

普通高等教育“十二五”重点规划教材

Nucleus
新核心

理工基础教材

信号与系统

胡光锐 徐昌庆 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

014013193

TN911.6-43
94

普通高等教育“十二五”重点规划教材

信号与系统

胡光锐 徐昌庆 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



北航

C1700452

TN911.6-43
94

381810310

内容提要

本书主要参照了1995年出版的《信号与系统》(上海交通大学出版社)教材,吸收了众多国内外同类教材的精华,除了保留传统的内容,即确定性信号经线性非时变系统传输与处理的基本概念与基本分析方法以外,增加了小波与小波分析方面的最基本内容。这是对信号与系统教材编写的改革初探,旨在使本课程的教学内容能够适应快速发展的信息科学与技术需要。

本书在内容编排上采取了按知识点要求分头并进的方法,先时域后变换域,从傅里叶分析过渡到小波分析,再转到复频域分析,各方面的知识点紧密关联。全书共有10章,包括信号的函数表示与系统分析方法、连续时间系统的时域分析、离散时间系统的时域分析、连续信号的傅里叶分析、连续时间系统的频域分析、离散时间信号与系统的傅里叶分析、小波与小波分析、拉普拉斯变换与连续时间系统的复频域分析、 z 变换与离散时间系统的 z 域分析、状态方程与状态变量分析法等。书中各块内容都以电子信息与通信工程为主要应用背景,通过大量的实训,帮助读者深刻地理解与掌握。

本书可作为高等院校电气、电子与信息、控制及其他理工科类专业的信号与系统教材,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/胡光锐,徐昌庆编著. —上海:上海交通大学出版社,2013

ISBN 978-7-313-10376-5

I. 信... II. ①胡... ②徐... III. 信号系统 IV. TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第243954号

信号与系统

编 著:胡光锐 徐昌庆

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海春秋印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:868千字

版 次:2013年12月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-10376-5/TN

定 价:50.00元

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:35

印 次:2013年12月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-33854186

前言

作为电类本科生重要的专业基础课“信号与系统”,其基本内容及教学要求长期保持相对稳定。因此,国内外众多的“信号与系统”教材,包括有些十分优秀的教材,在内容安排上几乎仍然保持着一贯的传统,即确定性信号经线性非时变系统传输的基本理论与方法。

有两方面的原因推动我们做一些教材改革的尝试。首先也是最主要的原因是傅里叶方法分析得到了划时代的发展,形成了比较成熟的小波分析理论与方法,并得到了极其广泛的应用。傅里叶分析方法借助正弦曲线展开信号或函数,把信号分为不同频率的分量,然后根据需要进行相应的处理,因此比较适合对那些具有近似周期性的波动信号或统计特征依时间不变的信号进行处理。然而,对于具有孤立尖峰的信号,用经典的傅里叶方法对其处理则效果甚差,这是由于该方法对分析信号的时间周期不可调,都是以基波频率 ω_1 对应的 T 为周期,因此没有能力对于那些夹带着的持续时间远小于 T 、频率很高的短时脉冲信号进行展开分析,而近20年来已经发展成熟的小波技术却能很好地解决这类问题。这种替代正弦波的小波既可以沿时间轴平移至孤立尖峰出现的区域,又可以按比例压缩或伸展,以获取与孤立尖峰相应的高频及与其他信号相应的低频,在此基础上,再用合理的算法,对展开的系数进行处理,从而达到满意的处理效果。小波在时域和频域同时具有的局部化特性集中体现在多分辨率分析,非常有利于各分辨率不同特征的提取,如图像压缩,边缘抽取,噪声过滤等,因此小波分析方法近十年来在信号处理、图像处理与分析、语音识别与合成、医学成像、机器视觉、地震检测与地质勘探等众多领域得到广泛应用。原则上说,传统上使用傅里叶分析的地方,现在都可以用小波分析取代。所以,作为傅里叶分析方法的延伸及对信号分析基本理论与方法的补充,有理由在传统的“信号与系统”内容范围以外增加小波与小波分析的基本理论与方法介绍。尽管这会超出确定性信号的范畴,涉及统计特征是时间的函数的非平稳信号概念,但这并不贯穿全书,只是仅仅涉及一章内容,因此没有从根本上改变原来信号与系统的基本理论和方法。

其次,由于教学改革持续推进,大部分课程的授课课时减少已呈趋势。为了适应这种改变,保证良好的教学质量,一方面需要不断改进教学方法,激励学生主动学习。另一方面也要在教材内容编排上作进一步的优化,针对连续时间信号和离散时间信号、连续时间系统和离散时间系统,相应地进行理论和方法介绍,这样既有助于学生以统一的方式,思考连续和离散时间信号与系统的问题,也可尽量减少授课老师在课堂上对相关理论和方法的重复介绍。

本书共有10章,全书内容采取按知识模块连续和离散分头并行的方法,分析方法和信号与系统教材类似,按时域分析、变换域分析和状态变量分析的次序展开。

第1章讨论了信号的分类与基本运算,介绍了信号的函数与图形表示方法,定义了几种典型的连续与离散时间信号,对冲激函数和单位样值序列作了较为充分的介绍,重点分析了线性非时变系统的线性、非时变性及因果性。

第2章和第3章先后讨论了连续时间系统和离散时间系统的时域分析方法。其内容安排基本是并行式和对比式的,包括常系数微分方程和差分方程的求解、单位冲激/样值响应及阶跃响应、卷积积分和卷积和等,这些连续和离散对应的知识模块各自在理论和方法上都比较接近甚至相同。

第4章、第5章及第6章讨论了傅里叶分析方法。其中第4章针对连续时间信号,讨论了周期信号的傅里叶级数展开和非周期信号的傅里叶变换,章中介绍的正交基函数概念不但为傅里叶级数展开提供了理论依据,也为第7章的小波分析打下了必要的基础;第5章介绍连续时间系统的频域分析,所介绍的LTI系统响应频域求解、无失真传输、滤波、调制与解调等理论与方法应用背景明确、物理概念清晰,使读者能够更清晰地认识电子与通信工程的研究对象;第6章介绍的内容与第4、5章形成对应,只是从连续时间信号与系统转换到离散时间信号与系统,考虑到与后续的数字信号处理课程内容的分工和衔接,这章没有安排离散傅里叶级数及离散傅里叶变换的介绍。

第7章作为本书特色,借助基本的微积分及代数方法,在傅里叶方法基础上,以哈尔小波作为切入点,讨论了小波分析的最基本方法,包括紧支撑的正交尺度函数和小波的基本概念和理论、依小波的多分辨率分解、重构及迭代算法。由于哈尔小波是不连续的,不宜用它分析连续信号,为此引入了最典型的道比姬丝小波,举例说明了它的构造过程,分析了它的重要特性,介绍了二分点上的尺度函数构造方法。在编写本章时,考虑到教学对象,我们刻意避开了那些复杂的数学理论,尽可能以通俗易懂的方式把小波分析理论中最基本的内容介绍给读者,使读者能够在本科阶段就能初步领略到小波方法为信号处理带来的极大方便与好处。

第8章和第9章的内容安排风格与第3、第4章相同,也是并行对应讨论的。拉普拉斯变换用于分析连续时间系统,而 z 变换则是用于分析离散时间系统。考虑到内容的完整性,其中以一定的篇幅用于介绍拉普拉斯变换和 z 变换,不过教学时可以根据学习对象作选择性的安排。

第10章介绍状态方程与状态变量分析法。

本书各章都配有充分的习题,这些习题大多选自国内外的优秀教材,其中不乏结合实际应用并具有综合性的习题,也有各类考试的试题。习题编排时,按知识点掌握要求,采取由浅入深、先易后难、先简单后综合的编排方法,便于不同对象的读者选择。在本书的最后附有各个习题的简要答案。另外,在本书附录中还给出了小波分析的计算机程序,读者可以参考该程序,对部分重要且比较复杂的算法进行编程,然后对输入输出结果进行分析,这样就能深刻理解和掌握所学的知识,并且力求灵活应用。

本书主要面向高等学校电类各专业的二年级本科生,也可供有关科技人员参考。对于不同学时数的课程安排,授课老师可根据学生的专业需求,选择适当的章节和内容。例如,对于电子与信息类学生,如果安排4个学分(64~72学时),建议选择1~9章及第10章的前4节作为授课内容。而对于3个学分(48~54学时)的安排,如果不是控制专业的学生,则可选择1,2,3,4,5,6,8,9章。如果是控制专业的学生,3个学分的教学内容则建议安排1,2,3,4,5,6,8,9及10章的基本内容。不过,无论哪种选择,对于微分方程和差分方程的经典法求解,拉普拉斯

变换及电路的 s 域求解等内容都可适当地删减。

本书以胡光锐编写的《信号与系统》(上海交通大学出版社)为基础,由徐昌庆执笔改编各章并新编第 7 章。在第 7 章的编写过程中,承上海交通大学电子工程系陈文教授的多次指导和最后审阅。课程组的齐开悦、李丹两位老师提供了大量的参考习题,其他老师也都根据自己的教学经验与体会提出了许多建设性的意见。作者指导的数届研究生都曾为本书编写做了文字输入、习题整理与解答等工作。在此,一并向各方面给予帮助的领导、同事和研究生表示衷心的感谢。

承蒙上海交通大学出版社的大力支持,使本书得以按时顺利出版,在此深表谢意。

限于作者水平,加上时间和精力有限,书中存在的不妥和错误之处恳请读者批评指正。

作 者

2013 年 10 月

于上海交通大学电子工程系

目 录

第 1 章 信号的函数表示与系统分析方法	1
1.1 引言	1
1.2 信号的分类及其基本运算	2
1.2.1 信号的分类	2
1.2.2 信号的基本运算	6
1.3 连续信号的函数表示	11
1.3.1 典型的连续信号	11
1.3.2 奇异信号	14
1.4 离散信号的函数表示	21
1.5 信号的分解	26
1.5.1 直流分量与交流分量	26
1.5.2 偶分量与奇分量	26
1.5.3 脉冲分量分解	27
1.5.4 实分量与虚分量	27
1.5.5 正交函数分量	28
1.6 系统的数学模型及其分类	28
1.6.1 系统的数学模型	29
1.6.2 系统分类	29
1.7 系统的性质	31
1.7.1 可加性与比例性	31
1.7.2 非时变特性	32
1.7.3 微分特性与差分特性	34
1.7.4 因果性	34
1.7.5 稳定性	35
1.7.6 可逆性	35
1.8 系统的分析方法概述	36
1.9 本章小结	37
习题	37
第 2 章 连续时间系统的时域分析	43
2.1 引言	43
2.2 连续 LTI 系统的微分方程表示及其响应	43

2.2.1 微分方程的建立	43
2.2.2 常系数微分方程的求解	45
2.2.3 初始条件的确定	51
2.2.4 零输入响应与零状态响应	52
2.3 冲激响应与阶跃响应	56
2.3.1 冲激响应	56
2.3.2 阶跃响应	58
2.4 卷积积分	59
2.4.1 利用卷积积分求系统的零状态响应	59
2.4.2 卷积积分的图形解释	62
2.5 卷积积分的性质	64
2.5.1 卷积代数	65
2.5.2 卷积的微分与积分	67
2.5.3 面积性质	68
2.5.4 尺度变换性质	68
2.5.5 复数性质	69
2.5.6 与冲激函数或阶跃函数的卷积	69
2.5.7 时移性质	70
2.6 卷积积分的数值计算	72
2.7 本章小结	74
习题	74
第3章 离散时间系统的时域分析	81
3.1 引言	81
3.2 常系数线性差分方程及其求解	82
3.2.1 常系数差分方程的建立	82
3.2.2 差分方程的迭代解	83
3.2.3 差分方程的经典解	84
3.2.4 差分方程的零输入与零状态解	87
3.3 离散时间系统的单位样值响应和阶跃响应	89
3.4 “卷积和”的计算	91
3.5 本章小结	95
习题	96
第4章 连续信号的傅里叶分析	101
4.1 引言	101

4.2 用完备正交函数集表示信号	102
4.2.1 正交函数	102
4.2.2 信号分解为完备正交函数	106
4.3 周期信号的频谱——傅里叶级数	108
4.3.1 傅里叶级数的三角形式	108
4.3.2 傅里叶级数的复指数形式	109
4.3.3 两种形式间的联系	110
4.4 具有对称性的周期信号的傅里叶系数	112
4.4.1 偶对称信号	113
4.4.2 奇对称信号	114
4.4.3 奇谐信号	116
4.5 常用周期信号的频谱	118
4.5.1 周期矩形脉冲	118
4.5.2 对称方波	121
4.5.3 周期锯齿脉冲	124
4.5.4 周期三角脉冲	125
4.5.5 周期半波余弦	125
4.5.6 周期全波余弦	126
4.6 非周期信号的频谱——傅里叶变换	127
4.7 常用非周期信号的频谱	129
4.7.1 典型非周期信号的频谱	129
4.7.2 冲激信号与阶跃信号的频谱	134
4.8 傅里叶变换的性质	136
4.8.1 线性	137
4.8.2 奇偶虚实性	137
4.8.3 对称性	140
4.8.4 尺度变换	142
4.8.5 时移特性	144
4.8.6 频移特性	145
4.8.7 时域卷积定理	147
4.8.8 频域卷积定理	148
4.8.9 时域微分特性	149
4.8.10 频域微分特性	150
4.8.11 时域积分特性	150
4.8.12 频域积分特性	152
4.8.13 帕斯瓦尔定理	153

4.9 周期信号的傅里叶变换	154
4.9.1 正弦和余弦信号的傅里叶变换	154
4.9.2 一般周期信号的傅里叶变换	155
4.10 抽样定理	158
4.10.1 时域抽样	158
4.10.2 时域抽样定理	161
4.10.3 频域抽样	163
4.10.4 频域抽样定理	164
4.11 本章小结	164
习题	165
 第5章 连续时间系统的频域分析	173
5.1 引言	173
5.2 线性非时变系统的频率响应	174
5.3 线性系统对激励信号的响应	176
5.3.1 非周期性信号激励下系统的响应	176
5.3.2 周期信号激励下系统的响应	178
5.4 线性系统的信号失真	180
5.5 理想低通滤波器	183
5.5.1 理想低通滤波器及其冲激响应	184
5.5.2 理想低通滤波器的阶跃响应	185
5.6 频率选择性滤波器及可实现准则	188
5.6.1 时间连续频率选择性滤波器举例	188
5.6.2 物理可实现滤波器的准则	192
5.7 巴特沃兹滤波器与切比雪夫滤波器	193
5.8 傅里叶分析方法在通信系统中的应用	197
5.8.1 调制与解调	197
5.8.2 频分复用与时分复用技术	202
5.9 本章小结	205
习题	205
 第6章 离散时间信号与系统的傅里叶分析	212
6.1 引言	212
6.2 离散时间傅里叶变换	212
6.2.1 离散时间傅里叶变换的定义及收敛条件	212
6.2.2 典型非周期序列的频谱	214

6.3 离散时间傅里叶变换的性质	217
6.3.1 周期性	217
6.3.2 线性	217
6.3.3 对称性	218
6.3.4 时移性	220
6.3.5 差分性	220
6.3.6 频移性	221
6.3.7 时间和频率尺度特性	221
6.3.8 频域微分性质	223
6.3.9 帕斯瓦尔定理	223
6.4 卷积定理及其应用	224
6.5 离散时间系统的频率响应	228
6.5.1 一阶系统的频率响应	230
6.5.2 二阶系统的频率响应	231
6.6 离散时间系统的频率分析	233
6.7 本章小结	237
习题	237
第7章 小波与小波分析	243
7.1 引言	243
7.2 哈尔尺度函数和小波	245
7.2.1 哈尔尺度函数	245
7.2.2 哈尔尺度函数的性质	248
7.2.3 哈尔小波及其性质	248
7.2.4 哈尔小波分解	251
7.2.5 函数重构	255
7.3 小波系统的多分辨率分析	258
7.3.1 多分辨率框架	258
7.3.2 正交小波基及小波空间	259
7.3.3 小波与尺度函数的频域特性	264
7.3.4 多分辨率分解与重构	269
7.4 道比姬丝小波	274
7.4.1 道比姬丝小波的构造	275
7.4.2 道比姬丝小波的性质	278
7.4.3 道比姬丝小波的计算——二分点上的尺度函数	281
7.5 本章小结	285

习题	286
第8章 拉普拉斯变换及连续时间系统的复频域分析	290
8.1 引言	290
8.2 拉氏变换的定义和收敛域	291
8.2.1 从傅里叶变换到拉氏变换	291
8.2.2 拉氏变换的收敛域	293
8.3 常用信号的拉氏变换	295
8.4 拉氏变换的基本性质	297
8.4.1 线性	297
8.4.2 时移(延时)特性	299
8.4.3 s 域平移特性	301
8.4.4 尺度变换	302
8.4.5 时域微分	303
8.4.6 s 域微分	304
8.4.7 时域积分	306
8.4.8 s 域积分	309
8.4.9 时域卷积定理	309
8.4.10 时域相乘(复频域卷积)	311
8.4.11 初值定理	311
8.4.12 终值定理	313
8.5 周期信号与抽样信号的拉氏变换	315
8.5.1 周期信号的拉氏变换	315
8.5.2 抽样信号的拉氏变换	316
8.6 拉氏反变换	316
8.6.1 部分分式展开法	317
8.6.2 围线积分法(留数法)	323
8.7 利用拉氏变换进行电路分析	325
8.8 拉氏变换与傅氏变换之间的关系	328
8.9 连续时间系统的 s 域分析	330
8.9.1 系统函数	330
8.9.2 由系统函数的零、极点分布确定时域特性	332
8.9.3 由系统函数的零、极点分布确定频域特性	341
8.10 系统的稳定性	351
8.10.1 BIBO 稳定性准则	352
8.10.2 霍尔维茨稳定性准则	357

8.10.3 罗斯阵列判别准则	359
8.11 连续时间系统的模拟	362
8.11.1 连续时间系统的方框图表示	362
8.11.2 信号流图	364
8.12 本章小结	373
习题	373
第9章 z 变换与离散时间系统的 z 域分析	385
9.1 引言	385
9.2 z 变换的定义	385
9.3 z 变换的收敛域	387
9.4 基本离散信号的 z 变换	394
9.5 z 反变换	398
9.6 z 变换的基本性质	408
9.6.1 线性	408
9.6.2 位移性质	409
9.6.3 频移性质	411
9.6.4 序列指数加权(z 域尺度变换)	411
9.6.5 时间反转	412
9.6.6 z 域微分性质(序列线性加权)	412
9.6.7 初值定理	414
9.6.8 终值定理	415
9.6.9 时域卷积定理	416
9.6.10 z 域卷积定理(序列相乘)	417
9.6.11 共轭性质	419
9.6.12 帕斯瓦尔定理	419
9.7 z 变换与拉氏变换的关系	421
9.8 离散时间系统的 z 域分析	425
9.8.1 利用 z 变换求解差分方程	425
9.8.2 系统函数零、极点分布与系统特性的关系	427
9.8.3 利用系统函数的零、极点求频率响应	431
9.9 离散时间系统的模拟	434
9.10 本章小结	437
习题	437
第10章 状态方程与状态变量分析法	445

10.1 引言	445
10.2 系统状态方程的建立	447
10.2.1 连续系统状态方程的建立	448
10.2.2 离散系统状态方程的建立	456
10.3 连续系统状态方程的求解	462
10.3.1 状态方程的拉普拉斯解法	462
10.3.2 状态方程的时域解法	465
10.4 离散系统状态方程的求解	470
10.4.1 状态差分方程的 z 变换解	470
10.4.2 状态方程的时域解法	472
10.5 状态方程的数值解法	474
10.6 系统的可控性与可观性	476
10.6.1 状态矢量的线性变换	476
10.6.2 系统的可控性	480
10.6.3 系统的可观性	484
10.6.4 系统转移函数与可控性、可观性	487
10.7 本章小结	489
习题	489
附录 A 常用函数卷积积分表	494
附录 B 常用等比级数求和公式表	495
附录 C 卷积和表	496
附录 D 常用周期信号傅里叶系数表	497
附录 E 常用信号的傅里叶变换表	499
表 1 能量信号	499
表 2 奇异信号与功率信号	500
附录 F 拉普拉斯反变换表	502
附录 G 常用离散信号的 z 变换表	504
附录 H 利用小波方法对信号进行分解、压缩与重构处理的 MATLAB 脚本	506
附录 I 汉英名词对照	511
参考文献	520
习题答案	522

信号的函数表示与系统分析方法

1.1 引言

信号是传递信息的工具。自古至今,人们以各种不同的方式,实现信息传递的目的。我国古代曾以烽火台的烽火传送边关军情,以后又出现了信鸽、旗语等信息传送方式。19世纪发明的莫尔斯电报以及后来马可尼等人发明的无线电,实现了信息的快速远距离传输。如今的信息传输正朝着可以在任何时间、以任何方式、传给任何地方任何他人的目标发展。

在许多情况下,信号可以用一个数学函数式表示。在不能用数学式表示时,可以用图形来表示,信号的图形有时也称为信号的波形。信号用数学表示时,可以是一个或多个自变量的函数。例如,一张黑白照片可以用亮度随两维空间变化的函数来表示;语音信号可以表示为信号振幅随时间变化的单变量函数,也可表示为信号振幅随时间和三维空间变化的多变量函数。本书的讨论范围仅限于单变量函数,而且一般总是用时间来表示自变量。当然,在应用中遇到的信号,自变量不一定是时间,例如空间变量、高度或深度等。

此外,有两类基本信号:一类是连续时间的函数,称为连续时间信号,简称连续信号,用 t 表示连续时间变量;另一类是离散时间的函数,称为离散时间信号(也称离散时间序列),简称离散信号(也称离散序列),用 n 表示离散时间变量。对于连续信号,读者已比较熟悉。实际上,离散信号在生活中经常遇到,例如医院中病人体温的定时记录就是随离散时间变化的信号。每日股票市场股指指数值也是离散信号的例子。图 1.1 表示连续信号的例子:音节“地”(di)的波形图,图 1.2 表示离散信号的例子:某病人脉搏每隔 1 小时的记录。

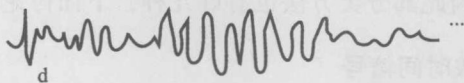


图 1.1 连续信号的例子:语音“地”的波形

有许多离散信号是连续信号离散化的结果,通常采用模拟-数字转换器(A/D)来实现连续信号的离散化。除了将信号分成连续信号与离散信号之外,还可以从不同的角度进行信号的

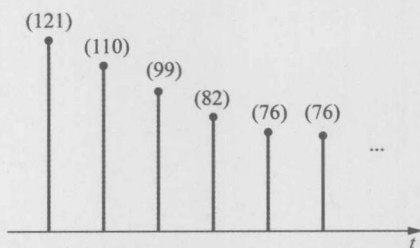


图 1.2 离散信号的例子:病人脉搏记录

分类。本章讨论信号的各种分类方法,信号的基本运算,如加法、乘法、反折、平移与尺度变化等,在此基础上将讨论一些常用信号的表示法。

系统是为实现规定功能而构成的相互关联的一个集合体。它涉及的范围十分宽广,包括各种物理系统和非物理系统,自然系统和人工系统等。在电子与信息科学领域中,系统内涵还包括了网络和电路,其概念也包括了广泛的内容,大可以到全球通信系统、宇宙控制系统、国际互联网等,小可以到由若干个元件组成的电路。在制造方面,由于集成电路技术的发展,制成的芯片不仅是具有简单功能的极小规模电路,还可以是实现复杂功能的超大规模集成电路。以上这些因素使得系统、网络、电路三者的范围很难加以严格区分,因此我们通常针对比较笼统的系统概念进行研究。

研究系统的方法主要包括分析与综合。系统分析是在给定的条件下,已知输入信号,研究可以得到怎样的输出响应;而系统综合则是按某种需求提出对于给定激励的响应,再去设计能够产生这种响应的系统。本书主要讨论系统的分析方法。

在本章中,我们将讨论系统的数学模型及其分类,然后讨论系统的特性,如因果性、稳定性、可逆性、线性和非时变(非移变)性等,重点介绍线性非时变系统的基本概念。本章最后对线性系统的分析方法作简单介绍。

1.2 信号的分类及其基本运算

为了传送信息(语音、文字、图像或数据等),需要通过适当的设备将信息转换为电信号,简称信号。它的基本形式是随时间变化的电流或电压信号。信号的形式是多种多样的,但描述信号的直观方法有两种,即函数表示式与波形。本节主要讨论信号的分类及其基本运算。

1.2.1 信号的分类

由于信号形式多样化,因此其分类方法也有好几种。下面讨论信号的几种主要分类。

1. 连续时间信号与离散时间信号

由于信号为时间 t 的函数,故按照 t 的连续或离散,将信号分为连续时间信号与离散时间信号(简称连续信号与离散信号)。

连续信号是在连续的时间 t 内定义的函数 $f(t)$,它允许存在有限个不连续点,在这些点

上,函数值发生跳变,而在不连续点以外的其他时间 t ,函数值均是确定的。例如,图1.3(a)示出的矩形脉冲在 $t=0$ 与 T 时 $f(t)$ 值发生跳变,但它是一种连续信号。此外,正弦波与三角脉冲等都是连续信号的例子,如图1.3(b)和(c)所示。

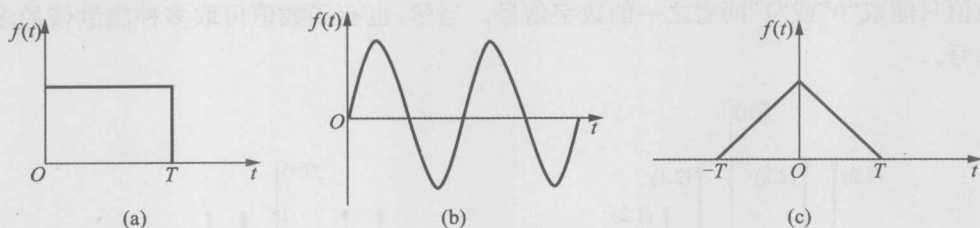


图1.3 连续信号

(a) 矩形脉冲 (b) 正弦波 (c) 三角脉冲

应当指出,连续信号的函数值 $f(t)$ 可以是连续的,也可以是离散的。对于时间 t 和函数值 $f(t)$ 都为连续的信号称为模拟信号。如果时间 t 连续,但函数值 $f(t)$ 离散(只取某些规定值),则称为量化信号,例如数字电压表中经过量化的信号就是这种信号,如图1.4(b)所示。

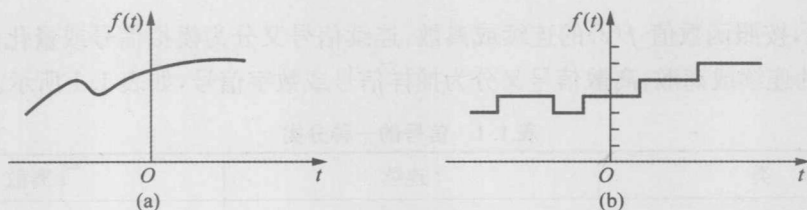


图1.4 两种连续信号

(a) 模拟信号 (b) 量化信号

在实际应用中,模拟信号和连续信号常不加区分。

离散信号在时间上是离散的,只在某些不连续的规定瞬时 $t_k(k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 给出函数值,在其他时间没有定义的信号称为离散信号。 t_k 与 t_{k+1} 之间的间隔 $T_k=t_{k+1}-t_k$ 可以是相等的,也可以是不等的。我们一般只讨论 T_k 等于常数的情况。若令 $T_k=T$, T 为常数,则离散信号只是在 $t=nT$ (n 称为离散时刻序号, $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$)时才有定义,它可以表示为 $f(nT)$,简记为 $f(n)$ 。图1.5表示离散信号的3个例子。

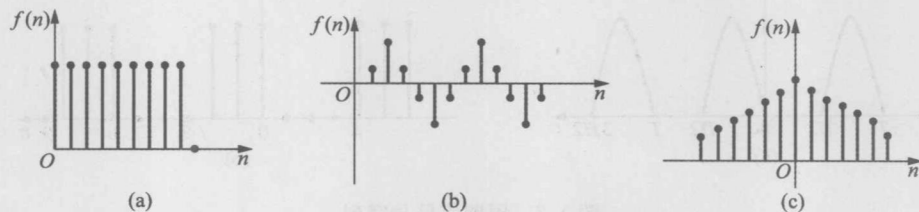


图1.5 离散信号

(a) 矩形序列 (b) 正弦序列 (c) 三角序列