一、CDABD　ABABA

二、（8 分）已知某系统的结构图如下图所示，求系统的传递函数$\dfrac{C(s)}{R(s)}$。

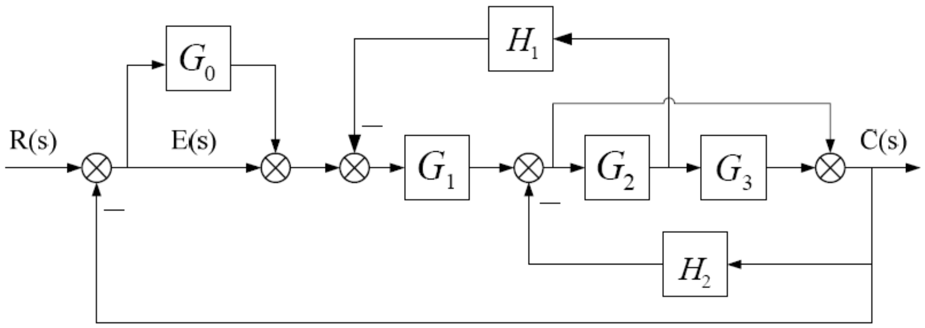


图 2 系统结构图

解：上图中有 7 个回路，4 个前向通道，即：

$P_1 = G_1$，$P_2 = G_1G_2G_3$，$P_3 = G_0G_1$，$P_4 = G_0G_1G_2G_3$，$\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = \Delta_4 = 1$

$L_1 = -G_1$，$L_2 = -G_1G_2G_3$，$L_3 = -G_0G_1$，$L_4 = -G_0G_1G_2G_3$，$L_5 = -G_1G_2H_1$，

$L_6 = -H_2$，$L_7 = -G_2G_3H_2$

$\Delta = 1-(L_1+L_2+L_3+L_4+L_5+L_6+L_7)$

故：

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1+G_1G_2G_3+G_0G_1+G_0G_1G_2G_3}{1+G_1+G_1G_2G_3+G_0G_1+G_0G_1G_2G_3+G_1G_2H_1+H_2+G_2G_3H_2}$$

三、（10 分）已知某单位反馈系统的开环传递函数为$G(s)H(s)=\dfrac{K^*(s+1)}{s(s-3)}$，试：

1、绘制$K^*=0\to\infty$变化的根轨迹（求分离点、与虚轴的交点）；（7 分）

2、求系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益K的取值范围。（3 分）

解：1.

(1)系统有有 2 个开环极点（起点）：0、3，1 个开环零点（终点）为：-1；　（1 分）

(2)实轴上的轨迹：（-∞，-1）及（0，3）；　（1 分）

(3)求分离点坐标

$\dfrac{1}{d+1}=\dfrac{1}{d}+\dfrac{1}{d-3}$，得　$d_1=1,\quad d_2=-3$；　（2 分）

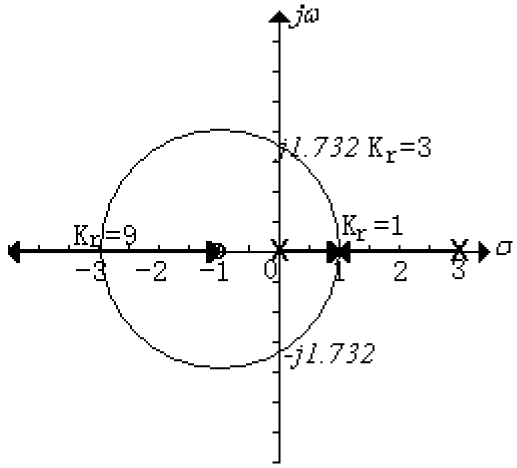
分别对应的根轨迹增益为　$K_r=1,\quad K_r=9$

(4)求与虚轴的交点

系统的闭环特征方程为$s(s-3)+K_r(s+1)=0$,即$s^2+(K_r-3)s+K_r=0$

令 $s^2+(K_r-3)s+K_r\big|_{s=j\omega}=0$,得 $\omega=\pm\sqrt{3},\quad K_r=3$ （2 分）

根轨迹如下图所示。



（1 分）

2、求系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围

系统稳定且为欠阻尼状态时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $K_r=3\sim9$， （2 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围： $K=1\sim3$ （1 分）

四、（12 分）系统结构图如下图所示：

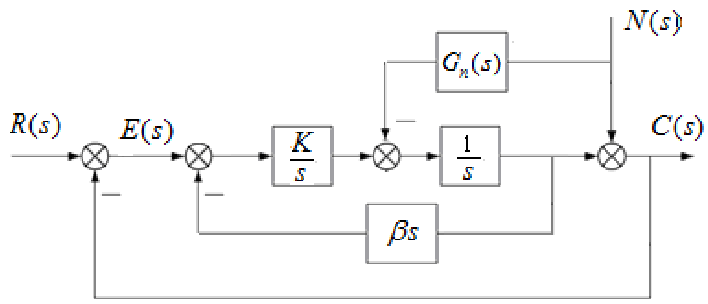


图 3 系统结构图

（1）写出闭环传递函数 $\Phi(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}$ 表达式；（2 分）

（2）要使系统满足条件：$\xi=0.707$，$\omega_n=2$，试确定相应的参数 K 和 β，并求出系统性能指标 $\sigma\%$、 t_s；（6 分）

（3）确定 $G_n(s)$，使干扰 $n(t)$ 对系统输出 $c(t)$ 无影响。（4 分）

解：（1） $\Phi(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{\dfrac{K}{s^2}}{1+\dfrac{K\beta}{s}+\dfrac{K}{s^2}}=\dfrac{K}{s^2+K\beta s+K}=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$ （2 分）

（2）$\begin{cases} K=\omega_n^2=2^2=4 \\ K\beta=2\xi\omega_n=2\sqrt{2} \end{cases}$ $\begin{cases} K=4 \\ \beta=0.707 \end{cases}$ （2 分）

$\sigma\% = e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}} = 4.32\%$，（2 分）

$t_s=\dfrac{4}{\xi\omega_n}=\dfrac{4}{\sqrt{2}}=2.83$ （2 分）

（3）令：$\Phi_n(s)=\dfrac{C(s)}{N(s)}=\dfrac{\left(1+\dfrac{K\beta}{s}\right)-\dfrac{1}{s}G_n(s)}{\Delta(s)}=0$（2 分）

得： $G_n(s)=s+K\beta$ （2 分）

五、（15 分）已知一单位闭环系统的开环传递函数为$G(s)=\dfrac{20}{s(0.1s+1)}$，现加入串联校正装置：$G_c(s)=\dfrac{s+1}{10s+1}$ ，试：

（1） （3 分）判断此校正装置属于引前校正还是滞后校正，说明原因。

（2） （6 分）计算校正前、后系统的相位裕量。

（3） （6 分）绘制校正后系统的对数幅频特性曲线。

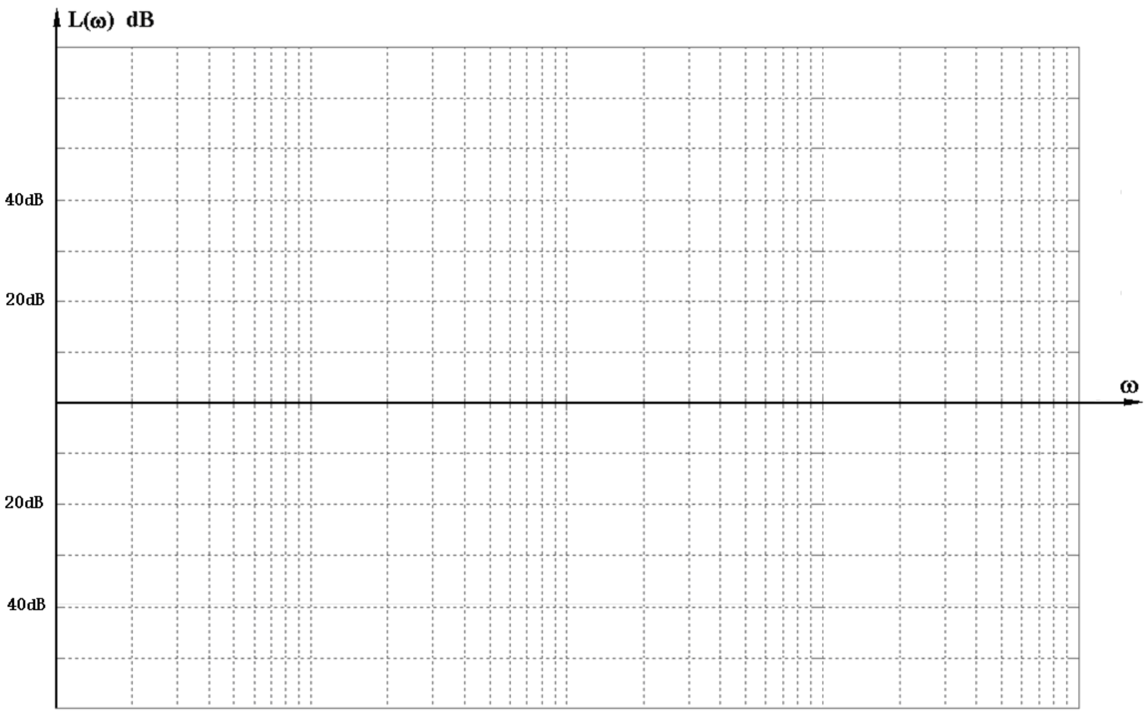


图 4 bode 图

解：

（1）该校正属于滞后校正。

因为矫正装置的传递函数 $G_c(s)=\dfrac{s+1}{10s+1}$: 先于 $\omega=0.1$ 处相角滞后，再于 $\omega=1$ 处相角超前，因此属于滞后校正。 （3 分）

（2） 校正前：$G(s)=\dfrac{20}{s(0.1s+1)}$

所以 $\omega_{c_0}=\sqrt{10\cdot 20}=10\sqrt{2}$ （1 分）

$\varphi_0=180^\circ-90^\circ-\arctan\sqrt{2}=35.28^\circ$ （2 分）

校正后：$G(s)\cdot G_c(s)=\dfrac{s+1}{10s+1}\cdot\dfrac{20}{s(0.1s+1)}$

所以 $\omega_c=2$ （1 分）

$\varphi=180^\circ+\arctan 2-90^\circ-\arctan 20-\arctan 0.2\approx 55^\circ$ （2 分）

（3） 转折频率：$\omega_1=0.1,\omega_2=1,\omega_2=10,$ （2 分）

截止频率：$\omega_c=2$ （2 分）

渐近线斜率： -20，-40，-20，-40。 （2 分）

六、（12 分）离散系统结构图如图 4 所示，采样周期 T=1 秒。

（1）(4 分) 写出系统的闭环脉冲传递函数；

（2）(6 分) 确定使系统稳定的 K 值范围；

（3）(2 分) 求当 $K=4$，$r(t)=t$ 时系统的稳定误差。

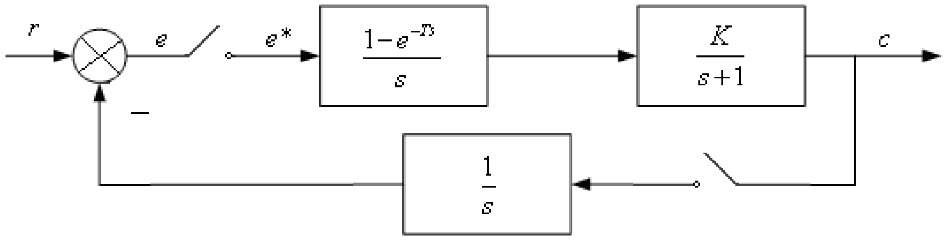


图 4 离散系统结构图

注：$Z\left[\dfrac{1}{s+a}\right]=\dfrac{z}{z-e^{-aT}}$ $Z\left[\dfrac{1}{s}\right]=\dfrac{z}{z-1}$ $Z\left[\dfrac{1}{s^2}\right]=\dfrac{Tz}{(z-1)^2}$

解：

（1） 系统开环传递函数为： $G(z)=\dfrac{Kz(1-e^{-1})}{(z-1)(z-e^{-1})}$ （2 分）

闭环传函 $\Phi(z)=\dfrac{K(1-e^{-1})(z-1)}{(z-1)(z-e^{-1})+Kz(1-e^{-1})}$ (2 分)

（2） $D(z)=z^2+[K(1-e^{-1})-(1+e^{-1})]z+e^{-1}$ (2 分)

由 $\begin{cases}D(1)>0\\D(-1)>0\end{cases}$ (2 分) 得： $\begin{cases}K>0\\K<4.328\end{cases}$ (2 分)

故：$0<K<4.328$ 时系统稳定

（3）系统开环传递函数为：

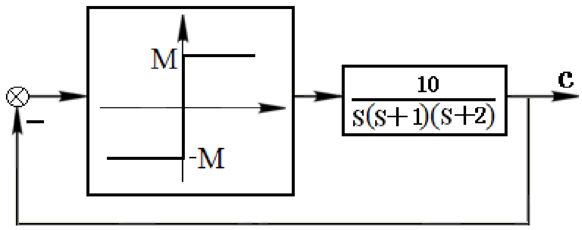
$$G(z)=\frac{Kz(1-e^{-1})}{(z-1)(z-e^{-1})}$$

所以

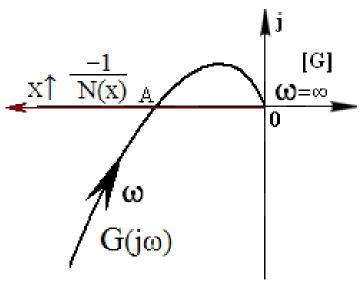
$$K_v=K=4$$
$$ess=AT/K_v=0.25$$
(2 分)

故此时系统的稳定误差为 0.25

七、（13 分）已知系统结构图如右，试求系统产生自振时的振幅和频率（$M=1$）。



解：依题大致作出 $G(j\omega)$ 和 $\dfrac{-1}{N(X)}$ 图形：



(3 分)

明显，A 点为稳定的自振点 （$G(j\omega)$ 虚部为 0 的点）

$$G(j\omega)=\frac{10}{j\omega(j\omega+1)(j\omega+2)}=\frac{-30\omega^2-j10(2-\omega^2)\omega}{\omega^2(\omega^2+1)(\omega^2+4)}=X+jY$$ (2 分)

令其虚部为 0： $\begin{cases}\omega=\infty \\ \omega=\sqrt{2}(\text{自振频率})\end{cases}$ (2 分)

求实部值： $\operatorname{Re}G(j2)=\left.\dfrac{-30}{(\omega^2+1)(\omega^2+4)}\right|_{\omega=\sqrt{2}}=\dfrac{-30}{(2+1)(2+4)}=-\dfrac{5}{3}=-1.667$ (2 分)

由自振的必要条件： $G(j\omega)\overset{A\text{点}}{=\!=\!=}\dfrac{-1}{N(x)}$ (2 分)

有： $-1.667=-\dfrac{\pi x}{4M}\overset{M=1}{=\!=\!=\!=}-\dfrac{\pi x}{4}$

$X=\dfrac{4}{\pi}\cdot 1.667=2.122(\text{自振幅值})$ $\therefore\begin{cases}\omega_A=\sqrt{2} \\ X_A=2.122\end{cases}$ (2 分)