

11 月 29 日作业

一、作业要求

从自动控制原理角度出发，分析当系统加入比例、积分、微分参数是如何影响系统的零极点分布、波特图的变化，并分析如何影响系统的时域特性和频域特性。

二、题目

已知系统的开环传递函数为 $G(s) = \frac{5(s+2)}{s(s+1)(s+10)}$

- (1) 使用 MATLAB 作系统的零极点分布图和波特图。
- (2) 分别加入 P、PI、PD、PID 参数，分析系统的时域特性和频域特性。

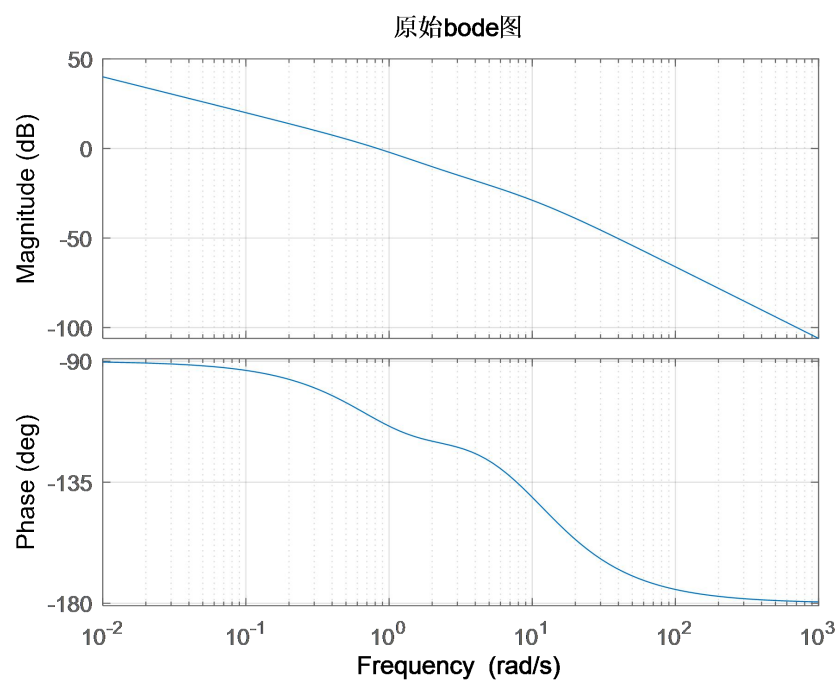
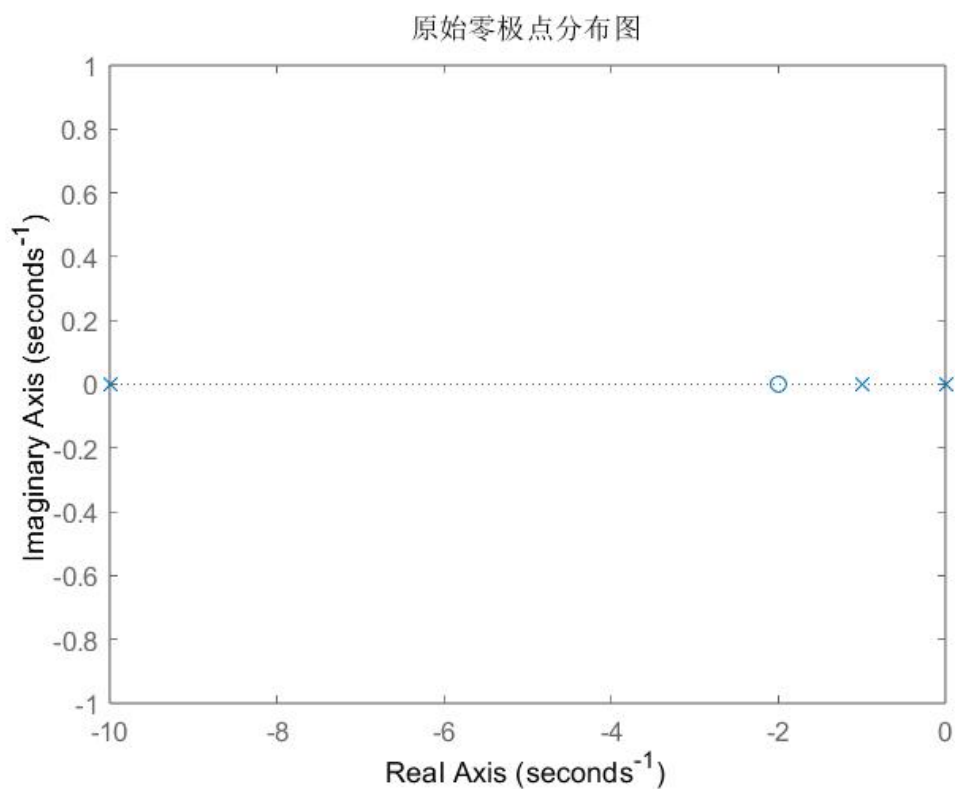
三、实验过程

3.1 绘制原系统的零极点分布图和波特图

实验代码如下：

```
figure(1);  
z=[-2];p=[0,-1,-10];k=5;  
G1=zpk(z,p,k)  
w=logspace(-2,3,100);  
bode(G1,w);  
grid on;  
  
title('原始 bode 图')  
  
figure(2);  
pzmap(G1);  
  
title('原始零极点分布图')
```

原系统的零极点分布图和波特图如图 3-1 和图 3-2 所示。



3.2 P 参数对系统的影响

3.2.1 P 参数对系统的零极点分布、波特图的变化以及频率特性的影响

实验代码如下：

%P 调节

```
Kp=[0.5,2,5,10,50,100,1000];
```

```
for m = 1:7
```

```
    Gp = feedback(Kp(m)*G2,1);           %feedback(G,H),
```

(G,H 需事先设定)

```
    figure(3);
```

%其中 G 是传递函数, H

为反馈函数, 表示一个控制系统 G, 对其进行负反馈 H(要求正反馈用-H)。

这里前面写上比例环节与系统的串联, 后面的 1 表示负反馈

```
    bode(Gp,w);
```

```
    hold on;
```

```
    legend('0.5','2','5','10','50','100','1000');
```

```
end
```

```
for m = 1:7
```

```
    Gp = feedback(Kp(m)*G2,1);
```

```
    figure(4);
```

```
    pzmap(Gp);
```

```
    hold on;
```

```
    legend('0.5','2','5','10','50','100','1000');
```

```
end
```

系统的零极点分布图和波特图如图 3-3 和图 3-4 所示。

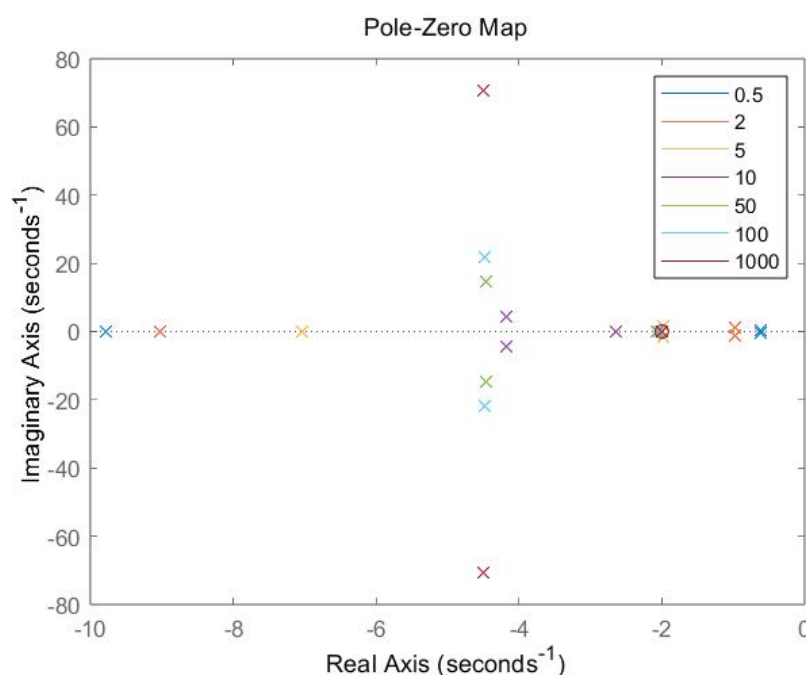


图 3-3 加入 P 参数后系统的零极点分布图

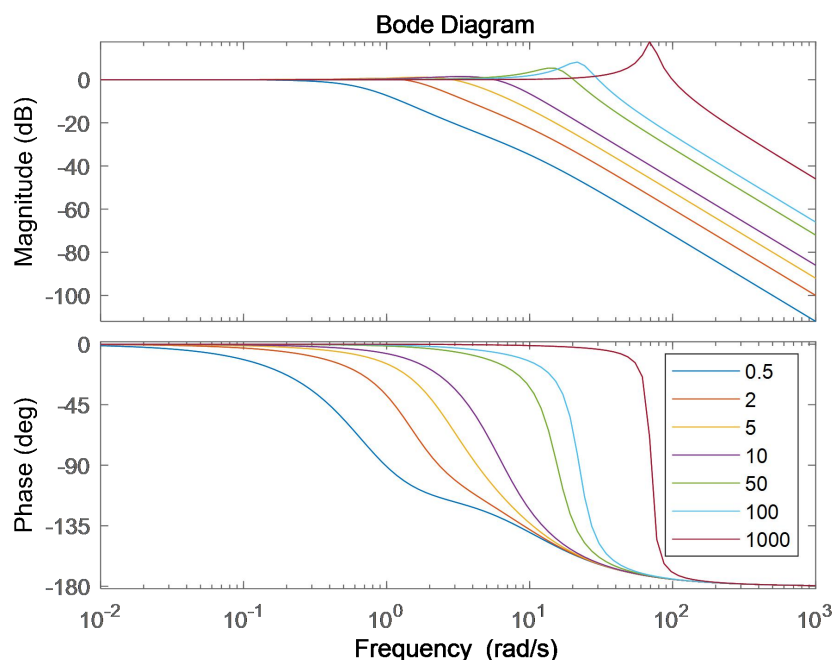


图 3-3 加入 P 参数后系统的 Bode 图

由零极点分布图可知，P 参数主要影响系统的零点位置。增大 P 参数会使系统的零点向复平面的右侧移动，这意味着系统的动态响应会加快，但当 P 参数过大时，也会导致系统变得不稳定。

由 Bode 图可知，P 参数的变化会影响 Bode 图的形状，在低频段，增大 P 参数会提高系统的增益，使系统对低频信号的跟踪能力增强；然而，在高频段，过大的 P 参数可能导致 Bode 图出现峰值，使系统性能恶化，甚至引发振荡。另外，增大 P 参数会使 Bode 图的斜率增加，这意味着系统的增益增加，相位角提前。

P 参数对系统的频率特性也有显著影响。增大 P 参数会提高系统的低频增益，使系统对低频信号的跟踪能力增强。然而，过大的 P 参数可能导致系统在高频段的性能恶化，甚至出现振荡和不稳定现象。减小 P 参数会降低系统的低频增益，但可以提高系统的稳定性和抗高频干扰能力。

3.2.2 P 参数对系统时域特性的影响

在 Simulink 中搭建图 3-4 的模型，原系统的阶跃响应曲线如图 3-5 所示。

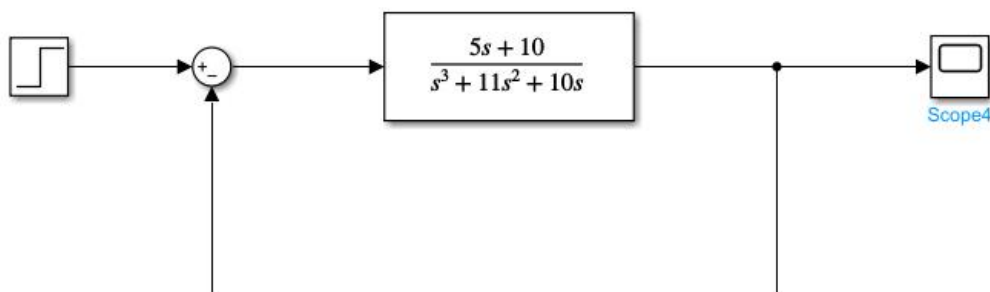


图 3-5 模型搭建

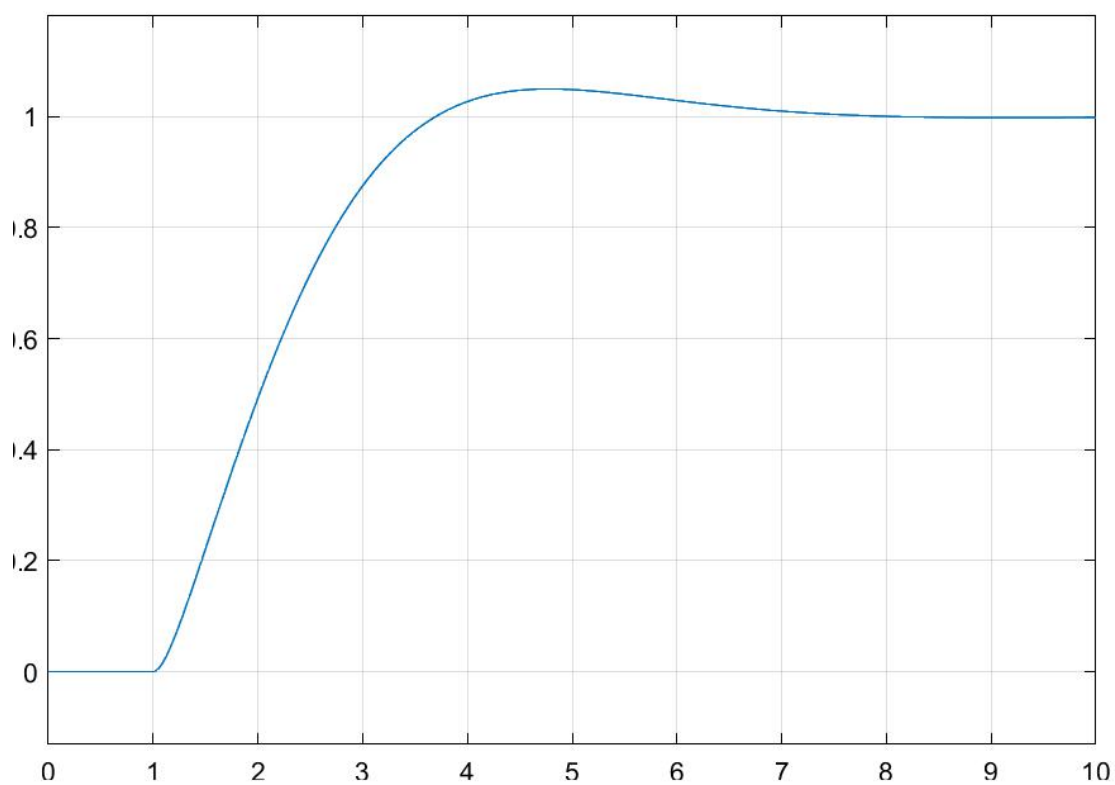


图 3-6 原系统的阶跃响应曲线

加入参数 P 后，在 Simulink 中搭建图 3-7 的模型，阶跃响应曲线如图 3-8 所示。

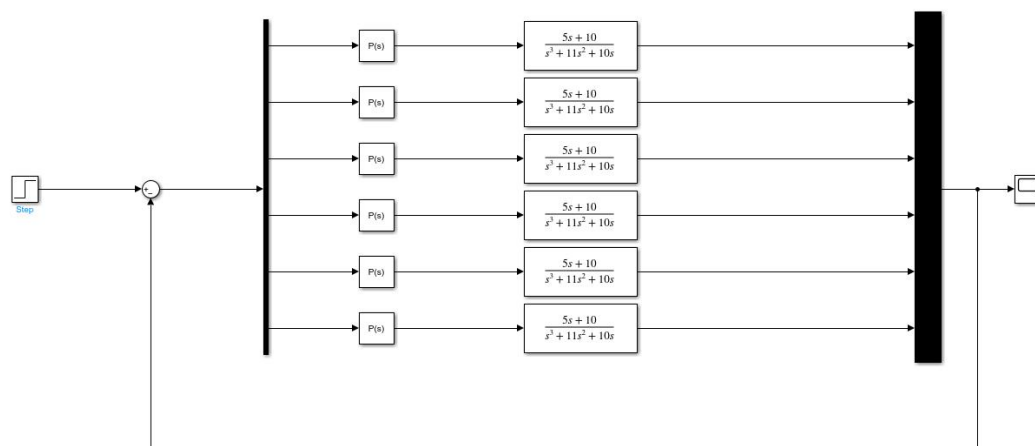


图 3-7 搭建的模型

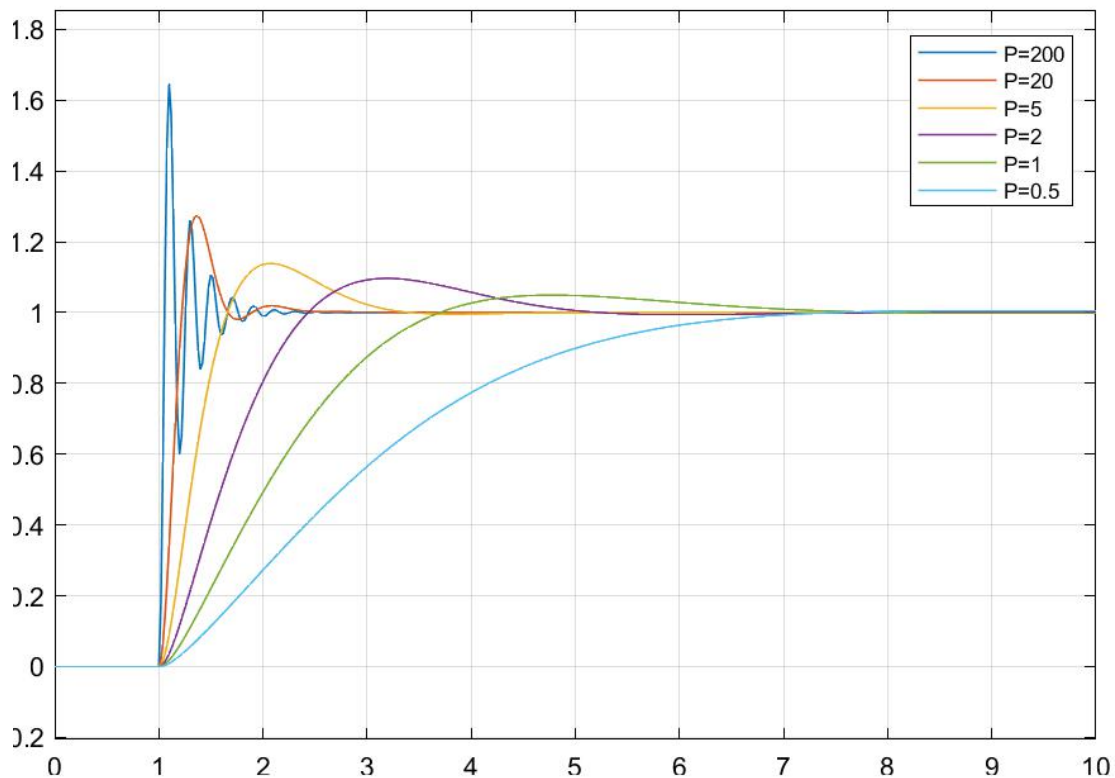


图 3-8 加入不同 P 参数的阶跃响应曲线

由结果可知，增大 P 参数可以加快系统的响应速度。在阶跃输入下，增大 P 参数会使系统的输出更快地达到设定值，减小稳态误差。此外 P 参数的取值会影响系统的稳定性，过大的 P 参数可能导致系统在运行过程中产生振荡，使系统稳定性变差。

3.3 PI 参数对系统的影响

3.3.1 PI 参数对系统的零极点分布、波特图的变化以及频率特性的影响

实验代码如下：

`%PI 调节`

`Kp = 2;`

`Ti = [0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10];`

`for m = 1:6`

`G4 = tf([Kp, Kp/Ti(m)], [1, 0]);`

`%这里是`

`(Kp*s+Kp/Ti)/s`

`Gpi = feedback(G4*G2, 1);`

`figure(7);`

`bode(Gpi, w);`

`hold on;`

`legend('0.1', '0.5', '1', '2', '5', '10');`

`end`

`for m = 1:6`

`G4 = tf([Kp, Kp/Ti(m)], [1, 0]);`

`%这里是`

```

(Kp*s+Kp/Ti)/s
    Gpi = feedback(G2*G4,1);
    figure(8);
    pzmap(Gpi);
    hold on;
    legend('0.1','0.5','1','2','5','10');
end

```

系统的零极点分布图和波特图如图 3-9 和图 3-10 所示。

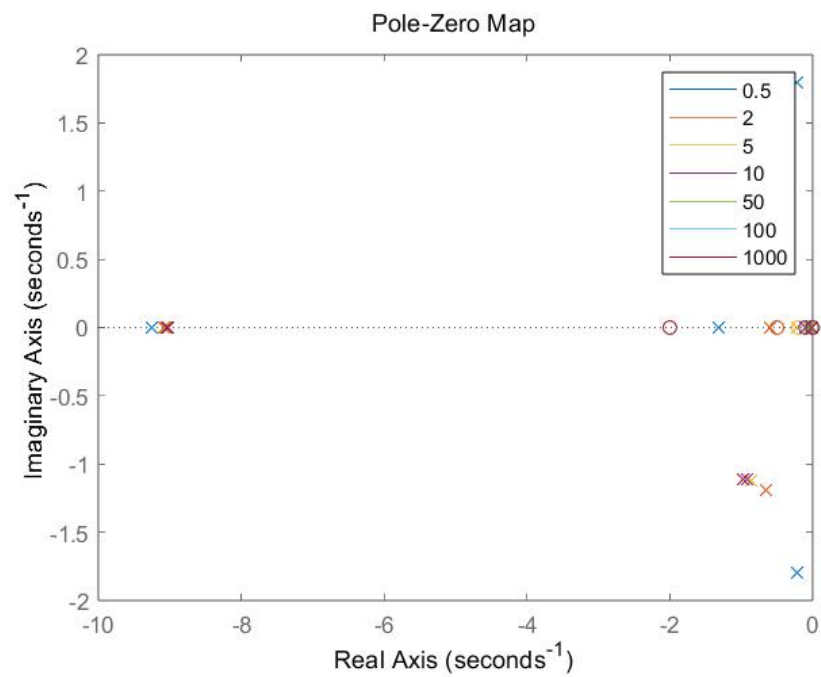


图 3-9 加入 PI 参数后系统的零极点分布图

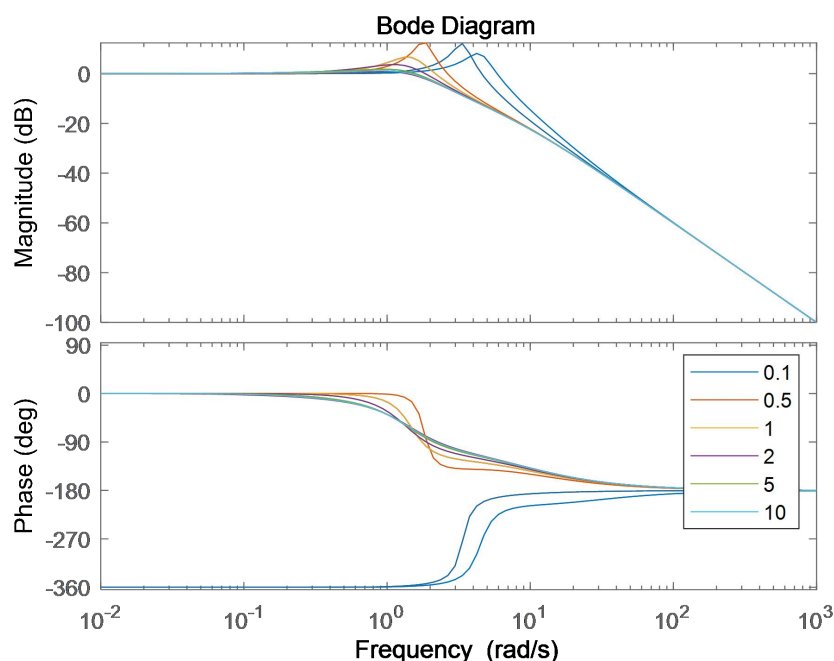


图 3-10 加入 PI 参数后系统的 Bode 图

PI 控制器是一种滞后校正装置，一个具有位于 $s=-1/T_i$ 的零点和位于 $s=0$ 的极点，因此 PI 控制器特点是在零频率处有无穷大增益，这改善了系统的稳态特性，但是引入积分会使系统型别增加，从而使被校正系统的稳定性降低，甚至失稳；必须适当地选取 K_p 和 T_i 的值，使得系统有合适的瞬态响应。

3.3.2 PI 参数对系统时域特性的影响

加入参数 PI 后，在 Simulink 中搭建图 3-11 的模型，阶跃响应曲线如图 3-12 所示。

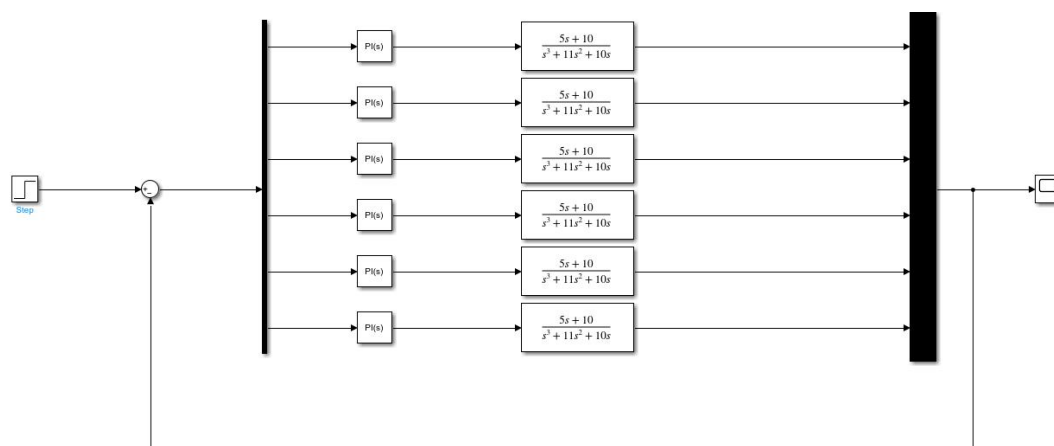


图 3-11 搭建的模型

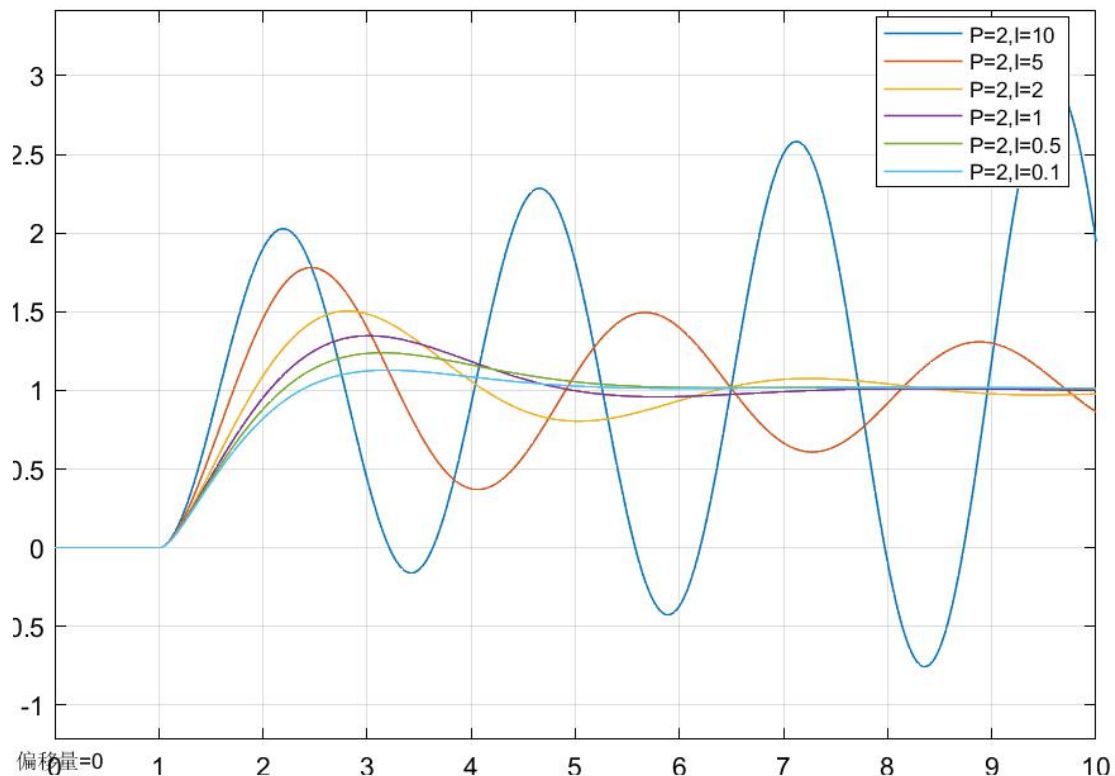


图 3-12 加入不同 PI 参数的阶跃响应曲线

加入积分控制后，消除了系统稳态误差。因为偏差出现时，比例作用迅速反应输入的变化，积分作用使输出逐渐增加，最终消除稳态误差，可以达到比较好的控制效果。TI 越大，积分作用越弱，可以有效降低超调量，提高稳定性。TI 减小，积分作用增强，系统振荡加剧，达到稳态的过渡时间也逐渐加长。

3.4 PD 参数对系统的影响

3.4.1 PD 参数对系统的零极点分布、波特图的变化以及频率特性的影响

实验代码如下：

```
Kp=5;
Td=[0.05,0.1,0.5,1,2,5,20];
for m = 1:7

    G3 = tf([Kp*Td(m),Kp],[0,1]); %这个地方要注意

    %意 (Kp*Td(m)*S+Kp)/1=Kp(1+TdS)

    Gpd = feedback(G3*G2,1);
    figure(5);

    bode(Gpd,w); %求阶跃响应，可以用形如

    step(feedback(G,H))
    hold on;
    legend('0.05','0.1','0.5','1','2','5','20');
end
for m = 1:7
```

```

G3 = tf([Kp*Td(m), Kp], [0, 1]); %这个地方要注意
意 (Kp*Td(m)*S+Kp)/1=Kp(1+TdS)
Gpd = feedback(G3*G2, 1);
figure(6);

pzmap(Gpd); %求阶跃响应，可以用形如
step(feedback(G, H))
hold on;
legend('0.05', '0.1', '0.5', '1', '2', '5', '20');
end

```

系统的零极点分布图和波特图如图 3-13 和图 3-14 所示。

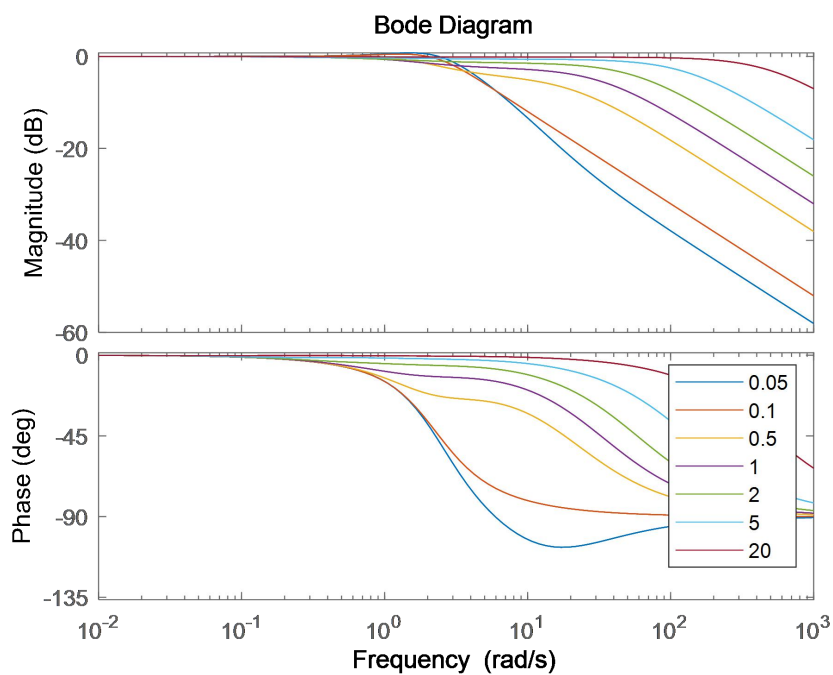


图 3-13 加入 PD 参数后系统的零极点分布图

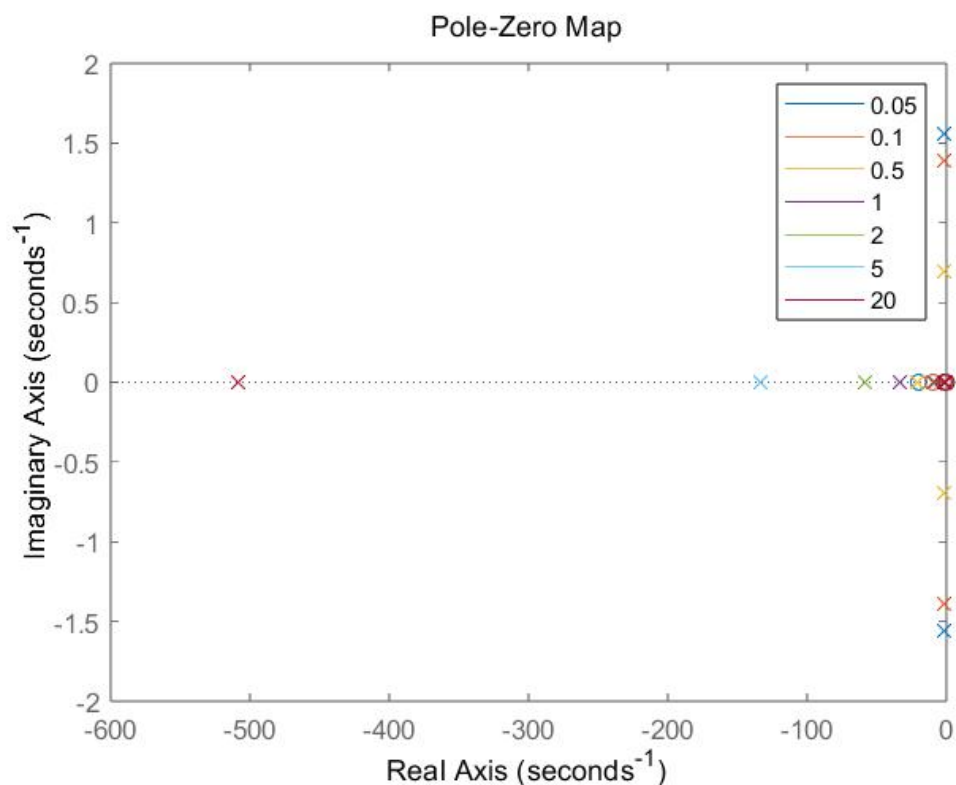


图 3-14 加入 PD 参数后系统的 Bode 图

由零极点分布图可知，PD 控制器的引入会增加一个开环零点，配合合理的微分作用可以与被控对象的极点相消，使系统降阶，有利于改善系统的控制品质。

由 Bode 图可知，PD 可以看作是简化版的超前校正。由于引入了微分，会有超前控制作用，提高了系统的稳定裕度和相角裕度，能使系统的稳定性增加，加快了控制过程，改善了控制质量。

3.4.2 PD 参数对系统时域特性的影响

加入参数 PD 后，在 Simulink 中搭建图 3-15 的模型，阶跃响应曲线如图 3-16 所示。

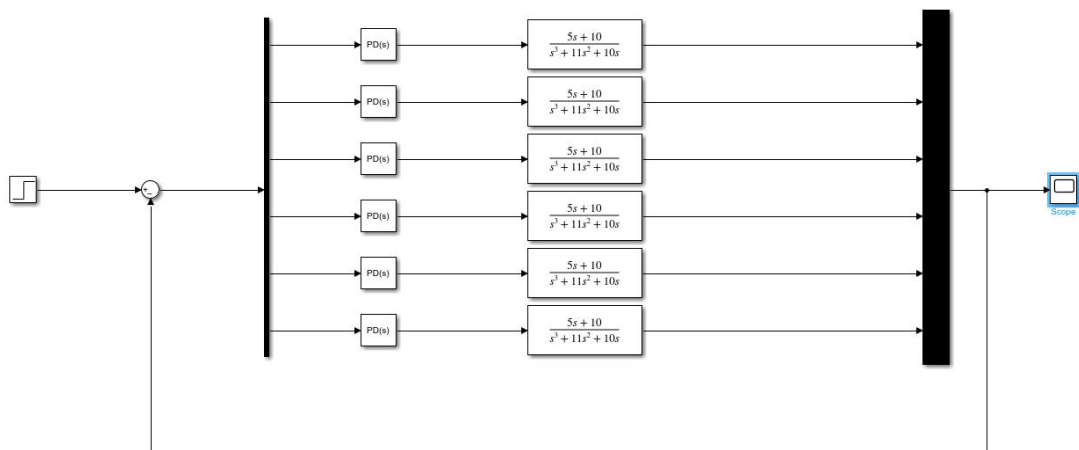


图 3-15 搭建的模型

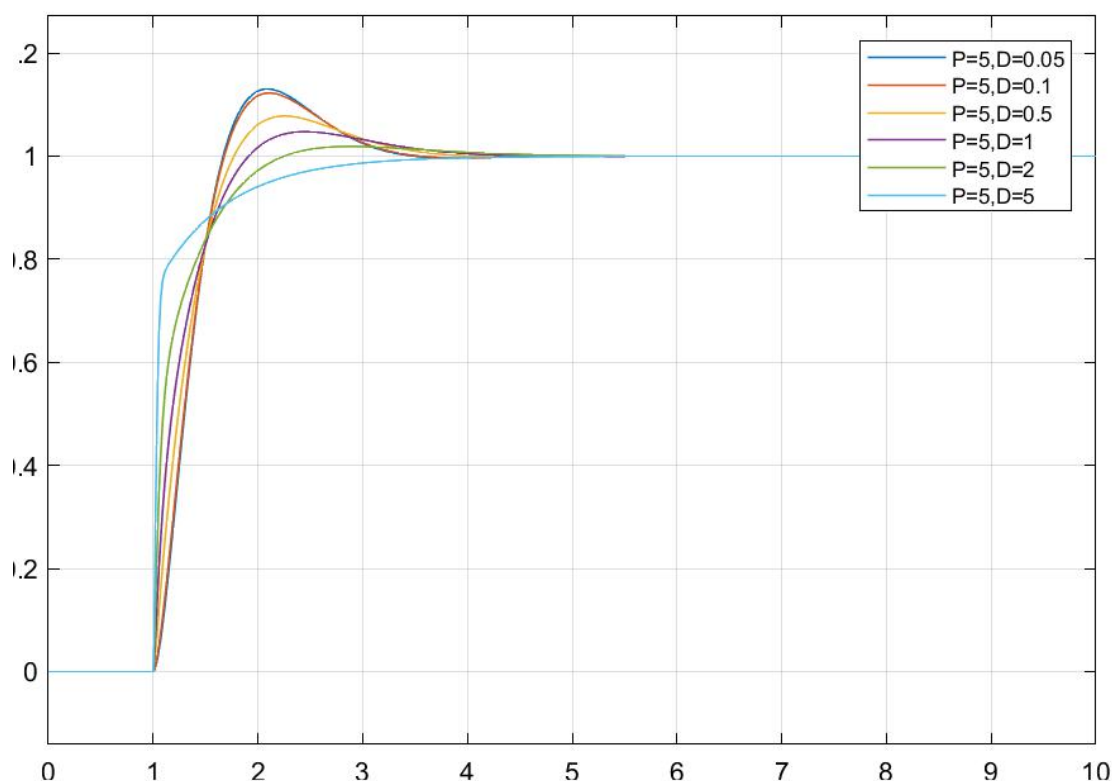


图 3-16 加入不同 PD 参数的阶跃响应曲线

随着 T_d 值的增大，系统超调量逐渐减小，动态特征有改善。

自动控制系统在克服误差的调节过程中，可能会出现振荡甚至不稳定。原因是存在有较大惯性或有滞后的组件，其具有抑制误差的作用，其变化总是落后于误差的变化。在控制器中仅引入比例项是不够的，比例项的作用仅是放大误差的幅值，而微分项能预测误差的变化趋势。这样，具有比例+微分的控制器，就能提前使抑制误差的控制作用等于零，甚至为负值，从而避免被控量的严重超调，改善动态特性。

但 T_d 的之不能太大，否则微分作用会过强，导致输出控制作用大，调节阀会频繁开启，容易造成系统震荡。

3.5 PID 参数对系统的影响

3.5.1 PID 参数对系统的零极点分布、波特图的变化以及频率特性的影响

实验代码如下：

```
Kp = 100; %取固定比例系数
Ti = 2;
Td = [0.05, 0.1, 0.5, 1, 2, 5, 20];
for m = 1:7
    G5=tf([Kp*Td(m), Kp, Kp/Ti], [0, 1, 0]); % (Kp*Td*s^2 + Kp*s + Kp/Ti) / s = Kp(Tds + 1 + 1/STi)
    figure(9);
    bode(G5, w);
    hold on;
    legend('0.05', '0.1', '0.5', '1', '2', '5', '20');
```

```

Gpid = feedback(G5*G2,1);
figure(10);
bode(Gpid,w);
hold on;
legend('0.05','0.1','0.5','1','2','5','20');
figure(11);
pzmap(Gpid);
hold on;
legend('0.05','0.1','0.5','1','2','5','20');
end

```

PID 控制器的 Bode 图如图 3-17 所示,系统的零极点分布图和波特图如图 3-18 和图 3-19 所示。

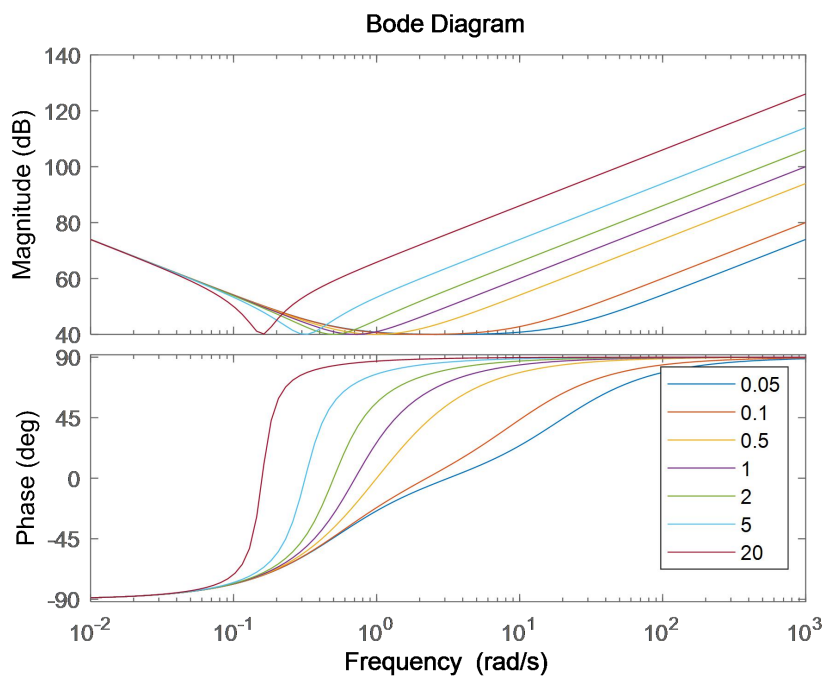


图 3-17 PID 控制器的 Bode 图

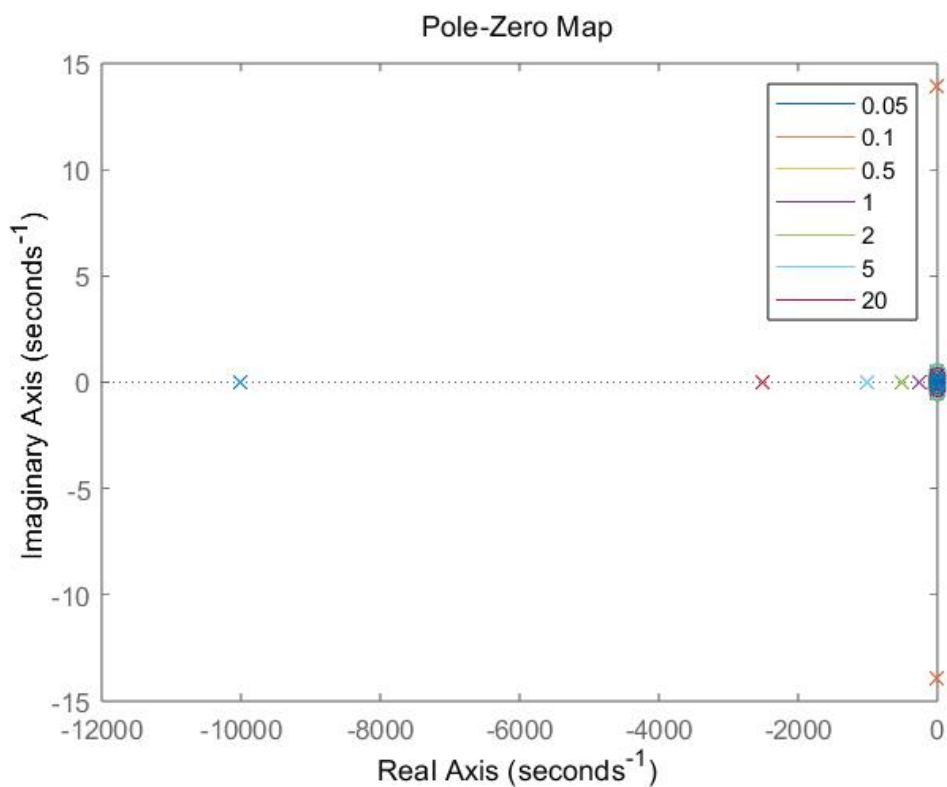


图 3-18 加入 PID 参数后系统的零极点分布图

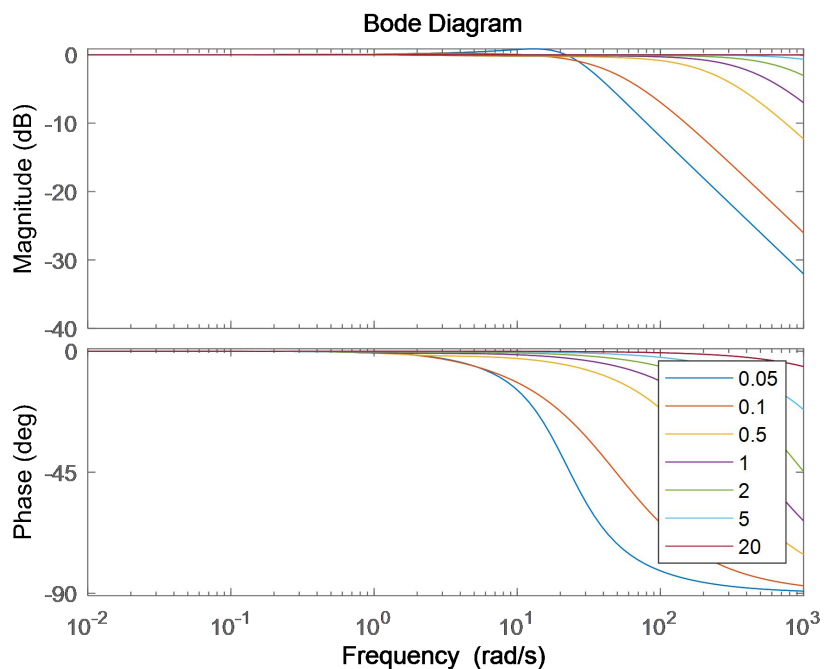


图 3-19 加入 PID 参数后系统的 Bode 图

PID 控制器除可使系统的型别提高一级外,还为系统提供了两个负实零点。与 PI 控制器相比,除了同样具有提高系统稳态性能的优点外,还多提供了一个负实零点,在提高系统的动态性能方面具有更大的优越性。

I 部分发生在频率特性的低频段,提高系统稳态性能。D 部分发生在中频段,

提高系统的动态性能。PID 控制器的作用在一定频段内相当于滞后 - 超前校正网络。

3.5.2 PID 参数对系统时域特性的影响

加入参数 PID 后，在 Simulink 中搭建图 3-20 的模型，阶跃响应曲线如图 3-21 所示。

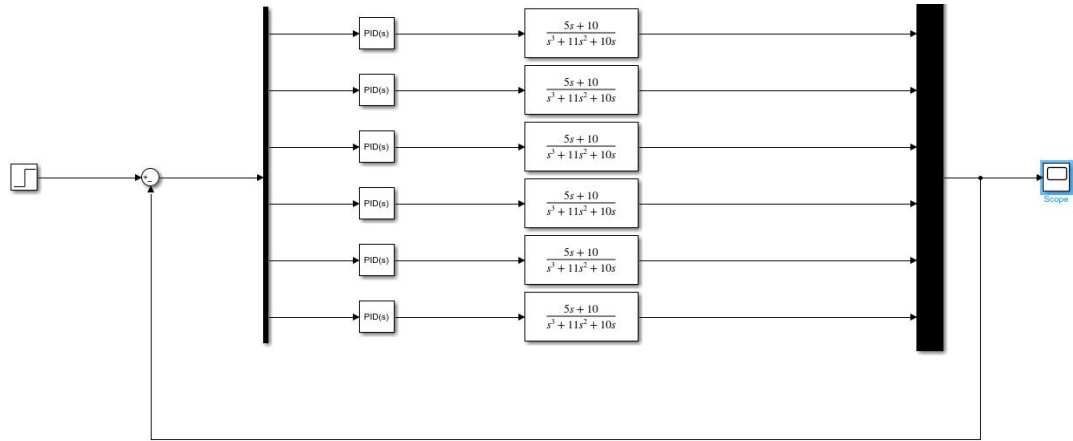


图 3-20 搭建的模型

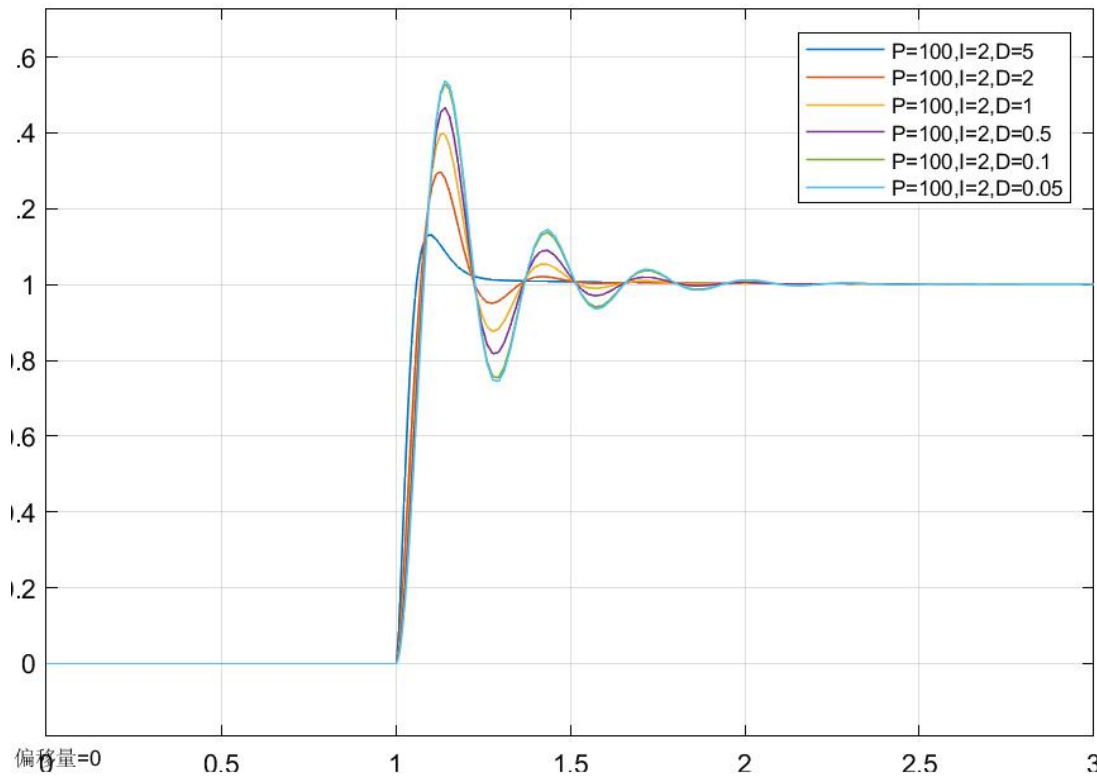


图 3-21 加入不同 D 参数的 PID 控制器阶跃响应曲线

PID 控制通过积分作用消除误差，而微分控制可缩小超调量、加快系统响应，随着 T_d 值的增大，系统超调量逐渐减小，动态特征有改善。是综合了 PI 控制和 PD 控制长处并去除其短处的控制。

四、结论

根据以上分析，可以得到如表 4-1 所示的结论：

调节规律	对时域特性影响	对频域特性影响
P 控制	<p>1.增大 P 参数可以加快系统的响应速度，减小稳态误差。</p> <p>2.P 参数的取值会影响系统的稳定性，过大的 P 参数可能导致系统在运行过程中产生振荡，使系统稳定性变差。</p>	<p>1.会提高系统的低频增益，使系统对低频信号的跟踪能力增强，稳态性能变好，稳态误差减小。</p> <p>2.截止频率变大，系统的动态性能变好。</p>
PI 控制	<p>1.TI 越大，积分作用越弱，可以有效降低超调量，提高稳定性。TI 减小，积分作用增强，系统振荡加剧，达到稳态的过渡时间也逐渐加长。</p> <p>2.能够消除稳态误差</p>	<p>1.在一定频段，PI 控制器是一种滞后校正装置。</p> <p>2.增加一个位于 $s=0$ 的极点，提高系统型别，改善系统稳态性能。</p> <p>3.能够提高系统的阻尼程度。</p>
PD 控制	<p>随着 Td 值的增大，系统超调量逐渐减小，动态特征有改善。</p>	<p>1.在一定频段，PD 控制器是一种超前校正装置。</p> <p>2.提高了系统的稳定裕度和相角裕度，能使系统的稳定性增加。</p> <p>3.增加一个开环零点，配合合理的微分作用可以与被控对象的极点相消，使系统降阶，有利于改善系统的控制品质。</p>
PID 控制	<p>通过积分作用消除误差，通过微分控制可缩小超调量、加快系统响应。</p>	<p>1.在一定频段内相当于滞后 - 超前校正网络。</p> <p>2.I 部分发生在频率特性的低频段，提高系统稳态性能。D 部分发生在中频段，提高系统的动态性能。</p>

表 4-1 结论