杭州电子科技大学学生考试卷（ A ）卷（参考答案与评分标准）

考试课程	自动控制原理（72 学时）		考试日期			成绩	
课 程 号	**A0602300**	教 师 号		任课教师姓名			
考生姓名		学号（8 位）		年级		专业	

一.（**10** 分）图 **1** 是一个自动液位控制系统。在任意情况下希望液面高度维持在 H_0 不变。

(1) 指出该自动液位控制系统中的控制对象、控制器、执行器、测量元件、被控量和干扰量。

(2) 画出系统的功能框图。

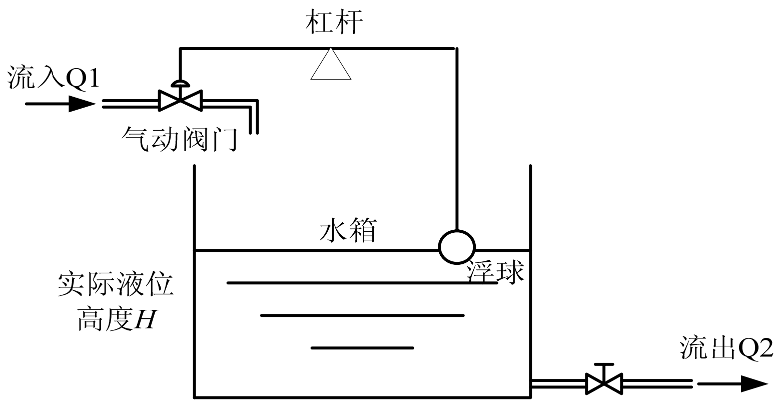
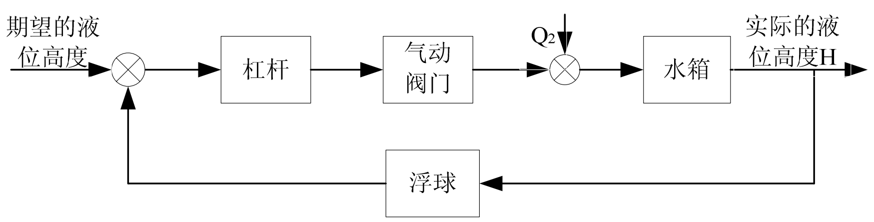


图 1

解：

(1) 控制对象是水箱，控制器是杠杆、执行器是气动阀门、测量元件是浮球、被控量为实际液位高度 ***H***、干扰量是流出量 $\mathbf{Q_2}$。 每个①分

(2) 系统的功能框图如下



图④分

二.（**14** 分）已知某系统结构图（见图 **2**），试求传递函数 $C(s)/R(s)$ 。

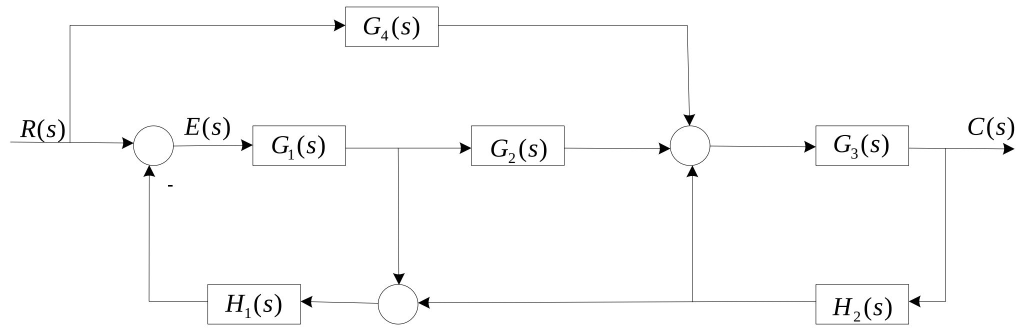


图 2

解一：（信号流图方法）

本系统有两条前向通道，三个独立回路，其中一对回路互补接触，即

$$L_1=-G_1H_1，\quad L_2=G_3H_2，\quad L_3=-G_1G_2G_3H_1H_2$$

L_1,L_2 互不接触，$L_1L_2=-G_1G_3H_1H_2$ 每个①分共④分

特征式

$$\Delta=1-(L_1+L_2+L_3)+L_1L_2=1+G_1H_1-G_3H_2+G_1G_2G_3H_1H_2-G_1G_3H_1H_2$$ ②分

前向通道增益及其余子式为

$P_1=G_1G_2G_3$， $\Delta_1=1$

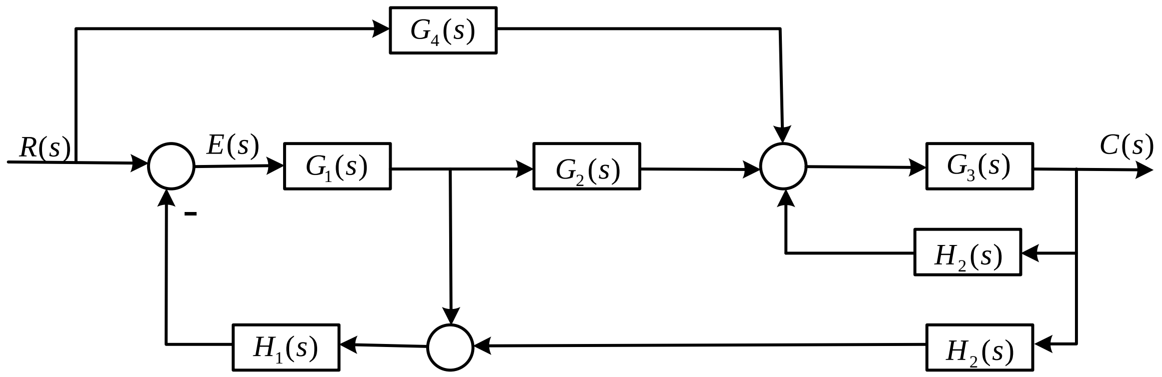
$P_2=G_3G_4$， L_1 与 P_2 不接触，$\Delta_2=1+G_1H_1$ 每个②分共④分

由梅逊公式可得

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{\sum_{i=1}^{2}P_i\Delta_i}{\Delta}=\frac{G_1G_2G_3+G_3G_4(1+G_1H_1)}{1+G_1H_1-G_3H_2+G_1G_2G_3H_1H_2-G_1G_3H_1H_2}$$ ④分

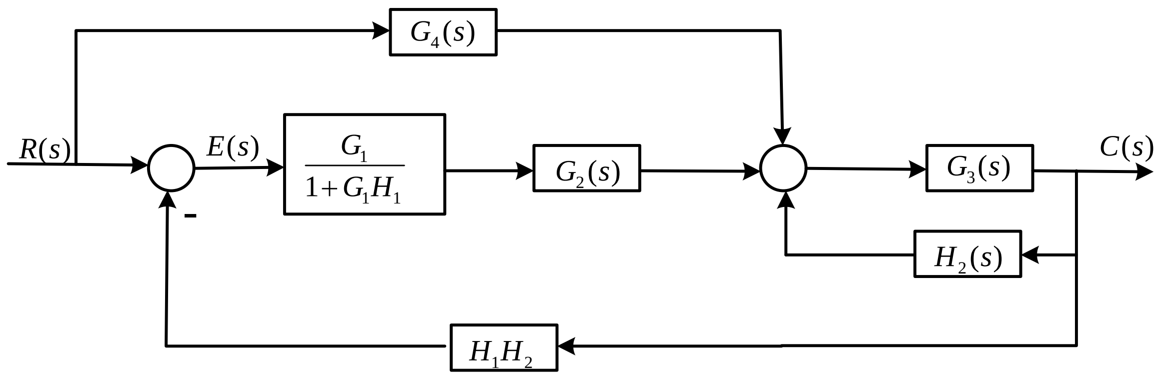
解二：（结构图化简）

作用分解



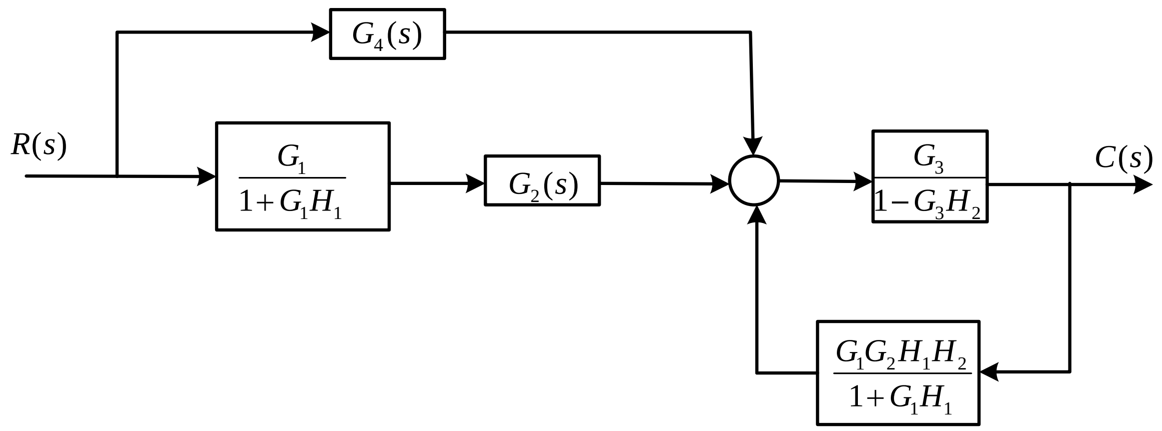
④分

作用分解和局部反馈化简



④分

比较点后移



④分

基本结构化简得

$$\frac{C(s)}{R(s)}=(G_4+\frac{G_1G_2}{1+G_1H_1})\cdot\frac{\frac{G_3}{1-G_3H_2}}{1+\frac{G_1G_2G_3H_1H_2}{(1+G_1H_1)(1-G_3H_2)}}$$

$$=\frac{G_1G_2G_3+G_3G_4(1+G_1H_1)}{1+G_1H_1-G_3H_2+G_1G_2G_3H_1H_2-G_1G_3H_1H_2}$$

②分

三.（**15** 分）设单位负反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{K(\tau s+1)}{s^2(Ts+1)}$，输入 $r(t)=t^2$。试求系统稳态误差 $e_{ss}(\infty)\le\varepsilon_0$ 时，系统各参数应满足的关系。

解：

闭环特征方程为

$$D(s)=s^2(Ts+1)+K(\tau s+1)=Ts^3+s^2+\tau Ks+K=0 \qquad ③分$$

由劳斯判据可知，系统稳定的必要条件为 $T>0,K>0,\tau>0$。再由劳斯表可知，系统稳定的条件为 $\tau>T$。 ⑤分

由 $G(s)$ 可知，系统为 **II** 型系统，在输入 $r(t)=t^2$ 时，系统稳态误差为

$$e_{ss}(\infty)=\frac{2}{K_a}=\frac{2}{K}\le\varepsilon_0 \qquad ⑤分$$

即 $K\ge\dfrac{2}{\varepsilon_0}$。 ②分

四.（**12** 分）已知各系统开环零极点分布图如图 **3** 所示，试概略绘制其根轨迹。

解：每小题②分，共 **12** 分。

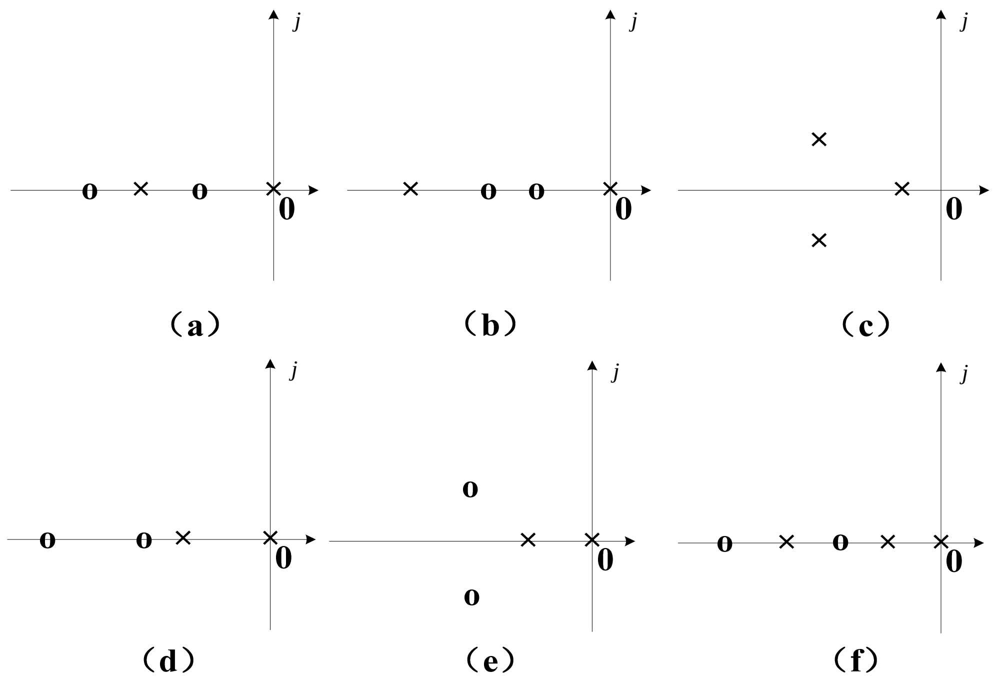
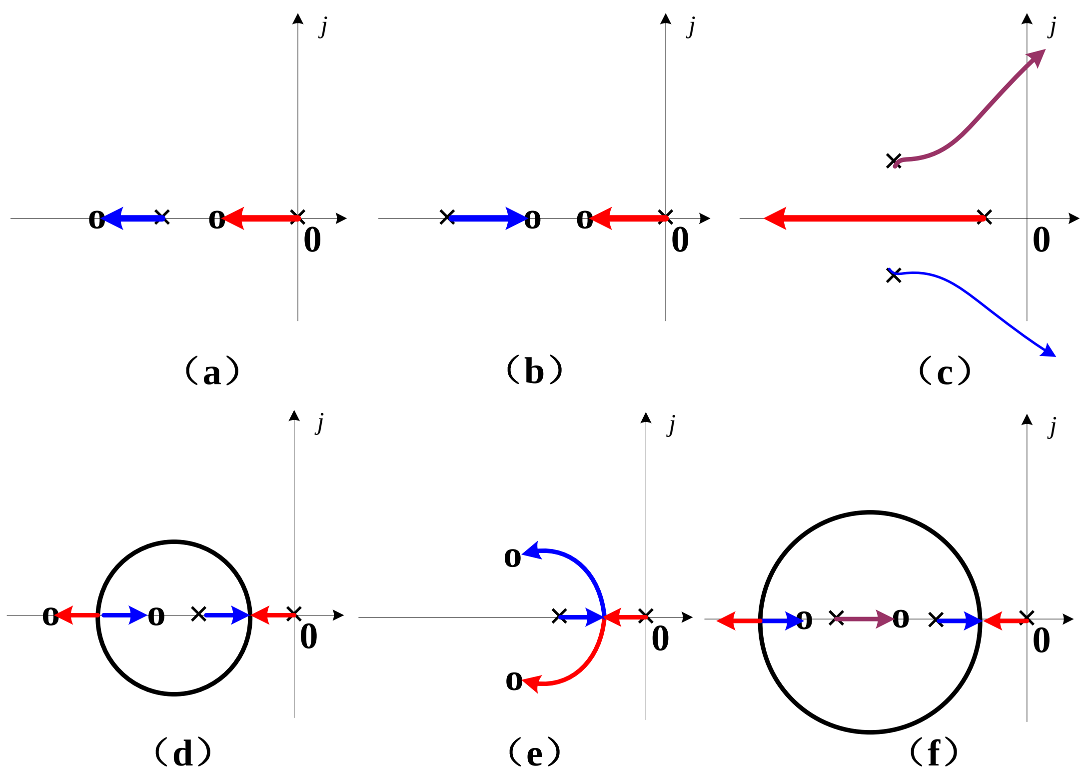


图 3



五.（12 分）已知线性系统开环对数幅频特性渐近线如下图 4 所示，且知开环传递函数没有正实部的零点与极点，振荡环节的阻尼比$\zeta=0.6$。试写出其开环传递函数。

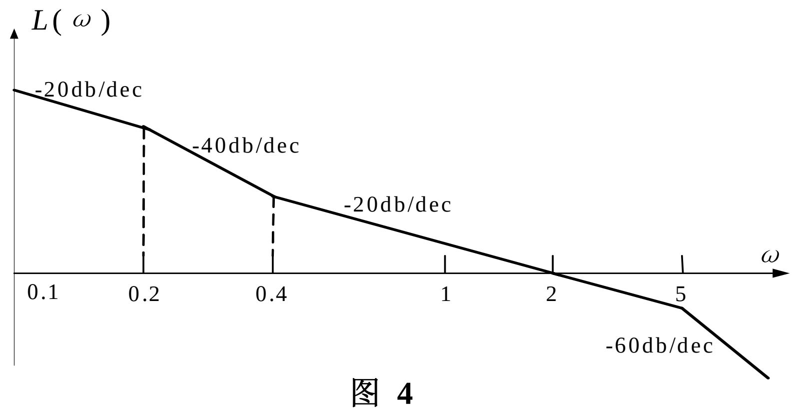


图 4

解：

根据题意，该系统为最小相位系统，从 **Bode** 图可知，系统由比例环节、积分环节、惯性环节、一阶微分环节和二阶振荡环节组成。其中惯性环节、一阶微分环节和二阶振荡环节的转折频率分别为 **0.2, 0.4** 和 **5**。再由于振荡环节的阻尼比$\zeta=0.6$，所以开环传递函数为

$$G(s)=\frac{K(2.5s+1)}{s(5s+1)(0.04s^2+0.24s+1)}$$ 每个环节②分，共 10 分

因为$L(\omega=2)=0$，所以有

$$20\lg\left|\frac{K\cdot 2.5\omega}{\omega\cdot 5\omega}\right|_{\omega=2}=0$$

即$K=4$， $G(s)=\dfrac{4(2.5s+1)}{s(5s+1)(0.04s^2+0.24s+1)}$ ②分

六.（15 分）设某控制系统的开环传递函数为

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

(1) 画出其开环频率特性极坐标图（**Nyquist** 图）；

(2) 求出极坐标曲线与负实轴的交点坐标；

(3) 用 **Nyquist** 判据求出使闭环系统稳定的 ***K*** 值范围。

解：

(1) 系统开环频率特性、幅频特性和相频特性分别为，

$$G(j\omega)H(j\omega)=\frac{K}{j\omega(j\omega+2)(j\omega+3)}$$

$$A(\omega)=\frac{K}{\omega\sqrt{\omega^2+4}\sqrt{\omega^2+9}}\qquad \varphi(\omega)=-90°-arctg\frac{\omega}{2}-arctg\frac{\omega}{3}$$

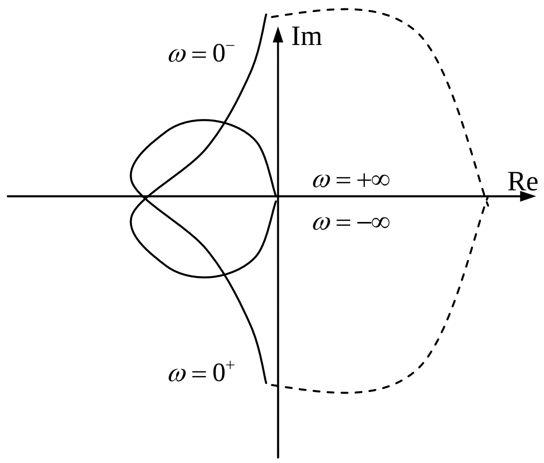
起点： $\omega=0^+, A(\omega)=+\infty, \varphi(\omega)=-90°-\Delta, \Delta>0$

终点： $\omega=+\infty, A(\omega)=0, \varphi(\omega)=-270°+\Delta, \Delta>0$

又当， $\omega: 0^- \to 0^+$

$\theta: -\pi/2 \to 0 \to \pi/2$ ，逆时针

$\varphi: \pi/2 \to 0 \to -\pi/2$ ，顺时针



画图说明③分，图⑤分

(2) 又

$$G(j\omega)H(j\omega)=\frac{K}{j\omega(6-\omega^2+5j\omega)}$$

$$=\frac{K}{\omega}\cdot\frac{1}{-5\omega+(6-\omega^2)j}=\frac{K}{\omega}\cdot\frac{-5\omega-(6-\omega^2)j}{25\omega^2+(6-\omega^2)^2}$$

令 **Im**=0，即 $6-\omega^2=0$ ， $\omega^2=6$ 代入实部得

$$\mathrm{Re}=\frac{K}{\omega}\cdot\frac{-5\omega}{25\omega^2+(6-\omega^2)^2}=\frac{-5K}{25\times6}=\frac{-K}{30}$$

即极坐标曲线与负实轴的交点坐标为 $(-\frac{K}{30}, j0)$ 。 ④分

(3) 根据 Nyquist 判据要使闭环系统稳定，则开环频率特性的极坐标图不包围 $(-1, j0)$ 点。要求 $-\frac{K}{30}>-1$，即 $K<30$ 。 ③分

七. （10 分）闭环采样系统如图 5 所示，采样周期 $T=0.5$，试求系统的闭环脉冲传递函数。已知 $Z\left[\frac{1}{s^2}\right]=\frac{Tz}{(z-1)^2}$， $Z\left[\frac{1}{s+a}\right]=\frac{z}{z-e^{-aT}}$ 。

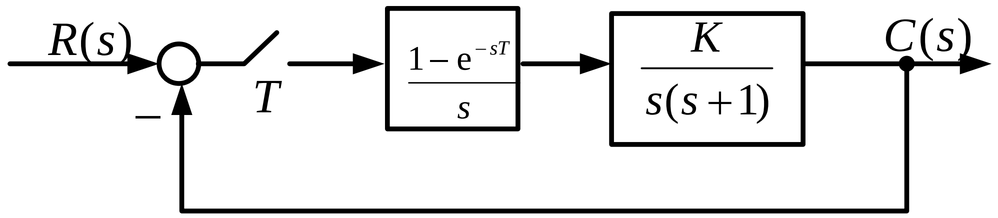


图 5

解

开环脉冲传递函数为

$$G_hG(z)=Z\left[\frac{(1-e^{-sT})K}{s^2(s+1)}\right]=K(1-z^{-1})Z\left[\frac{1}{s^2(s+1)}\right]=K(1-z^{-1})Z\left[\frac{1}{s^2}-\frac{1}{s}+\frac{1}{s+1}\right]$$

$$=K(1-z^{-1})[\frac{0.5z}{(z-1)^2}-\frac{z}{z-1}+\frac{z}{z-0.6065}]=K\frac{0.1065z+0.0902}{(z-1)(z-0.6065)}$$ ⑥分

则闭环脉冲传递函数为

$$\Phi(z)=\frac{G_hG(z)}{1+G_hG(z)}=\frac{K(0.1065z+0.0902)}{z^2+(0.1065K-1.6065)z+(0.6065+0.0902K)}$$ ④分

八.（**12** 分）已知非线性系统的结构如图 **6** 所示，图中非线性环节的描述函数 $N(A)=\frac{A+6}{A+2}(A>0)$。试用描述函数法确定使该非线性系统稳定、不稳定以及产生周期运动时，线性部分的 K 值范围。

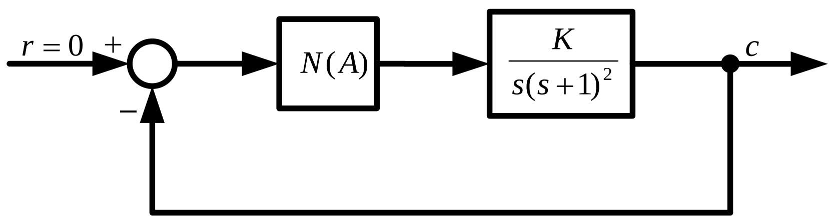


图 **6**

解

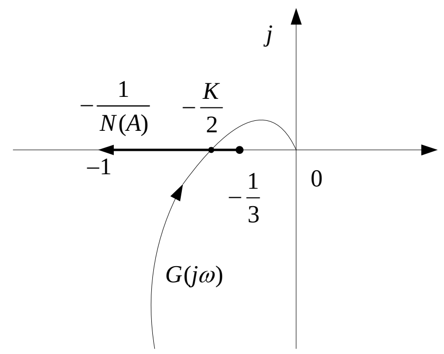
非线性环节的描述函数为

$$N(A)=\frac{A+6}{A+2}，\quad A>0$$

其负倒描述函数为

$$-\frac{1}{N(A)}=-\frac{A+2}{A+6}$$ ②分

为单调减函数，作 $-\frac{1}{N(A)}$ 曲线如图（**a**）所示。



图④分

图（**a**）稳定性分析

线性部分 $G(s)$ 的 Γ_G 曲线如图（**a**）所示，其中穿越频率

$$\omega_x=\frac{1}{\sqrt{1\times1}}=1$$

Γ_G 曲线与负实轴的交点为

$$G(j\omega_x)=-\frac{1\times1\times K}{1+1}=-\frac{K}{2}$$ ②分

当 $0<K<\frac{2}{3}$ 时，Γ_G 曲线不包围 $-\frac{1}{N(A)}$ 曲线，系统稳定。

当 $\frac{2}{3}<K<2$ 时，Γ_G 曲线和 $-\frac{1}{N(A)}$ 曲线存在交点（$-\frac{K}{2}$，**0**），$-\frac{1}{N(A)}$ 曲线由不稳定区域进入稳定区域，系统存在稳定的自振。

当 $2<K<\infty$ 时，Γ_G 曲线完全包围 $-\frac{1}{N(A)}$ 曲线，系统不稳定。

由以上讨论可知，随着 K 的增大，系统由稳定变成自振，最终不稳定。 分析④分