南京航空

《控制系统工程II》考试试题

二〇二一～二〇二二学年 第1学期 试卷类型：B 试卷代号：93005

考试日期：2021年1月07日 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	16
得　分	

一、某系统结构图如图1所示，求 $R(s)$ 和 $N(s)$ 为输入下的输出 $C(s)$ 的表达式。

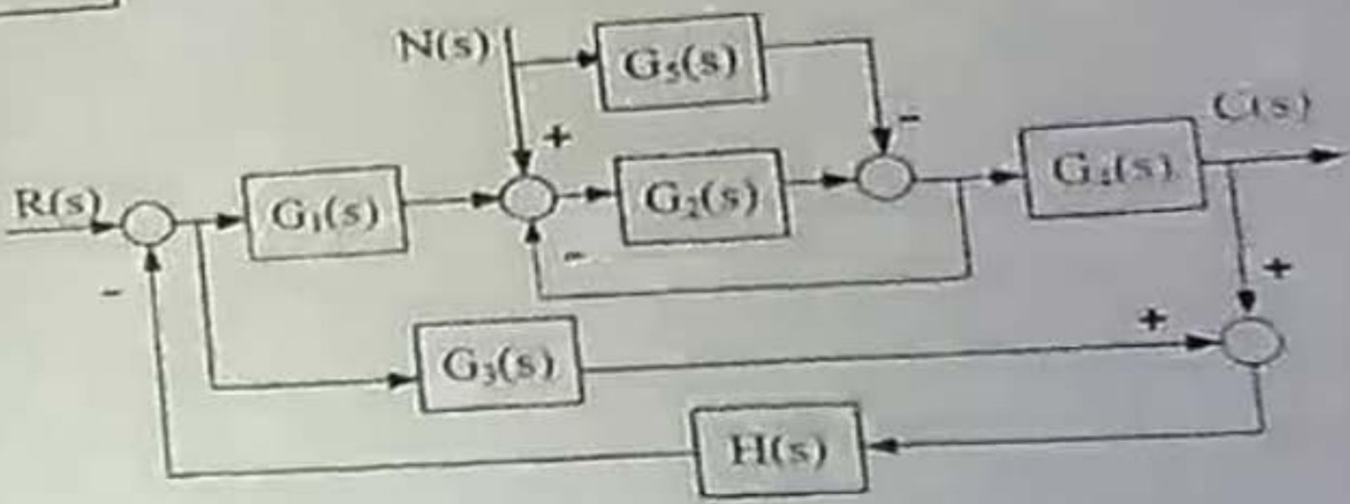


图1

本题分数	18
得　分	

二、已知某单位负反馈系统结构图如图 2 所示。当输入信号 $r(t)=1(t)$ 时，稳态误差 $e_{ss}=0.2$，求

(1)系统的峰值时间 t_p；(2)调节时间 t_s；(3)超调量 $\sigma\%$。

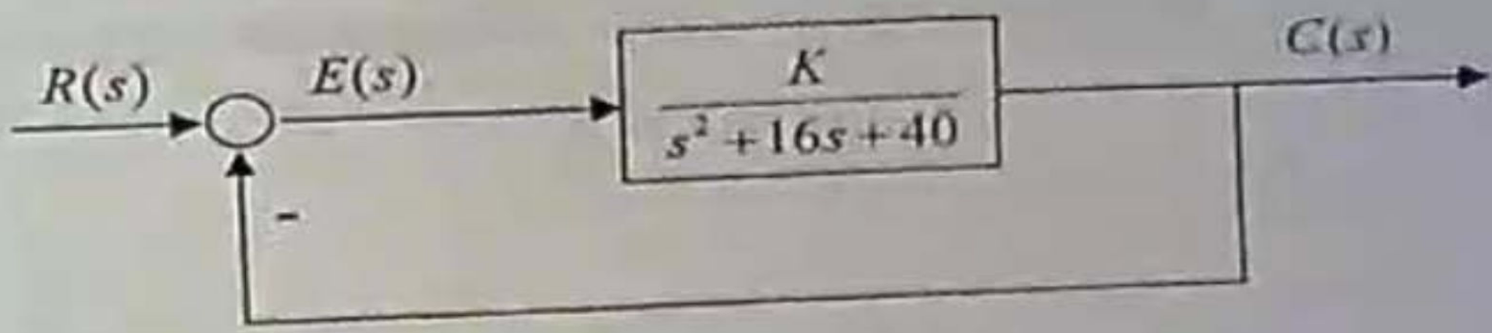


图 2

本题分数	16
得　分	

三、已知单位负反馈系统的开环传递函数为

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

(1) 试绘制 K 由 $0 \to +\infty$ 变化的闭环根轨迹图；

(2) 用根轨迹法确定使系统的阶跃响应出现超调的 K 值范围；

本题分数	18
得　　分	

四、某单位负反馈系统的开环传递函数为：

$$G(s)=\frac{K}{s(0.5s+1)(s+1)},\ K>0$$

要求：(1) 用频域稳定判据判断系统稳定的 K 值范围；(2) 若系统幅值裕度为 20dB，求系统输入 $r(t)=3t$ 时的稳态误差。

本题分数	16
得　分	

五、已知某单位负反馈系统为最小相角系统，其开环对数幅频渐近线如图 3 所示。

(1) 求系统的开环传递函数；

(2) 若输入信号 $r(t)=1+2\sin 10t$，求系统的稳态输出 C_s。

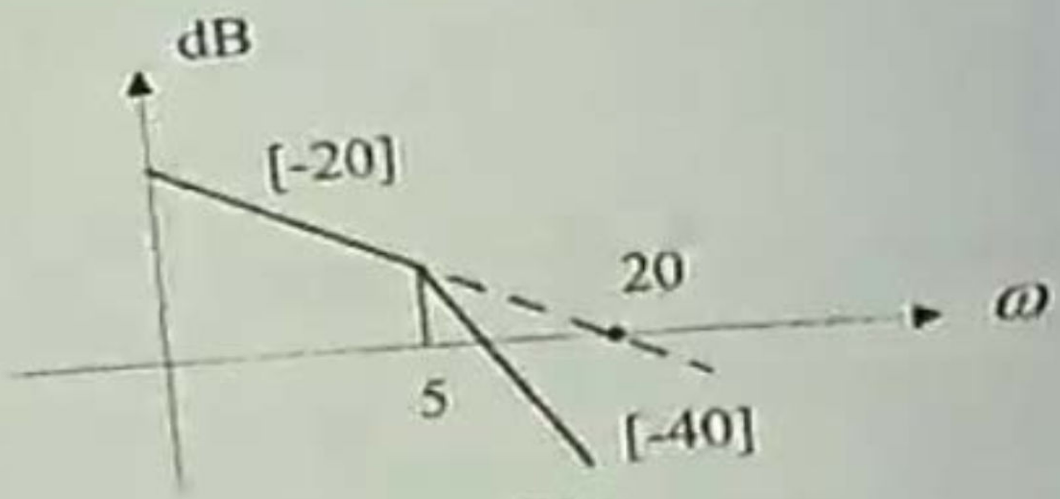


图 3

本题分数	16
得　　分	

六、采样系统的结构图如图4所示，采样周期T=1s，输入为单位阶跃信号，求：

(1) 系统的闭环脉冲传递函数；

(2) 系统的输出响应c*(t)（算至n=3）。

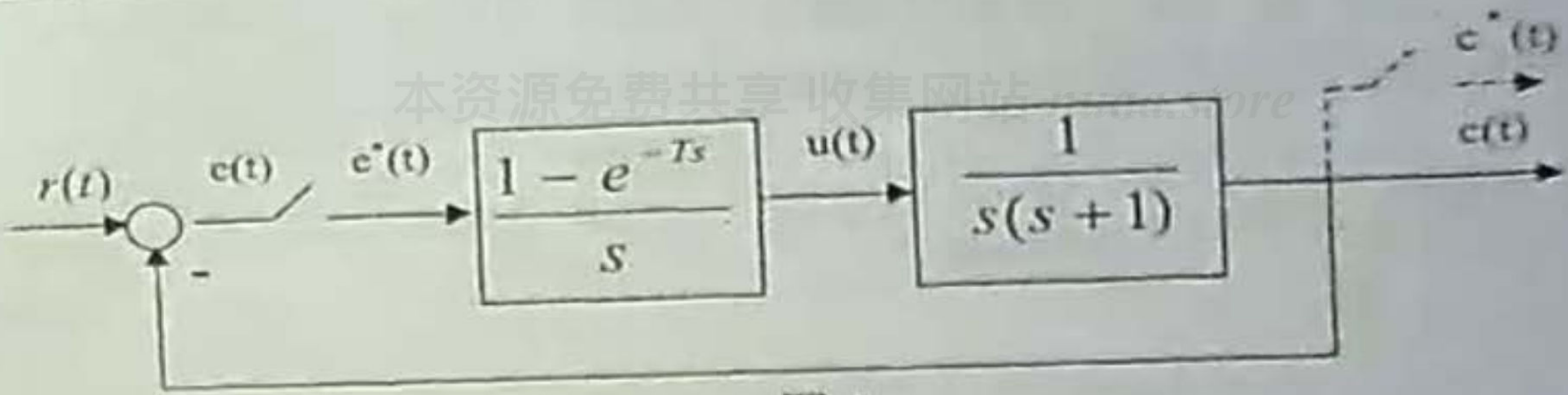
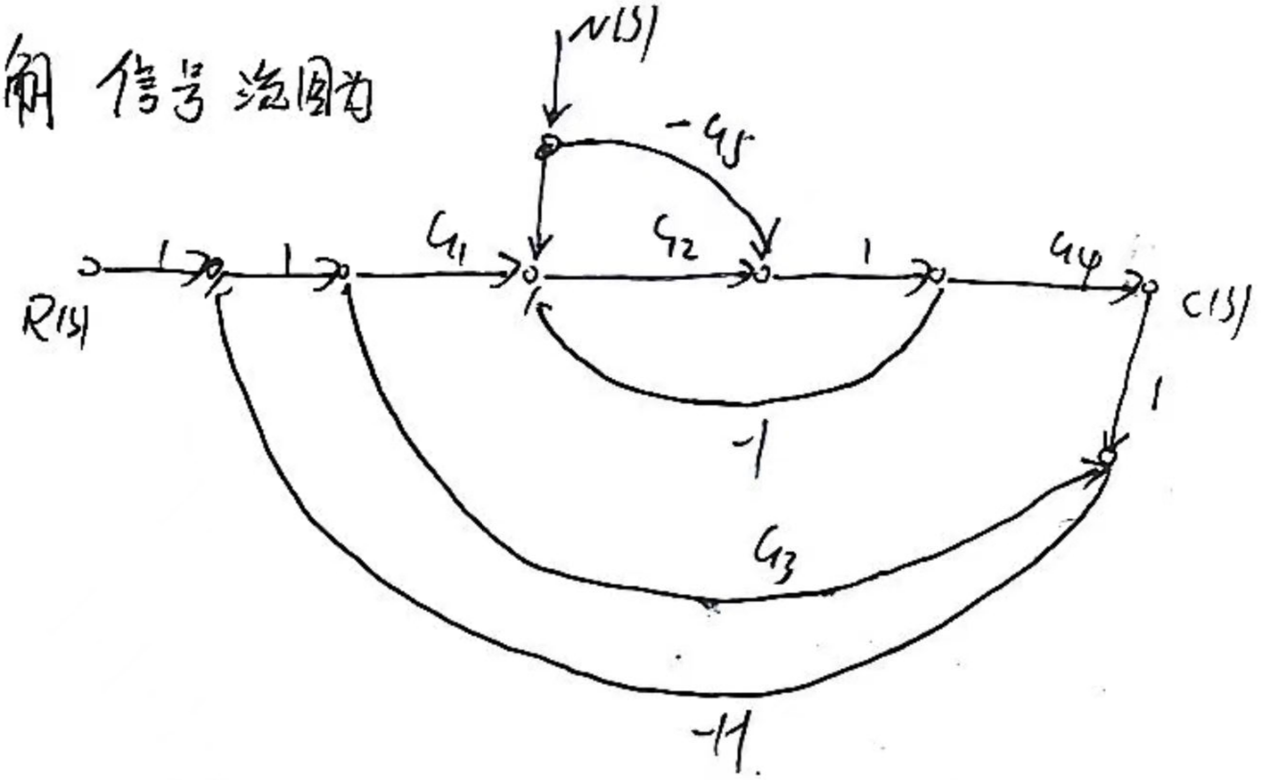


图4

附Z变换表：$Z\left[\frac{1}{s+a}\right]=\frac{z}{z-e^{-aT}}$，$Z\left[\frac{1}{s}\right]=\frac{z}{z-1}$，$Z\left[\frac{1}{s^2}\right]=\frac{Tz}{(z-1)^2}$。

一、解 信号流图为



R(s)作用下，前向通道 $P_1 = G_1 G_2 G_4$　　$\Delta_1 = 1$

~~$P_2 = G$~~

N(s)作用下，前向通道 $P_2 = G_2 G_4$　　$\Delta_2 = 1 + G_3 H$

$P_3 = -G_4 G_5$　　$\Delta_3 = 1 + G_3 H$

回路增益 $\Delta = 1 + G_2 + G_1 G_4 H + G_3 H + G_2 G_3 H$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{P_1 \Delta_1}{\Delta} = \frac{G_1 G_2 G_4}{1 + G_2 + G_3 H + G_1 G_4 H + G_2 G_3 H}$$

$$\frac{C(s)}{N(s)} = \frac{P_2 \Delta_2 + P_3 \Delta_3}{\Delta} = \frac{(1 + G_3 H)(G_2 G_4 - G_4 G_5)}{1 + G_2 + G_3 H + G_1 G_4 H + G_2 G_3 H}$$

$$C(s) = \frac{G_1 G_2 G_4 R(s) + (1 + G_3 H)(G_2 G_4 - G_4 G_5) N(s)}{1 + G_2 + G_3 H + G_1 G_4 H + G_2 G_3 H}$$

二解. $G(s)=\frac{K}{s^2+16s+40}$

$$\Phi(s)=\frac{G(s)}{1+G(s)}=\frac{K}{s^2+16s+40+K}$$

$$K_p=\lim_{s\to 0}G(s)=\frac{K}{40}$$

$$e_{ss}=\frac{1}{1+K_p}=\frac{40}{40+K}=0.2 \qquad K=160$$

(1) $\begin{cases} 2\omega_n\xi=16 \\ \omega_n^2=200 \end{cases}$ $\begin{cases} \omega_n=14.14 \\ \xi=0.57 \end{cases}$

$$t_p=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}=0.27s$$

(2) $t_s=\frac{4}{\xi\omega_n}=0.5s \quad (\Delta=\pm 2\%)$

(3) $\sigma\%=e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}}\times 100\%=11.32\%$

1、绘制根轨迹

(1)系统有有 3 个开环极点（起点）：0、-3、-3，无开环零点（有限终点）；

(2)实轴上的轨迹：（-∞，-3）及（-3，0）；

(3) 3 条渐近线：
$$\begin{cases}\sigma_a = \dfrac{-3-3}{3} = -2 \\ \pm 60°,\ 180°\end{cases}$$

(4) 分离点： $\dfrac{1}{d} + \dfrac{2}{d+3} = 0$ 得： $d = -1$

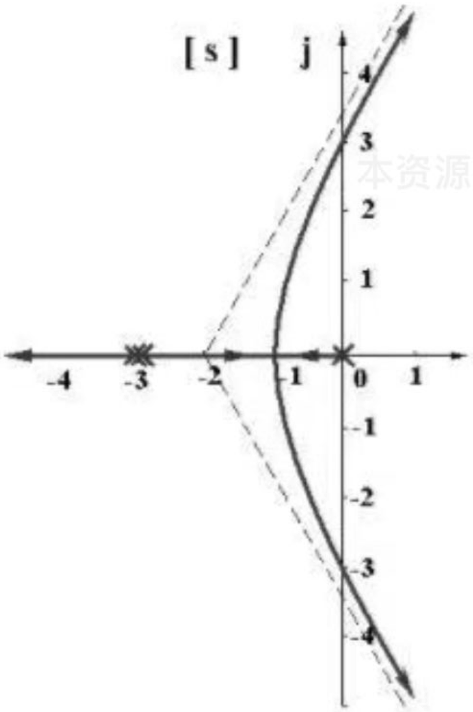
三题

$$K_r = |d| \cdot |d+3|^2 = 4$$

(5)与虚轴交点： $D(s) = s^3 + 6s^2 + 9s + K_r = 0$

$$\begin{cases}\mathrm{Im}[D(j\omega)] = -\omega^3 + 9\omega = 0 \\ \mathrm{Re}[D(j\omega)] = -6\omega^2 + K_r = 0\end{cases} \qquad \begin{cases}\omega = 3 \\ K_r = 54\end{cases}$$

绘制根轨迹如右图所示。



Kr换成K

2、 开环增益 K 与根轨迹增益 K_r 的关系： $G(s) = \dfrac{K_r}{s(s+3)^2} = \dfrac{\frac{K_r}{9}}{s\left[\left(\frac{s}{3}\right)^2 + 1\right]}$

得 $K = K_r/9$

系统稳定时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $K_r < 54$，

系统稳定且为欠阻尼状态时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $4 < K_r < 54$，

(1) 解 令 $s=j\omega$ $\quad G(j\omega)=\dfrac{K}{j\omega(0.5j\omega+1)(j\omega+1)}$

$$A(\omega)=\frac{K}{\omega\sqrt{0.25\omega^2+1}\sqrt{\omega^2+1}}$$

$$\varphi(\omega)=-90^\circ-\arctan 0.5\omega-\arctan\omega$$

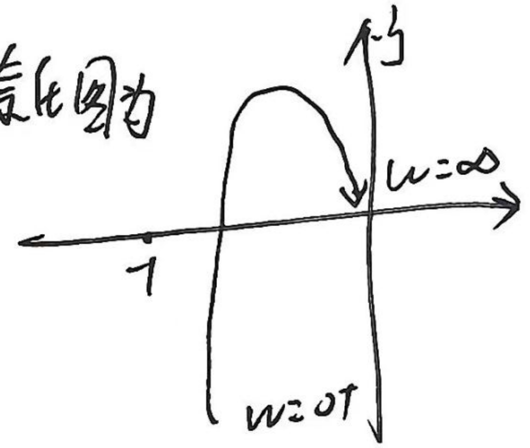
$\omega=0^+$, $A(\omega)=\infty$ $\quad \varphi(\omega)=-90^\circ$

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

令 $\varphi(\omega_g)=-180^\circ$, 则 $1-0.5\omega_g^2=0$ $\quad \omega_g=\sqrt{2}$

$A(\omega_g)=\dfrac{K}{3}$ 与负实轴交点为 $(-\dfrac{K}{3}, j0)$

奈氏图为



稳定时

$-\dfrac{K}{3}>-1$ $\quad 0<K<3$

(2). $h=\dfrac{1}{A(\omega_g)}=\dfrac{3}{K}=20$ $\qquad K=\dfrac{3}{20}$

$\circ$ $K_v=\lim\limits_{s\to 0} sG(s)=K$

$$e_{ss}=\frac{3}{K_v}=20$$

五解 (1) 由图知

$$G(s)=\frac{K}{s\left(\frac{s}{\omega_1}+1\right)} \qquad \omega_1=5 \quad K=20$$

$$G(s)=\frac{20}{s\left(\frac{s}{5}+1\right)}$$

(2) $$\Phi(s)=\frac{G(s)}{1+G(s)}=\frac{20}{0.2s^2+s+20}=\frac{100}{s^2+5s+100}$$

$r_1(t)=1$ 时 $R_1(s)=\frac{1}{s}$

$$\begin{cases} 2\omega_n\xi=5 \\ \omega_n^2=100 \end{cases} \qquad \begin{cases} \omega_n=10 \\ \xi=0.25 \end{cases}$$

$$C_{ss1}(t)=1-\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\xi^2}\,t+\arccos\xi\right)$$

$$=1-1.03\sin(9.68t+75.52^\circ)$$

$$\Phi(j\omega)=\frac{100}{-\omega^2+5j\omega+100} \qquad \angle\Phi(j\omega)=-\arctan\frac{5\omega}{100-\omega^2}$$

$$|\Phi(j\omega)|=\frac{100}{\sqrt{(100-\omega^2)^2+25\omega^2}}$$

由频率特性，$r_2(t)=2\sin 10t$ 时

$$|C_{ss2}(t)|=2\,|\Phi(j10)|=4$$

$$\angle C_{ss2}(t)=\angle\Phi(j10)=-90^\circ$$

$$C_{ss2}(t)=4\sin(10t-90^\circ)$$

$$C_{ss}(t)=C_{ss1}(t)+C_{ss2}(t)$$

$$=1-1.03\sin(9.68t+75.52^\circ)+4\sin(10t-90^\circ)$$

解：

（1）系统连续部分的传递函数为

$$G(S)=\frac{1-e^{-Ts}}{s}\frac{1}{s(s+1)}=(1-e^{-Ts})\left[\frac{1}{s^2}-\frac{1}{s}+\frac{1}{s+1}\right]$$

开环脉冲传递函数为

六

$$G(z)=\frac{z-1}{z}\left[\frac{1}{(z-1)^2}-\frac{z}{z-1}+\frac{1}{z-e^{-1}}\right]=$$

$$\frac{e^{-1}z+1-2e^{-1}}{(z-1)(z-e^{-1})}$$

闭环脉冲传递函数为

$$\Phi(s)=\frac{G(z)}{1+G(z)}=\frac{e^{-1}z+1-2e^{-1}}{(z-1)(z-e^{-1})+e^{-1}z-2e^{-1}}=\frac{0.368z+0.264}{z^2-z+0.632}$$

（2）系统输出的 Z 变换表达示为

$$G(s)=\frac{0.368z+0.264}{z^2-z+0.632}\bullet\frac{z}{z-1}=\frac{0.368z^{-2}}{1-2z^{-1}+1.632z^{-2}-0.632z^{-3}}=$$

$0.368z^{-1}+z^{-2}+1.4z^{-3}+1.401z^{-4}+1.149z^{-5}+\cdots$

所以

$c^*(t)=0.368\delta(t-1)+\delta(t-2)+1.4\delta(t-3)+1.401\delta(t-4)+1.149\delta(t-5)+\cdots$

即

c(0)=0, c(1)=0.368, c(2)=1, c(3)=1.4, c