5.16 设被控对象传递函数为（T = 1s）

$$G(s)=\frac{100}{(40s+1)(0.5s+1)}$$

(1) 试用“二阶工程最佳”设计法确定模拟控制器 Gc(s)。

(2) 将 Gc(s)用双线性变换法离散化为数字控制器 D(z)，并将其转换为差分方程。

?

(3) 画出实现 D(z)的程序框图。

(1) $G_c(s)=\frac{(T_i s+1)}{T_I s}$ $T_{s1}=40,\ T_{s2}=0.5,\ K=100$

$T_i=40$ $T_I=2KT_{s2}=2\times100\times0.5=100$

$G_c(s)=\frac{40s+1}{100s}$

(2) $D(z)=\left(\frac{40s+1}{100s}\right)_{s=\frac{2}{T}\frac{z-1}{z+1}}=\frac{81z-79}{200(z-1)}=\frac{0.405-0.395z^{-1}}{1-z^{-1}}=\frac{U(z)}{E(z)}$

$0.405E(z)-0.395z^{-1}E(z)=U(z)-z^{-1}U(z)$

$0.405e(k)-0.395e(k-1)=u(k)-u(k-1)$

6.4 已知被控对象的传递函数

$$G(s)=\frac{5}{s(1+0.1s)(1+0.05s)}$$

设采用零阶保持器，采样周期为 0.1s。针对单位速度输入设计快速有纹波系统的数字控制器 D(z)，计算采样瞬间数字控制器和系统的输出响应，并绘制图形。

$G(z)=Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s}\frac{1000}{s(s+10)(s+20)}\right]$

$$= \frac{0.0846z^{-1}(1+1.899z^{-1})(1+0.126z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})(1-0.135z^{-1})}$$

$$\Phi(z) = z^{-1}(1+1.899z^{-1})(a_0+a_1z^{-1})$$

$$\left.\begin{array}{l}\Phi(1)=1\\ \dot{\Phi}(1)=0\end{array}\right. \Rightarrow \left\{\begin{array}{l}a_0=0.916\\ a_1=-0.571\end{array}\right.$$

$$\Phi(z) = z^{-1}(1+1.899z^{-1})(0.916-0.571z^{-1})$$

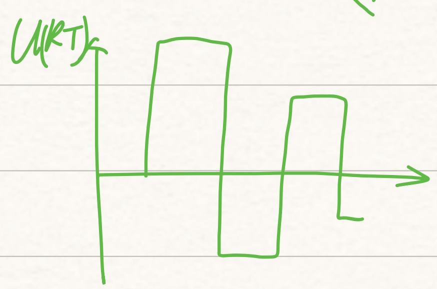
$$\Phi_e(z) = 1-\Phi(z) = 1-0.916z^{-1}-1.168z^{-2}+1.084z^{-3}$$

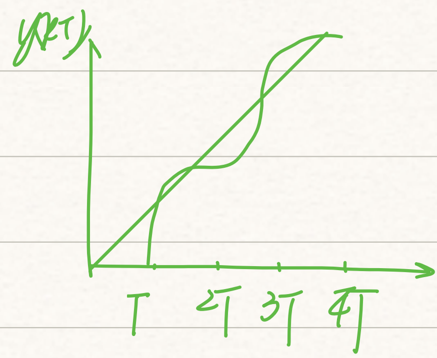
$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{\Phi_e(z)G(z)} = \frac{10.9(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})(1-0.135z^{-1})(1-0.623z^{-1})}{(1-0.916z^{-1}-1.168z^{-2}+1.084z^{-3})(1+0.126z^{-1})}$$

$$R(z) = \frac{Tz}{(z-1)^2} = \frac{0.1z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$$

$$U(z) = D(z)\cdot R(z) = \frac{1.09(1-0.368z^{-1})(1-0.135z^{-1})(1-0.623z^{-1})z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-0.916z^{-1}-1.168z^{-2}+1.084z^{-3})(1+0.126z^{-1})}$$

$$Y(z) = D(z)\cdot G(z)\cdot R(z) = \frac{z^{-1}(1+1.899z^{-1})(0.916-0.571z^{-1})}{(1-0.916z^{-1}-1.168z^{-2}+1.084z^{-3})}\frac{0.1z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$$





6.5 对上题，针对单位速度输入设计快速无纹波系统的数字控制器 D(z)，计算采样瞬间数字控制器和系统输出响应并绘制图形。

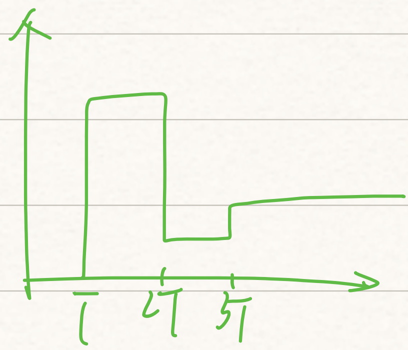
$$G(z)=\frac{\cdots}{(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})(1-0.135z^{-1})}$$

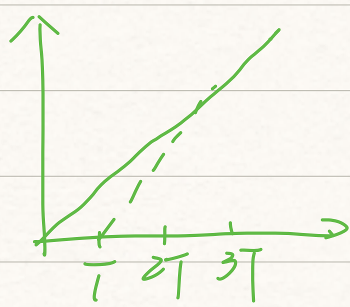
$$\Phi(z)=z^{-1}(1+1.899z^{-1})(1+0.126z^{-1})(a_0+a_1z^{-1})$$

$$\begin{cases}\Phi(1)=1\\ \Phi'(1)=0\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}a_0=0.847\\ a_1=-0.541\end{cases}$$

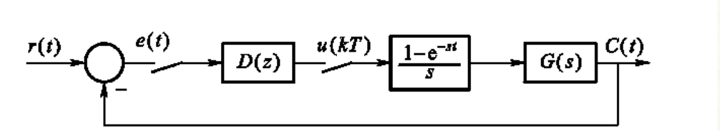
$$\Phi(z)=z^{-1}(1+1.899z^{-1})(1+0.126z^{-1})(0.847-0.541z^{-1})$$

$$\Phi_e(z)=1-\Phi(z)$$





例题1： 在下图所示系统中，被控对象 $G_p(s)=\dfrac{K}{s(T_m s+1)}$ 已知K=10s^{-1}，$T=T_m$=0.025s，则按前面所述最少拍设计方法，针对单位速度输入信号设计最少拍控制系统。



$$G_p = \frac{10}{s(0.025s+1)} = \frac{400}{s(s+40)}$$

$$G(z) = Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s}\,\frac{400}{s(s+40)}\right]$$

$$= (1-z^{-1})\,Z\left[\frac{10}{s^2} - \frac{1}{4s} + \frac{1}{4}\,\frac{1}{s+40}\right]$$

$$= (1-z^{-1})\left[\frac{10Tz}{(z-1)^2} - \frac{z}{4(z-1)} + \frac{1}{4}\,\frac{z}{z-e^{-40T}}\right]$$

$$= \frac{1}{4}\left(\frac{1}{z-1} - 1 + \frac{z-1}{z-e^{-1}}\right)$$

$$= \frac{e^{-1}z + 1 - 2e^{-1}}{4(z-1)(z-e^{-1})}$$

$$= \frac{0.092\,z^{-1}(1+0.718z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})}$$

$$\Phi(z) = z^{-1}(a_0 + a_1 z^{-1})$$

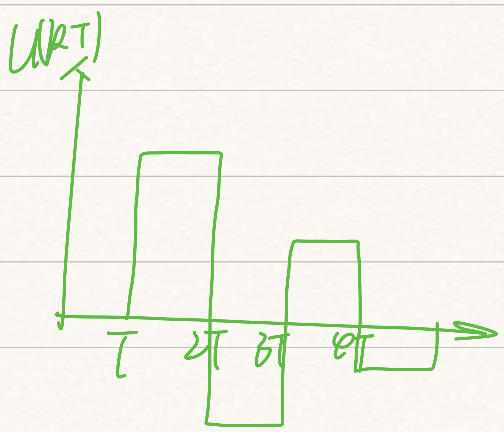
$$\Phi(1) = 1,\quad \Phi'(1) = 0 \Rightarrow \begin{cases} a_0 = 2 \\ a_1 = -1 \end{cases}$$

$$\Phi(z) = z^{-1}(2 - z^{-1})$$

$$\Phi_e(z) = 1 - \Phi(z) = (1-z^{-1})^2$$

$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{\Phi_e(z)G(z)} = \frac{z^{-1}(2-z^{-1})(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})}{(1-z^{-1})^2\,0.092z^{-1}(1+0.718z^{-1})}$$

$$= \frac{21.7(1-0.5z^{-1})(1-0.368z^{-1})}{(1+0.718z^{-1})(1-z^{-1})}$$



例题2:

系统结构及被控对象与例1相同。被控对象 $G_p(s)=\frac{K}{s(T_m s+1)}$ 已知 $K=10s^{-1}$，$T=T_m=0.025s$，试针对等速输入函数设计快速无纹波系统。

$$G(z)=Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s}\cdot\frac{10}{s(0.025s+1)}\right]=(1-z^{-1})Z\left[\frac{400}{s^2(s+40)}\right]$$

$$=\frac{z-1}{z}\left[\frac{10Tz}{(z-1)^2}-\frac{1}{4}\frac{z}{z-1}+\frac{1}{4}\frac{z}{z-e^{-40T}}\right]$$

$$=\frac{1}{4}\frac{e^{-1}z+1-2e^{-1}}{(z-1)(z-e^{-1})}$$

$$=\frac{1}{4}\frac{e^{-1}z^{-1}[1+(e-2)z^{-1}]}{(1-z^{-1})(1-e^{-1}z^{-1})}=\frac{0.092z^{-1}(1+0.718z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})}$$

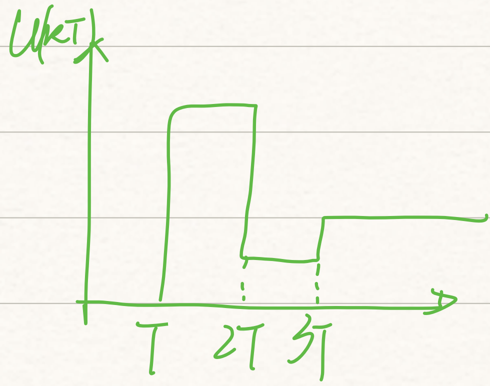
$$\Phi(z)=z^{-1}(1+0.718z^{-1})(a_0+a_1z^{-1})$$

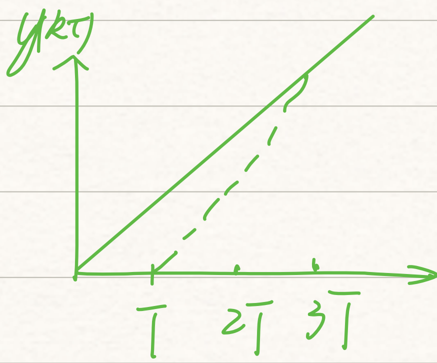
$$\begin{cases}\Phi(1)=1\\ \Phi'(1)=0\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}a_0=1.407\\ a_1=-0.825\end{cases}$$

$$\Phi(z)=z^{-1}(1+0.718z^{-1})(1.407-0.825z^{-1})$$

$$\Phi_e(z)=1-\Phi(z)=1-1.407z^{-1}-0.185z^{-2}+0.592z^{-3}$$

$$D(z)=\frac{\Phi(z)}{\Phi_e(z)G(z)}=\frac{15.293(1-0.368z^{-1})(1-0.586z^{-1})}{(1+0.592z^{-1})(1-z^{-1})}$$





6.13 已知控制系统的被控对象的传递函数为 $G(s)=\dfrac{e^{-s}}{(2s+1)(s+1)}$，采样周期 T＝1s，若选闭环系统的时间常数 $T_\tau=0.1s$，问是否会出现振铃现象？试用大林算法设计数字控制器 $D(z)$ 。

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

$$\Phi(z)=Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s}\frac{10e^{-s}}{s+10}\right]=\frac{1-e^{-10}}{z(z-e^{-10})}$$

$$G(z)=Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s}\frac{e^{-s}}{2(s+0.5)(s+1)}\right]=\frac{(e^{-1}-2e^{-0.5}+1)z+(e^{-1.5}+e^{-0.5}-2e^{-1})}{z(z-e^{-0.5})(z-e^{-1})}$$

$$D(z)=\frac{\Phi(z)}{[1-\Phi(z)]G(z)}=\frac{z(z-0.607)(z-0.368)}{(z^2-1)(0.155z+0.094)}$$

$$=\frac{6.45(1-0.607z^{-1})(1-0.368z^{-1})}{(1-z^{-2})(1+0.606z^{-1})}$$

-0.606 接近 -1 点，有振铃现象

7.10 给定被控对象

$$\begin{bmatrix}x_1(k+1)\\x_2(k+1)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0&1\\-0.16&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1(k)\\x_2(k)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\1\end{bmatrix}u(k)$$

确定状态反馈增益矩阵 K，使系统具有闭环极点：$z_1=0.6+j0.4, z_2=0.6-j0.4$ 。

$M=(b,\ Ab)=\begin{pmatrix}0&1\\1&1\end{pmatrix}$ rank $M=2$ 可控

$K=(k_1,\ k_2)$

$$f(\lambda)=|\lambda I-(A-bK)|=\begin{vmatrix}\lambda & -1\\ k_1+0.16 & \lambda+k_2-1\end{vmatrix}=\lambda^2+(k_2-1)\lambda+k_1+0.16$$

$$f^*(\lambda)=(\lambda-0.6+j0.4)(\lambda-0.6-j0.4)=\lambda^2-1.2\lambda+0.52$$

$$\begin{cases} k_1+0.16=0.52 \\ k_2-1=-1.2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k_1=0.36 \\ k_2=-0.2 \end{cases} \qquad K=(0.36,\ -0.2)$$

7.16 针对下述被控对象，设计一个特征值为零的全维状态观测器。

$$x(k+1)=\begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(k)+\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ -2 \end{bmatrix} u(k)$$

$$y(k)=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(k)$$

$$N=\begin{pmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 \\ 7 & 3 & 1 \end{pmatrix} \quad \mathrm{rank}\, N=3$$

$$G=\begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{pmatrix} \qquad \left| \begin{pmatrix} \lambda & & \\ & \lambda & \\ & & \lambda \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -3 & -1 & 0 \\ 2 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} g_1 & 0 & 0 \\ g_2 & 0 & 0 \\ g_3 & 0 & 0 \end{pmatrix} \right|$$

$$f(\lambda)=|\lambda I-(A-GC)|=\begin{vmatrix} \lambda+g_1-3 & -1 & 0 \\ g_2+2 & \lambda & -1 \\ g_3-1 & 0 & \lambda \end{vmatrix}$$

$$=\lambda^3+(g_1-3)\lambda^2+(g_2+2)\lambda+(g_3-1)$$

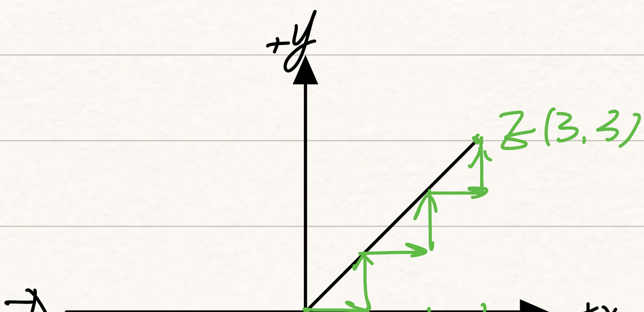
$$f^*(\lambda)=\lambda^3$$

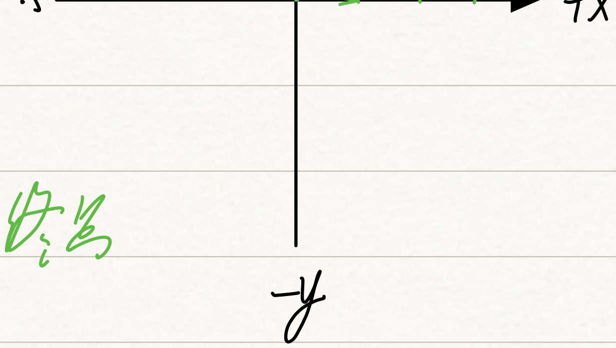
$$g_1=3 \quad g_2=-2 \quad g_3=1 \qquad G=\begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

直线差补

$$F=y_M x_Z-y_Z x_M=0$$

$+x$ 进给





$F_{i+1}=F_i-y_Z=-3<0$

+y进给

$F_{i+1}=F_i+x_Z=0$ 非终点

+x进给

$F_{i+1}=F_i-y_Z=-3<0$ 非终点

+y进给

$F_{i+1}=F_i+x_Z=0$ 非终点

+x进给

$F_{i+1}=F_i-y_Z=-3<0$ 非终点

+y进给

$F_{i+1}=F_i+x_Z=0$ 终点