



HZ BOOKS

华章教育

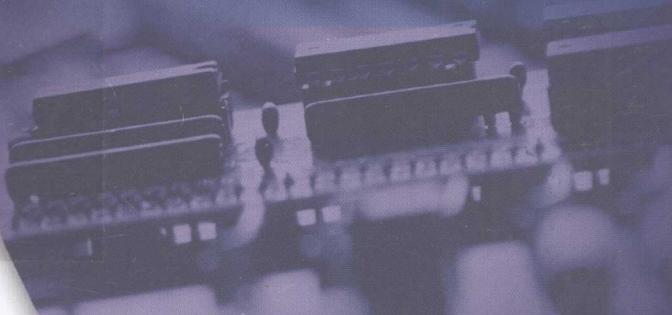


21世纪高等院校电子信息
与电气学科系列规划教材

信号与系统

岳振军 主编

贾永兴 余远德 李宁 编著



机械工业出版社
China Machine Press



21世纪高等院校电子信息
与电气学科系列规划教材

信号与系统是研究信号的表示、分析、处理和传输的一门基础理论课。本书主要介绍信号与系统的时域分析方法，包括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、拉普拉斯变换与傅立叶变换等。本书在内容上以信号与系统的时域分析为主，同时结合频域分析方法，使学生能较全面地掌握信号与系统的分析方法。本书可作为高等院校电子信息工程、通信工程、电气工程及其自动化、计算机科学与技术、生物医学工程、机械电子工程等专业的教材，也可供相关专业的工程技术人员参考。

信号与系统

岳振军 主编

贾永兴 余远德 李宁 编著

TN911.6
Y13



机械工业出版社
China Machine Press

图书于2008年6月第1版
由北京世茂印刷有限公司印制



本书主要阐述确定性信号的时域和频域分析基本方法，线性时不变系统的描述与特性，以及确定性信号通过线性时不变系统的时域与变换域分析方法。

本书的主要内容包括概论，信号分析理论基础，线性时不变系统分析方法，确定性信号通过线性时不变系统，工程应用实例。按照信号分析，信号通过系统响应求解，系统分析和应用实例的结构体系，以需求为牵引，以问题解决为导向，将传统教材以介绍方法为主线改进为以解决问题为主线，实现了与 MATLAB 工具的无缝对接。本书结构新颖，概念清晰，推理严谨，注重方法，例证丰富，行文流畅，简明易懂，兼顾了课堂教学和自学需要。

本书可作为工程性质较强的高等院校电子工程、通信工程、信息工程、自动控制工程、计算机科学与技术、信息与计算科学等专业的本科生教材，也可供相关科技工作者自学参考。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

岳振军

岳振军 李晓东 余兴来 贾

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/岳振军主编. —北京：机械工业出版社，2008. 6
(21世纪高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-23952-9

I. 信… II. 岳… III. 信号系统 IV. TN911. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 053982 号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：曾 珊

北京牛山世兴印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张

标准书号：ISBN 978-7-111-23952-9

定价：28.00 元

凡购本书，如有倒页、脱页、缺页，由本社发行部调换

本社购书热线：(010)68326294

言序

《信号与系统》课程历经数十年建设，无论体系或内容都已相当成熟，要想写出高质量、有创建性的新教材，难度很大。解放军理工大学岳振军等老师，在定位于应用型人才培养的基础上，编写了这本教材。他们在教学内容、体系结构、理论表述方式以及与数学课程的联系等方面进行了大胆探索，对个别概念的解释也有一些新尝试。这种探索和尝试对《信号与系统》课程的教学改革具有重要的参考价值。

该书以“数学—物理—工程”为主线，较好地显现了《信号与系统》课程的桥梁作用。将所用到的数学知识集中介绍，是否有利于教学还需要在实践中检验，将信号分析与系统分析独立进行讨论，可以体现该课程“三大变换、两大对象”之特征，也便于教师根据学生专业特点灵活选择授课内容，将 MATLAB 直接作为工具使用，体现了信息时代的教学观念，适合应用型院校使用。

该书思路清晰，举例丰富，文字通顺，特色突出，相信会受到广大读者的欢迎。

郑君里

2008 年 5 月

前 言

随着我国高等教育事业的迅速发展，信号与系统课程的教材需求逐步呈现出多元化趋势，原先的教材体系已不能完全满足需要，尤其对于工程性质较强的院校和专业，更需要一本能更好地承担数学与工程之间桥梁作用的《信号与系统》教材，作者在教学实践中深切感受到了这种需求，因而萌生了写作这本教材的想法。

我们认为，应用型科技人才应该具有科学的思维品质、宏观把握科学技术前沿的能力和较强的分析和解决实际问题的能力。与之相适应，我们的教材应该具备能培养学员宏观把握整体思路、具备初步分析解决实际问题能力及承载先进文化的功能。在这种思想引导下，我们对信号与系统课程的内容进行了重新审视，在以下方面做了探索：

第一，在指导思想上，按照实事求是的原则，立足对应用型人才培养实际，面向应用型人才培养需要，强调“低起点、重思想、强应用”的指导思想，变课程以介绍方法为导向为以解决实际问题为导向，打破传统教材以学科知识为中心的封闭体系，以解决工程中和“信号与系统”有关的问题为主线，以课指委(即基础课程指导委员会)教学基本要求为准绳，正确处理数学、物理、工程三者之间的关系，着眼于学生的任职需要，注重培养学生分析问题和解决问题的能力。

第二，在内容结构上，本教材存在着知识的应用性和知识的系统性这两种特性。从系统性角度上说，本教材介绍了信号与系统的分析方法，可粗略地分为三个部分：必要的数学基础；信号、系统、信号通过系统的分析方法；初步的工程应用实例。本教材对传统课程内容组织方式进行了较大力度的变革，将数学方法、物理意义和工程应用相对分离，以信号分析、系统分析、信号通过系统为主线介绍相关分析方法；从应用角度上说，本教材通过大量的例题，引导读者完成从数学理论到工程应用的转换，更好地体现了信号与系统课程在数学和工程之间的桥梁作用。

第三，本书在频谱与频谱密度等概念的解释上、在傅里叶变换性质以及频谱性质的叙述上都有一些新尝试、新方法，使概念更清晰，理论更易懂，与工程联系更紧密。

第四，在 MATLAB 应用上，本书坚持将 MATLAB 作为一种工具来应用。在有需要的地方都给出了可供学生模仿的 MATLAB 程序，以使学生在实践中不断提高 MATLAB 应用能力，强化其对该软件的工具意识。

第五，本书强调对读者技术思维的培养。通过扩展阅读、引言等部分对与课程相关的科学思维方法进行了介绍，引导学生不仅知其然，而且知其所以然，满足了素质教育的需求。

总之，本教材打破了《信号与系统》传统教材的知识模式，以问题解决式取代方法呈现式，使课程指向更加明确，目的性更强，体现了“需求牵引”的工程类专业人才培养模式；重视渗透和揭示基本的思想方法，加强知识内部的联系以及它与相关学科的联系；注意教材内容的多元性与开放性，使学生经历理性思维和实验探索的过程，体验用数学

方法分析和解决信号与系统问题，培养学习和应用数学工具的能力，为学生搭建可持续发展的平台。

本书第1~3章由岳振军执笔，第4章由贾永兴执笔，第5章由余远德执笔，第6章由李宁执笔，全书由岳振军统稿，编写组集体讨论定稿。东南大学孟桥教授审阅了本书的编写提纲，对本书的结构进行了具体指导，并提出了其他许多重要的建议和意见，清华大学郑君里教授翻阅了本书样书，仔细听取了作者的介绍，提出了许多很好的意见和建议，并亲笔为本书作序，机械工业出版社华章分社的编辑为本书付出了大量的劳动和心血，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

◎ 番言 章 1 著

01	系类	2	言提 1.1
02	辨变函数与普适 2.1.2	2	编者于南京 2007年8月
03	辨变 X 2.3	2	2007年8月于南京
04	辨变与义宝简辨变 3.1.2	3	著者真什高数的 8A.ITALIC 2.2.1
05	辨变 3.2.2	4	译真讯图学工的 8A.ITALIC 3.2.1
06	辨变 3.2.3	5	真本基已念谢的 3.1
07	辨变与普适 3.4.2.2	6	号前中工 1.6.1
08	辨变 3.4.2.3	7	类公式号 2.8.1
09	辨变 3.4.2.4	8	号前壁典 3.1.1
10	辨变 3.4.2.5	9	真知已真致本基的号前壁典 4.1.1
11	辨变 3.4.2.6	10	辨变 1.1
12	辨变与普适 3.4.2.7	11	辨变的导数 2.3.1
13	辨变 3.4.2.8	12	念辨变的导数 4.1
14	辨变的导数 3.4.2.9	13	生微积分 1.4.1
15	元素辨变的导数 3.4.2.10	14	类公式辨变的导数 1.4.2.1
16	辨变的导数 3.4.2.11	15	真辨变人辨变其区辨变 1.4.3
17	辨变的导数 3.4.2.12	16	圆长 1.4.4
18	辨变的导数 3.4.2.13	17	辨变与阶卷的导数 1.5.1
19	辨变的导数 3.4.2.14	18	关辨变 1.5.1
20	辨变的导数 3.4.2.15	19	阶卷 1.5.2
21	辨变的导数 3.4.2.16	20	代时阶卷 2.5.2
22	辨变的导数 3.4.2.17	21	关脉 2.5.3
23	辨变的导数 3.4.2.18	22	辨变与里朝 3.5.1
24	辨变的导数 3.4.2.19	23	氏积与里朝的察函隙鼠 3.5.2
25	辨变的导数 3.4.2.20	24	真辨变的导数 3.5.2
26	辨变的导数 3.4.2.21	25	聚美函数代
27	辨变的导数 3.4.2.22	26	辨变与里朝 3.5.3
28	辨变的导数 3.4.2.23	27	辨变的导数 3.5.3
29	辨变的导数 3.4.2.24	28	辨变与里朝 4.3.2
30	辨变的导数 3.4.2.25	29	辨变的导数 4.3.3
31	辨变的导数 3.4.2.26	30	辨变的导数 4.3.4
32	辨变的导数 3.4.2.27	31	辨变的导数 4.3.5
33	辨变的导数 3.4.2.28	32	辨变的导数 4.3.6
34	辨变的导数 3.4.2.29	33	辨变的导数 4.3.7
35	辨变的导数 3.4.2.30	34	辨变的导数 4.3.8
36	辨变的导数 3.4.2.31	35	辨变的导数 4.3.9
37	辨变的导数 3.4.2.32	36	辨变的导数 4.3.10
38	辨变的导数 3.4.2.33	37	辨变的导数 4.3.11
39	辨变的导数 3.4.2.34	38	辨变的导数 4.3.12
40	辨变的导数 3.4.2.35	39	辨变的导数 4.3.13
41	辨变的导数 3.4.2.36	40	辨变的导数 4.3.14
42	辨变的导数 3.4.2.37	41	辨变的导数 4.3.15
43	辨变的导数 3.4.2.38	42	辨变的导数 4.3.16
44	辨变的导数 3.4.2.39	43	辨变的导数 4.3.17
45	辨变的导数 3.4.2.40	44	辨变的导数 4.3.18
46	辨变的导数 3.4.2.41	45	辨变的导数 4.3.19
47	辨变的导数 3.4.2.42	46	辨变的导数 4.3.20
48	辨变的导数 3.4.2.43	47	辨变的导数 4.3.21
49	辨变的导数 3.4.2.44	48	辨变的导数 4.3.22
50	辨变的导数 3.4.2.45	49	辨变的导数 4.3.23
51	辨变的导数 3.4.2.46	50	辨变的导数 4.3.24
52	辨变的导数 3.4.2.47	51	辨变的导数 4.3.25
53	辨变的导数 3.4.2.48	52	辨变的导数 4.3.26
54	辨变的导数 3.4.2.49	53	辨变的导数 4.3.27
55	辨变的导数 3.4.2.50	54	辨变的导数 4.3.28
56	辨变的导数 3.4.2.51	55	辨变的导数 4.3.29
57	辨变的导数 3.4.2.52	56	辨变的导数 4.3.30
58	辨变的导数 3.4.2.53	57	辨变的导数 4.3.31
59	辨变的导数 3.4.2.54	58	辨变的导数 4.3.32
60	辨变的导数 3.4.2.55	59	辨变的导数 4.3.33
61	辨变的导数 3.4.2.56	60	辨变的导数 4.3.34
62	辨变的导数 3.4.2.57	61	辨变的导数 4.3.35
63	辨变的导数 3.4.2.58	62	辨变的导数 4.3.36
64	辨变的导数 3.4.2.59	63	辨变的导数 4.3.37
65	辨变的导数 3.4.2.60	64	辨变的导数 4.3.38
66	辨变的导数 3.4.2.61	65	辨变的导数 4.3.39
67	辨变的导数 3.4.2.62	66	辨变的导数 4.3.40
68	辨变的导数 3.4.2.63	67	辨变的导数 4.3.41
69	辨变的导数 3.4.2.64	68	辨变的导数 4.3.42
70	辨变的导数 3.4.2.65	69	辨变的导数 4.3.43
71	辨变的导数 3.4.2.66	70	辨变的导数 4.3.44
72	辨变的导数 3.4.2.67	71	辨变的导数 4.3.45
73	辨变的导数 3.4.2.68	72	辨变的导数 4.3.46
74	辨变的导数 3.4.2.69	73	辨变的导数 4.3.47
75	辨变的导数 3.4.2.70	74	辨变的导数 4.3.48
76	辨变的导数 3.4.2.71	75	辨变的导数 4.3.49
77	辨变的导数 3.4.2.72	76	辨变的导数 4.3.50
78	辨变的导数 3.4.2.73	77	辨变的导数 4.3.51
79	辨变的导数 3.4.2.74	78	辨变的导数 4.3.52
80	辨变的导数 3.4.2.75	79	辨变的导数 4.3.53
81	辨变的导数 3.4.2.76	80	辨变的导数 4.3.54
82	辨变的导数 3.4.2.77	81	辨变的导数 4.3.55
83	辨变的导数 3.4.2.78	82	辨变的导数 4.3.56
84	辨变的导数 3.4.2.79	83	辨变的导数 4.3.57
85	辨变的导数 3.4.2.80	84	辨变的导数 4.3.58
86	辨变的导数 3.4.2.81	85	辨变的导数 4.3.59
87	辨变的导数 3.4.2.82	86	辨变的导数 4.3.60
88	辨变的导数 3.4.2.83	87	辨变的导数 4.3.61
89	辨变的导数 3.4.2.84	88	辨变的导数 4.3.62
90	辨变的导数 3.4.2.85	89	辨变的导数 4.3.63
91	辨变的导数 3.4.2.86	90	辨变的导数 4.3.64
92	辨变的导数 3.4.2.87	91	辨变的导数 4.3.65
93	辨变的导数 3.4.2.88	92	辨变的导数 4.3.66
94	辨变的导数 3.4.2.89	93	辨变的导数 4.3.67
95	辨变的导数 3.4.2.90	94	辨变的导数 4.3.68
96	辨变的导数 3.4.2.91	95	辨变的导数 4.3.69
97	辨变的导数 3.4.2.92	96	辨变的导数 4.3.70
98	辨变的导数 3.4.2.93	97	辨变的导数 4.3.71
99	辨变的导数 3.4.2.94	98	辨变的导数 4.3.72
100	辨变的导数 3.4.2.95	99	辨变的导数 4.3.73
101	辨变的导数 3.4.2.96	100	辨变的导数 4.3.74
102	辨变的导数 3.4.2.97	101	辨变的导数 4.3.75
103	辨变的导数 3.4.2.98	102	辨变的导数 4.3.76
104	辨变的导数 3.4.2.99	103	辨变的导数 4.3.77
105	辨变的导数 3.4.2.100	104	辨变的导数 4.3.78
106	辨变的导数 3.4.2.101	105	辨变的导数 4.3.79
107	辨变的导数 3.4.2.102	106	辨变的导数 4.3.80
108	辨变的导数 3.4.2.103	107	辨变的导数 4.3.81
109	辨变的导数 3.4.2.104	108	辨变的导数 4.3.82
110	辨变的导数 3.4.2.105	109	辨变的导数 4.3.83
111	辨变的导数 3.4.2.106	110	辨变的导数 4.3.84
112	辨变的导数 3.4.2.107	111	辨变的导数 4.3.85
113	辨变的导数 3.4.2.108	112	辨变的导数 4.3.86
114	辨变的导数 3.4.2.109	113	辨变的导数 4.3.87
115	辨变的导数 3.4.2.110	114	辨变的导数 4.3.88
116	辨变的导数 3.4.2.111	115	辨变的导数 4.3.89
117	辨变的导数 3.4.2.112	116	辨变的导数 4.3.90
118	辨变的导数 3.4.2.113	117	辨变的导数 4.3.91
119	辨变的导数 3.4.2.114	118	辨变的导数 4.3.92
120	辨变的导数 3.4.2.115	119	辨变的导数 4.3.93
121	辨变的导数 3.4.2.116	120	辨变的导数 4.3.94
122	辨变的导数 3.4.2.117	121	辨变的导数 4.3.95
123	辨变的导数 3.4.2.118	122	辨变的导数 4.3.96
124	辨变的导数 3.4.2.119	123	辨变的导数 4.3.97
125	辨变的导数 3.4.2.120	124	辨变的导数 4.3.98
126	辨变的导数 3.4.2.121	125	辨变的导数 4.3.99
127	辨变的导数 3.4.2.122	126	辨变的导数 4.3.100
128	辨变的导数 3.4.2.123	127	辨变的导数 4.3.101
129	辨变的导数 3.4.2.124	128	辨变的导数 4.3.102
130	辨变的导数 3.4.2.125	129	辨变的导数 4.3.103
131	辨变的导数 3.4.2.126	130	辨变的导数 4.3.104
132	辨变的导数 3.4.2.127	131	辨变的导数 4.3.105
133	辨变的导数 3.4.2.128	132	辨变的导数 4.3.106
134	辨变的导数 3.4.2.129	133	辨变的导数 4.3.107
135	辨变的导数 3.4.2.130	134	辨变的导数 4.3.108
136	辨变的导数 3.4.2.131	135	辨变的导数 4.3.109
137	辨变的导数 3.4.2.132	136	辨变的导数 4.3.110
138	辨变的导数 3.4.2.133	137	辨变的导数 4.3.111
139	辨变的导数 3.4.2.134	138	辨变的导数 4.3.112
140	辨变的导数 3.4.2.135	139	辨变的导数 4.3.113
141	辨变的导数 3.4.2.136	140	辨变的导数 4.3.114
142	辨变的导数 3.4.2.137	141	辨变的导数 4.3.115
143	辨变的导数 3.4.2.138	142	辨变的导数 4.3.116
144	辨变的导数 3.4.2.139	143	辨变的导数 4.3.117
145	辨变的导数 3.4.2.140	144	辨变的导数 4.3.118
146	辨变的导数 3.4.2.141	145	辨变的导数 4.3.119
147	辨变的导数 3.4.2.142	146	辨变的导数 4.3.120
148	辨变的导数 3.4.2.143	147	辨变的导数 4.3.121
149	辨变的导数 3.4.2.144	148	辨变的导数 4.3.122
150	辨变的导数 3.4.2.145	149	辨变的导数 4.3.123
151	辨变的导数 3.4.2.146	150	辨变的导数 4.3.124
152	辨变的导数 3.4.2.147	151	辨变的导数 4.3.125
153	辨变的导数 3.4.2.148	152	辨变的导数 4.3.126
154	辨变的导数 3.4.2.149	153	辨变的导数 4.3.127
155	辨变的导数 3.4.2.150	154	辨变的导数 4.3.128
156	辨变的导数 3.4.2.151	155	辨变的导数 4.3.129
157	辨变的导数 3.4.2.152	156	辨变的导数 4.3.130
158	辨变的导数 3.4.2.153	157	辨变的导数 4.3.131
159	辨变的导数 3.4.2.154	158	辨变的导数 4.3.132
160	辨变的导数 3.4.2.155	159	辨变的导数 4.3.133
161	辨变的导数 3.4.2.156	160	辨变的导数 4.3.134
162	辨变的导数 3.4.2.157	161	辨变的导数 4.3.135
163	辨变的导数 3.4.2.158	162	辨变的导数 4.3.136
164	辨变的导数 3.4.2.159	163	辨变的导数 4.3.137
165	辨变的导数 3.4.2.160	164	辨变的导数 4.3.138
166	辨变的导数 3.4.2.161	165	辨变的导数 4.3.139
167	辨变的导数 3.4.2.162	166	辨变的导数 4.3.140
168	辨变的导数 3.4.2.163	167	辨变的导数 4.3.141
169	辨变的导数 3.4.2.164	168	辨变的导数 4.3.142
170	辨变的导数 3.4.2.165	169	辨变的导数 4.3.143
171	辨变的导数 3.4.2.166	170	辨变的导数 4.3.144
172	辨变的导数 3.4.2.167	171	辨变的导数 4.3.145
173	辨变的导数 3.4.2.168	172	辨变的导数 4.3.146
174	辨变的导数 3.4.2.169	173	辨变的导数 4.3.147
175	辨变的导数 3.4.2.170	174	辨变的导数 4.3.148
176	辨变的导数 3.4.2.171	175	辨变的导数 4.3.149
177	辨变的导数 3.4.2.172	176	辨变的导数 4.3.150
178	辨变的导数 3.4.2.173	177	辨变的导数 4.3.151
179	辨变的导数 3.4.2.174	178	辨变的导数 4.3.152
180	辨变的导数 3.4.2.175	179	辨变的导数 4.3.153
181	辨变的导数 3.4.2.176	180	辨变的导数 4.3.154
182	辨变的导数 3.4.2.177	181	辨变的导数 4.3.155
183	辨变的导数 3.4.2.178	182	辨变的导数 4.3.156
184	辨变的导数 3.4.2.179	183	辨变的导数 4.3.157
185	辨变的导数 3.4.2.180	184	辨变的导数 4.3.158
186	辨变的导数 3.4.2.181	185	辨变的导数 4.3.159
187	辨变的导数 3.4.2.182	186	辨变的导数 4.3.160
188	辨变的导数 3.4.2.183	187	辨变的导数 4.3.161
189	辨变的导数 3.4.2.184	188	辨变的导数 4.3.162
190	辨变的导数 3.4.2.185	189	辨变的导数 4.3.163
191	辨变的导数 3.4.2.186	190	辨变的导数 4.3.164
192	辨变的导数 3.4.2.187	191	辨变的导数 4.3.165
193	辨变的导数 3.4.2.188	192	辨变的导数 4.3.166
194	辨变的导数 3.4.2.189	193	辨变的导数 4.3.167
195	辨变的导数 3.4.2.190	194	辨变的导数 4.3.168
196	辨变的导数 3.4.2.191	195	辨变的导数 4.3.169
197	辨变的导数 3.4.2.192	196	辨变的导数 4.3.170
198	辨变的导数 3.4.2.193	197	辨变的导数 4.3.171
199	辨变的导数 3.4.2.194	198	辨变的导数 4.3.172
200	辨变的导数 3.4.2.195	199	辨变的导数 4.3.173
201	辨变的导数 3.4.2.196	200	辨变的导数 4.3.174
202	辨变的导数 3.4.2.197	201	辨变的导数 4.3.175
203	辨变的导数 3.4.2.198	202	辨变的导数 4.3.176
204	辨变的导数 3.4.2.199	203	辨变的导数 4.3.177
205	辨变的导数 3.4.2.200	204	辨变的导数 4.3.178
206	辨变的导数 3.4.2.201	205	辨变的导数 4.3.179
207	辨变的导数 3.4.2.202	206	辨变的导数 4.3.180
208	辨变的导数 3.4.2.203	207	辨变的导数 4.3.181
209	辨变的导数 3.4.2.204	208	辨变的导数 4.3.182
210	辨变的导数 3.4.2.205	209	辨变的导数 4.3.183
211	辨变的导数 3.4.2.206	210	辨变的导数 4.3.184
212	辨变的导数 3.4.2.207	211	辨变的导数 4.3.185
213	辨变的导数 3.4.2.208	212	辨变的导数 4.3.186
214	辨变的导数 3.4.2.209	213	辨变的导数 4.3.187
215	辨变的导数 3.4.2.210	214	辨变的导数 4.3.188
216	辨变的导数 3.4.2.211	215	辨变的导数 4.3.189
217	辨变的导		

目 录

前言	2
第1章 概论	1
1.1 引言	2
1.2 关于 MATLAB	2
1.2.1 MATLAB 入门	2
1.2.2 MATLAB 的数值计算功能	3
1.2.3 MATLAB 的二维图形功能	4
1.3 信号的概念与基本运算	6
1.3.1 工程中的信号	6
1.3.2 信号的分类	7
1.3.3 典型信号	12
1.3.4 连续信号的基本运算与时域 变换	19
1.3.5 连续信号的分解	24
1.4 系统的概念	29
1.4.1 系统描述	30
1.4.2 系统的特性和分类	33
1.4.3 LTI 系统及其对输入的响应	35
习题	37
第2章 信号的卷积与变换	42
2.1 引言	43
2.2 卷积与相关	43
2.2.1 卷积和	43
2.2.2 卷积积分	45
2.2.3 相关	48
2.3 傅里叶变换	51
2.3.1 周期函数的傅里叶展开	51
2.3.2 周期函数的对称性与其谐波 分量的关系	55
2.3.3 傅里叶变换	58
2.3.4 傅里叶变换的性质	60
2.4 拉普拉斯变换	67
2.4.1 拉普拉斯变换的概念	67
2.4.2 典型信号的拉普拉斯变换	68
2.4.3 拉普拉斯变换的性质	70
2.4.4 拉普拉斯变换与傅里叶变换的 关系	76
2.4.5 拉普拉斯逆变换	77
2.5 Z 变换	82
2.5.1 Z 变换的定义与收敛域	82
2.5.2 Z 逆变换	85
2.5.3 Z 变换的性质	88
2.5.4 Z 变换与拉普拉斯变换之间的 关系	92
习题	92
第3章 信号的频谱分析	95
3.1 引言	96
3.2 信号的频谱	97
3.2.1 正弦信号的频域表示	97
3.2.2 周期信号的频谱	100
3.2.3 非周期信号的频谱	109
3.2.4 信号频谱的常用性质	117
3.2.5 功率谱与能量谱	121
3.3 抽样定理	123
3.3.1 时域抽样及其频谱	123
3.3.2 抽样定理	124
3.4 离散时间傅里叶变换与离散傅里叶 变换	129
3.4.1 离散时间傅里叶变换	129
3.4.2 离散傅里叶变换	130
习题	133
第4章 线性时不变系统对输入的 响应	136
4.1 引言	137

4.2 连续时间系统的时域表示	137
4.2.1 连续时间 LTI 系统的时域模型	137
4.2.2 算子表示法	138
4.3 LTI 系统的响应分解	139
4.3.1 齐次解和特解	139
4.3.2 零输入响应和零状态响应	140
4.4 连续时间系统的时域分析法	141
4.4.1 常系数线性微分方程求解 ——经典法	141
4.4.2 零输入响应的求解	143
4.4.3 单位冲激响应和单位阶跃 响应	143
4.4.4 零状态响应的求解	146
4.4.5 各种响应之间的关系	148
4.5 连续时间系统的频域分析法	150
4.5.1 连续时间系统的频域模型	150
4.5.2 频域系统函数	152
4.5.3 零状态响应的求解	154
4.6 连续时间系统的复频域分析法	155
4.6.1 连续时间系统的复频域模型	155
4.6.2 零输入响应的求解	158
4.6.3 复频域系统函数	159
4.6.4 零状态响应的求解	162
4.6.5 利用 S 域分析求解系统的 全响应	163
4.6.6 极点与响应的关系	164
4.7 离散时间系统的时域表示	166
4.7.1 离散时间系统的时域模型	166
4.7.2 移序算子	167
4.8 离散时间系统的时域分析法	168
4.8.1 迭代法	168
4.8.2 经典法	169
4.8.3 零输入响应	170
4.8.4 单位样值响应	171
4.8.5 零状态响应	174
4.8.6 用双零法求完全响应	176
4.9 离散时间系统的 Z 域分析法	177
4.9.1 离散时间系统的 Z 域模型	177
4.9.2 零输入响应	178
4.9.3 零状态响应和系统函数	178
4.9.4 全响应	180
习题	181
第 5 章 系统分析及应用	185
5.1 引言	186
5.2 连续时间系统的系统分析	186
5.2.1 系统零极点	186
5.2.2 系统零极点与时域特性的 关系	186
5.2.3 系统零极点与系统频率特性的 关系	188
5.2.4 系统稳定性	191
5.3 离散时间系统分析	197
5.3.1 系统零极点与时域特性的 关系	197
5.3.2 系统零极点与系统频率特性的 关系	198
5.3.3 系统稳定性	200
5.4 系统的因果性	202
5.4.1 因果系统的概念	202
5.4.2 连续时间系统的因果性与 判别	202
5.4.3 离散时间系统的因果性与 判别	203
5.5 信号通过线性时不变系统不失真的 条件	204
5.6 调制与解调	207
5.6.1 调制与解调的概念	207
5.6.2 双边带调制	208
5.6.3 单边带调制	210
5.6.4 振幅调制	212
5.7 频分复用与时分复用	214
5.7.1 频分复用	214
5.7.2 时分复用	214
习题	216
第 6 章 滤波器	219
6.1 引言	220

81	6.2 理想模拟滤波器及其冲激响应	220
82	6.2.1 理想模拟滤波器	220
83	6.2.2 理想低通滤波器的冲激响应	221
84	6.3 模拟滤波器的实现	222
85	6.3.1 模拟滤波器的一些典型逼近	
86	函数	223
87	6.3.2 模拟滤波器的频率变换	225
88	6.4 数字滤波器	227
89	6.4.1 数字滤波器的基本原理	227
90	9.5.3	
91	9.5.4	
92	9.5.5	
93	9.5.6	
94	9.5.7	
95	9.5.8	
96	9.5.9	
97	9.5.10	
98	9.5.11	
99	9.5.12	
100	9.5.13	
101	9.5.14	
102	9.5.15	
103	9.5.16	
104	9.5.17	
105	9.5.18	
106	9.5.19	
107	9.5.20	
108	9.5.21	
109	9.5.22	
110	9.5.23	
111	9.5.24	
112	9.5.25	
113	9.5.26	
114	9.5.27	
115	9.5.28	
116	9.5.29	
117	9.5.30	
118	9.5.31	
119	9.5.32	
120	9.5.33	
121	9.5.34	
122	9.5.35	
123	9.5.36	
124	9.5.37	
125	9.5.38	
126	9.5.39	
127	9.5.40	
128	9.5.41	
129	9.5.42	
130	9.5.43	
131	9.5.44	
132	9.5.45	
133	9.5.46	
134	9.5.47	
135	9.5.48	
136	9.5.49	
137	9.5.50	
138	9.5.51	
139	9.5.52	
140	9.5.53	
141	9.5.54	
142	9.5.55	
143	9.5.56	
144	9.5.57	
145	9.5.58	
146	9.5.59	
147	9.5.60	
148	9.5.61	
149	9.5.62	
150	9.5.63	
151	9.5.64	
152	9.5.65	
153	9.5.66	
154	9.5.67	
155	9.5.68	
156	9.5.69	
157	9.5.70	
158	9.5.71	
159	9.5.72	
160	9.5.73	
161	9.5.74	
162	9.5.75	
163	9.5.76	
164	9.5.77	
165	9.5.78	
166	9.5.79	
167	9.5.80	
168	9.5.81	
169	9.5.82	
170	9.5.83	
171	9.5.84	
172	9.5.85	
173	9.5.86	
174	9.5.87	
175	9.5.88	
176	9.5.89	
177	9.5.90	
178	9.5.91	
179	9.5.92	
180	9.5.93	
181	9.5.94	
182	9.5.95	
183	9.5.96	
184	9.5.97	
185	9.5.98	
186	9.5.99	
187	9.5.100	
188	9.5.101	
189	9.5.102	
190	9.5.103	
191	9.5.104	
192	9.5.105	
193	9.5.106	
194	9.5.107	
195	9.5.108	
196	9.5.109	
197	9.5.110	
198	9.5.111	
199	9.5.112	
200	9.5.113	
201	9.5.114	
202	9.5.115	
203	9.5.116	
204	9.5.117	
205	9.5.118	
206	9.5.119	
207	9.5.120	
208	9.5.121	
209	9.5.122	
210	9.5.123	
211	9.5.124	
212	9.5.125	
213	9.5.126	
214	9.5.127	
215	9.5.128	
216	9.5.129	
217	9.5.130	
218	9.5.131	
219	9.5.132	
220	9.5.133	
221	9.5.134	
222	9.5.135	
223	9.5.136	
224	9.5.137	
225	9.5.138	
226	9.5.139	
227	9.5.140	
228	9.5.141	
229	9.5.142	
230	9.5.143	
231	9.5.144	
232	9.5.145	
233	9.5.146	
234	9.5.147	
235	9.5.148	
236	9.5.149	
237	9.5.150	
238	9.5.151	
239	9.5.152	
240	9.5.153	
241	9.5.154	
242	9.5.155	
243	9.5.156	
244	9.5.157	
245	9.5.158	
246	9.5.159	
247	9.5.160	
248	9.5.161	
249	9.5.162	
250	9.5.163	
251	9.5.164	
252	9.5.165	
253	9.5.166	
254	9.5.167	
255	9.5.168	
256	9.5.169	
257	9.5.170	
258	9.5.171	
259	9.5.172	
260	9.5.173	
261	9.5.174	
262	9.5.175	
263	9.5.176	
264	9.5.177	
265	9.5.178	
266	9.5.179	
267	9.5.180	
268	9.5.181	
269	9.5.182	
270	9.5.183	
271	9.5.184	
272	9.5.185	
273	9.5.186	
274	9.5.187	
275	9.5.188	
276	9.5.189	
277	9.5.190	
278	9.5.191	
279	9.5.192	
280	9.5.193	
281	9.5.194	
282	9.5.195	
283	9.5.196	
284	9.5.197	
285	9.5.198	
286	9.5.199	
287	9.5.200	
288	9.5.201	
289	9.5.202	
290	9.5.203	
291	9.5.204	
292	9.5.205	
293	9.5.206	
294	9.5.207	
295	9.5.208	
296	9.5.209	
297	9.5.210	
298	9.5.211	
299	9.5.212	
300	9.5.213	
301	9.5.214	
302	9.5.215	
303	9.5.216	
304	9.5.217	
305	9.5.218	
306	9.5.219	
307	9.5.220	
308	9.5.221	
309	9.5.222	
310	9.5.223	
311	9.5.224	
312	9.5.225	
313	9.5.226	
314	9.5.227	
315	9.5.228	
316	9.5.229	
317	9.5.230	
318	9.5.231	
319	9.5.232	
320	9.5.233	
321	9.5.234	
322	9.5.235	
323	9.5.236	
324	9.5.237	
325	9.5.238	
326	9.5.239	
327	9.5.240	
328	9.5.241	
329	9.5.242	
330	9.5.243	
331	9.5.244	
332	9.5.245	
333	9.5.246	
334	9.5.247	
335	9.5.248	
336	9.5.249	
337	9.5.250	
338	9.5.251	
339	9.5.252	
340	9.5.253	
341	9.5.254	
342	9.5.255	
343	9.5.256	
344	9.5.257	
345	9.5.258	
346	9.5.259	
347	9.5.260	
348	9.5.261	
349	9.5.262	
350	9.5.263	
351	9.5.264	
352	9.5.265	
353	9.5.266	
354	9.5.267	
355	9.5.268	
356	9.5.269	
357	9.5.270	
358	9.5.271	
359	9.5.272	
360	9.5.273	
361	9.5.274	
362	9.5.275	
363	9.5.276	
364	9.5.277	
365	9.5.278	
366	9.5.279	
367	9.5.280	
368	9.5.281	
369	9.5.282	
370	9.5.283	
371	9.5.284	
372	9.5.285	
373	9.5.286	
374	9.5.287	
375	9.5.288	
376	9.5.289	
377	9.5.290	
378	9.5.291	
379	9.5.292	
380	9.5.293	
381	9.5.294	
382	9.5.295	
383	9.5.296	
384	9.5.297	
385	9.5.298	
386	9.5.299	
387	9.5.300	
388	9.5.301	
389	9.5.302	
390	9.5.303	
391	9.5.304	
392	9.5.305	
393	9.5.306	
394	9.5.307	
395	9.5.308	
396	9.5.309	
397	9.5.310	
398	9.5.311	
399	9.5.312	
400	9.5.313	
401	9.5.314	
402	9.5.315	
403	9.5.316	
404	9.5.317	
405	9.5.318	
406	9.5.319	
407	9.5.320	
408	9.5.321	
409	9.5.322	
410	9.5.323	
411	9.5.324	
412	9.5.325	
413	9.5.326	
414	9.5.327	
415	9.5.328	
416	9.5.329	
417	9.5.330	
418	9.5.331	
419	9.5.332	
420	9.5.333	
421	9.5.334	
422	9.5.335	
423	9.5.336	
424	9.5.337	
425	9.5.338	
426	9.5.339	
427	9.5.340	
428	9.5.341	
429	9.5.342	
430	9.5.343	
431	9.5.344	
432	9.5.345	
433	9.5.346	
434	9.5.347	
435	9.5.348	
436	9.5.349	
437	9.5.350	
438	9.5.351	
439	9.5.352	
440	9.5.353	
441	9.5.354	
442	9.5.355	
443	9.5.356	
444	9.5.357	
445	9.5.358	
446	9.5.359	
447	9.5.360	
448	9.5.361	
449	9.5.362	
450	9.5.363	
451	9.5.364	
452	9.5.365	
453	9.5.366	
454	9.5.367	
455	9.5.368	
456	9.5.369	
457	9.5.370	
458	9.5.371	
459	9.5.372	
460	9.5.373	
461	9.5.374	
462	9.5.375	
463	9.5.376	
464	9.5.377	
465	9.5.378	
466	9.5.379	
467	9.5.380	
468	9.5.381	
469	9.5.382	
470	9.5.383	
471	9.5.384	
472	9.5.385	
473	9.5.386	
474	9.5.387	
475	9.5.388	
476	9.5.389	
477	9.5.390	
478	9.5.391	
479	9.5.392	
480	9.5.393	
481	9.5.394	
482	9.5.395	
483	9.5.396	
484	9.5.397	
485	9.5.398	
486	9.5.399	
487	9.5.400	
488	9.5.401	
489	9.5.402	
490	9.5.403	
491	9.5.404	
492	9.5.405	
493	9.5.406	
494	9.5.407	
495	9.5.408	
496	9.5.409	
497	9.5.410	
498	9.5.411	
499	9.5.412	
500	9.5.413	
501	9.5.414	
502	9.5.415	
503	9.5.416	
504	9.5.417	
505	9.5.418	
506	9.5.419	
507	9.5.420	
508	9.5.421	
509	9.5.422	
510	9.5.423	
511	9.5.424	
512	9.5.425	
513	9.5.426	
514	9.5.427	
515	9.5.428	
516	9.5.429	
517	9.5.430	
518	9.5.431	
519	9.5.432	
520	9.5.433	
521	9.5.434	
522	9.5.435	
523	9.5.436</td	

第1章 概论

概论

- ◆ 1.1 引言
- ◆ 1.2 关于 MATLAB
- ◆ 1.3 信号的概念与基本运算
- ◆ 1.4 系统的概念
- ◆ 习题

内容提要

本章介绍信号的定义、表示、分类方法和基本特性；着重介绍了后文将要用到的几个典型信号的函数表示与波形表示、信号的四则运算、微积分和时域变换；介绍了系统的模型、分类及系统模拟等。

本章要求掌握信号的基本描述方法、分类及其基本运算，掌握系统的基本概念和描述方法，掌握线性时不变系统的概念，能利用 MATLAB 画波形图。

本章课堂教学建议安排 10~12 学时。



1.1 引言

人类的任何社会活动都包含着信息的传递和处理。信息必须由信号携带通过系统传输。本书介绍信号与系统分析的基本方法，为读者进一步学习后继专业课程奠定必要的理论基础。

通过观察对象随某一自变量变化而变化的情况来研究对象，是科学研究的重要方法之一。如果自变量取为时间 t ，则相应的方法称为时域方法。时域方法与我们的客观感受完全一致，因而易于理解和接受，但在工程上，利用变量替换方法把自变量变为其他量，有时会更方便，这称为变换域方法。经典的意义上，信号与系统可以以时间为自变量进行分析，也可以通过傅里叶变换以频率为自变量进行分析，或通过拉普拉斯变换以复频率为自变量进行分析，对离散信号与系统，可以通过 Z 变换以 z 为自变量进行分析。

科学的研究的另一个方法是化繁为简。现实世界里的对象往往都很复杂，为便于研究，人们提炼或抽象出一些简单的特例或理想情况，对其进行充分研究，再按某种规则推及复杂的对象。特别是当研究对象具备线性结构时，一般情况可以写成特殊情况的线性组合，这样对一般对象的研究就转化成了对特殊情况和线性运算性质的研究，问题得到大大简化。

以上两种方法构成了本书的方法论基础。

本书以通信和信号处理理论为背景，以某些特殊的信号与系统在时域、频域、复频域和 Z 域的分析为例，介绍信号与系统的分析方法，以及一些初步的应用。

1.2 关于 MATLAB

MATLAB 是 Matrix Laboratory 的缩写，是美国 MathWorks 公司开发的集数值计算、符号演算和图形可视化三大功能于一体的软件系统，使用方便，编程效率极高，被认为是一种标准的软件。它的出现大大推进了科学研究，也有力地促进了工程教育课程的改革。本书将 MATLAB 作为辅助工具，将在可能的地方给出有实用价值的程序，展示如何用这一工具来分析与研究信号和线性系统中的许多问题，有兴趣的读者可以自行验证结果的正确性。欲对有关内容进行深入了解的读者，请参阅专门介绍 MATLAB 的著作。跳过本节及后文中与 MATLAB 有关的内容不会影响课程的学习。

1.2.1 MATLAB 入门

在装有 MATLAB 系统的计算机上双击 MATLAB 图标启动该系统，将在屏幕上显示如图 1-1 所示的主界面。

图 1-1 中包括标题栏、菜单栏、工具栏和输入/输出区(Command Window)4 部分，其中右下部分的大片空白区就是输入/输出区，是用户的主要工作区，绝大多数工作都在这里完成。

MATLAB 的使用非常简单：对简单的计算或画图问题，在 Command Window 中光标闪动的地方直接输入表达式或画图指令，然后按[Enter]键，MATLAB 会立即执行该指令，并在 Command Window 中输出计算结果，在弹出的新窗口中输出图形。

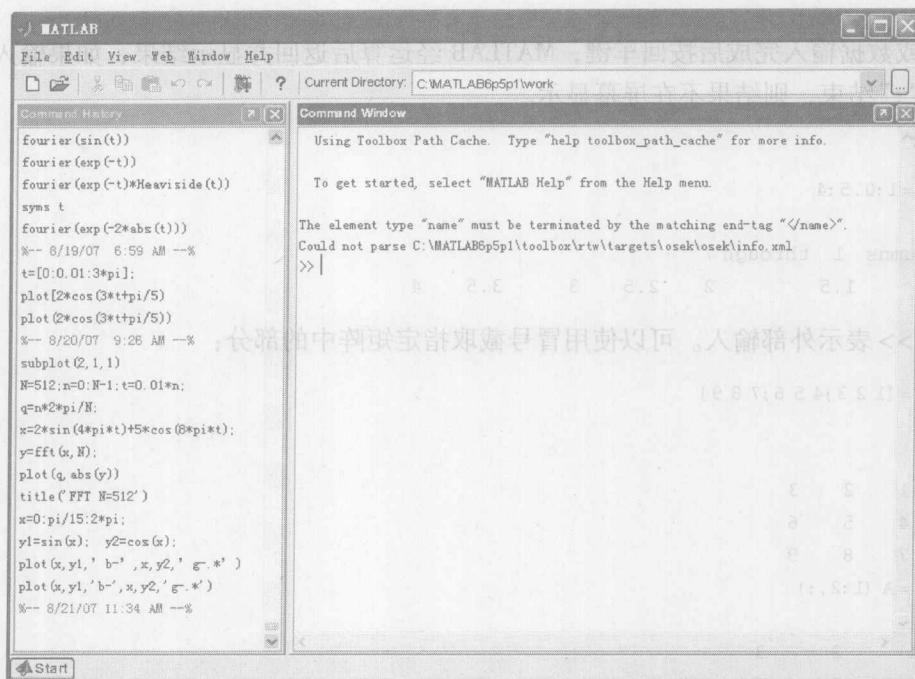


图 1-1 MATLAB 主界面

也可以通过编辑 M 文件的方法应用 MATLAB 解决比较复杂的问题。利用 M 文件编辑器创建新 M 文件可采用如下方法：

方法一：在命令窗口菜单栏 [File] 菜单下的 [New] 菜单选项中启动 [M-File] 命令，打开 MATLAB 的 M 文件编辑器。

方法二：单击命令窗口工具栏的“NewM-File”图标按钮，也可打开 M 文件编辑器。
在 M 文件编辑器中，可以用创建一般文本文件的方法对 M 文件进行输入和编辑。然后保存 M 文件。

执行 M 文件可使用下面的方法：

方法一：在命令窗口中输入已编辑并保存的 M 文件的文件名（含所在路径）并按下回车键。

方法二：编辑并保存所编辑的 M 文件，在 MATLAB 的 M 文件编辑器窗口中选择 Debug 菜单的 RUN，运行 M 文件。

1.2.2 MATLAB 的数值计算功能

矩阵是 MATLAB 数据存储的基本单元，而矩阵的运算是 MATLAB 语言的核心，在 MATLAB 语言系统中绝大多数运算是以对矩阵的操作为基础的。

从键盘上直接输入是最方便、最常用的创建数值矩阵的方法，尤其适合较小的矩阵。

输入矩阵时以“[]”为其标识符号，矩阵的所有元素必须都在括号内。矩阵同行元素之间由空格或逗号分隔，行与行之间用分号或回车键分隔。矩阵元素可以是数或运算表



达式。

命令或数据输入完成后按回车键，MATLAB 经运算后返回并显示结果，如果输入的命令或数据以“;”结束，则结果不在屏幕显示。

例如：

```
>> a=1:0.5:4
a =
Columns 1 through 7
1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
```

其中 >> 表示外部输入。可以使用冒号截取指定矩阵中的部分：

```
>> A=[1 2 3;4 5 6;7 8 9]
```

```
A =
1 2 3
4 5 6
7 8 9
>> B=A(1:2,:)
B =
1 2 3
4 5 6
```

B 是由矩阵 A 的 1 到 2 行和相应的所有列的元素构成的一个新的矩阵。

MATLAB 语言也允许用户调用在 MATLAB 环境之外定义的矩阵。可以利用任意的文本编辑器编辑所要使用的矩阵，矩阵元素之间以特定分隔符分开，并按行列布置。读入矩阵可以利用 load 函数，格式为：Load + 文件名[参数]

Load 函数将会从文件名所指定的文件中读取数据，并将输入的数据赋给以文件名命名的变量。

例如：事先在记事本中建立 d1.txt 并保存文件：

```
1 2 3
4 5 6
7 8 9
```

在 MATLAB 命令窗口中输入(当文件不在缺省目录时需指定路径)：

```
>> load d1.txt
>> d1
d1 =
1 2 3
4 5 6
7 8 9
```

1.2.3 MATLAB 的二维图形功能

最常用的画二维图形的命令是 plot：

```
>> y = [0 1.58 1.70 2.95 1.83 0.25];
>> plot(y)
```



生成的图形是以序号 1, 2, …, 6 为横坐标, y 的数值为纵坐标的折线, 如图 1-2 所示。

```
>> x = linspace(0,2*pi,20); % 生成一组线性等距的数值
>> y = sin(x);
>> plot(x,y)
```

生成的图形是 $[0, 2\pi]$ 上 20 个点连成的光滑正弦曲线, 如图 1-3 所示。

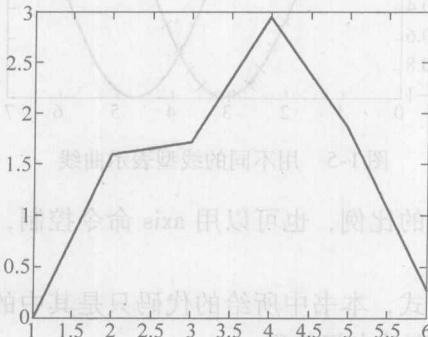


图 1-2 MATLAB 画出的折线图

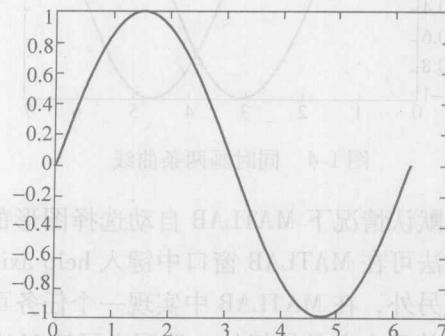


图 1-3 MATLAB 画出的曲线图

下面的命令同时画出两条曲线:

```
>> x = 0:pi/15:2*pi;
>> y1 = sin(x);
>> y2 = cos(x);
>> plot(x,y1,x,y2)
```

曲线如图 1-4 所示。在已经画好的图形上, 若设置 hold on, MATLAB 将把新的 plot 命令产生的图形画在原来的图形上。而命令 hold off 将结束这个过程。例如:

```
>> x = linspace(0,2*pi,20); y = sin(x); plot(x,y)
```

先画好图 1-3, 然后用下述命令增加 $\cos(x)$ 的图形, 也可得到图 1-4。

```
>> hold on
>> z = cos(x); plot(x,z)
>> hold off
```

MATLAB 对曲线的线型和颜色有许多选择, 标注的方法是在每一对数组后加一个字符串参数:

线型 线方式: - 实线 : 点线 -. 虚点线 -- 波折线。

线型 点方式: . 圆点 + 加号 ★ 星号 x x 形 o 小圆

颜色: y 黄; r 红; g 绿; b 蓝; w 白; k 黑; m 紫; c 青

用法如下例:

```
>> x = 0:pi/15:2*pi;
```

```
>> y1 = sin(x); y2 = cos(x);
```

```
>> plot(x,y1,'b-','x',y2,'g-.*')
```

如图 1-5 所示。

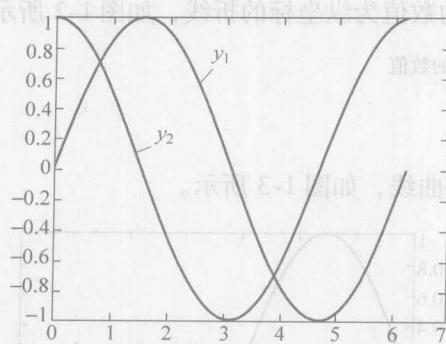


图 1-4 同时画两条曲线

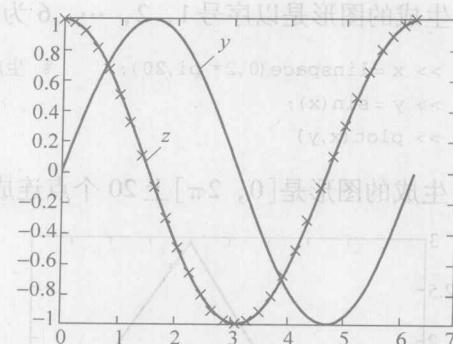


图 1-5 用不同的线型表示曲线

默认情况下 MATLAB 自动选择图形的横、纵坐标的比例，也可以用 axis 命令控制，具体用法可在 MATLAB 窗口中键入 help axis 阅查。

另外，在 MATLAB 中实现一个任务可能有多种方式，本书中所给的代码只是其中的一种，并且未必是最好的，欲深入了解 MATLAB 请参阅有关专门教程。

1.3 信号的概念与基本运算

1.3.1 工程中的信号

当教师向我们介绍《信号与系统》课程的基本内容时，他先在脑海里将想要表达的意思组成语言，然后利用自己的发声器官，强迫空气振动，产生连续的声波并向外扩散，我们的耳膜感受到了声波，大脑通过对声波的分析处理，从中获取教师所要表达的意思。

这里，“连续的声波”是所谓的“信号”，它携带了“教师所要表达的意思”，即“消息”。

一旦一个人失去了语言功能，他就只能通过打手势与别人交流，手在空间中的运动轨迹就构成了“信号”，接受信号者可以获得“消息”。

由此可知，信号是指消息的表现，而消息则是信号的内涵。消息一般都要借助于一定形式的信号才能进行传输和处理。

得到一个“消息”之后，可能得到一定的“信息”。概括地说，信息与消息在含义上的区别为：信息是消息中不确定性的消除（也就是该消息给予接受者的新知识）。

关于“信息”的定义，不同的学者和学科有所不同，本书不做过多讨论。

对任何一种变化着的物理量，给它附着一个特定的含义都可以形成本课程所称的信号。因此，本书研究的信号可以是任何一种变化着的物理量。电流和电压是实用中最常见的物理量，因而是本书研究的重点，并被称为电信号，但分析方法可以推广到其他形式的信号，比如光信号或磁信号。

为了便于分析，需要将信号用数学的方式表示出来。数学上，自变量连续的确定性变量用函数表示，自变量离散的确定性变量用数列（序列）表示，不确定变量用随机过程表示，因此，信号在数学上就被表示成函数或序列或随机过程，本书的主要研究对象是确定性变量，将不加区别地使用“信号”与“函数”、“信号”与“序列”这两对词语。

语音信号可以看成是声压随时间变化的一元函数，用 $f(t)$, $t \in [0, T]$ 表示。

在数字图像处理课程中，科学家把从白到黑划分为 256 个级别（称为灰度），0 表示最黑，



255 表示最白，这样，平面上点 (x, y) 处的灰度用 $f(x, y)$ 表示的话， $\{f(x, y), x, y \in D\}$ 就表示一幅灰度图像，其中 D 表示某一平面区域。

黑白电视可以看成一系列连续的黑白图像，因而可以表示为： $\{f(x, y, t), x, y \in D, t \in [0, T]\}$ 。

为直观起见，有时也用函数的曲线图形，即波形来表示信号，尤其是在简单信号的场合。图 1-6 是男声说“信号与系统”的波形，图 1-7 是放大了的细节部分。

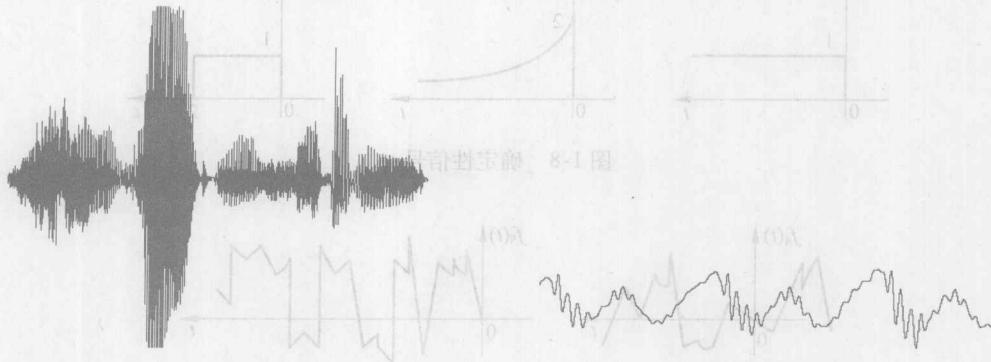


图 1-6 男声“信号与系统”波形图

图 1-7 局部的放大波形

由图 1-6 可见，实际中的信号都是十分复杂的，为方便分析，一种可行的方法是用一些简单信号的线性组合来逼近它（以后还会学到其他的方法）。这里的“简单信号”也称为“基本信号”，或“基”，本书中，用作基的信号有冲激信号 $\delta(t)$ 、正弦信号和指数信号等。

冲激信号 $\delta(t)$ 不是实际中的信号，而是实际信号的理想化模型。用它作为基本信号的原因主要是，第一，在系统分析时可以用系统对冲激信号的响应代表系统，这样，在某些情况下可以将对系统的研究转化为对信号的研究；第二，在变换域中 $\delta(t)$ 的表示特别简单（就是 1）；第三，冲激信号可以精确地对抽样过程建模。抽样是从实际信号到计算机能处理的信号的必经转化过程，因而特别重要。

正弦信号是物理上最简单的信号，因而作为基几乎是天经地义的。用正弦信号作为基自然而然地引出了傅里叶变换，形成了信号分析与处理的核心技术，自然也是本课程的核心。

指数信号作为基的理由主要有两点，第一，因为它通过欧拉公式能表示出正弦信号，第二，用线性微分方程作为系统模型时，一般情况下，只有当输入信号为指数类（即原函数与导函数在同一类中，包括指数函数、幂函数和正余弦函数）信号时，才能得到系统响应的一般解。

本书基本上不研究实际信号的分析，而只是结合对基本信号及其简单拓展的研究，介绍信号分析的基本原理与方法，因此，读者可以发现，以冲激信号和指数信号为中心的两类信号贯穿本书始终。

1.3.2 信号的分类

按照不同的性质和数学特征，信号有不同的分类方法。信号分类之后，同一类的信号具有相同的特性，可以用类似的方法研究。

1. 确定性信号与随机信号

由确定的时间函数所表达的信号称为确定性信号或规则信号。对这种信号，给定时刻就



能确定相应的信号值，因此，它不能带给我们新的知识。

不能用确定性函数表示的信号，称为随机信号。对这种信号，事先无法预知它的变化规律，因而可以带给我们新的知识。

随机信号与确定性信号的区别是，对确定性信号，总能写出它的表达式，而随机信号则无法写出表达式，图 1-8 和图 1-9 分别给出了确定性信号和随机信号的示意波形。

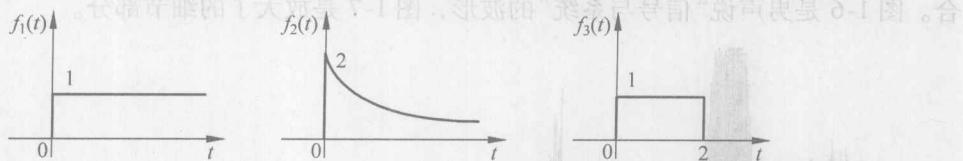


图 1-8 确定性信号

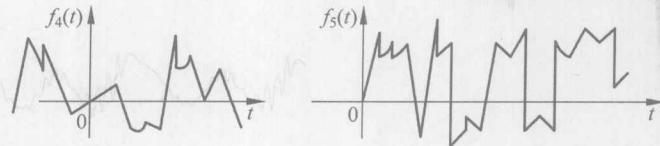


图 1-9 随机信号

实际中的信号几乎都是随机信号。例如通信系统中传输的信号，接收者在收到所传送的消息之前，对信息源所发出的消息是不能预知的，否则，接收者就不可能由它得知新的消息，也就失去了通信的意义。另外，信号在传输过程中也会因干扰和噪声的影响而表现出随机性。但确定性信号是实际系统分析设计的基础，同时，其基本理论与分析方法也是研究随机信号的基础，因此，本书只涉及确定性信号，对随机信号的研究将在后继课程中学习。

2. 连续时间信号与离散时间信号

如果信号 $f(t)$ 在自变量 t 的某个区间内，除有限个间断点外均有定义，就称 $f(t)$ 在此区间内为连续时间信号，简称连续信号。注意，这里“连续”的含义是指自变量（除有限个点外）是连续取值的，此时， $f(t)$ 的值可以是连续变化的，也可以是跳跃的， t 连续取值 $f(t)$ 连续变化的信号称为模拟信号。模拟信号就是高等数学中学习过的连续函数（除去有限个不连续点外），如图 1-10 所示。

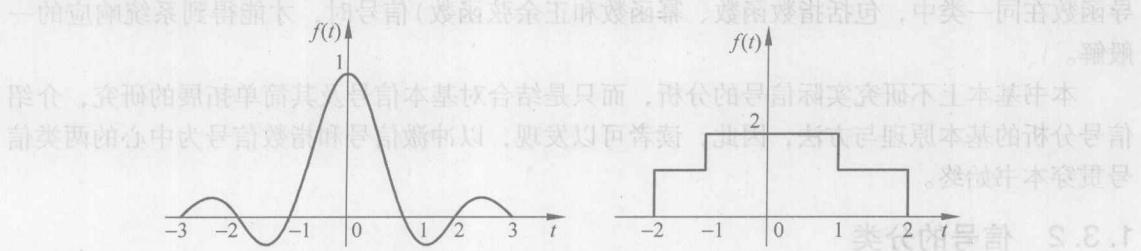


图 1-10 连续时间信号

自变量取离散值时的信号就是高等数学中的数列，其自变量用 n 表示，通常为整数，表示第 n 个时刻。它只在某些特定的瞬时给出确定的函数值，其他时间没有定义，称为离散时间信号，简称为离散信号，如图 1-11 所示。