

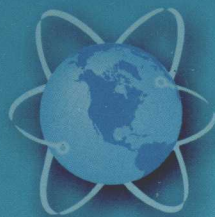
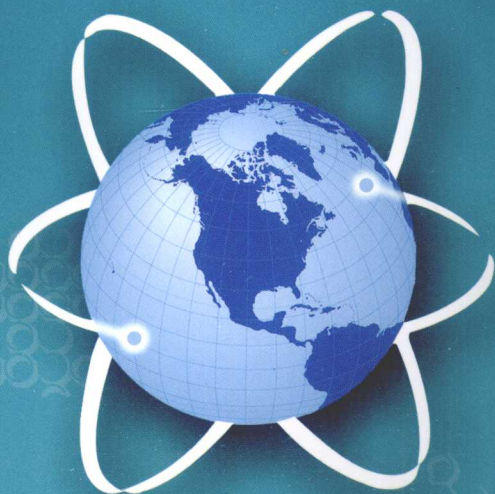


电子信息类专业实验与设计系列教材

# 信号与系统 实验指导

容太平 何兆湘 魏晓云 罗和平

XINHAO YU XITONG  
SHIYAN ZHIDAO



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

电子信息类专业实验与设计系列教材

# 信号与系统实验指导

容太平 何兆湘 魏晓云 罗和平

华中科技大学出版社

中国·武汉

## 图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实验指导/容太平 何兆湘 魏晓云 罗和平. —武汉:华中科技大学出版社,2009年9月

ISBN 978-7-5609-5582-7

I. 信… II. ①容… ②何… ③魏… ④罗… III. 信号系统-实验-高等学校-教学参考资料 IV. TN 911.6-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 133916 号

信号与系统实验指导

容太平 何兆湘 魏晓云 罗和平

策划编辑:谢燕群

责任编辑:田 密

责任校对:朱 霞

封面设计:刘 卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:9.5

字数:180 000

版次:2009年9月第1版

印次:2009年9月第1次印刷

定价:16.80元

ISBN 978-7-5609-5582-7/TN·151

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

## 内 容 提 要

本书是与《信号与系统》配套的实验教材,分为信号与系统软件仿真实验和信号与系统硬件实验两部分,并提供实验软件。

信号与系统软件仿真实验主要包括:Matlab 实验软件介绍、连续时间系统的时域分析、信号的傅里叶分析、连续时间系统的频域分析、拉普拉斯逆变换及应用、离散时间系统的时域分析、离散时间系统的  $Z$  域分析、状态变量分析法、线性系统的稳定性分析、离散傅里叶变换、快速傅里叶变换(FFT)及其应用等实验内容。

信号与系统硬件实验主要包括:硬件实验内容介绍,阶跃响应与冲激响应,零输入响应与零状态响应,信号的分解与合成,谐波的相位、幅度对合成波形的影响,信号的采样与恢复,串联谐振电路、并联谐振电路特性的观察与研究,RC 电路移相特性的观察与分析,补偿分压电路实现无失真传输的观察与分析,二阶无源滤波器幅频特性的观察、分析与研究,二阶有源滤波器幅频特性的观察、分析与研究,4 阶巴特沃斯有源滤波器幅频特性的观察、分析与研究,二阶网络状态轨迹的观察、分析与研究,一阶连续时间系统模拟的观察、分析与研究,二阶连续时间系统模拟的观察、分析与研究等实验内容。

本书可作为高等院校工科弱电类专业,如电子、电信、通信、光信息、控制、电气、机电、计算机科学及其相关专业本科生信号与系统课程的配套教材,也可供从事信号与系统相关研究工作的工程技术人员参考。

# 前 言

本书是与容太平主编的《信号与系统》配套的实验教材。为了帮助学生加深理解课程的基本概念、掌握基本内容和基本方法,为了增强学生的软件仿真能力和实际动手能力,本书分为信号与系统软件仿真实验和信号与系统硬件实验两部分。

信号与系统软件仿真实验主要包括:Matlab 实验软件介绍、连续时间系统的时域分析、信号的傅里叶分析、连续时间系统的频域分析、拉普拉斯逆变换及应用、离散时间系统的时域分析、离散时间系统的  $Z$  域分析、状态变量分析法、线性系统的稳定性分析、离散傅里叶变换,快速傅里叶变换(FFT)及其应用等实验内容。

信号与系统硬件实验主要包括:硬件实验内容介绍,阶跃响应与冲激响应,零输入响应与零状态响应,信号的分解与合成,谐波的相位、幅度对合成波形的影响,信号的采样与恢复,串联谐振电路、并联谐振电路特性的观察与研究,RC 电路移相特性的观察与分析,补偿分压电路实现无失真传输的观察与分析,二阶无源滤波器幅频特性的观察、分析与研究,二阶有源滤波器幅频特性的观察、分析与研究,4 阶巴特沃斯有源滤波器幅频特性的观察、分析与研究,二阶网络状态轨迹的观察、分析与研究,一阶连续时间系统模拟的观察、分析与研究,二阶连续时间系统模拟的观察、分析与研究等实验内容。

本书注重理论和实践相结合,注重学生实际能力的锻炼和综合素质的提高,除了课堂理论验证性实验外,还安排了较多的综合性和设计性的实验内容。实验内容条理清楚,深入浅出,既适宜于指导软件仿真,也适宜于指导硬件实验,便于自学。

本书 1、2 章信号与系统软件仿真实验由容太平、魏晓云、罗和平编写,3、4 章信号与系统硬件实验由何兆湘、赵真编写。完成软件仿真实验需要 12 学时,完成硬件实验需要 12 学时。如果学生能做到课前预习,应该能在 24 学时内完成软、硬件实验项目中的主要实验内容。对于 8 学时实验课的专业可由指导教师根据学生理论课所学的内容选择软件仿真硬件实验内容。其中,“\*”号表示提高内容。

由于编者学识有限,时间紧迫,本书中可能存在错误或不妥之处。欢迎读者指正,并表示衷心的感谢。

本书是在华中科技大学文华学院各级领导和各部门的大力支持和帮助下完成的,要特别感谢学院副院长严国萍教授。

编 者

2009 年 7 月

# 目 录

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 绪论 .....                     | (1)   |
| 第 1 章 软件仿真实验系统简介 .....       | (5)   |
| 1.1 软件仿真实验系统的主要内容和使用方法 ..... | (5)   |
| 1.2 设计性实验操作与注意事项 .....       | (7)   |
| 第 2 章 软件仿真实验内容 .....         | (8)   |
| 2.1 连续时间系统的时域分析实验 .....      | (8)   |
| 2.2 信号的傅里叶分析实验 .....         | (18)  |
| 2.3 连续时间系统的频域分析实验 .....      | (29)  |
| 2.4 拉普拉斯逆变换及应用实验 .....       | (34)  |
| 2.5 离散时间系统的时域分析实验 .....      | (41)  |
| 2.6 离散时间系统的 $Z$ 域分析实验 .....  | (51)  |
| 2.7 状态变量分析法实验 .....          | (56)  |
| 2.8 线性系统的稳定性分析实验 .....       | (62)  |
| 2.9 离散傅里叶变换实验 .....          | (67)  |
| 2.10 快速傅里叶变换及其应用实验 .....     | (76)  |
| 第 3 章 信号与系统硬件实验简介 .....      | (85)  |
| 3.1 信号与系统实验箱 .....           | (85)  |
| 3.2 硬件实验报告的要求 .....          | (86)  |
| 第 4 章 硬件实验内容 .....           | (88)  |
| 4.1 DDS 信号发生器的使用实验 .....     | (88)  |
| 4.2 信号源的使用实验 .....           | (90)  |
| 4.3 扫频信号源的组成与使用实验 .....      | (93)  |
| 4.4 数字频率计的使用实验 .....         | (94)  |
| 4.5 交流毫伏表的使用实验 .....         | (96)  |
| 4.6 阶跃响应与冲激响应实验 .....        | (97)  |
| 4.7 零输入响应与零状态响应实验 .....      | (100) |
| 4.8 信号的分解与合成实验 .....         | (103) |
| 4.9 谐波的相位、幅度对合成波形的影响实验 ..... | (106) |

---

|                   |                                   |       |
|-------------------|-----------------------------------|-------|
| 4.10              | 信号的采样与恢复实验 .....                  | (110) |
| 4.11              | 串联谐振电路特性的观察与研究实验 .....            | (113) |
| 4.12              | 并联谐振电路特性的观察与研究实验 .....            | (115) |
| 4.13              | RC 电路相移特性的观察与分析实验 .....           | (117) |
| 4.14              | 补偿分压电路实现无失真传输的观察与分析实验 .....       | (119) |
| 4.15              | 二阶无源滤波器幅频特性的观察、分析与研究实验 .....      | (122) |
| 4.16              | 二阶有源滤波器幅频特性的观察、分析与研究实验 .....      | (126) |
| 4.17              | 4 价巴特沃斯有源滤波器幅频特性的观察、分析与研究实验 ..... | (128) |
| 4.18              | 二阶网络状态轨迹的观察、分析与研究实验 .....         | (132) |
| 4.19              | 一阶连续时间系统的模拟实现、分析与研究实验 .....       | (135) |
| 4.20              | 二阶连续时间系统的模拟实现、分析与研究实验 .....       | (139) |
| <b>参考文献</b> ..... |                                   | (143) |

# 绪 论

信号与系统是弱电类专业一门重要的理论基础课。信号与系统运用数学原理研究信号的各种分解和合成方法,用不同的数学模型来描述系统对信号的传输与处理过程。描述连续时间系统工作过程的数学模型是微分方程,描述离散时间系统工作过程的数学模型是差分方程。求解这些方程,并给出解的物理意义,是本课程的任务之一。通过信号与系统课程的学习,学生应该掌握如下关于连续时间信号和连续时间系统的基本概念和基本内容。

信号是信息的载体,信息通过信号的传输而得到传播。信号的形式多种多样,电信号是一种得到了深入研究和广泛应用的信号,通常是指变化着的电压或电流,常表示为时间的函数。由此,可把信号看成是函数的同义词。因此,函数研究中的许多重要结论和成果都可以在信号的研究中得到应用,并且在这一新的领域得到了许多新的结论和重要成果。例如,根据数学中傅里叶级数和傅里叶变换的理论在信号分析中建立了频谱函数的概念,并且得到了周期信号的频谱是离散谱,而非周期信号的频谱是连续谱的重要结论。

信号通过系统传输,从而实现信息的传播,系统不仅传输信号,还能对信号进行一定的处理。系统是由若干相互独立、相互制约的部件组成的能实现一定功能的整体。例如,电类系统是由若干电阻、电容、电感、半导体器件或其他电路元器件构成的能实现一定电路功能的整体。图 0.0.1 所示是由一个电阻  $R$  和一个电容  $C$  组成的最简单的系统。由电路元器件构成的系统又可称为电路或网络。图 0.0.1 所示的系统又可称为 RC 电路或两端口网络。

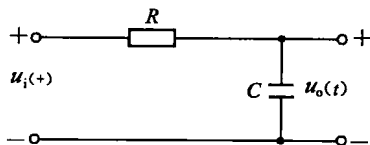


图 0.0.1 由  $R$ 、 $C$  组成的系统

系统可以分为许多不同的种类,在信号与系统课程中,主要研究线性时不变系统。线性时不变系统有许多重要和优良的性质,掌握了这些知识对后续课程的学习有极大的帮助。例如,晶体管放大电路在小信号作用时,其等效电路就是一个线性时不变系统,其求解完全可以应用信号与系统课程中讲述的时域方法、频域方法或复频域方法来进行。

信号也可以分为许多不同的种类,一种分类方法是将信号分为确知信号和随机信号两大类,信号与系统课程主要研究确知信号。如果一个信号在任何时刻都有确定的取值,那么这个信号就是确知信号。

信号通过系统而传输,系统还可以按照人们的要求对信号进行一定的处理,信号传输离不开系统,系统离开信号也就失去了存在的意义。

信号与系统所研究的一个重要问题是信号通过系统传输、处理后发生了怎样的变化,具体地说,如图 0.0.2 所示,激励信号  $e(t)$  通过系统后,在系统的输出端得到的响应  $r(t)$  与哪些因素有关? 在已知  $e(t)$  和系统结构的情况下,求  $r(t)$  的问题,称为系统分析。

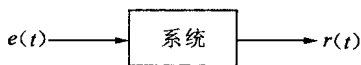


图 0.0.2 信号与系统的相互作用

系统分析可以在时域中进行,由此得到了零输入响应、零状态响应、冲激响应、阶跃响应、卷积等

许多重要的基本概念。系统分析也可以在频域中进行,还可以在复频域中进行,并且得到了相应的重要结论,通过在时域、频域、复频域对信号、系统以及信号与系统相互作用的研究,人们找到了它们之间存在的各种关系和联系。其中最为重要的就是信号的时域表示及其与频谱函数之间的关系,卷积和卷积定理,系统的冲激响应与系统函数之间的关系。通过对冲激响应与系统函数之间关系的研究,得到了稳定系统判定的时域方法和复频域方法。一个系统是否稳定以及稳定系统的定义和判定规则无论在理论上还是在实践中都是十分重要的。

通过输入信号和系统结构求输出信号的方法称为输入-输出法,这种方法在通信系统中得到了广泛的应用。输入-输出法的缺点在于不了解或者没有反映出系统在信号的激励下内部变化的情况,而在自动控制系统中,不仅要关心输出信号的变化,而且要关心系统内部的变化,因此产生了状态变量分析法。状态变量分析法可以在时域中进行,也可以在变换域中进行,特别是经常在复频域中进行。由状态变量分析法得到了系统的可观测性和可控制性两个重要的基本概念,并且,状态变量分析法还能方便地判定系统的稳定性,因此,状态变量法在自动控制系统的分析中得到了广泛应用。同时,状态变量法也便于研究和分析多输入-多输出系统。

信号的另一种重要分类,就是将信号分为连续时间信号和离散时间信号,相应地,传输和处理连续时间信号的系统称为连续时间系统,传输和处理离散时间信号的系统称为离散时间系统,计算机就是典型的离散时间系统。随着计算机技术的飞速发展,掌握离散时间信号和离散时间系统的基础知识显得越来越重要,因为它是计算机技术的理论基础之一。

对于离散时间信号和离散时间系统,要了解和掌握的是,它的许多基本概念、基本内容和连续部分是平行和类似的,还要注意两者的联系和区别。具体地说,要掌握如下基本概念和基本内容。

一个离散时间信号,或者称序列,同样可以分解为无数正弦信号的和,分解的过程就是取序列的离散傅里叶变换(DFT)的过程,离散时间信号的频谱具有周期性,这个结论反映了傅里叶变换的客观规律与时域采样定理也是吻合的。时域采样定理

把连续时间信号和离散时间信号联系起来,人们在时域采样定理的指导下,往往把连续时间信号转变为离散时间信号进行处理,这就使得计算机技术和数字通信技术得到了飞速的发展。因此,人们说采样定理是现代数字通信之母。

在离散时间系统的研究中,信号与系统同样侧重于线性时(移)不变离散时间系统。离散时间信号作用于离散时间系统的求解方法,从大的方面来分,可分为输入-输出法和状态变量法。这两种方法又都可以进一步分为时域法和变换域法。

通过对时域输入-输出法的研究,得到了零输入响应、零状态响应、单位函数(抽样值)的响应等重要基本概念,同样地,通过对卷积和卷积定理的分析与研究建立了时域和变换域—— $Z$  域的联系。通过对序列的  $Z$  变换的分析和研究,找到了  $Z$  变换和傅里叶变换以及拉普拉斯变换三者之间的内在联系以及相互转换的规律。用  $Z$  变换求解离散时间系统,建立起时域解和变换域解的对应关系,阐明了系统函数  $H(z)$  和单位函数响应  $h(n)$  的对应关系,从而可以从时域和变换域两个不同的角度来分析和了解信号、系统以及系统对信号的传输、处理等作用。同样地,离散时间系统的稳定性也可以从时域和  $Z$  域两个方面来分析和研究,在时域可通过分析系统的单位函数响应  $h(n)$  的收敛性来得出结论,在  $Z$  域则可通过系统函数  $H(z)$  的极点在  $Z$  平面上的位置来判断,这两者的判定是一致的,是相互印证的。

通过对连续的周期信号、连续的非周期信号、离散的周期信号、离散的非周期信号等四大类信号的傅里叶变换特征的深入分析和研究,发现这四类信号的傅里叶变换之间的内在联系,人们定义了离散傅里叶变换,并且找到了它的许多种快速算法。离散傅里叶变换(DFT)和快速傅里叶变换(FFT)的出现,不仅为利用计算机便捷地分析信号的频谱找到了途径,而且为利用计算机进行实时的数字信号处理开辟了广阔的应用前景。

除了上述各自的基本概念和基本内容之外,连续时间系统和离散时间系统还有一个共同的内容,即系统模拟。这里所谓的系统模拟,并不是指在实验室里仿制该系统,而是指数学意义上的模拟,即用来模拟的装置和原系统在输入、输出关系上可以用同样的数学方程来描述。因此组成模拟装置的部件都是一些运算器,这些运算器可以用硬件实现,也可以用软件实现。如果是用硬件实现系统模拟,模拟装置就是由各运算部件(模块)组成的一个实体;如果用软件实现,则模拟装置就是由各种运算程序组合成的一段总程序,最终在计算机上运行实现。

信号与系统所研究的范围不仅局限于电路系统,而且适用于许多其他系统,如力学系统、生物系统、社会经济系统,等等,如果在这些系统的研究中得出的描述系统的方程是一样的,它们就可以用相同的数学运算部件构成的相同的模拟装置来进行系统模拟。有了系统模拟装置,就可以通过实验观察到当输入信号改变或系统参数改变时系统响应所产生的变化,从而便于确定最佳系统参数和工作条件,为实际系统的设计与制造提供了快捷的模拟实验。

为了帮助学生加深理解课程的基本概念、掌握基本内容,为了增强学生的软件仿真能力和实际动手能力,我们开出了信号与系统实验课,并将信号与系统实验课分为软件仿真实验和硬件实验两部分,还希望在以后的教学实践中能不断充实、提高和完善。

# 第 1 章 软件仿真实验系统简介

信号与系统是电子与通信类专业的主要技术基础课程之一,该课程的任务在于研究信号与系统理论的基本概念和基本分析方法,使学生初步认识如何建立信号与系统的数学模型,如何经适当的数学分析求解,并对所得结果给以物理解释、赋予物理意义。由于本学科内容的迅速更新与发展,它所涉及的概念和方法十分广泛,而且还在不断扩充,因此本课程的任务之一是激发起学生对信号与系统学科方面的学习兴趣和热情,使他们有信心和能力逐步适应这一领域日新月异发展的需要。

近 20 年来,随着电子计算机和大规模集成电路的迅速发展,用数字方法处理信号的范围不断扩大,而且这种趋势还在继续发展。实际上,信号处理已经与计算机难舍难分。为了配合信号与系统课程的教学,加强学生对信号与系统理论的感性认识,提高学生计算机应用能力,我们设计了信号与系统软件仿真实验系统。本实验系统是一个包含 10 多个软件在内的软件包,全部源程序均用 Matlab 语言编写,既可直接作为信号处理的程序库,又可作为实验演示,还可让学生参与编程。通过做实验可以让学生进一步了解数学公式与物理概念的内在联系,避免物理概念被数学推导所淹没;通过做实验可以让学生知道如何将信号与系统理论知识用于实践;通过做实验最终解决学习信号与系统理论的最大疑难问题——如何应用数字计算机处理模拟信号。

## 1.1 软件仿真实验系统的主要内容和使用方法

本系统设计了 10 个实验,包括信号的傅里叶分析、卷积计算、连续时间系统和离散时间系统的时域分析、变换域分析、状态变量分析、稳定性分析等,基本上涵盖了信号与系统理论的主要内容。学生只要按要求认真预习和准备,可在 10 个学时内完成全部实验。

为了加强学生的计算机编程能力和应用能力,所有实验均提供设计性实验内容,让学生参与编程。

### 1. 安装本实验系统

本实验系统只能在 Matlab 环境下运行,所以要求必须先安装 Matlab 6.5 以上版本的 Matlab 软件。然后运行本软件的安装程序 `setup.exe`,按照提示输入信息即可。

## 2. 运行本实验系统

在 Matlab 命令窗口下,键入启动命令 start,即可运行本实验系统,进入主实验界面。

启动程序如下。

```
start %启动命令
```

## 3. 本实验系统的操作

### 1) 主实验界面组成

本实验系统的主实验界面由 3 个窗口组成,如图 1.1.1 所示。

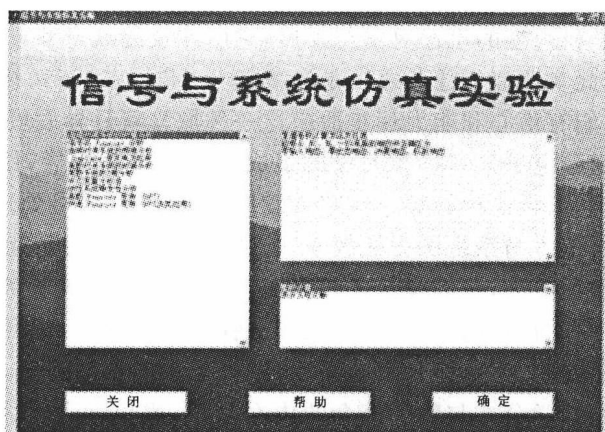


图 1.1.1 实验系统主界面

(1)主实验列表窗口:位于界面左边,列出本实验系统的实验主题列表,共有 10 个实验。

(2)实验目的窗口:列出选中实验主题的实验目的。

(3)分实验列表窗口:列出选中实验主题下设的分实验。

### 2) 实验步骤

利用鼠标光标在左边的主实验列表中选择将要进行的实验主题,单击确定按钮,同时可以在实验目的窗口看到该实验主题的实验目的。

利用鼠标光标在右下方的分实验列表中选择将要进行的具体实验内容,单击确定按钮,进入选定的实验界面。

各实验都具有较好的人机交互界面,实验者可查询各个实验的帮助文档,了解各个实验的具体使用方法。

### 3) 关闭本实验系统

单击界面上的关闭按钮,关闭实验。

## 1.2 设计性实验操作与注意事项

为了提高实验者的编程能力,本系统所有实验的主程序都在帮助中给出,实验者可参照帮助文档的内容自行进行设计性实验。主界面下有整个实验系统的使用方法的简单介绍,单击帮助按钮,出现如图 1.2.1 所示的帮助窗口。

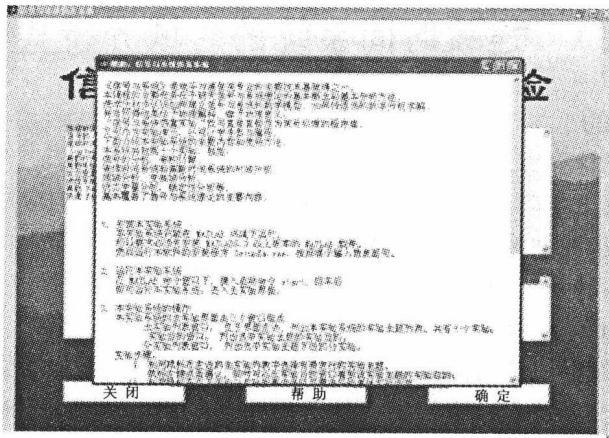


图 1.2.1 主界面下的帮助窗口

所有在帮助文档中出现的设计脚本文件均可在 Matlab 命令窗口下直接运行,脚本文件可以用 `open *.m` 命令在编辑器中打开,其中 \* 号代表文件名。

编写设计性实验要求使用者掌握一定的 Matlab 基础编程技巧,请参阅相关 Matlab 入门级书籍。

由于 Matlab 命令行不能识别中文命令,故不要使用中文文件名,另外,在编辑器中也无法正常看到以中文形式输入的内容。如果想查看中文内容,可以先切换到中文输入法,然后再打开所要查看的文件,即可正常阅读。或者使用 Word 打开 \*.m 文件,但是需要安装 notebook 软件。安装方法:在命令窗口输入 `notebook - setup`,然后按照提示操作。

本实验中所有要求输入波形宽度的地方,请输入宽度小于  $2\pi$  的数值,以免图形窗口无法显示整个波形。

## 第 2 章 软件仿真实验内容

### 2.1 连续时间系统的时域分析实验

#### 一、实验目的

- (1) 掌握卷积计算方法及其性质。
- (2) 运用课堂上学到的理论知识,在 RC、RL 一阶电路的响应中正确区分零输入响应、零状态响应、冲激响应和阶跃响应。
- (3) 熟悉本实验系统的使用方法。

#### 二、实验原理及方法

描述线性连续非时变时间系统的数学模型是线性常系数微分方程。为了确定一个线性连续非时变系统在给定初始条件下的完全响应  $y(t)$ ,就要对该系统列写微分方程表示式,并求出满足初始条件的解。

完全响应  $y(t)$  可分为零输入响应与零状态响应。零输入响应是激励为零时仅由系统初始状态  $y(0_-)$  所产生的响应,用  $y_{zi}(t)$  表示;零状态响应是系统初始状态为零时仅由激励  $e(t)$  所引起的响应,用  $y_{zs}(t)$  表示。于是,可以把激励信号与初始状态两种不同因素引起的响应区分开来,分别进行计算,然后再叠加,即  $y(t) = y_{zi}(t) + y_{zs}(t)$ 。

值得注意的是,通常把系统微分方程的解(包括完全响应解、零输入响应解与零状态响应解)限定于  $0_+ < t < +\infty$  的时间范围,因此不能把初始状态(包括  $y(0_-)$ 、 $y_{zi}(0_-)$ 、 $y_{zs}(0_-)$ )直接作为微分方程的初始条件,而应当将  $y(0_+)$ 、 $y_{zi}(0_+)$ 、 $y_{zs}(0_+)$  作为初始条件代入微分方程。由  $y(0_-)$ 、 $y_{zi}(0_-)$ 、 $y_{zs}(0_-)$  求  $y(0_+)$ 、 $y_{zi}(0_+)$ 、 $y_{zs}(0_+)$  的方法详见《信号与系统》教材。

本实验以一阶 RL(或 RC)电路为例,讨论微分方程的建立和求解问题。

如图 2.1.1 所示电路,电压源  $e(t)$  作为激励,电感上流过的电流  $i(t)$  作为响应,描述系统的微分方程为

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) = e(t) \quad (2.1.1)$$

只要给定  $e(t)$  和初始状态  $i(0_-)$  的值,就可以求出

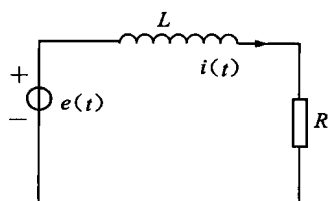


图 2.1.1 一阶 RL 电路

完全响应  $i(t)$  及其零输入响应分量。本实验中激励电压源可有下列 3 种形式： $au(t)$ 、 $e^{-at}u(t)$ 、 $a\sin(\omega t)u(t)$ ，参数  $a$ 、 $\omega$  由键盘输入。

例如，当  $L=1\text{ H}$ 、 $R=2\ \Omega$ 、 $e(t)=e^{-t}$ 、 $i(0_-)=2\text{ A}$  时，可分析出  $i(0_+)=i_{zi}(0_+)=i(0_-)=2\text{ A}$ 、 $i_{zs}(0_+)=0$ ，由此可求出其完全响应、零输入响应和零状态响应。

完全响应为  $i(t)=e^{-2t}+e^{-t}$

零输入响应为  $i_{zi}(t)=2e^{-2t}$

零状态响应为  $i_{zs}(t)=-e^{-2t}+e^{-t}$

在线性系统的时域分析方法中，卷积是个极其重要的概念，占有重要地位，只要知道了系统在单位冲激信号  $\delta(t)$  作用下的零状态响应即系统的单位冲激响应  $h(t)$ ，就可以利用卷积积分求出系统在任何激励  $x(t)$  作用下的零状态响应  $y_{zs}(t)$ 。其计算公式为

$$y_{zs}(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (2.1.2)$$

卷积的计算过程可分为反褶、平移、相乘与积分 3 个步骤，本实验给出了  $x(t)$ 、 $h(t)$  分别为下列 4 种信号时的卷积图形显示，各参数由键盘输入。

(1) 单位冲激函数  $\delta(at+b)$ ，其中  $a$ 、 $b$  为参数。

(2) 阶跃函数  $u(at+b)$ ，其中  $a$ 、 $b$  为参数。

(3) 三角形脉冲函数  $\text{Triangle}(\text{center}, \text{width})$ ，其中  $\text{center}$ 、 $\text{width}$  为参数， $\text{center}$  是脉冲的中心点坐标， $\text{width}$  是脉宽。

(4) 门函数  $\text{Gate}(\text{center}, \text{width})$ ，其中  $\text{center}$ 、 $\text{width}$  为参数， $\text{center}$  是脉冲的中心点坐标， $\text{width}$  是脉宽。

通过选择适当的  $x(t)$ 、 $h(t)$  及其参数可求其卷积结果  $y(t)$ ，本实验可验证卷积的以下性质。

(1)  $x(t) * \delta(t) = x(t)$ 。

(2)  $x(t) * \delta(t-t_0) = x(t-t_0)$ 。

(3)  $x(t-t_1) * \delta(t-t_2) = x(t-t_2) * \delta(t-t_1) = x(t-t_1-t_2)$ 。

(4)  $x(t) * u(t) = \int_{-\infty}^t x(\tau)d\tau$ 。

(5)  $y(t-t_0) = x(t) * h(t-t_0) = x(t-t_0) * h(t)$ 。

(6)  $y(t-t_1-t_2) = x(t-t_1) * h(t-t_2) = x(t-t_2) * h(t-t_1)$ 。

### 三、实验内容及步骤

在实验上机前，认真复习卷积和微分方程的有关内容，仔细阅读本实验原理和步骤，准备实验所需数据。

#### 1. 卷积计算及其主要性质

##### 1) 实验步骤

从主界面下进入连续时间系统的时域分析实验的卷积计算子实验，如图 2.1.2 所示。

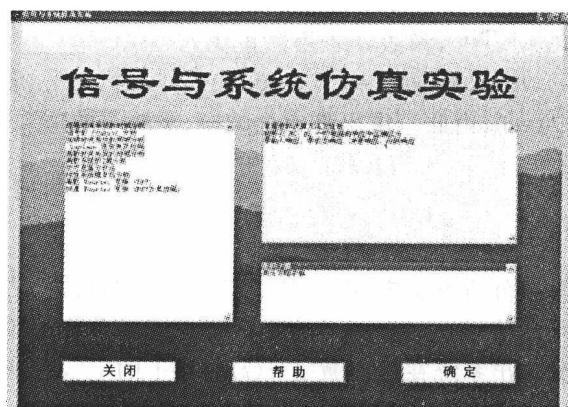


图 2.1.2 进入卷积计算实验

(1) 选择输入激励  $x(t)$  的形式。

本实验中给出了四种激励形式：单位冲激函数  $\delta(at+b)$ 、阶跃函数  $u(at+b)$ 、三角形脉冲函数  $\text{Triangle}(\text{center}, \text{width})$  和门函数  $\text{Gate}(\text{center}, \text{width})$ ，从下拉列表中选择一种。

(2) 给出输入激励  $x(t)$  的波形参数。

三角形脉冲函数和门函数的波形参数  $\text{center}$  控制波形中心位置，波形参数  $\text{width}$  控制波形宽度。

(3) 选择单位冲激响应  $h(t)$  的形式，并给出波形参数。

方法同输入激励  $x(t)$  的操作。

(4) 鼠标单击确定按钮，显示  $x(t)$ 、 $h(t)$ 、 $y(t)$  的图形，如图 2.1.3 所示。

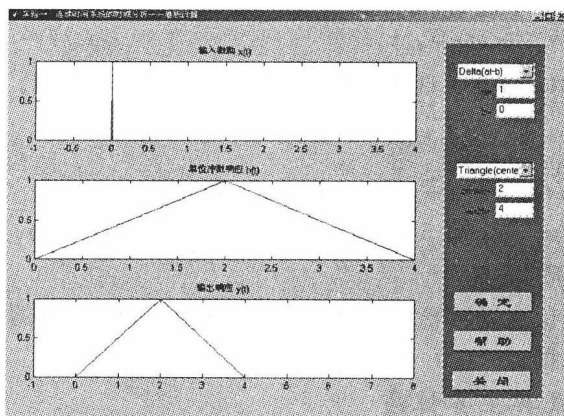


图 2.1.3 卷积计算实验

单击帮助按钮，进入帮助界面，然后按帮助界面的提示进行操作。