_2}{\tau_1}$$

## 调节器结构选择实例二

已知控制对象是积分-双惯性型，其传递

函数为：
$$W_{obj}(s) = \frac{K_2}{s(T_1s + 1)(T_2s + 1)}, \quad T_1 \text{ 和 } T_2$$

相仿，请将其校正成典型II型系统。

解：已知典型II型系统的开环传递函数为：

$$W(s) = \frac{K(\tau s + 1)}{s^2(Ts + 1)}$$

选择PID调节器：
$$W_{pid}(s) = \frac{(\tau_1s + 1)(\tau_2s + 1)}{\tau_0s}$$

参数关系为：
$$\tau_1 = T_1, T = T_2, \tau = \tau_2, K = \frac{K_2}{\tau_0}$$

## 校正成典型I型系统的调节器选择和参数配合表1

|      |                                            |                    |                       |
|------|--------------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| 控制对象 | $\frac{K_2}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$ $T_1 > T_2$ | $\frac{K_2}{Ts+1}$ | $\frac{K_2}{s(Ts+1)}$ |
| 调节器  | $\frac{K_{pi}(\tau_1s+1)}{\tau_1s}$        | $\frac{K_i}{s}$    | $K_p$                 |
| 参数配合 | $\tau_1 = T_1$                             |                    |                       |

# 校正成典型I型系统的调节器选择和参

数配合表2

|      |                                                           |                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 控制对象 | $K_2$                                                     | $K_2$                                                       |
|      | $\frac{K_2}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}$<br>$T_1、T_2 > T_3$ | $\frac{K_2}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}$<br>$T_1 \gg T_2、T_3$ |
| 调节器  | $\frac{(\tau_1s+1)(\tau_2s+1)}{\tau s}$                   | $\frac{K_{pi}(\tau_1s+1)}{\tau_1s}$                         |
| 参数配合 | $\tau_1 = T_1, \tau_2 = T_2$                              | $\tau_1 = T_1,$<br>$T_{\Sigma} = T_2 + T_3$                 |

# 校正成典型II型系统的调节器选择和

参数配合表1

| 控制对象 | $\frac{K_2}{s(Ts+1)}$               | $\frac{K_2}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$<br>$T_1 \gg T_2$                    | $\frac{K_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$<br>$T_1, T_2$ 相近         |
|------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 调节器  | $\frac{K_{pi}(\tau_1s+1)}{\tau_1s}$ | $\frac{K_{pi}(\tau_1s+1)}{\tau_1s}$                                | $\frac{(\tau_1s+1)(\tau_2s+1)}{\tau s}$                  |
| 参数配合 | $\tau_1 = hT$                       | $\tau_1 = hT_2$<br>认为<br>$\frac{1}{T_1s+1} \approx \frac{1}{T_1s}$ | $\tau_1 = hT_1$ (或 $hT_2$ )<br>$\tau_2 = T_2$ (或 $T_1$ ) |



# 校正成典型II型系统的调节器选择和

## 参数配合表2

|      |                                                       |                                                                      |
|------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 控制对象 | $\frac{K_2}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$ $T_1、T_2 \text{ 都很小}$ | $\frac{K_2}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}$ $T_1 \gg T_2、T_3$             |
| 调节器  | $\frac{K_{pi}(\tau_1s+1)}{\tau_1s}$                   | $\frac{K_{pi}(\tau_1s+1)}{\tau_1s}$                                  |
| 参数配合 | $\tau_1 = h(T_1 + T_2)$                               | 认为 $\tau_1 = h(T_2 + T_3)$ $\frac{1}{T_1s+1} \approx \frac{1}{T_1s}$ |

## 传递函数的近似处理

- 高频段小惯性环节的近似处理
- 高阶系统的降阶近似处理
- 低频段大惯性环节的近似处理

## 高频段小惯性环节的近似处理

已知有两个高频段小惯性环节系统的开环传递函数为：

$$W(s) = \frac{K}{s(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

式中， $T_1$ 、 $T_2$ 为小时间常数。

将系统两小惯性环节合并为一个有：

$$W(s) \approx \frac{K}{s(Ts + 1)}$$

其中， $T = T_1 + T_2$ 。

## 小惯性环节近似处理条件

两个小惯性环节的频率特性为：

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{1}{(j\omega T_1 + 1)(j\omega T_2 + 1)} \\ &= \frac{1}{(1 - T_1 T_2 \omega^2) + j\omega(T_1 + T_2)} \approx \frac{1}{1 + j\omega(T_1 + T_2)} \end{aligned}$$

因此近似条件为：  $T_1 T_2 \omega^2 \ll 1$

工程计算中一般允许有**10%**以内的误差，  
则近似条件可写为：

$$T_1 T_2 \omega^2 \leq \frac{1}{10}$$

最后得到近似条件为：

$$\omega_c \leq \frac{1}{3\sqrt{T_1 T_2}}$$

## 小惯性环节近似处理条件

如果有三个小惯性环节，其近似处理的表达式是：

$$\frac{1}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)} \approx \frac{1}{(T_1+T_2+T_3)s+1}$$

近似条件为：

$$\omega_c \leq \frac{1}{3} \sqrt{\frac{1}{T_1T_2 + T_2T_3 + T_3T_1}}$$

## 小惯性环节近似处理的结论

当系统有一组小惯性群时，在一定的条件下，可以将它们近似地看成是一个小惯性环节，其时间常数等于小惯性群中各时间常数之和。

## 高阶系统的降阶近似处理

已知三阶系统的开环传递函数为：

$$W(s) = \frac{K}{as^3 + bs^2 + cs + 1}$$

式中， $a$ 、 $b$ 、 $c$ 为正系数，且 $bc > a$ ，  
即系统是稳定的。

若能忽略高次项，可得近似系统为：

$$W(s) \approx \frac{K}{cs + 1}$$

## 高阶系统降阶近似处理条件

原系统的频率特性为：

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{K}{a(j\omega)^3 + b(j\omega)^2 + c(j\omega) + 1} \\ &= \frac{K}{(1 - b\omega^2) + j\omega(c - a\omega^2)} \approx \frac{K}{1 + j\omega c} \end{aligned}$$

近似条件为：

$$\begin{cases} b\omega^2 \leq \frac{1}{10} \\ a\omega^2 \leq \frac{c}{10} \end{cases}$$

解得近似条件为： $\omega_c \leq \frac{1}{3} \min(\sqrt{\frac{1}{b}}, \sqrt{\frac{c}{a}})$



## 低频段大惯性环节的近似处理

当系统中有一个时间常数特别大的惯性环节时，可以近似将它看作为积分环节，即：

$$\frac{1}{Ts+1} \approx \frac{1}{Ts}$$

## 低频段大惯性环节的近似处理条件

大惯性环节的频率特性为：

$$\frac{1}{j\omega T + 1} = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 T^2 + 1}} \angle -\arctan \omega T$$

若近似为积分环节，其幅值应近似为：

$$\frac{1}{\sqrt{\omega^2 T^2 + 1}} \approx \frac{1}{\omega T}$$

显然，近似条件为：  $\omega^2 T^2 \gg 1$

解得近似条件为：  $\omega_c \geq \frac{3}{T}$

## 低频段大惯性环节的近似处理条件

经过近似处理后，相角关系有：

$$\arctan \omega T \approx 90^\circ$$

当  $\omega T = \sqrt{10}$  时， $\arctan \omega T = 72.45^\circ$ 。

显然，将惯性环节近似成积分环节后，相角滞后更多，稳定裕度更小。这意味着实际系统的稳定裕度要大于近似系统，实际系统稳定性应该更强。

## 低频段大惯性环节近似处理前后的 开环对数幅频特性

已知特性a的开环传递函数为：

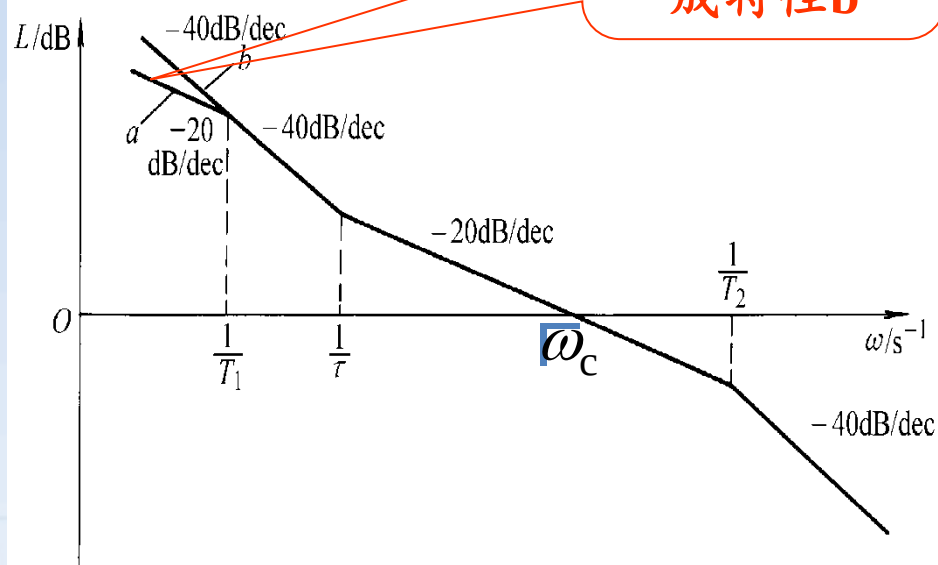
$$W_a(s) = \frac{K(\tau s + 1)}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

式中， $T_1 > \tau > T_2$ ，且  $\frac{1}{T_1}$  远低于截止频率  $\omega_c$ ，处于低频段，则把大惯性环节近似为积分环节后，开环传递函数变为：

$$W_b(s) = \frac{K(\tau s + 1)}{T_1 s^2 (T_2 s + 1)}$$

## 低频段大惯性环节近似处理前后的 开环对数幅频特性

低频时把特性a近似地看成特性b



# 非典型系统的典型化

主讲人：巩冰 讲师