



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

系统的性能指标与校正

PID校正

主讲：刘希太

□ PID校正



PID控制器是实际工业控制过程中应用最广泛、最成功的一种控制方法。主要特点：

- ✓ PID 控制参数整定方便，结构灵活
- ✓ 数字PID 控制易于计算机实现

它是对偏差信号 $e(t)$ 进行比例、积分和微分运算变换后形成的一种控制规律。

简言之即 “利用偏差、消除偏差”。

PID控制器的输入输出关系为：

$$m(t) = K_p \varepsilon(t) + K_i \int_0^t \varepsilon(t) dt + K_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

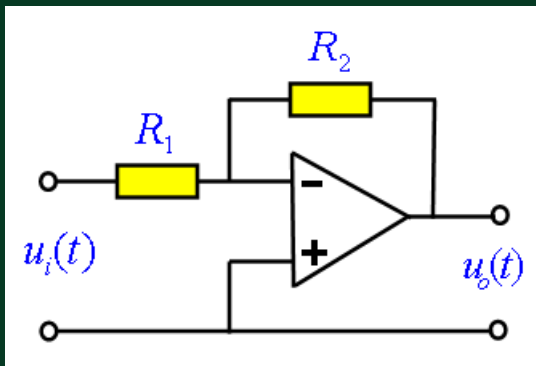
相应的传递函数为：

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

在很多情形下，PID 控制并不一定需要全部的各项控制作用，而是可以方便灵活地改变控制策略，实施P、PI、PD 或PID 控制。

1、P 控制

$$G_c(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{R_2}{R_1} = K_P$$



对系统性能影响：

注：后面需加反相器

$K_P > 1$ { 开环增益加大，稳态误差减小；
幅值穿越频率增大，过渡过程时间缩短
系统稳定程度变差。

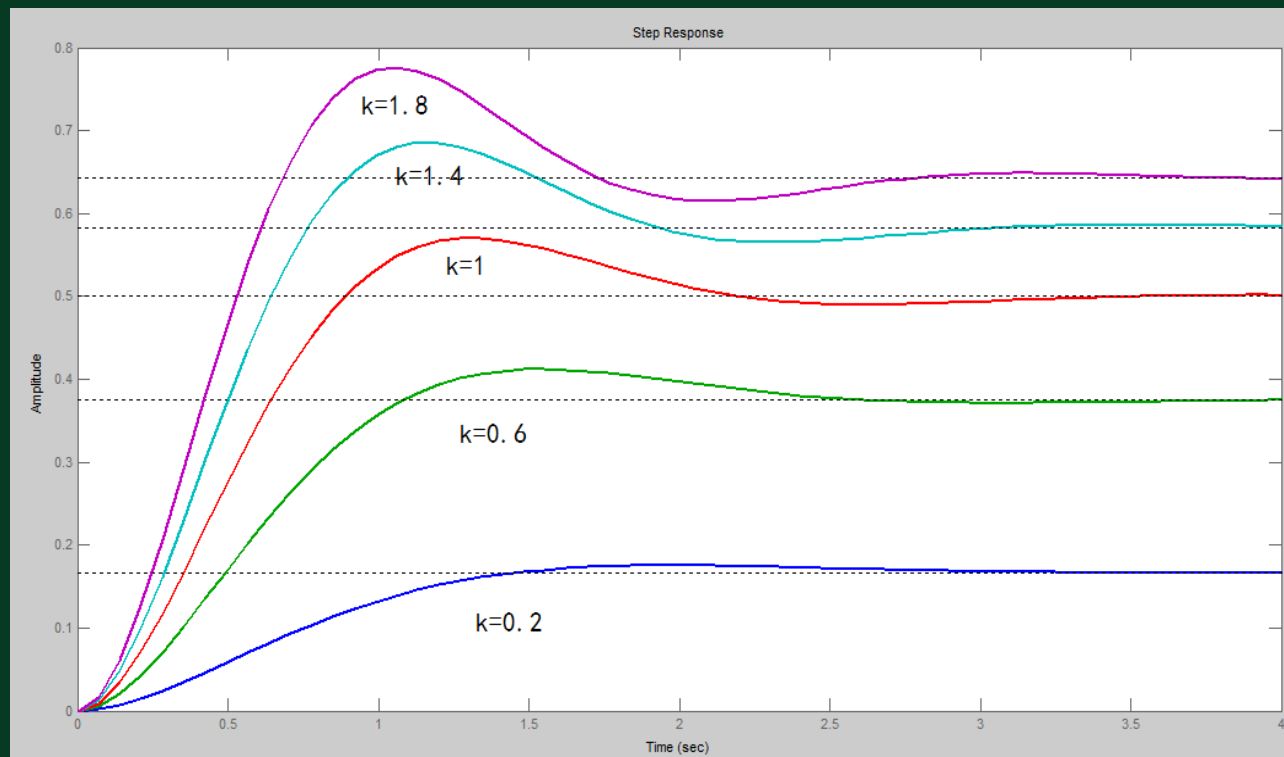
$K_P < 1$ 对系统性能的影响正好相反。

例：对一二阶系统 $G_o(s) = \frac{4}{s^2 + 3s + 4}$ 采用比例控制。

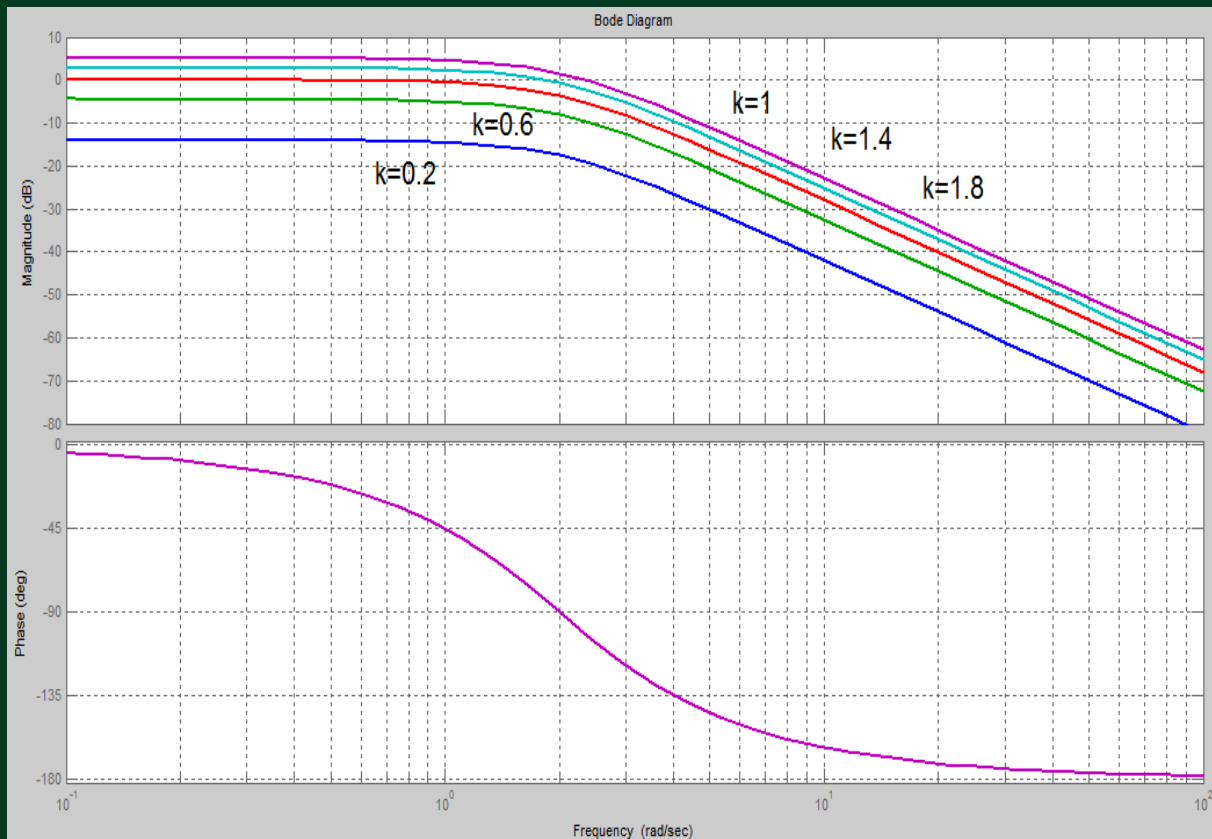
研究不同 K_p 值下闭环系统的单位阶跃响应曲线和bode图。

解：校正后系统模型：

$$G_c G_o(s) = K_p G_o$$



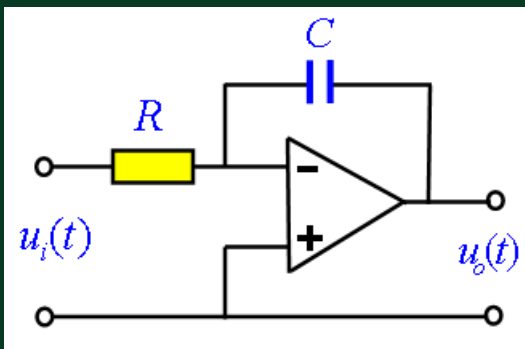
K增大，稳态误差减小；过渡时间缩短；稳定程度变差。



开环增益加大，幅值穿越频率增大，稳定程度变差。

2、I 控制

$$G_c(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{1}{RCs} = \frac{1}{Ts}$$

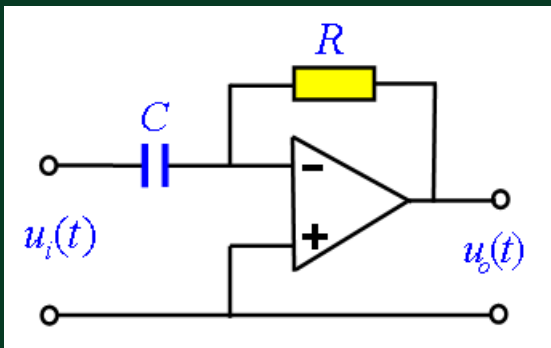


对系统性能影响：

可增强系统抗干扰能力；增加开环增益，减少稳态误差；纯积分环节会带来相角滞后，系统相角裕度减少，通常不单独使用。

3、D 控制

$$G_c(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = RCs = Ts$$



对系统性能影响：

微分控制可以增大截止频率和相角裕度，减小超调量和调节时间，提高系统的快速性和平稳性。纯微分控制会放大高频扰动，通常不单独使用。

4、PD 控制器

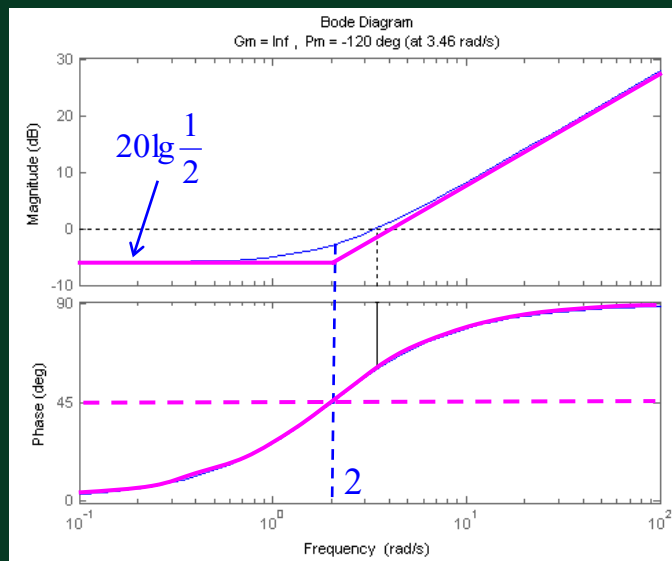
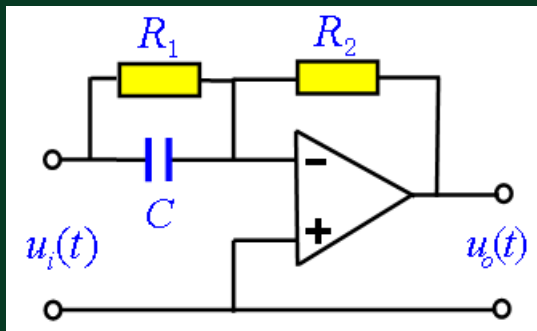
$$G_c(s) = \frac{R_2}{R_1} (1 + R_1 C s) = K(1 + T s)$$

$$K = R_2 / R_1, T = R_1 C$$

例: $G_c(s) = (1 + 0.5s) / 2$

```

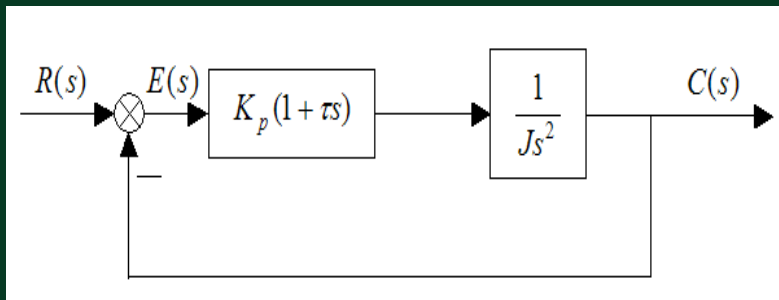
num=[0.5,1];
den=2
s=tf(num,den);
margin(s)
    
```



◆ PD控制的特点（类似于超前校正）：

- 1、增加系统的频宽，降低调节时间；
- 2、改善系统的相位裕度，降低系统的超调量；
- 3、增大系统阻尼，改善系统的稳定性；
- 4、抗高频干扰能力降低。

例：分析PD控制器对系统性能的影响。



解：(1)无PD控制器时系统传递函数： $G_c(s) = \frac{1}{Js^2 + 1}$

特征根为共轭复根，系统不稳定。

(2)有PD控制器时系统传递函数： $G_c(s) = \frac{K_p \tau s + K_p}{Js^2 + K_p \tau s + K_p}$

阻尼比为正，系统稳定。

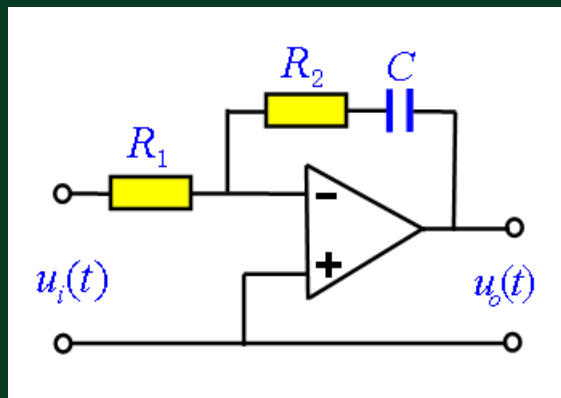
5、PI控制器

$$G_c(s) = \frac{R_2Cs + 1}{R_1Cs} = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2Cs} \right) = K \left(1 + \frac{1}{Ts} \right)$$

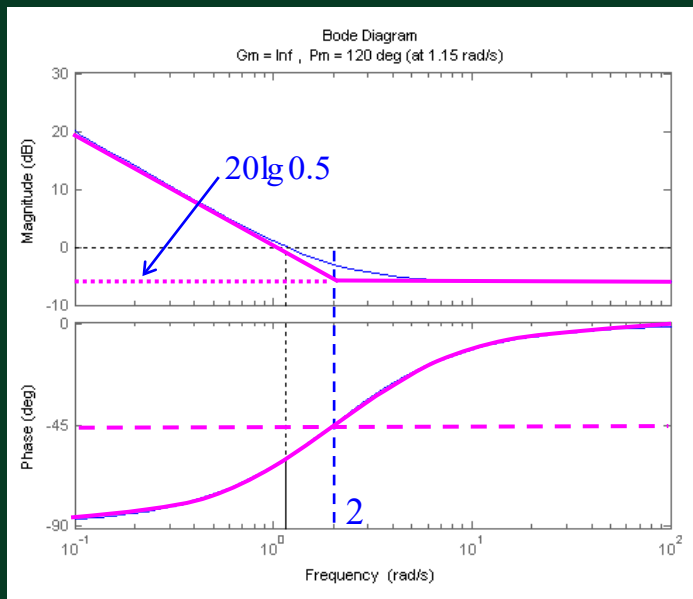
$$K = R_2/R_1, T = R_2C$$

例： $G_c(s) = 0.5(1 + 1/0.5s)$
 $= (0.5s + 1)/s$

```
num=[0.5, 1];  
den=[1, 0]  
s=tf(num,den);  
margin(s)
```



在线开放课程



◆ PI控制的特点（类似于滞后校正）：

- 1、提高系统的型别，改善系统的稳态误差；
- 2、增加了系统的抗高频干扰的能力；
- 3、增加了相位滞后；
- 4、降低了系统的频宽，调节时间增大。

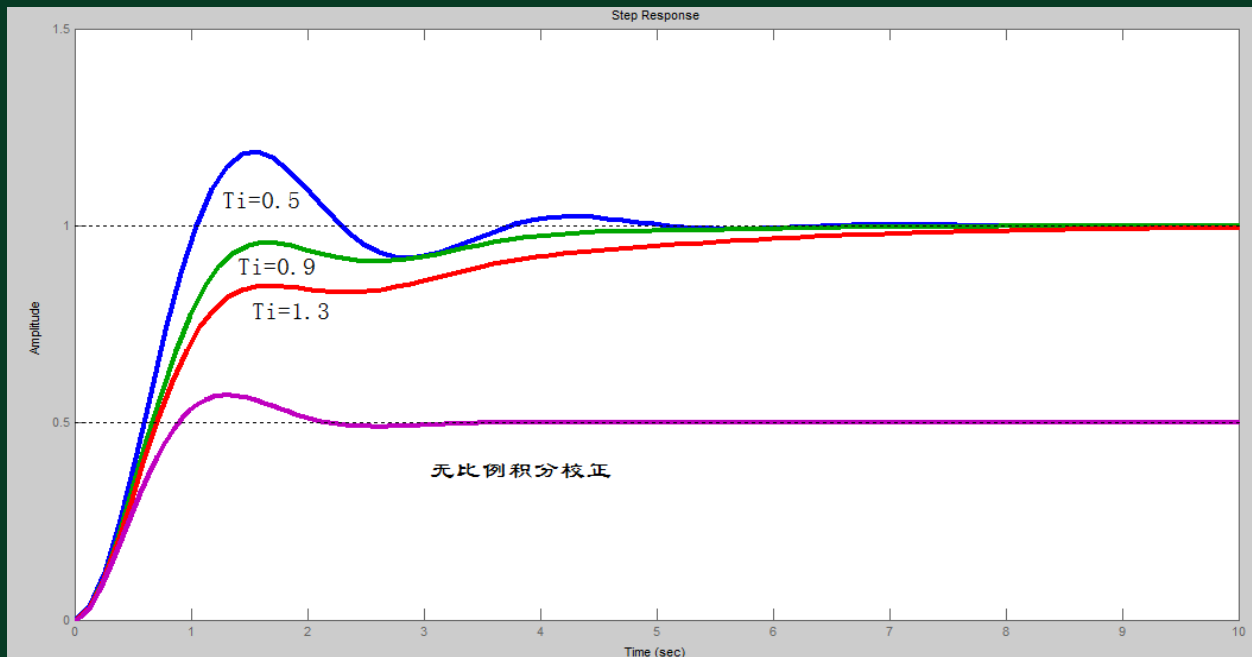
例：对一二阶系统 $G_o(s) = \frac{4}{s^2 + 3s + 4}$ 采用PI控制。

试研究不同PI参数下闭环系统特征。

解：校正后系统模型： $G_c G_o(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) G_o$

$$K_p = 1$$

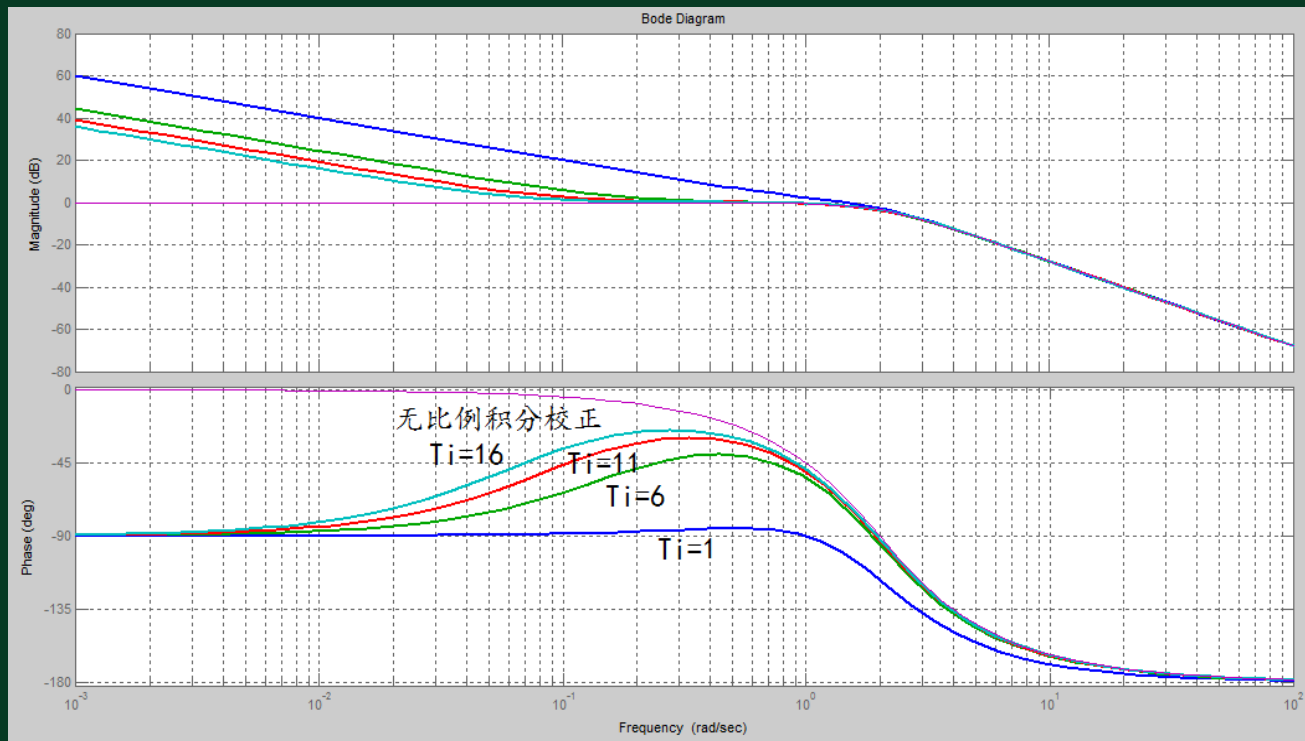
$K_p=1$ T_i 取不同值系统的单位阶跃响应图



系统型次提高，稳态性能改善，稳定精度提高。

KP=1 T_i 取不同值系统的Bode图

在线开放课程



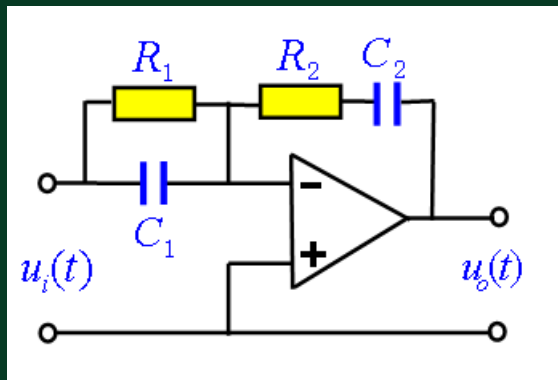
T_i 增大, ω_c 减小, 响应快速性下降。

6、PID 控制器

$$G_c(s) = \frac{R_2 C_2 + R_1 C_1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_1 C_2 s} + R_2 C_1 s$$

$$K_p = \frac{R_2 C_2 + R_1 C_1}{R_1 C_2}, \quad T_i = R_1 C_2, \quad T_d = R_2 C_1$$

$$G_C(s) = K_p + \frac{1}{T_i s} + T_d s$$



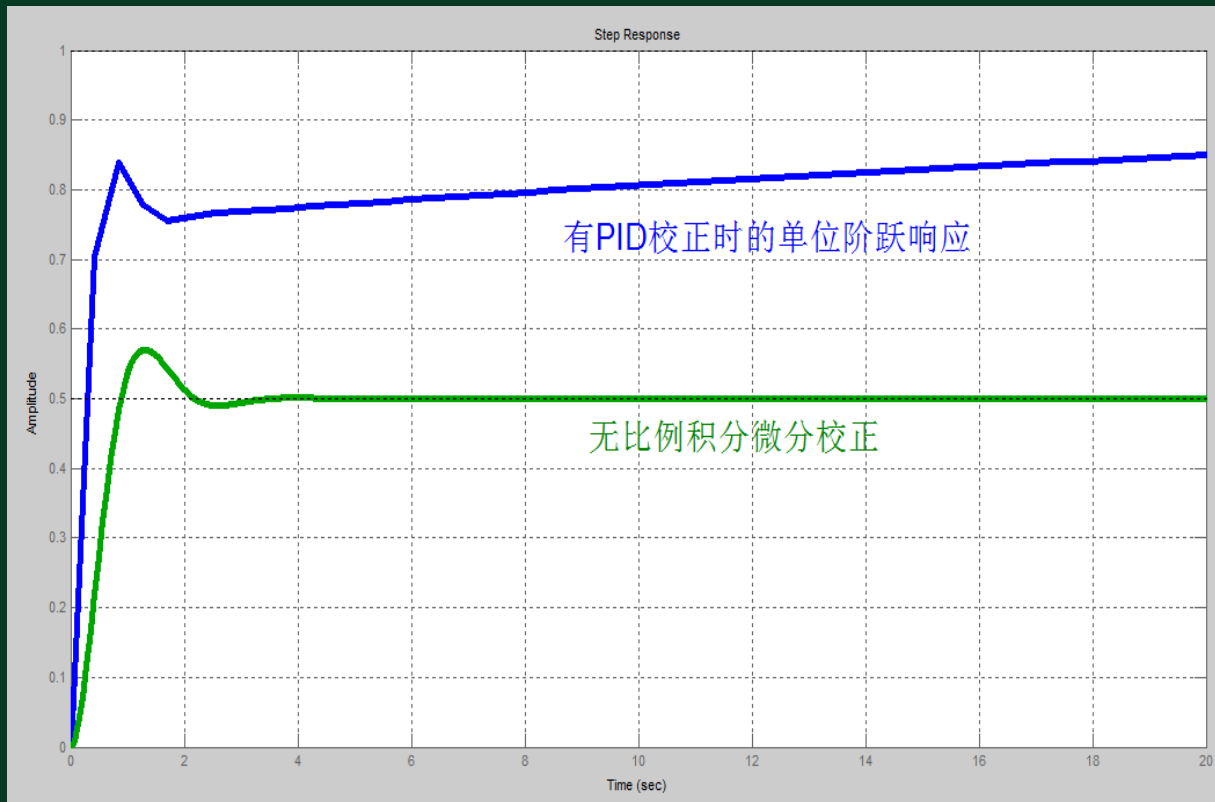
PID具有PD和PI双重作用，能全面地提高系统控制性能。其作用相应于滞后—超前校正。

例：对一二阶系统 $G_o(s) = \frac{4}{s^2 + 3s + 4}$ 采用PID控制。

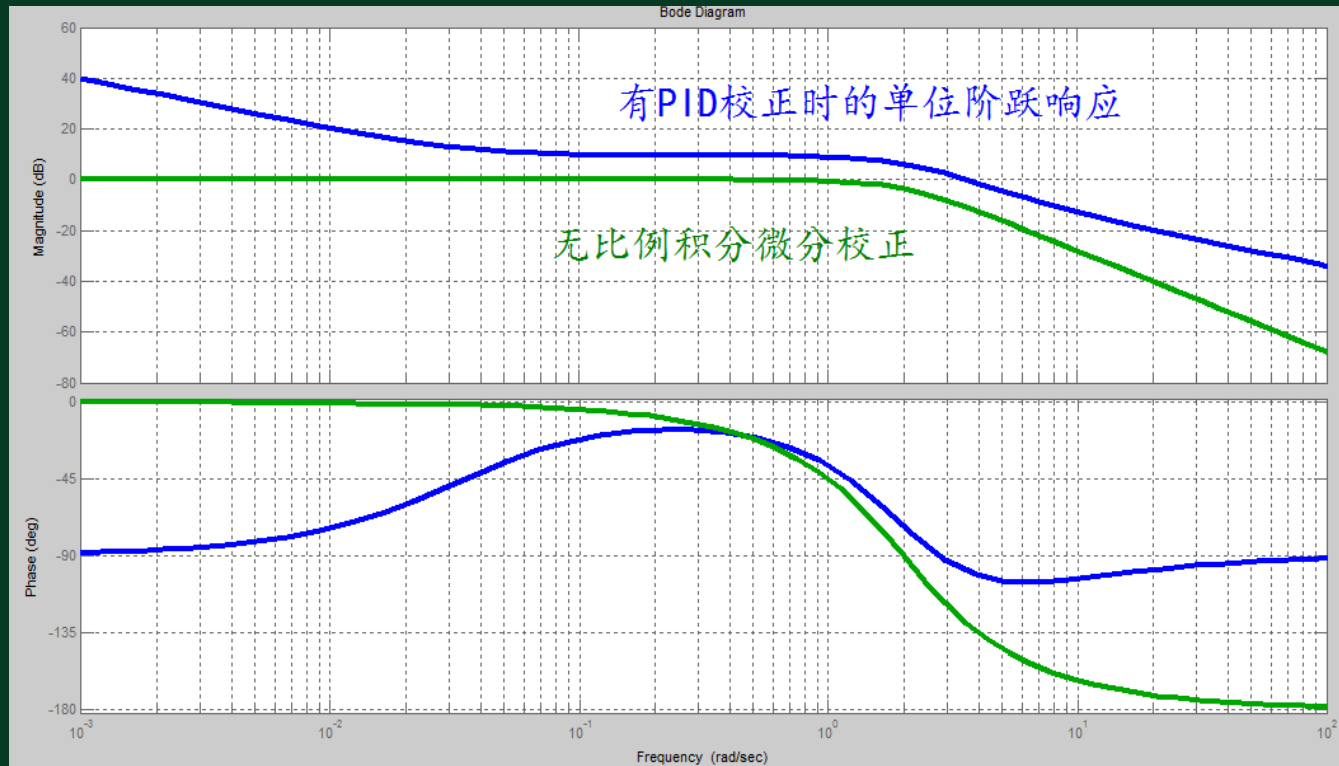
试研究不同PID参数下闭环系统特征。

解：校正后系统模型： $G_c G_o(s) = K_p G_o$

可取 $K_p = 3$ $T_d = 0.5$ $T_i = 10$



PID提高系统稳态精度并改善系统的动态性能。



ω_c 增大，快速性提高，抗干扰能力降低。

小结

PID控制作用：

- 比例系数加大时稳态误差减小且响应速度加快, 但可能导致系统动态质量变差甚至不稳定;
- 比例积分可消除稳态误差, 但可使系统动态过程变慢; 超调量增大, 稳定性变坏;
- 微分环节可预测偏差, 产生超前校正作用, 有助于减少超调, 克服振荡, 加快系统响应速度, 也放大了噪声作用。