综合习题－2　　计算机伺服控制系统设计

1．已知：

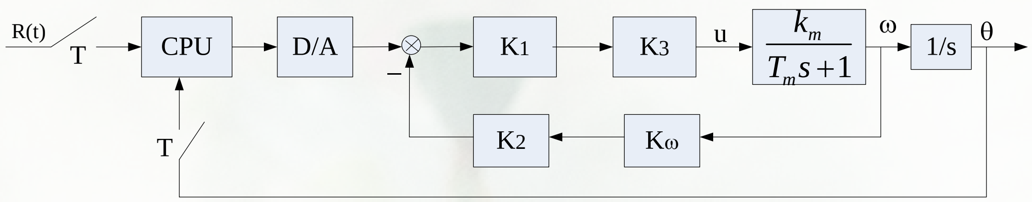


图 1 系统结构图

其中，电机传递函数为角速率ω / u 和转角θ/u；模拟控制器由 K1、K2、K3 组成，数字控制器由采样、CPU（控制律）和 D / A 组成。

给定参数如下：

- 电机传函 $G(s)=\dfrac{\theta(s)}{u(s)}=\dfrac{k_m}{s(T_m s+1)}, k_m=2\,rad/s, T_m=0.1s$
- 电机启动电压 $u_A=1.7$ v
- 测速机传递系数 $k_\omega=1$　v / rad/s
- 电位计最大转角为 345°，输出±5v
- 功放 $K_A=2=K3$
- 采样周期 T=0.010s

2．设计要求：

1）D/A 输出 120mv，电机启动：$u_A=1.7$ v

2）D/A 输出 5v，电机转速 ω＝26rad/s

3）设计状态反馈增益 K，使系统闭环极点 $\zeta \geq 0.9$，$\omega_n \geq 20$ rad/s

4）设θ可测，设计降维观测器(求 L)，取观测器衰减速率是系统闭环衰减速率的 4 倍。

5）求调节器的离散控制律 D(z)=U(z)/Y(z)。

6）将 D(z)进行实现，配置适当的比例因子，编制相应的程序流程图。

7）仿真验证调节器的控制效果。假设系统受到扰动，初试状态为：初速$\omega_0=0$，初始角度$\theta_0=10$。看看是否经过一定时间后，系统状态回到平衡的零态。

8）（选作）引进指令信号，设计相应的指令跟踪控制器，仿真给出闭环系统的阶跃响应曲线。

解：求解过程中，针对同一个物理量，可能有不同的计量单位，不要搞混。

（1）模拟部分设计

1） D/A 输出 120mv，电机起动：$\Delta u_A=1.7$ v

$$0.12*K_1*K_3\geq 1.7\text{，}\quad K_3=2$$

K1 就可以取一个满足不等式的值。

每个人的取值不同，算出来的结果也会不同，不过大致数量级差不多。

2）D/A 输出 5v，电机转速ω＝26rad/s

分析：如果没有速度反馈，则当 D/A 输出 5v 时，电机转速大致为

$$\omega=5*7.5*2*2=150>26\quad rad/s$$

因此需要速度反馈。

速度闭环回路实际上也是一个一阶环节，所以可以去掉动态过程，只考虑稳态最大输出值，就可以把 K2 计算出来。

故可以得到扩展被控对象的传递函数为：

（输入电压 V，输出角度*rad）

$$G(s)=\frac{b}{s(s+a)}$$

大家注意，该系统是一个二阶系统，理论上只要取 2 个状态，可以写出很多种对应的离散状态方程。但是大家不要只考虑理论上可行方式，

还需要考虑状态的物理意义。

从所给系统结构图上可以看出，可以直接测量得到的是电机的转角。

是不是可以将其取为其中的一个状态？

最简单明了，取状态为 $x=[\theta \quad \omega]^T$，则为此可以得到连续状态方程为：

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1(t)\\ \dot{x}_2(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 1\\ 0 & -a\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ b\end{bmatrix}u(t),\quad y(t)=\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t)\end{bmatrix}$$

$$A=\begin{bmatrix}0 & 1\\ 0 & -a\end{bmatrix},\quad B=\begin{bmatrix}0\\ b\end{bmatrix}$$

采样周期 $T=0.01s$，

利用[F,G]=c2d(A,B,T)，可以验算你得到的 F、G 是否正确。

即对应离散状态方程为：

$$\begin{bmatrix}x_1(k+1)\\ x_2(k+1)\end{bmatrix}=\mathrm{F}\begin{bmatrix}x_1(k)\\ x_2(k)\end{bmatrix}+\mathrm{G}u(k)$$

3）设计状态反馈增益，使系统闭环极点 $\zeta\geq 0.9$，$\omega_n\geq 20$ rad/s

利用极点配置法求全状态反馈增益，注意，上面的一个也是不等式，所以，可以取的闭环期望极点可以不一样。

期望极点： s 平面 $s_{1,2}=-\zeta\omega_n\pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2}$

z 平面 $z_{1,2}=e^{s_{1,2}T}$

用 Matlab 程序检验：

```
kexi;     %  系统期望闭环极点的阻尼比
Wn;       %  系统期望闭环极点的自然频率
dens=[1,2*kexi*Wn,Wn^2];
pc0=roots(dens)        %  系统期望闭环极点
pc=pc0';               % s 平面期望闭环极点
pz=exp(pc*T)           % z 平面期望闭环极点
K=acker(F,G,pz)        %状态反馈控制律增益
```

eig(F-G*K);　　　　　　　　% 验证得到

反馈增益阵 K 要计算出来

5）设θ可测，设计降维观测器，观测器衰减速率是系统闭环衰减速率的 4 倍。

再次重申：降维观测器中采用的 F 阵【是原系统的 F 阵，绝不可采用状态反馈后得到的闭环系统的 $F_1=(F-GK)$ 】划分得到的几个小阵，因为降维观测器器公式的推导过程是采用原来的 F 阵得到的。

降维观测器方程为：

$$\hat{x}_2(k+1)=(F_{22}-LF_{12})\hat{x}_2(k)+(G_2-LG_1)u(k)+(F_{21}-LF_{11})y(k)+Ly(k+1)$$

$$\hat{x}_2(k+1)=D_1\hat{x}_2(k)+D_2y(k)+D_3u(k)+Ly(k+1)$$

依题意，先求出降维观测器期望极点 z_e

降维观测器特征方程为

$\alpha(z)=\det[zI-F_{22}+LF_{12}]=$

由此得 L

然后就可以写出状态 x2 的估计状态方程

$$\hat{x}_2(k+1)=D_1\hat{x}_2(k)+D_2y(k)+D_3u(k)+Ly(k+1)$$

类似作业，可以推导出

$$D(z)=\frac{U(z)}{Y(z)}=\frac{b_0z+b_1}{z-a}=k\frac{z+b}{z-a}$$

6）将 D(z)进行零极实现，选比例因子

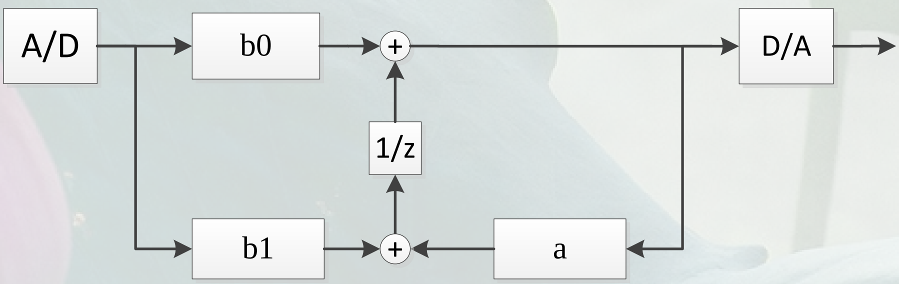


图2

计算出 $D(1)$、 $D(-1)$，进行比例因子配置

假设，系数不需要配，且稳态增益 $D(1)=1.8$，高频增益 $D(-1)=0.8$，需要配置比例因子 1/2，得到下图

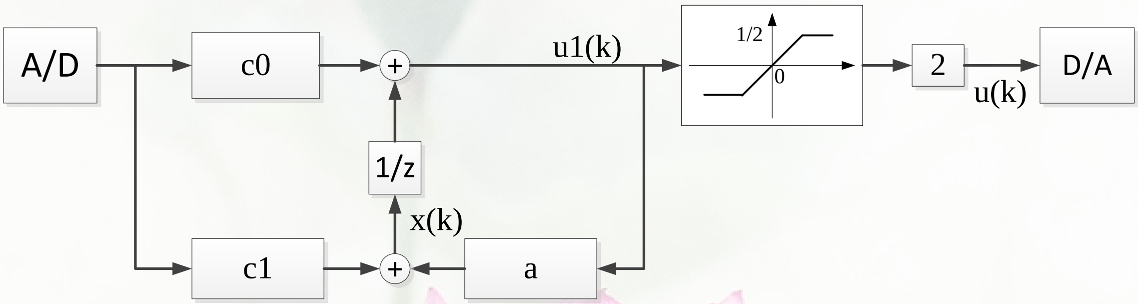


图 3

7）编制程序框图，写出控制律的差分方程

（1）写出控制律的差分方程

算法 I、算法 II

（2）绘制程序流程框图 4

图 4

8）仿真

（0）先计算传感器的传递系数。

注意有：电位计最大转角为 345°，输出±5v

电位计传感器的传递系数 K4=10/345 (V/du)=10*57.3/345 (V/rad)

针对 a0=10 度的初始扰动，10 度对应的 rad 为：a01=（10/57.3）= 0.1745 (rad)

也就是状态方程中，初始值应该设为：[0.1745 0]

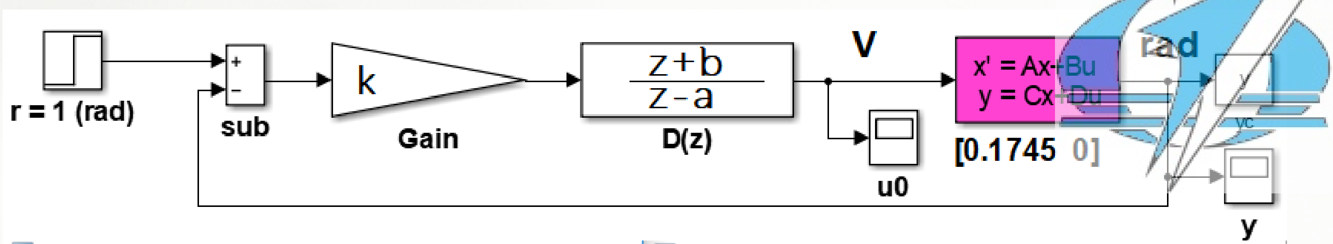
（1）没有考虑比例因子配置和传感器的理想情况。

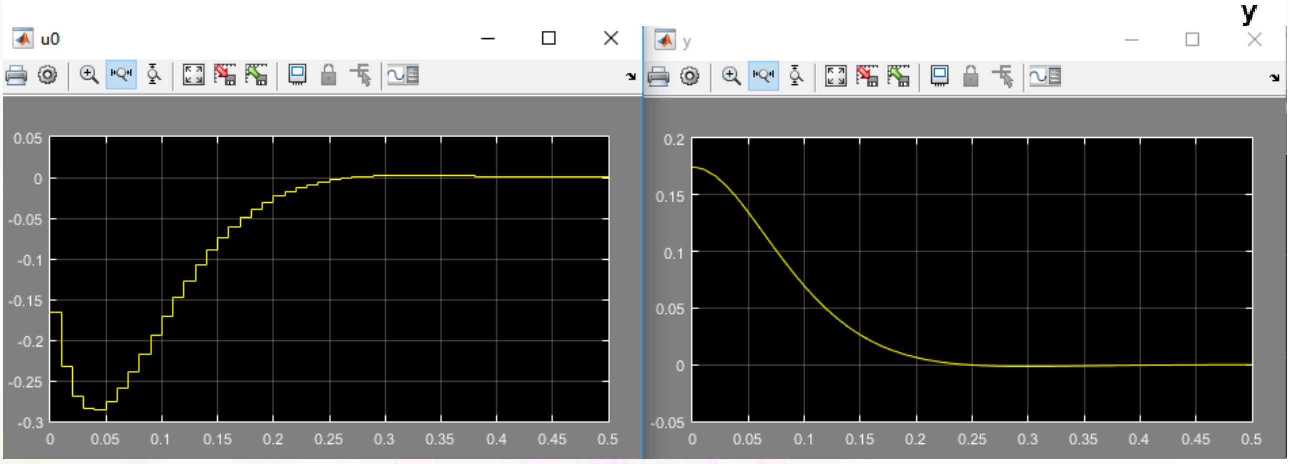
我这是采用第一种方式引进的指令信号。

【将欲跟踪的状态指令折合成相应的初始扰动差值】

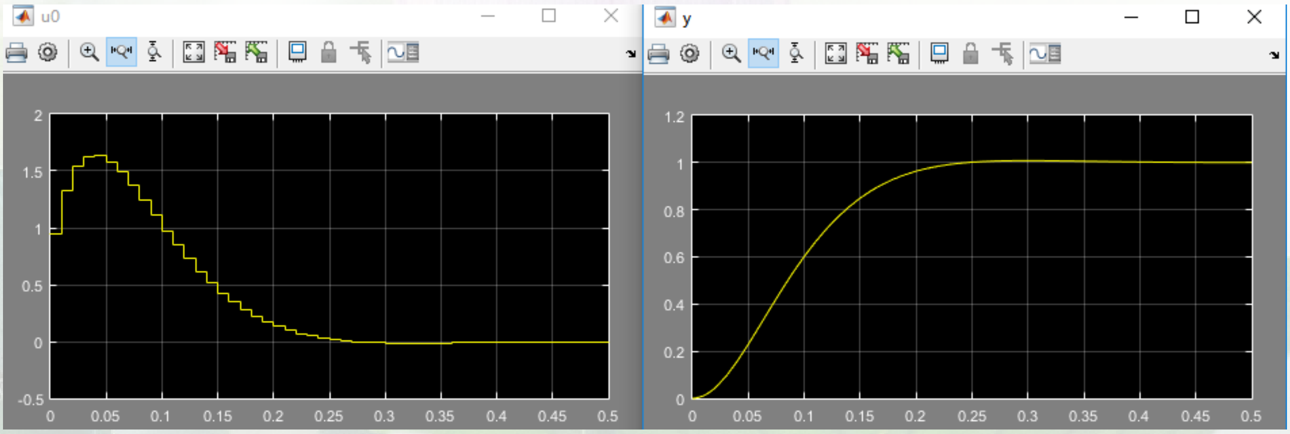
也可以采用第二种方式引进指令信号。

（被控对象：传递函数形式，不好设初值，所以采用状态方程形式）





指令 R=0，初始值 x1=10 ≌0.1746 rad



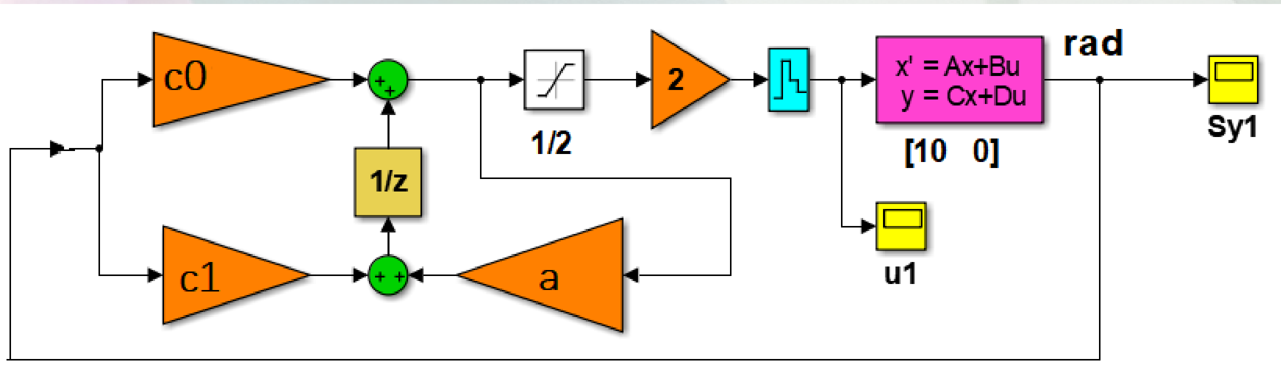
指令 R=1（rad），初始值 x1=0

图 5　没有考虑比例因子配置和传感器的理想控制器

结论：仿真效果尚可。

（2）考虑比例因子配置，不可以采用仿真结构图（图 6），初值设置不对，缺传感器。

过程时间比较长（控制一直饱和状态）。容易犯这个错误。



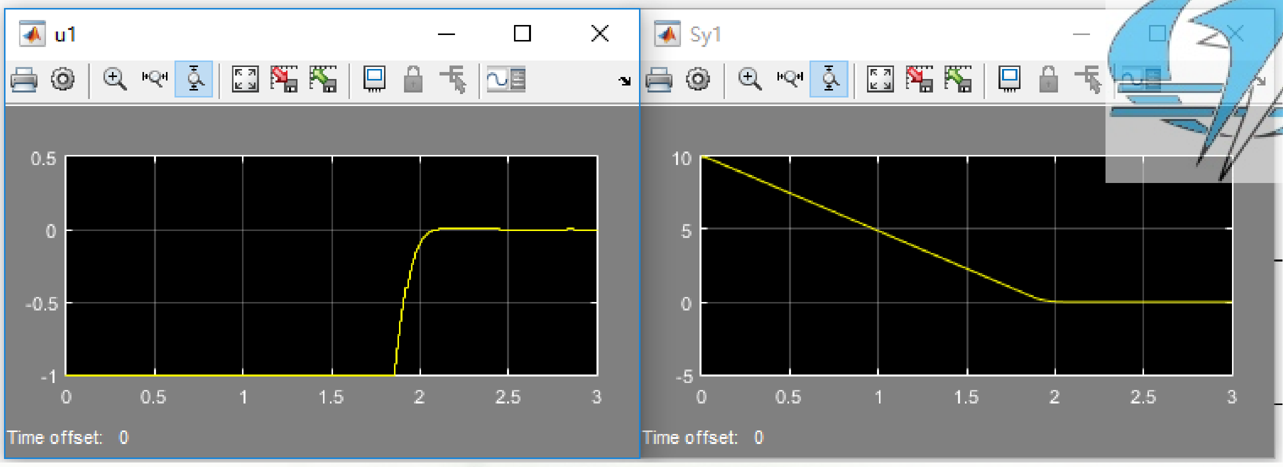


图 6 错误的仿真结构图

（3）若考虑比例因子配置，考虑传感器传递系数（k4），应该采用仿真结构图（图 7）。

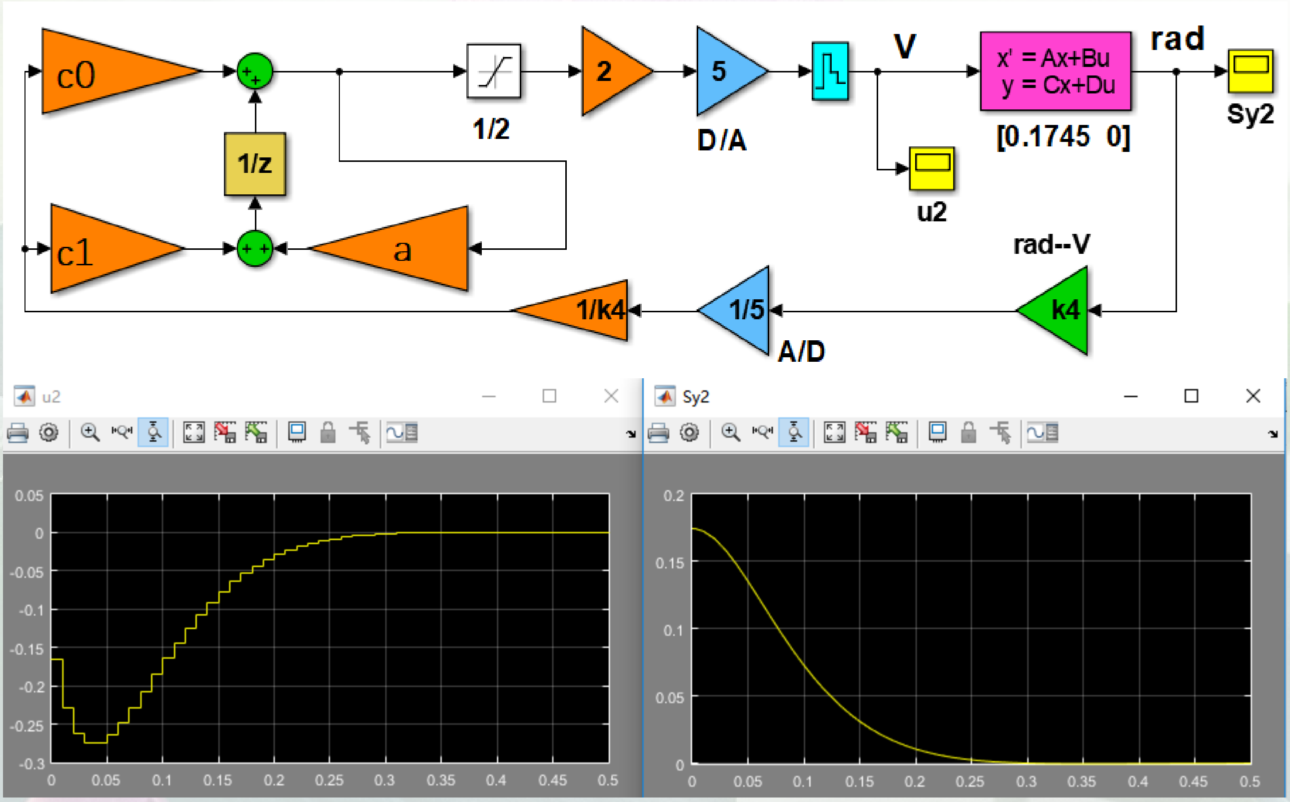


图 7 带物理概念的正确的仿真结构图

（4）更进一步，将死区非线性环节引入的调节器

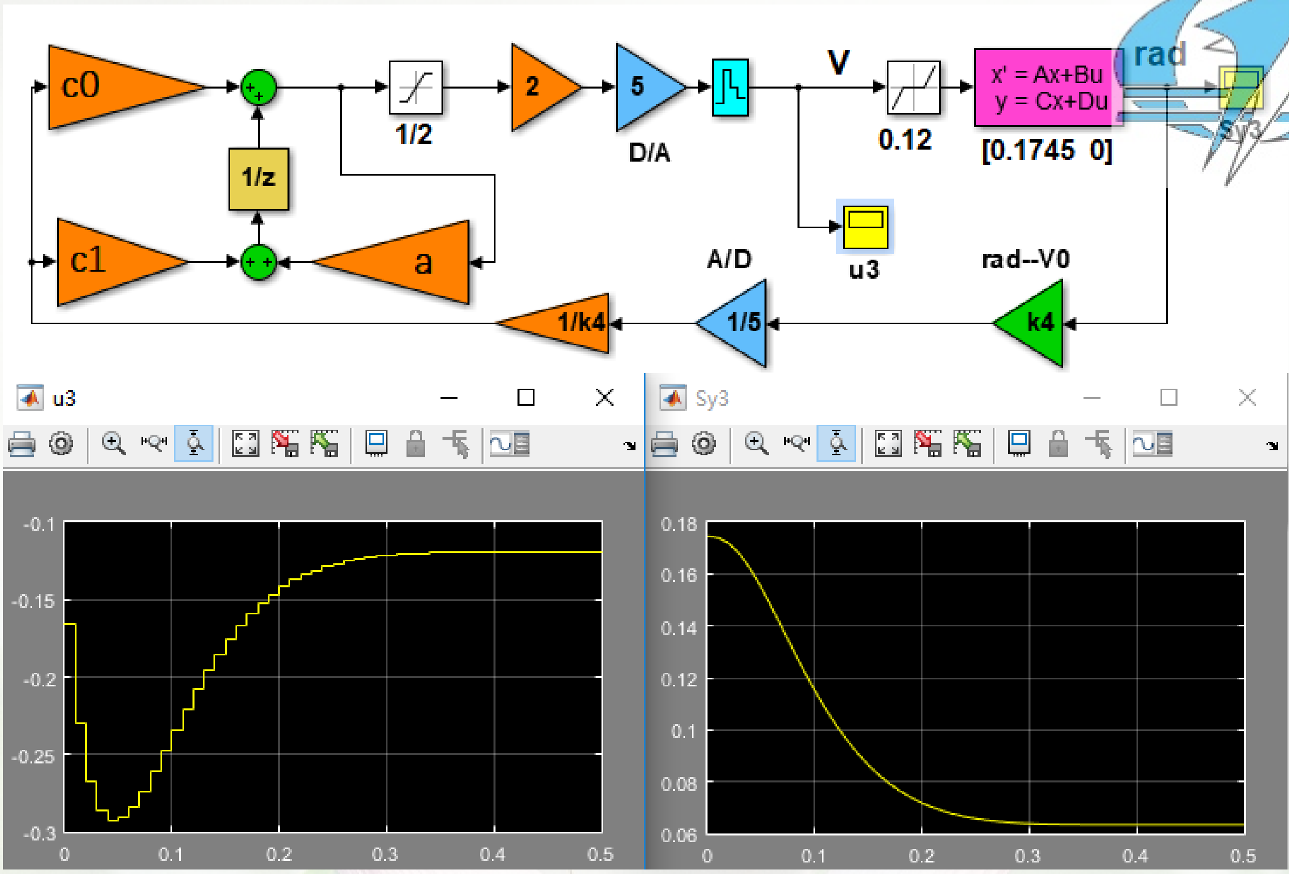


图 8 带物理概念、死区的仿真结构图

（5）将死区非线性环节引入的控制器

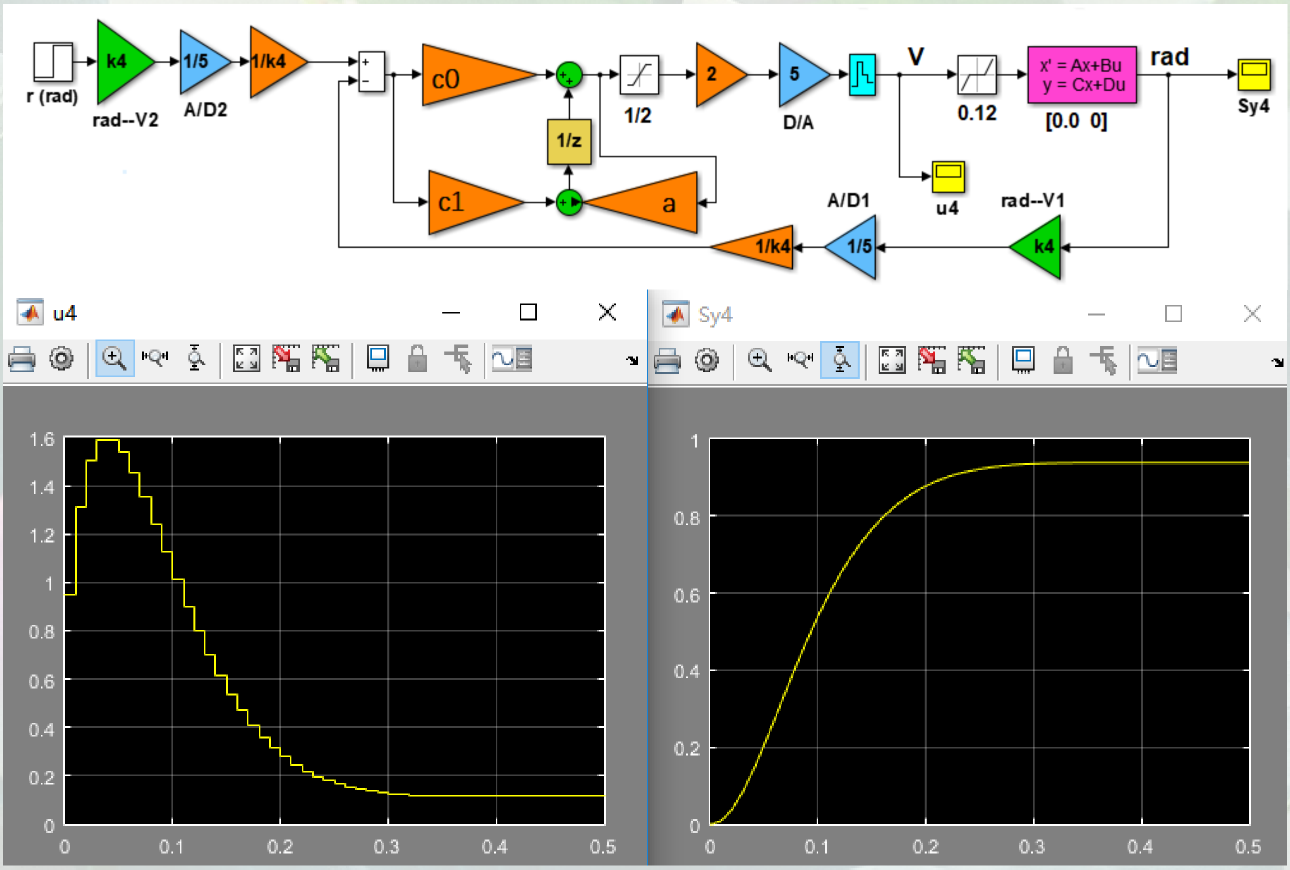
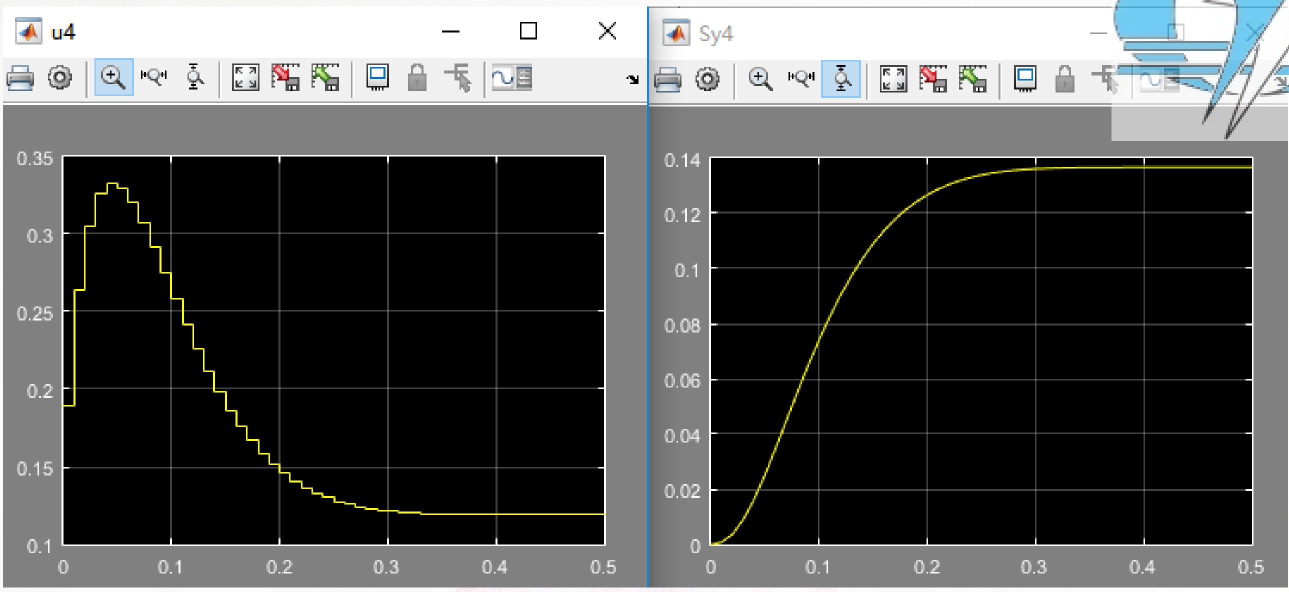
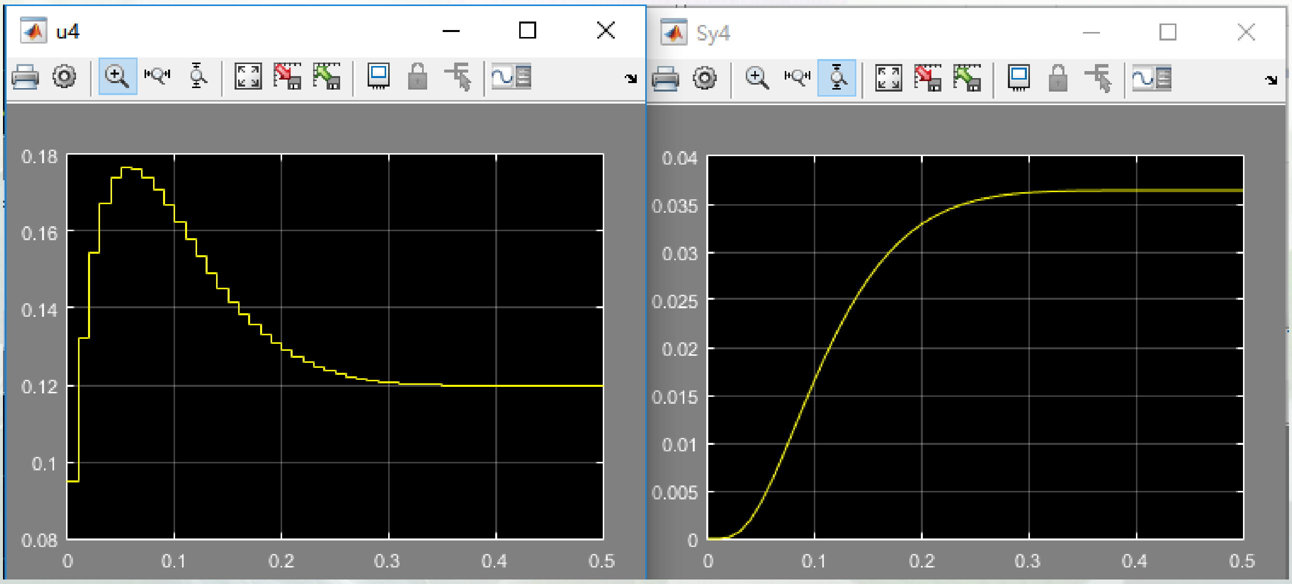


图 9，R=1，初始状态=0



指令信号 R=0.2



指令信号 R=0.1