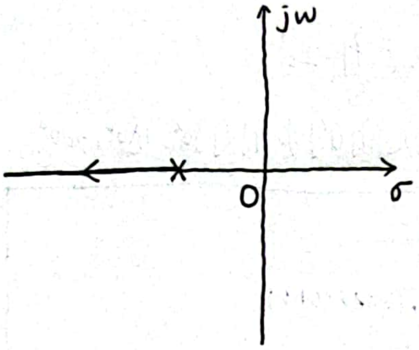
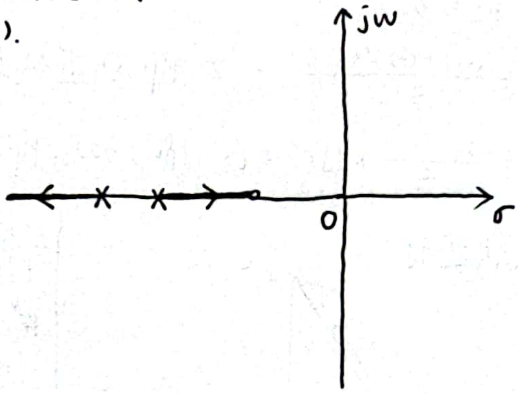
Page 73

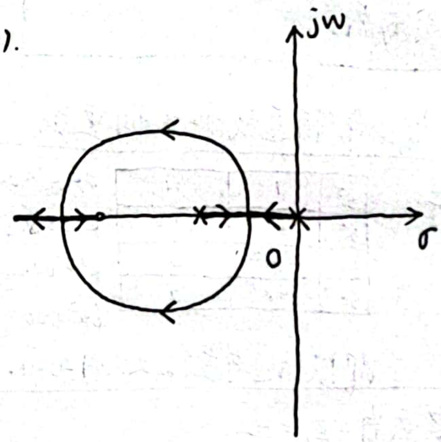
16. (a). ~~只有1个极点，没有零点，为一阶系统，根轨迹为从极点沿负实轴趋于无穷远处~~.



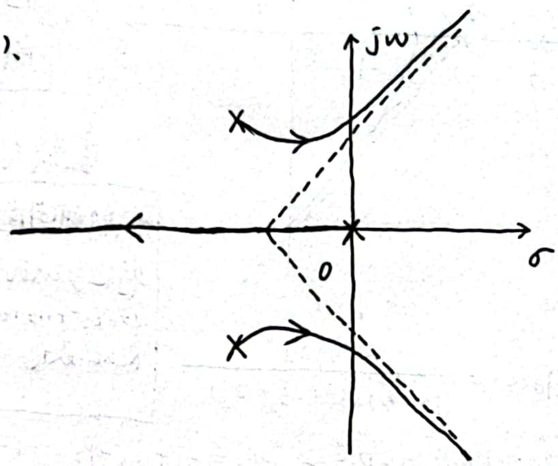
(b).



(c).



(d).



17. (1). $G_0(s)=\frac{K}{(s+2)(s+3)}$

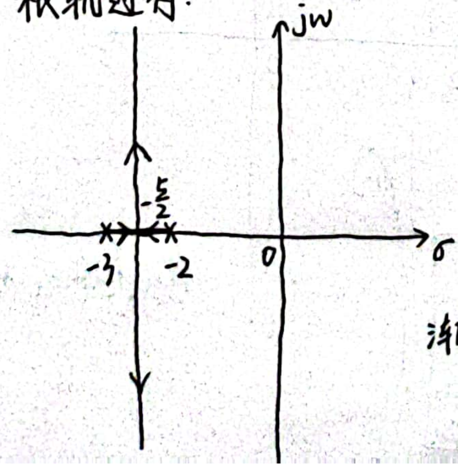
开环极点为 $-p_1=-2$，$-p_2=-3$；无开环零点.

$n-m=2$.

$F=\frac{(-2)+(-3)}{2}=-\frac{5}{2}$，即渐近线与实轴的交点为 $-\frac{5}{2}$.

$\alpha=\frac{2k+1}{2}\times180^\circ=90^\circ, 270^\circ$，即渐近线与实轴的夹角为 $90^\circ, 270^\circ$.

根轨迹为：



渐近线与根轨迹重合.

(2). $G_0(s)=\dfrac{K}{(s+1)(s+2)(s+3)}$

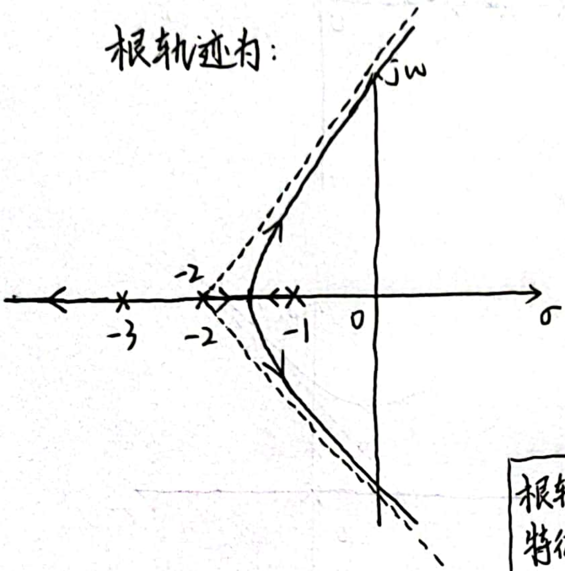
开环极点为 $-p_1=-1, -p_2=-2, -p_3=-3$；无开环零点.

$n-m=3$.

$F=\dfrac{(-1)+(-2)+(-3)}{3}=-2$，即渐近线与实轴的交点为 -2.

$\alpha=\dfrac{2k+1}{3}\times180°=60°, 180°, 300°$，即渐近线与实轴的夹角为 $60°, 180°, 300°$.

根轨迹为：



分离点的计算：

$K'=-(s+1)(s+2)(s+3)$

$\dfrac{dK'}{ds}=-3s^2-12s-11=0$

得 $s_1=\dfrac{-6+\sqrt{3}}{3}$，$s_2=\dfrac{-6-\sqrt{3}}{3}$（舍去）

所以 $\dfrac{-6+\sqrt{3}}{3}$ 为分离点.

虚线为渐近线，第三条渐近线和实轴重合.

根轨迹与虚轴交点的计算：

特征多项式：

$s^3+6s^2+11s+6+K'=0$

Routh表为：

s^3	1	11
s^2	6	$6+K'$
s^1	$\frac{60-K'}{6}$	0
s^0	$6+K'$	0

$0<K'<60$ 时，系统稳定；

$K'>60$ 时，系统不稳定.

$K'=60$ 时，辅助方程为：

$6s^2+66=0$，得 $s=\pm j\sqrt{11}$

即根轨迹与虚轴交点为 $\pm j\sqrt{11}$.

(3). $G_0(s)=\dfrac{K(s+2)}{(s+3)(s^2+2s+2)}$

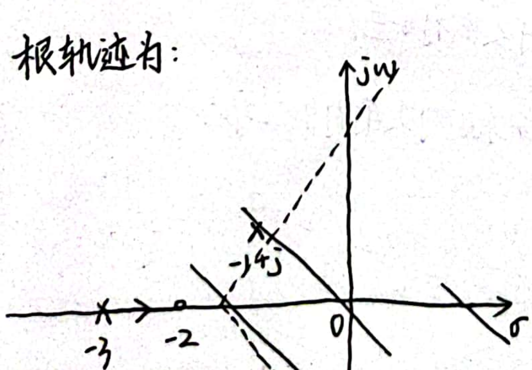
开环极点为 $-p_1=-3, -p_2=-1+j, -p_3=-1-j$；开环零点为 $-z_1=-2$.

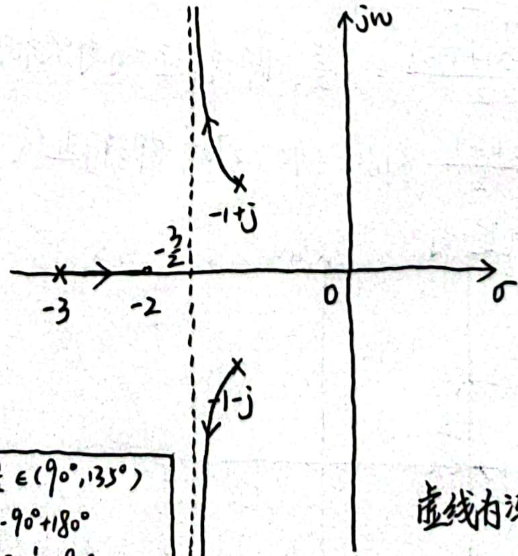
$n-m=2$.

$F=\dfrac{(-3)+(-1+j)+(-1-j)-(-2)}{2}=-\dfrac{3}{2}$，即渐近线与实轴的交点为 $-\dfrac{3}{2}$.

$\alpha=\dfrac{2k+1}{2}\times180°=90°, 270°$，即渐近线与实轴的夹角为 $90°, 270°$.

根轨迹为：





对于出射角的考虑：

在 $-1+j$ 处，应满足

$\theta_{-z_1}-\varphi_{-p_1}-\varphi_{-p_2}-\varphi_{-p_3}=-180°$

$\varphi_{-p_2}=\theta_{-z_1}-\varphi_{-p_1}-\varphi_{-p_3}+180°=45°-\arctan\frac{1}{2}-90°+180°$

$=135°-\arctan\frac{1}{2}\in(90°,135°)$

即在 $-1+j$ 处的出射角 ~~$\varphi_{p_2}=-180°-\theta_{-z_1}+\varphi_{p_1}+\varphi_{p_3}=-180°+45°+\arctan\frac{1}{2}+90°$~~

~~$=-135°+\arctan\frac{1}{2}\in(-135°,-90°)$~~

同理可得在 $-1-j$ 处的出射角 $\varphi_{-p_3}=-135°+\arctan\frac{1}{2}\in(-135°,-90°)$

虚线为渐近线.

(4). $G_0(s)=\dfrac{K}{s(s+2)(s^2+2s+5)}$

根轨迹与虚轴交点的计算：

特征多项式：

$s^4+4s^3+9s^2+10s+k'=0$

Routh 表为：

s^4	1	9	k'
s^3	4	10	0
s^2	$\frac{13}{2}$	k'	0
s^1	$\frac{130-8k'}{13}$	0	0
s^0	k'	0	0

$0<k'<\frac{130}{8}$ 时，系统稳定；$k'=\frac{130}{8}$ 时，系统不稳定。

$k'=\frac{130}{8}$ 时，辅助方程为：$\frac{13}{2}s^2+\frac{130}{8}=0$，得 $s=\pm j\frac{\sqrt{10}}{2}$

即根轨迹与虚轴交点为 $\pm j\frac{\sqrt{10}}{2}$。

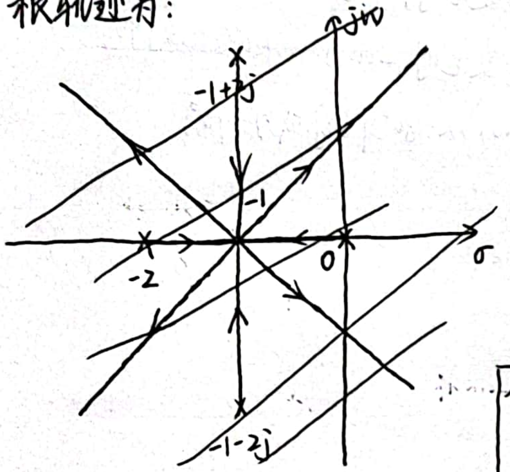
开环极点为 $-p_1=0$，$-p_2=-2$，$-p_3=-1+2j$，$-p_4=-1-2j$；无开环零点。

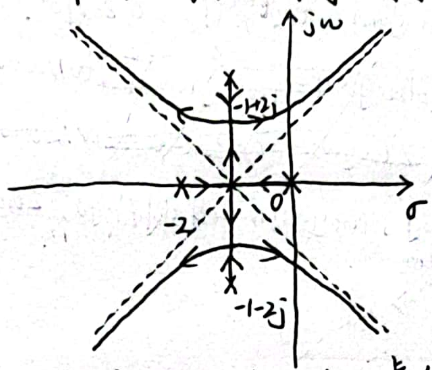
$n-m=4$.

$F=\dfrac{0+(-2)+(-1+2j)+(-1-2j)}{4}=-1$，即渐近线与实轴的交点为 -1.

$\alpha=\dfrac{2k+1}{4}\times180^\circ=45^\circ,135^\circ,225^\circ,315^\circ$，即渐近线与实轴的夹角为 $45^\circ,135^\circ,225^\circ,315^\circ$.

根轨迹为：





~~渐近线与根轨迹重合.~~ 虚线为渐近线.

分离点的计算：

$k'=-s(s+2)(s^2+2s+5)$

$\dfrac{dk'}{ds}=-4s^3-12s^2-18s-10=0$

得 $s_1=-1$，$s_2=\dfrac{-2+\sqrt{6}j}{2}$，$s_3=\dfrac{-2-\sqrt{6}j}{2}$

所以 -1，$\dfrac{-2+\sqrt{6}j}{2}$，$\dfrac{-2-\sqrt{6}j}{2}$ 为分离点.

(5). $G_0(s)=\dfrac{K}{(s+1)^2(s+4)^2}$

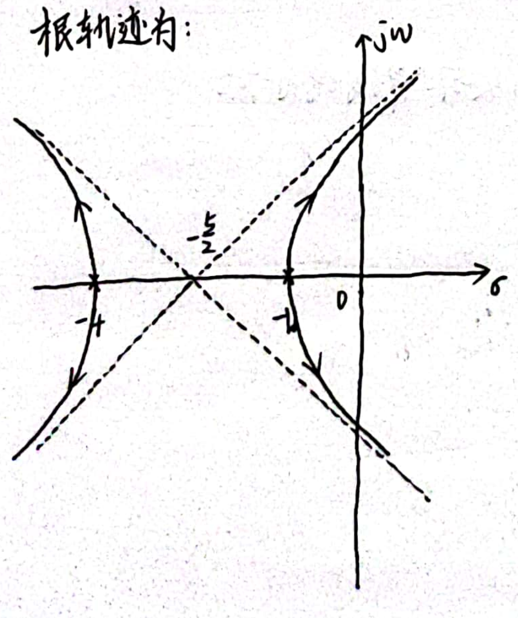
开环极点为 $-p_1=-1$，$-p_2=-1$，$-p_3=-4$，$-p_4=-4$；无开环零点.

$n-m=4$.

$F=\dfrac{(-1)+(-1)+(-4)+(-4)}{4}=-\frac{5}{2}$，即渐近线与实轴的交点为 $-\frac{5}{2}$.

$\alpha=\dfrac{2k+1}{4}\times180^\circ=45^\circ,135^\circ,225^\circ,315^\circ$，即渐近线与实轴的夹角为 $45^\circ,135^\circ,225^\circ,315^\circ$.

根轨迹为：



根轨迹与虚轴交点的计算：

特征多项式：

$s^4+10s^3+33s^2+40s+16+k'=0$

Routh 表为：

s^4	1	33	$16+k'$
s^3	10	40	0
s^2	29	$16+k'$	0
s^1	$\frac{1000-10k'}{29}$	0	0
s^0	$16+k'$	0	0

$0<k'<100$ 时，系统稳定；$k'=100$ 时，系统不稳定.

$k'=100$ 时，辅助方程为：$29s^2+116=0$，得 $s=\pm j2$

即根轨迹与虚轴交点为 $\pm j2$.

虚线为渐近线.

1.(5). $G_0(s)=\dfrac{2}{s^2(s+1)}$

$G_0(jw)=\dfrac{2}{(jw)^2(jw+1)}\cancel{=\dfrac{2}{-w^2(jw+1)}}$

$G_0(jw)=|G_0(jw)|\angle G_0(jw)$

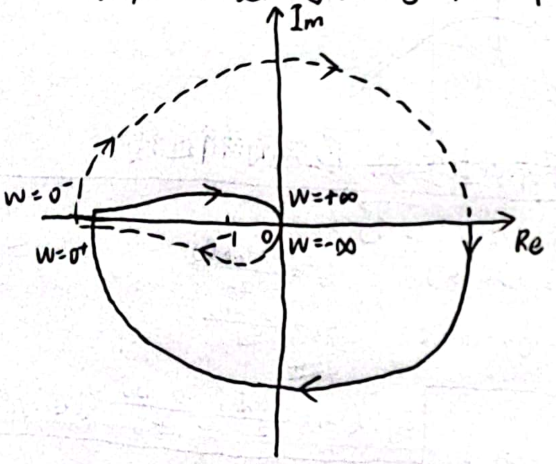
取$w=0$，可得$G_0(j0)=$ $\infty\angle-180°$;

取$w=\infty$，可得$G_0(j\infty)=$ $0\angle-270°$.

~~幅频特性为 $|G_0(jw)|=\frac{2}{|w^2||jw+1|}$，w从0~∞变化时，$|G_0(jw)|$从∞变化到0;~~

~~相频特性为 $\angle G_0(jw)=\arctan w$，w从0~∞变化时，$\angle G_0(jw)$从0°变化到90°。~~

w从0~∞变化时，$|G_0(jw)|$从∞单调减为0，$\angle G_0(jw)$从$-180°$单调减为$-270°$.



(6). $G_0(s)=\dfrac{3(s+3)}{s(s-1)}$

$G_0(jw)=\dfrac{3(jw+3)}{jw(jw-1)}$

$G_0(jw)=|G_0(jw)|\angle G_0(jw)$

取$w=0$，可得$G_0(j0)=\cancel{\infty\angle 90°};\ \infty\angle-270°$;

取$w=\infty$，可得$G_0(j\infty)=0\angle-90°$.

w从0~∞变化时，$|G_0(jw)|$从∞单调减为0，$\angle G_0(jw)$从$-270°$单调增为$-90°$.