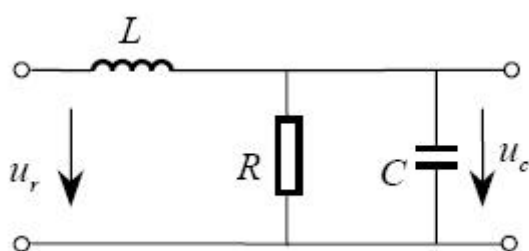


## 杭州电子科技大学学生考试卷（ A ）卷

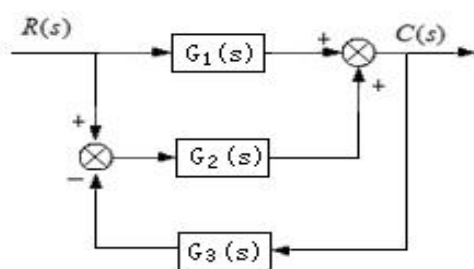
|       |        |         |      |        |    |        |                            |
|-------|--------|---------|------|--------|----|--------|----------------------------|
| 考试课程  | 自动控制原理 |         | 考试日期 |        |    | 成绩     |                            |
| 课 程 号 |        | 教 师 号   |      | 任课教师姓名 |    | 庞全、朱亚萍 |                            |
| 考生姓名  |        | 学号(8 位) |      | 年 级    | 07 | 专 业    | 07062911/12<br>07063011/12 |

1、列写下图所示RLC 网络的微分方程和传递函数，其中 $u_r$ 为输入变量， $u_c$ 为输出变量。

（15分）

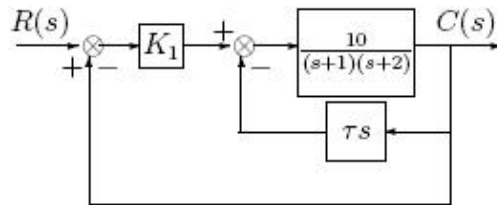


2、已知系统结构图如下，试简化该结构图并求系统传递函数  $C(s)/R(s)$ 。（15 分）



3、控制系统结构图如下图所示。要求系统单位阶跃响应的超调量  $\sigma_p = 10\%$ ，峰值时间

$t_p = 1s$ 。试确定  $K_1$  与  $\tau$  的值。(15 分)  $(\sigma_p = e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}, t_p = \frac{\pi}{\sqrt{1-\xi^2}\omega_n})$



4、已知单位负反馈系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{8(3s^2 + 4s + 6)}{s^3(s^2 + 3s + 12)}$$

用劳斯判据判断系统稳定性, 如果系统不稳定, 求出系统在  $s$  右半平面的根的个数及虚根值。  
(15 分)

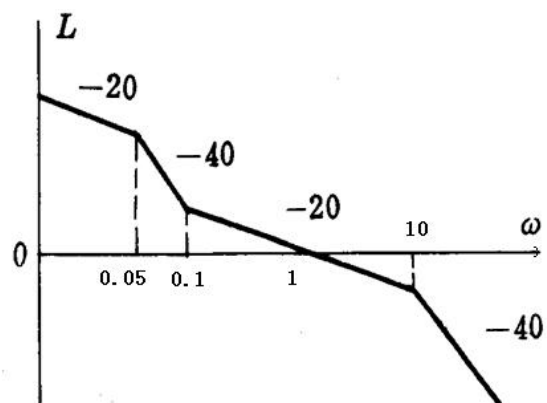
5、设单位负反馈系统的开环传递函数如下，概略绘出相应的闭环根轨迹图。(10 分)

$$G(s) = \frac{K(s+1)(s+3)}{s(s+2)}$$

6、已知系统开环传递函数如下，用 Nyquist 判据求使系统稳定的临界增益 K 值。（15 分）

$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+1)(3s+1)}$$

7、由如下对数幅频特性求该最小相位系统的传递函数。(15 分)



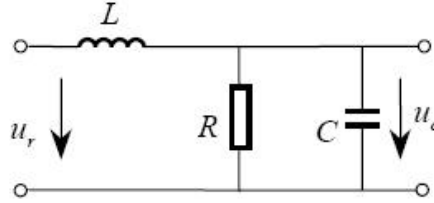




## 自动控制原理期中考试参考答案及评分标准

①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱为该题某一部分的得分

1、列写下图所示RLC 网络的微分方程和传递函数，其中 $u_r$ 为输入变量， $u_c$ 为输出变量。（15分）

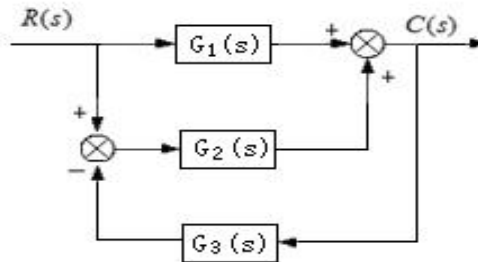


解：令流过电感的电流为 $i$ ，则有： $L \frac{di}{dt} + U_c = U_r, i = C \frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{R}$  ⑤分

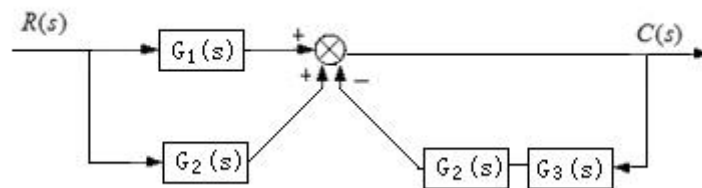
所以有： $LC \frac{d^2 U_c}{dt^2} + \frac{L}{R} \frac{dU_c}{dt} + U_c = U_r$  ⑤分

传递函数为： $G(s) = \frac{U_c(s)}{U_r(s)} = \frac{R}{RLCs^2 + Ls + R}$  ⑤分

2、已知系统结构图如下，试简化该结构图并求系统传递函数  $C(s)/R(s)$ 。（15分）



解：（1）拆分相加点，得下图：⑤

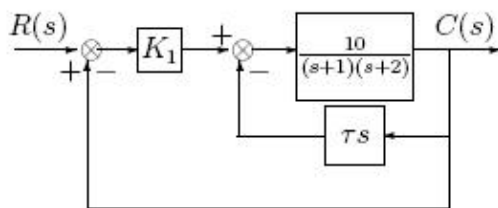


（2）分别合并前向通道，反馈通道，如下图所示：2\*③ = ⑥分



可得系统传递函数为： $G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1 + G_2}{1 + G_2 G_3}$ 。 ④分

3、控制系统结构图如下图所示。要求系统单位阶跃响应的超调量 $\sigma_p = 10\%$ ，峰值时间 $t_p = 1s$ 。试确定 $K_1$ 与 $\tau$ 的值。（15分）



解：运用梅森公式可以得到系统的闭环传递函数为：

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{10K_1}{s^2 + (10\tau + 3)s + 10K_1 + 2} = \frac{10K_1}{10K_1 + 2} \frac{10K_1 + 2}{s^2 + (10\tau + 3)s + 10K_1 + 2} \quad \text{④分}$$

由二阶系统指标要求：

$$\sigma_p = e^{-\pi\zeta / \sqrt{1-\zeta^2}} = 10\%, t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} = 1$$

可得：  $\zeta = 0.59, \omega_n = 3.86$  ④分

所以有：

$$2\zeta\omega_n = 10\tau + 3 = 4.56, \omega_n^2 = 10K_1 + 2 = 14.90 \quad \text{④分}$$

可得：  $\tau = 0.156, K_1 = 1.29$ . ③分

4、已知单位负反馈系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{8(3s^2 + 4s + 6)}{s^3(s^2 + 3s + 12)}$$

用劳斯判据判断系统稳定性，如果不稳定，求出系统  $s$  右半平面根的个数及虚根值。（15 分）

解：系统闭环特征方程为：

$$D(s) = s^3(s^2 + 3s + 12) + 8(3s^2 + 4s + 6) = s^5 + 3s^4 + 12s^3 + 24s^2 + 32s + 48 = 0 \quad \text{④分}$$

列出劳斯表为：

$$s^5 \quad 1 \quad 12 \quad 32$$

$$s^4 \quad 3 \quad 24 \quad 48$$

$$s^3 \quad 4 \quad 16$$

$$s^2 \quad 12 \quad 48 \quad \text{辅助方程: } 12s^2 + 48 = 0, \text{对应的解为: } s = \pm 2j.$$

$$s^1 \quad 24 \quad 48$$

$$s^0 \quad 48$$

2\*③=⑥分

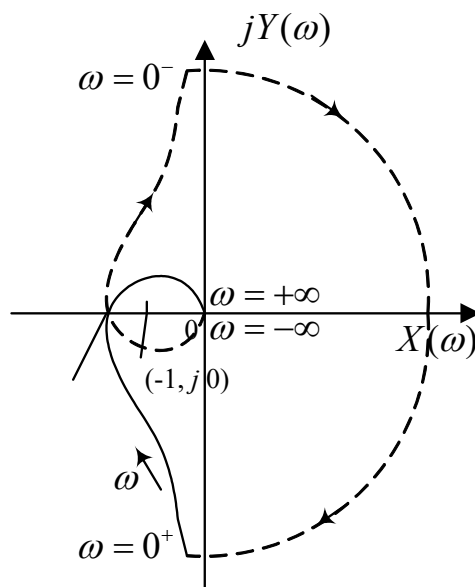
所以，系统不稳定（临界稳定），②分 右半平面没有根，但纯虚根有两个，为  $s = \pm 2j$ . ③分

5、设单位负反馈系统的开环传递函数如下，概略绘出相应的闭环根轨迹图。（10 分）

$$G(s) = \frac{K(s+1)(s+3)}{s(s+2)}$$

解：图略，坐标标注正确得②分，两条根轨迹正确各得④分。

6、总共 15 分，其中乃氏图正确得 5 分，开环频率特性方程  $A(\omega)$  和  $\phi(\omega)$  表达正确各得 3 分， $\omega$  和  $K$  计算正确各得 2 分。



$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+1)(3s+1)} \Rightarrow G(j\omega)H(j\omega) = \frac{K}{j\omega(j\omega+1)(3j\omega+1)}$$

$$\varphi(\omega) = -90^\circ - \arctan \omega - \arctan 3\omega = -180^\circ \quad \arctan \omega + \arctan 3\omega = 90^\circ$$

$$\omega = 1/(3\omega) \quad \omega^2 = 1/3 \quad A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1/3} \sqrt{(1+1/3)(1+9 \cdot 1/3)}} = \frac{3}{4}K = 1$$

$$K_c = 4/3 = 1.33。$$

7、总共 15 分， $G(s)$  表达式正确得 3 分，三个频率表达式正确得 6 分， $L(\omega)$  表达式正确得 3 分， $K$  的求解表达式和结果正确得 3 分。

解：

$$G(s) = \frac{K(1 + \frac{s}{\omega_2})}{s(1 + \frac{s}{\omega_1})(1 + \frac{s}{\omega_3})}$$

$$L(\omega_c) = 20 \lg \left[ \frac{K \sqrt{\left(\frac{1}{\omega_2} \omega_c\right)^2 + 0}}{\omega_c \sqrt{\left(\frac{1}{\omega_1} \omega_c\right)^2 + 0} \cdot \sqrt{0+1}} \right] = 0$$

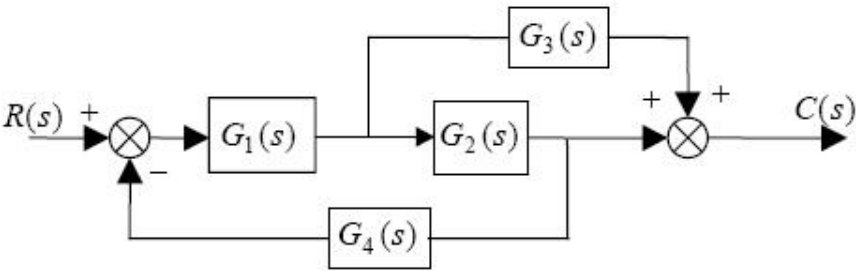
$$\frac{K \frac{\omega_c}{\omega_2}}{\omega_c \frac{\omega_c}{\omega_1}} = 1$$

$$K = \frac{\omega_2 \omega_c}{\omega_1} = 2$$

杭州电子科技大学学生考试卷（ A ）卷

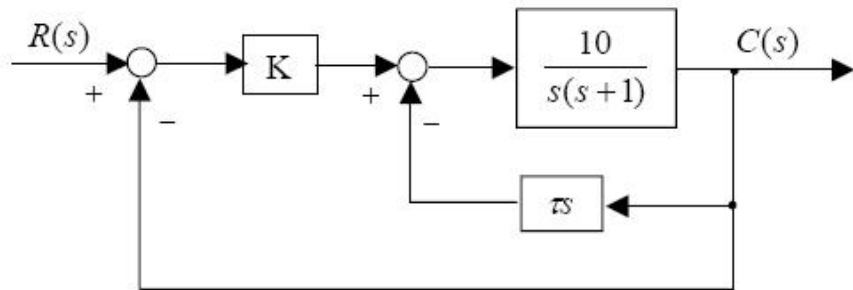
|       |        |         |      |        |    |        |                            |
|-------|--------|---------|------|--------|----|--------|----------------------------|
| 考试课程  | 自动控制原理 |         | 考试日期 |        |    | 成绩     |                            |
| 课 程 号 |        | 教 师 号   |      | 任课教师姓名 |    | 庞全、朱亚萍 |                            |
| 考生姓名  |        | 学号(8 位) |      | 年 级    | 07 | 专 业    | 07062911/12<br>07063011/12 |

1、已知系统结构图如下，试简化该结构图并求系统传递函数  $C(s)/R(s)$ 。（10 分）



2、控制系统结构图如下图所示。要求系统单位阶跃响应的超调量  $\sigma_p = 16.3\%$ ，峰值时间

$t_p = 1s$ 。试确定  $K$  与  $\tau$  的值。(15 分)  $(\sigma_p = e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}, t_p = \frac{\pi}{\sqrt{1-\xi^2}\omega_n})$



3、已知单位负反馈系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{s+2}{s^2(s^3+2s^2+9s+10)}$$

用劳斯判据判断系统稳定性，如果不稳定，求系统在  $s$  右半平面根的个数及虚根值。（15 分）

4、已知单位负反馈系统的开环传递函数如下

$$G(s) = \frac{K}{0.1s(s^2 + 2s + 2)}$$

试求其静态位置误差系数、静态速度误差系数、静态加速度误差系数、，并求当输入信号  $r(t) = 1(t) + 3t$  时系统的稳态误差。(15 分)

5、设单位负反馈系统的开环传递函数如下，概略绘出相应的闭环根轨迹图。（要求确定分离点坐标，渐近线位置）（10 分）

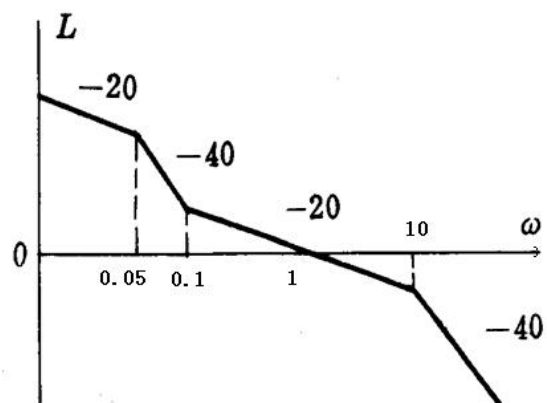
$$G(s) = \frac{K(s+3)}{s(s+1)(s+2)}$$



6、已知系统开环传递函数如下，用 Nyquist 判据求使系统稳定的临界增益 K 值。（10 分）

$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+1)(3s+1)}$$

7、由如下对数幅频特性求该最小相位系统的传递函数。(10 分)



8、设 I 型单位反馈系统开环传递函数为  $G(s) = \frac{200}{s(0.1s+1)}$ ，若设计串联超前校正装置为

$G_c(s) = \frac{0.036s+1}{0.009s+1}$ ，画出校正前后系统的伯德图，求校正后系统的截至频率  $\omega_{c2}$  和相角裕

度  $\gamma_2$  并分析该校正装置的作用。（15 分）

## 自动控制原理期末考试参考答案

1、总共 10 分，其中分离点正确向后移动得 5 分，最终结果正确得 5 分。如果采用梅森公式得正确结果，得 7 分。

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1(G_2 + G_3)}{1 + G_1G_2G_4}$$

2、总共 15 分， $\xi$  和  $\omega_n$  计算正确得 5 分，闭环传递函数正确得 5 分，最终结果正确得 5 分。

$$\text{由 } \sigma = e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} = 0.163, \quad t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}} = 1, \quad \text{可求得 } \zeta = 0.5, \quad \omega_n = 3.63 \text{ 弧度/秒。}$$

系统的开环传递函数  $G(s)$  为

$$G(s) = \frac{10K}{s(s + (1 + 10\tau))}$$

系统的闭环传递函数为

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{10K}{s^2 + (1 + 10\tau)s + 10K}$$

故

$$10K = \omega_n^2 = 3.63^2$$

$$1 + 10K = 2\zeta\omega_n = 2 \times 0.5 \times 3.63$$

由此得到

$$K = 1.32, \quad \tau = 0.263 \text{ 秒}$$

3、总共 15 分，闭环特征方程正确得 3 分，劳斯表头两行正确得 2 分，后三行每行 2 分，结论正确得 3 分。

已知反馈系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{s+2}{s^2(s^3+2s^2+9s+10)}$$

试用劳斯判据判别系统稳定性。若系统不稳定，指出位于右半  $s$  平面和虚轴上的特征根的数目。

解：闭环特征方程为：

$$s^5 + 2s^4 + 9s^3 + 10s^2 + s + 2 = 0$$

$$\begin{array}{r|rrrr} s^5 & 1 & 9 & 1 & \end{array}$$

$$\begin{array}{r|rrrr} s^4 & 2 & 10 & 2 & \end{array}$$

$$\begin{array}{r|rrrr} s^3 & 4 & 0 & 0 & \end{array}$$

$$\begin{array}{r|rrrr} s^2 & 10 & 2 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{r|rrrr} s^1 & -4/5 & 0 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{r|rrrr} s^0 & -2 & & & \end{array}$$

第一列数的符号变化一次，所以有一特征根在右半平面。

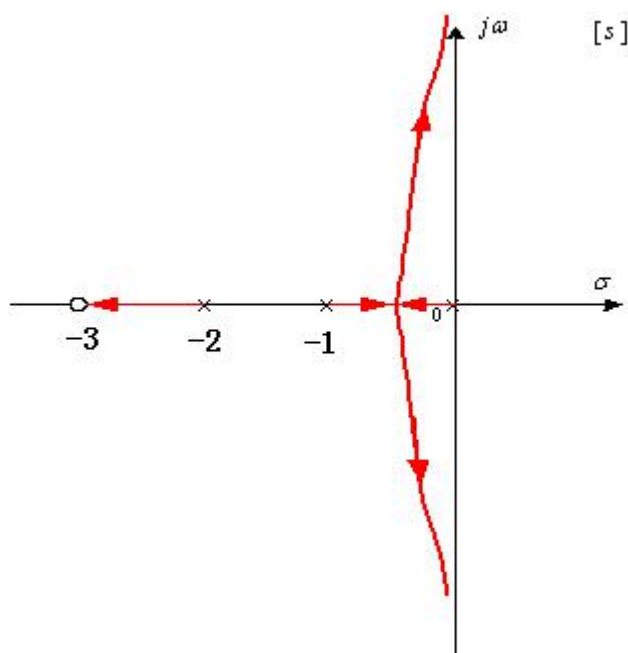
4、总共 15 分，3 个误差系数，每个 3 分，结果正确 6 分。

解：该系统为一型系统， $K_p = \infty, K_a = 0, K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = 5K$ 。

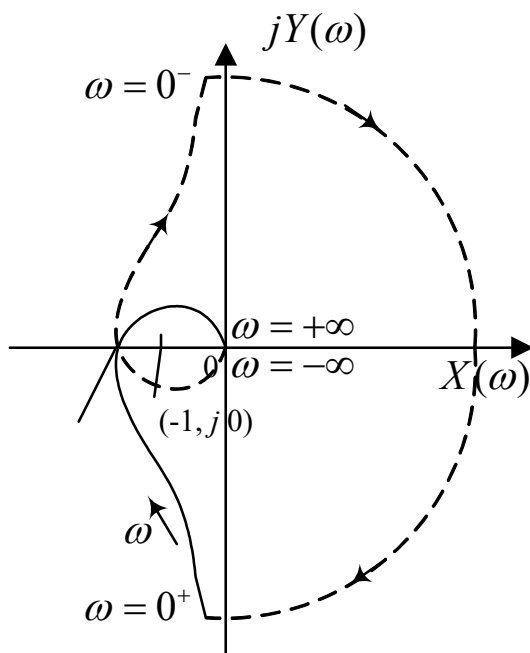
稳态误差为:  $e_{ss} = 3 \times \frac{1}{K_v} = \frac{3}{5K}$ .

5、总共 10 分，实轴根轨迹正确得 4 分，渐近线为虚轴正确得 2 分，分离点为-0.4679 正确得 2 分，复平面根轨迹正确得 2 分。

其中，分离点满足的方程为:  $N'M - NM' = s^3 + 6s^2 + 9s + 3 = 0$ .



6、总共 10 分，其中乃氏图正确得 2 分，开环频率特性方程  $A(\omega)$  和  $\phi(\omega)$  表达正确各得 2 分， $\omega$  和  $K$  计算正确各得 2 分。



$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+1)(3s+1)} \Rightarrow G(j\omega)H(j\omega) = \frac{K}{j\omega(j\omega+1)(3j\omega+1)}$$

$$\varphi(\omega) = -90^\circ - \arctan \omega - \arctan 3\omega = -180^\circ \quad \arctan \omega + \arctan 3\omega = 90^\circ$$

$$\omega = 1/(3\omega) \quad \omega^2 = 1/3 \quad A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1/3}\sqrt{(1+1/3)(1+9*1/3)}} = \frac{3}{4}K = 1$$

$$K_c = 4/3 = 1.33。$$

7、总共 10 分，G(s) 表达式正确得 2 分，三个频率表达正确得 3 分，L(ω) 表达式正确得 2 分，K 的求解表达式和结果正确得 3 分。

解：

$$G(s) = \frac{K(1 + \frac{s}{\omega_2})}{s(1 + \frac{s}{\omega_1})(1 + \frac{s}{\omega_3})}$$

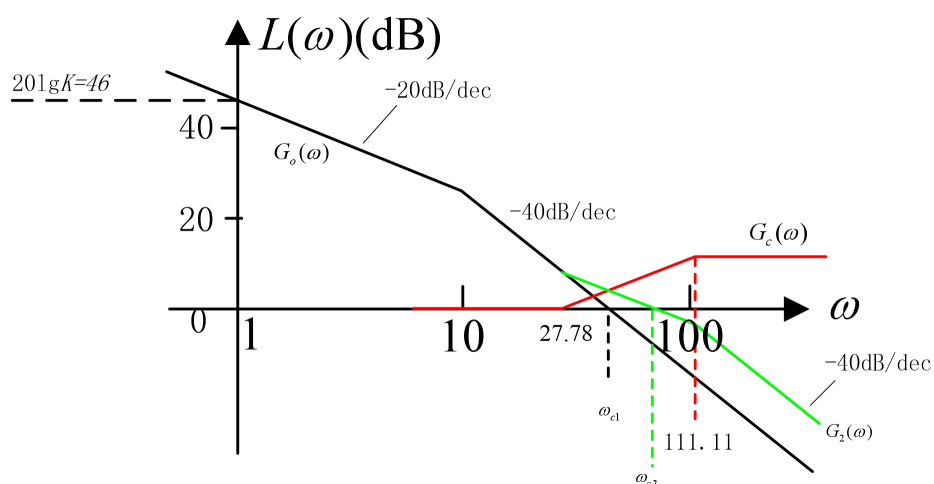
$$L(\omega_c) = 20 \lg \left[ \frac{K \sqrt{\left(\frac{1}{\omega_2} \omega_c\right)^2 + 0}}{\omega_c \sqrt{\left(\frac{1}{\omega_1} \omega_c\right)^2 + 0} \cdot \sqrt{0 + 1}} \right] = 0$$

$$\frac{K \frac{\omega_c}{\omega_2}}{\omega_c \frac{\omega_c}{\omega_1}} = 1$$

$$K = \frac{\omega_2 \omega_c}{\omega_1} = 2$$

8、解：校正前后伯德图正确各得 3 分，截止频率和相角裕度计算正确各得 3 分，作用分析正确得 3 分。

作用：利用超前校正网络的相角超前特性去增大系统的相角裕度，以改善系统的暂态响应。



根据引入串联超前校正网络，有  $\alpha = 4$ 。校正后系统剪切频率为：

$$\omega_{c2} = \omega_m = \frac{1}{\sqrt{\alpha T}} = \frac{1}{2 \times 0.009} = 55.56$$

其相角裕度为:

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= 180^\circ - 90^\circ + \arctg(0.036 * 55.56) - \arctg(0.1 * 55.56) - \arctg(0.009 * 55.56) \\ &= 90^\circ + 63.44^\circ - 79.80^\circ - 26.57^\circ = 47.07^\circ \end{aligned}$$