

A decorative background pattern consisting of multiple parallel, wavy lines that resemble a circuit board or signal traces, rendered in a light blue color against a darker blue background.

高等学校电工电子基础实验系列教材

马传峰 王洪君 总主编

信号与系统实验 教程

Xinhao yu Xitong Shiyan Jiaocheng

孙国霞 刘成云 主编

山东大学出版社

高等学校电工电子基础实验系列教材

信号与系统实验教程

孙国霞 刘成云 主编

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实验教程/孙国霞,刘成云主编.

—济南:山东大学出版社,2015.2

高等学校电工电子基础实验系列教材/马传峰,王洪君总主编

ISBN 978-7-5607-5258-7

I. 信 II. ①孙… ②刘… III. ①信号系统—实验—高等学校—教材
IV. ①TN911.6-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 062623 号

责任策划:刘旭东

责任编辑:刘旭东

封面设计:张 荔

出版发行:山东大学出版社

社 址:山东省济南市山大南路 20 号

邮 编:250100

电 话:市场部(0531)88364466

经 销:山东省新华书店

印 刷:泰安金彩印务有限公司

规 格:787 毫米×1092 毫米 1/16

12.25 印张 282 千字

版 次:2015 年 4 月第 1 版

印 次:2015 年 4 月第 1 次印刷

定 价:22.00 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

《高等学校电工电子基础实验系列教材》

编委会

主 任 马传峰 王洪君

副主任 郁 鹏 邢建平

委 员 (按姓氏笔画排序)

于欣蕾 万桂怡 王丰晓 王春兴 朱瑞富

孙国霞 孙梅玉 杨霓清 李 蕾 李德春

邱书波 郑丽娜 赵振卫 姚福安 栗 华

高 瑞 高洪霞 韩学山

前 言

“信号与系统”是电子类专业一门重要的、难度较大的专业基础课。该课程的基本概念和分析方法广泛应用于电子、通信、电气、自动控制、计算机技术、生物医学工程等各种不同的学科和领域中,是新世纪 IT 人才必须掌握的基础知识,是培养学生理性思维素养、逻辑思辨能力,开发学生潜在能动性和创造力的基础;同时在教学环节上起着承上启下的重要作用。因此,在学习本课程时,开设必要的实验,使抽象的概念和理论形象化、具体化,对增强学习的兴趣有极大的好处;无论是对学生加深理解深入掌握基本理论和分析方法,培养学生分析问题和解决问题的能力,还是今后专业课的学习,以及对毕业后从事专业工作的能力培养,都具有重要的意义。

MATLAB 是 MATrix LABoratory 的缩写,是一款由美国 The MathWorks 公司出品的商业数学软件。MATLAB 是一种用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境。MATLAB 系统由开发环境、MATLAB 语言、数学函数库、图形处理系统和应用程序接口(API)五大部分组成。MATLAB 语言是一种交互性的数学脚本语言,其丰富而强大的功能为信号与系统的分析,包括连续域和离散域的分析提供了多种多样的途径;可以帮助学生细致而深刻地理解信号与系统,快速而有效地解决问题,使得枯燥的理论知识学习变得具体而生动,并逐渐成为一种重要的教学辅助工具,为国外相关专业各知名大学(如麻省理工学院、哈佛大学、斯坦福大学等)普遍采用。

顺应现代电子信息的迅速发展和模式的转变,实验教学不仅是理论教学的辅助和补充,而且还是理论教学的延伸和创新素质培养的重要环节。为了更好地研究“信号与系统”课程并做好该课程实验,本实验教程包括 MATLAB 软件仿真实验和硬件实验两个部分,还增加了可供选择的拓展性数字信号处理部分实验(带*的实验),通过把学生在课堂上学到的分散的理论知识系统化、整体化,在实验教学领域实现从以学科为中心到系统理论、工程意识、工程应用为中心的教学模式的转变;教程还增设

了工程背景的实验案例和一些初步的系统设计,充分发挥学生对相关领域的创新认识,进一步培养和挖掘学生自主学习的能力和兴趣,从而创建一个传授系统性知识、培养一定研究能力和创新性思维的一个新的、独立的实验性课程体系。

编 者

2014 年 11 月

目 录

MATLAB 软件仿真实验部分

实验规程和基本要求	1
实验 1 信号在 MATLAB 中的表示	(3)
实验 2 信号运算的 MATLAB 实现	(9)
实验 3 信号的卷积计算	(16)
实验 4 LTI 系统的时域分析	(22)
实验 5 周期信号的傅里叶级数与频谱	(28)
实验 6 非周期信号的傅里叶变换与频谱	(32)
实验 7 傅里叶分析方法的应用	(35)
实验 8 连续 LTI 系统的复频域分析	(46)
实验 9 离散 LTI 系统的复频域分析	(54)
实验 10 音频信号的时域、频域观测与分析	(61)

硬件实验部分

实验规程和基本要求	(66)
实验 11 常见信号观察实验	(68)
实验 12 抽样定理与信号恢复	(71)

实验 13	信号卷积实验	(77)
实验 14	矩形脉冲的分解	(81)
实验 15	矩形脉冲信号合成	(85)
实验 16	数字滤波器	(87)
实验 17	语音信号的时域、频域观测与分析	(89)
实验 18	语音信号的尺度变换	(94)
实验 19*	基于 CCS 的图像取反	(97)
实验 20*	基于 CCS 的二维傅立叶变换	(100)
实验 21*	基于 CCS 的 FIR 数字滤波器算法	(104)
实验 22*	基于 CCS 的快速傅立叶变换(FFT)	(108)
实验 23*	基于 CCS 的中值滤波算法	(111)
实验 24*	基于 CCS 的灰度窗口变换	(114)

附 录

附录一	MATLAB 简介	(117)
附录二	实验基础知识准备	(134)
附录三	实验参考程序	(160)
参考文献		(185)

MATLAB 软件仿真实验部分

实验规程和基本要求

一、实验预习

学生应对本课程所有的实验进行预习,具体要求是:

(1)了解实验的基本内容和原理。

(2)根据需要拟定实验方案,初步编制好实验的程序,完成设计文档;其中应包括所依据的原理、实验步骤与方法、程序功能的陈述与解释、时间记录日志;对于设计性或综合性实验,应该绘制实验流程图;对于创新性实验,应注明其创新点及特色。

经验证明:做好实验预习对保证实验效果、提高实验效率有着极其重要的作用,能够起到事半功倍的效果。因此,应引起充分重视,教师应进行预习的布置,提出具体要求,并应在实验开始前进行检查(可抽查),没有预习的学生不具备参加实验的资格。

二、实验准备

在进行实验操作之前,还应做好以下准备工作:

(1)了解实验室的规章制度,特别是第一次做实验,应认真听取老师讲解实验室的制度和操作规程、安全规则。

(2)了解实验室的布置,如实验桌上电源、仪表的种类以及它们的布置,电源开关的位置等。

(3)检查核对实验室提供的实验设备是否齐全、符合要求。

三、实验操作与记录

(1)编译、测试程序,修复所有的缺陷,填写时间记录日志。

(2)做好实验记录,包括实验数据、实验现象,以及在实验中出现的問題和处理的方法步骤。这是培养科学的工作作风、严格认真的工作态度以及实验能力的很重要的一个方面。

(3)对于设计性、综合性或创新性实验,在实验操作过程中,应注意与同学的合作,做到合理分工、相互协助,这有助于提高实验质量和效率,并培养团队合作的精神。

四、实验结束工作

完成实验的内容后,应做好以下工作:

(1)自己首先应进行检查,检查实验的内容、记录是否完整、合理、正确,有无遗漏。

(2)然后由指导教师检查,在取得老师的认可后才能结束实验。

(3)整理实验设备,做好清洁,并经签字交接后才能离开实验室。这些都是作为一个工程技术人员必须具备的基本素质,不要轻视,应逐步培养。

五、实验报告

完成实验后,应及时整理实验记录,撰写实验报告,实验报告的具体内容可按照各个实验的要求,基本的格式和内容是:

(1)专业: 班级: 学号: 姓名:

(2)实验题目和实验原理:对本实验涉及的基础理论、工作原理可进行简单的、概括性的叙述。

(3)实验内容和步骤:包括对实验过程、数据、现象、发生问题和解决方法的记录。

(4)实验源程序与结果,具体内容如下:

①源程序应包括程序功能的陈述与解释。

②对于设计性或综合性实验,应包括实验流程图;对于创新性实验,应注明自己的创新点及特色。

(5)对实验结果的分析和问题讨论,包括以下内容:

①对实验结果(数据、现象)的分析。

②对实验中发生问题、处理方法的分析,缺陷数据、程序代码复查进行总结。

③回答问题(如老师提出的问题解答)时应注意结合所学的基础理论知识,将在实验中获得感性认识进行理论上的分析探讨,以求上升到理性认识的高度。

④对本次实验的总体认识、体会、思考、意见和建议等。

写好实验报告,不仅是保证实验教学效果的基本要求,而且对于今后在工作中提高整理技术资料、总结工作经验、撰写科研论文的能力很有帮助。在撰写实验报告时,应做到内容完整、书写工整、文字和作图规范。还应遵循严肃认真、实事求是的科学态度,如有引用的理论依据、计算公式或一些系数的选取等,应注明出处。如果是来自实验的结果或本人的见解,也应予以注明。

实验 1 信号在 MATLAB 中的表示

一、实验目的

- (1) 掌握运用 MATLAB 表示常用连续和离散时间信号的方法。
- (2) 观察并熟悉这些信号的波形和特性。

二、实验设备

- (1) 计算机。
- (2) MATLAB 软件。

三、实验内容

1. 连续时间信号的 MATLAB 表示

信号是消息的表现形式与运送载体。自变量在整个连续区间内都有定义的信号,称为连续时间信号,简称连续信号。例如我们所熟悉的温度、湿度、压力以及声音等信号均为连续信号。从严格意义上讲, MATLAB 数值计算的方法并不能处理连续信号。然而,可利用连续信号在等时间间隔点的取样值来近似表示连续信号,即当取样时间间隔足够小时,这些离散样值能够被 MATLAB 处理,并且能较好地近似表示连续信号。

MATLAB 软件可以很方便地表示各种典型信号,从现在开始,我们将从信号的表示和波形的绘制入手来学习使用 MATLAB。通过对 MATLAB 的接触,初步感受到它的快捷和方便,同时也为后面使用 MATLAB 进一步分析信号作好准备。

(1) 指数信号

指数信号的基本形式为 $f(t) = Ae^{at}$ 。在 MATLAB 中可用 exp 函数表示,其语句格式为

$$f_t = A * \exp(a * t)$$

例 1-1 用 MATLAB 命令产生单边指数衰减信号 $f(t) = 2e^{-1.5t}u(t)$,并绘出 $0 \leq t \leq 3$ 的波形图。

解: MATLAB 源程序为

```
A=2;
a=-1.5;
t=0:0.01:3;
ft=A*exp(a*t);
plot(t,ft), grid on
axis([0,3,0,3])
title('单边指数衰减信号')
```

运行结果如图 1-1 所示。

(2) 正弦信号

正弦信号的基本形式为 $f(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$ 或 $f(t) = A\sin(\omega t + \varphi)$, 分别用 MATLAB 的内部函数 $\cos$ 和 $\sin$ 表示, 其语句格式为:

$$ft = A * \cos(w * t + phi)$$

$$ft = A * \sin(w * t + phi)$$

例 1-2 用 MATLAB 产生正弦信号 $f(t) = 2\sin(2\pi t + \frac{\pi t}{4})$, 并绘出 $0 \leq t \leq 3$ 的波形图。

解: MATLAB 源程序为

```
A=2;
w=2*pi;
phi=pi/4;
t=0:0.01:3;
ft=A*sin(w*t+phi);
plot(t, ft), grid on
axis([0, 3, -3, 3])
title('正弦信号')
```

运行结果如图 1-2 所示。

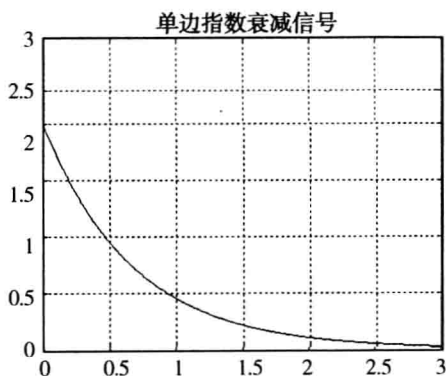


图 1-1 单边指数衰减信号

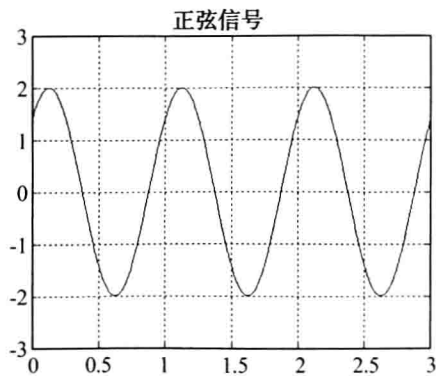


图 1-2 正弦信号

如全波整流波形产生的 MATLAB 源程序为

```
t=0:pi/16:4*pi;
x=sin(t);
plot(t,abs(x));
axis([0 4*pi 0 1])
```

(3) 抽样函数

抽样信号的基本形式为 $Sa(t) = \frac{\sin(t)}{t}$, 在 MATLAB 中可以用 $\text{sinc}(t)$ 函数表示, 其定义为

$$\text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{(\pi t)}$$

其调用形式为

$$ft = \text{sinc}(t)$$

例 1-3 用 MATLAB 产生抽样信号 $Sa(t)$, 并绘出时间为 $-6\pi \leq t \leq 6\pi$ 的波形图。

解: MATLAB 源程序为

```
t=-6*pi:pi/100:6*pi;
ft=sinc(t/pi);
plot(t, ft), grid on
axis([-20, 20, -0.5, 1.2])
title('抽样信号')
```

运行结果如图 1-3 所示。

(4) 矩形脉冲信号

矩形脉冲信号在 MATLAB 中用 rectpuls 函数表示, 其调用形式为

$$ft = \text{rectpuls}(t, \text{width})$$

用以产生一个幅值为 1, 宽度为 width, 且相对于 $t=0$ 点左右对称的矩形波信号。

例 1-4 用 MATLAB 画出以 $t=2$ 为对称中心的矩形脉冲信号的波形图。

解: MATLAB 源程序为

```
t=0:0.001:4;
ft=rectpuls(t-2,2);
plot(t, ft), grid on
axis([0, 4, -0.5, 1.5])
title('矩形脉冲信号')
```

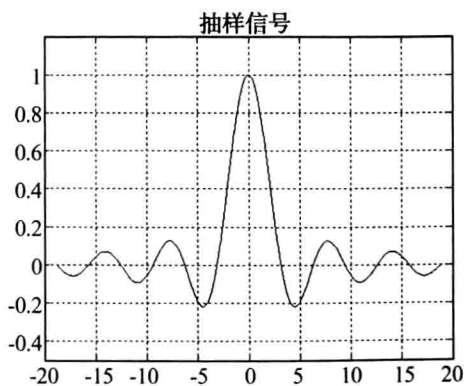


图 1-3 抽样信号

运行结果如图 1-4 所示。

周期性矩形波信号或方波信号在 MATLAB 中可用 `square` 函数产生,其调用格式为

$$ft = \text{square}(t, \text{DUTY})$$

该函数用于产生一个周期为 2π 幅值为 ± 1 的周期性方波信号,其中, `DUTY` 参数用来表示信号的占空比 `DUTY%`,即在一个周期内脉冲宽度(正值部分)与脉冲周期的比值。占空比默认为 0.5。

例 1-5 用 MATLAB 产生频率为 10Hz、占空比为 30% 的周期方波信号。

解: MATLAB 源程序为

```
t=0:0.001:0.3;
ft=square(2*pi*10*t,30);
plot(t, ft), grid on
axis([0,0.3,-1.2,1.2])
title('周期方波信号')
```

运行结果如图 1-5 所示。

(5) 三角脉冲信号

非周期型三角脉冲信号在 MATLAB 中用 `tripuls` 函数产生,其调用形式为

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

用以产生一个幅值为 1,宽度为 `width`,且相对于 $t=0$ 点左右各展开 `width/2` 大小、斜率为 `skew` 的三角波。

例 1-6 用 MATLAB 产生幅度为 1、宽度为 4、斜率为 -0.5 的非周期三角波信号的波形图。

解: MATLAB 源程序为

```
t=-3:0.001:3;
ft=tripuls(t,4,-0.5);
plot(t, ft), grid on
axis([-3, 3, -0.5, 1.5])
title('三角波脉冲信号')
```

运行结果如图 1-6 所示。

周期三角波信号或锯齿波信号在 MATLAB 中可用 `sawtooth` 函数产生,其调用格式为

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

该函数用于产生一个周期为 2π 峰值为 ± 1 的周期性三角波信号或锯齿波,其中, `width` 为 0、1 之间的标量,指定一个周期内最大值出现的位置, `width` 是位置横坐标与周期的比值。

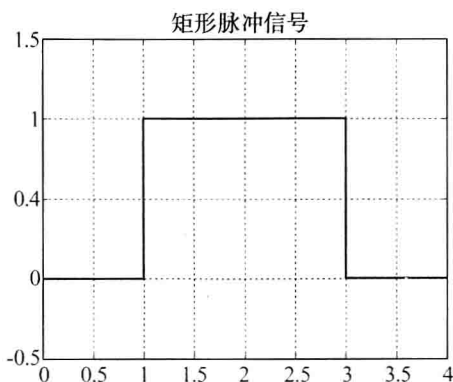


图 1-4 矩形脉冲信号

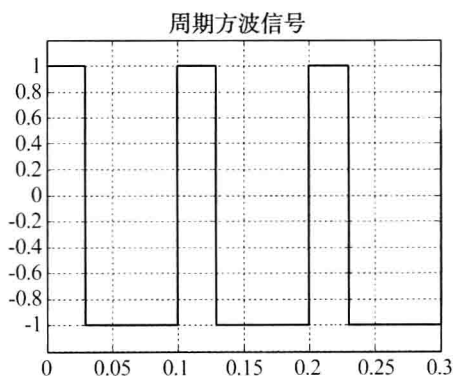


图 1-5 周期方波信号

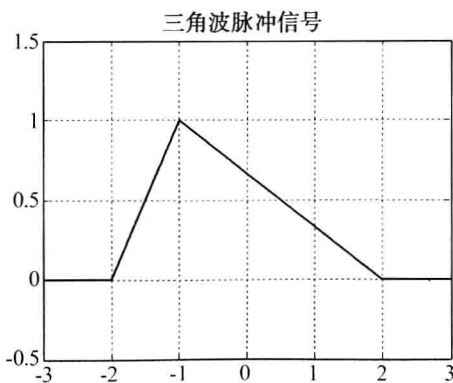


图 1-6 非周期三角脉冲信号

例 1-7 用 MATLAB 产生峰值为 ± 1 、周期为 2 的周期三角波信号波形图。

解：MATLAB 源程序为

```
t=-6:0.001:6;
ft=sawtooth(pi*t,0.5);
plot(t,ft),grid on
axis([-6,6,-1.2,1.2])
title('周期三角波信号')
```

运行结果如图 1-7 所示。

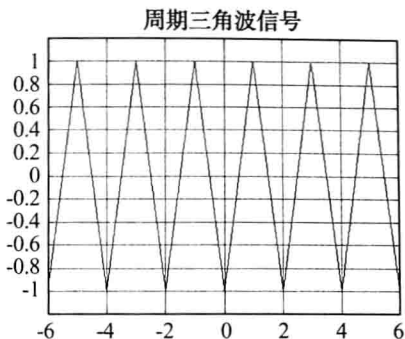


图 1-7 周期三角波信号

2. 离散时间信号的 MATLAB 表示

如果仅在一些离散的瞬间具有定义的信号,则称

之为离散时间信号,简称离散信号或序列。如 DNA 序列、人口统计数据、股票日收盘指数、股票日成交量等均为离散信号。离散序列通常用 $x(n)$ 或 $f(n)$ 表示,自变量必须是整数。对于任意离散序列 $x(n)$,需要两个向量来表示:一个表示 n 的取值范围,另一个表示序列的值。类似于连续时间信号,离散时间信号也有一些典型的序列。

在用 MATLAB 绘制离散序列的图形时,需要学习用交互式方法输入经常变动的数据,并学习用线型图绘制函数 stem 绘制离散序列图形。

(1) 单位样值序列与单位阶跃序列

在 MATLAB 中,单位样值序列 $\delta(n)$ 可以利用 `zeros()` 函数实现;单位阶跃序列 $u(n)$ 可以利用 `ones()` 函数实现。

(2) 指数序列

离散指数序列的一般形式为 a^n ,可以用 MATLAB 中的数组幂运算 $a.^n$ 来实现。

例 1-8 用 MATLAB 命令画出指数序列 $x(n)=(-0.6)^n$ 的波形图。

解：MATLAB 源程序为

```
n=0:10;
a=-0.6;
xn=a.^n;
stem(n,xn);
grid on
axis([0,10,-1,1])
title('指数序列')
```

运行结果如图 1-8 所示。

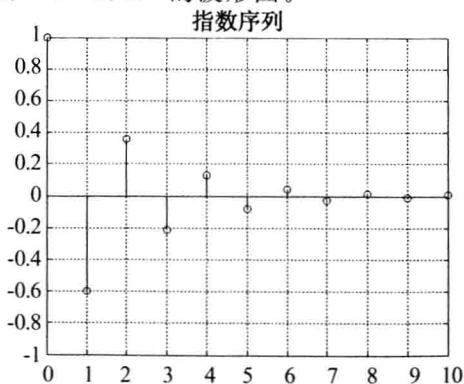


图 1-8 指数序列

(3) 正弦序列

正弦序列定义为: $x(n) = \sin(n\omega + \varphi)$

例 1-9 用 MATLAB 绘制正弦序列 $x(n) = \sin(\frac{n\pi}{6})$ 的波形图。

解: MATLAB 源程序为

```
n=1:40;
xn=sin(pi/6*n);
stem(n,xn);
grid on
axis([0,40,-1.5,1.5])
title('正弦序列')
```

运行结果如图 1-9 所示。

(4) 随机信号的波形及分布

本实验产生 2 个随机信号, 均匀分布和高斯分布的信号, 并观察他们的波形和分布, MATLAB

命令如下:

```
n=200;
xn1=rand(1,n);
xn2=randn(1,n);
subplot(2,2,1),stem(xn1);
xlabel('n');ylabel('x(n)');
title('均匀分布随机信号');
grid
subplot(2,2,2),hist(xn1,10);
title('均匀分布的概率密度');
grid
subplot(2,2,3),stem(xn2);
xlabel('n');ylabel('x(n)');
title('高斯随机信号');
grid
subplot(2,2,4),hist(xn2,10);
title('高斯分布的概率密度');
grid
```

运行结果如图 1-10 所示。

练习一

1. 试用 MATLAB 命令画出下列信号的波形图。

(1) $y_1(t) = e^{-2|t|}$

(2) $y_2(n) = (0.9)^n \quad (-10 \leq n \leq 10)$

(3) $y_3(n) = e^{jn\pi/3} \quad (-10 \leq n \leq 10)$ 的实部

2. 试用 MATLAB 命令, 自行完成教材中的同类型习题。

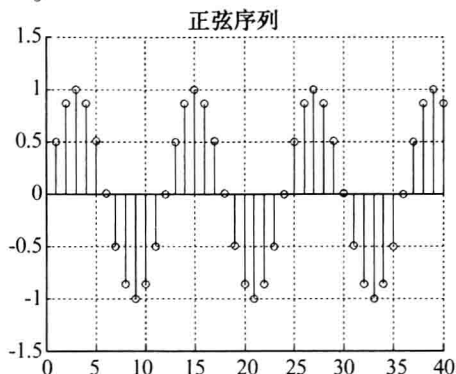


图 1-9 正弦序列

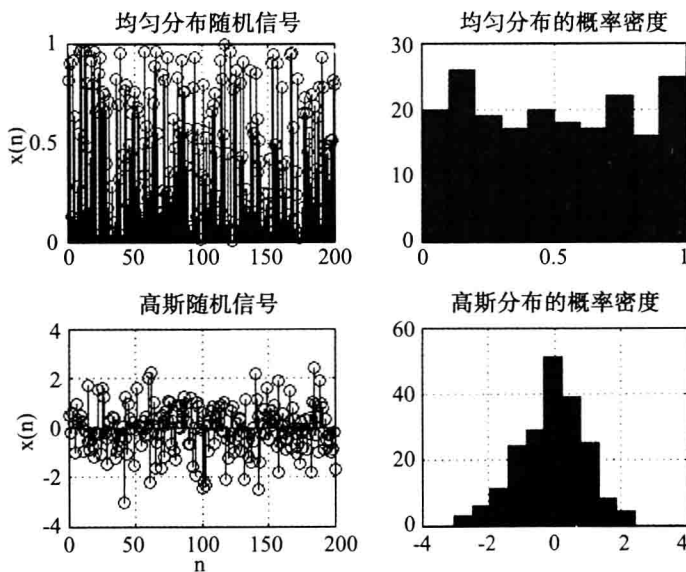


图 1-10 均匀分布和高斯分布的随机信号的波形及其分布

实验 2 信号运算的 MATLAB 实现

一、实验目的

- (1) 学会运用 MATLAB 进行信号时移、反折和尺度变换。
- (2) 学会运用 MATLAB 进行连续信号微分、积分运算。
- (3) 学会运用 MATLAB 进行连续信号相加、相乘运算。
- (4) 学会运用 MATLAB 进行连续信号的奇偶分解。

二、实验设备

- (1) 计算机。
- (2) MATLAB 软件。

三、实验内容

在本课程的学习中,经常遇到与信号运算有关的问题,通过信号运算,可以由基本信号生成各种复杂信号,因此要求熟练掌握信号的基本运算。

1. 信号的时移、反折和尺度变换

信号的时移、反折和尺度变换是针对自变量时间的运算,其数学表达式与波形变化之间存在一定的变化规律。

信号 $f(t)$ 的时移就是将信号数学表达式中的自变量 t 用 $t \pm t_0$ 替换,其中 t_0 为正实数。因此,波形的时移变换是将原来的 $f(t)$ 波形在时间轴上向左或向右移动, $f(t+t_0)$ 为波形向左移动 t_0 , $f(t-t_0)$ 为 $f(t)$ 波形向右移动 t_0 。信号 $f(t)$ 的反折就是将表达式中的自变量 t 用 $-t$ 替换。波形变换后, $f(-t)$ 的波形是原来的 $f(t)$ 相对于纵轴的镜像。信号 $f(t)$ 的尺度变换就是将表达式中的自变量 t 用 at 替换,其中 a 为正实数。对应于波形的变换,则是将原来的 $f(t)$ 波形以原点为基准压缩($a>1$)至原来的 $\frac{1}{a}$,或者扩展($0<a<1$)至原来的 $\frac{1}{a}$ 。

在 MATLAB 的符号运算中,只要事先定义参加运算的信号为符号变量,它们就可以直接利用基本运算符进行计算。