武汉大学教学实验报告

电子信息学院 电子信息工程 专业 2019 年 9 月 27 日

实验名称 二阶状态轨迹的显示 指导教师 黄根春

姓名 李昊 年级 2017级 学号 2017301200060 成绩

|  |
| --- |
| 1 实验目的   1. 熟悉二阶连续时间系统状态轨迹的概念； 2. 掌握连续时间系统冲激响应、阶跃响应的求解方法； 3. 观察过阻尼，欠阻尼，临界阻尼情况下，RLC 电路的状态轨迹。   2 实验原理  2.1 二阶状态轨迹  系统数学模型的描述方法有输入输出描述法和状态变量分析法。在输入输出描述法中，主要建立系统的输入（激励）与系统的输出（响应）之间的关系，不关心系统内部的变化情况。在状态变量分析法中，需在先确定状态变量后，建立描述系统状态变量与输入之间的关系（状态方程），以及建立系统输出变量与系统状态变量及系统输入之间的关系（输出方程），这种分析法不仅能反映输入与输出的关系，而且能了解系统内部的变化过程。  在状态变量分析法中，状态变量是建立状态方程和输出方程的关键变量，是能描述系统动态特性的一组独立完备的变量。对于一个二阶系统，则可以用两个状态变量来描述系统的动态特性，这两个状态变量构成的列矢量称为状态矢量，以这两个状态变量为坐标轴而形成的空间称为二维状态空间。在状态空间中状态矢量端点随时间变化而描述出的路径为状态轨迹。因此状态轨迹对应系统在不同时刻，不同条件下的状态，知道了某段时间内的状态轨迹，则系统在该时间内的变化过程也就知道了，所以二阶状态轨迹的描述方法是一种在几何平面上研究系统动态性能（包括稳定性在内）的方法。用计算机模拟二阶状态轨迹的显示，方法简单直观，且能很方便观察电路参数变化时，状态轨迹的变化规律。  2.2 RLC串联电路的状态变量分析  RLC串联电路可看作一个二阶连续时间系统。对于该二阶系统，若要用状态变量分析来描述该系统的数学模型，可选用（电感电流）和（电容电压）作为状态变量，这两个状态变量所形成的空间称为状态空间。在状态空间中，状态矢量 随时间变化而描出的路径叫状态轨迹。  3 实验内容   1. 【验证性实验】在MATLAB中实现一个图形界面（GUI）程序，显示RLC串联电路系统的单位阶跃响应：用户输入R，L，C的值，程序判断响应类型（过阻尼、临界阻尼、欠阻尼、无阻尼），并绘制，曲线以及状态轨迹。 2. 已知某系统的系统函数为，若系统起始状态为零，在激励信号为情况下，画出该系统的状态轨迹。   4 实验操作过程  4.1 RLC串联电路的单位阶跃响应   1. 在 MATLAB 命令窗口中输入“guide”，启动 GUI编辑器； 2. 利用GUI编辑器编辑图**4.1**所示界面，并将其保存为trace.fig文件；   图**4.1** GUI编辑界面示意   1. 运行GUI，并生成trace.m文件； 2. 选中图**4.1**所示界面中“显示状态轨迹”按钮，点击右键选择菜单上的 View Callbacks，选择Callback，MATLAB Editor会自动跳到该按钮对用的Callback Function内，该函数在按钮按下时调用。在该函数内实现程序的主要功能，详细代码见附录A.1。   4.2 由系统函数绘制系统的状态轨迹  系统函数是描述系统的其中一种数学模型，它只关心系统的输出-输入关系，不关心系统内部的状态变化；为了绘制出该系统的状态轨迹，可以按照以下的几个步骤进行：   1. 对系统函数进行形式简化（式**（4.1）**），据此绘制系统流图，如图**4.2**：   **（4.1）**                          图**4.2** 系统的状态流图   1. 取积分器的输出，为状态变量，列写状态方程**（4.2）**与输出方程**（4.3）**。（要求绘制状态轨迹图，故直接输出两状态变量即可）   **（4.2）**  **（4.3）**   1. 在MATLAB中使用ss函数生成一个由状态方程、输出方程描述的系统，然后使用impulse函数即可得到冲激响应，之后使用plot函数绘制状态轨迹。详细代码见附录A.2。   5 实验数据与结果  5.1 RLC串联电路的单位阶跃响应  选择不同的R，L，C，使电路分别处于过阻尼、临界阻尼、欠阻尼、无阻尼状态，观察每种响应的状态轨迹，如图**5.1 - 5.4**。  图**5.1** 过阻尼响应    图**5.2** 临界阻尼响应  图**5.3** 欠阻尼响应    图**5.4** 无阻尼响应  5.2 由系统函数绘制系统的状态轨迹  选择求解冲激响应后，取**（4.3）**式中的为横坐标，为纵坐标，绘制系统的状态轨迹，如图**5.5**。  图**5.5** 描述的系统的阶跃响应状态轨迹  6 实验效果分析与总结  本次实验主要有两个核心内容：一是MATLAB环境下的GUI设计，二是在MATLAB中使用状态方程和输出方程描述系统，并使用MATLAB的库函数计算系统的响应。  MATLAB提供的GUI设计方式和主流的图形界面开发工具逻辑类似，将按钮、文本框、图窗等设计元素拖动到需要的位置，编译器会为每个元素分配变量名和响应函数，用户只需要在对应的响应函数内编写执行程序功能的代码即可，极大的简化了开发流程。  在平时的课程学习中，我们分析系统一般都是由输出和输入的关系入手，将系统看作是“黑箱”，而极少使用状态变量分析的方法。本次实验将状态变量分析的方法用于RLC串联电路系统的分析中，并绘制了不同响应类型对应的状态轨迹，让我对系统分析方法有了新的认识。 |
| 教师评语 |
| 指导教师 年 月 日 |

附录

A.1 RLC串联电路的单位阶跃响应 核心代码

注：下述程序段是按钮“显示状态轨迹”的回调函数，实现了计算阶跃响应，绘制状态轨迹的功能。

% --- Executes on button press in showState.

function showState\_Callback(hObject, eventdata, handles)

t = 0:0.1:100;

%从界面上获取电路参数

R = str2num(get(handles.R,'string'));

L = str2num(get(handles.L,'string'));

C = str2num(get(handles.C,'string'));

%若系统以[iL(t),vC(t)]为响应，以e(t)为激励

%确定系统状态方程和输出方程中的 a,b,c,d 矩阵

a = [-R/L -1/L;1/C 0];

b = [1/L;0];

c = [1 0;0 1];

d = [0];

sys = ss(a,b,c,d); %建立系统状态空间模型

Response = step(sys,t); %求系统的阶跃响应

axes(handles.axes1);

plot(t,Response(:,1),'b-','linewidth',2); %显示iL(t)

ylabel('iL(t)','fontsize',14)

axes(handles.axes2);

plot(t,Response(:,2),'r-','linewidth',2); %显示vC(t)

ylabel('vC(t)','fontsize',14)

axes(handles.axes3);

plot(Response(:,2),Response(:,1),'linewidth',2); %显示状态轨迹

xlabel('vC(t)','fontsize',14)

ylabel('iL(t)','fontsize',14)

%判断系统的阻尼状态

alpha = R/(2\*L);

omega = 1/sqrt(L\*C);

if (R==0)

str = '无阻尼';

else

if(alpha>omega)

str = '过阻尼';

end

if(alpha==omega)

str = '临界阻尼';

end

if(alpha<omega)

str = '欠阻尼';

end

end

set(handles.textState,'string',str);

A.2 由系统函数绘制系统的状态轨迹 源代码

t = 0:0.1:500;

%确定系统状态方程和输出方程中的 a,b,c,d 矩阵

a = [-1 0; 0 -2];

b = [1; 1];

c = [1 0; 0 1];

d = [0; 0];

sys = ss(a,b,c,d); %建立系统状态空间模型

Response = impulse(sys,t); %求系统的冲激响应

figure(1);

plot(Response(:,1),Response(:,2),'linewidth',2); %显示状态轨迹

xlabel('lambda1(t)','fontsize',14)

ylabel('lambda2(t)','fontsize',14)