

作业五 PID 控制对系统性能影响分析

1、1 Simulink 系统结构图搭建

原系统的传递函数为 $G = 1/(3s^2 + 20s + 5)$ ，在 Simulink 工具箱中引入 PID 控制器模块，并将控制器输出作为负反馈信号引入输入端，闭环系统结构图如图 1.1 所示，可以在 PID 模块中修改 PID 的各系数值来实现不同种类的控制，通过示波器观察误差曲线、控制器输入导数曲线、控制器输出曲线和总闭环系统输出响应曲线。

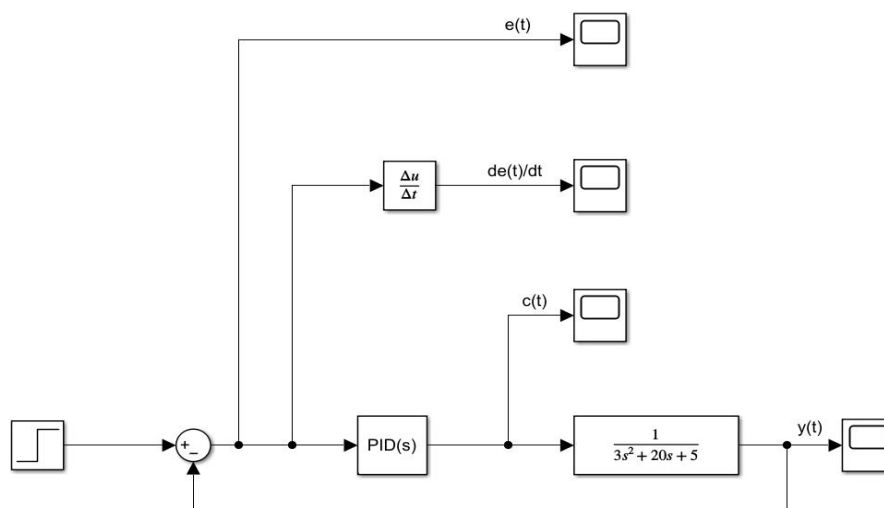


图 1.1 加入 PID 控制闭环系统结构图

1、1 原系统性能分析

(1) 零极点分布

在加入 PID 控制器之前，在 MATLAB 中对原闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制零极点分布图如图 1.2 所示，系统无零点，有两个极点，均位于左半平面，在负实轴上，故原闭环系统稳定。

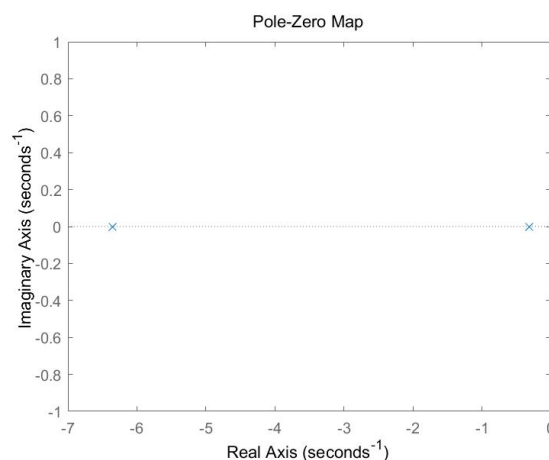


图 1.1 原闭环系统零极点分布图

(2) 波特图分析

在加入 PID 控制器之前，在 MATLAB 中对原闭环系统进行传递函数模型搭建

并绘制波特图如图 1.3 所示，系统相对幅值 (db) 均小于零，相角在 0 到 -180° 之间，故幅值裕度和相角裕度均为无穷大，原闭环系统稳定。

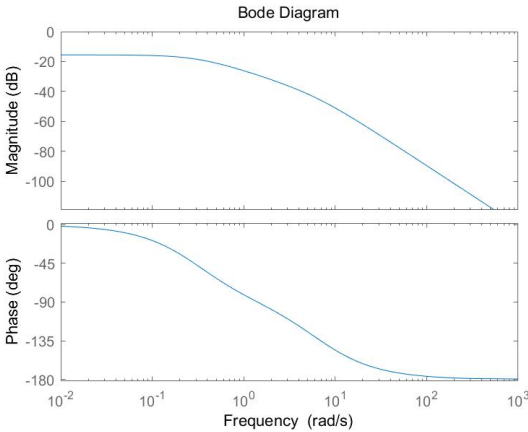


图 1.3 原闭环系统波特图

(3) 系统时域性能分析

在加入 PID 控制器之前,在 MATLAB 中利用 step 函数绘制系统阶跃响应曲线,结果如图 1.4 所示,并在代码中对动态性能指标进行计算,结果如下所示,可知系统稳态值为 0.1667. 上升时间为 17.8432s, 调节时间为 12.5780s, 原闭环系统无法实现对阶跃信号的跟踪, 存在稳态误差。

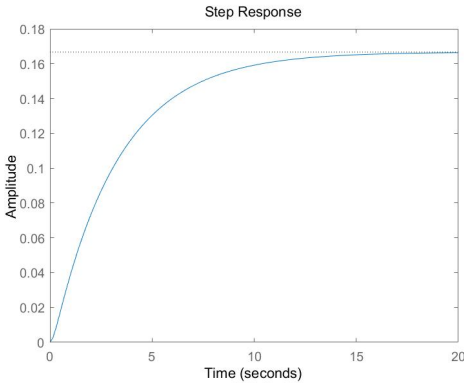


图 1.4 原闭环系统阶跃响应曲线图

```
css0 =  
    0.1667  
Tr0 =  
    17.8432  
Ts0 =  
    12.5780
```

(4) 系统频域性能分析

在加入 PID 控制器之前,在 MATLAB 中利用 margin 函数求取幅值裕度和相角裕度,结果如下所示,可知系统幅值裕度和相角裕度均为无穷大,原闭环系统稳定。

```
Gm0 =  
    Inf  
Pm0 =  
    Inf
```

Wcg0 =
Inf
Wcp0 =
NaN
magdb0 =
Inf

1、2 比例参数 P 对系统性能影响

(1) 零极点分布

在加入 P 控制， $K_c=100$ 之后，在 MATLAB 中对新闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制零极点分布图如图 1.5 所示，系统无零点，有两个具有负实部的共轭复根，均位于左半平面，故新闭环系统稳定。

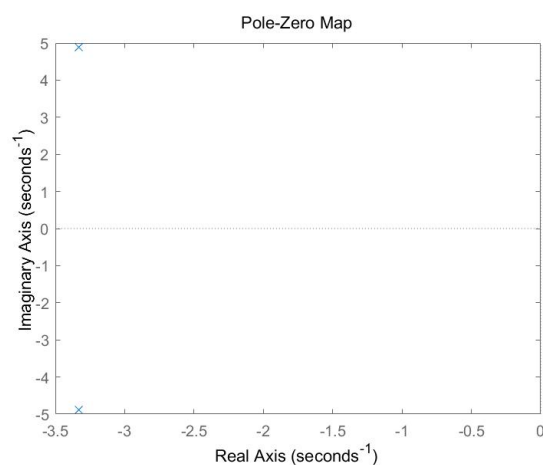


图 1.5 新闭环系统零极点分布图

(2) 波特图分析

在加入 P 控制， $K_c=100$ 之后，在 MATLAB 中对原闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制波特图如图 1.6 所示，系统相位差相角在 0 到 -180° 之间，故幅值裕度为无穷大，相角裕度大于 0，新闭环系统稳定。

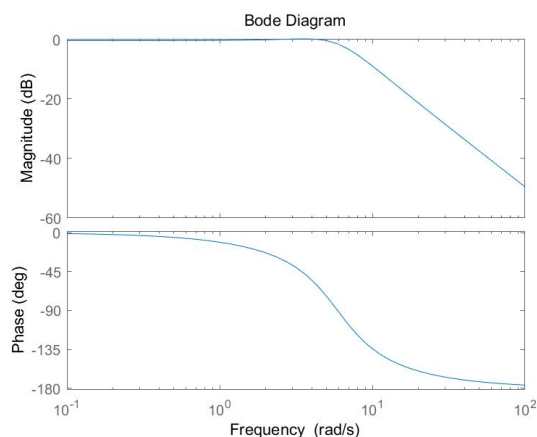


图 1.6 新闭环系统波特图

(3) 系统时域性能分析

在加入 P 控制， $K_c=100$ 之后，在 MATLAB 中利用 step 函数绘制系统阶跃响应曲线，结果如图 1.7 所示，并在代码中对动态性能指标进行计算，结果如下所

示，可知系统稳态值为 0.9524，超调量为 11.7268%，上升时间为 0.4559s，调节时间为 1.9065s，能实现有差调节，存在稳态误差，但对于动态性能有所改善，出现超调量，一定程度上破坏了稳态性能。

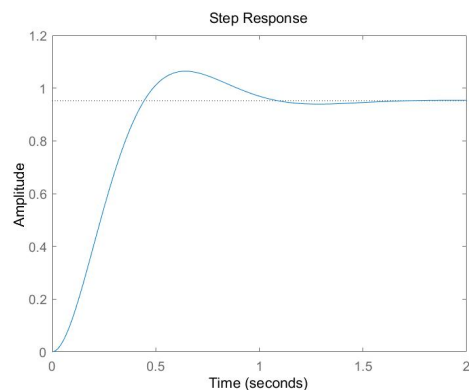


图 1.7 新闭环系统阶跃响应曲线图

```
css1 =
    0.9524
over1 =
    11.7268
Tr1 =
    0.4559
Ts1 =
    1.9065
```

(4) 系统频域性能分析

在加入 P 控制， $K_c=100$ 之后，在 MATLAB 中利用 margin 函数求取幅值裕度和相角裕度，结果如下所示，可知系统幅值裕度均为无穷大，相角裕度为 117.1316° ，闭环系统稳定，但相角裕度有所下降。

```
Gm1 =
    Inf
Pm1 =
    117.1316
Wcg1 =
    Inf
Wcp1 =
    4.4496
magdb1 =
    Inf
```

1、3 积分参数 I 对系统性能影响

(1) 零极点分布

在加入 I 控制， $K_i=10$ 之后，在 MATLAB 中对新闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制零极点分布图如图 1.8 所示，系统无零点，有两个具有负实部的共轭复根和一个在负实轴上的根，均位于左半平面，故新闭环系统稳定。

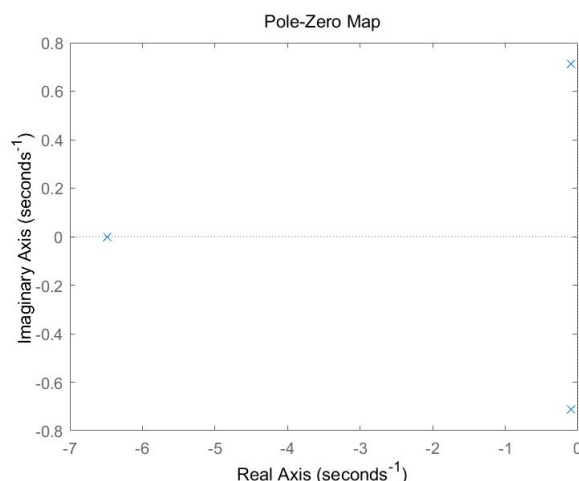


图 1.8 新闭环系统零极点分布图

(2) 波特图分析

在加入 I 控制， $K_i=10$ 之后，在 MATLAB 中对原闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制波特图如图 1.9 所示，系统相角相位差在 0 到 -270° 之间，故幅值裕度大于 0 ，相角裕度大于 0 ，新闭环系统稳定。

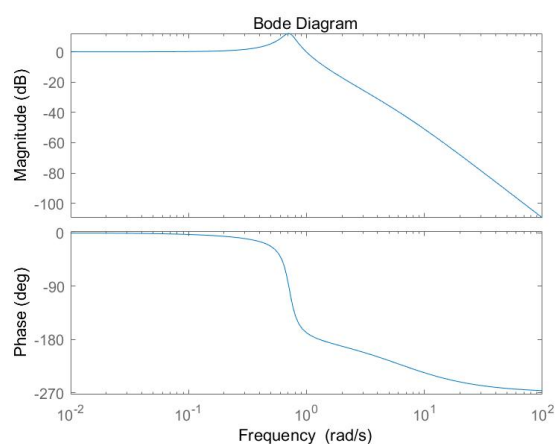


图 1.9 新闭环系统波特图

(3) 系统时域性能分析

在加入 I 控制， $K_i=10$ 之后，在 MATLAB 中利用 step 函数绘制系统阶跃响应曲线，结果如图 1.10 所示，并在代码中对动态性能指标进行计算，结果如下所示，可知系统稳态值为 1，超调量为 66.4985%，上升时间为 2.6300s，调节时间为 60.4892s，能实现无差调节，提升系统跟踪速度，但超调量大大提高，一定程度上破坏了稳态性能，加剧系统震荡。

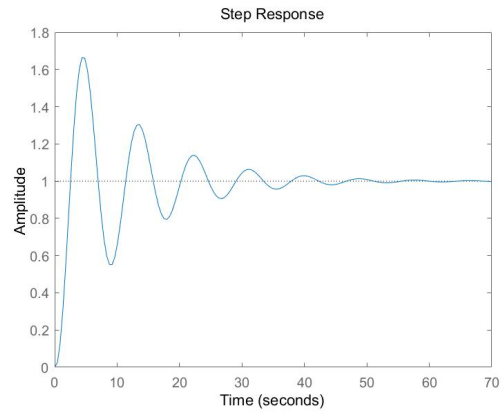


图 1.10 新闭环系统阶跃响应曲线图

```
css2 =
    1
over2 =
    66.4985
Tr2 =
    2.6300
Ts2 =
    60.4892
```

(4) 系统频域性能分析

在加入 I 控制， $K_i=10$ 之后，在 MATLAB 中利用 margin 函数求取幅值裕度和相角裕度，结果如下所示，可知系统幅值裕度为 7.3596db，相角裕度为 11.6552° ，闭环系统稳定，但相角裕度和幅值裕度均有所下降。

```
Gm2 =
    2.3333
Pm2 =
    11.6552
Wcg2 =
    1.2910
Wcp2 =
    0.9948
magdb2 =
    7.3596
```

1、4 微分参数 D 对系统性能影响

(1) 零极点分布

在加入 D 控制， $K_d=10$ 之后，在 MATLAB 中对新闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制零极点分布图如图 1.11 所示，系统增加了一个零点，有两个具有负实部的共轭复根和一个在负实轴上的根，均位于左半平面，故新闭环系统稳定。

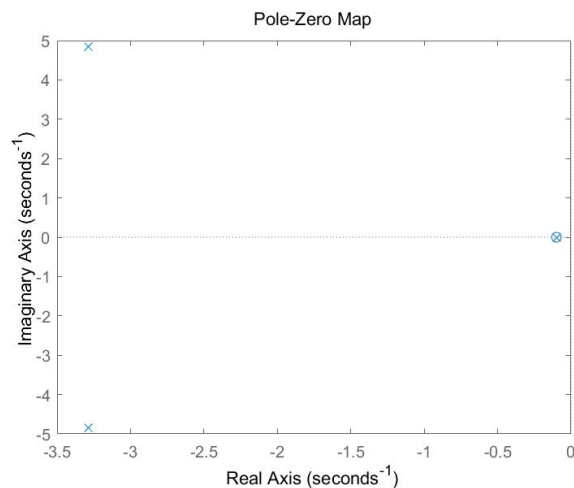


图 1.11 新闭环系统零极点分布图

(2) 波特图分析

在加入 D 控制， $K_d=10$ 之后，在 MATLAB 中对原闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制波特图如图 1.12 所示，系统相位差相角在 90° 到 -90° 之间，故幅值裕度和相角裕度均为无穷大，新闭环系统稳定。

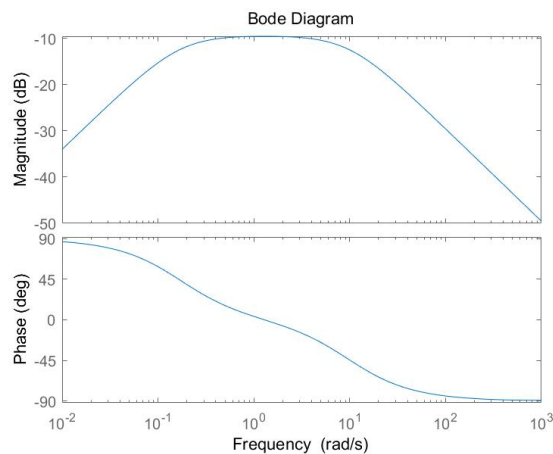


图 1.12 新闭环系统波特图

(3) 系统时域性能分析

在加入 D 控制， $K_d=10$ 之后，在 MATLAB 中利用 step 函数绘制系统阶跃响应曲线，结果如图 1.13 所示，并在代码中对动态性能指标进行计算，结果如下所示，可知系统稳态值为 0，故超调量为无穷大，上升时间为和调节时间均为 0，由此可知，单纯的微分控制器是不能工作的，在变化趋势小时，系统被控量输出变化缓慢，控制器难以察觉因而不产生动作，从而使偏差累积到相当大而得不到修正，不能实现跟踪，只能控制作用组合使用，起到辅助作用。

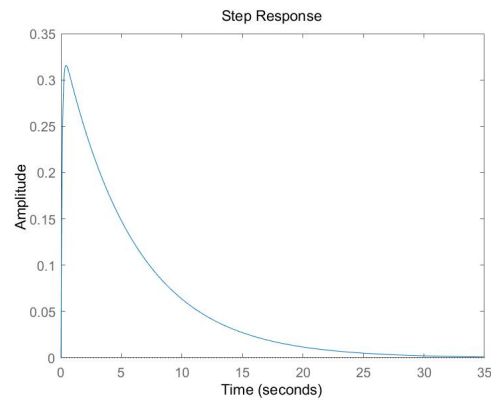


图 1.13 新闭环系统阶跃响应曲线图

```
css4 =
    0
over4 =
    Inf
Tr4 =
    0
Ts4 =
    0
```

(4) 系统频域性能分析

在加入 D 控制， $K_d=10$ 之后，在 MATLAB 中利用 `margin` 函数求取幅值裕度和相角裕度，结果如下所示，可知系统幅值裕度和相角裕度均为无穷大，闭环系统稳定。

```
Gm4 =
    Inf
Pm4 =
    Inf
Wcg4 =
    NaN
Wcp4 =
    NaN
magdb4 =
    Inf
```

1、5 比例积分 PI 对系统性能影响

(1) 零极点分布

在加入 PI 控制， $K_c=100; K_i=10$ 之后，在 MATLAB 中对新闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制零极点分布图如图 1.14 所示，系统增加了一个零点，有两个具有负实部的共轭复根和一个在负实轴上的根，均位于左半平面，故新闭环系统稳定。

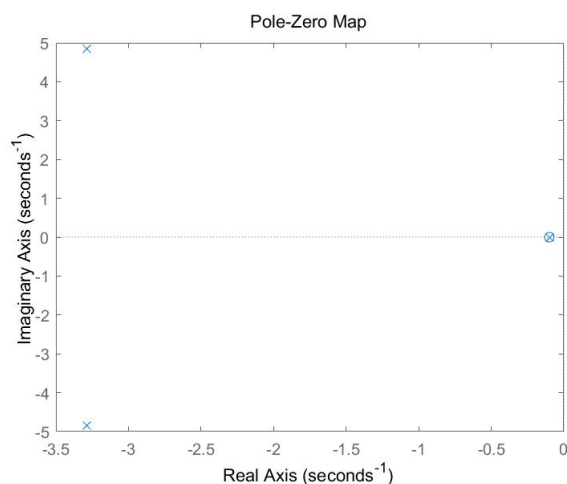


图 1.14 新闭环系统零极点分布图

(2) 波特图分析

在加入 PI 控制, $K_c=100$; $K_i=10$ 之后, 在 MATLAB 中对原闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制波特图如图 1.15 所示, 系统相位差相角在 0° 到 -180° 之间, 故幅值裕度为无穷大, 相角裕度大于零, 新闭环系统稳定。

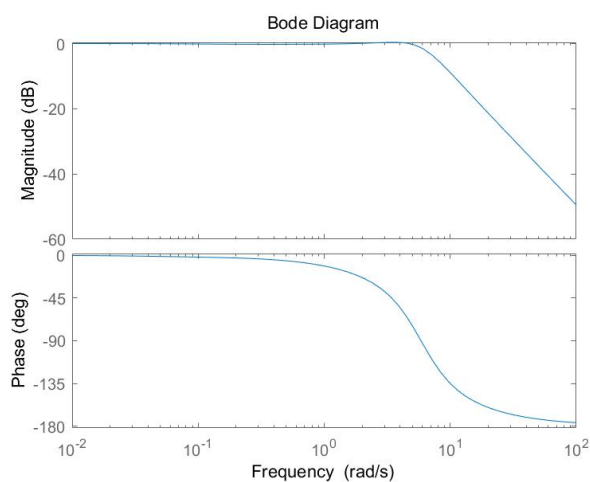


图 1.15 新闭环系统波特图

(3) 系统时域性能分析

在加入 PI 控制, $K_c=100$; $K_i=10$ 之后, 在 MATLAB 中利用 step 函数绘制系统阶跃响应曲线, 结果如图 1.16 所示, 由于在比例控制基础上引入了积分调节, 系统能实现无差调节, 当偏差出现, 比例作用迅速反应输入变化, 起到粗调作用, 随后积分作用使输出逐渐增加, 最终达到消除稳态误差目的。

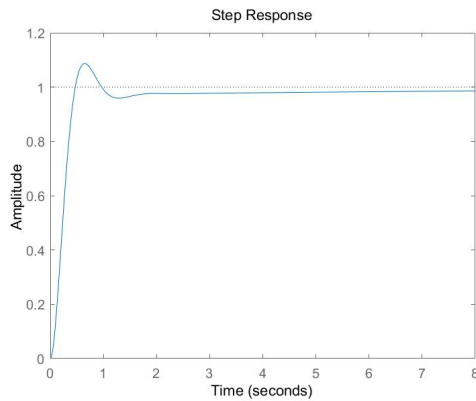


图 1.16 新闭环系统阶跃响应曲线图

```
css3 =
    1
over3 =
    8.7058
Tr3 =
    0.4767
Ts3 =
    7.2481
```

(4) 系统频域性能分析

在加入 PI 控制， $K_c=100; K_i=10$ 之后，在 MATLAB 中利用 margin 函数求取幅值裕度和相角裕度，结果如下所示，可知系统幅值裕度为无穷大，相角裕度为 110.8777° ，闭环系统稳定。

```
Gm3 =
    Inf
Pm3 =
    110.8777
Wcg3 =
    Inf
Wcp3 =
    4.7396
magdb3 =
    Inf
```

1、6 比例微分 PD 对系统性能影响

(1) 零极点分布

在加入 PD 控制， $K_c=100; K_d=10$ 之后，在 MATLAB 中对新闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制零极点分布图如图 1.17 所示，系统增加了一个零点，有两个具有负实部的共轭复根，均位于左半平面，故新闭环系统稳定。

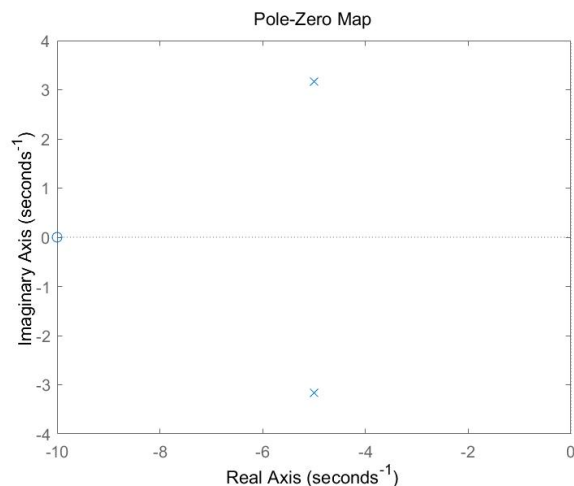


图 1.17 新闭环系统零极点分布图

(2) 波特图分析

在加入 PD 控制, $K_c=100; K_d=10$ 之后, 在 MATLAB 中对原闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制波特图如图 1.18 所示, 系统相位差相角在 0° 到 -90° 之间, 故幅值裕度为无穷大, 相角裕度大于零, 新闭环系统稳定。

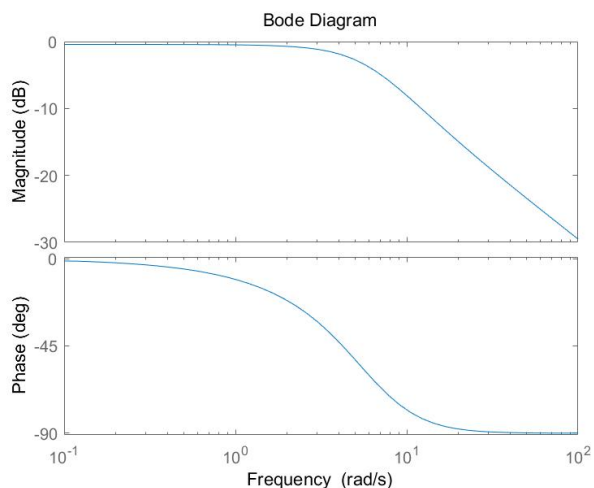


图 1.18 新闭环系统波特图

(3) 系统时域性能分析

在加入 PD 控制, $K_c=100; K_d=10$ 之后, 在 MATLAB 中利用 step 函数绘制系统阶跃响应曲线, 结果如图 1.19 所示, 在稳态情况下, 误差导数为 0, PD 控制变成 P 控制, 故 PD 控制也是有差控制, 但也纳入微分作用可以提前阻止系统被控量的变化, 使被控过程趋于稳定, 能提高系统稳定性, 抑制系统超调, 提高系统稳定裕度。

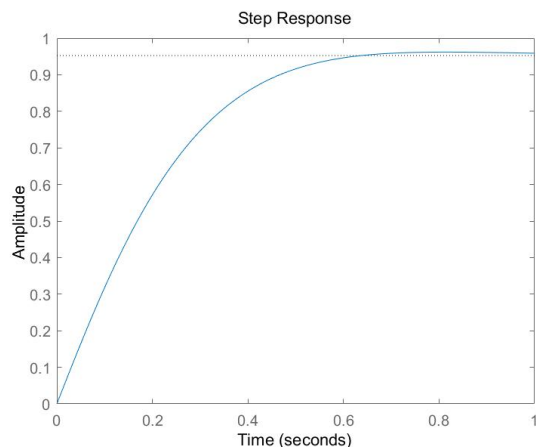


图 1.19 新闭环系统阶跃响应曲线图

```
css4 =
    0.9524
over4 =
    1.0043
Tr4 =
    0.6447
Ts4 =
    0.9487
```

(4) 系统频域性能分析

在加入 PD 控制， $K_c=100; K_d=10$ 之后，在 MATLAB 中利用 margin 函数求取幅值裕度和相角裕度，结果如下所示，可知系统幅值裕度和相角裕度均为无穷大，闭环系统稳定。

```
Gm4 =
    Inf
Pm4 =
    Inf
Wcg4 =
    NaN
Wcp4 =
    NaN
magdb4 =
    Inf
```

1、7 比例积分微分 PID 对系统性能影响

(1) 零极点分布

在加入 PID 控制， $K_c=100; K_i=10; K_d=1$ 之后，在 MATLAB 中对新闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制零极点分布图如图 1.20 所示，系统增加了一个零点，有两个具有负实部的共轭复根和一个在负实轴根，均位于左半平面，故新闭环系统稳定。

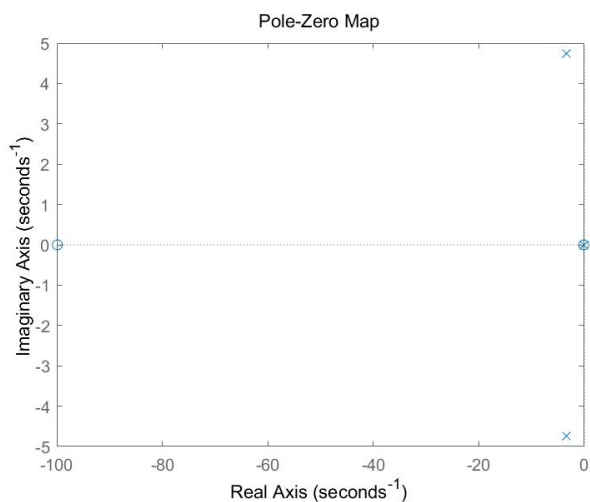


图 1.20 新闭环系统零极点分布图

(2) 波特图分析

在加入 PID 控制, $K_c=100; K_i=10; K_d=1$ 之后, 在 MATLAB 中对原闭环系统进行传递函数模型搭建并绘制波特图如图 1.21 所示, 系统相位差相角在 0° 到 -180° 之间, 故幅值裕度为无穷大, 相角裕度大于零, 新闭环系统稳定。

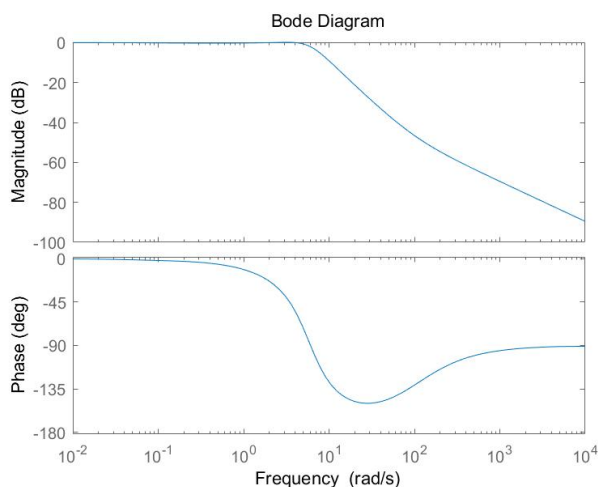


图 1.21 新闭环系统波特图

(3) 系统时域性能分析

在加入 PID 控制, $K_c=100; K_i=10; K_d=1$ 之后, 在 MATLAB 中利用 step 函数绘制系统阶跃响应曲线, 结果如图 1.22 所示, 由于在比例微分控制基础上引入了积分调节, 系统能实现无差调节, 当偏差出现, 比例作用迅速反应输入变化, 起到粗调作用, 微分控制主要在前期起作用, 积分控制主要在后期起作用。

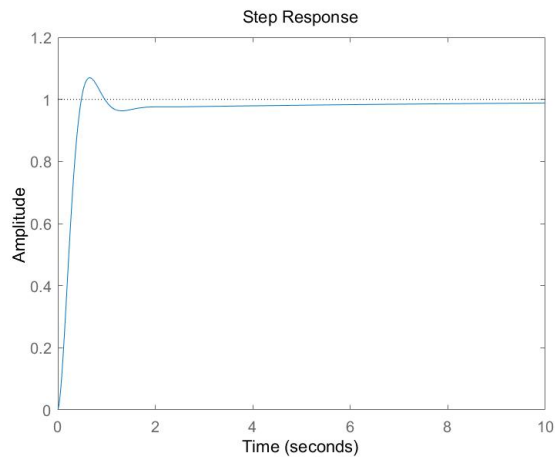


图 1.22 新闭环系统阶跃响应曲线图

```
css5 =
    1
over5 =
    6.9656
Tr5 =
    0.4937
Ts5 =
    9.2065
```

(4) 系统频域性能分析

在加入 PID 控制, $K_c=100; K_i=10; K_d=1$ 之后, 在 MATLAB 中利用 `margin` 函数求取幅值裕度和相角裕度, 可知系统幅值裕度为无穷大, 相角裕度为 123.6140° , 闭环系统稳定。

```
Gm5 =
    Inf
Pm5 =
    123.6140
Wcg5 =
    NaN
Wcp5 =
    4.1256
magdb5 =
    Inf
```