



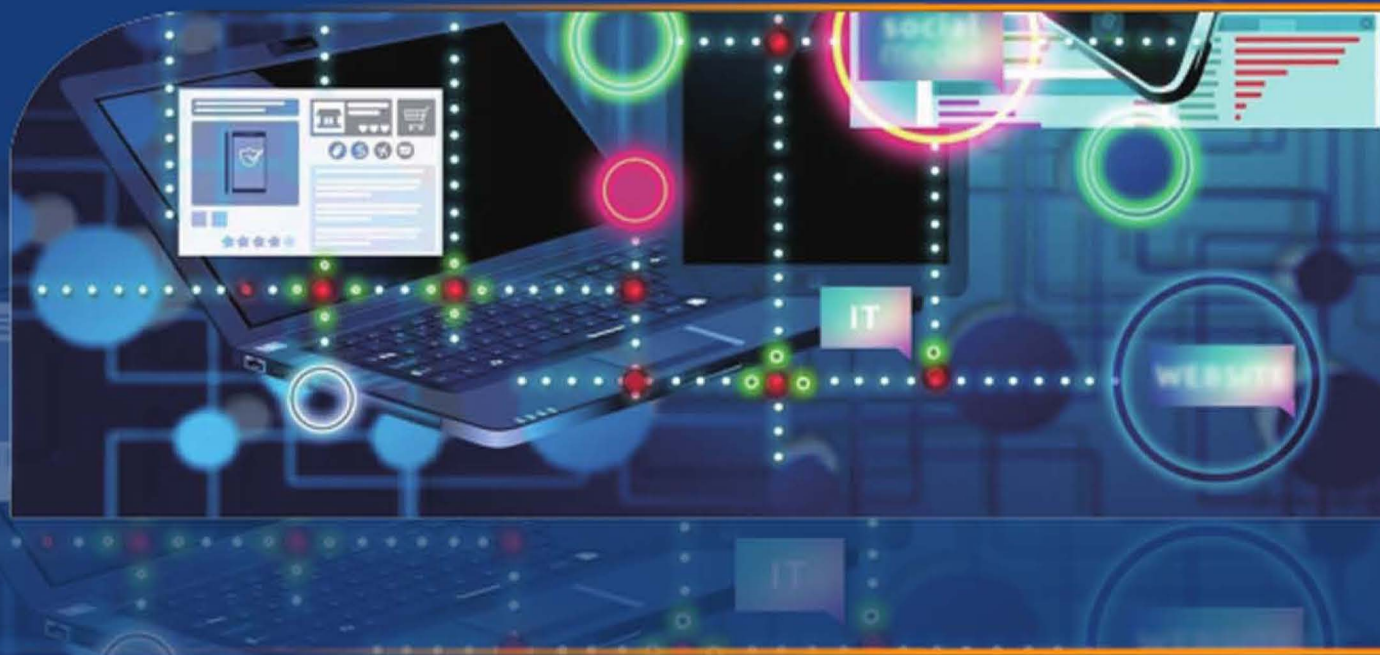
新工科暨卓越工程师教育培养计划电子信息类专业系列教材

丛书顾问/ 郝 跃

XINHAO YU XITONG XUEXI YU SHIYAN ZHIDAO

# 信号与系统学习与实验指导

- 主 编/ 马子骥 杨文忠 帅智康
- 副 主 编/ 李 勇 邵 逊 周冰航
- 主 审/ 李树涛



新工科暨卓越工程师教育培养计划电子信息类专业系列教材

# 信号与系统学习与实验指导

主 编 马子骥 杨文忠 帅智康  
副主编 李 勇 邵 逊 周冰航  
主 审 李树涛

华中科技大学出版社

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 简 介

本书是电子信息类专业核心课程“信号与系统”的辅导教材,也是研究生入学考试科目“信号与系统”的复习参考书。

本书与华中科技大学出版社重点规划的“新工科暨卓越工程师教育培养计划电子信息类专业系列教材”《信号与系统分析》的内容体系基本一致,在工程性和实践性方面均有所扩展和增强,可以帮助读者更为深入地理解和掌握“信号与系统”这门课程的核心和重点内容,扩展知识面,建立更为形象和全面的知识体系。

全书按照知识点共分为6个章节:信号与系统基本概念、LTI系统的时域分析、信号的拉普拉斯变换与 $z$ 变换、系统的变换域分析、信号的频谱分析以及系统的频域分析。每个章节基本按照引言、重要知识点、主要公式和典型例题解答、实验指导和学习思考5个部分展开。全书突出了“信号与系统”课程中基本概念的理解、实验手段的掌握以及解题思路的分析,通过大量例题、程序实例和开放性思考题来强化认知、提高读者的学习能力。

为了读者能够更为便利地使用本书,还增加了3个附录内容,分别是:MATLAB应用基础、数字存储示波器使用基础和信号与系统的真实信号实验案例。目的是为不熟悉MATLAB编程的读者提供一个简单的入门基础,也为有心进行实验的读者提供一些真实信号实验设计的思路。

本书可以作为本科生“信号与系统”课程的辅导学习资料,或作为相关专业课程研究生入学考试的参考书,也可供相关技术人员学习使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

信号与系统学习与实验指导/马子骥,杨文忠,帅智康主编. —武汉:华中科技大学出版社,2020.9  
ISBN 978-7-5680-6539-9

I. ①信… II. ①马… ②杨… ③帅… III. ①信号系统-高等学校-教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第167683号

### 信号与系统学习与实验指导

马子骥 杨文忠 帅智康 主编

Xinhao yu Xitong Xuexi yu Shiyan Zhidao

策划编辑:祖 鹏

责任编辑:徐晓琦 祖 鹏

封面设计:秦 茹

责任校对:张会军

责任监印:徐 露

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11

字 数:264千字

版 次:2020年9月第1版第1次印刷

定 价:29.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 编 委 会

顾问 郝 跃(西安电子科技大学)

编委 (按姓氏笔画排名)

万永菁(华东理工大学)

王志军(北京大学)

方 娟(北京工业大学)

尹宏鹏(重庆大学)

尹学锋(同济大学)

刘 爽(电子科技大学)

刘 强(天津大学)

刘有耀(西安邮电大学)

孙闽红(杭州电子科技大学)

杨晓非(华中科技大学)

吴怀宇(武汉科技大学)

张永辉(海南大学)

张朝柱(哈尔滨工程大学)

金湘亮(湖南师范大学)

赵军辉(华东交通大学)

胡立坤(广西大学)

柳 宁(暨南大学)

姜胜林(华中科技大学)

凌 翔(电子科技大学)

唐朝京(国防科技大学)

童美松(同济大学)

曾以成(湘潭大学)

曾庆山(郑州大学)

雷鑑铭(华中科技大学)

信号与系统是电子信息类、自动化类、电气类、仪表类、通信类及计算机类相关专业的一门非常重要的专业基础课程,也是后续很多专业课程的前修课,被不少相关专业的研究生入学考试选为规定考试课程。

本课程理论基础内容多,涉及大量数学公式,但同时又具有浓厚的物理知识背景。因此,在学习过程中,建议读者紧扣基本概念,深刻理解数学公式与物理意义之间的内在联系,通过虚拟和现实等多种实验手段更加全面地掌握这门重要课程的本质内容,特别是学会对问题进行分析和解构的方法,并能合理利用手头的实验工具进行求解。本书在利用 MATLAB 仿真软件进行“信号与系统”课程中的基本内容仿真验证的同时,引入了实际科研项目和工程项目中所涉及的信号与系统部分内容,帮助读者更好地理解本书在实践中的应用方式和分析方法。

本书作为“信号与系统”课程的辅助学习教材,与“新工科暨卓越工程师教育培养计划电子信息类专业系列教材”《信号与系统分析》的架构基本一致。本书同时提供了一定的网络资源,可供读者下载使用,具体请联系出版社。如果配合该课程所对应的网络慕课,则学习效果更佳。本书依照从抽象数学到实体物理的思考规律,把时域-变换域-频域的逐层深入分析作为编写大纲,从信号和系统两个不同角度,将知识内容分为 6 个章节:信号与系统的基本概念、LTI 系统的时域分析、信号的拉普拉斯变换与  $z$  变换、系统的变换域分析、信号的频谱分析以及系统的频域分析。

书中每个章节都可以分解为理论知识复习和实验实践开展两个大的部分。章节的开篇首先用“引言”提出本章的核心知识脉络,并对本章内容做一个关键的导引。“重要知识点”会总结和归纳每个章节的最重要的课程内容,抽取其中最核心的数学公式,将成体系的知识点以表格的形式列出,方便读者查找和学习。“主要公式和典型例题解答”将选取每个章节中最具代表意义的典型例题进行分析和解答,部分例题会给出详细的 MATLAB 求解过程,帮助读者更好地理解本章节的关键内容。作为本书的另一个重要部分,“实验指导”细分为实验目的、实验原理与说明、实例介绍、实验内容与步骤、实验注意事项和实验报告要求等六个小节。其中的“实例介绍”部分会给出相对丰富的例题,特别是一部分基于工程实践的实例都会在这个部分提供给读者作为参考。每一章节的最后都会提供少数开放性思考题,希望能够激发读者更深层的思考。

本书由马子骥、杨文忠、帅智康、李勇、邵逊、周冰航编写,马子骥统稿并担任主编,

李树涛教授任主审。在此衷心感谢王炼红、王华、刘宏立、周莉等老师在编写过程中给予的大力支持。最后,特别感谢沈伦旺、刘微、黄佩和王鑫伟等同学在编辑、校稿、绘图方面的积极协作。

由于时间仓促,加上编者水平有限,书中错误、疏漏与不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

湖南大学电气与信息工程创新创业教育中心

2019年10月

华中科技大学出版社

<b>1 信号与系统基本概念</b> .....	(1)
1.1 引言 .....	(1)
1.2 重要知识点 .....	(1)
1.3 主要公式和典型例题解答 .....	(2)
1.4 实验指导 .....	(3)
1.5 学习思考 .....	(17)
<b>2 LTI 系统的时域分析</b> .....	(18)
2.1 引言 .....	(18)
2.2 重要知识点 .....	(18)
2.3 主要公式和典型例题解答 .....	(23)
2.4 实验指导 .....	(28)
2.5 学习思考 .....	(38)
<b>3 信号的拉普拉斯变换与 <math>z</math> 变换</b> .....	(39)
3.1 引言 .....	(39)
3.2 重要知识点 .....	(39)
3.3 主要公式及例题解答 .....	(48)
3.4 实验指导 .....	(55)
3.5 学习思考 .....	(61)
<b>4 系统的变换域分析</b> .....	(63)
4.1 引言 .....	(63)
4.2 重要知识点 .....	(63)
4.3 主要公式和典型例题解答 .....	(70)
4.4 实验指导 .....	(71)
4.5 学习思考 .....	(78)
<b>5 信号的频谱分析</b> .....	(79)
5.1 引言 .....	(79)
5.2 重要知识点 .....	(79)
5.3 主要公式和典型例题解答 .....	(91)
5.4 实验指导 .....	(92)
5.5 学习思考 .....	(98)
<b>6 系统的频域分析</b> .....	(99)
6.1 引言 .....	(99)

6.2	重要知识点	(99)
6.3	主要公式和典型例题解答	(102)
6.4	实验指导	(105)
6.5	学习思考	(112)
附录 A	MATLAB 应用基础	(113)
A.1	引言	(113)
A.2	MATLAB 简介	(113)
A.3	MATLAB 的开发环境	(113)
A.4	MATLAB 的编程基础	(121)
附录 B	TDS2000 系列数字存储示波器使用基础	(147)
B.1	引言	(147)
B.2	时域测量方法	(147)
B.3	频域信号测量方法	(152)
附录 C	信号与系统的真实信号实验案例	(156)
C.1	引言	(156)
C.2	实验台模块介绍	(156)
C.3	实验指导	(161)
参考文献		(167)

华中科技大学出版社

# 1

## 信号与系统基本概念

### 1.1 引言

信息是待传输的语言、文字、图像、数码等具有意义的内容。信号是信息的表现形式,是带有信息的物理量,也是运载信息的工具。系统是能够产生、传输和处理信号的物理装置,即若干相互关联、相互作用的事物组合而成的具有特定功能的整体。举个简单的例子,家庭中常常使用的煤气泄漏报警器可以监测周围环境中可燃气体的浓度,从而提醒用户是否存在煤气泄漏。在这个例子中,可燃气体的浓度是否达到需要报警的最低值,即是否处于危险状态就是信息;报警器中的传感器采集可燃气体的浓度会形成一个随浓度高低变化的电压值,这个就是信号;整个报警器的可燃气体浓度采集部分就是一个小的系统。更简单一点,人们能够亲身感受到的常常都属于信息;便于机器理解的是信号;把信息变成信号并进行处理的就是系统。

信号与系统可根据不同的属性和规律进行分类,了解和掌握这些类别之间的差异,并利用仿真软件构建这些信号与系统的数学模型是本章的主要内容。

### 1.2 重要知识点

#### 1.2.1 信号定义及分类

信号是信息的物理表现和传输载体,它一般是一种随时间变化而变化的物理量。根据物理属性,信号可以分为电信号和非电信号。根据实际用途,信号可以分为电视信号、雷达信号、控制信号、通信信号等。根据时间特性,信号可以分为:一维信号和多维信号、确定信号和随机信号、连续信号和离散信号、模拟信号和数字信号、周期信号和非周期信号、实信号和复信号等。信号的描述方法包括数学函数表达式和图形表达形式。

#### 1.2.2 典型信号

确定性信号是可用确定的时间函数表示的信号。如对于指定的某一时刻  $t$ ,有确定的函数值  $f(t)$ 。理解和掌握常见的确定性信号的数学表达和波形特征,重点包括直流信号、单位斜坡信号、指数信号、正余弦信号、复指数信号和抽样信号等。

### 1.2.3 信号的简单运算

掌握信号(连续或离散的)的基本运算:加、乘、平移、尺度变换、反转、微分和积分等。掌握信号复合运算的求解方法,并能够以图形方式简要描绘。

### 1.2.4 系统的描述与分类

由相互作用、相互联系的事物按一定规律组成的具有特定功能的整体,称为系统。分析系统时,需要建立描述该系统的数学模型,求解并对结果赋予实际意义。具体描述某一系统时,既可以用数学模型的形式进行表达,也可以通过系统框图或流图的形式进行表达,以帮助理解。

可从多角度观察和分析系统,将系统分成多种类别。常见分类包括连续与离散系统、线性与非线性系统、时变与时不变系统、因果与非因果系统、记忆与非记忆系统、稳定与发散系统。应熟练掌握从不同观察和分析的角度,对信号进行分类的方法。系统框图的常见表达模块如图 1-1 所示。

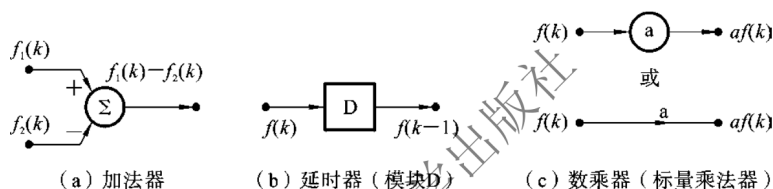


图 1-1 系统框图的常见表达模块

## 1.3 主要公式和典型例题解答

### 1) 连续时间信号和离散时间信号的关系,以及模拟信号和数字信号的关系

连续时间信号和离散时间信号是从时域角度划分的。时域连续变化的信号是连续时间信号;时域离散变化的信号是离散时间信号。在连续时间信号中,幅度也连续变化的信号称为模拟信号;如果时域连续、幅度离散,这类信号可称为阶梯信号。

在离散时间信号中,如果幅度是连续变化的,这类信号称为抽样数值信号;如果幅值也量化成离散数值,则称为数字信号。

那么,在时间和幅度上均连续的信号即为模拟信号;在时间和幅度上均离散的信号即为数字信号。

### 2) 离散序列周期性的判定

**例 1.1** 如何判断一个正弦序列的周期性?

**解** 设存在一个正弦序列信号: $x(k) = A\sin(\omega_0 k + \phi) = A\sin\left(2\pi \frac{T}{T_0} k + \phi\right)$ ,其中  $A$  为幅度常数,  $T$  为系统采样周期,  $T_0$  为正弦波固有周期。那么,  $\frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{2\pi T/T_0} = \frac{T_0}{T} = \frac{N}{M}$ ,即  $T_0 M = TN$ ,相当于  $N$  个采样间隔与  $M$  个连续正弦信号周期的时间相等。因此,当  $N/M$  为有理数时,该正弦序列为周期序列。

## 3) 信号的混合运算

**例 1.2** 已知  $f(t)$  如图 1-2(a) 所示, 请画出  $2f\left(-\frac{1}{2}t+3\right)$ 。

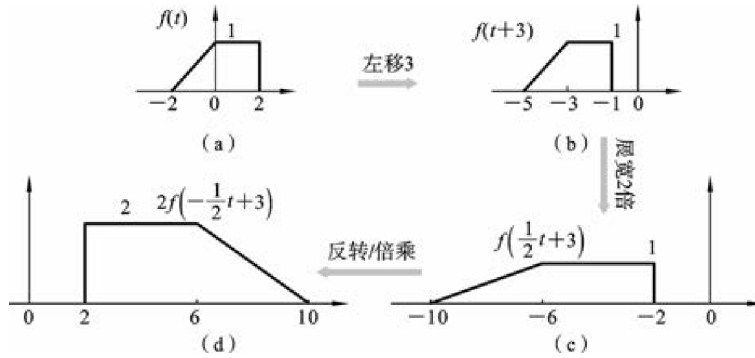


图 1-2 例 1.2 图形转换过程

**解** 信号绘图题有助于在头脑中建立起一个信号的可视化模型, 但往往想象中的信号形态很可能存在错误。因此, 建议在完成信号绘图之后, 如果感觉没有十足把握, 可以选取数个特定值代入公式, 并计算结果以进行验证。比如上题中, 完成绘图后, 若令  $t=1$ , 可知  $f(1)=1$ ,  $2f\left(-\frac{1}{2}t+3\right)=2f\left(\frac{5}{2}\right)=0$ , 与图形相符合。同理, 对于已知混合运算后的信号波形, 求解其原始  $f(t)$  波形时, 也可以用特定值代入法进行验证以确保绘图正确。绘图时, 应特别注意关键点(幅度、起始位置、结束位置、波形拐点等)的标注。 $2f\left(-\frac{1}{2}t+3\right)$  如图 1-2(d) 所示。

## 4) 系统的框图和流图描述

**例 1.3** 画出差分方程  $4x(k-2) - 2x(k-1) + x(k) = y(k) - \frac{8}{15}y(k-1) - \frac{1}{15}y(k-2)$  对应的系统框图。

**解** 对应的系统框图如图 1-3 所示。注意信号框图的转置操作。将输入输出交换, 且所有的支路方向倒转, 则系统的差分方程和系统函数仍然保持不变。

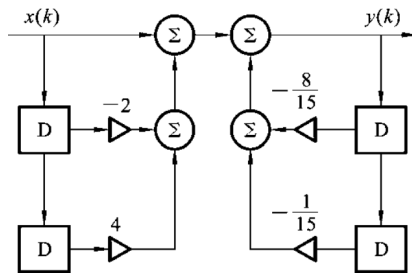


图 1-3 例 1.3 对应的系统框图

## 1.4 实验指导

## 1.4.1 实验目的

(1) 运用 MATLAB 表示常用连续时间信号和离散时间信号的方法; 观察并熟悉

这些信号的波形和特性。

(2) 掌握运用 MATLAB 进行连续时间信号和离散时间信号的相加运算、相乘运算、时移、反褶和尺度变换。

(3) 运用 MATLAB 进行连续时间信号的微分、积分运算。

(4) 运用 MATLAB 进行连续时间信号的卷积运算,以及离散时间信号的卷积和运算。

(5) 能够将工程实践中采集的真实物理信号导入仿真软件,理解实际采集信号与理论数学模型之间的差异,理解软件仿真的局限性。能够运用合适的编程技巧弥补离散采样与连续分析之间的差异。

#### 1.4.2 实验原理与说明

1) 连续信号的表示及 MATLAB 中生成连续信号的基本函数

(1) 连续信号的表示。

连续信号的表示方法有两种:符号运算表示法和向量表示法。

符号运算表示法:使用 `sym()` 函数对变量进行定义,并进行表示的方法。`sym()` 函数专门用于创建符号数字、符号变量和符号对象。在这种定义下,运算的结果是一个解析解,而不是一个具体的数值解。

向量表示法:从严格意义上讲, MATLAB 数值计算的方法不能处理连续时间信号。然而,用等时间间距的样值来近似代替连续信号,当取样间隔足够小时,这些离散样值能被 MATLAB 处理,离散的样值也能很好地表达出连续信号的形态。如果再采用一些使得线段平滑的插值手段,其表达效果非常好。此外,在数学模拟仿真中,采用离散信号进行运算也更为方便。

(2) MATLAB 中生成连续信号的基本函数。

MATLAB 提供了大量生成基本信号的函数。如:

① 指数信号为

$$K \cdot \exp(a \cdot t)$$

② 正弦信号为

$$K \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad \text{和} \quad K \cdot \cos(\omega t + \phi)$$

③ 复指数信号为

$$K \cdot \exp((a + i \cdot b) \cdot t)$$

④ 抽样信号为

$$\text{sinc}(t \cdot \pi)$$

**注意** 在 MATLAB 中用与  $\text{Sa}(t)$  类似的  $\text{sinc}(t)$  函数表示,定义为  $\text{sinc}(t) = \sin(\pi t) / (\pi t)$ 。

⑤ 矩形脉冲信号: `rectpuls(t, width)`。

⑥ 周期矩形脉冲信号: `square(t, DUTY)`, 其中 DUTY 参数表示信号的占空比 DUTY%, 即在一个周期脉冲宽度(正值部分)与脉冲周期的比值。占空比默认为 0.5。

⑦ 三角波脉冲信号为

$$\text{tripuls}(t, \text{width}, \text{skew})$$

其中 skew 取值范围在  $-1 \sim +1$  之间。

⑧ 周期三角波信号为

$$\text{sawtooth}(t, \text{width})$$

⑨ 单位阶跃信号为

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

(3) 常见的确定性信号的 MATLAB 表达式。

① 直流信号为

$$x(t) = C, \quad -\infty < C < +\infty$$

② 单位斜坡信号为

$$x(t) = \begin{cases} t, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

③ 指数信号为

$$x(t) = Ae^{-at}$$

④ 正余弦信号为

$$x(t) = A\cos(\omega t + \theta) = A\cos(\omega(t - t_0)) = A\sin(\omega t + \theta + \pi/2)$$

⑤ 复指数信号为

$$x(t) = Ae^{St} = Ae^{\sigma t} e^{j\omega t} = Ae^{\sigma t} (\cos(\omega t) + j\sin(\omega t))$$

令

$$S = \sigma + j\omega$$

⑥ 抽样信号为

$$x(t) = \text{Sa}(t) = \frac{\sin t}{t}$$

采用符号运算表示法来呈现连续信号时,常见确定性信号的 MATLAB 表达程序如下。

```
clear all; close all;
syms x;
figure(1)
%% 直流信号
C=1; x=C;
subplot(3,3,1);
ezplot(x);
title('直流信号');
%% 单位斜坡信号
clear all;
syms x;
subplot(3,3,2)
ezplot(x*heaviside(x)); axis([-1,6,-0.2,6]);
title('斜坡信号');
%% 指数信号
clear all;
syms x;
subplot(3,3,3)
ezplot(exp(0.05*x), [-50,50]);
title('指数信号');
```

```

%%正弦余弦信号
clear all;
syms x;
subplot(3,3,4)
ezplot(2*sin(4*x+2), [-5,5]);
title('正弦信号');
subplot(3,3,5)
ezplot(2*cos(4*x-2), [-5,5]);
title('余弦信号');
%%抽样信号
clear all;
syms x;
subplot(3,3,6)
ezplot(sinc(x*2), [-6,6]);
axis([-6,6,-0.4,1.1]);
title('抽样信号');
%%矩形信号
clear all;
syms x;
subplot(3,3,7)
ezplot(1.5*(heaviside(x)-heaviside(x-2)));
axis([-0.5,4.5,-0.2,1.6]);
title('矩形信号');
%%分段混合信号
clear all;
syms x;
subplot(3,3,8)
ezplot((x+2)*(heaviside(x+2)-heaviside(x))+2*(heaviside(x)-heaviside(x-2)),-3,3);
axis([-3.2,3.2,-0.2,2.2]);
title('分段混合信号');

```

常见确定性信号的 MATLAB 图形表示(符号运算表示法)如图 1-4 所示。

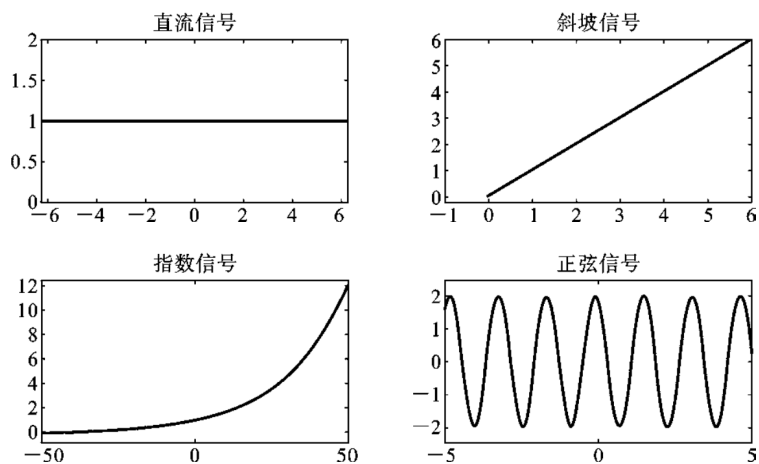
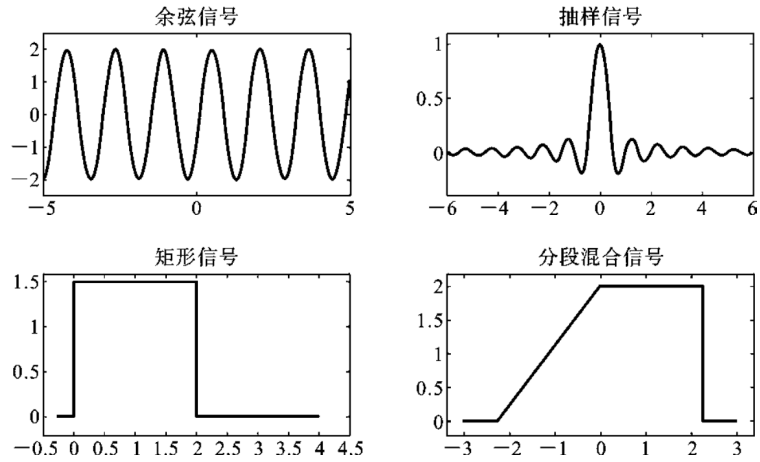


图 1-4 常见确定性信号的 MATLAB 图形表示(符号运算表示法)



续图 1-4

采用向量表示法来呈现连续信号时,常见确定性信号的 MATLAB 表达程序如下。

```

clear all;
close all;
x=-10:0.01:10;
figure(1)
%%直流信号
C=ones(size(x));
subplot(3,3,1);
plot(x,C,'-b','lineWidth',2); title('直流信号');
%%单位斜坡信号
clear all;
x=0:0.01:5; y=-5:0.01:-0.01; t=-5:0.01:5;
C=[0.*y, x.*1];
subplot(3,3,2);
plot(t, C, '-b', 'lineWidth', 2);
axis([-4, 4, -0.2, 5]); title('单位斜坡信号');
%%指数信号
clear all;
t=-50:0.1:50; C=exp(0.05*t);
subplot(3,3,3);
plot(t, C, '-b', 'lineWidth', 2);
axis([-50, 50, 0, 15]); title('指数信号');
%%正弦/余弦信号
clear all;
t=-5:0.01:5; C=2*sin(4*t+2); D=2*cos(4*t-2);
subplot(3,3,4);
plot(t, C, '-b', 'lineWidth', 2); title('正弦信号');
subplot(3,3,5);
plot(t, D, '-b', 'lineWidth', 2); title('余弦信号');
%%抽样信号
clear all;
t=-5:0.01:5; C=sinc(t*2);

```

```

subplot(3,3,6);
plot(t, C, '-b', 'lineWidth', 2);
axis([-5,5,-0.4,1.1]); title('抽样信号');
%%矩形信号
clear all;
t=-5:0.01:5; C=rectpuls(t-1, 4);
subplot(3,3,7);
plot(t, C, '-b', 'lineWidth', 2);
axis([-5,5,-0.2,1.2]); title('矩形信号');
%%分段混合信号
clear all;
x=0:0.01:5; y=-5:0.01:-0.01; t=-5:0.01:5;
C=[rectpuls(y+1,2).*(y+2), rectpuls(x-1,2).*2];
subplot(3,3,8);
plot(t, C, '-b', 'lineWidth', 2);
axis([-5,5,-0.2,2.2]); title('分段混合信号');

```

常见确定性信号的 MATLAB 图形表示(向量表示法)如图 1-5 所示。

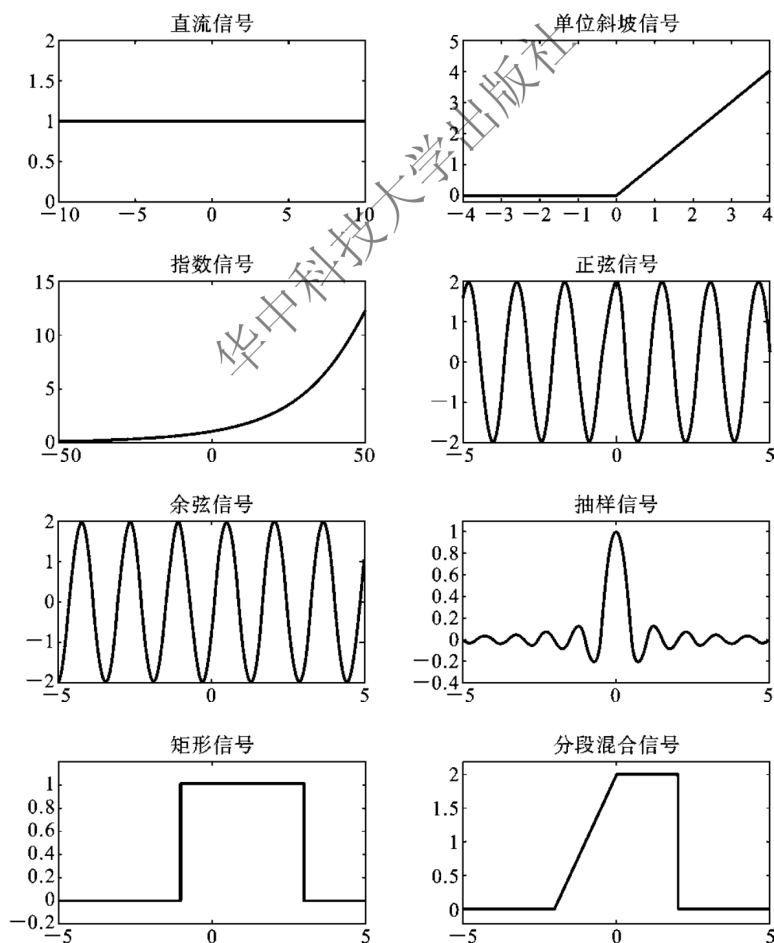


图 1-5 常见确定性信号的 MATLAB 图形表示(向量表示法)

## 2) 离散时间信号的常见表示方法

离散时间信号也称为序列,是连续信号在时间维度上离散的一组序列,一般将其定义为  $x(n)$ ,其中  $n$  为整数。一般情况下,离散时间信号通过对连续信号进行等间距抽样获取,抽样间隔为  $T$ 。那么,对于连续时间信号  $x(t)$ ,当  $t=nT$  时,即被抽样序列的值为  $x(n)$ 。若将抽样序列的值进一步离散化,可以得到数字序列  $x(k)$ 。与连续时间信号相类似,离散时间信号同样可以用离散阶跃响应序列、离散矩形脉冲序列、离散指数信号序列、离散正弦/余弦信号序列等相关函数进行表达。MATLAB 程序举例如下。

```
clear all;
close all;
T=1;
n=0:1/T:20;
M=10;
figure(1);
x1=n/2+2;
subplot(3,2,1)
stem(n, x1, '-b', 'lineWidth', 1.5); grid on;
title('线性信号序列');
x2=[zeros(1,5), ones(1,M), zeros(1, size(n,2)-M-5)];
subplot(3,2,2)
stem(n, x2, '-b', 'lineWidth', 1.5); grid on;
axis([0 20 0 1.2]);
title('矩形脉冲序列');
x3=ones(1, size(n,2));
subplot(3,2,3)
stem(n, x3, '-b', 'lineWidth', 1.5); grid on;
axis([-2 20 0 1.2]);
title('阶跃脉冲序列');
x4=exp(0.1*n);
subplot(3,2,4)
stem(n, x4, '-b', 'lineWidth', 1.5); grid on;
title('指数脉冲序列');
x5=sin(n/pi);
subplot(3,2,5)
stem(n, x5, '-b', 'lineWidth', 1.5); grid on;
title('正弦脉冲序列');
x6=cos(n/pi);
subplot(3,2,6)
stem(n, x6, '-b', 'lineWidth', 1.5); grid on;
title('余弦脉冲序列');
```

常见离散时间信号的 MATLAB 图形表示如图 1-6 所示。

## 3) 信号的时移、反褶和尺度变换

信号的平移、反转和尺度变换是针对自变量时间而言的,其数学表达式和波形变换中存在着一定的变化规律。从数学表达式上来看,信号的上述所有计算都是自变量的替换过程,所以在使用 MATLAB 进行连续时间信号的运算时,只需要进行相应的变量