自动控制原理

(第 25 讲)

§5. 线性系统的频域分析与校正

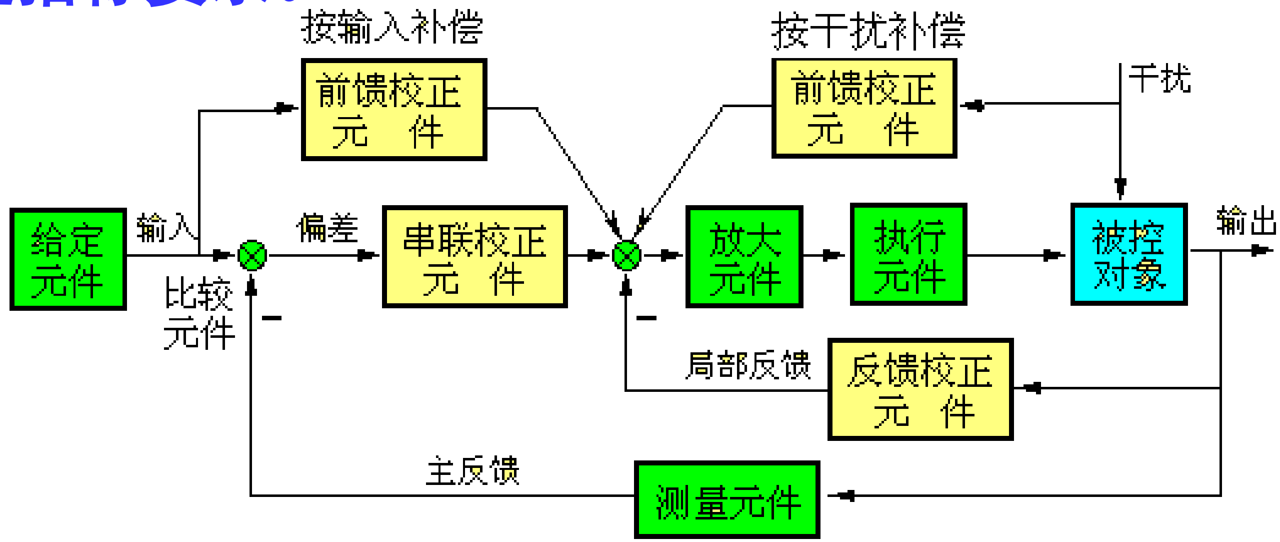
(第 25 讲)

§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 串联迟后一超前校正
§5.9.4 串联PID校正

§5.9 频率法串联校正 (1)

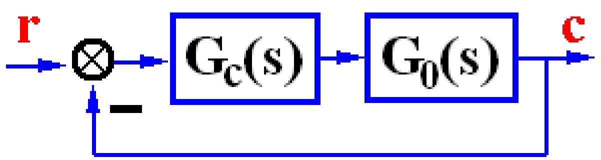
校正：采用适当方式，在系统中加入一些结构和参数可调整的装置（校正装置），用以改善系统性能，使系统满足指标要求。

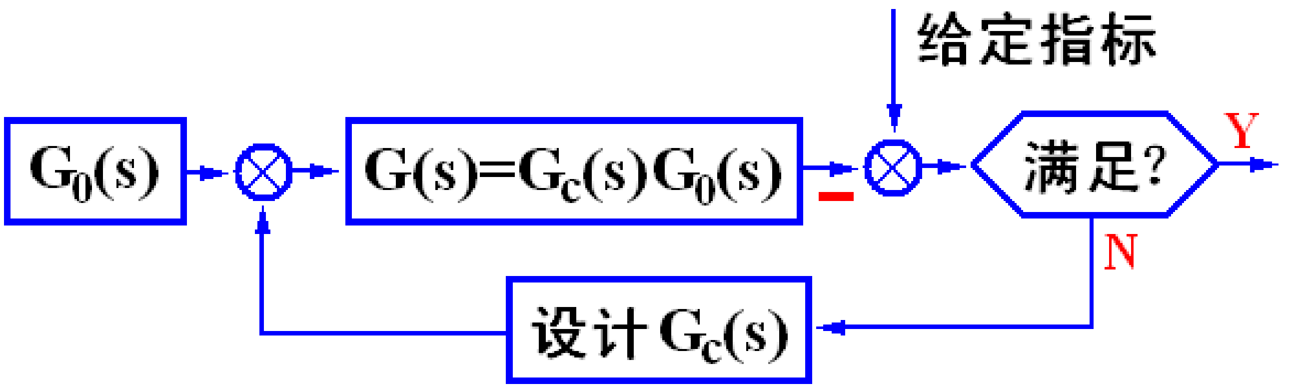


校正方式： 串联校正， 反馈校正， 复合校正

§ 5.9 频率法串联校正的过程 (2)

频率法串联校正的设计过程





合理确定性能指标
- 有重点地照顾各项指标要求；
- 不要追求不切实际的高指标。

§5.9 频率法串联校正的基本原理(3)

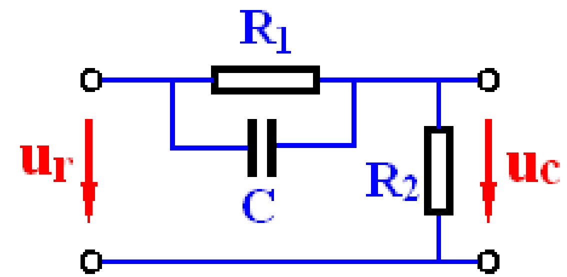
三频段理论

$L(\omega)$ 频段	对应性能		希望形状
低频段	开环增益 K 系统型别 v	稳态误差 e_{ss}	陡，高
中频段	截止频率 ω_c 相角裕度 γ	动态性能 $\sigma\%$, t_s	缓，宽
高频段	系统抗高频干扰的能力		低，陡

三频段理论：为我们改变系统频率特性，进而改善系统性能提供了原则和方向。

§5.9.1 串联超前校正

(1) 超前网络特性



$$G_c'(s)=\frac{U_c(s)}{U_r(s)}=\frac{R_2}{R_2+\dfrac{1}{\dfrac{1}{R_1}+Cs}}=\frac{R_2}{R_2+\dfrac{R_1}{CR_1s+1}}$$

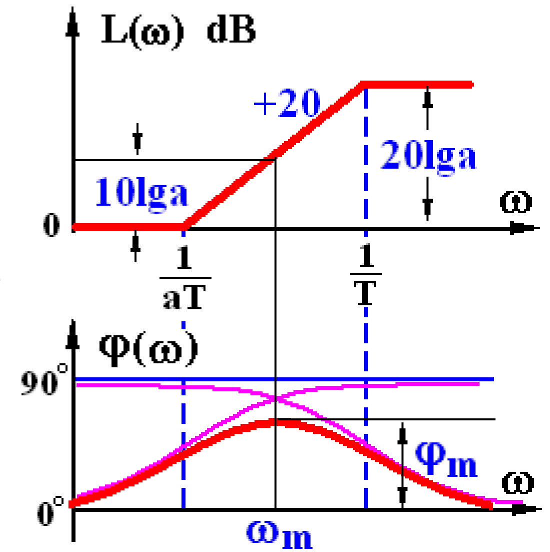
$$=\frac{R_2(CR_1s+1)}{R_2(CR_1s+1)+R_1}=\frac{R_2(CR_1s+1)}{R_1R_2C\,s+R_1+R_2}=\frac{\dfrac{R_2}{R_1+R_2}(CR_1s+1)}{\dfrac{R_1R_2C}{R_1+R_2}s+1}$$

$$=\frac{1}{a}\cdot\frac{aTs+1}{Ts+1}\qquad\begin{cases}a=\dfrac{R_1+R_2}{R_2}>1\\[2ex] T=\dfrac{R_1R_2C}{R_1+R_2}\end{cases}$$

$$\boxed{a\cdot G_c'(s)=\frac{aTs+1}{Ts+1}=G_c(s)}$$

§ 5.9.1 串联超前校正（2）

(1) 超前网络特性 $G_c(s)=\dfrac{aTs+1}{Ts+1}\qquad (a>1)$



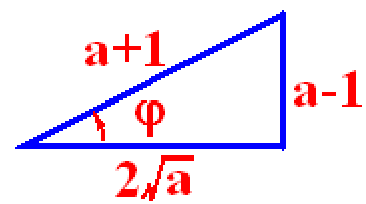
$$H=20\lg\frac{1/T}{1/aT}=20\lg a$$

$$\varphi(\omega)=\arctan(aT\omega)-\arctan(T\omega)=\arctan\frac{T\omega(a-1)}{1+aT^2\omega^2}$$

$$\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega}=0\quad\Rightarrow\quad\frac{d}{d\omega}\left[\tan\varphi(\omega)\right]=0$$

$$\frac{d}{d\omega}\left[\frac{T\omega(a-1)}{1+aT^2\omega^2}\right]=\frac{T(a-1)[1-aT^2\omega^2]}{(1+aT^2\omega^2)^2}=0$$

$$\omega_m=1/\sqrt{a}T$$



$$\tan\varphi(\omega_m)=\left.\frac{T\omega_m(a-1)}{1+aT^2\omega_m^2}\right|_{\omega_m=\frac{1}{\sqrt{a}T}}=\frac{a-1}{2\sqrt{a}}$$

$$\varphi_m=\varphi(\omega_m)=\arctan\frac{a-1}{2\sqrt{a}}=\arcsin\frac{a-1}{a+1}$$

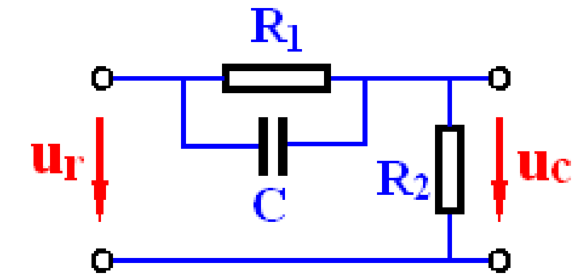
可解出 $\begin{cases} a=\dfrac{1+\sin\varphi_m}{1-\sin\varphi_m} \\ L(\omega_m)=10\lg a \end{cases}$

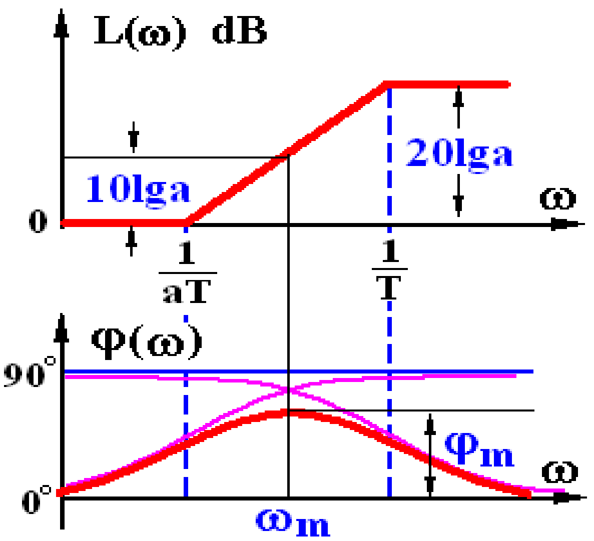
§5.9.1 串联超前校正（3）

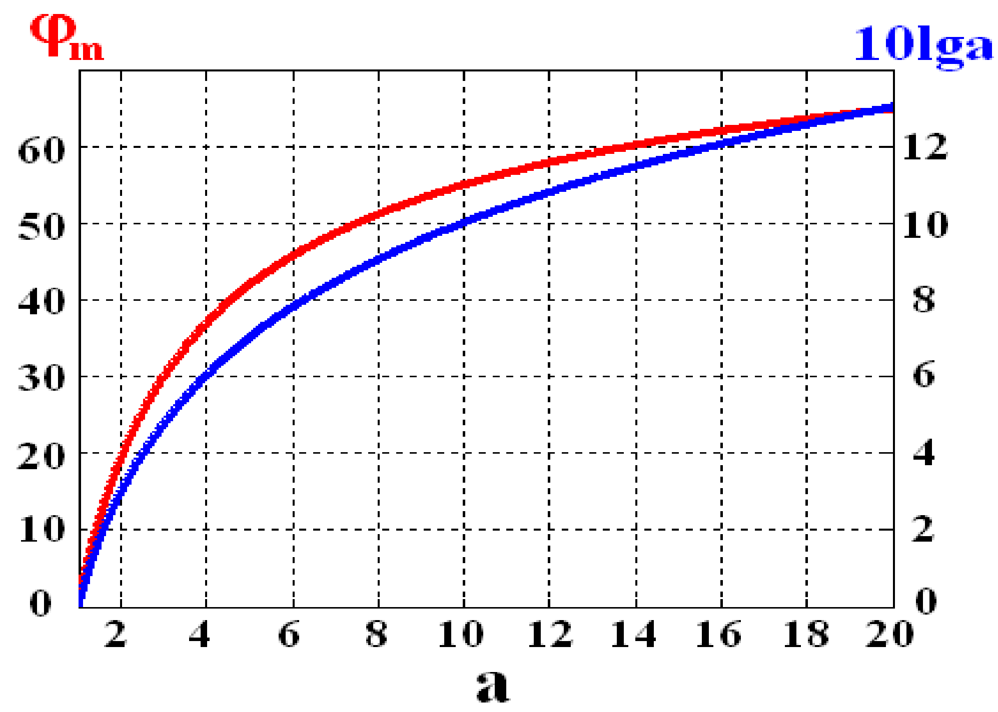
(1) 超前网络特性

$$\begin{cases} \varphi_m = \arcsin \dfrac{a-1}{a+1} \\ a = \dfrac{1+\sin\varphi_m}{1-\sin\varphi_m} \end{cases}$$

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







§ 5.9.1 串联超前校正 (4)

(2) 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

超前校正步骤（设给定指标 e_{ss}^*，ω_c^*，γ^*）

① 由 $e_{ss}^* \longrightarrow K$

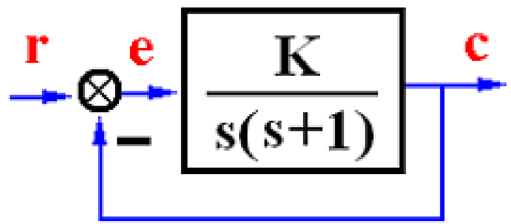
② 由 $G_0(s) \longrightarrow L_0(\omega) \longrightarrow \omega_{c0} \longrightarrow \gamma_0 \left\{ \omega_{c0},\ \gamma_0 \right.$ 均不足

③ 确定 $\varphi_m = \gamma^* - \gamma_0 + (5° \sim 10°)$ $\left\{ a = \dfrac{1+\sin\varphi_m}{1-\sin\varphi_m},\quad 10\lg a \right.$

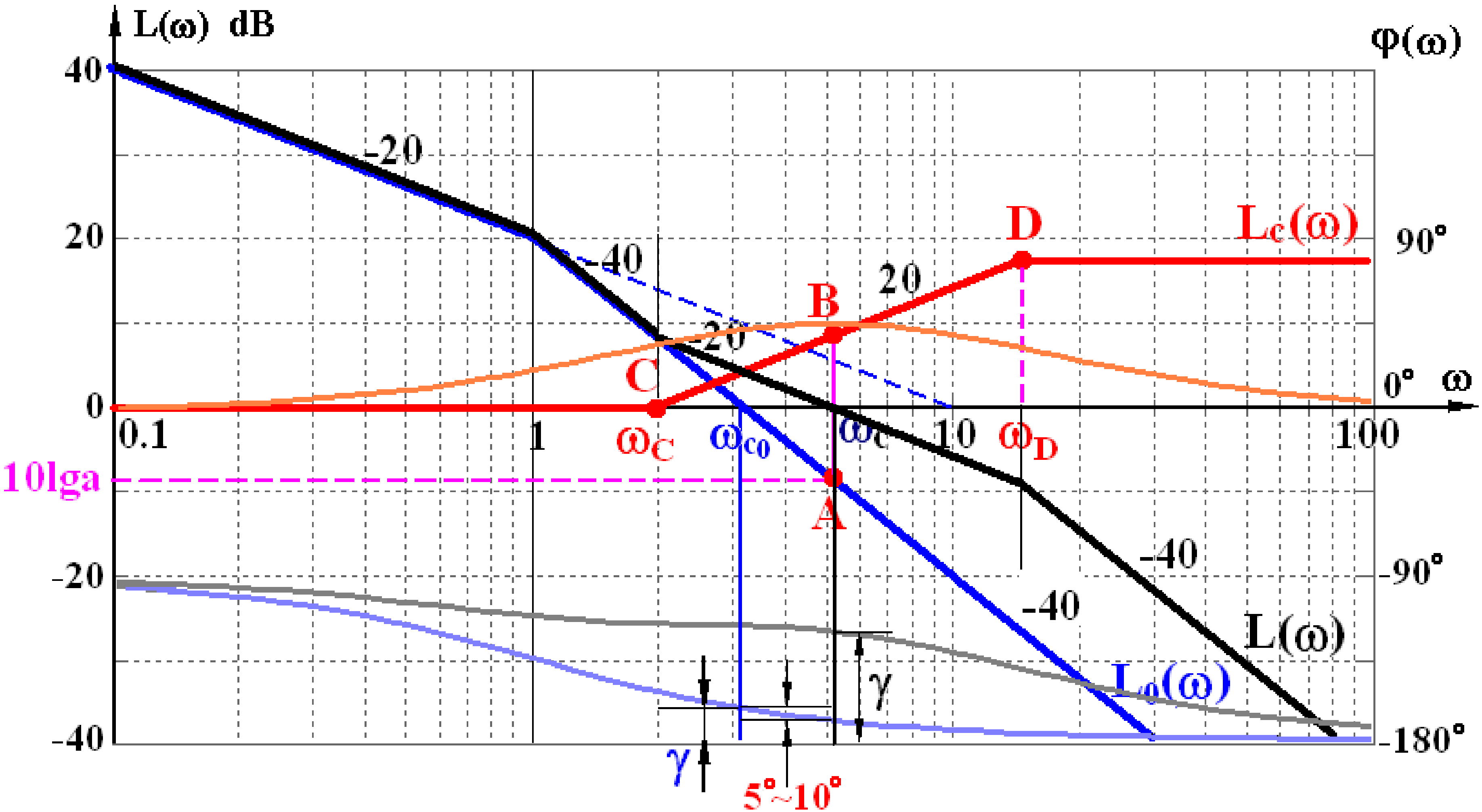
④ 作图设计 A – B – C – D $\Rightarrow G_c(s)$

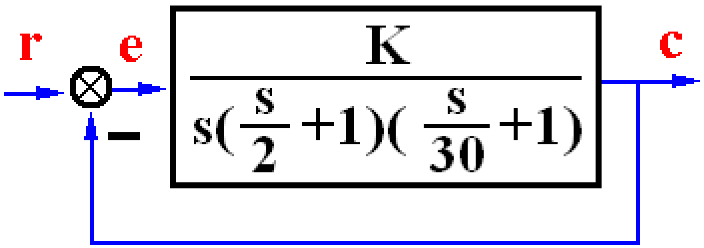
⑤ $G(s) = G_c(s) \cdot G_0(s)$ 验算 $\left\{ \begin{matrix} \omega_c \\ \gamma \end{matrix} \right.$ 是否满足要求

§ 5.9.1 举例1



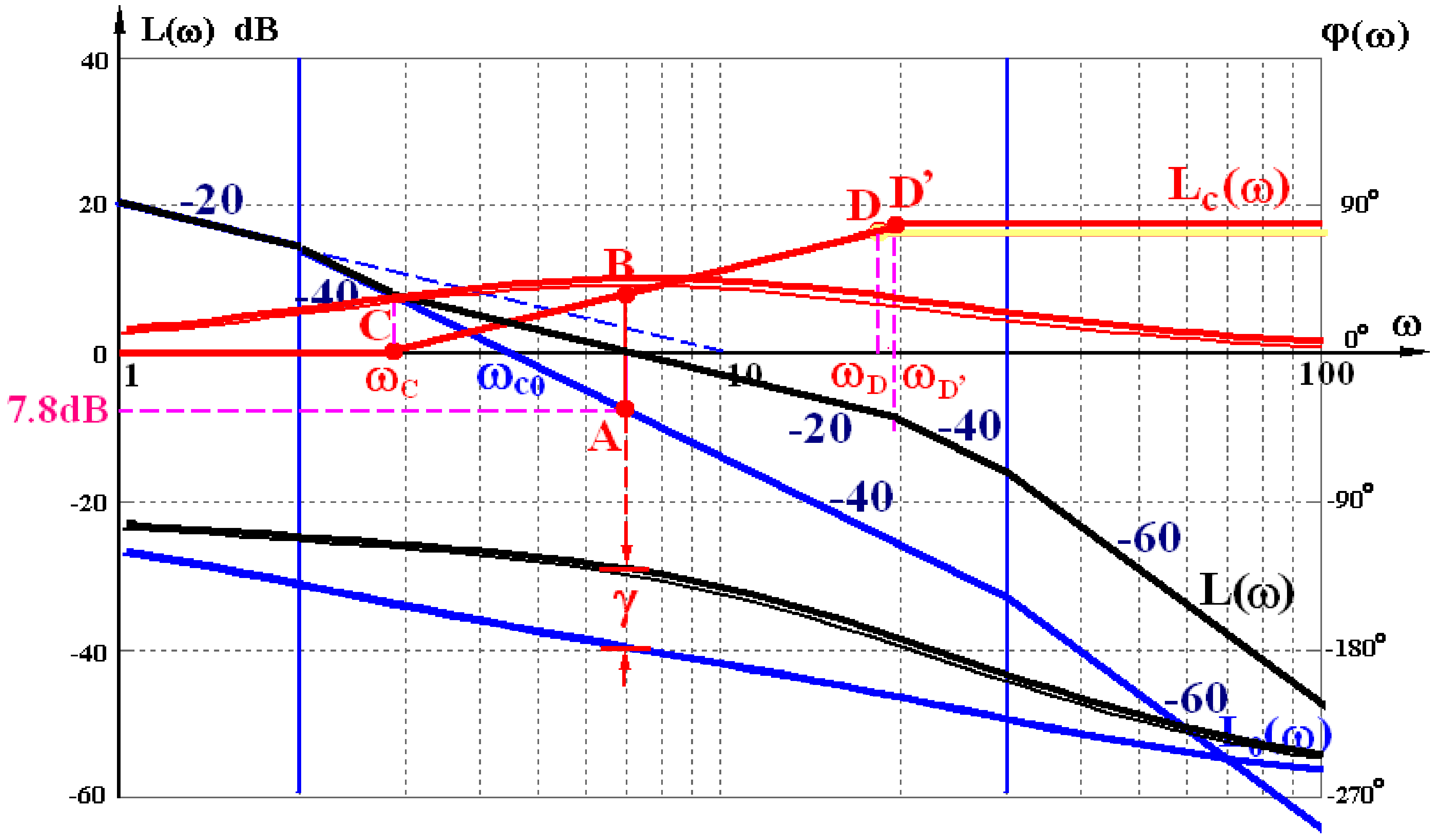
$$\begin{cases} e_{ss}^{r(t)=t} \le 0.1 \\ \omega_c^* \ge 5 \\ \gamma^* \ge 60^\circ \\ h^* \ge 10dB \end{cases}$$





$$\begin{cases} e_{ss} \le 0.1 \quad [r(t)=t] \\ \omega_c^* \ge 5 \\ \gamma^* \ge 50^\circ \\ h^* \ge 10dB \end{cases}$$

举例2



课程小结

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

步骤：
① $e_{ss}^* \longrightarrow K$
② $G_0(s) \longrightarrow L_0(\omega) \longrightarrow \omega_{c0} \longrightarrow \gamma_0$
③ $\varphi_m = \gamma^* - \gamma_0 + (5^\circ \sim 10^\circ)$ $\left\{ a = \dfrac{1+\sin\varphi_m}{1-\sin\varphi_m}, \quad 10\lg a \right.$
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 ω_c， γ

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