《 自动控制原理 B 》 试题 A 卷答案

一、单项选择题（本大题共 5 小题，每小题 2 分，共 10 分）

1．若某负反馈控制系统的开环传递函数为 $\dfrac{5}{s(s+1)}$，则该系统的闭环特征方程为（~~D~~ ）。

A． $s(s+1)=0$　　　　B. $s(s+1)+5=0$

C. $s(s+1)+1=0$　　　　D. 与是否为单位反馈系统有关

2．梅逊公式主要用来（　　C　　　　）。

A. 判断稳定性　　　　B. 计算输入误差

C. 求系统的传递函数　　　　D. 求系统的根轨迹

3．关于传递函数，错误的说法是 （　B　）。

A. 传递函数只适用于线性定常系统；

B. 传递函数不仅取决于系统的结构参数，给定输入和扰动对传递函数也有影响；

C. 传递函数一般是为复变量 s 的真分式；

D. 闭环传递函数的极点决定了系统的稳定性。

4．一阶系统的阶跃响应（ C　 ）。

A． 当时间常数较大时有超调　　　　B． 有超调

C． 无超调　　　　D． 当时间常数较小时有超调

5． 如果输入信号为单位斜坡函数时，系统的稳态误差为无穷大，则此系统为（　 A　 ）

A．　0 型系统　　B．　I 型系统　　C．　II 型系统　　D．　III 型系统

二、填空题（本大题共 7 小题，每空 1 分，共 10 分）

得分	

1．一个自动控制系统的性能要求可以概括为三个方面：___稳定性、快速性、___准确性___。

2. 对控制系统建模而言，同一个控制系统可以用不同的____数学模型____来描述。

3． 控制系统的基本控制方式为___开环控制___和___闭环控制___。

4． 某负反馈控制系统前向通路的传递函数为 $G(s)$，反馈通路的传递函数为 $H(s)$，则系统的开环传递函数为 $\underline{G(s)H(s)}$ ，系统的闭环传递函数为 $\underline{\dfrac{G(s)}{1+G(s)H(s)}}$ 。

5　开环传递函数为 $G(s)H(s)=\dfrac{K(s+2)(s+1)}{s(s+4)(s^2+2s+2)}$，其根轨迹的起点为 $\underline{0,-4,-1\pm j}$。

6. 当欠阻尼二阶系统的阻尼比减小时，在单位阶跃输入信号作用下，最大超调量将___增大___。

7. 串联方框图的等效传递函数等于各串联传递函数之____积____。

三、简答题（本题 10 分）

图 1 为水温控制系统示意图。冷水在热交换器中由通入的蒸汽加热，从而得到一定温度的热水。冷水流量变化用流量计测量。试绘制系统方框图，并说明为了保持热水温度为期望值，系统是如何工作的？系统的被控对象和控制装置各是什么？

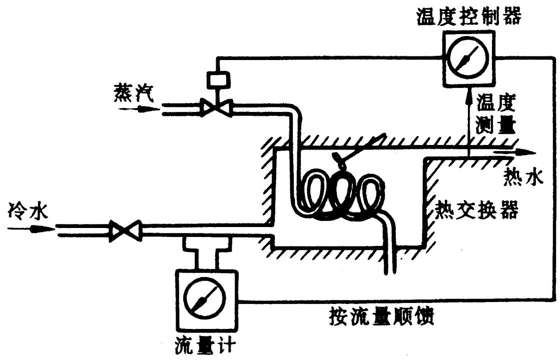


图 1　水温控制系统原理图

解 工作原理：温度传感器不断测量交换器出口处的实际水温，并在温度控制器中与给定温度相比较，若低于给定温度，其偏差值使蒸汽阀门开大，进入热交换器的蒸汽量加大，热水温度升高，直至偏差为零。如果由于某种原因，冷水流量加大，则流量值由流量计测得，通过温度控制器，开大阀门，使蒸汽量增加，提前进行控制，实现按冷水流量进行顺馈补偿，保证热交换器出口的水温不发生大的波动。

其中，热交换器是被控对象，实际热水温度为被控量，给定量（希望温度）在控制器中设定；冷水流量是干扰量。

系统方块图如图解 1 所示。这是一个按干扰补偿的复合控制系统。

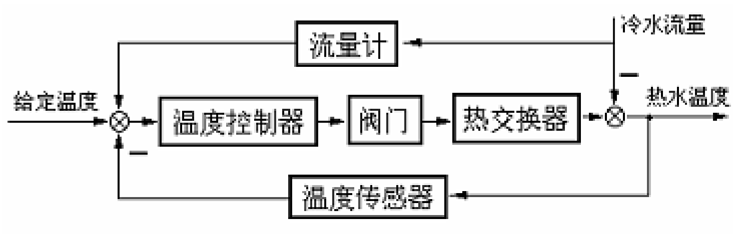


图 1　水温控制系统方框图

四、计算题（本大题共 3 小题，每小题 10 分，共 30 分）

得分	

1. 一阶系统如图 2 所示，要求系统闭环增益 $K_\Phi = 2$，调节时间 $t_s \le 0.4$（秒）（$\Delta = 5\%$）。试确定参数 K_1, K_2 的值。

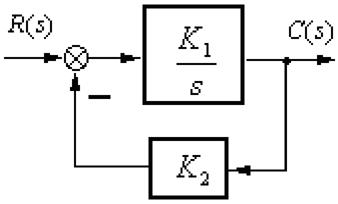


图 2　一阶系统方块图

1. 解：系统闭环传递函数为：$\Phi(s)=\dfrac{\dfrac{K_1}{s}}{1+\dfrac{K_1K_2}{s}}=\dfrac{K_1}{s+K_1K_2}=\dfrac{\dfrac{1}{K_2}}{\dfrac{s}{K_1K_2}+1}$ （4 分）

令闭环增益 $K_\Phi=\dfrac{1}{K_2}=2$， 得：$K_2=0.5$ （3 分）

令调节时间 $t_s=3T=\dfrac{3}{K_1K_2}\le 0.4$，得：$K_1\ge 15$。 （3 分）

2. 系统动态结构图如图 3 所示，求闭环传递函数 $\dfrac{C(s)}{R(s)}$。

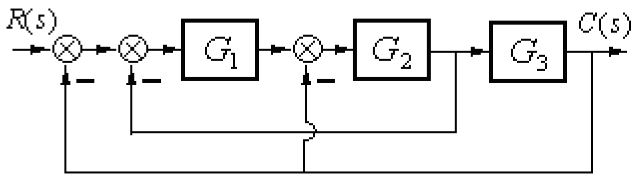


图 3 控制系统的结构方框图

2. 解：法一：梅森增益公式

图中有 1 条前向通路，3 个回路 （4 分）

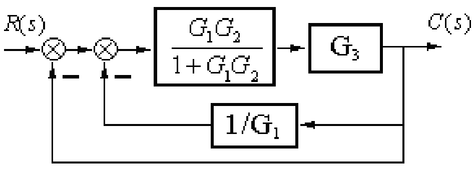
$P_1=G_1G_2G_3$， $\Delta_1=1$， $L_1=-G_1G_2$，

$L_2=-G_2G_3$， $L_3=-G_1G_2G_3$， $\Delta=1-(L_1+L_2+L_3)$，

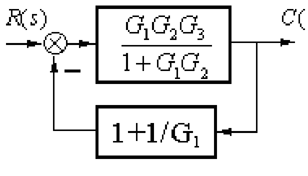
$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{P_1\Delta_1}{\Delta}=\frac{G_1G_2G_3}{1+G_1G_2+G_2G_3+G_1G_2G_3}$$ （6 分）

法二：结构图的等效化简

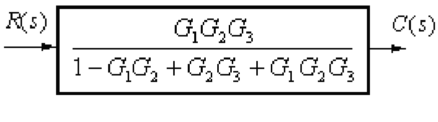
原图 $\Rightarrow$



$\Rightarrow$



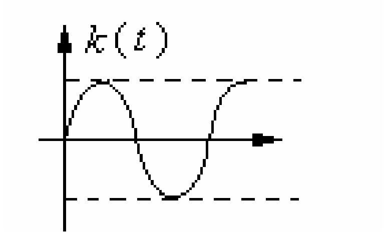
$\Rightarrow$

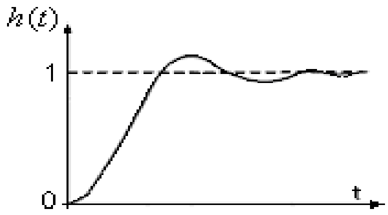


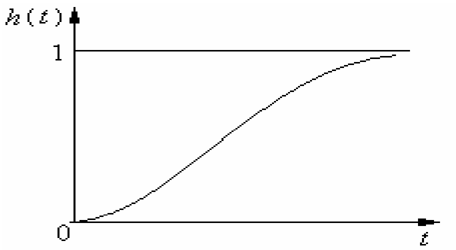
所以：$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G_1G_2G_3}{1+G_1G_2+G_2G_3+G_1G_2G_3}$$

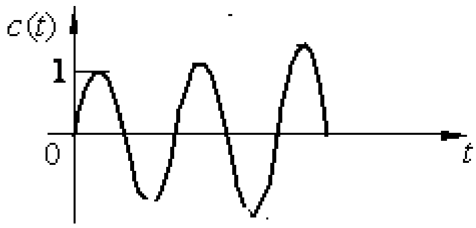
3. 已知二阶系统$\frac{\omega_n{}^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n{}^2}$，$(\omega_n>0)$ ，定性画出当阻尼比$\xi=0,\ 0<\xi<1,\ \xi>1$和$-1<\xi<0$时，系统在s平面上的阶跃响应曲线。

解：









五、综合应用（本大题共 3 小题，共 40 分）

1. （本题 15 分）已知系统的开环传递函数为$G(s)=\frac{K}{s(s+1)(0.2s+1)}$，

（1）试绘制系统的根轨迹图（计算渐近线的坐标、分离点、与虚轴交点等）；

（2）为使系统的阶跃响应呈现衰减振荡形式，试确定 K 的取值范围。

解：$G(s)=\frac{K}{s(s+1)(0.2s+1)}=\frac{5K}{s(s+5)(s+1)}$

（1）系统有三个开环极点：$p_1=0,p_2=-1,p_3=-5$ （1 分）

① 实轴上的根轨迹：$(-\infty,-5],\ [-1,0]$ （1 分）

② 渐近线：$$\begin{cases}\sigma_a=\dfrac{0-1-5}{3}=-2\\ \varphi_a=\dfrac{(2k+1)\pi}{3}=\pm\dfrac{\pi}{3},\pi\end{cases}$$ （2 分）

③ 分离点：$\frac{1}{d}+\frac{1}{d+5}+\frac{1}{d+1}=0$ （2 分）

解之得：$d_1=-0.47$， $d_2=-3.52$ (舍去)。

④ 与虚轴的交点：特征方程为 $D(s)=s^3+6s^2+5s+5K=0$

令 $$\begin{cases}\mathrm{Re}[D(j\omega)]=-6\omega^2+5K=0\\ \mathrm{Im}[D(j\omega)]=-\omega^3+5\omega=0\end{cases}$$

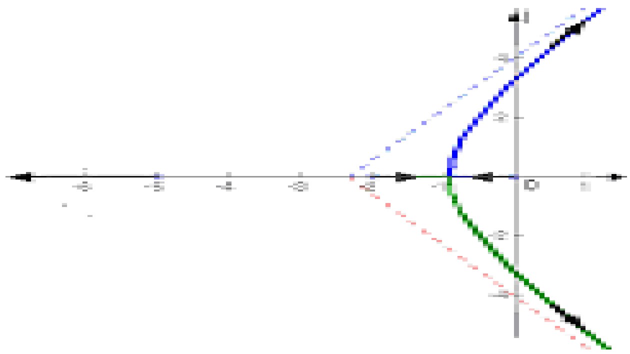
解得 $\begin{cases}\omega=\sqrt{5}\\ K=6\end{cases}$ （3 分）

与虚轴的交点（0，$\pm\sqrt{5}j$ ）。根轨迹如图解 (a)所示。 （3 分）

（2） 因为分离点 $d_1=-0.47$ 对应的 $K=\dfrac{K^*}{5}=\dfrac{0.47\times0.53\times4.53}{5}=0.23$

呈现衰减振荡形式，K 的取值范围为

$0.23<K<6$ （3 分）



2. （本题 10 分）已知单位负反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{K}{s^3+12s^2+20s}$， 试求：

（1） 利用 Routh 判据确定使系统稳定的 K 值范围；

（2） 当输入分别为单位阶跃响应、单位斜坡函数和单位抛物线函数时，系统的稳态误差分别为多少？

解：$D(s)=s^3+12s^2+20s+K=0$

$$\begin{array}{llll} Routh: & s^3 & 1 & 20 \\ & s^2 & 12 & K \\ & s^1 & \dfrac{240-K}{12} & 0 \quad \rightarrow \quad K<240 \\ & s^0 & K & \quad\ \rightarrow \quad K>0 \end{array}$$

$\therefore \quad 0<K<240$

这是一个 I 型系统，则 $K_p=\infty, K_v=K/20, K_a=0$，即有

$e_{ssp}=\dfrac{1}{1+K_p}=0$， 单位阶跃输入

$e_{ssp}=\dfrac{1}{K_v}=20/K$　　单位斜坡输入

$e_{ssp}=\dfrac{1}{K_a}=\infty$　　单位抛物线输入

3．（本题 15 分）电子心脏起博器心律控制系统结构图如图 5 所示，其中模仿心脏的传递函数相当于一纯积分环节。

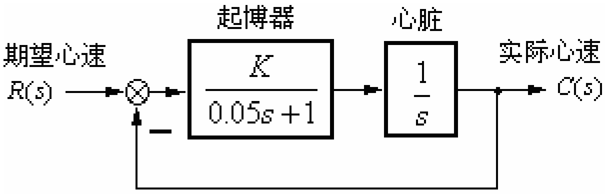


图 5 电子心律起搏器系统

（1）　若 $\xi=0.5$ 对应最佳响应，问起博器增益 K 应取多大？

（2）　若期望心速为 60 次/min，并突然接通起博器，问瞬时最大心速多大？

参考公式：

二阶欠阻尼系统单位阶跃响应最大超调量：$\sigma_p=e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}}\times 100\%$

解　依题，系统传递函数为

$$\Phi(s)=\frac{\dfrac{K}{0.05}}{s^2+\dfrac{1}{0.05}s+\dfrac{K}{0.05}}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}\qquad\begin{cases}\omega_n=\sqrt{\dfrac{K}{0.05}}\\ \xi=\dfrac{1}{0.05\times 2\omega_n}\end{cases}$$

令 $\xi=0.5$　可解出 $\begin{cases}K=20\\ \omega_n=20\end{cases}$

$\xi=0.5$ 时，系统超调量 $\sigma\%=16.3\%$，最大心速为

$h(t_p)=1+0.163=1.163$ 次$/s=69.78$ 次/mi r