



自动控制原理

(第 27 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： $\omega_{c0} \leq \omega_c^*$, $\gamma_0 \leq \gamma^*$

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

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

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	抗高频干扰能力提高



西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



自动控制原理

(第 27 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



§ 5.9.3 串联迟后-超前校正 (1)

§ 5.9.3 串联迟后-超前校正

(1) 迟后-超前网络特性

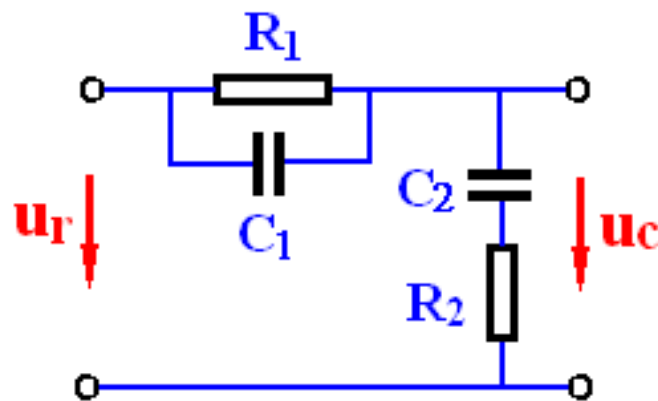
$$G_c(s) = \frac{(T_a s + 1)(T_b s + 1)}{T_a T_b s^2 + (T_a + T_b + T_{ab})s + 1}$$

$$aT_a + \frac{T_b}{a} = T_a + T_b + T_{ab}$$

$$aT_a > T_a > T_b > \frac{T_b}{a}$$

$$G_c(s) = \frac{(T_a s + 1)}{(aT_a s + 1)} \cdot \frac{(T_b s + 1)}{(\frac{T_b}{a} s + 1)}$$

$$\begin{cases} T_a = R_1 C_1 \\ T_b = R_2 C_2 \\ T_{ab} = R_1 C_2 \end{cases}$$

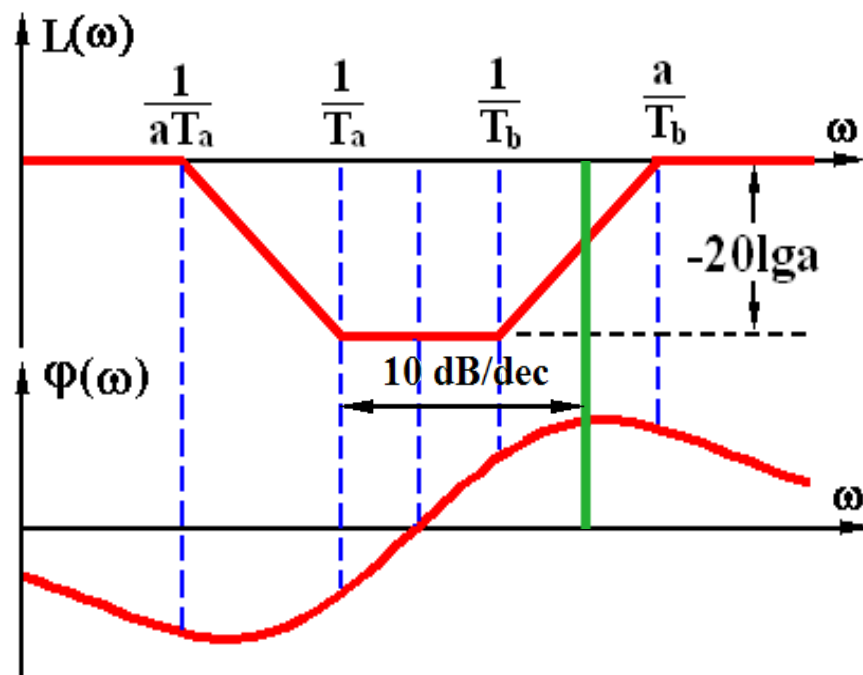




§ 5.9.3 串联迟后-超前校正 (2)

(1) 迟后-超前网络特性

$$G_c(s) = \underbrace{\frac{(s + \frac{1}{T_a})}{(s + \frac{1}{aT_a})}}_{\text{迟后部分}} \cdot \underbrace{\frac{(s + \frac{1}{T_b})}{(s + \frac{a}{T_b})}}_{\text{超前部分}} \quad (a > 1)$$



迟后-超前网络特点： 幅值衰减， 相角超前



§ 5.9.3 串联迟后-超前校正 (3)

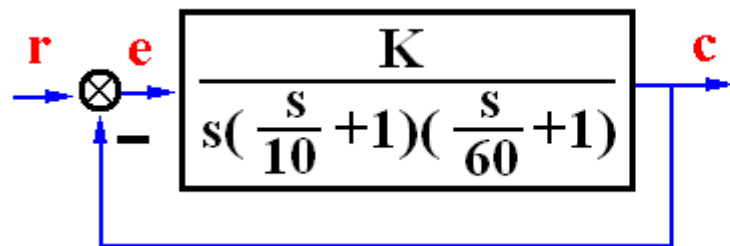
(2) 迟后-超前校正

实质 — 综合利用迟后网络幅值衰减、超前网络相角超前的特性，改造开环频率特性，提高系统性能

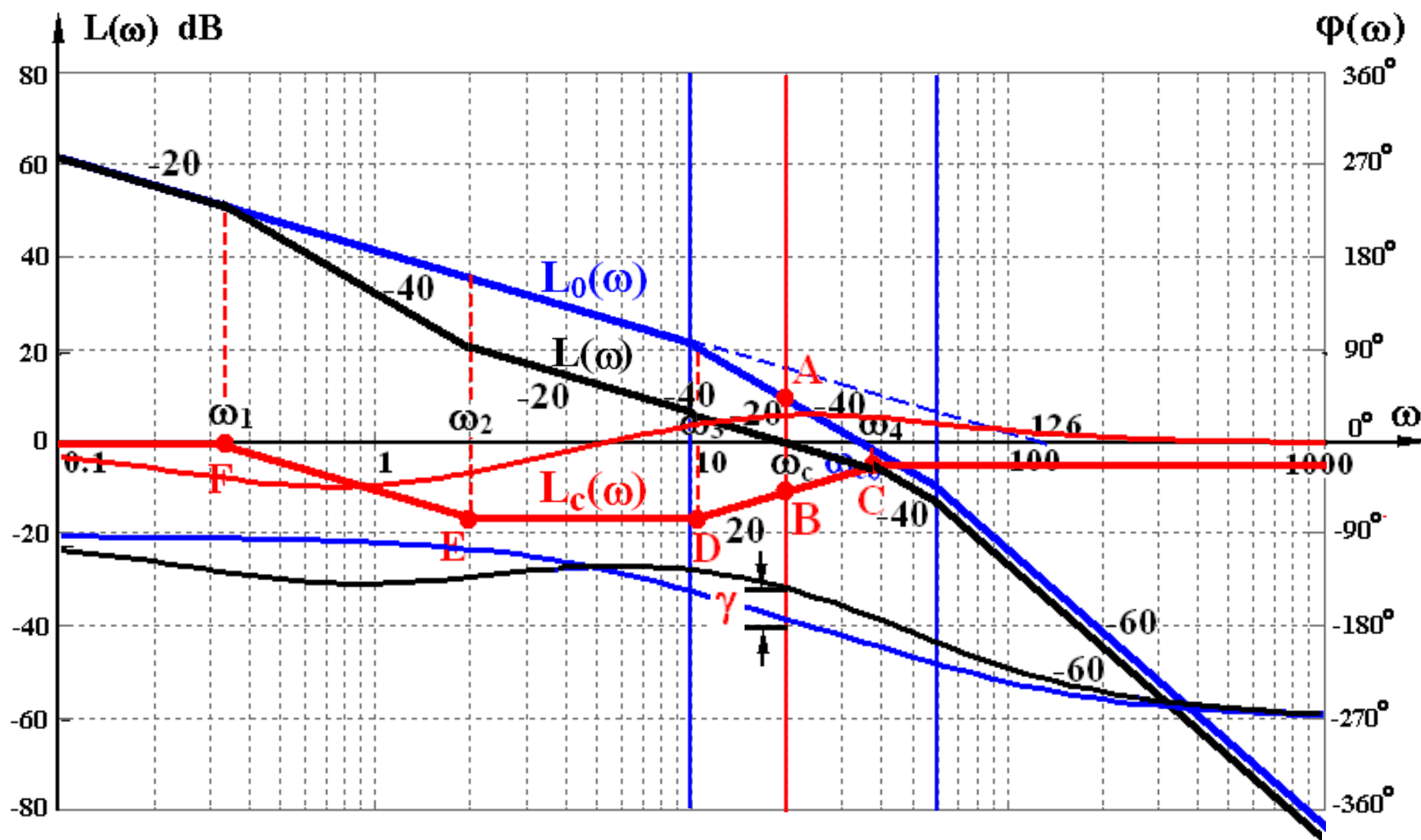
迟后-超前校正步骤 (设给定标 e_{ss}^* , ω_c^* , γ^*)

- ① 由 $e_{ss}^* \rightarrow K$
- ② 由 $G_0(s) \rightarrow L_0(\omega) \rightarrow \omega_{c0} \rightarrow \gamma_0$ 用 $\begin{cases} \text{超前校正} \\ \text{迟后校正} \end{cases}$ 均无效时
- ③ 确定 $\varphi_m = \gamma^* - \gamma_0(\omega_c^*) + 6^\circ$ $\begin{cases} a = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m}, \sqrt{a} \end{cases}$
- ④ 作图设计 $A - B - C - D - E - F \Rightarrow G_c(s)$
- 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.



$$\begin{cases} e_{ss}^* \leq 1/126 \quad (r=t) \\ \gamma^* \geq 35^\circ \\ \omega_c^* \geq 20 \text{ rad/s} \end{cases}$$





§ 5.9.4 串联PID校正 (1)

§ 5.9.3 串联PID校正

(1) PID电路特性

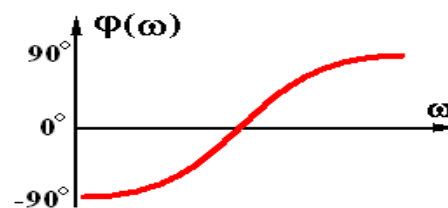
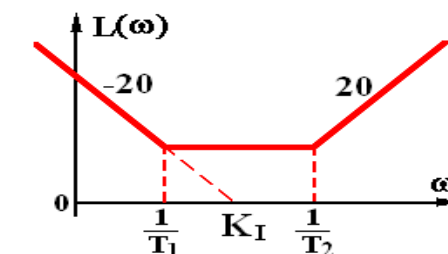
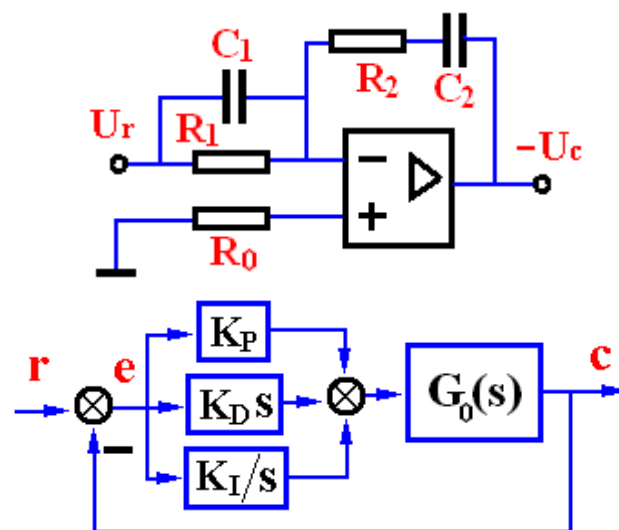
$$I = \frac{U_r}{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + C_1 s}} = \frac{U_c}{R_2 + \frac{1}{C_2 s}}$$

$$G_c(s) = \frac{U_c}{U_r} = \frac{1}{R_1 C_1 s + 1} \cdot \frac{1}{R_2 + \frac{1}{C_2 s}} = \frac{1}{R_1 C_1 s + 1} \cdot \frac{C_2 s}{R_2 C_2 s + 1} = \frac{C_2 s}{R_1 C_1 s + 1} \cdot \frac{1}{R_2 C_2 s + 1}$$

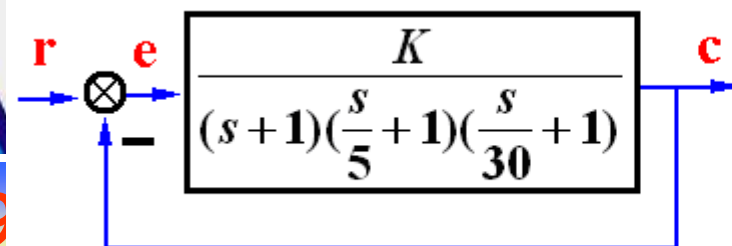
$$= R_2 C_1 s + \left(\frac{1}{C_2} + \frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{1}{R_1 C_2 s}$$

$$G_c(s) = K_D s + K_P + K_I / s$$

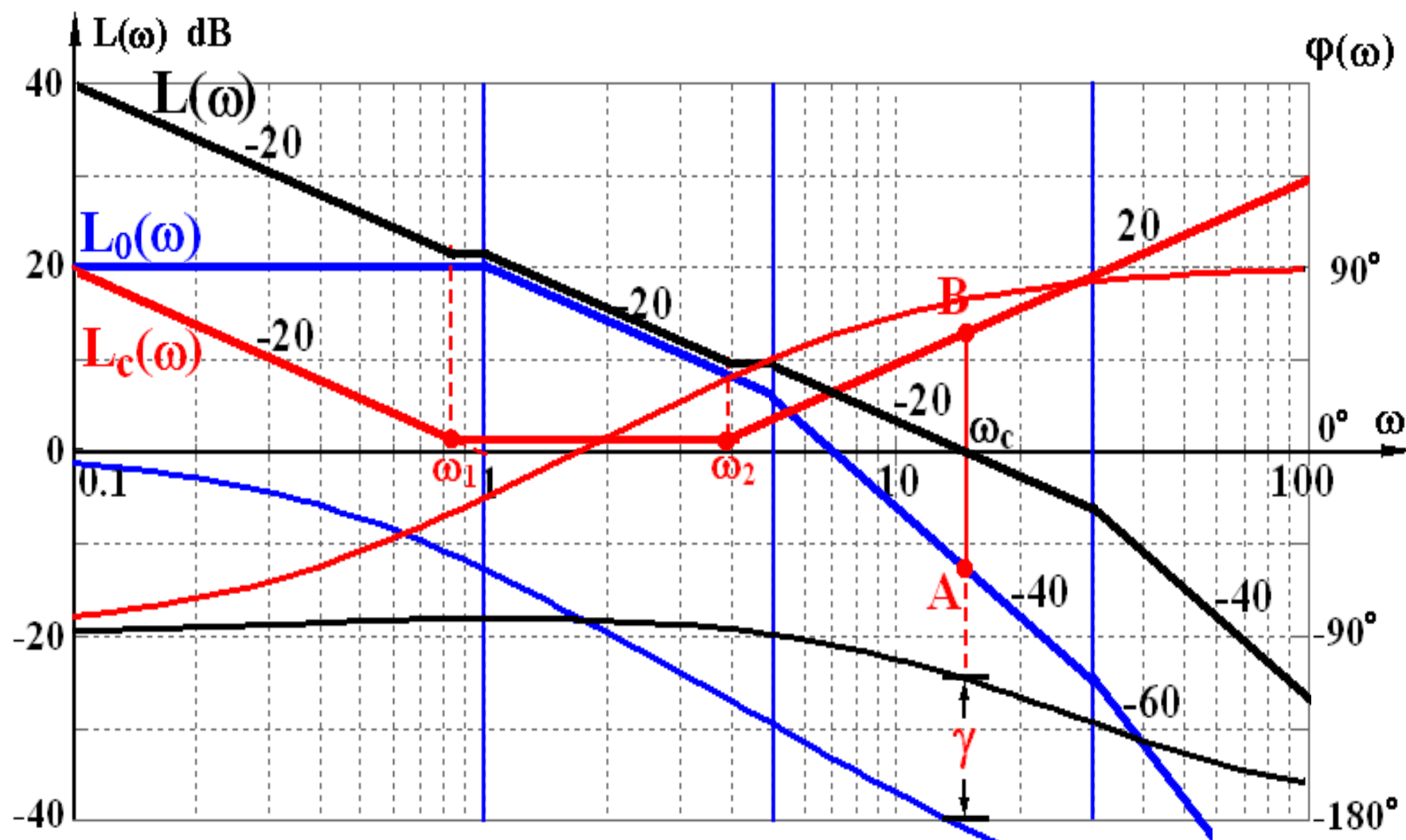
$$G_c(s) = \frac{K_I (T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{s}$$



§ 5.9



$$\begin{cases} e_{ss}^* \leq 0.1 \\ \sigma \% \leq 20 \% \\ t_s \leq 0.5 \end{cases} \quad \begin{cases} K = 10 \quad (v=1) \\ \gamma^* \geq 65^\circ \\ \omega_c^* \geq 13.6 \end{cases}$$





§ 5.9.4 频率法串联校正小结 (1)

频率法串联校正小结

(1) 串联校正方法的比较

校正方法	校正网络特点	应用场合	效果
① 超前校正	幅值增加 相角超前	$\begin{cases} \omega_{c0} < \omega_c^* \\ \gamma_0 < \gamma^* \end{cases}$	$\begin{cases} \omega_c \uparrow, \gamma \uparrow \\ \text{高频段} \uparrow \end{cases}$
② 迟后校正	幅值衰减 相角迟后	$\begin{cases} \omega_{c0} > \omega_c^* \\ \gamma_0 < \gamma^* \end{cases}$	$\begin{cases} \omega_c \downarrow, \gamma \uparrow \\ \text{高频段} \downarrow \end{cases}$
③ 迟后超前	幅值衰减 相角超前	迟后超前 均不奏效	$\begin{cases} \omega_c \sim, \gamma \uparrow \\ \text{高频段} \sim \end{cases}$



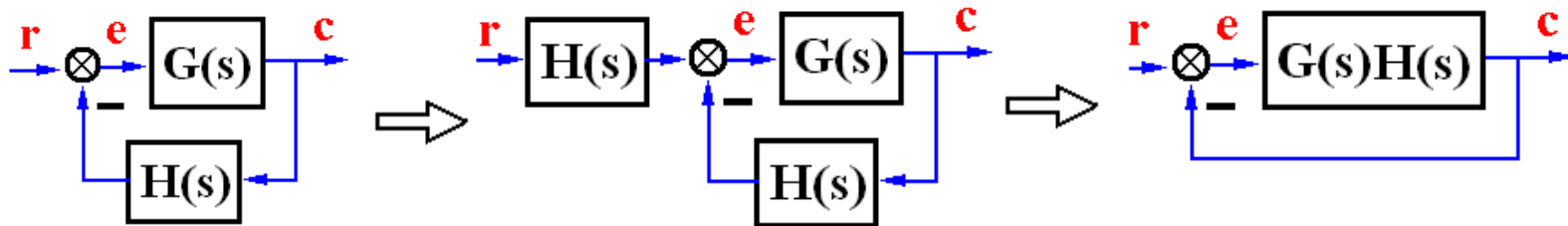
§ 5.9.4 频率法串联校正小结 (2)

频率法串联校正小结

(2) 频率法串联校正适用的范围 — 单位反馈的最小相角系统

$$L(\omega) \xrightarrow{\text{最小相角系统}} G(s) \xrightarrow{\text{单位反馈系统}} \Phi(s)$$

非单位反馈系统:



非最小相角系统: 需将 $L(\omega)$ 曲线和 $\varphi(\omega)$ 曲线同时绘出, 在考虑稳定性的基础上进行校正



西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY

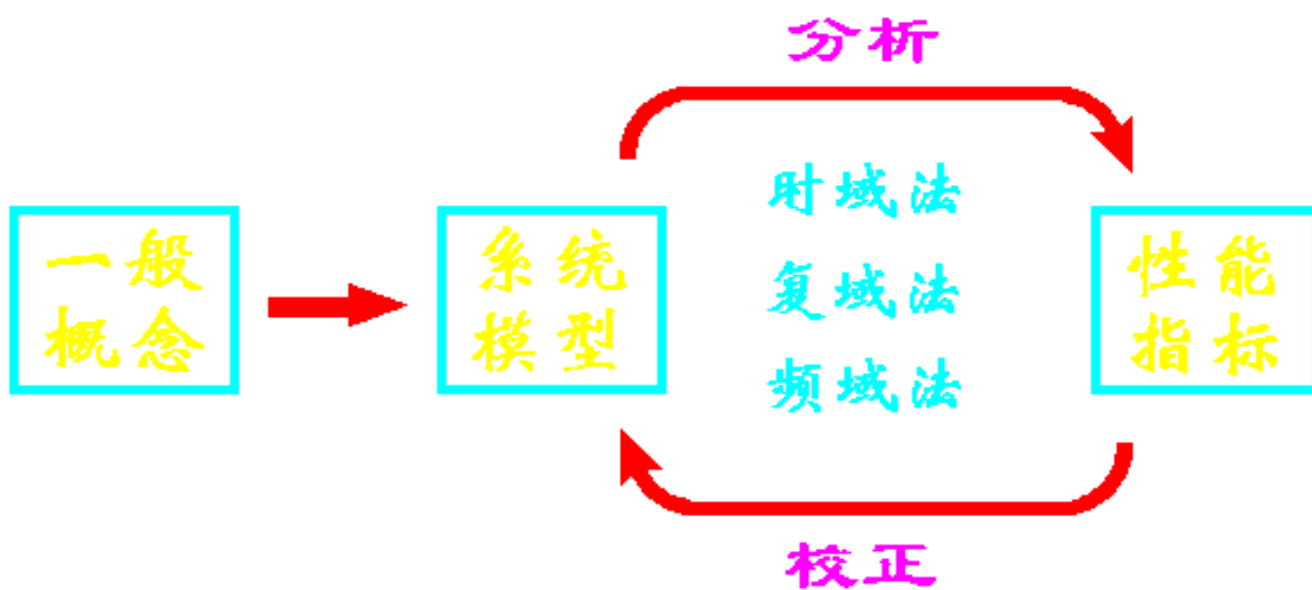


线性系统的频域分析与校正

第五章小结



自动控制原理课程的任务与体系结构



课程的体系结构