



实验报告

课程名称： 计算机控制技术

学生姓名： 罗盛明

学生学号： 1100310218

所在专业： 计算机科学与技术

课程教师： 赵龙阳

2014-12

目 录

实验一、PID 调节器参数整定分析.....	1
实验二、连续系统 PID 控制器设计及其参数整定.....	3
实验三、数字增量 PID 控制器的设计.....	6
实验四、抗积分饱和的 PID 控制器仿真设计.....	10

实验一 PID 调节器参数整定分析

一、实验目的

编写 MATLAB 程序，用来实现 PID 调节器的功能，分析 K_p 、 K_d 、 K_i 三个参数对系统性能的影响。

二、实验步骤

1. 开机执行程序，用鼠标双击图标进入 MATLAB 命令窗口，设计程序。
2. 调试，检查错误，然后运行。
3. 观察系统对不同参数的相应曲线，分析其原因。

三、实验内容

已知控制对象的传递函数模型为 $\frac{10}{s^3 + 6s^2 + 11s + 6}$ ，按以下要求分析 K_p 、 K_d 、 K_i 三个参数对系统性能的影响。

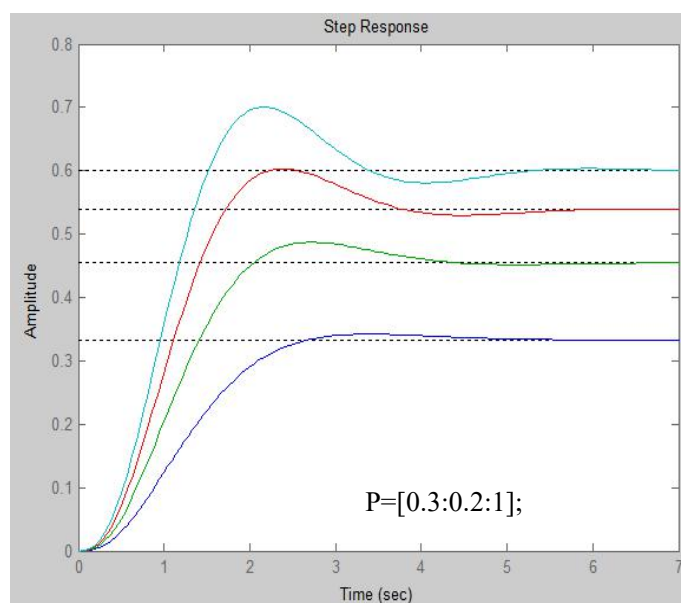
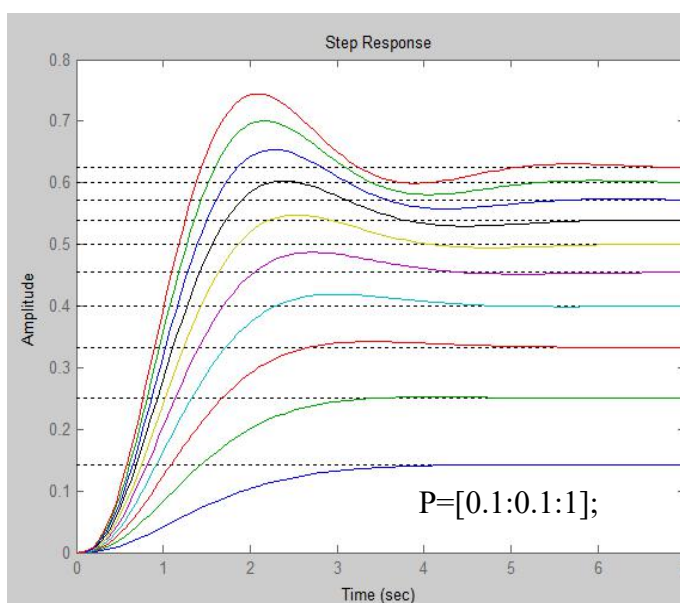
1. 比例（P）控制

比例控制对偏差起到即使反应的作用，即偏差一旦产生，控制器立即产生控制作用。

①程序：

```
G=tf(10,[1 6 11 6]);
P=[0.1:0.1:1]; %传递函数，Kp 变化范围
for i=1:length(P)
    G_c=feedback(P(i)*G,1); %系统反馈
    step(G_c),hold on
end
```

②仿真结果

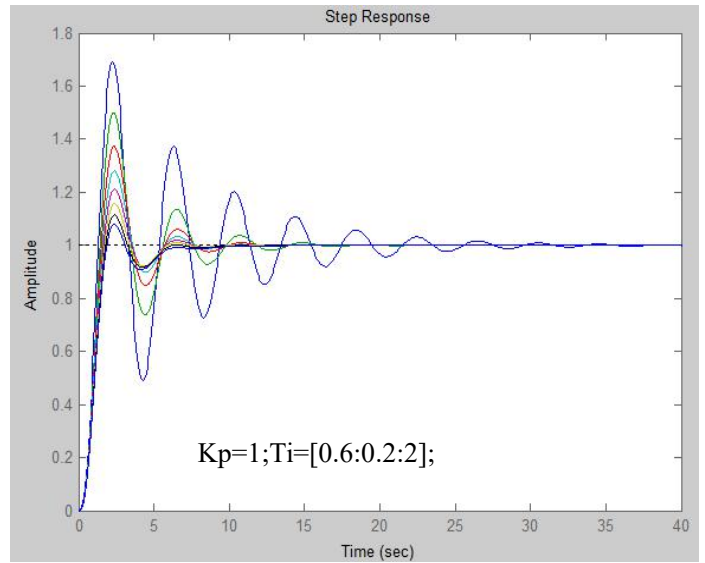
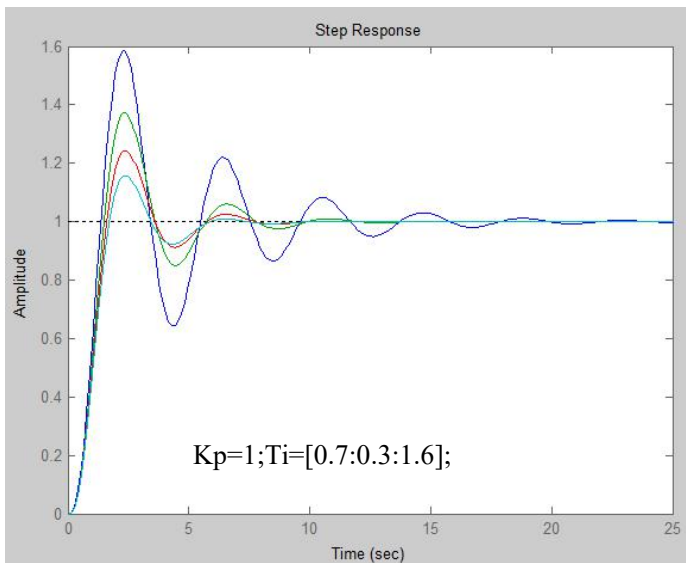


2、比例积分控制

①仿真程序

```
G=tf(10,[1 6 11 6]); %系统传递函数
Kp=1;Ti=[0.8:0.2:1.6]; %Kp一定，不同 Ti 的输入
for i=1:length(Ti)
    Gc=tf(Kp*[1,1/Ti(i)],[1,0]); %分别计算不同 Ti 的系统参数
    G_c=feedback(G*Gc,1);
    step(G_c),hold on %阶跃响应曲线
end
```

②仿真结果

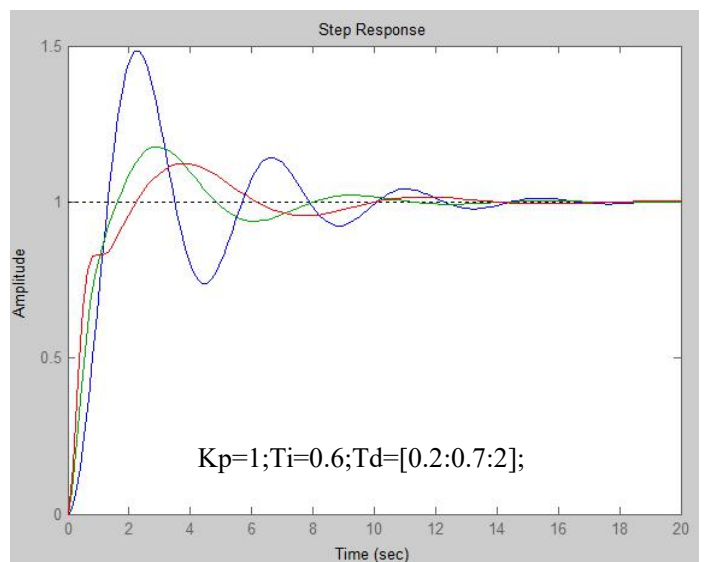
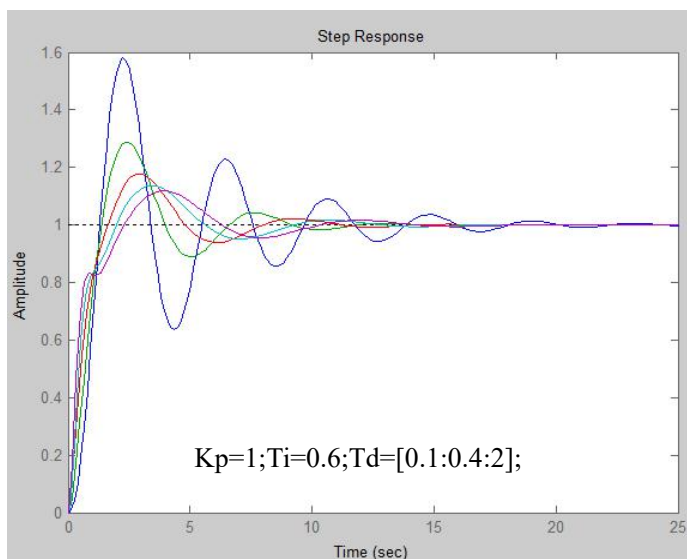


3、比例、积分、微分控制

①仿真程序

```
G=tf(10,[1 6 11 6]); %系统传递函数
Kp=1;Ti=0.6;Td=[0.1:0.5:2]; %Kp、Ti一定，不同 Td 的输入
for i=1:length(Td)
    Gc=tf(Kp*[Ti*Td(i),Ti,1]/Ti,[1,0]); %分别计算不同 Td 的系统参数
    G_c=feedback(G*Gc,1);
    step(G_c),hold on %阶跃响应曲线
end
```

②仿真结果



实验二连续系统 PID 控制器设计及其参数整定

一、实验目的

- (1) 掌握PID 控制规律及控制器实现。
- (2) 对给定系统合理地设计PID 控制器。
- (3) 掌握对给定控制系统进行PID 控制器参数在线实验工程整定的方法。

二、实验原理

在串联校正中，比例控制可提高系统开环增益，减小系统稳态误差，提高系统的控制精度，但会降低系统的相对稳定性，甚至可能造成系统闭环系统不稳定；积分控制可以提高系统的型别（无差度），有利于提高系统稳态性能，但积分控制增加了一个位于原点的开环极点。使信号产生 90° 的相位滞后，于系统的稳定不利，故不宜采用单一的积分控制器；微分控制规律能反映输入信号的变化趋势，产生有效的早期修正信号，以增加系统的阻尼程度，从而改善系统的稳定性，但微分控制增加了一个 $-1/\tau$ 的开环零点，使系统的相角裕度提高，因此有助于系统稳态性能的改善。

在串联校正中，PI 控制器增加了一个位于原点的开环极点，同时也增加了一个位于s左半平面的开环零点。位于原点的开环极点可以提高系统的型别（无差度），减小稳态误差，有利于提高系统稳态性能；负的开环零点可以减小系统的阻尼，缓和PI 极点对系统产生的不利影响。只要积分时间常数 T_i 足够大，PI 控制器对系统的不利影响可大为减小。PI控制器主要用来改善控制系统的稳态性能。

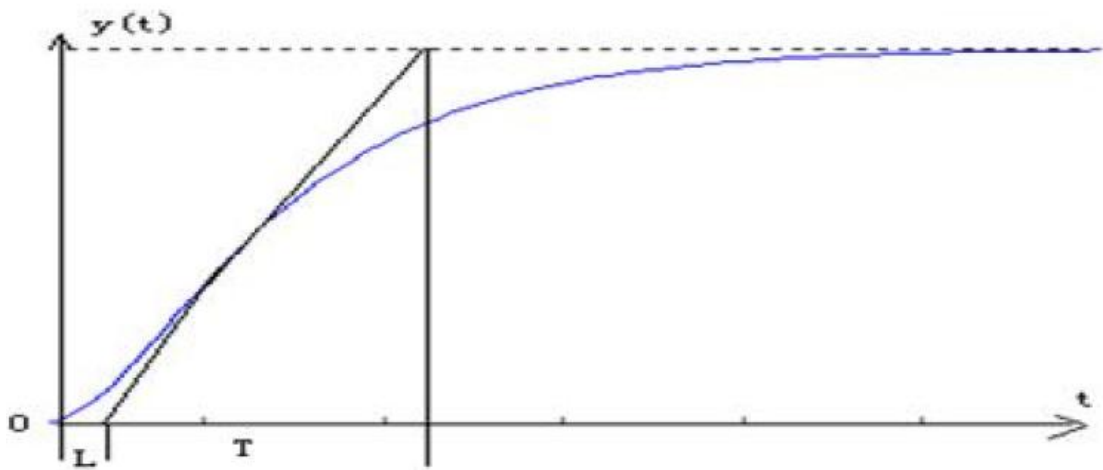
在串联校正中，PID 控制器增加了一个位于原点的开环极点，和两个位于s 左半平面的开环零点。除了具有PI 控制器的优点外，还多了一个负实零点，动态性能比PI 更具有优越性。通常应使积分发生在低频段，以提高系统的稳态性能，而使微分发生在中频段，以改善系统的动态性能。

PID 控制器传递函数为 $G_e(s) = K_p(1 + 1/T_i s + T_d s)$ ，注意工程PID 控制器仪表中比例参数整定常用比例度 $\delta\%$ ， $\delta\% = 1/K_p \times 100\%$ 。

三、实验内容

1、Ziegler-Nichols——反应曲线法

反应曲线法适用于对象传递函数可以近似为 $\frac{K}{Ts+1}e^{-Ls}$ 的场合。先测出系统处于开环状态下的对象动态特性(即先输入阶跃信号，测得控制对象输出的阶跃响应曲线)，如图1所示，然后根据动态特性估算出对象特性参数，控制对象的增益 K 、等效滞后时间 L 和等效时间常数 T ，然后根据表6-4 中的经验值选取控制器参数。



图

图1 控制对象开环动态特性

表1反应曲线法PID 控制器参数整定

控制器类型	比例度 $\delta\%$	比例系数 K_p	积分时间 T_i	微分时间 T_d
P	KL/T	T/KL	∞	0
PI	$1.1KL/T$	$0.9T/KL$	$L/0.3$	0
PID	$0.85KL/T$	$1.2T/KL$	$2L$	$0.5L$

2、题目要求

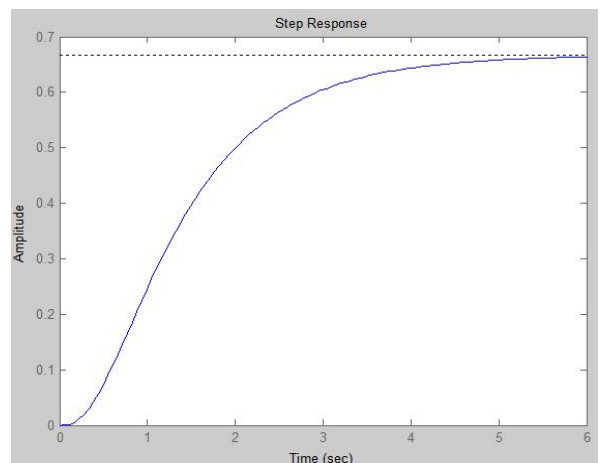
已知控制对象的传递函数模型为： $G(s) = \frac{10}{(s+1)(s+3)(s+5)}$ ，试设计PID 控制器校正，并用反应曲线法整定PID 控制器的 K_p 、 T_i 和 T_d ，绘制系统校正后的单位阶跃响应曲线，记录动态性能指标。

三、实验步骤

①求取被控制对象的动态特性参数 K 、 L 、 T 。

```
num=10;den=conv([1,1],conv([1,3],[1,5]));
G=tf(num,den);step(G);
k=dcgain(G)
```

程序运行后,得到对象的增益 $K=0.6667$,阶跃响应曲线如右图,在曲线的拐点处作切线后,



得到对象待定参数；

等效滞后时间 $L=0.293$

等效时间常数 $T=1.947$ 。

②反应曲线法PID参数整定

```
num=10;den=conv([1,1],conv([1,3],[1,5]));
```

```
k=0.6667;L=0.293;T=1.947;
```

```
G=tf(num,den);
```

```
Kp=1.2*T/(k*L);Ti=2*L;Td=0.5*L;
```

```
Kp,Ti,Td,
```

```
s=tf('s');
```

```
Gc=Kp*(1+1/(Ti*s)+Td*s);
```

```
GcG=feedback(Gc*G,1);step(GcG)
```

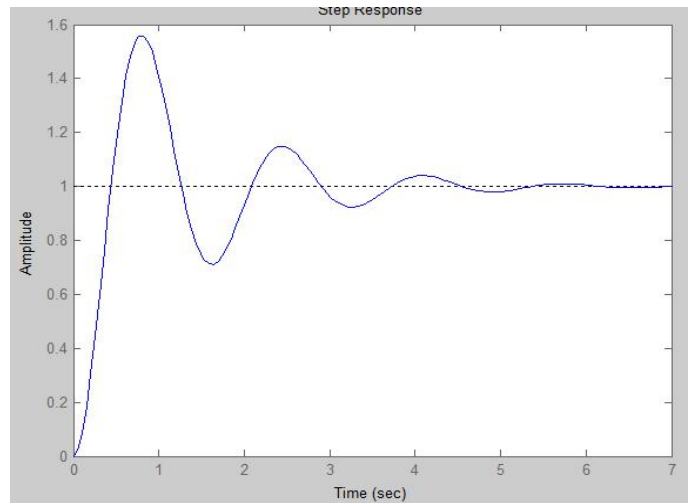
程序运行后,得到

```
Kp=11.9605
```

```
Ti=0.5860
```

```
Td=0.1465
```

校正后的单位阶跃响应曲线如上图所示。



③结论

经比较，PID控制要比其他两种稳定，快速性较好且没有静态误差。

实验三 数字增量 PID 控制器的设计

一、实验目的

1. 掌握数字增量 PID 的控制算法。

二、实验原理

连续PID控制一般使用图3-1种给出的控制系统结构，在实际控制中，PID控制器计算出来的控制信号还应该经过一个驱动器(actuator)后去控制受控对象。其中，连续PID控制器的最一般形式为

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (\text{式3-1})$$

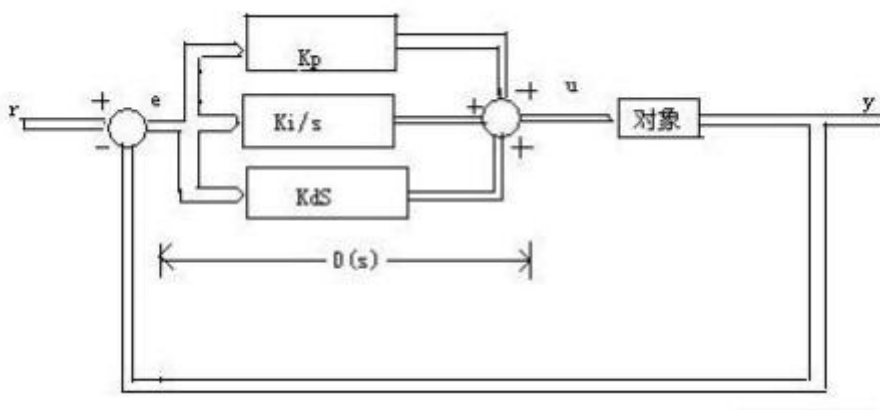


图3-1 连续PID控制器的结构框图

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T} \quad (\text{式3-2})_{\omega}$$

$$\int_0^k e(t) dt \approx T \sum_{i=0}^k e(iT) = \int_0^{(k-1)T} e(t) dt + Te(kT) \quad (\text{式3-3})_{\omega}$$

如果采用周期T 的值很小，在kT时刻误差信号e(kT)的倒数与积分就可以近似为（式3-2）（式3-3），将其带入式（3-1），则可以写出离散形式的PID 控制器为（式3-4）（式3-5）。

$$u(kT) = K_p e(kT) + K_i T \sum_{m=0}^k e(mT) + \frac{K_d}{T} (e(kT) - e[(k-1)T]) \quad (\text{式 3-4})$$

$$u_k = K_p e_k + K_i T \sum_{m=0}^k e_m + \frac{K_d}{T} (e_k - e_{k-1}) \quad (\text{式 3-5})$$

则离散PID 控制器的传递函数为（式3-6）

$$G_r(z) = K_p + \frac{K_i}{1-z^{-1}} + K_d(1-z^{-1}) \quad (\text{式 3-6})$$

该控制策略中积分部分没有采用累加的形式，而是由前一个时刻的值叠加而成。计算 $u_k - u_{k-1}$ ，可以得出数字增量式PID 控制器的表达式（式3-7）：

$$u_k - u_{k-1} = K_p (e_k - e_{k-1}) + K_i T e_k + K_d (e_{k+1} + e_{k-1} - 2e_k) = \Delta u_k \quad (\text{式 3-7})$$

这时控制器的输出信号可以由计算出来，因为新的控制器输出是由其上一部的输出加上一个增量构成，所以这类控制器又成为增量式PID 控制器。

参数整定用试凑法：

增大比例系数 K_p ，一般将加快系统的响应，在有静差的情况下有利于减小静差。但过大的比例系数会使系统有较大的超调，并产生振荡，使稳定性变坏；

增大积分时间 T_i ，有利于减小超调，减小振荡，使系统更加稳定，但系统静差的消除将随之减慢；

增大微分时间 T_d ，亦有利于加快系统响应，使超调量减小，稳定性增加，但系统对抗扰动的预制能力减弱，对抗动有较敏感的反应；另外，过大的微分系数也将使系统的稳定性变坏。

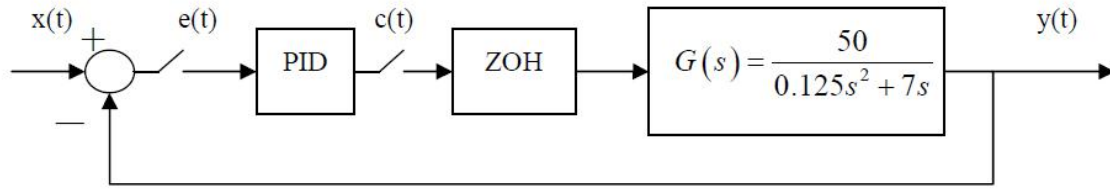
三、实验内容

设某步进电机控制系统传递函数为：，系统的输入为单位阶跃信号，对步进电机进行位置控制。设系统的采样时间 $T=1s$ ，设计PID 控制器如下： $K_p=10$ ， $T_i=10$ ， $T_D=15$ 。

试比较增量法PID和传统PID两种方法对该控制系统进行仿真分析其控制结果，要求得出两种控制方法的响应曲线

四、实验步骤

①计算



(1) 根据增量式PID 算法:

$$\Delta c(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1)$$

即:
$$\Delta c(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + \frac{K_p T}{T_i} e(k) + \frac{K_p T_d}{T}[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (2)$$

所以可以整理得:

$$\Delta c(k) = A \cdot e(k) + B \cdot e(k-1) + C \cdot e(k-2) \quad (3)$$

其中:
$$A = K_p + \frac{K_p T}{T_i} + \frac{K_p T_d}{T}, \quad B = K_p + 2 \frac{K_p T_d}{T}, \quad C = \frac{K_p T_d}{T}$$

$$c(k) = c(k-1) + \Delta c(k) \quad (3)$$

(2) 根据

$$\frac{Y(z)}{C(z)} = \frac{0.01647z + 0.01389}{z^2 - 1.571z + 0.5712} \quad (4)$$

对角相乘得到:

$$C(z)(0.01647Z + 0.01389) = Y(z)(Z^2 - 1.571Z + 0.5712) \quad (5)$$

$$C(z)(0.01647Z^{-1} + 0.01389Z^{-2}) = Y(z)(1 - 1.571Z^{-1} + 0.5712Z^{-2}) \quad (6)$$

$$Y(z) = 1 - 1.571 Z^{-1} C(z) + 0.5712 Z^{-2} C(z) + 0.01647 Z^{-1} + 0.01389 Z^{-2} \quad (7)$$

即:
$$Y(k) = 1 - 1.571C(k-1) + 0.5712C(k-2) + 0.01647Y(k-1) + 0.01389Y(k-2) \quad (8)$$

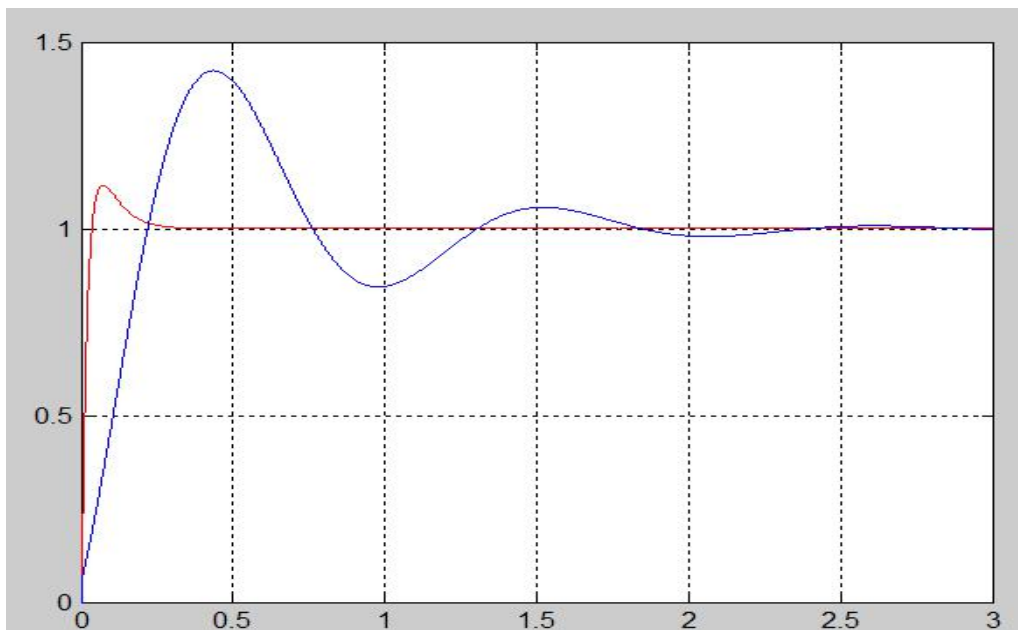
② 仿真程序

```

clear all;
close all;
%增量式 PID 控制
ts=0.001;%采样时间
G=tf(50,[0.125,7, 0])
Gd=c2d(G,ts,'z');%Z 变换
[num,den]=tfdata(Gd,'v')
c_1=0;c_2=0;
y_1=0;y_2=0;
e_1=0;e_2=0;
kp=10;Ti=0.1;Td=0.015;
ki=kp*ts/Ti
kd=kp*Td/ts
A=kp*(1+ts/Ti+Td/ts);
B=-kp*(1+2*Td/ts);
C=kp*Td/ts;
for k=1:1:3000
t(k)=k*ts;
r(k)=1;
y(k)=-den(2)*y_1-den(3)*y_2+num(2)*
c_1+num(3)*c_2;
e(k)=r(k)-y(k);
x(1)=e(k);
x(2)=x(2)+e(k);
x(3)=e(k)-e_1;
c(k)=kp*x(1)+ki*x(2)+kd*x(3);
c_1=c(k);c_2=c_1;
y_1=y(k);y_2=y_1;
e_2=e_1;e_1=e(k);
end
figure(1);
plot(t,y,'r');
grid on;
figure(2)
plot(t,y,'r');
hold on;
grid on;
%传统 PID 控制
c_1=0;c_2=0;
y_1=0;y_2=0;
e_1=0;
x=[0,0,0]';
for k=1:1:3000
t(k)=k*ts;
r(k)=1;
y(k)=-den(2)*y_1-den(3)*y_2+num(2)*
c_1+num(3)*c_2;
e(k)=r(k)-y(k);
x(1)=e(k);
x(2)=x(2)+e(k);
x(3)=e(k)-e_1;
c(k)=kp*x(1)+ki*x(2)+kd*x(3);
c_1=c(k);c_2=c_1;
y_1=y(k);y_2=y_1;
e_1=e(k);
end
plot(t,y,'b');

```

③ 仿真结果



实验四 抗积分饱和的 PID 控制器仿真设计

一、实验目的

1. 掌握抗积分饱和控制算法。

二、实验原理

积分饱和现象是在系统存在一个方向的偏差，PID控制器的输出由于积分作用的不断加大而加大，从而导致执行器达到极限位置，如果控制器的输出继续增大，阀门开度却不能再增大，此时计算机输出超出了执行器正常操作的范围而进入了饱和区。一旦系统出现反方向的偏差，控制器的输出逐渐退出饱和区，但若进入的饱和区很长，那么退出饱和区的时间也就很长，在饱和区这段时间执行器仍停留在极限位置而不能随偏差的反向立即做出相应的改变，就好像系统失去了控制一样，造成控制性能恶化，这就是积分饱和。

作为防止积分饱和方法之一就是抗积分饱和法。思路是在计算 $U(k)$ 时，首先判断上一时刻控制器的输出量 $U(k-1)$ 是否已经超出限制范围。

若 $U(k-1) \geq U_{\max}$ ，则只累加负偏差，正偏差则去掉积分作用；

若 $U(k-1) \leq -U_{\max}$ ，则只累加正偏差，负偏差则去掉积分作用。

积分饱和和积分分离是两个不同的概念，从他们的原理可知，积分分离是偏差来决定是否加入积分作用；而积分饱和则是由前一控制器的输出值和当前的偏差值的情况共同决定是否加积分作用。

三、实验内容

设被控对象传递函数为：，设计其抗积分饱和PID 控制器。

四、实验步骤

①仿真程序

```
%*****PID Controler with intergration sturation*****
clear all;
close all;
ts=0.001;
sys=tf(5.235e005,[1,87.35,1.047e004,0]);
dsys=c2d(sys,ts,'z');
[num,den]=tfdata(dsys,'v');

u_1=0.0;u_2=0.0;u_3=0.0;
y_1=0;y_2=0;y_3=0;
x=[0,0,0]';

error_1=0;

um=6;
kp=0.85;ki=9.0;kd=0.0;
rin=30; % Step Signal
```

```

for k=1:1:800
time(k)=k*ts;

u(k)=kp*x(1)+kd*x(2)+ki*x(3);%PID Controller

if u(k)>=um
    u(k)=um;
end

if u(k)<=-um
    u(k)=-um;
end

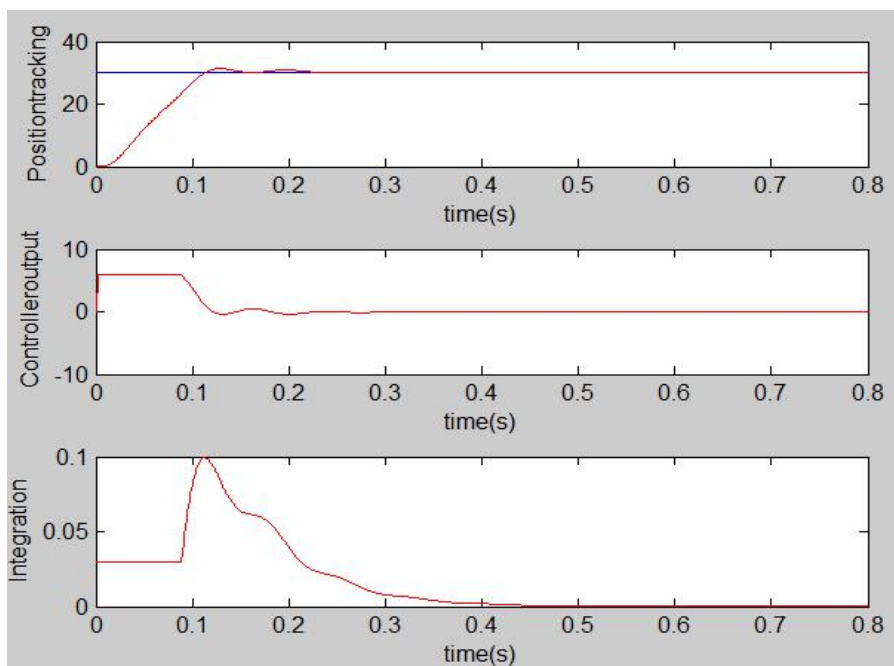
%Linearmodel
yout(k)=-den(2)*y_1-den(3)*y_2-den(4)*y_3+num(2)*u_1+num(3)*u_2+num(4)*u_3;

error(k)=rin-yout(k);

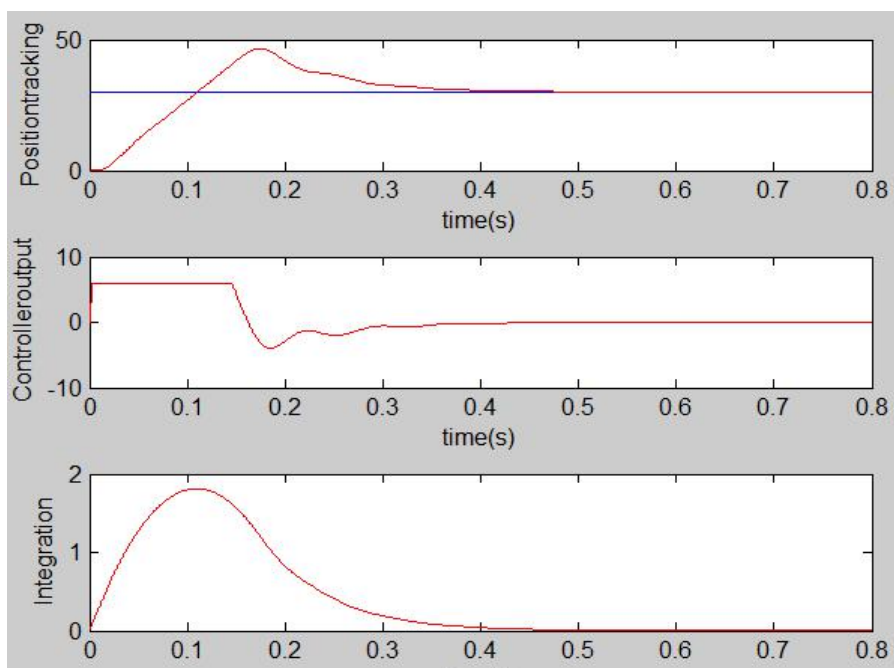
M=1;%*****在此改变 M 的值
if M==1 %Using intergration sturation
    if u(k)>=um
        if error(k)>0 %前一时刻 PID 输出值超出控制器的最大限度，而当前的偏差为
            alpha=0; %正，说明被控量未达到设定值,防止积分饱和故去掉积分作用.
        else
            alpha=1; %前一时刻 PID 输出值超出控制器的最大限度，而当前的偏差为
        end %负，说明被控量超出设定值，应该较小控制器的输出，则加上积
            %分作用
        elseif u(k)<=-um
            if error(k)>0 %这是历史 PID 输出值超出控制器的最小限度，
                alpha=1; %一定要区分是前一时刻的 PID 输出值和当前的偏差情况共同
            else %判断是否加分作用
                alpha=0;
            end
        else
            alpha=1;
        end
    elseif M==2 %Not using intergration sturation
        alpha=1;
    end
    %*****Return of PID parameters*****
    u_3=u_2;u_2=u_1;u_1=u(k);
    y_3=y_2;y_2=y_1;y_1=yout(k);
    error_1=error(k);
    x(1)=error(k); %Calculating P
    x(2)=(error(k)-error_1)/ts; %Calculating D
    x(3)=x(3)+alpha*error(k)*ts; %Calculating I
    xi(k)=x(3);
end
figure(1);
subplot(311);
plot(time,rin,'b',time,yout,'r');
xlabel('time(s)');ylabel('Positiontracking');
subplot(312);
plot(time,u,'r');
xlabel('time(s)');ylabel('Controlleroutput');
subplot(313);
plot(time,xi,'r');
xlabel('time(s)');ylabel('Integration');

```

② 仿真结果



M=1 时即无抗
积分饱和



M=2 时即无
抗积分饱和

③ 仿真分析

由上图比较得到，加抗积分饱和后超调量明显减小，而且系统能较快的达到稳定值，系统的稳定性和精确性得到改善。