



# 自动控制原理

## (第 26 讲)

### § 5. 线性系统的频域分析与校正

- § 5. 1 频率特性的基本概念
- § 5. 2 幅相频率特性 (Nyquist图)
- § 5. 3 对数频率特性 (Bode图)
- § 5. 4 频域稳定判据
- § 5. 5 稳定裕度
- § 5. 6 利用开环频率特性分析系统的性能
- § 5. 7 闭环频率特性曲线的绘制
- § 5. 8 利用闭环频率特性分析系统的性能
- § 5. 9 频率法串联校正



## 课程回顾：串联超前校正

### § 5.9.1 串联超前校正

实质：利用超前网络相角超前特性提高系统的相角裕度

适用： $\omega_{c0} \leq \omega_c^*$ ,  $\gamma_0 \leq \gamma^*$

步骤：

- ①  $e_{ss}^* \rightarrow K$
- ②  $G_0(s) \rightarrow L_0(\omega) \rightarrow \omega_{c0} \rightarrow \gamma_0$
- ③  $\varphi_m = \gamma^* - \gamma_0 + (5^\circ \sim 10^\circ) \begin{cases} a = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m}, & 10 \lg a \end{cases}$
- ④ 作图设计  $A - B - C - D \Rightarrow G_c(s)$
- ⑤  $G(s) = G_c(s) \cdot G_0(s)$  验算  $\omega_c, \gamma$

效果：

|       |                                             |
|-------|---------------------------------------------|
| 保持低频段 | 满足稳态精度 $e_{ss}$                             |
| 改善中频段 | $\omega_c \uparrow, \gamma \uparrow$ 动态性能提高 |
| 抬高高频段 | 抗高频干扰能力降低                                   |



西北工业大学  
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



# 自动控制原理

## (第 26 讲)

### § 5.9 频率法串联校正

§ 5.9.1 串联超前校正

§ 5.9.2 串联迟后校正

§ 5.9.3 串联迟后—超前校正

§ 5.9.4 串联PID校正



## § 5.9.2 串联迟后校正 (1)

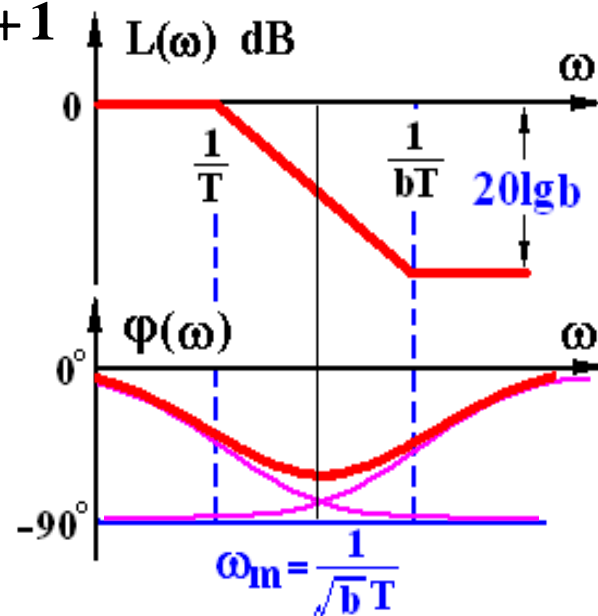
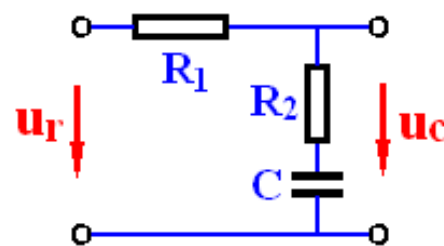
### § 5.9.1 串联迟后校正

#### (1) 迟后网络特性

$$G_c(s) = \frac{U_c(s)}{U_r(s)} = \frac{R_2 + \frac{1}{Cs}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{Cs}} = \frac{R_2Cs + 1}{(R_1 + R_2)Cs + 1}$$

$$= \frac{bTs + 1}{Ts + 1} \quad \begin{cases} b = \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 1 \\ T = (R_1 + R_2)C \end{cases}$$

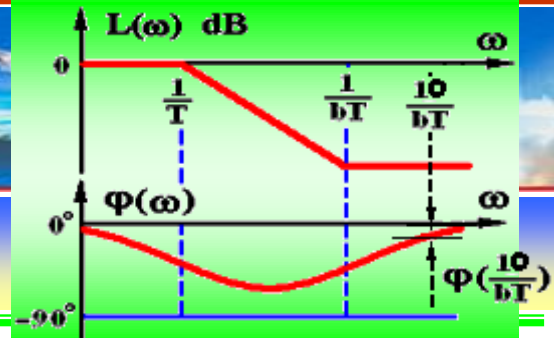
$$G_c(s) = \frac{bTs + 1}{Ts + 1}$$





## § 5.9.2

## 串联迟后校正 (2)

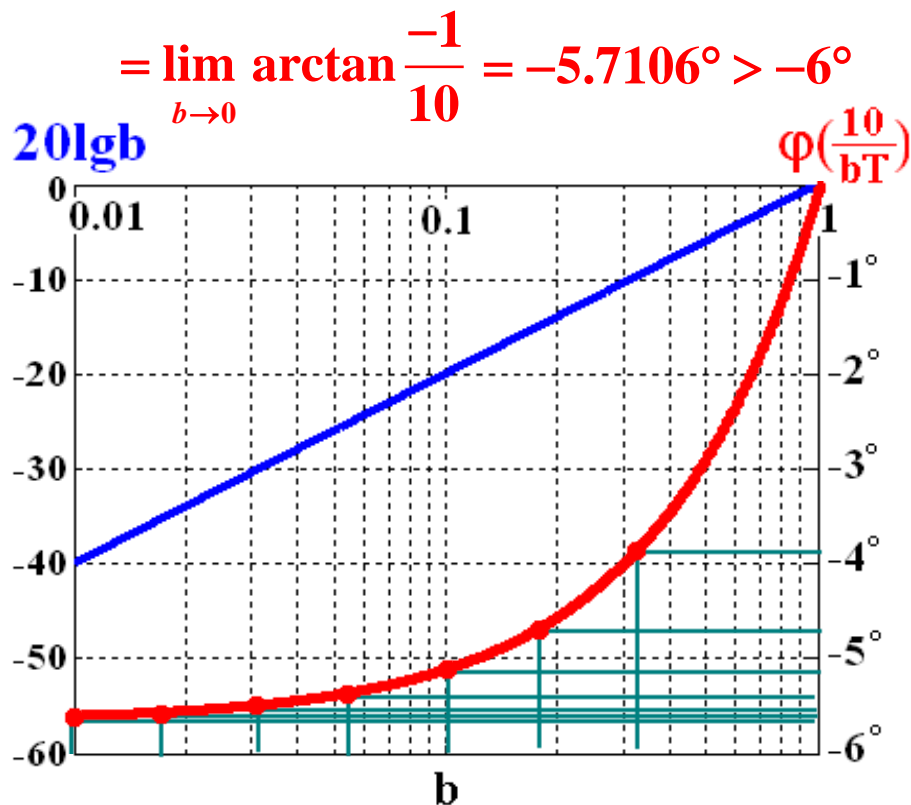
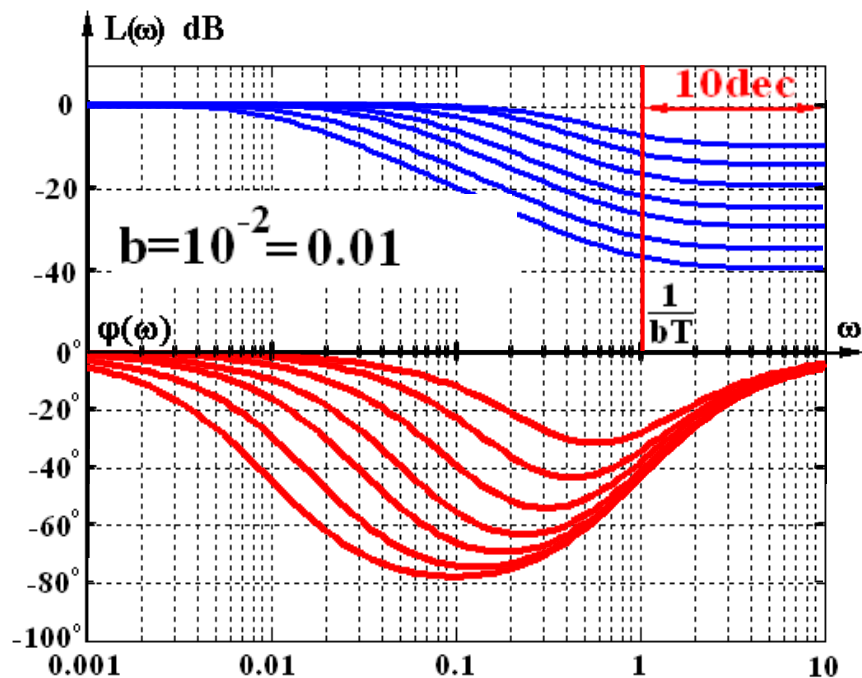


### (1) 迟后网络特性

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

- 迟后网络特点：相角迟后，幅值衰减
- $1/bT$ 后10dec 处的相角损失不超过 $-6^\circ$

$$\varphi_c(\omega) = \arctan(bT\omega) - \arctan(T\omega)$$





## § 5.9.2 串联迟后校正 (3)

### (2) 串联迟后校正

**实质** — 利用迟后网络幅值衰减特性挖掘系统自身的相角储备

迟后校正步骤 (设给定指标  $e_{ss}^*$ ,  $\omega_c^*$ ,  $\gamma^*$ )

① 由  $e_{ss}^* \rightarrow K$

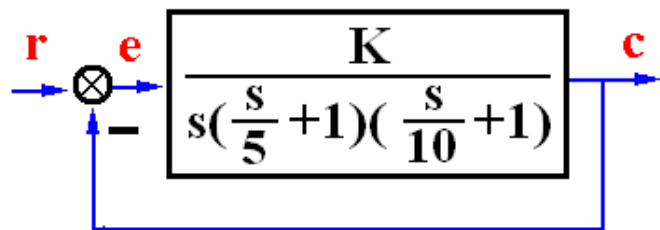
② 由  $G_0(s) \rightarrow L_0(\omega) \rightarrow \omega_{c0} \rightarrow \gamma_0 \quad \begin{cases} \omega_{c0} \text{ 有余} \\ \gamma_0 \text{ 不足} \end{cases}$

③ 绘制曲线  $\gamma_c(\omega) = \gamma^* + 6^\circ \Rightarrow \omega_c$

④ 作图设计 A - B - C - D  $\Rightarrow G_c(s)$

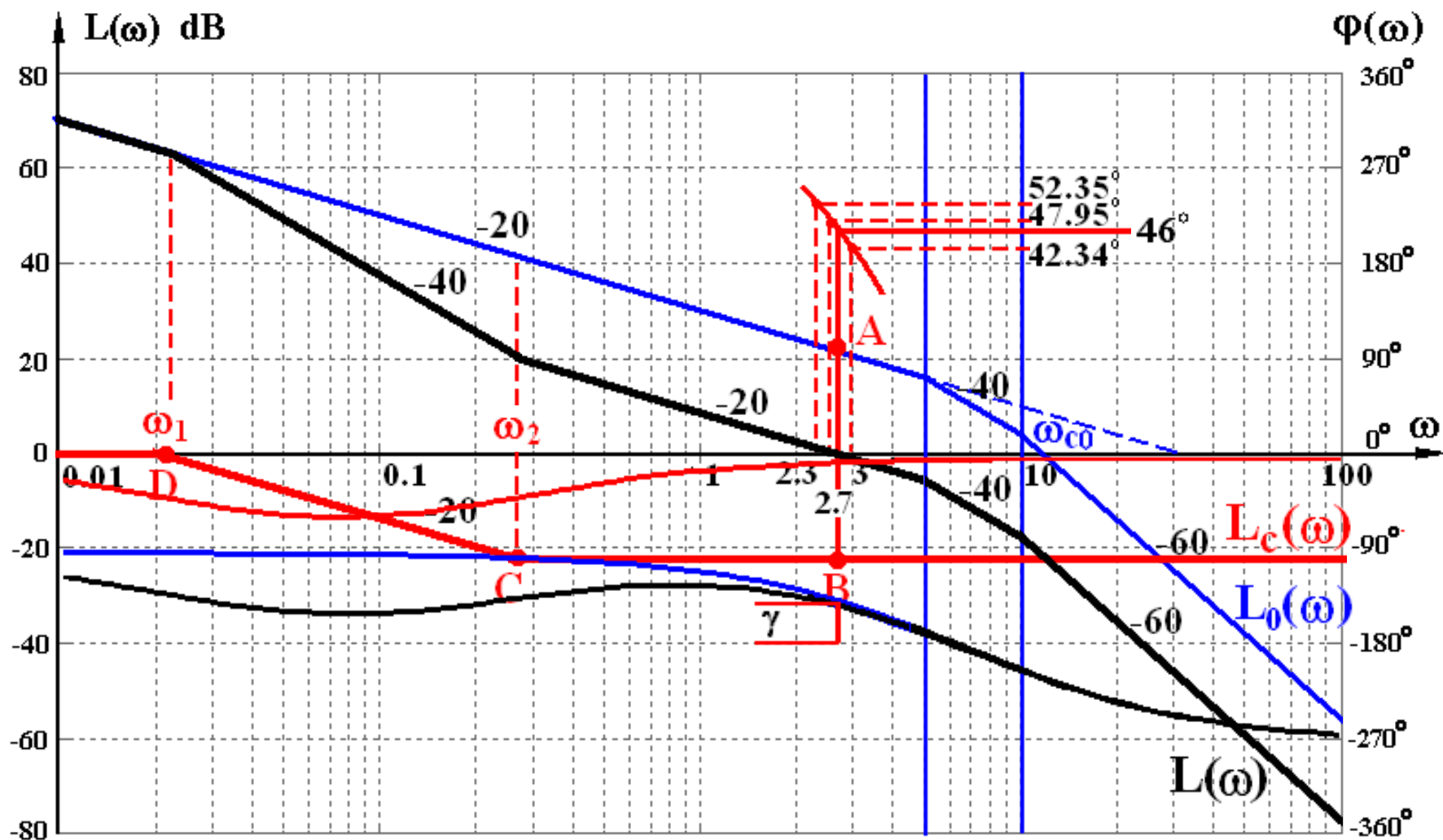
⑤  $G(s) = G_c(s) \cdot G_0(s)$  验算  $\begin{cases} \omega_c \\ \gamma \end{cases}$  是否满足要求

# § 5.9.



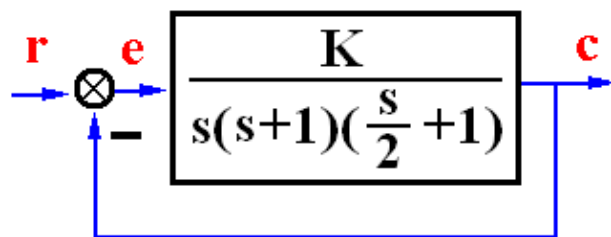
$$\begin{cases} K_v^* = 30 & 1/s \\ \gamma^* \geq 40^\circ \\ \omega_c^* \geq 2.3 & \text{rad/s} \end{cases}$$

举例1



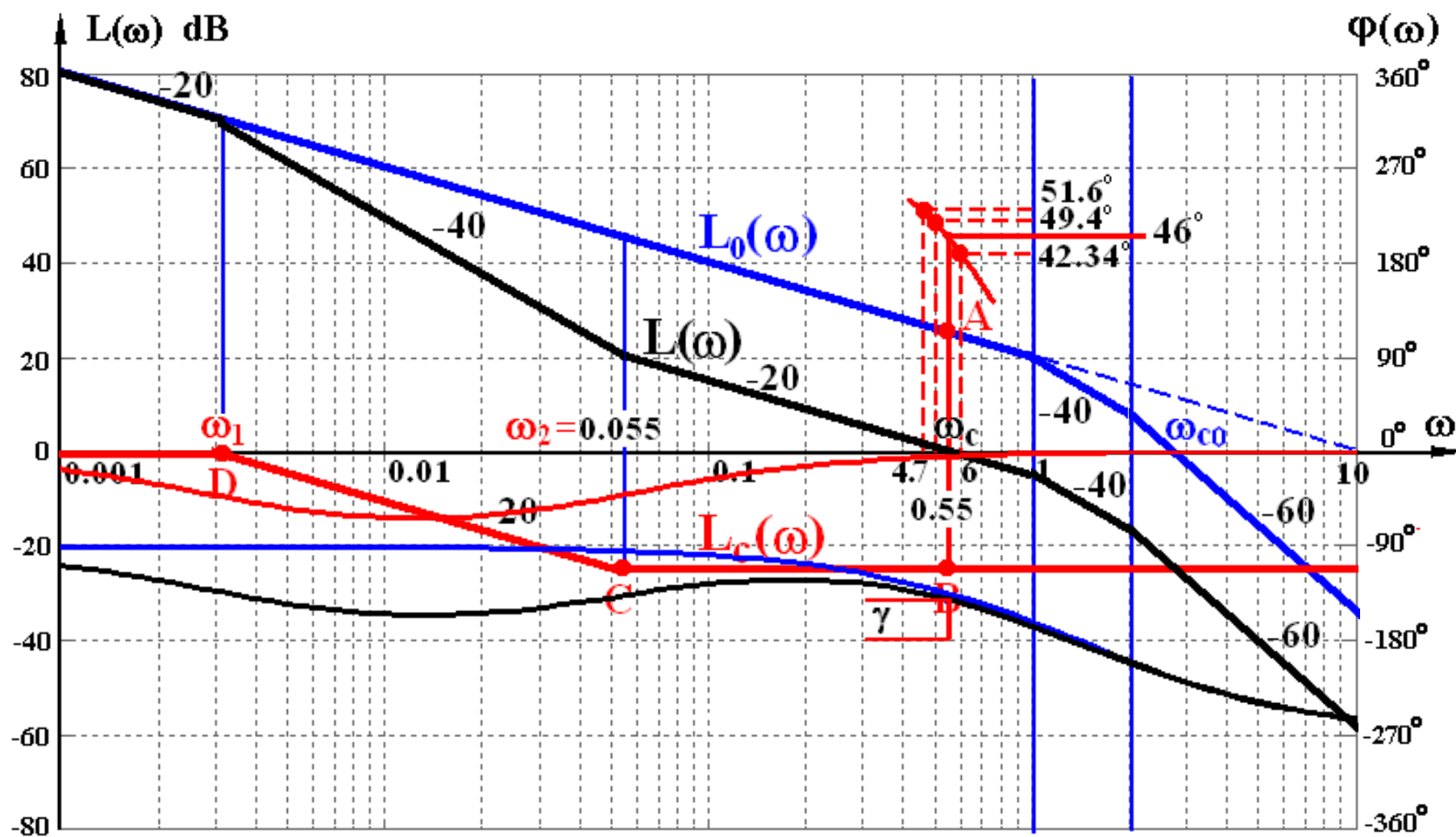


# § 5.9.2



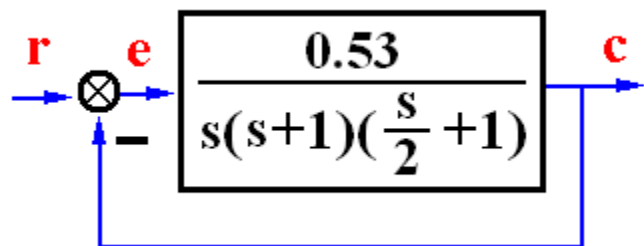
$$\begin{cases} e_{ss}^* \leq 0.1 \\ \gamma^* \geq 40^\circ \\ 20 \lg h^* \geq 10 \text{dB} \end{cases}$$

举例2



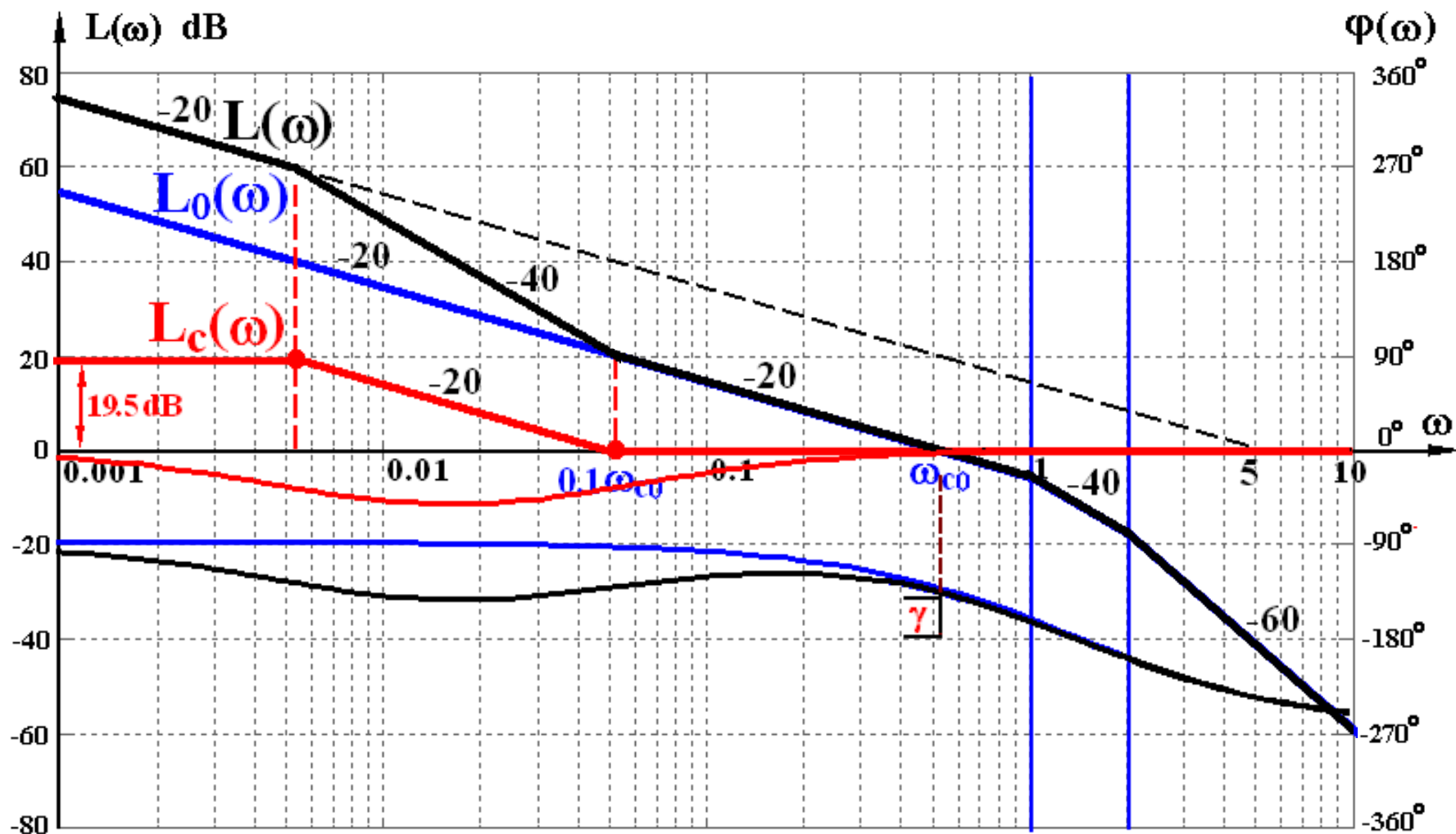


# § 5.9.2



(6)

举例3





## 课程小结：串联迟后校正

### § 5.9.2 串联迟后校正

实质：利用迟后网络幅值衰减特性挖掘系统自身的相角储备

适用： $\omega_{c0} > \omega_c^*$ ,  $\gamma_0 < \gamma^*$

步骤：

- ①  $e_{ss}^* \rightarrow K$
- ②  $G_0(s) \rightarrow L_0(\omega) \rightarrow \omega_{c0} \rightarrow \gamma_0$
- ③ 绘制曲线  $\gamma_c(\omega) = \gamma^* + 6^\circ \Rightarrow \omega_c$
- ④ 作图设计 A - B - C - D  $\Rightarrow G_c(s)$
- ⑤  $G(s) = G_c(s) \cdot G_0(s)$  验算  $\omega_c, \gamma$

效果：

|       |                                                    |
|-------|----------------------------------------------------|
| 保持低频段 | 满足稳态精度 $e_{ss}$                                    |
| 降低中频段 | $\omega_c \downarrow, \gamma \uparrow$ 损失快速性，改善均匀性 |
| 压低高频段 | 提高抗高频干扰能力                                          |