

二〇二二~二〇二三学年 第1学期 《自动控制原理 I》考试试题

考试日期: 2022 年 11 月 25 日

试卷类型: B

试卷代号:

| 班号 |   |   |   | 学号 |   |   | 姓名 |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|---|---|----|---|---|---|----|
| 题号 | 一 | 二 | 三 | 四  | 五 | 六 | 七  | 八 | 九 | 十 | 总分 |
| 得分 |   |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |

|      |    |
|------|----|
| 本题分数 | 40 |
| 得分   |    |

## 一、简答题 (每小题 5 分)

1. 判断系统线性或非线性的充分必要条件是什么? 判断下列系统是线性还是非线性系统, 是时变系统还是定常系统。

(1)  $\dot{c}(t) + 5c(t) = \dot{r}(t) + \sqrt{r(t)}$ ;

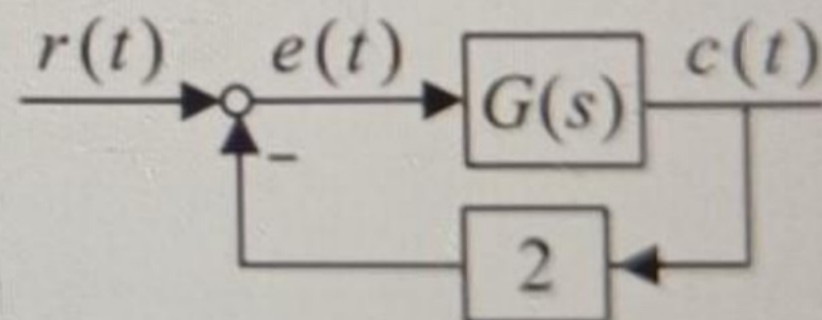
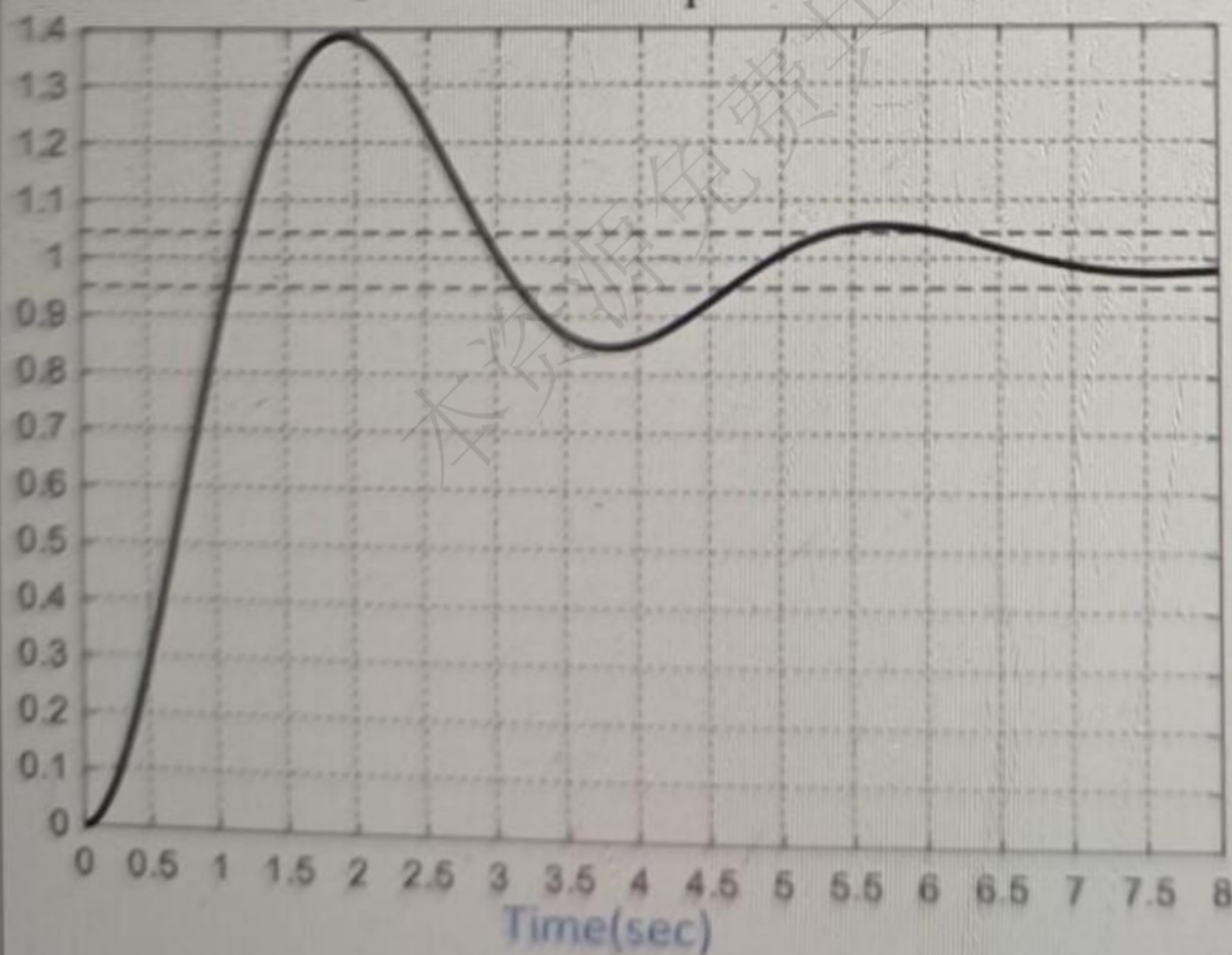
(2)  $\dot{c}(t) + 5\cos(3t)c(t) = 2\dot{r}(t) + \int r(\tau)d\tau$ .

2. 试用电阻和电容搭建一个惯性环节并给出其传递函数。



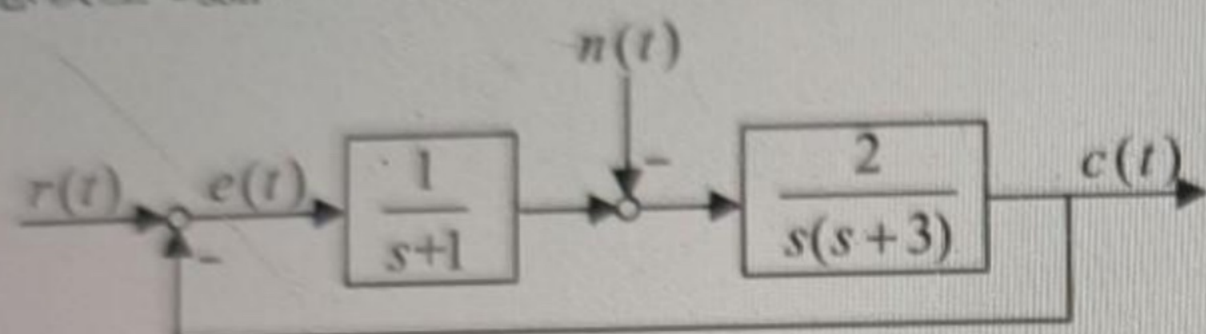
3. 某单位负反馈系统闭环传递函数为  $\Phi(s) = \frac{s+5}{s^2+2s+5}$ ，试求系统在零初始条件下的单位阶跃响应  $c(t)$ 。

4. 已知闭环系统结构如图，当  $r(t) = 3 \cdot 1(t)$  时的零初始条件响应如图所示，试估算系统的上升时间  $t_r$ 、峰值时间  $t_p$ 、调节时间  $t_s$ 、超调量  $\sigma\%$  和稳态误差  $e_{ss}$ 。

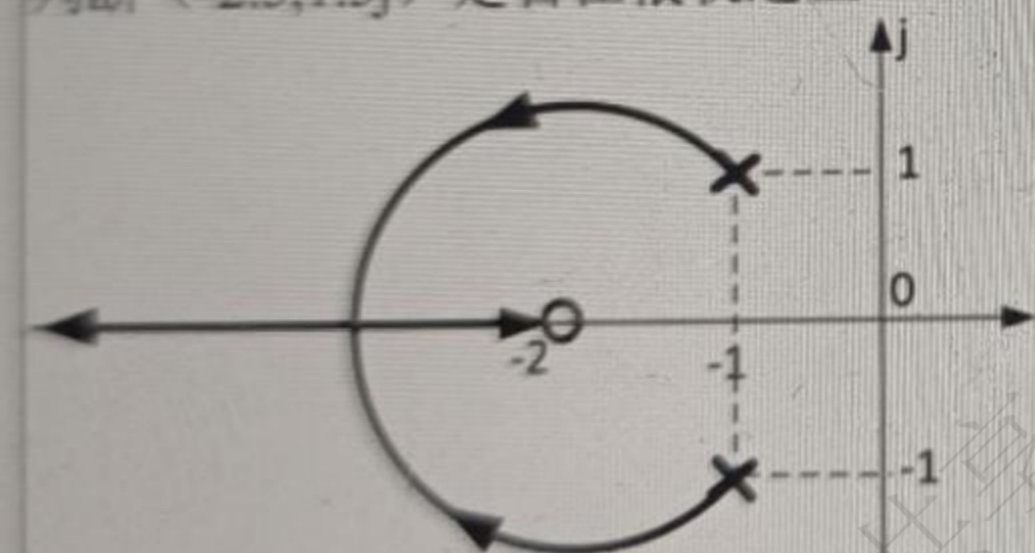




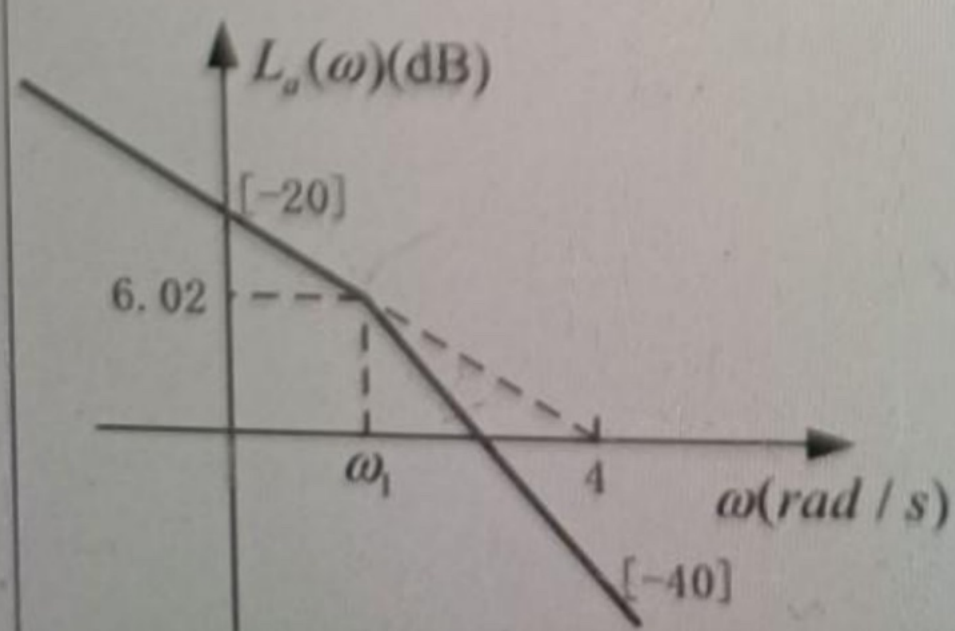
5. 已知系统的闭环系统结构如图所示, 当  $n(t) = 0.5 \cdot 1(t)$  时, 计算  $n(t)$  作用下的稳态误差  $e_{ssn}$ 。



6. 已知系统的根轨迹如图, 试指出系统的开环零、极点, 给出系统的根轨迹方程, 并判断  $(-2.5, 1.5j)$  是否在根轨迹上。

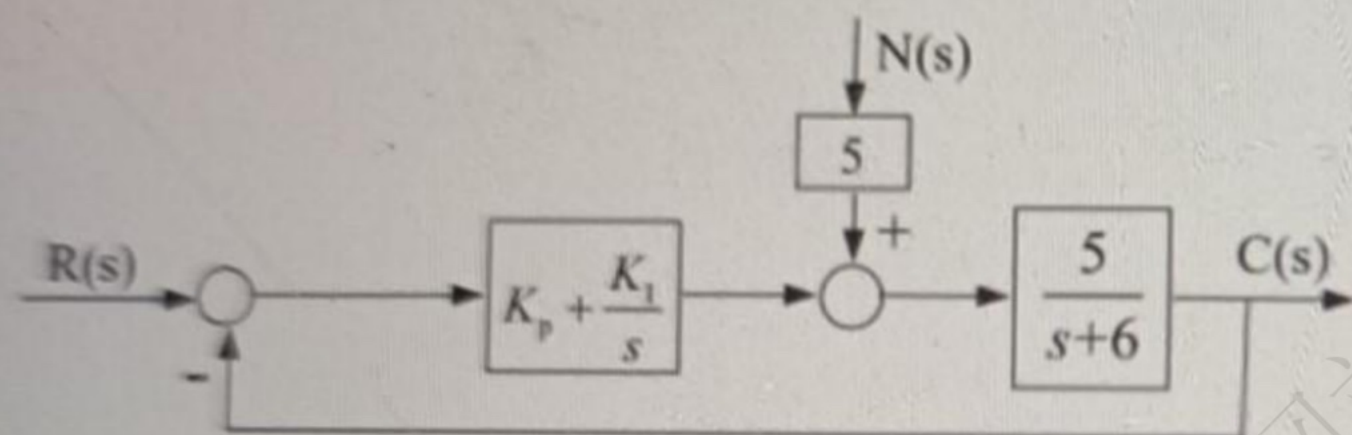


7. 已知某最小相位系统对数幅频渐近特性曲线如图所示, 求系统的传递函数。



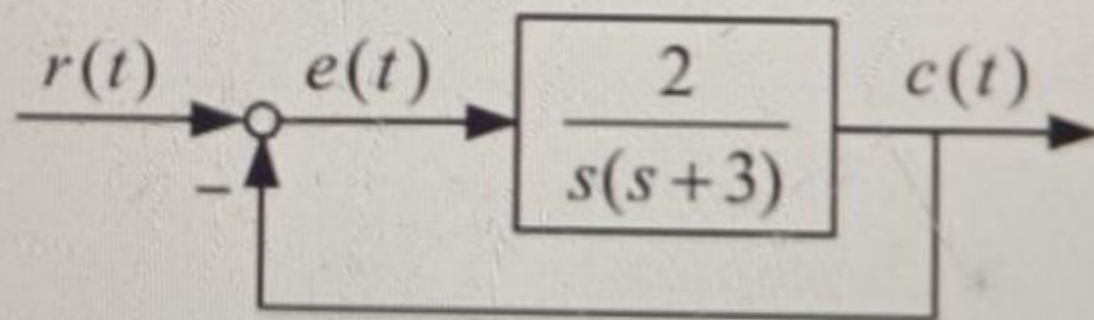


8. 某比例积分控制系统结构如图, 其中扰动信号  $n(t)$  可测量, 试设计扰动信号的误差全补偿控制通道 (直接在下图中绘制), 并计算扰动信号误差全补偿时的  $G_n(s)$ 。



|      |    |
|------|----|
| 本题分数 | 15 |
| 得分   |    |

二. (15 分) 求图示系统在  $r(t) = t + 2\sin t$  时的稳态输出  $c_{ss}(t)$



|      |    |
|------|----|
| 本题分数 | 15 |
| 得分   |    |

三. 已知单位负反馈系统的开环传递函数

$$G(s)H(s) = \frac{K(s+8)}{(s-0.5)(s+2)(s+6)},$$

- (1) 试绘制系统的概略根轨迹, 求出渐近线与实轴的夹角和交点、分离点、分离角、根轨迹与虚轴交点 (12 分);
- (2) 确定使系统稳定的  $K$  值范围和系统出现等幅振荡的频率 (3 分)。

|      |    |
|------|----|
| 本题分数 | 15 |
| 得分   |    |

四、(15 分) 已知单位负反馈系统开环传递函数

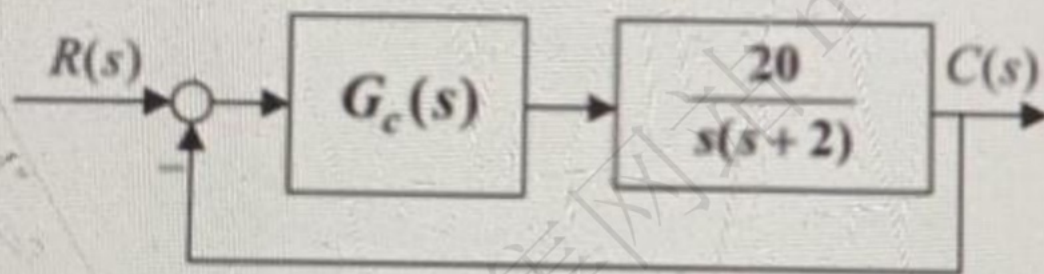
$$G(s) = \frac{K}{s(0.1s+1)(0.2s+1)}$$

- (1) 当  $K=5$  时, 试绘  $\omega$  从 0 变化到  $\infty$  时的概略幅相曲线, 并补画虚圆弧, 计算幅值裕度 (12 分);
- (2) 用奈奎斯特稳定性判据分析系统稳定的  $K$  值范围 (3 分)。



|      |    |
|------|----|
| 本题分数 | 15 |
| 得分   |    |

五. 串联校正控制系统结构如图所示,



- (1) 试绘制未校正系统的开环对数幅频渐近特性曲线, 指出各交接频率, 计算出各交接频率处的幅值并在图中标出(5分);
- (2) 计算未校正系统的截止频率 $\omega_c'$ 和相角裕度 $\gamma'$ (4分);
- (3) 若 $G_c(s) = \frac{aTs+1}{Ts+1}$ ,  $a > 1$ , 使开环系统的截止频率 $\omega_c'' \geq 8 \text{ rad/s}$ , 闭环系统相角裕度大于 60 度, 确定校正装置的参数 T 和 a (6分)。

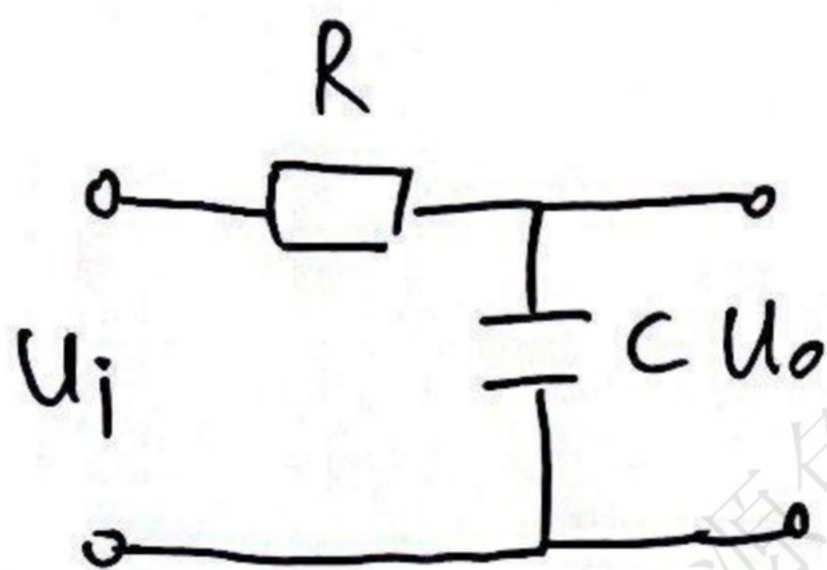
一, 1 是否满足叠加性原理



1. (1) 非线性定常

(2) 线性时变

2.



$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{\frac{1}{Cs}}{R + \frac{1}{Cs}} = \frac{1}{RCS + 1}$$

3.  $\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{s+5}{s^2+2s+5}$

$$C(s) = \frac{s+5}{s(s^2+2s+5)}$$

$$= \frac{1}{s} - \frac{s+1}{s^2+2s+5}$$

$$= \frac{1}{s} - \frac{s+1}{(s+1)^2+4}$$

$$C(t) = 1 - e^{-t} \cos 2t$$



$$t_r = 1.5$$

$$t_p = 2$$

$$t_s = 6$$

$$\sigma = \frac{1.4 - 1}{1} \times 100\% = 40\%$$

$$ess = 1$$

— 4



$$5. \frac{C(s)}{N(s)} = \frac{-2(s+1)}{s(s+1)(s+3)+2}$$

$$e_{ssN} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{0.5}{s} - \frac{C(s)}{N(s)} = \frac{1}{2}$$

$$6. G(s) = \frac{k(s+2)}{s^2+2s+2}$$

$s_1 = -2.5 + 1.5j$  代入相位条件

故满足

$$\angle s_1 + 2 + \angle s_1^2 + 2s_1 + 2 = \pm(2k+1)\pi$$

$$7. G(s) = \frac{k}{s(\frac{1}{w_1}s+1)} \quad v=1$$

$$k^{\frac{1}{v}} = 4 \Rightarrow k = 4$$

$$\frac{0-6.02}{\lg 4 - \lg w_1} = -20 \Rightarrow w_1 = 2$$

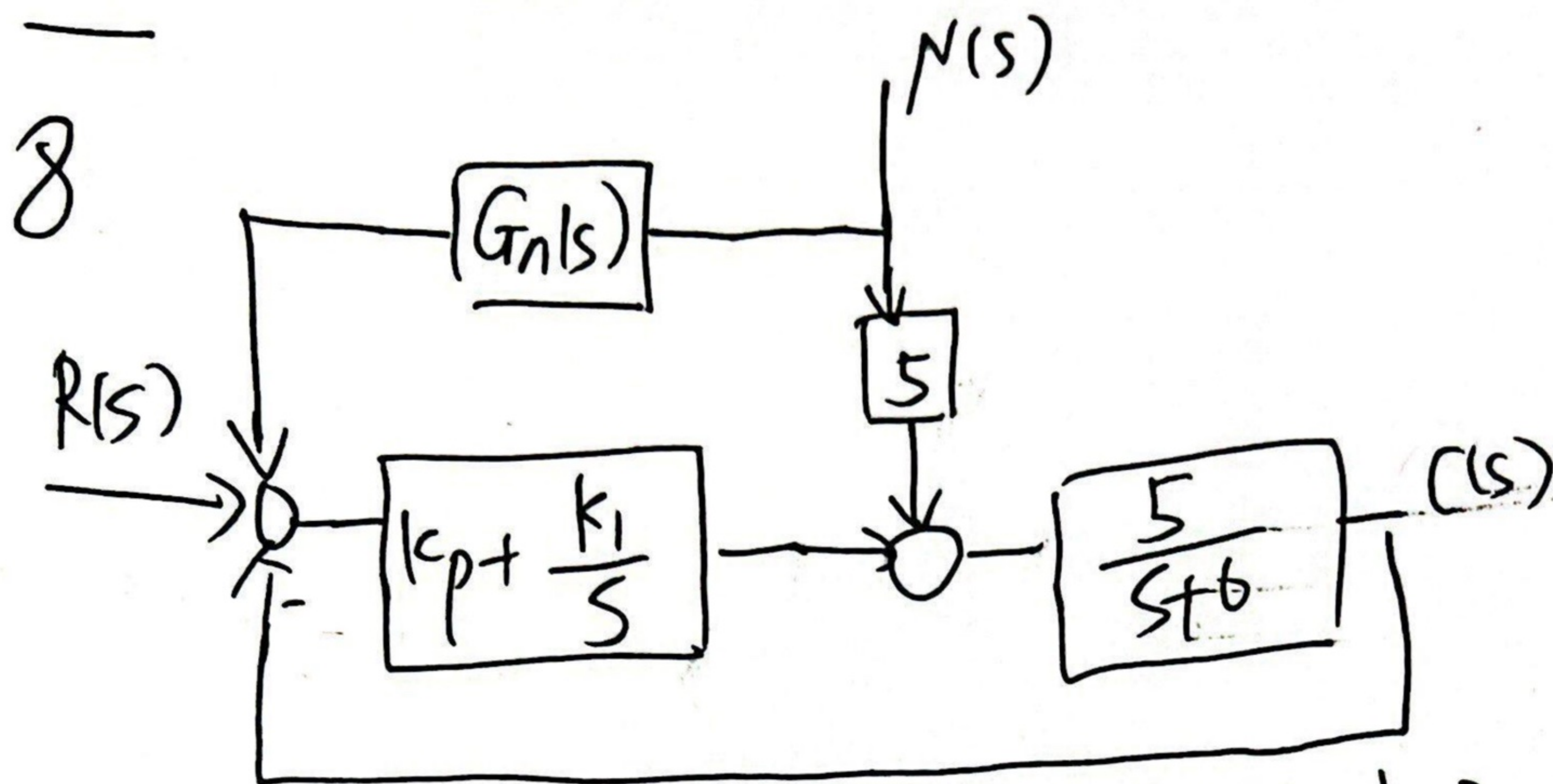
$$G(s) = \frac{4}{s(\frac{1}{2}s+1)}$$



一, 6 开环零点:  $-2$

开环极点:  $-1+j$  和  $-1-j$





$$\frac{C(s)}{N(s)} = \frac{\frac{25}{s+b} + \frac{G_n(s) \cdot 5(k_p s + k_i)}{s(s+b)}}{1 + \frac{5(k_p s + k_i)}{s(s+b)}} = 0$$

$$= \frac{25s + 5G_n(s)(k_p s + k_i)}{s^2 + bs + 5k_p s + 5k_i} = 0$$

$$\Rightarrow G_n(s) = \frac{-5s}{k_p s + k_i}$$



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{2}{s^2 + 3s + 2}$$

$$f_1(t) = t \text{ rad}$$

$$ess_1 = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s^2} \cdot \frac{s^2 + 3s}{s^2 + 3s + 2} = \frac{3}{2}$$

$$A(\omega) = \frac{2}{\sqrt{\omega^2 + 1} \sqrt{\omega^2 + 2}} \Big|_{\omega=1} = 0.8$$

$$\varphi(\omega) = -\arctan \omega - \arctan \frac{\omega}{2} \Big|_{\omega=1} = -71.6^\circ$$

$$ess_2 = 1.6 \sin(t - 71.6^\circ)$$

$$c_s(t) = \frac{3}{2} + 1.6 \sin(t - 71.6^\circ)$$



三.

(1) 开环极点:  $p_1 = 0.5, p_2 = -2, p_3 = -6$

开环零点:  $z_1 = -8$

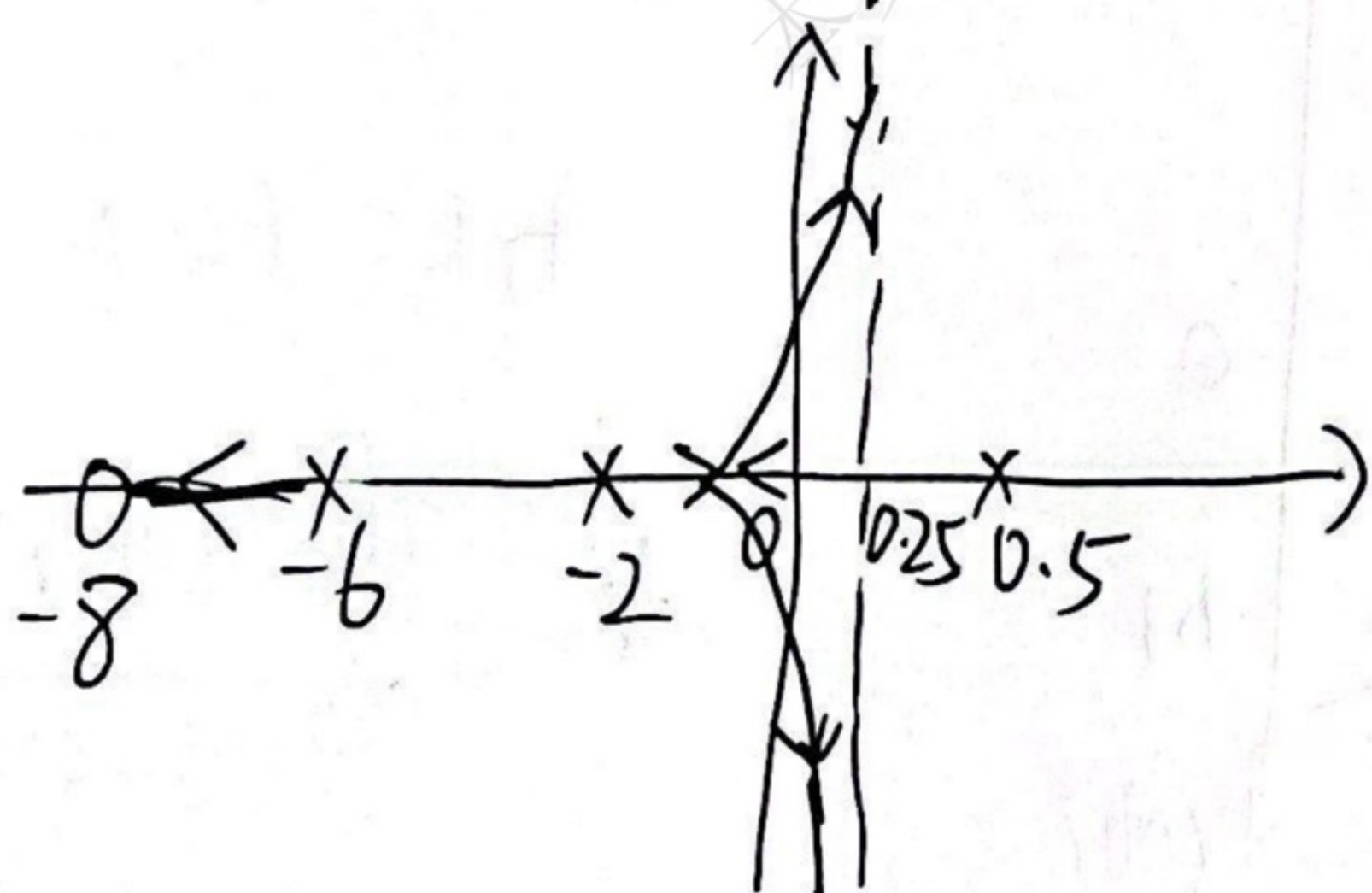
实轴:  $[-8, -6] \cup [-2, 0.5]$

$$\text{渐近线: } \begin{cases} \sigma_a = \frac{0.5 - 2 - 6 + 8}{2} = 0.25 \\ \varphi_a = \frac{\pm(2k+1)\pi}{2} = \pm 90^\circ \end{cases}$$

$$\text{分离点: } \frac{1}{s-0.5} + \frac{1}{s+2} + \frac{1}{s+6} = \frac{1}{s+8} \\ \Rightarrow d_1 = -0.7.$$

幅角:  $180^\circ$

$$\text{与虚轴交点: } \begin{cases} -w^3 + (8+k)w = 0 \\ -7.5w^2 + 8k - 6 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} w^2 = 140 \\ k = 132 \end{cases}$$



(2)  $0 < k < 132$  稳定

等幅振荡:  $k = 132, w^2 = 140 \Rightarrow w = \pm 11.8$



$$\text{IV. (1) } G(s) = \frac{5}{s(0.1s+1)(0.2s+1)}$$

$$\varphi(\omega) = -90^\circ - \arctan 0.1\omega - \arctan 0.2\omega.$$

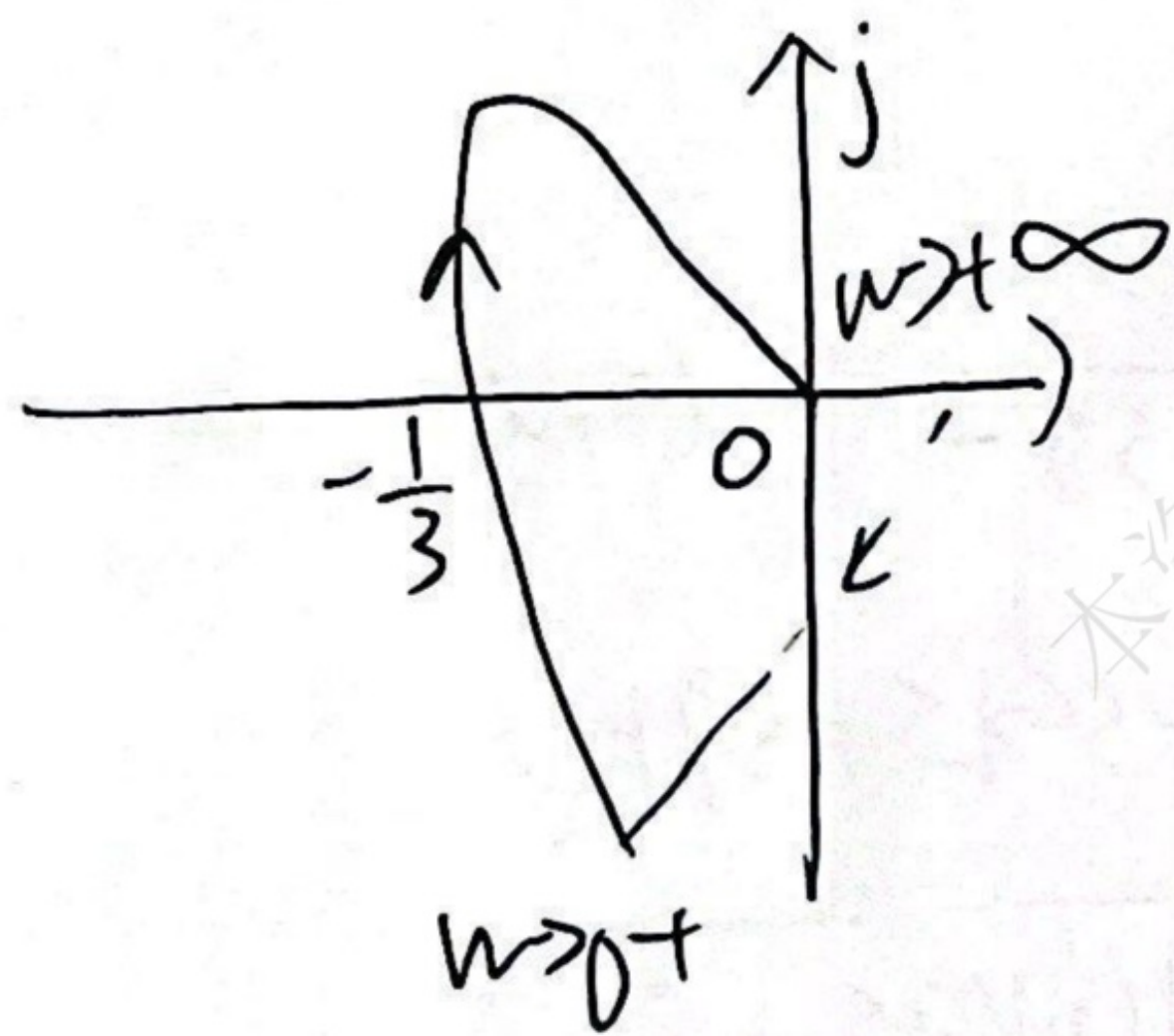
$$A(\omega) = \frac{5}{\omega \sqrt{0.01\omega^2 + 1} \sqrt{0.04\omega^2 + 1}}$$

$$\omega \rightarrow 0^+ \quad \varphi(\omega) = -90^\circ \quad A(\omega) = \infty$$

$$\omega \rightarrow +\infty \quad \varphi(\omega) = -270^\circ \quad A(\omega) = 0$$

$$T_1 = 0.1, T_2 = 0.2 \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{T_1 T_2}} = \sqrt{50}$$

$$G(j\omega) = - \frac{5 \times 0.1 \times 0.2}{0.1 + 0.2} = -\frac{1}{3}$$



$$\varphi(\omega_g) = \pm(2k+1)\pi \Rightarrow 1 - 0.02\omega_g^2 = 0$$

$$\omega_g^2 = 50$$

$$h = \frac{1}{|G(j\omega_g)|} = \frac{15}{5} = 3$$

$$(2) \quad G(j\omega) = - \frac{k \times 0.1 \times 0.2}{0.1 + 0.2}$$

$$= -\frac{k}{15}$$

当  $0 < k < 15$  时

$$N_+ = 0, N_- = 0$$

$$Z = P - 2(N_+ - N_-)$$

$$= 0 - 0$$

$$= 0$$

故稳定



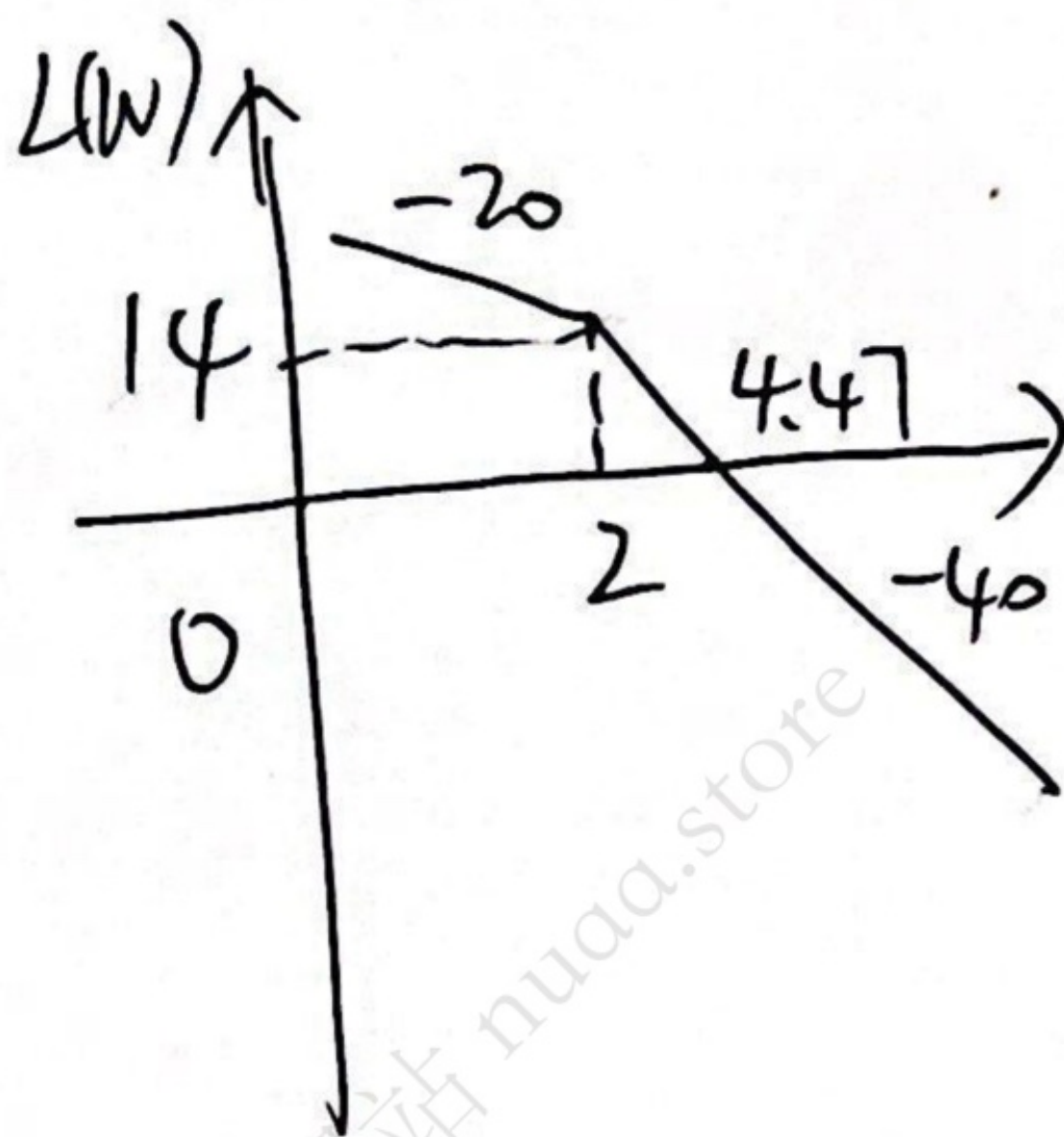
五.

$$(1). G_0(s) = \frac{10}{s(\frac{1}{2}s+1)}$$

$$T=2. K=10. |G_0(j\omega_c')|=1 \Rightarrow \frac{10}{\frac{1}{2}\omega_c'^2} = 1 \Rightarrow \omega_c' = 4.47.$$

$$\frac{0 - L(2)}{\lg 4.47 - \lg 2} = -40$$

$$\Rightarrow L(2) = 14$$



$$(2). |G(j\omega_c')|=1 \Rightarrow \omega_c' = 4.47$$

$$\gamma' = 180^\circ - 90^\circ - \arctan \frac{1}{2}\omega_c' = 24.1^\circ$$

$$(3). \text{取 } \omega_c'' = 8.$$

$$-10 \lg a = -40 \lg \frac{\omega_c''^{1/2}}{\omega_c'^2} \Rightarrow a = 0.24$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{a}\omega_c''} \Rightarrow T = 0.04$$