



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

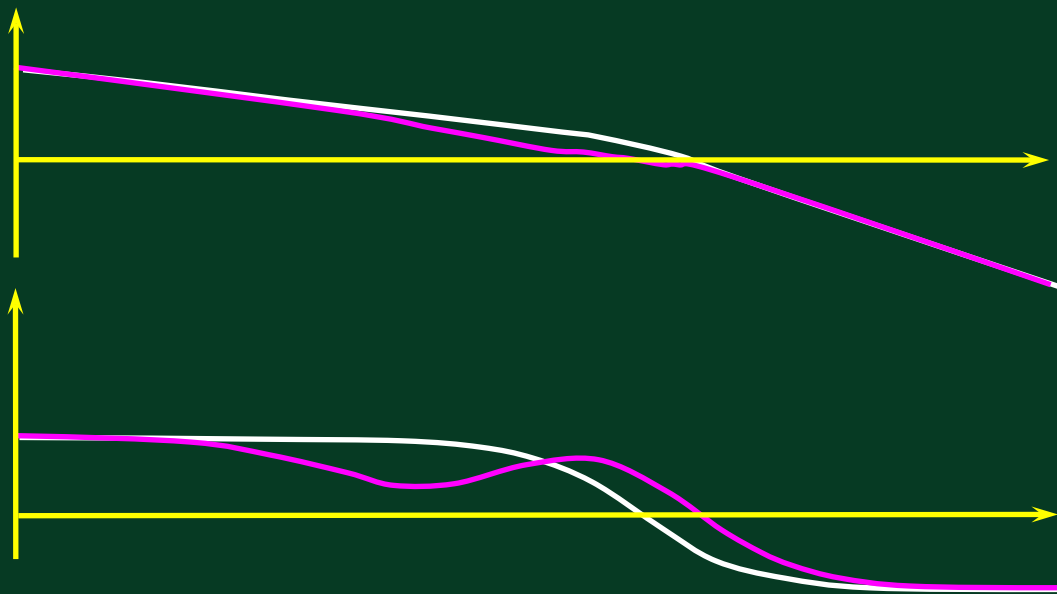
系统的性能指标与校正

相位滞后-超前校正

主讲：刘希太

□ 相位滞后-超前校正

对校正系统的动、稳态特性都有较高要求时，宜采用串联相位滞后—超前补偿装置。



1. 相位滞后-超前校正原理及其频率特性

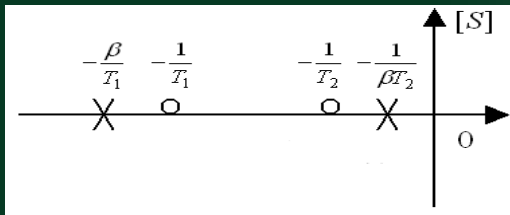
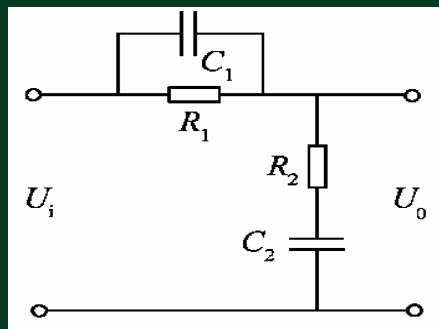
$$G_c(s) = \frac{U_c(s)}{U_r(s)} = \frac{R_2 + \frac{1}{sC_2}}{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + sC_1} + R_2 + \frac{1}{sC_2}} = \frac{(R_1C_1s + 1)(R_2C_2s + 1)}{(R_1C_1s + 1)(R_2C_2s + 1) + R_1C_2s}$$

令 $R_1C_1 = T_1$, $R_2C_2 = T_2$ 且有 $T_2 > T_1$

$$T_1/\beta + \beta T_2 \approx R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2$$

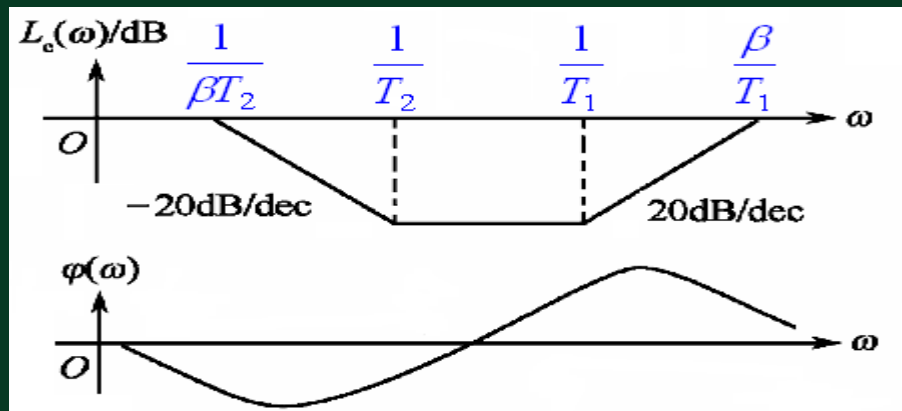
$$\beta = \frac{R_1 + R_2}{R_2} > 1$$

得 $G_c(s) = \frac{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}{(\frac{T_1}{\beta}s + 1)(\beta T_2s + 1)}$



$$G_c(j\omega) = \frac{1 + jT_1\omega}{1 + j\frac{T_1}{\beta}\omega} \cdot \frac{1 + jT_2\omega}{1 + j\beta T_2\omega}$$

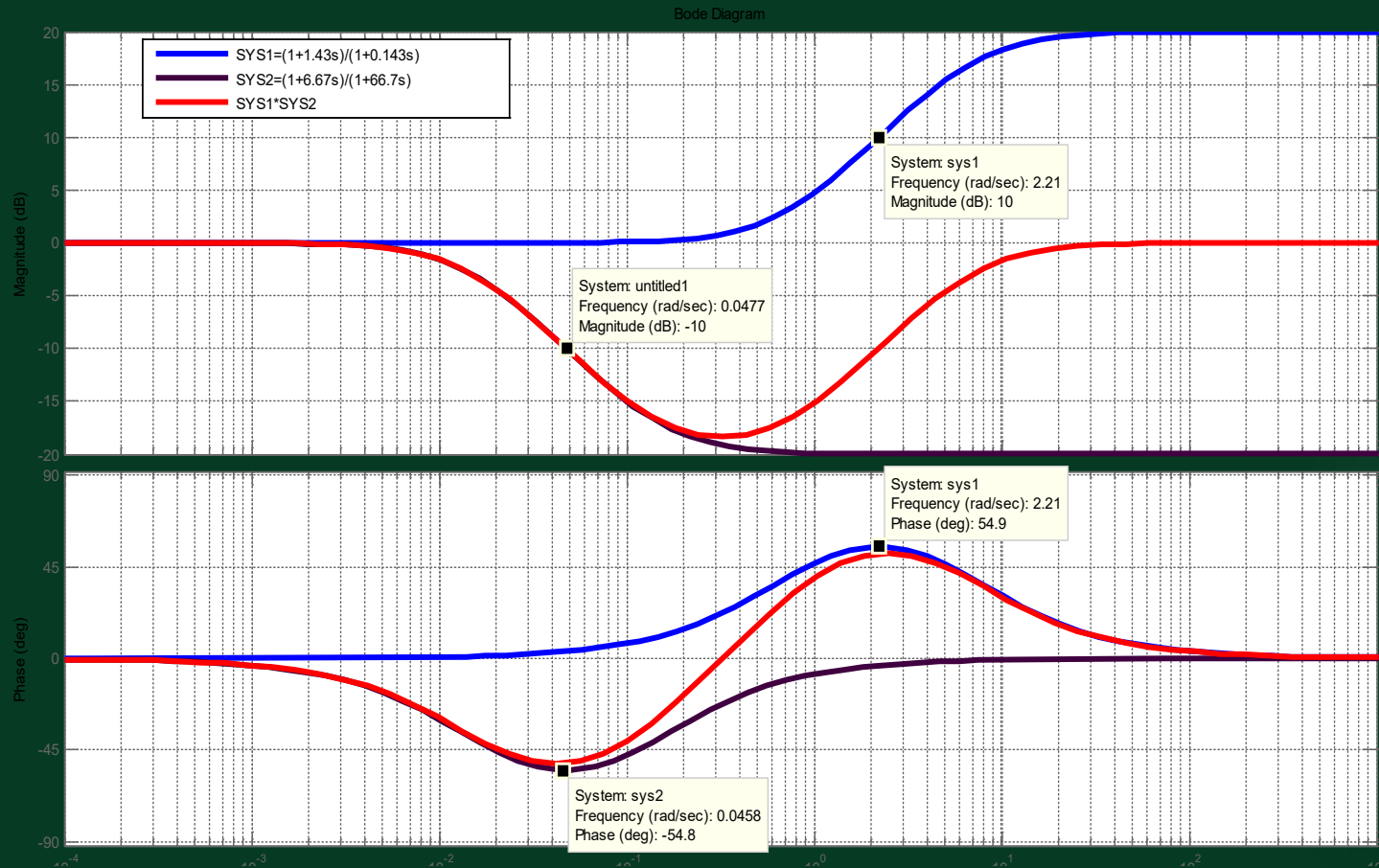
前一项代表超前校正，后一项代表滞后校正。



滞后—超前校正装置的Bode图

滞后-超前校正网络的Bode图

在线开放课程



2. 采用Bode图进行相位滞后-超前校正

例：单位反馈系统的开环传递函数 $G_K(s) = \frac{K}{s(s+1)(0.5s+1)}$

要求设计校正装置，使系统满足：

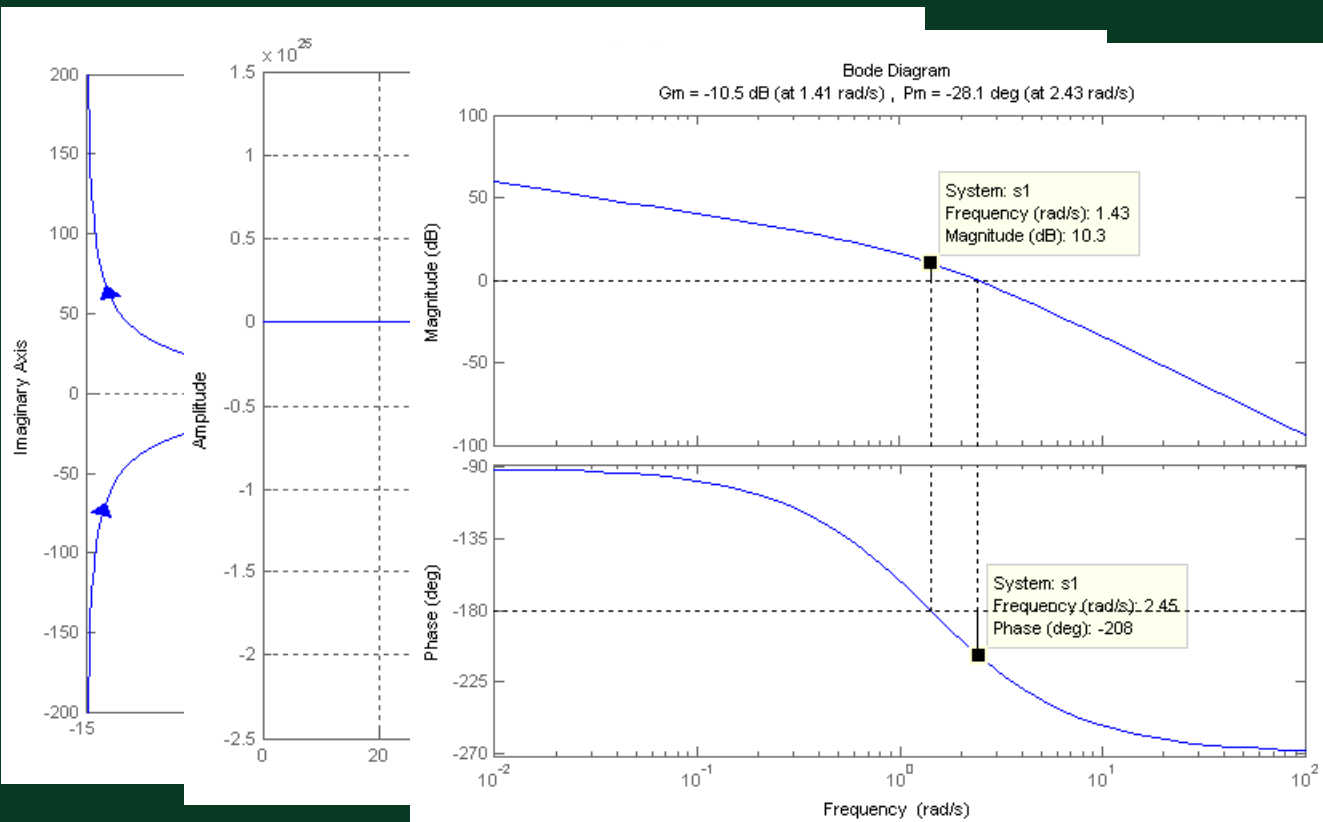
$K_g \geq 10\text{dB}$ ，单位恒速输入时的稳差为0.1， $\gamma \geq 50^\circ$ 。

解：①据 $K_v \geq 10\text{s}^{-1}$ 的要求，确定开环放大倍数 $K=10$ 。

$$G_K(j\omega) = G(j\omega) = \frac{K}{j\omega(j\omega+1)(j0.5\omega+1)}$$

②令 $K=10$ 做出未校正系统的Bode图，求得系统的相角裕量为 -28° ，幅值裕量为 -10.5dB ，系统不稳定。

校正前传递函数: $G_k(s) = \frac{10}{s(s+1)(0.5s+1)} = \frac{20}{s(s+1)(s+2)}$



(3)选择并设计校正网络

$$G_c(j\omega) = \frac{1+jT_2\omega}{1+j\beta T_2} \cdot \frac{1+jT_1\omega}{1+j\frac{T_1}{\beta}\omega} \quad (\beta > 1)$$



在线开放课程

①选择校正后的截止频率

若对系统的快速性无明确要求，可选校正前的 $\omega_g \approx \omega'_c = 1.5s^{-1}$ 。

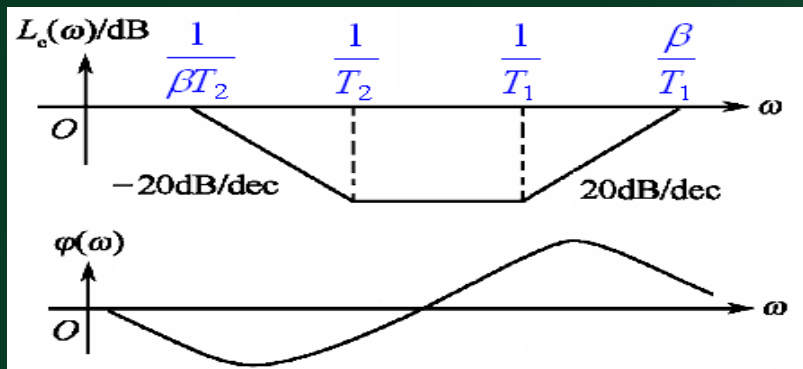
②选择相位裕量： $\gamma = 50^\circ + 5^\circ = 55^\circ$

$$\beta = \frac{1 + \sin 55^\circ}{1 - \sin 55^\circ} \approx 10$$

③选择滞后校正环节

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{10} \omega_c \quad \frac{1}{T_2} \approx 0.15, T_2 \approx 6.67$$

$$\text{选 } \beta = 10, \frac{1}{\beta T_2} = 0.015s^{-1}, \beta T_2 = 66.7s$$



④确定超前部分的参数

过 $(1.5s^{-1}, -10.5dB)$ 作 $20dB/dec$ 直线得超前校正环节参数:

$$\frac{1}{T_1} = 0.7 \quad \frac{\beta}{T_1} = \frac{10}{T_1} = 7$$

⑤得滞后-超前校正的传递函数为

$$G_c(s) = \frac{1+T_1s}{1+\frac{T_1}{\beta}s} \frac{1+T_2s}{1+\beta Ts} = \frac{1+6.67s}{1+66.7s} \cdot \frac{1+1.43s}{1+0.143s}$$

⑥绘制校正后的伯德图，检验性能指标

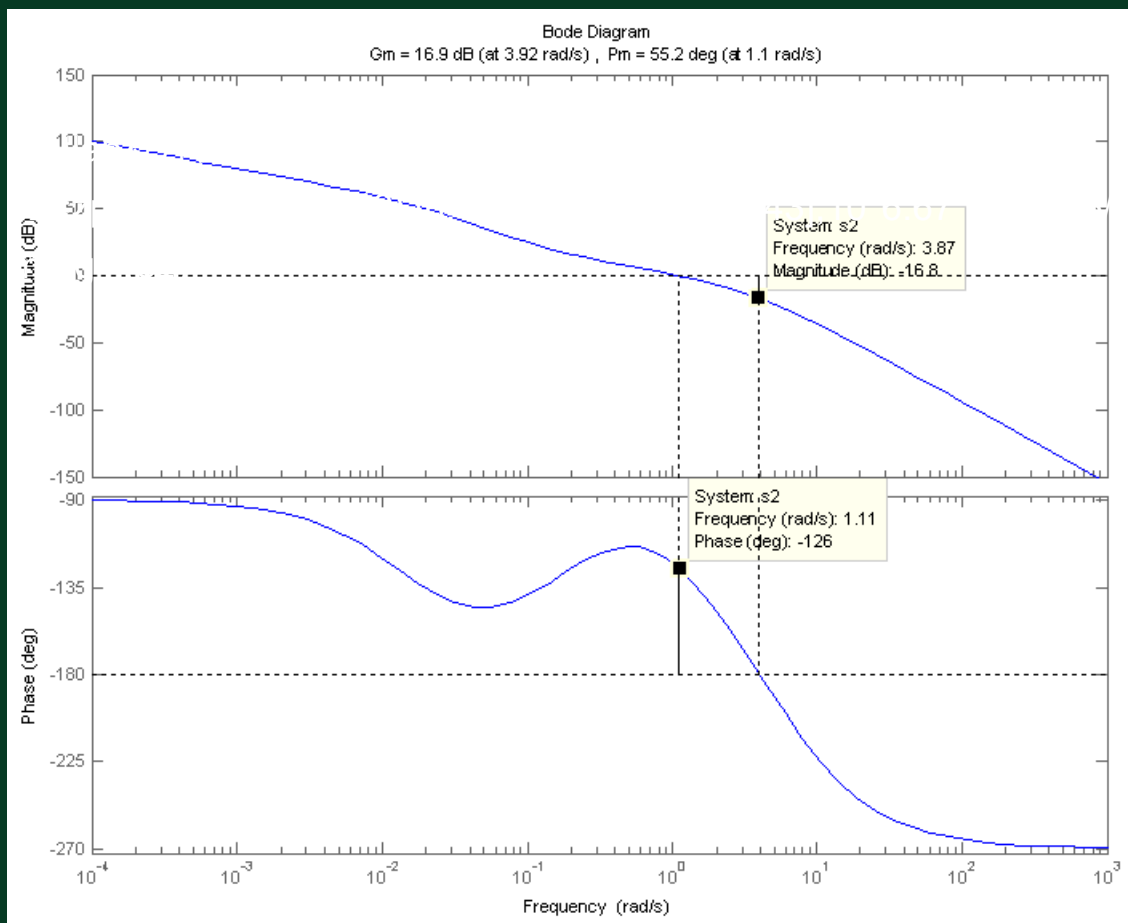
由 $G_k(s) = \frac{20}{s(s+1)(s+2)}$ $G_c(s) = \frac{6.67s+1}{66.7s+1} \cdot \frac{1.43s+1}{0.143s+1}$

得校正后:

$$G'_k(s) = G(s)G_c(s)$$

$$= \frac{10(6.67s+0.1)(1.43s+1)}{s(s+1)(0.5s+1)(66.7s+1)(0.143s+1)}$$

$$= \frac{10 \times 6.67 \times 1.43}{0.5 \times 66.7 \times 0.143} \cdot \frac{\left(s + \frac{1}{6.67}\right)\left(s + \frac{1}{1.43}\right)}{s(s+1)(s+2)\left(s + \frac{1}{66.7}\right)\left(s + \frac{1}{0.143}\right)}$$

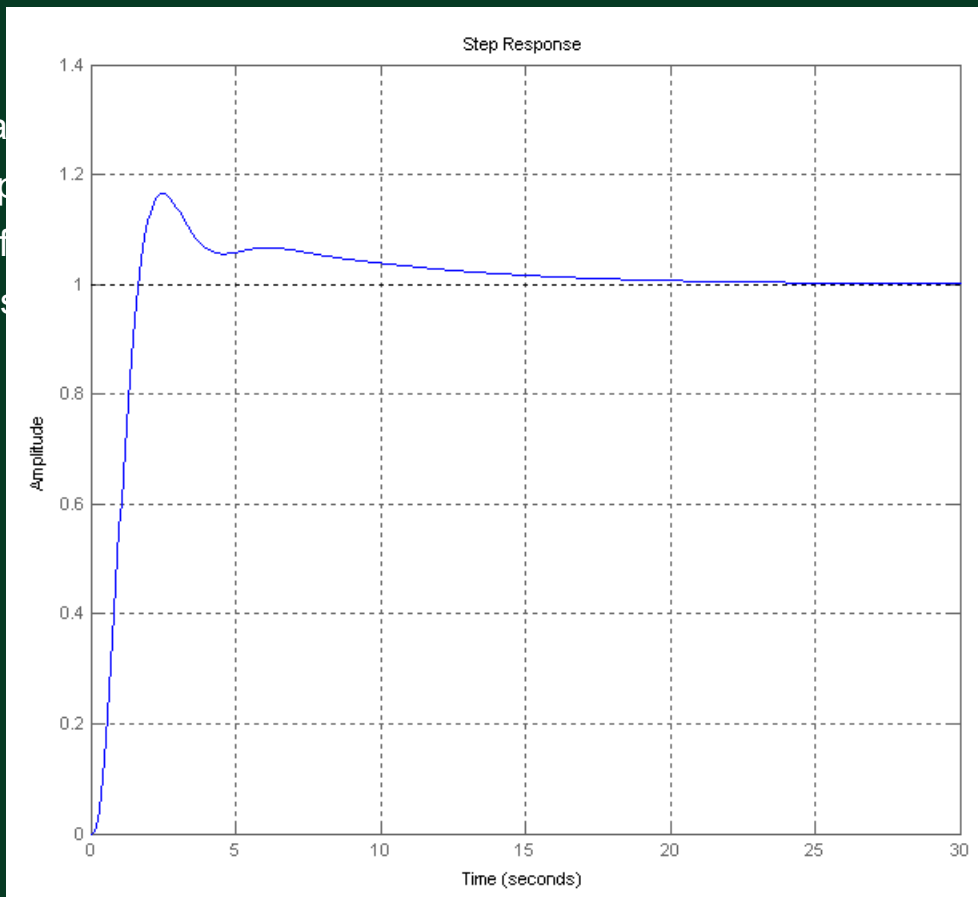


6.7/0.143);

校正后阶跃响应

```
matlab  
s2=zp  
sb2=f  
step(s
```

```
5/66.7/0.143);
```



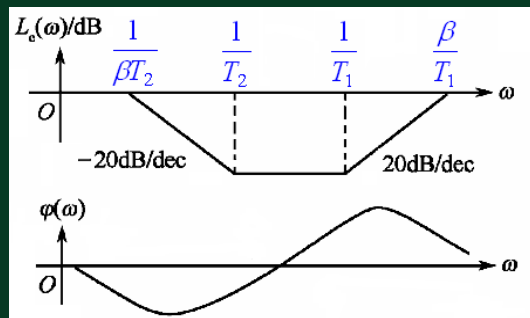
①选择校正后的截止频率 $\omega_g \approx \omega'_c = 1.5s^{-1}$

②选择相位裕量: $\gamma = 50^\circ + 5^\circ = 55^\circ \Rightarrow \beta \approx 10$

总结滞后-超前校正过程

在线开放课程

③选择滞后校正环节



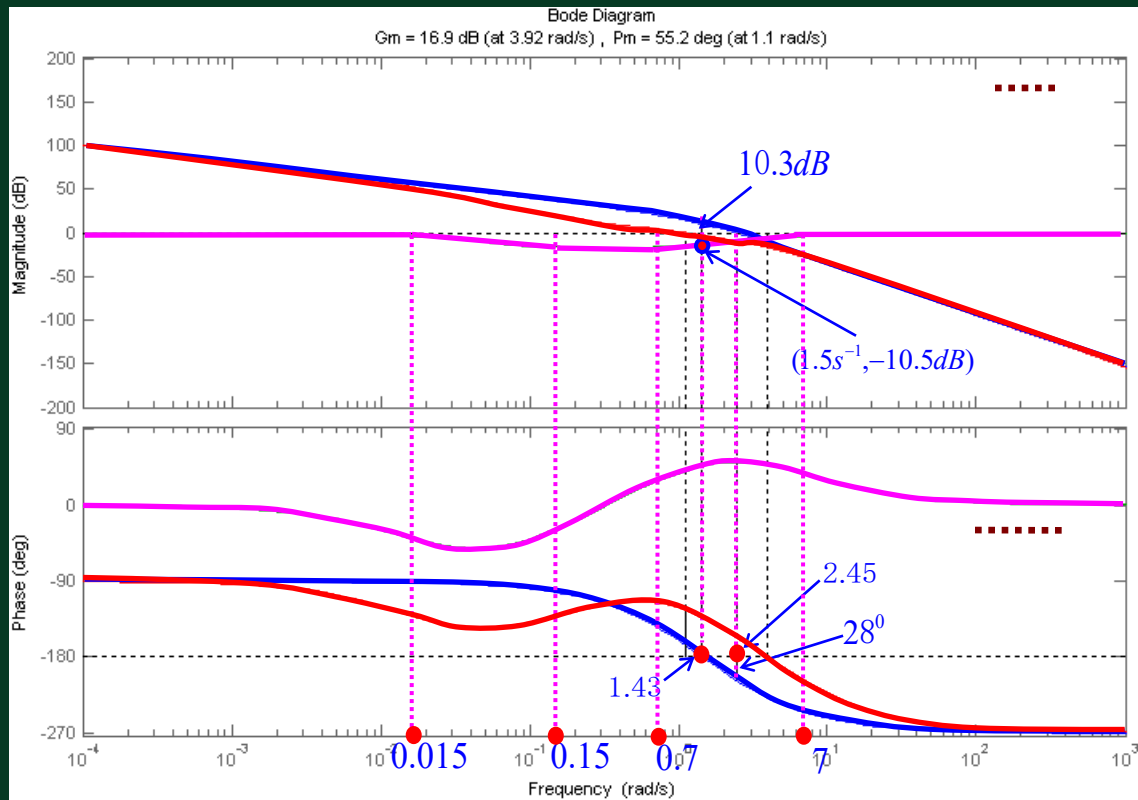
$$\omega_{T_2} \approx \omega'_c / 10 = 1/T_2 = 0.15s^{-1}$$

$$1/\beta T_2 = 0.015s^{-1}$$

④确定超前部分的参数

过 $(1.5s^{-1}, -10.5dB)$ 作 $20dB/dec$ 直线

$$1/T_1 = 0.7s^{-1} \quad \beta/T_1 = 7s^{-1}$$



小结

相位滞后-超前校正中,超前部分用于提高系统的相位裕度,改善动态性能;滞后部分主要用于抗高频干扰,提高开环放大系数以提高稳态精度。超前校正的转折频率应选在系统中频段,滞后校正的转折频率应选在系统的低频段。