第五章　频率响应法习题答案

A5-1 绘制下列系统的对数幅频特性图和相频特性图，并求增益剪切角频率 ω_c 和相位剪切角频率 ω_g：

增益剪切角频率 ω_c：系统对数幅频特性穿越 $0dB$ 的角频率，即 $|G(j\omega)|=1$，或 $L(\omega)=0dB$ 时的角频率

相位剪切角频率 ω_g：系统相频特性曲线穿越 -180° 的角频率，即 $\varphi(\omega)=-180^\circ$ 时的角频率

(1) $G(s)=\dfrac{1}{s(s+15)}$

手工绘图步骤：

极点：ω_1=0，ω_2=15

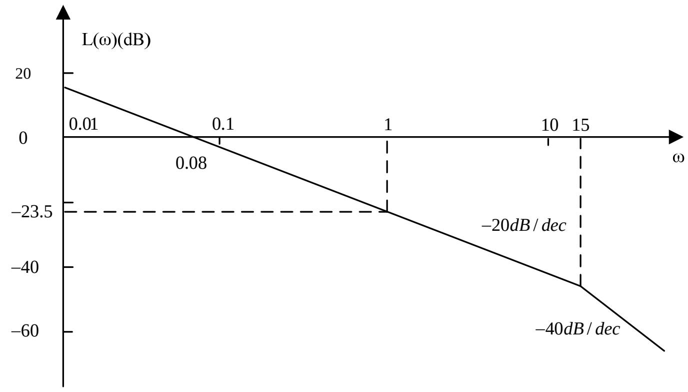
零点：无

$$G(s)=\frac{1}{15}\frac{1}{s(s/15+1)}\quad ,$$

$$20\lg K=20\lg(\frac{1}{15})=-23.5$$

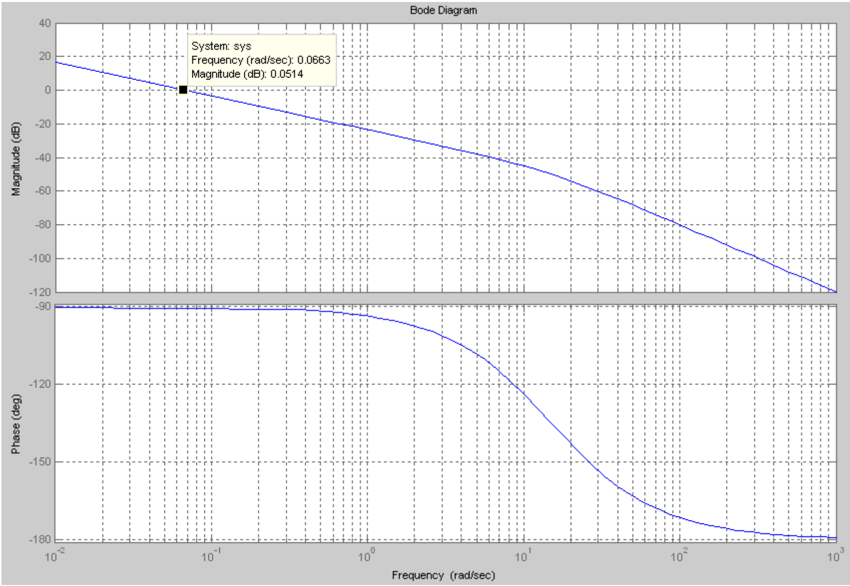
积分因子 ν=1，所以其幅频特性图低频段是一条经过 ω=1，L(1)=-23.5dB，斜率为-20dB/dec 的直线，图像在 ω=15 处折线斜率减少到-40dB/dec，具体如下图：

从图中我们可以得到 ω_c=0.08。



Matlab 画图结果如下：

ω_c=0.0663　　　　　　　　ω_g=无穷大



⑵ $G(s)=\dfrac{20}{s(s+10)(s+20)}$

手工绘图步骤：

极点：$\omega_1=0$，$\omega_2=10$，$\omega_3=20$

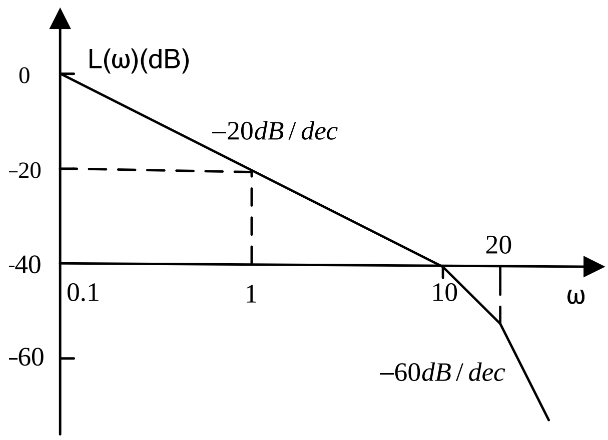
零点：无

$G(s)=\dfrac{20}{s(s+10)(s+20)}=\dfrac{1}{10}\dfrac{1}{s(s/10+1)(s/20+1)}$，

$20\lg K=20\lg(\dfrac{1}{10})=-20$

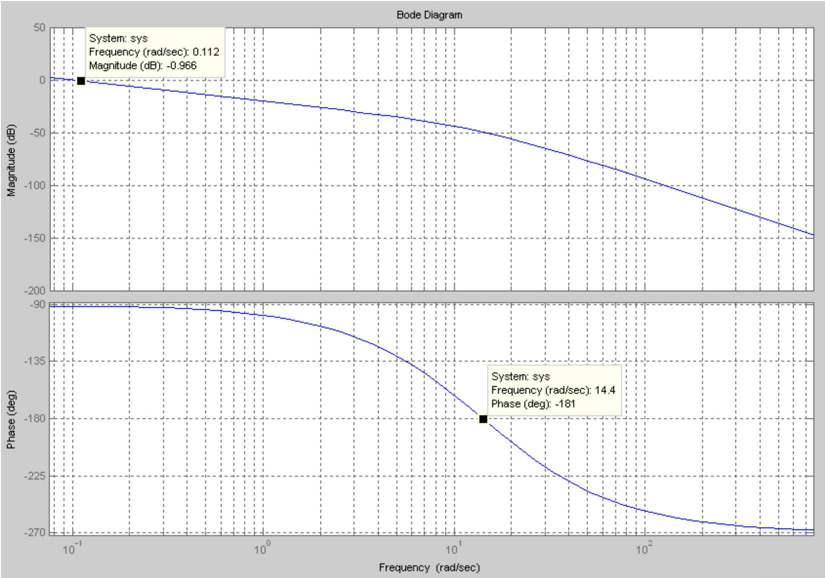
积分因子ν=1，所以其幅频特性图低频段是一条经过ω=1，L(1)=-20dB，斜率为-20dB/dec 的直线，图像在ω=10 处折线斜率减少到-40dB/dec，图像在ω=20 处折线斜率减少到-60dB/dec，具体如下图：从图中我们可以得到ω_c=0.1。

$\omega_c=$ 0.1



Matlab 画图结果如下：

$\omega_g=$ 14.4； $\omega_c=$ 0.112



(3) $G(s)=\dfrac{36(s+2)}{s(s^2+6s+12)}$

手工绘图步骤：

极点： ω_1 =0

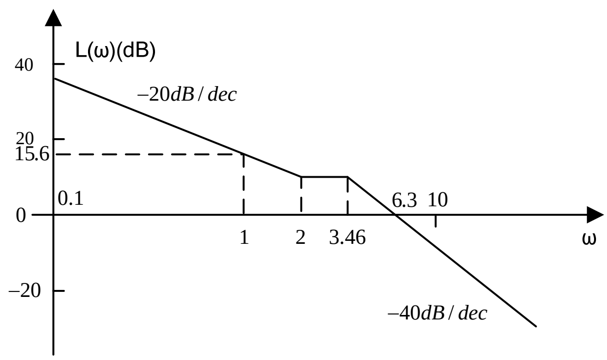
复极点 $\omega_n=\sqrt{12}$ =3.46

零点： ω_1 =2

$$G(s)=\frac{36(s+2)}{s(s^2+6s+12)}=\frac{6(s/2+1)}{s((\frac{s}{\sqrt{12}})^2+s/2+1)}=\frac{6(s/2+1)}{s((\frac{s}{3.46})^2+s/2+1)},$$

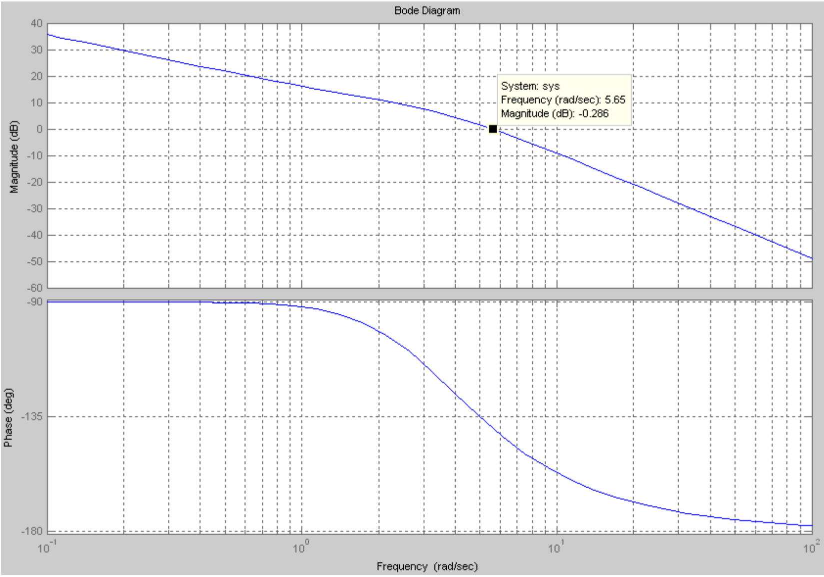
$20\lg K=20\lg(6)=15.6$

积分因子 v =1，所以其幅频特性图低频段是一条经过 ω =1，L(1)=15.6dB，斜率为-20dB/dec 的直线，图像在 ω =2 处折线斜率增加到 0dB/dec，图像在 ω =3.46 处折线斜率减少到-40dB/dec，具体如下图：从图中我们可以得到 ω_c = 6.3。



Matlab 画图结果如下：

ω_g =无穷大 ω_c = 5.65



(4) $G(s)=\dfrac{5}{s(0.01s^2+0.1s+1)}$

手工绘图步骤：

极点： ω_1 =0

复极点： ω_n =10

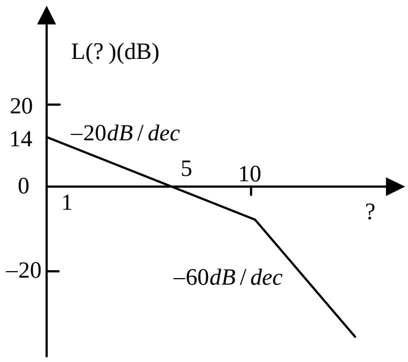
零点：无

$G(s)=\dfrac{5}{s(0.01s^2+0.1s+1)}=\dfrac{5}{s((\frac{s}{10})^2+s/10+1)}$，

$20\lg K=20\lg(5)=14$

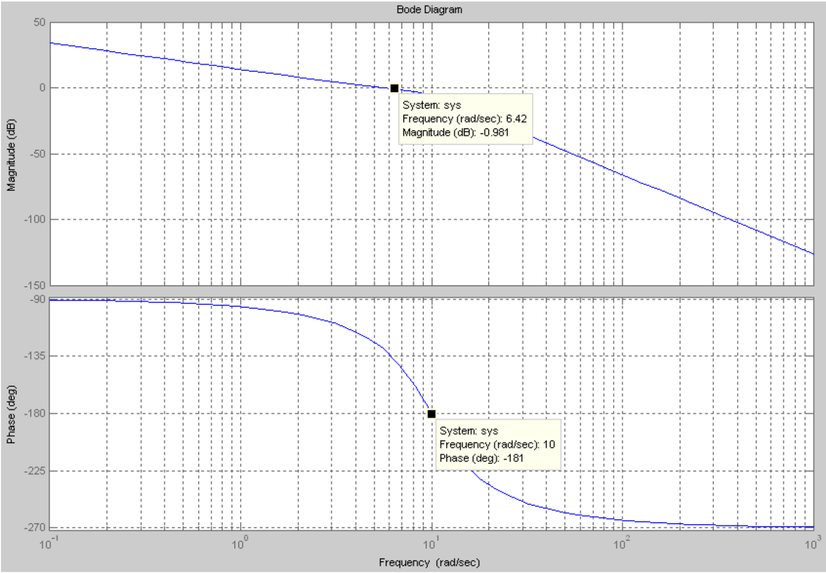
积分因子 v =1，所以其幅频特性图低频段是一条经过 ω =1，L(1)=14dB，斜率为-20dB/dec 的直线，图像在 ω =10 处折线斜率增加到-60dB/dec，具体如下图：

从图中我们可以得到 ω_c = 5。



Matlab 画图结果如下：

ω_g =10　　　　　　　　ω_c = 6.42



(5) $G(s)=\dfrac{40(s-10)}{s(s+10)(s+20)}$

极点：ω_1=0，ω_2=10，ω_3=20

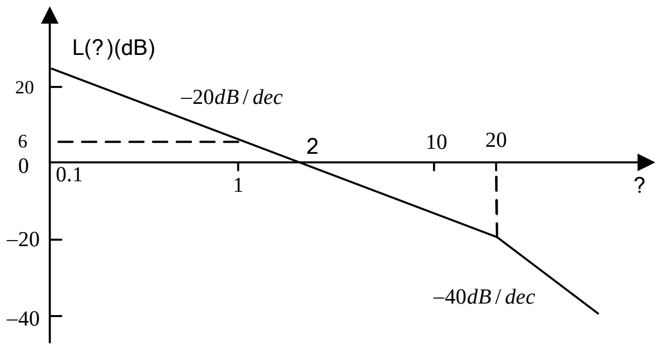
零点：ω_1=10

$$G(s)=\frac{40(s-10)}{s(s+10)(s+20)}=\frac{2(s/10-1)}{s(s/10+1)(s/20+1)}$$

$20\lg K=20\lg(2)=6.0$

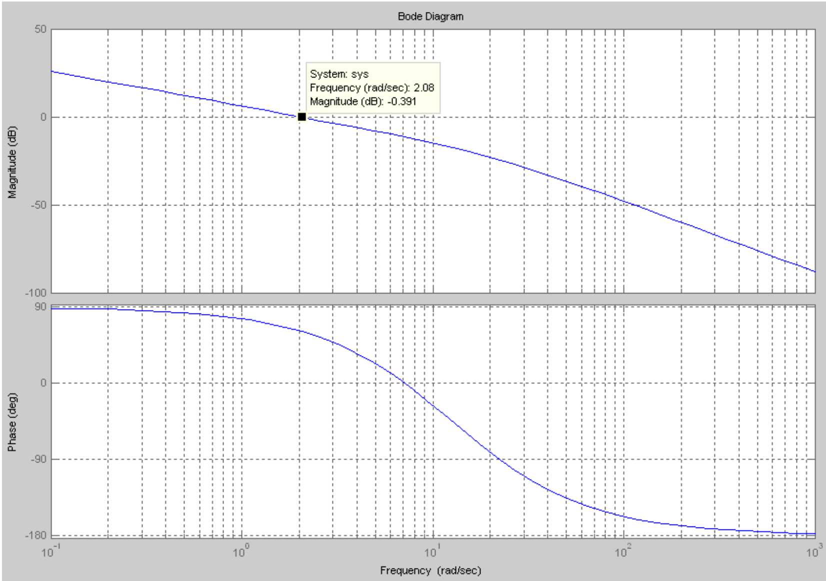
积分因子ν=1，所以其幅频特性图低频段是一条经过ω=1，L(1)=6dB，斜率为-20dB/dec 的直线，图像在ω=20 处折线斜率减少到-40dB/dec，具体如下图：

从图中我们可以得到ω_c= 2



Matlab 画图结果如下：

ω_g=无穷大　　　　　　　　　　ω_c= 2.08



(6) $G(s)=\dfrac{40}{s(s-10)(s+20)}$

极点：ω_1=0，ω_2=10，ω_3=20

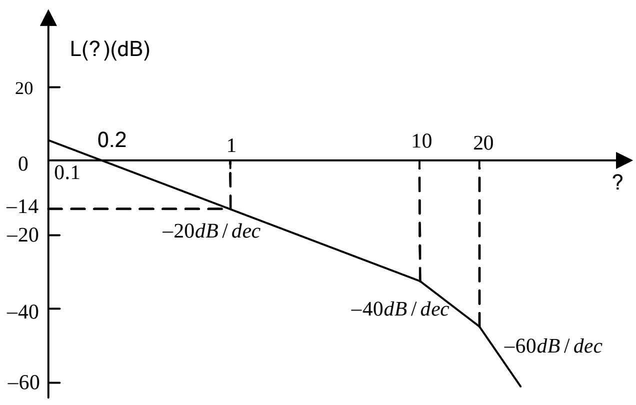
零点：无

$$G(s)=\frac{40}{s(s-10)(s+20)}=\frac{0.2}{s(s/10-1)(s/20+1)}$$

$$20\lg \mathrm{K}=20\lg(0.2)=-14$$

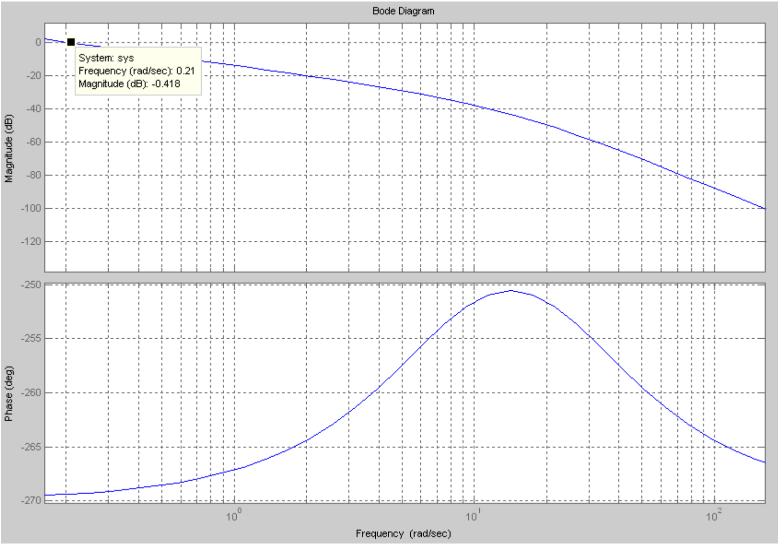
积分因子ν=1，所以其幅频特性图低频段是一条经过ω=1，L(1)=-14dB，斜率为-20dB/dec的直线，图像在ω=10处折线斜率减少到-40dB/dec，图像在ω=20处折线斜率减少到-60dB/dec，具体如下图：

从图中我们可以得到ω_c= 0.2



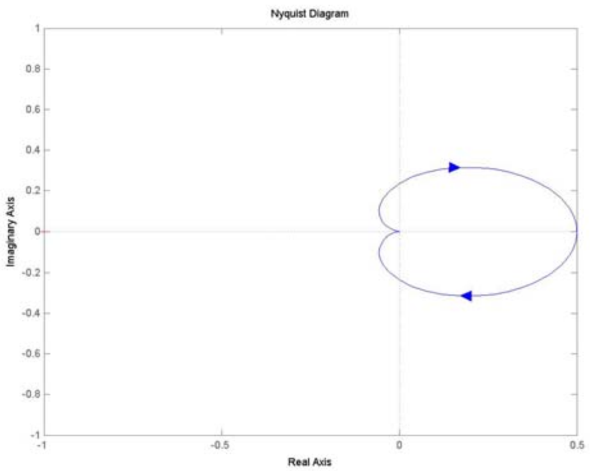
Matlab画图结果如下：

ω_g=不存在　　　　　　　　　　ω_c=0.21

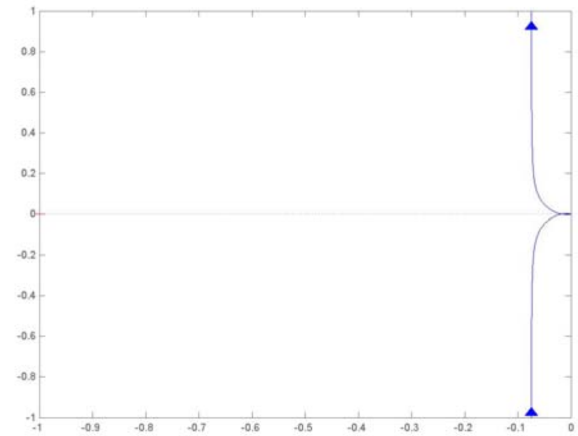


A5-2 绘制下列诸系统的奈氏图：

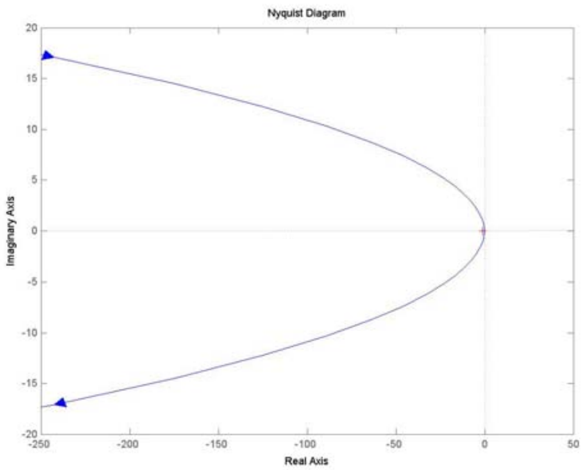
(1) $G(s)=\dfrac{100}{(s+10)(s+20)}$



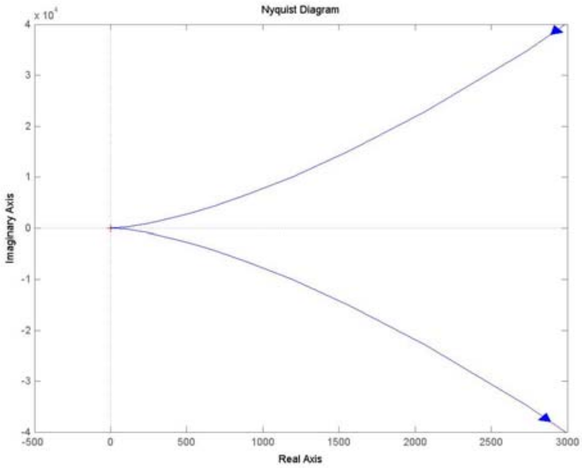
(2) $G(s)=\dfrac{100}{s(s+10)(s+20)}$



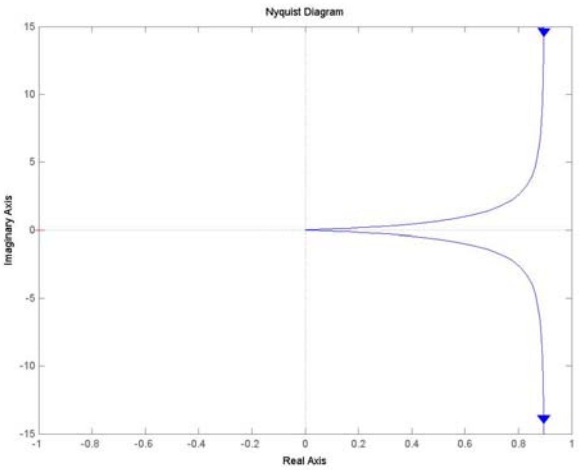
(3) $G(s) = \dfrac{10}{s^2(s+1)(s+10)}$



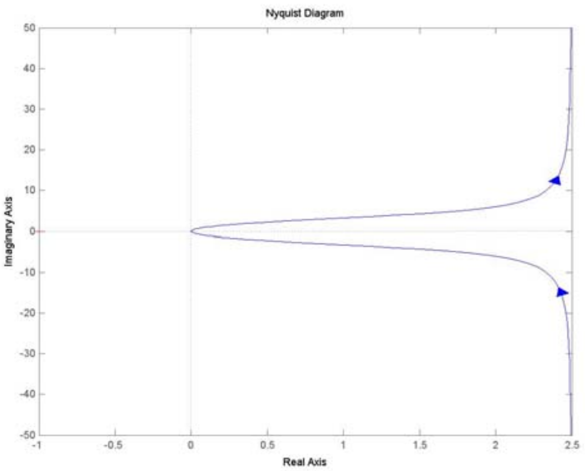
(4) $G(s) = \dfrac{10}{s^3(s+1)(s+2)}$



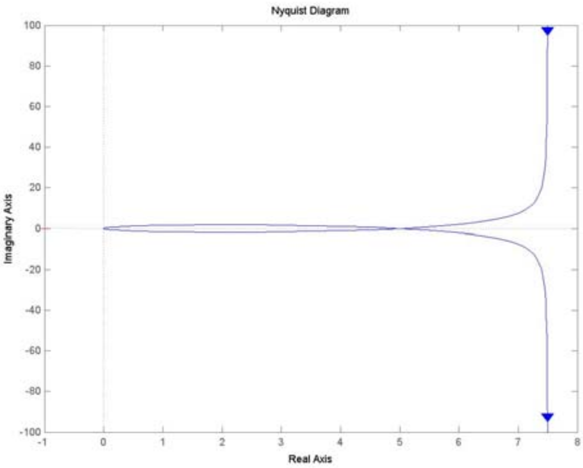
(5) $G(s)=\dfrac{10}{s(s+1)(s-10)}$



(6) $G(s)=\dfrac{10(s+1)}{s(s+2)}$



(7) $G(s)=\dfrac{10(s-1)}{s(s+2)}$



A5-3 下列系统中，那些系统是最小相位系统，那些不是，为什么？

答：

最小相位系统概念：其幅频特性对应的负相移为最小的稳定系统称为最小相位系统，即在右半 s 开平面没有零点，也没有延迟因子(环节)的稳定系统。反之，为非最小相位系统。

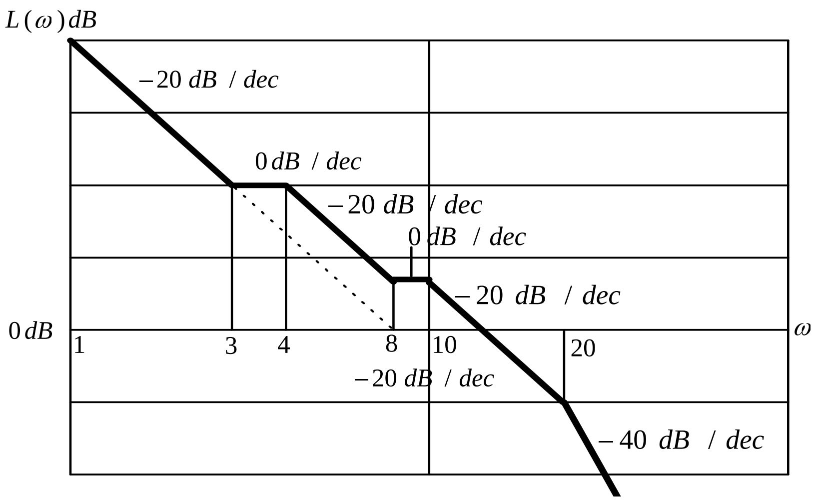
最小相位系统 ：（1），（2）

非最小相位系统：（3），（4），（5），（6）

A5-4 某单位反馈系统的开环传递函数为：

$$G(s)=\frac{K(s+8)(as+1)}{s(0.1s+1)(0.25s+1)(bs+1)}$$

其伯德图如图 A5-1 所示。试依据图确定 K， a 和 b 的数值。



由图可知：1/a=3，a=1/3; 1/b=20， b=1/20;

将原式化为：$G(s)=\dfrac{8K(\frac{1}{8}s+1)(as+1)}{s(0.1s+1)(0.25s+1)(bs+1)}$

201g8K=40,8k=100,K=12.5

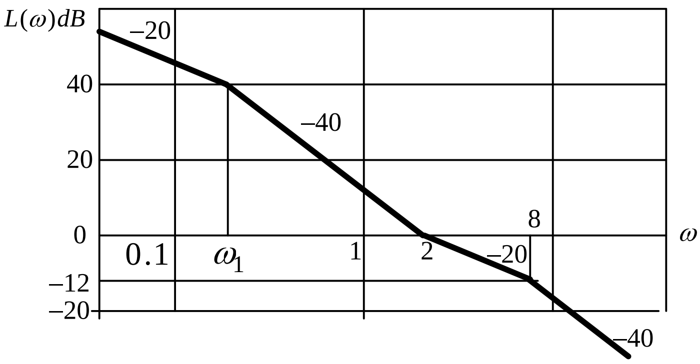
A5－5 已知图 A5-2 诸最小相位系统的伯德图，求：

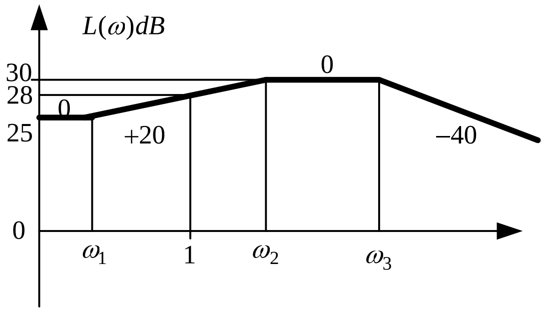
⑴ 系统的传递函数；

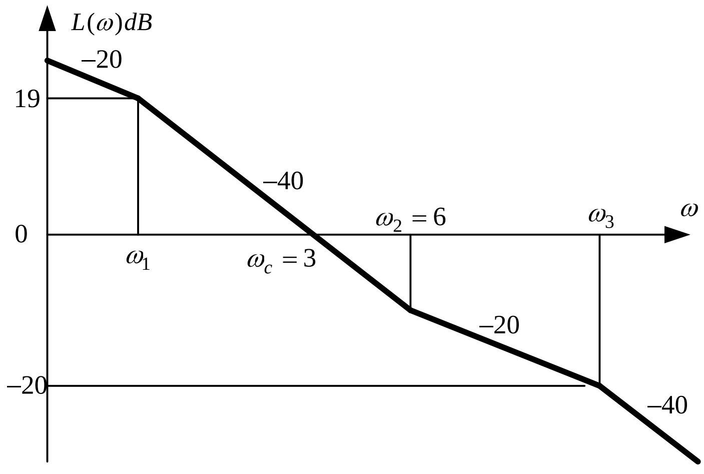
⑵ 系统的开环增益；

⑶ 图中未标明数值的角频率；

⑷ 系统的误差系数 K_p， K_v， K_a。







解：图（1）：G(s)= $\dfrac{K(\frac{1}{2}s+1)}{s(\frac{1}{\omega_1}s+1)(0.125s+1)}$

$$\frac{L(2)-L(w_1)}{\lg 2-\lg w_1}$$=-40， w_1=0.2

20lgK/ w_1 =40, K=20

G(s)= $\dfrac{20(\frac{1}{2}s+1)}{s(5s+1)(0.125s+1)}=\dfrac{16(s+2)}{s(s+0.2)(s+8)}$

开环增益为 20， K_p =无穷大， K_v =20， K_a = 0

图（2）：G(s)= $\dfrac{K(\frac{1}{w_1}s+1)}{(\frac{1}{w_2}s+1)(\frac{1}{w_3}s+1)^2}$

20lgK=25, K=17.78

$$\frac{L(1)-L(w_1)}{\lg 1-\lg w_1}=20$$, w_1=0.7

$$\frac{L(w_2)-L(1)}{\lg w_2-\lg 1}=20$$, w_2=1.26

K_p =17.78， K_v =0， K_a =0

图（3）：G(s)= $\dfrac{K(\frac{1}{w_2}+1)}{s(\frac{1}{w_1}s+1)(\frac{1}{w_3}s+1)}$

20lgK=19， K=8.9

$$\frac{L(3)-L(w_1)}{\lg 3-\lg w_1}=-40$$ ， w_1=1

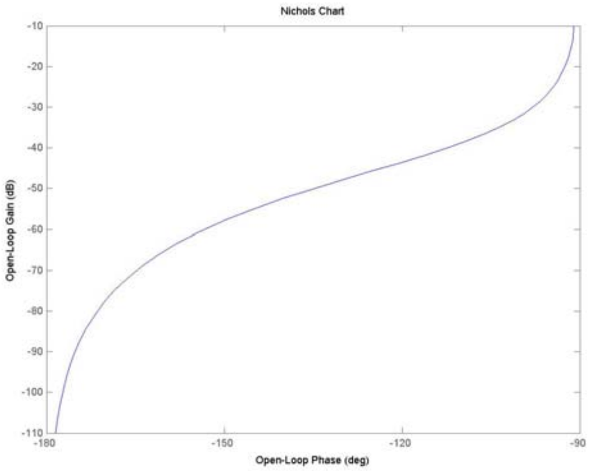
$$\frac{L(w_2)-L(w_c)}{\lg w_2-\lg w_c}=-40$$ ， $L(w_2)$=-40lg2

$$\frac{L(w_3)-L(w_2)}{\lg w_3-\lg w_2}=-20$$ ， w_3=15

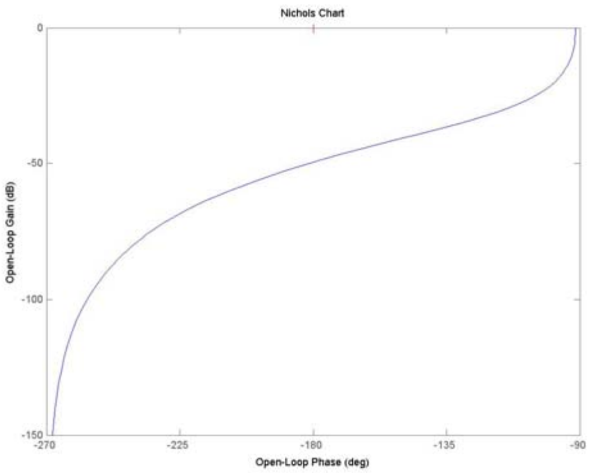
K_p =无穷大， K_v =8.9， K_a = 0

A5-6 绘制题 A5-1 各系统的尼氏图。

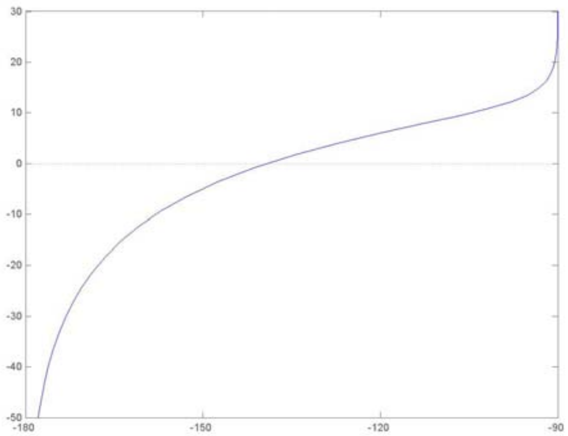
(1)


Nichols Chart
Open-Loop Gain (dB)
Open-Loop Phase (deg)
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-110
-180
-150
-120
-90

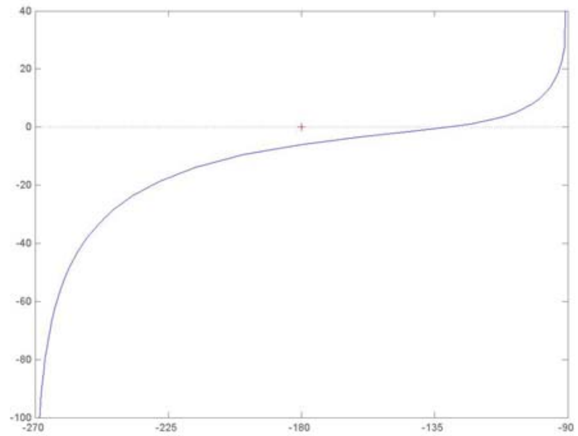
(2)


Nichols Chart
Open-Loop Gain (dB)
Open-Loop Phase (deg)
0
-50
-100
-150
-270
-225
-180
-135
-90

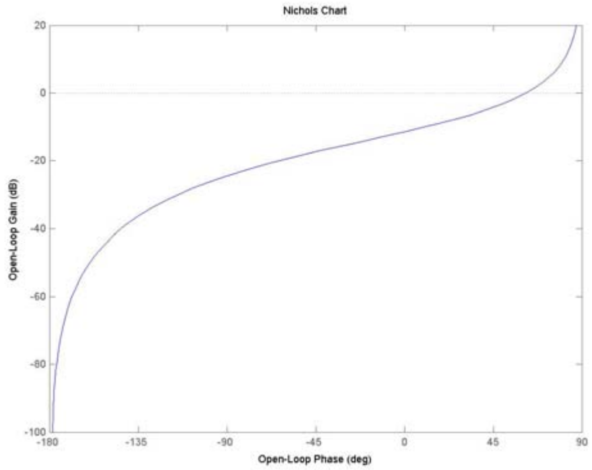
(3)


30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-180
-150
-120
-90

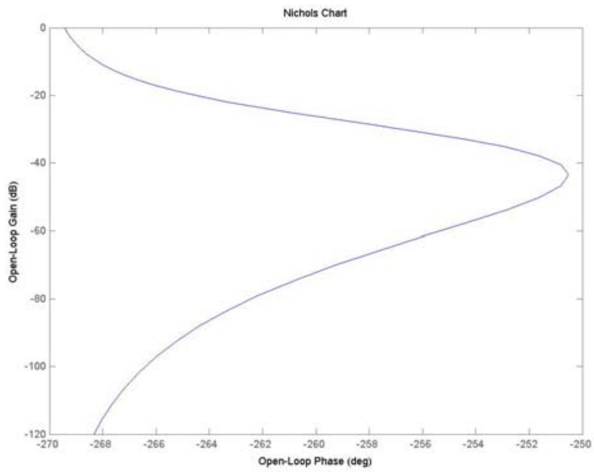
(4)



(5)



(6)



A5-7 用伯德图法判别题 A5-1 各系统的稳定性，并求相位裕量 φ_{pm} 和增益裕量 GM 。

伯德图的奈氏判据是：系统稳定的充分必要条件是，在剪切角频率ω_c处的$\varphi(\omega_c) > -180^\circ$。反之，为不稳定系统。

（1）稳定　φ_{pm} =　89.7454　　GM =无穷大

（2）稳定　φ_{pm} =89.1406　　GM =300

（3）稳定　φ_{pm} =　40.7192　　GM =无穷大

（4）稳定　φ_{pm} =50.2941　　GM =2

（5）不稳定　φ_{pm} = −118.1910　　GM =无穷大

（6）不稳定　φ_{pm} =-89.4273　　GM =无穷大

A5-8 用奈氏判据判别题 A5-2 各系统的稳定性，并求相位裕量φ_{pm}和增益裕量Gm。

闭环系统稳定的充分必要条件：$G(j\omega)H(j\omega)$曲线（ω自$-\infty \to +\infty \to -\infty$）包围（$-1, j0$）点的圈数为：

$$N = -P$$

最小相位系统的$P = 0$，所以闭环系统稳定的充分必要条件是：$G(j\omega)H(j\omega)$曲线不包围（$-1, j0$）点，即

$$N = 0$$

如果$G(j\omega)H(j\omega)$曲线穿越（$-1, j0$）点，系统就是临界稳定的。

（1）　稳定　φ_{pm} =Inf　　Gm =Inf

（2）　稳定　φ_{pm} =85.7126　　Gm =60

（3）　不稳定　φ_{pm} =　-45.8867　　Gm =-94.8

（4）　不稳定　φ_{pm} = -92.9　　Gm =-109.4

（5）　不稳定　φ_{pm} =-123.6258　　Gm =Inf

（6）　稳定　φ_{pm} =　95.6804　　Gm =Inf

（7）　不稳定　φ_{pm} = -107.2739　　Gm =Inf

A5-9 用尼氏图判别题 A5-1 各系统的稳定性，并求相位裕量φ_{pm}和增益裕量GM

（1）　稳定　φ_{pm} =89.7454　　Gm =Inf

（2） 稳定 φ_{pm}=89.1406 Gm=300

（3） 稳定 φ_{pm}= 40.7192 Gm= Inf

（4） 稳定 φ_{pm}= 50.2941 Gm=2

（5） 不稳定 φ_{pm}=-118.1910 Gm=Inf

（6） 不稳定 φ_{pm}=-89.4273 Gm=Inf

A5-10 单位反馈系统的开环传递函数为：

$$G(s)=\frac{K_r}{s(s+10)}$$

若要求闭环系统的超调量 $M_p \le 5\%$，求：

(1) 系统的开环增益；

(2) 闭环系统的谐振峰值 $M_{p\omega}$；

(3) 闭环系统的谐振角频率 ω_r；

(4) 闭环系统的 ω_b；

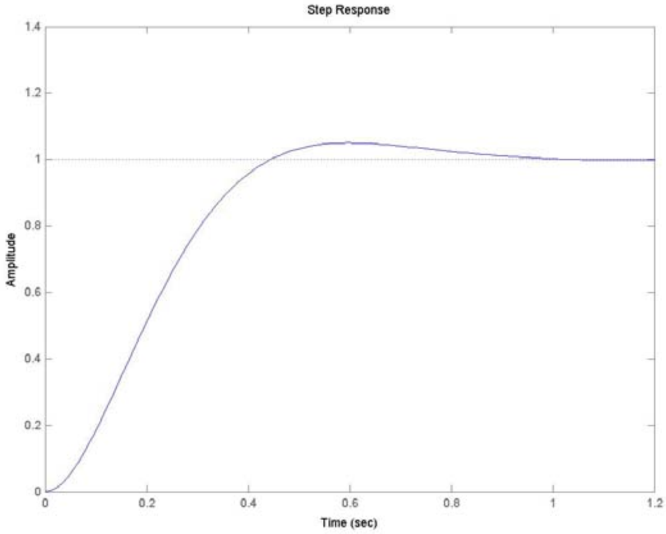
(5) 闭环系统的单位节阶跃响应。

解：C(s)= $\dfrac{G(s)}{1+G(s)H(s)}=\dfrac{K_r}{s^2+10s+K_r}$

$$M_p=e^{-\pi\varepsilon/\sqrt{1-\varepsilon^2}}<5\%$$

得 ε>0.69 ，2 w_b ε=10， w_b=7.25， $K_r=w_b^2$=52.5

$Mp=\dfrac{1}{2\varepsilon\sqrt{1-\varepsilon^2}}$=1， $\omega_r=w_b\sqrt{1-2\varepsilon^2}$=1.585， 带宽 $\omega_b=7.43$



B 深入题

B5-1 题 A2－7 的汽车悬浮系统（图 B5-1），假定，输入 $x_i(t)=\sin\omega t$，若 $m=1kg$， $k=18N/m$， $b=4N\bullet s/m$，求系统的频率响应。绘制系统的伯德图。并判断系统的稳定性。

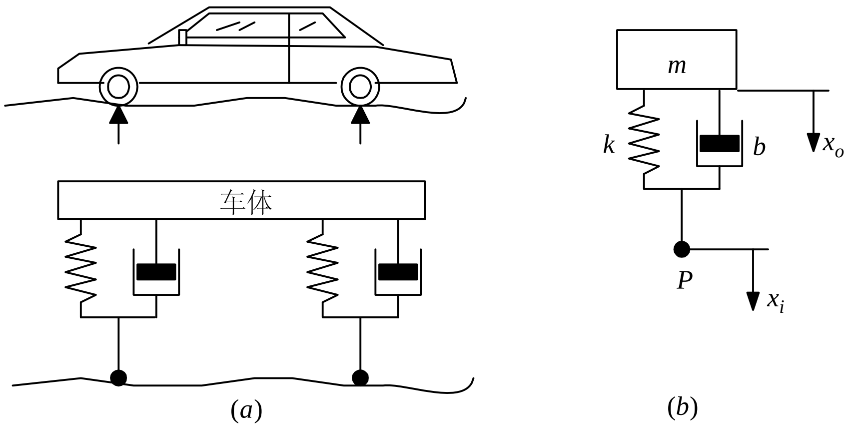


图 B5-1 汽车悬浮系统模型

解：$F(t)=m\dfrac{d^2x_i}{dt^2}+b\dfrac{dx_i}{dt}+Kx_i$

拉氏变换，得：F(s)=ms^2X(s)+bsX(s)+kX(s)

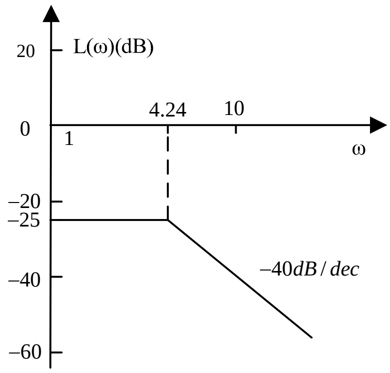
$$G(s)=\frac{1}{ms^2+bs+k}=\frac{1}{s^2+4s+18}=\frac{1}{18}\frac{1}{(\frac{s}{4.24})^2+\frac{2s}{9}+1}$$

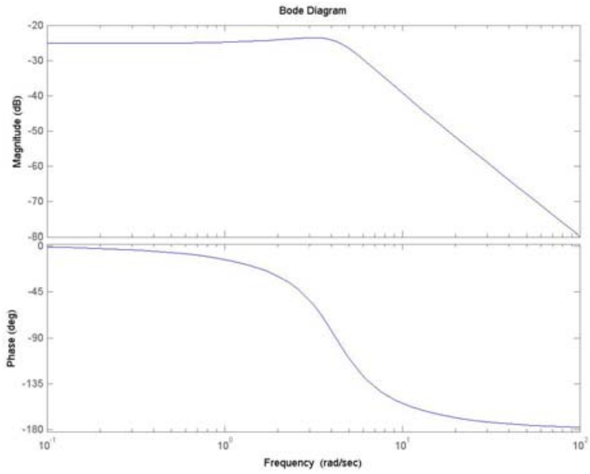
闭环复极点：$s_{1,2}=-2\pm 3.87j$

闭环零点：无

$20\lg K=20\lg(\frac{1}{18})=-25$

积分因子ν=0，所以其幅频特性图低频段是一条经过ω=1，L(1)=-25dB，斜率为0dB/dec的直线，图像在ω=4.24处折线斜率减少到-40dB/dec，具体如下图：



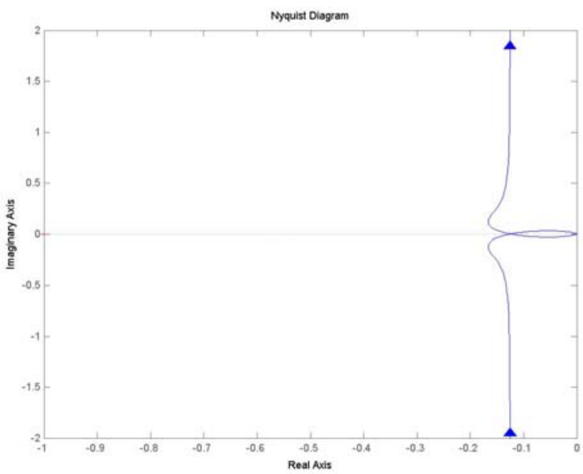


由图可知系统稳定。

B5-2 提示：通过描点法得到bode图，取-20db的整数倍斜率线的交点得到各个拐点的频率和k的大小，按照A中的根据bode图求传递函数的方法可求得本题的传递函数。

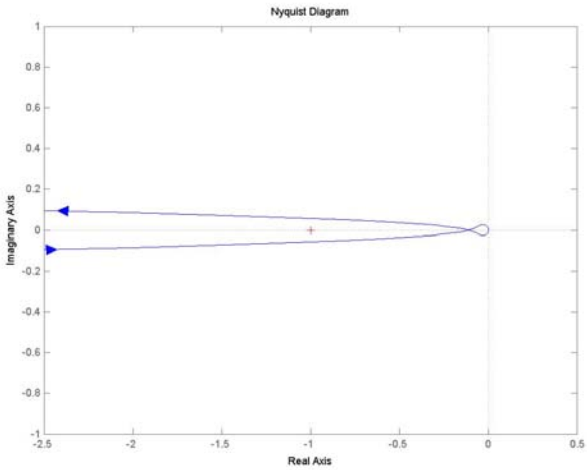
B5-3 绘制下列系统开环传递函数的奈氏曲线，并用奈氏曲线求使闭环系统稳定的K值范围：

(1) $G(s)=\dfrac{K}{s(s^2+2s+4)}$



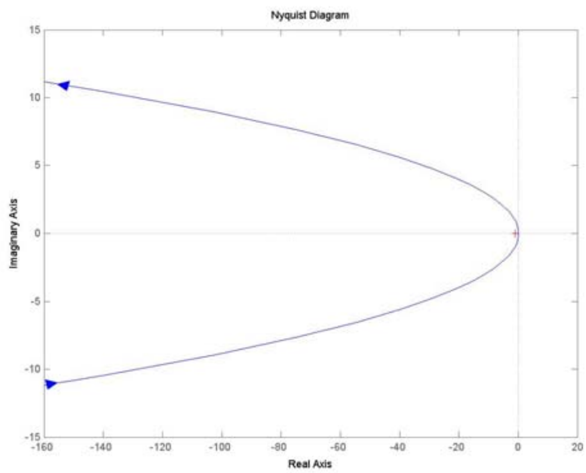
当虚部为 0 时，实/部为-k/8, 当-k/8>-1 即 k<8 时系统闭环稳定。

(2) $G(s)=\dfrac{K(s+1)}{s^2(s^2+2s+4)(s+4)}$



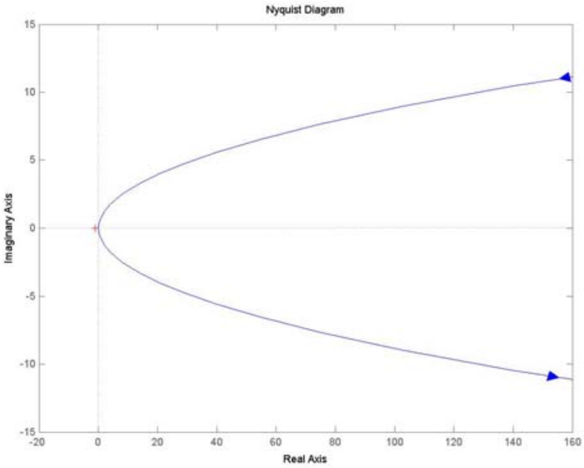
曲线与横轴交点为-0.1116K，当-0.1116>-1 即 K<8.96 时，系统稳定

(3) $G(s)=\dfrac{K(s+1)(s+2)}{s^2(s+4)}$



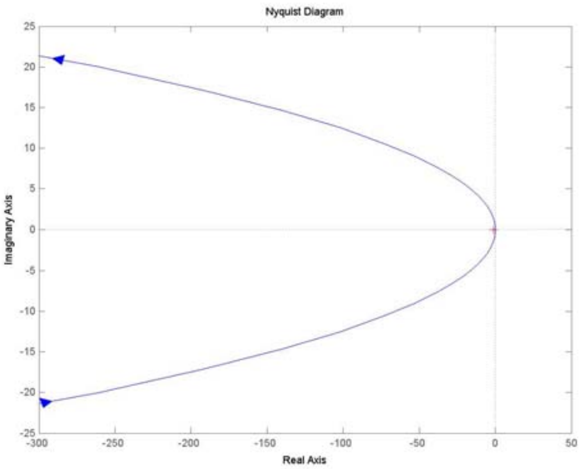
N_{-1}=0, P_{-1}=0,K 取任何值都稳定

(4) $G(s)=\dfrac{K(s+1)(s-2)}{s^2(s+4)(-s+1)}$



N_{-1}=1, P_{-1}=1,K 取任何值都不稳定

(5) $G(s)=\dfrac{K(s+1)(s-2)}{s^2(s-4)(-s+1)}$



N_{-1}=0, P_{-1}=2，K 取任何值系统都不稳定

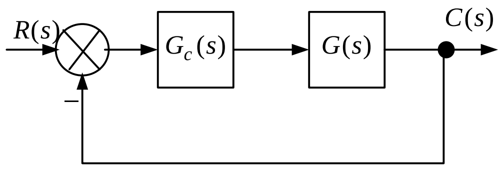
B5-4 设控制系统如图 B5-2(a)所示，$G(s)$和$G_c(s)$都是最小相位系统。若已知$G(s)$和$G_c(s)G(s)$的对数幅频特性（如图 B5－2(b)）。试求：(?此题有错误，按照-20dB/dec,频率由 1 到 3，应该下降 9.54dB)

(1) $G_c(s)$的传递函数；

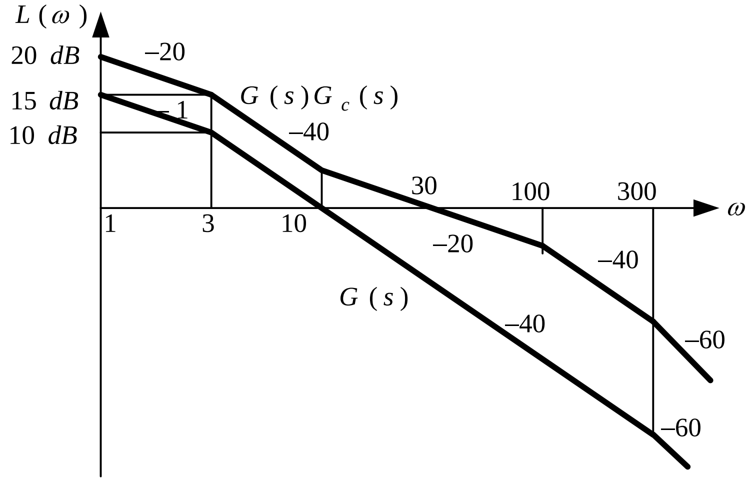
(2) $G(s)$和$G_c(s)G(s)$的稳态误差系数K_p，K_v，K_a；

(3) $G(s)$和$G_c(s)G(s)$的相位裕量；

(4) 比较串入$G_c(s)$前后闭环系统的超调量。



(a)



(b)

图 B5-2 题 B5-4 系统的方块图和伯德图

G（s）：

$L_d(\omega)=20\lg K$ =15，K=$\sqrt{10}$

$$G(S)=\frac{\sqrt{10}}{s(\frac{1}{3}s+1)(\frac{1}{300}s+3)}$$

K_p =无穷大， $K_v=\sqrt{10}$， K_a =0，Pm= 71.5014

$$G_c(s)G(s)=\frac{10^{\frac{3}{4}}(0.1s+1)}{s(\frac{1}{3}s+1)(0.01s+1)(\frac{1}{300}s+1)}$$

K_p =无穷大， $K_v=10^{\frac{3}{4}}$， K_a =0，Pm=79.1344

$$G_c(s)=\frac{G_c(s)G(s)}{G(s)}=\frac{10^{\frac{1}{4}}(0.1s+1)}{(0.01s+1)}$$

串入 $G_c(s)$ 前后闭环系统的超调量减小

C 实际题

C5-1

K=10，m=10，由于谐振未知，所以，b 未知

C5-2

解：电动机传递函数：

$$G_0(s)=\frac{\omega(s)}{u_d(s)}=\frac{k_m}{L_dJs^2+(R_dJ+L_db)s+(R_db+k_ek_m)}=\frac{0.84}{0.0396s^2+0.987s+1.073}$$

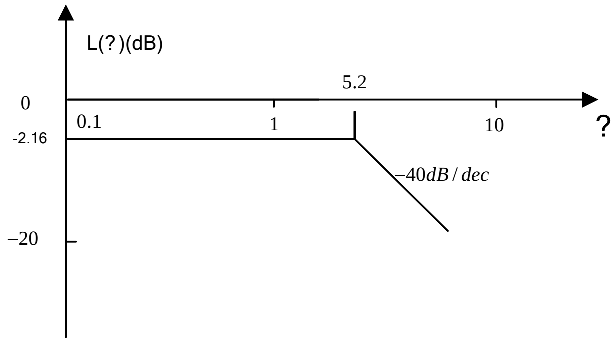
前向传递函数： $G(s)=k_pk_sG_0(s)=\dfrac{42}{0.0396s^2+0.987s+1.073}$

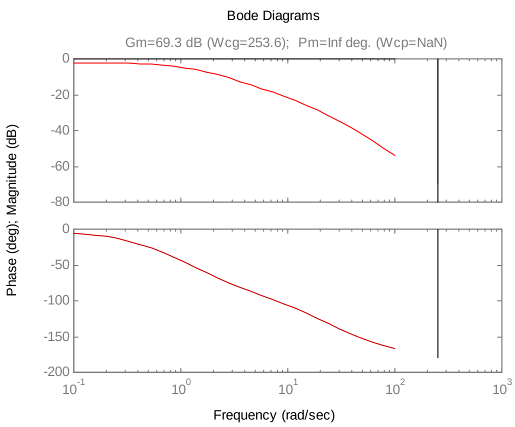
反馈传递函数： $H(s)=k_fk_{fs}=0.02$

所以，开环传递函数： $G(s)H(s)=\dfrac{0.84}{0.0396s^2+0.987s+1.073}=\dfrac{0.78}{0.0369s^2+0.92s+1}$

闭环传递函数： $M(s)=\dfrac{G(s)}{1+G(s)H(s)}=\dfrac{42}{0.0396s^2+0.987s+1.913}$

（1） 伯德图





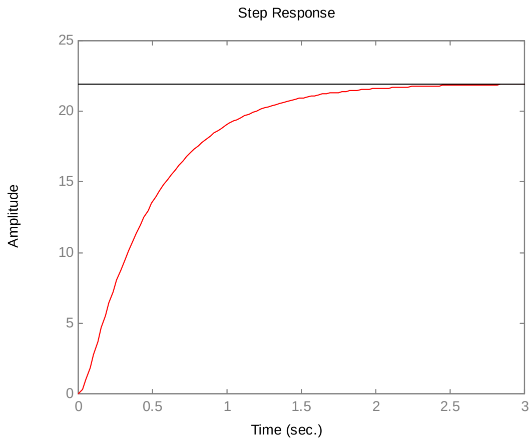
（2） 系统稳定

（3） 相位裕度： φ_{pm} =Inf； 增益裕度： Gm =69.3

（4） $\varepsilon=1.79$， $\omega_n=6.95$，无谐振峰值 与 谐振频率

（5） 主导极点：-2.1，-22.8

（6） 无超调， 单位阶跃响应为：



C5-3 图 C5-3 位置随动系统有如下的参数：

收发信器：$\frac{u(s)}{\theta(s)}=A_s=30v/rad$；放大器 $\frac{u_a(s)}{e(s)}=A=18$；$e(s)=u_1(s)-u_2(s)$；

执行电机：$\frac{\omega(s)}{u_a(s)}=\frac{0.135}{(0.025s+1)(0.2s+1)}$；减速器：$\frac{\theta_o(s)}{\omega(s)}=\frac{1}{40s}$；$\theta(s)=\theta_i(s)-\theta_o(s)$；

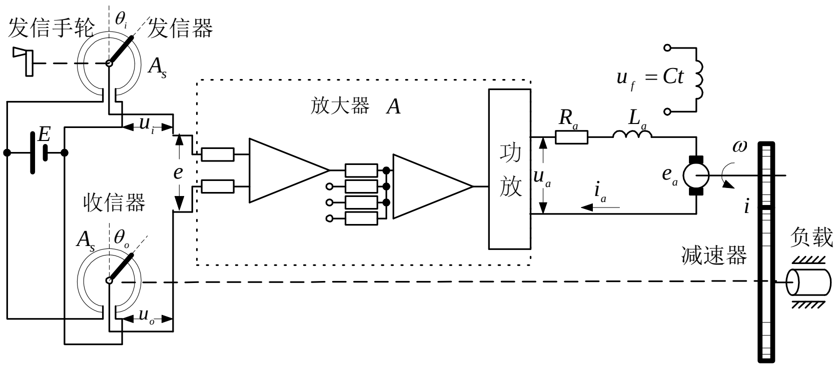


图 C5-3 位置随动系统原理图

(1) 求系统的开环传递函数 $G(s)=\frac{\theta_o(s)}{\theta(s)}$；

解：$\theta_0(s)=A_s\theta(s)\times A\times\frac{0.135AA_s\theta(s)}{(0.025s+1)(0.2s+1)}\times\frac{1}{40s}$

$$\frac{\theta_0(s)}{\theta(s)}=\frac{1.8225}{s(0.025s+1)(0.2s+1)}$$

(2) 重复 C5-2 题的(1)—(7)的计算。

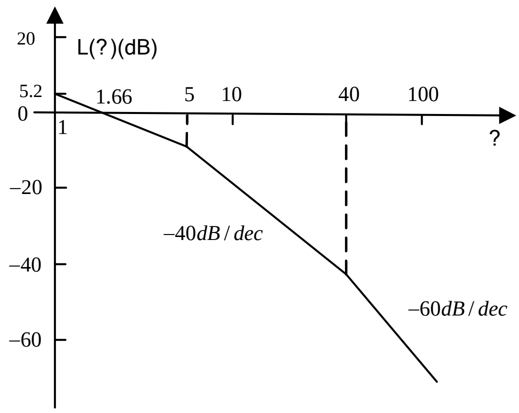
Bode 图：

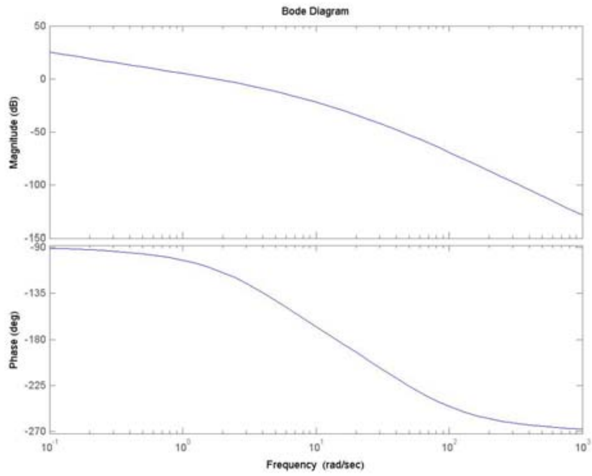
极点： $\omega_1=40,\omega_2=5,\omega_3=0$

零点： 无

$20\lg K=20\lg 1.8225=5.2$

积分因子 ν=1，所以其幅频特性图低频段是一条经过 ω=1，L(1)=5.2dB，斜率为-20dB/dec 的直线，图像在 ω=5 处折线斜率减少到-40dB/dec，图像在 ω=40 处折线斜率减少到-60dB/dec 具体如下图：





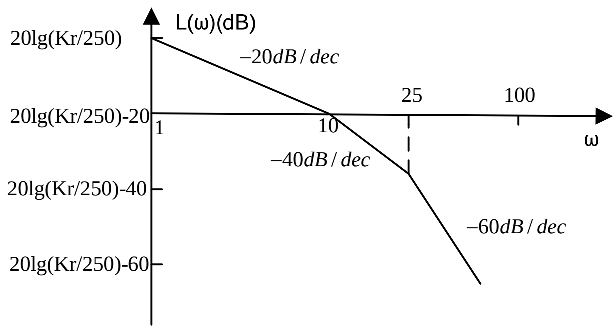
由图可知，系统稳定，相位裕量 为68.5357，增益裕量为24.6914

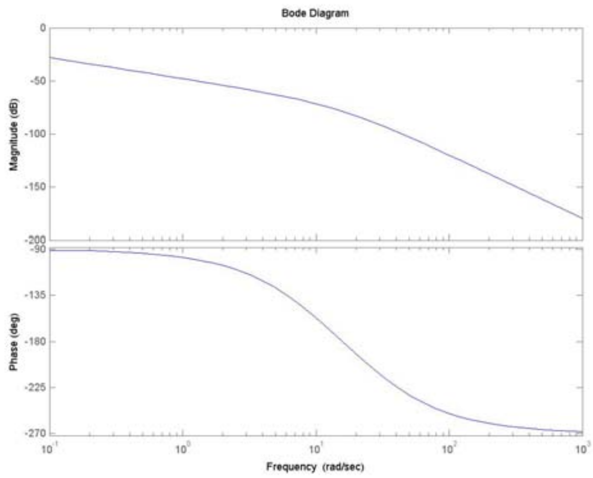
将原系统近似看作一个二阶系统 $\dfrac{\theta_0(s)}{\theta(s)}=\dfrac{1.8225}{s(0.2s+1)}$

ω_n=3， ς=0.828， $M_{p\omega}$=1.077

M_p=23.256%, t_s=1.61

C5-4 用伯德图完成题C4-1的几项计算要求。





将系统以二阶系统近似

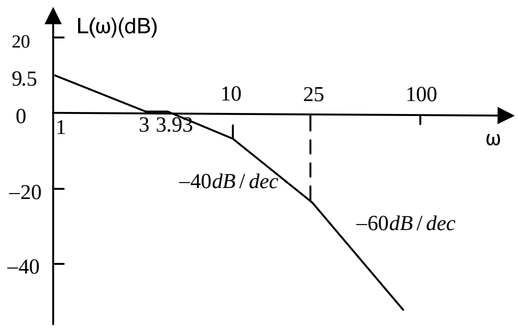
$M_p = 60\% = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}}$ ， ξ=0.16,wn=31.25,Kr=976,ess=Kr=976

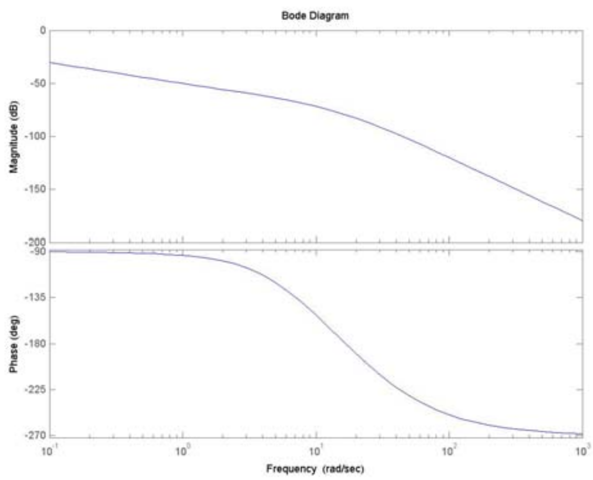
⑵ 引入超前校正装置

$$G_c(s) = \frac{(s+3)}{(s+3.93)}$$

求：引入超前校正装置后系统的伯德图；判定系统的稳定性，并求系统的相位裕量和增益裕量；

引入超前校正后，系统稳定，相位裕量为 89.9893，增益裕量为 9.9662e+003





⑶ 求闭环系统的谐振峰值$M_{p\omega}$和谐振角频率ω_r；若以二阶系统来近似，求系统的阻尼比ς和无阻尼振荡角频率ω_n，以及超调量M_p和按 2% 误差准则的调整时间t_s；

$$|M(s)|=\frac{K_r}{\sqrt{(K_r-35w^2)^2+(250w-w^3)^2}}$$

要使上式最大，则K_r-35w^2=0, $250w-w^3$=0,得，Kr=8750 ，ω_r=15.8

以二阶系统来近似，$G(s)=\dfrac{K_r}{s(s+10)}=\dfrac{8750}{s(s+10)}$，$\omega_n$=93.5

$\omega_r=\omega_n\sqrt{1-2\xi^2}$=15.8，$\xi$=0.697，$M_{p\omega}=\dfrac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}}$=1，$t_s$=0.06

C5-5 用伯德图完成题 C4-2 的计算。原单位反馈系统，其开环传递函数为：

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

⑴ 绘制系统的伯德图，并求系统的相位裕量和增益裕量；

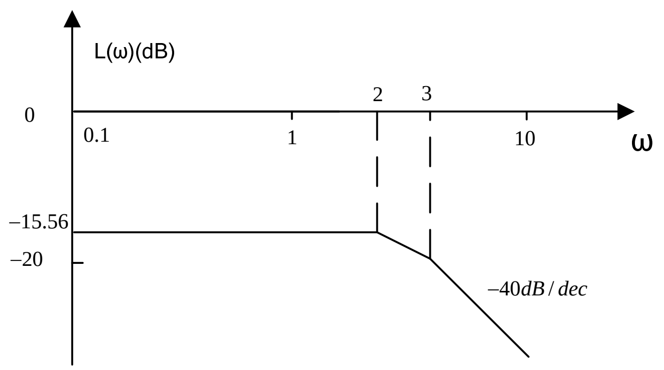
$G(s)=\dfrac{1}{s^2+5s+6}=\dfrac{1}{6}\dfrac{1}{(s/2+1)(s/3+1)}$

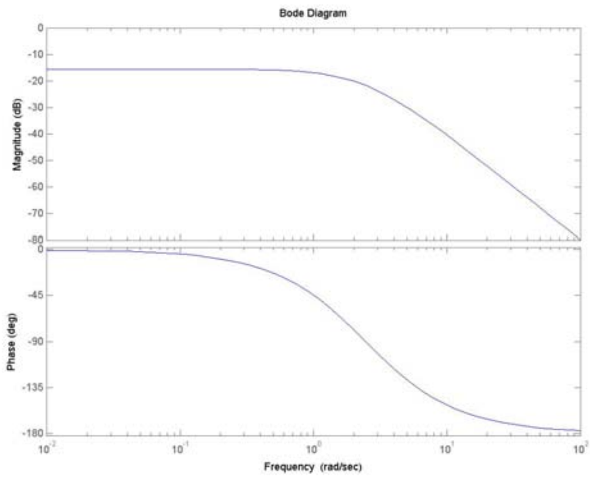
极点：$\omega_1=2,\omega_2=3$

零点：无

$20\lg K=20\lg(1/6)=-15.56$

积分因子v=0，所以其幅频特性图低频段是一条经过ω=1，L(1)=-15.56dB，斜率为 0dB/dec 的直线，图像在ω=2 处折线斜率减少到-20dB/dec，像在ω=3 处折线斜率减少到-30dB/dec，具体如下图：
从图中我们可以得到ω_c=0.08。





相位裕量为无穷大 ，增益裕量为无穷大

⑵ 求系统的稳态误差系数 K_p， K_v 和 K_a；

K_p =1/6， K_v =0， K_a =0

⑶ 若希望将系统的稳态误差系数增大到原来的 10 倍，引入滞后校正装置：

$$G_c(s) = K_c \cdot \frac{s+0.05}{s+0.005}$$

校正装置的 K_c 应为多大？100

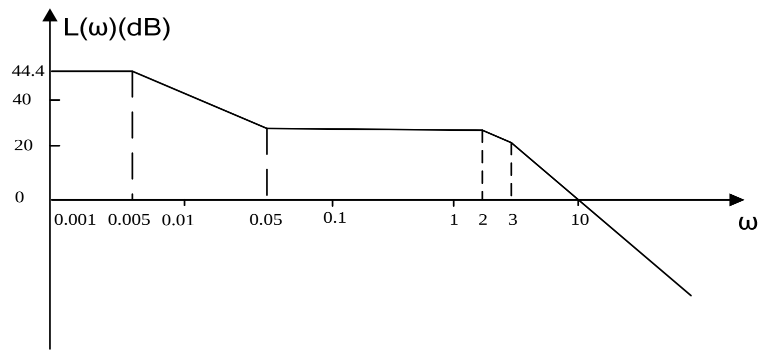
⑷ 绘制校正后系统的伯德图，并计算校正后系统的稳态误差系数；

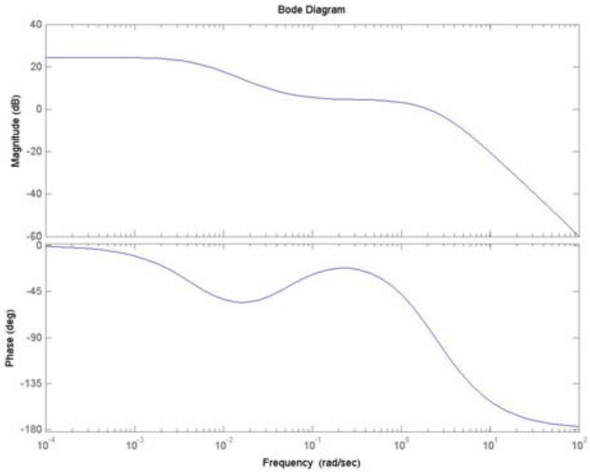
$G(s) = \frac{1}{s^2+5s+6} = \frac{1000}{6} \frac{20s+1}{(s/2+1)(s/3+1)(200s+1)}$

极点： $\omega_1 = 2, \omega_2 = 3, \omega_2 = 0.005$

零点： $\omega_1 = 0.05$

$20\lg K = 20\lg(1000/6) = 44.4$





校正后的稳态误差为原来的 10 倍

⑸ 求校正后系统的相位裕量和增益裕量，并与校正前进行比较。

校正后，相位裕量为 101.3234，增益裕量为无穷大

C5-6 用伯德图完成题 C4-3 的计算。原单位反馈系统，其开还传递函数为：

$$G(s)=\frac{3}{s(s+1)}$$

引入超前－滞后校正装置：

$$G_c(s)=\frac{(s+1)(s+0.1)}{(s+1.25)(s+0.008)}$$

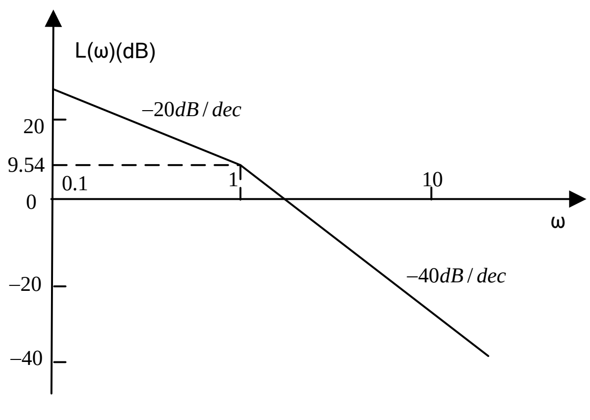
⑴ 绘制原系统的伯德图，并求系统的相位裕量和增益裕量和速度误差系数 K_v；

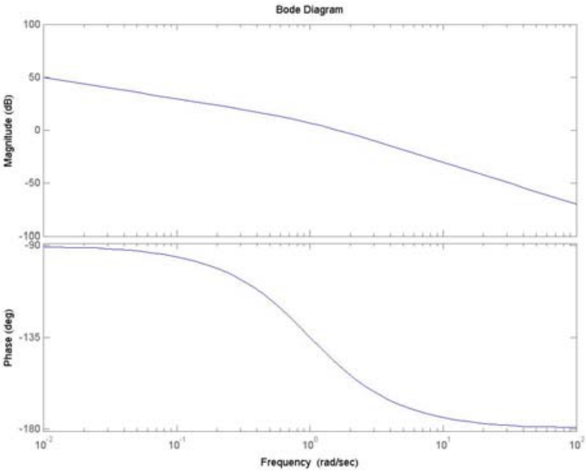
$$G(s)=\frac{3}{s(s+1)}$$

极点：$\omega_1=0,\omega_2=1$

零点：无

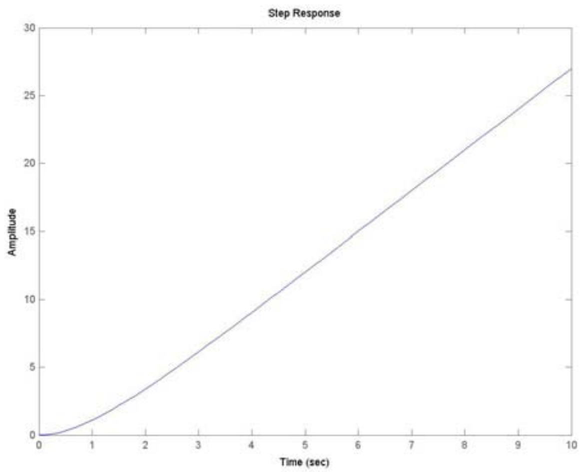
$20\lg K=20\lg 3=9.54$





相位裕量为 32.0994，增益裕量为无穷大，Kv=3

⑵ 求原系统的单位阶跃响应；



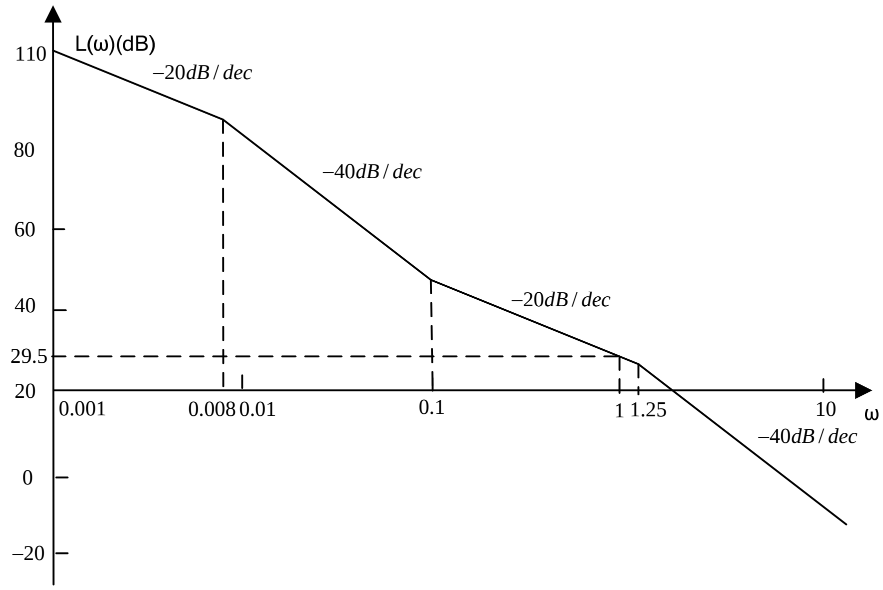
⑶ 绘制引入校正装置后系统的伯德图，并求系统的相位裕量和增益裕量、速度误差系数 K_v 和速度误差系数 K_v；

$$G(s)G_c(s)=\frac{(s+1)(s+0.1)}{(s+1.25)(s+0.008)}\frac{3}{s(s+1)}=\frac{30(10s+1)}{(s/1.25+1)(125s+1)}$$

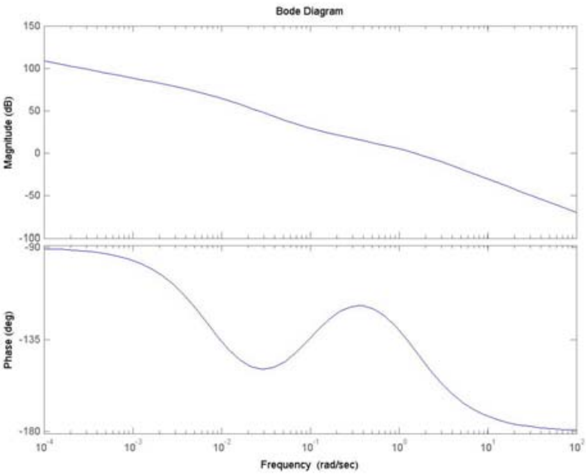
极点： $\omega_1=0.008,\omega_2=1.25$

零点：0.1

$20\lg K=20\lg 30=29.54$



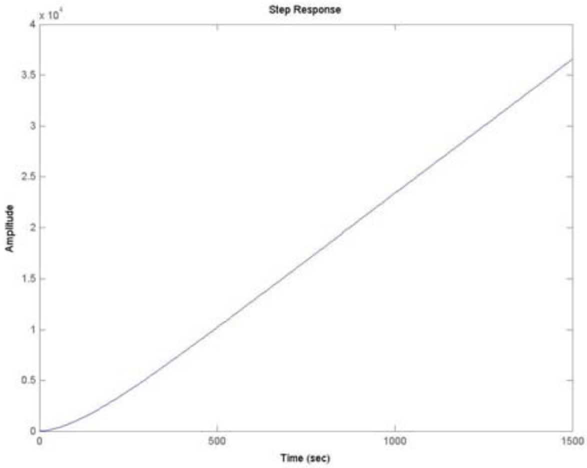
Matlab 画图结果如下：



相位裕量为：40.4258 增益裕量为：无穷大，K_v=26.4

⑷ 求校正前后系统的单位阶跃响应，并进行比较，说明校正装置的作用。

校正后的单位阶跃响应：

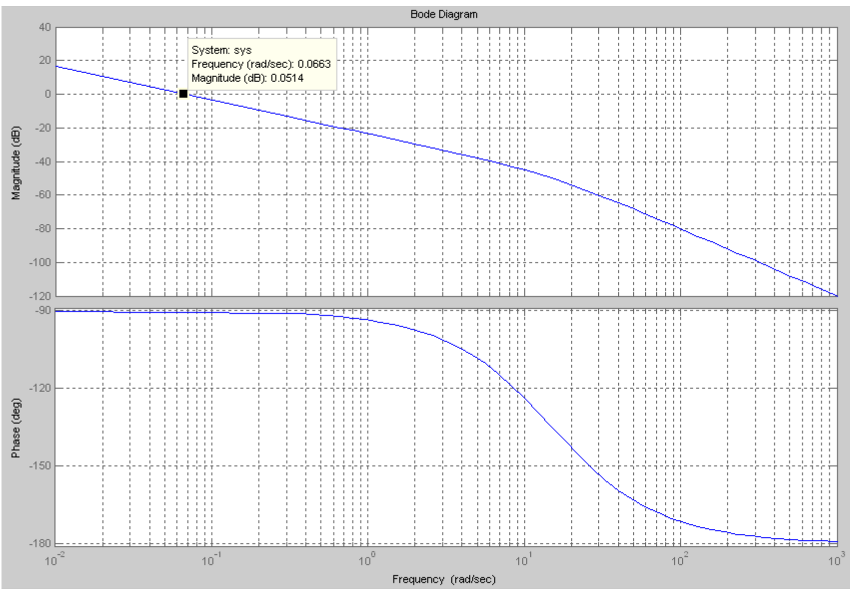


D MATLAB 题

D5-1 用 MATLAB 的 *bode* 命令绘制题 A5-1⑴、⑵、⑶、⑷各系统的伯德图，并在图上标出系统的相位裕量和增益裕量。

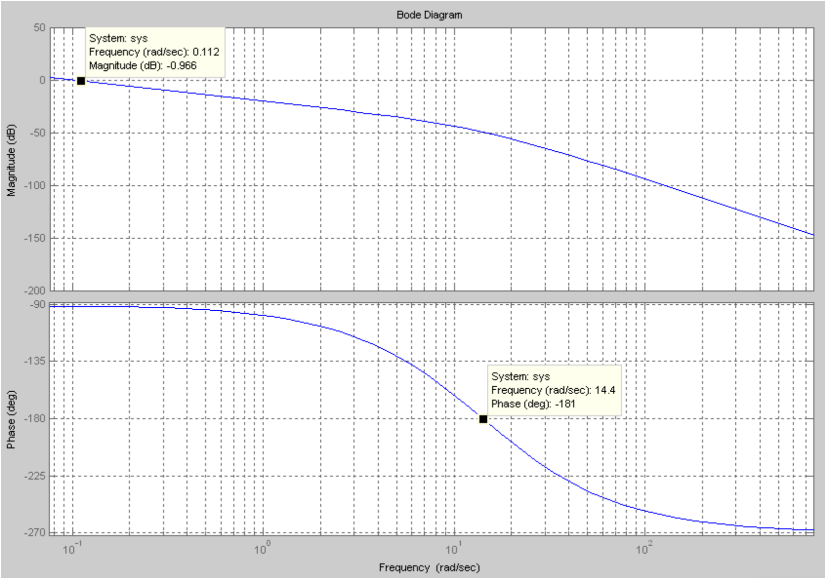
(1) Matlab 画图结果如下：

ω_c =0.0663　　　　　　　　　ω_g =无穷大



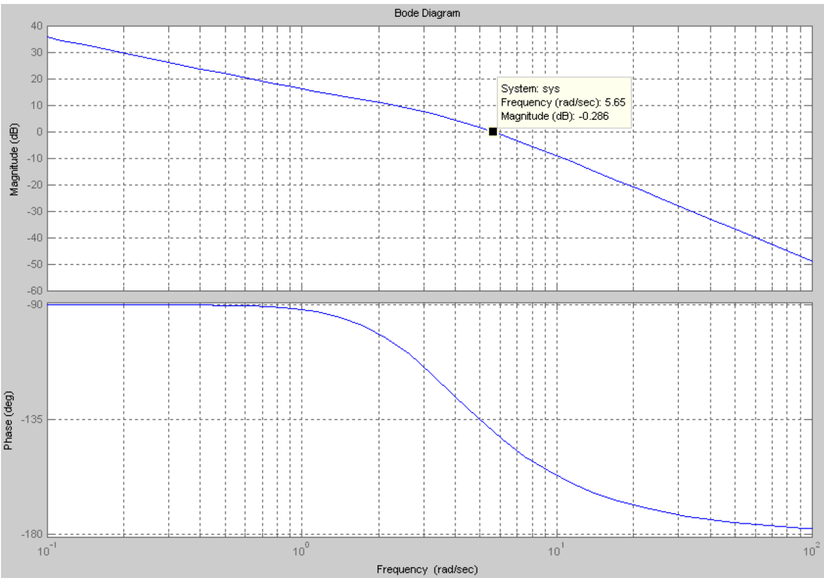
(2) Matlab 画图结果如下：

ω_g = 14.4；　ω_c =　0.112



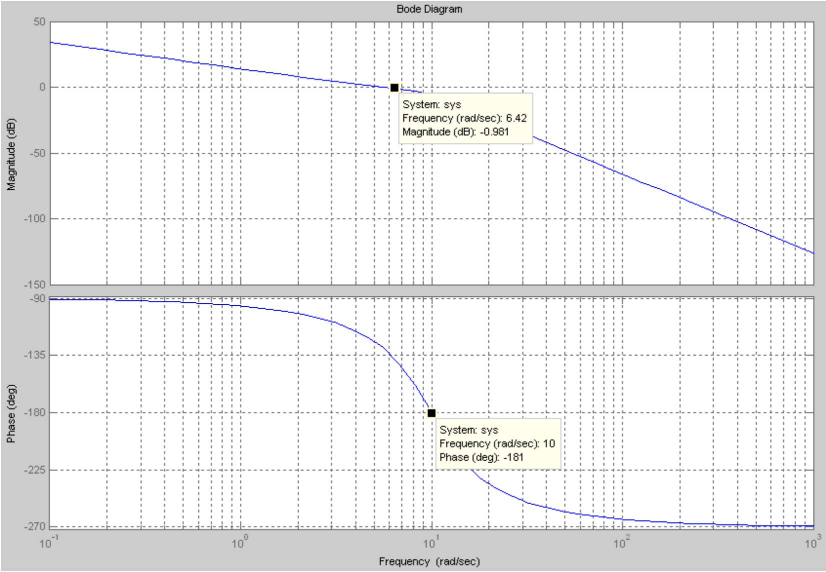
(3) Matlab 画图结果如下：

ω_g =无穷大 ω_c = 5.65



(4) Matlab 画图结果如下：

ω_g =10 ω_c = 6.42

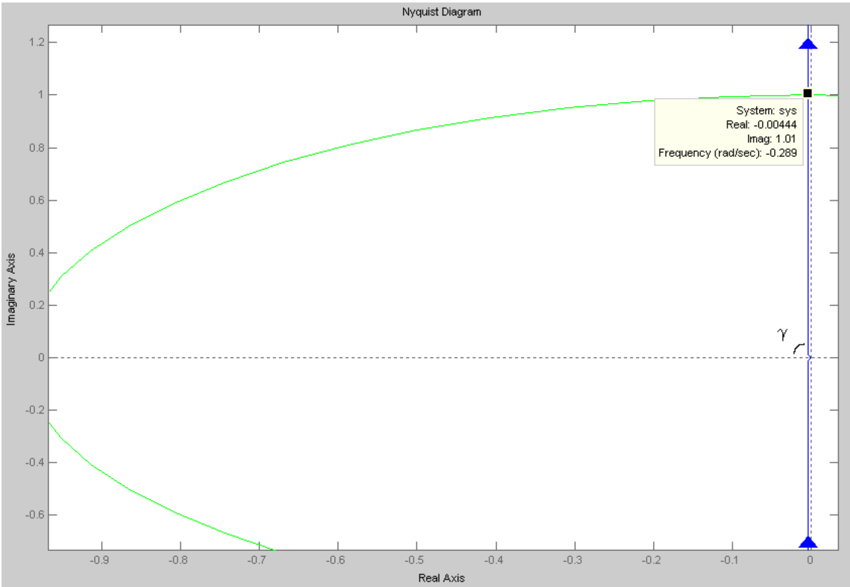


D5-2 用 MATLAB 的 ***nyquist*** 命令绘制题 A5-1(1)、(2)、(3)、(4)各系统的奈氏图，并在图上标出系统的相位裕度和增益裕度。

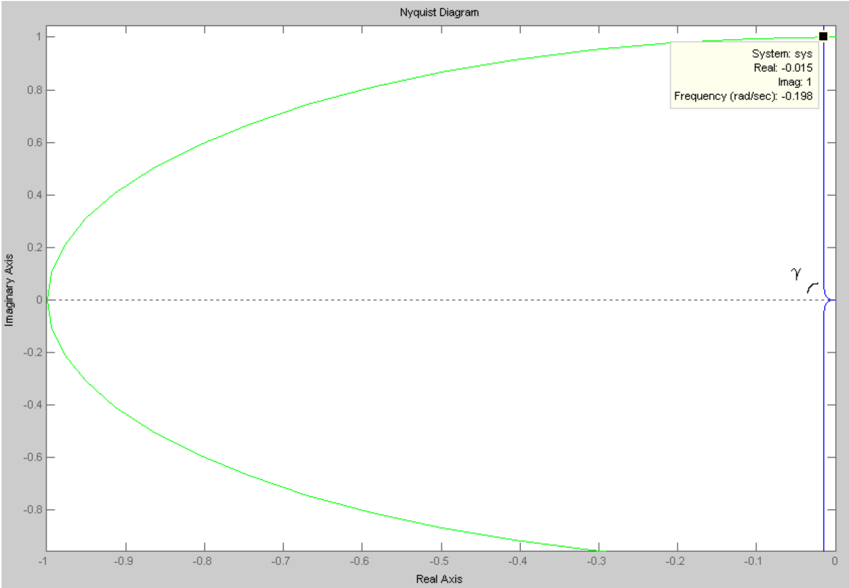
(图中绿色曲线为单位圆)

(1)

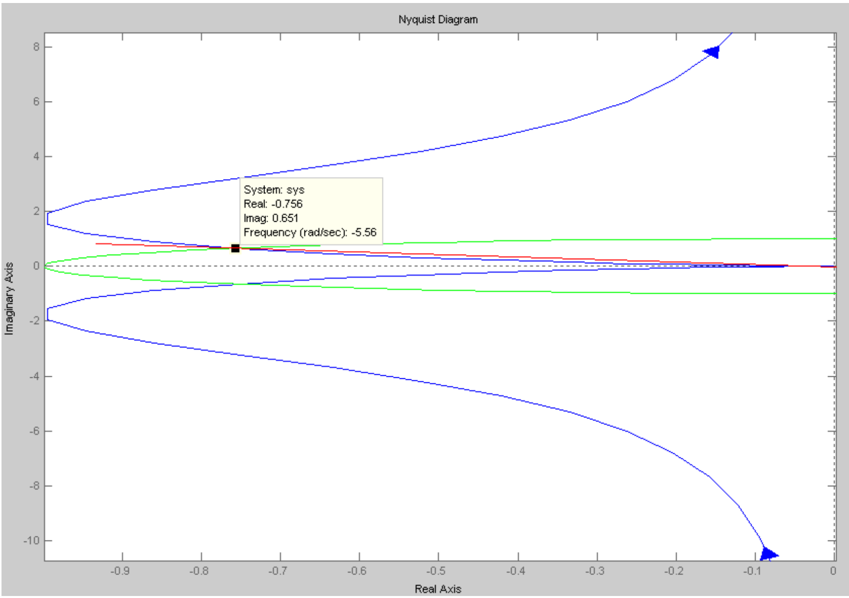
γ 约为-90 度，Gm > 1(太小，无法标出)



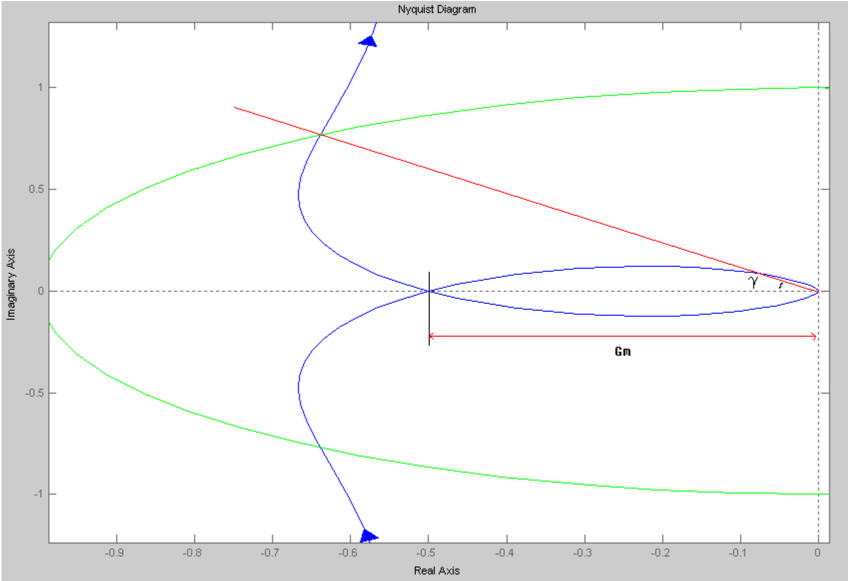
(2) γ 约为-90 度，Gm > 1(太小，无法标出)



(3) γ为负实轴到红色直线的夹角(负值)，Gm > 1(太小，无法标出)

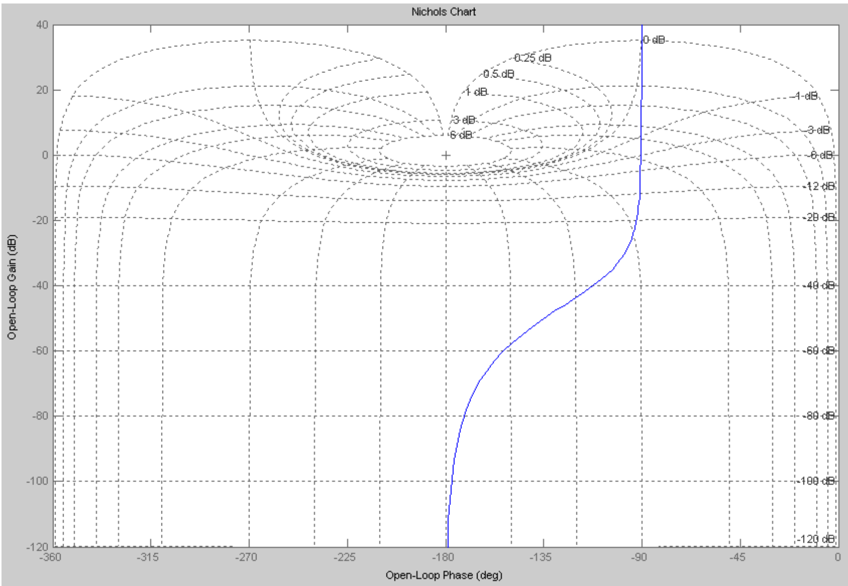


(4)

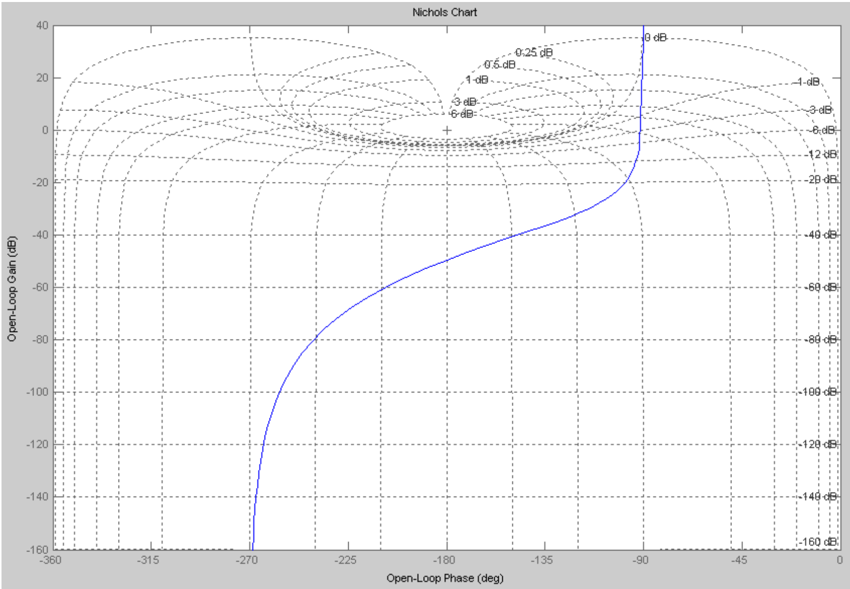


D5-3 用 MATLAB 的 *nichols* 和 *ngrid* 命令绘制题 A5-1(1)、(2)、(3)、(4)各系统的奈氏图，并在图上标出系统的相位裕量和增益裕量。

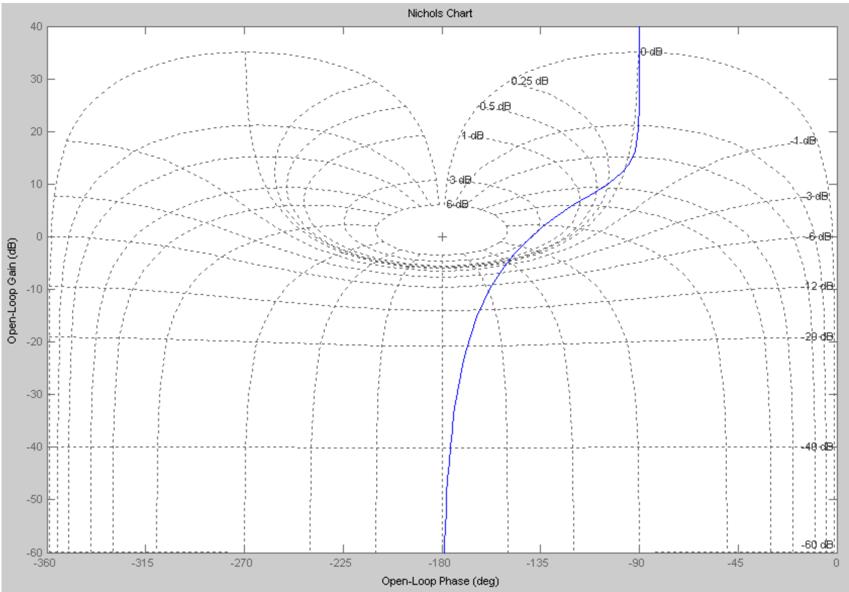
(1)



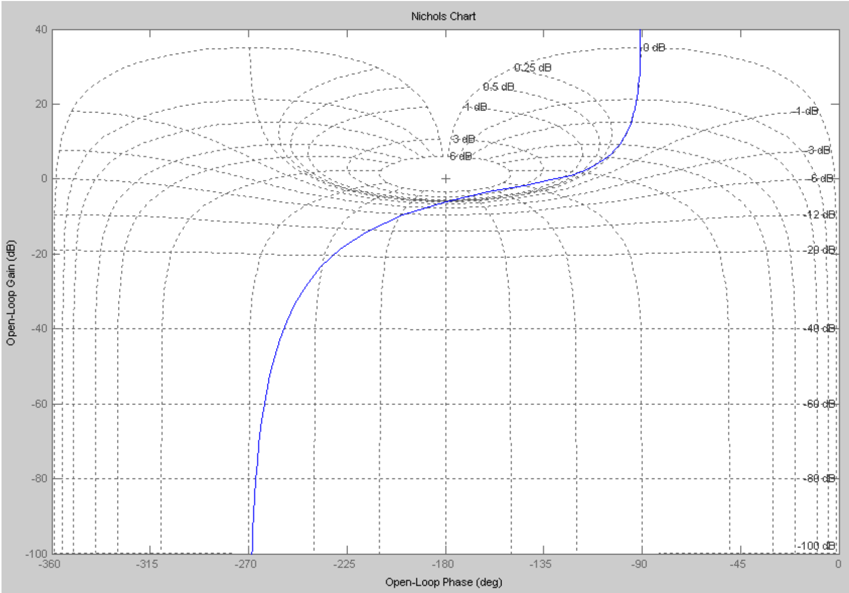
(2)


Nichols Chart
Open-Loop Gain (dB)
Open-Loop Phase (deg)

(3)

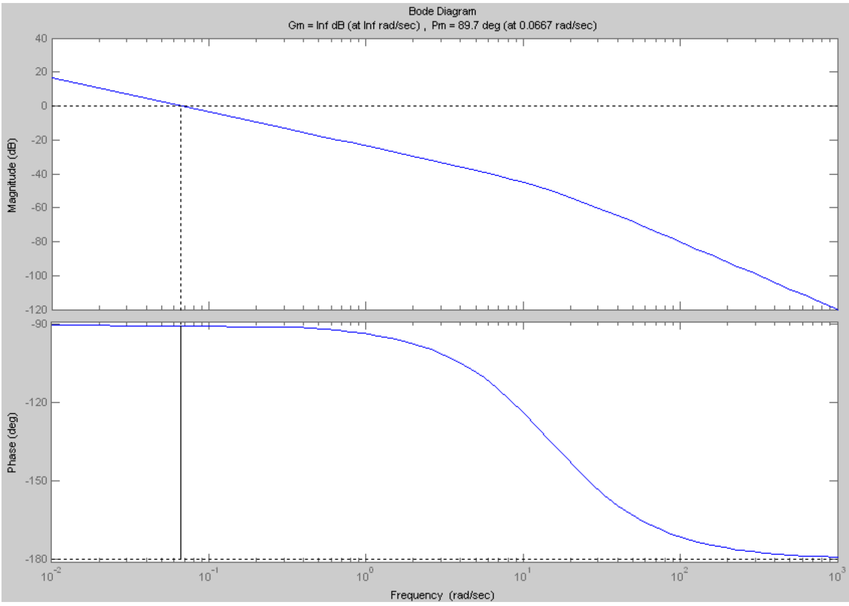

Nichols Chart
Open-Loop Gain (dB)
Open-Loop Phase (deg)

(4)

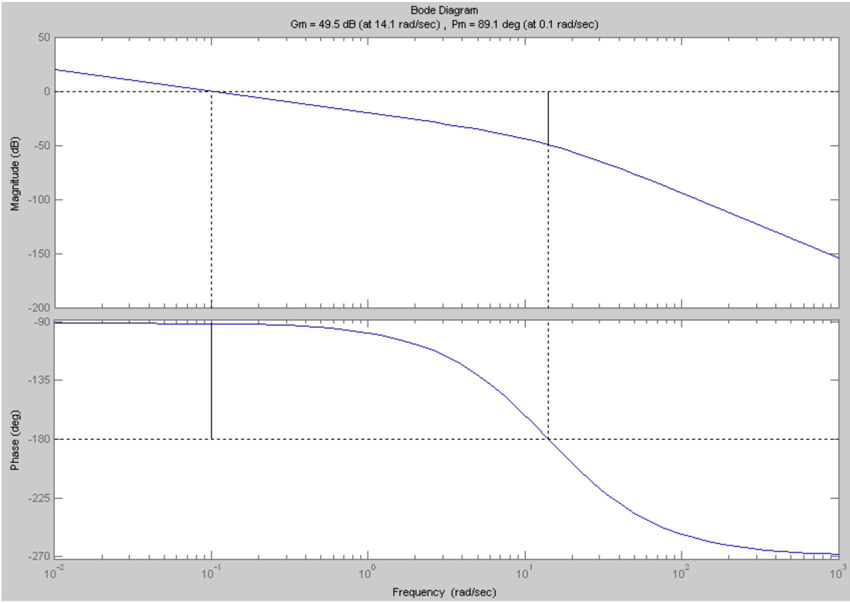


D5-4 用 MATLAB 的 $m\arg in$ 命令求题 A5-1⑴、⑵、⑶、⑷各系统的相位裕量和增益裕量。

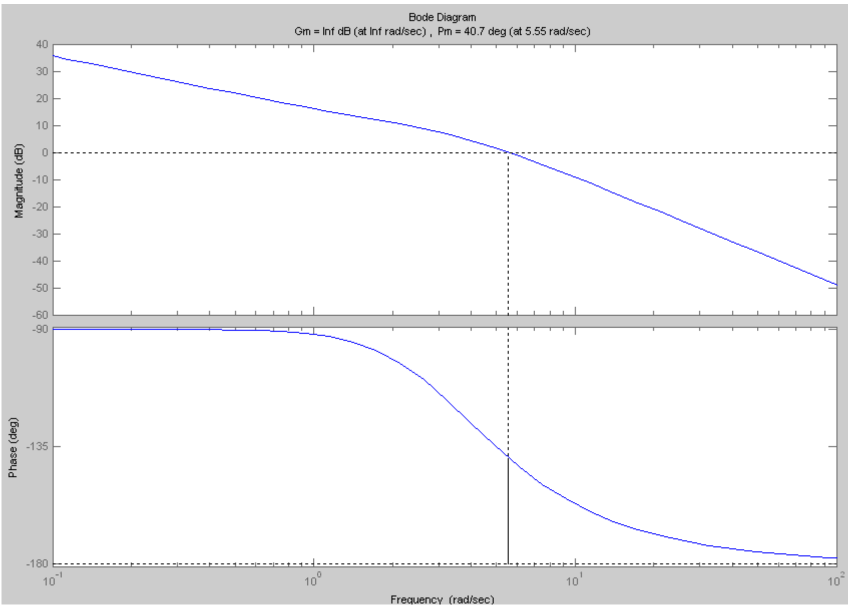
(1)



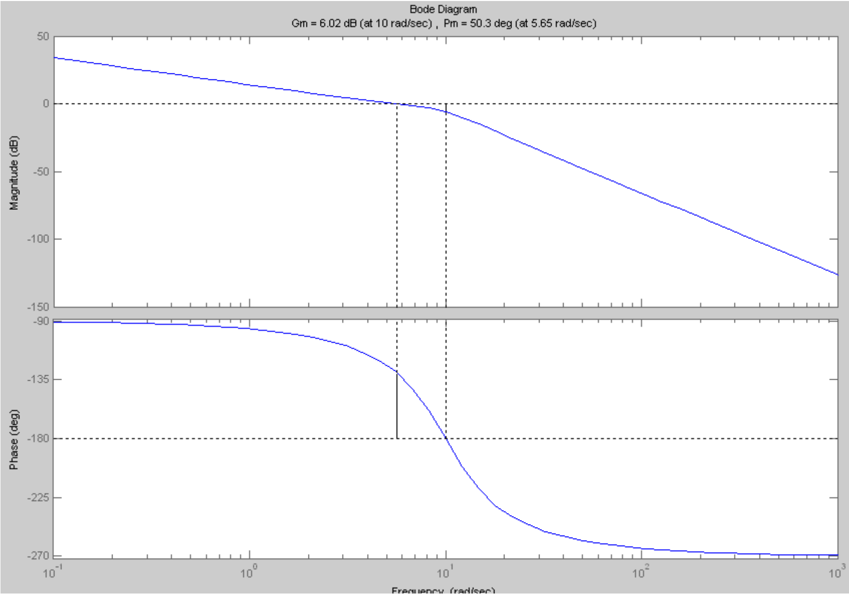
(2)


Bode Diagram
Gm = 49.5 dB (at 14.1 rad/sec) , Pm = 89.1 deg (at 0.1 rad/sec)
Magnitude (dB)
Phase (deg)
Frequency (rad/sec)

(3)


Bode Diagram
Gm = Inf dB (at Inf rad/sec) , Pm = 40.7 deg (at 5.55 rad/sec)
Magnitude (dB)
Phase (deg)
Frequency (rad/sec)

(4)

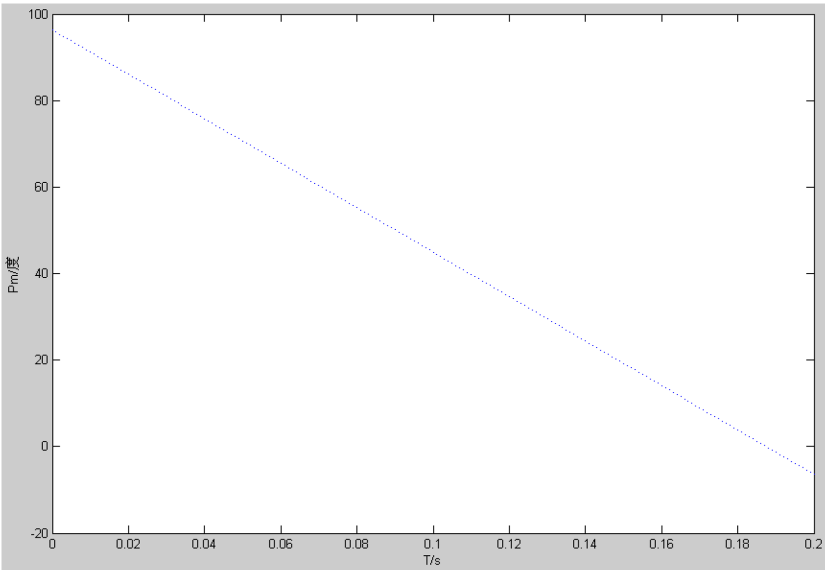


D5-5 一单位反馈系统的开环传递函数为：

$$G(s)=\frac{Ke^{-Ts}}{s+1}$$

⑴ K=9.0

⑵ 利用所求的 K 值，绘制在 $0\le T\le 0.2s$ 范围内相位裕量与 K 的关系曲线。



[num,den]=pade(T,N)