

# 线性系统校正方法

## 反馈校正

邢超

# Outline

- ① 校正原理
- ② 反馈校正的特点
- ③ 反馈校正的设计方法

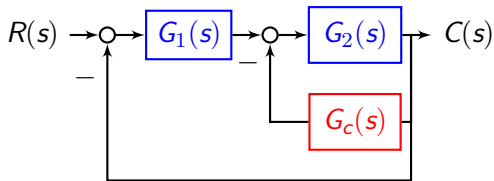
# Topic

① 校正原理

② 反馈校正的特点

③ 反馈校正的设计方法

# 反馈校正原理



- 系统开环传递函数为：

$$G(s) = \frac{G_1(s) G_2(s)}{1 + G_2(s) G_c(s)}$$

其中  $G_c$  为反馈校正传递函数。

## 反馈校正原理 (续)

- 若在系统工作频段内 (动态性能起主要影响的频段内) 有:  
 $|G_2(s)G_c(s)| \gg 1$  成立, 则

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{G_1(s)G_2(s)}{1 + G_2(s)G_c(s)} \\ &\approx \frac{G_1(s)G_2(s)}{G_2(s)G_c(s)} \\ &= \frac{G_1(s)}{G_c(s)} \end{aligned}$$

- 表明校正后的系统特性几乎与被反馈校正装置包围的环节无关.

## 反馈校正原理 (续)

- 若在系统工作频段内 (动态性能起主要影响的频段内) 有:  
 $|G_2(s)G_c(s)| \gg 1$  成立, 则

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{G_1(s)G_2(s)}{1 + G_2(s)G_c(s)} \\ &\approx \frac{G_1(s)G_2(s)}{G_2(s)G_c(s)} \\ &= \frac{G_1(s)}{G_c} \end{aligned}$$

- 表明校正后的系统特性几乎与被反馈校正装置包围的环节无关.

# Topic

① 校正原理

② 反馈校正的特点

③ 反馈校正的设计方法

# 反馈校正的特点

- 削弱非线性的影响
- 减小系统的时间常数
- 降低系统对参数变化的敏感性
- 抑制系统噪声



# 反馈校正的特点

- 削弱非线性的影响
- 减小系统的时间常数
- 降低系统对参数变化的敏感性
- 抑制系统噪声

# 反馈校正的特点

- 削弱非线性的影响
- 减小系统的时间常数
- 降低系统对参数变化的敏感性
- 抑制系统噪声

# 反馈校正的特点

- 削弱非线性的影响
- 减小系统的时间常数
- 降低系统对参数变化的敏感性
- 抑制系统噪声

# 反馈校正的特点

- 削弱非线性的影响
- 减小系统的时间常数
- 降低系统对参数变化的敏感性
- 抑制系统噪声

# Topic

① 校正原理

② 反馈校正的特点

③ 反馈校正的设计方法

# 转化为串联校正设计

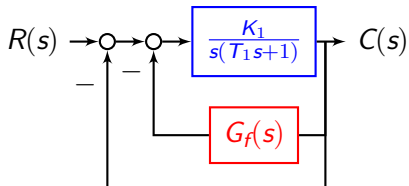
$$G(s) = \frac{G_1(s)}{G_c(s)}$$

$$G_f(s) = \frac{1}{G_c(s)}$$

$$G(s) = G_1(s) G_f(s)$$

## 反馈校正示例 1

测速-相角超前反馈校正系统如下图所示,  $G_f(s) = \frac{T_2 s}{T_2 s + 1} K_t' s$ ,  $K_1 = 440$ ,  $T_1 = 0.025$  要求校正后  $\gamma'' \geq 50^\circ$ ,  $\omega_c'' \geq 40$  并具有一定的抑制噪声能力, 求解测速反馈系数  $K_t'$ , 超前网络时间常数  $T_2$



# 反馈校正示例 1 求解

$$G(s) = \frac{K_1}{s(T_1s + 1)} \frac{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}{(T's + 1)(T''s + 1)}$$

$$T' = \frac{T_2}{T''} T_1$$

$$T'' = T_1 + (1 + K_1 K'_t) T_2 - T'$$

可看作滞后-超前校正，取  $\omega_c'' = 42$  得

$$T'/T_1 = T_2/T'' = 0.1, T' = 0.0025$$

$$\gamma'' = 180^\circ - 90^\circ - \arctan T'\omega_c'' + \arctan T_2\omega_c'' - \arctan T''\omega_c'' > 50^\circ$$

取  $T_2 = 0.1, T'' = 1$  得  $\gamma'' = 72^\circ, K'_t \approx 0.02$



## 综合法设计反馈校正网络: 原理

- 校正后系统开环传递函数  $G(s) \approx \frac{G_1(s)}{G_c(s)}$
- 按综合法设计系统期望传递函数  $G(s)$  , 则  $G_c(s) \approx \frac{G_0(s)}{G(s)}$
- 使用条件:

$$\begin{aligned} |G_2 G_c| &> 1 \\ G_0 &= G_1 G_2 \\ G &= \frac{G_1}{G_c} \\ &= \frac{G_0}{G_2 G_c} \\ |G| &< |G_0| \\ 20 \lg |G_0| &> 20 \lg |G| \end{aligned}$$

## 综合法设计反馈校正网络: 原理

- 校正后系统开环传递函数  $G(s) \approx \frac{G_1(s)}{G_c(s)}$
- 按综合法设计系统期望传递函数  $G(s)$  , 则  $G_c(s) \approx \frac{G_0(s)}{G(s)}$
- 使用条件:

$$\begin{aligned} |G_2 G_c| &> 1 \\ G_0 &= G_1 G_2 \\ G &= \frac{G_1}{G_c} \\ &= \frac{G_0}{G_2 G_c} \\ |G| &< |G_0| \\ 20 \lg |G_0| &> 20 \lg |G| \end{aligned}$$

## 综合法设计反馈校正网络: 原理

- 校正后系统开环传递函数  $G(s) \approx \frac{G_1(s)}{G_c(s)}$
- 按综合法设计系统期望传递函数  $G(s)$  , 则  $G_c(s) \approx \frac{G_0(s)}{G(s)}$
- 使用条件:

$$|G_2 G_c| > 1$$

$$G_0 = G_1 G_2$$

$$G = \frac{G_1}{G_c}$$

$$= \frac{G_0}{G_2 G_c}$$

$$|G| < |G_0|$$

$$20 \lg |G_0| > 20 \lg |G|$$

# 综合法设计反馈校正网络: 设计步骤

- 按  $e_{ss}$  要求, 确定开环增益  $K$ , 并画出确定了  $K$  的  $20 \lg |G_0(s)|$
- 按综合法设计期望开环对数幅频特性  $20 \lg |G(s)|$
- 按  $20 \lg |G_2 G_c| = 20 \lg |G_0(s)| - 20 \lg |G(s)|$  求解  $G_2(s) G_c(s)$
- 检查局部反馈回路稳定性, 以及是否满足:

$$|G_2(j\omega_c) G_c(j\omega_c)| \gg 1$$

- 由  $G_2 G_c$  求解  $G_c$
- 检验校正后的系统是否满足设计要求

## 综合法设计反馈校正网络: 设计步骤

- 按  $e_{ss}$  要求, 确定开环增益  $K$ , 并画出确定了  $K$  的  $20 \lg |G_0(s)|$
- 按综合法设计期望开环对数幅频特性  $20 \lg |G(s)|$
- 按  $20 \lg |G_2 G_c| = 20 \lg |G_0(s)| - 20 \lg |G(s)|$  求解  $G_2(s) G_c(s)$
- 检查局部反馈回路稳定性, 以及是否满足:

$$|G_2(j\omega_c) G_c(j\omega_c)| \gg 1$$

- 由  $G_2 G_c$  求解  $G_c$
- 检验校正后的系统是否满足设计要求

## 综合法设计反馈校正网络: 设计步骤

- 按  $e_{ss}$  要求, 确定开环增益  $K$ , 并画出确定了  $K$  的  $20 \lg |G_0(s)|$
- 按综合法设计期望开环对数幅频特性  $20 \lg |G(s)|$
- 按  $20 \lg |G_2 G_c| = 20 \lg |G_0(s)| - 20 \lg |G(s)|$  求解  $G_2(s) G_c(s)$
- 检查局部反馈回路稳定性, 以及是否满足:

$$|G_2(j\omega_c) G_c(j\omega_c)| \gg 1$$

- 由  $G_2 G_c$  求解  $G_c$
- 检验校正后的系统是否满足设计要求

## 综合法设计反馈校正网络: 设计步骤

- 按  $e_{ss}$  要求, 确定开环增益  $K$ , 并画出确定了  $K$  的  $20 \lg |G_0(s)|$
- 按综合法设计期望开环对数幅频特性  $20 \lg |G(s)|$
- 按  $20 \lg |G_2 G_c| = 20 \lg |G_0(s)| - 20 \lg |G(s)|$  求解  $G_2(s) G_c(s)$
- 检查局部反馈回路稳定性, 以及是否满足:

$$|G_2(j\omega_c) G_c(j\omega_c)| \gg 1$$

- 由  $G_2 G_c$  求解  $G_c$
- 检验校正后的系统是否满足设计要求

## 综合法设计反馈校正网络: 设计步骤

- 按  $e_{ss}$  要求, 确定开环增益  $K$ , 并画出确定了  $K$  的  $20 \lg |G_0(s)|$
- 按综合法设计期望开环对数幅频特性  $20 \lg |G(s)|$
- 按  $20 \lg |G_2 G_c| = 20 \lg |G_0(s)| - 20 \lg |G(s)|$  求解  $G_2(s) G_c(s)$
- 检查局部反馈回路稳定性, 以及是否满足:

$$|G_2(j\omega_c) G_c(j\omega_c)| \gg 1$$

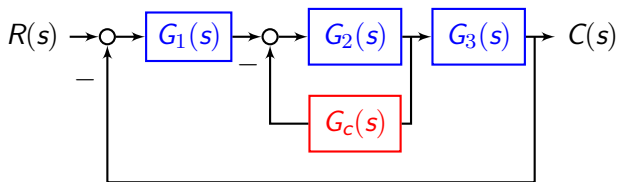
- 由  $G_2 G_c$  求解  $G_c$
- 检验校正后的系统是否满足设计要求



# 综合法反馈校正示例 1

设系统结构图如下，其中  $G_1(s) = \frac{K_1}{0.014s+1}$ ， $G_2(s) = \frac{12}{(0.1s+1)(0.02s+1)}$ ， $G_3(s) = \frac{0.0025}{s}$ ， $0 < K_1 < 6000$ 。设计反馈校正装置  $G_c(s)$  满足以下指标：

- 静态速度误差系数  $K_v \geq 150$
- 单位阶跃输入下的超调量  $\sigma\% \leq 40\%$
- 单位阶跃输入下的调节时间  $t_s \leq 1s$



# 综合法反馈校正示例 1 求解

- $K_1 = 150/0.0025 = 5000$  ,  $G_o(s) = \frac{150}{s(0.014s+1)(0.02s+1)(0.1s+1)}$  ,  
 $\omega'_c = 38.7$
- 期望特性中频段:  
 $M_r = 1.6, \omega_c = 13, \omega_3 = 1/0.014 = 71.3, \omega_2 = 4, \gamma = 63.3^\circ$
- 低频段:  $\omega_1 = 0.35$
- 高频段:  $\omega_4 = 75$
- 期望特性  $G_E(s) = \frac{150(0.25s+1)}{2.86s^2(0.013s+1)}$
- $G_2 G_c \approx 1 + G_2 G_c = G_o / G_E$  得
  - $G_2 G_c \approx \frac{2.86s(0.013s+1)}{(0.25s+1)(0.1s+1)(0.02s+1)(0.014s+1)}$
  - $G_2 G_c \approx \frac{2.86s}{(0.25s+1)(0.1s+1)(0.02s+1)}$

## 综合法反馈校正示例 1 求解 (续)

- $\gamma(G_2 G_c) = 44.3^\circ$  内环稳定
- $20 \lg(|G_2(j\omega_c) G_c(j\omega_c)|) = 18.9$  满足  $|G_2 G_c| \gg 1$
- $G_c = \frac{0.238s}{0.25s+1}$
- 验算:  $K_v = 150, \gamma = 54.3^\circ, M_r = 1.23, \sigma\% = 25.2\%, t_s = 0.6s$   
符合要求