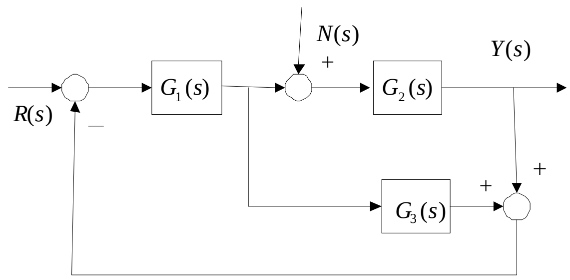
2003 年系统与分析课程考试题及参考答案

1．（12 分）已知系统的结构如图所示，求$\dfrac{Y(s)}{R(s)}$、$\dfrac{Y(s)}{N(s)}$、$\dfrac{E(s)}{R(s)}$以及$\dfrac{E(s)}{N(s)}$



答案：　采用梅逊公式

$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{G_1G_2}{1+G_1(G_2+G_3)}$$

$$\frac{Y(s)}{N(s)}=\frac{G_2(1+G_1G_3)}{1+G_1(G_2+G_3)}$$

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

$$\frac{E(s)}{N(s)}=-\frac{G_2}{1+G_1(G_2+G_3)}$$

2．（15 分）系统的微分方程如下

$$x_1(t)=r(t)-y(t)+K_nn(t)$$

$$x_2(t)=K_1x_1(t)$$

$$x_3(t)=x_2(t)-n(t)-\tau\frac{dy(t)}{dt}$$

$$T\frac{dx_4(t)}{dt}=x_3(t)$$

$$\frac{dy(t)}{dt}=x_4(t)-y(t)$$

其中$r(t)$为给定输入信号，$n(t)$为扰动量，$y(t)$为输出量，K_1，K_n，T，τ均为常数。

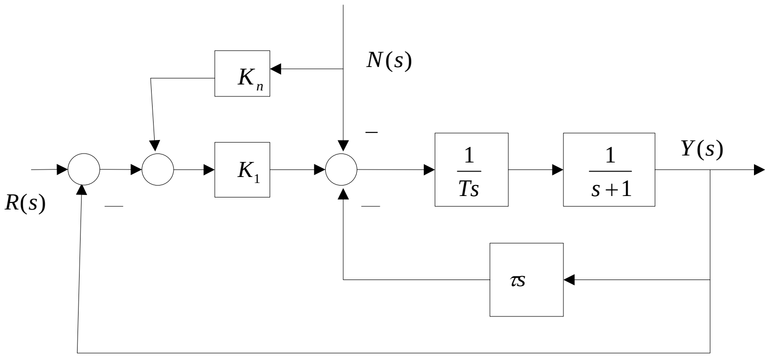
（1）　画出系统的动态结构图；

（2）　求系统的传递函数$Y(s)/R(s)$以及$Y(s)/N(s)$；

（3）　试确定使系统输出量不受扰动影响时的K_n值。

答案：

(1)



(2)　采用梅逊公式

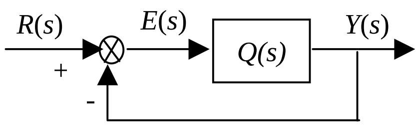
$$Y(s)=\frac{K_1\frac{1}{Ts(s+1)}R(s)+(K_nK_1-1)\frac{1}{Ts(s+1)}N(s)}{1+K_1\frac{1}{Ts(s+1)}+\frac{\tau}{T}\frac{1}{s+1}}$$

$$=\frac{K_1R(s)+(K_nK_1-1)N(s)}{Ts(s+1)+K_1+\tau s}$$

所以：$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{K_1}{Ts^2+(T+\tau)s+K_1}$；$\frac{Y(s)}{N(s)}=\frac{K_nK_1-1}{Ts^2+(T+\tau)s+K_1}$

(3) $K_n=\frac{1}{K_1}$

3. (14 分)已知系统结构如图，其中 $Q(s)=\frac{2K}{s(s+1)(0.1s+1)}$,要求系统闭环稳定，且单位斜坡输入下 $e_s<0.2$，试确定 K 值的可调范围？



答案：

闭环系统的特征方程为

$$s(s+1)(0.1s+1)+2K=0.1s^3+1.1s^2+s+2K=0$$

列写劳斯表

s^3	0.1	1
s^2	1.1	$2K$

s	$\dfrac{1.1-0.2K}{1.1}$	0
s^0	$2K$	

这样得到 $0<K<5.5$

而 $K_v=\lim\limits_{s\to 0}sG(s)H(s)=2K$

$e_s=\dfrac{1}{2K}<0.2$ 得到 $K>2.5$

由上面分析得到 $2.5<K<5.5$

(12 分)已知系统的结构同上题，其中 $Q(s)=\dfrac{10}{s(s+1)}$，求系统的阶跃响应性能 σ 和 t_s

答案： 由开环传递函数得到

$$\xi=0.158,\quad \omega_n=3.16$$

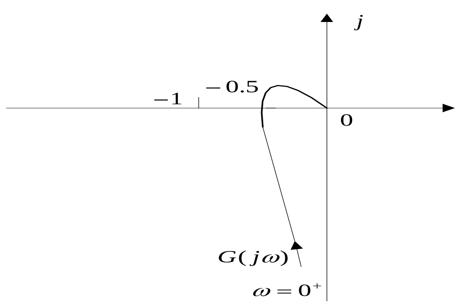
$$t_s=\frac{3.5}{\xi\omega_n}=7.01，\quad \sigma=e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}}=60.4\%$$

5、(16 分) 已知某单位反馈最小相位系统，有开环极点 -40 和 -10，其系统开环幅相频率特性 $G(j\omega)$ 曲线如图所示， 幅相特性曲线与负实轴的交点为 $(-0.5,0)$。

(1) 试写出开环传递函数 $G(s)$；

(2) 作出其对数幅频特性渐近线 $L(\omega)$，求系统开环截止角频率 $\omega_c=$？；

(3) 能否调整开环增益 K 值使系统在给定输入信号 $r(t)=1+t$ 作用下稳态误差 $e_s\le 0.01$?；



答案：(1) 从系统开环幅相频率特性 $G(j\omega)$ 曲线可以看出，

当 $\omega\to 0+$ 时， $\angle G(j\omega)\to -90^0$

说明系统一定含有一积分环节。

而当$\omega \to \infty$时， $\angle G(j\omega) \to -270^0$

说明系统不含零点。这样系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{K}{s(\frac{1}{40}s+1)(\frac{1}{10}s+1)}$$

并且

$$G(j\omega) = \frac{K}{j\omega(\frac{1}{40}j\omega+1)(\frac{1}{10}j\omega+1)}$$

$$= -\frac{400K(40-j\omega)(10-j\omega)j}{\omega(1600+\omega^2)(100+\omega^2)}$$

$$= \frac{400K(\omega^2-400)}{\omega(1600+\omega^2)(100+\omega^2)}j - \frac{400K\times 50}{\omega(1600+\omega^2)(100+\omega^2)}$$

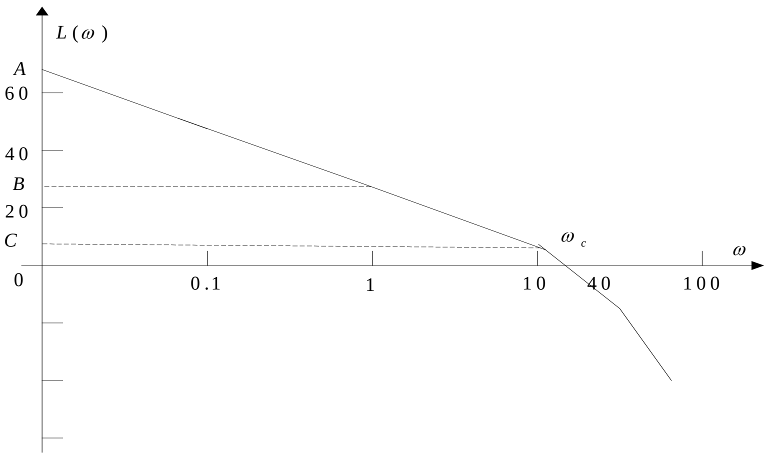
如此在与虚轴的交点处 $\omega^2 = 400$，这样得到 $\omega = 20$

这样 $-\frac{400K\times 50}{2000\times 500} = -\frac{1}{2}$， $K = 25$

系统的传递函数为

$$G(s) = \frac{25}{s(\frac{1}{40}s+1)(\frac{1}{10}s+1)}$$

（2）画出近似的幅频特性曲线如下：



所以有： $B0 = BC + C0$， 即

$$20\lg^{25} = 20\lg^{10} + 40\lg^{\frac{\omega_c}{10}}$$

由此得到 $\omega_c = 15.8$

（4）由于系统时 I 型，所以单位阶跃信号作用下的稳态误差为零

而在单位斜坡信号作用下的稳态误差为

$$K_p = \lim_{s\to 0} sG(s)H(s) = K$$

所以

$$e_s = \frac{1}{K} \le 0.01\text{，得到 } K \ge 100$$

但从稳定性的角度考虑

系统的特征方程为 $s^3 + 50s^2 + 400s + 400K = 0$

由劳斯判据

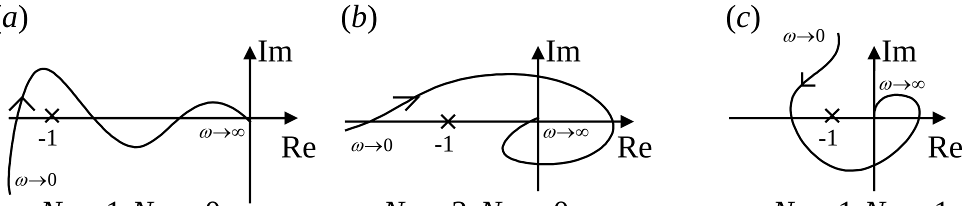
s^3	1	400
s^2	50	$400K$
s	$\dfrac{20000-400K}{50}$	$400K$
s^0	$400K$	

如系统稳定，必须满足 $0 < K < 50$

综合以上，该系统不能通过调整开环增益达到稳态误差 $e_s \le 0.01$。

6．（9分） 已知系统结构如第3题图所示，下图所示为$Q(s)$的频率特性极坐标图，要求判断闭环系统的稳定性。其中 N_I 表示开环系统包含的积分个数，N_o 表示开环系统右半平面的极点数。

(a) (b) (c)



$N_I = 1, N_O = 0$ $N_I = 2, N_O = 0$ $N_I = 1, N_O = 1$

答案：(a) $N_c = N + N_0 = 2$， 闭环系统在右半平面有两个根，系统不稳定；

(b) $N_c = N + N_0 = 2$， 闭环系统在右半平面有两个根，系统不稳定；

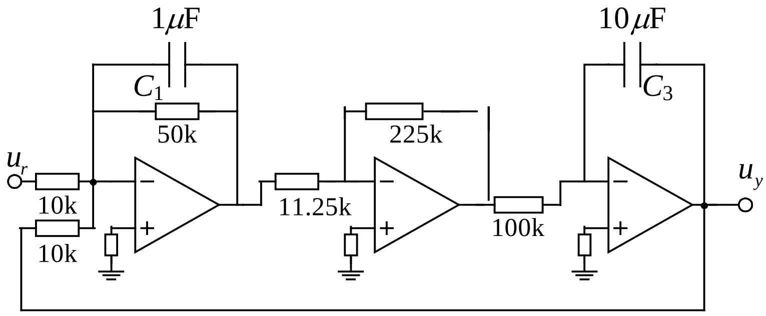
(c) $N_c = N + N_0 = 0$， 闭环系统在右半平面没有根，系统稳定。

7．（12分）已知系统的模拟电路如图所示。

(1) 求出系统的开环传递函数。

(2) 若C_1由1μ变为0.5μ，ω_c和γ将怎样变化(变大、变小或基本不变)？为什么？

（3）若C_3由10μ变为5μ，ω_c和γ将怎样变化(变大、变小或基本不变)？为什么？



答案：（1）系统的开环传递函数为

$$Q(s) = -\frac{R_1}{R_0(R_1C_1s+1)} \times 2 \times \frac{1}{R_3C_3s}$$

$$= -\frac{2R_1}{R_0}\frac{1}{R_3C_3s(R_1C_1s+1)}$$

$$= -\frac{100}{s(0.05s+1)}$$

考虑到系统为单位正反馈，因此整个系统等效为开环传函为$-Q(s)$的单位反馈系统。

（2）若C_1由1μ变为0.25μ， 则R_1C_1变小，$\frac{1}{R_1C_1}$变大，从20变为40

$\omega_c = 44.7$变为$\omega_c' = 63.2$，而相应的相角变化为

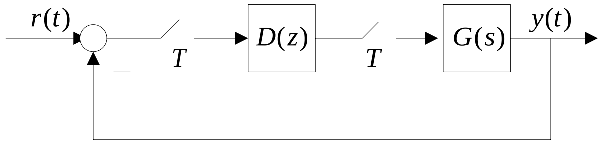
$$\Delta r = arctg\,0.25\omega_c' - arctg\,0.5\omega_c = 8.2$$

这样相角增大。

（3）C_2减小，开环传递函数为

$$Q(s) = \frac{200}{s(0.05s+1)}，\quad \omega_c\text{变大，相角裕度变小。}$$

8. (12 分) 已知系统如下图所示，其中 $G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$，采样周期$T = 1$（秒），试求$r(t) = 1(t)$时系统无稳态误差，过渡过程在最少拍内结束的$D(z)$。



答案：$G(z)=(1-z^{-1})Z\left[\dfrac{G(s)}{s}\right]$

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

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

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

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

$$=\frac{B(z)}{A(z)}$$

这样　$D(z)=\dfrac{A(z)}{B(1)z^2-B(z)}=\dfrac{z^2-(1+e^{-1})z+e^{-1}}{(1-e^{-1})z^2-e^{-1}z-1+2e^{-1}}$

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