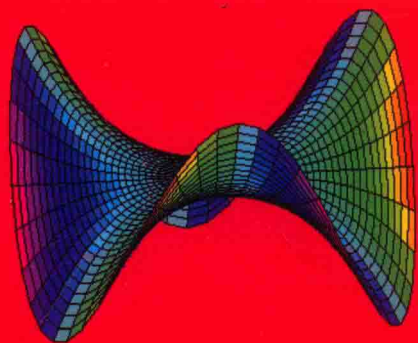


资深作者编写，基于MATLAB R2016a平台的通信系统建模与仿真方面的权威著作
系统性、实用性与先进性相结合，理论与实践相交融
书中提供了150多个MATLAB应用典型例题



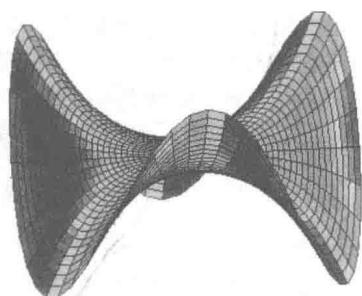
MATLAB R2016a 通信系统建模与仿真 28个案例分析



© 吴茂 编著



清华大学出版社



MATLAB R2016a 通信系统建模与仿真 28个案例分析

◎ 吴茂 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

MATLAB 及其 Simulink 通信、信号处理专业函数库和专业工具箱越来越成熟,并逐渐为广大通信技术领域的专家、学者和工程师所熟悉,在通信理论研究、算法设计、系统设计、建模仿真和性能分析验证等方面的应用也越来越广泛。本书以 MATLAB R2016a 为平台,在讲解各实现方法中给出相应的实例,使得本书应用性更强,实用价值更高。

全书共 28 章,主要介绍通信系统的信源与信道、通信系统滤波器、通信系统的调制与解调、通信系统的锁相环与扩频、MATLAB-Simulink 系统建模与仿真、通信系统的实际应用和信号处理技术等内容。MATLAB 以其独特的魅力,成为通信技术领域强有力的工具。

本书主要作为通信工程、电子信息工程等领域的广大科研人员、学者、工程技术人员的参考用书,也可作为高等院校相关专业及领域本科生、研究生的学习用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB R2016a 通信系统建模与仿真 28 个案例分析/吴茂编著. —北京:清华大学出版社,2018
(精通 MATLAB)
ISBN 978-7-302-47570-5

I. ①M… II. ①吴… III. ①Matlab 软件—应用—通信系统—系统建模 ②Matlab 软件—应用—通信系统—系统仿真 IV. ①TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 151014 号

责任编辑:刘 星 梅栾芳

封面设计:刘 键

责任校对:焦丽丽

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:28.75 字 数:682 千字
版 次:2018 年 3 月第 1 版 印 次:2018 年 3 月第 1 次印刷
印 数:1~1500
定 价:89.00 元

产品编号:074830-01

MATLAB 是当今最优秀的科技应用软件之一,它以强大的科学计算与可视化功能、简单易用的特点、开放式可扩展环境,特别是所附带的 30 多种面向不同领域的工具箱支持,使得它在许多科学领域成为计算机辅助设计与分析、算法研究与应用开发的基本工具和首选平台。它具有其他高级语言难以比拟的一些优点,如编写简单、编程效率高、易学易懂等,因此 MATLAB 语言也被通俗地称为演算纸式科学算法语言。在通信、信号处理、控制及科学计算等领域, MATLAB 应用广泛,已经成为可有效提高工作效率、改善设计手段的工具软件。掌握了 MATLAB,就好比掌握了开启这些专业领域大门的钥匙。

Simulink 是 MATLAB 的一个工具包,其建模与一般程序建模相比更为直观,操作也更为简单,不必记忆各种参数——命令的用法,只要用鼠标就能够完成非常复杂的工作。Simulink 不但支持线性系统仿真,还支持非线性系统仿真;不仅支持连续系统仿真,还支持离散系统甚至混合系统仿真;不仅本身功能非常强大,而且还是一个开放性体系,用户可以自己开发模块来增强 Simulink 的功能。对于同一个系统模型,利用 Simulink 可以采用多个不同的采样速率,不但能够实时地显示计算结果,还能够显示模型所表示实物的实际运动形式。

目前,通信技术领域是一个非常热门的领域,无论是有线通信技术还是无线通信技术,都已应用到人们生活的各个方面,通信系统正向着宽带化方向迅速发展。使用 MATLAB-Simulink 进行通信系统建模与仿真设计,已经成为广大通信工程师必须研究、掌握的技术之一。

为了满足通信技术发展的需要,结合 MATLAB 的功能特点,作者编写了本书。本书在以下几方面做了努力。

(1) 结构紧凑、分析全面。本书介绍了通信系统的信源与信道、通信系统滤波器、通信系统的调制与解调、通信系统的锁相环与扩频、MATLAB-Simulink 系统建模与仿真、通信系统的实际应用和信号处理技术等内容。

(2) 内容翔实,实用性强。书中每介绍一个案例都给出了详细说明,读者可快速掌握 MATLAB 在具体案例中的应用。

(3) 图文并茂。对于程序的运行结果,本书给出了大量的图形。本书不仅注重基础知识的讲解,而且非常注重实践,可使读者迅速掌握 MATLAB 在每个案例中的应用。

通过本书的学习,读者不仅可以全面掌握 MATLAB 的编程和开发技术,还可以提高快速分析和解决实际问题的能力,从而能够在最短的时间内,最快地解决实际工作中所遇到的问题,提升工作效率。

本书主要由吴茂编写,此外参加编写的还有赵书兰、周品、曾虹雁、邓俊辉、陈添威、邓耀隆、高泳崇、李嘉乐、李锦涛、梁朗星、梁志成、梁恩庆、梁仲轩、杨平和许兴杰。

前言

本书主要作为通信工程、电子信息方面的广大科研人员、学者、工程技术人员的参考用书,也可作为高等院校相关专业及领域本科生、研究生的学习用书。

由于作者水平有限,书中疏漏之处在所难免。在此,诚恳地期望得到各领域专家和广大读者的批评指正。

作者

2017年11月

第 1 章 通信仿真的 MATLAB 函数实现	1
1.1 信源产生函数	1
1.1.1 randerr 函数	1
1.1.2 randint 函数	2
1.1.3 randsrc 函数	3
1.1.4 wgn 函数	4
1.2 信源编码/解码函数	5
1.2.1 arithenco/arithdeco 函数	5
1.2.2 dpcmenco/dpcmdeco 函数	5
1.2.3 compand 函数	6
1.2.4 lloyds 函数	7
1.2.5 quantiz 函数	7
1.3 信道函数	8
1.3.1 awgn 函数	8
1.3.2 bsc 函数	9
第 2 章 地震及雷达信号的 MATLAB 实现	11
2.1 地震观测系统的仿真和地面运动的恢复	11
2.1.1 基本理论	11
2.1.2 地震观测系统的 MATLAB 应用	12
2.2 雷达信号的产生	20
2.2.1 脉冲幅度调制	20
2.2.2 线性调频信号	21
2.2.3 相位编码信号	23
2.2.4 相位编码内线性调频混合调制信号	24
第 3 章 通信系统模拟线性调制的 MATLAB 实现	27
3.1 双边带调幅与解调	27
3.2 常规双边带调幅	32
3.3 抑制载波双边带调幅	33
3.4 单边带调幅与解调	35
第 4 章 雷达信号中的数字处理技术	41
4.1 雷达回波信号随机热噪声分析	41

目录

4.1.1	服从高斯分布的热噪声	41
4.1.2	服从均匀分布的热噪声	42
4.1.3	服从指数分布的热噪声	44
4.1.4	服从瑞利分布的热噪声	45
4.2	数字处理技术在雷达信号中的应用	46
4.2.1	固定对消	46
4.2.2	动目标显示与检测	47
4.2.3	恒虚警处理	50
4.2.4	积累处理	53
第 5 章	扩频通信系统的 MATLAB 实现	56
5.1	扩频通信系统的仿真	56
5.2	伪随机码产生	56
5.2.1	m 序列	57
5.2.2	伪随机数序列相关函数	58
5.2.3	Gold 序列	61
5.3	直接序列扩频系统	62
5.4	利用 MATLAB 仿真演示直扩信号抑制余弦干扰	62
5.5	跳频扩频系统	65
5.6	BFSK/FH 系统性能仿真	66
第 6 章	随机信号及参数建模分析	69
6.1	倒谱分析	69
6.2	时域建模	70
6.2.1	三种参数模型	70
6.2.2	时域建模原理	72
6.2.3	线性预测方法	79
6.3	频域建模	84
6.3.1	模拟滤波器的频域建模	84
6.3.2	数字滤波器的频域建模	85
第 7 章	通信系统设计的 MATLAB 实现	87
7.1	设计通信系统的发射机	87
7.2	设计通信系统的接收机	93
7.3	通信系统的 MATLAB 实现	95

第 8 章 信号突变点检测算法研究	102
8.1 信号的突变性与小波变换	102
8.2 信号的突变点检测原理	103
8.3 实验结果与分析	104
8.3.1 Daubechies 5 小波用于检测含有突变点的信号	104
8.3.2 Daubechies 6 小波用于检测突变点	106
第 9 章 MIMO-OFDM 通信系统设计的 MATLAB 实现	109
9.1 MIMO-OFDM 通信系统设计	109
9.2 MIMO 系统	109
9.3 OFDM 技术	110
9.4 MIMO-OFDM 系统	112
9.5 空间分组编码	113
9.6 STBC 的 MIMO-OFDM 系统设计	114
9.6.1 STBC 的 MIMO-OFDM 系统模型	114
9.6.2 分析 STBC 的 MIMO-OFDM 系统性能	115
9.7 STBC 的 MIMO-OFDM 系统的 MATLAB 实现	116
第 10 章 模拟角度调制的 MATLAB 实现	121
10.1 频率调制	121
10.2 相位调制	123
第 11 章 仿真系统 Simulink 模块创建过程	126
11.1 Simulink 主要特点	126
11.2 Simulink 工作原理	127
11.2.1 动态系统计算机仿真	127
11.2.2 Simulink 求解器	128
11.2.3 求解器参数设置	130
11.3 一个 Simulink 实例	135
第 12 章 通信系统锁相环的 MATLAB 实现	141
12.1 锁相环构建	141
12.2 锁相环 Simulink 模块	144

目录

12.2.1	基本锁相环模块	144
12.2.2	压控振荡器模块	145
12.2.3	设计并仿真一个频率合成器	147
第 13 章	利用 MATLAB 及 Simulink 系统进行建模	149
13.1	MATLAB 建模	149
13.1.1	静态系统	149
13.1.2	动态系统	151
13.2	Simulink 建模	155
13.2.1	线性系统建模	155
13.2.2	二阶微分方程	157
13.2.3	状态方程	160
13.2.4	非线性建模	161
第 14 章	小波变换在信号特征检测中的算法研究	166
14.1	小波信号特征检测的理论分析	166
14.1.1	自相似信号小波变换的特点	166
14.1.2	小波变换与信号的突变性	167
14.2	实验结果与分析	168
14.2.1	突变性检测	168
14.2.2	自相似性检测	173
14.2.3	趋势检测	173
第 15 章	通信系统调制/解调的 MATLAB 实现	177
15.1	载波提取分析	177
15.1.1	幅度键控分析	177
15.1.2	相移键控分析	177
15.1.3	频移键控分析	180
15.1.4	正交幅度调制	180
15.2	调制/解调的 Simulink 模块	183
15.2.1	DSB-AM 调制/解调	183
15.2.2	SSB-AM 调制/解调	185
15.2.3	DSBSC-AM 调制/解调	186
15.2.4	FM 调制/解调	188
15.2.5	PM 调制/解调	190

第 16 章	Simulink 与 MATLAB 的接口	192
16.1	Simulink 与 MATLAB 的数据交互	192
16.2	命令行方式进行动态仿真	196
16.2.1	命令行动态系统仿真	196
16.2.2	模型线性化	203
16.2.3	平衡点求取	205
第 17 章	信源编译码的 MATLAB 模块实现	206
17.1	信源编译码	206
17.1.1	信源编码	206
17.1.2	信源译码	209
17.2	MATLAB-Simulink 通信系统仿真实例	212
17.2.1	MATLAB 编码实例	212
17.2.2	Simulink 信道实例	218
17.2.3	MATLAB-Simulink 信道实例	223
第 18 章	数字基带调制/解调的 Simulink 模块实现	228
18.1	数字幅度调制/解调	228
18.2	数字频率调制/解调	232
18.3	数字相位调制/解调	234
18.4	调制/解调的 Simulink 应用	238
第 19 章	信号加噪的 MATLAB 实现及观测设备	246
19.1	信道模块的信号加噪	246
19.1.1	加性高斯白噪声信道	246
19.1.2	多径瑞利退化信道	248
19.1.3	多径莱斯退化信道	249
19.2	信号观测设备	250
19.2.1	离散眼图示波器	251
19.2.2	星座图	254
19.2.3	离散信号轨迹图	256
19.2.4	误码率计算器	257

目录

第 20 章	信号与信道的 MATLAB-Simulink 产生	259
20.1	随机数据信号源	259
20.1.1	伯努利二进制信号产生器	259
20.1.2	泊松分布整数产生器	262
20.1.3	随机整数产生器	265
20.2	序列产生器	266
20.2.1	PN 序列产生器	266
20.2.2	Gold 序列产生器	267
20.2.3	Walsh 序列产生器	269
20.3	噪声源发生器	270
20.3.1	均匀分布随机噪声产生器	270
20.3.2	高斯随机噪声产生器	272
20.3.3	瑞利噪声产生器	274
20.3.4	莱斯噪声产生器	277
第 21 章	滤波器的 Simulink 模块设计	279
21.1	数字滤波器设计模块	279
21.2	模拟滤波器设计模块	282
21.3	理想矩形脉冲滤波器模块	283
21.4	升余弦发射滤波器模块	285
21.5	升余弦接收滤波器模块	288
21.6	滤波器设计实例	290
第 22 章	信号分解与重构的 MATLAB 实现	296
22.1	小波快速算法设计原理与步骤	296
22.2	小波分解算法	296
22.3	对称小波分解算法	297
22.4	小波重构算法	298
22.5	对称小波重构算法	298
22.6	MATLAB 程序设计实现	299
第 23 章	S-函数及其作用	309
23.1	S-函数的相关概率	309

23.2	S-函数模块	310
23.3	S-函数工作原理	311
23.4	M文件 S-函数模板	312
23.5	S-函数应用	315
第 24 章	通信系统滤波器的 MATLAB 函数实现	327
24.1	模拟滤波器的 MATLAB 函数实现	327
24.1.1	设计模拟滤波器	327
24.1.2	求模拟滤波器的最小阶次	333
24.1.3	滤波器的传递函数	336
24.2	数字滤波器的 MATLAB 函数实现	341
24.2.1	窗函数	341
24.2.2	数字滤波器频率响应函数	343
24.3	特殊滤波器的 MATLAB 函数实现	350
第 25 章	Subsystem 模块创建子系统	353
25.1	子系统	353
25.1.1	创建子系统	353
25.1.2	浏览下层子系统	355
25.1.3	条件执行子系统	355
25.1.4	控制流系统	370
25.2	子系统封装	381
第 26 章	通信系统滤波器设计的 MATLAB 实现	387
26.1	滤波器简介	387
26.2	模拟滤波器结构	388
26.3	数字滤波器结构	391
第 27 章	故障信号检测的 MATLAB 实现	395
27.1	故障信号检测的理论分析	395
27.2	实验结果与分析	397
27.2.1	利用小波分析检测传感器故障	397
27.2.2	小波类型的选择对于检测突变信号的影响	400
27.3	小波类型选择	404

目录

第 28 章	MATLAB 在电信工程实际问题中的应用	405
28.1	工具箱提供的信号函数	405
28.2	离散时间信号	411
28.2.1	离散系统的卷积和相关	413
28.2.2	离散系统的差分方程	417
28.3	信号参数的测量和分析	419
28.3.1	信号的能量和功率	419
28.3.2	信号直流分量和交流分量	420
28.3.3	离散时间信号的统计参数	420
28.3.4	信号的频域参数	423
附录	MATLAB R2016a 安装说明	440
参考文献	446

通信系统一般由信源、信宿(收信者)、发端设备、收端设备和传输媒介等组成。

通信系统都是在有噪声的环境下工作的。设计模拟通信系统时采用最小均方误差准则,即收信端输出的信号噪声比最大。设计数字通信系统时,采用最小错误概率准则,即根据所选用的传输媒介和噪声的统计特性,选用最佳调制体制,设计最佳信号和最佳接收机。

MATLAB通信系统工具箱中提供了许多与通信系统有关的函数命令,其中包括信号源产生函数、信源编码/解码函数、信道模型函数、调制/解调函数、滤波器函数等。下面对这些函数进行介绍。

1.1 信源产生函数

在MATLAB中,提供了randerr、randint、randsrc及wgn函数用于产生信源。下面分别对这几个函数进行简要介绍。

1.1.1 randerr 函数

该函数用于产生误比特图样。其调用格式为

out = randerr(m): 产生一个 $m \times m$ 维的二进制矩阵,矩阵中的每一行有且只有一个非零元,且非零元素在每一行中的位置是随机的。

out = randerr(m,n): 产生一个 $m \times n$ 维的二进制矩阵,矩阵中的每一行有且只有一个非零元,且非零元素在每一行中的位置是随机的。

out = randerr(m,n,errors): 产生一个 $m \times n$ 维的二进制矩阵,参数 errors 可以是一个标量、行向量或只有两行的矩阵。

- 当 errors 为一个标量时,产生的矩阵的每一行中 1 的个数等于 errors;
- 当 errors 为一个行向量时,产生的矩阵的每一行中 1 的个数由 errors 的相应元素指定;

- 当 errors 为两行矩阵时,第一行指定出现 1 的可能个数,第二行说明出现 1 的概率,第二行中所有元素的和应该等于 1。

out = randerr(m,n,prob,state): 参数 prob 为 1 出现的概率;参数 state 为需要重新设置的状态。

out = randerr(m,n,prob,s): 使用随机流 s 创建一个二进制矩阵。

【例 1-1】 利用 randerr 的不同调用格式创建一个二进制的误比特图样。

```
>> clear all;
>> out = randerr(8,7,[0 2])
out =
    0    1    0    0    0    1    0
    0    1    0    0    0    1    0
    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    1    1
    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    1    0    0    0    1
    0    0    1    0    1    0    0
out2 = randerr(8,7,[0 2; .25 .75])
out2 =
    0    0    0    0    1    0    1
    0    1    0    0    0    0    1
    0    0    1    0    0    1    0
    0    1    0    0    1    0    0
    1    0    0    0    1    0    0
    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0
```

1.1.2 randint 函数

该函数用于产生均匀分布的随机整数矩阵。其调用格式为

out = randint: 产生一个不是 0,就是 1 的随机标量,且 0,1 等概率出现。

out = randint(m): 产生一个 $m \times m$ 的整数矩阵,矩阵中的元素为等概率出现的 0 和 1。

out = randint(m,n): 产生一个 $m \times n$ 的整数矩阵,矩阵中的元素为等概率出现的 0 和 1。

out = randint(m,n,rg): 产生一个 $m \times n$ 的整数矩阵,如果 rg 为 0,则产生 0 矩阵;否则矩阵中的元素是 rg 所设定范围内整数的均匀分布。此范围为

- $[0,rg-1]$,当 rg 为正整数时;
- $[rg+1,0]$,当 rg 为负整数时;
- 从 min 到 max,包括 min 和 max,当 $rg=[min,max]$ 或 $[max,min]$ 。

【例 1-2】 利用 randint 函数产生均匀分布的随机整数矩阵。

```
>> clear all;
>> out = randint(6,5,8)
```

```

out =
     3     1     2     5     3
     7     5     1     0     3
     4     2     5     4     3
     7     5     6     3     6
     5     5     2     7     2
     7     0     6     0     6
>> out = randint(6,5,[0,7])
out =
     3     2     2     5     5
     0     4     6     4     7
     1     1     1     3     1
     5     5     2     5     5
     3     1     0     5     1
     1     7     4     5     0

```

1.1.3 randsrc 函数

该函数根据给定的数字表产生一个随机符号矩阵。矩阵中包含的元素是数据符号，它们之间相互独立。其调用格式为

`out = randsrc`: 产生一个随机标量,这个标量是 1 或 -1,且产生 1 和 -1 的概率相等。

`out = randsrc(m)`: 产生一个 $m \times m$ 的矩阵,且此矩阵中的元素是等概率出现的 1 和 -1。

`out = randsrc(m,n)`: 产生一个 $m \times n$ 的矩阵,且此矩阵中的元素是等概率出现的 1 和 -1。

`out = randsrc(m,n,alphabet)`: 产生一个 $m \times n$ 的矩阵,矩阵中的元素为 `alphabet` 中所指定的数据符号,每个符号出现的概率相等且相互独立。

`out = randsrc(m,n,[alphabet; prob])`: 产生一个 $m \times n$ 的矩阵,矩阵中的元素为 `alphabet` 集合中所指定的数据符号,每个符号出现的概率由 `prob` 决定。`prob` 集合中的所有数据相加必须等于 1。

【例 1-3】 利用 `randsrc` 函数产生一个随机符号矩阵。

```

>> clear all;
>> out = randsrc(7,10,[-3 -1 1 3])
out =
    -1    -1    -1     3     1    -3     3     3     3     1
    -3     3     1     1     3     1     1    -3    -3    -3
     3     3    -1     3     3    -1     3     3    -1     1
    -1    -1     3     1    -1    -3     1     1     3    -3
     3    -3     3    -3     1    -1     1     3     1     1
    -1     3    -3    -3    -3    -3     3     1     3     1
     3     3     3    -1    -3    -3     3    -1     1     1
>> out = randsrc(7,10,[-3 -1 1 3; .25 .25 .25 .25])
out =

```


3	-3	-3	-3	1	3	3	-3	3	-3
3	3	1	-3	-1	-1	-3	3	3	3
3	-1	-1	-3	1	-3	-3	1	3	-1
1	3	-3	-3	-1	1	-3	1	1	-1
3	-3	-1	1	-3	1	-3	-3	-3	-1
1	1	-3	-1	-1	-1	1	3	-1	-1
-3	1	-3	1	3	-3	1	3	-3	1

1.1.4 wgn 函数

该函数用于产生高斯白噪声(White Gaussian Noise)。通过 wgn 函数可以产生实数形式或复数形式的噪声,噪声的功率单位可以是 dBW(分贝瓦)、dBm(分贝毫瓦)或绝对数值。其中

$$10\lg 1W = 0\text{dBW} = 30\text{dBm}$$

加性高斯白噪声是最简单的一种噪声,它表现为信号围绕平均值的一种随机波动过程。加性高斯白噪声的均值为 0,方差表现为噪声功率的大小。

wgn 函数的调用格式为

$y = \text{wgn}(m,n,p)$: 产生 m 行 n 列的白噪声矩阵, p 表示输出信号 y 的功率(单位: dBW),并且设定负载的电阻为 1Ω 。

$y = \text{wgn}(m,n,p,\text{imp})$: 生成 m 行 n 列的白噪声矩阵,功率为 p ,指定负载电阻 imp (单位: Ω)。

$y = \text{wgn}(m,n,p,\text{imp},\text{state})$: 参数 state 为需要重新设置的状态。

$y = \text{wgn}(\dots,\text{powertype})$: 参数 powertype 指明了输出噪声信号功率 p 的单位,这些单位可以是 dBW、dBm 或 linear。

$y = \text{wgn}(\dots,\text{outputtype})$: 参数 outputtype 用于指定输出信号的类型。当 outputtype 被设置为 real 时,输出实信号;当设置为 complex 时,输出信号的实部和虚部的功率都为 $p/2$ 。

【例 1-4】 利用 wgn 函数产生高斯白噪声。

```
>> clear all;
>> y1 = wgn(10,1,0)
y1 =
    -0.1815
    -0.4269
     0.3801
     1.5804
    -0.6620
    -0.1699
     0.3929
    -2.0945
    -0.9653
    -0.0417
>> y1 = wgn(2,6,0)
y1 =
     0.4543     0.6344    -0.5145    -0.3616     0.3742    -0.7158
    -0.7841    -3.7003     0.3443     0.3838     0.9805     0.5870
```