

高等院校信息技术规划教材

基于MATLAB 的信号与系统实验指导

甘俊英 胡异丁 编著

INFORMATION TECHNOLOGY
INFORMATION TECHNOLOGY
INFORMATION TECHNOLOGY

清华大学出版社



高等院校信息技术规划教材

基于MATLAB 的信号与系统实验指导

甘俊英 胡异丁 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是高等院校理工科关于信号与系统课程计算机仿真的实验教材。

全书共分为 15 章。第 1 章简要介绍了 MATLAB 的入门知识;第 2 章~第 15 章分别围绕信号与系统课程的重点和难点,介绍了连续时间系统的时域、频域、复频域分析,离散时间系统的时域、z 域分析以及系统的状态变量分析。本书详细介绍了利用 MATLAB 进行信号与系统分析的基本方法和原理,并通过大量实例进行了说明。同时,第 2 章~第 15 章还提供了编程练习题,供读者独立实践,进一步加深对信号与系统分析方法和原理的理解。

本书针对性和操作性强,可作为电子信息工程、通信工程、信息工程、自动控制工程、生物医学工程、电气自动化、自动化和计算机等专业学生的实验教材,也可供相关领域的教师与工程技术人员参考。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

基于 MATLAB 的信号与系统实验指导/甘俊英,胡异丁编著. —北京:清华大学出版社, 2007.8

(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-15251-4

I. 基… II. ①甘… ②胡… III. 信号系统—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—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(2007)第 073441 号

责任编辑:袁勤勇 柴文强

责任校对:梁毅

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015

客户服务:010-62776969

印装者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:9

字 数:203 千字

版 次:2007 年 8 月第 1 版

印 次:2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:16.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:025373-01

读者意见反馈

亲爱的读者：

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了今后为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间来填写下面的意见反馈表，以便我们更好地对本教材做进一步改进。同时如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题，或者有什么好的建议，也请您来信告诉我们。

地址：北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 602 室 计算机与信息分社营销室 收
邮编：100084 电子邮件：jsjic@tup.tsinghua.edu.cn
电话：010-62770175-4608/4409 邮购电话：010-62786544

教材名称：基于 MATLAB 的信号与系统实验指导

ISBN：978-7-302-15251-4

个人资料

姓名：_____ 年龄：_____ 所在院校/专业：_____

文化程度：_____ 通信地址：_____

联系电话：_____ 电子信箱：_____

您使用本书是作为：指定教材 选用教材 辅导教材 自学教材

您对本书封面设计的满意度：

很满意 满意 一般 不满意 改进建议_____

您对本书印刷质量的满意度：

很满意 满意 一般 不满意 改进建议_____

您对本书的总体满意度：

从语言质量角度看 很满意 满意 一般 不满意

从科技含量角度看 很满意 满意 一般 不满意

本书最令您满意的是：

指导明确 内容充实 讲解详尽 实例丰富

您认为本书在哪些地方应进行修改？（可附页）

您希望本书在哪些方面进行改进？（可附页）

电子教案支持

敬爱的教师：

为了配合本课程的教学需要，本教材配有配套的电子教案（素材），有需求的教师可以与我们的联系，我们将向使用本教材进行教学的教师免费赠送电子教案（素材），希望有助于教学活动的开展。相关信息请拨打 010-62776969 或发送电子邮件至 jsjic@tup.tsinghua.edu.cn 咨询，也可以到清华大学出版社主页（<http://www.tup.com.cn> 或 <http://www.tup.tsinghua.edu.cn>）上查询。

高等院校信息技术规划教材

系列书目

书 名	书 号	作 者
数字电路逻辑设计	7-302-12235-0	朱正伟 等
计算机网络基础	7-302-12236-9	符彦惟 等
微机接口与应用	7-302-12234-2	王正洪 等
XML 应用教程	7-302-11363-7	吴 洁
算法与数据结构	7-302-11865-5	宁正元 等
算法与数据结构习题精解和实验指导	978-7-302-14803-6	宁正元 等
工业组态软件实用技术	7-302-11500-1	龚运新 等
C 语言程序设计习题解答与实验指导	7-302-11102-2	徐连信
C 语言程序设计	7-302-11103-0	徐连信
计算机信息技术基础	7-302-10761-0	沈孟涛 等
MATLAB 语言及其在电子信息工程中的应用	7-302-10347-X	王洪元
计算机信息技术教程	7-302-09961-8	唐 全
微型计算机组装与系统维护	7-302-09826-3	厉荣卫 等
嵌入式系统设计原理及应用	7-302-09638-4	符意德
C++ 语言程序设计	7-302-09636-8	袁启昌 等
计算机信息技术实验教程	7-302-12416-7	唐 全 等
Visual Basic 程序设计	7-302-13602-5	白康生
单片机 C 语言开发技术	7-302-13508-8	龚运新
计算机组成原理实用教程	7-302-13509-6	王万生
微机原理与汇编语言实用教程	978-7-302-13417-6	方立友
微机组装与维护实用教程	978-7-302-13550-0	徐世宏 等
计算机网络技术及应用	978-7-302-14612-4	沈鑫荆 等
ATMEL 新型 AT89S52 系列单片机及其应用	7-302-09460-8	孙育才
基于 MATLAB 的信号与系统实验指导	978-7-302-15251-4	甘俊英 等

编委会名单

主任：朱敏

副主任：王正洪 鲁宇红 焦金生

成员：（按拼音排序）

常晋义	邓凯	范新南	高佳琴	高玉寰	龚运新
顾建业	顾金海	林罡	刘训非	马正华	沈孟涛
唐全	王继水	王骏	王晴	王志立	吴访升
肖玉	杨长春	袁启昌	张旭翔	张燕	赵明生
郑成增	周凤石				

策划编辑：袁勤勇

序

Preface

在科教兴国方针的指引下,我国高等教育进入了一个新的历史发展时期,招生规模和在校生数量都有了大幅度的增长。我们在进行着世界上规模最大的高等教育。与此同时,对于高等教育的研究和认识也在不断深化。高等学校要明确自己的办学方向和办学特色,这既是不断提高高等教育水平的必然要求,更是高校不断发展和壮大必须首先考虑的问题。

教育部领导明确提出,高等教育应多元化,高等院校应实施分类层次教学,这是高等教育大众化的必然结果,也是市场对人才需求的客观规律所致。因此要有相当部分的高等院校致力于培养应用型人才。此类院校在计算机教学中如何实现自己的培养目标,如何选择适用的应用型教材,已成为十分重要和迫切的任务。应用型人才的培养不能简单照搬研究型人才的培养模式,要在丰富的实践基础上认真总结,摸索新形势下的教学规律,在此基础上设计相关课程、改进教学方法,同时编写与之相适应的应用型教材。这一工作是非常艰巨的,也是非常有意义的。

在清华大学出版社的大力支持和配合下,应用型教材编委会于2003年成立。编委会汇集了众多高等院校的实践经验,并经过集中讨论和专家评审,遴选了一批优秀教材,希望能够通过这套教材的出版和使用,促进应用型人才培养的实践发展,为建立新的人才培养模式作出贡献。

我们编写应用型教材的主要出发点是:

1. 适应新形势下教育部对高等教育的要求以及市场对应用型人才的需求。
2. 计算机科学技术和信息技术发展迅速,教材内容和教学方式应与之相适应,适时地进行更新和改进。
3. 教育技术的发展对教材建设提出了更高的要求,教材将呈现



出纸介质出版物、电子课件以及网络学习环境等相互配合的立体化形态。

4. 根据不同的专业要求,突出应用,使理论与实践更加紧密结合。

以此为目标,我们将努力编写一套全新的、有实用价值的应用型计算机教材。经过参编教师的努力,第一批教材已经面世。教材将滚动式地不断更新、修正、提高,逐渐树立起自己的品牌。希望使用本系列教材的广大师生能对我们的教材提出宝贵的意见,共同建设具有应用型特色的精品教材。

朱 敏

2006年5月

前言

foreword

信号与系统是电气信息类专业最重要的专业基础课程之一,涉及信息的获取、传输、处理的基本理论和相关技术。该课程的特点是概念抽象,数学公式推导较为繁杂,结果较难理解。随着计算机及数学工具软件的发展,利用软件实现信号与系统的仿真及实践已成为主流。实验环节的培养可以进一步加深学生对各知识点的理解与掌握。本书将 MATLAB 软件引入信号与系统课程的实验教学,科学合理地设计了实验项目,帮助学生完成数值计算、信号与系统分析原理及方法的可视化展现,从而有效地培养学生解决实际问题的能力和创新能力。

全书共分为 15 章。第 1 章简要介绍了 MATLAB 的入门知识;第 2 章~第 15 章分别围绕信号与系统课程的重点和难点,介绍运用 MATLAB 对连续时间系统的时域、频域、复频域分析,离散时间系统的时域、 z 域分析以及系统的状态变量分析。本书详细介绍了 MATLAB 进行信号与系统分析的基本方法和原理;通过大量实例对信号与系统课程的重点和难点进行了生动形象的说明;同时给出了具有实际意义的编程练习,为读者直观地理解信号与系统的理论知识提供了有益的帮助。

本书是高等院校理工科关于信号与系统课程计算机仿真的实验教材,针对性和操作性强,可作为电子信息工程、通信工程、信息工程、自动控制工程、生物医学工程、电气自动化、自动化和计算机等专业学生的实验教材,也可供相关领域的教师与工程技术人员参考。

本书由甘俊英、胡异丁编写,甘俊英统稿并主编。在编写过程中应自炉老师给予了很大支持。本书的出版得到了五邑大学教务处和信息学院的大力支持,在此深表谢意!

由于作者水平有限,加上时间仓促,书中错误与不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2007 年 8 月

目录

contents

第 1 章	MATLAB 软件简介	1
1.1	MATLAB 软件在信号与系统中的应用介绍	1
1.2	MATLAB 软件使用入门	2
1.2.1	MATLAB 软件的环境介绍	2
1.2.2	MATLAB 软件基本运算入门	3
1.2.3	MATLAB 软件简单二维图形绘制	8
1.2.4	M 文件	10
1.2.5	MATLAB 程序流程控制	11
第 2 章	连续时间信号在 MATLAB 中的表示	15
2.1	实验目的	15
2.2	实验原理及实例分析	15
2.2.1	典型信号的 MATLAB 表示	15
2.2.2	单位阶跃信号的 MATLAB 表示	20
2.3	编程练习	21
第 3 章	连续时间信号在 MATLAB 中的运算	22
3.1	实验目的	22
3.2	实验原理及实例分析	22
3.2.1	信号的时移、反折和尺度变换	22
3.2.2	连续时间信号的微分与积分运算	24
3.2.3	信号的相加与相乘运算	25
3.2.4	信号的奇偶分解	25
3.3	编程练习	27
第 4 章	连续时间信号的卷积计算	28
4.1	实验目的	28



4.2	实验原理及实例分析	28
4.2.1	MATLAB 符号运算法求连续时间 信号的卷积	28
4.2.2	MATLAB 数值计算法求连续时间 信号的卷积	29
4.3	编程练习	32
第 5 章	连续时间 LTI 系统的时域分析	33
5.1	实验目的	33
5.2	实验原理及实例分析	33
5.2.1	连续时间系统零输入响应和零状态响应的 符号求解	33
5.2.2	连续时间系统零状态响应的数值求解	35
5.2.3	连续时间系统冲激响应和阶跃响应的 求解	37
5.2.4	利用卷积积分法求系统的零状态响应	38
5.3	编程练习	40
第 6 章	周期信号的傅里叶级数及频谱分析	41
6.1	实验目的	41
6.2	实验原理及实例分析	41
6.2.1	周期信号的傅里叶级数	41
6.2.2	周期信号的频谱分析	44
6.3	编程练习	45
第 7 章	傅里叶变换及其性质	47
7.1	实验目的	47
7.2	实验原理及实例分析	47
7.2.1	傅里叶变换的实现	47
7.2.2	傅里叶变换的性质	52
7.3	编程练习	55
第 8 章	连续时间 LTI 系统的频率特性及频域分析	57
8.1	实验目的	57
8.2	实验原理及实例分析	57
8.2.1	连续时间 LTI 系统的频率特性	57
8.2.2	连续时间 LTI 系统的频域分析	59

8.3	编程练习	63
第 9 章	信号抽样及抽样定理	64
9.1	实验目的	64
9.2	实验原理及实例分析	64
9.2.1	信号抽样	64
9.2.2	抽样定理	66
9.2.3	信号重建	67
9.3	编程练习	71
第 10 章	拉普拉斯变换	72
10.1	实验目的	72
10.2	实验原理及实例分析	72
10.2.1	拉普拉斯变换	72
10.2.2	拉普拉斯反变换	73
10.2.3	拉普拉斯变换法求解微分方程	76
10.3	编程练习	77
第 11 章	连续时间 LTI 系统的零极点分析	78
11.1	实验目的	78
11.2	实验原理及实例分析	78
11.2.1	系统函数及其零极点的求解	78
11.2.2	系统函数的零极点分布与其 时域特性的关系	80
11.2.3	系统函数的极点分布与系统 稳定性的关系	84
11.2.4	波特图	84
11.3	编程练习	87
第 12 章	离散时间信号的表示及运算	88
12.1	实验目的	88
12.2	实验原理及实例分析	88
12.2.1	离散时间信号在 MATLAB 中的表示	88
12.2.2	离散时间信号的基本运算	92
12.3	编程练习	94

第 13 章	离散时间 LTI 系统的时域分析	95
13.1	实验目的	95
13.2	实验原理及实例分析	95
13.2.1	离散时间系统的响应	95
13.2.2	离散时间系统的单位取样响应	96
13.2.3	离散时间信号的卷积和运算	98
13.3	编程练习	100
第 14 章	z 变换及离散时间 LTI 系统的 z 域分析	101
14.1	实验目的	101
14.2	实验原理及实例分析	101
14.2.1	z 正反变换	101
14.2.2	系统函数的零极点分析	103
14.2.3	系统函数的零极点分布与其时域特性的关系	104
14.2.4	离散时间 LTI 系统的频率特性分析	109
14.3	编程练习	110
第 15 章	系统的状态变量分析	111
15.1	实验目的	111
15.2	实验原理及实例分析	111
15.2.1	状态方程与系统函数之间的互换	111
15.2.2	状态方程的变换域符号求解法	114
15.2.3	状态方程的时域符号求解法	118
15.2.4	系统方程的数值求解法	119
15.3	编程练习	122
附录 A	MATLAB 主要命令函数表	123

MATLAB 软件简介

1.1 MATLAB 软件在信号与系统中的应用介绍

MATLAB 的名称源自 Matrix Laboratory, 1984 年由美国 Mathworks 公司推向市场。它是一种科学计算软件, 专门以矩阵的形式处理数据。MATLAB 将高性能的数值计算和可视化集成在一起, 并提供了大量的内置函数, 从而被广泛地应用于科学计算、控制系统和信息处理等领域的分析、仿真和设计工作。1993 年 MathWorks 公司从加拿大滑铁卢大学购得 MAPLE 软件的使用权, 从而以 MAPLE 为“引擎”开发了符号数学工具箱(Symbolic Math Toolbox)。

MATLAB 软件包括 5 大通用功能, 数值计算功能(Numeric)、符号运算功能(Symbolic)、数据可视化功能(Graphic)、数据图形文字统一处理功能(Notebook)和建模仿真可视化功能(Simulink)。其中, 符号运算功能的实现是通过请求 MAPLE 内核计算并将结果返回到 MATLAB 命令窗口。该软件有三大特点, 一是功能强大; 二是界面友善、语言自然; 三是开放性强。目前, Mathworks 公司已推出 30 多个应用工具箱。MATLAB 在线性代数、矩阵分析、数值及优化、数理统计和随机信号分析、电路与系统、系统动力学、信号和图像处理、控制理论分析和系统设计、过程控制、建模和仿真、通信系统以及财政金融等众多领域的理论研究和工程设计中得到了广泛应用。

MATLAB 在信号与系统中的应用主要包括符号运算和数值计算仿真分析。由于信号与系统课程的许多内容都是基于公式演算, 而 MATLAB 借助符号数学工具箱提供的符号运算功能, 能基本满足信号与系统课程的需求。例如解微分方程、傅里叶正反变换、拉普拉斯正反变换和 z 正反变换等。MATLAB 在信号与系统中的另一主要应用是数值计算与仿真分析, 主要包括函数波形绘制、函数运算、冲激响应与阶跃响应仿真分析、信号的时域分析、信号的频谱分析、系统的 S 域分析和零极点图绘制等内容。数值计算仿真分析可以帮助学生更深入地理解信号与系统的理论知识, 并为将来使用 MATLAB 进行信号处理领域的各种分析和实际应用打下基础。

1.2 MATLAB 软件使用入门

1.2.1 MATLAB 软件的环境介绍

MATLAB 6.5 的工作桌面由标题栏、菜单栏、工具栏、命令窗口(Command Window)、工作空间窗口(Workspace)、当前目录窗口(Current Directory)、历史命令窗口(Command History)及状态栏组成,为用户使用 MATLAB 提供了集成的交互式图形界面,如图 1-1 所示。

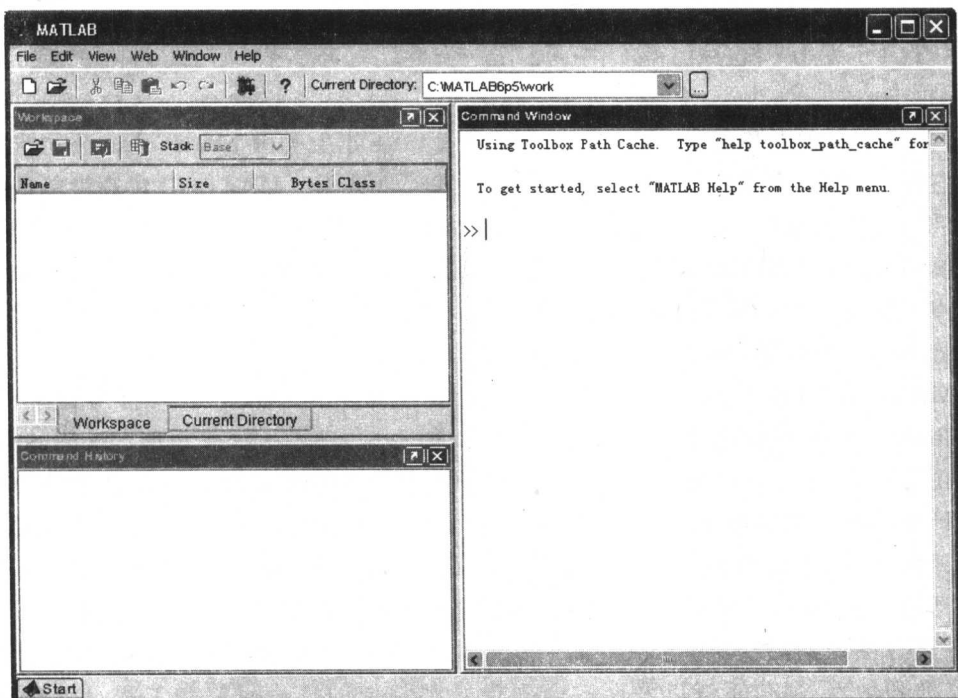


图 1-1 MATLAB 的工作界面

MATLAB 的命令窗口是接收用户输入命令及输出数据显示的窗口,几乎所有的 MATLAB 行为都是在命令窗口进行的。当启动 MATLAB 软件时,命令窗口就做好了接收指令和输入的准备,并出现命令提示符(>>)。在命令提示符后输入指令,通常会创建一个或多个变量。变量可以是多种类型的,包括函数和字符串,但通常的变量只是数据。这些变量被放置在 MATLAB 的工作空间中,工作空间窗口提供了变量的一些重要信息,包括变量的名称、维数大小、占用内存大小以及数据类型等信息。查看工作空间的另一种方法是使用 whos 命令。在命令提示符后输入 whos 命令,工作空间中的内容概要将作为输出显示在命令窗口中。

有的命令可以用来清除不必要的的数据,同时释放部分系统资源。clear 命令可以用来

清除工作空间的所有变量,如果要清除某一特定变量,则需要在 clear 命令后加上该变量的名称。另外,clc 命令用来清除命令窗口的内容。

如果希望将 MATLAB 所创建的变量及重要数据保留下来,则使用 save 命令,并在其后加上文件名,即可将整个工作空间保存为一个扩展名为 .mat 的文件。使用 load 命令,并在其后加上文件名,则可将 MATLAB 数据文件(.mat 文件)中的数据加载到工作空间中。MATLAB 历史命令窗口记录了每次输入的命令。在该窗口中可以对以前的历史命令进行查看、复制或者直接运行。

对于初学者而言,需要掌握的最重要且最有用的命令应为 help 命令。MATLAB 命令和函数有数千个,而且许多命令的功能非常强大,调用形式多样。要想了解一个命令或函数,只需在命令提示符后输入 help,并加上该命令或函数的名称,则 MATLAB 会给出其详细帮助信息。另外,MATLAB 还精心设计了演示程序系统(Demo),内容包括 MATLAB 的内部主要函数和各个工具箱(Toolbox)的使用。初学者可以方便地通过这些演示程序及其给出的程序源代码进行直观的感受和学习。用户可以通过两种途径打开演示程序系统,一是在命令窗口中输入 demo 或 demos 命令并按 Enter 键;二是执行 help→Demos 命令。

1.2.2 MATLAB 软件基本运算入门

1. MATLAB 软件的数值计算

(1) 算术运算

MATLAB 可以像一个简单的计算器一样使用,不论是实数运算还是复数运算都能轻松完成。标量的加法、减法、除法和幂运算均可通过常规符号“+”、“-”、“*”、“/”以及“^”来完成。对于复数中的虚数单位,MATLAB 采用预定义变量 i 或 j 表示,即 $i=j=\sqrt{-1}$ 。因此,一个复常量可用直角坐标形式来表示,例如,

```
>>A=-3-i*4
A=
-3.0000 -4.0000i
```

将复常量 $-3-i4$ 赋予了变量 A。

一个复常量还可用极坐标的形式来表示,例如,

```
>>B=2*exp(i*pi/6)
B=
1.7321+1.0000i
```

其中,pi 是 MATLAB 预定义变量, $\text{pi}=\pi$ 。

复数的实部和虚部可以通过 real 和 imag 运算符来实现,而复数的模和辐角可以通过 abs 和 angle 运算符来实现。但应注意辐角的单位为弧度。例如,复数 A 的模和辐角、复数 B 的实部和虚部的计算分别为

```
>>A_mag=abs(A)
```



```
A_mag=
      5
>>A_rad=angle(A)
A_rad=
    -2.2143
>>B_real=real(B)
B_real=
    1.7321
>>B_imag=imag(B)
B_imag=
    1.0000
```

如果将弧度值用“度”来表示,则可进行转换,即

```
>>A_deg=angle(A) * 180/pi
A_deg=
   -126.8699
```

复数 A 的模可表示为 $|A| = \sqrt{AA^*}$, 因此, 其共轭复数可通过 `conj` 命令来实现, 例如,

```
>>A_mag=sqrt(A * conj(A))
A_mag=
      5
```

(2) 向量运算

向量是组成矩阵的基本元素之一, MATLAB 具有关于向量运算的强大功能。一般地, 向量被分为行向量和列向量。生成向量的方法有很多, 下面主要介绍两种。

① 直接输入向量: 即把向量中的每个元素都列举出来。向量元素要用“[]”括起来, 元素之间可用空格、逗号分隔生成行向量, 用分号分隔生成列向量。例如,

```
>>A=[1,3,5,21]
A=
     1     3     5    21
>>B=[1;3;5;21]
B=
     1
     3
     5
    21
```

② 利用冒号表达式生成向量: 这种方法用于生成等步长或均匀等分的行向量, 其表达式为 $x = x_0 : \text{step} : x_n$ 。其中, x_0 为初始值; `step` 表示步长或增量; x_n 为结束值。如果 `step` 值默认, 则步长默认为 1。例如,

```
>>C=0:2:10
C=
```