

国家精品课程/ 国家精品资源共享课程/ 国家级精品教材

国家级十一(二)五规划教材/ 教育部自动化专业教学指导委员会牵头规划系列教材

控制系统仿真与CAD

第五章 线性系统的计算机辅助分析

线性系统的数值仿真分析(下)

Numerical Simulation of Linear Control Systems (II)



主讲：薛定宇教授



线性系统的数字仿真分析

- 线性系统的解析解可以求解的条件
- 4 阶以上的系统需要求解 4 阶以上的多项式方程，根据 Abel 定理，无解析解。
- 实际应用需要数值解，需要阶跃响应曲线
- 主要内容
 - 线性系统的阶跃响应与脉冲响应
 - 任意输入下系统的响应
 - 非零初始条件下的时域响应



线性系统的阶跃响应与脉冲响应

➤ 阶跃响应曲线绘制函数

`step(G)`

`[y,t]=step(G)`

`[y,t]=step(G,tf)`

`y=step(G,t)`

➤ 多系统曲线绘制

`step(G1, '- ', G2, '-.b', G3, ':r')`



例5-17 延迟系统的阶跃响应

➤ 受控对象模型 $G(s) = \frac{10s + 20}{10s^4 + 23s^3 + 26s^2 + 23s + 10} e^{-s}$

➤ MATLAB 语句

```
 >> G=tf([10 20],[10 23 26 23 10],'ioDelay',1);  
step(G,30);
```

➤ 可以从曲线上得到更多的信息，如超调量等

➤ 闭环阶跃响应

```
 >> step(feedback(ss(G),1),30);
```



例5-18 离散化系统的响应

- 连续系统模型离散化 $G(s) = \frac{1}{s^2 + 0.2s + 1}e^{-s}$
- 采样周期 $T=0.01, 0.1, 0.5, 1.2$
- 求解



```
>> G=tf(1,[1 0.2 1],'ioDelay',1);  
    G1=c2d(G,0.01,'zoh'); G2=c2d(G,0.1);  
    G3=c2d(G,0.5); G4=c2d(G,1.2);  
    step(G,'-',G2,'--',G3,':',G4,'-.',10)
```

- 得出的曲线可以比较



例5-19 多变量系统响应

➤ 多变量系统，阶跃响应

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{0.1134e^{-0.72s}}{1.78s^2 + 4.48s + 1} & \frac{0.924}{2.07s + 1} \\ \frac{0.3378e^{-0.3s}}{0.361s^2 + 1.09s + 1} & \frac{-0.318e^{-1.29s}}{2.93s + 1} \end{bmatrix}$$

➤ MATLAB 求解语句：开环阶跃响应



```
>> g11=tf(0.1134,[1.78 4.48 1],'ioDelay',0.72);  
g12=tf(0.924,[2.07 1]);  
g21=tf(0.3378,[0.361 1.09 1],'ioDelay',0.3);  
g22=tf(-0.318,[2.93 1],'ioDelay',1.29);  
G=[g11, g12; g21, g22]; step(G)
```



例5-20 系统的耦合现象

- 系统耦合的概念
- 前置耦合矩阵

$$K_p = \begin{bmatrix} 0.1134 & 0.924 \\ 0.3378 & -0.318 \end{bmatrix}$$

- 补偿后系统的阶跃响应



```
>> Kp=[0.1134,0.924; 0.3378,-0.318];  
step(ss(G)*Kp)
```



例5-21 系统的脉冲响应曲线

- `impulse()` 函数与 `step()` 函数调用结构完全一致

`impulse(G), [y,t]=impulse(G)`

`[y,t]=impulse(G,t_f), y=impulse(G,t)`

- 系统模型 $G(s) = \frac{10s + 20}{10s^4 + 23s^3 + 26s^2 + 23s + 10} e^{-s}$

- MATLAB 求解



```
>> G=tf([10 20],[10 23 26 23 10],'ioDelay',1);  
impulse(G, 30);
```




例5-22 斜坡响应计算

➤ 可以利用 `step()` 和 `impulse()` 函数求解

➤ 输出信号计算 $Y(s) = G(s)R(s)$

➤ 传递函数模型

$$G(s) = \frac{10s + 20}{10s^4 + 23s^3 + 26s^2 + 23s + 10} e^{-s}$$

➤ 斜坡响应等效于 $G(s)/s$ 的阶跃响应或 $G(s)/s^2$ 的脉冲响应



```
>> G=tf([10 20],[10 23 26 23 10],'ioDelay',1);  
s=tf('s'); step(G/s,50);
```

