

# 信号与系统实验教程

## ( MATLAB版 )

胡永生 陈 巩 编 著



科学出版社

# 信号与系统程 (MATLAB 版)

胡永生 陈 玗 编著

本书得到滨州学院教材出版基金项目支持

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是“信号与系统”课程的实验教材，实验内容紧密结合“信号与系统”课程的理论教学，全面系统地介绍了利用 MATLAB 对信号与系统相关理论知识进行计算机仿真的具体方法，并给出了详细的示例分析。全书共分为五章，内容分别是连续时间信号与系统的时域分析、离散时间信号与系统的时域分析、连续时间信号与系统的频域分析、连续时间信号与系统的  $s$  域分析以及离散时间信号与系统的  $z$  域分析，共安排设计 15 个实验项目。

本书可作为应用型本科院校通信工程、电子信息工程、光电信息科学与工程、电气工程及自动化等专业学生的实验教材，也可作为其他相关专业科技工作人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实验教程：MATLAB 版/胡永生，陈巩编著. —北京：科学出版社，2016.11

ISBN 978-7-03-049570-9

I. ①信… II. ①胡… ②陈… III. ①Matlab 软件-应用-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(2016)第 190977 号

责任编辑：潘斯斯/责任校对：张怡君

责任印制：张 伟/封面设计：迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 11 月第 一 版 开本：720×1000 B5

2017 年 1 月第二次印刷 印张：7 7/8

字数：148 000

定价：32.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

# 前 言

“信号与系统”课程是电子信息类专业，尤其是通信工程专业的一门非常重要的专业基础课程与必修课程，也是通信与信息系统、信号与信息处理等学科专业的硕士研究生入学考试的必考专业科目。同时，该课程还是引导学生从电路分析的知识，进入到通信信息的处理与传输领域的关键性课程，也是后续的通信原理、数字信号处理等专业课程的先修课程，在专业的教学过程中起着承上启下的关键作用，为从事相关领域的工程技术和科学研究工作奠定坚实的理论基础。

针对“信号与系统”课程的理论概念抽象，数学公式繁多，教学中缺乏直观的分析以及实际动手设计能力欠缺，学生学习理解起来比较困难等特点，充分考虑利用 MATLAB 软件对该课程相对应理论知识进行计算机仿真实验实现，克服了传统硬件实验箱实验的不足，实现了有机互补，进而实现“信号与系统”课程的实验教学改革。

本书是“信号与系统”课程的实验教材，实验内容紧密配合“信号与系统”课程的理论教学，全面系统地介绍了利用 MATLAB 对信号与系统相关理论知识进行计算机仿真的具体方法，并给出了详细的示例分析。全书共分为五章，内容分别是：连续时间信号与系统的时域分析、离散时间信号与系统的时域分析、连续时间信号与系统的频域分析、连续时间信号与系统的  $s$  域分析以及离散时间信号与系统的  $z$  域分析，共设计安排 15 个实验项目。其中，第一章介绍连续时间信号与系统的时域分析，分别包括连续时间信号的典型示例、连续时间信号的基本运算、连续时间系统的时域分析以及连续时间信号的卷积积分共 4 个实验项目；第二章介绍离散时间信号与系统的时域分析，分别包括离散时间信号的典型示例、离散时间信号的基本运算以及离散时间系统的时域分析共 3 个实验项目；第三章介绍连续时间信号与系统的频域分析，分别包括周期信号的傅里叶级数、非周期信号的频谱（傅里叶变换）、连续时间信号的频域分析以及连续时间信号的取样与恢复共 4 个实验项目；第四章介绍连续时间信号与系统的  $s$  域分析，分别包括拉普拉斯变换以及连续时间系统的  $s$  域分析共 2 个实验项目；第五章介绍离散时

间信号与系统的  $z$  域分析, 分别包括  $z$  变换以及离散时间系统的  $z$  域分析共 2 个实验项目。

在本书的编写过程中参阅了大量的著作与文献, 并得到了许多同行的指导, 在此表示衷心感谢。同时, 还得到了科学出版社、滨州学院等有关部门及领导的大力支持。滨州学院教务处提供了研究经费。在此我们一并表示感谢。

由于作者水平有限, 书中难免有错误与不妥之处, 恳请读者批评指正。

编 者

2016年6月

# 目 录

## 前言

第一章 连续时间信号与系统的时域分析 .....	1
1.1 连续时间信号的典型示例实验 .....	1
一、实验目的 .....	1
二、实验原理 .....	1
三、实验内容 .....	20
四、实验报告要求 .....	20
五、思考题 .....	20
1.2 连续时间信号的基本运算实验 .....	20
一、实验目的 .....	20
二、实验原理 .....	21
三、实验内容 .....	28
四、实验报告要求 .....	29
五、思考题 .....	29
1.3 连续时间系统的时域分析实验 .....	29
一、实验目的 .....	29
二、实验原理 .....	30
三、实验内容 .....	35
四、实验报告要求 .....	35
五、思考题 .....	36
1.4 连续时间信号的卷积积分实验 .....	36
一、实验目的 .....	36
二、实验原理 .....	36
三、实验内容 .....	39
四、实验报告要求 .....	40
五、思考题 .....	40
第二章 离散时间信号与系统的时域分析 .....	41
2.1 离散时间信号的典型示例实验 .....	41
一、实验目的 .....	41
二、实验原理 .....	41

三、实验内容 .....	49
四、实验报告要求 .....	49
五、思考题 .....	50
2.2 离散时间信号的基本运算实验 .....	50
一、实验目的 .....	50
二、实验原理 .....	50
三、实验内容 .....	56
四、实验报告要求 .....	57
五、思考题 .....	57
2.3 离散时间系统的时域分析实验 .....	58
一、实验目的 .....	58
二、实验原理 .....	58
三、实验内容 .....	65
四、实验报告要求 .....	66
五、思考题 .....	67
<b>第三章 连续时间信号与系统的频域分析</b> .....	<b>68</b>
3.1 周期信号的傅里叶级数实验 .....	68
一、实验目的 .....	68
二、实验原理 .....	68
三、实验内容 .....	77
四、实验报告要求 .....	78
五、思考题 .....	78
3.2 非周期信号的频谱(傅里叶变换)实验 .....	78
一、实验目的 .....	78
二、实验原理 .....	78
三、实验内容 .....	81
四、实验报告要求 .....	82
五、思考题 .....	82
3.3 连续时间信号的频域分析实验 .....	82
一、实验目的 .....	82
二、实验原理 .....	82
三、实验内容 .....	86
四、实验报告要求 .....	86
五、思考题 .....	86
3.4 连续时间信号的取样与恢复实验 .....	87

一、实验目的	87
二、实验原理	87
三、实验内容	92
四、实验报告要求	93
五、思考题	93
第四章 连续时间信号与系统的 $s$ 域分析	94
4.1 拉普拉斯变换实验	94
一、实验目的	94
二、实验原理	94
三、实验内容	97
四、实验报告要求	97
五、思考题	97
4.2 连续时间系统的 $s$ 域分析实验	98
一、实验目的	98
二、实验原理	98
三、实验内容	103
四、实验报告要求	103
五、思考题	103
第五章 离散时间系统的 $z$ 域分析	104
5.1 $z$ 变换实验	104
一、实验目的	104
二、实验原理	104
三、实验内容	108
四、实验报告要求	109
五、思考题	109
5.2 离散时间系统的 $z$ 域分析实验	109
一、实验目的	109
二、实验原理	109
三、实验内容	115
四、实验报告要求	116
五、思考题	116
参考文献	117



# 第一章 连续时间信号与系统的时域分析

## 1.1 连续时间信号的典型示例实验

### 一、实验目的

1. 掌握用 MATLAB 绘制连续时间信号波形图的基本原理。
2. 掌握用 MATLAB 绘制典型的连续时间信号(函数)。
3. 通过对连续信号波形的绘制与观察, 加深理解信号的基本特性。

### 二、实验原理

连续时间信号是指在连续时间范围内( $-\infty < t < +\infty$ )有定义的信号, 简称连续信号, 用函数  $f(t)$  表示, 函数的图像称为信号的波形。这里“连续”是指函数的定义域变量(时间的取值)是连续的, 且对于给定时间范围内的任意时间值, 除若干个不连续点以外, 信号都有确定的函数值与之对应。至于信号的值域可以是连续的, 也可以是离散的。时间和幅值均连续的信号又称为模拟信号。

从某种意义上来说, 利用 MATLAB 并不能直接产生连续时间信号, 这是因为使用计算机处理的都是数字信号, 即时间和幅值都是离散值的信号。当用 MATLAB 处理连续时间信号时, 一般采用等时间间隔的样点值来近似地绘制表示出连续信号。当取得连续时间信号的样点值足够多的时候, 就可以把非连续信号近似地看成连续信号。样点值的间隔用 MATLAB 进行编程时来自行设定。

下面详细阐述信号与系统课程中常用的典型连续时间信号, 给出了信号的一般数学表达式, 并用 MATLAB 绘制出具体示例信号的波形。

#### 1. 直流信号

直流信号是指信号的函数值为某一个具体的常数, 其函数表达式为

$$f(t) = K$$

式中,  $K$  是实数。

**例 1-1-1** 绘制直流信号  $f(t) = 3$  的波形。

绘制上述直流信号的 MATLAB 仿真程序为

```
clear all; close all; clc;  
t=[-4:0.01:4];
```

```
f=3; %直流信号幅值
plot(t,f,'-k','linewidth',2); %绘制信号的波形
xlabel('t');
ylabel('f(t)');
title('直流信号波形');
```

程序运行后，仿真绘制的直流信号的波形如图 1-1-1 所示。

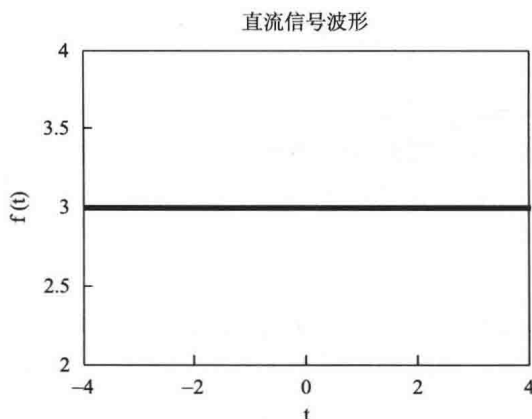


图 1-1-1 直流信号的波形

## 2. 正弦信号

由于正弦信号和余弦信号仅仅在相位上相差  $\frac{\pi}{2}$ ，因此均统称为正弦信号，其函数表达式为

$$f(t) = K \sin(\omega t + \varphi) \quad \text{或} \quad f(t) = K \cos(\omega t + \varphi)$$

式中， $K$  为振幅； $\omega$  为角频率； $\varphi$  为初相位。

在 MATLAB 中，正弦信号调用  $\sin()$  函数实现信号的仿真，余弦信号调用  $\cos()$  函数实现信号的仿真。调用格式为： $\sin(t)$  表示正弦信号  $\sin t$ ； $\cos(t)$  表示余弦信号  $\cos t$ 。

**例 1-1-2** 绘制正弦信号  $f(t) = 2\sin(\pi t + \pi/6)$  的波形。

绘制上述正弦信号的 MATLAB 仿真程序为

```
clear all; close all; clc;
K=2; w=pi; phi=pi/6;
t=[0:0.001:10];
f=K*sin(w*t+phi); %调用正弦函数
```

```

plot(t,f,'-k','linewidth',2); %绘制正弦信号波形
xlabel('t');
ylabel('f(t)');
title('正弦信号波形');

```

程序运行后，仿真绘制的正弦信号的波形如图 1-1-2 所示。

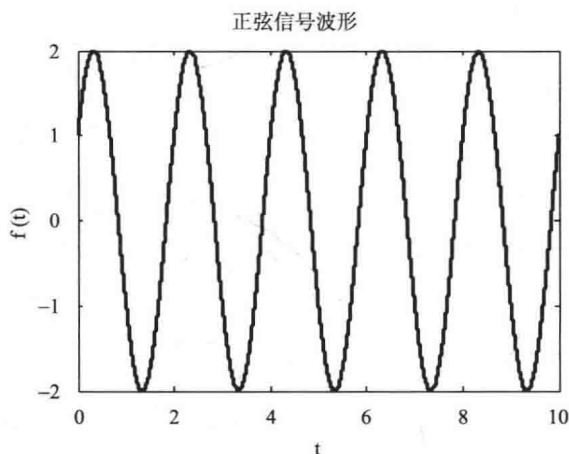


图 1-1-2 正弦信号的波形

### 3. 指数信号

指数信号的函数表达式为

$$f(t) = K e^{\alpha t}$$

式中， $\alpha$  为实常数。若  $\alpha < 0$ ，则指数信号随时间的变化而衰减；若  $\alpha > 0$ ，则指数信号随时间的变化而递增；若  $\alpha = 0$ ，则指数信号不随时间而变化，此时就变成了直流信号。在实际的应用中，遇到较多的一般是衰减的指数信号。

在 MATLAB 中，指数信号调用 `exp()` 函数来实现仿真。调用格式为：`exp(t)` 表示指数信号  $e^t$ 。

**例 1-1-3** 绘制信号  $f_1(t) = 2e^{0.3t} \varepsilon(t)$  和  $f_2(t) = 2e^{-0.3t} \varepsilon(t)$  的波形。

绘制上述指数信号的 MATLAB 仿真程序为

```

clear all; close all; clc;
K1=1;K2=1;a1=0.3;a2=-0.3;
t=[0:0.001:10];
f1=K1*exp(a1*t); %调用指数函数
f2=K2*exp(a2*t); %调用指数函数

```

```

subplot(1,2,1);
plot(t,f1,'-k','linewidth',2);           %指数信号f1
xlabel('t');
ylabel('f_1(t)');
title('指数信号f_1(t) (a=0.3)');
subplot(1,2,2);
plot(t,f2,'-k','linewidth',2);           %指数信号f2
xlabel('t');
ylabel('f_2(t)');
title('指数信号f_2(t) (a=-0.3)');

```

程序运行后，仿真绘制的指数信号的波形如图 1-1-3 所示。

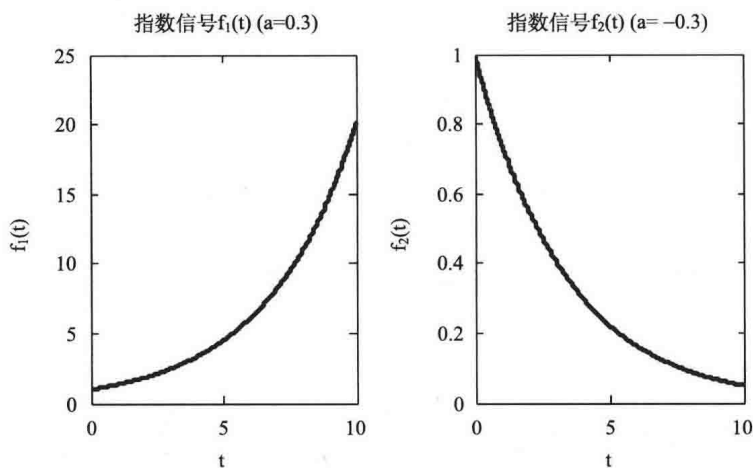


图 1-1-3 指数信号的波形

#### 4. 复指数信号

若指数信号的指数因子为一复数，则称为复指数信号，其函数表达式为

$$f(t) = K e^{st}$$

式中， $s = \sigma + j\omega$ ， $\sigma$ 为复数 $s$ 的实部， $\omega$ 为复数 $s$ 的虚部。

借助于欧拉公式，复指数信号的函数表达式可展开为

$$f(t) = K e^{st} = K e^{(\sigma + j\omega)t} = K e^{\sigma t} \cos(\omega t) + jK e^{\sigma t} \sin(\omega t)$$

从上式可以看出，一个复指数信号可分解为实部和虚部两部分，其中，实部包含有余弦信号，虚部则包含有正弦信号。指数因子 $\sigma$ 的实部表征了正弦与余弦信号的振幅随时间变化的情况。若 $\sigma > 0$ ，正弦、余弦信号是增幅振荡；若 $\sigma < 0$ ，正弦、余弦信号是衰减振荡；若 $\sigma = 0$ ，正弦、余弦信号是等幅振荡。指数因子

的虚部  $\omega$  则表示正弦与余弦信号的角频率。

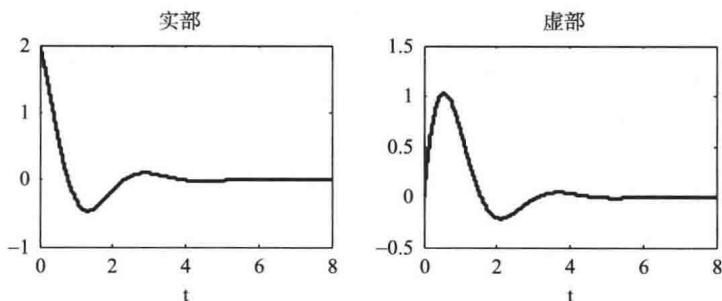
在 MATLAB 中, 实部调用 `real()` 函数, 虚部调用 `imag()` 函数, 幅值(模)调用 `abs()` 函数, 相位调用 `angle()` 函数。调用格式: 对于复函数  $f(t)$ , 实部为 `real(f(t))`, 虚部为 `imag(f(t))`, 幅值(模)为 `abs(f(t))`, 相位为 `angle(f(t))`。

**例 1-1-4** 绘制信号  $f(t) = 2e^{(-1+2j)t}$  的实部、虚部、幅值(模)和相位的波形。

绘制上述复指数信号的 MATLAB 仿真程序为

```
clear all; close all; clc;
K=2;w=2;delta=-1;
t=0:0.001:8;
f=K*exp((delta+j*w)*t);           %调用指数函数
subplot(2,2,1)
plot(t,real(f),'-k','linewidth',2);
xlabel('t');
title('实部');    %复指数信号实部波形
subplot(2,2,2)
plot(t,imag(f),'-k','linewidth',2);
xlabel('t');
title('虚部');    %复指数信号虚部波形
subplot(2,2,3)
plot(t,abs(f),'-k','linewidth',2);
xlabel('t');
title('模');      %复指数信号模波形
subplot(2,2,4)
plot(t,angle(f),'-k','linewidth',2);
xlabel('t');
title('相位');    %复指数信号相位波形
```

程序运行后, 仿真绘制的复指数信号的实部、虚部、模和相位的波形如图 1-1-4 所示。



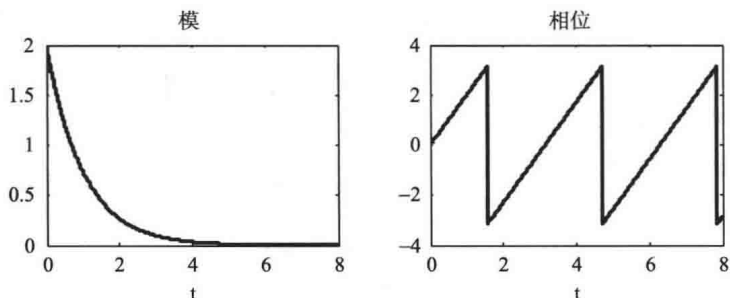


图 1-1-4 复指数信号的实部、虚部、模和相位的波形

### 5. 抽样信号 (Sa(t) 信号)

抽样信号 (Sa(t) 信号) 是指  $\sin(t)$  与  $t$  之比所构成的函数, 函数表达式为

$$\text{Sa}(t) = \frac{\sin t}{t} \quad \text{或} \quad \text{Sa}(\omega t) = \frac{\sin(\omega t)}{\omega t}$$

从上述函数表达式可以看出, 抽样信号是一个偶函数, 振幅分别沿着时间轴  $t$  的正、负两个方向逐渐衰减, 当  $t = \pm\pi, \pm 2\pi, \dots, \pm n\pi$  时函数的值等于 0, 在  $t = 0$  时取得函数的最大值等于 1。

与 Sa(t) 函数类似的是 sinc(t) 函数, 它的函数表达式为

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

与抽样信号类似, 该函数也是一个偶函数, 振幅分别沿着时间轴  $t$  的正、负两个方向逐渐衰减, 当  $t = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$  时函数的值等于 0, 在  $t = 0$  时取得函数的最大值等于 1。

在 MATLAB 中, 调用 sinc 函数来实现抽样信号的波形绘制仿真。调用格式为: `sinc(t)` 表示抽样信号  $\text{Sa}(\pi t)$ 。

**例 1-1-5** 绘制信号  $f(t) = \text{Sa}\left(\frac{1}{4}\pi t\right)$  的波形。

绘制上述抽样信号的 MATLAB 仿真程序为

```
clear all; close all; clc;
k=1/4*pi;
t=[-10:0.001:10];
f=sinc(k*t);           %调用函数(抽样信号)
plot(t,f,'-k','linewidth',2);
xlabel('t');
ylabel('f(t)');
title('抽样信号波形');
```

程序运行后，仿真绘制的抽样信号的波形如图 1-1-5 所示。

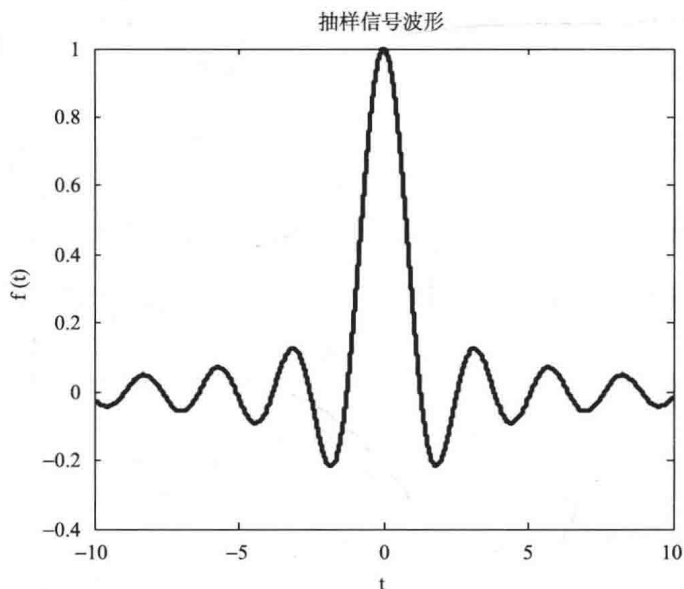


图 1-1-5 抽样信号的波形

## 6. 单位冲激信号

单位冲激信号记作  $\delta(t)$ ，又称为“ $\delta$ 函数”，狄拉克(Dirac)给出  $\delta$ 函数的一种定义方式：

$$\begin{cases} \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1 \\ \delta(t) = 0, \quad t \neq 0 \end{cases}$$

如果  $\delta(t)$  时间轴上延迟  $t_0$ ，得到在任一点  $t = t_0$  处出现的冲激函数  $\delta(t - t_0)$ ，函数表达式为

$$\begin{cases} \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t - t_0) dt = 1 \\ \delta(t - t_0) = 0, \quad t \neq t_0 \end{cases}$$

**例 1-1-6** 绘制单位冲激信号  $f(t) = \delta(t)$  的波形，要求持续时间为 0.01，面积为 1。绘制单位冲激信号的 MATLAB 仿真程序为

```
clear all; close all; clc;
t0=0;t1=-3;t2=3;dt=0.01;
t=t1:dt:t2;
```

```

n=length(t);
f=zeros(1,n);
f(1,(t0-t1)/dt+1)=1/dt;
stairs(t,f,'-k','linewidth',2); %绘图,注意为何用stairs而不用plot命令
axis([t1,t2,-5,1.1/dt]);
xlabel('t');
ylabel('δ(t)');
title('单位冲激信号波形');

```

程序运行后,仿真绘制的单位冲激信号的波形如图 1-1-6 所示。

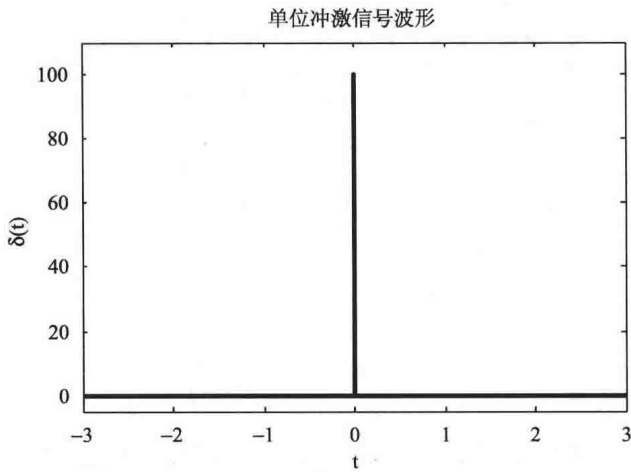


图 1-1-6 单位冲激信号的波形

## 7. 单位阶跃信号

单位阶跃信号通常以符号  $\varepsilon(t)$  表示,函数表达式为

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

在跳变点  $t = 0$  处,函数值没有定义,或在  $t = 0$  处规定函数值  $\varepsilon(0) = \frac{1}{2}$ 。

如果  $\varepsilon(t)$  在时间轴上延迟  $t_0$ , 得到  $\varepsilon(t - t_0)$ , 即

$$\varepsilon(t - t_0) = \begin{cases} 1, & t > t_0 \\ 0, & t < t_0 \end{cases}$$

**例 1-1-7** 绘制单位阶跃信号  $f(t) = \varepsilon(t)$  的波形。

绘制单位阶跃信号的 MATLAB 仿真程序为



```
clear all; close all; clc;
t0=0;t1=-1;t2=2;dt=0.001;
t=t1:dt:t0;
n1=length(t);
t3=t0:dt:t2;
n2=length(t3);
f1=zeros(1,n1);           %初始化为0
f2=ones(1,n2);           %初始化为1
plot(t,f1,'-k','linewidth',2);
hold on;
plot(t3,f2,'-k','linewidth',2);
plot([t0,t0],[0,1],'-k','linewidth',2);
hold off;
axis([t1,t2,-0.1,1.3]);
xlabel('t');
ylabel('ε(t)');
title('单位阶跃信号波形');
```

程序运行后，仿真绘制的单位阶跃信号的波形如图 1-1-7 所示。

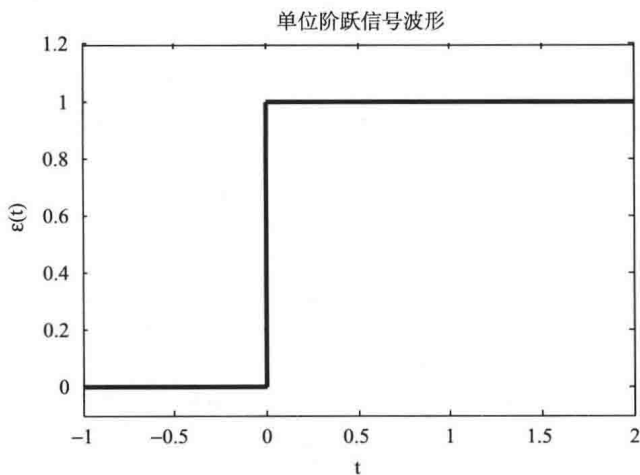


图 1-1-7 单位阶跃信号的波形

## 8. 单位斜变信号

斜变信号也称为斜坡信号或斜升信号，是指从某一时刻开始随时间成比例增长的信号。若增长的变化率为 1，称作单位斜变信号，函数表达式为