



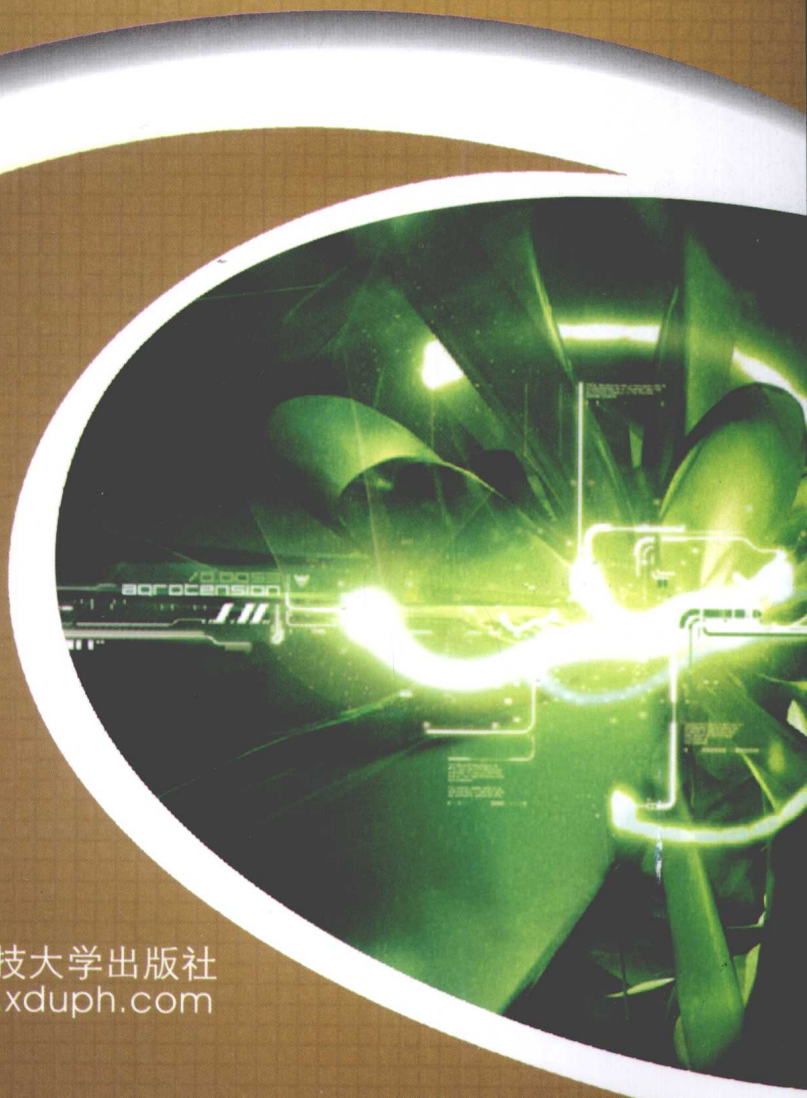
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

信号与系统实训指导 (MATLAB版)

杜晶晶 金学波 编著
秦会斌 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

信号与系统实训指导

(MATLAB 版)

杜晶晶 金学波 编著
秦会斌 主审

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书结合信号与系统分析的基本理论和方法,选取很多实例,以加强读者对相关知识的理解。本书所选实例涉及电子电路、生物系统、信号处理等不同的工程领域。例如书中对RLC电路、兔子繁殖、回声消除、人体药物吸收代谢、汽车运动、离散全通系统、倒立摆、贷款差额系统、电话的拨号音等实际应用问题进行信号与系统分析,利用MATLAB语言得到这些问题的计算机解。本书通过这些实例展示了信号与系统课程中相关知识的实质。

本书可作为本科电子信息工程、通信工程、电子信息科学与技术 and 计算机类有关专业信号与系统课程的实训教材,也可供从事电子信息类工作的科技人员参考,同时也可供读者自学。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实训指导(MATLAB版)/杜晶晶,金学波编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2009.8

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2267-5

I. 信… II. ①杜… ②金… III. 信号系统—高等学校—教学参考资料 IV. TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第082138号

策 划 毛红兵

责任编辑 段 蕾 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 7.25

字 数 163千字

印 数 1~4000册

定 价 11.00元

ISBN 978-7-5606-2267-5/TN·0514

XDUP 2559001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

西安电子科技大学出版社
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主任: 杨 震 (南京邮电大学校长、教授)

副主任: 张德民 (重庆邮电大学通信与信息工程学院副院长、教授)

秦会斌 (杭州电子科技大学电子信息学院院长、教授)

通信工程组

组 长: 张德民 (兼)

成 员: (成员按姓氏笔画排列)

王 晖 (深圳大学信息工程学院副院长、教授)

巨永锋 (长安大学信息工程学院副院长、教授)

成际镇 (南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、副教授)

刘顺兰 (杭州电子科技大学通信工程学院副院长、教授)

李白萍 (西安科技大学通信与信息工程学院副院长、教授)

张邦宁 (解放军理工大学通信工程学院卫星系系主任、教授)

张瑞林 (浙江理工大学信息电子学院院长、教授)

张常年 (北方工业大学信息工程学院院长、教授)

范九伦 (西安邮电学院信息与控制系系主任、教授)

姜 兴 (桂林电子科技大学信息与通信学院副院长、教授)

姚远程 (西南科技大学信息工程学院副院长、教授)

康 健 (吉林大学通信工程学院副院长、教授)

葛利嘉 (中国人民解放军重庆通信学院军事信息工程系系主任、教授)

电子信息工程组

组 长: 秦会斌 (兼)

成 员: (成员按姓氏笔画排列)

王 荣 (解放军理工大学通信工程学院电信工程系系主任、教授)

朱宁一 (解放军理工大学理学院基础电子学系系主任、工程师)

李国民 (西安科技大学通信与信息工程学院院长、教授)

李邓化 (北京信息工程学院信息与通信工程系系主任、教授)

吴 谨 (武汉科技大学信息科学与工程学院电子系系主任、教授)

杨马英 (浙江工业大学信息工程学院副院长、教授)

杨瑞霞 (河北工业大学信息工程学院院长、教授)

张雪英 (太原理工大学信息工程学院副院长、教授)

张 彤 (吉林大学电子科学与工程学院副院长、教授)

张焕君 (沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长、副教授)

陈鹤鸣 (南京邮电大学光电学院院长、教授)

周 杰 (南京信息工程大学电子与信息工程学院副院长、教授)

欧阳征标 (深圳大学电子科学与技术学院副院长、教授)

雷 加 (桂林电子科技大学电子工程学院副院长、教授)

项目策划: 毛红兵

策 划: 曹 昞 寇向宏 杨 英 郭 景

前 言

信号与系统是信息类学科的一门重要专业基础课，该课程的特点是理论抽象，数学分析多，公式推导复杂，学习难度较大。近年来，随着计算机技术的发展，MATLAB 软件被引入到信号与系统的教学和研究中来。MATLAB 软件通俗易懂，具有强有力的科学计算能力和绘图功能，能够在信号与系统的教学和研究中实现手段与内容的互补。用 MATLAB 分析和处理信号与系统中的理论问题，既可以生动地演示以往枯燥的理论知识，又可以让学生更深入地了解 MATLAB 语言及其编程技巧，锻炼并提高其运用所学理论知识及软件工具解决实际问题的能力，得到事半功倍的效果。

本书共 6 章，按照信号与系统的基本概念、信号与系统的时域分析、信号与系统的频域分析、信号与系统的复频域分析和信号与系统的 Z 域分析的顺序组织理论知识和实训内容，并结合信号与系统分析的基本理论和方法选取了很多实例，以加强读者对相关知识的理解。书中所选实例涉及电子电路、生物系统、信号处理等不同的工程领域，例如 RLC 电路、兔子繁殖、回声消除、人体药物吸收代谢、汽车运动、离散全通系统、倒立摆、贷款差额系统、电话的拨号音等。本书通过这些实例展示了信号与系统课程相关知识点的实质，在介绍信号与系统理论分析方法的同时，利用 MATLAB 语言得到计算机解。

本书由杜晶晶和金学波编写，由杜晶晶统稿，金学波进行了大部分实训例题的计算机实现。例题和习题中需要的函数或数据文件可以在西安电子科技大学出版社的网站上下载，网址为 www.xduph.com。

本书可作为本科电子信息工程、通信工程、电子信息科学与技术 and 计算机类有关专业信号与系统课程的实训教材，也可供从事电子信息类工作的科技人员参考，同时也可供读者自学。

由于编者水平有限，书中的错误和不妥之处，恳请读者不吝指正。

编 者
2009 年 5 月

目 录

第 1 章 信号与系统的基本概念	1
1.1 MATLAB 的基础知识	1
1.1.1 数据的表示和运算	1
1.1.2 矩阵的表示和运算	2
1.1.3 数据的输入和输出	4
1.1.4 波形的绘制	4
1.1.5 M 文件	5
1.1.6 其他常用的 MATLAB 命令	6
1.2 基本离散时间信号及其 MATLAB 表示	6
1.3 基本连续时间信号及其 MATLAB 表示	12
1.4 信号自变量的变换	19
1.5 系统的性质	23
习题	26
第 2 章 离散时间系统的时域分析	27
2.1 相关 MATLAB 函数	27
2.2 用递归法求解差分方程	28
2.3 卷积和系统零状态响应的计算	30
2.4 用 MATLAB 求离散系统的单位阶跃响应和单位样值响应	33
2.5 用 MATLAB 求离散系统在任意输入作用下的响应	34
2.6 线性时不变系统的实例分析	35
习题	40
第 3 章 连续时间系统的时域分析	41
3.1 相关 MATLAB 函数	41
3.2 用 MATLAB 求连续系统的单位阶跃响应和单位冲激响应	42
3.3 用 MATLAB 求连续系统在任意输入作用下的零状态响应	44
3.4 连续信号的卷积和系统零状态响应的计算	45
3.5 线性时不变系统的实例分析	47
习题	51
第 4 章 信号和系统的频域分析	52
4.1 相关 MATLAB 函数	52
4.2 周期信号的傅里叶级数	53
4.3 连续时间信号的傅里叶变换	58
4.4 离散时间信号的傅里叶变换	60
4.5 系统的频域分析实例	62
习题	71

第 5 章 连续时间信号和系统的复频域分析	74
5.1 相关 MATLAB 函数	74
5.2 拉普拉斯变换	75
5.3 拉普拉斯反变换	76
5.4 系统函数	78
5.4.1 系统的零点和极点	78
5.4.2 系统函数和系统的时域响应	79
5.4.3 系统函数和系统的频域响应	79
5.5 系统的复频域分析实例	79
习题	91
第 6 章 离散时间信号和系统的 Z 变换分析	93
6.1 相关 MATLAB 函数	93
6.2 Z 变换	94
6.3 Z 反变换	94
6.4 系统函数	97
6.4.1 系统的零点和极点	97
6.4.2 系统函数和系统的时域响应	99
6.4.3 系统函数和系统的频域响应	99
6.5 系统的 Z 变换分析实例	100
习题	105
参考文献	107

第 1 章 信号与系统的基本概念

本章介绍信号与系统的基本概念以及用 MATLAB 分析和处理信号与系统基本问题所需的准备知识。1.1 节介绍用 MATLAB 分析信号与系统时用到的一些主要的基础知识，1.2 节介绍用 MATLAB 表示一些常见的离散信号，1.3 节介绍用 MATLAB 表示一些常见的连续信号，1.4 节介绍用 MATLAB 进行信号自变量的变换，1.5 节介绍用 MATLAB 分析系统性质。

1.1 MATLAB 的基础知识

用 MATLAB 分析和处理信号与系统问题时，经常会涉及到数据的表示和运算、数据的输入和输出以及波形的绘制等问题，下面就简要介绍一下处理这些问题所需的 MATLAB 基础知识。

1.1.1 数据的表示和运算

MATLAB 中，变量可以通过表达式直接赋值，例如直接输入

```
>> a=2+2
```

得到的结果为

```
a=4
```

如果输入的表达式后面加上分号“;”，那么结果就不会显示出来。由于 MATLAB 的变量名对字母大小写敏感，因此“a”和“A”是两个不同的变量名。

MATLAB 主要用到以下数值运算符：

+	加
-	减
*	乘
/	除
^	乘方(幂)
'	(矩阵)转置

这些符号可以对数值或已经定义过的变量进行运算，并给变量直接赋值。例如，假设变量“a”在上面已经定义过，则


```
>> b=2 * a
```

得到的结果为

```
b=8
```

MATLAB 中有一些预定义的变量可以直接使用。信号与系统中常用的变量有：

```
i 或 j       $\sqrt{-1}$ 
```

```
pi           $\pi(3.14159\dots)$ 
```

在信号与系统中，常用以下函数进行计算和对变量赋值：

```
abs        数值的大小(实数的绝对值)
```

```
angle      复数的角度，以弧度表示
```

```
real       求复数的实部
```

```
imag       求复数的虚部
```

```
cos        余弦函数，假设角度是弧度值
```

```
sin        正弦函数，假设角度是弧度值
```

```
exp        指数函数
```

```
sqrt       求平方根
```

例如：

```
>>y=2 * (1+4 * i)
```

```
y=2.0000 + 8.0000i
```

```
>>c=abs(y)
```

```
c=8.2462
```

```
>>d=angle(y)
```

```
d=1.3258
```

1.1.2 矩阵的表示和运算

MATLAB 是基于矩阵和向量的代数运算，甚至标量也可以看做是 1×1 的矩阵，因此，MATLAB 中对矩阵和向量的操作比较简单。

向量可以用两种方法定义。第一种是指定元素建立向量：

```
v = [1 3 5 7];
```

这个命令创建了一个 1×4 的行向量，元素为 1, 3, 5 和 7。可以用逗号代替空格来分隔元素：

```
v = [1, 3, 5, 7];
```

如果要增加向量的元素，可以表示为

```
v(5) = 8;
```

得到的向量为 $v=[1\ 3\ 5\ 7\ 8]$ 。前面定义过的向量还可以用来定义新的向量，例如，前面已经定义过向量 v ，再定义向量 a 和 b ：

```
a = [9 10];
```

```
b = [v a];
```

得到向量 b 为

```
b = [1 3 5 7 8 9 10]
```

第二种定义方法是用等间隔元素建立向量，例如：

```
t = 0 : .1 : 10;
```

这个命令创建了一个 1×101 的向量，元素为 $0, 0.1, 0.2, 0.3, \dots, 10$ 。这个表达式中，前面的数字表示初值，后面的数字表示终值，中间的数字表示增量。如果只给出两个数字，那么表示增量为 1，例如：

```
t = 0 : 10;
```

这个命令创建了一个 1×11 的向量，元素为 $0, 1, 2, 3, \dots, 10$ 。

函数 `linspace` 和 `logspace` 也用于创建向量。函数 `linspace` 的格式为

```
x=linspace(a, b, n)
```

其中， a 表示初值， b 表示终值， n 指定元素个数，默认 n 为 100， x 是 $1 \times n$ 的线性等间隔分布的向量。例如：

```
x=linspace(0, 10, 101);
```

这个命令创建的向量 x 与命令 `t = 0 : .1 : 10` 的结果是相同的。函数 `logspace` 的格式为

```
x=logspace(a, b, n)
```

其中， a 表示向量初值为 10^a ， b 表示终值为 10^b ， n 指定元素个数，默认 n 为 50， x 是 $1 \times n$ 的向量，这 n 个元素取以 10 为底的对数后在 $[a, b]$ 间等间隔分布。这个函数常用于频率响应分析中产生频率变量的采样点。例如：

```
x=logspace(-2, 1, 10);
```

这个命令创建了一个 1×10 的向量，元素为 $0.0100, 0.0215, 0.0464, 0.1000, 0.2154, 0.4642, 1.0000, 2.1544, 4.6416, 10.0000$ 。这些元素的以 10 为底的对数在 -2 和 1 之间等间隔分布。

矩阵可以通过输入行列元素获得：

```
M = [1 2 4; 3 6 8];
```

得到的矩阵为

```
M=1.00    2.00    4.00
     3.00    6.00    8.00
```

矩阵特定位置的元素可以通过下面的命令赋值：

```
M(1, 2) = 5;
```

这个命令给矩阵 M 的第 1 行、第 2 列元素赋值为 5，结果为

```
M=1.00    5.00    4.00
     3.00    6.00    8.00
```

用下面的几个命令可以定义一些特殊的矩阵：

```
M = [ ];
```

空矩阵

```
M = zeros(n, m);
```

$n \times m$ 的 0 矩阵

```
M = ones(n, m);
```

$n \times m$ 的 1 矩阵

```
M = eye(n);
```

$n \times n$ 的单位阵

在 1.1.1 节给出的操作和函数也可以用于向量和矩阵。例如：

```
a = [1 2 3];
```

```
b = [4 5 6];  
c = a + b
```

得到的结果为

```
c = 5.00    7.00    9.00
```

函数也可以用于向量元素。例如：

```
t = 0 : 10;  
x = cos(2 * t);
```

得到向量 x 的元素等于 $\cos(2t)$ 的值，其中 $t=0, 1, 2, 3, \dots, 10$ 。

如果运算是元素对元素逐项进行的，需要在 1.1.1 节给出的一些运算符前面加一个“.”。例如，要得到 $x(t)=t \cos(t)$ ，即在指定的 t 向量下求对应的向量 x ，不能直接把向量 t 和向量 $\cos(t)$ 相乘，而是要把它们对应的元素逐个相乘：

```
t = 0 : 10;  
x = t. * cos(t);
```

要得到向量或矩阵的规模可以用下面这两个函数：

```
[r, c]=size(A)    r、c 分别为矩阵 A 的行数和列数  
n=length(b)      n 为向量 b 的长度
```

1.1.3 数据的输入和输出

数据文件的读取和存储用 load 命令和 save 命令，常用的格式如下：

load my.mat	可调用由 MATLAB 产生的文件名为 my.mat 的数据文件
load data.txt	可调用.txt 数据文件，并生成与文件名同名的变量
save my t y	把变量 t 和 y 保存为名为 my.mat 的二进制文件
save data.txt t y-ascii	把变量 t 和 y 保存为名为 data.txt 的 8 位 ASCII 文件

1.1.4 波形的绘制

在信号与系统分析中，我们经常需要绘制波形图，这些图一般是二维的。MATLAB 具有强大的绘图功能，为我们提供了丰富的绘图函数。例如：

plot	绘制曲线图
stem	绘制杆图
hold on	保留当前图形及坐标的全部属性
hold off	恢复图形设置缺省值
grid on	画网格线
grid off	去掉网格线
subplot(m, n, p)	将当前窗口分成 $m \times n$ 个子图，并选择在其中第 p 个上绘图
figure	创建图形窗口

合理的标注可以使图形更加有说服力，MATLAB 还提供了丰富的标注用函数。例如：

title	图形顶部加标题
xlabel	横轴标注

ylabel	纵轴标注
legend	在右上角建立一个图例说明盒
axis	确定坐标轴刻度范围
text	在图中特定位置标注

这些函数的具体使用方法可以参考 MATLAB 的书籍、手册或帮助文件。

1.1.5 M 文件

M 文件是大量 MATLAB 命令的集合，它以文本文件的形式存储，文件名的后缀是“.m”。M 文件可以是一个有输入、输出变量的函数，也可以是一系列的命令脚本。利用 M 文件，可以把命令脚本保存下来，在今后使用的时候修改或调用这些文件，不用再重新键入所有的命令，大大提高效率，而且使排除错误更加容易。MATLAB 要求 M 文件必须保存在工作目录或指定的目录下。

下面实现一个函数的 M 文件。在工作目录下创建一个文件名为 yplusx.m 的 M 文件，它将包含以下命令：

```
function z = yplusx(y, x)
z = y + x;
```

调用 yplusx 函数的命令如下：

```
z = yplusx(2, 3)
```

结果为

```
z = 5
```

利用矩阵和向量形式写的 M 文件效率比较高。循环和 if 语句也可以在 M 文件中使用，但是计算的效率较低，所以要慎重使用。下面列举一个 for 循环的例子：

```
for k=1:10,
    x(k) = cos(k);
end
```

这个例子创建一个向量 x，该向量包含 k 从 1 到 10 的余弦值。这个操作和下面命令的结果一样：

```
k=1:10;
x = cos(k);
```

但是这个命令用向量的函数代替循环，效率更高。

if 语句可以用来定义条件语句，例如：

```
if(a <= 2),
    b = 1;
elseif(a >=4)
    b = 2;
else
    b = 3;
end
```

在 if 语句中可以使用的关系运算符有： $<$ ， $>$ ， $==$ ， $<=$ ， $>=$ 和 $\sim=$ 。

一些 M 文件需要使用者给出变量值，这是使用带有询问提示的输入命令 `input` 实现的。例如：

```
T = input('Input the value of T: ')
```

这个命令可以让使用者输入不同的 T 值。当 M 文件运行时，引号内的文字将显示在命令窗口，用户必须键入合适的值，然后回车运行程序。

如果 M 文件运行中间需要暂停，可以使用 `pause` 命令使程序暂停，然后敲任意键继续执行。

1.1.6 其他常用的 MATLAB 命令

在后面几章中，还会用到下面几个命令，在这里简单列举一下：

<code>who</code>	列出内存中的变量名
<code>whos</code>	列出内存中变量的详细信息
<code>clc</code>	清除命令窗口
<code>clear</code>	清除内存变量和函数
<code>clf</code>	清除图形窗口
<code>sound</code>	对声音进行回放
<code>help</code>	在线帮助

以上介绍的是信号和系统分析中所需的 MATLAB 基础知识，对于信号和系统分析中用到的专门函数，我们会在后续各章节做相应的介绍。如果对 MATLAB 的相关内容不熟悉，可以通过 MATLAB 的相关书籍、手册或帮助文件学习并掌握这些函数的使用。

1.2 基本离散时间信号及其 MATLAB 表示

离散时间信号在时间上是离散的，只在某些不连续的规定瞬时给出函数值，在其他时间没有定义，简称为离散信号或序列。一般情况下，给出函数值的离散时刻的间隔是均匀的。用数学表达式描述离散信号时，以整数序号 n 为自变量，函数符号写做 $x(n)$ 。

在 MATLAB 中，离散信号用一个行向量或一个列向量表示。在 MATLAB 中向量是从 1 开始编号的，即 $x(1)$ 是 x 向量的第 1 个元素。在表示信号或信号运算时，如果这些编号与所需要的信号标号不能对应，可以创建另外一个标号向量，使信号的标号与实际情况一致。MATLAB 软件具有强大的绘图功能，可以用 MATLAB 中的函数表示离散信号并绘制出离散信号的波形。下面介绍基本的离散信号和它们的 MATLAB 表示。

1. 单位阶跃序列

单位阶跃序列的函数表达式为

$$u(n) = \begin{cases} 1 & (n \geq 0) \\ 0 & (n < 0) \end{cases} \quad (1.1)$$

用 MATLAB 中的全 0 矩阵函数 `zeros(1, N)` 和全 1 矩阵函数 `ones(1, N)` 可以表示出单位阶跃序列。MATLAB 只能表示有限长的序列，对于单位阶跃序列这样的无限长序列

可以取一个有限长的范围,把这个范围内的信号表示出来。

例 1-1 绘制单位阶跃序列 $u(n)$ 的波形。

解: MATLAB 程序如下:

```
n=[-2:10];  
un=[zeros(1,2) ones(1,11)];  
stem(n, un);  
xlabel('n'); ylabel('u(n)');  
grid on;  
axis([-2 10 -0.2 1.2])
```

运行结果如图 1-1 所示。

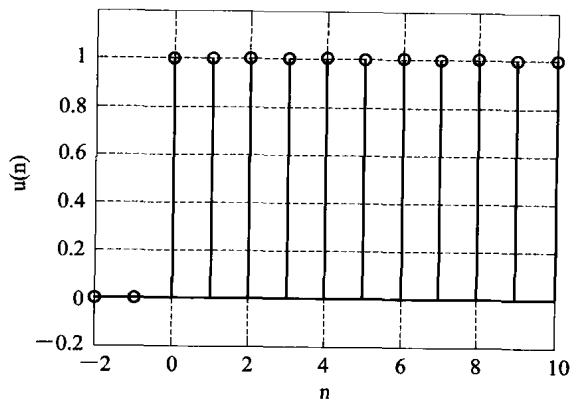


图 1-1 单位阶跃序列

根据单位阶跃序列的特点,还可以用 MATLAB 中的关系运算符“ \geq ”来实现这个序列,将例 1-1 程序中的第 2 行语句换成关系运算语句“ $un=(n \geq 0)$ ”即可。语句“ $un=(n \geq 0)$ ”的返回值是由“0”和“1”组成的向量,当 $n \geq 0$ 时,返回值为“1”;当 $n < 0$ 时,返回值为“0”。程序运行结果与例 1-1 相同。需要注意的是,这种方法得到的“un”是一个由逻辑量组成的向量,在数值计算时需要变换成数值型的向量。

2. 单位样值信号

单位样值信号的函数表达式为

$$\delta(n) = \begin{cases} 1 & (n = 0) \\ 0 & (n \neq 0) \end{cases} \quad (1.2)$$

MATLAB 中的全 0 矩阵函数 $\text{zeros}(1, N)$ 可以用来实现单位样值信号。MATLAB 中的关系运算符“ $=$ ”也可以实现这个序列。

例 1-2 绘制单位样值信号 $\delta(n)$ 的波形。

解: MATLAB 程序如下:

```
n=[-5:5];  
xn=[zeros(1,5) 1 zeros(1,5)];  
stem(n, xn);  
xlabel('n'); ylabel('\delta(n)');
```

```
grid on;
axis([-5 5 -0.2 1.2])
```

运行结果如图 1-2 所示。

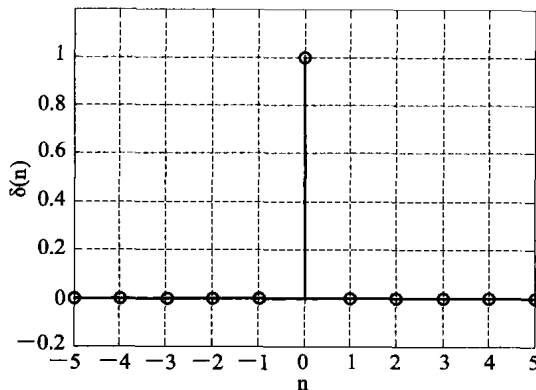


图 1-2 单位样值信号

3. 矩形序列

矩形序列的函数表达式为

$$R_N(n) = \begin{cases} 1 & (0 \leq n \leq N-1) \\ 0 & (n < 0, n \geq N) \end{cases} \quad (1.3)$$

矩形序列从 $n=0$ 开始, 到 $n=N-1$ 为止, 共有 N 个幅度为 1 的函数值, 其余各点数值为 0。矩形序列可以用阶跃序列表示为

$$R_N(n) = u(n) - u(n-N) \quad (1.4)$$

所以, 用 MATLAB 表示矩形序列的方法可以参考阶跃序列的表示方法。

例 1-3 绘制矩形序列 $R_6(n)$ 的波形。

解: MATLAB 程序如下:

```
n=[-2:10];
rn=[zeros(1,2) ones(1,6) zeros(1,5)];
stem(n, rn);
xlabel('n'); ylabel('R_6(n)');
grid on;
axis([-2 10 -0.2 1.2])
```

运行结果如图 1-3 所示。

为了使用方便, 可以把单位阶跃序列做成一个函数, 存在名为 un.m 的 M 文件中, 在其他程序中可以调用该函数。函数为

```
function y=un(n)
y=(n>=0);
```

要用上述函数表示矩形序列 $R_6(n)$, 可以把例 1-3 程序中的第 2 行语句写成

```
rn=un(n)-un(n-6);
```

程序运行结果与例 1-3 相同。

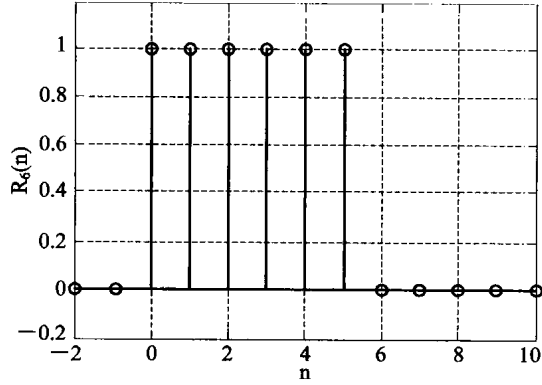


图 1-3 矩形序列

4. 斜变序列

斜变序列的函数表达式为

$$x(n) = nu(n) \quad (1.5)$$

例 1-4 绘制 $0 \leq n \leq 5$ 范围内的斜变序列的波形。

解：设已经创建了 M 文件 un.m，MATLAB 程序如下：

```
n=[-2:5];
xn=n.*un(n);
stem(n,xn);
xlabel('n');ylabel('x(n)');
title('x(n)=nu(n)');
grid on;
```

运行结果如图 1-4 所示。

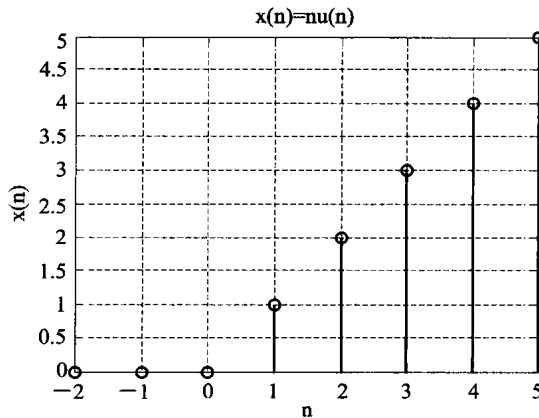


图 1-4 斜变序列

5. 单边指数序列

单边指数序列的函数表达式为

$$x(n) = a^n u(n) \quad (1.6)$$

例 1-5 绘制 $0 \leq n \leq 10$ 范围内的单边指数序列 $x(n)=0.5^n u(n)$ 的波形。

解：设已经创建了 M 文件 un.m，MATLAB 程序如下：

```
n=[-2:10];
xn=(0.5).^n.*un(n);
stem(n,xn);
xlabel('n');ylabel('x(n)');
title('x(n)=0.5^nu(n)');
grid on;
```

运行结果如图 1-5 所示。

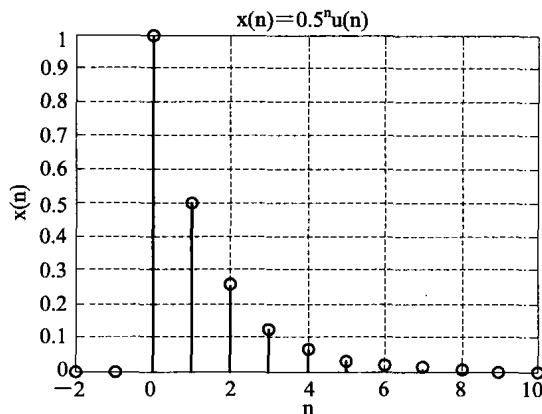


图 1-5 指数序列

6. 正弦序列

正弦序列的函数表达式为

$$x(n) = \sin(n\omega_0) \quad (1.7)$$

式中 ω_0 是正弦序列的频率，它反映了序列值依次周期重复的速率。正弦序列不一定是周期函数。只有 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 为整数 N 时，正弦序列才具有 $N = \frac{2\pi}{\omega_0}$ 的周期；若 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 不是整数，而是有理数 $\frac{N}{m}$ ，则正弦序列还是周期性的，但其周期等于 $m \frac{2\pi}{\omega_0}$ ；若 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 不是有理数，则正弦序列就是非周期性的。

例 1-6 绘制正弦序列 $x(n) = \sin(0.1\pi n)$ 的波形。

解：MATLAB 程序如下：

```
N=10;
n=[0:4*N-2];
x=sin(0.1*pi*n);
stem(n,x);
title('x(n)=sin(0.1\pin)');
xlabel('n');
ylabel('x(n)');
```

运行结果如图 1-6 所示。