



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电气自动化类 国家级特色专业系列规划教材

信号与系统分析

(第二版)

邹云屏 林桦 邹旭东 编著



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电气自动化类国家级特色专业系列规划教材

信号与系统分析

(第二版)

邹云屏 林 桦 邹旭东 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面系统地论述了信号与系统分析的基本理论、分析方法及其主要应用,并对数字信号处理的基础作了简要的介绍。全书共7章,内容包括信号与系统概述、LTI系统的时域分析、连续时间信号与系统的 Fourier 分析、离散时间信号与系统的 Fourier 分析、Laplace 变换与 LTI 连续时间系统的 S 域分析、Z 变换与 LTI 离散时间系统的 Z 域分析,以及连续时间与离散时间系统的状态变量分析。本书第二版增加了 MATLAB 分析方法。书中每章都有一定数量的例题、足够数量的精选习题,供读者作业和复习时选用。

本书可作为电气工程类、自动化类专业的本科生教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统分析/邹云屏,林桦,邹旭东编著. —2 版. —北京:科学出版社,2009

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·普通高等教育电气自动化类国家级特色专业系列规划教材)

ISBN 978-7-03-025429-0

I. 信… II. ①邹…②林…③邹… III. ①信号分析-高等学校-教材
②信号系统-系统分析-高等学校-教材 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 153138 号

责任编辑:匡 敏 潘斯斯/责任校对:陈玉凤
责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

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>

丽源印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 3 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 8 月第 二 版 印张:23 1/4

2009 年 8 月第四次印刷 字数:451 000

印数:7 001—10 500

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

本书是 2003 年科学出版社出版的本科生教材《信号与系统分析》的第二版。虽然是为了满足电气工程类及其相关专业“信号与系统”主干课程的教学需要而编写的,但是,正如 Alan V. Oppenheim 等在他们编著的“Signals & Systems”的第二版前言所说,信号与系统“While such courses are frequently found in electrical engineering curricula, the concepts and techniques that form the core of the subject are of fundamental importance in all engineering disciplines”。的确,信号与系统的概念出现在各种领域中,范围极为广泛,与这些概念相关的思想和方法在科学技术的很多领域起着重要的作用。尽管在各个不同的领域中所出现的信号与系统的物理性质可能完全不同,并且表现形式各异,但究其本质而言,均具有两个基本的共同点:第一,信号是变量(一个或多个变量)的函数,包含了某些不同性质的现象的信息,只不过是领域不同,有不同的叫法而已。例如,可以不称其为信息,而称其为刺激、冲激、激励或影响因素等;第二,系统总是对给定(输入)的信号作出响应而产生另外的(新的)信号输出,或是产生某些所需的特性(结果)。例如,一个电路就是一个系统,电流或电压信号是时间的函数,包含了电流或电压的大小、频率和相位等信息。对于同一个电路,在输入不同的电流时,电路将产生不同的电压输出;对于不同的电路,在输入相同的电流时,电路也将产生不同的电压输出。理论上这是系统输入、系统函数、系统输出三者的函数关系。又如一部汽车,也是一个系统。汽车发动信号是时间的函数,包含了手刹的位置、挡位、灯光、转向指示灯、温度、油门等信息;驾驶员踩油门是给汽车一个输入信号,汽车就会加速行驶,这是汽车对输入信号的响应而产生的输出。同一个司机所踩油门开启的大小不同,对于同一部汽车,其行驶速度快慢不同;同一个司机所踩油门开启的大小相同,对于不同的汽车,其行驶速度快慢也不相同。理论上这同样也是系统输入、系统函数、系统输出三者的函数关系。所以,“信号与系统”课程的一些基本概念和方法,对于所有工程类的专业来说都是很重要的。

关于对“信号与系统”课程的处理和论述的基本宗旨和看法,第二版与第一版基本相同,保持了第一版的特点。但是第二版在内容的组织和选取上有较大的变化,并有较多的增补,其中最大的变化是应用了 MATLAB 工具,使信号与系统的分析和设计方法得以在计算机上实现,并增加了新的解题方法。全书新增例题 27 个,强化在电气工程中的应用知识。对模拟滤波器的设计作了大幅度删减,对第一版中的第 1 章和第 2 章的内容也作了较大的调整,新增精选习题 13 个,从而使第二版教材在结构体系和内容取舍等方面更具合理性、系统性和科学性,理论联系实际,更好地满足课程教学的需要。

有关连续时间信号与系统和离散时间信号与系统的概念和方法都有着悠久的历

史,且在概念上密切相关,但两者在应用上却相距甚远,因而其大部分的研究和发展在相当程度上都是相对独立进行的。连续时间信号与系统在物理学、近代电路理论和通信系统等方面的应用有很深的渊源,而离散时间信号与系统在数值分析、统计学和经济学等数据分析应用方面有很深的根基。近几十年以来,由于高速数字计算机、大规模和超大规模集成电路和器件、系统的实现和信号产生技术等方面取得了高速的发展,使得连续时间信号与系统和离散时间信号与系统日益交融在一起,两者在应用上也日趋结合,两者之间的一些概念和方法也紧密联系在一起。鉴于此,本书将离散时间和连续时间的概念糅合在一起,以并行的方式建立了连续时间和离散时间信号与系统的分析方法。教学实践证明,这种理念在教学上是十分可取的。正如本书第一版前言所述,这样做,可以利用连续和离散时间方法之间的共同点来分享各自所获得的理性和感性知识,而二者之间的差异又可以用来加深理解各自不同的特征,相互“映射”。本书就采样、滤波、滤波器、LTI 系统的网络结构图、连续时间信号的离散时间处理、快速 Fourier 变换的应用等方面的内容都作了入门性介绍,这样做不仅让学生了解到目前所学内容的某些应用和进一步研究的方向,而且有助于加深学生对所学知识的理解。

全书共分 7 章。第 1 章为信号与系统概述。从信号与系统的基本概念入手,将连续时间和离散时间的概念糅合在一起,介绍了某些最重要的基本连续时间和离散时间信号,即实指数和复指数信号、连续时间和离散时间的单位冲激(采样)和单位阶跃信号等,以及信号的基本运算和信号的单位冲激信号表示,讨论了一个信号独立变量的某些变换和连续时间信号的波形变换。本章介绍了系统的表示和系统之间的相互联结,分析了几个基本的系统,如线性系统、时不变系统、因果系统、稳定系统和可逆系统等,并讨论了 LTI 系统的因果性、线性、时不变性及系统分析方法。第 2 章介绍了 LTI 系统的时域分析。采用小并行的方法介绍时域中的 LTI 连续时间系统和离散时间系统。首先基于 LTI 系统的线性、时不变性,结合单位冲激响应和单位采样响应的移位性质建立连续时间 LTI 系统的卷积积分表示,离散时间 LTI 系统的卷积和表示,以及求线性卷积的计算方法和运算规律;利用单位冲激响应和单位采样响应对 LTI 系统的性质作进一步的研究。然后详细地讨论了 LTI 连续时间系统和离散时间系统的数学模型及其求解的方法。对于求解线性常系数微分方程的经典法,因高等数学中讨论得很详细,本书不予讨论。另外,本章对于微分方程在时间上的离散化和 LTI 系统的网络结构图作了入门性介绍,为系统设计和数字化处理打下基础。第 3 章和第 4 章采用大并行的方法讨论 LTI 连续时间信号与系统和离散时间信号与系统的 Fourier 分析。在这两章中都讨论了周期信号的 Fourier 级数表示,都是采用将一个周期信号的周期任意趋大时求其 Fourier 级数的极限来导出非周期信号的 Fourier 变换(CTFT 与 DFT),强调了 Fourier 级数和 Fourier 变换之间的密切关系,讨论了 Fourier 变换的性质,都是利用变换法来确定由微分和差分方程所描述的 LTI 系统的频率响应,表现出连续时间和离散时间 Fourier 表示的完全对偶关系。同时对比两者的不同点来加深对各自特征的理解:第 3 章介绍了周期信号的 Fou-

rier 变换、LTI 连续时间系统的频域分析,包括电路系统的频域分析。另外,对连续时间信号的采样、无失真的传输与滤波也作了入门性介绍。第 4 章利用离散时间系统的频率响应推导出离散时间信号 Fourier 变换(DTFT);为提高离散 Fourier 变换(DFT)的速度,介绍了 DFT 的快速算法,即快速 Fourier 变换(FFT)。对 FFT 变换的应用作了入门性介绍。第 5 章和第 6 章采用大并行的方法,介绍了 LTI 连续时间信号与系统和离散时间信号与系统的复频域分析,即 Laplace 变换与 Z 变换、 S 域分析与 Z 域分析。在这两章中对信号在复频域中的变换、收敛域、变换的性质及反变换方法,以及 LTI 系统在复频域中的分析都作了介绍;对相应的滤波器(模拟滤波器和数字滤波器)也作了入门性介绍。第 5 章突出了用 Laplace 变换法分析电路,选择性介绍了一种高速 Laplace 反变换(FILT)数值算法,以满足部分读者在 S 域中进行反变换数值计算的需要。第 6 章梳理了 Laplace 变换、Fourier 变换与 Z 变换的关系,为满足信号重建的需要,对频域采样作了入门性介绍。状态变量分析法是应计算机技术的发展而产生的系统分析方法,揭示了系统的内部结构及系统的输入输出与系统内部变量之间的关系,分析多输入多输出的系统具有重要的意义。第 7 章采用小并行的方法,从 LTI 系统的系统状态、状态变量、状态方程与输出方程等基本概念入手,介绍了 LTI 连续时间系统和离散时间系统状态方程的建立、时域求解和复频域(S 域和 Z 域)求解方法,分析了系统的稳定性、可控性和可观性。

邹旭东副教授参加了本书第二版的全部修订工作,提出了很多合理性修订意见,并负责第二版的定稿。另外,我们编写的与本书配套的辅导教材《信号与系统分析学习指导与题解》即将出版,该辅导教材配有本书每章习题的详细解答过程和参考答案,届时欢迎广大读者使用,并提出宝贵意见。硕士研究生黄岚、崔磊等为本书修订提供了图表、MATLAB 程序,并做了书稿录入及校正工作,在此对他们的辛勤劳动表示感谢并对所有关心、帮助、支持本书再版的人表示衷心的感谢。

由于时间和作者学识有限,书中不足之处在所难免,恳请使用本书的教师、学生、专家不吝提出宝贵意见,谢谢。

本书配有电子课件,由黄劲老师制作,将赠送给使用本书作为教材的任课教师,有需要的教师请与责任编辑联系(电话:010-64034873)。

作 者

2009 年 6 月于华中科技大学

第一版前言

21 世纪是信息时代,科学技术工作者面临着对一些复杂的过程进行分析或综合的新挑战。有关信息的基本理论和相关技术,已经成为所有工程技术人员和科学工作者不可缺少的必备知识。信号与系统分析方法潜在的和实际应用范围都一直在扩大,对于所有工程的专业来说,都要应用信号与系统的概念和理论。为适应 21 世纪科学技术的发展 and 社会主义市场经济对人才的需求,加强基础,拓宽专业,增强适应性,注重人才综合素质的培养,已成为社会各界的共识。作为研究信号和系统分析的基础理论和方法的一门基础课程——信号与系统,越来越多的专业将其作为专业主干课列入教学计划,我校从 1999 年开始,按教育部专业设置的有关规定,将该课程作为电气工程类专业的主干课。本书是为了满足电气工程类及其相关专业“信号与系统”课程的教学而编写的。本书是华中科技大学立项的重点建设教材。

本书是结合作者长期以来的教学实践经验,吸收了国内外诸多教材(见参考书目)的长处而编写出来的。

本书以信号与系统的各种变换、分析为主线构成其内容体系,信号侧重变换,系统侧重分析。合理处理连续和离散系统之间的有机联系。本书以先“连续”后“离散”的并行方式建立连续和离散时间信号与系统的分析方法,将二者基本概念和共同问题糅合在一起,对时域分析和状态变量分析采用小并行处理,对频域(Fourier 变换)和复频域(S 域、 Z 域)分析采用大并行处理,这在教学上也是可行的。这样做,可以利用连续和离散时间方法之间的共同点来分享各自所获得的理论和感性知识,而二者之间的差异又可用来加深理解各自不同的特征,相互“映射”。在连续时间系统的时域分析中,采用算子概念讨论时域分析方法,削弱了经典解法。本书对数字信号处理的基础作了简要的介绍,并注重该学科在电气工程领域中的应用。

本书力图精选内容,突出重点。本书取材合适,编排合理,图文配合得当,例题与理论叙述相互补充,便于阅读。书中每章都有足够数量精选的习题,供复习和作业时选用。书中标有“*”的内容为选学内容。

本书由邹云屏教授主编,林桦任副主编。其中,林桦编写了第 7 章,其余各部分由邹云屏执笔。

本书由熊蕊教授主审。课程组的李开成教授、何俊佳教授、陈亚波和黄劲老师审阅了本书的初稿;另外,本书在编写过程中得到了我校教务处,电气与电子工程学院,应用电子工程系的领导、老师和同事们的大力支持和热情帮助;博士研究生邹旭东、丁凯,硕士研究生林磊、陈志洋、张杰、张允、许云、吴智超、王成智、王展、聂愿愿等同学为本书制图、书稿的计算机录入等付出了辛勤劳动。同时,本书在编写过程中还参阅了国内外大量著作、文献和资料。对以上各位,作者表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加上作者学识有限,缺点和错误之处在所难免。恳请使用本书的教师、学生、专家不吝提出宝贵意见。

作者

2002 年 12 月于华中科技大学

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 信号与系统概述	1
1.1 信号	1
1.1.1 信号的定义	1
1.1.2 信号的分类	2
1.1.3 信号的分解	5
1.1.4 信号分析与处理	10
1.2 连续时间信号	11
1.2.1 常见的连续时间信号	11
1.2.2 连续时间信号的基本运算与波形变换	19
1.2.3 连续时间信号的 MATLAB 分析	23
1.2.4 用 $\delta(t)$ 表示连续时间信号	24
1.3 离散时间信号—序列	25
1.3.1 常见的离散时间信号	25
1.3.2 离散时间信号的基本运算	28
1.3.3 序列的周期性和能量	29
1.3.4 用 $\delta(n)$ 表示离散时间信号	30
1.4 系统	32
1.4.1 系统的定义	32
1.4.2 系统的分类	32
1.4.3 系统的表示	33
1.4.4 系统间相互联结	33
1.5 线性时不变系统	34
1.5.1 线性系统	34
1.5.2 时不变系统	34
1.5.3 因果系统	35
1.5.4 稳定系统	36
1.5.5 可逆系统	36
1.5.6 系统分析方法	36
习题 1	37

第2章 LTI系统的时域分析	42
2.1 LTI连续时间系统:卷积积分	42
2.1.1 卷积积分	42
2.1.2 卷积积分的图解计算	43
2.1.3 卷积积分的性质	45
2.2 LTI离散时间系统:卷积和	49
2.2.1 卷积和	49
2.2.2 卷积和的计算	50
2.2.3 卷积和的运算规律	55
2.3 LTI系统的性质	55
2.3.1 系统的记忆性	56
2.3.2 系统的可逆性	56
2.3.3 系统的稳定性	58
2.3.4 系统的因果性	59
2.4 LTI连续时间系统的数学模型及求解	61
2.4.1 LTI连续时间系统的数学模型——线性常系数微分方程	61
2.4.2 微分算子与微分方程	63
2.4.3 求解线性常系数微分方程	67
2.5 LTI离散时间系统的数学模型及求解	73
2.5.1 LTI离散时间系统的数学模型——线性常系数差分方程	73
2.5.2 经典法求解常系数线性差分方程	74
2.5.3 递推法求解常系数线性差分方程	78
2.5.4 零输入响应和零状态响应法求解常系数线性差分方程	79
2.6 微分方程在时间上的离散化	81
2.7 LTI系统的网络结构图表示	86
2.7.1 LTI离散时间系统的网络结构图表示	86
2.7.2 LTI连续时间系统的网络结构图表示	89
习题2	90
第3章 连续时间信号与系统的 Fourier 分析	95
3.1 周期信号的表示——连续时间 Fourier 级数	95
3.1.1 周期信号	95
3.1.2 周期信号的表示——连续时间 Fourier 级数	96
3.1.3 Fourier 级数系数的确定	98
3.2 非周期信号的表示——连续时间 Fourier 变换	102
3.2.1 非周期信号	102
3.2.2 Fourier 变换的导出	102
3.3* Gibbs(吉伯斯)效应	109

3.3.1	Fourier 级数的收敛	109
3.3.2	Fourier 变换的收敛	110
3.3.3	Gibbs 效应	111
3.4	周期信号的 Fourier 变换	112
3.4.1	Fourier 级数系数作为一个周期内的 Fourier 变换的样本	112
3.4.2	周期信号的 Fourier 变换	113
3.5	连续时间 Fourier 变换的性质	115
3.5.1	线性	115
3.5.2	时移和频移性质	116
3.5.3	对偶性	118
3.5.4	共轭及共轭对称性	119
3.5.5	时域微分和积分	121
3.5.6	尺度变换	122
3.5.7	频域微分特性	124
3.5.8	时域和频域卷积定理	125
3.6	LTI 连续时间系统的频域分析	129
3.6.1	LTI 连续时间系统的频域分析	129
3.6.2	系统的频域响应	132
3.6.3	电路系统的频域分析	134
3.7	连续时间信号的采样	136
3.7.1	采样过程	137
3.7.2	采样定理	138
3.8	无失真传输与滤波	139
3.8.1	信号的无失真传输	140
3.8.2	信号的滤波	141
习题 3		146
第 4 章	离散时间信号与系统的 Fourier 分析	151
4.1	离散系统的频率响应	151
4.1.1	系统的频率响应	151
4.1.2	系统频率响应的两个特征	153
4.2	离散信号(序列)的 Fourier 变换	154
4.2.1	序列的 Fourier 变换	154
4.2.2	输出序列与输入序列 Fourier 变换间的关系	155
4.2.3	序列 Fourier 变换的对称性	156
4.3	离散 Fourier 级数	158
4.3.1	离散 Fourier 级数	159
4.3.2	离散 Fourier 级数的性质	161

4.4	离散 Fourier 变换	163
4.4.1	离散 Fourier 变换	163
4.4.2	离散 Fourier 变换的性质	168
4.4.3	用 DFT 计算线性卷积	173
4.5	快速 Fourier 变换	176
4.5.1	FFT 的基本思想	176
4.5.2	按时间抽取的 FFT 算法	177
4.5.3	按频率抽取的 FFT 算法	189
4.5.4	IFFT 计算方法	196
4.5.5	快速 Fourier 变换的应用	197
习题 4		205
第 5 章	Laplace 变换与 LTI 连续时间系统的 S 域分析	210
5.1	Laplace 变换	210
5.1.1	Laplace 变换的定义	210
5.1.2	Laplace 变换的收敛域	211
5.2	Laplace 反变换	213
5.2.1	部分分式展开法	214
5.2.2	留数定理法	217
5.2.3*	数值法	218
5.3	Laplace 变换的性质	220
5.4	用 Laplace 变换法分析电路	223
5.4.1	Laplace 变换的优点	223
5.4.2	电路及元件的 Laplace 变换	225
5.5*	高速 Laplace 反变换	227
5.5.1	FILT 的理论推导	228
5.5.2	Euler 变换	228
5.5.3	FILT 的计算程序	230
5.6	LTI 连续时间系统的 S 域分析	232
5.6.1	S 域分析法	232
5.6.2	计算系统函数	233
5.6.3	系统函数零极点分布与 LTI 连续时间系统时域特性	236
5.6.4	系统函数零极点分布与 LTI 连续时间系统频率特性	237
5.6.5	波特图	240
5.7*	模拟滤波器	247
5.7.1	模拟滤波器的原理	247
5.7.2	模拟滤波器的分类	247
5.7.3	模拟滤波器的设计	248

习题 5	253
第 6 章 Z 变换与 LTI 离散时间系统的 Z 域分析	258
6.1 Z 变换	258
6.1.1 Z 变换的定义	258
6.1.2 Z 变换的收敛域	259
6.1.3 几种常见的典型序列的 Z 变换及收敛域	261
6.2 Z 反变换	267
6.2.1 Z 反变换公式	267
6.2.2 留数定理法	268
6.2.3 幂级数法	270
6.2.4 部分分式展开法	271
6.3 Z 变换的性质	274
6.4 Laplace 变换、Fourier 变换与 Z 变换的关系	281
6.4.1 Z 变换与 Laplace 变换的关系	281
6.4.2 Z 变换与 Fourier 变换的关系	284
6.4.3 序列的 Fourier 变换与 Laplace 变换的关系	284
6.5 LTI 离散时间系统的 Z 域分析	285
6.5.1 利用 Z 变换解线性常系数差分方程	285
6.5.2 系统函数和差分方程的关系	288
6.5.3 系统函数极点分布对 LTI 离散时间系统稳定性的影响	289
6.6 频域采样	292
6.6.1 DFT 和 Z 变换与 Fourier 变换的关系	292
6.6.2 频域采样	294
6.7 数字滤波器	297
6.7.1 数字滤波器的原理	297
6.7.2 FIR 数字滤波器	298
6.7.3 IIR 数字滤波器	298
习题 6	300
第 7 章 连续时间与离散时间系统的状态变量分析	304
7.1 状态变量和状态方程	304
7.1.1 系统状态与状态变量	304
7.1.2 状态方程与输出方程	306
7.2 状态方程的建立	310
7.2.1 连续时间系统状态方程的建立	310
7.2.2 离散时间系统状态方程的建立	319
7.3 连续时间系统状态方程的解法	322
7.3.1 连续时间系统状态方程的时域解法	322

7.3.2 连续时间系统状态方程的 S 域解法	325
7.4 离散时间系统状态方程的解法	328
7.4.1 离散时间系统状态方程的时域解法	329
7.4.2 离散时间系统状态方程的 Z 变换解法	331
7.5 系统的稳定性	333
7.5.1 连续时间系统的稳定性	333
7.5.2 离散时间系统的稳定性	334
7.6 系统的可控性和可观测性	335
7.6.1 系统的可控性	336
7.6.2 系统的可观测性	339
习题 7	344
附录 A 矩阵函数的计算	349
附录 B 凯莱-哈密顿定理	353
参考文献	356

第 1 章 信号与系统概述

1.1 信 号

信号与系统的概念出现在各种领域中,而与其概念相关的思想和方法在各种领域中起着重要的作用。尽管在不同领域中出现的信号与系统的物理性质各异,但均具有两个基本的共同点:其一,作为变量函数的信号包含了某些现象性质的信息;其二,系统总是对给定的信号作出响应而产生另外的信号输出或产生某些所需的特性。本章讨论信号与系统的定义、分类、表示,给出常见的连续时间与离散时间信号及其基本运算方法,在此基础上讨论并分析线性时不变系统。

1.1.1 信号的定义

当今社会已经进入了信息时代,人们每时每刻都可以从各种媒体上获得许多信息。这些信息日益深入地影响人们的日常生活和各种活动。实际上,不仅仅是人类社会能接受信息,其他生物或非生物也能接受信息或受到信息的作用和影响,只不过是领域不同,有不同的叫法而已。例如,我们可以不称其为信息,而称其为刺激、冲激、激励或影响因素等。那么,信息究竟是什么?信息是指人类社会和自然界中需要传送、交换、存储和提取的有一定意义的内容。信号就是信息的载体,是信息的物理表现。信息是丰富多彩的。自古以来,人类一直在寻求各种方法通过信号实现信息的传输、记忆、分析、处理和变换。从结绳记事、烽火台的狼烟报警到交通路口的红绿灯指示,到信号的语言表达和符号描述,再到现在全球的信息高速公路,人类在信息技术领域取得了一次又一次的长足进步和发展。

广义地说,信号是随时间变化的某种物理量。或者说,信号总是某种物理量(如声、光、电等)的变化,可以表示为一种承载信息的函数。信号所含的信息总是寄寓在某种形式的波形中,数学上可以表示为一个或者多个变量的函数,且常以时间作函数的自变量。例如正弦函数、阶跃(step)函数等,都可以作为一种信号。尽管通常以时间作函数的自变量,但有时也不一定非以时间作自变量不可,也不一定只限于一个自变量。例如,电路中的电压和电流信号是随时间变化的函数;海洋观察中的压力、温度和流速是深度的函数;一个语言信号可以表示为声压随时间变化的函数,一张黑白照片就可以用亮度随二维变量变化的函数表示;而现实的图像场景需用三维空间和四个变量的函数来描述。

本书的讨论范围仅限于某一变量的函数,而且为方便起见,在讨论中一般是用时间来表示自变量,尽管在某些具体应用中自变量不一定是时间。

1.1.2 信号的分类

对于信号,可以从不同的角度进行分类。信号按属性可分为电信号与非电信号两类;按数学的对称性,可分为奇信号、偶信号、非对称性信号;从能量角度出发,可分为功率信号与能量信号;从时间自变量是否连续取值,可分为连续时间信号与离散信号等等。这里仅从信号的数学描述出发,讨论带有普通意义的信号分类,介绍几种与信号的性质与特征有关的信号分类。

1. 连续时间信号与离散时间信号

连续时间信号 $x(t)$,简称为连续信号,其自变量 t 是连续可变的。连续时间信号即指在规定的连续时间内,信号的幅值可以是连续值,也可以是离散值(其幅度随时间 t 作跳跃式变化)的信号,如图 1-1 所示。

离散时间信号 $x(n)$,简称离散信号。离散时间信号是指在一组离散的时间下的信号,其幅值可以是连续的,也可以是离散的。最常见的离散时间信号是按一定时间间隔采样的模拟信号,因而离散时间信号又称为采样信号或序列,如图 1-2 所示。

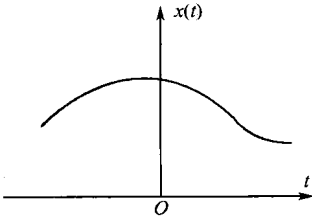


图 1-1 连续时间信号的波形

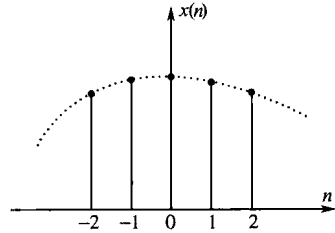


图 1-2 离散时间信号的波形

2. 模拟信号与数字信号

模拟信号是指在连续时间范围内,其幅度是连续的信号,也就是说,模拟信号是指定义域和值域均连续的信号。例如通常讲的三相交流电压、交流电流都是模拟信号。值得指出的是,连续时间信号与模拟信号常用来说明同一信号,可以通用。模拟信号常可以看作是连续时间信号的一个特例,因而一般都采用连续时间信号这一名字。但在谈及数字信号时,往往采用模拟信号这个名字。

数字信号通常是指将模拟信号在时间上和幅值上都经过量化后得到的信号,也就是说,数字信号是指定义域和值域均离散的信号。所谓量化,是利用一组数值来表示变量的过程。所以,数字信号可以用一系列的数来表示。同样,离散时间信号与数字信号也经常用来说明同一信号,因而离散时间信号的一些理论也适用于数字信号。

3. 周期信号与非周期信号

如果一个定义在 $(-\infty, \infty)$ 区间的连续时间信号 $x(t)$,那么对一切 t ,存在某个正的非零值 T ,有

$$x(t) = x(t + kT) \quad k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (1-1)$$

其中, k 为任意整数, 则称 $x(t)$ 为周期信号, 其周期为 T , 如图 1-3(a) 所示。反之, 若式(1-1)不成立, 则称 $x(t)$ 为非周期信号, 如图 1-4(a) 所示。

同样, 一个定义在 $(-\infty, \infty)$ 区间的离散信号 $x(n)$, 对全部 n , 存在某个正的非零值 N , 有

$$x(n) = x(n + kN) \quad k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (1-2)$$

则称 $x(n)$ 为周期信号, 其周期为 N , 如图 1-3(b) 所示; 否则, 称 $x(n)$ 为非周期信号, 如图 1-4(b) 所示。

显然, 周期信号每隔一定时间间隔(周期), 按相同规律重复变化, 如图 1-3 所示; 非周期信号不具备这种重复性, 其波形在有限的时间范围内不会重复出现, 如图 1-4 所示。不难看出, 也可把非周期信号看成周期为无穷大的周期信号。

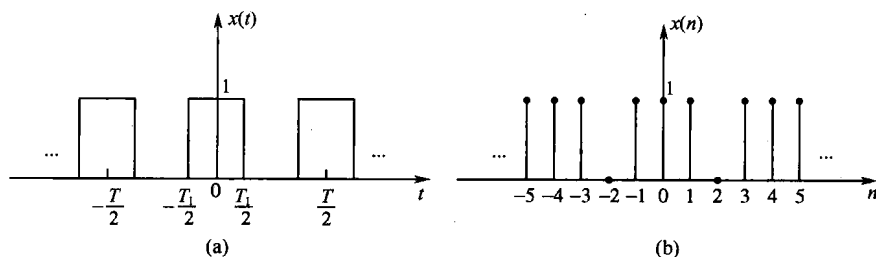


图 1-3 周期信号

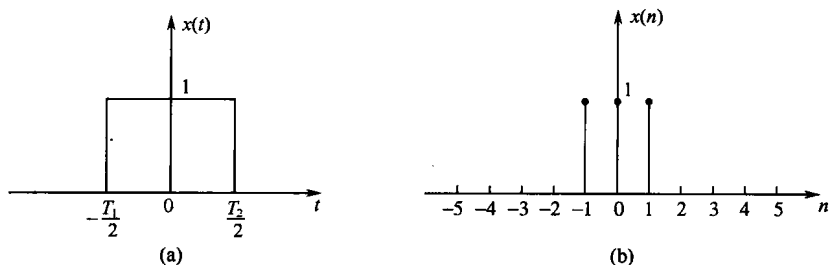


图 1-4 非周期信号

4. 能量信号与功率信号

信号 $x(t)$ 看作电压或电流, 若 $x(t)$ 加在 1Ω 电阻的两端时, 则这时提供给电阻的瞬时功率为 $|x(t)|^2$, 在 $(-T, T)$ 区间提供的能量为 $\int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$, 在 $(-\frac{T}{2}, \frac{T}{2})$ 区间的平均功率为 $\frac{1}{T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$ 。对连续信号 $x(t)$ 和离散信号 $x(n)$, 分别定义它们的能量为