

# 线性系统校正方法

## 串联滞后校正

# Outline

① 串联滞后校正原理与方法

② 滞后校正示例

# Topic

## 1 串联滞后校正原理与方法

## 2 滞后校正示例

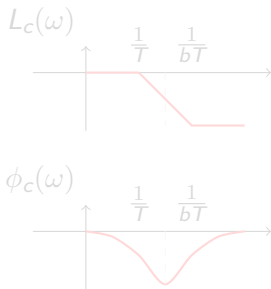
## 串联滞后校正原理

利用滞后网络的幅值衰减特性, 使校正后的  $\omega_c$  前移, 从而达到提升  $\gamma$  的目的.

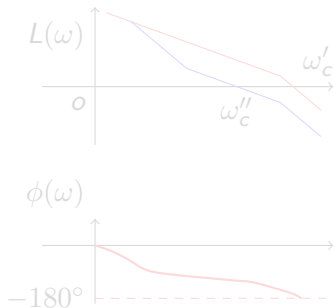
$$G_c(s) = \frac{1 + bTs}{1 + Ts}$$

其中:  $b < 1$

校正网络 Bode 图



滞后校正示意图:



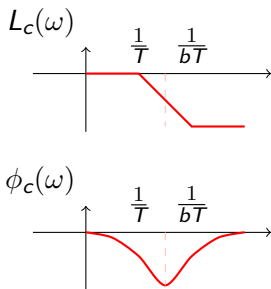
## 串联滞后校正原理

利用滞后网络的幅值衰减特性, 使校正后的  $\omega_c$  前移, 从而达到提升  $\gamma$  的目的.

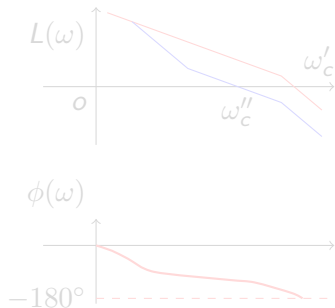
$$G_c(s) = \frac{1 + bTs}{1 + Ts}$$

其中:  $b < 1$

校正网络 Bode 图



滞后校正示意图:



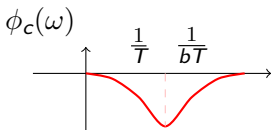
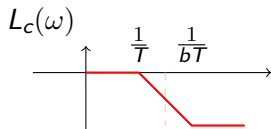
## 串联滞后校正原理

利用滞后网络的幅值衰减特性, 使校正后的  $\omega_c$  前移, 从而达到提升  $\gamma$  的目的.

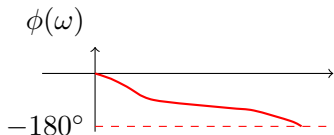
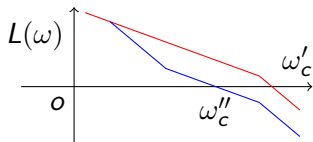
$$G_c(s) = \frac{1 + bTs}{1 + Ts}$$

其中:  $b < 1$

校正网络 Bode 图



滞后校正示意图:



# 滞后校正网络分析

- 根据期望相角裕度  $\gamma''$ ，求解

$$\gamma'' = 180^\circ + \phi(\omega_c'') + \phi_c(\omega_c'')$$

- 得到期望截止频率  $\omega_c''$ ，其中  $\phi_c(\omega_c'')$  可取为  $-6^\circ$ 。
- 为了实现新的截止频率，需要：

$$20 \lg b = L(\omega_c'')$$

- 为了减轻对相频特性的影响，需要：

$$\omega_c'' = \frac{10}{bT}$$

# 滞后校正网络分析

- 根据期望相角裕度  $\gamma''$ ，求解

$$\gamma'' = 180^\circ + \phi(\omega_c'') + \phi_c(\omega_c'')$$

- 得到期望截止频率  $\omega_c''$ ，其中  $\phi_c(\omega_c'')$  可取为  $-6^\circ$  .
- 为了实现新的截止频率，需要：

$$20 \lg b = L(\omega_c'')$$

- 为了减轻对相频特性的影响，需要：

$$\omega_c'' = \frac{10}{bT}$$



## 滞后校正网络分析

- 根据期望相角裕度  $\gamma''$ ，求解

$$\gamma'' = 180^\circ + \phi(\omega_c'') + \phi_c(\omega_c'')$$

- 得到期望截止频率  $\omega_c''$ ，其中  $\phi_c(\omega_c'')$  可取为  $-6^\circ$ 。
- 为了实现新的截止频率，需要：

$$20 \lg b = L(\omega_c'')$$

- 为了减轻对相频特性的影响，需要：

$$\omega_c'' = \frac{10}{bT}$$

## 滞后校正网络分析

- 根据期望相角裕度  $\gamma''$ ，求解

$$\gamma'' = 180^\circ + \phi(\omega_c'') + \phi_c(\omega_c'')$$

- 得到期望截止频率  $\omega_c''$ ，其中  $\phi_c(\omega_c'')$  可取为  $-6^\circ$ 。
- 为了实现新的截止频率，需要：

$$20 \lg b = L(\omega_c'')$$

- 为了减轻对相频特性的影响，需要：

$$\omega_c'' = \frac{10}{bT}$$

## 适用泛围

- 主要用于提高系统稳定程度
- 期望截止频率小于未校正系统截止频率, 即:  $\omega_c'' < \omega_c'$

# 设计步聚

## 设计步聚

- 由  $e_{ss}$  确定开环增益  $K$
- 画未校正系统 Bode 图
- 由设计指标确定  $\gamma''$ , 求解:  $\gamma'' - 180^\circ = \phi(\omega_c'') - 6^\circ$  确定  $\omega_c''$
- 计算  $b, T$ ,

$$20 \lg b = L(\omega_c''), \frac{1}{bT} = 0.1\omega_c''$$

# 设计步聚

## 设计步聚

- 由  $e_{ss}$  确定开环增益  $K$
- 画未校正系统 Bode 图
- 由设计指标确定  $\gamma''$ , 求解:  $\gamma'' - 180^\circ = \phi(\omega_c'') - 6^\circ$  确定  $\omega_c''$
- 计算  $b, T$ ,

$$20 \lg b = L(\omega_c''), \frac{1}{bT} = 0.1\omega_c''$$

# 设计步聚

## 设计步聚

- 由  $e_{ss}$  确定开环增益  $K$
- 画未校正系统 Bode 图
- 由设计指标确定  $\gamma''$ ，求解:  $\gamma'' - 180^\circ = \phi(\omega_c'') - 6^\circ$  确定  $\omega_c''$
- 计算  $b, T$ ,

$$20 \lg b = L(\omega_c''), \frac{1}{bT} = 0.1\omega_c''$$

# Topic

① 串联滞后校正原理与方法

② 滞后校正示例

# 滞后校正示例 1

设单位负反馈系统  $G(s) = \frac{K}{s(s+1)(0.2s+1)}$  设计串联校正装置, 满足

$$K_v = 8, \gamma'' \geq 40^\circ$$

解:

- 根据稳态性能指标得

$$K_v = 8$$

$$K_v = K$$

$$K = 8$$

$$L(\omega) = \begin{cases} 20 \lg \frac{8}{\omega} & \omega < 1 \\ 20 \lg \frac{8}{\omega^2} & 1 \leq \omega < 5 \\ 20 \lg \frac{8}{0.2\omega^3} & \omega \geq 5 \end{cases}$$

$$\omega'_c = 2.8$$

$$\gamma' = -10^\circ$$



## 滞后校正示例 1

设单位负反馈系统  $G(s) = \frac{K}{s(s+1)(0.2s+1)}$  设计串联校正装置, 满足

$$K_v = 8, \gamma'' \geq 40^\circ$$

解:

- 根据稳态性能指标得

$$K_v = 8$$

$$K_v = K$$

$$K = 8$$

$$L(\omega) = \begin{cases} 20 \lg \frac{8}{\omega} & \omega < 1 \\ 20 \lg \frac{8}{\omega^2} & 1 \leq \omega < 5 \\ 20 \lg \frac{8}{0.2\omega^3} & \omega \geq 5 \end{cases}$$

$$\omega'_c = 2.8$$

$$\gamma' = -10^\circ$$

## 滞后校正示例 1: 参数求解

根据  $\gamma''$  计算  $\omega_c''$

$$180^\circ - 90^\circ - \arctan \omega_c'' - \arctan 0.2\omega_c'' = 40^\circ + \epsilon$$

$$\epsilon = 6^\circ$$

$$\omega_c'' \approx 0.7$$

$$L(\omega_c'') + 20 \lg b = 0$$

$$b = 0.09$$

$$\frac{1}{bT} = 0.1\omega_c''$$

$$T = 158.7$$

滞后校正网络为:  $G_c = \frac{14.3s+1}{158.7s+1}$

## 滞后校正示例 2

设单位负反馈系统  $G(s) = \frac{5}{s(s+1)(0.5s+1)}$ ，设计串联校正装置，使校正后系统满足  $\gamma'' \geq 40^\circ$ ,  $h'' \geq 10\text{dB}$

● 解：

$$L(\omega) = \begin{cases} 20 \lg \frac{5}{\omega} & \omega < 1 \\ 20 \lg \frac{5}{\omega^2} & 1 < \omega < 2 \\ 20 \lg \frac{5}{0.5\omega^3} & \omega \geq 2 \end{cases}$$

$$\omega'_c = 2.15$$

$$\begin{aligned} \gamma' &= 180^\circ - 90^\circ - \arctan \omega'_c - \arctan 0.5\omega'_c \\ &= -22^\circ \end{aligned}$$

## 滞后校正示例 2

设单位负反馈系统  $G(s) = \frac{5}{s(s+1)(0.5s+1)}$ ，设计串联校正装置，使校正后系统满足  $\gamma'' \geq 40^\circ$ ,  $h'' \geq 10dB$

● 解：

$$L(\omega) = \begin{cases} 20 \lg \frac{5}{\omega} & \omega < 1 \\ 20 \lg \frac{5}{\omega^2} & 1 < \omega < 2 \\ 20 \lg \frac{5}{0.5\omega^3} & \omega \geq 2 \end{cases}$$

$$\omega'_c = 2.15$$

$$\begin{aligned} \gamma' &= 180^\circ - 90^\circ - \arctan \omega'_c - \arctan 0.5\omega'_c \\ &= -22^\circ \end{aligned}$$

滞后校正示例 2(续) 选用滞后校正, 根据  $\gamma''$  计算  $\omega_c''$

$$180^\circ + \phi(\omega_c'') = 40^\circ + \epsilon$$

$$\epsilon = 6^\circ$$

$$\omega_c'' \approx 0.5$$

$$L(\omega_c'') + 20 \lg b = 0$$

$$20 \lg \frac{5}{\omega_c''} + 20 \lg b = 0$$

$$b = 0.1$$

$$\frac{1}{bT} = 0.1\omega_c''$$

$$T = 200$$

## 滞后校正示例 2(续) 验证幅值裕度

$$\phi(\omega_x) = -180^\circ$$

$$\angle \omega_x j(\omega_x j + 1)(0.5\omega_x j + 1) = 180^\circ$$

$$\angle(\omega_x j + 1)(0.5\omega_x j + 1) = 90^\circ$$

$$\angle(-0.5\omega_x^2 + 1 + 1.5\omega_x j) = 90^\circ$$

$$-0.5\omega_x^2 + 1 = 0$$

$$\omega_x = \sqrt{2}$$

$$L(\omega_x) = -20 \lg \frac{5}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot 0.5\sqrt{2}}$$

$$\approx -11$$

$$h'' = 11 > 10$$

## 滞后校正示例 2(续) 另一种方式验证幅值裕度:

- 当校正后的幅值裕度  $h''$  难以计算时, 可结合幅频特性验证。

$$L(\omega_x) + L_c(\omega_x) = -10$$

$$20 \lg \frac{5b}{\omega_x^2} = -10, \quad 1 < \omega_x < 2$$

$$\omega_x \approx 1.36$$

$$\phi(\omega_x) = -178^\circ$$

$$\omega_x'' > \omega_x$$

$$L(\omega_x'') + L_c(\omega_x'') < -10$$

$$h'' > 10dB$$