主管
领导
审核
签字

密

封

线

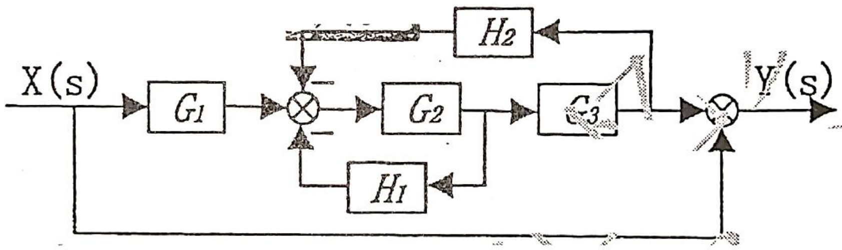
哈尔滨工业大学 2017 学年 秋 季学期

自动控制原理 II 试 题

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	总分
得分													
阅卷人													

片纸鉴心 诚信不败

一、（满分 10 分）已知系统结构图如下图所示，试用框图化简或梅森公式求系统的传递函数 Y(s)/X(s)。



解·方框图化简法.

G_2与H_1 → $\frac{G_2}{1+G_2H_1}$，串G_3，与H_2负反馈

$G\cdot\ \frac{G_2G_3}{1+G_2H_1}\quad H\ \ H_2 \longrightarrow \frac{\frac{G_2G_3}{1+G_2H_1}}{1+\frac{H_2G_2G_3}{1+G_2H_1}}=\frac{G_2G_3}{1+G_2H_1+H_2G_2G_3}$

$\frac{Y(s)}{X(s)}=1+\frac{G_1G_2G_3}{1+G_2H_1+H_2G_2G_3}$

梅森公式法:

回路 $L_1=-H_1G_2$，$L_2=-G_2G_3H_2$

$\Delta=1-L_1-L_2=1+H_1G_2+H_2G_2G_3$

前向通路 $P_1=1$，$\Delta_1=1-L_1-L_2=\Delta$

$P_2=G_1G_2G_3$，$\Delta_2=1$

$\frac{Y(s)}{X(s)}=\frac{P_1\Delta_1+P_2\Delta_2}{\Delta}=1+\frac{G_1G_2G_3}{1+H_1G_2+H_2G_2G_3}$

浙张记忆复刻店

（满分10分）已知一个单位负反馈系统的开环传递函数为$G(s)=\frac{K}{(s+a)(s+2)(s^2+4s+10)}$，试求：

（1）当$a=1$时，试用劳斯稳定判据确定K为何值时将使系统振荡，并求出振荡频率。

（2）当$a=0$，$K=40$时，求此系统在$r(t)=3t+2$的输入下的稳态误差。

解：(1) $a=1$时，$G(s)=\frac{k}{(s+1)(s+2)(s^2+4s+10)}$

$D(s)=(s+1)(s+2)(s^2+4s+10)+K=s^4+7s^3+24s^2+38s+20+K$

s^4	1	24	$20+k$
s^3	7	38	
s^2	$\frac{130}{7}$	$20+k$	
s^1	$\frac{3960-49k}{130}$		
s^0			

令s^1行全为零，$k=\frac{3960}{49}$

辅助方程：$\frac{130}{7}s^2+(20+k)=0$

$\Rightarrow s=\pm j\sqrt{\frac{38}{7}}$

$\Rightarrow$ 振荡频率为$\sqrt{\frac{38}{7}}\,rad/s \approx 2.33\,rad/s$

解：$a=0$，$K=40$时，代入，有$G(s)=\frac{40}{s(s+2)(s^2+4s+10)}$为I型系数

$K_p=\infty$，$K_v=\lim_{s\to0}sG(s)=2$，$e_{ss}=\frac{A_1}{1+K_p}+\frac{A_2}{K_v}=\frac{3}{2}=1.5$

法二：动态误差系数法

$\Phi_e=\frac{E(s)}{U(s)}=\frac{1}{1+G(s)}=\frac{20s+18s^2+6s^3+s^4}{40+20s+18s^2+6s^3+s^4}$

$=0+\frac{1}{2}s+O(s)$

$C_0=0$，$C_1=\frac{1}{2}$，

$r=3t+2$，$\dot{r}=3$，$\ddot{r}=0$

$\Rightarrow e_{ss}=C_0r+C_1\dot{r}=1.5$

三、（10分）一个单位负反馈系统的开环传递函数为$G(s)=\frac{5s+K}{s^2(s+4)}$，试绘制系统以$K$为参数的根轨迹（要求求出分离点，画出渐近线，与虚轴的交点）。参数根轨迹

解. $D(s)=s^3+4s^2+5s+K$，令 $G_1(s)=\frac{K}{s^3+4s^2+5s}=\frac{K}{s(s^2+4s+5)}$　$m=0, v=1$　$n=3, p_1=0, p_2=-2+j, p_3=-2-j$　$n-m=3$

180°根轨迹，实轴上 $[-\infty, 0]$

分离点 $\frac{d}{ds}D(s)=3s^2+8s+5=0 \Rightarrow s=-1, s=-\frac{5}{3}$ 均在根轨迹上

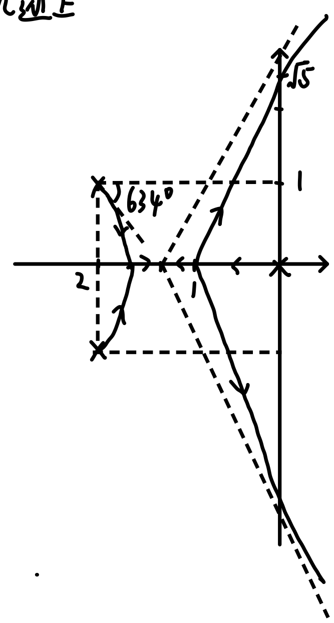
渐近线 $\sigma=\frac{0-2-2}{3-0}=-\frac{4}{3}$，$\varphi=\frac{(2k+1)\pi}{3-0}=\pm 60°, 180°$

与虚轴交点 令$D(j\omega)=0$，有

$$\begin{cases}-\omega^3+5\omega=0\\K-4\omega^2=0\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}\omega=0\\K=0\end{cases},\begin{cases}\omega=\sqrt{5}\\K=20\end{cases}$$

计算$p=-2+j$处出射角 $\angle 1=90°+\arctan 2=153.4°$

$0-[\theta+90°+153.4°]=-180° \Rightarrow \theta=-63.4°$



授课教师____ 姓名____ 学号____ 院系____ 密 封 线

授课教师________ 姓名________ 学号________ 院系________

密 封 线

四、（满分 10 分）设单位负反馈系统的开环传递函数为$G(s)=\frac{K}{s(s+5)(s+1)}$。

（1）写出系统的开环幅频特性、相频特性表达式。

（2）当$K=5$时，画出系统的 Nyquist 图，并说明闭环系统的稳定性。

（3）由 Nyquist 稳定判据求使闭环系统稳定的K的取值范围。

解.(1) $G(s)=\frac{K}{s(s+5)(s+1)}$, $G(j\omega)=\frac{K}{j\omega(5+j\omega)(1+j\omega)}$.

$|G(j\omega)|=\frac{K}{\omega\sqrt{25+\omega^2}\sqrt{1+\omega^2}}$ $\angle G(j\omega)=-90^\circ-\arctan\frac{\omega}{5}-\arctan\omega$

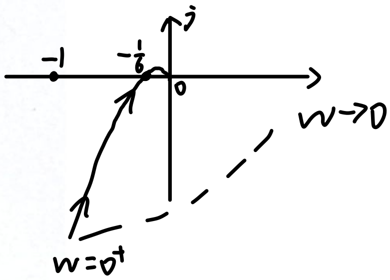
(2) $G(s)=\frac{5}{s(s+5)(s+1)}$ $\omega\to0$时 $G(j\omega)=\infty\angle0^\circ \longrightarrow \omega=0^+$时 $G(j\omega)=\infty\angle-90^\circ$

$\omega\to+\infty$时 $G(j\omega)=0\angle-270^\circ$

$G(j\omega)=\frac{5}{j\omega(j\omega+5)(j\omega+1)}=\frac{-30\omega^2+j5(\omega^3-5\omega)}{36\omega^4+(\omega^3-5\omega)^2}=X+jY$

与负实轴交点 $Y=0\Rightarrow\omega=\sqrt5$, $X=\frac{-30\omega^2}{36\omega^4+(\omega^3-5\omega)^2}=-\frac16$ 位于$(-1,j0)$右边

Nyquist图



$N=0$, 而$P=0$

$Z=P-2N=0\Rightarrow$稳定

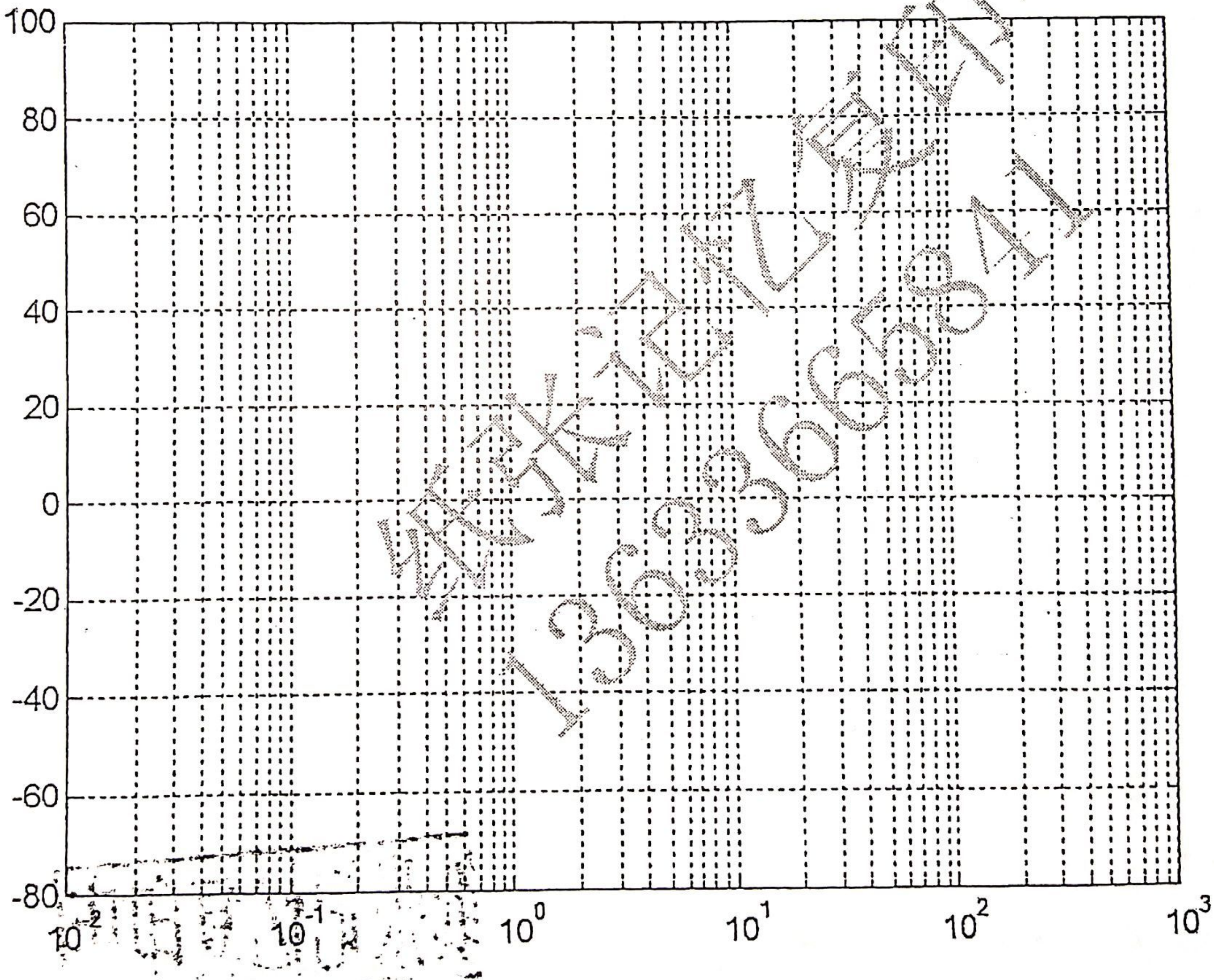
(3) 当与负实轴交点到$(-1,j0)$左边时, $N=-1$, $Z=P-2N=2$, 系统不稳定

$\Rightarrow G(j\omega)=\frac{-6K\omega^2+jK(\omega^3-5\omega)}{36\omega^4+(\omega^3-5\omega)^2}$, $\omega=\sqrt5$. $X=\frac{-6\times5K}{900}=-1\Rightarrow K=30$

$K\in(0,30)$系统稳定, $K>30$系统不稳定

五、（满分 15 分）已知一单位负反馈系统的开环传递函数为$G_{(s)}=\frac{100}{s(0.2s+1)}$，试设计串联校正网络使校正后的系统截止频率$w_c''$不低于 35rad/s，相角裕度$\gamma''\geq 45^\circ$

要求：（1）绘制校正前、后及校正装置的渐近幅频特性图；（2）写出校正装置的传递函数；（3）计算校正后的相位裕度。



院系________ 学号________ 姓名________ 任课教师________

密 封 线

六、（满分 15 分）已知一个系统的传递函数为：$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2}{s^2+K\tau s+K}$。

（1）要求系统的阶跃响应的性能指标为：超调量$\sigma_p = 20\%$，调节时间$t_s = 1.75s, \Delta = 5\%$。试求参数$K$，$\tau$。

（2）在(1)的基础上，写出系统的状态空间表达式

解：$G(s)=\frac{2}{s^2+K\tau s+K}$ 有$K=\omega_n^2,\ K\tau=2\omega_n\xi$

$\sigma_p=e^{-\xi\omega_n t_p}=e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}=0.2 \Rightarrow \xi=0.456,\ t_s(5\%)=\frac{3}{\xi\omega_n}=1.75s \Rightarrow \omega_n=3.76rad/s$

从而$K=\omega_n^2=14.1,\ \tau=\frac{2\omega_n\xi}{K}=\frac{2\xi}{\omega_n}=0.243$

(2) 设$G(s)=\frac{2}{s^2+K\tau s+K}=\frac{Y(s)}{W(s)}\frac{W(s)}{U(s)}$

状态变量$x_1=w,\ x_2=\dot{w}$

$U(s)=(s^2+K\tau s+K)W(s) \Rightarrow u(t)=\ddot{w}+K\tau\dot{w}+Kw$

$$\dot{x}=\begin{bmatrix}\dot{w}\\ \ddot{w}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 1\\ -K & -K\tau\end{bmatrix}x+\begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix}u$$

$Y(s)=2W(s) \Rightarrow y(t)=2w(t)$

$y=[2\quad 0]x+0$

(3) 在(2)的基础上试设计全维状态观测器，并用观测器的状态进行状态反馈，使系统的闭环极点都为−3，观测器的极点都为−5。