中山大學 SUN YAT-SEN UNIVERSITY　　自动控制原理实验报告

院(系):智能工程学院　　学号：22354189　　姓名：张瑞程

日期：2024.9.26　　实验名称：基于 MATLAB 的控制系统性能指标分析与设计

说明：①实验报告通常应包括 **实验目的、实验任务/要求、实验设备、实验原理、实验步骤、实验结果与心得体会、实验结论**等部分；②实验报告**不限于**上述各部分，根据实验内容调整；③报告应做到 整洁，详实，正确，决定最终评分；④ 实验报告提交 pdf **电子版**，命名方式：姓名+学号+自控原理实验报告-实验 X.pdf

实验三：基于 MATLAB 的控制系统性能指标分析与设计

1）实验目的

1、学会使用 MATLAB 编程绘制控制系统的单位阶跃响应曲线。

2、研究二阶控制系统中 ζ 、ω_n 对系统阶跃响应的影响。

3、掌握准确读取动态特性指标的方法。

4、分析二阶系统闭环极点和闭环零点对系统动态性能的影响。

2）实验任务/要求

（1）求取系统的特征根。

（2）求取系统的闭环根、ζ、 。

（3）求取系统的单位阶跃响应。

3）实验仪器、设备及材料

计算机、Matlab 软件平台

4）实验原理；

4.1、典型二阶系统的闭环极点

(1) 典型二阶系统的闭环传递函数为：$G(s)=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$

(2) 二阶系统的特征方程为：$s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2=0$

(3) 二阶系统的闭环极点为：$s_{1,2}=-\zeta\omega_n\pm\omega_n\sqrt{\zeta^2-1}$

(4) 二阶系统的闭环极点分布

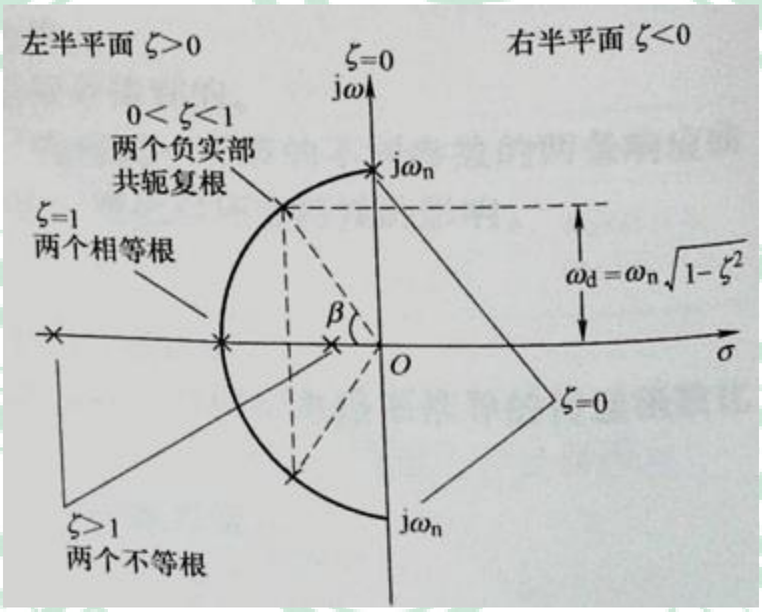


图 1：二阶系统的闭环极点分布

（5）二阶系统的闭环极点分布及其阶跃响应的特点

ζ 的值	闭环极点分布的特点	阶跃响应的特点
$\zeta<0$	两个正实部的特征根，位于 s 右半平面	振荡发散的曲线
ζ=0（无阻尼系统）	一对共轭纯虚根，位于 s 平面虚轴上	等幅振荡曲线
$0<\zeta<1$（欠阻尼系统）	两个负实部的共轭复根，位于 s 左半平面	衰减振荡曲线
ζ=1（临界阻尼系统）	两个相等的负实根，位于 s 左半平面实轴	单调上升收敛的曲线
$\zeta>1$（过阻尼系统）	两个不相等的负实根，位于 s 左半平面实轴	上升速度较 ζ=1 时慢

4.2、二阶系统的动态性能指标

二阶系统的动态性能指标如图 2 所示。

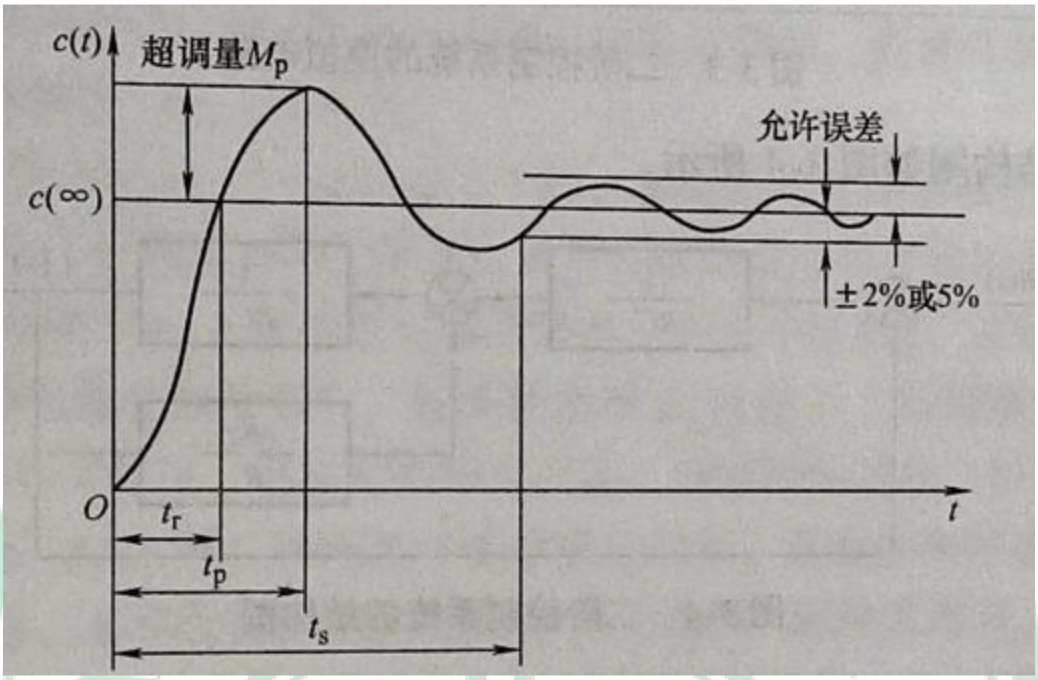


图 2：二阶系统的动态性能指标

• **上升时间(Rise Time)** t_r：当被控量$c(t)$首次由 0 上升到其稳态值所需的时间。上升时间越短，表明响应速度越快。

• **峰值时间(Peak Time)** t_p：瞬态响应第一次出现峰值的时间。

•**调整时间(Settling Time)** t_s：阶跃响应曲线开始进入偏离稳态值±Δ(Δ通常取迈±5%或±2%)的误差范围，并从此不再超越这个范围的时间。调整时间越小，表示系统动态调整过程的时间越短。

• **超调量(Maximum Overshoot)** M_p：阶跃响应的峰值$c(t_p)$与稳态值$c(\infty)$之差与稳态值之比的百分数，是描述系统相对稳定的一个动态指标。

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

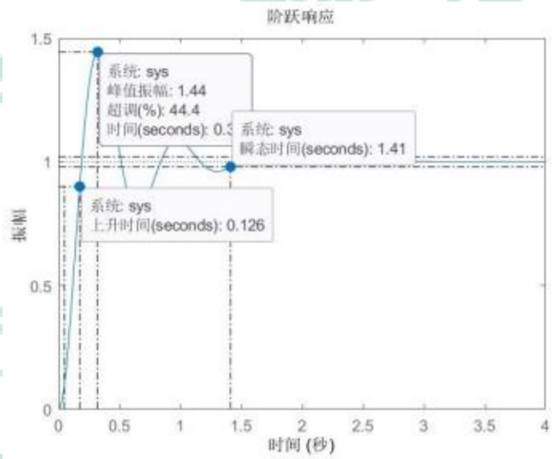
t_r、t_s、t_p 评价系统的响应速度，t_s 是同时反映响应速度和阻尼程度的综合性指标，M_p 评价系统的阻尼程度。

5）实验原理-使用 Matlab 求解各项任务

5.1 例题

1.若已知单位负反馈前向通道的传递函数为 $G(s)=\dfrac{100}{s^2+5s}$，试绘出其单位响应曲线，准确读出其动态性能指标，并记录数据。

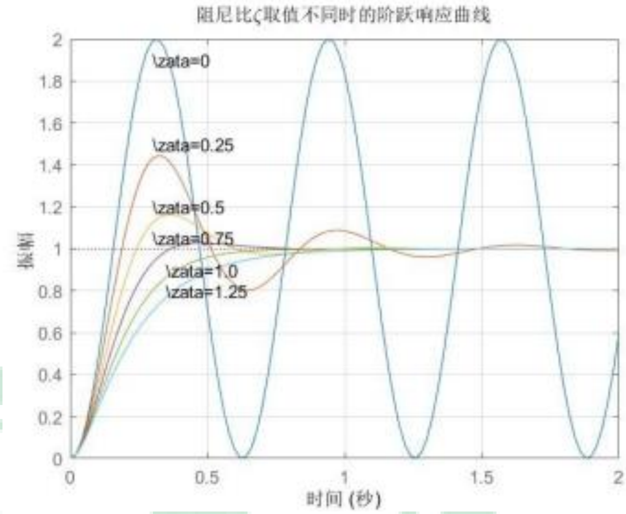
```
% sys=tf(100,[1,5,0]);
% sysc=feedback(sys,1);
% step(sysc)

num=100;
den=[1,5,0];
[numc,denc]=cloop(num,den);
t=0:0.01:4;
step(numc,denc,t);
```



在"Option"选项卡的“Show settling time within"的文 本框中，可以设置调节时间的误差范围为 2%或 5%。

2.当 $\zeta=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25$ 时，系统的闭环极点和自然振荡频率见表 2，对应系统的阶跃响应曲线如图 5 所示。

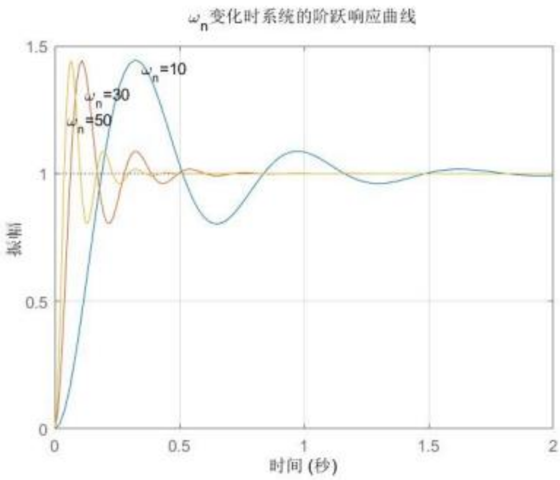
```
num=100;
i=0;
W=[];
K=[];
for sigma=0:0.25:1.25
    den=[1,2*sigma*10,100];
    [w,k]=damp(den);
    W=[W,w];
    K=[K,k];
    sys=tf(num,den);
    i=i+1;
    step(sys,2);
    hold on
end
grid
hold off
% disp(W)
% disp(K)
% disp(w)
title("阻尼比\zeta取值不同时的阶跃响应曲线");
lab1='\zata=0';text(0.3,1.9,lab1)
lab2='\zata=0.25';text(0.3,1.5,lab2)
lab3='\zata=0.5';text(0.3,1.2,lab3)
lab4='\zata=0.75';text(0.3,1.05,lab4)
lab5='\zata=1.0';text(0.35,0.9,lab5)
lab6='\zata=1.25';text(0.35,0.8,lab6)
```



由图可见，当ω_n一定时，系统随着阻尼比ζ的增大，闭环极点的实部在s左半平面的位置逐渐远离原点，虚部逐渐减小到 0，超调量减小，调节时间缩短，稳定性更好。

3.保持$\zeta=0.25$不变，分析ω_n变化时闭环极点对系统单位阶跃响应的影响当ω_n=10, 30, 50时，对应系统的阶跃响应曲线如图 6 所示。

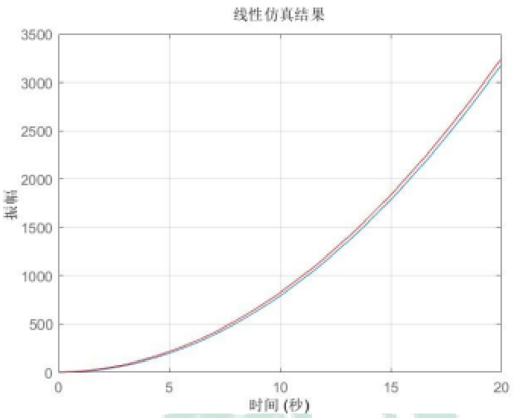
```
sigma=0.25;i=0;
for wn=10:20:50
    num=wn^2;
    den=[1,2*sigma*wn,wn^2];
    sys=tf(num,den);
    i=i+1;
    step(sys,2);
    hold on,grid
end
hold off
title("\omega_n变化时系统的阶跃响应曲线");
lab1='\omega_n=10';text(0.35,1.4,lab1)
lab2='\omega_n=30';text(0.12,1.3,lab2)
lab3='\omega_n=50';text(0.05,1.2,lab3)
```



由图可见，当ζ一定时，随着ω_n增大，系统响应加速，振荡频率增大，系统调整时缩短，但是超调量没变化。

4.当输入信号为$u(t)=5+2t+8t^2$时，求系统$G(s)=\dfrac{10}{s^2+2s+10}$的输出响应曲线。

```
num=10;
den=[1,2,10];
G=tf(num,den);
t=0:0.1:20;
u=5+2*t+8*t.^2;
lsim(G,u,t),hold on,plot(t,u,'r');
grid on;
```



5.2 练习题

1.试绘出以下系统的阶跃响应，与原系统$G(s)=\dfrac{10}{s^2+2s+10}$的阶跃响应曲线进行比较，并对实验结果进行分析。

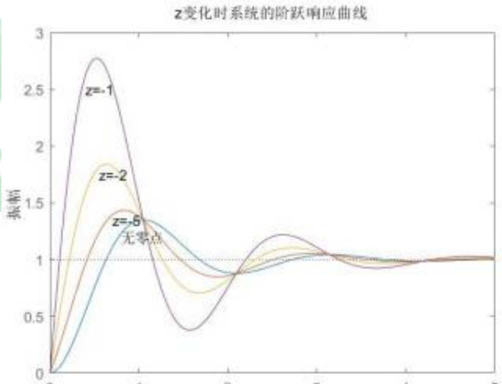
① $z=-5, G_1(s)=\dfrac{2(s+5)}{s^2+2s+10}$

② $z=-2, G_1(s)=\dfrac{5(s+2)}{s^2+2s+10}$

③ $z=-1, G_1(s)=\dfrac{10(s+1)}{s^2+2s+10}$。

```
num=10;
den=[1,2,10];
sys=tf(num,den);
step(sys,5);
hold on;grid
for z=[-5,-2,-1]
    num=[-10/z,10];
    sys=tf(num,den);
    step(sys,5);
    hold on;grid
end
hold off
```

```
hold off
title("z变化时系统的阶跃响应曲线");
lab1="无零点";text(0.8,1.2,lab1);
lab2="z=-5";text(0.7,1.35,lab2);
lab3="z=-2";text(0.55,1.75,lab3);
lab4="z=-1";text(0.4,2.5,lab4);
```



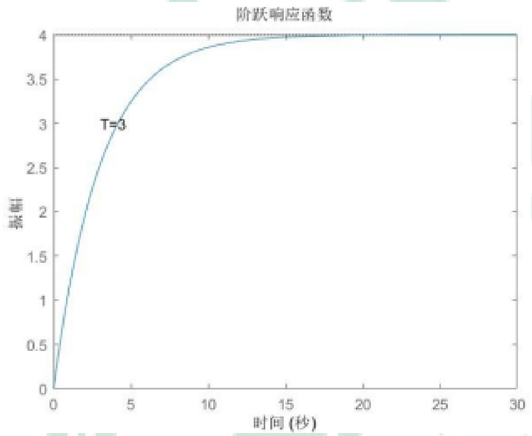
由上图可见，增加有效的闭环零点，不会改变特征方程，即不会改变系统的稳定性。但是闭环零点的加入改变了系统的动态性能，

使系统响应速度增加（上升时间减小，峰值时间减小），超调量增加。

5.3 实验任务

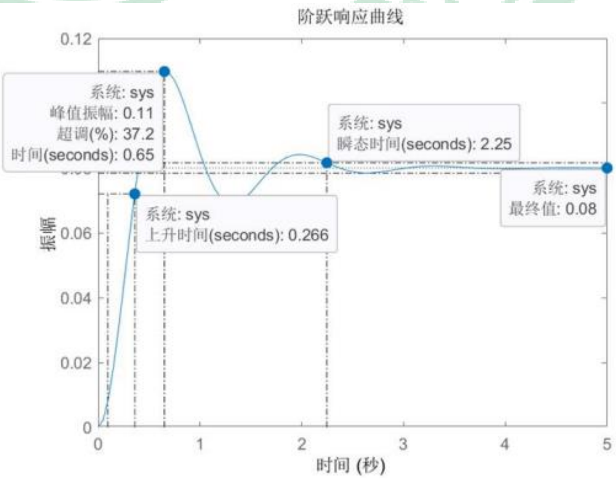
1、已知系统传递函数为$G(s)=\dfrac{4}{3s+1}$，试绘制其阶跃响应曲线，并标注惯性时间常数。

```
num=4;
den=[3,1];
sys=tf(num,den);
step(sys);
title("阶跃响应函数");
lab='T=3';text(3,3,lab);
```



2、已知系统传递函数为$G(s)=\dfrac{2}{s^2+3s+25}$，试绘制其在 5s 内的单位阶跃响应曲线，并测出动态性能指标。

```
num=2;
den=[1,3,25];
% sys=tf(num,den);
[numc,denc]=cloop(num,den);
t=0:0.01:5;
step(numc,denc,t);
title("G(s)的单位阶跃函数");
```



结果分析：

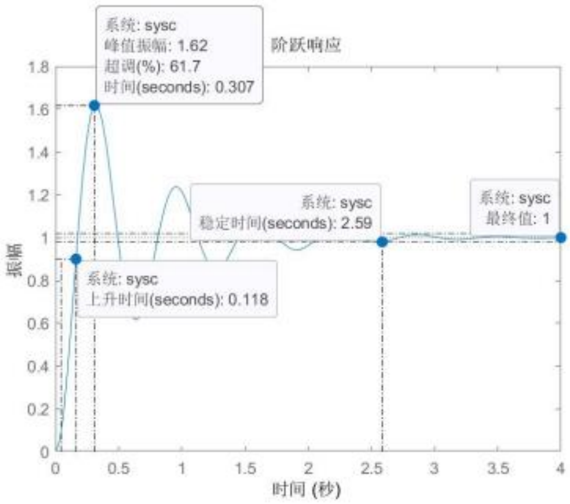
1. **上升时间**：系统从 0%到 100%的响应时间是 0.266 秒，这表明系统响应迅

速。

2. **超调量**：系统响应超过稳态值 37.2%，这可能表明系统在达到稳态值之前会有较大的波动。
3. **峰值时间**：系统达到第一个峰值的时间是 0.65 秒，这与上升时间相比，说明系统在达到峰值前有一段稳定期。
4. **调节时间**：系统在 2.02 秒内达到并保持在稳态值 5%的范围内，这表明系统在调节到接近稳态值时需要一定的时间。

3、已知系统的开环传递函数为$G(s)=\dfrac{100}{s^2+3s}$，试绘制其单位负反馈闭环系统的单位阶跃响应曲线，并测出动态性能指标。

```
num=100;
den=[1,3,0];
sys=tf(num,den);
sysc=feedback(sys,1,-1);
step(sysc);
```



结果分析：

1. **上升时间 t_r=0.115**：

   tr 为 0.115 秒，表明系统的响应速度较快。上升时间通常受系统的极点实部控制。极点的实部越大，系统的响应越快，上升时间越短。如果极点位于左半平面，系统更稳定且响应速度快。

2. **超调量 M_p=62.1%**：

超调量达到 62.1%，表明系统的阻尼较低，存在较大的超调和振荡。超调量受系统的阻尼比 ζ 影响，阻尼比越小，超调量越大。超调的出现是因为系统的闭环极点呈现共轭复数根，导致系统有振荡行为。

3. **峰值时间 t_p=0.32s**：

处峰值时间为 0.32 秒，表明系统在短时间内达到了超调点。峰值时间与系统的自然频率和阻尼比有关。当阻尼比较小时，系统的峰值时间较短，但伴随较大的超调。

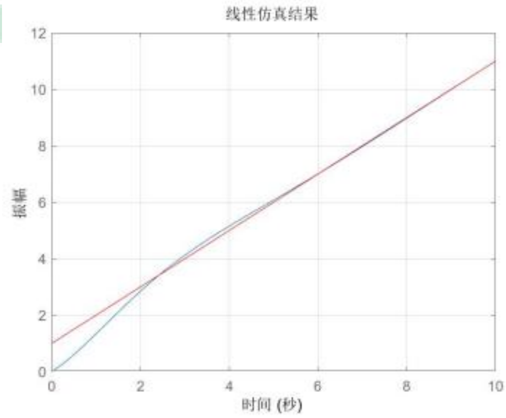
4. **调节时间 t_s=1.96s（误差范围 Δ=5%）**：

1.96 秒的调节时间表示系统的调节较快。调节时间与系统的极点位置相关。极点离虚轴越远，系统的振荡越快衰减，调节时间越短。此系统中的调节时间与较快的上升时间和振荡模式一致，虽然超调较大，但调节较快。

总结：在此系统中，较短的上升时间和峰值时间表明响应速度快，而较大的超调量说明系统的阻尼较低，振荡较为明显。

4、当输入信号为 $u(t)=1(t)+t\cdot 1(t)$ 时，求系统 $G(s)=\dfrac{s+1}{s^2+s+1}$ 的输出响应曲线。

```
num=[1,1];
den=[1,1,1];
G=tf(num,den);
t=0:0.01:10;
u=1+t;
lsim(G,u,t);
hold on
plot(t,u,'r','LineWidth',2);
grid on;
```



6）实验总结

闭环系统的零极点对系统阶跃响应的影响主要体现在以下几个方面：

1. **极点的实部与系统稳定性：**
   - 当所有闭环极点的实部位于左半平面时，系统是稳定的，且随着实部的增加，系统的响应速度加快。实部越大，系统响应越快，调整时间越短。
   - 如果闭环极点位于右半平面，系统会出现不稳定，表现为振荡或发散。
2. **极点的虚部与系统振荡：**
   - 极点的虚部与系统的振荡相关。虚部越大，振荡越频繁，超调量越大。这种系统通常表现为欠阻尼系统，会出现一定的振荡和超调。
3. **零点的影响：**
   - 系统的零点可以影响超调量和振荡行为。如果系统存在零点，可能会增强或减弱系统的超调。零点靠近实轴时，系统响应的超调量会减少。
   - 零点的引入还可以改变系统的稳态误差，尤其是当系统有零极点时，零点的存在可能会减小稳态误差。
4. **闭环零极点分布与动态性能：**
   - 当系统的闭环极点位于左半平面且呈共轭复数时，阶跃响应表现为振荡衰减曲线，具有一定的超调量。
   - 如果闭环极点位于实轴且为负实数，则系统的阶跃响应呈单调上升的收敛曲线，过渡过程较慢，超调量小或没有超调。

7）实验心得

在本次实验中，我学习了如何使用 MATLAB 的控制系统工具箱来分析和设计控制系统的时域性能指标，并且我对控制系统的动态性能有了更深入的了解. 在实验中，我们进一步了解了一些常见的动态性能指标，包括上升时间、 峰值时间、调整时间和超调量等。这些指标可以用来评估系统对输入信号的快 速响

应能力和稳定性。

在实验中发现闭环零极点对系统阶跃响应有重要的影响，它们可以影响系统的稳定性、超调量、峰值时间以及静态误差等性能指标。以下是一些常见的规律和影响：

1. 极点的实部决定了系统的稳定性。如果所有的极点都位于左半平面（实部为负），系统是稳定的。如

2. 零点的实部和虚部会影响系统的超调量和振荡。

3. 零点的存在可以减小系统的稳态误差，特别是对于常规型系统（具有零极点的系统）。

总的来说，闭环零极点的位置和数量对系统的阶跃响应有重要影响，可以根据特定的性能要求来设计这些零极点，以满足系统的稳定性、超调量、峰值时间和稳态误差等性能指标。