

实验三 LTI 连续系统响应的 MATLAB 求解

3.1 实验目的

- (1) 熟练使用 MATLAB 软件，学会查找函数说明并使用新函数；
- (2) 掌握使用 MATLAB 对连续线性时不变系统进行分析。

3.2 实验预习要求

- (1) 复习 LTI 连续系统的性质；
- (2) 复习求解简单的微分方程。

3.3 实验仪器

表 3- 1 实验仪器与器件列表

名称	数量	型号（推荐）
电脑	1	CPU i5 以上
MATLAB 软件	1	2012 以上版本

3.4 实验原理

激励和响应均为连续时间信号的系统，称为连续系统。对于连续系统，若同时满足线性和时不变性，则称该系统为线性时不变系统或简称 LTI 连续系统。LTI 连续系统时域分析是信号与系统分析的重要方法。图 3-1 是 LTI 连续系统的示意图。



图 3- 1 连续系统的示意图

描述 LTI 连续系统激励 $f(t)$ 与响应 $y(t)$ 之间关系的数学模型是 n 阶常系数线性微分方程，它可以表示为

$$\begin{aligned} & a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \cdots + a_1 y^{(1)}(t) + a_0 y(t) \\ & = b_m f^{(m)}(t) + b_{m-1} f^{(m-1)}(t) + \cdots + b_1 f^{(1)}(t) + b_0 f(t) \end{aligned} \quad (\text{式 3-1})$$

或者简写为

$$\sum_{i=0}^n a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^m b_j f^{(j)}(t) \quad (\text{式 3-2})$$

式中： $a_i(i=0,1,2,\dots,n)$ 和 $b_j(j=0,1,2,\dots,m)$ 为实系数。当 $a_n=1$ ，系统的初始条件为 $y(0^-)$ ， $y^{(1)}(0^-)$ ， \dots ， $y^{(n-1)}(0^-)$ 。

系统的响应一般包括两个部分：即由当前输入产生的响应（零状态响应）和由历史输入（初始状态）所产生的响应（零输入响应）。对于低阶系统，一般可以通过解析的方法得到响应。但是，对于高阶系统，可以利用 MATLAB 软件强大的计算功能确定系统的各种响应，如冲激响应、阶跃响应、零输入响应、零状态响应和全响应等。

MATLAB 的 `lsim()`函数可对（式 3-1）或（式 3-2）所示微分方程描述的 LTI 连续系统的响应进行仿真。

`lsim()` 函数不仅能绘制连续系统在指定的任意时间范围内系统响应的时域波形及输入信号的时域波形，还能求出连续系统在指定的任意时间范围内系统响应的数值解。

`lsim()`函数有两种调用格式：

(1) `lsim(sys,f,t)`

该调用格式对向量 t 定义的时间范围内的系统响应进行仿真，即绘制 LTI 连续系统响应的时域波形，同时还绘出系统的激励信号对应的时域波形。

在该调用格式中，输入参量 f 和 t 是两个表示输入信号的行向量，其中 t 表示输入信号时间范围的向量， f 则是输入信号在向量 t 定义的时间点上的值。

输入系数 sys 是由 MATLAB 的 `tf()`函数根据系统微分方程的系数生成的系统函数对象（TF 对象）。`tf()` 函数的调用格式为

$$sys = tf(b,a)$$

上述 `tf()` 函数的调用格式中，输入参数 b 为式（3-2）所描述的微分方程右边多项式系数 $b_j(j=0,1,2,\dots,m)$ 构成的行向量， a 为微分方程左边多项式系数 $a_i(i=0,1,2,\dots,n)$ 构成的行向量，输出参数 sys 为返回 MATLAB 定义的系统函数对

象。注意：微分方程中为零的系数一定要写入向量 a 和 b 中。

例如，对如下微分方程描述的系统

$$y''(t) + 3y'(t) + 2y(t) = -f'(t) + 2f(t) \quad (\text{式 3-3})$$

由 tf() 函数生成其系统函数对象 sys 的命令为

```
a = [1 3 2];  
b = [-1 2];  
sys = tf(b,a)      % 调用tf函数生成系统函数对象sys
```

上述命令运行结果为

```
      -s + 2  
-----  
s^2 + 3 s + 2
```

调用 tf() 函数生成系统函数对象 sys，并用向量 f 和 t 定义了系统的激励信号后，即可调用 lsim() 函数对连续系统的响应进行仿真。

(2) $y = \text{lsim}(\text{sys}, f, t)$

该调用格式中的输入参数 sys, f 和 t 的定义与第一种调用函数格式完全相同。区别在于，该调用格式并不绘出系统响应与激励的时域波形，而是由输出参数 y 返回由输入参数 sys、 f 和 t 所定义的系统在与向量 t 定义的时间范围相一致的系统响应的数值解。

3.5 实验内容

已知描述某连续系统的微分方程为

$$y''(t) + 2y'(t) + y(t) = f'(t) + 2f(t) \quad (\text{式 3-4})$$

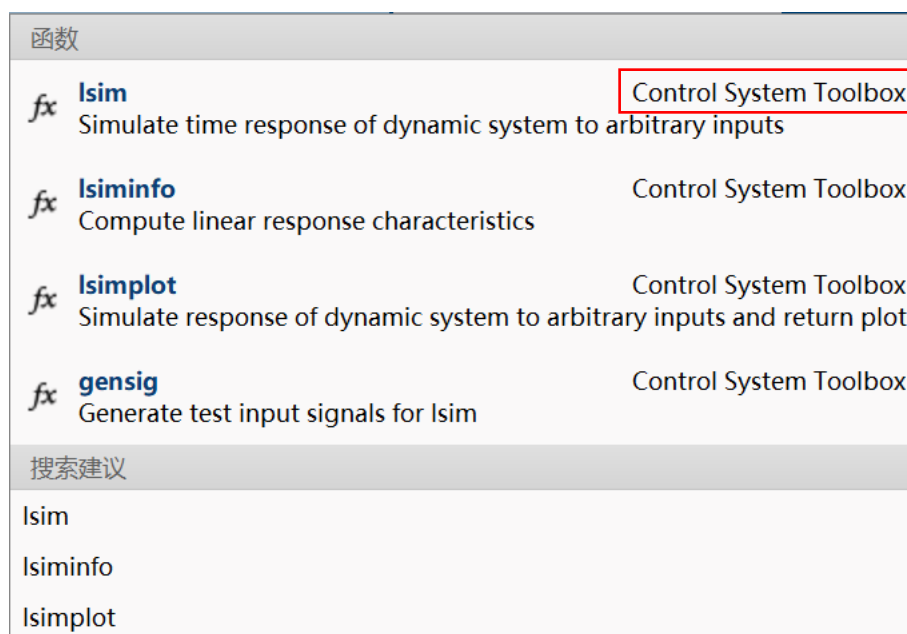
用 Matlab 对系统当输入信号为 $f(t)=e^{-2t}$ 时 ($0 \leq t \leq 10$) 的系统响应 $y(t)$ 进行仿真，并绘出系统响应及输入信号时域波形。注意：设置步长为 0.1。也请在图上添加图列 legend，表示哪个曲线属于哪种类型的波形或者响应。

3.6 注意事项

(1) 请独立完成任务，或查书，或百度谷歌，但是不允许复制粘贴（自律），都尽

可能地详尽，不能敷衍!!

- (2) 使用计算机和上网请遵守国家法律法规;
- (3) 函数 `lsim` 和函数 `tf` 需要 MATLAB 安装了 Control System Toolbox 才可以使用，如果在检索框中查询 `lsim`，有如下搜索结果：



说明 MATLAB 已经安装了 Control System Toolbox。如果未安装，对于正版软件，可以在 MATLAB 中再次下载。具体做法是，在 MATLAB 菜单栏--主页--附加功能--获取附加功能，或者在菜单栏 APP----获取更多 APP，进入页面中搜索并安装 Control System Toolbox，安装结束后，才可使用两函数。



- (4) 常用命令 `plot`:

<code>plot (x)</code>	
<code>plot (x, y)</code>	
<code>plot(x, y, 'r--', 'linewidth', 2)</code>	颜色&线型
<code>hold on/off</code>	绘制多条曲线
<code>title(' ')</code>	添加标题
<code>xlabel(' ')</code>	给 X 轴加标注

<code>ylabel(' ')</code>	给 Y 轴加标注
<code>grid on/off</code>	打开网格
<code>stem()</code>	
<code>stem (x)</code>	
<code>stem (x, y)</code>	
<code>bar()</code>	直方图
<code>subplot()</code>	
<code>semilogx (), semilogy (), loglog ()</code>	

3.7 实验报告要求

- (1) 独立完成实验内容，诚实记录实验结果；
- (2) 实验思考题要写在实验报告中。
- (3) 实验体会、意见和建议写在实验结论之后。
- (4) 实验报告须包括：

- 1、电子版的实验报告；
- 2、程序源文件：*.m

以上内容请按照以下顺序放到一个文件夹内，并将文件夹命名为：学号-姓名-实验*，如：180110888-张三-实验一。