自控原理
试题

哈工大网盘计划简介

1.项目初衷

鉴于（1）哈工大各类 QQ 群内学习资料多且繁杂，而文件文字太多会导致文件被 tx 屏蔽或者降低 QQ 群信用星级；（2）校内诚信复印和纸张记忆垄断；（3）很多营销号在卖资料且售价很高；（4）学长学姐的自编材料很好，还想分享给下一届；等问题，网盘计划应运而生！哈尔滨工业大学网盘计划**旨在将窝工的各类学习资料进行归类整理，并且以网盘的形式发出来**，历时一年，现已小成，扫描了上百份校内复印店试题文档，归类整理了近 40 个 G 的学习资料给大家，已经花费上千元，现入不敷出，如果您希望网盘计划继续运营下去的话，可通过以下方式进行捐赠。

QQ支付

推荐使用微信支付

2.网盘计划成就（密码 1920）

哈工大网盘计划
密码1920

哈工大电子教材

群名称:哈工大网盘计划（预）
群　号:953062322

腾讯自动屏蔽以上链接，请用浏览器扫一扫

主管领导审核签字

哈尔滨工业大学 2017 学年 秋 季学期

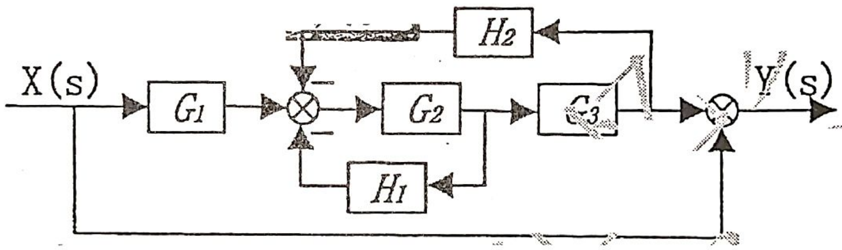
自动控制原理 II 试 题

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

密 封 线

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)。



资源共享 QQ ID
HGDZYFXZ

一区二校 哥群
731429909

（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。

紫丁香影院

QQ 1689929593

三、[illegible]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）。

院系________ 学号________ 姓名________ 授课教师________

密 封 线

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

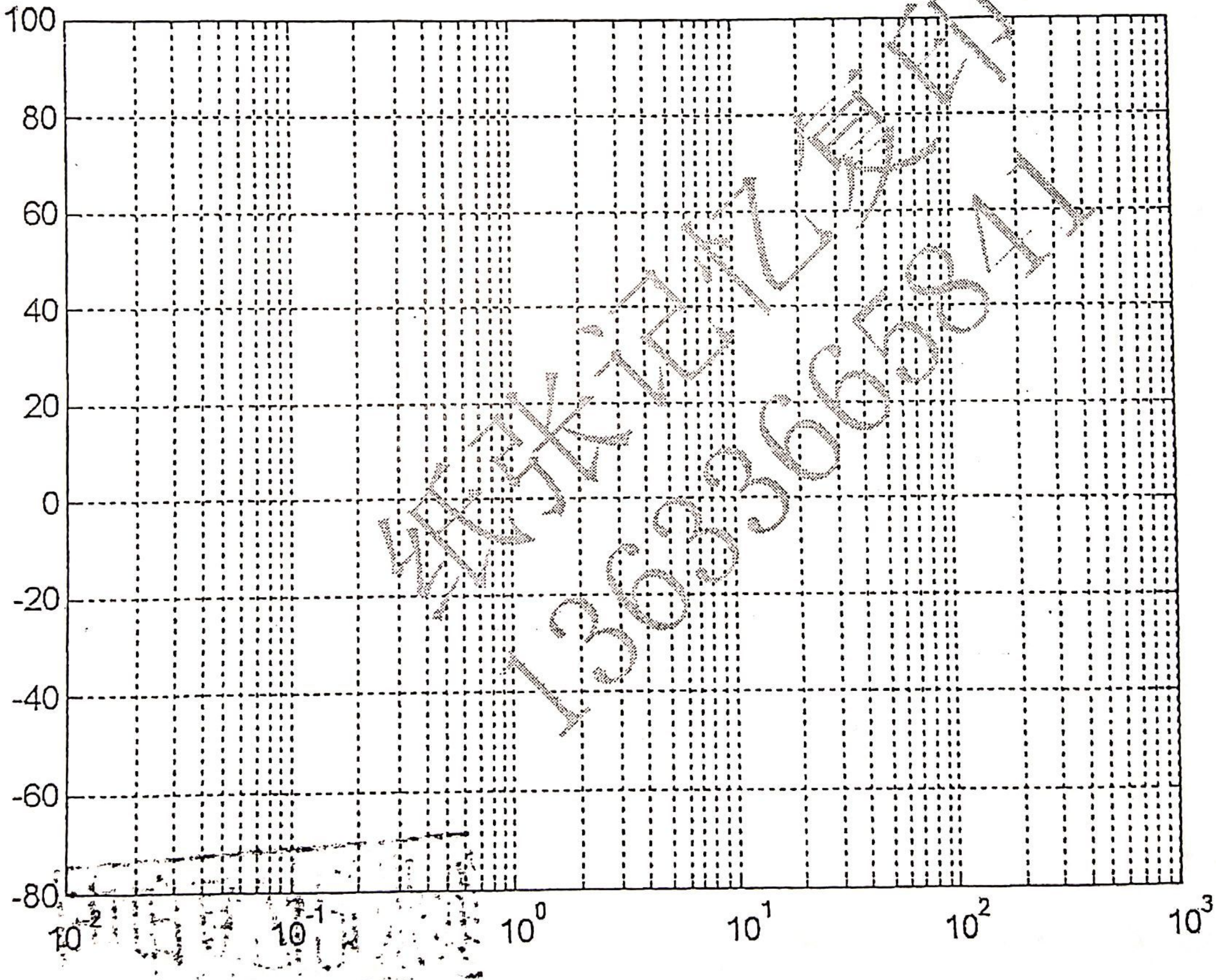
（1）写出系统的开环幅频特性、相频特性表达式。

（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。

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$\gamma''\geq 45°$

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。



国文级Q群
741109221

院系________ 学号________ 姓名________ 授课教师________

密 封 线

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，τ。

（2）在(1)的基础上，写出系统的状态空间表达式

院系________ 学号________ 姓名________ 考试教室________

密　　封　　线

(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。

竞赛交流群
189868951

软件分享群
626648181

哈尔滨工业大学 2015 学年 秋 季学期

自动控制原理　　　　　试题

一、填空题（每空 1 分，共20分）

1、对自动控制系统的基本要求可以概括为三个方面，即：<u>稳定性</u>、快速性和<u>准确性</u>。

2、控制系统的<u>输出拉氏变换与输入拉氏变换在零初始条件下的比值</u>称为传递函数。

3、在经典控制理论中，可采用<u>劳斯判据(或：时域分析法)</u>、根轨迹法或<u>奈奎斯特判据(或：频域分析法)</u>等方法判断线性控制系统稳定性。

4、控制系统的数学模型，取决于系统<u>结构</u>和<u>参数</u>，与外作用及初始条件无关。

5、线性系统的对数幅频特性，纵坐标取值为<u>$20\lg A(\omega)$ (或：$L(\omega)$)</u>，横坐标为<u>$\lg\omega$</u>。

6、奈奎斯特稳定判据中，Z = P − R ，其中 P 是指<u>开环传函中具有正实部的极点的个数</u>，Z 是指<u>闭环传函中具有正实部的极点的个数</u>，R 指<u>奈氏曲线逆时针方向包围（-1， j0)整圈数</u>。

7、在二阶系统的单位阶跃响应图中，t_s 定义为<u>调整时间</u>。$\sigma\%$ 是<u>超调量</u>。

8、设系统的开环传递函数为 $\dfrac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$，则其开环幅频特性为 $A(\omega)=\dfrac{K}{\omega\sqrt{(T_1\omega)^2+1}\cdot\sqrt{(T_2\omega)^2+1}}$，相频特性为 $\varphi(\omega)=-90^0-tg^{-1}(T_1\omega)-tg^{-1}(T_2\omega)$。

9、反馈控制又称偏差控制，其控制作用是通过<u>给定值</u>与反馈量的差值进行的。

10、若某系统的单位脉冲响应为 $g(t)=10e^{-0.2t}+5e^{-0.5t}$，则该系统的传递函数 $G(s)$ 为 $\dfrac{10}{s+0.2s}+\dfrac{5}{s+0.5s}$。

11、自动控制系统有两种基本控制方式，当控制装置与受控对象之间只有顺向作用而无反向联系时，称为<u>开环控制系统</u>；当控制装置与受控对象之间不但有顺向作用而且还有反向联系时，称为<u>闭环控制系统</u>；含有测速发电机的电动机速度控制系统，属于<u>闭环控制系统</u>。

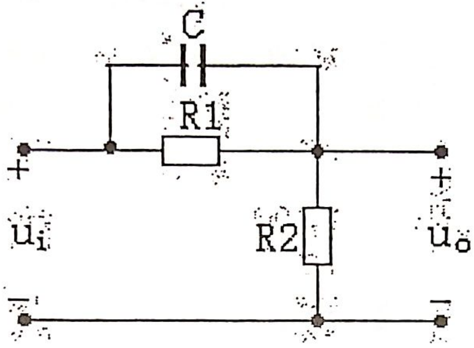
12、根轨迹起始于<u>开环极点</u>，终止于<u>开环零点</u>。

13、稳定是对控制系统最基本的要求，若一个控制系统的响应曲线为衰减振荡，则该系统<u>稳定</u>。判断一个闭环线性控制系统是否稳定，在时域分析中采用<u>劳斯判据</u>；在频域分析中采用<u>奈奎斯特判据</u>。

14、频域性能指标与时域性能指标有着对应关系，开环频域性能指标中的幅值越频率 ω_c 对应时域性能指标<u>调整时间 t_s</u>，它们反映了系统动态过程的<u>快速性</u>

二、(8 分) 试建立如图 3 所示电路的动态微分方程，并求传递函数。

图 3



解：1、建立电路的动态微分方程

根据 KCL 有
$$\frac{u_i(t)-u_0(t)}{R_1}+C\frac{d[u_i(t)-u_0(t)]}{dt}=\frac{u_0(t)}{R_2} \qquad (2\text{ 分})$$

即
$$R_1R_2C\frac{du_0(t)}{dt}+(R_1+R_2)u_0(t)=R_1R_2C\frac{du_i(t)}{dt}+R_2u_i(t) \qquad (2\text{ 分})$$

2、求传递函数

对微分方程进行拉氏变换得

$$R_1R_2CsU_0(s)+(R_1+R_2)U_0(s)=R_1R_2CsU_i(s)+R_2U_i(s) \qquad (2\text{ 分})$$

得传递函数
$$G(s)=\frac{U_0(s)}{U_i(s)}=\frac{R_1R_2Cs+R_2}{R_1R_2Cs+R_1+R_2} \qquad (2\text{ 分})$$

三、(共 20 分) 系统结构图如图 4 所示：

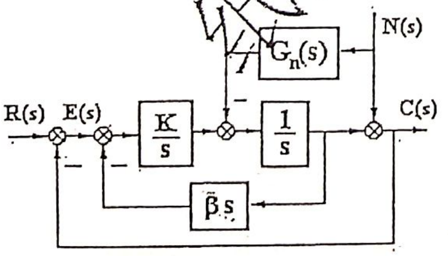


图1 控制系统结构图

图 4

1、写出闭环传递函数 $\Phi(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}$ 表达式；(4 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；(4 分)

3、求此时系统的动态性能指标 $\sigma\%$，t_s；(4 分)

4、$r(t)=2t$ 时，求系统由 $r(t)$ 产生的稳态误差 e_{ss}；（4 分）

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

解：1、（4 分） $\Phi(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{\dfrac{K}{s^2}}{1+\dfrac{K\beta}{s}+\dfrac{K}{s^2}}=\dfrac{K}{s^2+K\beta s+K}=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$

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

3、（4 分） $\sigma\%=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}=4.32\%$ $t_s=\dfrac{4}{\xi\omega_n}=\dfrac{4}{\sqrt{2}}=2.83$

4、（4 分） $G(s)=\dfrac{\dfrac{K}{s^2}}{1+\dfrac{K\beta}{s}}=\dfrac{K}{s(s+K\beta)}=\dfrac{1}{\beta s(s+1)}$ $\begin{cases}K_K=1/\beta\\v=1\end{cases}$ $e_{ss}=\dfrac{A}{K_K}=2\beta=1.414$

5、（4 分）令：$\Phi_n(s)=\dfrac{C(s)}{N(s)}=\dfrac{\left(1+\dfrac{K\beta}{s}\right)-\dfrac{1}{s}G_n(s)}{\Delta(s)}=0$ 得：$G_n(s)=s+K\beta$

四、已知最小相位系统的对数幅频特性如图 3 所示。试求系统的开环传递函数。(16 分)

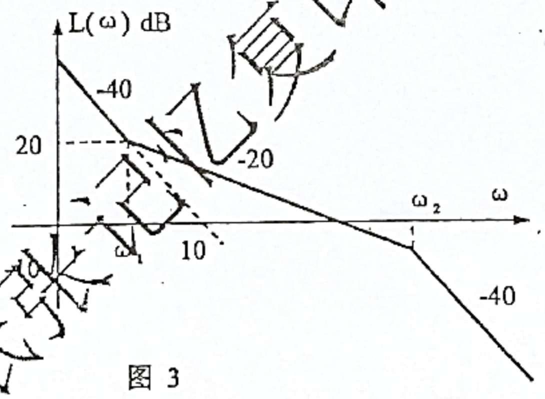


图 3

解：从开环伯德图可知，系统具有比例环节、两个积分环节、一个一阶微分环节和一个惯性环节。

故其开环传函应有以下形式 $G(s)=\dfrac{K(\dfrac{1}{\omega_1}s+1)}{s^2(\dfrac{1}{\omega_2}s+1)}$ （8 分）

由图可知：$\omega=1$ 处的纵坐标为 40dB，则 $L(1)=20\lg K=40$，得 $K=100$ （2 分）

又由 $\omega=\omega_1$和ω=10的幅值分贝数分别为20和0，结合斜率定义，有

$$\frac{20-0}{\lg\omega_1-\lg 10}=-40\text{，解得}\quad \omega_1=\sqrt{10}=3.16\ \text{rad/s}\quad (2\text{分})$$

同理可得 $\frac{20-(-10)}{\lg\omega_1-\lg\omega_2}=-20$ 或 $20\lg\frac{\omega_2}{\omega_1}=30$ ，

$$\omega_2^2=1000\omega_1^2=10000\quad \text{得}\quad \omega_2=100\ \text{rad/s}\quad (2\text{分})$$

故所求系统开环传递函数为

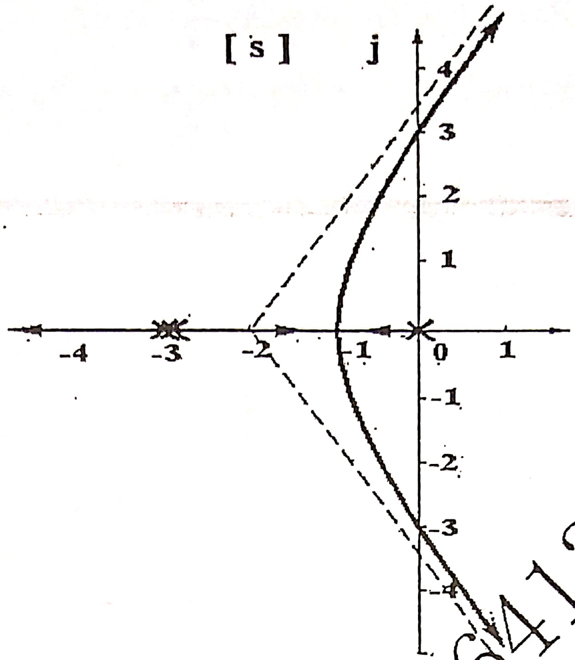
$$G(s)=\frac{100(\frac{s}{\sqrt{10}}+1)}{s^2(\frac{s}{100}+1)}\qquad (2\text{分})$$

五、(共15分)已知某单位反馈系统的开环传递函数为$G(s)=\frac{K_r}{s(s+3)^2}$

1、绘制该系统以根轨迹增益K_r为变量的根轨迹（求出：渐近线、分离点、与虚轴的交点等)；(8分)

2、确定使系统满足$0<\xi<1$的开环增益K的取值范围。(7分)

1、绘制根轨迹 (8分)



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

(2) 实轴上的轨迹：（-∞，-3）及（-3，0）；　　　　（1 分）

(3) 3 条渐近线：$\begin{cases} \sigma_a = \dfrac{-3-3}{3} = -2 \\ \pm 60^\circ,\ 180^\circ \end{cases}$　　（2 分）

(4) 分离点：　$\dfrac{1}{d} + \dfrac{2}{d+3} = 0$　　得：　$d = -1$　　（2 分）

$$K_r = |d| \cdot |d+3|^2 = 4$$

(5) 与虚轴交点：$D(s) = s^3 + 6s^2 + 9s + K_r = 0$

$\begin{cases} \mathrm{Im}[D(j\omega)] = -\omega^3 + 9\omega = 0 \\ \mathrm{Re}[D(j\omega)] = -6\omega^2 + K_r = 0 \end{cases}$　$\begin{cases} \omega = 3 \\ K_r = 54 \end{cases}$　　（2 分）

绘制根轨迹如右图所示。

2、（7 分）开环增益 K 与根轨迹增益 K_r 的关系：$G(s) = \dfrac{K_r}{s(s+3)^2} = \dfrac{\dfrac{K_r}{9}}{s\left[\left(\dfrac{s}{3}\right)^2 + 1\right]}$

得 $K = K_r/9$　　　　（1 分）

系统稳定时根轨迹增益 K_r 的取值范围：$K_r < 54$，　　（2 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时根轨迹增益 K_r 的取值范围：$4 < K_r < 54$，　（3 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围：$\frac{4}{9} < K < 6$　　（1 分）

六、（共 22 分）某最小相位系统的开环对数幅频特性曲线 $L_0(\omega)$ 如图 5 所示：

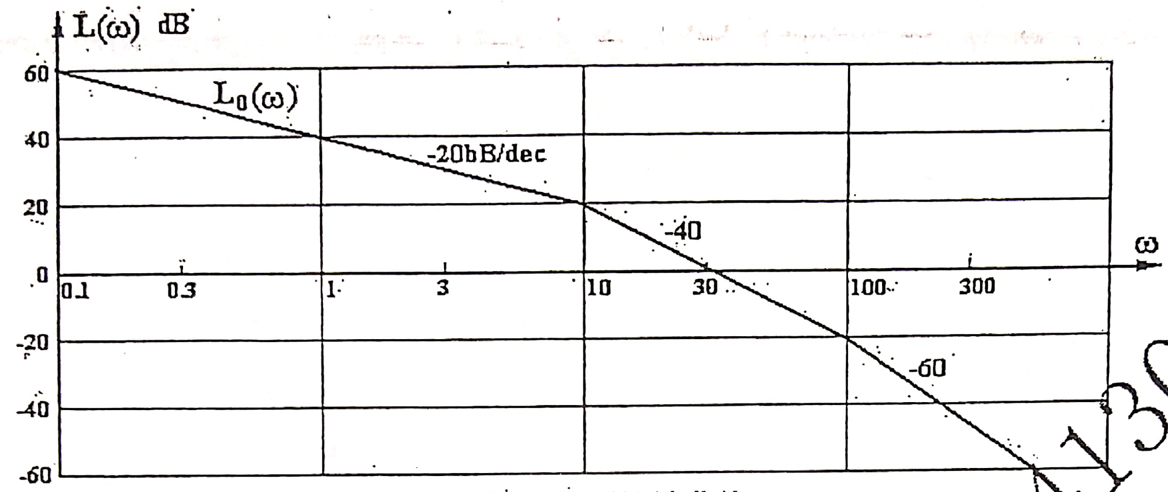


图3 对数幅频特性曲线

1、写出该系统的开环传递函数 $G_0(s)$；（8 分）

2、写出该系统的开环频率特性、开环幅频特性及开环相频特性。（3 分）

3、求系统的相角裕度 γ。（7 分）

4、若系统的稳定裕度不够大，可以采用什么措施提高系统的稳定裕度？（4 分）

解：1、从开环伯德图可知，原系统具有比例环节、一个积分环节、两个惯性环节。

故其开环传函应有以下形式　　$G(s)=\dfrac{K}{s(\frac{1}{\omega_1}s+1)(\frac{1}{\omega_2}s+1)}$　　（2 分）

由图可知：$\omega=1$ 处的纵坐标为 40dB，则 $L(1)=20\lg K=40$，得 $K=100$　　（2 分）

$\omega_1=10$ 和 $\omega_2=100$　（2 分）

故系统的开环传函为　$G_0(s)=\dfrac{100}{s\left(\frac{s}{10}+1\right)\left(\frac{s}{100}+1\right)}$　　（2 分）

2、写出该系统的开环频率特性、开环幅频特性及开环相频特性：

开环频率特性　　$G_0(j\omega)=\dfrac{100}{j\omega\left(j\frac{\omega}{10}+1\right)\left(j\frac{\omega}{100}+1\right)}$　　（1 分）

开环幅频特性 $A_0(\omega)=\dfrac{100}{\omega\sqrt{\left(\frac{\omega}{10}\right)^2+1}\sqrt{\left(\frac{\omega}{100}\right)^2+1}}$ （1 分）

开环相频特性： $\varphi_0(s)=-90-tg^{-1}0.1\omega-tg^{-1}0.01\omega$ （1 分）

3、求系统的相角裕度γ：

求幅值穿越频率，令 $A_0(\omega)=\dfrac{100}{\omega\sqrt{\left(\frac{\omega}{10}\right)^2+1}\sqrt{\left(\frac{\omega}{100}\right)^2+1}}=1$ 得$\omega_c\approx 31.6rad/s$（3 分）

$\varphi_0(\omega_c)=-90-tg^{-1}0.1\omega_c-tg^{-1}0.01\omega_c=-90-tg^{-1}3.16-tg^{-1}0.316\approx-180$ （2 分）

$\gamma=180+\varphi_0(\omega_c)=180-180=0$ （2 分）

对最小相位系统$\gamma=0$　临界稳定

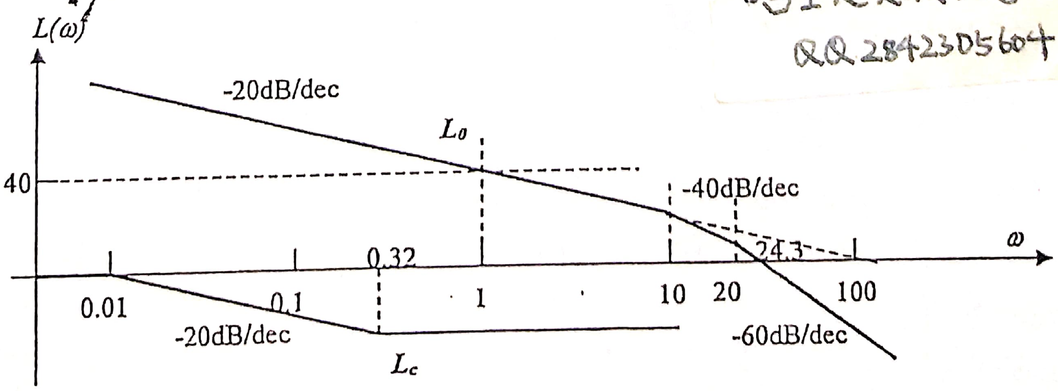
4、（4 分）可以采用以下措施提高系统的稳定裕度：增加串联超前校正装置；增加串联滞后校正装置；增加串联滞后-超前校正装置；增加开环零点；增加 PI 或 PD 或 PID 控制器；在积分环节外加单位负反馈。

六、已知最小相位系统的开环对数幅频特性$L_0(\omega)$和串联校正装置的对数幅频特性$L_c(\omega)$如下图所示，原系统的幅值穿越频率为$\omega_c=24.3rad/s$：（共 30 分）

1、 写出原系统的开环传递函数$G_0(s)$，并求其相角裕度γ_0，判断系统的稳定性；（10 分）

2、 写出校正装置的传递函数$G_c(s)$；（5 分）

3、写出校正后的开环传递函数$G_0(s)G_c(s)$，画出校正后系统的开环对数幅频特性$L_{GC}(\omega)$，并用劳斯判据判断系统的稳定性。（15 分）



解：1、从开环波特图可知，原系统具有比例环节、一个积分环节、两个惯性环节。

故其开环传函应有以下形式 $G_0(s)=\dfrac{K}{s(\dfrac{1}{\omega_1}s+1)(\dfrac{1}{\omega_2}s+1)}$ （2 分）

由图可知：$\omega=1$ 处的纵坐标为 40dB，则 $L(1)=20\lg K=40$，得 $K=100$ （2 分）

$\omega_1=10$ 和 $\omega_2=20$

故原系统的开环传函为 $G_0(s)=\dfrac{100}{s(\dfrac{1}{10}s+1)(\dfrac{1}{20}s+1)}=\dfrac{100}{s(0.1s+1)(0.05s+1)}$ （2 分）

求原系统的相角裕度 γ_0：$\varphi_0(s)=-90 \; -tg^{-1}0.1\omega-tg^{-1}0.05\omega$

由题知原系统的幅值穿越频率为 $\omega_c=24.3rad/s$

$$\varphi_0(\omega_c)=-90 \; -tg^{-1}0.1\omega_c-tg^{-1}0.05\omega_c=-208 \qquad (1\text{ 分})$$

$$\gamma_0=180 \; +\varphi_0(\omega_c)=180 \; -208 \; =-28 \qquad (1\text{ 分})$$

对最小相位系统 $\gamma_0=-28 \; <0$ 不稳定

2、从开环波特图可知，校正装置一个惯性环节、一个微分环节，为滞后校正装置。

故其开环传函应有以下形式 $G_c(s)=\dfrac{\dfrac{1}{\omega_2{}'}s+1}{\dfrac{1}{\omega_1{}'}s+1}=\dfrac{\dfrac{1}{0.32}s+1}{\dfrac{1}{0.01}s+1}=\dfrac{3.125s+1}{100s+1}$ （5 分）

3、校正后的开环传递函数 $G_0(s)G_c(s)$ 为

$$G_0(s)G_c(s)=\frac{100}{s(0.1s+1)(0.05s+1)}\frac{3.125s+1}{100s+1}=\frac{100(3.125s+1)}{s(0.1s+1)(0.05s+1)(100s+1)} \qquad (4\text{ 分})$$

用劳思判据判断系统的稳定性

系统的闭环特征方程是

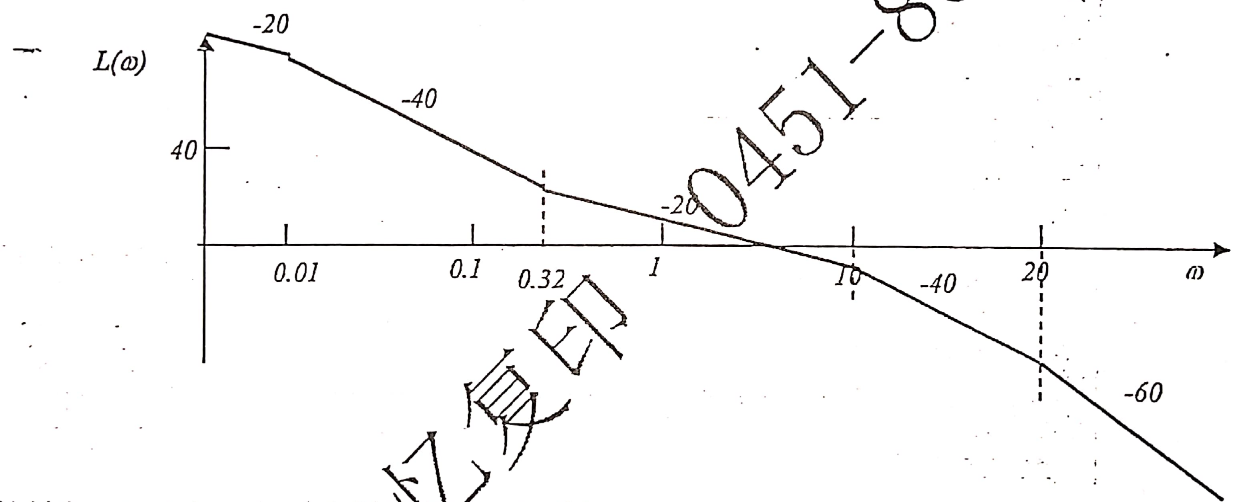
$$D(s)=s(0.1s+1)(0.05s+1)(100s+1)+100(3.125s+1)$$
$$=0.5s^4+15.005s^3+100.15s^2+313.5s+100=0$$
（2 分）

构造劳斯表如下

s^4	0.5	100.15	100
s^3	15.005	313.5	0
s^2	89.7	100	0
s^1	296.8	0	
s^0	100	0	

首列均大于 0，故校正后的系统稳定。　（4 分）

画出校正后系统的开环对数幅频特性 $L_{GC}(\omega)$



起始斜率:-20dB/dec(一个积分环节)　（1 分）

转折频率：$\omega_1=1/100=0.01$（惯性环节），$\omega_2=1/3.125=0.32$（一阶微分环节），

$\omega_3=1/0.1=10$（惯性环节），$\omega_4=1/0.05=20$（惯性环节）　（4 分）

主管领导审核签字

哈尔滨工业大学 2014 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	总分
得分	10	10	6	8	6	10					
阅卷人											

姓名 学号 院系 密 封

一、填空题(10分)

1. 传递函数定义：________________

2. 从相位考虑，PD 调节器是一种________校正装置，PI 调节器是________校正装置。

3. 某系统在单位脉冲输入信号 $\delta(t)$ 作用下的响应函数为 $g(t)=10e^{-0.2t}+5e^{-0.5t}$，此系统的传递函数为________________。

4. 已知单位负反馈系统的开环传函为 $G(s)=\dfrac{50}{s(0.1s+1)(s+5)}$，则该系统在单位斜坡信号作用下的稳态误差为________。

5. 某单位反馈系统开环传函为 $\dfrac{4}{(s+1)^3}$，则此系统的幅值裕度为________。

6. 一系统的单位为阶跃响应为 $1-e^{-\frac{t}{10}}$，则该系统的单位脉冲响应为____________。

7. 一系统传递函数为 $G(s)=\dfrac{10}{3s+1}$，当输入信号为 $r(t)=\sin 2t$ 时，则该系统的稳态输出响应为________________。

8. 已知超前校正装置的传递函数为 $G_c(s)=\dfrac{2s+1}{0.32s+1}$，其提供的最大超前相角为 ϕ_m=________，最大超前角所对应的频率 ω_m =__________。

9. 一高阶系统的传函为 $G(s)=\dfrac{5.6}{(s+8)(s+5)(s^2+s+1)}$，该系统降阶化简后的传函为________________。

10. 设一阶系统的传递 $G(s)=\dfrac{7}{s+2}$，其阶跃响应曲线在 t=0 处的切线斜率为__________。

国大级Q群
741109221

二、（10 分）系统结构图如图所示：

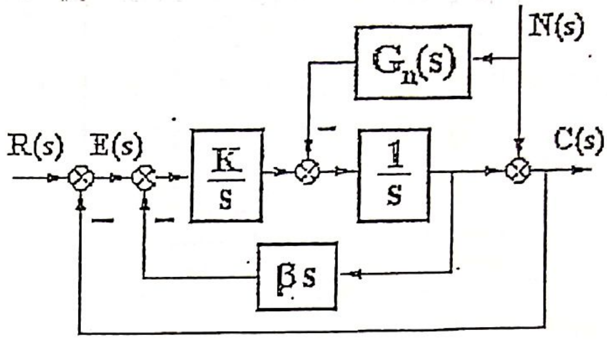
1、写出闭环传递函数$\Phi(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}$表达式；

2、要使系统满足：$\xi=0.707$，$\omega_n=2$，试确定相应的K和β；

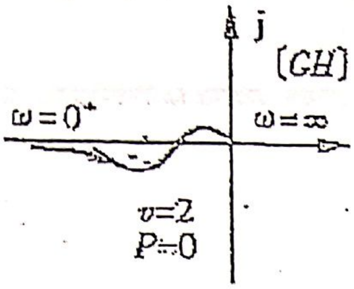
3、求此时系统的动态性能指标$\sigma\%$，t_s；

4、$r(t)=2t$时，求系统由$r(t)$产生的稳态误差e_{ss}；

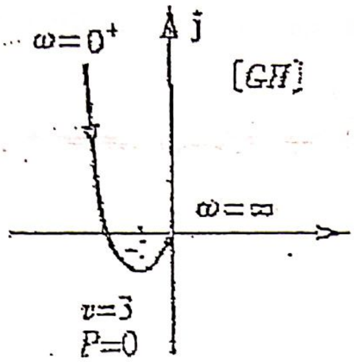
5、确定$G_n(s)$，使干扰$n(t)$对系统输出$c(t)$无影响。



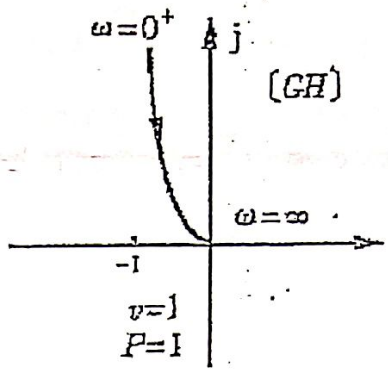
三、（6分）系统的开环奈氏图如下图所示，P为开环传递函数在s右半平面的极点数，ν为系统的型别，判别系统的闭环稳定性，求出闭环系统在s右半平面的极点数。



(1)



(2)



(3)

姓名

学号

院系

密

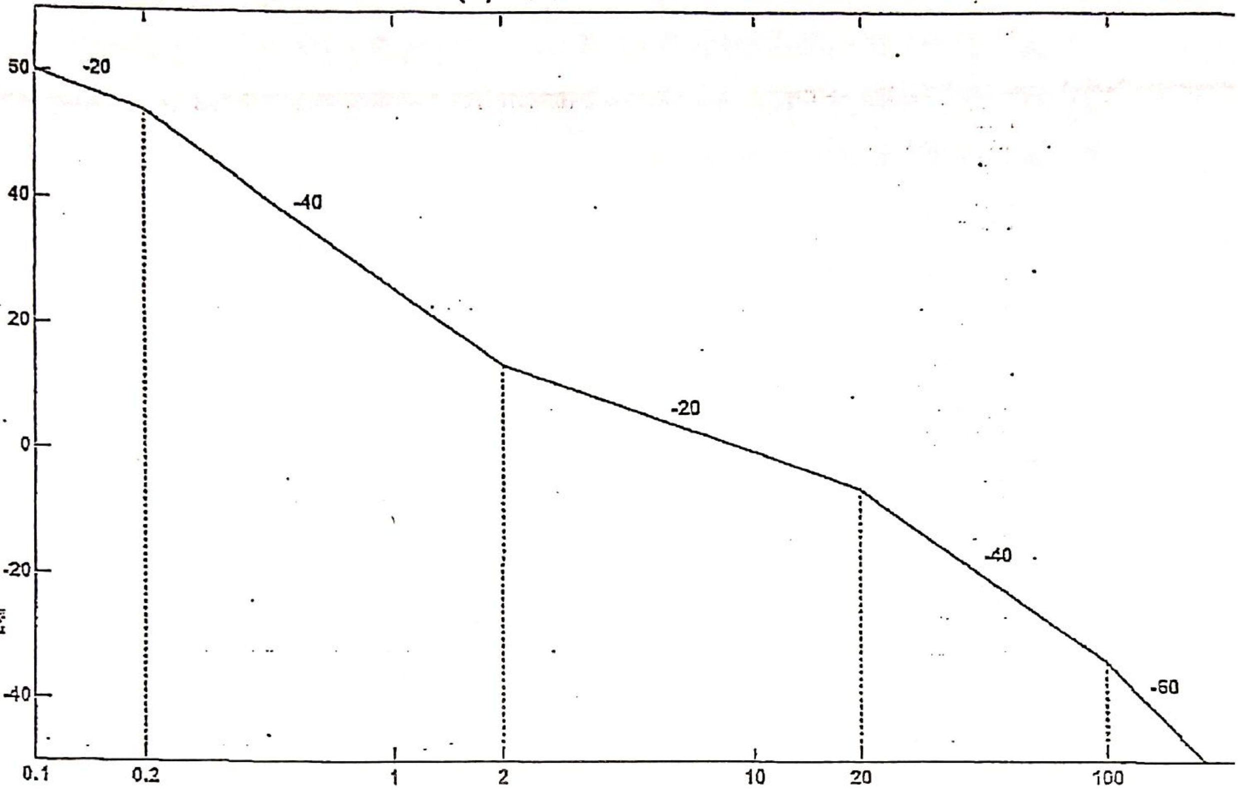
封

四、（8 分）已知某单位反馈系统的开环传递函数为$G(s)=\dfrac{K_g}{s(s+3)^2}$：

（1）绘制该系统以根轨迹增益 K_g 为变量的根轨迹（求出：渐近线、分离点、与虚轴的交点等）；

（2）确定使系统为欠阻尼状态的开环增益 K 的取值范围。

五、(6 分)已知某负反馈系统的开环传递函数为 $G_0(s)=\dfrac{K}{s(0.1s+1)(s+20)}$，采用串联校正，校正以后的开环幅频特性曲线 $L(\omega)$ 如图所示



试求：1) 在原图上绘制所需校正装置的伯德图，求出此装置的传递函数，并说明该装置的类型；

2) 校正后的开环传递函数；

3) 校正后系统的相角裕度。

六、（10 分）已知：设受控系统的动态方程为：$\ddot{y}+\dot{y}=u$

试求：1）建立系统状态空间表达式；

2）判断系统可控性与可观测性；

3）设计状态反馈控制器使闭环系统满足：$\sigma_p \le 5\%$ 且 $t_s \le 4.5(s)$ （$\Delta=5\%$）；

4）引入状态反馈后系统的闭环传递函数。

5）画出该状态反馈系统状态变量图

哈工大 2014 年 春 季学期

动控制原理（A）试 题

学号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	作业	实验	总分
分数										

一、填空题（10 分）

$\xi=0.2$

1. 一个二阶系统 $G(s)=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$，单位阶跃响应下上升时间近似为______，超调量近似为______，调节时间近似为______。

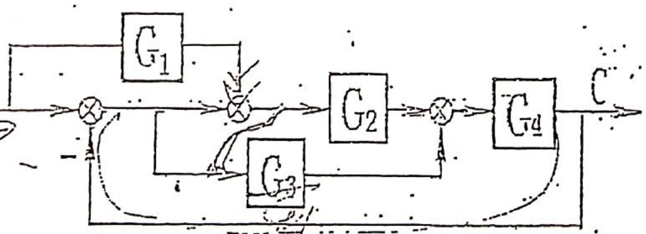
$t_r=\dfrac{\pi-\varphi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}$ 且 $\varphi=\arctan\dfrac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}=\arccos\xi$

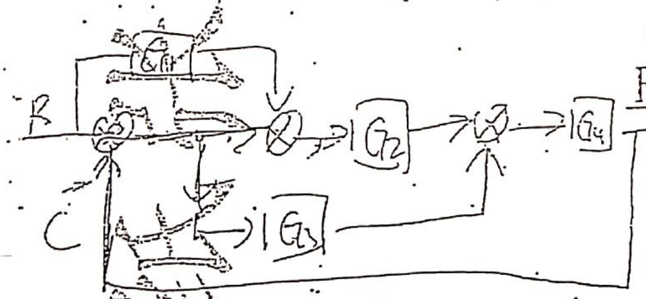
$\sigma_p=e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$

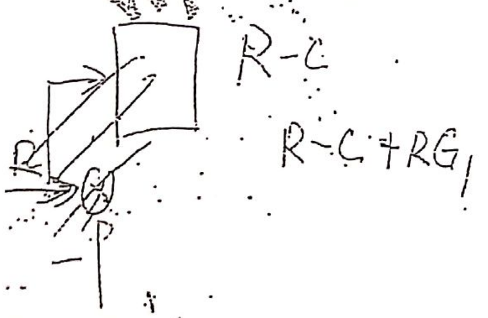
2. 一个系统的开环特性为 $G(s)=\dfrac{K}{Ts+1}$。在常值干扰下，闭环系统误差比开环系统小______倍，闭环系统增益对受控对象的参数灵敏度是开环系统的______倍。

二、简答题（25 分）

1. 化简框图，求传递函数。







2. 系统特征多项式为：$a(s)=s^6+4s^5+3s^4+2s^3+s^2+4s+4$，判断系统的稳定性。

$s^6: 1\ 3\ 1$

$s^5: 4\ 2\ 4\ 0$

$s^4: \frac{10}{4}$

$a(s)=s^n+a_1s^{n-1}+a_2s^{n-2}+a_3s^{n-3}+\cdots$

$s^n: a_2\ a_4\ a_6$

$s^{n-1}: a_1\ a_3\ a_5\ a_7$

$s^{n-2}: b_1\ b_2\ b_3\ b_4$

$s^{n-3}: c_1\ c_2\ c_3\ c_4$

$s^{n-4}: d_1\ d_2\ d_3\ d_4$

$s^{n-5}: e_1\ e_2\ e_3\ e_4$

$s^6: 1\ 3\ 1\ 4$

$s^5: 4\ 2\ 4\ 0$

$s^4: \frac{5}{2}\ 0\ 4\ 0$

$s^3: 2\ -\frac{12}{5}\ 0\ c_4$

$s^2: 3\ 4\ 0\ d_4$

$s: e_1\ e_2\ e_3\ e_4$

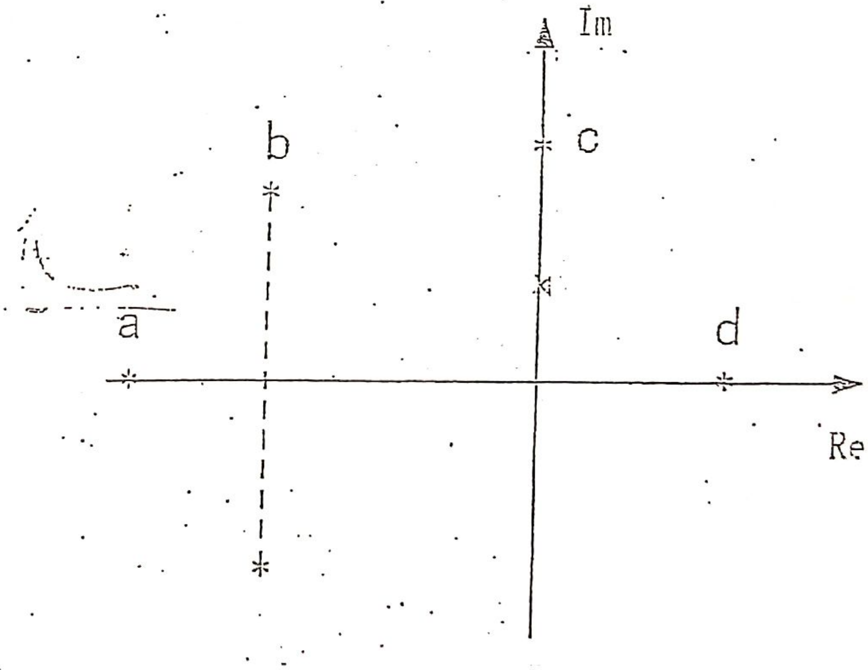
$s^0: f_1\ f_2\ f_3\ f_4$

$b_1=\frac{3\times4-2\times1}{4}=\frac{5}{2}$　$b_2=\frac{4\times1-4\times1}{4}=0$　$b_3=\frac{4\times4-0}{4}=$

$c_1=\frac{5-0}{\frac{5}{2}}=2$　$c_2=\frac{10-16}{\frac{5}{2}}=-\frac{12}{5}$　$c_3=\frac{0-4b_3}{\frac{5}{2}}=$

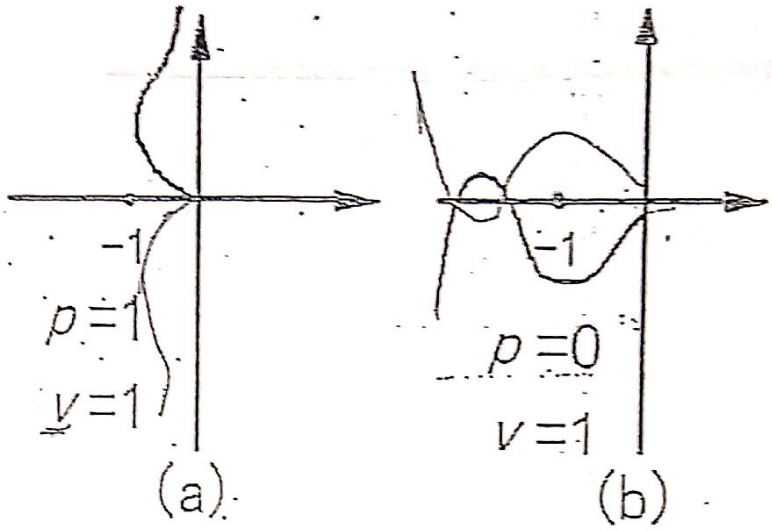
$d_1=3$　$d_2=4$

3. 有四个系统，它们的极点分别处于如图所示的 a、b、c、d 四点，请分别画出它们的脉冲响应曲线。



4. 简述闭环主导极点的概念，在根轨迹设计中的应用。

5、简述奈奎斯特稳定判据，判断下列系统的稳定性（p 为开环右半平面极点数，v 为开环积分环节数）。



三、一个等截面水箱截面积为 A，环境压力为 Pa，上部的入口水流量为 Qin，水箱底部有一个可调的节流孔（流态为湍流，节流孔面积为 R），求节流孔面积 R 与水箱水位 H 之间的传递函数（10 分）。

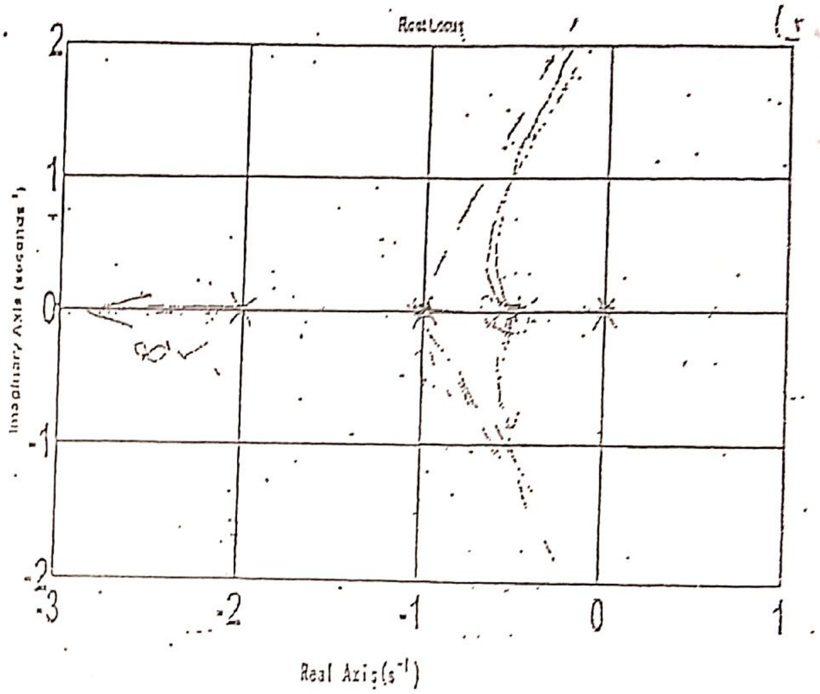
大物实验群
290028380

四、某单位反馈系统的开环传递函数为$G(s)=\dfrac{k}{s(s+1)(s+2)}=\dfrac{k}{s^3+3s^2+2s}$（7分）

1. 求出开环极点；　　根 0 −1 −2
2. 判断实轴上根轨迹的范围；
3. 求渐近线的交点坐标和与实轴的夹角；
4. 求实轴上的分离点；
5. 绘制出闭环根轨迹。

$\dfrac{0+(-1)+(-2)-0}{3}$

$\dfrac{180^\circ}{3}=60^\circ$



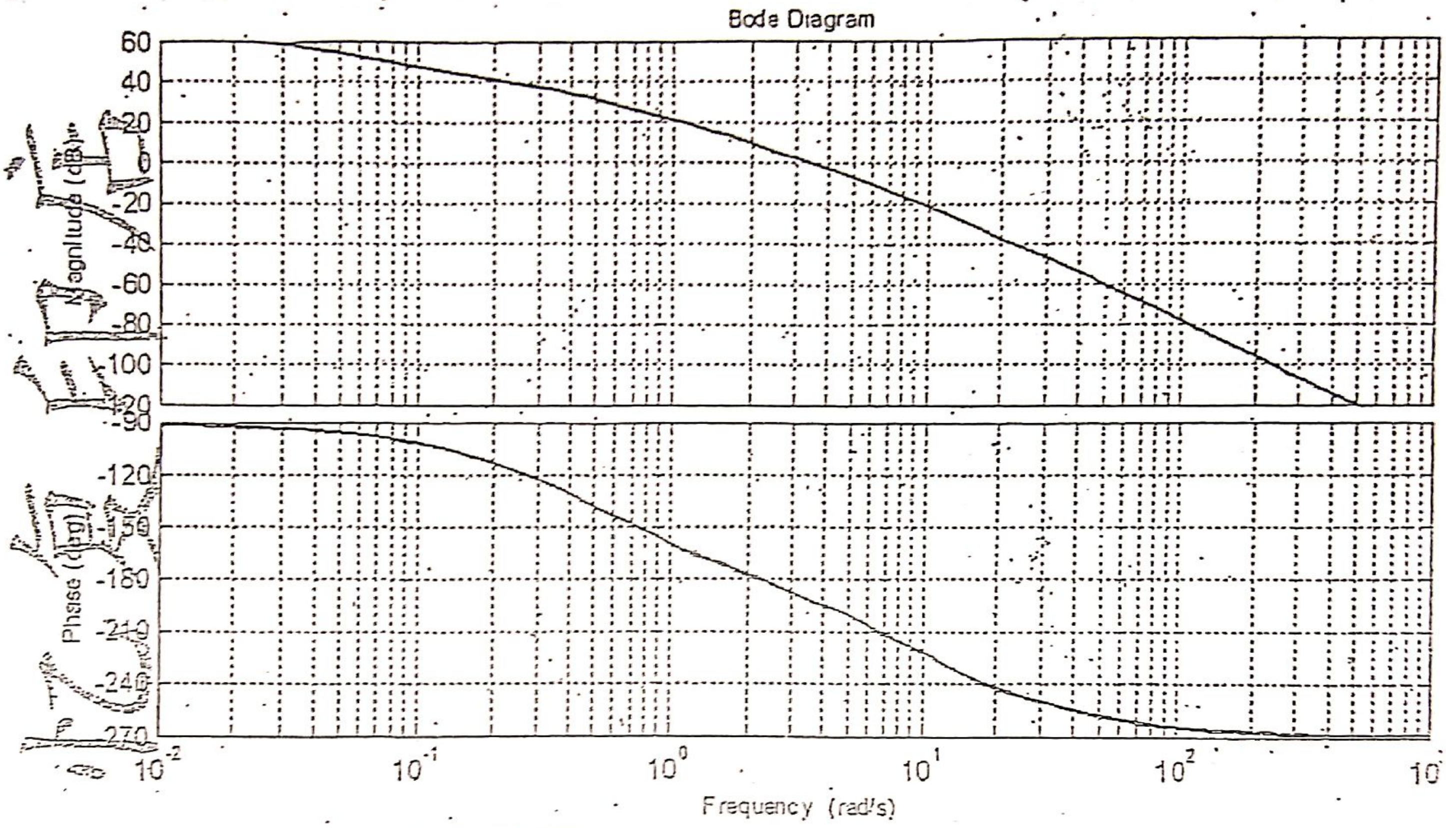
软件分享群
626648181

六、某单位反馈系统的开环 Bode 图如下图所示。（12 分）

1. 判断系统由哪些环节组成，求出开环增益和各环节的转折频率，写出开环传递函数；

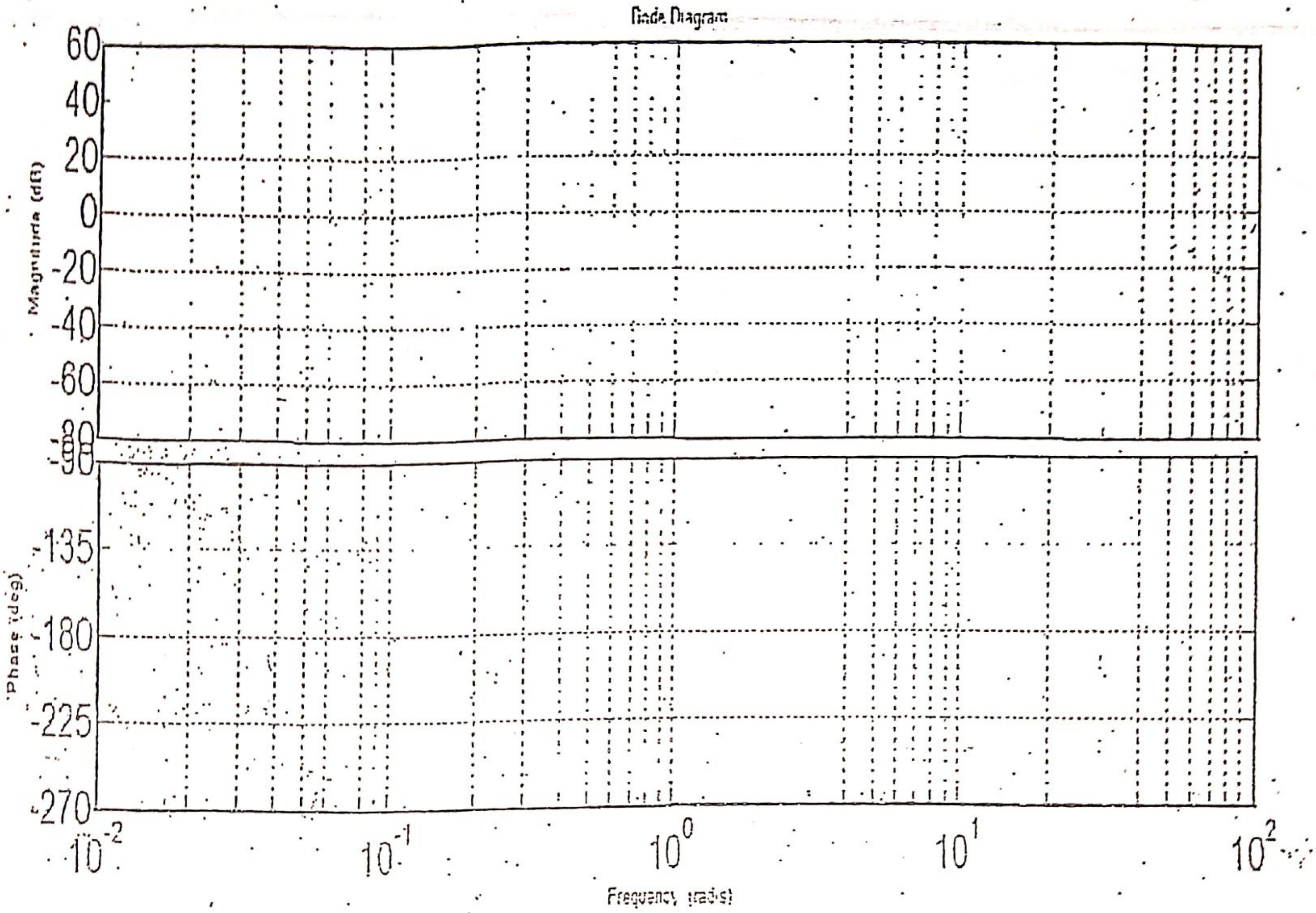
2. 求幅值裕度和相角裕度，判断系统的稳定性；

3. 如要求性能指标 $\omega_c \geq 6$ rad/s，相角裕度不小于 35 度，设计一个补偿环节，求出参数

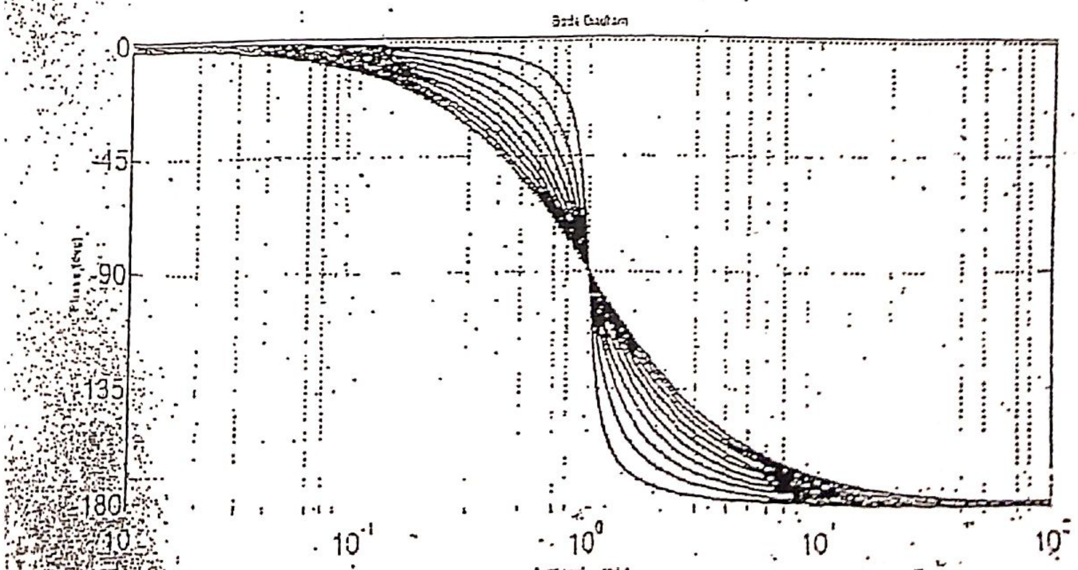


五、某系统开环传递函数 $G(s)=\dfrac{10}{s(s^2+2.4s+4)}$。1. 求二阶环节的转折频率，绘制渐进线；

2. 求出转折频率、谐振频率处的谐振峰值，绘制 Bode 图（6 分）。



（参考 ξ=0.1~1.0 的 $G(s)=\dfrac{1}{s^2+2\xi s+1}$ 相频特性如图）



哈工大　2010 年 春　季学期

自动控制原理　试题 B

班号	
姓名	

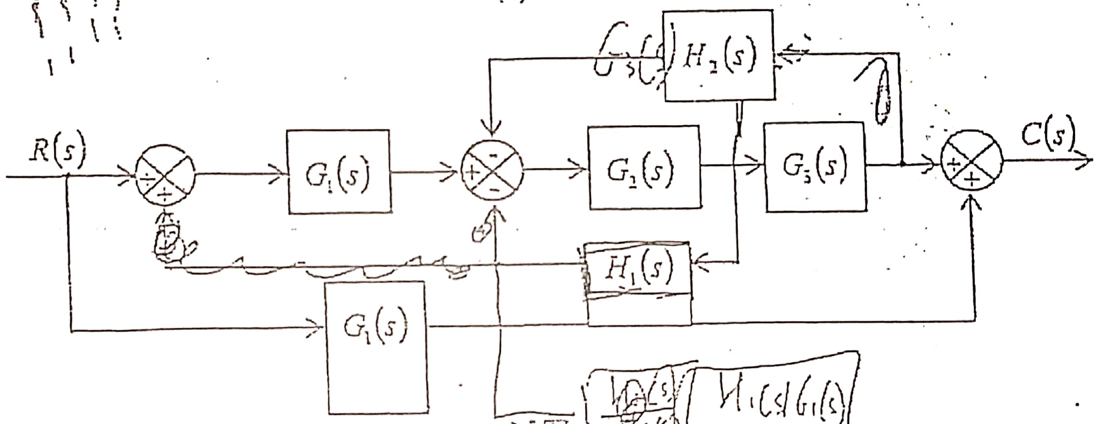
题号	一	二	三	四	五	六	七	卷面分	平时分	实验分	总分
满分值	7	10	10	10	8	15	10	70	15	15	100
得分值											

注意行为规范　遵守考场纪律

主管领导审核签字

一、（7 分）

求试图 1 所示系统的传递函数 $\dfrac{C(s)}{R(s)}$。



试图

$$R(s)\times G_1(s)+R(s)G_1(s)\times\left(\frac{G_2}{1+G_2H_1}+\frac{G_2}{1-H_1G_1G_2}+\frac{G_2}{1+H_2G_2G_3}\right)$$

大物实验群
290028380

二(

二、（10 分）

设系统的单位阶跃响应为

$$h(t)=1-1.8e^{-4t}+0.8e^{-9t}\ (t\ge 0)$$

试确定系统的传递函数。

$$H(s)=\frac{1}{s}-1.8\frac{1}{s+4}+0.8\frac{1}{s+9}=\frac{(s+9)(s+4)-1.8s(s+9)+0.8s(s+4)}{s(s+4)(s+9)}$$

$$R(s)=\frac{1}{s}$$

$$=\frac{s^2+13s+36-1.8s^2-16.2s+0.8s^2+3.2s}{s(s+4)(s+9)}$$

$$=\frac{36}{s(s+4)(s+9)}$$

$$H(s)=\frac{36}{(s+4)(s+9)}$$

三、（10 分）

单位反馈系统的开环传递函数为

$$G(s)=\frac{K}{s\left(s^2+20\xi s+100\right)}$$

试确定使系统闭环稳定的增益 K 与阻尼比 ξ 的取值范围。

四、(10 分)

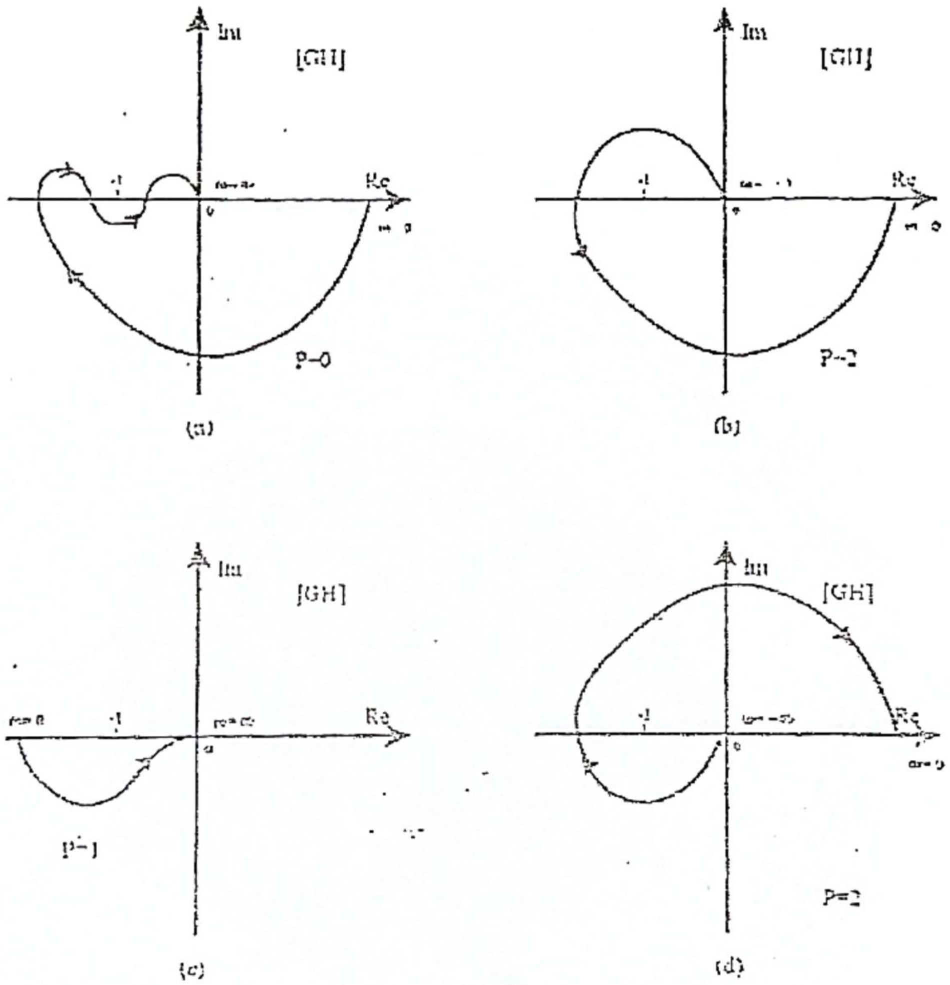
已知单位反馈系统的开环传递函数为

$$G(s)=\frac{k}{s(s+2)(s+4)}$$

绘制系统根轨迹。

五、(8 分)

试图 2 表示几个开环传递函数的 Nyquist 图的正频部分或负频部分，图中 P 为开环正实部极点个数，试判断各闭环系统的稳定性。



试图 2

六、（15 分）

单位负反馈系统固有部分的传递函数为

$$G_0(s)=\frac{K}{s(0.1s+1)}$$

要求补偿后系统的开环放大系数为 $K_v \geq 100s^{-1}$，相位裕度 $\gamma(\omega_c)\geq 50^\circ$。试设计串联校正装置。

七、（10 分）

线性定常系统的微分方程为

$$\ddot{y}(t)+2\dot{y}(t)+y(t)=u(t)$$

求系统的状态空间表达式。

2010年春季自动控制原理试题B（补考）答案

一、(7分)

$L_1 = -G_2(s)G_3(s)H_2(s)$，$L_2 = -G_2(s)H_1(s)$，$L_3 = G_1(s)G_2(s)H_1(s)$

$\Delta = 1 - L_1 - L_2 - L_3 = 1 + G_2(s)G_3(s)H_2(s) + G_2(s)H_1(s) - G_1(s)G_2(s)H_1(s)$

$P_1 = G_1(s)G_2(s)G_3(s) \quad \Delta_1 = 1$

$P_2 = G_4(s) \quad \Delta_2 = \Delta$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{P_1\Delta_1 + P_2\Delta_2}{\Delta} = \frac{G_1(s)G_2(s)G_3(s)}{1 + G_2(s)G_3(s)H_2(s) + G_2(s)H_1(s) - G_1(s)G_2(s)H_1(s)} + G_4(s)$$

二、(10分)

由题意

$$H(s) = \frac{1}{s} - \frac{1.8}{s+4} + \frac{0.8}{s+9} = \frac{36}{s(s+4)(s+9)}$$

所以系统的闭环传递函数为：$\Phi(s) = \dfrac{36}{(s+4)(s+9)}$

开环传递函数为：$G(s) = \dfrac{36}{s(s+13)}$

三、(10分)

使系统闭环稳定的开环增益K与阻尼比ξ的取值范围为：

$$\xi > 0 \text{ 且 } 0 < K < 2000\xi$$

四、(10分)

(1) 实轴上的根轨迹为$[-\infty,-4]$，$[-2,0]$

(2) 有3条渐近线，它们与实轴的交点坐标为$\sigma_a = -2$，与实轴正方向的夹角分别为$\varphi_1 = 60^\circ$，$\varphi_1 = 180^\circ$；$\varphi_1 = -60^\circ$

(3) 根轨迹在实轴上的分离点坐标为$s_1 = \dfrac{-12 + 4\sqrt{3}}{6} = -0.845$，此时$k = 3.0792$

(4) 根轨迹与虚轴的交点坐标为$\omega = \pm 2\sqrt{2}$，此时$k = 48$

五、(8分)

(a) 稳定；(b)稳定；(c)稳定；(d)不稳定

六、(15分)

根据要求取：$K=K_v=100s^{-1}$，满足稳态性能要求的开环传递函数为：

$G_0(s)=\dfrac{100}{s(0.1s+1)}$，可求得剪切频率与相位裕度分别为

$\omega_{c0}=31.6228\,rad/\sec$ $\qquad$ $\gamma(\omega_{c0})=90-\arctan(0.1\omega_{c0})=17.55^\circ$

因此采用串联超前校正，超前校正应提供的最大超前相角为

$$\phi_m=50^\circ-\gamma(\omega_{c0})+5^\circ=37.5^\circ$$

由此可以确定校正参数 $\quad a=\dfrac{\sin\phi_m+1}{1-\sin\phi_m}=4.1$

利用公式 $\quad 10\lg a+20\lg\left(\dfrac{100}{\omega\times 0.1\omega}\right)=0$，可求得校正后的剪切频率为

$\omega_c'=32.7614\,rad/\sec$

所以超前校正的两个转折频率分别为：

$\omega_1=\dfrac{\omega_c'}{\sqrt{a}}=16.16\,rad/\sec,\ \omega_2=\sqrt{a}\,\omega_c'=66.43\,rad/\sec$

超前校正装置的传递函数为：$G_c(s)=\dfrac{1+\dfrac{1}{\omega_1}s}{1+\dfrac{1}{\omega_2}s}=\dfrac{1+0.062s}{1+0.015s}$

校正后的系统开环传递函数为：$G_0(s)=\dfrac{100(1+0.062s)}{s(0.1s+1)(1+0.015s)}$

校正后的系统相位裕度为：$\gamma'(\omega_c')=54.59^\circ>50^\circ$，满足要求。

七、(10分)

系统的状态空间表达式为

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 1\\ -1 & -2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix}u$$

$$y=\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\end{bmatrix}$$

哈工大　2004　年　秋　季学期

自动控制原理　试　题

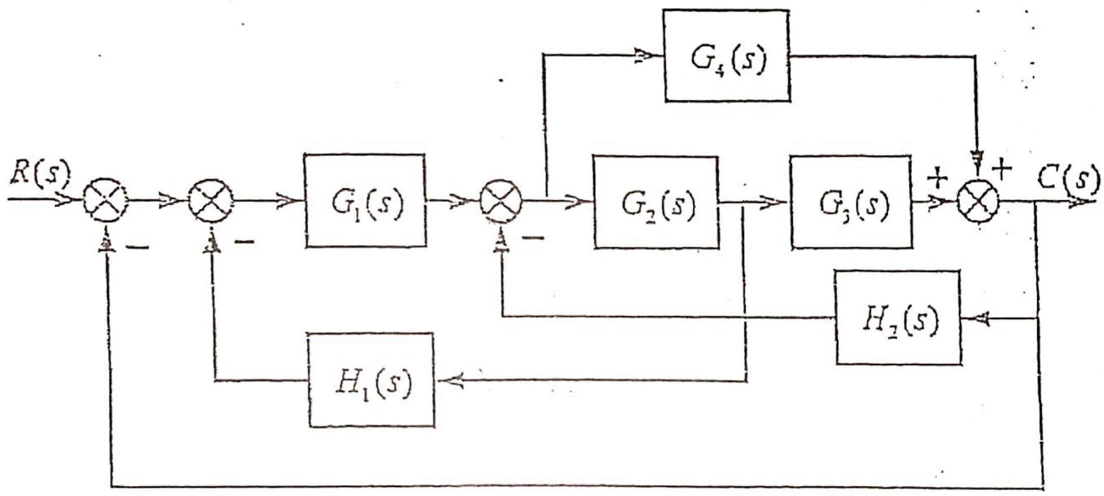
班号	
姓名	

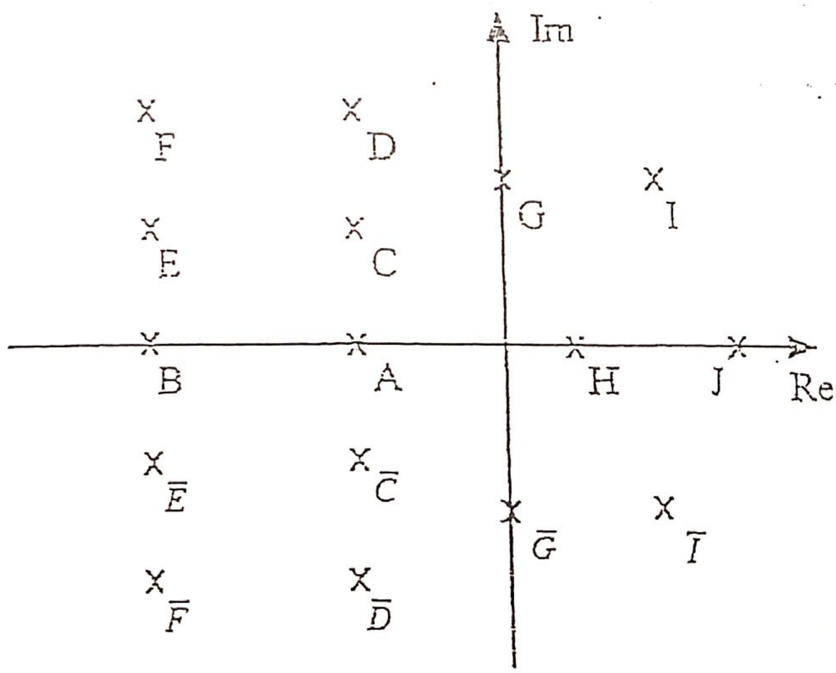
题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
分数											

注意行为规范 遵守考场纪律

主管领导审核签字

一、（10 分）求下图所示系统的闭环传递函数 $\phi(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}$。



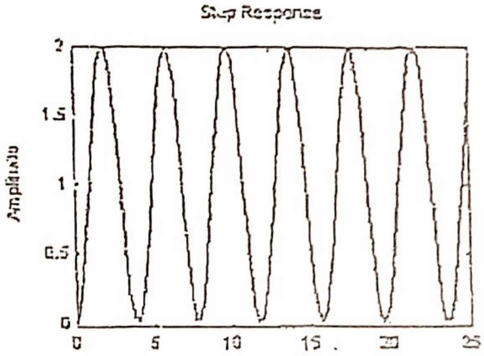


二、（10 分）上图中，A、B……J 分别是 10 个控制系统闭环极点在复数平面上的位置，下图是

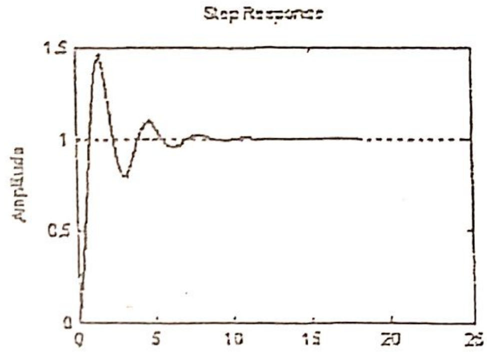
每个系统的单位阶跃响应图，请找出它们的对应关系将阶跃响应的图号填入表

中。

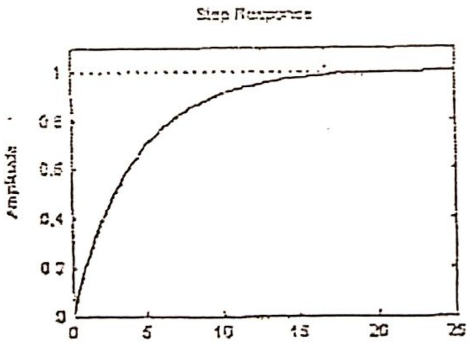
闭环极点	阶跃响应	闭环极点	阶跃响应
A		F	
B		G	
C		H	
D		I	
E		J	



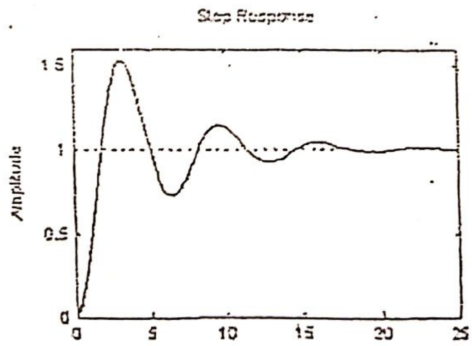
1



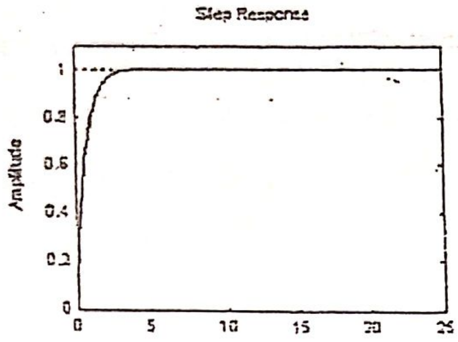
2



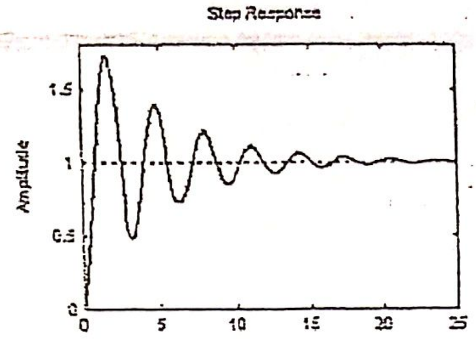
3



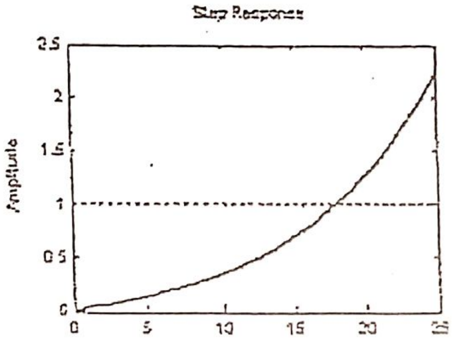
4



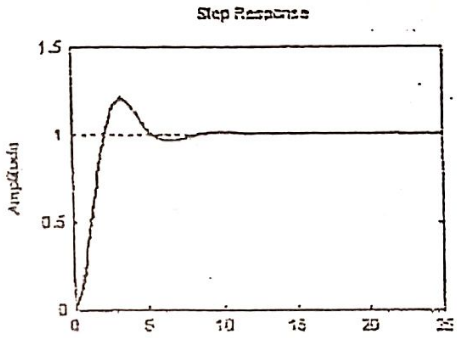
5



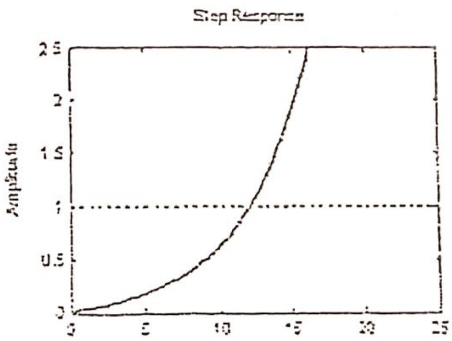
6



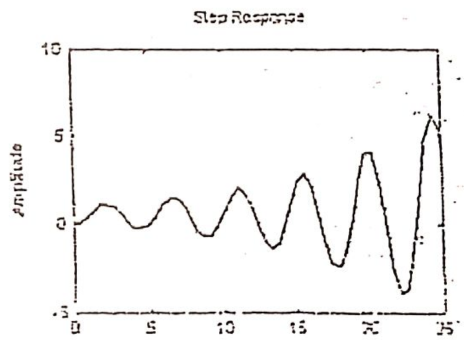
7



8

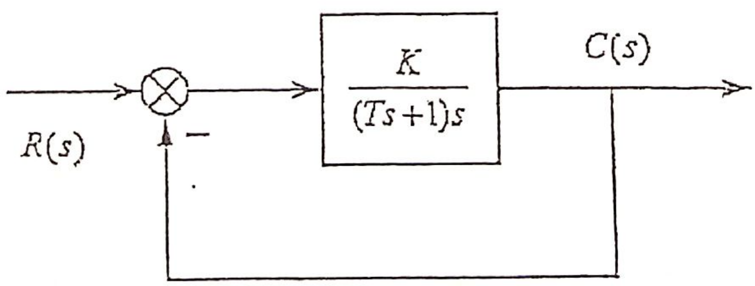


9



10

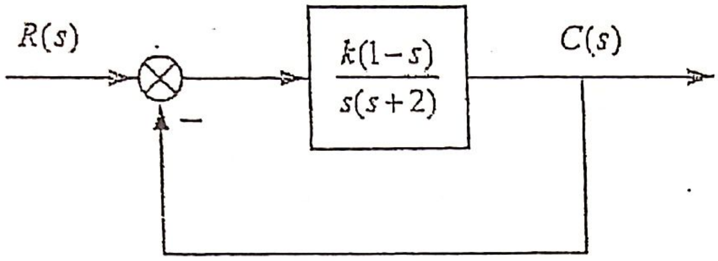
三、（10 分）控制系统的方框图如下图所示：



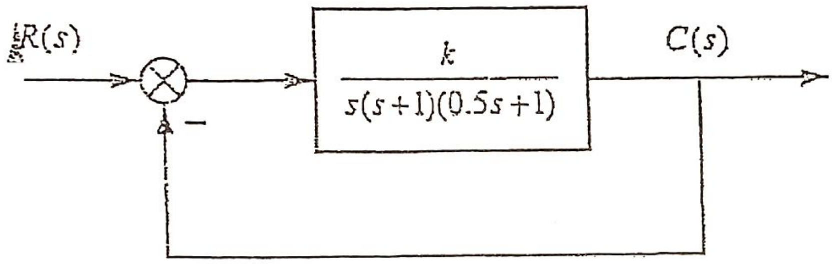
1) 希望闭环系统的极点位于 s 平面上 $s=-2$ 直线的左侧，并且阻尼比 $\zeta \geq 0.5$。试在 s 平面上画出闭环系统极点的分布范围（用阴影线表示）；

2) 当闭环极点在阴影线范围内时，求参数 K 和 T 应满足的条件。

四、(15 分) 绘制下图所示系统的根轨迹图。



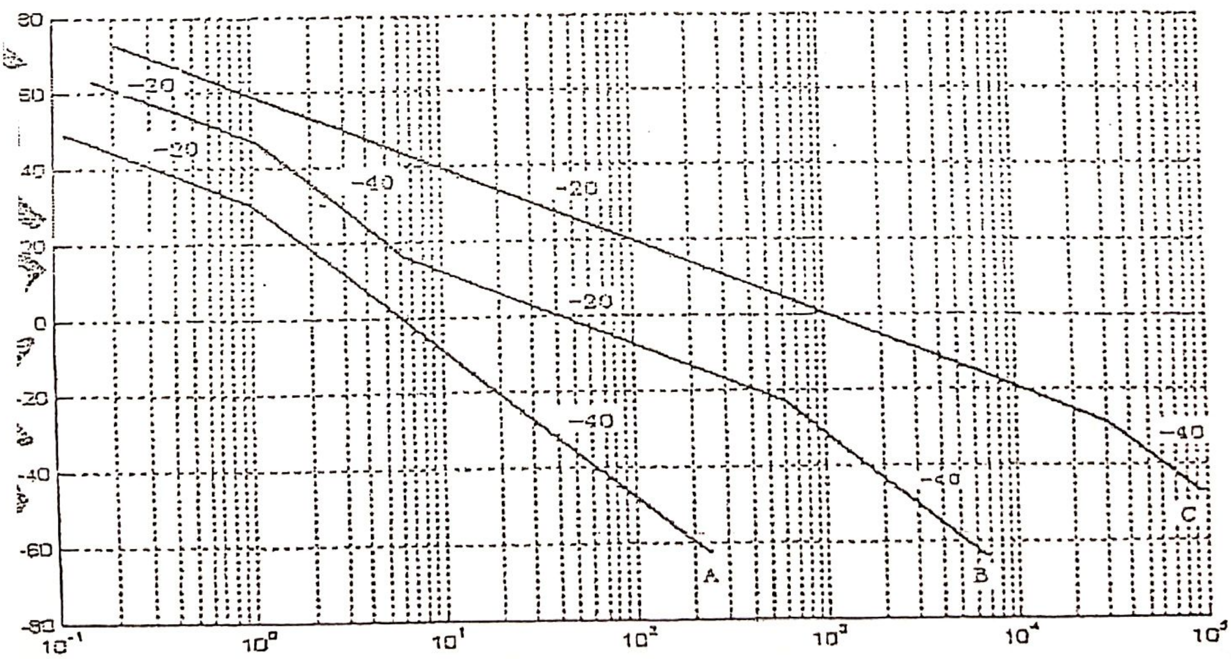
五、(15 分) 已知系统的方框图如下图所示：



绘出根轨迹的大致图形；

2) 为使根轨迹通过 $-1\pm j1$ 点，拟加入串联校正装置 $G_c(s)=\tau s+1$，求 τ 的数值。

六、(10 分) 以上 Bode 图中 A、B、C 分别是三个最小相位系统的对数幅频特性，比较 A、B、C 三个控制系统的性能。



1) 当输入信号 $r(t)=1(t)$ 时，三个系统的稳态误差：e_{ssA} e_{ssB} e_{ssC}

2) 当输入信号 $r(t)=t$ 时，三个系统的稳态误差：e_{ssA}　　　　e_{ssB}　　　　e_{ssC}

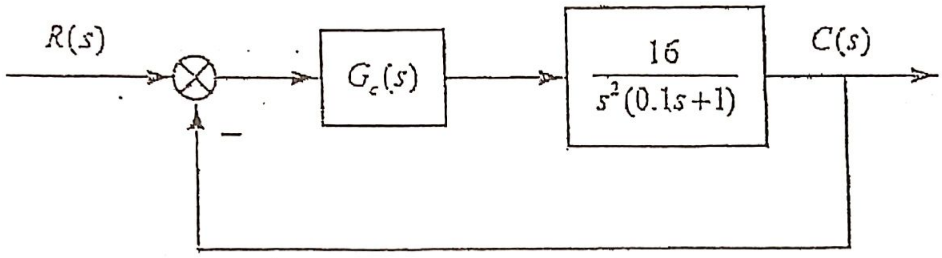
3) 当输入信号 $r(t)=1(t)$ 时，三个系统的超调量：σ_{pA}　　　　σ_{pB}　　　　σ_{pC}

4) 当输入信号 $r(t)=1(t)$ 时，三个系统的调整时间：t_{sA}　　　　t_{sB}　　　　t_{sC}

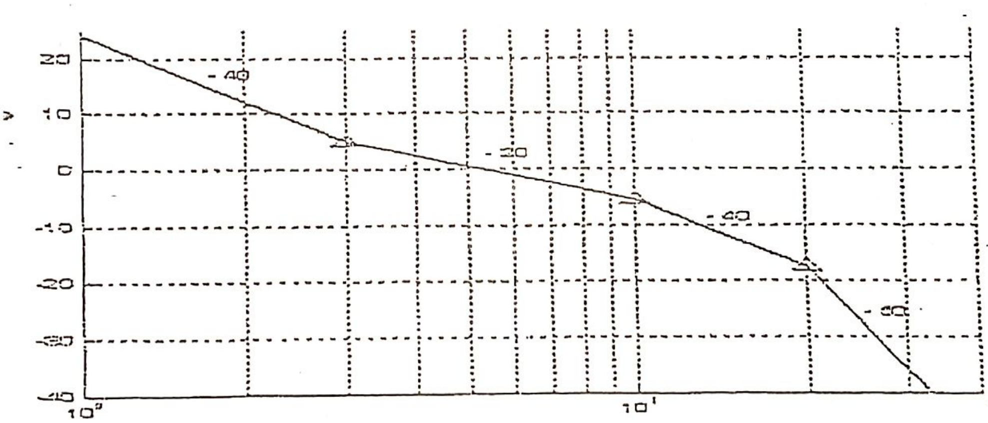
5) 三个系统的相角裕度：γ_A　　　　γ_B　　　　γ_C

（请用<、=、>表示）

七、（15分）控制系统的方框图如下图所示：



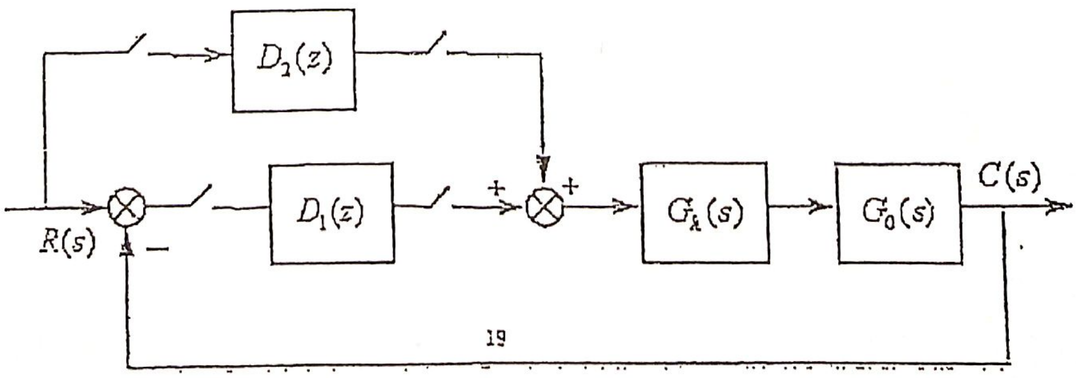
要求采用串联校正后系统的开环对数幅频特性如下图所示：



1) 求校正环节的传递函数；

2) 求校正后的相角裕度。（可以利用 Bode 图中折线求取必要数据）

八、（15分）求下图所示系统的闭环脉冲传递函数 $\phi(z)=\dfrac{C(z)}{R(z)}$。



2004年秋季学期 自动控制原理 试题答案

一、$\Phi(s)=\dfrac{G_1G_2G_3+G_1G_4}{1+G_1G_2H_1+G_1G_2G_3+G_1G_4+G_2G_3H_2+G_4H_2}$

方框图化简：分支点、相加点移动正确，3分。

信号流图：信号流图正确，3分。

二、

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
3	5	4	6	8	2	1	7	10	9

（各1分）

三、1.稳定条件： $T>0, K>0$

2.$\zeta\geq 0.5$ 条件： $K<1/T$

3.Re<-2 条件：$T<1/4$

4.图中有 -2，60°

（各2.5分）

四、1．正反馈，0° 根轨迹

2．开环极点 0，-2；开环零点 +1

3．汇合点，分离点 $-0.732, 2.732$

4．与虚轴交点 $\pm j\sqrt{2}$，(k=2)

5．图形正确

（各3分）

五、1．开环极点：0，-1，-2 （2分）

2．渐近线：与实轴夹角 -60°，180°，-60°

与实轴交点 -1 （2分）

3．分离点：-0.423 （2分）

4．图形正确 （2分）

5．与虚轴交点 $\pm j\sqrt{2}$，(k=6) （2分）

6．$\tau=1$ （5分）

六、1. = ， =

2. > ， >

3. > ， >

4. > ， >

5. < ， <

（各1分）

七、1.求出校正后传递函数$G(s)=\dfrac{16(\frac{1}{3}s+1)}{s^2(\frac{1}{10}s+1)(\frac{1}{20}s+1)}$ （5分）

2.求出 $G_c(s)=\dfrac{(\frac{1}{3}s+1)}{(\frac{1}{20}s+1)}$ （5分）

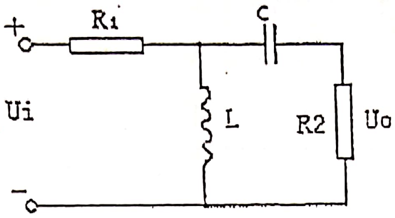
3. 求出相角裕度 γ （5分）

八、$\Phi(z)=\dfrac{D_1(z)G_kG_0(z)}{1+D_1(z)G_kG_0(z)}+\dfrac{D_2(z)G_kG_0(z)}{1+D_1(z)G_kG_0(z)}$

做出第一项5分，做全15分。

自动控制原理试题(A)及答案　2003 春

一．R-L-C 四网络如图所示，设信号源内阻为零，试绘制关于输入电压 $u_i(t)$，输出电阻 R_2 两端压 $u_0(t)$ 的结构图及求传递函数。



$$\frac{CLR_2s^2}{(CLR_1+CLR_2)s^2+(CR_1R_2+L)s+R_1}$$

资源共享QQ ID
HGDZYFXZ

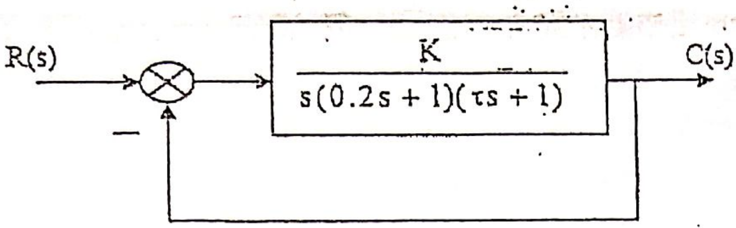
二．已知单位负反馈控制系统的开环传递函数为 $G_0(s)=\dfrac{K}{s(Ts+1)}$ 试选择参数 K 和 T 的值以同时满足下列两组指标。

（1）　当 $r(t)=t$ 时，系统稳态误差 $e_{ss}\le 2\%$；

（2）　当 $r(t)=1(t)$ 时，系统的动态性能指标为 $\sigma\le 20\%$，$t_s\le 0.1s$（取 $\pm 5\%$ 误差带）

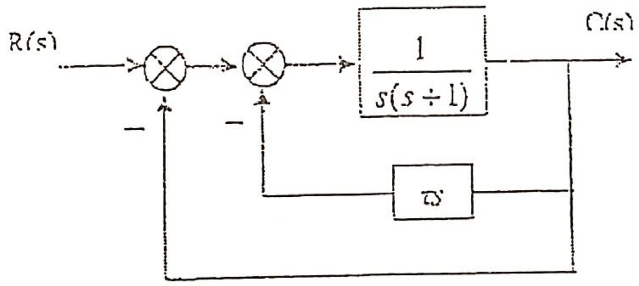
答：$\xi\ge 0.456$，$\xi\omega_n\ge 30$，T=0.016s，K=60>50，

三． 控制系统的方块图如下，如系统以$\omega=5\text{rad/s}$的角频率等幅振荡，试确定此时的K和τ的数值。



答案: K=10，$\tau=0.2$

四．控制系统框图如下试绘制以τ为变量的根轨迹图。



答 $1+\dfrac{\tau s}{s^2+s+1}$

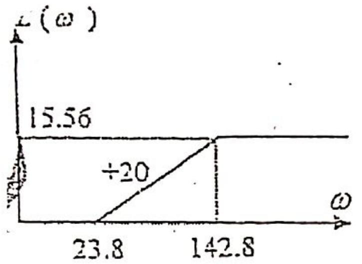
五．设一控制系统的开环传递函数为

$$G(s)=\frac{100e^{-0.1s}}{s(0.1s+1)}$$

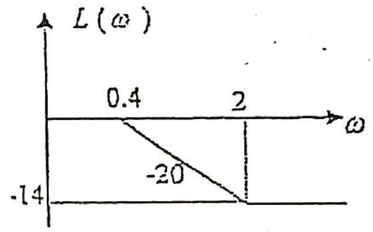
现有三种串联校正装置均为最小相位的，它们对数幅频特性渐近线如下图，求解

（1） 若要使系统的稳态误差不变，而减小超调量，加快系统的动态响应速度，应选哪种装置？为什么？系统相位裕度量最大可能增加多少？

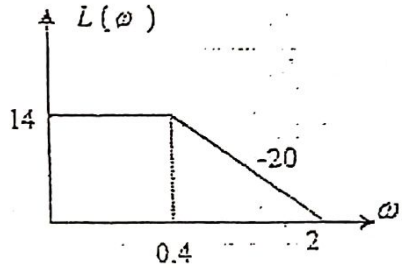
（2） 若减小系统的稳态误差，并保持超调量和动态响应速度不变，应选用哪种校正装置？为什么？系统的稳态误差可减小多少？



（A）



（B）



（C）

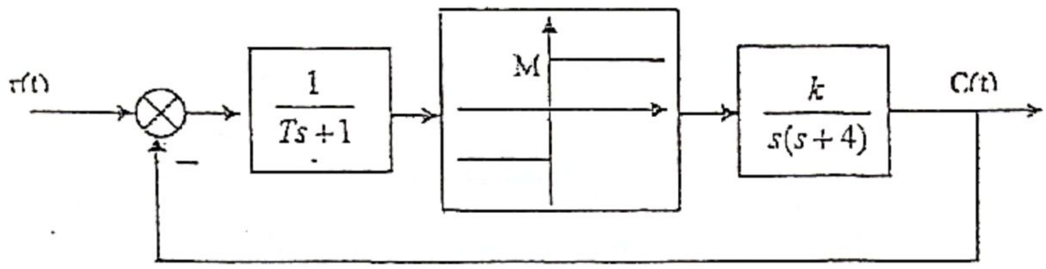
答案：

(1) 选(A) $\varphi_c=45.54^\circ$　　(2)选(C)；是校正前的 1/5

六. 已知非线性系统的结构图如图。$r(t)=0$，$k>0$，$T\geq 0$，M=2，求：

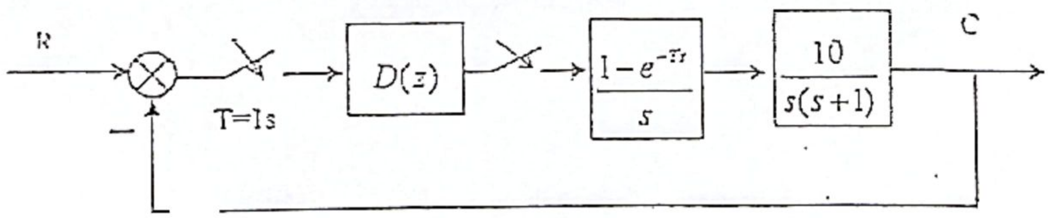
（1） T=0 时，写出 $e-\dot{e}$ 平面上相轨迹的等倾线方程。

（2） 用描述函数法分析 $T>0$ 时系统自由运动，若能自激振荡，试确定 K 与 T 的值使振幅和频率分别为 X=2，$\omega=3$。 $N(X)=\dfrac{4M}{\pi X}$



答： （1） $\dot{e}=-\dfrac{kM}{\alpha+4}$ e>0； $\dot{e}=\dfrac{kM}{\alpha+4}$ e<0; (2) T=0,443; k=15.54

七. 设输入函数为单位速度信号，试按最少拍指标设计下图所示系统的数字控制器 $D(z)$。



答： $D(z)=\dfrac{0.543(1-0.5z^{-1})(1-0.368z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-0.718z^{-1})}$

哈工大　　2004　年　春　季学期

自动控制原理　试题

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
分数											

注意行为规范　遵守考场纪律

管导核字 主领审签

一、(10 分)填空。

1、对闭环控制系统的基本要求为________、________、________。

2、系统的时间响应中，与传递函数极点对应的响应分量称为________，与输入信号极点对应的响应分量称为________。

3、正反馈系统的根轨迹称为________度根轨迹。

4、频率特性图包括________、________、________。

5、最常用的补偿方法是________补偿和________补偿。

二、(10 分)系统非零初始条件下的单位阶跃响应为

$$c(t)=1+e^{-t}-e^{-2t}$$

传递函数分子为常数，求系统传递函数 $C(s)/R(s)$ 。

三、(15 分)方块图化简。

四、(15 分) 系统的特征方程为

$$D(s)=s^3+(\lambda+1)s^2+(\lambda+\mu-1)s+(\mu-1)=0$$

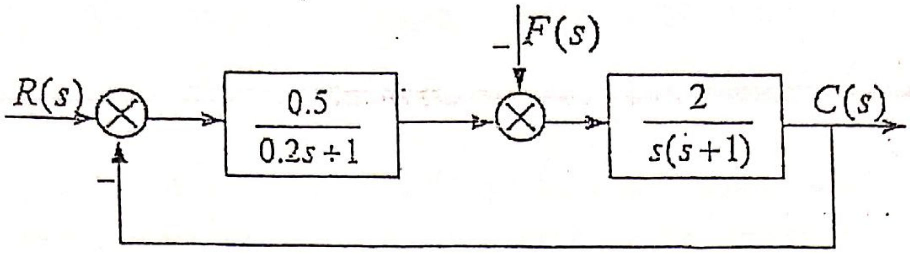
试确定能使闭环系统稳定的参数 λ 和 μ 的取值范围。

五、(15 分)负反馈控制系统的开环传递函数为

$$G(s)H(s)=\frac{k}{s(s+1)(s+2)}$$

试绘制系统的根轨迹图。

六、(15 分)已知系统的输入$r(t)=t$，扰动$f(t)=-1(t)$，计算稳态误差。



七、(15 分)已知系统开环传递函数

$$G_0(s)=\frac{10}{s(s+1)(0.1s+1)}$$

要求系统性能指标：$\sigma_p \le 40\%$，$t_s \le 1.8s$，确定超前校正装置。

八、(5 分)为什么反馈补偿可以用一个希望的环节代替系统固有部分中不希望的环节。

哈工大 2005 年 春 季学期

A

自动控制原理 试 题

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
分数											

注意行为规范

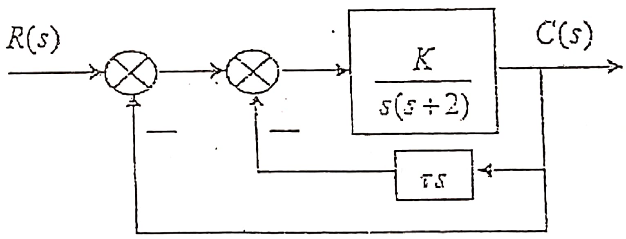
遵守考场纪律

主管领导审核签字

1．系统开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{K(0.02s+1)}{s(0.3s+1)(0.2s+1)}$ 求闭环系统稳定时 K 的取值范围。（ 10 分）

2．系统结构如图，欲使超调量 $\sigma_p=0.2$，过渡过程时间 $t_s=1$ 秒 ($\Delta=0.02$)，

试确定 K 和 τ 的值。（15 分）



3. 单位负反馈系统开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{K}{s(s+1)(0.05s+1)}$

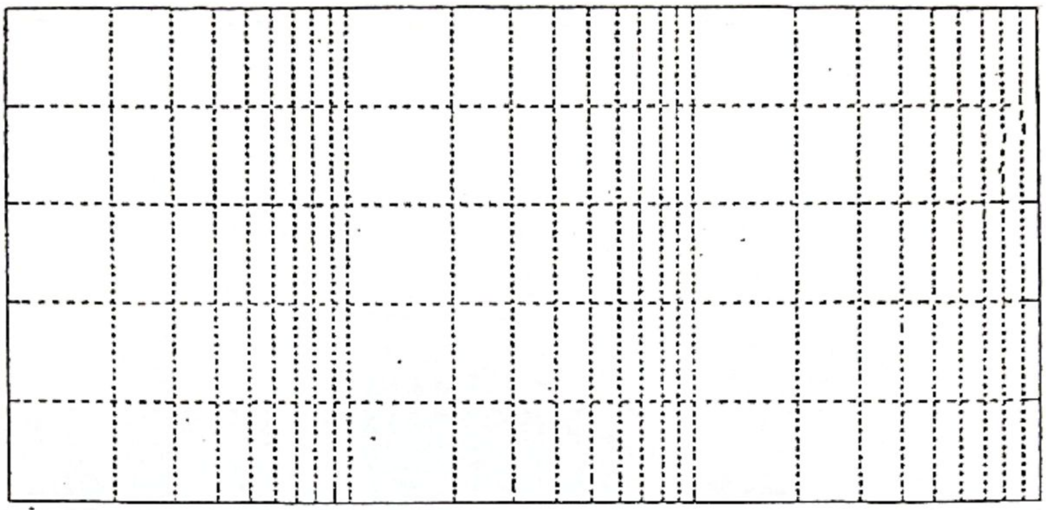
是根据下述条件确定 K 的取值范围：

（1）使闭环系统稳定；（2）当 r(t)=t 时，闭环系统的稳态误差 $e_{ss}(\infty)\leqslant 0.1$ （15分）

4.系统开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{k}{s(s+3)^2}$，画出根轨迹图，并求根轨迹与虚轴相交时的 k 值和角频率 ω。 （15分）

5.一最小相位系统开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{10(0.1s+1)}{s(2s+1)}$

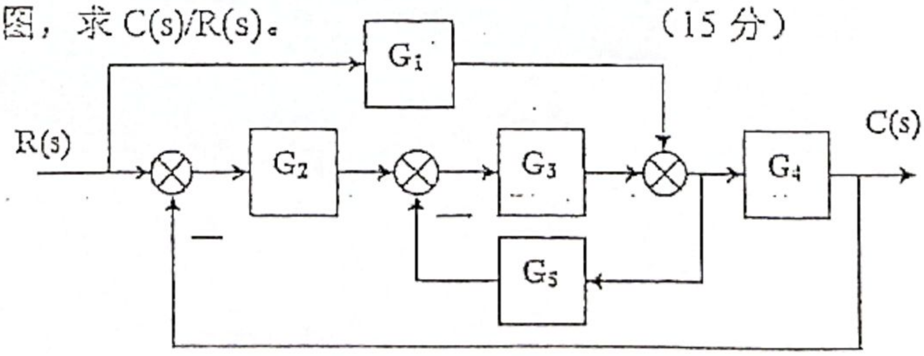
画出开环对数幅频特性，求剪切频率 ω_c，相角裕度 γ 。（15 分）



6．单输入单输出系统的传递函数为 $G(s)=\dfrac{1}{s^2(s+1)}$

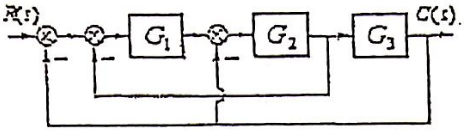
试用状态反馈将系统的极点配置在 -5 和 $-1\pm j$ 。(15 分)

7. 化简方框图，求 C(s)/R(s)。（15 分）

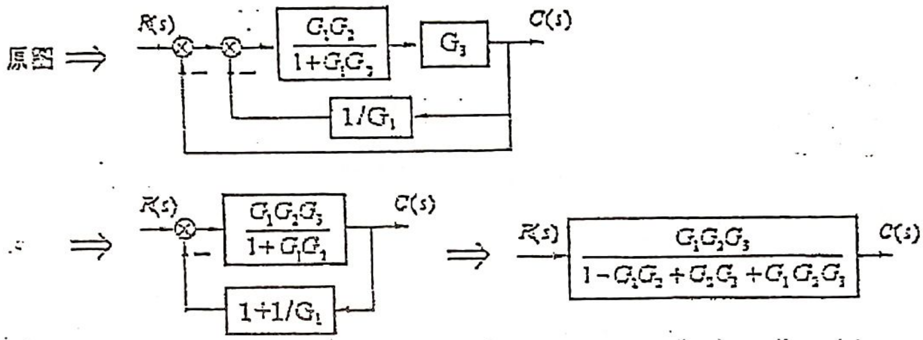


自动控制原理试题（C）答案

一、(20 分) 试用结构图等效化简求下图所示系统的传递函数$\dfrac{C(s)}{R(s)}$。



解：



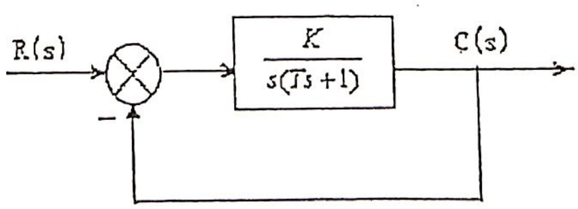
所以：
$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G_1G_2G_3}{1+G_1G_2+G_2G_3+G_1G_2G_3}$$

二.（10 分）已知系统特征方程为$s^4+3s^3+6s^2+3s+6=0$，判断该系统的稳定性，若闭环系统不稳定，指出在 s 平面右半部的极点个数。(要有劳斯计算表)

解：劳斯计算表首列系数变号 2 次，S 平面右半部有 2 个闭环极点，系统不稳定。

$$\begin{array}{llll}
s^4 & 1 & 6 & 6 \\
s^3 & 3 & 3 & 0 \\
s^2 & 5 & 6 & \\
s^1 & -0.6 & 0 & \\
s^0 & 6 & &
\end{array}$$

三.（20 分）如图所示的单位反馈随动系统，$K=16s^{-1}$，$T=0.25s$，试求：



（1）特征参数ξ，ω_n；　（2）计算σ%和t_s；

（3）若要求σ%=16%，当 T 不变时 K 应当取何值？

解：（1）求出系统的闭环传递函数为：

$$\Phi(s)=\frac{K}{Ts^2+s+K}=\frac{K/T}{s^2+\frac{1}{T}s+K/T}$$

因此有：

$$\omega_n=\sqrt{\frac{K}{T}}=\sqrt{\frac{16}{0.25}}=8(s^{-1}),\zeta=\frac{1/T}{2\omega_n}=\frac{1}{2\sqrt{KT}}=0.25$$

（2） $$\sigma\%=e^{\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}\times100\%=44\%$$

$$t_s\approx\frac{4}{\zeta\omega_n}=\frac{4}{0.25\times8}=2(s)(\Delta=2\%)$$

（3）为了使σ%=16%，由式

$$\sigma\%=e^{\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}\times100\%=16\%$$

可得$\zeta=0.5$，当T不变时，有：

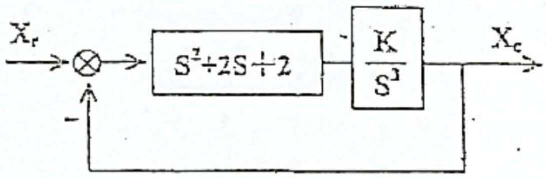
$$\omega_n=\frac{1/T}{2\zeta}=\frac{1}{2\zeta T}=\frac{1}{2\times0.5\times0.25}=4(s^{-1})$$

$$K=T\omega_n{}^2=4^2\times0.25=4(s^{-1})$$

四．（15分）已知系统如下图所示，

1．画出系统根轨迹（关键点要标明）。

2．求使系统稳定的K值范围，及临界状态下的振荡频率。



解

$$G(s)=\frac{K\left(s^2+2s+2\right)}{s^3}$$

① $n=3$，$P_{1,2,3}=0$，$m=2, Z_{1,2}=-1\pm j$，$n-m=1$

②渐进线1条π　　　　③入射角

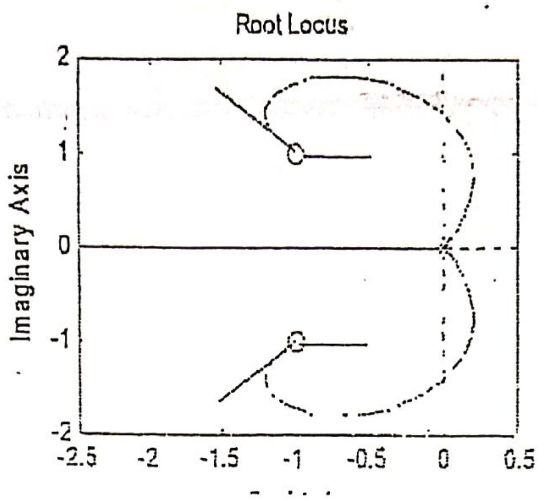
$$\varphi_1=180^\circ+\left(135^\circ+135^\circ+135^\circ\right)-90^\circ=360^\circ+135^\circ=135^\circ$$

同理 $\varphi_2=-135^\circ$

④与虚轴交点，特方 $s^3+Ks^2+2Ks+2=0$，$s=j\omega$代入

$$\frac{2K^2-2}{K}=0\Rightarrow K=1,\ s=\pm\sqrt{2}j$$

所以当$K>1$时系统稳定，临界状态下的震荡频率为$\omega=\sqrt{2}$。



五．（20分）某最小相角系统的开环对数幅频特性如下图所示。要求

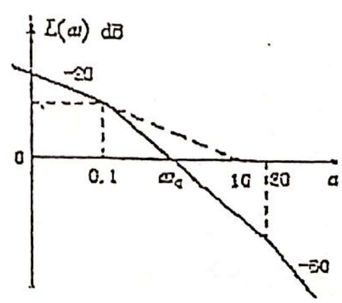
（1）写出系统开环传递函数；

（2）利用相角裕度判断系统的稳定性；

（3）将其对数幅频特性向右平移十倍频程，试讨论对系统性能的影响。

解（1）由题图可以写出系统开环传递函数如下：

$$G(s)=\frac{10}{s(\frac{s}{0.1}+1)(\frac{s}{20}+1)}$$



（2）系统的开环相频特性为

$$\varphi(\omega)=-90°-\arctan\frac{\omega}{0.1}-\arctan\frac{\omega}{20}$$

截止频率 $\omega_c = \sqrt{0.1\times10} = 1$

相角裕度：$\gamma = 180° + \varphi(\omega_c) = 2.85°$

故系统稳定。

（3）将其对数幅频特性向右平移十倍频程后，可得系统新的开环传递函数

$$G(s) = \frac{100}{s(s+1)(\frac{s}{200}+1)}$$

其截止频率 $\omega_{c1} = 10\omega_c = 10$

而相角裕度 $\gamma_1 = 180° + \varphi(\omega_{c1}) = 2.85° = \gamma$

故系统稳定性不变。由时域指标估算公式可得

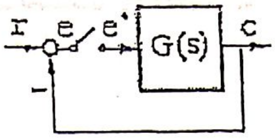
$$\sigma\% = 0.16 + 0.4(\frac{1}{\sin\gamma} - 1) = \sigma_1\%$$

$$t_s = \frac{K_0\pi}{\omega_c} = \frac{K_0\pi}{10\omega_{c1}} = 0.1t_{s1}$$

所以，系统的超调量不变，调节时间缩短，动态响应加快。

六.（15 分）设有单位反馈的误差采样离散系统，连续部分传递函数$G(s)=\dfrac{1}{s^2(s+5)}$

输入$r(t)=1(t)$，采样周期$T=1s$。试求：



（1）输出z变换$C(z)$；

（2）采样瞬时的输出响应$c^*(t)$；

解：

$$G(z)=Z\left[\frac{1}{s^2(s+5)}\right]$$

$$=\frac{1}{5}\left[\frac{z}{(z-1)^2}-\frac{z(1-e^{-5})}{5(z-1)(z-e^{-5})}\right]$$

$$=\frac{\left[(4+e^{-5})z+1-6e^{-5}\right]z}{25(z-1)^2(z-e^{-5})}$$

$$\Phi(z)=\frac{G(z)}{1+G(z)}=\frac{(4+e^{-5})z^2+(1-6e^{-5})z}{25(z-1)^2(z-e^{-5})+(4+e^{-5})z^2+(1-6e^{-5})z}$$

$$=\frac{3.9933z^2+0.9596z}{25z^3-46.1747z^2+26.2966z-0.1684}$$

$$C(z)=\Phi(z)R(z)=\Phi(z)\frac{z}{z-1}$$

$$=\frac{(0.1597z+0.03838)z^2}{z^4-2.847z^3+2.899z^2-1.0586z+0.006736}$$

$$=0.1597z^{-1}+0.4585z^{-2}+0.842z^{-3}+1.235z^{-4}+\cdots$$

（2）$c^*(t)=0.1597\delta(t-T)+0.4585\delta(t-2T)+0.842\delta(t-3T)+1.235\delta(t-4T)+\cdots$

期末复习题

概念题

一、　填空题

1、把输出量直接或间接地反馈到输入端，　形成闭环参与控制的系统，　称作 __闭环控制系统__ 。

2、传递函数反映系统本身的瞬态特性，　与本身参数和结构 __有关______，与输入和初始条件 __无关__ 。

3、最大超调量只决定于阻尼比 ξ，ξ 越小，最大超调量越 __小______ 。

4、已知系统频率特性为 $\dfrac{1}{5j\omega+1}$，当输入为 $x(t)=\sin 2t$ 时，系统的稳态输出为 $\dfrac{1}{\sqrt{101}}\sin(2t-tg^{-1}10)$。

5、校正装置的传递函数为 $G_c(s)=\dfrac{1+aTs}{1+Ts}$，系数 a 大于 1，则该校正装置为 __超前______ 校正装置。

6、如果 ω_{max} 为 $f(t)$ 函数有效频谱的最高频率，那么采样频率 ω_s 满足条件 $\omega_s \ge 2\omega_{max}$ 时，采样函数 $f^*(t)$ 能无失真地恢复到原来的连续函数 $f(t)$ 。

二、　单选题

1、闭环控制系统的控制方式为 ___D______。

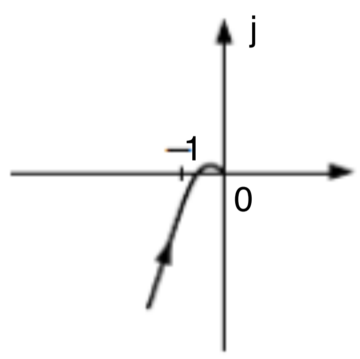
A. 按输入信号控制　　B. 按扰动信号控制

C. 按反馈信号控制　　D. 按偏差信号控制

2、某一系统在单位速度输入时稳态误差为零，则该系统的开环传递函数可能是 __D____ 。

A. $\dfrac{K}{Ts+1}$　　B. $\dfrac{s+d}{s(s+a)(s+b)}$　　C. $\dfrac{K}{s(s+a)}$　　D. $\dfrac{K}{s^2(s+a)}$

3、已知单位反馈系统的开环奈氏图如图所示，　其开环右半 S 平面极点数 P=0，系统型号 $v=1$，则系统 ___A______。



A. 稳定　　B. 不稳定　　C. 临界稳定　　D. 稳定性不能确定

4、串联滞后校正是利用 ___B______，使得系统截止频率下降，从而获得足够的相角裕度。

A． 校正装置本身的超前相角　　B．校正装置本身的高频幅值衰减特性

C．校正装置本身的超前相角和高频幅值衰减　　D．校正装置富裕的稳态性能

5、设离散系统闭环极点为 $z_i = \sigma_i + j\omega_i$，则___C____。

A．当 $\omega_i = 0$ 时，其对应的阶跃响应是单调的；

B．当 $\sigma_i < 0$ 时，其对应的阶跃响应是收敛的；

C．当 $\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2} < 1$ 时，其对应的阶跃响应是收敛的；

D．当 $\omega_i = 0$ 时，其对应的阶跃响应是等幅振荡。

三、 是非题

1、 对于线性定常负反馈控制系统，

(1) 它的传递函数随输入信号变化而变化 (×)

(2) 它的稳定性随输入信号变化而变化 (×)

(3) 它的稳态误差随输入信号变化而变化 (√)

(4) 它的频率特性随输入信号变化而变化 (×)

(5) 它的特征方程是唯一的 (√)

(6) 劳斯判据是根据系统闭环特征方程系数判别闭环系统稳定性的一种准则 (√)

(7) 奈氏判据是根据系统闭环频率特性判别闭环系统稳定性的一种准则 (×)

2. 减小或消除系统给定稳态误差的措施包括

(1) 减小系统开环增益 (×)

(2) 在系统的前向通路或主反馈通路设置串联积分环节 (√)

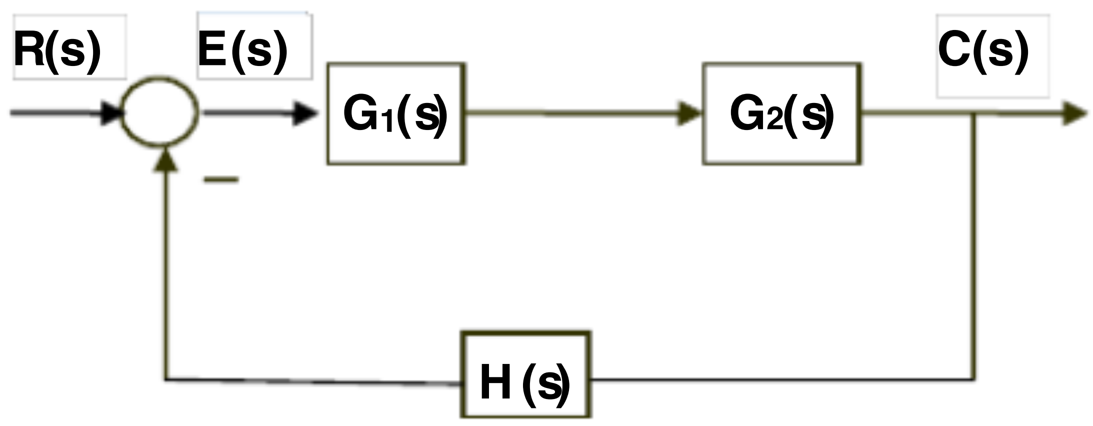
3. 利用相位超前校正，可以增加系统的频宽，提高系统的快速性和稳定裕量 (√)

4、已知离散系统差分方程为 $c(k+2) = 3c(k+1) - 2c(k) + 3r(k+1) - r(k)$

则脉冲传递函数为 $\dfrac{3z-1}{z^2-3z+2}$ (√)

计算题

一、　　某闭环控制系统如图所示，其中 $G_1(s)=\frac{s+1}{s}$， $G_2(s)=\frac{10}{s(s+10)}$， $H(s)=2$



1、试求该系统的开环传递函数和闭环传递函数。

2、试用劳斯判据判断该系统的稳定性。

解答：

1、系统开环传递函数为

$$G(s)H(s)=G_1(s)G_2(s)H(s)=\frac{20(s+1)}{s^2(s+10)}$$

系统开环传递函数为 $\Phi(s)=\frac{G_1(s)G_2(s)}{1+G_1(s)G_2(s)H(s)}=\frac{10(s+1)}{s^3+10s^2+20s+20}$

2、则其特征方程为 $1+G(s)H(s)=0$

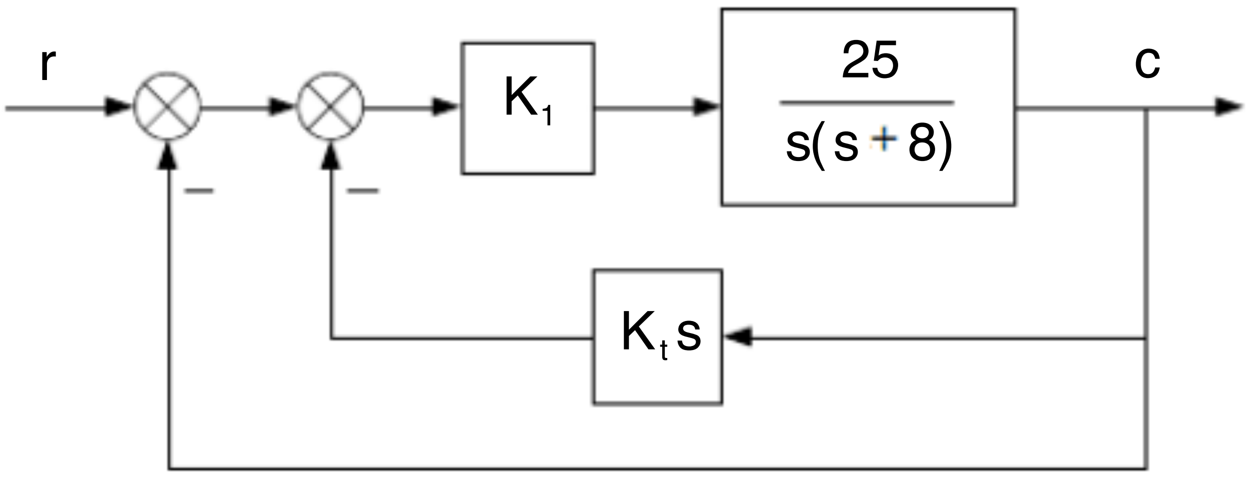
即 $s^3+10s^2+20s+20=0$

由劳斯判据：根据特征方程的系数，列写劳斯表为

s^3	1	20
s^2	10	20
s^1	$\frac{20\times10-20\times1}{20}=9$	0
s^0	20	0

劳斯表中第一列系数均大于零，所以闭环系统稳定

二、 下图是简化的飞行控制系统结构图，试选择参数 K_1 和 K_t，使系统的 $\omega_n=6$、$\xi=1$。



解答：系统的闭环传递函数为

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{K_1\dfrac{25}{s(s+8)}}{1+K_1\dfrac{25K_ts}{s(s+8)}+K_1\dfrac{25}{s(s+8)}}=\frac{25K_1}{s^2+(8+25K_1K_t)s+25K_1}$$

$$=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$$

令

$$25K_1=\omega_n^2=36$$
$$8+25K_1K_t=2\times\xi\times\omega_n=2\times1\times6$$

得 $K_1=1.44$，$K_t=0.111$。

三、已知单位反馈系统开环传函为 $G(s)=\dfrac{5}{s(0.2s+1)}$，

1、求系统的 ξ、ω_n 及性能指标 $\sigma\%$ 和 t_s（5%）；

2、分别求 $r(t)=1$，$r(t)=t$，$r(t)=t^2$ 时的稳态误差。

解答：

1、由闭环传递函数

$$\Phi(s)=\frac{G(s)}{1+G(s)}=\frac{25}{s^2+5s+25}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$$

所以 $2\xi\omega_n=5$ $\quad\omega_n^2=25$

从而得出 $\xi=0.5$ $\quad\omega_n=5$

$$\sigma(\%)=e^{-(\xi/\sqrt{1-\xi^2})\pi}\times100\%=16.3\%$$

$$t_s(5\%)=\frac{3.5}{\xi\omega_n}=1.4\ s$$

2、该系统为 I 型系统，开环增益 $K=5$

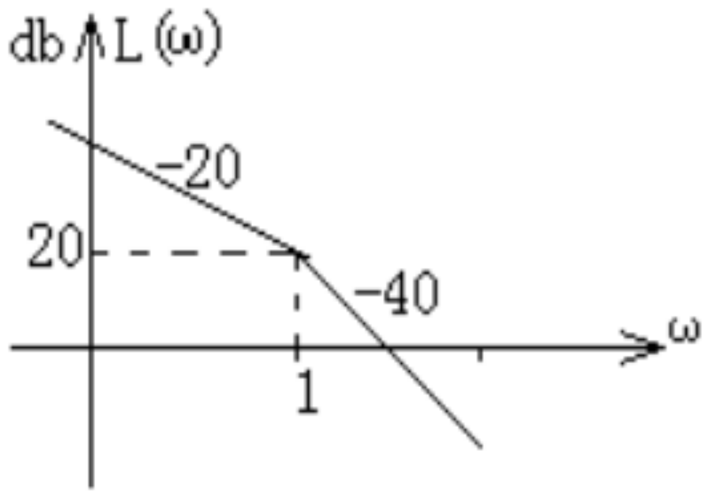
$r(t)=1$， $e_{ss}(\infty)=0$

$r(t)=t$， $e_{ss}(\infty)=\frac{1}{K}=\frac{1}{5}$

$r(t)=t^2$， $e_{ss}(\infty)=\infty$

四、已知某个单位反馈控制系统，开环对数幅频特性分别如图所示，写出这个系统的开环传递函数表达式并计算系统的截止频率 ω_c 。

解答：



开环传递函数为 $G(s)=\frac{10}{s(s+1)}$

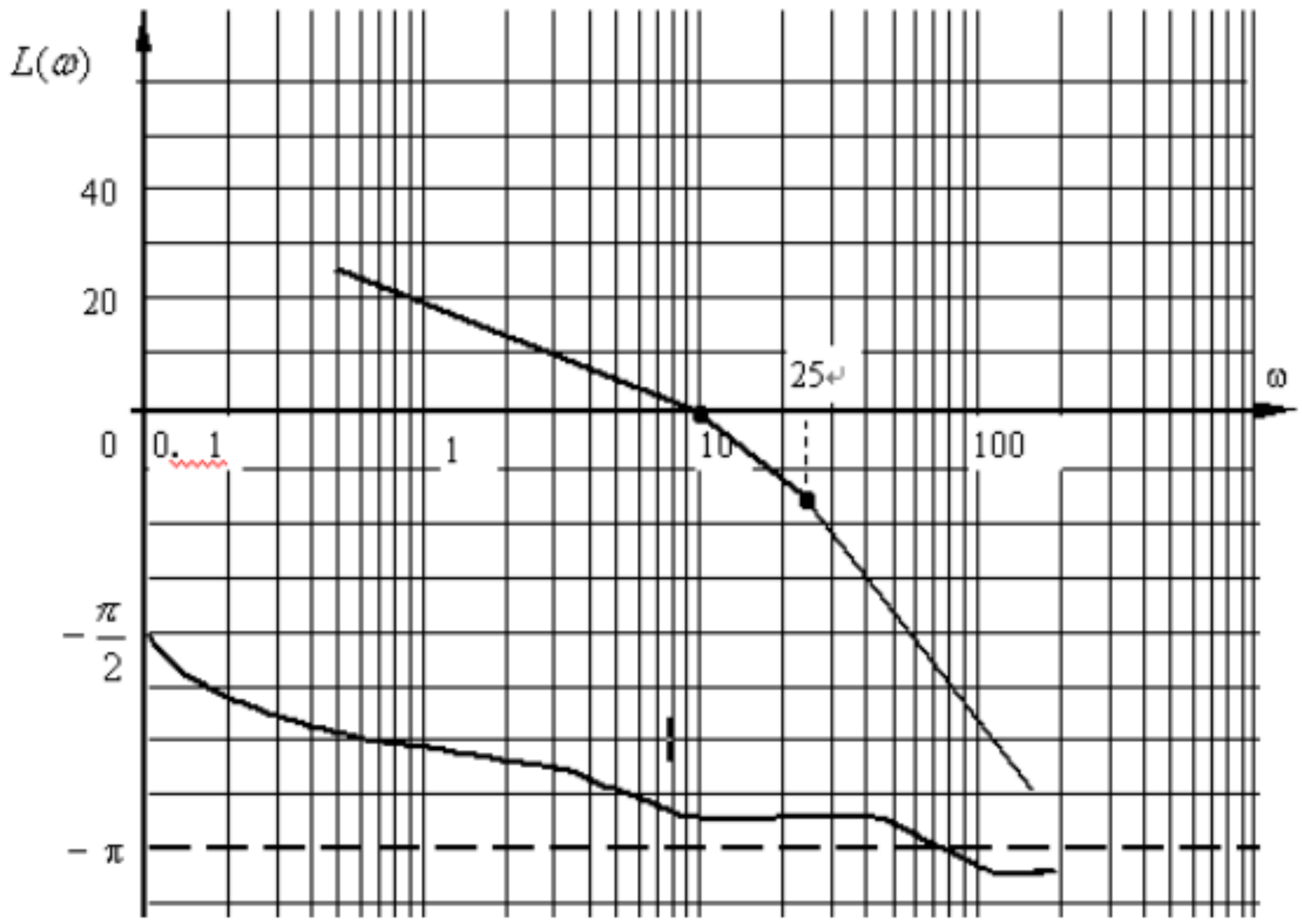
由 $L(\omega_c)=0$ 　得出 $20\log\frac{10}{\omega_c\omega_c}=0$ 　所以 $\omega_c=\sqrt{10}=3.16$

或者由 $\frac{20-0}{\log1-\log\omega_c}=-20$ 　得出 $\omega_c=\sqrt{10}=3.16$

五、已知系统的开环传递函数为： $G(s)=\frac{10}{s(0.1s+1)(0.04s+1)}$

1、绘出对数渐近幅频特性曲线以及相频特性曲线；

2、确定系统的开环截止频率 ω_c 和稳定裕度 γ。



解答:

1、该系统是由积分、放大和两个惯性环节串联构成的， K=10 20lgK=20dB

$$\omega_1=\frac{1}{T_1}=\frac{1}{0.1}=10 \qquad \omega_2=\frac{1}{T_2}=\frac{1}{0.04}=25$$

低频为积分放大环节，在 $\omega=1$，K=20 分贝处作 -20dB/dec 直线

在 $\omega=10$ 处作 -40dB/10 dec 直线，在 $\omega=25$ 处作 －60dB/10 dec 直线

$$\varphi(\omega)=-90^0-tg^{-1}0.1\omega-tg^{-1}0.04\omega$$

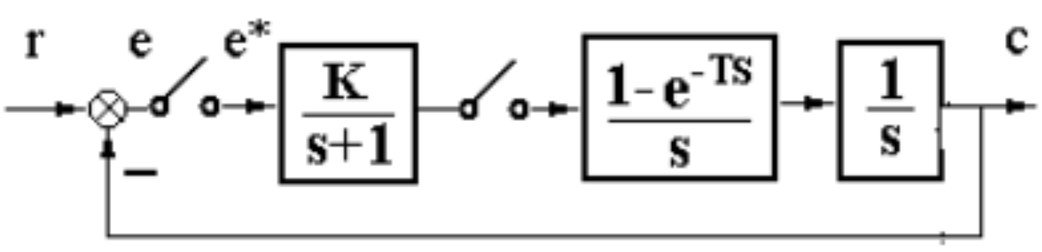
因此相角从 -90 度单调递减到 -270 度

2、 $$L(\omega_c)=20\log\frac{10}{\omega_c\cdot 0.1\omega_c}=0\Rightarrow\omega_c=\sqrt{100}=10$$

$$\varphi(\omega_c)=-90^0-tg^{-1}1-tg^{-1}0.4=-156.8^0$$

$$\gamma=180^0+\varphi(\omega_c)=23.2^0$$

六、离散系统结构图如下图所示，采样周期 $T=0.5$ 秒。



1、 写出系统开环脉冲传递函数 $G(z)$；

2、 判断 $K=4$ 时系统稳定性。

解答：1、 $G(z)=Z\left[\frac{K}{s+1}\right]Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s}\cdot\frac{1}{s}\right]=Z\left[\frac{K}{s+1}\right]\cdot(1-z^{-1})Z\left[\frac{1}{s^2}\right]=\frac{KTz}{(z-1)(z-e^{-T})}$

代入 $T=0.5$，得 $G(z)=\frac{0.5Kz}{(z-1)(z-e^{-0.5})}$

3、 系统闭环特征方程为

$$D(z)=(z-1)(z-e^{-0.5})+0.5Kz=z^2-(1+e^{-0.5}-0.5K)z+e^{-0.5}=0$$

代入 $K=4$，得 $z^2-(e^{-0.5}-1)z+e^{-0.5}=0$

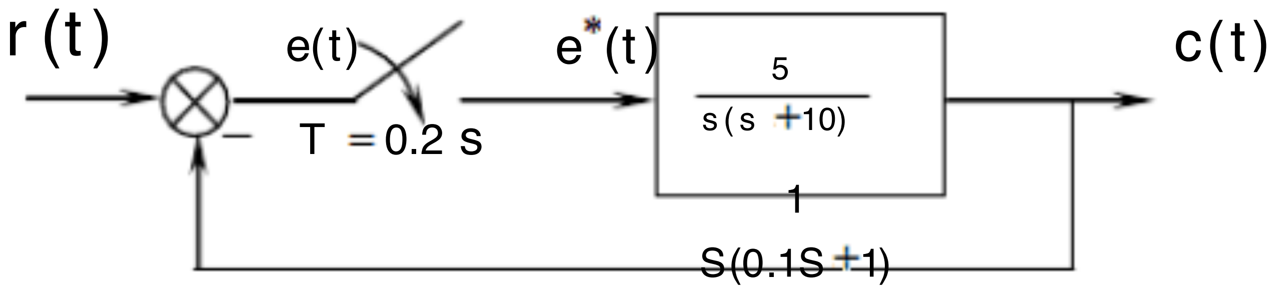
两个特征根为 $z_{1,2}=-0.2\pm0.75j$

由于 $|z_{1,2}|<1$ 所以闭环系统稳定。

七、某离散系统如图所示。

1、写出系统开环脉冲传递函数 $G(z)$；

2、判断该系统的稳定性。



解答：

1、设 $G(s)=\frac{5}{s(s+10)}$，则开环脉冲传递函数为

$$G(z)=Z[G(s)]=Z\left(\frac{5}{s(s+10)}\right)=0.5Z\left(\frac{1}{s}-\frac{1}{s+10}\right)$$

$$=0.5\left(\frac{z}{z-1}-\frac{z}{z-e^{-10T}}\right)=\frac{0.5z(1-e^{-10T})}{(z-1)(z-e^{-10T})}$$

$T=0.2$，所以 $G(z)=\frac{0.5z(1-e^{-2})}{(z-1)(z-e^{-2})}$

2、系统的闭环特征方程式为 $1+G(z)=0$

即 $1+\frac{0.5z(1-e^{-2})}{(z-1)(z-e^{-2})}=0$

整理得 $z^2-(1.5e^{-2}+0.5)z+e^{-2}=0$

两个特征根为 $z_{1,2}=-0.35\pm0.11j$，由于 $|z_{1,2}|<1$ 所以闭环系统稳定。

自
动
控
制
理
论

2011 年 **7** 月 **23** 日星期六

课程名称： 自动控制理论 （A/B 卷 闭卷）

一、填空题（每空 1 分，共 15 分）

1、反馈控制又称偏差控制，其控制作用是通过 ____给定值____ 与反馈量的差值进行的。

2、复合控制有两种基本形式：即按 ____输入____ 的前馈复合控制和按 ____扰动____ 的前馈复合控制。

3、两个传递函数分别为 $G_1(s)$ 与 $G_2(s)$ 的环节，以并联方式连接，其等效传递函数为 $G(s)$，则 $G(s)$ 为 ____G1（s）+G2(s)____ （用 $G_1(s)$ 与 $G_2(s)$ 表示）。

4、典型二阶系统极点分布如图 1 所示，

则无阻尼自然频率 $\omega_n =$ ____根号 2____，

阻尼比 $\xi =$ ____根号 2/2____，

该系统的特征方程为 ____s^2+2s+2____ ，

该系统的单位阶跃响应曲线为 ____衰减震荡____ 。

5、若某系统的单位脉冲响应为 $g(t)=10e^{-0.2t}+5e^{-0.5t}$，

则该系统的传递函数 $G(s)$ 为 ____10/（s+0.2s）+5/（s+0.5s)____ 。

6、根轨迹起始于 ____开环极点____，终止于 ____开环零点____ 。

7、设某最小相位系统的相频特性为 $\varphi(\omega)=tg^{-1}(\tau\omega)-90^0-tg^{-1}(T\omega)$，则该系统的开环传递函数为 ____K（Xs+1）/s(Ts+1)____ 。

8、PI 控制器的输入－输出关系的时域表达式是 ____u(t)=Kp[e(t)+1/t Ｉe(t)dt]____，

其相应的传递函数为 ____Kp[1+1/Ts]____，由于积分环节的引入，可以改善系统的 ____稳态性能____ 性能。

二、选择题（每题 2 分，共 20 分）

1、采用负反馈形式连接后，则 (D)

A、一定能使闭环系统稳定； B、系统动态性能一定会提高；

C、一定能使干扰引起的误差逐渐减小，最后完全消除；

D、需要调整系统的结构参数，才能改善系统性能。

2、下列哪种措施对提高系统的稳定性没有效果 (A)。

A、增加开环极点； B、在积分环节外加单位负反馈；

C、增加开环零点； D、引入串联超前校正装置。

3、系统特征方程为 $D(s)=s^3+2s^2+3s+6=0$，则系统 (C)

A、稳定；　B、单位阶跃响应曲线为单调指数上升；

C、临界稳定；　D、右半平面闭环极点数 $Z=2$。

4、系统在 $r(t)=t^2$ 作用下的稳态误差 $e_{ss}=\infty$，说明 （ A ）

A、 型别 $v<2$；　B、系统不稳定；

C、 输入幅值过大；　D、闭环传递函数中有一个积分环节。

5、对于以下情况应绘制 0° 根轨迹的是（D ）

A、主反馈口符号为“ - ” ； B 、除 K_r 外的其他参数变化时；

C、非单位反馈系统；　D、根轨迹方程（标准形式）为 $G(s)H(s)=+1$。

6、开环频域性能指标中的相角裕度 γ 对应时域性能指标（ A ）。

A、超调 $\sigma\%$　B、稳态误差 e_{ss}　C、调整时间 t_s　D、峰值时间 t_p

7、已知开环幅频特性如图 2 所示， 则图中不稳定的系统是（ B ）。

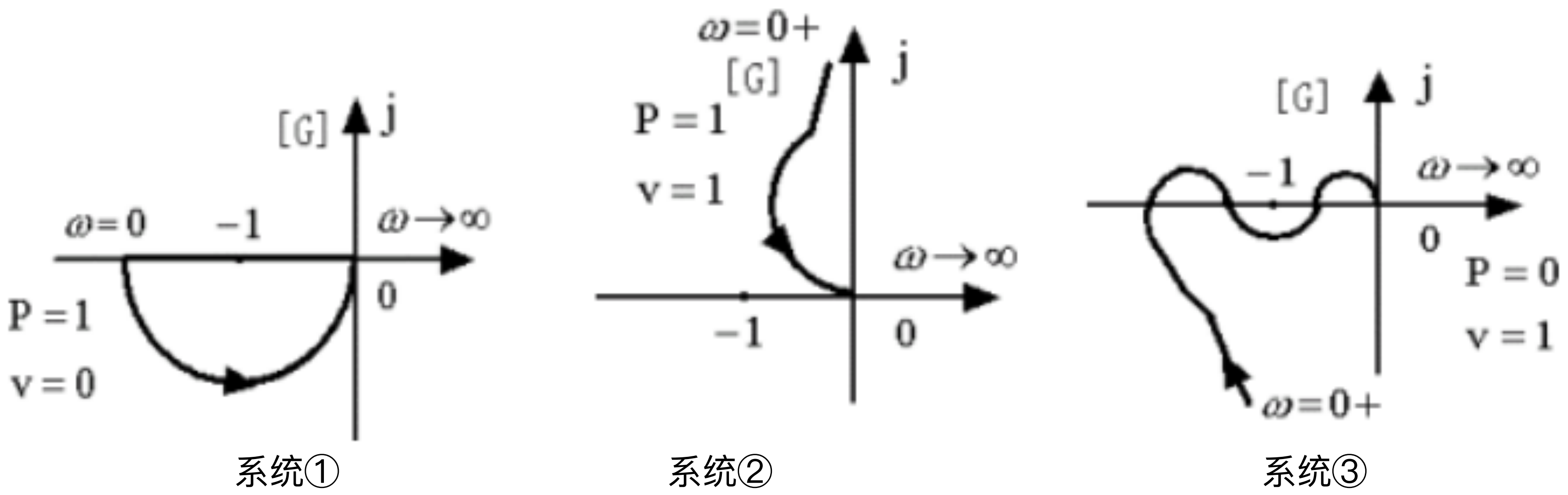


图 2

A、系统①　B、系统②　C、系统③　D、都不稳定

8、若某最小相位系统的相角裕度 $\gamma>0^\circ$，则下列说法正确的是 （ C ） 。

A、不稳定；　B、只有当幅值裕度 $k_g>1$ 时才稳定；

C、稳定；　D、不能判用相角裕度判断系统的稳定性。

9、若某串联校正装置的传递函数为 $\frac{10s+1}{100s+1}$，则该校正装置属于（ B ） 。

A、超前校正　B 、滞后校正　C、滞后 -超前校正　D 、不能判断

10、下列串联校正装置的传递函数中，能在 $\omega_c=1$ 处提供最大相位超前角的是：

B

A、$\frac{10s+1}{s+1}$　B、$\frac{10s+1}{0.1s+1}$　C、$\frac{2s+1}{0.5s+1}$　D、$\frac{0.1s+1}{10s+1}$

三、(8 分) 试建立如图 3 所示电路的动态微分方程，并求传递函数。

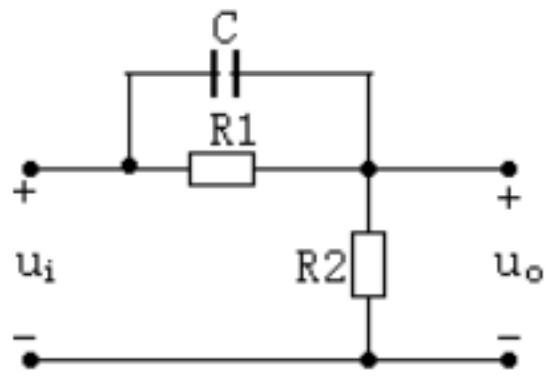


图 3

四、（共 20 分）系统结构图如图 4 所示：

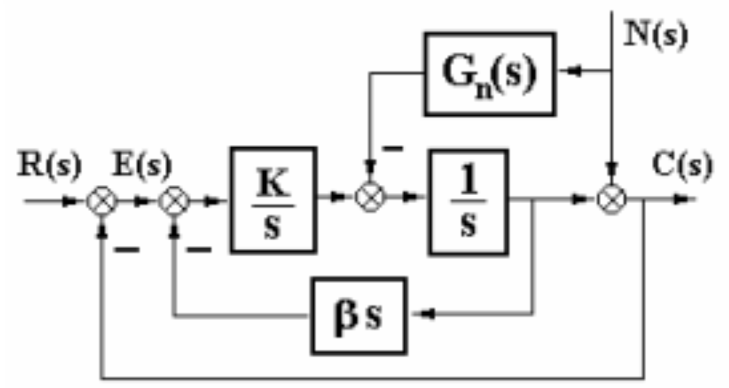


图 4

1、写出闭环传递函数 $\Phi(s)=\frac{C(s)}{R(s)}$ 表达式；（4 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；（4 分）

3、求此时系统的动态性能指标 $\sigma\%$，t_s；（4 分）

4、$r(t)=2t$ 时，求系统由 $r(t)$ 产生的稳态误差 e_{ss}；（4 分）

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

五、(共 15 分) 已知某单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\frac{K_r}{s(s+3)^2}$：

1、绘制该系统以根轨迹增益 K_r 为变量的根轨迹（求出：渐近线、分离点、与虚轴的交点等）；（8 分）

2、确定使系统满足 $0<\xi<1$ 的开环增益 K 的取值范围。（7 分）

六、(共 22 分）某最小相位系统的开环对数幅频特性曲线 $L_0(\omega)$ 如图 5

所示：

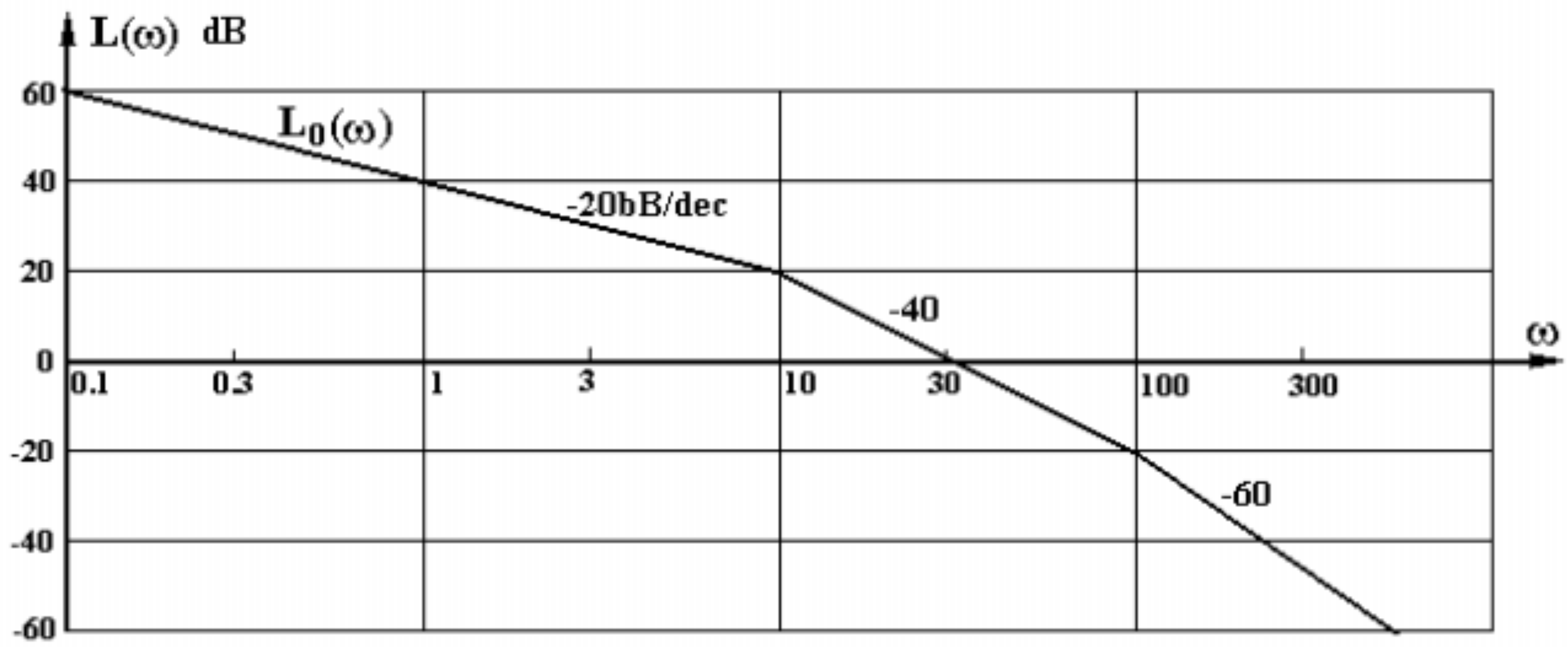


图3 对数幅频特性曲线

1、写出该系统的开环传递函数 $G_0(s)$；（8 分）

2、写出该系统的开环频率特性、开环幅频特性及开环相频特性。 （3 分）

3、求系统的相角裕度 γ。（7 分）

4、若系统的稳定裕度不够大，可以采用什么措施提高系统的稳定裕度? （4 分）

增加串联超前校正装置；增加串联滞后校正装置；增加串联滞后 -超前校正装置；增加开环零点；增加 PI 或 PD 或 PID 控制器；在积分换届外加单位负反馈。

试题二

一、填空题（每空 1 分，共 15 分）

1、在水箱水温控制系统中，受控对象为 ______水箱______，被控量为 水温____。

2、自动控制系统有两种基本控制方式，当控制装置与受控对象之间只有顺向作用而无反向联系时，称为 __开环控制系统______________；当控制装置与受控对象之间不但有顺向作用而且还有反向联系时，称为 __闭环控制系统______________；含有测速发电机的电动机速度控制系统，属于 __闭环控制系统____________。

3、稳定是对控制系统最基本的要求，若一个控制系统的响应曲线为衰减振荡，则该系统 __稳定__________。判断一个闭环线性控制系统是否稳定，在时域分析中采用 ________劳斯判据________；在频域分析中采用 ____________奈奎斯特判据________。

4、传递函数是指在 __零__初始条件下、线性定常控制系统的 __输出拉氏变换__ 与 __输入拉氏变换__________________________ 之比。

5、设系统的开环传递函数为 $\frac{K(\tau s+1)}{s^2(Ts+1)}$，则其开环幅频特性为______________，相频特性为 ________________________。

6、频域性能指标与时域性能指标有着对应关系，开环频域性能指标中的幅值穿越频率 ω_c 对应时域性能指标 ___调整时间 t（s)_____，它们反映了系统动态过程的 ______快速性______。

二、选择题（每题 2 分，共 20 分）

1、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。

2、下列哪种措施对改善系统的精度没有效果 (C)。

A、增加积分环节　　B、提高系统的开环增益 K

C、增加微分环节　　D、引入扰动补偿

3、高阶系统的主导闭环极点越靠近虚轴，则系统的 (D) 。

A、准确度越高　　B、准确度越低

C、响应速度越快　　D、响应速度越慢

4、已知系统的开环传递函数为 $\frac{50}{(2s+1)(s+5)}$，则该系统的开环增益为 (C　　)。

A、 50　　B、25　　C、10　　D、5

5、若某系统的根轨迹有两个起点位于原点，则说明该系统 (　　B)。

A、含两个理想微分环节　　B、含两个积分环节

C、位置误差系数为 0　　D、速度误差系数为 0

6、开环频域性能指标中的相角裕度 γ 对应时域性能指标 (　A　)。

A、超调 $\sigma\%$　　B、稳态误差 e_{ss}　　C、调整时间 t_s　　D、峰值时间 t_p

7、已知某些系统的开环传递函数如下，属于最小相位系统的是 (B　)

A、$\frac{K(2-s)}{s(s+1)}$　　B、$-\frac{K(s+1)}{s(s+5)}$　　C、$\frac{K}{s(s^2-s+1)}$　　D、$\frac{K(1-s)}{s(2-s)}$

8、若系统增加合适的开环零点，则下列说法不正确的是 (　B)　。

A、可改善系统的快速性及平稳性；　　B、会增加系统的信噪比；

C、会使系统的根轨迹向 s 平面的左方弯曲或移动；

D、可增加系统的稳定裕度。

9、开环对数幅频特性的低频段决定了系统的 (A　)　。

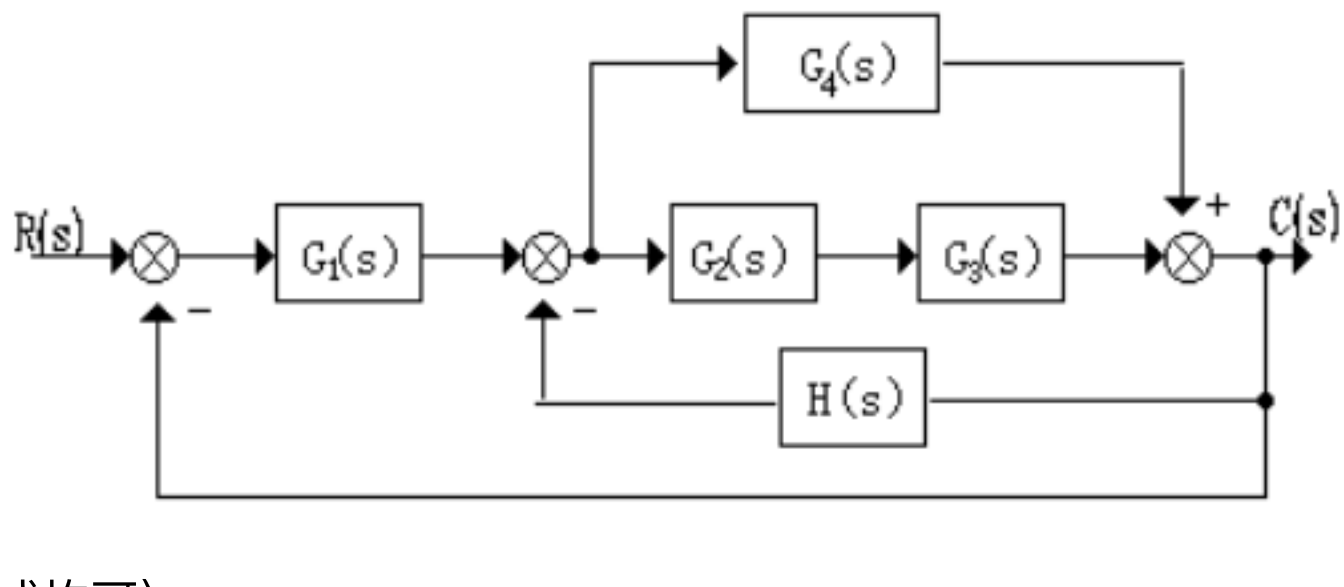
A、稳态精度　　B、稳定裕度　　C、抗干扰性能　　D、快速性

10、下列系统中属于不稳定的系统是 (　D)　。

A、闭环极点为 $s_{1,2}=-1\pm j2$ 的系统　　B、闭环特征方程为 $s^2+2s+1=0$ 的系统

C、阶跃响应为 $c(t)=20(1+e^{-0.4t})$ 的系统　　D、脉冲响应为 $h(t)=8e^{0.4t}$ 的系统

三、(8 分) 写出下图所示系统的传递函数 $\frac{C(s)}{R(s)}$（结构图化简，梅逊公式均可）。



四、(共 20 分) 设系统闭环传递函数 $\Phi(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{1}{T^2s^2+2\xi Ts+1}$，试求：

1、$\xi=0.2$；$T=0.08s$； $\xi=0.8$；$T=0.08s$ 时单位阶跃响应的超调量 $\sigma\%$、调节时间 t_s 及峰值时间 t_p。(7 分)

2 、$\xi=0.4$；$T=0.04s$ 和 $\xi=0.4$；$T=0.16s$ 时单位阶跃响应的超调量 $\sigma\%$、调节时间 t_s 和峰值时间 t_p。(7 分)

3、根据计算结果，讨论参数 ξ、T 对阶跃响应的影响。(6 分)

五、(共 15 分) 已知某单位反馈系统的开环传递函数为 $G(S)H(S)=\frac{K_r(s+1)}{s(s-3)}$，试：

1、绘制该系统以根轨迹增益 K_r 为变量的根轨迹（求出：分离点、与虚轴的交点等）；(8 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。(7 分)

六、(共 22 分) 已知反馈系统的开环传递函数为 $G(s)H(s)=\frac{K}{s(s+1)}$，

试：

1、用奈奎斯特判据判断系统的稳定性；（10 分）

2、若给定输入 $r(t) = 2t + 2$ 时，要求系统的稳态误差为 0.25，问开环增益 K 应取何值。

（7 分）

3、求系统满足上面要求的相角裕度 γ。（5 分）

试题三

一、填空题（每空 1 分，共 20 分）

1、对自动控制系统的基本要求可以概括为三个方面，即：__稳定性__、快速性和__准确性__。

2、控制系统的__输出拉氏变换与输入拉氏变换在零初始条件下的比值__称为传递函数。一阶系统传函标准形式是________，二阶系统传函标准形式是________。

3、在经典控制理论中，可采用__劳斯判据__、根轨迹法或__奈奎斯特判据__等方法判断线性控制系统稳定性。

4、控制系统的数学模型，取决于系统__结构__和__参数__，与外作用及初始条件无关。

5、线性系统的对数幅频特性，纵坐标取值为__L(w)__，横坐标为__w__。

6、奈奎斯特稳定判据中，$Z = P - R$，其中 P 是指__开环传函中具有正实部的极点的个数__，Z 是指__闭环传函中具有正实部的几点的个数__，R指__奈氏曲线逆时针方向包围（-1,j0）整圈数__。

7、在二阶系统的单位阶跃响应图中，t_s 定义为________。$\sigma\%$ 是________。

8、PI 控制规律的时域表达式是________。P I D 控制规律的传递函数表达式是________。

9、设系统的开环传递函数为 $\dfrac{K}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$，则其开环幅频特性为________，相频特性为________。

二、判断选择题（每题 2 分，共 16 分）

1、关于线性系统稳态误差，正确的说法是：（ C ）

A、一型系统在跟踪斜坡输入信号时无误差；

B、稳态误差计算的通用公式是 $e_{ss} = \lim\limits_{s \to 0} \dfrac{s^2 R(s)}{1 + G(s)H(s)}$；

C、增大系统开环增益 K 可以减小稳态误差；

D、增加积分环节可以消除稳态误差，而且不会影响系统稳定性。

2、适合应用传递函数描述的系统是（A）。

A 、单输入，单输出的线性定常系统；

B、单输入，单输出的线性时变系统；

C、单输入，单输出的定常系统；

D、非线性系统。

3、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 （ B ）。

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

4、非单位负反馈系统，其前向通道传递函数为 G(S)，反馈通道传递函数为 H(S)，当输入信号为 R(S)，则从输入端定义的误差 E(S)为 （ D ）

A、 $E(S)=R(S)\cdot G(S)$　　　　B 、 $E(S)=R(S)\cdot G(S)\cdot H(S)$

C 、 $E(S)=R(S)\cdot G(S)-H(S)$　　　　D、 $E(S)=R(S)-G(S)H(S)$

5、已知下列负反馈系统的开环传递函数，应画零度根轨迹的是 （ A ）。

A、 $\dfrac{K^*(2-s)}{s(s+1)}$　　B 、 $\dfrac{K^*}{s(s-1)(s+5)}$　　C 、 $\dfrac{K^*}{s(s^2-3s+1)}$　　D、 $\dfrac{K^*(1-s)}{s(2-s)}$

6、闭环系统的动态性能主要取决于开环对数幅频特性的： D

A、低频段　　B、开环增益　　C、高频段　　D、中频段

7、已知单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{10(2s+1)}{s^2(s^2+6s+100)}$，当输入信号是 $r(t)=2+2t+t^2$ 时，系统的稳态误差是 （ D ）

A、 0 ；　B 、 ∞ ；　C 、 10 ；　D 、 20

8、关于系统零极点位置对系统性能的影响，下列观点中正确的是 （ A ）

A 、 如果闭环极点全部位于 S 左半平面，则系统一定是稳定的。稳定性与闭环零点位置无关；

B、 如果闭环系统无零点，且闭环极点均为负实数极点，则时间响应一定是衰减振荡的；

C 、 超调量仅取决于闭环复数主导极点的衰减率，与其它零极点位置无关；

D、 如果系统有开环极点处于 S 右半平面，则系统不稳定。

三、(16 分) 已知系统的结构如图 1 所示，其中 $G(s)=\dfrac{k(0.5s+1)}{s(s+1)(2s+1)}$，输入信号为单位斜坡函数，求系统的稳态误差 (8 分) 。分析能否通过调节增益 k ，使稳态误差小于 0.2 (8 分) 。

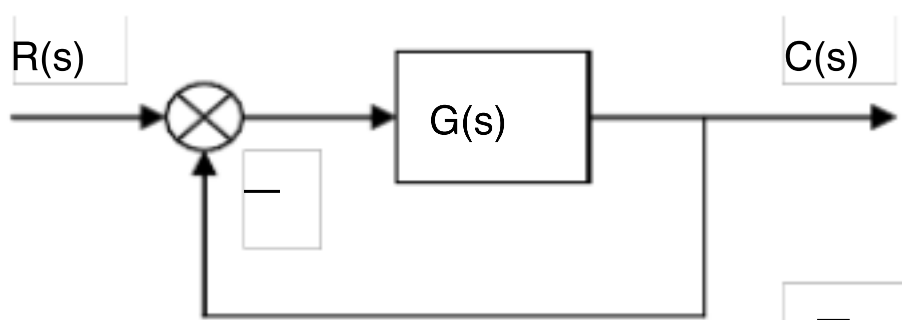


图 1

四、(16 分) 设负反馈系统如图 2，前向通道传递函数为 $G(s)=\dfrac{10}{s(s+2)}$，若采用测速负反馈 $H(s)=1+k_s s$，试画出以 k_s 为参变量的根轨迹 (10 分)，并讨论 k_s 大小对系统性能的影响 (6 分)。

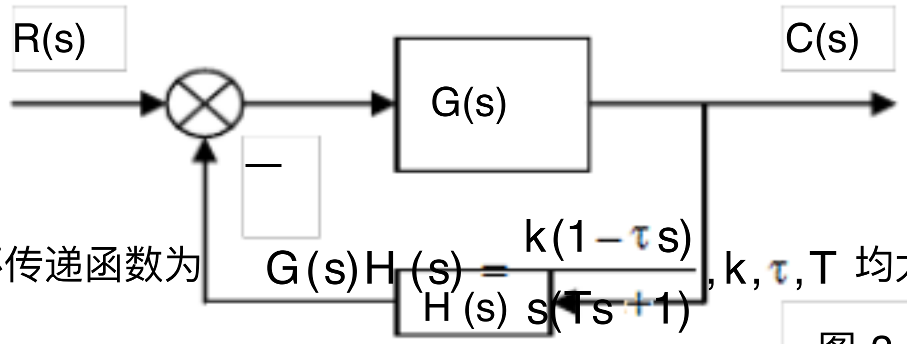


图 2

五、已知系统开环传递函数为 $G(s)H(s)=\dfrac{k(1-\tau s)}{s(Ts+1)}$, k,τ,T 均大于 0，试用奈奎斯特稳定判据判断系统稳定性。(16 分) [第五题、第六题可任选其一]

六、已知最小相位系统的对数幅频特性如图 3 所示。试求系统的开环传递函数。(16 分)

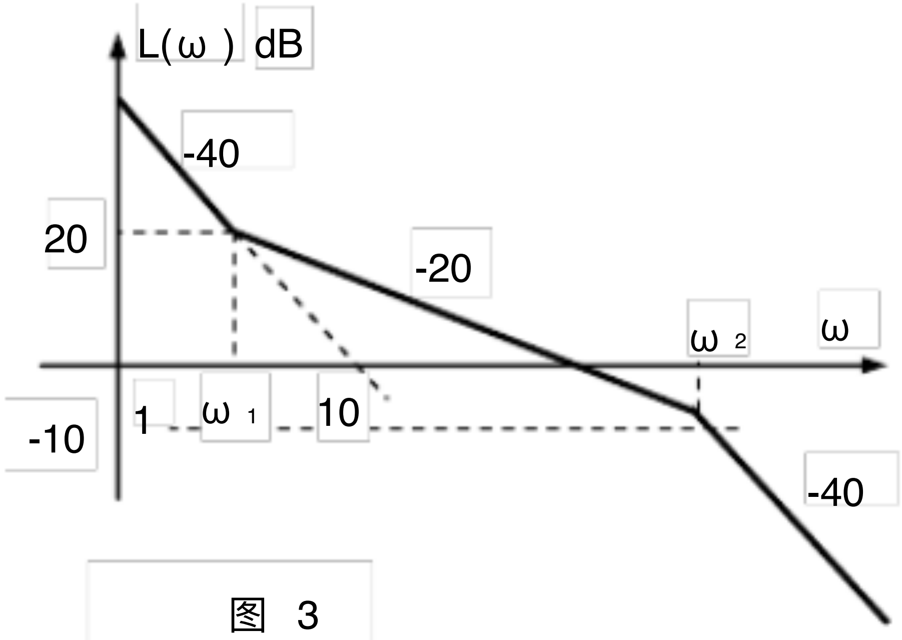


图 3

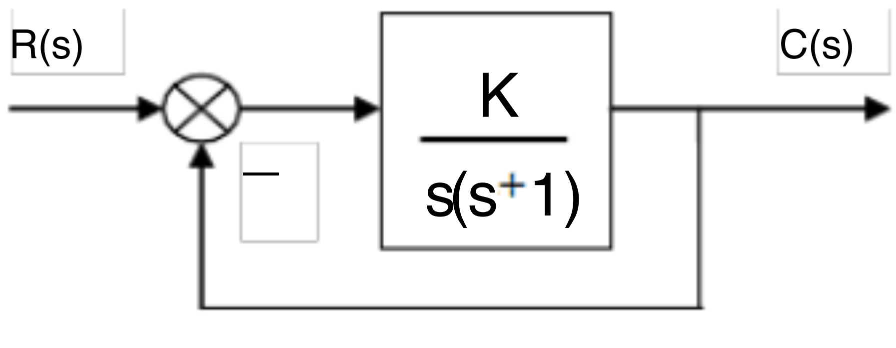


图 4

七、设控制系统如图 4，要求校正后系统在输入信号是单位斜坡时的稳态误差不大于 0.05，

相角裕度不小于 40^{o}，幅值裕度不小于 10 dB，试设计串联校正网络。（16 分）

试题四

一、填空题（每空 1 分，共 15 分）

1、对于自动控制系统的性能要求可以概括为三个方面，即：________________、和____________，其中最基本的要求是 ____________________。

2、若某单位负反馈控制系统的前向传递函数为 $G(s)$，则该系统的开环传递函数为_______________。

3、能表达控制系统各变量之间关系的数学表达式或表示方法，叫系统的数学模型，在古典控制理论中系统数学模型有 __________、___________________等。

4、判断一个闭环线性控制系统是否稳定，可采用 __________、______________、____________________等方法。

5、设系统的开环传递函数为 $\dfrac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$，则其开环幅频特性为 __________，相频特性为 ______________________。

6、PID 控制器的输入－输出关系的时域表达式是 __________________________，其相应的传递函数为 ____。

7、最小相位系统是指 ______________________________。

二、选择题（每题 2 分，共 20 分）

1、关于奈氏判据及其辅助函数 $F(s)= 1 + G(s)H(s)$，错误的说法是 （ ）

A、 F(s) 的零点就是开环传递函数的极点

B、 F(s) 的极点就是开环传递函数的极点

C、 F(s) 的零点数与极点数相同

D、 F(s) 的零点就是闭环传递函数的极点

2、已知负反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{2s+1}{s^2+6s+100}$，则该系统的闭环特征方程为 （ ）。

A、$s^2+6s+100=0$　　　　B、$(s^2+6s+100)+(2s+1)=0$

C、$s^2+6s+100+1=0$　　　　D、与是否为单位反馈系统有关

3、一阶系统的闭环极点越靠近 S 平面原点，则 ( ) 。

A、准确度越高　　B、准确度越低　　C、响应速度越快　　D、响应速度越慢

4、已知系统的开环传递函数为 $\dfrac{100}{(0.1s+1)(s+5)}$，则该系统的开环增益为 ( )。

A、 100　　B、1000　　C、20　　D、不能确定

5、若两个系统的根轨迹相同，则有相同的：

A、闭环零点和极点　　B、开环零点　　C、闭环极点　　D、阶跃响应

6、下列串联校正装置的传递函数中，能在 $\omega_c=1$ 处提供最大相位超前角的是 ( )。

A、 $\dfrac{10s+1}{s+1}$　　B、 $\dfrac{10s+1}{0.1s+1}$　　C、 $\dfrac{2s+1}{0.5s+1}$　　D、 $\dfrac{0.1s+1}{10s+1}$

7、关于 PI 控制器作用，下列观点正确的有 ( )

A、 可使系统开环传函的型别提高，消除或减小稳态误差；

B、 积分部分主要是用来改善系统动态性能的；

C、 比例系数无论正负、大小如何变化，都不会影响系统稳定性；

D、 只要应用 PI 控制规律，系统的稳态误差就为零。

8、关于线性系统稳定性的判定，下列观点正确的是 ( ) 。

A 、 线性系统稳定的充分必要条件是：系统闭环特征方程的各项系数都为正数；

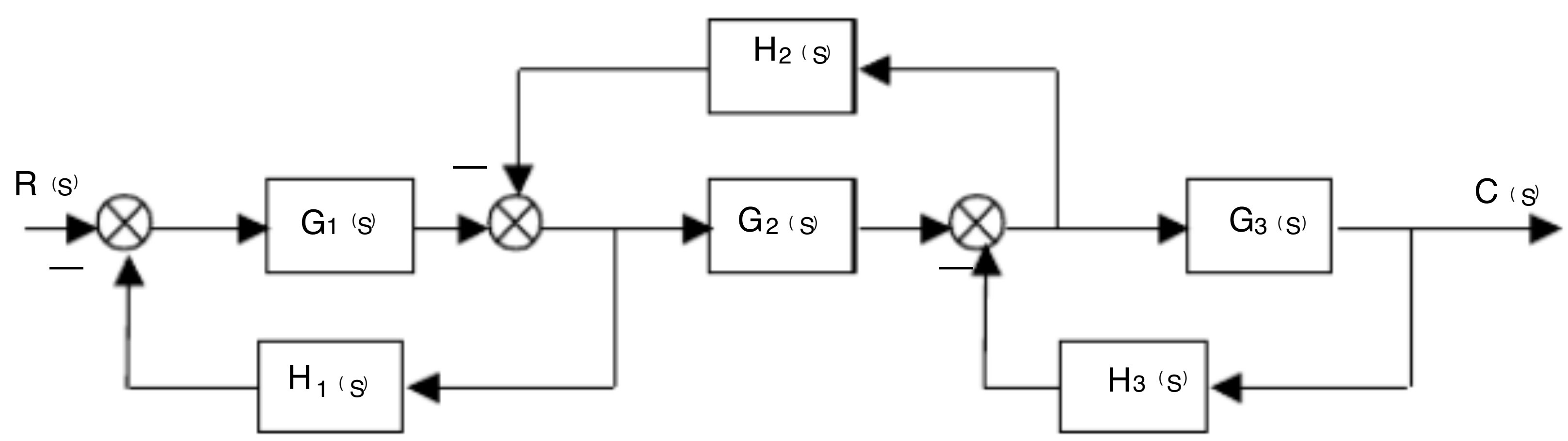
B 、 无论是开环极点或是闭环极点处于右半 S 平面，系统不稳定；

C 、 如果系统闭环系统特征方程某项系数为负数，系统不稳定；

D 、 当系统的相角裕度大于零，幅值裕度大于 1 时，系统不稳定。

9、关于系统频域校正，下列观点错误的是 ( )

A、 一个设计良好的系统，相角裕度应为 45 度左右；



B、 开环频率特性，在中频段对数幅频特性斜率应为 $-20dB/dec$；

C、 低频段，系统的开环增益主要由系统动态性能要求决定；

D、 利用超前网络进行串联校正，是利用超前网络的相角超前特性。

10、已知单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{10(2s+1)}{s^2(s^2+6s+100)}$，当输入信号是 $r(t)=2+2t+t^2$ 时，系统的稳态误差是 ( )

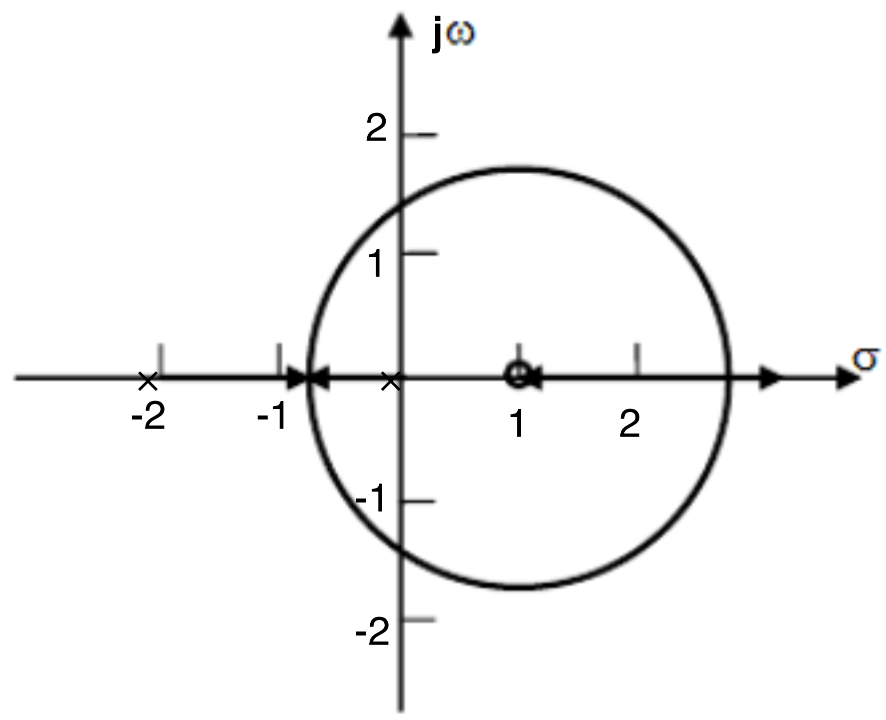
A 、0　　B 、 ∞　　C 、10　　D 、20

三、写出下图所示系统的传递函数 $\dfrac{C(s)}{R(s)}$（结构图化简，梅逊公式均可） 。

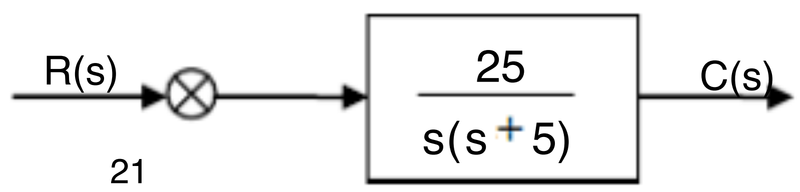
四、(共 15 分) 已知某单位反馈系统的闭环根轨迹图如下图所示

1、写出该系统以根轨迹增益 K^* 为变量的开环传递函数；（7 分）

2、求出分离点坐标，并写出该系统临界阻尼时的闭环传递函数。 （8 分）



五、系统结构如下图所示， 求系统的超调量 $\sigma\%$ 和调节时间 t_s。(12 分)

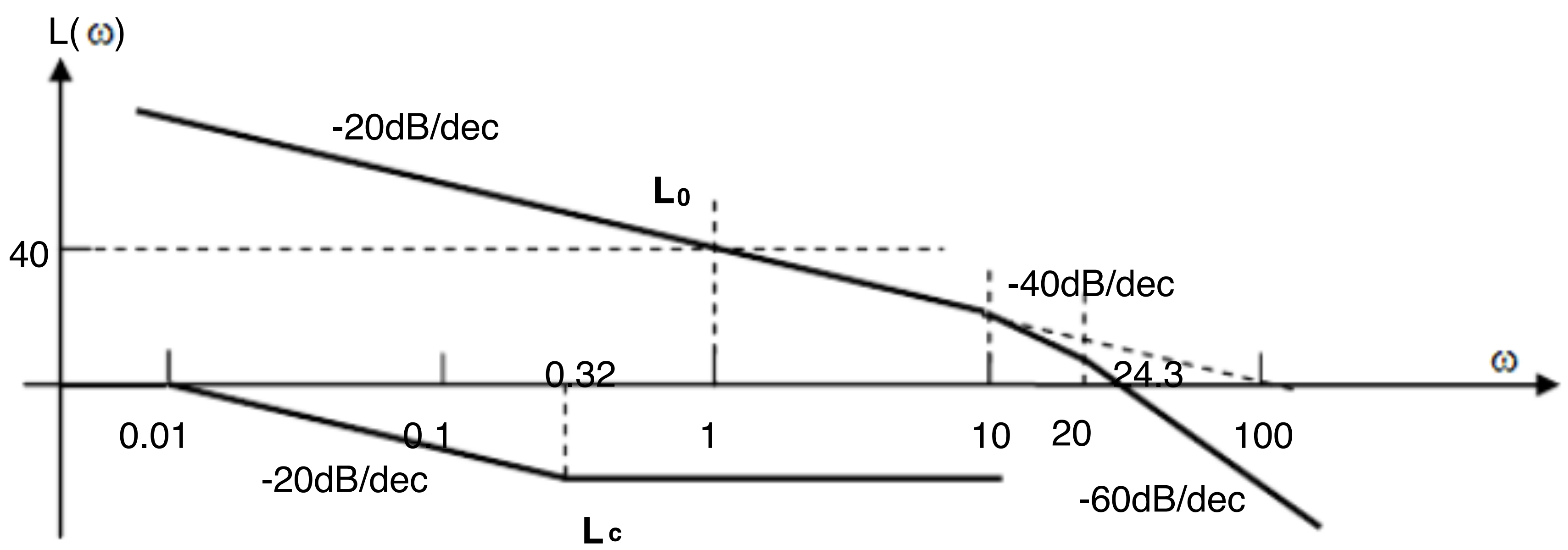


六、已知最小相位系统的开环对数幅频特性 $L_0(\omega)$ 和串联校正装置的对数幅频特性 $L_c(\omega)$ 如下图所示，原系统的幅值穿越频率为 $\omega_c = 24.3 rad/s$：（共 30 分）

1、 写出原系统的开环传递函数 $G_0(s)$,并求其相角裕度 γ_0，判断系统的稳定性；（10 分）

2、 写出校正装置的传递函数 $G_c(s)$；（5 分）

3、写出校正后的开环传递函数 $G_0(s)G_c(s)$，画出校正后系统的开环对数幅频特性 $L_{GC}(\omega)$，并用劳斯判据判断系统的稳定性。 （15 分）



答案

试题一

一、填空题（每题 1 分，共 15 分）

1、给定值

2、输入；扰动；

3、$G_1(s)+G_2(s)$；

4、$\sqrt{2}$；$\frac{\sqrt{2}}{2}=0.707$；$s^2+2s+2=0$；衰减振荡

5、$\frac{10}{s+0.2s}+\frac{5}{s+0.5s}$；

6、开环极点；开环零点

7、$\frac{K(\tau s+1)}{s(Ts+1)}$

8、$u(t)=K_p[e(t)+\frac{1}{T}\int e(t)dt]$；$K_p[1+\frac{1}{Ts}]$；稳态性能

二、判断选择题（每题 2 分，共 20 分）

1、D　2、A　3、C　4、A　5、D　6、A　7、B　8、C　9、B　10、B

三、(8 分) 建立电路的动态微分方程，并求传递函数。

解：1、建立电路的动态微分方程

根据 KCL 有 $$\frac{u_i(t)-u_0(t)}{R_1}+C\frac{d[u_i(t)-u_0(t)]}{dt}=\frac{u_0(t)}{R_2}$$

(2 分)

即 $$R_1R_2C\frac{du_0(t)}{dt}+(R_1+R_2)u_0(t)=R_1R_2C\frac{du_i(t)}{dt}+R_2u_i(t)$$

(2 分)

2、求传递函数

对微分方程进行拉氏变换得

$$R_1R_2CsU_0(s)+(R_1+R_2)U_0(s)=R_1R_2CsU_i(s)+R_2U_i(s)$$ (2 分)

得传递函数 $$G(s)=\frac{U_0(s)}{U_i(s)}=\frac{R_1R_2Cs+R_2}{R_1R_2Cs+R_1+R_2}$$ (2 分)

四、(共 20 分)

解：1、(4 分) $$\Phi(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{\frac{K}{s^2}}{1+\frac{K\beta}{s}+\frac{K}{s^2}}=\frac{K}{s^2+K\beta s+K}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$$

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

3、(4 分) $$\sigma\%=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}=4.32\%$$

$$t_s=\frac{4}{\xi\omega_n}=\frac{4}{\sqrt{2}}=2.83$$

4、(4 分) $$G(s)=\frac{\frac{K}{s^2}}{1+\frac{K\beta}{s}}=\frac{K}{s(s+K\beta)}=\frac{1}{\beta s(s+1)}\qquad \begin{cases}K_K=1/\beta\\ v=1\end{cases}$$

$$e_{ss}=\frac{A}{K_K}=2\beta=1.414$$

5、(4 分) 令： $$\Phi_n(s)=\frac{C(s)}{N(s)}=\frac{\left(1+\frac{K\beta}{s}\right)-\frac{1}{s}G_n(s)}{\Delta(s)}=0$$

得： $$G_n(s)=s+K\beta$$

五、(共 15 分)

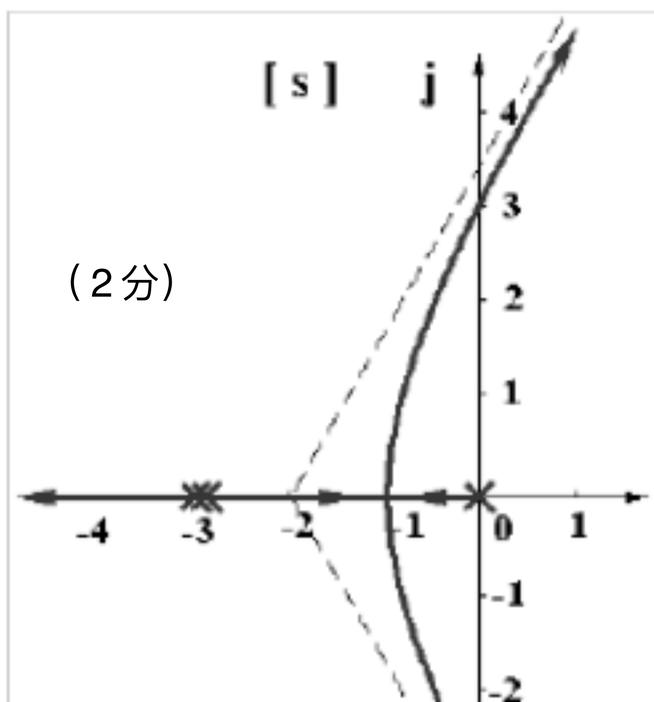
1、绘制根轨迹 (8 分)

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

(2) 实轴上的轨迹：（-∞，-3）及（-3，0）； (1 分)

(3) 3 条渐近线： $$\begin{cases}\sigma_a=\frac{-3-3}{3}=-2\\ \pm 60^\circ,\ 180^\circ\end{cases}$$ (2 分)

(4) 分离点： $$\frac{1}{d}+\frac{2}{d+3}=0$$ 得： $d=-1$



(2分)

$$K_r = d|d+3|^2 = 4$$

(5) 与虚轴交点： $D(s) = s^3 + 6s^2 + 9s + K_r = 0$

$$\begin{cases} \mathrm{Im}[D(j\omega)] = -\omega^3 + 9\omega = 0 \\ \mathrm{Re}[D(j\omega)] = -6\omega^2 + K_r = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} \omega = 3 \\ K_r = 54 \end{cases}$$ （2 分）

绘制根轨迹如右图所示。

2、（7 分） 开环增益 K 与根轨迹增益 K_r 的关系： $G(s) = \dfrac{K_r}{s(s+3)^2} = \dfrac{\frac{K_r}{9}}{s\left[\left(\frac{s}{3}\right)^2 + 1\right]}$

得 $K = K_r/9$ （1 分）

系统稳定时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $K_r < 54$， （2 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $4 < K_r < 54$， （3 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围： $\frac{4}{9} < K < 6$ （1 分）

六、（共 22 分）

解： 1、从开环波特图可知，原系统具有比例环节、一个积分环节、两个惯性环节。

故其开环传函应有以下形式 $G(s) = \dfrac{K}{s(\frac{1}{\omega_1}s+1)(\frac{1}{\omega_2}s+1)}$ (2 分)

由图可知： $\omega = 1$ 处的纵坐标为 40dB， 则 $L(1) = 20\lg K = 40$，得 $K = 100$ (2 分)

$\omega_1 = 10$ 和 $\omega_2 = 100$ （2 分）

故系统的开环传函为 $G_0(s) = \dfrac{100}{s\left(\frac{s}{10}+1\right)\left(\frac{s}{100}+1\right)}$ （2 分）

2、写出该系统的开环频率特性、开环幅频特性及开环相频特性：

开环频率特性 $G_0(j\omega) = \dfrac{100}{j\omega\left(j\frac{\omega}{10}+1\right)\left(j\frac{\omega}{100}+1\right)}$ （1 分）

开环幅频特性 $$A_0(\omega)=\frac{100}{\omega\sqrt{\left(\frac{\omega}{10}\right)^2+1}\sqrt{\left(\frac{\omega}{100}\right)^2+1}}$$ （1 分）

开环相频特性： $\varphi_0(s)=-90^\circ-tg^{-1}0.1\omega-tg^{-1}0.01\omega$ （1 分）

3、求系统的相角裕度 γ：

求幅值穿越频率，令 $A_0(\omega)=\frac{100}{\omega\sqrt{\left(\frac{\omega}{10}\right)^2+1}\sqrt{\left(\frac{\omega}{100}\right)^2+1}}=1$ 得 $\omega_c\approx 31.6rad/s$（3 分）

$\varphi_0(\omega_c)=-90^\circ-tg^{-1}0.1\omega_c-tg^{-1}0.01\omega_c=-90^\circ-tg^{-1}3.16-tg^{-1}0.316\approx-180^\circ$ （2 分）

$\gamma=180^\circ+\varphi_0(\omega_c)=180^\circ-180^\circ=0$ （2 分）

对最小相位系统 $\gamma=0^\circ$ 临界稳定

4、(**4** 分) 可以采用以下措施提高系统的稳定裕度：增加串联超前校正装置；增加串联滞后校正装置；增加串联滞后 -超前校正装置；增加开环零点；增加 PI 或 PD 或 PID 控制器；在积分环节外加单位负反馈。

试题二答案

一、填空题（每题 1 分，共 20 分）

1、水箱；水温

2、开环控制系统；闭环控制系统；闭环控制系统

3、稳定；劳斯判据；奈奎斯特判据

4、零； 输出拉氏变换；输入拉氏变换

5、$\frac{K\sqrt{\tau^2\omega^2+1}}{\omega^2\sqrt{T^2\omega^2+1}}$； $\arctan\tau\omega-180^\circ-\arctan T\omega$ (或： $-180^\circ-\arctan\frac{\tau\omega-T\omega}{1+\tau T\omega^2}$)

6、调整时间 t_s；快速性

二、判断选择题（每题 2 分，共 20 分）

1、B 2、C 3、D 4、C 5、B 6、A 7、B 8、B 9、A 10、D

三、(8 分) 写出下图所示系统的传递函数 $\frac{C(s)}{R(s)}$ （结构图化简，梅逊公式均可）。

解：传递函数 G(s): 根据梅逊公式 $G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{\sum_{i=1}^{n}P_i\Delta_i}{\Delta}$ （1 分）

4 条回路：$L_1=-G_2(s)G_3(s)H(s)$， $L_2=-G_4(s)H(s)$，

$L_3=-G_1(s)G_2(s)G_3(s)$， $L_4=-G_1(s)G_4(s)$ 无互不接触回路。（2 分）

特征式：

$$\Delta=1-\sum_{i=1}^{4}L_i=1+G_2(s)G_3(s)H(s)+G_4(s)H(s)+G_1(s)G_2(s)G_3(s)+G_1(s)G_4(s)$$

（2分）

2 条前向通道： $P_1=G_1(s)G_2(s)G_3(s)$， $\Delta_1=1$；

$P_2=G_1(s)G_4(s)$， $\Delta_2=1$ （2 分）

$$\therefore G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{P_1\Delta_1+P_2\Delta_2}{\Delta}=\frac{G_1(s)G_2(s)G_3(s)+G_1(s)G_4(s)}{1+G_2(s)G_3(s)H(s)+G_4(s)H(s)+G_1(s)G_2(s)G_3(s)+G_1(s)G_4(s)}$$

（1 分）

四、（共 20 分）

解：系统的闭环传函的标准形式为： $\Phi(s)=\frac{1}{T^2s^2+2\xi Ts+1}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$，其中 $\omega_n=\frac{1}{T}$

1、当 $\begin{cases}\xi=0.2\\ T=0.08\end{cases}$ 时，
$$\begin{cases}\sigma\%=e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}}=e^{-0.2\pi/\sqrt{1-0.2^2}}=52.7\%\\ t_s=\frac{4}{\xi\omega_n}=\frac{4T}{\xi}=\frac{4\times0.08}{0.2}=1.6s\\ t_p=\frac{\pi}{\omega_d}=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}=\frac{\pi T}{\sqrt{1-\xi^2}}=\frac{\pi\times0.08}{\sqrt{1-0.2^2}}=0.26s\end{cases}$$
（4 分）

当 $\begin{cases}\xi=0.8\\ T=0.08\end{cases}$ 时，
$$\begin{cases}\sigma\%=e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}}=e^{-0.8\pi/\sqrt{1-0.8^2}}=1.5\%\\ t_s=\frac{4}{\xi\omega_n}=\frac{4T}{\xi}=\frac{4\times0.08}{0.8}=0.4s\\ t_p=\frac{\pi}{\omega_d}=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}=\frac{\pi T}{\sqrt{1-\xi^2}}=\frac{\pi\times0.08}{\sqrt{1-0.8^2}}=0.42s\end{cases}$$
（3 分）

2、当 $\begin{cases}\xi = 0.4 \\ T = 0.04s\end{cases}$ 时，$\begin{cases}\sigma\% = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} = e^{-0.4\pi/\sqrt{1-0.4^2}} = 25.4\% \\ t_s = \dfrac{4}{\xi\omega_n} = \dfrac{4T}{\xi} = \dfrac{4\times 0.04}{0.4} = 0.4s \\ t_p = \dfrac{\pi}{\omega_d} = \dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi T}{\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi\times 0.04}{\sqrt{1-0.4^2}} = 0.14s\end{cases}$ （4 分）

当 $\begin{cases}\xi = 0.4 \\ T = 0.16s\end{cases}$ 时，$\begin{cases}\sigma\% = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} = e^{-0.4\pi/\sqrt{1-0.4^2}} = 25.4\% \\ t_s = \dfrac{4}{\xi\omega_n} = \dfrac{4T}{\xi} = \dfrac{4\times 0.16}{0.4} = 1.6s \\ t_p = \dfrac{\pi}{\omega_d} = \dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi T}{\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi\times 0.16}{\sqrt{1-0.4^2}} = 0.55s\end{cases}$ （3 分）

3、根据计算结果，讨论参数 ξ、T 对阶跃响应的影响。（6 分）

(1)系统超调 $\sigma\%$ 只与阻尼系数 ξ 有关，而与时间常数 T 无关，ξ 增大，超调 $\sigma\%$ 减小；（2 分）

(2)当时间常数 T 一定，阻尼系数 ξ 增大，调整时间 t_s 减小，即暂态过程缩短；峰值时间 t_p 增加，即初始响应速度变慢；（2 分）

(3)当阻尼系数 ξ 一定，时间常数 T 增大，调整时间 t_s 增加，即暂态过程变长；峰值时间 t_p 增加，即初始响应速度也变慢。（2 分）

五、(共 15 分)

(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；（2 分）

(2) 实轴上的轨迹：(-∞，-1）及（0，3)；（2 分）

(3) 求分离点坐标

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

分别对应的根轨迹增益为 $K_r = 1$，$K_r = 9$

(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）

根轨迹如图 1 所示。

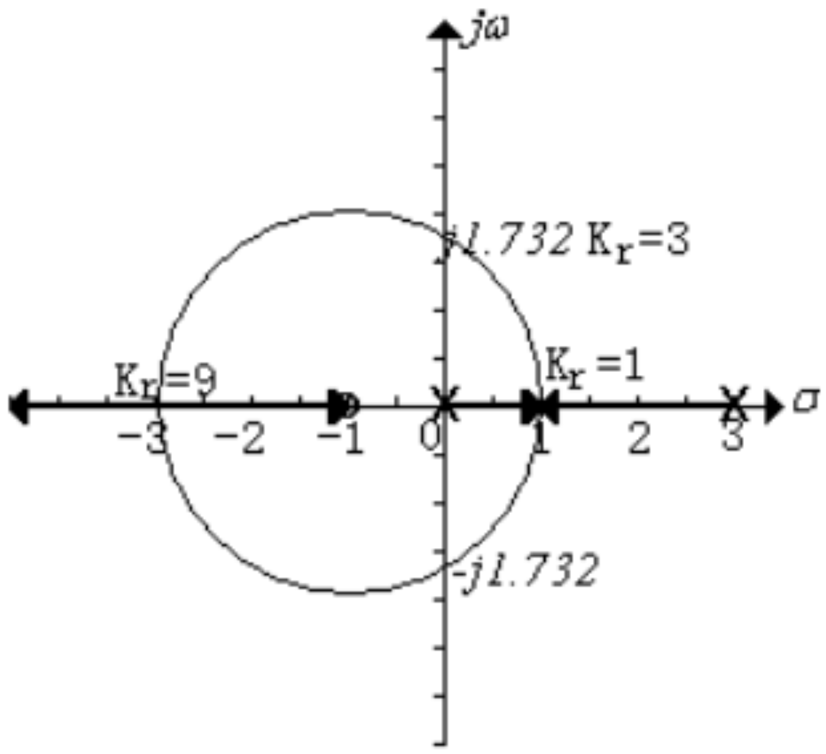


图 1

2、求系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围

系统稳定时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $K_r\geq 3$, （2 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $K_r=3\sim 9$, （3 分）

开环增益 K 与根轨迹增益 K_r 的关系： $K=\dfrac{K_r}{3}$ （1 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围： $K=1\sim 3$ （1 分）

六、（共 22 分）

解：1、系统的开环频率特性为 $G(j\omega)H(j\omega)=\dfrac{K}{j\omega(1+j\omega)}$ （2 分）

幅频特性： $A(\omega)=\dfrac{K}{\omega\sqrt{1+\omega^2}}$， 相频特性： $\varphi(\omega)=-90^\circ-\arctan\omega$ （2 分）

起点： $\omega=0_+,\ A(0_+)=\infty,\ \varphi(0_+)=-90^\circ$；（1 分）

终点： $\omega\to\infty,\ A(\infty)=0,\ \varphi(\infty)=-180^\circ$；（1 分）

$\omega=0\sim\infty:\ \varphi(\omega)=-90^\circ\sim-180^\circ$,

曲线位于第 3 象限与实轴无交点。（1 分）

开环频率幅相特性图如图 2 所示。

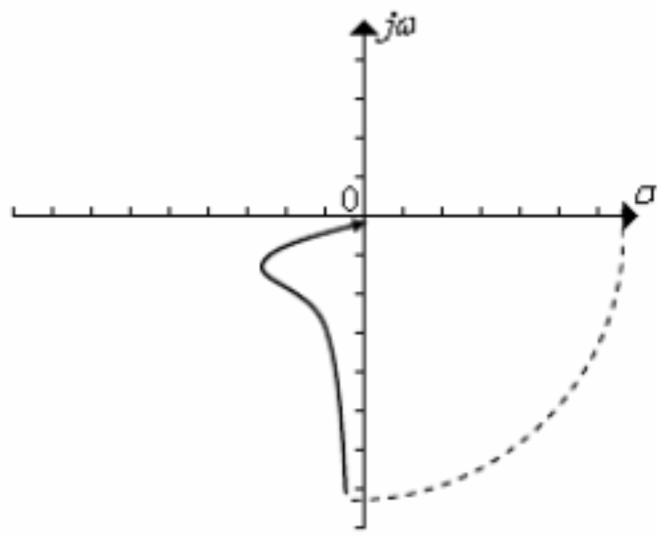


图 2

判断稳定性：

开环传函无右半平面的极点，则 $P=0$，

极坐标图不包围（−1，j0）点，则 $N=0$

根据奈氏判据，$Z=P-2N=0$ 系统稳定。（3 分）

2、若给定输入 $r(t)=2t+2$ 时，要求系统的稳态误差为 0.25，求开环增益 K：

系统为 1 型，位置误差系数 $K_P=\infty$，速度误差系数 $K_V=K$，（2 分）

依题意：

$$e_{ss}=\frac{A}{K_v}=\frac{A}{K}=\frac{2}{K}=0.25,$$

（3 分）

得

$$K=8$$

（2 分）

故满足稳态误差要求的开环传递函数为 $G(s)H(s)=\dfrac{8}{s(s+1)}$

3、满足稳态误差要求系统的相角裕度 γ：

令幅频特性：$A(\omega)=\dfrac{8}{\omega\sqrt{1+\omega^2}}=1$，得 $\omega_c=2.7$，（2 分）

$$\varphi(\omega_c)=-90^\circ-\arctan\omega_c=-90^\circ-\arctan 2.7\approx-160^\circ,$$ （1 分）

相角裕度 γ：$\gamma=180^\circ+\varphi(\omega_c)=180^\circ-160^\circ=20^\circ$ （2 分）

试题三答案

一、填空题（每题 1 分，共 20 分）

1、稳定性（或：稳，平稳性）；准确性（或：稳态精度，精度）

2、输出拉氏变换与输入拉氏变换在零初始条件下的比值；$G(s)=\dfrac{1}{Ts+1}$；

$$G(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$ （或：$G(s)=\dfrac{1}{T^2s^2+2T\zeta s+1}$）

3、劳斯判据（或：时域分析法）；奈奎斯特判据（或：频域分析法）

4、结构；参数

5、$20\lg A(\omega)$（或：$L(\omega)$）；$\lg\omega$（或：ω 按对数分度）

6、开环传函中具有正实部的极点的个数，（或：右半 S 平面的开环极点个数）；

闭环传函中具有正实部的极点的个数（或：右半 S 平面的闭环极点个数，不稳定的根的个

数）；奈氏曲线逆时针方向包围 (-1, j0) 整圈数。

7、系统响应到达并保持在终值 ±5%或 ±2% 误差内所需的最短时间 （或：调整时间，调节时间）；响应的最大偏移量 $h(t_p)$ 与终值 $h(\infty)$ 的差与 $h(\infty)$ 的比的百分数。（或：$\dfrac{h(t_p)-h(\infty)}{h(\infty)}\times 100\%$，超调）

8、$m(t)=K_p e(t)+\dfrac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t)dt$ （或：$K_p e(t)+K_i\int_0^t e(t)dt$）；

$G_C(s)=K_p(1+\dfrac{1}{T_i s}+\tau s)$ （或：$K_p+\dfrac{K_i}{s}+K_d s$）

9、$A(\omega)=\dfrac{K}{\omega\sqrt{(T_1\omega)^2+1}\cdot\sqrt{(T_2\omega)^2+1}}$； $\varphi(\omega)=-90^0-tg^{-1}(T_1\omega)-tg^{-1}(T_2\omega)$

二、判断选择题（每题 2 分，共 16 分）

1、C 2、A 3、B 4、D 5、A 6、D 7、D 8、A

三、(16 分)

解：I 型系统在跟踪单位斜坡输入信号时，稳态误差为 $e_{ss}=\dfrac{1}{K_v}$ （2 分）

而静态速度误差系数 $K_v=\lim\limits_{s\to 0} s\cdot G(s)H(s)=\lim\limits_{s\to 0} s\cdot\dfrac{K(0.5s+1)}{s(s+1)(2s+1)}=K$ （2 分）

稳态误差为 $e_{ss}=\dfrac{1}{K_v}=\dfrac{1}{K}$。（4 分）

要使 $e_{ss}<0.2$ 必须 $K>\dfrac{1}{0.2}=5$，即 K 要大于 5。（6 分）

但其上限要符合系统稳定性要求。可由劳斯判据决定其上限。

系统的闭环特征方程是

$$D(s)=s(s+1)(2s+1)+0.5Ks+K=2s^3+3s^2+(1+0.5K)s+K=0 \quad （1 分）$$

构造劳斯表如下

$$\begin{array}{lll} s^3 & 2 & 1+0.5K \\ s^2 & 3 & K \\ s^1 & \dfrac{3-0.5K}{3} & 0 \\ s^0 & K & 0 \end{array}$$

为使首列大于 0， 必须 $0<K<6$。

综合稳态误差和稳定性要求，当 $5<K<6$ 时能保证稳态误差小于 0.2。（1 分）

四、(16 分)

解：系统的开环传函 $G(s)H(s)=\frac{10}{s(s+2)}(1+k_s s)$，其闭环特征多项式为 $D(s)$

$D(s)=s^2+2s+10k_s s+10=0$，（1 分）以不含 k_s 的各项和除方程两边，得

$\frac{10k_s s}{s^2+2s+10}=-1$ ，令 $10k_s=K^*$，得到等效开环传函为 $\frac{K^*}{s^2+2s+10}=-1$ （2 分）

参数根轨迹，起点：$p_{1,2}=-1\pm j3$，终点：有限零点 $z_1=0$，无穷零点 $-\infty$ （2 分）

实轴上根轨迹分布：$[-\infty,\ 0]$ （2 分）

实轴上根轨迹的分离点：令 $\frac{d}{ds}\left(\frac{s^2+2s+10}{s}\right)=0$，得

$$s^2-10=0, s_{1,2}=\pm\sqrt{10}=\pm 3.16$$

合理的分离点是 $s_1=-\sqrt{10}=-3.16$，（2 分）该分离点对应的根轨迹增益为

$K_1^*=\left|\frac{s^2+2s+10}{s}\right|_{s=-\sqrt{10}}=4.33$，对应的速度反馈时间常数 $k_s=\frac{K_1^*}{10}=0.433$（1 分）

根轨迹有一根与负实轴重合的渐近线。由于开环传函两个极点 $p_{1,2}=-1\pm j3$，一个有限零点 $z_1=0$

且零点不在两极点之间，故根轨迹为以零点 $z_1=0$ 为圆心，以该圆心到分离点距离为半径的圆周。

根轨迹与虚轴无交点，均处于 s左半平面。系统绝对稳定。根轨迹如图 1 所示。（4 分）

讨论 k_s 大小对系统性能的影响如下：

（1）、当 $0<k_s<0.433$ 时，系统为欠阻尼状态。根轨迹处在第二、三象限，闭环极点为共轭的复数极点。系统阻尼比 ζ 随着 k_s 由零逐渐增大而增加。动态响应为阻尼振荡过程，k_s 增加将使振荡频率 ω_d 减小（$\omega_d=\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$），但响应速度加快，调节时间缩短（$t_s=\frac{3.5}{\zeta\omega_n}$）。（1 分）

（2）、当 $k_s=0.433$ 时（此时 $K^*=4.33$），为临界阻尼状态，动态过程不再有振荡和超调。（1 分）

（3）、当 $k_s>0.433$（或 $K^*>4.33$），为过阻尼状态。系统响应为单调变化过程。（1 分）

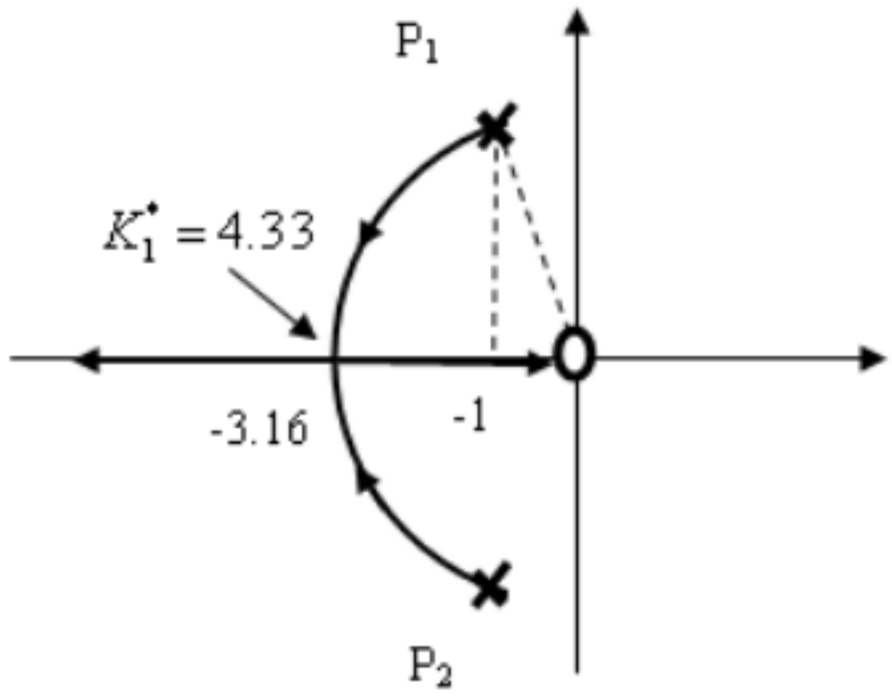


图 1　四题系统参数根轨迹

五、(16 分)

解：由题已知：　$G(s)H(s) = \dfrac{K(1-\tau s)}{s(Ts+1)}, K, \tau, T > 0$，

系统的开环频率特性为

$$G(j\omega)H(j\omega) = \frac{K[-(T+\tau)\omega - j(1-T\tau\omega^2)]}{\omega(1+T^2\omega^2)} \quad (2\text{ 分})$$

开环频率特性极坐标图

起点：　$\omega = 0_+, A(0_+) = \infty, \varphi(0_+) = -90^0$；（1 分）

终点：　$\omega \to \infty, A(\infty) = 0, \varphi(\infty) = -270^0$；（2 分）

与实轴的交点：令虚频特性为零，即　$1 - T\tau\omega^2 = 0$　得　$\omega_x = \dfrac{1}{\sqrt{T\tau}}$（2 分）

实部　$G(j\omega_x)H(j\omega_x) = -K\tau$（2 分）

开环极坐标图如图 2 所示。（4 分）

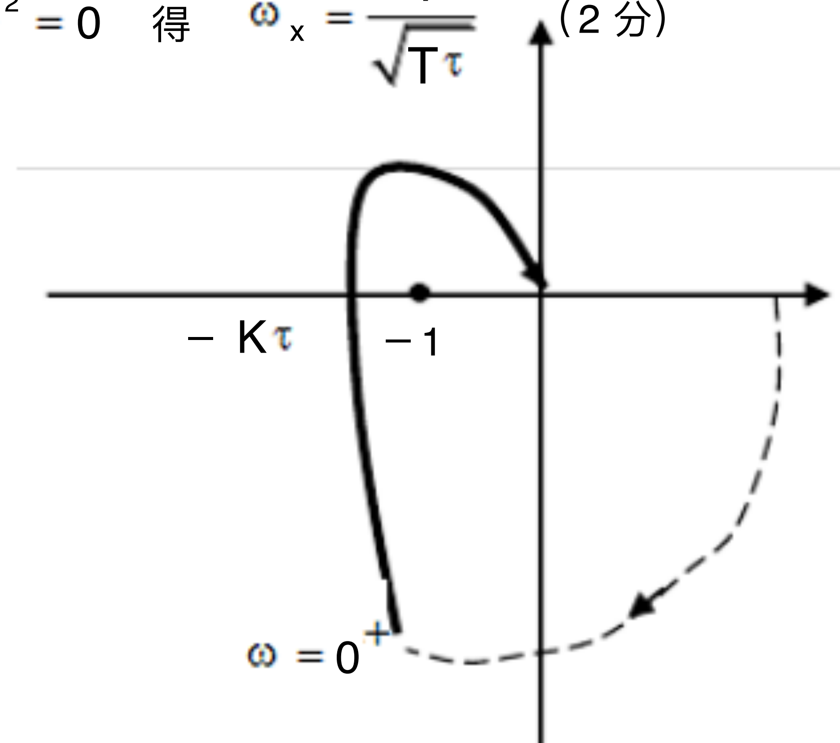


图 2　五题幅相曲线

由于开环传函无右半平面的极点，则　$P = 0$

当　$K\tau < 1$时，极坐标图不包围（－1，j0）点，系统稳定。（1 分）

当　$K\tau = 1$时，极坐标图穿过临界点（－1，j0）点，系统临界稳定。（1 分）

当　$K\tau > 1$时，极坐标图顺时针方向包围（－1，j0）点一圈。

$$N = 2(N_+ - N_-) = 2(0-1) = -2$$

按奈氏判据，$Z = P - N = 2$。系统不稳定。（2 分）

闭环有两个右平面的极点。

六、(16 分)

解：从开环波特图可知，　系统具有比例环节、　两个积分环节、　一个一阶微分环节和一个惯性

环节。

故其开环传函应有以下形式 $$G(s)=\frac{K(\frac{1}{\omega_1}s+1)}{s^2(\frac{1}{\omega_2}s+1)}$$ (8 分)

由图可知：$\omega=1$ 处的纵坐标为 40dB，则 $L(1)=20\lg K=40$，得 $K=100$ (2 分)

又由 $\omega=\omega_1$ 和 $\omega=10$ 的幅值分贝数分别为 20 和 0，结合斜率定义，有

$$\frac{20-0}{\lg\omega_1-\lg 10}=-40$$，解得 $\omega_1=\sqrt{10}=3.16$ rad/s (2 分)

同理可得 $$\frac{20-(-10)}{\lg\omega_1-\lg\omega_2}=-20$$ 或 $20\lg\frac{\omega_2}{\omega_1}=30$，

$\omega_2^2=1000\omega_1^2=10000$ 得 $\omega_2=100$ rad/s (2 分)

故所求系统开环传递函数为

$$G(s)=\frac{100(\frac{s}{\sqrt{10}}+1)}{s^2(\frac{s}{100}+1)}$$ (2 分)

七、(16 分)

解：(1)、系统开环传函 $G(s)=\frac{K}{s(s+1)}$，输入信号为单位斜坡函数时的稳态误差为

$$e_{ss}=\frac{1}{K_v}=(\lim_{s\to 0}sG(s)H(s))^{-1}=\frac{1}{K}$$，由于要求稳态误差不大于 0.05，取 $K=20$

故 $$G(s)=\frac{20}{s(s+1)}$$ (5 分)

(2)、校正前系统的相角裕度 γ 计算：

$$L(\omega)=20\lg 20-20\lg\omega-20\lg\sqrt{\omega^2+1}$$

$$L(\omega_c)\approx 20\lg\frac{20}{\omega_c^2}=0\rightarrow\omega_c^2=20$$ 得 $\omega_c=4.47$ rad/s

$\gamma=180^0-90^0-tg^{-1}4.47=12.6^0$； 而幅值裕度为无穷大，因为不存在 ω_x。(2 分)

(3)、根据校正后系统对相位裕度的要求，确定超前环节应提供的相位补偿角

$$\varphi_m=\gamma''-\gamma+\varepsilon=40-12.6+5=32.4\approx 33^0$$ (2 分)

(4)、校正网络参数计算

$$a=\frac{1+\sin\varphi_m}{1-\sin\varphi_m}=\frac{1+\sin 33^0}{1-\sin 33^0}=3.4 \qquad (2分)$$

(5)、超前校正环节在 ω_m 处的幅值为:

$$10\lg a=10\lg 3.4=5.31\text{dB}$$

使校正后的截止频率 ω_c' 发生在 ω_m 处，故在此频率处原系统的幅值应为－ 5.31dB

$$L(\omega_m)=L(\omega_c')=20\lg 20-20\lg\omega_c'-20\lg\sqrt{(\omega_c')^2+1}=-5.31$$

解得 $\omega_c' \approx 6$ （2分）

(6)、计算超前网络

$$a=3.4,\ \omega_c'=\omega_m=\frac{1}{T\sqrt{a}}\rightarrow T=\frac{1}{\omega_m\sqrt{a}}=\frac{1}{6\sqrt{3.4}}=0.09$$

在放大 3.4 倍后，超前校正网络为

$$G_c(s)=\frac{1+aTs}{1+Ts}=\frac{1+0.306s}{1+0.09s}$$

校正后的总开环传函为: $G_c(s)G(s)=\dfrac{20(1+0.306s)}{s(s+1)(1+0.09s)}$ （2分）

（7）校验性能指标

相角裕度 $\gamma''=180+tg^{-1}(0.306\times 6)-90-tg^{-1}6-tg^{-1}(0.09\times 6)=43^0$

由于校正后的相角始终大于－ 180°，故幅值裕度为无穷大。

符合设计性能指标要求。 （1 分）

试题四答案

一、填空题（每空 1 分，共 15 分）

1、稳定性 快速性 准确性 稳定性

2、$G(s)$；

3、微分方程 传递函数 (或结构图 信号流图) (任意两个均可)

4、劳思判据 根轨迹 奈奎斯特判据

5、$A(\omega)=\dfrac{K}{\omega\sqrt{(T_1\omega)^2+1}\cdot\sqrt{(T_2\omega)^2+1}}$；$\varphi(\omega)=-90^0-tg^{-1}(T_1\omega)-tg^{-1}(T_2\omega)$

6、$m(t)=K_pe(t)+\dfrac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t)dt+K_p\tau\dfrac{de(t)}{dt}$ $G_C(s)=K_p\left(1+\dfrac{1}{T_is}+\tau s\right)$

7、S 右半平面不存在系统的开环极点及开环零点

二、判断选择题 （每题 2 分，共 20 分）

1、A　2、B　3、D　4、C　5、C　6、B　7、A　8、C　9、C　10、D

三、(8 分) 写出下图所示系统的传递函数 $\frac{C(s)}{R(s)}$（结构图化简，梅逊公式均可）。

解：传递函数 G(s): 根据梅逊公式 $G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{\sum_{i=1}^{n}P_i\Delta_i}{\Delta}$ （2 分）

3 条回路：$L_1=-G_1(s)H_1(s)$，$L_2=-G_2(s)H_2(s)$，$L_3=-G_3(s)H_3(s)$ （1 分）

1 对互不接触回路 ：$L_1L_3=G_1(s)H_1(s)G_3(s)H_3(s)$ （1 分）

$$\Delta=1-\sum_{i=1}^{3}L_i+L_1L_3=1+G_1(s)H_1(s)+G_2(s)H_2(s)+G_3(s)H_3(s)+G_1(s)H_1(s)G_3(s)H_3(s)$$

(2 分)

1 条前向通道 ：$P_1=G_1(s)G_2(s)G_3(s)$，$\Delta_1=1$ （2 分）

$$\therefore G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{P_1\Delta_1}{\Delta}=\frac{G_1(s)G_2(s)G_3(s)}{1+G_1(s)H_1(s)+G_2(s)H_2(s)+G_3(s)H_3(s)+G_1(s)H_1(s)G_3(s)H_3(s)}$$

（2 分）

四、(共 15 分)

1、写出该系统以根轨迹增益 K* 为变量的开环传递函数；（7 分）

2、求出分离点坐标，并写出该系统临界阻尼时的闭环传递函数。（8 分）

解：1、由图可以看出，系统有 1 个开环零点为：1（1 分）；有 2 个开环极点为：0、-2（1 分），而且为零度根轨迹。

由此可得以根轨迹增益 K* 为变量的开环传函 $G(s)=\frac{-K^*(s-1)}{s(s+2)}=\frac{K^*(1-s)}{s(s+2)}$

（5 分）

2、求分离点坐标

$\frac{1}{d-1}=\frac{1}{d}+\frac{1}{d+2}$，得 $d_1=-0.732$，$d_2=2.732$ （2 分）

分别对应的根轨迹增益为 $K_1^*=1.15$，$K_2^*=7.46$ （2 分）

分离点 d_1 为临界阻尼点，d_2 为不稳定点。

单位反馈系统在 d_1（临界阻尼点）对应的闭环传递函数为，

$$\Phi(s)=\frac{G(s)}{1+G(s)}=\frac{\frac{K^*(1-s)}{s(s+2)}}{1+\frac{K^*(1-s)}{s(s+2)}}=\frac{K^*(1-s)}{s(s+2)+K^*(1-s)}=\frac{-1.15(s-1)}{s^2+0.85s+1.15}$$ （4 分）

五、求系统的超调量 $\sigma\%$ 和调节时间 t_s。（12 分）

解：由图可得系统的开环传函为： $G(s)=\frac{25}{s(s+5)}$ （2 分）

因为该系统为单位负反馈系统，则系统的闭环传递函数为，

$$\Phi(s)=\frac{G(s)}{1+G(s)}=\frac{\frac{25}{s(s+5)}}{1+\frac{25}{s(s+5)}}=\frac{25}{s(s+5)+25}=\frac{5^2}{s^2+5s+5^2}$$ （2 分）

与二阶系统的标准形式 $\Phi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$ 比较，有 $\begin{cases}2\zeta\omega_n=5\\ \omega_n^2=5^2\end{cases}$ （2 分）

解得 $\begin{cases}\zeta=0.5\\ \omega_n=5\end{cases}$ （2 分）

所以 $\sigma\%=e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}=e^{-0.5\pi/\sqrt{1-0.5^2}}=16.3\%$ （2分）

$$t_s=\frac{3}{\zeta\omega_n}=\frac{3}{0.5\times5}=1.2s$$ （2 分）

或 $t_s=\frac{4}{\zeta\omega_n}=\frac{4}{0.5\times5}=1.6s$， $t_s=\frac{3.5}{\zeta\omega_n}=\frac{3.5}{0.5\times5}=1.4s$， $t_s=\frac{4.5}{\zeta\omega_n}=\frac{4.5}{0.5\times5}=1.8s$

六、已知最小相位系统的开环对数幅频特性 $L_0(\omega)$ 和串联校正装置的对数幅频特性 $L_c(\omega)$ 如下图所示，原系统的幅值穿越频率为 $\omega_c=24.3rad/s$：（共 30 分）

1、 写出原系统的开环传递函数 $G_0(s)$，并求其相角裕度 γ_0，判断系统的稳定性； （10 分）

2、 写出校正装置的传递函数 $G_c(s)$；（5 分）

3、写出校正后的开环传递函数 $G_0(s)G_c(s)$，画出校正后系统的开环对数幅频特性 $L_{GC}(\omega)$，并用劳思判据判断系统的稳定性。 （15 分）

解： 1、从开环波特图可知，原系统具有比例环节、一个积分环节、两个惯性环节。

故其开环传函应有以下形式 $$G_0(s)=\frac{K}{s(\frac{1}{\omega_1}s+1)(\frac{1}{\omega_2}s+1)}$$ （2 分）

由图可知：$\omega=1$ 处的纵坐标为 40dB，则 $L(1)=20\lg K=40$，得 $K=100$ （2 分）

$\omega_1=10$ 和 $\omega_2=20$

故原系统的开环传函为 $$G_0(s)=\frac{100}{s(\frac{1}{10}s+1)(\frac{1}{20}s+1)}=\frac{100}{s(0.1s+1)(0.05s+1)}$$ （2 分）

求原系统的相角裕度 γ_0：$\varphi_0(s)=-90^\circ-tg^{-1}0.1\omega-tg^{-1}0.05\omega$

由题知原系统的幅值穿越频率为 $\omega_c=24.3rad/s$

$$\varphi_0(\omega_c)=-90^\circ-tg^{-1}0.1\omega_c-tg^{-1}0.05\omega_c=-208^\circ$$ （1 分）

$$\gamma_0=180^\circ+\varphi_0(\omega_c)=180^\circ-208^\circ=-28^\circ$$ （1 分）

对最小相位系统 $\gamma_0=-28^\circ<0^\circ$ 不稳定

2、从开环波特图可知，校正装置一个惯性环节、一个微分环节，为滞后校正装置。

故其开环传函应有以下形式 $$G_c(s)=\frac{\frac{1}{\omega_2'}s+1}{\frac{1}{\omega_1'}s+1}=\frac{\frac{1}{0.32}s+1}{\frac{1}{0.01}s+1}=\frac{3.125s+1}{100s+1}$$ （5 分）

3、校正后的开环传递函数 $G_0(s)G_c(s)$ 为

$$G_0(s)G_c(s)=\frac{100}{s(0.1s+1)(0.05s+1)}\frac{3.125s+1}{100s+1}=\frac{100(3.125s+1)}{s(0.1s+1)(0.05s+1)(100s+1)}$$ （4 分）

用劳思判据判断系统的稳定性

系统的闭环特征方程是

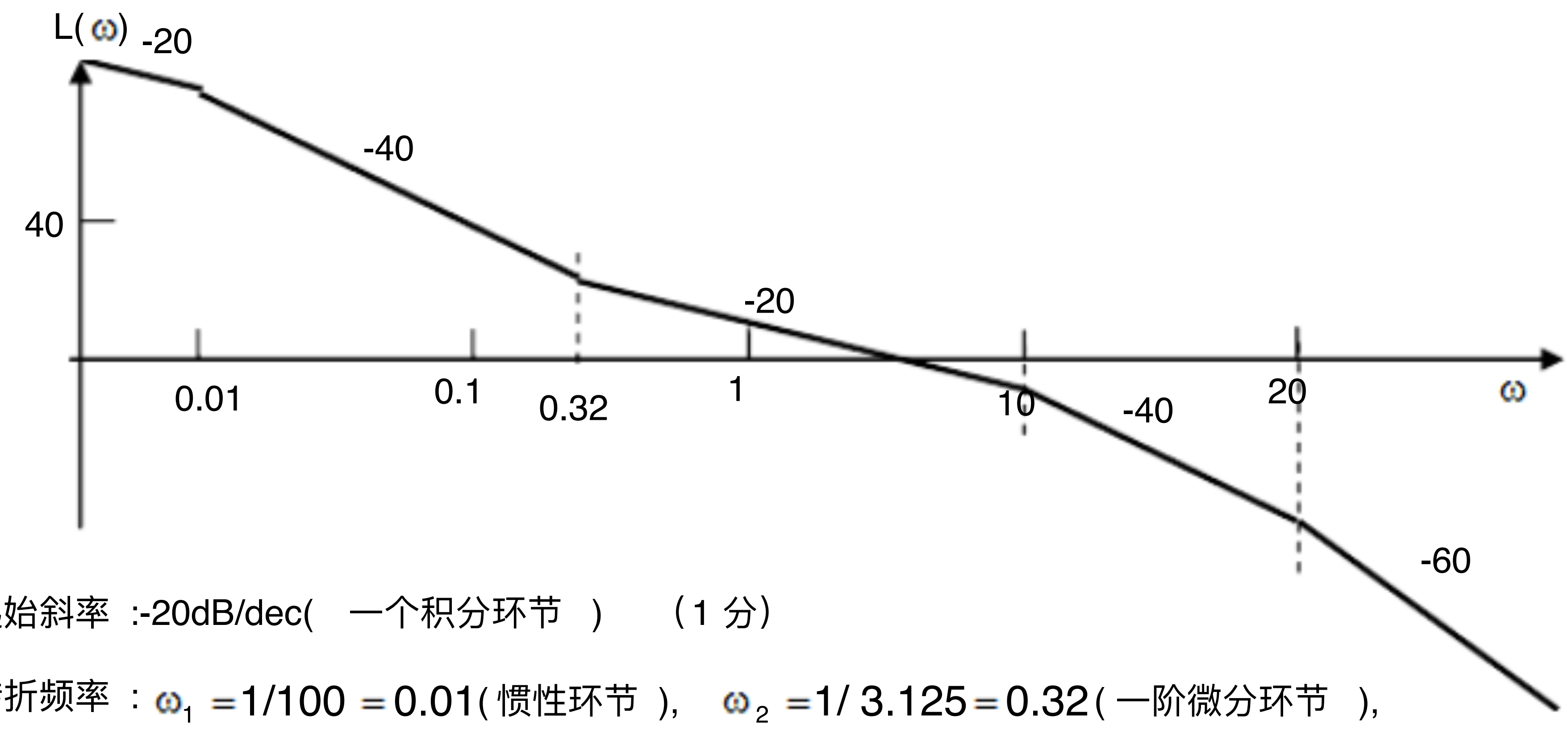
$$D(s)=s(0.1s+1)(0.05s+1)(100s+1)+100(3.125s+1)$$
$$=0.5s^4+15.005s^3+100.15s^2+313.5s+100=0$$ （2 分）

构造劳斯表如下

s^4	0.5	100.15	100
s^3	15.005	313.5	0
s^2	89.7	100	0
s^1	296.8	0	
s^0	100	0	

首列均大于 0，故校正后的系统稳定。 （4 分）

画出校正后系统的开环对数幅频特性　$L_{GC}(\omega)$



起始斜率 :-20dB/dec(一个积分环节) （1 分）

转折频率 ：$\omega_1=1/100=0.01$(惯性环节)，$\omega_2=1/3.125=0.32$(一阶微分环节)，

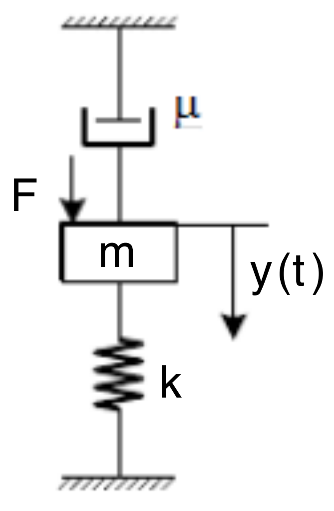
$\omega_3=1/0.1=10$(惯性环节)，$\omega_4=1/0.05=20$(惯性环节) （4 分）

自动控制原理模拟试题 3

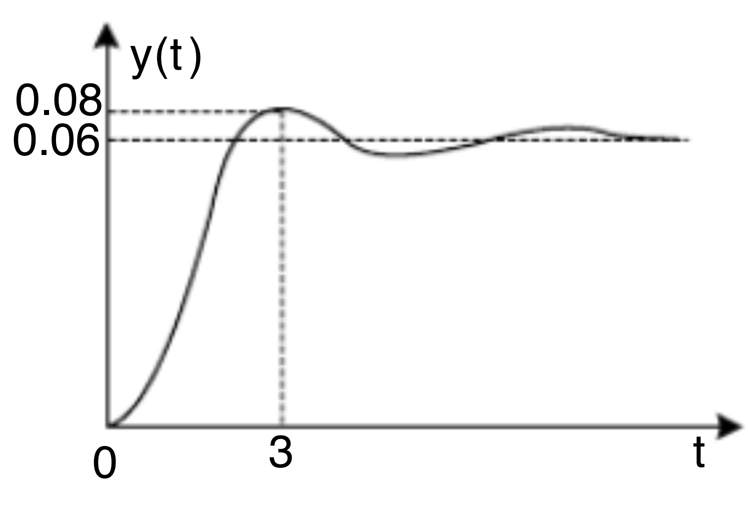
一、简答题：（合计 20 分，共 4 个小题，每题 5 分）

1. 如果一个控制系统的阻尼比比较小，请从时域指标和频域指标两方面说明该系统会有什么样的表现？并解释原因。
2. 大多数情况下，为保证系统的稳定性，通常要求开环对数幅频特性曲线在穿越频率处的斜率为多少？为什么？
3. 简要画出二阶系统特征根的位置与响应曲线之间的关系。
4. 用根轨迹分别说明，对于典型的二阶系统增加一个开环零点和增加一个开环极点对系统根轨迹走向的影响。

二、已知质量 - 弹簧 - 阻尼器系统如图 (a) 所示，其中质量为 m公斤，弹簧系数为 k 牛顿 / 米，阻尼器系数为 μ 牛顿秒 / 米，当物体受 F= 10 牛顿的恒力作用时，其位移 $y(t)$ 的的变化如图(b) 所示。求 m、 k 和 μ 的值。(合计 20 分)



图(a)



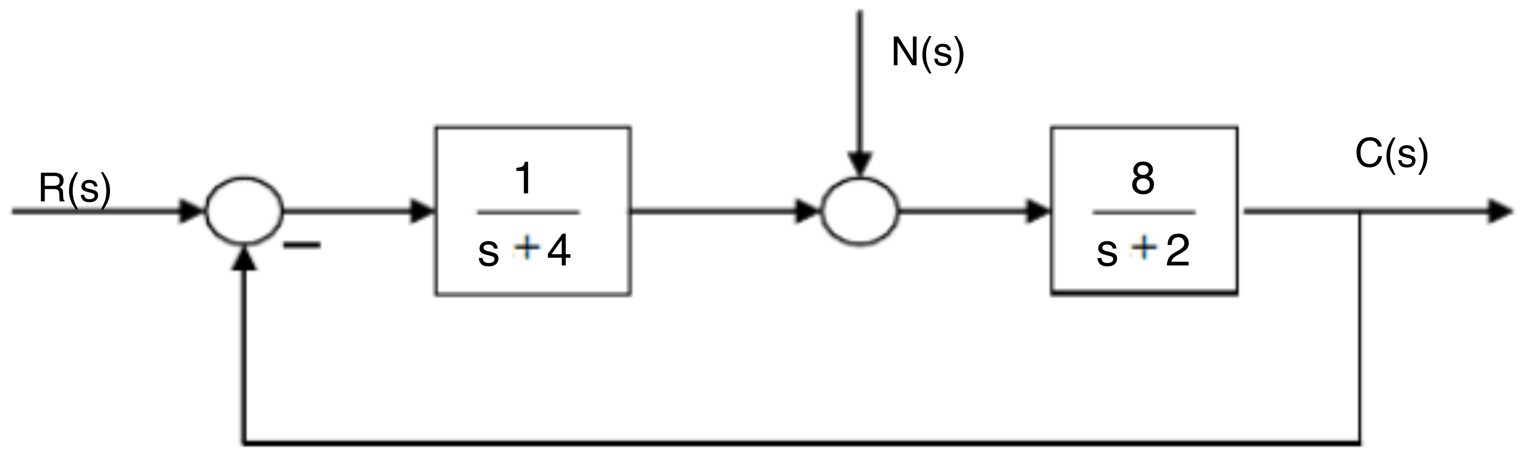
图(b)

三、已知一控制系统的结构图如下，（合计 20 分，共 2 个小题，每题 10 分）

1） 确定该系统在输入信号 $r(t)=1(t)$ 下的时域性能指标：超调量 $\sigma\%$，调节时间 t_s 和峰值

时间 t_p；

2） 当 $r(t) = 2 \cdot 1(t), n(t) = 4\sin 3t$ 时，求系统的稳态误差。

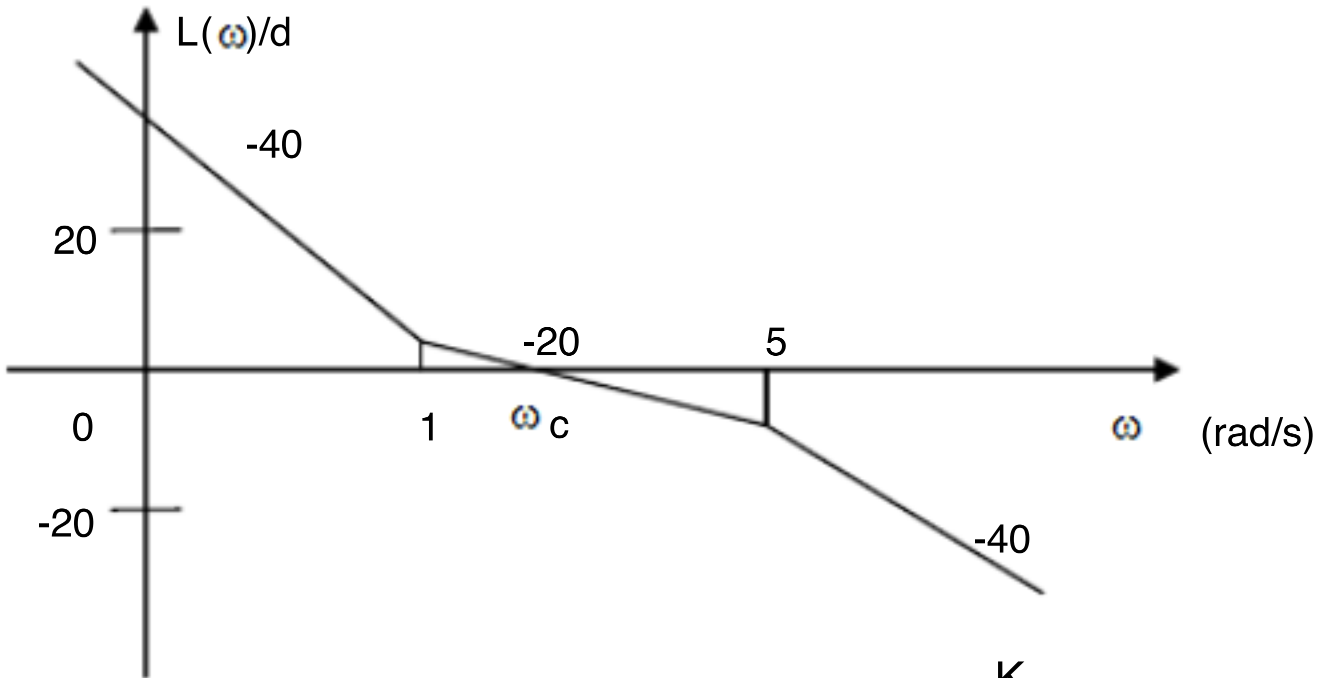


四、已知最小相位系统的开环对数幅频特性渐近线如图所示，ω_c 位于两个交接频率的几何中心。

1） 计算系统对阶跃信号、斜坡信号和加速度信号的稳态精度。

2） 计算超调量 $\sigma\%$ 和调节时间 t_s。（合计 20 分，共 2 个小题，每题 10 分）

[$\sigma\% = 0.16 + 0.4\left(\frac{1}{\sin\gamma} - 1\right)$, $t_s = \frac{\pi}{\omega_c}\left[2 + 1.5\left(\frac{1}{\sin\gamma} - 1\right) + 2.5\left(\frac{1}{\sin\gamma} - 1\right)^2\right]$]

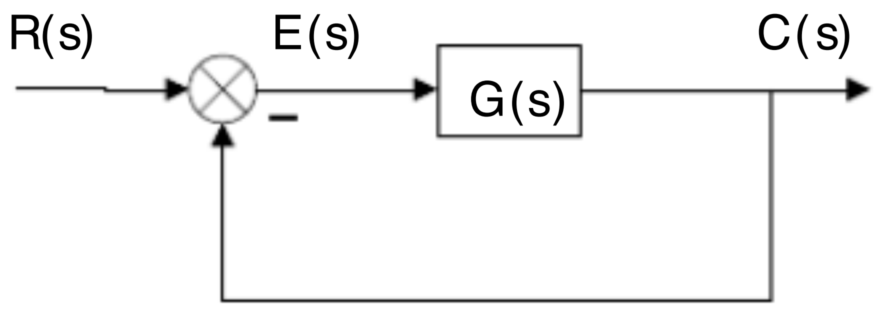


五、某火炮指挥系统结构如下图所示，$G(s) = \frac{K}{s(0.2s+1)(0.5s+1)}$ 系统最大输出速度为 2 r/min，输出位置的容许误差小于 2°，求：

1） 确定满足上述指标的最小 K 值，计算该 K 值下的相位裕量和幅值裕量；

2） 前向通路中串联超前校正网络 $G_c(s) = \frac{0.4s+1}{0.08s+1}$，试计算相位裕量。

（合计 20 分，共 2 个小题，每题 10 分）



自动控制原理模拟试题 3 答案

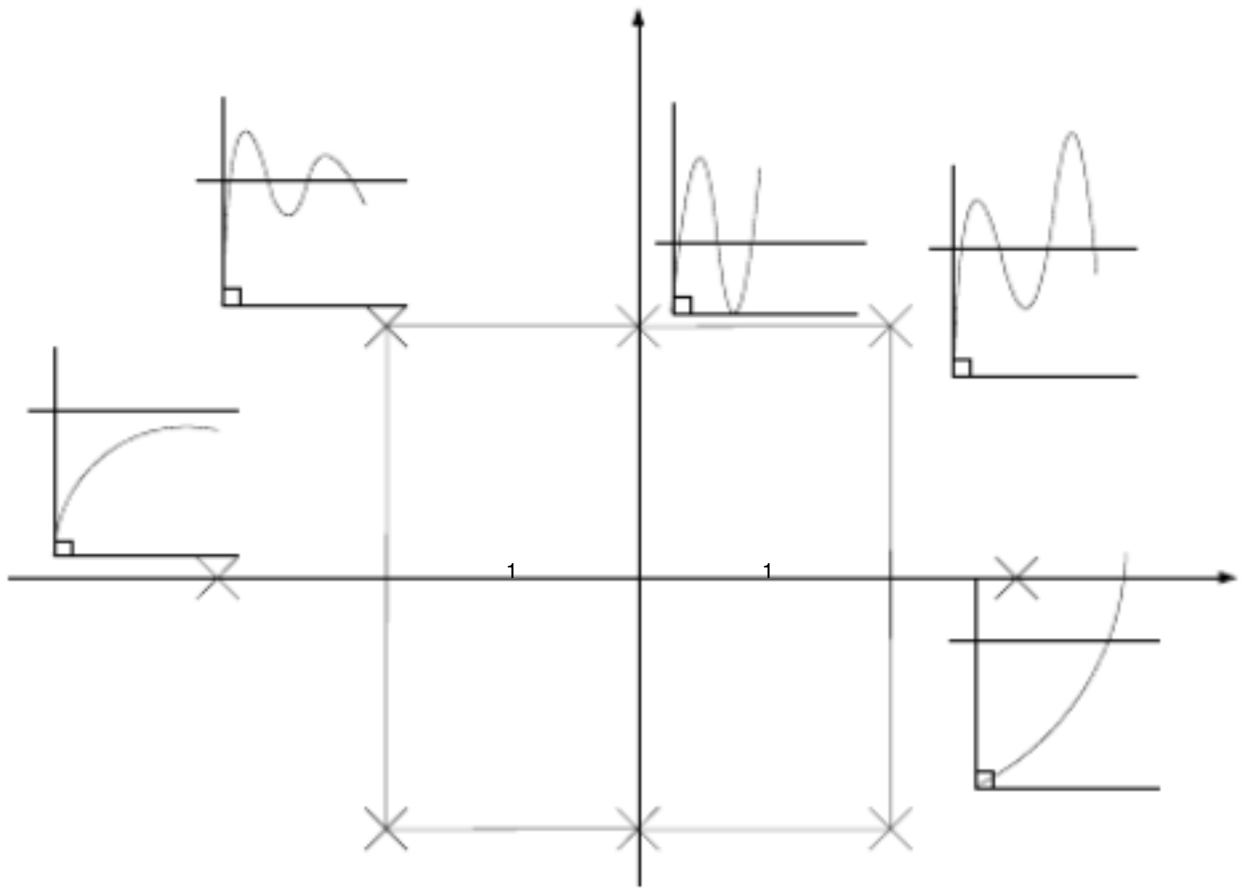
答案

一、简答题

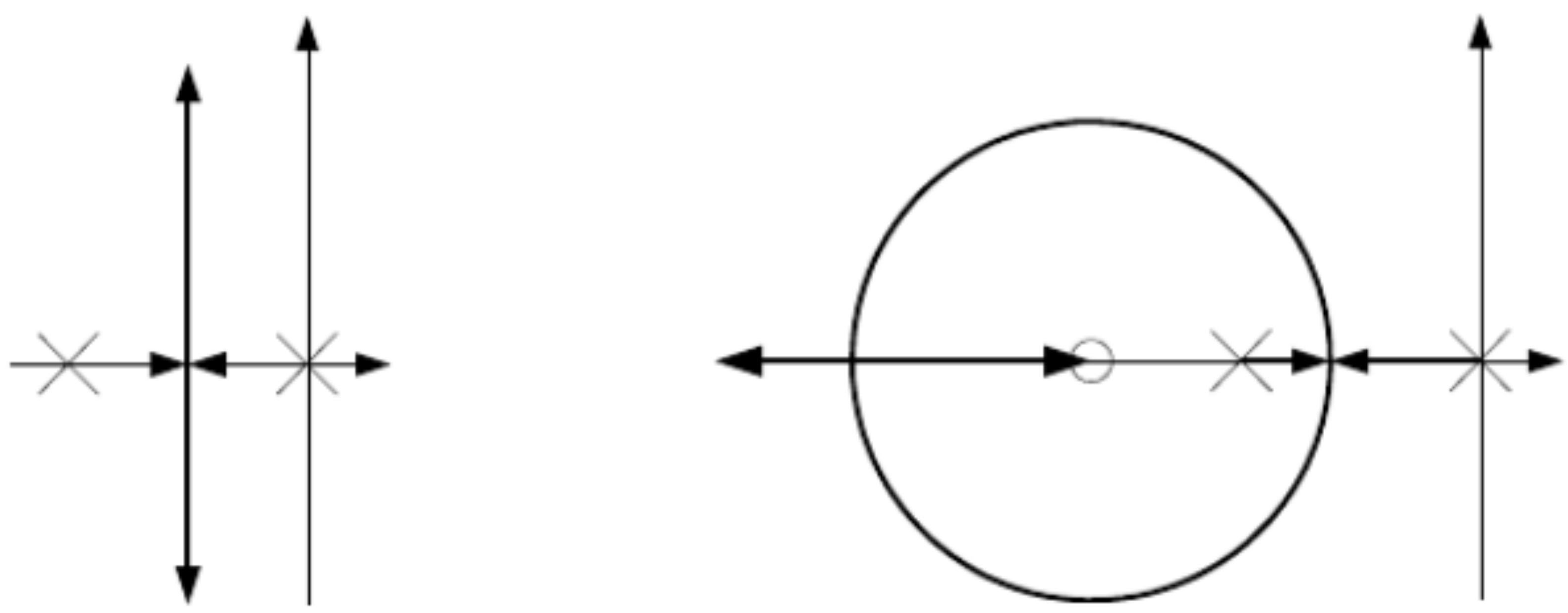
1. 如果二阶控制系统阻尼比小，会影响时域指标中的超调量和频域指标中的相位裕量。根据超调量和相位裕量的计算公式可以得出结论。

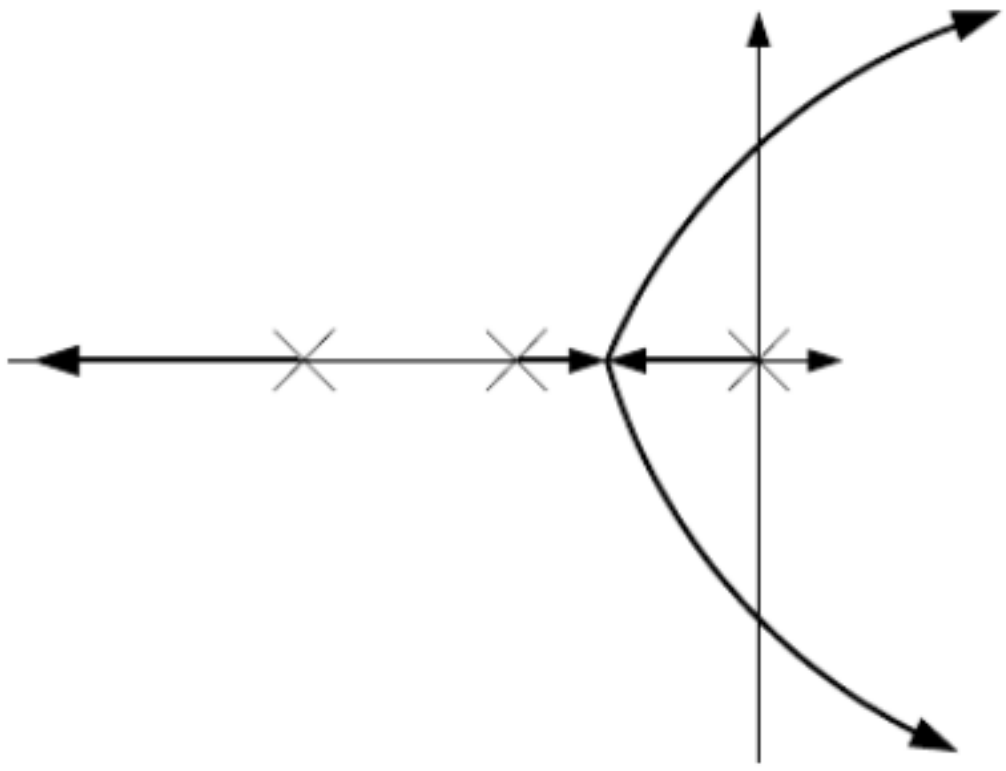
2. 斜率为 $-20\,dB$ / 十倍频程。可以保证相位裕量在 30°B60°之间。

3.



4.





二、

系统的微分方程为 ： $m\ddot{y}(t)+\mu\dot{y}(t)+ky(t)=F(t)$

系统的传递函数为 ： $G(s)=\dfrac{Y(s)}{F(s)}=\dfrac{1}{ms^2+\mu s+k}=\dfrac{\frac{1}{m}}{s^2+\frac{\mu}{m}s+\frac{k}{m}}$

因此 $G(Y(s)=\dfrac{1}{ms^2+\mu s+k}F(s)=\dfrac{\frac{1}{m}}{s^2+\frac{\mu}{m}s+\frac{k}{m}}\times\dfrac{10}{s}$

利用拉普拉斯终值定理及图上的稳态值可得：

$$y(\infty)=\lim_{s\to 0}sY(s)=\lim_{s\to 0}s\frac{\frac{1}{m}}{s^2+\frac{\mu}{m}s+\frac{k}{m}}\times\frac{10}{s}=0.06$$

所以 10/ k=0.06 ，从而求得 k = 066.7 N/m

由系统得响应曲线可知， 系统得超调量为 $\sigma=0.02/0.06=33.3\%$，由二阶系统性能指标的

计算公式 $\sigma=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}\times 100\%=33.3\%$

解得 $\xi=0.33$

由响应曲线得，峰值时间为 3s，所以由

$$t_p=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}=3$$

解得 $\omega_n=1.109rad/s$

由系统特征方城

$$s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2=s^2+\frac{\mu}{m}s+\frac{k}{m}=0$$

可知

$$2\xi\omega_n = \frac{\mu}{m} \qquad \frac{k}{m} = \omega_n^2$$

所以

$$m = \frac{k}{\omega_n^2} = \frac{166.7}{1.109^2} = 135.5\text{kg}$$

$$\mu = 2\xi\omega_n m = 2 \times 0.33 \times 1.109 \times 135.5 = 99.2\text{N}/(\text{m}/\text{s})$$

三、

1）系统的开环传递函数为： $G(s)=\dfrac{8}{(s+4)(s+2)}=\dfrac{8}{s^2+6s+8}$

系统的闭环传递函数为 $G(s)=\dfrac{8}{s^2+6s+16}$

比较 二阶系统的标准形式 $G(s)=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$，可得

$$\omega_n=4$$

$$\text{而 } 2\xi\omega_n=6\text{，所以 } \xi=0.75$$

$$t_p=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}=1.795s$$

$$\sigma=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}\times 100\%=2.8\%$$

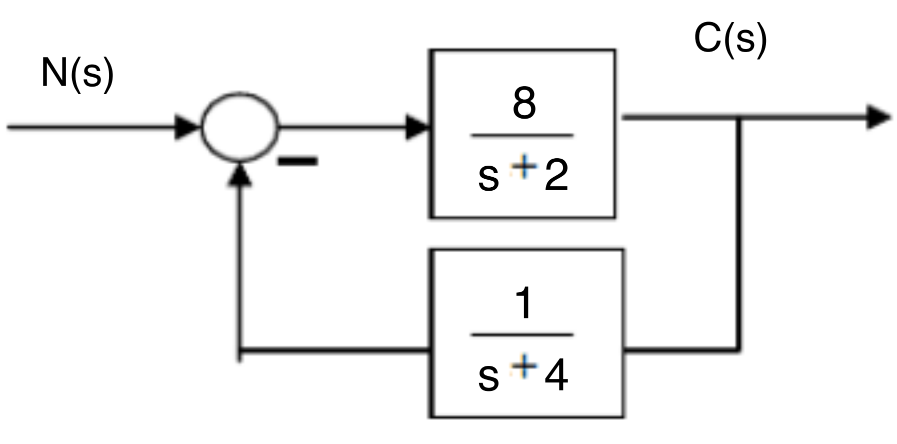
$$t_s=\frac{3}{\xi\omega_n}=1s(\Delta=5\%)$$

2）由题意知，该系统是个线性系统，满足叠加原理，故可以分别求取，$r(t)=2\cdot 1(t)$ 和 $n(t)=4\sin 3t$ 分别作用于系统时的稳态误差 ess_1 和 ess_2，系统的稳态误差就等于 $ess=ess_1+ess_2$。

A) $r(t)=2\cdot 1(t)$ 单独作用时，

由系统的开环传递函数知， 系统的开环增益 $K_k=1$，所以系统对 $r(t)=2\cdot 1(t)$ 的稳态误差 ess_1 为： $ess_1=2\times\dfrac{1}{1+K_k}=1$

B) $n(t)=4\sin 3t$ 单独作用时，系统的方块图为



系统的闭环传递函数为： $W_e(s)=\dfrac{8(s+4)}{s^2+6s+16}$

频率特性为：　$\left|W_e(j\omega)\right| = \left|\dfrac{8(j\omega+4)}{6\omega j+16-\omega^2}\right|$

当系统作用为　$n(t)=4\sin 3t$ 时，$\omega=3$，所以

$$\left|W_e(3j)\right| = \left|\frac{8(j3+4)}{6\times 3j+16-3^2}\right| = \left|\frac{32+24j}{7+18j}\right| = 2.07$$

$$\angle W_e(3j) = \arctan\frac{24}{32} - \arctan\frac{18}{7} = -0.5564$$

系统的输出为：
$$\begin{aligned} ess_2 &= 4\times\left|W_e(3j)\right|\sin(3t+\angle W_e(3j)) \\ &= 8.56\sin(3t-0.5564) \end{aligned}$$

所以系统的误差为：　$ess = 1 + 8.56\sin(3t-0.5564)$

四、

解：1）开环传递函数　$G(s)H(s) = \dfrac{K(s+1)}{s^2(0.2s+1)}$

$$\omega_c = \sqrt{1\times 5} = 2.236$$

$$\begin{aligned} &20\lg K - 0 = -20(\lg 1 - \lg\omega_c) \\ &K = \omega_c = 2.236 \end{aligned}$$

因为是“ II ”型系统所以对阶跃信号、斜坡信号的稳态误差为 0；

而加速度误差系数为：　$K_a = 2.236$

因而对单位加速度信号稳态误差为　$ess = \dfrac{1}{K_a} = \dfrac{1}{K} = \dfrac{1}{2.236} = 0.447$

2)
$$\begin{aligned} \gamma &= 180^\circ + \varphi(\omega_c) \\ &= 180^\circ - 180^\circ + \arctan\omega_c - \arctan(0.2\omega_c) = 41.81^\circ \end{aligned}$$

所以 $\sigma\% = 0.16 + 0.4(\dfrac{1}{\sin\gamma} - 1) = 36\%$

$$t_s = \frac{\pi}{\omega_c}\left[2 + 1.5\left(\frac{1}{\sin\gamma} - 1\right) + 2.5\left(\frac{1}{\sin\gamma} - 1\right)^2\right] = 4.74s$$

五、解：

1） 系统为 I 型系统， $K=\frac{A}{ess}=\frac{2\times 360^{\circ}/60}{2^{\circ}}=6(1/s)$

所以 $G(s)=\dfrac{6}{s(\frac{s}{2}+1)(\frac{s}{5}+1)}$

可以求得

$$\omega_c=3.5$$

$$\gamma=180^{\circ}+\angle G(j\omega_c)=180^{\circ}-90^{\circ}-\arctan\frac{3.5}{2}-\arctan\frac{3.5}{5}=-4.9^{\circ}$$

令 $\mathrm{Im}\,[G(j\omega)]=0$，得

$$\omega_g=\sqrt{10}$$

$$h=\frac{1}{|G(j\omega_g)|}=0.86$$

2)

加入串联校正后，开环传递函数为

$$G(s)=\frac{6}{s(\frac{s}{2}+1)(\frac{s}{5}+1)}\frac{\frac{2}{2.5}+1}{\frac{s}{12.5}+1}$$

求得 $\omega_c=4.8$

$$\gamma=180^{\circ}+\angle G(j\omega_c)=180^{\circ}+\arctan\frac{4.8}{2.5}-90^{\circ}-\arctan\frac{4.8}{2}-\arctan\frac{4.8}{5}-\arctan\frac{4.8}{12.5}=20.2^{\circ}$$

期末考试-复习重点

自动控制原理 1

一、单项选择题（每小题 1 分，共 20 分）

1. 系统和输入已知，求输出并对动态特性进行研究，称为（ ）
   A.系统综合　B.系统辨识　C.系统分析　D.系统设计
2. 惯性环节和积分环节的频率特性在（ ）上相等。
   A.幅频特性的斜率　B.最小幅值　C.相位变化率　D.穿越频率
3. 通过测量输出量，产生一个与输出信号存在确定函数比例关系值的元件称为（ ）
   A.比较元件　B.给定元件　C.反馈元件　D.放大元件
4. ω 从 0 变化到+∞时，延迟环节频率特性极坐标图为（ ）
   A.圆　B.半圆　C.椭圆　D.双曲线
5. 当忽略电动机的电枢电感后，以电动机的转速为输出变量，电枢电压为输入变量时，电动机可看作一个（ ）
   A.比例环节　B.微分环节　C.积分环节　D.惯性环节
6. 若系统的开环传 递函数为$\dfrac{10}{s(5s+2)}$，则它的开环增益为（ ）
   A.1　B.2　C.5　D.10
7. 二阶系统的传递函数$G(s)=\dfrac{5}{s^2+2s+5}$，则该系统是（ ）
   A.临界阻尼系统　B.欠阻尼系统　C.过阻尼系统　D.零阻尼系统
8. 若保持二阶系统的 ζ 不变，提高 ω_n，则可以（ ）
   A.提高上升时间和峰值时间　B.减少上升时间和峰值时间
   C.提高上升时间和调整时间　D.减少上升时间和超调量
9. 一阶微分环节$G(s)=1+Ts$，当频率$\omega=\dfrac{1}{T}$时，则相频特性$\angle G(j\omega)$为（ ）
   A.45°　B.−45°　C.90°　D.−90°
10. 最小相位系统的开环增益越大，其（ ）
    A.振荡次数越多　B.稳定裕量越大
    C.相位变化越小　D.稳态误差越小
11. 设系统的特征方程为$D(s)=s^4+8s^3+17s^2+16s+5=0$，则此系统 （ ）
    A.稳定　B.临界稳定　C.不稳定　D.稳定性不确定。
12. 某单位反馈系统的开环传递函数为：$G(s)=\dfrac{k}{s(s+1)(s+5)}$，当 k=（ ）时，闭环系统临界稳定。
    A.10　B.20　C.30　D.40
13. 设系统的特征方程为$D(s)=3s^4+10s^3+5s^2+s+2=0$，则此系统中包含正实部特征的个数有（ ）
    A.0　B.1　C.2　D.3
14. 单位反馈系统开环传递函数为$G(s)=\dfrac{5}{s^2+6s+s}$，当输入为单位阶跃时，则其位置误差为（ ）
    A.2　B.0.2　C.0.5　D.0.05
15. 若已知某串联校正装置的传递函数为$G_c(s)=\dfrac{s+1}{10s+1}$，则它是一种（ ）

A.反馈校正　　　　　　　　　　B.相位超前校正

C.相位滞后—超前校正　　　　　D.相位滞后校正

16.稳态误差 e_{ss} 与误差信号 $E(s)$的函数关系为（　）

A. $e_{ss}=\lim_{s\to 0}E(s)$　　　　B. $e_{ss}=\lim_{s\to 0}sE(s)$

C. $e_{ss}=\lim_{s\to\infty}E(s)$　　　　D. $e_{ss}=\lim_{s\to\infty}sE(s)$

17.在对控制系统稳态精度无明确要求时，为提高系统的稳定性，最方便的是（　）

A.减小增益　　B.超前校正　　C.滞后校正　　D.滞后-超前

18.相位超前校正装置的奈氏曲线为（　）

A.圆　　B.上半圆　　C.下半圆　　D.45°弧线

19.开环传递函数为 $G(s)H(s)=\dfrac{K}{s^3(s+3)}$，则实轴上的根轨迹为（　）

A.(−3，∞)　　B.(0，∞)　　C.(−∞，−3)　　D.(−3，0)

20.在直流电动机调速系统中，霍尔传感器是用作（　）反馈的传感器。

A.电压　　B.电流　　C.位移　　D.速度

二、填空题（每小题 1 分，共 10 分）

21.闭环控制系统又称为__________系统。

22.一线性系统，当输入是单位脉冲函数时，其输出象函数与__________相同。

23.一阶系统当输入为单位斜坡函数时，其响应的稳态误差恒为__________。

24.控制系统线性化过程中，线性化的精度和系统变量的__________有关。

25.对于最小相位系统一般只要知道系统的__________就可以判断其稳定性。

26.一般讲系统的位置误差指输入是__________所引起的输出位置上的误差。

27.超前校正是由于正相移的作用，使截止频率附近的__________明显上升，从而具有较大的稳定裕度。

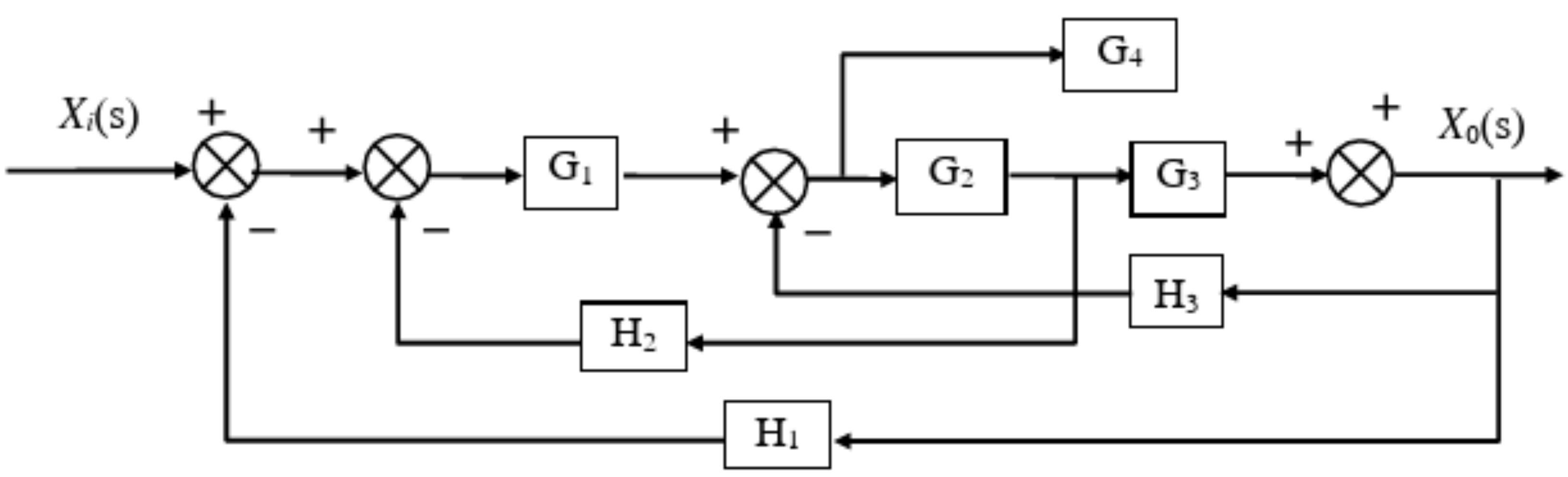
28.二阶系统当共轭复数极点位于__________ 线上时，对应的阻尼比为 0.707。

29.PID 调节中的“P”指的是__________控制器。

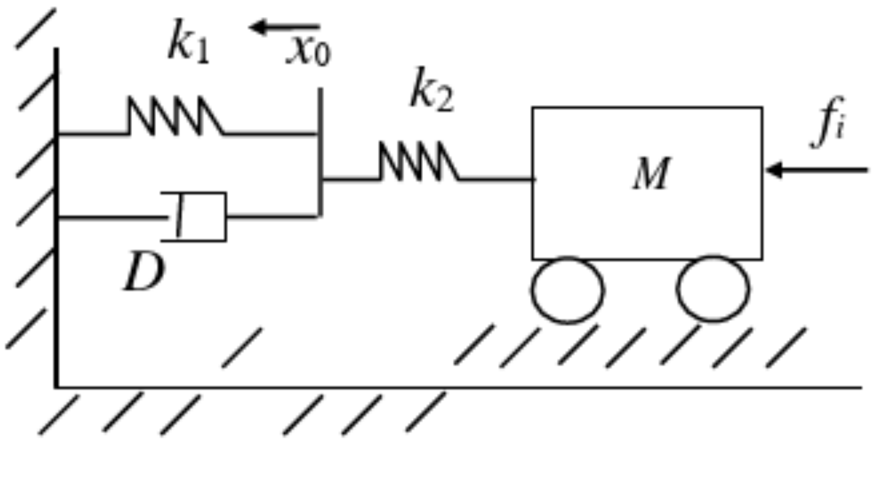
30.若要求系统的快速性好，则闭环极点应距虚轴越__________越好。

三,计算题（第 41、42 题每小题 5 分，第 43 、44 题每小题 10 分，共 30 分）

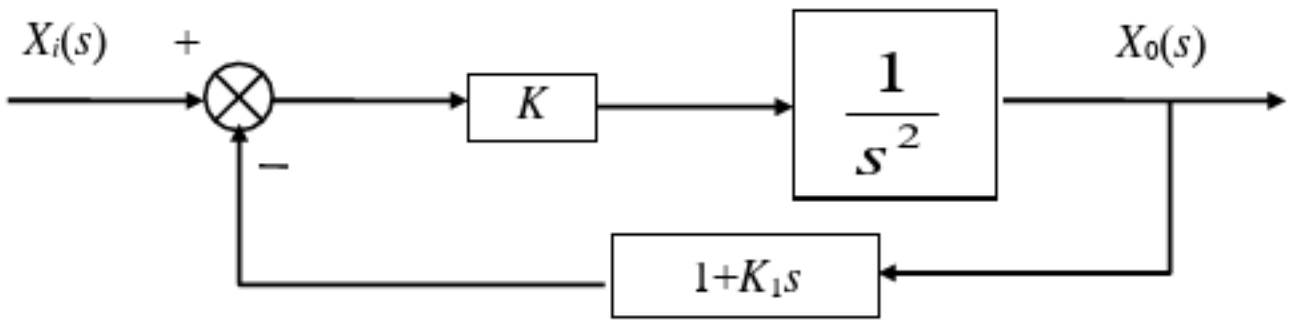
41.求图示方块图的传递函数，以 $X_i(s)$为输入，$X_0(s)$为输出。



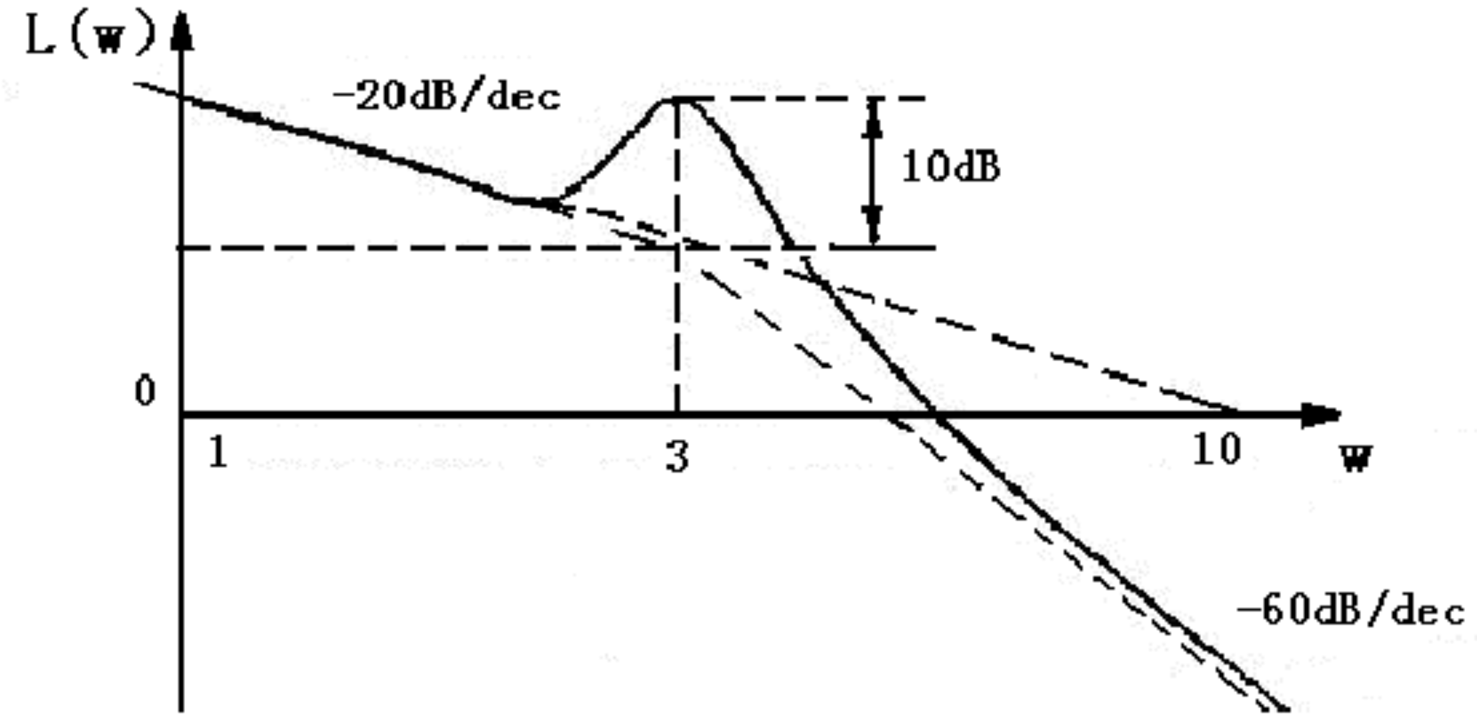
42.建立图示系统的数学模型，并以传递函数形式表示。



43.欲使图所示系统的单位阶跃响应的最大超调量为20%，峰值时间为2秒，试确定K和K_1值。



44.系统开环频率特性由实验求得，并已用渐近线表示出。试求该系统的开环传递函数。(设系统是最小相位系统)。



自动控制原理 2

一、单项选择题（每小题 1 分，共 20 分）

1. 系统已给出，确定输入，使输出尽可能符合给定的最佳要求，称为（　）
A.最优控制　　B.系统辨识　　C.系统分析　　D.最优设计
2. 与开环控制系统相比较，闭环控制系统通常对（　）进行直接或间接地测量，通过反馈环节去影响控制信号。
A.输出量　　B.输入量　　C.扰动量　　D.设定量
3. 在系统对输入信号的时域响应中，其调整时间的长短是与（　）指标密切相关。
A.允许的峰值时间　　B.允许的超调量
C.允许的上升时间　　D.允许的稳态误差
4. 主要用于产生输入信号的元件称为（　）
A.比较元件　　B.给定元件　　C.反馈元件　　D.放大元件
5. 某典型环节的传递函数是$G(s)=\dfrac{1}{5s+1}$，则该环节是（　）
A.比例环节　　B.积分环节　　C.惯性环节　　D.微分环节
6. 已知系统的微分方程为$3\ddot{x}_0(t)+6\dot{x}_0(t)+2x_0(t)=2x_i(t)$，则系统的传递函数是（　）

A. $\dfrac{2}{3s^2+6s+2}$　　B. $\dfrac{1}{3s^2+6s+2}$

C. $\dfrac{2}{2s^2+6s+3}$　　D. $\dfrac{1}{2s^2+6s+3}$

7. 引出点前移越过一个方块图单元时，应在引出线支路上（　）

A.并联越过的方块图单元　　B.并联越过的方块图单元的倒数

C.串联越过的方块图单元　　D.串联越过的方块图单元的倒数

8. 设一阶系统的传递$G(s)=\dfrac{7}{s+2}$，其阶跃响应曲线在 t=0 处的切线斜率为（　）

A.7　　B.2　　C.$\dfrac{7}{2}$　　D.$\dfrac{1}{2}$

9. 时域分析的性能指标，哪个指标是反映相对稳定性的（　）

A.上升时间　　B.峰值时间　　C.调整时间　　D.最大超调量

10.二阶振荡环节乃奎斯特图中与虚轴交点的频率为（　）

A.谐振频率　　B.截止频率　　C.最大相位频率　　D.固有频率

11.设系统的特征方程为$D(s)=s^4+2s^3+s^2+2s+1=0$，则此系统中包含正实部特征的个数为（　）

A.0　　B.1　　C.2　　D.3

12.一般为使系统有较好的稳定性, 希望相位裕量γ为（　）

A.0～15°　　B.15°～30°　　C.30°～60°　　D.60°～90°

13.设一阶系统的传递函数是$G(s)=\dfrac{2}{s+1}$，且容许误差为 5%，则其调整时间为（　）

A.1　　B.2　　C.3　　D.4

14.某一系统的速度误差为零，则该系统的开环传递函数可能是（　）

A.$\dfrac{K}{Ts+1}$　　B.$\dfrac{s+d}{s(s+a)(s+b)}$　　C.$\dfrac{K}{s(s+a)}$　　D.$\dfrac{K}{s^2(s+a)}$

15.单位反馈系统开环传递函数为$G(s)=\dfrac{4}{s^2(s^2+3s+2)}$，当输入为单位斜坡时，其加速度误差为(　)

A.0　　B.0.25　　C.4　　D.∞

16.若已知某串联校正装置的传递函数为$G_c(s)=\dfrac{s+1}{0.1s+1}$，则它是一种（　）

A.相位超前校正　　B.相位滞后校正　　C.相位滞后—超前校正　　D.反馈校正

17.确定根轨迹大致走向，一般需要用（　）条件就够了。

A.特征方程　　B.幅角条件　　C.幅值条件　　D.幅值条件+幅角条件

18.某校正环节传递函数$G_c(s)=\dfrac{100s+1}{10s+1}$，则其频率特性的奈氏图终点坐标为（　）

A.(0，j0)　　B.(1，j0)　　C.(1，j1)　　D.(10，j0)

19.系统的开环传递函数为$\dfrac{K}{s(s+1)(s+2)}$，则实轴上的根轨迹为（　）

A.(−2，−1)和（0，∞）　　B.(−∞，−2)和(−1，0)

C.(0，1)和(2，∞)　　D.(−∞，0)和(1，2)

20.A、B 是高阶系统的二个极点，一般当极点 A 距离虚轴比极点 B 距离虚轴大于（　）时，分析系统时可忽略极点 A。

A.5 倍　　B.4 倍　　C.3 倍　　D.2 倍

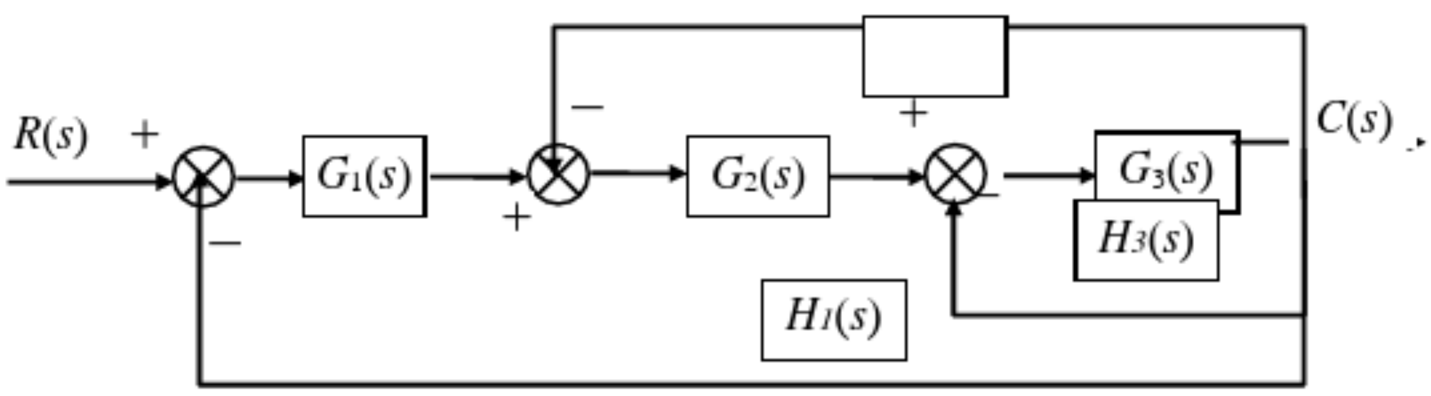
二、填空题（每小题 1 分，共 10 分）

21.“经典控制理论”的内容是以____________________为基础的。

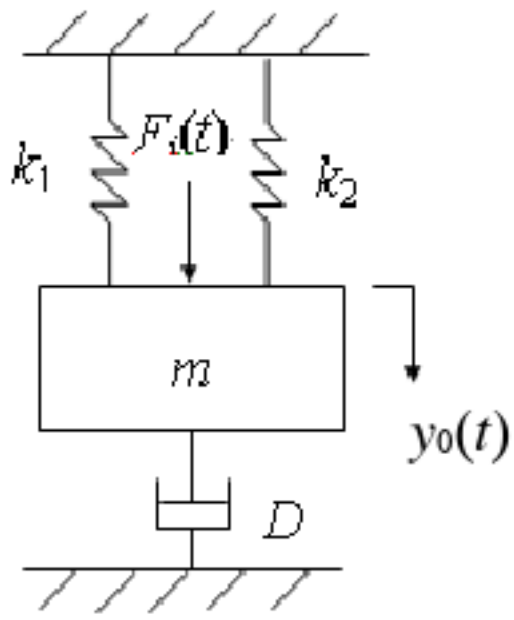
22.控制系统线性化过程中，变量的偏移越小，则线性化的精度________。

23.某典型环节的传递函数是$G(s)=\dfrac{1}{s+2}$，则系统的时间常数是_________。

24.延迟环节不改变系统的幅频特性，仅使____________发生变化。
25.若要全面地评价系统的相对稳定性，需要同时根据相位裕量和__________来做出判断。
26.一般讲系统的加速度误差指输入是____________所引起的输出位置上的误差。
27.输入相同时，系统型次越高，稳态误差越________。
28.系统主反馈回路中最常见的校正形式是_____________________和反馈校正
29. 已知超前校正装置的传递函数为 $G_c(s)=\dfrac{2s+1}{0.32s+1}$，其最大超前角所对应的频率 $\omega_m=$ ______________。
30.若系统的传递函数在右半 S 平面上没有______________，则该系统称作最小相位系统。
三、计算题（第 41、42 题每小题 5 分，第 43 、44 题每小题 10 分，共 30 分）
41.根据图示系统结构图，求系统传递函数 C(s)/R(s)。

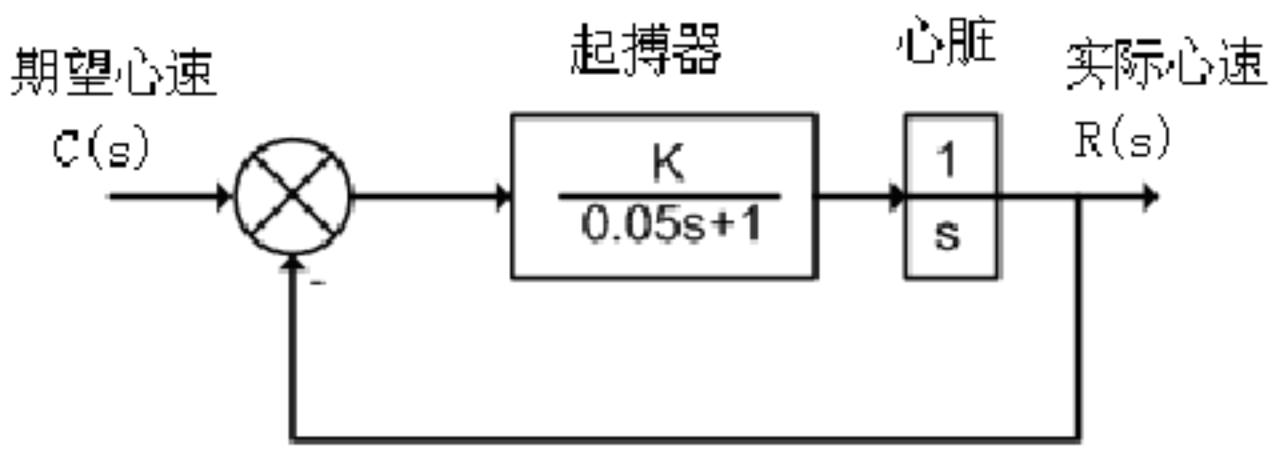


42.建立图示系统的数学模型，并以传递函数形式表示。



43.已知系统的传递函数 $G(s)=\dfrac{10}{s(0.1s+1)}$，试分析系统由哪些环节组成并画出系统的 Bode 图。

44.电子心率起搏器心率控制系统结构如图所示，其中模仿心脏的传递函数相当于一个纯积分环节，要求：
(1)若 $\zeta=0.5$，对应最佳响应，问起搏器增益 K 应取多大。
(2)若期望心速为 60 次/min，并突然接通起搏器，问 1s 后实际心速为多少？瞬时的最大心速多大。



自动控制原理 3

1. 如果被调量随着给定量的变化而变化，这种控制系统叫（　）

A.恒值调节系统　B.随动系统　C.连续控制系统　D.数字控制系统

2. 与开环控制系统相比较，闭环控制系统通常对（　）进行直接或间接地测量，通过反馈环节去影响控制信号。

A.输出量　B.输入量　C.扰动量　D.设定量

3. 直接对控制对象进行操作的元件称为（　）

A.给定元件　B.放大元件　C.比较元件　D.执行元件

4. 某典型环节的传递函数是$G(s)=\frac{1}{Ts}$，则该环节是（　）

A.比例环节　B.惯性环节　C.积分环节　D.微分环节

5. 已知系统的单位脉冲响应函数是$y(t)=0.1t^2$，则系统的传递函数是（　）

A. $\frac{0.2}{s^3}$　B. $\frac{0.1}{s}$　C. $\frac{0.1}{s^2}$　D. $\frac{0.2}{s^2}$

6. 梅逊公式主要用来（　）

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

7. 已知二阶系统单位阶跃响应曲线呈现出等幅振荡，则其阻尼比可能为（　）

A.0.6　B.0.707　C.0　D.1

8. 在系统对输入信号的时域响应中，其调整时间的长短是与（　）指标密切相关。

A.允许的稳态误差　B.允许的超调量

C.允许的上升时间　D.允许的峰值时间

9. 设一阶系统的传递$G(s)=\frac{7}{s+2}$，其阶跃响应曲线在 t =0 处的切线斜率为（　）

A.7　B.2　C. $\frac{7}{2}$　D. $\frac{1}{2}$

10.若系统的传递函数在右半 S 平面上没有零点和极点，则该系统称作（　）

A.非最小相位系统　B.最小相位系统　C.不稳定系统　D.振荡系统

11.一般为使系统有较好的稳定性,希望相位裕量γ为（　）

A.0～15°　B.15°～30°　C.30°～60°　D.60°～90°

12.某系统的闭环传递函数为：$G_B(s)=\frac{s+2k}{s^3+3s^2+4s+2k}$，当 k=（　）时，闭环系统临界稳定。

A.2　B.4　C.6　D.8

13.开环传递函数为$G(s)H(s)=\frac{K}{S^3(S+4)}$，则实轴上的根轨迹为（　）

A.(−4，∞)　B.(−4，0)　C.(−∞，−4)　D.(0，∞)

14.单位反馈系统开环传递函数为$G(s)=\frac{4}{s^2(s^2+3s+2)}$，当输入为单位斜坡时，其加速度误差为（　）

A.0　B.0.25　C.4　D.∞

15.系统的传递函数$G(s)=\frac{5}{s^2(s+1)(s+4)}$，其系统的增益和型次为　（　）

A.5，2　B.5/4，2　C.5，4　D.5/4，4

16.若已知某串联校正装置的传递函数为$G_j(s)=\frac{s+1}{10s+1}\frac{2s+1}{0.2s+1}$，则它是一种（　）

A.相位滞后校正　B.相位超前校正　C.相位滞后—超前校正　D.反馈校正

17.进行串联超前校正前的穿越频率 ω_c 与校正后的穿越频率 ω_c' 的关系，通常是（　）

A. $\omega_c = \omega_c'$　　B. $\omega_c > \omega_c'$　　C. $\omega_c < \omega_c'$　　D. ω_c 与 ω_c' 无关

18.已知系统开环传递函数 $G(s)=\dfrac{K^*}{s(s+1)(s+2)}$，则与虚轴交点处的 K^*=（　）

A.0　　B.2　　C.4　　D.6

19.某校正环节传递函数 $G_c(s)=\dfrac{100s+1}{10s+1}$，则其频率特性的奈氏图终点坐标为（　）

A.(0，j0)　　B.(1，j0)　　C.(1，j1)　　D.(10，j0)

20.A、B 是高阶系统的二个极点，一般当极点 A 距离虚轴比极点 B 距离虚轴大于（　）时，分析系统时可忽略极点 A。

A.5 倍　　B.4 倍　　C.3 倍　　D.2 倍

21.对控制系统的首要要求是系统具有__________。

22.在驱动力矩一定的条件下，机电系统的转动惯量越小，其__________越好。

23.某典型环节的传递函数是 $G(s)=\dfrac{1}{s+2}$，则系统的时间常数是__________。

24.延迟环节不改变系统的幅频特性，仅使__________发生变化。

25.二阶系统当输入为单位斜坡函数时，其响应的稳态误差恒为__________。

26.反馈控制原理是______________原理。

27.已知超前校正装置的传递函数为 $G_c(s)=\dfrac{2s+1}{0.32s+1}$，其最大超前角所对应的频率

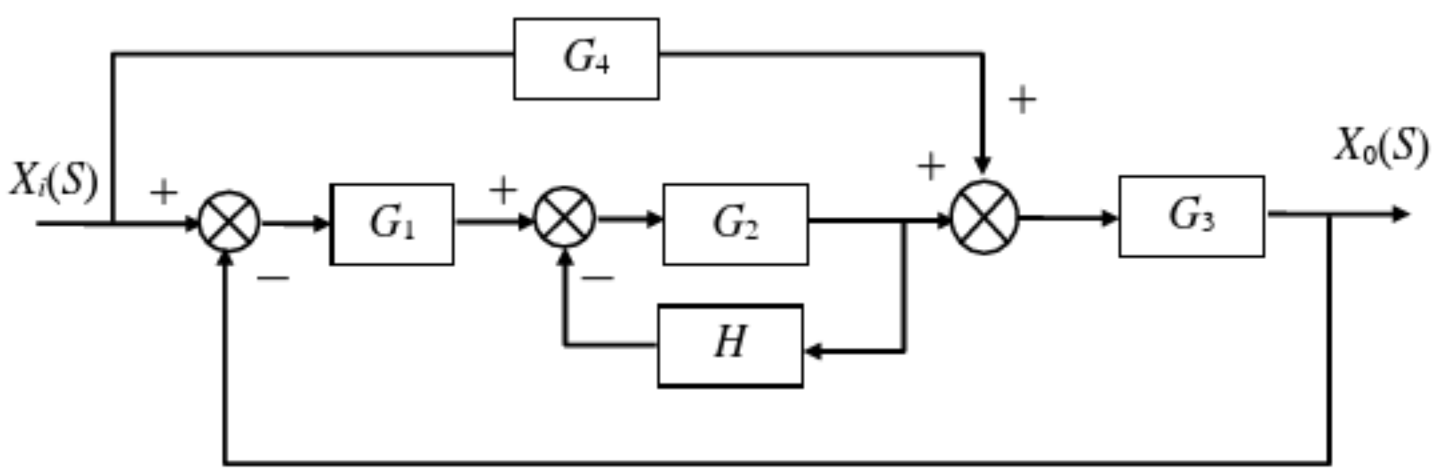
$\omega_m=$__________。

28.在扰动作用点与偏差信号之间加上__________能使静态误差降为 0。

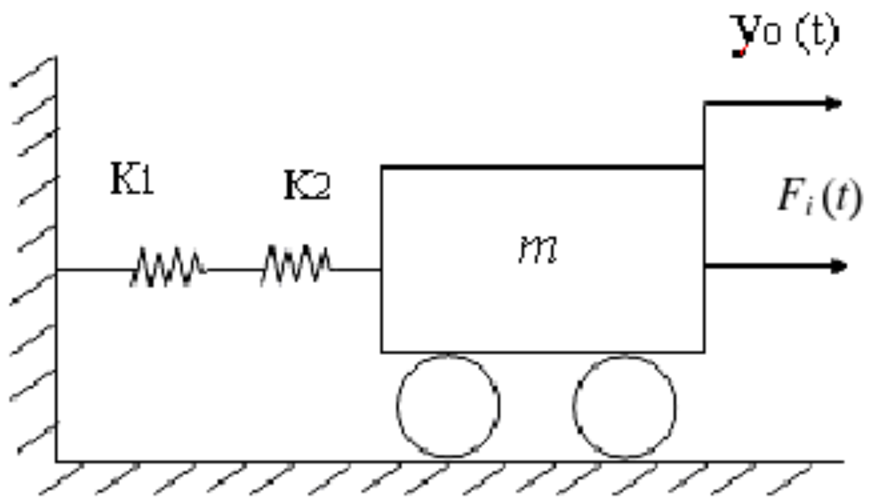
29.超前校正主要是用于改善稳定性和__________。

30.一般讲系统的加速度误差指输入是__________所引起的输出位置上的误差。

41.求如下方块图的传递函数。



42.建立图示系统的数学模型，并以传递函数形式表示。



43.设单位反馈开环传递函数为$G(s)=\dfrac{K}{s(5s+50)}$，求出闭环阻尼比为0.5时所对应的 K 值，并计算此 K 值下的t_s, t_p, t_r, Mp。

44.单位反馈开环传递函数为$G(s)=\dfrac{10(s+a)}{s(s+2)(s+10)}$，

(1)试确定使系统稳定的 a 值；

(2)使系统特征值均落在 S 平面中 $\mathrm{Re}=-1$ 这条线左边的 a 值。

自动控制原理 4

1. 系统和输入已知，求输出并对动态特性进行研究，称为（　）

A.系统综合　　B.系统辨识　　C.系统分析　　D.系统设计

2. 开环控制系统的的特征是没有（　）

A.执行环节　　B.给定环节

C.反馈环节　　D.放大环节

3. 主要用来产生偏差的元件称为（　）

A.比较元件　　B.给定元件　　C.反馈元件　　D.放大元件

4. 某系统的传递函数是$G(s)=\dfrac{1}{2s+1}e^{-\tau s}$，则该可看成由（　）环节串联而成。

A.比例、延时　　B.惯性、导前　　C.惯性、延时　　D.惯性、比例

5. 已知$F(s)=\dfrac{s^2+2s+3}{s(s^2+5s+4)}$，其原函数的终值$\underset{t\to\infty}{f(t)}=$（　）

A.0　　B.∞　　C.0.75　　D.3

6. 在信号流图中，在支路上标明的是（　）

A.输入　　B.引出点　　C.比较点　　D.传递函数

7 .设一阶系统的传递函数是$G(s)=\dfrac{3}{s+2}$，且容许误差为2%，则其调整时间为（　）

A.1　　B.1.5　　C.2　　D.3

8. 惯性环节和积分环节的频率特性在（　）上相等。

A.幅频特性的斜率　　B.最小幅值　　C.相位变化率　　D.穿越频率

9. 若保持二阶系统的 ζ 不变，提高 ω_n，则可以（　）

A.提高上升时间和峰值时间　　B.减少上升时间和峰值时间

C.提高上升时间和调整时间　　D.减少上升时间和超调量

10.二阶欠阻尼系统的有阻尼固有频率 ω_d、无阻尼固有频率 ω_n 和谐振频率 ω_r 比较（　）

A.$\omega_r>\omega_d>\omega_n$　　B.$\omega_r>\omega_n>\omega_d$　　C.$\omega_n>\omega_r>\omega_d$　　D.$\omega_n>\omega_d>\omega_r$

11.设系统的特征方程为$D(s)=3s^4+10s^3+5s^2+s+2=0$，则此系统中包含正实部特征的个数有（　）

A.0　　B.1　　C.2　　D.3

12.根据系统的特征方程$D(s)=3s^3+s^2-3s+5=0$，可以判断系统为（　）

A.稳定　　B.不稳定　　C.临界稳定　　D.稳定性不确定

13.某反馈系统的开环传递函数为：$G(s)=\dfrac{(\tau_2 s+1)}{s^2(T_1 s+1)}$，当（　）时，闭环系统稳定。

A.$T_1>\tau_2$　　B.$T_1<\tau_2$　　C.$T_1=\tau_2$　　D.任意T_1和τ_2

14.单位反馈系统开环传递函数为$G(s)=\dfrac{4}{s^2+3s+2}$，当输入为单位阶跃时，其位置误差为（　）

A.2　　B.0.2　　C.0.25　　D.3

15.当输入为单位斜坡且系统为单位反馈时，对于 II 型系统其稳态误差为（　）

A.0　　B.$0.1/k$　　C.$1/k$　　D.∞

16.若已知某串联校正装置的传递函数为$G_c(s)=\dfrac{2}{s}$，则它是一种（　）

A.相位滞后校正　　B.相位超前校正　　C.微分调节器　　D.积分调节器

17.相位超前校正装置的奈氏曲线为（　）

A.圆　　B.上半圆　　C.下半圆　　D.45°弧线

18.在系统中串联 PD 调节器，以下那一种说法是错误的（　）

A.是一种相位超前校正装置　　B.能影响系统开环幅频特性的高频段

C.使系统的稳定性能得到改善　　D.使系统的稳态精度得到改善

19.根轨迹渐近线与实轴的交点公式为（　）

A.$\dfrac{\sum_{j=1}^{n}P_j+\sum_{i=1}^{m}Z_i}{n+m}$　　B.$\dfrac{\sum_{i=1}^{m}Z_i-\sum_{j=1}^{n}P_j}{n-m}$

C.$\dfrac{\sum_{i=1}^{m}Z_i-\sum_{j=1}^{n}P_j}{n+m}$　　D.$\dfrac{\sum_{j=1}^{n}P_j-\sum_{i=1}^{m}Z_i}{n-m}$

20.直流伺服电动机—测速机机组（型号为 70SZD01F24MB）实际的机电时间常数为（　）

A.8.4 ms　　B.9.4 ms　　C.11.4 ms　　D.12.4 ms

21.根据采用的信号处理技术的不同，控制系统分为模拟控制系统和__________。

22.闭环控制系统中，真正对输出信号起控制作用的是__________。

23.控制系统线性化过程中，线性化的精度和系统变量的__________有关。

24.描述系统的微分方程为$\dfrac{d^2x_0(t)}{dt^2}+3\dfrac{dx_0(t)}{dt}+2x(t)=x_i(t)$，则频率特性

$G(j\omega)=$__________。

25.一般开环频率特性的低频段表征了闭环系统的__________性能。

26.二阶系统的传递函数 $G(s)=4/(s^2+2s+4)$，其固有频率ω_n=__________。

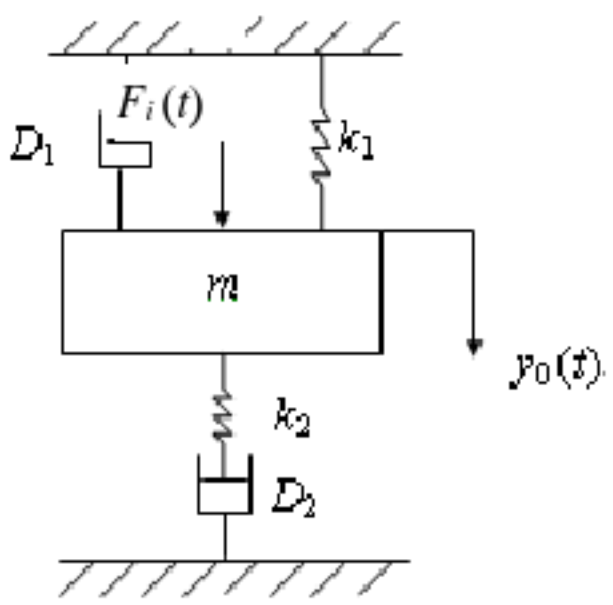
27.对单位反馈系统来讲，偏差信号和误差信号__________。

28.PID 调节中的“P”指的是__________控制器。

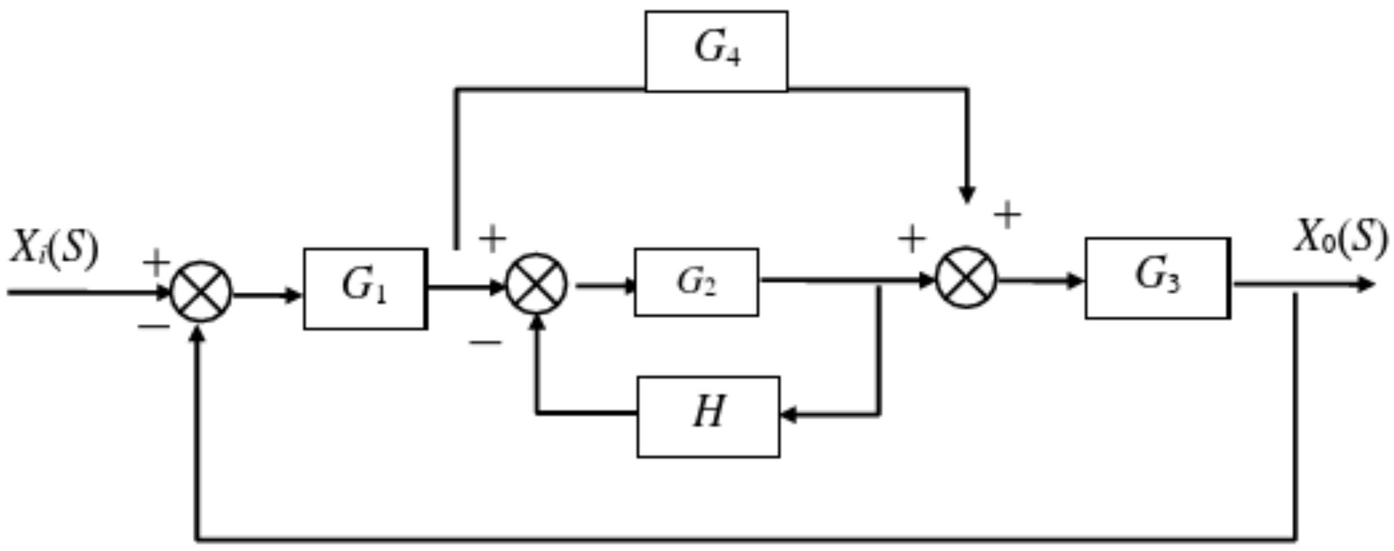
29.二阶系统当共轭复数极点位于±45°线上时，对应的阻尼比为__________。

30.误差平方积分性能指标的特点是：________________________

41.建立图示系统的数学模型，并以传递函数形式表示。



42.求如下方块图的传递函数。



43.已知给定系统的传递函数 $G(s)=\dfrac{10}{s(s+1)}$，分析系统由哪些环节组成，并画出系统的 Bode 图。

44.已知单位反馈系统的开环传递函数 $G_k(s)=\dfrac{k}{s(s+1)(2s+1)}$，

(l)求使系统稳定的开环增益 k 的取值范围；

(2) 求 k=1 时的幅值裕量；

(3)求 k=1.2，输入 $x(t)$=1+0.06 t 时的系统的稳态误差值 e_{ss}。

自动控制原理 5

1. 随动系统对（　）要求较高。

A.快速性　　B.稳定性　　C.准确性　　D.振荡次数

2.“现代控制理论”的主要内容是以（　）为基础，研究多输入、多输出等控制系统的分析和设计问题。

A.传递函数模型　　B.状态空间模型　　C.复变函数模型　　D.线性空间模型

3. 主要用于稳定控制系统，提高性能的元件称为（　）

A.比较元件　　B.给定元件　　C.反馈元件　　D.校正元件

4. 某环节的传递函数是 $G(s)=3s+7+\dfrac{1}{s+5}$，则该环节可看成由（　）环节串联而组成。

A.比例、积分、滞后　　B.比例、惯性、微分

C.比例、微分、滞后　　D.比例、积分、微分

5. 已知$F(s)=\dfrac{s^2+2s+3}{s(s^2+5s+4)}$，其原函数的终值$\underset{t\to\infty}{f(t)}=$（　）

A.0　　B.∞　　C.0.75　　D.3

6. 已知系统的单位阶跃响应函数是$x_0(t)=2(1-e^{-0.5t})$，则系统的传递函数是（　）

A. $\dfrac{2}{2s+1}$　　B. $\dfrac{2}{0.5s+1}$　　C. $\dfrac{1}{2s+1}$　　D. $\dfrac{1}{0.5s+1}$

7. 在信号流图中，在支路上标明的是（　）

A.输入　　B.引出点　　C.比较点　　D.传递函数

8. 已知系统的单位斜坡响应函数是$x_0(t)=t-0.5+0.5e^{-2t}$，则系统的稳态误差是（　）

A.0.5　　B.1　　C.1.5　　D.2

9. 若二阶系统的调整时间长，则说明（　）

A.系统响应快　　B.系统响应慢

C.系统的稳定性差　　D.系统的精度差

10.某环节的传递函数为$\dfrac{K}{\mathrm{T}s+1}$，它的对数幅频率特性$L(\omega)$随K值增加而（　）

A.上移　　B.下移　　C.左移　　D.右移

11.设积分环节的传递函数为$G(s)=\dfrac{K}{s}$，则其频率特性幅值$A(\omega)$=（　）

A. $\dfrac{K}{\omega}$　　B. $\dfrac{K}{\omega^2}$　　C. $\dfrac{1}{\omega}$　　D. $\dfrac{1}{\omega^2}$

12.根据系统的特征方程$D(s)=3s^3+s^2-3s+5=0$，可以判断系统为（　）

A.稳定　　B.不稳定　　C.临界稳定　　D.稳定性不确定

13.二阶系统的传递函数$G(s)=\dfrac{1}{4s^2+2s+1}$，其阻尼比$\zeta$是（　）

A.0.5　　B.1　　C.2　　D.4

14.系统稳定的充分必要条件是其特征方程式的所有根均在根平面的（　）

A.右半部分　　B.左半部分　　C.实轴上　　D.虚轴上

15.一闭环系统的开环传递函数为$G(s)=\dfrac{4(s+3)}{s(2s+3)(s+4)}$，则该系统为（　）

A.0 型系统，开环放大系数K为 2　　B.I 型系统，开环放大系数K为 2

C.I 型系统，开环放大系数K为 1　　D.0 型系统，开环放大系数K为 1

16.进行串联滞后校正后，校正前的穿越频率ω_c与校正后的穿越频率ω_c'之间的关系，通常是（　）

A. $\omega_c=\omega_c'$　　B. $\omega_c>\omega_c'$　　C. $\omega_c<\omega_c'$　　D.与ω_c、ω_c'无关

17.在系统中串联 PD 调节器，以下那一种说法是错误的（　）

A.是一种相位超前校正装置　　B.能影响系统开环幅频特性的高频段

C.使系统的稳定性能得到改善　　D.使系统的稳态精度得到改善

18.滞后校正装置的最大滞后相位趋近（　）

A.-45°　　B.45°　　C.-90°　　D.90°

19.实轴上分离点的分离角恒为（　）

A.±45°　　B.±60°　　C.±90°　　D.±120°

20.在电压—位置随动系统的前向通道中加入（　）校正，使系统成为 II 型系统，可以消除常值干扰力矩带来的静态误差。

A.比例微分　　B.比例积分

C.积分微分　　D.微分积分

21.闭环控制系统中，真正对输出信号起控制作用的是________。

22.系统的传递函数的______分布决定系统的动态特性。

23.二阶系统的传递函数 $G(s)=4/(s^2+2s+4)$，其固有频率 ω_n=____。

24.用频率法研究控制系统时，采用的图示法分为极坐标图示法和______图示法。

25.描述系统的微分方程为 $\frac{d^2x_0(t)}{dt^2}+3\frac{dx_0(t)}{dt}+2x(t)=x_i(t)$，则频率特性

$G(j\omega)=$__________。

26.乃氏图中当 ω 等于剪切频率时，相频特性距 $-\pi$ 线的相位差叫______。

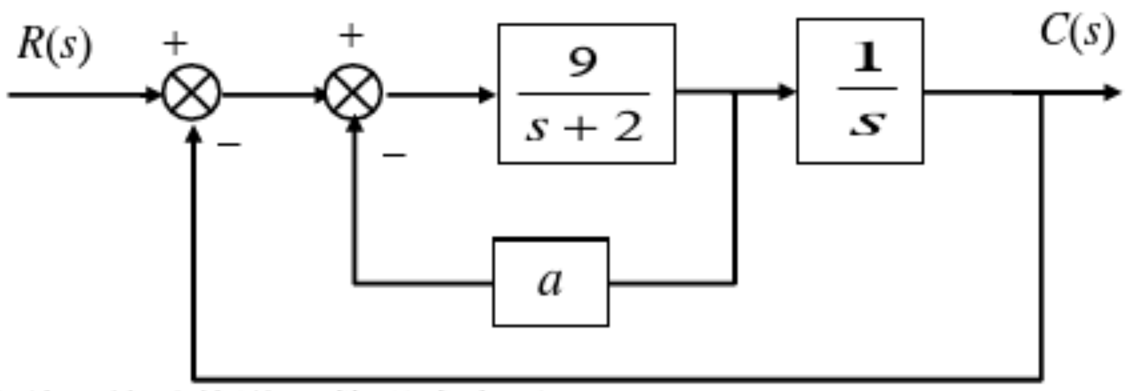
27. ______系统的稳态误差和稳态偏差相同。

28.滞后校正是利用校正后的________作用使系统稳定的。

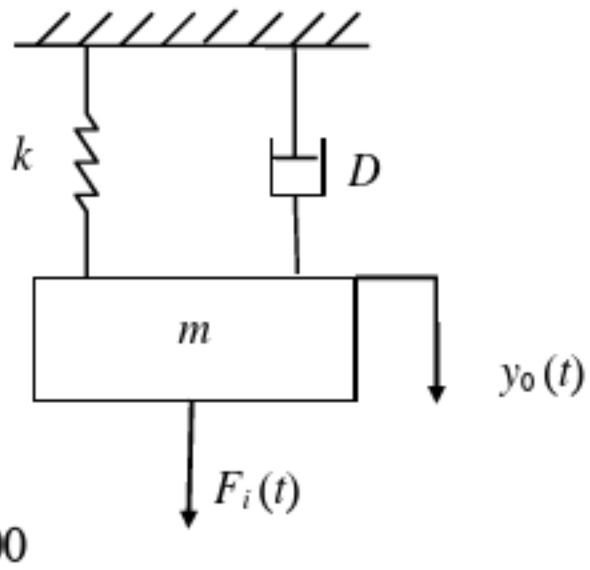
29.二阶系统当共轭复数极点位于±45°线上时，对应的阻尼比为______。

30.远离虚轴的闭环极点对________的影响很小。

41.一反馈控制系统如图所示，求：当 ξ=0.7 时，a=?



42.建立图示系统的数学模型，并以传递函数形式表示。

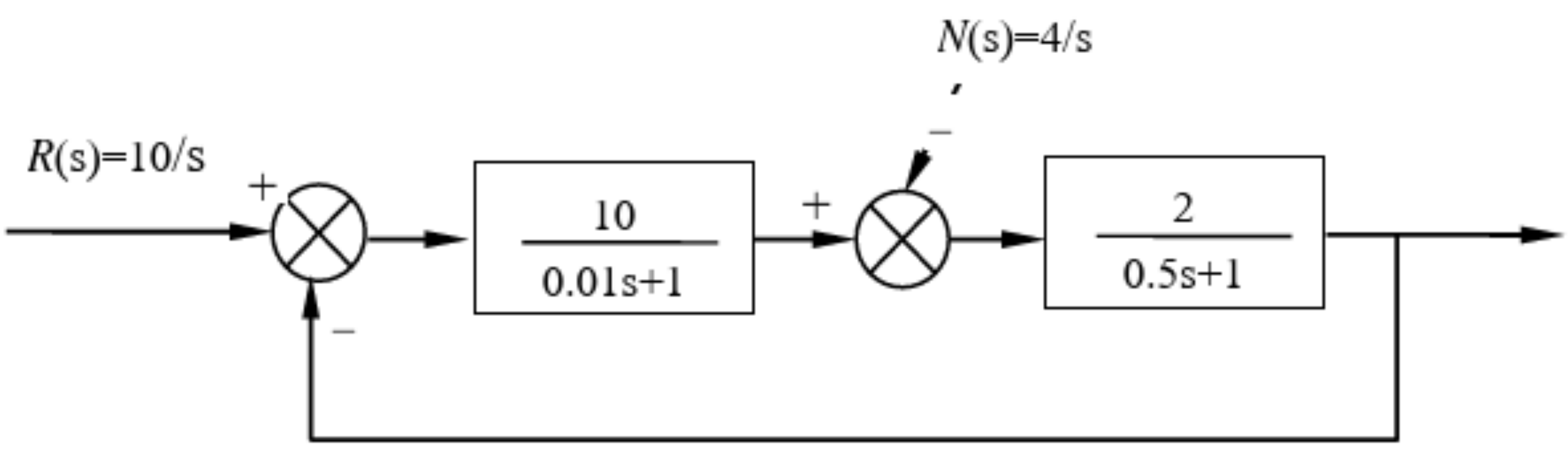


43.某单位反馈开环系统的传递函数为 $G(s)=\frac{2000}{s(s+2)(s+20)}$，

(1)画出系统开环幅频 Bode 图。

(2)计算相位裕量。

44.求出下列系统的跟随稳态误差 e_{ssr} 和扰动稳态误差 e_{ssd}。



自动控制原理 6

1 .系统已给出，确定输入，使输出尽可能符合给定的最佳要求，称为（　）

A.系统辨识　　B.系统分析　　C.最优设计　　D.最优控制

2 .系统的数学模型是指（　）的数学表达式。

A.输入信号　　B.输出信号　　C.系统的动态特性　D.系统的特征方程

3 .主要用于产生输入信号的元件称为（　）

A.比较元件　　B.给定元件　　C.反馈元件　　D.放大元件

4 .某典型环节的传递函数是 $G(s)=\dfrac{1}{5s+1}$，则该环节是（　）

A.比例环节　　B.积分环节　　C.惯性环节　　D.微分环节

5 .已知系统的微分方程为 $3\ddot{x}_0(t)+6\dot{x}_0(t)+2x_0(t)=2x_i(t)$，则系统的传递函数是（　）

A. $\dfrac{2}{3s^2+6s+2}$　B. $\dfrac{1}{3s^2+6s+2}$　C. $\dfrac{2}{2s^2+6s+3}$　D. $\dfrac{1}{2s^2+6s+3}$

6 .在用实验法求取系统的幅频特性时，一般是通过改变输入信号的（　）来求得输出信号的幅值。

A.相位　　B.频率　　C.稳定裕量　　D.时间常数

7 .设一阶系统的传递函数是 $G(s)=\dfrac{2}{s+1}$，且容许误差为 5%，则其调整时间为（　）

A.1　　B.2　　C.3　　D.4

8 .若二阶系统的调整时间短，则说明（　）

A.系统响应快　　B.系统响应慢　　C.系统的稳定性差　　D.系统的精度差

9 .以下说法正确的是（　）

A.时间响应只能分析系统的瞬态响应

B.频率特性只能分析系统的稳态响应

C.时间响应和频率特性都能揭示系统的动态特性

D.频率特性没有量纲

10.二阶振荡环节乃奎斯特图中与虚轴交点的频率为（　）

A.最大相位频率　　B.固有频率　　C.谐振频率　　D.截止频率

11.II 型系统对数幅频特性的低频段渐近线斜率为（　）

A.–60（dB/dec）　B.–40（dB/dec）　C.–20（dB/dec）　D.0（dB/dec）

12.某单位反馈控制系统的开环传递函数为：$G(s)=\dfrac{k}{2s-1}$，当 k=（　）时，闭环系统临界稳定。

A.0.5　　B.1　　C.1.5　　D.2

13.系统特征方程式的所有根均在根平面的左半部分是系统稳定的（　）

A.充分条件　　B.必要条件　　C.充分必要条件　　D.以上都不是

14.某一系统的速度误差为零，则该系统的开环传递函数可能是（　）

A. $\dfrac{K}{Ts+1}$　B. $\dfrac{s+d}{s(s+a)(s+b)}$　C. $\dfrac{K}{s(s+a)}$　D. $\dfrac{K}{s^2(s+a)}$

15.当输入为单位斜坡且系统为单位反馈时，对于 I 型系统其稳态误差 e_{ss}=（　）

A.0.1/k　　B.1/k　　C.0　　D.∞

16.若已知某串联校正装置的传递函数为 $G_c(s)=\dfrac{s+1}{0.1s+1}$，则它是一种（　）

A.相位超前校正　　　　　　　　　B.相位滞后校正

C.相位滞后—超前校正　　　　　　D.反馈校正

17.常用的比例、积分与微分控制规律的另一种表示方法是（　）

A.PDI　　B.PDI　　C.IPD　　D.PID

18.主导极点的特点是（　）

A 距离虚轴很近　　　　　　B.距离实轴很近

C.距离虚轴很远　　　　　　D.距离实轴很远

19.系统的开环传递函数为$\dfrac{K}{s(s+1)(s+2)}$，则实轴上的根轨迹为（　）

A.（−2，−1）和（0，∞）　　　　B.（−∞，−2）和（−1，0）

C.（0，1）和（2，∞）　　　　　D.（−∞，0）和（1，2）

20.确定根轨迹大致走向，用以下哪个条件一般就够了（　）

A.特征方程　　B.幅角条件　　C.幅值条件　　D.幅值条件+幅角条件

21.自动控制系统最基本的控制方式是________________。

22.控制系统线性化过程中，变量的偏移越小，则线性化的精度________________。

23.传递函数反映了系统内在的固有特性，与__________________无关。

24.实用系统的开环频率特性具有_______________的性质。

25.描述系统的微分方程为$\dfrac{d^2x_0(t)}{dt^2}+3\dfrac{dx_0(t)}{dt}+2x(t)=x_i(t)$，则其频率特性

$G(j\omega)=$______________________。

26.输入相同时，系统型次越高，稳态误差越________。

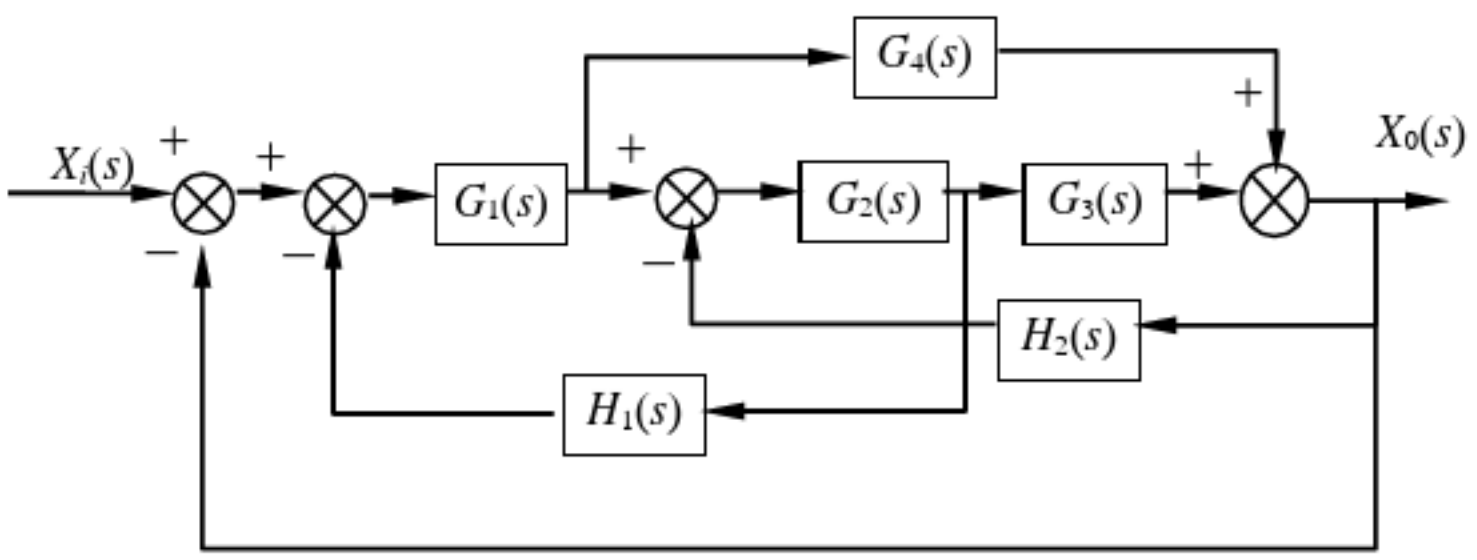
27.系统闭环极点之和为___________。

28.根轨迹在平面上的分支数等于______________________________________。

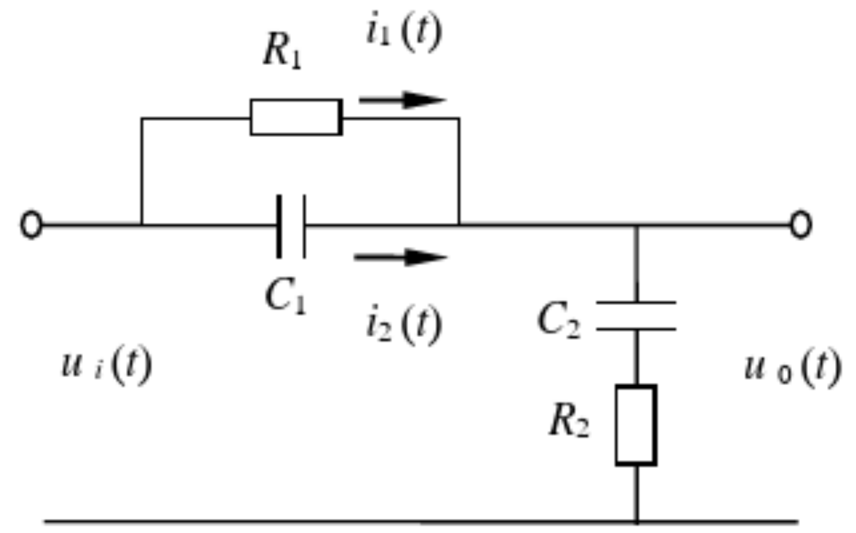
29.为满足机电系统的高动态特性，机械传动的各个分系统的_______________应远高于机电系统的设计截止频率。

30.若系统的传递函数在右半 S 平面上没有_______________，则该系统称作最小相位系统。

41.求如下方块图的传递函数。



42.建立图示系统的数学模型，并以传递函数形式表示。



43.已知某单位负反馈控制系统的开环传递函数为 $G(s)=\frac{1+as}{s^2}$，绘制奈奎斯特曲线，判别系统的稳定性；并用劳斯判据验证其正确性。

44.设控制系统的开环传递函数为 $G(s)=\frac{K}{s(s+2)(s+4)}$ 试绘制该系统的根轨迹，并求出使系统稳定的 K 值范围。

自动控制原理 7

1. 输入已知，确定系统，使输出尽可能符合给定的最佳要求，称为（　）
   A.滤波与预测　B.最优控制　C.最优设计　D.系统分析
2. 开环控制的特征是（　）
   A.系统无执行环节　B.系统无给定环节
   C.系统无反馈环节　D.系统无放大环节
3. ω 从 0 变化到+∞时，延迟环节频率特性极坐标图为（　）
   A.圆　B.半圆　C.椭圆　D.双曲线
4. 若系统的开环传递函数为 $\frac{10}{s(5s+2)}$，则它的开环增益为（　）
   A.10　B.2　C.1　D.5
5. 在信号流图中，只有（　）不用节点表示。
   A.输入　B.输出　C.比较点　D.方块图单元
6. 二阶系统的传递函数 $G(s)=\frac{1}{4s^2+2s+1}$，其阻尼比 ζ 是（　）
   A.0.5　B.1　C.2　D.4
7. 若二阶系统的调整时间长，则说明（　）
   A.系统响应快　B.系统响应慢
   C.系统的稳定性差　D.系统的精度差
8. 比例环节的频率特性相位移 $\varphi(\omega)=$（　）
   A.0°　B.−90°　C.90°　D.−180°
9. 已知系统为最小相位系统，则一阶惯性环节的幅频变化范围为（　）
   A.0→45°　B.0→-45°　C.0→90°　D.0→-90°
10. 为了保证系统稳定，则闭环极点都必须在（　）上。
   A.s 左半平面　B.s 右半平面
   C.s 上半平面　D.s 下半平面
11. 系统的特征方程 $D(s)=5s^4+3s^2+3=0$，可以判断系统为（　）
   A.稳定　B.不稳定
   C.临界稳定　D.稳定性不确定
12. 下列判别系统稳定性的方法中，哪一个是在频域里判别系统稳定性的判据（　）
   A.劳斯判据　B.赫尔维茨判据
   C.奈奎斯特判据　D.根轨迹法
13. 对于一阶、二阶系统来说，系统特征方程的系数都是正数是系统稳定的（　）
   A.充分条件　B.必要条件　C.充分必要条件　D.以上都不是
14. 系统型次越高，稳态误差越（　）

A.越小　　　B.越大　　　C.不变　　　D.无法确定

15.若已知某串联校正装置的传递函数为$G_c(s)=\dfrac{s+1}{10s+1}$，则它是一种（　）

A.反馈校正　　　B.相位超前校正

C.相位滞后—超前校正　　　D.相位滞后校正

16.进行串联滞后校正后，校正前的穿越频率ω_c与校正后的穿越频率ω_c'的关系相比，通常是（　）

A. $\omega_c=\omega_c'$　　　B. $\omega_c>\omega_c'$　　　C. $\omega_c<\omega_c'$　　　D.与ω_c、ω_c'无关

17.超前校正装置的频率特性为$\dfrac{1+\beta T_2\omega j}{1+T_2\omega j}(\beta>1)$，其最大超前相位角$\varphi_m$为（　）

A. $\arcsin\dfrac{\beta-1}{\beta+1}$　　　B. $\arcsin\dfrac{T_2-1}{T_2+1}$

C. $\arcsin\dfrac{\beta T_2-1}{\beta T_2+1}$　　　D. $\arcsin\dfrac{\beta T_2\omega-1}{\beta T_2\omega+1}$

18.开环传递函数为$G(s)H(s)=\dfrac{K}{(s+2)(s+5)}$，则实轴上的根轨迹为（　）

A.（−2，∞）　　　B.（−5，2）　　　C.（−∞，−5）　　　D.（2，∞）

19.在对控制系统稳态精度无明确要求时，为提高系统的稳定性，最方便的是（　）

A.减小增益　　　B.超前校正　　　C.滞后校正　　　D.滞后-超前

20.PWM 功率放大器在直流电动机调速系统中的作用是（　）

A.脉冲宽度调制　　　B.幅度调制　　　C.脉冲频率调制　　　D.直流调制

21.一线性系统，当输入是单位脉冲函数时，其输出象函数与__________相同。

22.输入信号和反馈信号之间的比较结果称为__________。

23.对于最小相位系统一般只要知道系统的__________就可以判断其稳定性。

24.设一阶系统的传递 G(s)=7/(s+2)，其阶跃响应曲线在 t=0 处的切线斜率为__________。

25.当输入为正弦函数时，频率特性 G(jω)与传递函数 G(s)的关系为__________。

26.机械结构动柔度的倒数称为__________。

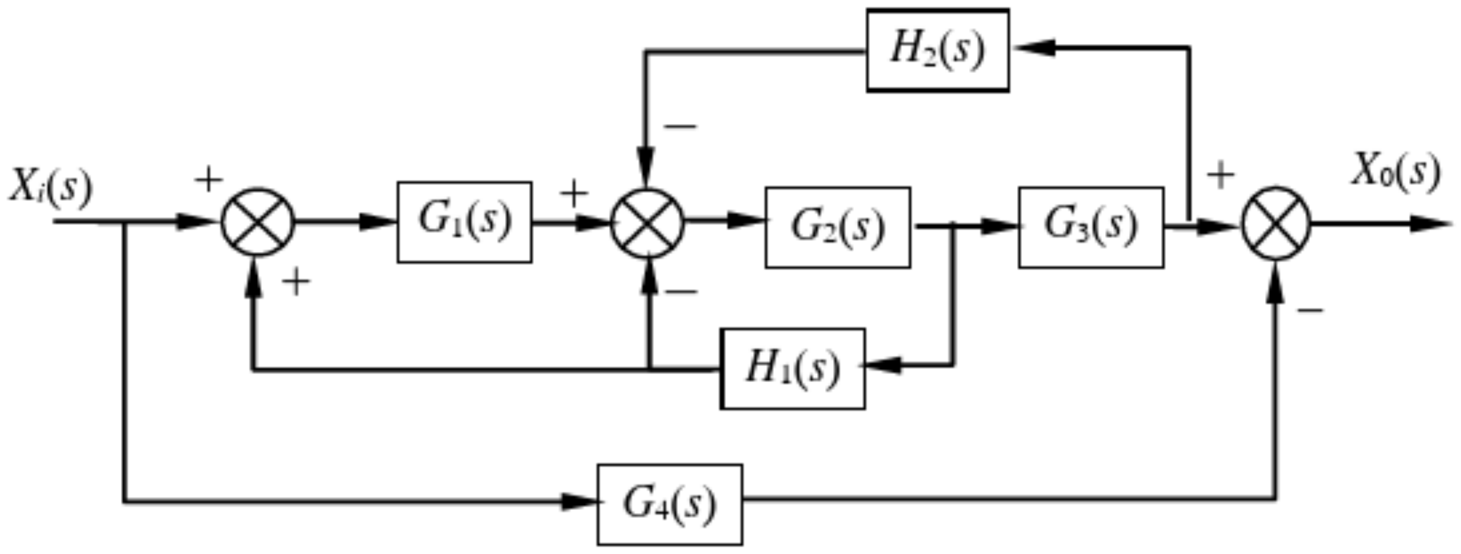
27.当乃氏图逆时针从第二象限越过负实轴到第三象限去时称为__________。

28.二阶系统对加速度信号响应的稳态误差为__________。即不能跟踪加速度信号。

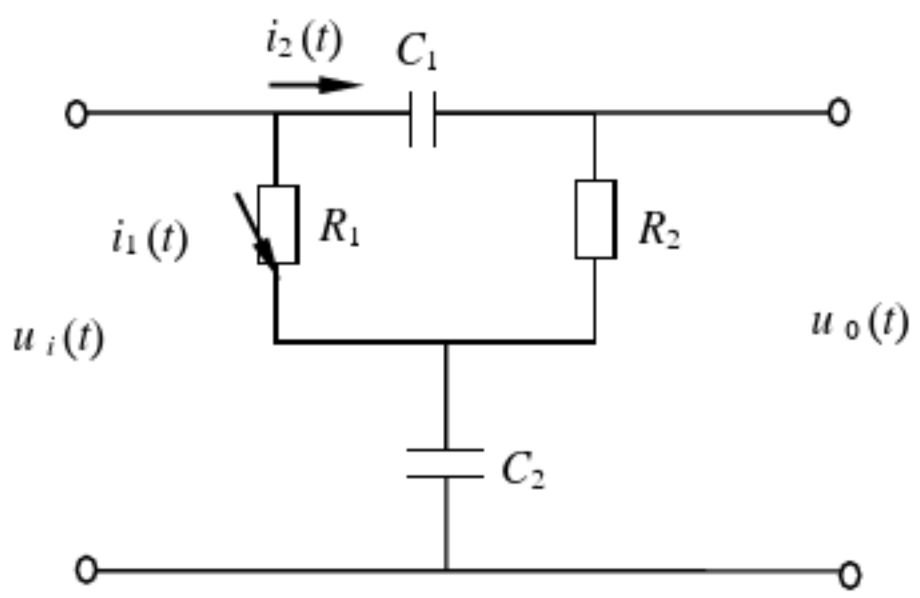
29.根轨迹法是通过__________直接寻找闭环根轨迹。

30.若要求系统的快速性好，则闭环极点应距虚轴越__________越好。

41.求如下方块图的传递函数。



42.建立图示系统的数学模型，并以传递函数形式表示。

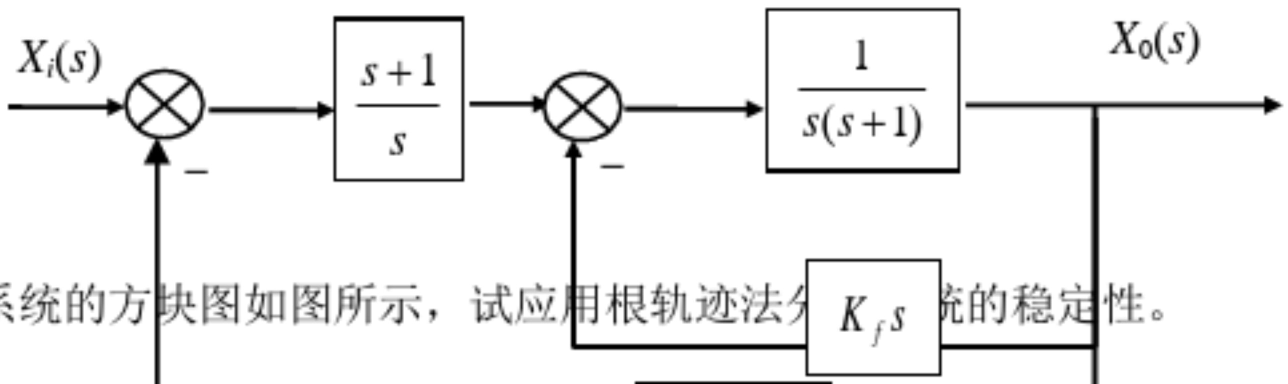


43.已知具有局部反馈回路的控制系统方块图如图所示，求：

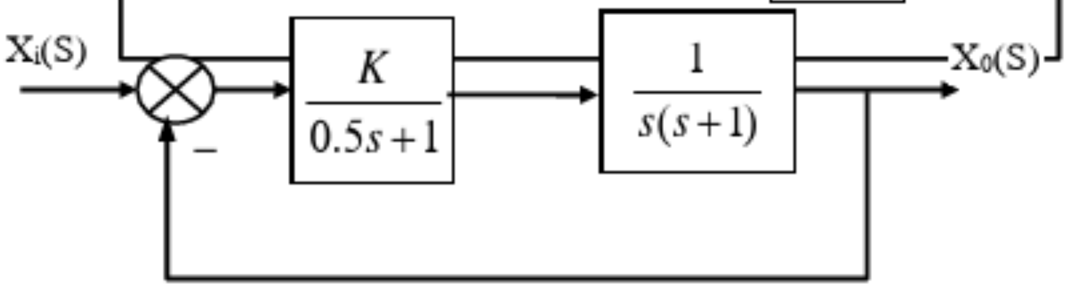
(1)系统稳定时 K_f 的取值范围；

(2)求输入为 $x(t)=\dfrac{1}{2}t^2$ 时，系统的静态加速度误差系数 K_a；

(3)说明系统的局部反馈 $K_f s$ 对系统的稳态误差 e_{ss} 的影响。



44.伺服系统的方块图如图所示，试应用根轨迹法分析系统的稳定性。



自动控制原理 8

1. 输入与输出均已给出，确定系统的结构和参数，称为（　）

A.最优设计　　B.系统辨识　　C.系统分析　　D.最优控制

2. 对于代表两个或两个以上输入信号进行（　）的元件又称比较器。

A.微分　　B.相乘　　C.加减　　D.相除

3. 直接对控制对象进行操作的元件称为（　）

A.比较元件　　B.给定元件　　C.执行元件　　D.放大元件

4. 某环节的传递函数是 $G(s)=5s+3+\dfrac{2}{s}$，则该环节可看成由（　）环节串联而组成。

A.比例、积分、滞后　　B.比例、惯性、微分

C.比例、微分、滞后　　D.比例、积分、微分

5. 已知系统的微分方程为 $6\dot{x}_0(t)+2x_0(t)=2x_i(t)$，则系统的传递函数是（　）

A. $\dfrac{1}{3s+1}$　　B. $\dfrac{2}{3s+1}$　　C. $\dfrac{1}{6s+2}$　　D. $\dfrac{2}{3s+2}$

6. 梅逊公式主要用来（　）

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

7. 一阶系统 $G(s)=\dfrac{K}{Ts+1}$ 的放大系数 K 愈小，则系统的输出响应的稳态值（　）

A.不变　　　B.不定　　　C.愈小　　　D.愈大

8. 二阶欠阻尼系统的性能指标中只与阻尼比有关的是 （　）

A.上升时间　　　B.峰值时间

C.调整时间　　　D.最大超调量

9. 在用实验法求取系统的幅频特性时，一般是通过改变输入信号的（　）来求得输出信号的幅值。

A.相位　　　B.频率　　　C.稳定裕量　　　D.时间常数

10.设开环系统频率特性 $G(j\omega)=\dfrac{4}{(1+j\omega)^3}$，当 ω=1rad/s 时，其频率特性幅值 $A(1)$=（　）

A.$\dfrac{\sqrt{2}}{4}$　　　B.$4\sqrt{2}$　　　C.$\sqrt{2}$　　　D.$2\sqrt{2}$

11.一阶惯性系统 $G(s)=\dfrac{1}{s+2}$ 的转角频率指 $\omega=$（　）

A.2　　　B.1　　　C.0.5　　　D.0

12.设单位负反馈控制系统的开环传递函数 $G(s)=\dfrac{K}{s(s+a)}$，其中 K>0，a>0，则闭环控制系统的稳定性与（　）

A.K 值的大小有关　　　B.a 值的大小有关

C.a 和 K 值的大小无关　　　D.a 和 K 值的大小有关

13.已知二阶系统单位阶跃响应曲线呈现出等幅振荡，则其阻尼比可能为（　）

A.0.707　　　B.0.6　　　C.1　　　D.0

14.系统特征方程式的所有根均在根平面的左半部分是系统稳定的（　）

A.充分条件　　　B.必要条件

C.充分必要条件　　　D.以上都不是

15.以下关于系统稳态误差的概念正确的是（　）

A.它只决定于系统的结构和参数　　　B.它只决定于系统的输入和干扰

C.与系统的结构和参数、输入和干扰有关　　　D.它始终为 0

16.当输入为单位加速度且系统为单位反馈时，对于 I 型系统其稳态误差为（　）

A.0　　　B.0.1/k　　　C.1/k　　　D.∞

17.若已知某串联校正装置的传递函数为 $G_c(s)=2s$，则它是一种（　）

A.相位滞后校正　　　B.相位超前校正

C.微分调节器　　　D.积分调节器

18.在系统校正时，为降低其稳态误差优先选用（　）校正。

A.滞后　　　B.超前　　　C.滞后-超前　　　D.减小增益

19.根轨迹上的点应满足的幅角条件为 $\angle G(s)H(s)=$（　）

A.-1　　　B.1

C.$\pm(2k+1)\pi/2$　(k=0,1,2,⋯)　　　D.$\pm(2k+1)\pi$ (k=0,1,2,⋯)

20.主导极点的特点是（　）

A.距离虚轴很近　　　B.距离实轴很近

C.距离虚轴很远　　　D.距离实轴很远

21.对控制系统的首要要求是系统具有________________。

22.利用终值定理可在复频域中得到系统在时间域中的______________。

23.传递函数反映了系统内在的固有特性，与__________________无关。

24.若减少二阶欠阻尼系统超调量，可采取的措施是___________________。

25.已知超前校正装置的传递函数为$G_c(s)=\dfrac{2s+1}{0.32s+1}$，其最大超前角所对应的频率 $\omega_m=$ ________。

26.延迟环节不改变系统的幅频特性，仅使____________发生变化

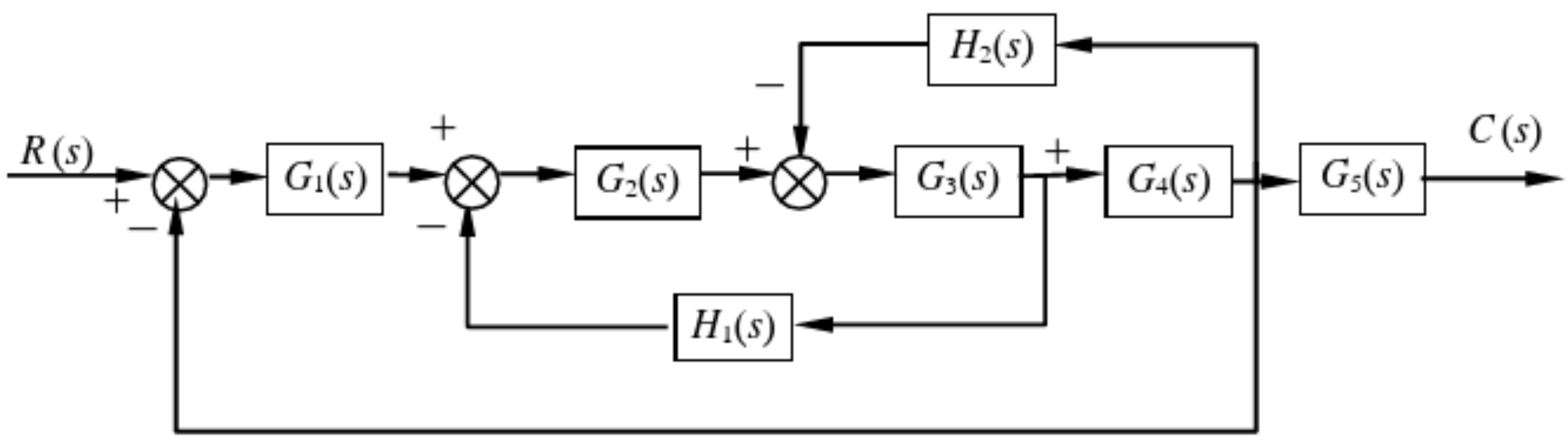
27.某典型环节的传递函数是$G(s)=\dfrac{1}{s+2}$，则系统的时间常数是__________。

28.在扰动作用点与偏差信号之间加上___________能使静态误差降为 0。

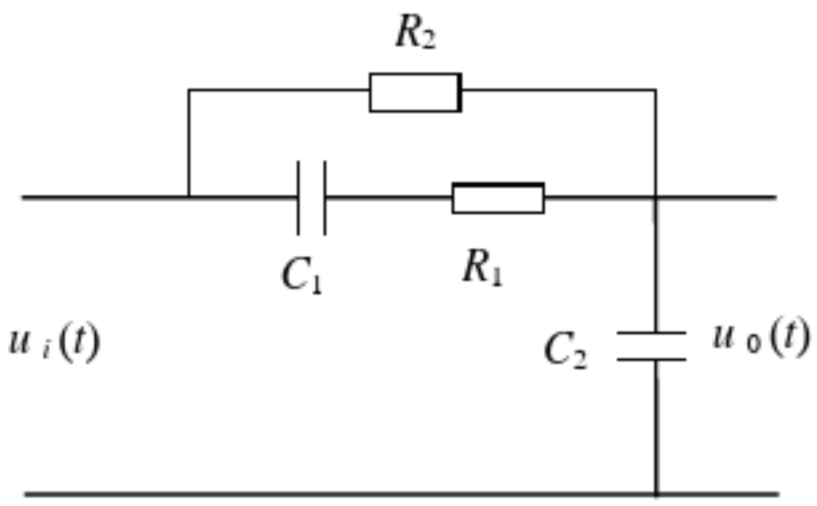
29.微分控制器是针对被调量的_________________来进行调节。

30.超前校正主要是用于改善稳定性和______________。

41.系统方框图如下，求其传递函数$\dfrac{C(s)}{R(s)}$。



42.建立图示系统的数学模型，并以传递函数形式表示。



43.已知系统的传递函数$G(S)=\dfrac{10(10S+1)}{S+1}$，试分析系统由哪些环节组成并画出系统的 Bode 图。

44.单位反馈系统的开环传递函数为$G_k(s)=\dfrac{1}{s+1}$，求：

1) 系统在单位阶跃信号输入下的稳态偏差是多少；

2) 当系统的输入信号为$x_i(t)=\sin(t+30^\circ)$，系统的稳态输出？

自动控制原理 1 试题答案及评分参考

一、单项选择题（每小题 1 分，共 20 分）

1 .C	2 .A	3 .C	4 .A	5 .B	6 .C	7 .B	8 .B	9 .A	10.D
11.A	12.C	13.C	14.C	15.D	16.B	17.A	18.B	19.C	20.B

二、填空题(每空 1 分，共 10 分)

21.反馈控制　22.传递函数　23.时间常数 T (或常量)　24.偏移程度　25.开环幅频特性　26.阶跃信号

27.相位　28.±45°　29.比例　30.远

三、计算题(第 41、42 题每小题 5 分，第 43 、44 题每小题 10 分，共 30 分)

41.解：

$$G(s)=\frac{G_1G_2G_3+G_1G_4}{1+G_1G_2H_1+G_2G_3H_2+G_1G_2G_3H_3+G_1G_2H_3+G_4H_2}$$ （5 分）

42.解：

$$D\dot{x}_0(t)+k_1x_0(t)=k_2[x_a(t)-x_0(t)]\Rightarrow DsX_0(s)+k_1X_0(s)=k_2[X_a(s)-X_0(s)]$$
$$M\ddot{x}_a(t)+k_2[x_a(t)-x_0(t)]=f_i(t)\Rightarrow Ms^2X_a(s)+k_2[X_a(s)-X_0(s)]=F_i(s)$$

（2.5 分）

$$G(s)=\frac{k_2}{mDs^3+m(k_1+k_2)s^2+k_2Ds+k_1k_2}$$ （2.5 分）

43.解：

$$G(s)=\frac{Y(s)}{X_i(s)}=\frac{k}{s^2+k_1ks+k}$$ （2 分）

$$M_p=e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}=\frac{6-5}{5}=0.2\Rightarrow\xi=0.456$$ （2 分）

$$t_p=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}=2$$ （2 分）

$$\omega_n=8.06\Rightarrow k=\omega_n^2=49.8\approx 50$$ （2 分）

$$k_1=\frac{2\xi\omega_n}{k}=0.13$$ （2 分）

44.解：

由图知该系统的开环传递函数为 $\frac{k}{s}\cdot\frac{1}{T^2s^2+2\xi Ts+1}$ （2 分）

其中 $T=\frac{1}{3}$ （1 分）

由低频渐近线与横轴交点为 $\omega=10$，得 $k=10$ （2 分）

修正量 $L(\omega)=-20\log(2\xi)=10$，得 $\xi=0.158$ （2 分）

故所求开环传递函数为 $\frac{10}{s\left(\frac{1}{9}s^2+0.105s+1\right)}$ （3 分）

或记为 $\frac{k}{s(T^2s^2+2\xi Ts+1)}$ （$k=10$ 　　$T=\frac{1}{3}$ 　　$\xi=0.158$）

自动控制原理 2 试题答案及评分参考

一、单项选择题（每小题 1 分，共 20 分）

11.C　12.C　13.C　14.D　15.A　16.A　17.D　18.D　19.B　20.A

二、填空题(每空 1 分，共 10 分)

21.传递函数　22.越高　23.0.5　24.相频特性　25.幅值裕量　26.匀加速度　27.小

28.串联校正　29.1.25　30.零点和极点

3)离虚轴的闭环极点对瞬态响应影响很小，可忽略不计；（1 分）

4)要求系统动态过程消失速度快，则应使闭环极点间的间距大，零点靠近极点。即存 5）在偶极子；（1 分）

五、计算题(第 41、42 题每小题 5 分，第 43 、44 题每小题 10 分，共 30 分)

41.解

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G_1(s)G_2(s)G_3(s)}{1+G_3(s)H_3(s)+G_2(s)G_3(s)H_2(s)+G_1(s)G_2(s)G_3(s)H_1(s)}\qquad（5 分）$$

42.解：

$$m\ddot{y}_0(t)+D\dot{y}_0(t)+(k_1+k_2)y_0(t)=F_i(t)$$
$$(ms^2+Ds+k_1+k_2)Y_0(s)=F_i(s)$$ （2.5 分）

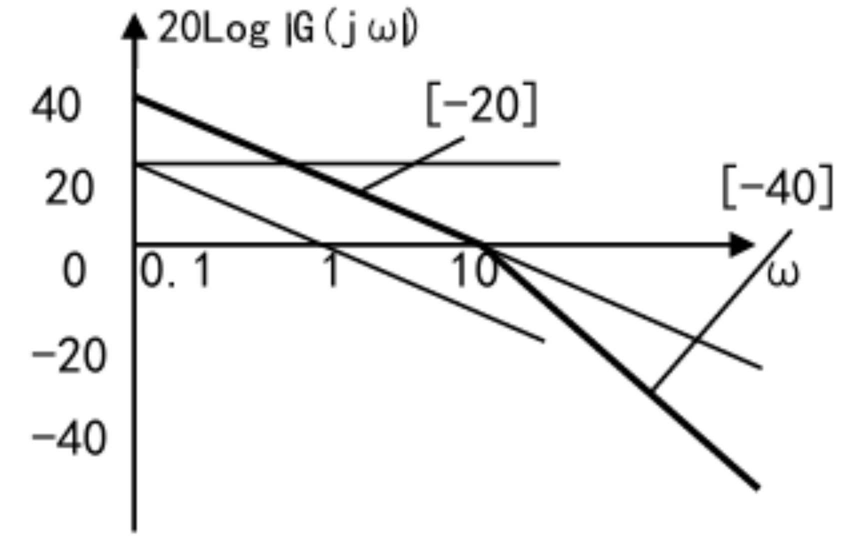
$$G(s)=\frac{1}{ms^2+Ds+k_1+k_2}$$ （2.5 分）

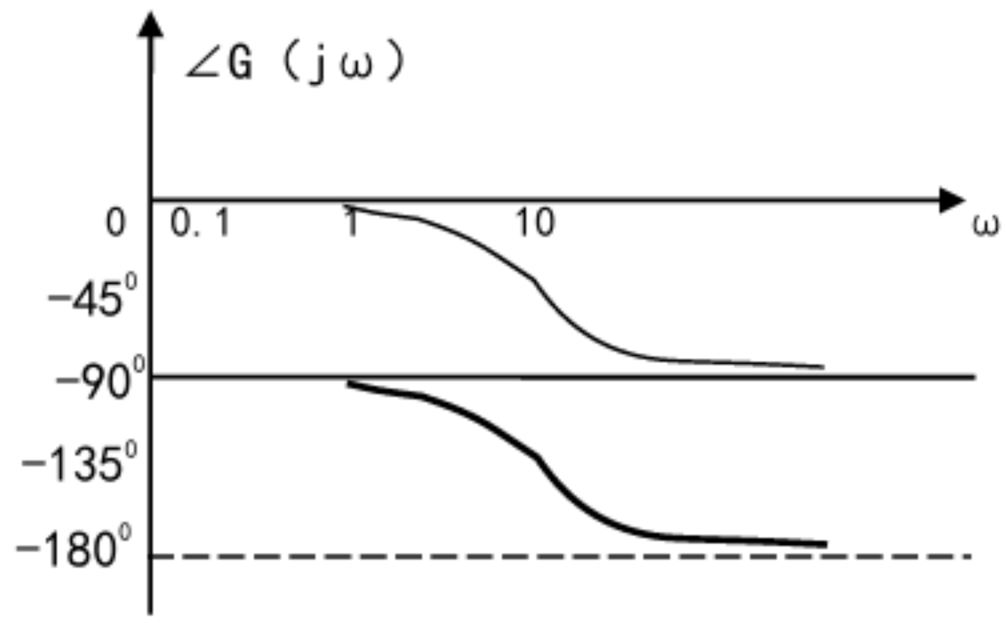
43.解：

系统有一比例环节：$K=10 \qquad 20\log 10=20$ （1.5 分）

积分环节：$\frac{1}{s}$ （1 分）

惯性环节：$\frac{1}{0.1s+1}$ 转折频率为 1/T=10 （1.5 分）





直接画出叠加后的对数幅频图（3 分）

直接画出叠加后的对数相频图（3 分）。（若叠加图不对，但是画出了比例环节、积分环节、惯性环节的对数幅频图各给 1 分，画出积分环节、惯性环节的对数相频图各给 1.5 分）

44.解：

(1)传递函数 $$G(s)=\frac{\frac{K}{0.05s+1}\cdot\frac{1}{s}}{1+\frac{K}{0.05s+1}\cdot\frac{1}{s}}=\frac{\frac{K}{0.05}}{s^2+\frac{1}{0.05}s+\frac{K}{0.05}}$$ （4 分）

得 $\omega_n=\sqrt{\frac{K}{0.05}}$，$\zeta=\frac{1}{0.005\times 2\omega_n}$ （2 分）

当 $\zeta=0.5$ 时，K=20，ω_n=20 （1 分）

(2)由以上参数分析得到其响应公式：

$$C(t)=1-\frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}*t+arctg\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right)$$

得 C（1）＝1.0　次每秒，即 60 次每分钟，　（1 分）

当 $\zeta=0.5$ 时，超调量 $\sigma\%=16.3\%$，最大心速为 69.78 次。　（2 分）

自动控制原理 3 试题答案及评分参考

一、单项选择题（每小题 1 分，共 20 分）

1 .B　2 .B　3 .D　4 .C　5 .A　6 .C　7 .C　8 .A　9 .B　10.B

11.C　12.C　13.C　14.A　15.B　16.C　17.B　18.D　19.D　20.A

二、填空题(每空 1 分，共 10 分)

21.稳定性　22.加速性能　23.0.5　24.相频特性　25.$2\zeta/\omega_n$ (或常量)　26.检测偏差并纠正偏差的　27.1.25　28.积分环节　29.快速性　30.静态位置误差系数

五、计算题(第 41、42 题每小题 5 分，第 43 、44 题每小题 10 分，共 30 分)

41.解:

$$G_{总}=\frac{G_3G_4+G_1G_2G_3+G_2G_3G_4H}{1+G_2H+G_1G_2G_3}$$ （5 分）

42.解:

$$m\ddot{y}(t)+k'y(t)=F_i(t)$$

$$k'=\frac{k_1\cdot k_2}{k_1+k_2}$$ （2.5 分）

$$G(s)=\frac{Y(s)}{F_i(s)}=\frac{k_1+k_2}{(k_1+k_2)ms^2+k_1\cdot k_2}$$ （2.5 分）

43.解:

$$G(s)=\frac{\dfrac{K}{s(5s+50)}}{1+\dfrac{K}{s(5s+50)}}=\frac{K}{5s^2+50s+K}=\frac{K/5}{s^2+10s+K/5}$$ （2 分）

$\omega_n=\sqrt{K/5}$＝10，$\zeta=\dfrac{10}{2\omega_n}$＝0.5，得 K＝500　（2 分）

$t_r=\dfrac{\pi-\arccos\zeta}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$＝0.24　（2 分）

$M_P=e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$＝0. 16　（2 分）

$t_p=\dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$＝0.36　（1 分）

$t_s=\dfrac{3}{\zeta\omega_n}$＝0.6　（1 分）

44.解:

(1)得特征方程为：$s^3+12s^2+30s+10a=0$　（2 分）

S³ 1 30

S² 12 10a

S¹ (360−10a)/12

S⁰ 10a

得:(360−10a)>0，10a>0，从而 0< a<36。 （3 分）

(2)将 d−1=s 代入上式，得 $d^3+9d^2+9d+10a-19=0$ （2 分）

d³ 1 9

d² 9 10a−19

d¹ (81−10a+19)/9

d⁰ 10a−19

同理得到:0.9< a<10 （3 分）

自动控制原理 4 试题答案及评分参考

一、单项选择题（每小题 1 分，共 20 分）

1 .C	2 .C	3 .A	4 .C	5 .C	6 .D	7 .C	8 .A	9 .B	10.D
11.C	12.B	13.B	14.B	15.A	16.D	17.B	18.D	19.D	20.D

二、填空题(每空 1 分，共 10 分)

21.数字控制系统 22.偏差信号 23.偏移程度 24. $\dfrac{1}{2-\omega^2+3j\omega}$

25.稳态 26.2 27.相同 28.比例 29.0.707 30.重视大的误差，忽略小的误差

五、计算题(第 41、42 题每小题 5 分，第 43 、44 题每小题 10 分，共 30 分)

41.解:

$$my_0''(t)+k_1'y_0(t)+k_2'y_0(t)=F_i(t)$$

$$(ms^2+k_1+D_1s+\frac{k_2D_2s}{k_2+D_2s})Y_0(s)=F_i(s)$$ （2.5 分）

$$G(s)=\frac{k_2+D_2s}{mD_2s^3+(mk_2+D_1D_2)s^2+(k_1D_2+k_2D_1+k_2D_2)s+k_1k_2}$$ （2.5 分）

42.解:

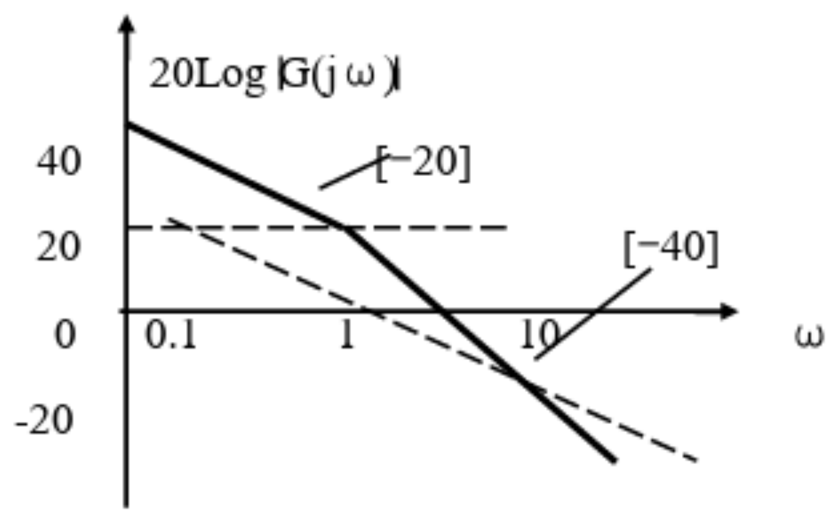
$$G_{总}=\frac{G_1G_2G_3+G_1G_3G_4+G_1G_2G_3G_4H}{1+G_2H+G_1G_2G_3+G_1G_3G_4+G_1G_2G_3G_4H}$$ （5 分）

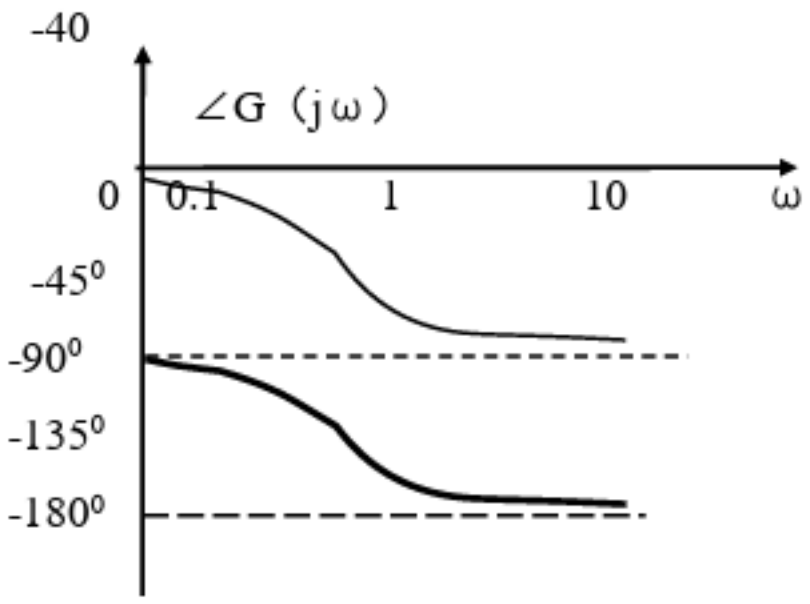
43.解:

系统有一比例环节:K=10 20log10=20 （1.5 分）

积分环节:1/S （1 分）

惯性环节:1/(S+1) 转折频率为 1/T=1 （1.5 分）





直接画出叠加后的对数幅频图（3 分）

直接画出叠加后的对数相频图（3 分）。（若叠加图不对，但是画出了比例环节、积分环节、惯性环节的对数幅频图各给 1 分，画出积分环节、惯性环节的对数相频图各给 1.5 分）

44.解:

1)系统的特征方程为：

$$D(s)=2s^3+3s^2+s+k=0 \qquad (2\text{分})$$

由劳斯阵列得:0< k<1.5 (2 分)

2)由 $\varphi(\omega_\pi)=-90^\circ-\arctan\omega_\pi-\arctan 2\omega_\pi=-180^\circ$

得: $\omega_\pi=\sqrt{0.5}$ (2 分)

$$K_g=\frac{1}{\omega_\pi\sqrt{\omega_\pi^2+1}\sqrt{4\omega_\pi^2+1}}=\frac{1}{\sqrt{0.5\times1.5\times3}}=0.67 \qquad (2\text{分})$$

$$3)\ e_{ss}=\lim_{s\to0}sE(s)=\lim_{s\to0}s\frac{s(s+1)(2s+1)}{s(s+1)(2s+1)+1.2}\left(\frac{1}{s}+\frac{0.06}{s^2}\right)=\frac{0.06}{1.2}=0.05 \qquad (2\text{分})$$

286134801 控制工程基础 5 试题答案及评分参考

一、单项选择题（每小题 1 分，共 20 分）

1 .A 2 .B 3 .D 4 .B 5 .C 6 .B 7.D 8 .A 9 .B 10.A

11.A 12.B 13.C 14.B 15.C 16.C 17.D 18.A 19.C 20.B

二、填空题(每空 1 分，共 10 分)

21.偏差信号 22.零极点 23.2 24.对数坐标 25.$\frac{1}{2-\omega^2+3j\omega}$

26.相位裕量 27.单位反馈 28.幅值衰减 29.0.707 30.瞬态响应

五、计算题(第 41、42 题每小题 5 分，第 43、44 题每小题 10 分，共 30 分)

41.解:

$$G(s)=\frac{9}{s^2+(2+9a)s+9} \qquad \omega_n=3 \qquad （2\text{分}）$$

当$\xi=0.7$时 $a=0.24$ （3 分）

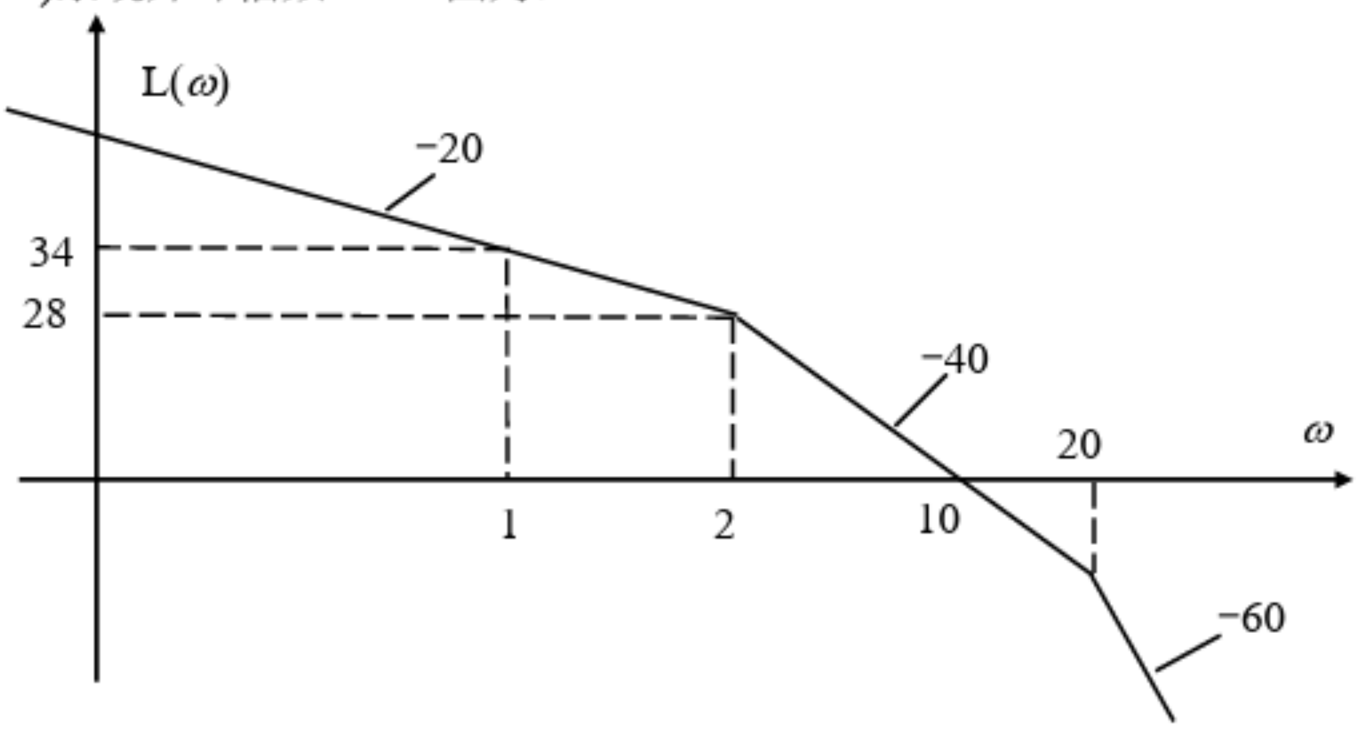
42.解:

$$m y_0''(t)+D y_0'(t)+k y_0(t)=F_i(t)$$
$$(ms^2+Ds+k)Y_0(s)=F_i(s)$$ （2.5 分）

$$G(s)=\frac{Y_0(s)}{F_i(s)}=\frac{1}{ms^2+Ds+k}$$ （2.5 分）

43.解:

1)系统开环幅频 Bode 图为： （5 分）



2)相位裕量: （5 分）

$\omega_c=10s^{-1}$ $\quad\gamma=180^\circ+(-90^\circ-\arctan 0.5\times 10-\arctan 0.05\times 10)=-15.26^\circ$

44.解:

$$e_{ssr}\approx\lim_{s\to 0}\frac{s^{(v+1)}}{\alpha K}R(s)=\lim_{s\to 0}(\frac{s}{20}\times\frac{10}{s})=0.5$$ （5 分）

$$e_{ssd}\approx\lim_{s\to 0}\frac{s^{(v_1+1)}}{\alpha K_1}D(s)=\lim_{s\to 0}(\frac{s}{10}\times\frac{4}{s})=0.4$$ （5 分）

自动控制原理 6 试题答案及评分参考

一、单项选择题（每小题 1 分，共 20 分）

1 .D 2 .C 3 .B 4 .C 5 .A 6 .B 7 .C 8 .A 9 .C 10.B
11.B 12.B 13.C 14.D 15.B 16.A 17.D 18.A 19.B 20.D

二、填空(每空 1 分，共 10 分)

21.反馈控制 22.越高 23.输入量（或驱动函数） 24.低通滤波 25. $\dfrac{1}{2-\omega^2+3j\omega}$

26.小 27.常数 28.闭环特征方程的阶数 29.谐振频率 30.零点和极点

五、计算题(第 41、42 题每小题 5 分，第 43、44 题每小题 10 分，共 30 分)

41.解:

$$G(s)=\frac{G_1G_4(1+G_2H_1)+G_1G_2G_3}{1+G_2H_1+G_3H_2+G_1G_4+G_1G_2G_3}$$ (5 分)

42.解:

$$\begin{cases} u_i(t)=u_0(t)+i_1(t)R_1 \\ \dfrac{1}{C_1}\int i_2(t)dt=i_1(t)R_1 \\ i(t)+i_1(t)=i_2(t) \\ u_0(t)=i(t)R_2+\dfrac{1}{C_2}\int i(t)dt \end{cases} \qquad \begin{cases} U_i(s)=U_0(s)+I_1(s)R_1 \\ \dfrac{1}{C_1 s}I_2(s)=I_1(s)R_1 \\ I(s)+I_1(s)=I_2(s) \\ U_0(s)=I(s)R_2+\dfrac{1}{C_2 s}I(s) \end{cases}$$ (2.5 分)

$$G(s)=\frac{R_1R_2C_1C_2s^2+(R_1C_1+R_2C_2)s+1}{R_1R_2C_1C_2s^2+(R_1C_2+R_2C_2+R_1C_1)s+1}$$ (2.5 分)

43.解:

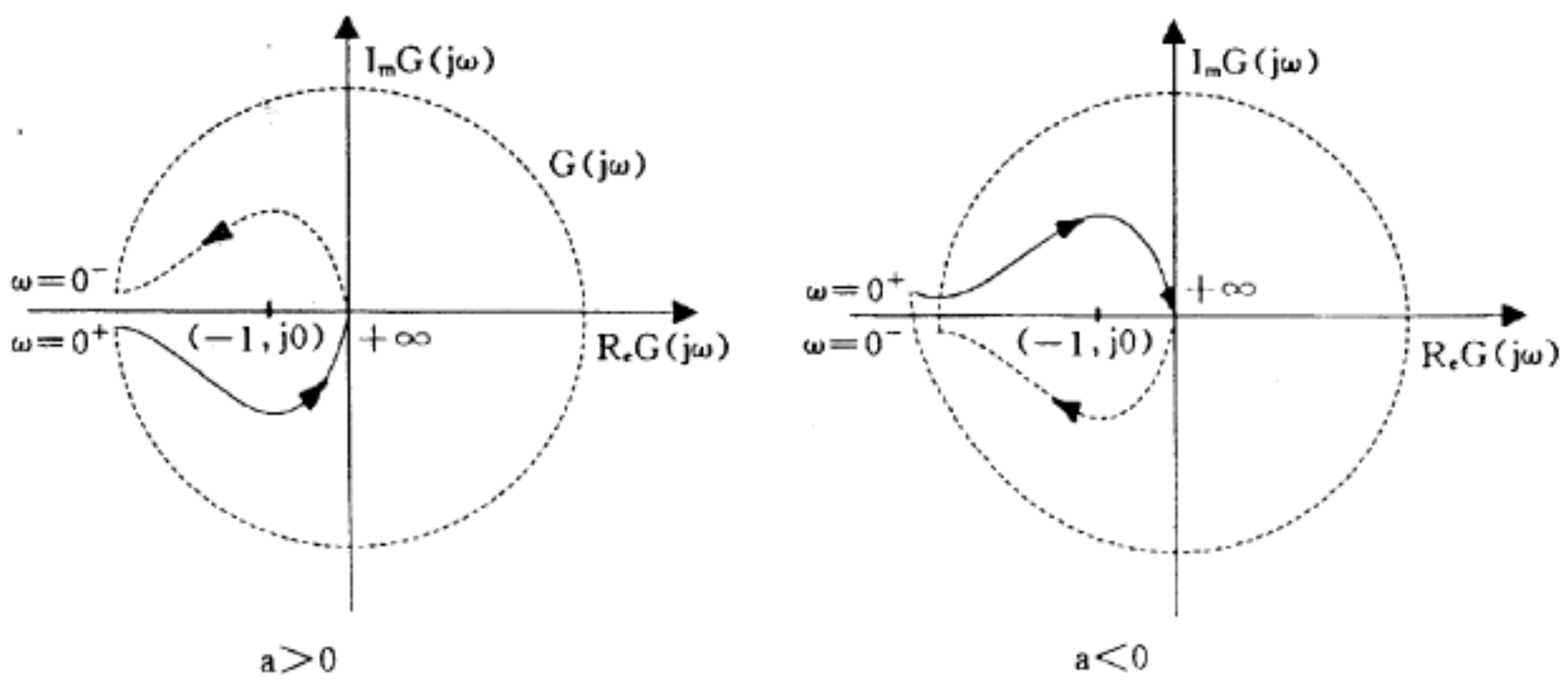
(1)G(jω)= $\dfrac{1+a\omega j}{(j\omega)^2}$ 该系统为Ⅱ型系统

$\omega=0^+$时，∠G（jω）=－180° (1 分)

当 $a>0,\omega=+\infty$时，∠G（jω）=－90° (1 分)

当 $a<0,\omega=+\infty$时，∠G（jω）=－270° (1 分)

两种情况下的奈奎斯特曲线如下图所示；



(3 分)

由奈氏图判定：a>0 时系统稳定；a<0 时系统不稳定 (2 分)

2)系统的闭环特征多项式为 D（s）=s^2+as+1，D(s)为二阶，a>0 为 D（s）稳定的充要条件，与奈氏判据结论一致 (2 分)

44.解:

(1)三条根轨迹分支的起点分别为 $s_1=0,s_2=-2,s_3=-4$；终点为无穷远处。 (1 分)

(2)实轴上的 0 至−2 和−4 至-∞间的线段是根轨迹。 (1 分)

(3)渐近线的倾角分别为±60°，180°。 (1 分)

渐近线与实轴的交点为 $\sigma_a=\dfrac{-2-4}{3}=-2$ (1 分)

(4)分离点:根据公式 $\dfrac{dK}{ds}=0$，得:$s_1=-0.85$，$s_2=-3.15$ 因为分离点必须位于 0 和−2 之间可见 s_2 不是实际的分离点，$s_1=-0.85$ 才是实际分离点。 (1 分)

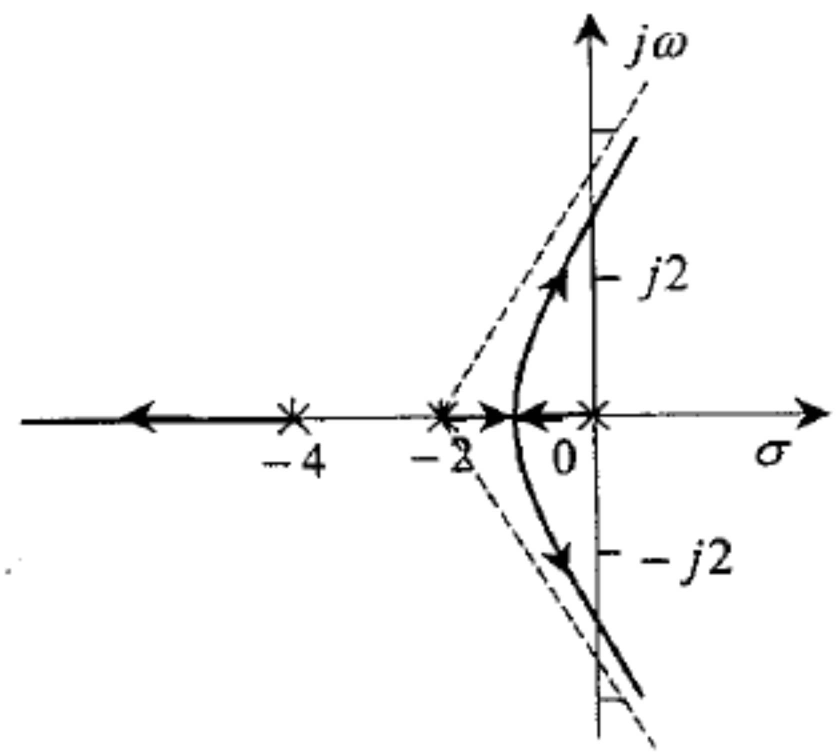
(5)根轨迹与虚轴的交点: $\omega_1=0$, K=0; $\omega_{2,3}=\pm 2\sqrt{2}$, K=48 （1 分）

根据以上结果绘制的根轨迹如右图所示。

（2 分）

所要求系统稳定的 K 值范围是:0<K<48。

（2 分）



自动控制原理试题 7 答案及评分参考

一、单项选择题(每小题 1 分，共 20 分)

1 .C	2 .C	3 .A	4 .D	5 .D	6 .A	7 .B	8 .A	9 .D	10.A
11.B	12.C	13.C	14.A	15.D	16.B	17.A	18.C	19.A	20.A

二、填空题(每空 1 分，共 10 分)

21.传递函数 22.偏差 23.开环幅频特性 24.225.$s=j\omega$26.动刚度 27.正穿越 28.1/K
29.开环传递函数 30.远

五、计算题(第 41、42 题每小题 5 分，第 43、44 题每小题 10 分，共 30 分)

41.解:

$$G(s)=\frac{G_1G_2G_3}{1+G_2H_1(1-G_1)+G_2G_3H_2}-G_4$$ (5 分)

42.解:

$$\begin{cases} u_i(t)=u_0(t)+\dfrac{1}{C_1}\displaystyle\int i_2(t)dt \\ \dfrac{1}{C_1}\displaystyle\int i_2(t)dt+i_2(t)R_2=i_1(t)R_1 \\ u_0(t)=i_2(t)R_2+\dfrac{1}{C_2}\displaystyle\int\left[i_1(t)+i_2(t)\right]dt \end{cases} \qquad \begin{cases} U_i(s)=U_0(s)+\dfrac{1}{C_1s}I_2(s) \\ \dfrac{1}{C_1s}I_2(s)+I_2(s)R_2=I_1(s)R_1 \\ U_0(s)=I_2(s)R_2+\left[I_1(s)+I_2(s)\right]\dfrac{1}{C_2s} \end{cases}$$ (2.5 分)

$$G(s)=\frac{R_1R_2C_1C_2s^2+\left(R_1+R_2\right)C_1s+1}{R_1R_2C_1C_2s^2+\left(R_1C_2+R_2C_1+R_1C_1\right)s+1}$$ (2.5 分)

43.解:

1)系统的开环传递函数为: $G(s)=\dfrac{s+1}{s^2(s+K_f+1)}$ (2 分)

系统的特征方程为: $D(s)=s^3+s^2(K_f+1)+s+1=0$ (2 分)

由劳斯稳定性判据(略)得: $K_f>0$ (2 分)

2) $K_a = \lim_{s\to 0} s^2 G(s) = \lim_{s\to 0} s^2 \dfrac{s+1}{s^2(s+K_f+1)} = \dfrac{1}{K_f+1}$ (2 分)

3) $e_{ss} = \dfrac{1}{K_a} = K_f + 1$

由上式可知：只要 $K_f>0$，系统的稳态误差 e_{ss} 就增大，说明利用局部负反馈改善系统稳定性是以牺牲系统的稳态精度为代价的。 (2 分)

44.解:

1)绘制系统根轨迹图

已知系统开环传递函数为：$G(s) = \dfrac{K}{s(s+1)(0.5s+1)}$

将其变换成由零、极点表达的形式：$G(s) = \dfrac{K^*}{s(s+1)(s+2)}$ (1 分)

(其中，根轨迹增益 $K^*=2K$，K 为系统的开环增益，根据上式可绘制根轨迹图)

(1) 根轨迹的起点、终点及分支数：

三条根轨迹分支的起点分别为 $s_1=0$，$s_2=-1$，$s_3=-2$；终点为无穷远处。 (1 分)

(2) 实轴上的根轨迹：

实轴上的 0 至−1 和−2 至−∞间的线段是根轨迹。 (1 分)

(3) 渐近线:

渐近线的倾角分别为±60°，180°。渐近线与实轴的交点为

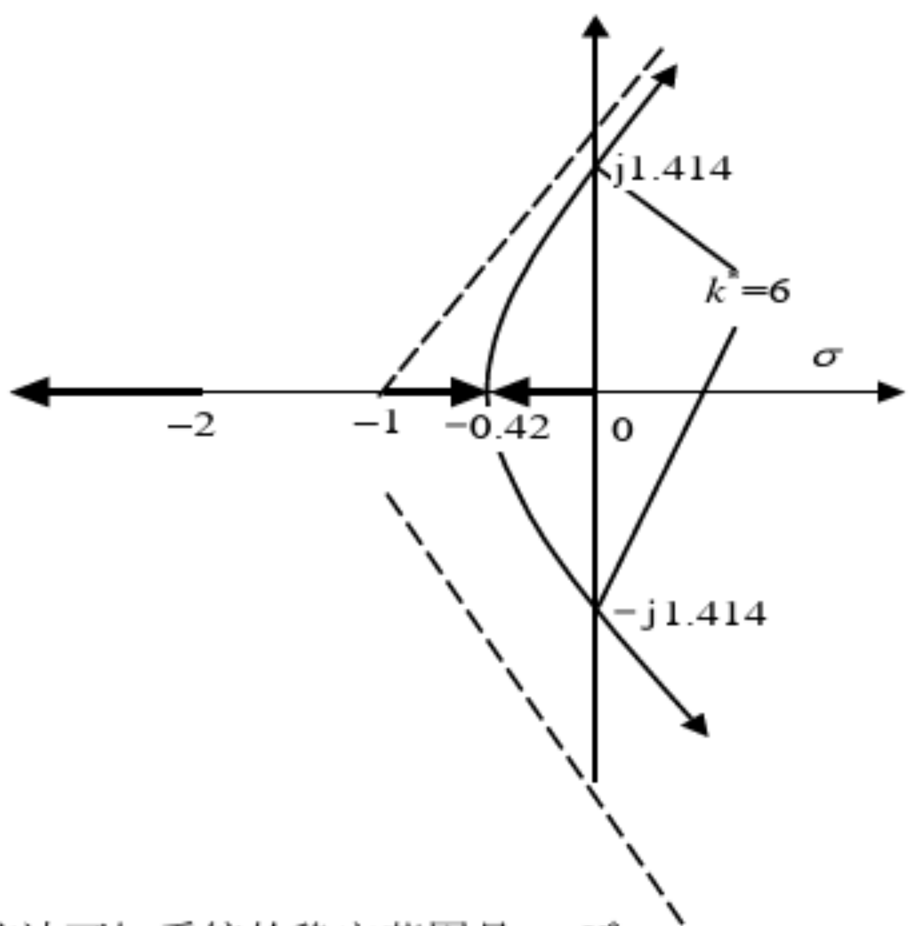
$\sigma_a = \dfrac{-1-5}{3} = -1$ (2 分)

(4) 分离点:

根据公式 $\dfrac{dK}{ds}=0$，得：$s_1=-0.42$，$s_2=-1.58$，因为分离点必须位于 0 和−1 之间，可见 s_2 不是实际的分离点，$s_1=-0.42$ 才是实际分离点。 (1 分)

(5) 根轨迹与虚轴的交点： $\omega_1=0, K^*=0$; $\omega_{2,3}=\pm 1.414, K^*=6$

根据以上结果绘制的根轨迹如下图所示。 (2 分)



2)由根轨迹法可知系统的稳定范围是:0<K^*<6。 (2 分)

自动控制原理试题 8 答案及评分参考

一、单项选择题(每小题 1 分，共 20 分)

1 .B　2 .C　3 .C　4 .D　5 .A　6 .C　7 .C　8 .D　9 .B　10.D

11.A　12.C　13.D　14.C　15.B　16.D　17.C　18.A　19.D　20.A

二、填空题(每空 1 分，共 10 分)

21.稳定性 22.稳态值 23.输入量(或驱动函数)24.增大阻尼比 25.1.25　26.相频特性

27. 0.5　28.积分环节 29.变化速率 30.快速性

五、计算题(第 41、42 题每小题 5 分，第 43、44 题每小题 10 分，共 30 分)

41.解:

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G_1G_2G_3G_4G_5}{1+G_1G_2G_3G_4+G_2G_3H_1+G_3G_4H_2}$$ (5 分)

42.解:

$$u_0(t)=\frac{1}{c_2}\int i(t)dt \quad \Rightarrow U_0(s)=\frac{1}{c_2 s}I(s)$$

$$u_i(t)-u_0(t)=i_1(t)R_2 \Rightarrow U_i(s)-U_0(s)=I_1(s)R_2$$ (2.5 分)

$$u_i(t)-u_0(t)=i_2(t)R_1+\frac{1}{c_1}\int i_2(t)dt \Rightarrow U_i(s)-U_0(s)=I_2(s)R_1+\frac{1}{c_1 s}I_2(s)$$

$$i_1(t)+i_2(t)=i(t) \quad \Rightarrow I_1(s)+I_2(s)=I(s)$$

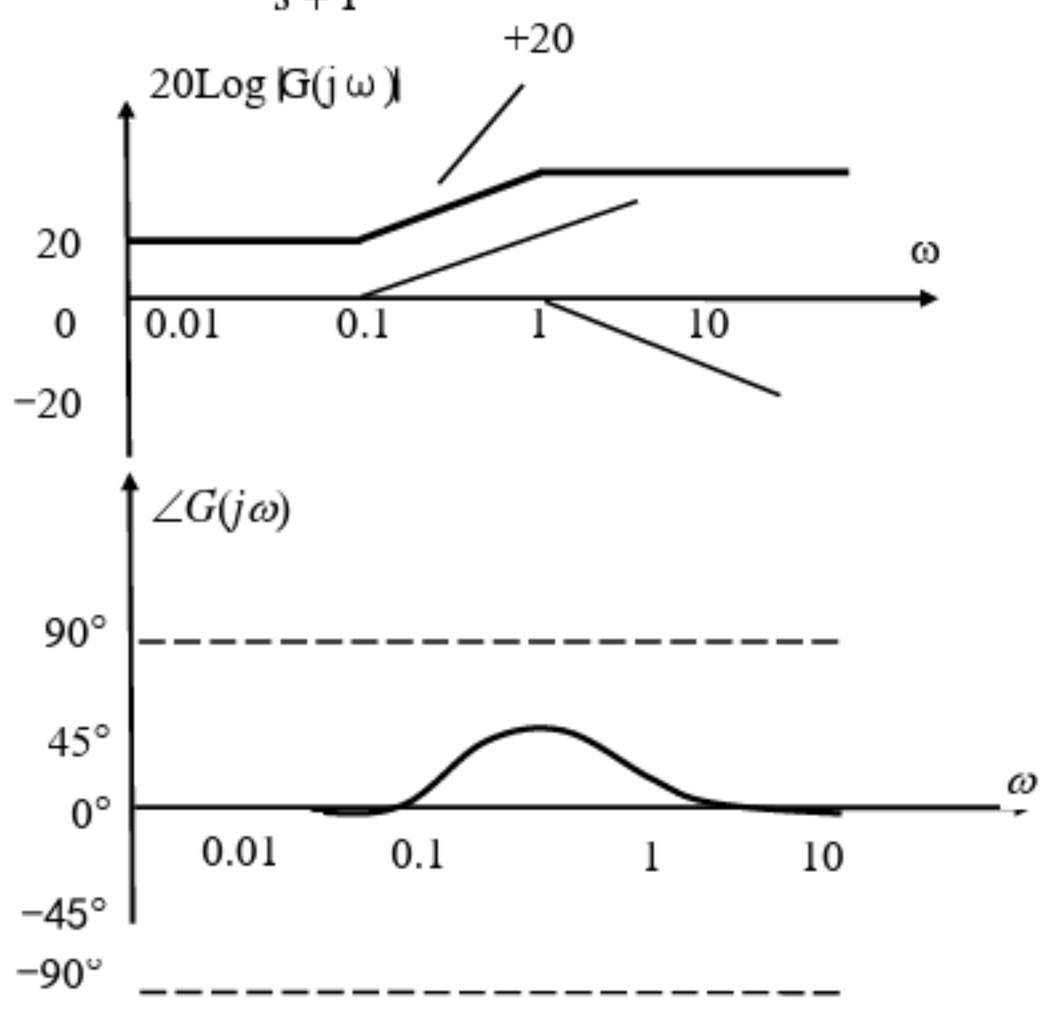
$$\frac{U_0(s)}{U_i(s)}=\frac{(R_2C_1+R_1C_1)s+1}{R_1R_2C_1C_2s^2+(R_1C_1+R_2C_2+R_2C_1)s+1}$$ (2.5 分)

43.解:

系统有一比例环节：K=10　20log10=20 (1 分)

微分环节：$10s+1$　转折频率 1/10=0.1 (1.5 分)

惯性环节：$\frac{1}{s+1}$　转折频率为 1/T=1 (1.5 分)



直接画出叠加后的对数幅频图(3 分)

直接画出叠加后的对数相频图(3 分)。(若叠加图不对，但是画出了比例环节、微分环节、惯性环节

的对数幅频图各给 1 分，画出微分环节、惯性环节的对数相频图各给 1.5 分）

44.解:

(1)0 型系统 $\varepsilon_{SS}=\dfrac{1}{K+1}=0.5 \qquad K=1$ （2 分）

(2) $G_B(s)=\dfrac{G(s)}{1+G_k(s)}=\dfrac{1}{s+2}$ （2 分）

频率特性为 $G_B(j\omega)=\dfrac{1}{j\omega+2}$ （1 分）

幅频特性 $\left|G_B(j\omega)\right|=\dfrac{1}{\sqrt{\omega^2+4}}$ （1 分）

$\omega=1 \qquad \left|G_B(j\omega)\right|=\dfrac{1}{\sqrt{5}}$ （1 分）

相频特性 $\angle G_B(j\omega)=-\arctan\dfrac{\omega}{2}=-\arctan 0.5$ （1 分）

系统的稳态输出为 $\dfrac{1}{\sqrt{5}}\sin\left(t+30^\circ-\arctan 0.5\right)$ （2 分）

一、填空题（每空 1 分，共 15 分）

1、反馈控制又称偏差控制，其控制作用是通过 _____与反馈量的差值进行的。

2、复合控制有两种基本形式：即按 _____的前馈复合控制和按 _____的前馈复合控制。

3、两个传递函数分别为 $G_1(s)$与 $G_2(s)$的环节，以并联方式连接，其等效传递函数为 $G(s)$，则 $G(s)$为_______ （用 $G_1(s)$与 $G_2(s)$ 表示）。

4、典型二阶系统极点分布如图 1 所示，则无阻尼自然频率 $\omega_n =$_____，阻尼比 $\xi =$____，该系统的特征方程为 ______，该系统的单位阶跃响应曲线为 ____。

5、若某系统的单位脉冲响应为 $g(t)=10e^{-0.2t}+5e^{-0.5t}$，则该系统的传递函数 $G(s)$为_____。

6、根轨迹起始于 _____________________，终止于 _____________________。

7、设某最小相位系统的相频特性为 $\varphi(\omega)=tg^{-1}(\tau\omega)-90^0-tg^{-1}(T\omega)$，则该系统的开环传递函数为 ___________________。

8、PI 控制器的输入－输出关系的时域表达式是 ______，其相应的传递函数为________，由于积分环节的引入，可以改善系统的 ______性能。

二、选择题（每题 2 分，共 20 分）

1、采用负反馈形式连接后，则 （ ）

A、一定能使闭环系统稳定； B、系统动态性能一定会提高；

C、一定能使干扰引起的误差逐渐减小，最后完全消除；

D、需要调整系统的结构参数，才能改善系统性能。

2、下列哪种措施对提高系统的稳定性没有效果 （ ）。

A、增加开环极点； B、在积分环节外加单位负反馈；

C、增加开环零点； D、引入串联超前校正装置。

3、系统特征方程为 $D(s)=s^3+2s^2+3s+6=0$，则系统 （ ）

A、稳定； B、单位阶跃响应曲线为单调指数上升；

C、临界稳定； D、右半平面闭环极点数 $Z=2$。

4、系统在 $r(t)=t^2$ 作用下的稳态误差 $e_{ss}=\infty$，说明 （ ）

A、 型别 $v<2$； B、系统不稳定；

C、 输入幅值过大； D、闭环传递函数中有一个积分环节。

5、对于以下情况应绘制 0° 根轨迹的是（ ）

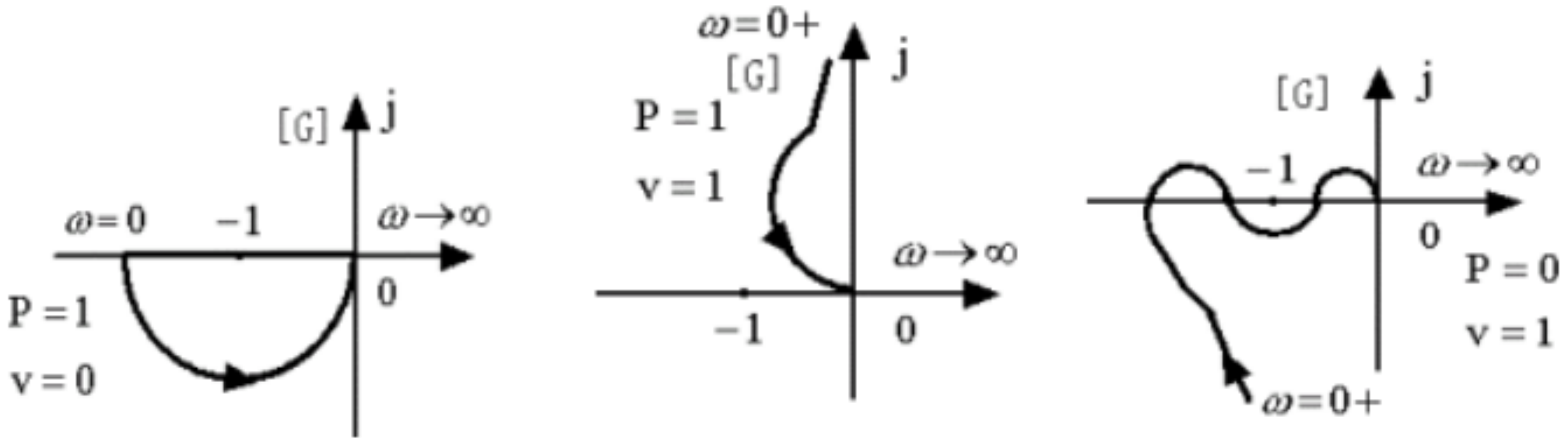
A、主反馈口符号为“ - ” ； B 、除 K_r 外的其他参数变化时；

C、非单位反馈系统；　　D、根轨迹方程（标准形式）为 $G(s)H(s)=+1$。

6、开环频域性能指标中的相角裕度 γ 对应时域性能指标（　　）。

A、超调 $\sigma\%$　　B、稳态误差 e_{ss}　　C、调整时间 t_s　　D、峰值时间 t_p

7、已知开环幅频特性如图 2 所示，则图中不稳定的系统是（　　）。



系统①　　系统②　　系统③

图 2

A、系统①　　B、系统②　　C、系统③　　D、都不稳定

8、若某最小相位系统的相角裕度 $\gamma>0^\circ$，则下列说法正确的是（　）。

A、不稳定；　　B、只有当幅值裕度 $k_g>1$ 时才稳定；

C、稳定；　　D、不能判用相角裕度判断系统的稳定性。

9、若某串联校正装置的传递函数为 $\frac{10s+1}{100s+1}$，则该校正装置属于（　）。

A、超前校正　　B、滞后校正　　C、滞后-超前校正　　D、不能判断

10、下列串联校正装置的传递函数中，能在 $\omega_c=1$ 处提供最大相位超前角的是：

A、$\frac{10s+1}{s+1}$　　B、$\frac{10s+1}{0.1s+1}$　　C、$\frac{2s+1}{0.5s+1}$　　D、$\frac{0.1s+1}{10s+1}$

三、(8 分) 试建立如图 3 所示电路的动态微分方程，并求传递函数。

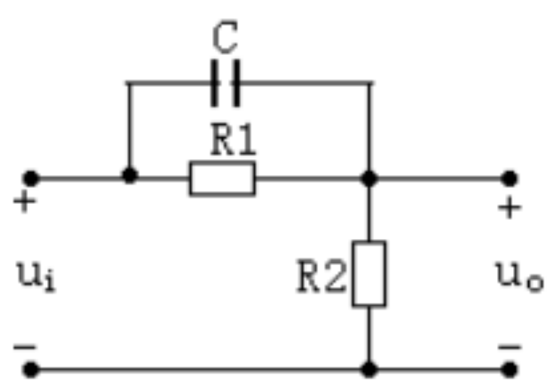


图 3

四、(共 20 分) 系统结构图如图 4 所示：

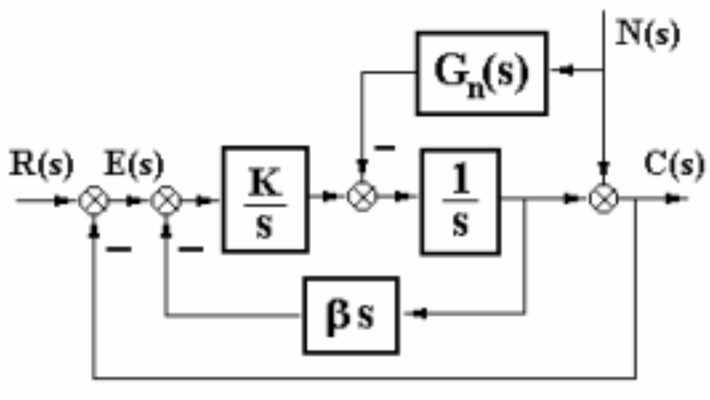


图 4

1、写出闭环传递函数 $\Phi(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}$ 表达式；（4 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；（4 分）

3、求此时系统的动态性能指标 $\sigma\%$，t_s；（4 分）

4、$r(t)=2t$ 时，求系统由 $r(t)$ 产生的稳态误差 e_{ss}；（4 分）

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

五、(共 15 分) 已知某单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{K_r}{s(s+3)^2}$：

1、绘制该系统以根轨迹增益 K_r 为变量的根轨迹（求出：渐近线、分离点、与虚轴的交点等）；（8 分）

2、确定使系统满足 $0<\xi<1$ 的开环增益 K 的取值范围。（7 分）

六、(共 22 分) 某最小相位系统的开环对数幅频特性曲线 $L_0(\omega)$ 如图 5 所示：

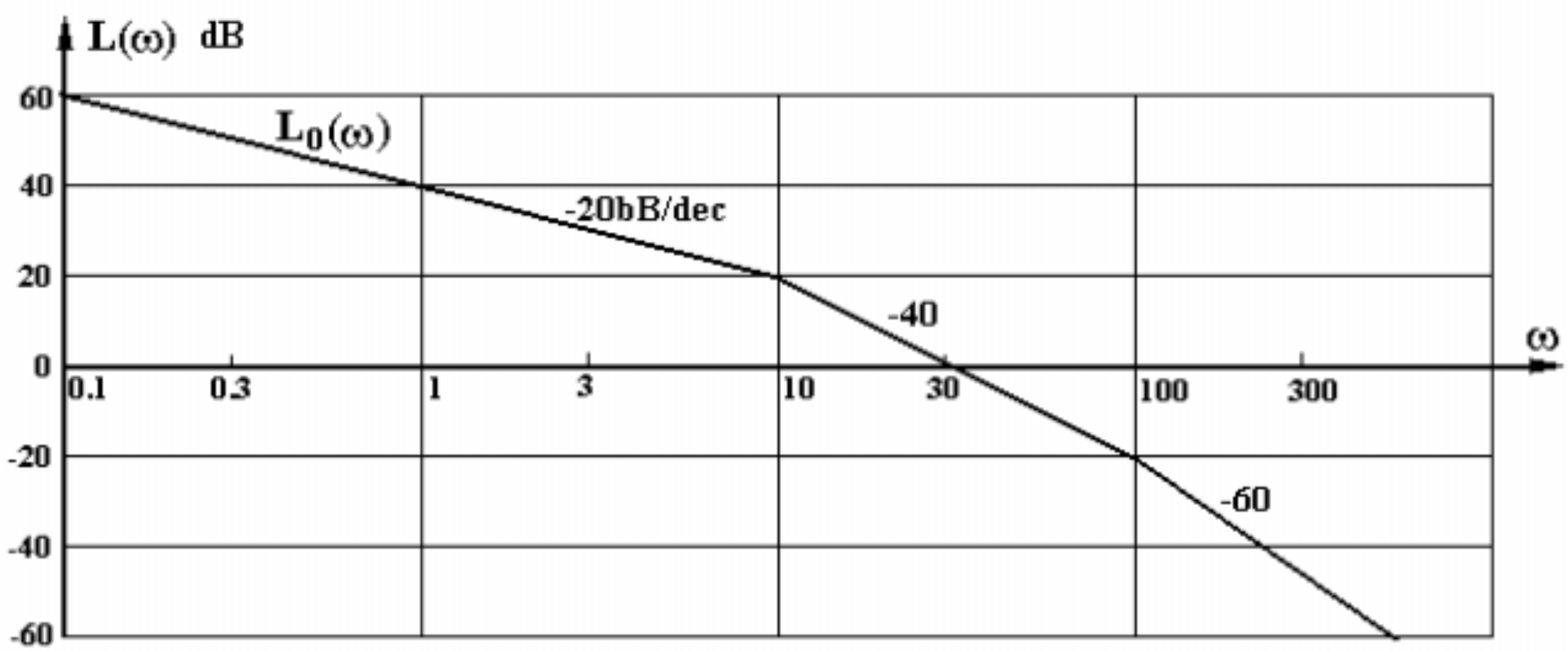


图3 对数幅频特性曲线

1、写出该系统的开环传递函数 $G_0(s)$；（8 分）

2、写出该系统的开环频率特性、开环幅频特性及开环相频特性。　（3 分）

3、求系统的相角裕度 γ。（7 分）

4、若系统的稳定裕度不够大，可以采用什么措施提高系统的稳定裕度？　（4 分）

试题二

一、填空题（每空 1 分，共 15 分）

1、在水箱水温控制系统中，受控对象为 ______，被控量为 _______。

2、自动控制系统有两种基本控制方式，当控制装置与受控对象之间只有顺向作用而无反向联系时，称为 __：当控制装置与受控对象之间不但有顺向作用而且还有反向联系时，称为 ___；含有测速发电机的电动机速度控制系统，属于 ___。

3、稳定是对控制系统最基本的要求，若一个控制系统的响应曲线为衰减振荡，则该系统 _____。判断一个闭环线性控制系统是否稳定，在时域分析中采用 ____；在频域分析中采用 ______。

4、传递函数是指在 ___初始条件下、线性定常控制系统的 ____与____ 之比。

5、设系统的开环传递函数为 $\frac{K(\tau s+1)}{s^2(Ts+1)}$，则其开环幅频特性为 _____，相频特性为 _______。

6、频域性能指标与时域性能指标有着对应关系，开环频域性能指标中的幅值穿越频率 ω_c 对应时域性能指标 ____，它们反映了系统动态过程的 ___。

二、选择题（每题 2 分，共 20 分）

1、关于传递函数，错误的说法是 ( )

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。

2、下列哪种措施对改善系统的精度没有效果 ( )。

A、增加积分环节　　B、提高系统的开环增益 K

C、增加微分环节　　D、引入扰动补偿

3、高阶系统的主导闭环极点越靠近虚轴，则系统的 ( )。

A、准确度越高　　B、准确度越低

C、响应速度越快　　D、响应速度越慢

4、已知系统的开环传递函数为 $\frac{50}{(2s+1)(s+5)}$，则该系统的开环增益为 ( )。

A、 50　　B、25　　C、10　　D、5

5、若某系统的根轨迹有两个起点位于原点，则说明该系统　(　　)。

A、含两个理想微分环节　　B、含两个积分环节

C、位置误差系数为 0　　D、速度误差系数为 0

6、开环频域性能指标中的相角裕度 γ 对应时域性能指标（　　）。

A、超调 $\sigma\%$　　B、稳态误差 e_{ss}　　C、调整时间 t_s　　D、峰值时间 t_p

7、已知某些系统的开环传递函数如下，属于最小相位系统的是　(　)

A、$\frac{K(2-s)}{s(s+1)}$　　B、$-\frac{K(s+1)}{s(s+5)}$　　C、$\frac{K}{s(s^2-s+1)}$　　D、$\frac{K(1-s)}{s(2-s)}$

8、若系统增加合适的开环零点，则下列说法不正确的是　(　)　。

A、可改善系统的快速性及平稳性；　　B、会增加系统的信噪比；

C、会使系统的根轨迹向 s 平面的左方弯曲或移动；

D、可增加系统的稳定裕度。

9、开环对数幅频特性的低频段决定了系统的　(　)　。

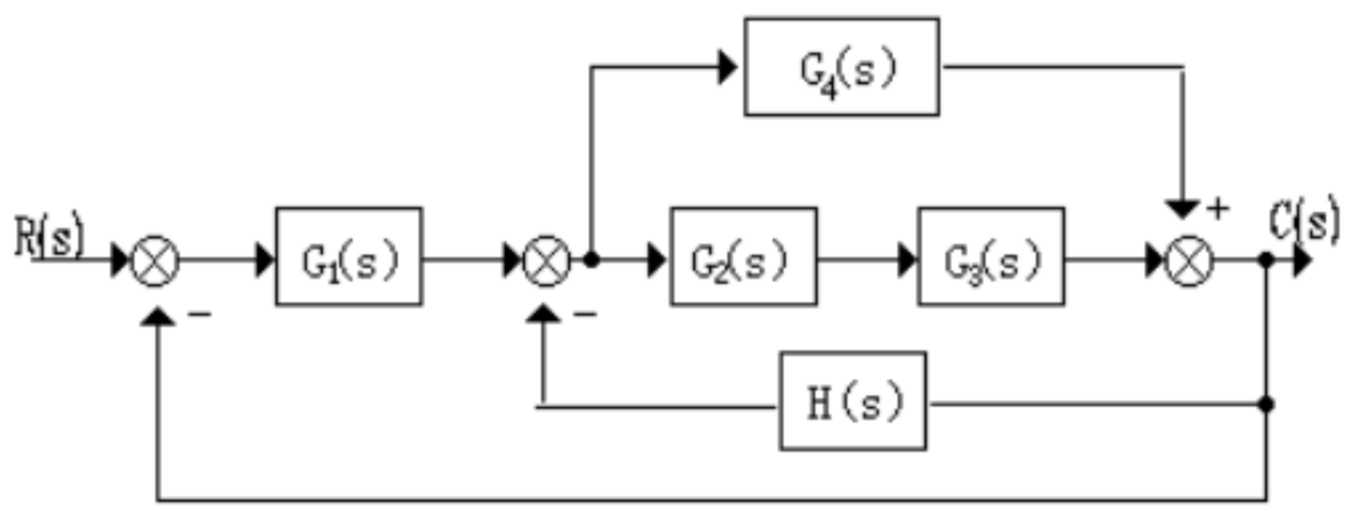
A、稳态精度　　B、稳定裕度　　C、抗干扰性能　　D、快速性

10、下列系统中属于不稳定的系统是　(　)　。

A、闭环极点为 $s_{1,2}=-1\pm j2$ 的系统　　B、闭环特征方程为 $s^2+2s+1=0$ 的系统

C、阶跃响应为 $c(t)=20(1+e^{-0.4t})$ 的系统　　D、脉冲响应为 $h(t)=8e^{0.4t}$ 的系统

三、(8 分) 写出下图所示系统的传递函数 $\frac{C(s)}{R(s)}$（结构图化简，梅逊公式均可）。



四、(共 20 分) 设系统闭环传递函数 $\Phi(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{1}{T^2s^2+2\xi Ts+1}$，试求：

1、$\xi=0.2$；$T=0.08s$； $\xi=0.8$；$T=0.08s$ 时单位阶跃响应的超调量 $\sigma\%$、

调节时间 t_s 及峰值时间 t_p。（7 分）

2 、$\xi = 0.4$；$T = 0.04s$ 和 $\xi = 0.4$；$T = 0.16s$ 时单位阶跃响应的超调量 $\sigma\%$、调节时间 t_s 和峰值时间 t_p。（7 分）

3、根据计算结果，讨论参数 ξ、T 对阶跃响应的影响。（6 分）

五、（共 15 分）已知某单位反馈系统的开环传递函数为 $G(S)H(S) = \dfrac{K_r(s+1)}{s(s-3)}$，试：

1、绘制该系统以根轨迹增益 K_r 为变量的根轨迹（求出：分离点、与虚轴的交点等）；（8 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。（7 分）

六、（共 22 分）已知反馈系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \dfrac{K}{s(s+1)}$，试：

1、用奈奎斯特判据判断系统的稳定性；（10 分）

2、若给定输入 $r(t) = 2t + 2$ 时，要求系统的稳态误差为 0.25，问开环增益 K 应取何值。（7 分）

3、求系统满足上面要求的相角裕度 γ。（5 分）

试题三

一、填空题（每空 1 分，共 20 分）

1、对自动控制系统的基本要求可以概括为三个方面，即：_____、快速性和______。

2、控制系统的_____________称为传递函数。一阶系统传函标准形式是__________，二阶系统传函标准形式是________。

3、在经典控制理论中，可采用______、根轨迹法或_____等方法判断线性控制系统稳定性。

4、控制系统的数学模型，取决于系统________和_____，_____ 与外作用及初始条件无关。

5、线性系统的对数幅频特性，纵坐标取值为____________，横坐标为__________。

6、奈奎斯特稳定判据中，$Z = P - R$，其中 P 是指______，Z 是指______，R 指_____。

7、在二阶系统的单位阶跃响应图中，t_s 定义为_______________。$\sigma\%$ 是________________。

8、PI 控制规律的时域表达式是_______。PID 控制规律的传递函数表达式是____。

9、设系统的开环传递函数为 $\dfrac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$，则其开环幅频特性为____，相频特性为___。

二、判断选择题（每题 2 分，共 16 分）

1、关于线性系统稳态误差，正确的说法是：（ ）

A、一型系统在跟踪斜坡输入信号时无误差；

B、稳态误差计算的通用公式是 $e_{ss}=\lim\limits_{s\to 0}\dfrac{s^2R(s)}{1+G(s)H(s)}$；

C、增大系统开环增益 K 可以减小稳态误差；

D、增加积分环节可以消除稳态误差，而且不会影响系统稳定性。

2、适合应用传递函数描述的系统是（ ）。

A、单输入，单输出的线性定常系统；

B、单输入，单输出的线性时变系统；

C、单输入，单输出的定常系统；　D、非线性系统。

3、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（ ）。

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

4、非单位负反馈系统，其前向通道传递函数为 G(S)，反馈通道传递函数为 H(S)，当输入信号为 R(S)，则从输入端定义的误差 E(S)为（ ）

A、$E(S)=R(S)\cdot G(S)$　　B、$E(S)=R(S)\cdot G(S)\cdot H(S)$

C、$E(S)=R(S)\cdot G(S)-H(S)$　　D、$E(S)=R(S)-G(S)H(S)$

5、已知下列负反馈系统的开环传递函数，应画零度根轨迹的是（ ）。

A、$\dfrac{K^*(2-s)}{s(s+1)}$　B、$\dfrac{K^*}{s(s-1)(s+5)}$　C、$\dfrac{K^*}{s(s^2-3s+1)}$　D、$\dfrac{K^*(1-s)}{s(2-s)}$

6、闭环系统的动态性能主要取决于开环对数幅频特性的：

A、低频段　B、开环增益　C、高频段　D、中频段

7、已知单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{10(2s+1)}{s^2(s^2+6s+100)}$，当输入信号是 $r(t)=2+2t+t^2$ 时，系统的稳态误差是（ ）

A、0；　B、∞；　C、10；　D、20

8、关于系统零极点位置对系统性能的影响，下列观点中正确的是（ ）

A、如果闭环极点全部位于 S 左半平面，则系统一定是稳定的。稳定性与闭环零点位置无关；

B、如果闭环系统无零点，且闭环极点均为负实数极点，则时间响应一定是衰减振荡的；

C、超调量仅取决于闭环复数主导极点的衰减率，与其它零极点位置无关；

D、 如果系统有开环极点处于 S 右半平面，则系统不稳定。

三、(16 分) 已知系统的结构如图 1 所示，其中 $G(s)=\dfrac{k(0.5s+1)}{s(s+1)(2s+1)}$，输入信号为单位斜坡函数，求系统的稳态误差 (8 分)。分析能否通过调节增益 k，使稳态误差小于 0.2 (8 分)。

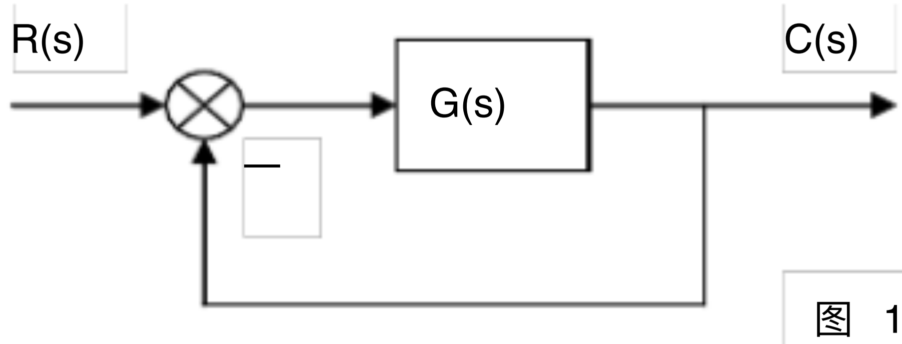


图 1

四、(16 分) 设负反馈系统如图 2，前向通道传递函数为 $G(s)=\dfrac{10}{s(s+2)}$，若采用测速负反馈 $H(s)=1+k_s s$，试画出以 k_s 为参变量的根轨迹 (10 分)，并讨论 k_s 大小对系统性能的影响 (6 分)。

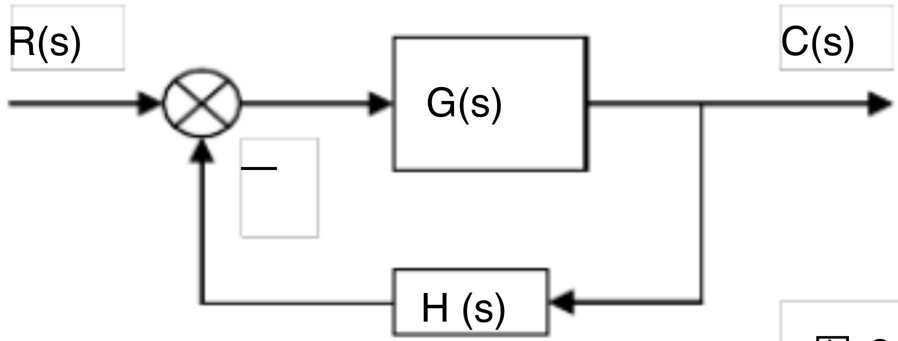


图 2

五、已知系统开环传递函数为 $G(s)H(s)=\dfrac{k(1-\tau s)}{s(Ts+1)}$, k,τ,T 均大于 0，试用奈奎斯特稳定判据判断系统稳定性。 (16 分) [第五题、第六题可任选其一]

六、已知最小相位系统的对数幅频特性如图 3 所示。试求系统的开环传递函数。 (16 分)

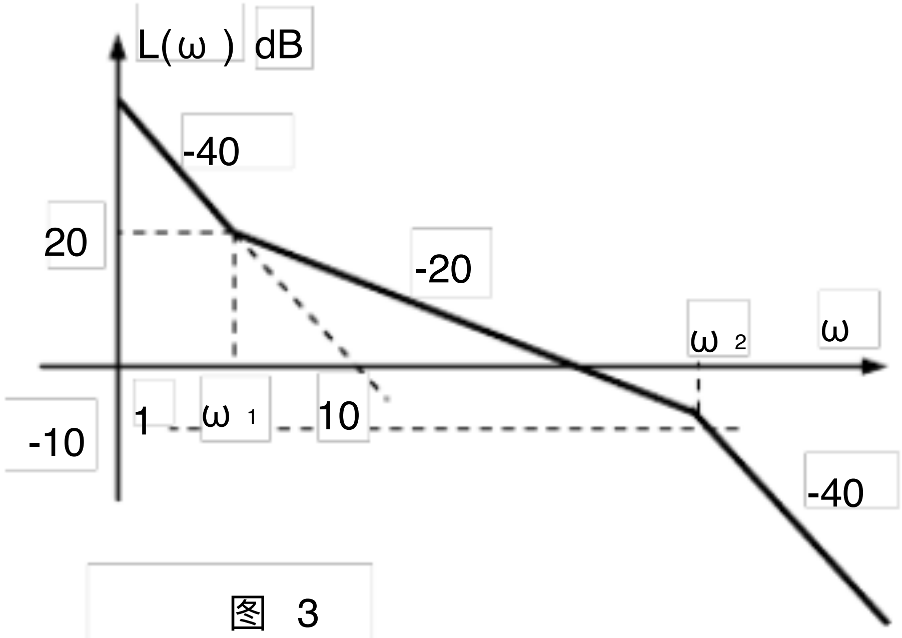


图 3

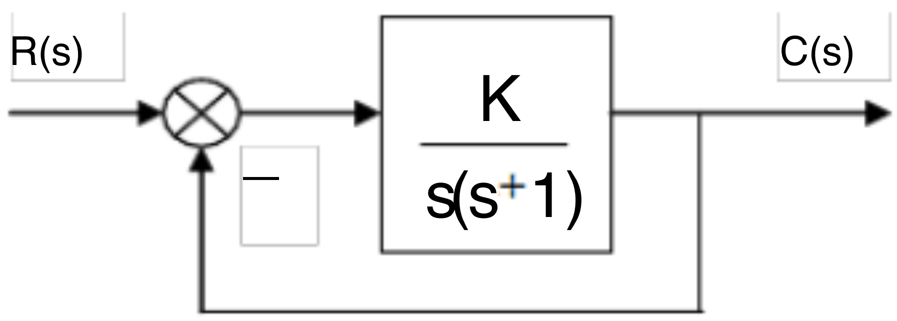


图 4

七、设控制系统如图 4，要求校正后系统在输入信号是单位斜坡时的稳态误差不大于 0.05，相角裕度不小于 40°，幅值裕度不小于 10 dB，试设计串联校正网络。 (16 分)

试题四

一、填空题（每空 1 分，共 15 分）

1、对于自动控制系统的性能要求可以概括为三个方面，即 :____、_____和_____，其中

最基本的要求是 ____。

2、若某单位负反馈控制系统的前向传递函数为 $G(s)$，则该系统的开环传递函数为 ___。

3、能表达控制系统各变量之间关系的数学表达式或表示方法，叫系统的数学模型，在古典控制理论中系统数学模型有 __________、__________等。

4、判断一个闭环线性控制系统是否稳定，可采用 ____、____、______等方法。

5、设系统的开环传递函数为 $\dfrac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$，则其开环幅频特性为 _____，相频特性为 ___。

6、PID 控制器的输入－输出关系的时域表达式是 ______，其相应的传递函数为 ________。

7、最小相位系统是指 ______________________________。

二、选择题（每题 2 分，共 20 分）

1、关于奈氏判据及其辅助函数 $F(s)=1+G(s)H(s)$，错误的说法是 （ ）

A、 F(s) 的零点就是开环传递函数的极点

B、 F(s) 的极点就是开环传递函数的极点

C、 F(s) 的零点数与极点数相同

D、 F(s) 的零点就是闭环传递函数的极点

2、已知负反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{2s+1}{s^2+6s+100}$，则该系统的闭环特征方程为 （ ）。

A、 $s^2+6s+100=0$　　B、 $(s^2+6s+100)+(2s+1)=0$

C、 $s^2+6s+100+1=0$　　D、与是否为单位反馈系统有关

3、一阶系统的闭环极点越靠近 S 平面原点，则 （ ）。

A、准确度越高　B、准确度越低　C、响应速度越快　D、响应速度越慢

4、已知系统的开环传递函数为 $\dfrac{100}{(0.1s+1)(s+5)}$，则该系统的开环增益为 （ ）。

A、 100　B、1000　C、20　D、不能确定

5、若两个系统的根轨迹相同，则有相同的: （ ）

A、闭环零点和极点　B、开环零点　C、闭环极点　D、阶跃响应

6、下列串联校正装置的传递函数中，能在 $\omega_c=1$ 处提供最大相位超前角的是 （ ）。

A、 $\dfrac{10s+1}{s+1}$　B、 $\dfrac{10s+1}{0.1s+1}$　C、 $\dfrac{2s+1}{0.5s+1}$　D、 $\dfrac{0.1s+1}{10s+1}$

7、关于 PI 控制器作用，下列观点正确的有 （ ）

A、 可使系统开环传函的型别提高，消除或减小稳态误差；

B、 积分部分主要是用来改善系统动态性能的；

C、 比例系数无论正负、大小如何变化，都不会影响系统稳定性；

D、 只要应用 PI 控制规律，系统的稳态误差就为零。

8、关于线性系统稳定性的判定，下列观点正确的是 （ ）。

A 、 线性系统稳定的充分必要条件是：系统闭环特征方程的各项系数都为正数；

B 、 无论是开环极点或是闭环极点处于右半 S 平面，系统不稳定；

C 、 如果系统闭环系统特征方程某项系数为负数，系统不稳定；

D 、 当系统的相角裕度大于零，幅值裕度大于 1 时，系统不稳定。

9、关于系统频域校正，下列观点错误的是 ( )

A、 一个设计良好的系统，相角裕度应为 45 度左右；

B、 开环频率特性，在中频段对数幅频特性斜率应为 $-20dB/dec$；

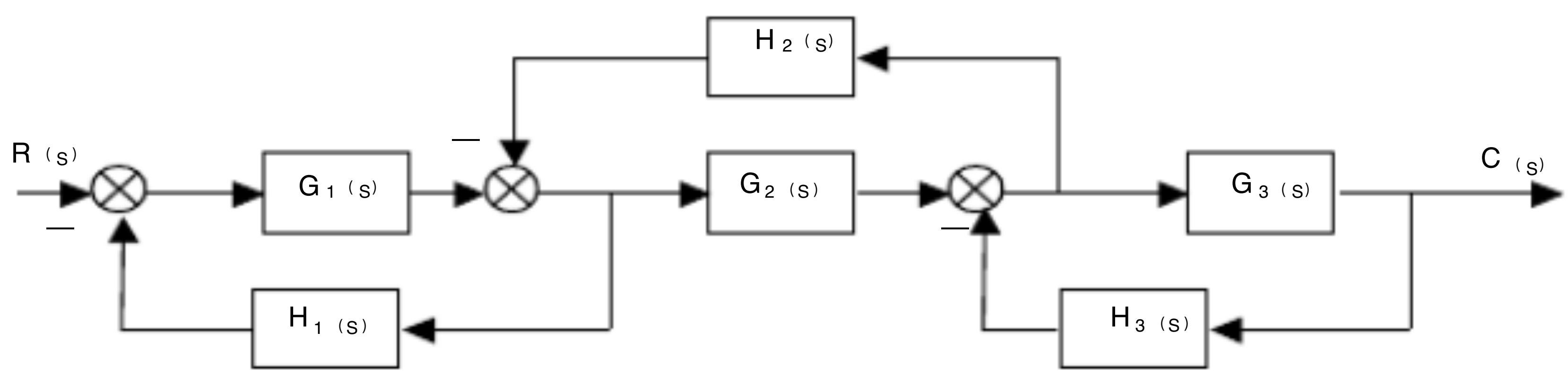
C、 低频段，系统的开环增益主要由系统动态性能要求决定；

D、 利用超前网络进行串联校正，是利用超前网络的相角超前特性。

10、已知单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{10(2s+1)}{s^2(s^2+6s+100)}$，当输入信号是 $r(t)=2+2t+t^2$ 时，系统的稳态误差是 ( )

A 、0　　B 、∞　　C 、10　　D 、20

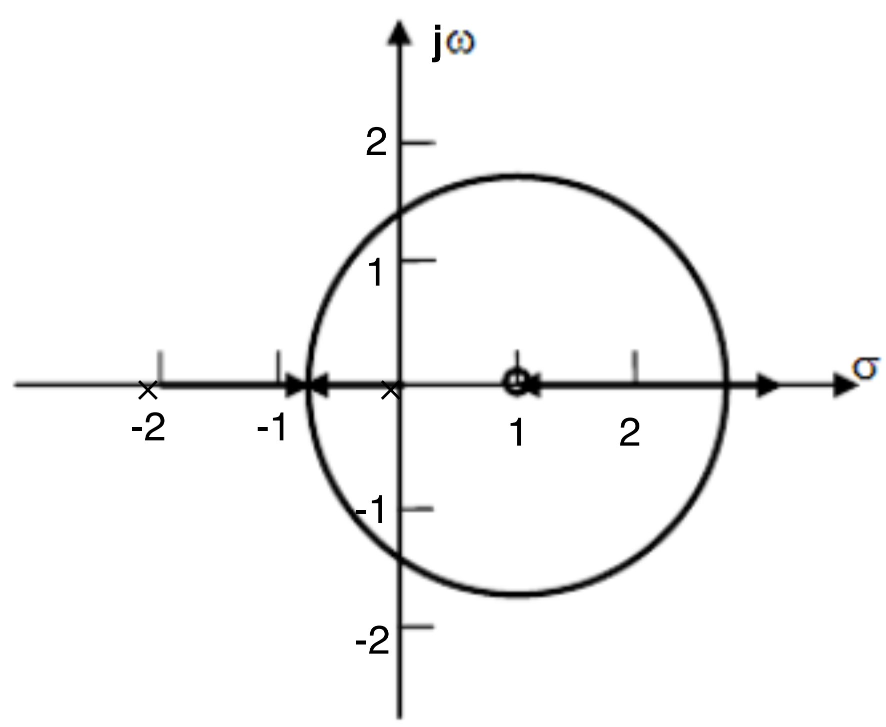
三、写出下图所示系统的传递函数 $\dfrac{C(s)}{R(s)}$（结构图化简，梅逊公式均可）。



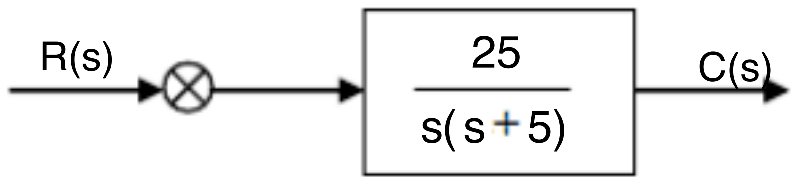
四、(共 15 分) 已知某单位反馈系统的闭环根轨迹图如下图所示

1、写出该系统以根轨迹增益 K* 为变量的开环传递函数；（7 分）

2、求出分离点坐标，并写出该系统临界阻尼时的闭环传递函数。 （8 分）



五、系统结构如下图所示，求系统的超调量 $\sigma\%$ 和调节时间 t_s。(12 分)

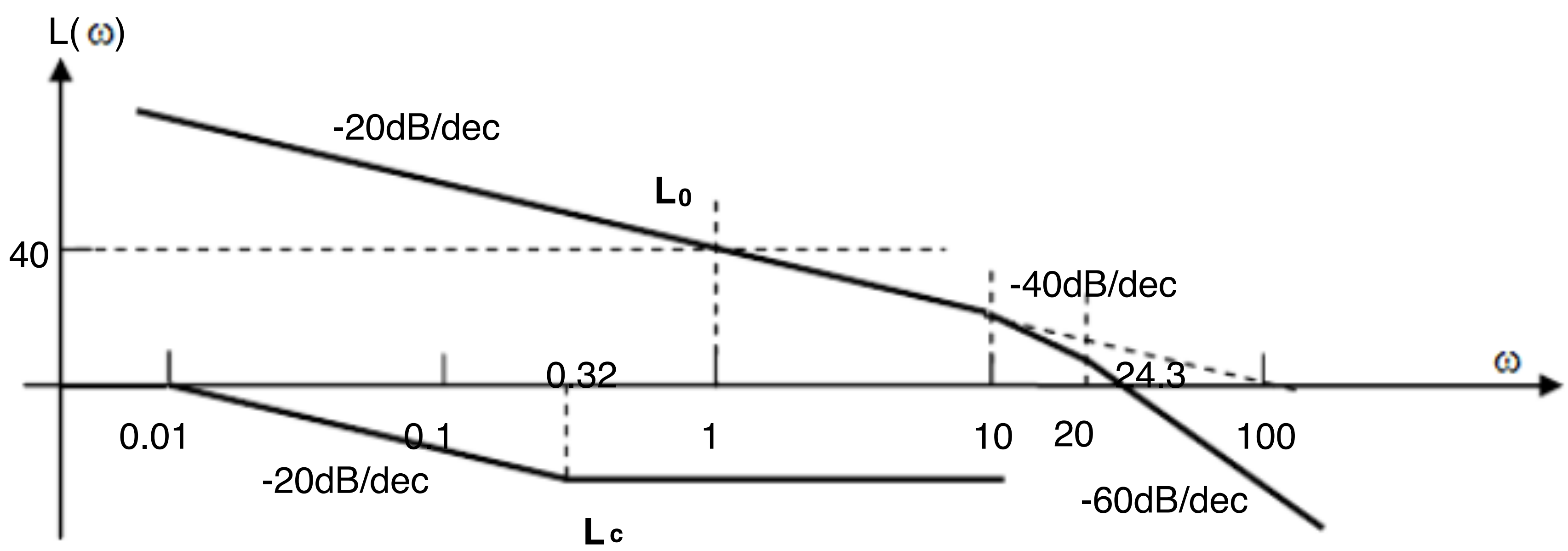


六、已知最小相位系统的开环对数幅频特性 $L_0(\omega)$ 和串联校正装置的对数幅频特性 $L_c(\omega)$ 如下图所示，原系统的幅值穿越频率为 $\omega_c = 24.3 rad/s$：（共 30 分）

1、写出原系统的开环传递函数 $G_0(s)$，并求其相角裕度 γ_0，判断系统的稳定性；(10 分)

2、写出校正装置的传递函数 $G_c(s)$；（5 分）

3、写出校正后的开环传递函数 $G_0(s)G_c(s)$，画出校正后系统的开环对数幅频特性 $L_{GC}(\omega)$，并用劳斯判据判断系统的稳定性。（15 分）



试题一答案

一、1、给定值　2、输入；扰动；　3、$G_1(s)+G_2(s)$；　4、$\sqrt{2}$；$\dfrac{\sqrt{2}}{2}=0.707$；$s^2+2s+2=0$；衰减振荡　5、$\dfrac{10}{s+0.2s}+\dfrac{5}{s+0.5s}$；　6、开环极点；开环零点　7、$\dfrac{K(\tau s+1)}{s(Ts+1)}$

8、$u(t)=K_p[e(t)+\dfrac{1}{T}\int e(t)dt]$；$K_p[1+\dfrac{1}{Ts}]$；稳态性能

二、判断选择题（每题 2 分，共 20 分）　DACADABCBB

三、解：1、建立电路的动态微分方程，根据 KCL有

$$\frac{u_i(t)-u_0(t)}{R_1}+C\frac{d[u_i(t)-u_0(t)]}{dt}=\frac{u_0(t)}{R_2}$$

即 $$R_1R_2C\frac{du_0(t)}{dt}+(R_1+R_2)u_0(t)=R_1R_2C\frac{du_i(t)}{dt}+R_2u_i(t)$$

2、求传递函数：对微分方程进行拉氏变换得

$$R_1R_2CsU_0(s)+(R_1+R_2)U_0(s)=R_1R_2CsU_i(s)+R_2U_i(s)$$ （2 分）

得传递函数 $$G(s)=\frac{U_0(s)}{U_i(s)}=\frac{R_1R_2Cs+R_2}{R_1R_2Cs+R_1+R_2}$$ （2 分）

四、解：1、（4 分） $$\Phi(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{\frac{K}{s^2}}{1+\frac{K\beta}{s}+\frac{K}{s^2}}=\frac{K}{s^2+K\beta s+K}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$$

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

3、（4 分） $$\sigma\%=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}=4.32\%\qquad t_s=\frac{4}{\xi\omega_n}=\frac{4}{\sqrt{2}}=2.83$$

4、（4 分） $$G(s)=\frac{\frac{K}{s^2}}{1+\frac{K\beta}{s}}=\frac{K}{s(s+K\beta)}=\frac{1}{\beta s(s+1)}\qquad\begin{cases}K_K=1/\beta\\v=1\end{cases}$$

$$e_{ss}=\frac{A}{K_K}=2\beta=1.414$$

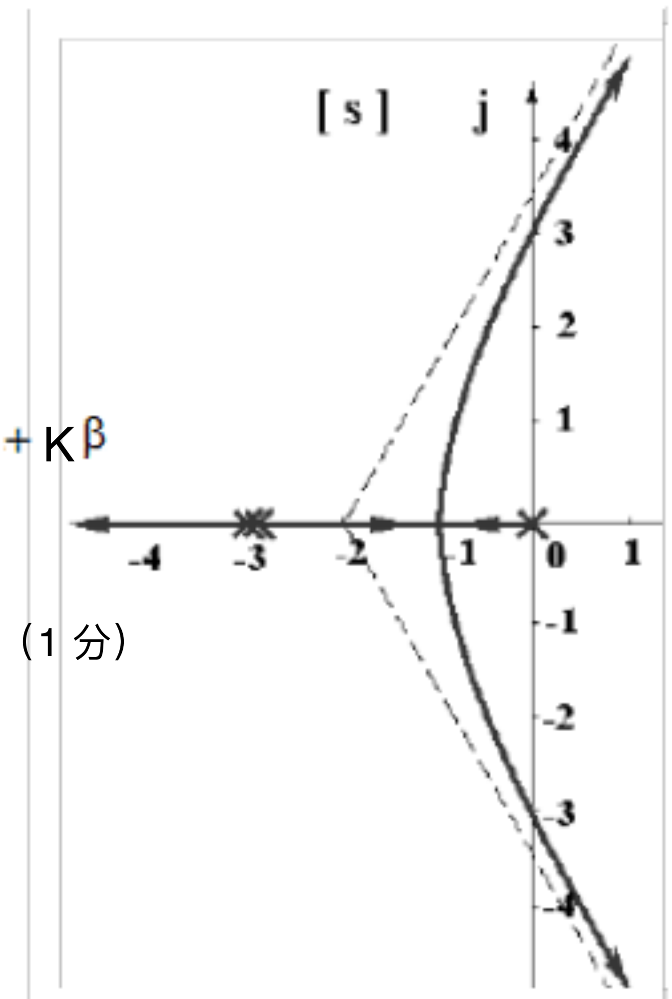
5、（4 分） 令： $$\Phi_n(s)=\frac{C(s)}{N(s)}=\frac{\left(1+\frac{K\beta}{s}\right)-\frac{1}{s}G_n(s)}{\Delta(s)}=0$$ 得： $G_n(s)=s+K\beta$

五、1、绘制根轨迹 （8 分）

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

(2) 实轴上的轨迹：（-∞，-3）及（-3，0）；（1 分）

(3) 3 条渐近线： $$\begin{cases}\sigma_a=\frac{-3-3}{3}=-2\\\pm60^\circ,\ 180^\circ\end{cases}$$ （2 分）



(4) 分离点： $\dfrac{1}{d}+\dfrac{2}{d+3}=0$ 得： $d=-1$ （2分）

$$K_r=|d|\cdot|d+3|^2=4$$

(5) 与虚轴交点： $D(s)=s^3+6s^2+9s+K_r=0$

$$\begin{cases}\mathrm{Im}[D(j\omega)]=-\omega^3+9\omega=0\\ \mathrm{Re}[D(j\omega)]=-6\omega^2+K_r=0\end{cases}\qquad \begin{cases}\omega=3\\ K_r=54\end{cases}$$ （2 分）

绘制根轨迹如右图所示。

2、（7 分） 开环增益 K 与根轨迹增益 K_r 的关系： $G(s)=\dfrac{K_r}{s(s+3)^2}=\dfrac{\dfrac{K_r}{9}}{s\left[\left(\dfrac{s}{3}\right)^2+1\right]}$

得 $K=K_r/9$ （1 分）

系统稳定时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $K_r<54$， （2 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时根轨迹增益 K_r 的取值范围： $4<K_r<54$， （3 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围： $\dfrac{4}{9}<K<6$ （1 分）

六、 解： 1、从开环波特图可知，原系统具有比例环节、一个积分环节、两个惯性环节。

故其开环传函应有以下形式 $G(s)=\dfrac{K}{s(\frac{1}{\omega_1}s+1)(\frac{1}{\omega_2}s+1)}$ (2 分)

由图可知： $\omega=1$ 处的纵坐标为 40dB，则 $L(1)=20\lg K=40$，得 $K=100$ (2 分)

$\omega_1=10$ 和 $\omega_2=100$（2 分），故系统的开环传函为 $G_0(s)=\dfrac{100}{s\left(\frac{s}{10}+1\right)\left(\frac{s}{100}+1\right)}$ （2 分）

2、写出该系统的开环频率特性、开环幅频特性及开环相频特性：

开环频率特性 $G_0(j\omega)=\dfrac{100}{j\omega\left(j\frac{\omega}{10}+1\right)\left(j\frac{\omega}{100}+1\right)}$ （1 分）

开环幅频特性 $A_0(\omega)=\dfrac{100}{\omega\sqrt{\left(\frac{\omega}{10}\right)^2+1}\sqrt{\left(\frac{\omega}{100}\right)^2+1}}$ （1 分）

开环相频特性： $\varphi_0(s)=-90^\circ-tg^{-1}0.1\omega-tg^{-1}0.01\omega$ （1 分）

3、求系统的相角裕度 γ：

求幅值穿越频率，令 $A_0(\omega)=\dfrac{100}{\omega\sqrt{\left(\frac{\omega}{10}\right)^2+1}\sqrt{\left(\frac{\omega}{100}\right)^2+1}}=1$ 得 $\omega_c\approx 31.6rad/s$（3 分）

$\varphi_0(\omega_c)=-90^\circ-tg^{-1}0.1\omega_c-tg^{-1}0.01\omega_c=-90^\circ-tg^{-1}3.16-tg^{-1}0.316\approx-180^\circ$ （2 分）

$\gamma=180^\circ+\varphi_0(\omega_c)=180^\circ-180^\circ=0$ （2 分） 对最小相位系统 $\gamma=0^\circ$ 临界稳定

4、（**4** 分） 可以采用以下措施提高系统的稳定裕度：增加串联超前校正装置；增加串联滞后校正装置；增加串联滞后 -超前校正装置；增加开环零点；增加 PI 或 PD 或 PID 控制器；在积分环节外加单位负反馈。

试题二答案

一、 1、水箱；水温 ； 2、开环控制系统；闭环控制系统；闭环控制系统

3、稳定；劳斯判据；奈奎斯特判据； 4、零； 输出拉氏变换；输入拉氏变换

5、 $\dfrac{K\sqrt{\tau^2\omega^2+1}}{\omega^2\sqrt{T^2\omega^2+1}}$； $\arctan\tau\omega-180^\circ-\arctan T\omega$（或： $-180^\circ-\arctan\dfrac{\tau\omega-T\omega}{1+\tau T\omega^2}$）

6、调整时间 t_s；快速性

二、判断选择题： BCDCBABBAD

三、 解：传递函数 G(s): 根据梅逊公式 $G(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{\sum_{i=1}^{n}P_i\Delta_i}{\Delta}$ （1 分）

4 条回路：$L_1=-G_2(s)G_3(s)H(s)$， $L_2=-G_4(s)H(s)$，

$L_3=-G_1(s)G_2(s)G_3(s)$， $L_4=-G_1(s)G_4(s)$ 无互不接触回路。 （2 分）特征式：

$\Delta=1-\sum_{i=1}^{4}L_i=1+G_2(s)G_3(s)H(s)+G_4(s)H(s)+G_1(s)G_2(s)G_3(s)+G_1(s)G_4(s)$ （2分）

2 条前向通道 ：$P_1=G_1(s)G_2(s)G_3(s)$， $\Delta_1=1$ ；

$P_2=G_1(s)G_4(s)$， $\Delta_2=1$ （2 分）

$$\therefore G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{P_1\Delta_1+P_2\Delta_2}{\Delta}=\frac{G_1(s)G_2(s)G_3(s)+G_1(s)G_4(s)}{1+G_2(s)G_3(s)H(s)+G_4(s)H(s)+G_1(s)G_2(s)G_3(s)+G_1(s)G_4(s)}$$

四、 解：系统的闭环传函的标准形式为： $\Phi(s)=\dfrac{1}{T^2s^2+2\xi Ts+1}=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_ns+\omega_n^2}$，

其中 $\omega_n = \dfrac{1}{T}$

1、当 $\begin{cases}\xi = 0.2 \\ T = 0.08s\end{cases}$ 时， $\begin{cases}\sigma\% = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} = e^{-0.2\pi/\sqrt{1-0.2^2}} = 52.7\% \\ t_s = \dfrac{4}{\xi\omega_n} = \dfrac{4T}{\xi} = \dfrac{4\times 0.08}{0.2} = 1.6s \\ t_p = \dfrac{\pi}{\omega_d} = \dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi T}{\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi\times 0.08}{\sqrt{1-0.2^2}} = 0.26s\end{cases}$ （4 分）

当 $\begin{cases}\xi = 0.8 \\ T = 0.08s\end{cases}$ 时， $\begin{cases}\sigma\% = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} = e^{-0.8\pi/\sqrt{1-0.8^2}} = 1.5\% \\ t_s = \dfrac{4}{\xi\omega_n} = \dfrac{4T}{\xi} = \dfrac{4\times 0.08}{0.8} = 0.4s \\ t_p = \dfrac{\pi}{\omega_d} = \dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi T}{\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi\times 0.08}{\sqrt{1-0.8^2}} = 0.42s\end{cases}$ （3 分）

2、当 $\begin{cases}\xi = 0.4 \\ T = 0.04s\end{cases}$ 时， $\begin{cases}\sigma\% = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} = e^{-0.4\pi/\sqrt{1-0.4^2}} = 25.4\% \\ t_s = \dfrac{4}{\xi\omega_n} = \dfrac{4T}{\xi} = \dfrac{4\times 0.04}{0.4} = 0.4s \\ t_p = \dfrac{\pi}{\omega_d} = \dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi T}{\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi\times 0.04}{\sqrt{1-0.4^2}} = 0.14s\end{cases}$ （4）

当 $\begin{cases}\xi = 0.4 \\ T = 0.16s\end{cases}$ 时， $\begin{cases}\sigma\% = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} = e^{-0.4\pi/\sqrt{1-0.4^2}} = 25.4\% \\ t_s = \dfrac{4}{\xi\omega_n} = \dfrac{4T}{\xi} = \dfrac{4\times 0.16}{0.4} = 1.6s \\ t_p = \dfrac{\pi}{\omega_d} = \dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi T}{\sqrt{1-\xi^2}} = \dfrac{\pi\times 0.16}{\sqrt{1-0.4^2}} = 0.55s\end{cases}$ （3）

3、根据计算结果，讨论参数 ξ、T 对阶跃响应的影响。 （6 分）

(1)系统超调 $\sigma\%$ 只与阻尼系数 ξ 有关，而与时间常数 T 无关， ξ 增大，超调 $\sigma\%$ 减小；

(2)当时间常数 T 一定，阻尼系数 ξ 增大，调整时间 t_s 减小，即暂态过程缩短；峰值时间 t_p 增加，即初始响应速度变慢； （2 分）

(3)当阻尼系数 ξ 一定，时间常数 T 增大，调整时间 t_s 增加，即暂态过程变长；峰值时

间 t_p 增加，即初始响应速度也变慢。　　　（2 分）

五、(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；　　（2 分）

(2) 实轴上的轨迹：（-∞，-1）及（0，3）；　　（2 分）

(3) 求分离点坐标 $\frac{1}{d+1}=\frac{1}{d}+\frac{1}{d-3}$，得 $d_1=1,\quad d_2=-3$；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 $s(s-3)+K_r(s+1)$，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 $\omega=\pm\sqrt{3},\quad K_r=3$

根轨迹如图 1 所示。

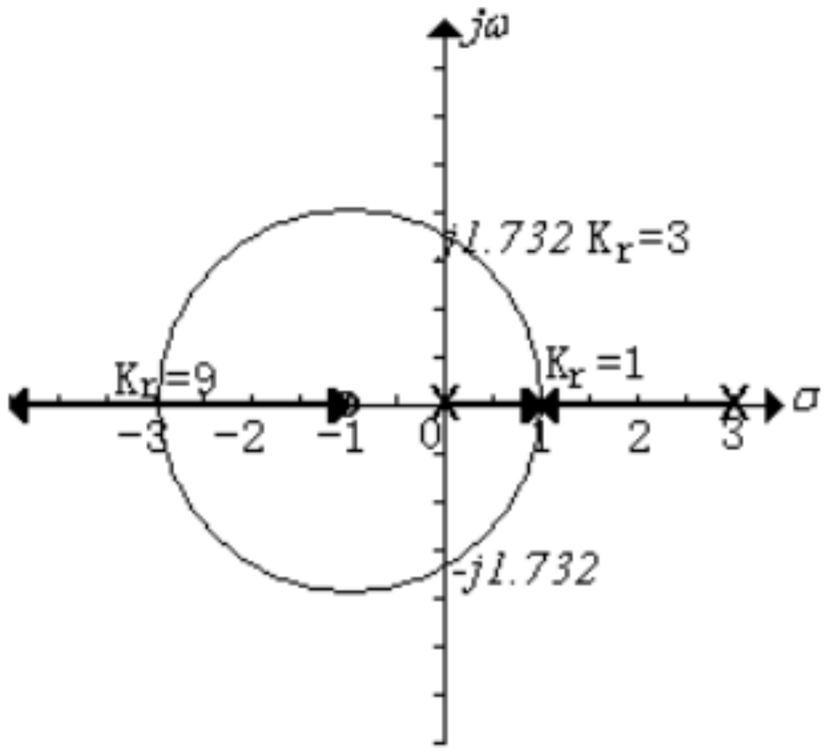


图 1

2、求系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围

系统稳定时根轨迹增益 K_r 的取值范围：$K_r\ge 3$，　　（2 分）

系统稳定且为欠阻尼状态时根轨迹增益 K_r 的取值范围：$K_r=3\sim 9$，　　（3 分）

开环增益 K 与根轨迹增益 K_r 的关系：$K=\frac{K_r}{3}$　　（1

系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围：$K=1\sim 3$　　（1

六、解：1、系统的开环频率特性为 $G(j\omega)H(j\omega)=\frac{K}{j\omega(1+j\omega)}$　　（2 分）

幅频特性：$A(\omega)=\frac{K}{\omega\sqrt{1+\omega^2}}$，　　相频特性：$\varphi(\omega)=-90^\circ-\arctan\omega$　（2 分）

起点：$\omega=0_+, A(0_+)=\infty, \varphi(0_+)=-90^0$；（1 分）

终点：$\omega\to\infty, A(\infty)=0, \varphi(\infty)=-(\ )^\circ$；（1 分）

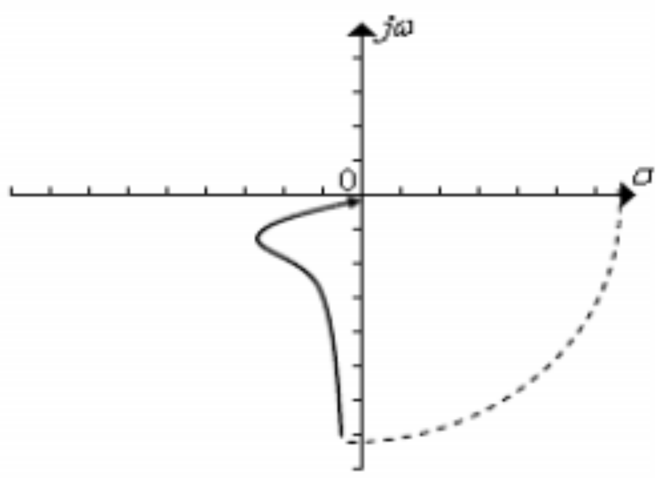


图 2

$\omega=0\sim\infty:\varphi(\omega)=-90^{\circ}\sim-180^{\circ}$,

曲线位于第 3 象限与实轴无交点。（1 分）

开环频率幅相特性图如图 2 所示。

判断稳定性:

开环传函无右半平面的极点，则 $P=0$，极坐标图不包围（-1，j0）点，则 $N=0$

根据奈氏判据，$Z=P-2N=0$，系统稳定。（3 分）

2、若给定输入 $r(t)=2t+2$ 时，要求系统的稳态误差为 0.25，求开环增益 K：系统为 1 型，位置误差系数 $K_P=\infty$，速度误差系数 $K_V=K$，（2 分）

依题意：$e_{ss}=\frac{A}{K_v}=\frac{A}{K}=\frac{2}{K}=0.25$，（3 分） 得：$K=8$（2 分）

故满足稳态误差要求的开环传递函数为 $G(s)H(s)=\frac{8}{s(s+1)}$

3、满足稳态误差要求系统的相角裕度 γ：

令幅频特性：$A(\omega)=\frac{8}{\omega\sqrt{1+\omega^{2}}}=1$，得 $\omega_c=2.7$，（2 分）

$\varphi(\omega_c)=-90^{\circ}-\arctan\omega_c=-90^{\circ}-\arctan 2.7\approx-160^{\circ}$，（1 分）

相角裕度 γ：$\gamma=180^{\circ}+\varphi(\omega_c)=180^{\circ}-160^{\circ}=20^{\circ}$（2 分）

试题三答案

一、填空题（每题 1 分，共 20 分）

1、稳定性（或：稳，平稳性）；准确性（或：稳态精度，精度）

2、输出拉氏变换与输入拉氏变换在零初始条件下的比值：$G(s)=\frac{1}{Ts+1}$；

$G(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$（或：$G(s)=\frac{1}{T^2s^2+2T\zeta s+1}$）；

3、劳斯判据（或：时域分析法）；奈奎斯特判据（或：频域分析法）；4、结构；参数；

5、$20\lg A(\omega)$（或：$L(\omega)$）；$\lg\omega$（或：ω 按对数分度）

6、开环传函中具有正实部的极点的个数，（或：右半 S 平面的开环极点个数）；闭环传函中具有正实部的极点的个数（或：右半 S 平面的闭环极点个数，不稳定的根的个数）；奈氏曲线逆时针方向包围（-1, j0）整圈数。

7、系统响应到达并保持在终值 $\pm5\%$ 或 $\pm2\%$ 误差内所需的最短时间（或：调整时间，调节时间）；响应的最大偏移量 $h(t_p)$ 与终值 $h(\infty)$ 的差与 $h(\infty)$ 的比的百分数。（或：$\frac{h(t_p)-h(\infty)}{h(\infty)}\times100\%$，超调）

8、 $m(t)=K_p e(t)+\frac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t)dt$ （或： $K_p e(t)+K_i\int_0^t e(t)dt$ ）；

$G_C(s)=K_p(1+\frac{1}{T_i s}+\tau s)$ （或： $K_p+\frac{K_i}{s}+K_d s$ ）

9、 $A(\omega)=\frac{K}{\omega\sqrt{(T_1\omega)^2+1}\cdot\sqrt{(T_2\omega)^2+1}}$； $\varphi(\omega)=-90^0-tg^{-1}(T_1\omega)-tg^{-1}(T_2\omega)$

二、判断选择题 CABDADDA

三、解： I 型系统在跟踪单位斜坡输入信号时，稳态误差为 $e_{ss}=\frac{1}{K_v}$ （2 分）

而静态速度误差系数 $K_v=\lim_{s\to 0} s\cdot G(s)H(s)=\lim_{s\to 0} s\cdot\frac{K(0.5s+1)}{s(s+1)(2s+1)}=K$ （2 分）

稳态误差为 $e_{ss}=\frac{1}{K_v}=\frac{1}{K}$。（4 分）要使 $e_{ss}<0.2$ 必须 $K>\frac{1}{0.2}=5$，即 K 要大于 5。（6 分）但其上限要符合系统稳定性要求。可由劳斯判据决定其上限。

系统的闭环特征方程是

$D(s)=s(s+1)(2s+1)+0.5Ks+K=2s^3+3s^2+(1+0.5K)s+K=0$ （1 分）

构造劳斯表如下

s^3	2	$1+0.5K$
s^2	3	K
s^1	$\frac{3-0.5K}{3}$	0
s^0	K	0

为使首列大于 0， 必须 $0<K<6$。

综合稳态误差和稳定性要求，当 $5<K<6$ 时能保证稳态误差小于 0.2。（1 分）

四、解：系统的开环传函 $G(s)H(s)=\frac{10}{s(s+2)}(1+k_s s)$，其闭环特征多项式为 $D(s)$

$D(s)=s^2+2s+10k_s s+10=0$，（1 分）以不含 k_s 的各项和除方程两边，得

$\frac{10k_s s}{s^2+2s+10}=-1$ ，令 $10k_s=K^*$，得到等效开环传函为 $\frac{K^*}{s^2+2s+10}=-1$ （2 分）

参数根轨迹，起点： $p_{1,2}=-1\pm j3$，终点：有限零点 $z_1=0$，无穷零点 $-\infty$ （2 分）

实轴上根轨迹分布： $[-\infty,\ 0]$ （2 分）

实轴上根轨迹的分离点：令 $\frac{d}{ds}\left(\frac{s^2+2s+10}{s}\right)=0$，得

$$s^2-10=0, s_{1,2}=\pm\sqrt{10}=\pm3.16$$

合理的分离点是 $s_1=-\sqrt{10}=-3.16$，（2 分）该分离点对应的根轨迹增益为

$K_1^*=\left|\frac{s^2+2s+10}{s}\right|_{s=-\sqrt{10}}=4.33$，对应的速度反馈时间常数 $k_s=\frac{K_1^*}{10}=0.433$（1 分）

根轨迹有一根与负实轴重合的渐近线。由于开环传函两个极点 $p_{1,2}=-1\pm j3$，一个有限零点 $z_1=0$ 且零点不在两极点之间，故根轨迹为以零点 $z_1=0$ 为圆心，以该圆心到分离点距离为半径的圆周。

根轨迹与虚轴无交点，均处于 s 左半平面。系统绝对稳定。根轨迹如图 1 所示。（4 分）

讨论 k_s 大小对系统性能的影响如下：

（1）、当 $0<k_s<0.433$ 时，系统为欠阻尼状态。根轨迹处在第二、三象限，闭环极点为共轭的复数极点。系统阻尼比 ζ 随着 k_s 由零逐渐增大而增加。动态响应为阻尼振荡过程，k_s 增加将使振荡频率 ω_d 减小（$\omega_d=\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$），但响应速度加快，调节时间缩短（$t_s=\frac{3.5}{\zeta\omega_n}$）。（1 分）

（2）、当 $k_s=0.433$ 时（此时 $K^*=4.33$），为临界阻尼状态，动态过程不再有振荡和超调。

（3）、当 $k_s>0.433$（或 $K^*>4.33$），为过阻尼状态。系统响应为单调变化过程。（1 分）

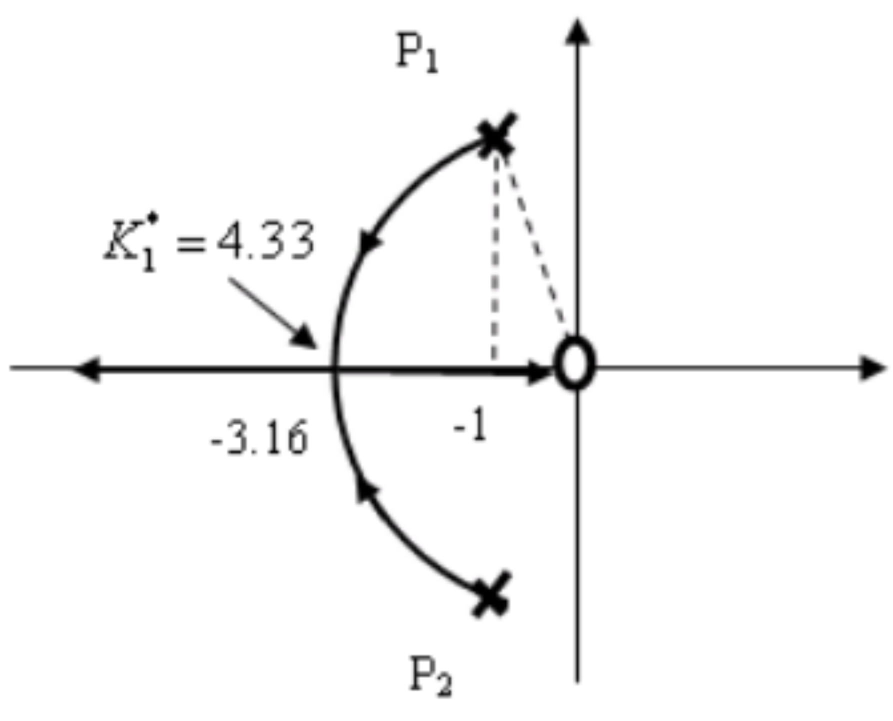


图 1 四题系统参数根轨迹

五、解：由题已知： $G(s)H(s)=\dfrac{K(1-\tau s)}{s(Ts+1)}, K,\tau,T>0$，

系统的开环频率特性为

$$G(j\omega)H(j\omega)=\frac{K[-(T+\tau)\omega-j(1-T\tau\omega^2)]}{\omega(1+T^2\omega^2)} \qquad (2\text{ 分})$$

开环频率特性极坐标图

起点： $\omega=0_+, A(0_+)=\infty, \varphi(0_+)=-90^0$；（1 分）

终点： $\omega\to\infty, A(\infty)=0, \varphi(\infty)=-270^0$；（2 分）

与实轴的交点：令虚频特性为零，即 $1-T\tau\omega^2=0$ 得 $\omega_x=\dfrac{1}{\sqrt{T\tau}}$（2 分）

实部 $G(j\omega_x)H(j\omega_x)=-K\tau$（2 分）

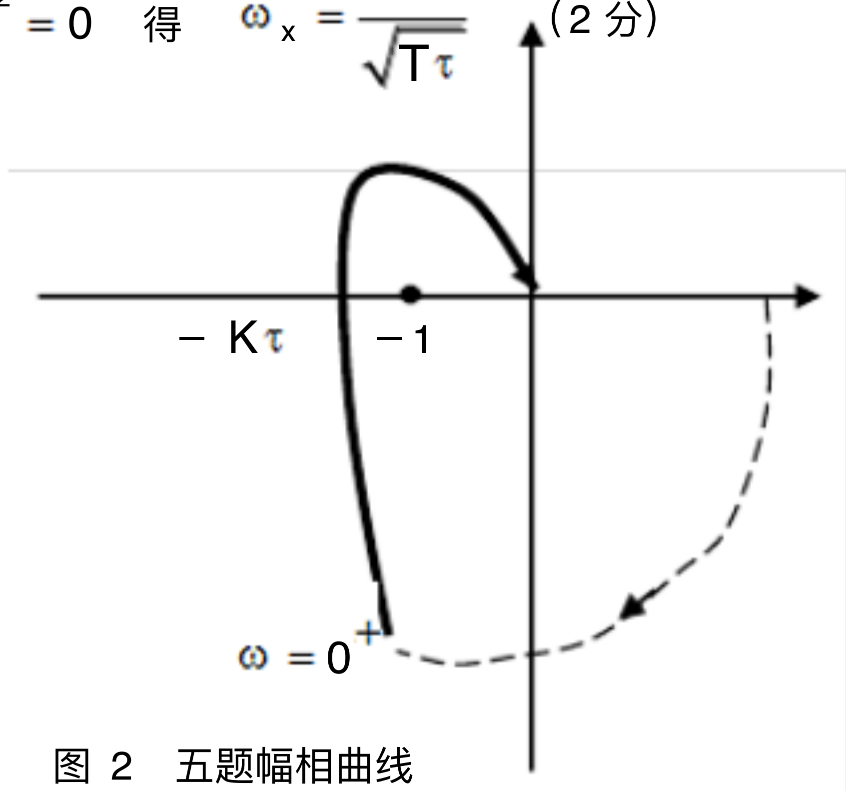


图 2 五题幅相曲线

开环极坐标图如图 2 所示。（4 分）

由于开环传函无右半平面的极点，则 $P=0$

当 $K\tau<1$时，极坐标图不包围（－1，j0）点，系统稳定。（1 分）

当 $K\tau=1$时，极坐标图穿过临界点（－1，j0）点，系统临界稳定。（1 分）

当 $K\tau>1$时，极坐标图顺时针方向包围（－1，j0）点一圈。

$$N=2(N_+-N_-)=2(0-1)=-2$$

按奈氏判据， $Z=P-N=2$。系统不稳定。（2 分）

闭环有两个右平面的极点。

六、解：从开环波特图可知，系统具有比例环节、两个积分环节、一个一阶微分环节和一个惯性环节。

故其开环传函应有以下形式 $$G(s)=\frac{K(\frac{1}{\omega_1}s+1)}{s^2(\frac{1}{\omega_2}s+1)} \qquad (8\text{ 分})$$

由图可知： $\omega=1$处的纵坐标为 40dB， 则 $L(1)=20\lg K=40$， 得 $K=100$ （2 分）

又由 $\omega=\omega_1$和$\omega=10$的幅值分贝数分别为 20 和 0，结合斜率定义，有

$$\frac{20-0}{\lg\omega_1-\lg 10}=-40，解得 \quad \omega_1=\sqrt{10}=3.16\ \text{rad/s} \quad (2\text{ 分})$$

同理可得 $\dfrac{20-(-10)}{\lg\omega_1-\lg\omega_2}=-20$ 或 $20\lg\dfrac{\omega_2}{\omega_1}=30$ ，

$\omega_2^2=1000\omega_1^2=10000$ 得 $\omega_2=100$ rad/s (2 分)

故所求系统开环传递函数为

$$G(s)=\frac{100(\frac{s}{\sqrt{10}}+1)}{s^2(\frac{s}{100}+1)} \qquad (2\text{ 分})$$

七、解：(1)、系统开环传函 $G(s)=\dfrac{K}{s(s+1)}$，输入信号为单位斜坡函数时的稳态误差为

$e_{ss}=\dfrac{1}{K_v}=(\lim\limits_{s\to 0} sG(s)H(s))^{-1}=\dfrac{1}{K}$，由于要求稳态误差不大于 0.05，取 $K=20$

故 $G(s)=\dfrac{20}{s(s+1)}$ （5 分）

(2)、校正前系统的相角裕度 γ 计算：

$$L(\omega)=20\lg 20-20\lg\omega-20\lg\sqrt{\omega^2+1}$$

$L(\omega_c)\approx 20\lg\dfrac{20}{\omega_c^2}=0\to\omega_c^2=20$ 得 $\omega_c=4.47$ rad/s

$\gamma=180^0-90^0-tg^{-1}4.47=12.6^0$； 而幅值裕度为无穷大，因为不存在 ω_x。(2 分)

(3)、根据校正后系统对相位裕度的要求，确定超前环节应提供的相位补偿角

$\varphi_m=\gamma''-\gamma+\varepsilon=40-12.6+5=32.4\approx 33^0$ (2 分)

(4)、校正网络参数计算： $a=\dfrac{1+\sin\varphi_m}{1-\sin\varphi_m}=\dfrac{1+\sin 33^0}{1-\sin 33^0}=3.4$ (2 分)

(5)、超前校正环节在 ω_m 处的幅值为： $10\lg a=10\lg 3.4=5.31dB$

使校正后的截止频率 ω_c' 发生在 ω_m 处，故在此频率处原系统的幅值应为－ 5.31dB

$L(\omega_m)=L(\omega_c')=20\lg 20-20\lg\omega_c'-20\lg\sqrt{(\omega_c')^2+1}=-5.31$，解得：$\omega_c'\approx 5.36$ (2 分)

(6)、计算超前网络： $a=3.4,\omega_c'=\omega_m=\dfrac{1}{T\sqrt{a}}\to T=\dfrac{1}{\omega_m\sqrt{a}}=\dfrac{1}{6\sqrt{3.4}}=0.09$，在放

大 3.4 倍后，超前校正网络为 ： $G_c(s)=\dfrac{1+aTs}{1+Ts}=\dfrac{1+0.306s}{1+0.09s}$

校正后的总开环传函为： $G_c(s)G(s)=\dfrac{20(1+0.306s)}{s(s+1)(1+0.09s)}$ （2 分）

（7）校验性能指标

相角裕度 $\gamma''=180+tg^{-1}(0.306\times 6)-90-tg^{-1}6-tg^{-1}(0.09\times 6)=43^0$

由于校正后的相角始终大于－ 180^o，故幅值裕度为无穷大。

符合设计性能指标要求。 （1 分）

试题四答案

一、填空题

1、稳定性 快速性 准确性 稳定性； 2、$G(s)$；

3、微分方程 传递函数 （或结构图 信号流图）（任意两个均可）

4、劳思判据 根轨迹 奈奎斯特判据

5、 $A(\omega)=\dfrac{K}{\omega\sqrt{(T_1\omega)^2+1}\sqrt{(T_2\omega)^2+1}}$； $\varphi(\omega)=-90^0-tg^{-1}(T_1\omega)-tg^{-1}(T_2\omega)$

6、 $m(t)=K_pe(t)+\dfrac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t)dt+K_p\tau\dfrac{de(t)}{dt}$ $G_C(s)=K_p\left(1+\dfrac{1}{T_is}+\tau s\right)$

7、S 右半平面不存在系统的开环极点及开环零点

二、判断选择题： ABDCCBACCD

三、 解：传递函数 G(s):根据梅逊公式 $G(s)=\dfrac{C(s)}{R(s)}=\dfrac{\sum_{i=1}^{n}P_i\Delta_i}{\Delta}$ （2 分）

3 条回路：$L_1=-G_1(s)H_1(s)$，$L_2=-G_2(s)H_2(s)$， $L_3=-G_3(s)H_3(s)$ （1 分）

1 对互不接触回路 ：$L_1L_3=G_1(s)H_1(s)G_3(s)H_3(s)$ （1 分）

$$\Delta=1-\sum_{i=1}^{3}L_i+L_1L_3=1+G_1(s)H_1(s)+G_2(s)H_2(s)+G_3(s)H_3(s)+G_1(s)H_1(s)G_3(s)H_3(s)$$

(2 分)

1 条前向通道 ： $P_1=G_1(s)G_2(s)G_3(s)$， $\Delta_1=1$ （2 分）

$$\therefore G(s)=\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{P_1\Delta_1}{\Delta}=\frac{G_1(s)G_2(s)G_3(s)}{1+G_1(s)H_1(s)+G_2(s)H_2(s)+G_3(s)H_3(s)+G_1(s)H_1(s)G_3(s)H_3(s)}$$

四、 解：1、由图可以看出，系统有 1 个开环零点为： 1（1 分）；有 2 个开环极点为： 0、-2（1 分），而且为零度根轨迹。由此可得以根轨迹增益 K* 为变量的开环传函

$$G(s)=\frac{-K^*(s-1)}{s(s+2)}=\frac{K^*(1-s)}{s(s+2)}$$ （5 分）

2、求分离点坐标

$$\frac{1}{d-1}=\frac{1}{d}+\frac{1}{d+2}$$，得 $d_1=-0.732$， $d_2=2.732$ （2 分）

分别对应的根轨迹增益为 $K_1^*=1.15$， $K_2^*=7.46$ （2 分）

分离点 d_1 为临界阻尼点， d_2 为不稳定点。

单位反馈系统在 d_1（临界阻尼点）对应的闭环传递函数为，

$$\Phi(s)=\frac{G(s)}{1+G(s)}=\frac{\dfrac{K^*(1-s)}{s(s+2)}}{1+\dfrac{K^*(1-s)}{s(s+2)}}=\frac{K^*(1-s)}{s(s+2)+K^*(1-s)}=\frac{-1.15(s-1)}{s^2+0.85s+1.15}$$ （4 分）

五、 解：由图可得系统的开环传函为： $G(s)=\dfrac{25}{s(s+5)}$ （2 分）

因为该系统为单位负反馈系统，则系统的闭环传递函数为，

$$\Phi(s)=\frac{G(s)}{1+G(s)}=\frac{\dfrac{25}{s(s+5)}}{1+\dfrac{25}{s(s+5)}}=\frac{25}{s(s+5)+25}=\frac{5^2}{s^2+5s+5^2}$$ （2 分）

与二阶系统的标准形式 $\Phi(s)=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$ 比较，有 $\begin{cases}2\zeta\omega_n=5\\ \omega_n^2=5^2\end{cases}$ （2 分）

解得 $\begin{cases}\zeta=0.5\\ \omega_n=5\end{cases}$ （2 分）

所以 $\sigma\%=e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}=e^{-0.5\pi/\sqrt{1-0.5^2}}=16.3\%$ （2 分） $t_s=\dfrac{3}{\zeta\omega_n}=\dfrac{3}{0.5\times5}=1.2s$

或 $t_s=\dfrac{4}{\zeta\omega_n}=\dfrac{4}{0.5\times5}=1.6s$， $t_s=\dfrac{3.5}{\zeta\omega_n}=\dfrac{3.5}{0.5\times5}=1.4s$， $t_s=\dfrac{4.5}{\zeta\omega_n}=\dfrac{4.5}{0.5\times5}=1.8s$

六、 解： 1、从开环波特图可知，原系统具有比例环节、一个积分环节、两个惯性环节。

故其开环传函应有以下形式 $G_0(s)=\dfrac{K}{s(\frac{1}{\omega_1}s+1)(\frac{1}{\omega_2}s+1)}$ (2 分)

由图可知： $\omega=1$ 处的纵坐标为 40dB， 则 $L(1)=20\lg K=40$， 得 $K=100$ (2 分)

$\omega_1=10$和ω_2=20

故原系统的开环传函为 $G_0(s)=\dfrac{100}{s(\frac{1}{10}s+1)(\frac{1}{20}s+1)}=\dfrac{100}{s(0.1s+1)(0.05s+1)}$ （2 分）

求原系统的相角裕度 γ_0： $\varphi_0(s)=-90^\circ-tg^{-1}0.1\omega-tg^{-1}0.05\omega$

由题知原系统的幅值穿越频率为 $\omega_c=24.3rad/s$

$$\varphi_0(\omega_c)=-90^\circ-tg^{-1}0.1\omega_c-tg^{-1}0.05\omega_c=-208^\circ \quad （1 分）$$

$$\gamma_0=180^\circ+\varphi_0(\omega_c)=180^\circ-208^\circ=-28^\circ \quad （1 分）$$

对最小相位系统 $\gamma_0=-28^\circ<0^\circ$不稳定

2、从开环波特图可知，校正装置一个惯性环节、一个微分环节，为滞后校正装置。

故其开环传函应有以下形式 $G_c(s)=\dfrac{\frac{1}{\omega_2{}'}s+1}{\frac{1}{\omega_1{}'}s+1}=\dfrac{\frac{1}{0.32}s+1}{\frac{1}{0.01}s+1}=\dfrac{3.125s+1}{100s+1}$ （5 分）

3、校正后的开环传递函数 $G_0(s)G_c(s)$ 为

$$G_0(s)G_c(s)=\frac{100}{s(0.1s+1)(0.05s+1)}\frac{3.125s+1}{100s+1}=\frac{100(3.125s+1)}{s(0.1s+1)(0.05s+1)(100s+1)} \quad （4 分）$$

系统的闭环特征方程是

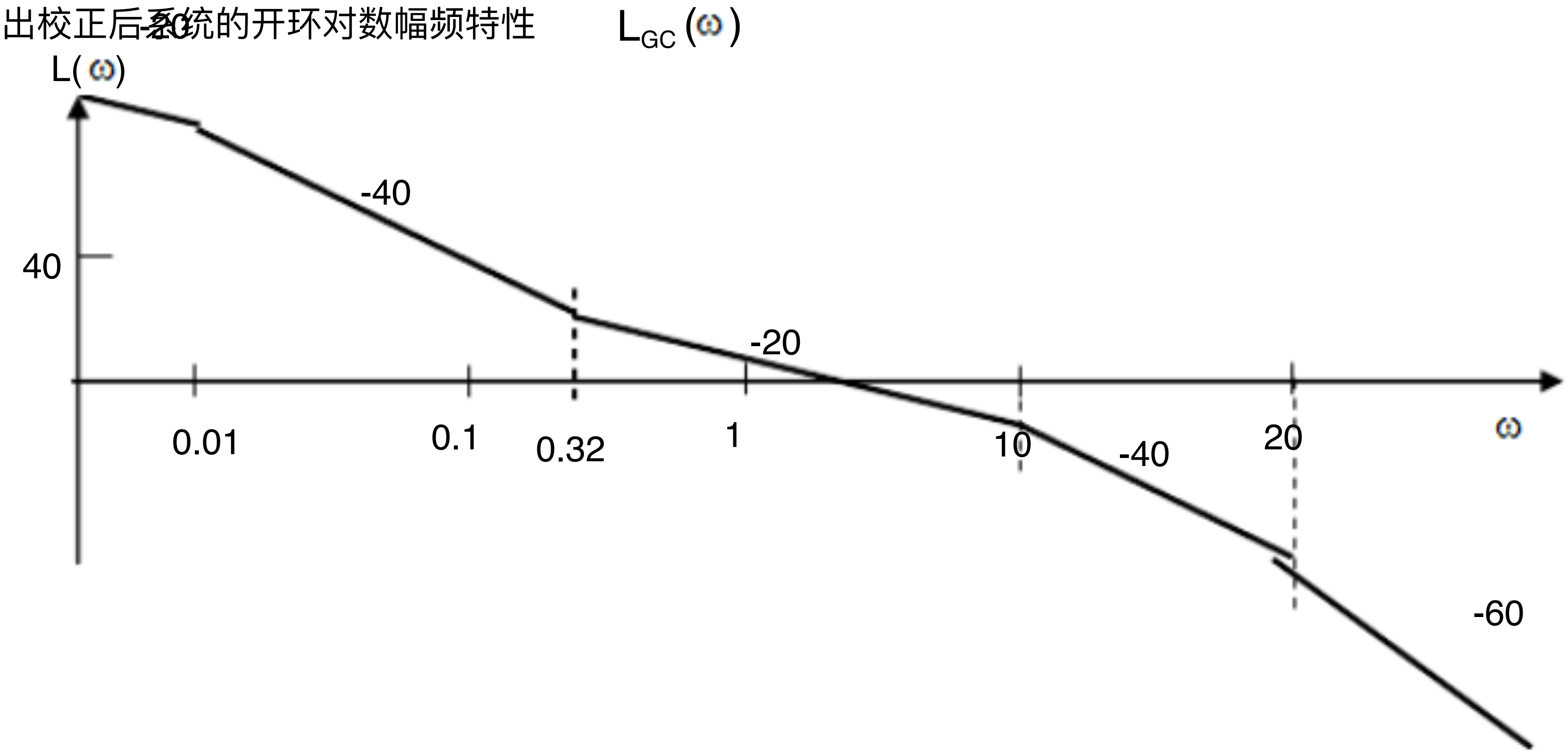
$$\begin{aligned}D(s)&=s(0.1s+1)(0.05s+1)(100s+1)+100(3.125s+1)\\&=0.5s^4+15.005s^3+100.15s^2+313.5s+100=0\end{aligned} \quad （2 分）$$

构造劳斯表如下

s^4	0.5	100.15	100
s^3	15.005	313.5	0
s^2	89.7	100	0
s^1	296.8	0	
s^0	100	0	

首列均大于 0，故校正后的系统稳定。 （4 分）

画出校正后系统的开环对数幅频特性 $L_{GC}(\omega)$



起始斜率 :-20dB/dec(一个积分环节) （1 分）

转折频率 ：$\omega_1 = 1/100 = 0.01$(惯性环节)， $\omega_2 = 1/3.125 = 0.32$(一阶微分环节)，

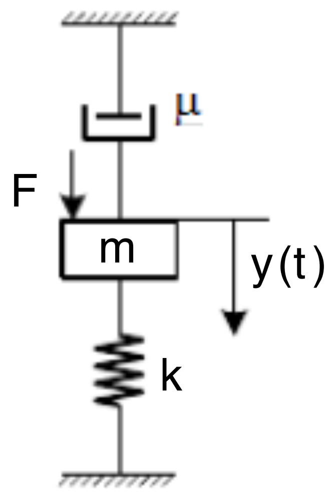
$\omega_3 = 1/0.1 = 10$(惯性环节)， $\omega_4 = 1/0.05 = 20$(惯性环节) （4 分）

自动控制原理模拟试题 3

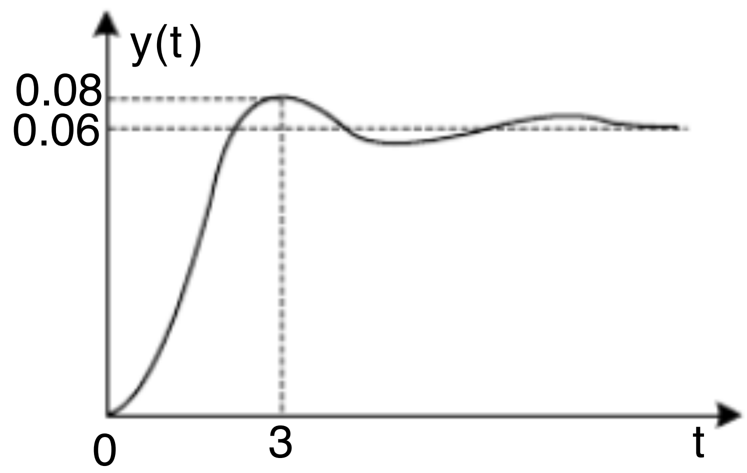
一、简答题：（合计 20 分， 共 4 个小题，每题 5 分）

1. 如果一个控制系统的阻尼比比较小， 请从时域指标和频域指标两方面说明该系统会有什么样的表现？并解释原因。
2. 大多数情况下， 为保证系统的稳定性， 通常要求开环对数幅频特性曲线在穿越频率处的斜率为多少？为什么？
3. 简要画出二阶系统特征根的位置与响应曲线之间的关系。
4. 用根轨迹分别说明， 对于典型的二阶系统增加一个开环零点和增加一个开环极点对系统根轨迹走向的影响。

二、已知质量 - 弹簧 - 阻尼器系统如图 (a) 所示，其中质量为 m公斤，弹簧系数为 k 牛顿 / 米，阻尼器系数为 μ 牛顿秒 / 米，当物体受 F= 10 牛顿的恒力作用时，其位移 $y(t)$ 的的变化如图(b) 所示。求 m、 k 和 μ 的值。(合计 20 分)



图(a)

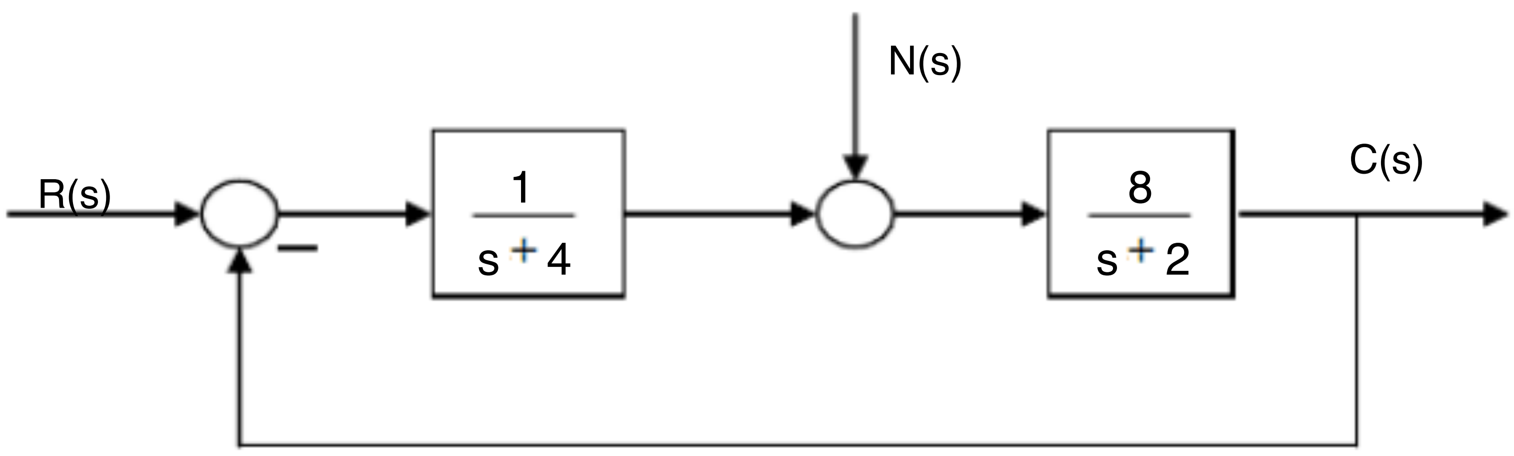


图(b)

三、已知一控制系统的结构图如下， （合计 20 分， 共 2 个小题，每题 10 分）

1） 确定该系统在输入信号 $r(t) = 1(t)$ 下的时域性能指标：超调量 $\sigma\%$，调节时间 t_s 和峰值时间 t_p；

2） 当 $r(t) = 2 \cdot 1(t), n(t) = 4\sin 3t$ 时，求系统的稳态误差。

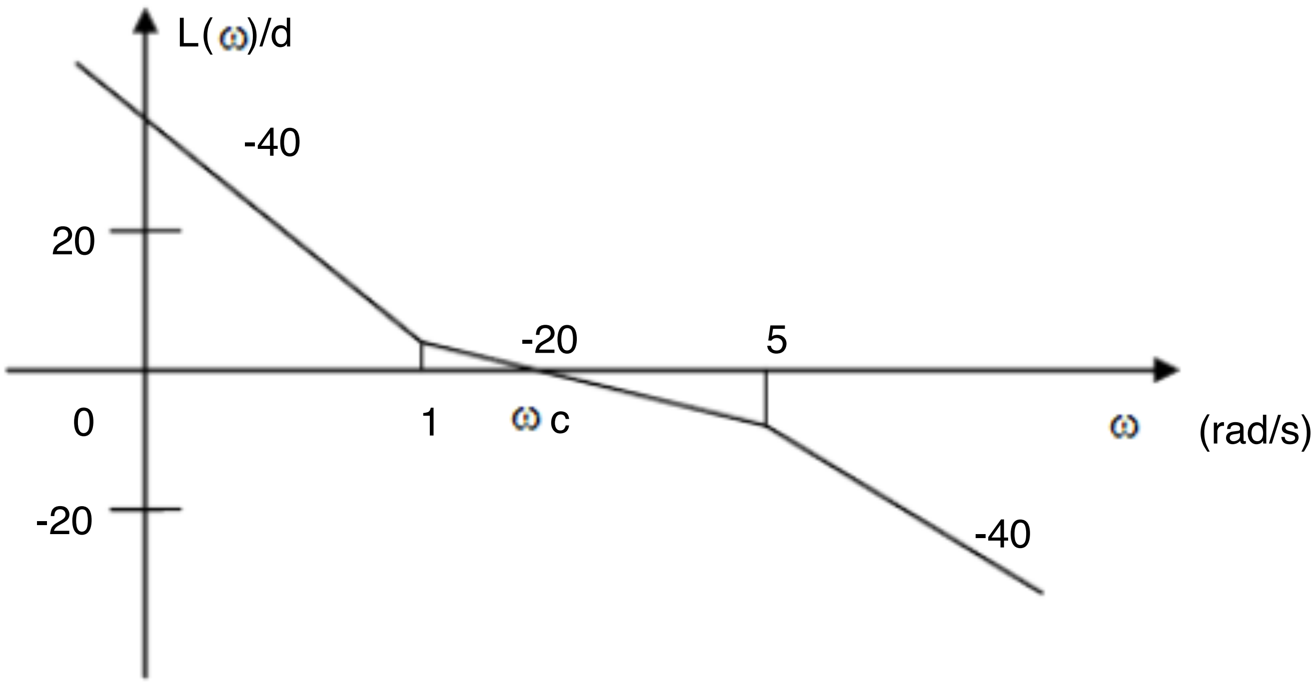


四、已知最小相位系统的开环对数幅频特性渐近线如图所示，ω_c 位于两个交接频率的几何中心。

1） 计算系统对阶跃信号、斜坡信号和加速度信号的稳态精度。

2） 计算超调量 $\sigma\%$ 和调节时间 t_s。（合计 20 分，共 2 个小题，每题 10 分）

$$[\ \sigma\% = 0.16 + 0.4\left(\frac{1}{\sin\gamma} - 1\right),\ t_s = \frac{\pi}{\omega_c}\left[2 + 1.5\left(\frac{1}{\sin\gamma} - 1\right) + 2.5\left(\frac{1}{\sin\gamma} - 1\right)^2\right]\ ]$$

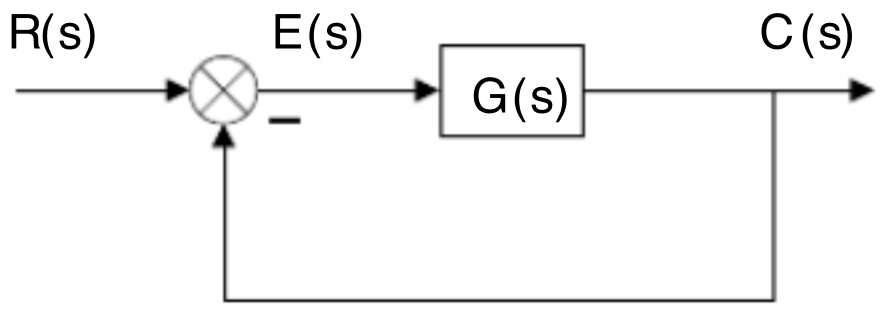


五、某火炮指挥系统结构如下图所示，$G(s) = \dfrac{K}{s(0.2s+1)(0.5s+1)}$ 系统最大输出速度为 2 r/min，输出位置的容许误差小于 2°，求：

1） 确定满足上述指标的最小 K 值，计算该 K 值下的相位裕量和幅值裕量；

2） 前向通路中串联超前校正网络 $G_c(s) = \dfrac{0.4s+1}{0.08s+1}$，试计算相位裕量。

（合计 20 分，共 2 个小题，每题 10 分）



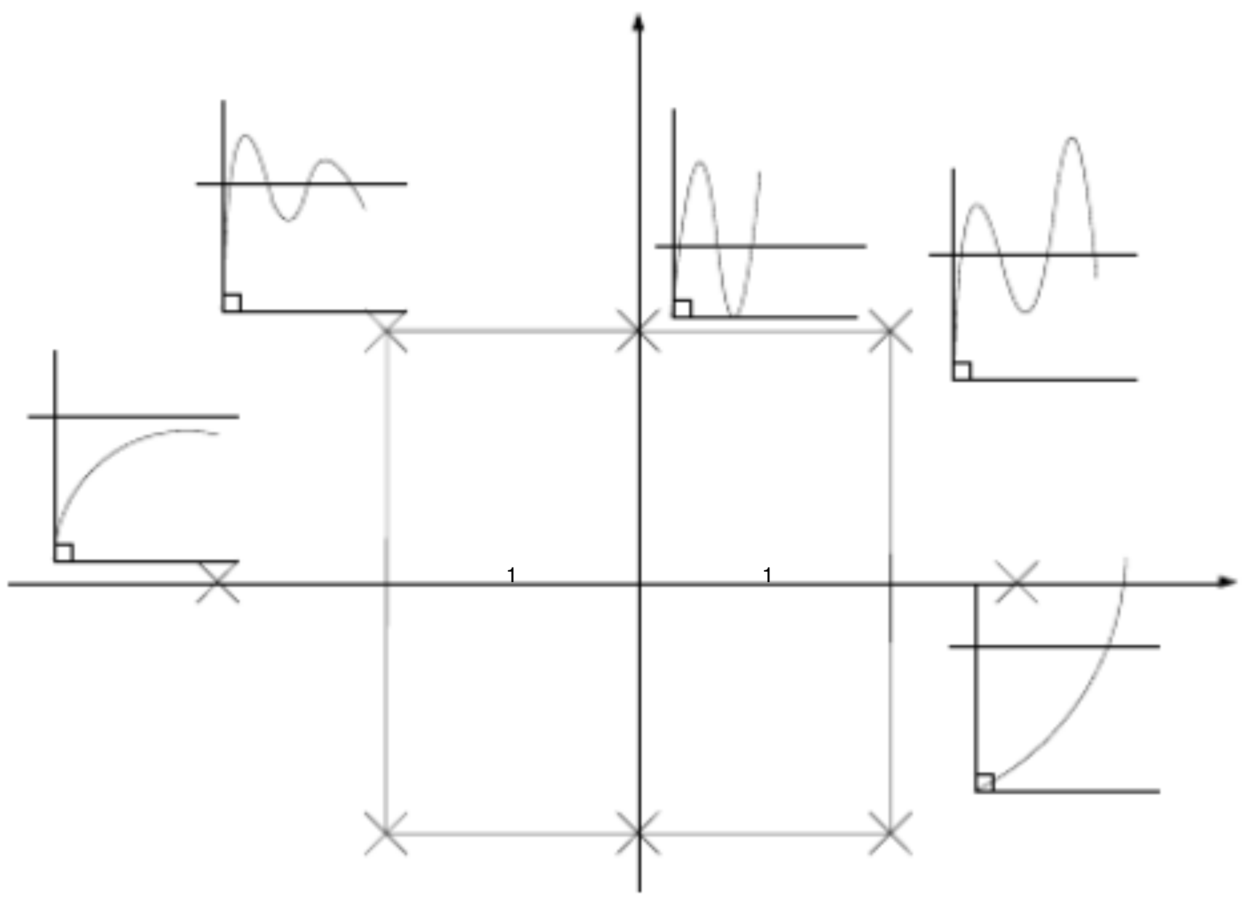
自动控制原理模拟试题 3 答案

一、简答题

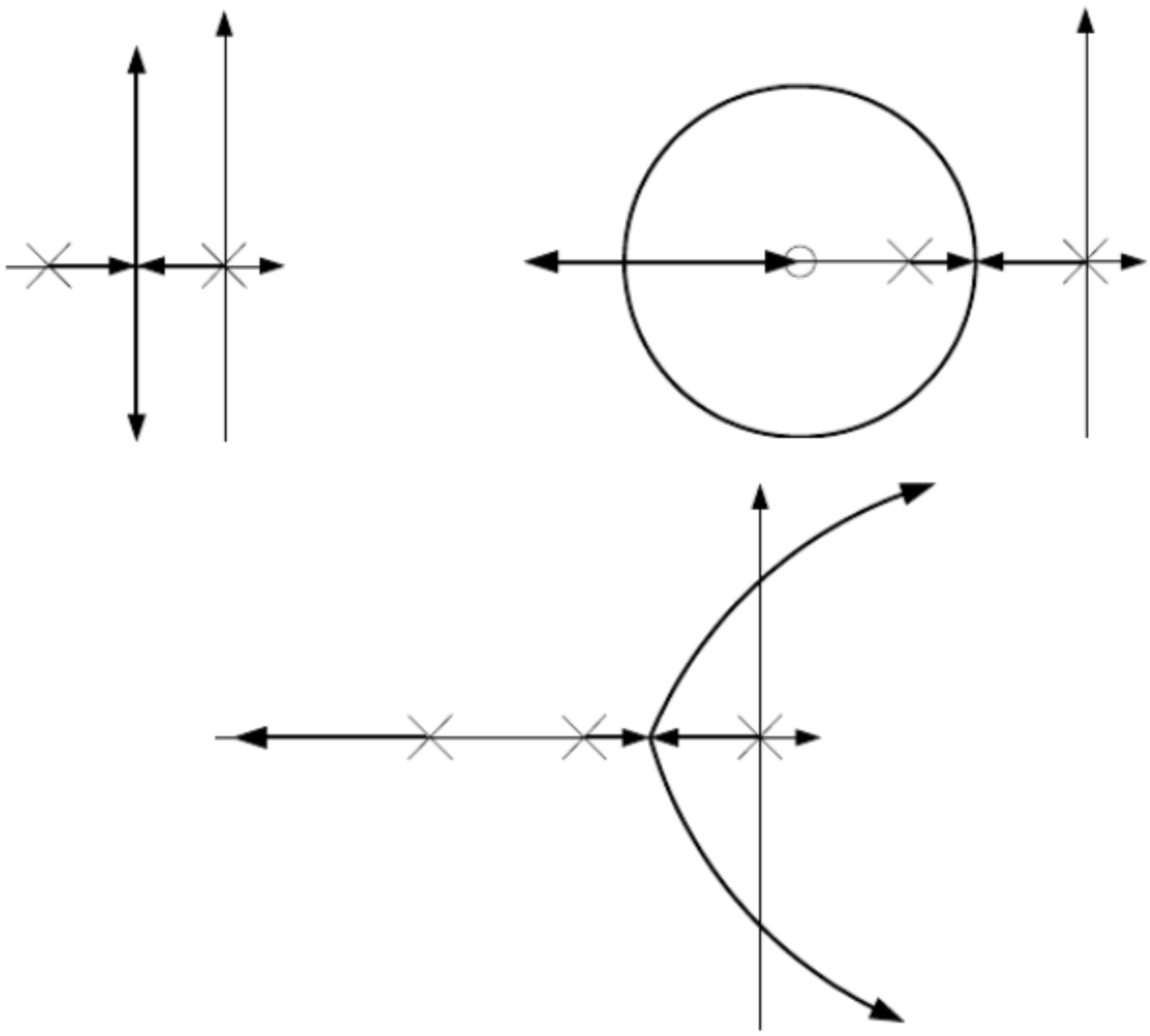
1. 如果二阶控制系统阻尼比小，会影响时域指标中的超调量和频域指标中的相位裕量。根据超调量和相位裕量的计算公式可以得出结论。

2. 斜率为 $-20\,dB/$ 十倍频程。可以保证相位裕量在 30° B 60° 之间。

3.



4.



二、

系统的微分方程为 : $m\ddot{y}(t)+\mu\dot{y}(t)+ky(t)=F(t)$

系统的传递函数为 : $G(s)=\dfrac{Y(s)}{F(s)}=\dfrac{1}{ms^2+\mu s+k}=\dfrac{\frac{1}{m}}{s^2+\frac{\mu}{m}s+\frac{k}{m}}$

因此 $G(Y(s)=\dfrac{1}{ms^2+\mu s+k}F(s)=\dfrac{\frac{1}{m}}{s^2+\frac{\mu}{m}s+\frac{k}{m}}\times\dfrac{10}{s}$

利用拉普拉斯终值定理及图上的稳态值可得:

$$y(\infty)=\lim_{s\to 0}sY(s)=\lim_{s\to 0}s\dfrac{\frac{1}{m}}{s^2+\frac{\mu}{m}s+\frac{k}{m}}\times\dfrac{10}{s}=0.06$$

所以 10/ k=0.06 ，从而求得 $k=066.7$ N/m

由系统得响应曲线可知， 系统得超调量为 $\sigma=0.02/0.06=33.3\%$，由二阶系统性能指标的计算公式 $\sigma=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}\times100\%=33.3\%$ 解得 ： $\xi=0.33$

由响应曲线得，峰值时间为 3s，所以由: $t_p=\dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}=3$ 解得: $\omega_n=1.109rad/s$

由系统特征方程式: $s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2=s^2+\dfrac{\mu}{m}s+\dfrac{k}{m}=0$

可知: $2\xi\omega_n=\dfrac{\mu}{m}$ $\dfrac{k}{m}=\omega_n^2$

所以 ： $m=\dfrac{k}{\omega_n^2}=\dfrac{166.7}{1.109^2}=135.5kg$

$\mu=2\xi\omega_n m=2\times0.33\times1.109\times135.5=99.2N/(m/s)$

三、1）系统的开环传递函数为: $G(s)=\dfrac{8}{(s+4)(s+2)}=\dfrac{8}{s^2+6s+8}$

系统的闭环传递函数为 $G(s)=\dfrac{8}{s^2+6s+16}$

比较二阶系统的标准形式 $G(s)=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$，可得: $\omega_n=4$；而 $2\xi\omega_n=6$，所以

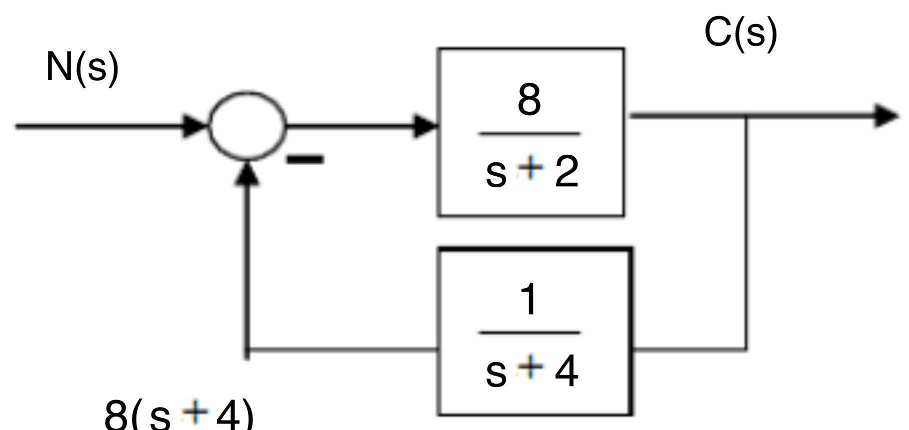
$\xi=0.75$ $t_p=\dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}}=1.795s$ $\sigma=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}\times100\%=2.8\%$

$t_s=\dfrac{3}{\xi\omega_n}=1s(\Delta=5\%)$

2）由题意知，该系统是个线性系统，满足叠加原理，故可以分别求取，$r(t)=2\cdot1(t)$ 和 $n(t)=4\sin3t$ 分别作用于系统时的稳态误差 ess_1 和 ess_2，系统的稳态误差就等于 $ess=ess_1+ess_2$。

A) $r(t)=2\cdot 1(t)$ 单独作用时，由系统的开环传递函数知，系统的开环增益 $K_k=1$，所以系统对 $r(t)=2\cdot 1(t)$ 的稳态误差 ess_1 为：$ess_1=2\times\frac{1}{1+K_k}=1$

B) $n(t)=4\sin 3t$ 单独作用时，系统的方块图为



系统的闭环传递函数为：$W_e(s)=\frac{8(s+4)}{s^2+6s+16}$

频率特性为：$\left|W_e(j\omega)\right|=\left|\frac{8(j\omega+4)}{6\omega j+16-\omega^2}\right|$

当系统作用为 $n(t)=4\sin 3t$ 时，$\omega=3$，所以

$$\left|W_e(3j)\right|=\left|\frac{8(j3+4)}{6\times 3j+16-3^2}\right|=\left|\frac{32+24j}{7+18j}\right|=2.07$$

$$\angle W_e(3j)=\arctan\frac{24}{32}-\arctan\frac{18}{7}=-0.5564$$

系统的输出为：
$$\begin{aligned}ess_2&=4\times\left|W_e(3j)\right|\sin(3t+\angle W_e(3j))\\&=8.56\sin(3t-0.5564)\end{aligned}$$

所以系统的误差为：$ess=1+8.56\sin(3t-0.5564)$

四、解：1）开环传递函数 $G(s)H(s)=\frac{K(s+1)}{s^2(0.2s+1)}$，$\omega_c=\sqrt{1\times 5}=2.236$

$$20\lg K-0=-20(\lg 1-\lg\omega_c)$$
$$K=\omega_c=2.236$$

因为是“ II ”型系统所以对阶跃信号、斜坡信号的稳态误差为 0；而加速度误差系数为：

$K_a=2.236$，因而对单位加速度信号稳态误差为 $ess=\frac{1}{K_a}=\frac{1}{K}=\frac{1}{2.236}=0.447$

（2）
$$\begin{aligned}\gamma&=180^\circ+\varphi(\omega_c)\\&=180^\circ-180^\circ+\arctan\omega_c-\arctan(0.2\omega_c)=41.81^\circ\end{aligned}$$

所以 $\sigma\%=0.16+0.4(\frac{1}{\sin\gamma}-1)=36\%$

$$t_s=\frac{\pi}{\omega_c}\left[2+1.5\left(\frac{1}{\sin\gamma}-1\right)+2.5\left(\frac{1}{\sin\gamma}-1\right)^2\right]=4.74s$$

五、解：(1) 系统为 Ⅰ 型系统，$K=\frac{A}{ess}=\frac{2\times360^\circ/60}{2^\circ}=6(1/s)$，所以 $G(s)=\frac{6}{s(\frac{s}{2}+1)(\frac{s}{5}+1)}$

可以求得：$\omega_c=3.5$；$\gamma=180^\circ+\angle G(j\omega_c)=180^\circ-90^\circ-\arctan\frac{3.5}{2}-\arctan\frac{3.5}{5}=-4.9^\circ$

令 $\mathrm{Im}\left[G(j\omega)\right]=0$，得：

$$\omega_g=\sqrt{10}$$

$$h=\frac{1}{\left|G(j\omega_g)\right|}=0.86$$

2）加入串联校正后，开环传递函数为

$$G(s)=\frac{6}{s(\frac{s}{2}+1)(\frac{s}{5}+1)}\frac{\frac{2}{2.5}+1}{\frac{s}{12.5}+1}$$ ，求得 $\omega_c=4.8$

$$\gamma=180^\circ+\angle G(j\omega_c)=180^\circ+\arctan\frac{4.8}{2.5}-90^\circ-\arctan\frac{4.8}{2}-\arctan\frac{4.8}{5}-\arctan\frac{4.8}{12.5}=20.2^\circ$$

一、填空

1 自动控制和人工控制的基本原理是相同的，它们都是建立在 ________、________的基础上。

2 建立合理的 ________对于系统的分析研究是至关重的， 这种建立通常采用的方法是 ________和________。

3 ________ 也称为方块图或结构图，具有 ________和________和特点，方块图的化简应按照________进行，变换前、后输出的总的传输关系式应________。

4 系统时域响应的稳态分解是 ________________，衡量其好坏的稳态性能指标 ____________。系统响应的暂态分量是指 ______________的这一段过程。

5________是一种代数判据，它不但能提供线性定常系统稳定性的信息，而且 ____________________________。

6 绘制根轨迹依据的是 ______________，遵循的是 ______________画的是 ________________。

7 线性定常系统在正弦信号作用下，系统的稳态输出将是与输入信号同________的正弦信号，仅仅是 ________和________不同，这种情况下，系统稳态输出的复变量与输入的复变量之比，称为 ________ 特性。

8 所谓自动控制，就是在 ________________，利用________使被控对象中某一物理量或数个物理量准确地按照预定的要求规律变化。

9 在________情况下，线性定常系统的输出量的拉普拉斯变换与输入量的拉普拉斯变换之比，定义为 ____________________即 ________。

10 构成方框图的基本符号有 ________、________、________和________。

11 系统稳定的充分必要条件是 ______________________________。

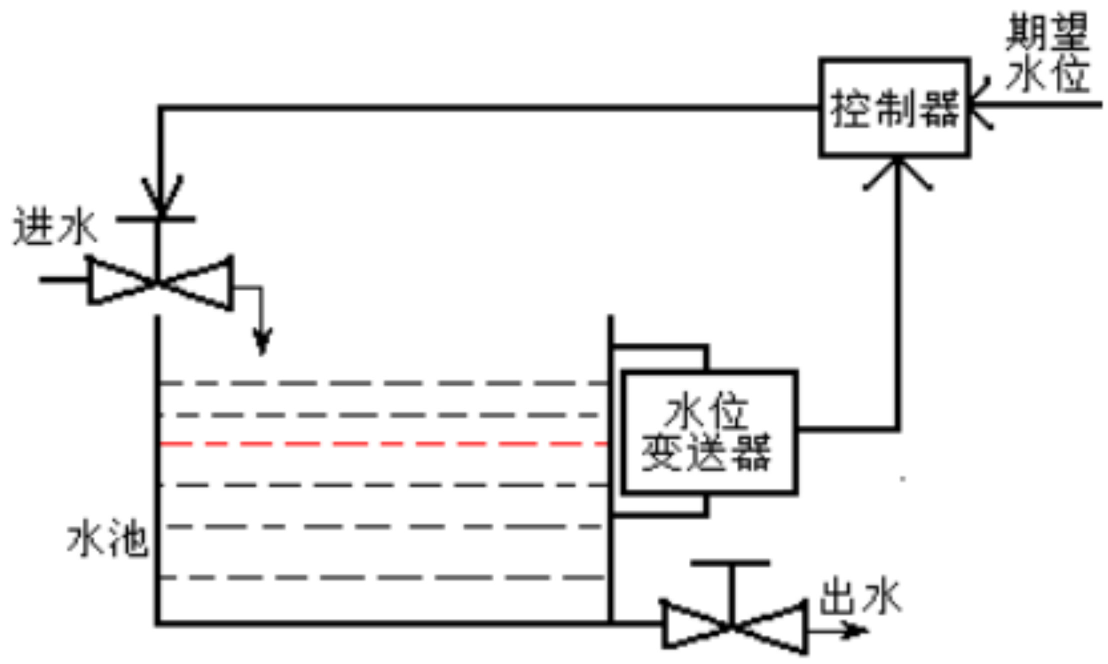
12 如果闭环极点离虚轴很远，则它对应的暂态分量衰减得 ________，离虚轴 ________的闭环极点对系统瞬态过程性能影响最大，这种极点称为 ________。

13 根轨迹一定是起始于 ____________，终止于 ____________它一定是对称于 __________的。

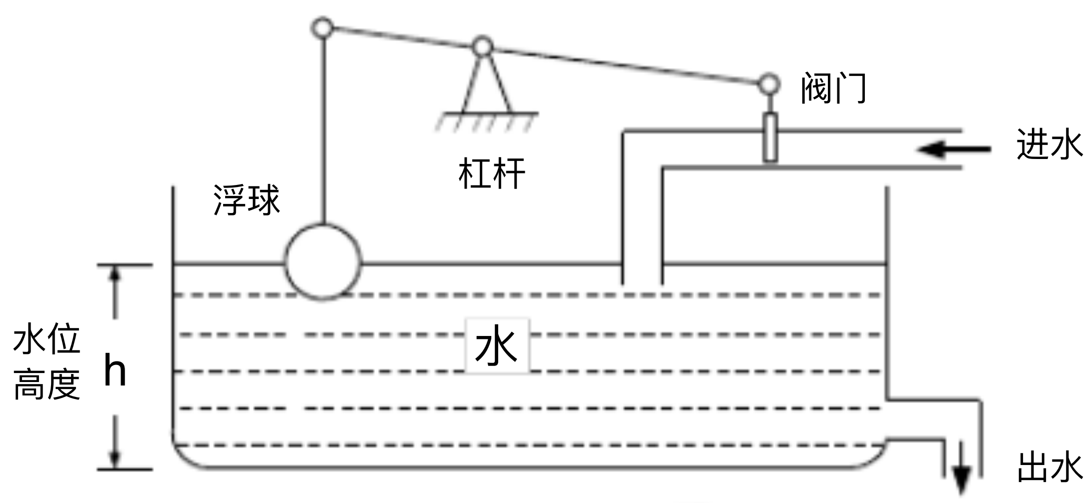
14 系统的开环对数幅频特性 L（ω）等于 ____________________，系统的开环相频特性 L（ω）____________________。

二、计算

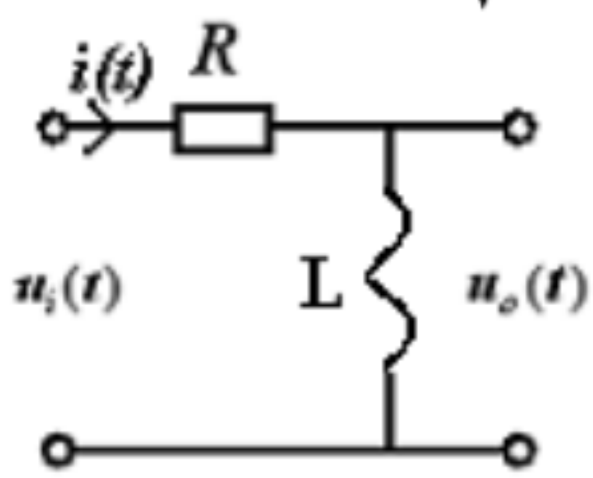
1、如图为水池水位的自动控制系统。⑴试说明它的工作原理。 ⑵画出系统工作原理的方框图。



2、如图为一个简单的水位控制系统。⑴试说明它的工作原理。⑵指出系统的被控对象、被控量、给定量（输入信号）。⑶画出系统工作原理的方框图。

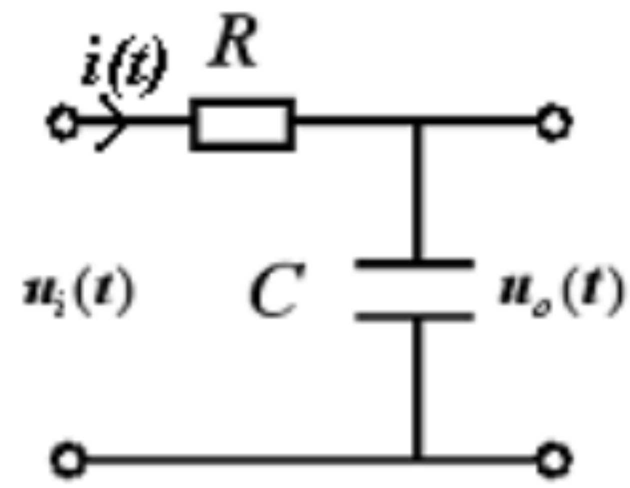


3、如图所示，为 RL 无源网络。(1) 试建立该网络的微分方程； (2) 写出该网络的闭环传递函数；（3）画出该网络的信号流图。

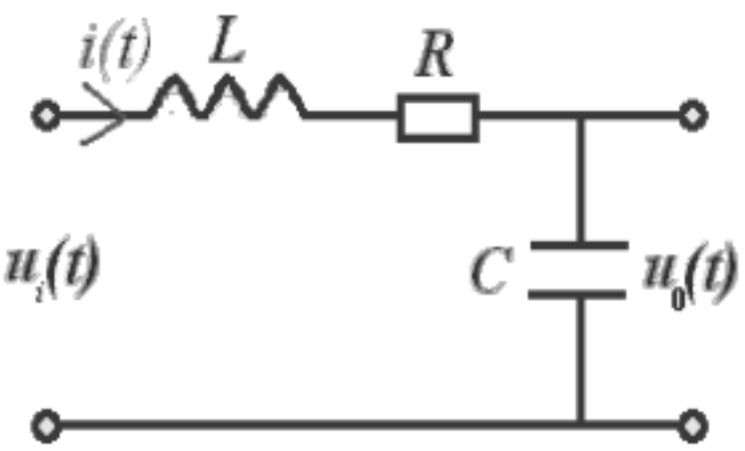


4、如图所示，为 RC 无源网络。(1) 试建立该网络的微分方程； (2) 写出该网络的闭环传递

函数。（3）画出系统的信号流图。



5、列写 RLC串联电路的微分方程， 并求其传递函数 。



6、已知单位反馈控制系统的开环传递函数为 $G_0(S)$。

$$G_0(s) = \frac{100}{s(s+2)(s+10)}$$

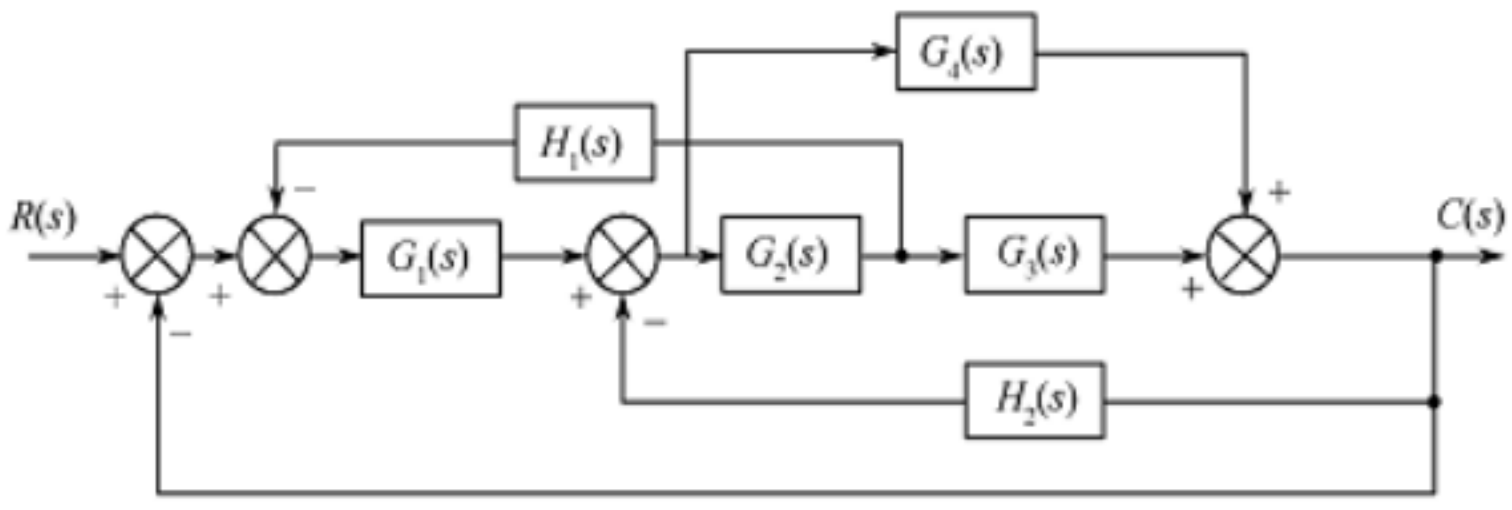
（1）试判断系统的稳定性。（2）当输入信号为 **r(t)=t** 时，试求系统的稳态误差。

7、已知单位反馈控制系统的开环传递函数为 $G_0(S)$ 。

$$G_0(s) = \frac{200}{s(s+2)(s+10)}$$

（1）试判断系统的稳定性。（2）当输入信号为 **r(t)=t** 时，试求系统的稳态误差。

8、化简下图所示系统方框图，并求系统传递函数

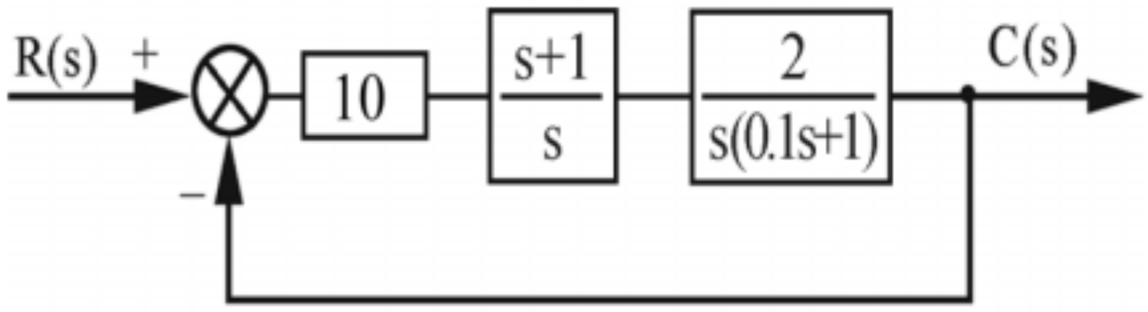


(a)

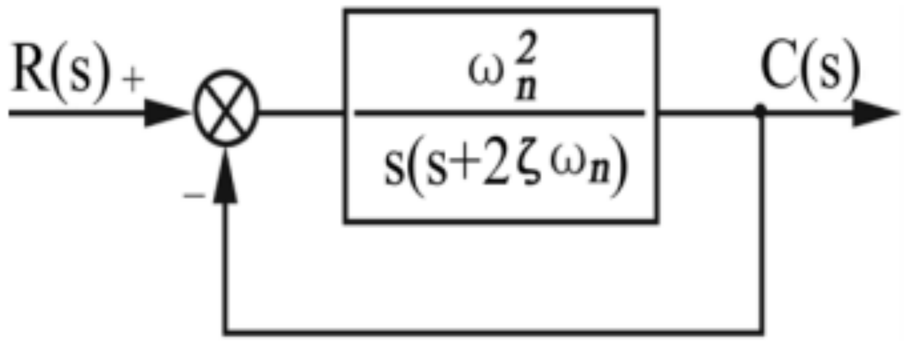
9、已知系统特征方程 $s^5+3s^4+2s^3+s^2+5s+6=0$ 试用劳斯判据判别该系统的稳定性 。

10、检验特征方程式 $2s^3+10s^2+13s+4=0$ 是否有根在 s右半平面， 以及有几个根在 s=-1 垂线的右边。

11、系统结构如图所示，当输入信号 r(t)=2t+t 2 时，求系统的稳态误差 ess。



12、设系统如图所示，其中 ζ =0.5，ω n=4(rad/s)。当输入信号为单位阶跃函数时，求系统的动态性能指标。



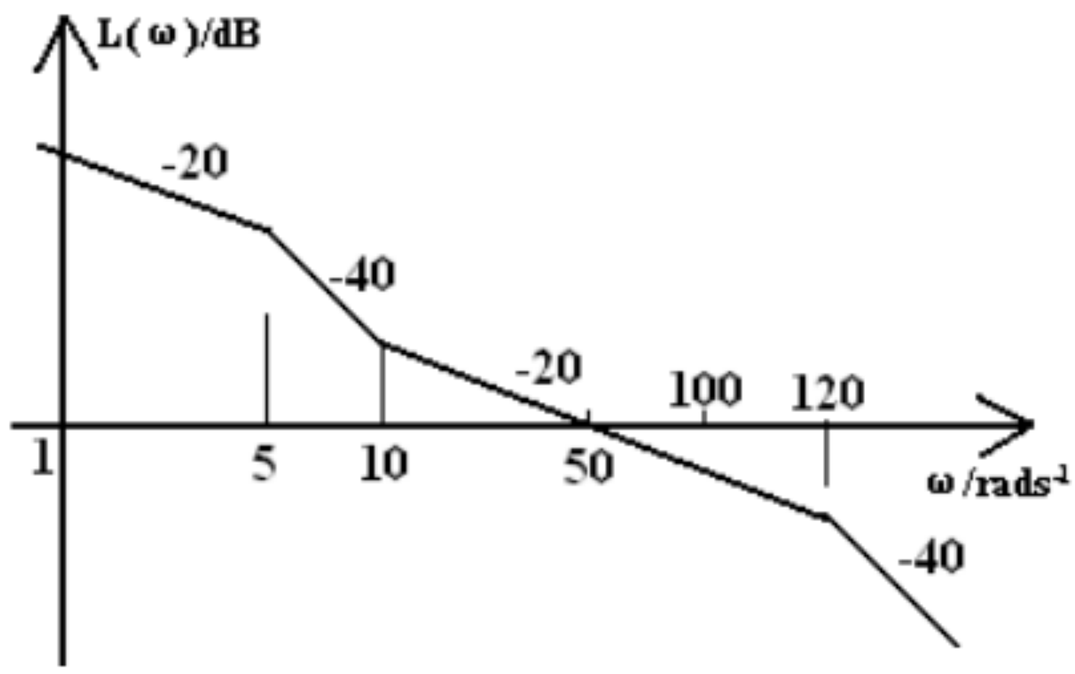
13、已知单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s)=\dfrac{20}{s(s+1)(s+10)}$ 求系统的幅值裕度和相角裕度。

14、已知系统的传递函数为 $G(s)=\dfrac{K}{Ts+1}$ ，求其频率特性。)

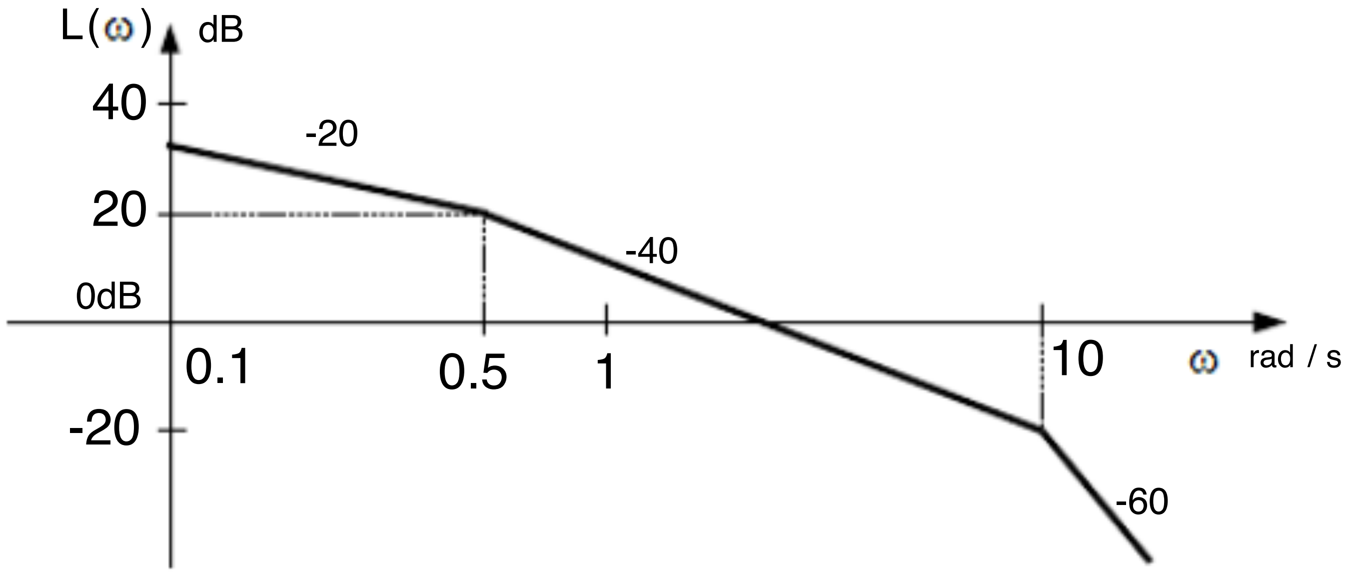
15、绘制对数幅频特性曲线 $G(s)=\dfrac{8(s+0.1)}{s(s^2+s+1)(s^2+4s+25)}$

16、绘制对数幅频特性曲线 $G(s)=\dfrac{10(s+0.2)}{s^2(s+0.1)}$

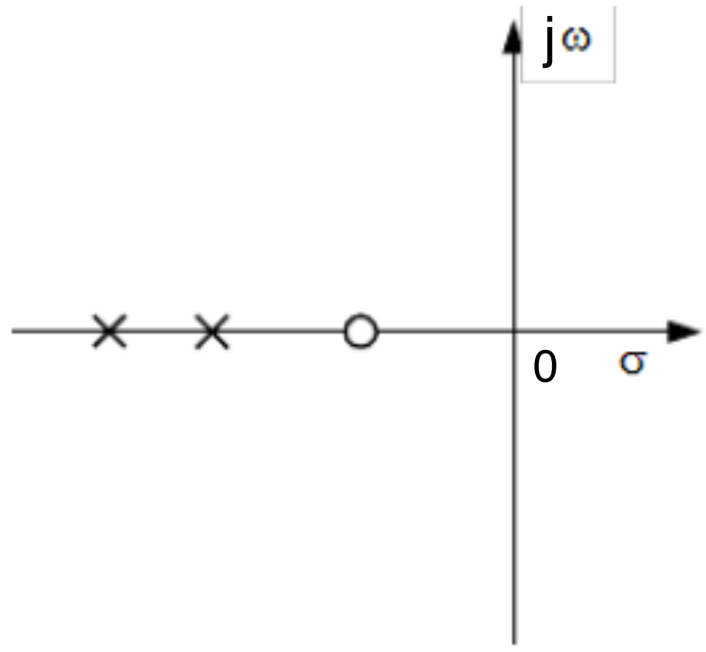
17、已知单位反馈系统的开环传递函数 G(s) 无右半平面的零点和极点，且 G(j ω) 的对数幅频特性曲线如图所示。试写出 G(s) 的表达式，并用对数频率稳定判据判断闭环系统的稳定性 。



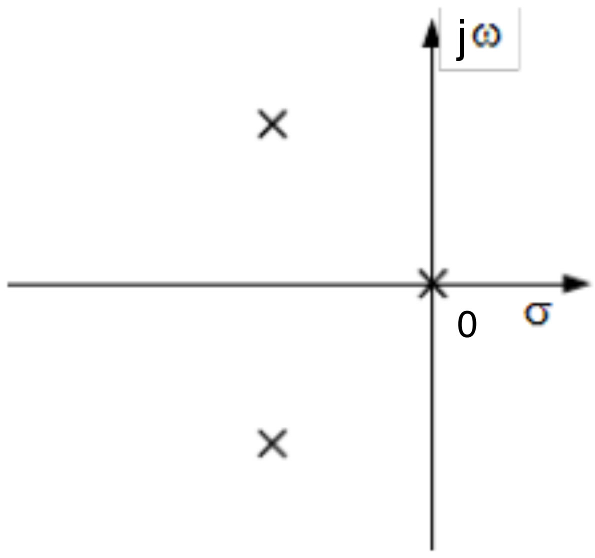
18、已知单位反馈系统的开环传递函数 G(s) 无右半平面的零点和极点，且 G(j ω) 的对数幅频特性曲线如图所示。试写出 G(s) 的表达式，并用对数频率稳定判据判断闭环系统的稳定性。

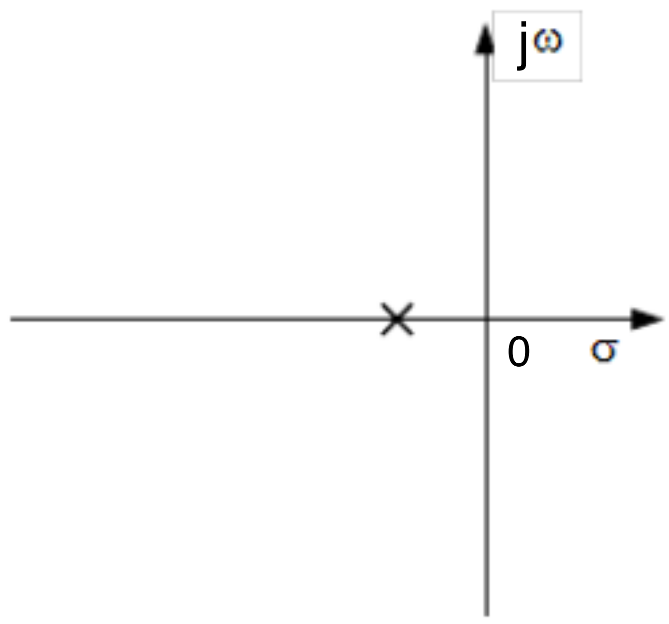


19、已知控制系统的开环零极点分布如图所示，试绘制闭环系统根轨迹。



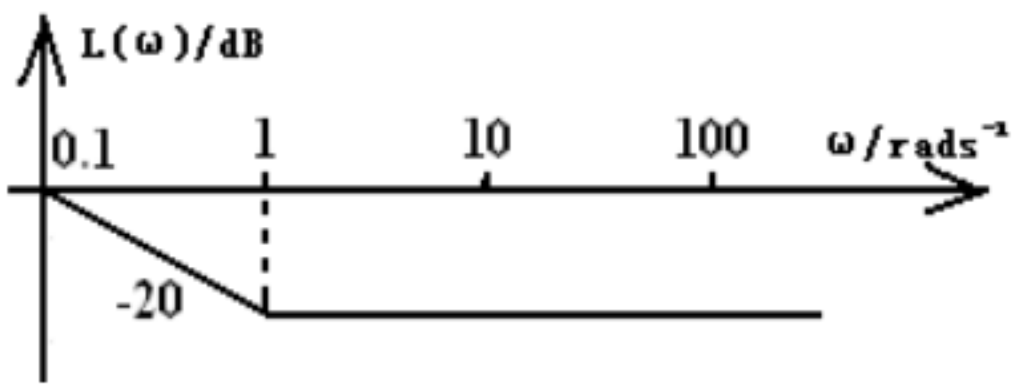
20、已知控制系统的开环零极点分布如图所示，试绘制闭环系统根轨迹。





21、设单位反馈待校系统的开环传递函数 $G_0(s)$如下，图示为串联校正装置的 Bode 图，试确定校正后系统的开环传递函数 G(s)，并分析校正方案对系统性能的影响

$$G_0(s)=\frac{20}{s(0.1s+1)}$$



22、设单位反馈待校系统的开环传递函数 $G_0(s)$如下，图示为串联校正装置的Bode 图，试确定校正后系统的开环传递函数 $G(s)$，并分析校正方案对系统性能的影响。

$$G_0(s)=\frac{20}{s(0.1s+1)}$$