



信号 与 系统

赵仕良 陈冰洁 周晓林 主编

信号与系统

赵仕良 陈冰洁 周晓林 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据高等工科院校信号与系统课程教学基本要求编写。全书共分8章,内容包括:信号与系统基本概述、线性时不变系统的时域分析、连续周期信号的傅里叶级数分析、连续时间信号和系统的频域分析、连续时间信号和系统的复频域分析、离散时间信号和系统的 z 域分析、离散信号和系统的频域分析、信号与系统分析的MATLAB仿真。全书概念准确、重点突出、例题丰富、循序渐进、易读易懂。

本书可作为通信工程、电子信息工程、光电工程、微电子技术、自动化、遥感测量等电类相关专业的本科教材和考研的参考教材,也可供相关专业科技人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/赵仕良,陈冰洁,周晓林主编. —北京:科学出版社,2014.11
ISBN 978-7-03-041147-1

I. ①信… II. ①赵… ②陈… ③周… III. ①信号 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第130447号

责任编辑:李小锐 杨 岭/责任校对:宋玲玲

责任印制:余少力/封面设计:墨创文化

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>

成都创新包装印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年11月第一版 开本:787×1092 1/16

2014年11月第一次印刷 印张:18.75

字数:420 000

定价:42.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

本书是电类相关专业的理论基础课程，往往和“模拟电路”、“数字电路”、“电路理论”并称为“四大基础课程”，是电类相关专业考研的必选课程。

本书是依据国家工科“信号与系统”指导委员会 2004 年 8 月对本书制定的基本教学要求并结合作者 20 年的教学经验和教学成果而编写的。本书的主要任务是研究信号和系统的基本概念、基本理论和基本分析方法。本书适用于电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、自动控制、遥感测量、航空航天、生物医学等专业。可以作为本科教材，也可作为考研参考书。

本书的特点如下。

(1) 按照 70 个学时进行编写，共分八章。主要讲解第 1~6 章，第 7、8 章选讲。为兼顾知识结构和学时，可以在讲解第 6 章时同时阐述第 7 章中 DTFT 的思想，建立离散信号的频谱和离散系统的频率特性函数及其计算方法。第 8 章可以放在实验教学中选讲。1~6 章可以依次参照 6、12、8、16、14、14 学时进行教学。

(2) 本书有很多线索贯穿其中。信号和系统分析是研究和讨论的主线索，在每章既要讲解信号的分析，又要讲解系统的分析及其求解。连续和离散也是一条线索，第 1 章在讲解信号和系统的基本概念时采用连续和离散同时进行的方式，第 2 章在讲解信号和系统的时域分析时，也采用并行的方式。以后章节采用每一章只讲解一类信号和系统，其中，第 3~5 章都讲连续信号和系统的不同变换域分析，第 6、7 章讲离散信号和系统的变换域分析。信号的分析是基础，只有当有了信号的分析时，才能够进行系统的求解。因为信号和系统有辩证关系，所以时域和变换域频域的分析方法，不仅适用于信号，也适用于系统。在进行系统时域分析时引入了两个重要的数学运算——卷和和卷积，这也是一条线索。从第 2 章开始，每章都可能遇到卷和或者卷积的计算，其计算既可以采用时域分析，又可以采用频域分析。

(3) 本书更多的章节讲解变换域分析，主要讲了 FS、FT、LT、ZT 等四类变换。在学习时采用对比的学习方法，同时注意它们的区别。将 FS 和 FT 进行对比和区别，将 FT 和 LT 进行对比和区别，将 LT 和 ZT 进行对比和区别，将 ZT 和 DTFT 进行对比和区别，这样就可以加深概念的理解。

(4) 本书力求做到循序渐进、深入浅出地讲解每个问题、每个概念和每个方法。例如，在关于方框图讲解时，在第 1 章讲系统时，初步提到方框图的两个重要特点：节点汇总信号的功能和箭头代表信号的流动方向。因为每章都可能用到方框图，但用的目的是不一样的。有了这两个基本点，第 1~4 章就没有困难了，待到第 5 章讲了梅森规则，就可以涉及方框图的计算和系统模拟了。再例如，从第 1 章开始就灌输系统本质及其描述方法，所以在时域分析系统时，有了单位冲激响应，但不急于讲解系统单位冲激响应

的计算, 否则数学上的计算量太大了。当讲了 FT, 才开始讲解系统本质的描述方法之间的相互转换及其计算, 这样读者就能够很容易理解和轻松地学习。

(5) 本书大胆地提出了很多个人的观点、见解和描述方法。例如, 关于滤波的特性、关于理想滤波器的认识、关于收敛域的理解及其准确的描述等。在描述 LT 的收敛域时, 提出收敛域完整的描述方法, 将严格考虑 $-\infty$ 和 $+\infty$ 是否在收敛域内; 在描述 ZT 的收敛域时, 提出收敛域完整的描述方法, 将严格考虑 0 和 $+\infty$ 是否在收敛域内。希望这样的描述方法能够得到同行的认可。

(6) 本书在卷和和卷积的计算、傅里叶级数的计算、傅里叶正反变换的计算、拉普拉斯正反变换的计算、 z 正反变换的计算时, 都强调了利用已经建立的公式和性质来解决实际的问题。这样的方法会简化计算过程, 并且完全利用信号与系统课程的特点来分析该课程的问题。全书基本上都采用这样的方法进行讲述。

(7) 由于信号与系统在第四学期开课, 而 MATLAB 语言在大三才学习, 所以, 在学习第 8 章时建议以提高学生学习兴趣为主要目的。作者从 2000 年开始, 在“信号与系统”课程中引入 MATLAB 语言来辅助教学, 主要通过两次上机来进行实验教学。第一次实验主要讲解一些关于 MATLAB 语言的基本操作和函数, 特别是应用于信号与系统方面的函数。第二次实验主要是给一些程序或者学生自己编写程序, 来验证课程中的一些重要的结论、定理和技术。

(8) 本书有丰富的例题, 将一些复杂的问题在例题中体现和讲解; 并且每章编写了适量的习题, 从简单到复杂。在复杂部分, 有些采用了兄弟院校考研的题目, 所以, 本书也适合需要继续学习和深造的读者, 以及考研的学生作为参考书。

(9) 作者在编写时力求做到将复杂的问题简单化, 力求做到编写一本经典的教材, 抛开复杂的数学运算过程, 所举的例子尽量做到计算量不大, 让读者始终明白这是一门电子、信息、通信类专业的骨干课程, 而不是一门数学课程。

全书由赵仕良、陈冰洁、周晓林主编, 第 1~6 章由赵仕良编写, 第 7 章由陈冰洁编写, 第 8 章由陈冰洁和赵仕良共同编写, 张健参与了单边 LT 的部分编写工作, 周晓林负责本书的策划和统稿工作。同时感谢何艳阳女士对本书图表的编辑。

由于作者水平有限, 书中难免存在疏漏之处, 恳请广大读者批评指正。

赵仕良

2014 年 5 月

于成都狮子山

目 录

第 1 章 信号与系统基本概念	1
1.1 信号	1
1.1.1 信号的定义	1
1.1.2 信号的数学描述	2
1.1.3 信号分类	3
1.2 常用信号	6
1.2.1 常用连续信号	6
1.2.2 常用离散信号	8
1.3 信号的基本运算	9
1.3.1 连续信号的微分和积分	9
1.3.2 信号的时移	10
1.3.3 离散信号的差分 and 累加	10
1.3.4 反转变换	10
1.3.5 尺度变换	11
1.3.6 信号的周期化	13
1.3.7 信号的奇偶分解	13
1.4 系统的基本概念	15
1.4.1 系统的定义	15
1.4.2 系统的数学模型	15
1.4.3 系统的响应	16
1.4.4 系统的互联	16
1.5 系统的分类	17
1.5.1 记忆系统和无记忆系统	17
1.5.2 可逆系统和不可逆系统	17
1.5.3 因果系统 and 非因果系统	18
1.5.4 稳定系统 and 不稳定系统	19
1.5.5 时变系统 and 时不变系统	19
1.5.6 线性系统 and 非线性系统	19
1.6 关于本书内容和学习方法简介	21
1.6.1 本书研究的系统对象	21
1.6.2 学习主要内容	22
1.6.3 学习方法	23
习题	23

第 2 章 线性时不变系统的时域分析	26
2.1 冲激序列和阶跃序列	26
2.1.1 单位数字冲激序列	26
2.1.2 单位阶跃序列	29
2.2 连续的阶跃信号和冲激信号	30
2.2.1 单位阶跃信号	30
2.2.2 单位冲激信号	33
2.2.3 $\delta(t)$ 的性质	36
2.3 线性时不变系统的零输入响应	40
2.3.1 连续 LTI 系统的零输入响应	40
2.3.2 离散 LTI 系统的零输入响应	41
2.4 卷和和卷积积分	42
2.4.1 卷和的定义	42
2.4.2 卷积积分的定义	43
2.4.3 卷积积分与卷积和的性质	43
2.5 LTI 系统的零状态响应	44
2.5.1 单位冲激响应	45
2.5.2 离散 LTI 系统的零状态响应	45
2.5.3 连续 LTI 系统的零状态响应	46
2.6 卷和的时域计算	47
2.6.1 卷和的两个重要公式	48
2.6.2 卷和的时域计算方法	48
2.7 卷积的时域计算	51
2.7.1 卷积积分的两个重要公式	51
2.7.2 卷积的计算方法	52
2.8 系统特性和单位冲激响应之间的关系	55
2.8.1 记忆性对单位冲激响应的要求	55
2.8.2 可逆性对单位冲激响应的要求	55
2.8.3 因果性对单位冲激响应的要求	56
2.8.4 稳定性对单位冲激响应的要求	56
2.8.5 LTI 系统的单位阶跃响应和单位冲激响应的关系	57
2.8.6 系统的串联和并联对单位冲激响应的影响	57
2.9 离散系统的时域分析法	58
2.10 连续系统的时域分析法	60
习题	65
第 3 章 连续周期信号的傅里叶级数分析	70
3.1 变换域分析概述	71
3.2 完备正交信号集合	72

3.2.1	矢量的正交	72
3.2.2	信号(函数)的正交	72
3.2.3	正交信号集合	73
3.2.4	完备正交信号函数集合	73
3.2.5	周期信号的分解	74
3.3	连续周期信号的两种傅里叶级数	74
3.3.1	指数形式的傅里叶级数	74
3.3.2	周期信号的频谱	76
3.3.3	三角形式傅里叶级数	77
3.3.4	两个重要的周期信号的傅里叶级数	78
3.3.5	连续周期信号频谱的特点	81
3.3.6	连续周期信号的带宽	81
3.4	连续时间傅里叶级数的收敛性	81
3.4.1	傅里叶级数是对信号的最佳近似	81
3.4.2	傅里叶级数的收敛性	82
3.4.3	Gibbs 现象	83
3.5	连续时间傅里叶级数的性质	86
3.6	连续周期信号的傅里叶级数的计算	90
3.6.1	根据定义计算	90
3.6.2	利用常用信号的傅里叶级数公式和性质来计算	90
3.6.3	微分冲激法	91
3.7	连续周期信号通过 LTI 系统的傅里叶级数分析法	94
	习题	96
第 4 章	连续时间信号和系统的频域分析	98
4.1	傅里叶正反变换的定义	98
4.1.1	从傅里叶级数推广到傅里叶变换	98
4.1.2	频谱密度	100
4.1.3	傅里叶变换的收敛性	101
4.2	常用信号的傅里叶变换	101
4.2.1	常用信号的傅里叶变换	102
4.2.2	周期信号的傅里叶变换	106
4.2.3	傅里叶变换和傅里叶级数的关系	108
4.2.4	信号的带宽	109
4.3	连续时间傅里叶变换的性质	110
4.4	傅里叶变换的计算	119
4.4.1	傅里叶正变换计算	119
4.4.2	傅里叶反变换计算	122
4.4.3	傅里叶变换用于卷积积分的计算	126

4.5	连续系统频域分析方法	127
4.5.1	系统频率分析的理论基础	127
4.5.2	系统的频率特性的定义	128
4.5.3	系统频率特性函数以及单位冲激响应的计算方法	128
4.5.4	系统的频率特性曲线	131
4.5.5	LTI 系统的频域分析法步骤	133
4.5.6	系统频域分析法举例	134
4.6	无失真传输系统和理想低通滤波器	138
4.6.1	无失真传输系统	139
4.6.2	理想低通滤波器	140
4.7	调制解调技术概述	144
4.7.1	调制	144
4.7.2	解调	145
4.8	采样及采样定理	146
4.8.1	采样的定义	146
4.8.2	低通型理想的时域采样定理	147
4.8.3	零阶保持采样	150
4.8.4	理想内插	152
4.8.5	频域采样	153
4.9	傅里叶变换在其他学科中的应用	154
	习题	156
第 5 章	连续时间信号和系统的复频域分析	162
5.1	拉普拉斯正变换的定义	163
5.1.1	从傅里叶变换推广到双边拉普拉斯变换	163
5.1.2	单边拉普拉斯变换的定义	164
5.2	拉普拉斯变换的收敛域	165
5.2.1	拉普拉斯变换的存在性	165
5.2.2	拉普拉斯变换的收敛域	166
5.2.3	拉普拉斯变换收敛域的特点	166
5.3	常用信号的 LT 对	170
5.4	拉普拉斯反变换	170
5.4.1	拉普拉斯反变换的定义	170
5.4.2	拉普拉斯反变换的物理含义	171
5.5	双边拉普拉斯变换的性质	172
5.6	单边 LT 单独满足的性质	178
5.7	拉氏变换的计算	180
5.7.1	拉氏正变换的计算	180
5.7.2	拉氏反变换的计算	183

5.8	连续系统复频域分析法	186
5.8.1	理论基础	186
5.8.2	系统函数	187
5.8.3	系统特点和系统函数收敛域之间的关系	189
5.8.4	系统复频域分析举例	190
5.9	方框图及梅森公式	195
5.9.1	方框图	195
5.9.2	信号流程图	196
5.9.3	梅森公式	197
5.9.4	利用梅森公式计算传递函数	197
5.9.5	利用梅森公式对连续系统的模拟	198
5.10	系统稳定性及 R-H 准则	202
5.10.1	系统稳定的定义	202
5.10.2	劳斯-霍尔维茨准则	202
	习题	204
第 6 章	离散信号和系统的 z 域分析	211
6.1	z 正变换的定义	211
6.1.1	双边 z 变换的定义	211
6.1.2	单边 z 变换的定义	212
6.1.3	z 反变换	214
6.2	z 变换的收敛域	215
6.2.1	z 变换收敛域的定义	215
6.2.2	ZT 收敛域的特点	215
6.2.3	ZT 和 LT 的关系	220
6.3	常用 z 变换的公式	221
6.4	双边 z 变换的性质	221
6.5	单边 z 变换的性质	226
6.5.1	单边 z 变换的时移特性	226
6.5.2	初值和终值定理	227
6.6	z 正变换及 z 反变换的计算	228
6.6.1	z 正变换的计算	228
6.6.2	z 反变换的计算	231
6.7	离散系统的 z 域分析	235
6.7.1	理论基础	235
6.7.2	离散系统的传递函数或转移函数	236
6.7.3	离散系统特点与 $H(z)$ 收敛域的关系	238
6.7.4	离散系统 z 域分析举例	239
6.8	离散系统的模拟	243

6.8.1 基本互联的系统函数	244
6.8.2 复杂离散系统传递函数的计算	245
6.8.3 离散 LTI 系统的模拟	245
习题	248
第 7 章 离散信号和系统的频域分析	254
7.1 离散时间周期信号的傅里叶级数	254
7.1.1 离散时间周期信号的傅里叶级数定义	254
7.1.2 离散时间周期信号傅里叶级数的性质	255
7.2 离散时间傅里叶变换	256
7.2.1 离散时间傅里叶变换的定义	256
7.2.2 离散时间傅里叶变换的性质	258
7.3 离散傅里叶变换	260
7.3.1 离散傅里叶变换的定义	260
7.3.2 DFT 与 DTFT、 z 变换的之间的关系	260
7.3.3 离散傅里叶变换的性质	263
习题	263
第 8 章 信号与系统分析的 MATLAB 仿真	265
8.1 MATLAB 语言的简单介绍	265
8.1.1 MATLAB 窗口	265
8.1.2 常用的简单操作或函数	265
8.1.3 矩阵及其运算	266
8.1.4 MATLAB 的二维绘图功能	267
8.1.5 m 文件的建立和调用	269
8.2 MATLAB 中常用于信号分析的函数简介	269
8.3 LTI 系统的时域分析的 MATLAB 仿真	272
8.3.1 连续系统时域分析的 MATLAB 仿真	272
8.3.2 离散系统时域分析的 MATLAB 仿真	273
8.4 LTI 系统变换域分析的 MATLAB 仿真	274
8.4.1 连续信号和系统频域分析的 MATLAB 仿真	274
8.4.2 连续信号和系统复频域分析的 MATLAB 仿真	274
8.4.3 离散信号和系统 z 域分析的 MATLAB 仿真	279
8.5 连续信号的采样与恢复的仿真	281
习题	286
参考文献	288

第1章 信号与系统基本概述

信号与系统的概念出现在相当广泛的领域，信号和系统的思想在很多科学技术领域起着很重要的作用，如通信工程、电子信息、自动控制、生物工程、航空航天、电路设计、声学、地震勘测学、语音和图像处理、能源产生与分配、化工过程控制等。在这些技术领域都存在信号的传输和处理。例如，在产品防伪、产品溯源、网站链接、数据下载、电子凭证中应用广泛的二维码，它是用特定的几何图形按一定规律在二维方向（平面）上分布的黑白相间的图形，可以作为信息数据的一把钥匙。再例如，我国已经进行的一系列探月科学实践活动中，包含了一系列的信号和系统的观点，涉及如何发射飞船、如何控制飞船飞行的轨道、如何实现地面和飞船上的语音传输、图像传输。通过这些实际的例子，可以得到关于信号以及系统的一系列观点。

(1) 信号的种类有很多，包括声音、图像、电、光等。

(2) 信号的传输、处理、交换需要系统来完成。

(3) 系统的种类也很繁多，往往需要根据对信号处理的特定功能来设计特定的系统。

(4) 信号和系统之间存在着联系，我们用辩证关系来描述这种联系，一切信息活动都离不开系统的作用，一切系统都有输入和输出信号，二者单独存在是没有意义的；信号是实际存在的，可以通过仪器来观察和测试；系统是由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体，它是一个非常广泛的概念；系统可以很简单，也可以很复杂。从广义上来讲，信号和系统可以互换，系统涉及的领域也很多，本书在讲解实际系统时，主要涉及电子和通信方面的电路系统。

1.1 信 号

1.1.1 信号的定义

信号是用来传送或记录信息的手段或工具，信号所包含的信息往往存在于某种变化方式中。我国古代烽火台用狼火或狼烟来传递敌人入侵的信息，到现在电子技术应用于雷达、宇宙飞船，这些都是信号传递的实际例子。这些信息的传递涉及信息的获取、交换、传输、处理、存储、再现、控制与利用等。信号定义为传递消息或信息的符号，是信息的载体。从数学意义来看，信号总是作为一个或几个独立变量的函数而出现的。从物理意义来看，信号总是携带着某些物理现象或物理性质的相关信息。信号可以描述范围极其广泛的物理现象，如声、光、电、温度、力、速度等，所以信号通常表现为随自变量变化的物理量。

在上述关于信号的定义中出现了消息和信息这两个术语。现在分别来看各自的含义。消息定义为关于人或事物情况的报道或音信。消息是用来表达某种客观对象信息的。

在很多学科都可能用到消息这个名称。其表现形式有电报报文、电视图像、声音、文字、图表、数字等。例如，“明天可能是晴天”就是关于天气的一则消息。

信息定义为消息中有意义的内容，是对消息中的不确定性的度量。凡是物质的形态、特性在时间或空间上的变化以及人类的各种社会活动都会产生信息。当作为一个信息论中的专业术语时，消息和信息是有区别的。信息可以用信息量来进行度量。例如，“明天是晴天的概率 $P=0.25$ ”，这是一则消息，而这则消息中所包含的信息量 $I = -\log_2^{0.25} = 2\text{bit}$ 。

总之，关于信号、消息、信息这三个术语，我们可以这样来理解：信号是消息的表现形式，消息是信号的具体形式，信息是消息中有意义的内容。

1.1.2 信号的数学描述

信号的种类繁多，描述方法也不同。例如，在医学上我们来观察各个器官组织的情况，医生会通过检测设备来观察，最终以图像体现出来。再例如，我们从电子通信专业视角来观察信号时，常常用示波器来显示信号在时域上的波形，也常常用频谱分析仪来观察信号在频域上的频谱结构。在数学上，确定信号可以表示为一个或多个变量的函数，常见的有指数函数形式和三角函数形式。因此，在本书中常常用函数和波形来描述信号。

在函数法描述中，虽然在具体应用中自变量不一定是时间，但本书在分析时常用时间变量 t 和序号 n 来表示自变量，讨论的范围仅限于单一变量的函数。以 t 为自变量的是连续信号，常写为 $x(t)$ ；以 n 为自变量的是离散信号，常写为 $x[n]$ 。例如， $x(t) = \sin 2t$ ， $x[n] = 2^n$ 。

信号还可以用波形来描述。将信号随自变量变换的每个值用波形表示出来，如图 1-1 所示。

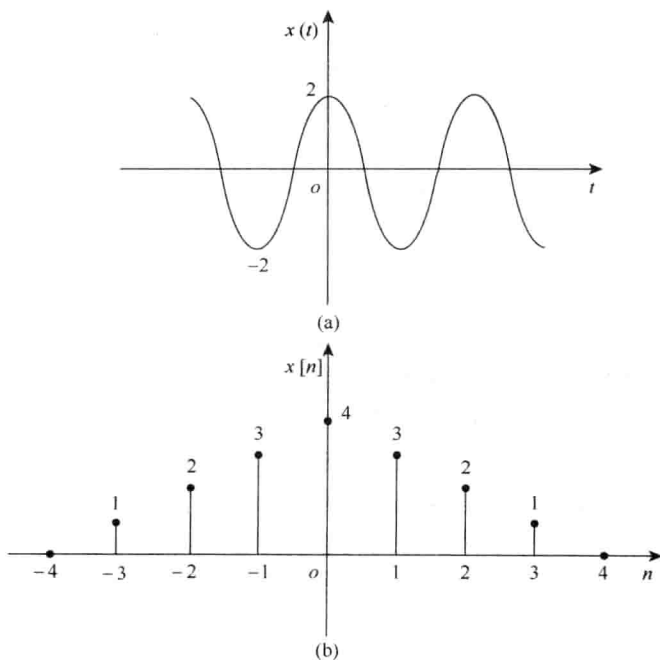


图 1-1 连续和离散信号的波形示意图

离散信号还可以用集合来描述。例如， $x[n] = \{1, 2, 3, 4, 3, 2, 1\}$ ，序号为 0 的位置下方用向上的箭头来作特殊标记。

1.1.3 信号的分类

信号的分类方法有很多，根据不同的特性，信号有不同的分类。从物理含义来看，信号可以分为电信号、光信号、语音信号、图像信号等。此处主要讨论从数学意义上进行的分类。同一个信号可以分属于下面不同分类方法中的某个具体的类型。

1. 连续时间信号和离散时间信号

自变量连续可变的信号称为连续时间信号，简称连续信号。本书中连续时间信号的自变量选为时间 t 。自变量仅取一组离散值的信号称为离散时间信号，简称离散信号，离散信号也可称为序列。本书中离散信号自变量选为序号 n ， n 为整数。分别用 $x(t)$ 和 $x[n]$ 表示连续时间信号和离散时间信号。

例如， $x(t) = \sin t$ 为连续时间信号， $x[n] = (0.5)^n$ 为离散时间信号。

现在我们把以前学的模拟信号和数字信号与连续信号和离散信号进行区别。模拟信号和连续信号是有区别的。模拟信号强调幅值的连续性（可以有跳变），信号幅值有很多种取值，连续信号强调时间自变量的连续性。离散信号和数字信号也是有区别的。离散信号强调自变量是离散的，幅值的情况没有限制。数字信号强调幅值是离散的，并且只有有限个取值。一般而言，模拟信号与数字信号对应，连续信号和离散信号对应。

2. 确定信号和随机信号

根据信号每个时刻取值是否具有唯一确定性，把信号分为确定信号和随机信号。如果信号取值唯一就是确定信号，否则就是随机信号。确定信号可以用数学函数来描述，随机信号不能用数学函数表达式来描述。本书中考虑的都是确定信号，而随机信号则需要用概率与数理统计的知识进行分析，在《随机过程》和《通信原理》中会分析和研究其特点。

例如， $x(t) = e^{-t}$ 为确定信号，通信系统中的高斯白噪声就是随机信号。

3. 复信号和实信号

信号取值全是实数的信号称为实数信号，简称实信号。信号取值有复数的信号称为复数信号，简称复信号。

例如， $x(t) = e^{-2t}$ 为实信号， $x[n] = e^{-jn}$ 为复信号。

关于复数，可以用实部和虚部来描述，也可以用模和相位来描述。例如， $A = a + bj = \sqrt{a^2 + b^2} e^{j\varphi}$ ，其中 $\varphi = \arctan \frac{b}{a}$ 或 $\arctan \frac{b}{a} \pm \frac{\pi}{2}$ 。有时会用到欧拉代换： $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$ ， $\cos \theta = \frac{1}{2}(e^{j\theta} + e^{-j\theta})$ ， $\sin \theta = \frac{1}{2j}(e^{j\theta} - e^{-j\theta})$ 。

4. 奇信号和偶信号

这分类方法是根据信号是否满足某种对称性进行分类的, 这种对称性常常指奇对称和偶对称。实信号的函数满足 $x(t) = -x(-t)$ 或者 $x[n] = -x[-n]$, 称为奇信号, 实信号的函数满足 $x(t) = x(-t)$ 或者 $x[n] = x[-n]$, 称为偶信号。

对于复信号而言: 满足 $x(t) = -x^*(-t)$ 或者 $x[n] = -x^*[-n]$, 则称为共轭奇信号; 满足 $x(t) = x^*(-t)$ 或者 $x[n] = x^*[-n]$, 则称为共轭偶信号。

5. 周期信号与非周期信号

根据函数是否具有周期性进行的一种分类。满足周期性则称为周期信号, 不满足周期性则称为非周期信号。

若连续信号 $x(t)$ 满足:

$$x(t) = x(t + mT) \quad (1-1)$$

则为连续周期信号, 其中, 满足周期性特点的的正的最小的 T 称为基波周期, 简称为周期。

若离散信号 $x[n]$ 满足:

$$x[n] = x[n + mN] \quad (1-2)$$

则为离散周期信号, 其中, 满足周期性特点的的正的最小的 N 称为基波周期, 简称为周期。

本书中周期信号常常书写为 $x_T(t)$ 或 $x_N[n]$ 。

如果有 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 是周期的, 周期分别为 T_1 和 T_2 , 判断 $x(t) = ax_1(t) + bx_2(t)$ 是否为周期的, 只需要判断 $\frac{T_1}{T_2}$ 是否可以表示为最简整数比, 如果可以描述为

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{m}{n} \quad (1-3)$$

其中, $\frac{m}{n}$ 是最简整数比, 则 $x(t)$ 就是周期信号, 周期为 $T = nT_1 = mT_2$ 。

例 1-1 $x(t) = \sin 2\pi t - \cos 3\pi t$ 是周期的吗? 若是周期信号, 周期为多少?

解 $\sin 2\pi t$ 的周期为 $T_1 = 1$, $\cos 3\pi t$ 的周期为 $T_2 = \frac{2}{3}$ 。 $\frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{2}$, 可以化为最简单的整数比, 所以 $x(t)$ 是周期的, 周期为 $T = 2$ 。

6. 能量信号和功率信号

能量和功率是物理学中两个重要的概念。由于本书研究的信号很多时候并没有明确的单位, 怎样定义能量和功率呢? 可以把信号看做电信号 (不必区分电压和电流), 让信号作用在 1Ω 的电阻上, 所以瞬时功率为

$$p(t) = |x(t)|^2 \quad (1-4)$$

连续时间信号在 $[t_1, t_2]$ 区间的能量定义为

$$E = \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt \quad (1-5)$$

连续时间信号在 $[t_1, t_2]$ 区间的平均功率定义为

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt \quad (1-6)$$

同理类推如下。

离散时间信号在 $[n_1, n_2]$ 区间的能量定义为

$$E = \sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2 \quad (1-7)$$

离散时间信号在 $[n_1, n_2]$ 区间的平均功率定义为

$$P = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2 \quad (1-8)$$

在无穷区间上也可以定义信号的总能量和功率。

连续时间情况下：

$$E_\infty = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt, \quad P_\infty = \lim_{T \rightarrow +\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt \quad (1-9)$$

离散时间情况下：

$$E_\infty = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} |x[n]|^2, \quad P_\infty = \lim_{N \rightarrow +\infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |x[n]|^2 \quad (1-10)$$

有了上述定义后，根据在无穷范围内能量和功率是否有限，可以将信号分为如下三类。

(1) 信号的能量有限，平均功率为 0，即 $E_\infty < +\infty$ ， $P_\infty = 0$ ，此信号称为能量信号；

(2) 信号有无限的总能量，但平均功率有限，即 $E_\infty = +\infty$ ， $P_\infty < +\infty$ ，此信号称为功率信号；

(3) 信号的能量和平均功率都是无穷，即 $E_\infty = +\infty$ ， $P_\infty = +\infty$ ，此信号既不是能量信号又不是功率信号。

一般而言，周期信号是功率信号，非周期信号是能量信号。

7. 一维信号和 multidimensional 信号

该分类是根据信号函数表达式自变量的维数来进行分类的。例如， $x(t)$ 和 $x[n]$ 是一维信号， $x(t_1, t_2)$ 是二维信号， $x[n_1, n_2, n_3]$ 是三维信号。实际生活中一幅平面的黑白照片就属于二维信号。实际上信号的维数可以理解为信号的变化与哪些因素有关，每种因素就是信号数学表达式中的一个元素或维数。

8. 因果信号、反因果信号和非因果信号

从时域来看，按照信号从“何时开始、何时结束”的特点，信号可以分为有始有终、有始无终、无始有终和无始无终四类。

信号有起始时刻（序号），且有终止时刻（序号）称为有始有终信号。信号有起始时刻（序号），但无终止时刻（序号）称为有始无终信号。信号无起始时刻（序号），但有终止时

刻(序号)称为无始有终信号。信号无起始时刻(序号),也无终止时刻(序号)称为无始无终信号。

信号在零时刻或零序号之前的取值为 0 称为因果信号。信号在零时刻或零序号之后的取值为 0 称为反因果信号。信号在零时刻或零序号之前有非 0 的取值则称为非因果信号。非因果信号和反因果信号是不同的。反因果是非因果,但非因果不一定是反因果。

例 1-2 从“何时开始、何时结束”的特点来研究下列信号的特点:

$$(1) x_1(t) = \sin t; \quad (2) x_2(t) = \begin{cases} 2, & t > 1 \\ 0, & t < 1 \end{cases};$$

$$(3) x_3[n] = \begin{cases} -1, & n \leq 0 \\ 0, & n \geq 1 \end{cases}; \quad (4) x_4[n] = \begin{cases} -1, & n \leq 2 \\ 0, & n \geq 3 \end{cases}.$$

解 (1) $x_1(t) = \sin t$ 是无始无终信号;

(2) $x_2(t) = \begin{cases} 2, & t > 1 \\ 0, & t < 1 \end{cases}$ 是有始无终信号,而且是因果信号;

(3) $x_3[n] = \begin{cases} -1, & n \leq 0 \\ 0, & n \geq 1 \end{cases}$ 是无始有终信号,是非因果信号,也是反因果信号;

(4) $x_4[n] = \begin{cases} -1, & n \leq 2 \\ 0, & n \geq 3 \end{cases}$ 是无始有终信号,是非因果信号,但不是反因果信号。

1.2 常用信号

此处仅介绍数学中学过的常规信号,至于本书中的特殊信号将在第 2 章讲解。

1.2.1 常用连续信号

1. 三角函数形式的信号

例 $x(t) = A \sin(\omega_0 t + \phi_0)$ 是三角函数信号,如图 1-2 所示。其中, A 为振幅, ω_0 为角频率, ϕ_0 为初相位, $\varphi(t) = \omega_0 t + \phi_0$ 称为瞬时相位。当然,这样的信号也可以用余弦函数来描述。

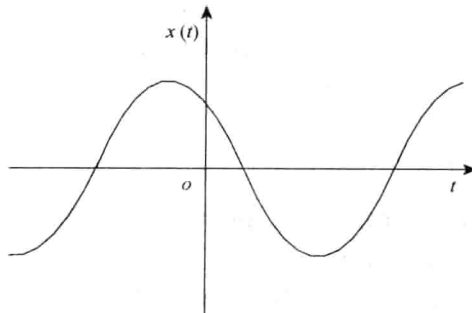


图 1-2 余弦(正弦)形式的信号