

高等学校教材

信号与系统

吕玉琴 俎云霄 张健明



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

信号与系统

Xinhao yu Xitong

吕玉琴 烜云霄 张健明

 高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS · BEIJING

内容简介

本书主要用于高等院校本科生的信号与系统课程的学习, 适合电子信息类专业用书。讲述信号与系统的“时域”和“变换域”分析的基本概念和方法。主要内容包括: 信号与系统的基本概念和性质; 连续(离散)时间信号的时域表示与运算; 连续(离散)时间系统的时域分析; 信号的正交分解; 连续时间信号的频域分析; 傅里叶变换在通信系统中的应用; 连续时间信号与系统的复频域分析; 离散时间系统的复频域分析; 系统的状态变量分析。

本书注重基本概念与实际应用结合, 以增加学生的学习兴趣, 拓展知识, 体现通信学科的特色。引入计算机仿真内容, 并给出部分仿真实例, 从而培养学生的思维能力和计算机仿真的能力。

本教材有完备的习题及参考答案、提供配套的 PPT 电子课件, 供教师和学习者参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统 / 吕玉琴, 俎云霄, 张健明编著. —北京: 高等教育出版社, 2014.2

ISBN 978-7-04-039232-6

I. ①信… II. ①吕… ②俎… ③张… III. ①信号系统—高等学校—教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 000944 号

策划编辑 袁 坤
插图绘制 尹 莉

责任编辑 袁 坤
责任校对 杨凤玲

封面设计 李卫青
责任印制 毛斯璐

版式设计 童 丹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京中科印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 31
字 数 760 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2014 年 2 月第 1 版
印 次 2014 年 2 月第 1 次印刷
定 价 44.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 39232-00

前言

随着科学技术的发展,越来越多的理工科专业都开设了“信号与系统”课程,其在整个大学知识体系中的作用越来越重要。通过本课程的学习,可使学生了解“信号”与“系统”的基本概念,掌握“时域”分析和“变换域”分析的基本概念和方法;培养学生的抽象思维能力、总结归纳能力、分析计算能力,为进一步研究网络理论、通信理论、信号处理等打下必要的基础。

基于以上理念和目标,本教材在编写过程中注重以下几方面的问题。

(1) 在教学内容上符合教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会指定的“信号与系统”基本教学要求。在内容安排上,从认知规律和技术发展的角度考虑,先连续,后离散,先时域,后变换域。

(2) 在时域分析部分,将连续和离散信号及系统的描述与分析放在一起介绍。随着数字通信的发展,数字信号及其系统的应用更广泛,但其分析方法是基于连续信号与系统的理论,且有诸多相同和相似之处。本书在时域分析部分,同时讲解连续时间与离散时间信号,在连续时间系统分析之后紧跟离散时间系统分析,以便尽早将基本理论和分析方法应用于离散时间系统。集中处理连续与离散时域分析的方式,期望在学时上也能有所节省。

(3) 注重与后续课程的衔接。在符号及系统的表示方法上,尽量与后续课程“数字信号处理”和“通信原理”保持一致;在内容上尽量多地引入与这两门课程有关的例题,介绍一些相关的分析方法和思路,为学生进一步学习这两门课程打下基础。

(4) 引入计算机仿真。计算机仿真已经成为实验教学和科学研究的必要手段,在教学中引入仿真不仅可加强学生对问题的理解,而且还可激发学习兴趣,培养创新意识。因此,本书多数章的最后一节都给出了该章重要内容的仿真演示示例。

(5) 注意理论知识与工程实际的结合。学习理论知识的最终目的是应用,为了让学生了解相关理论知识的实际应用,激发学生的学习兴趣,结合我校的通信背景,本书融入了许多与通信相关的实例。

本教材的编写工作由吕玉琴、俎云霄和张健明完成。吕玉琴编写了第一、二、七章和习题,并完成了全书的统稿工作。俎云霄编写了第四、五、六章和仿真部分。张健明负责第三章的编写工作。

北京邮电大学电子工程学院信号、电路与系统教研中心多年坚持的教学研讨、教学改革对本教材的内容结构形成起到了重要的作用。中心教师制作的教学课件也为本教材的编写提供了很

II 前言

大帮助。特别感谢赫慈辉老师为本教材提供了大量素材,提出了宝贵意见,在教材编写过程给予了极大的支持和帮助。在此,向以上各位老师表示衷心的感谢!

本教材承清华大学郑君里教授审阅。郑君里教授对本教材初稿提出了许多重要的修改意见,在此向他表示衷心的感谢!

由于作者水平所限,难免存在错漏之处,恳切希望同行专家、学者及读者提出宝贵意见,以便今后改进、提高。作者联系方式如下:

吕玉琴:北京邮电大学 94 信箱,100876,lvyyq@263.net

俎云霄:北京邮电大学 94 信箱,100876,zuyx@bupt.edu.cn

张健明:北京邮电大学 94 信箱,100876,jmzhang@bupt.edu.cn

编 者

2013 年 8 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第一章 绪 论

1.1 引言	1	奇分量	36
1.2 信号的描述与分类	3	1.6.3 信号分解为脉冲分量	36
1.2.1 确定性信号和随机信号	4	1.6.4 信号分解为实部分量与	
1.2.2 连续时间信号和离散		虚部分量	37
时间信号	4	1.6.5 信号分解为正交函数	
1.2.3 周期信号与非周期信号	6	分量	38
1.2.4 能量信号与功率信号	6	1.7 系统的描述	38
1.3 典型的连续时间信号	7	1.7.1 连续时间系统的数学	
1.3.1 普通信号	7	模型	39
1.3.2 奇异信号	10	1.7.2 连续时间系统的框图	
1.4 典型的离散时间信号	19	表示	40
1.5 信号的基本运算	24	1.7.3 离散时间系统的数学	
1.5.1 信号的相加与相乘	24	模型	42
1.5.2 信号的积分与微分	25	1.7.4 离散时间系统的框图	
1.5.3 信号的移位、倒置	26	表示	43
1.5.4 信号的尺度变换	29	1.8 线性时不变系统的特性与	
1.5.5 信号的波形变换	30	分析方法	44
1.5.6 δ 函数及其导数的性质		1.8.1 线性	44
与运算规则	32	1.8.2 时不变性	45
1.6 信号的分解	35	1.8.3 因果性	47
1.6.1 信号分解为直流分量与		1.8.4 稳定性	48
交流分量	35	1.8.5 LTI 系统分析方法概述	48
1.6.2 信号分解为偶分量与		习题	49

第二章 线性时不变系统的时域分析

2.1 引言	59	2.2 微分方程的经典解法	59
--------------	----	---------------------	----

2.3 起始点的跳变—— 0_- 与 0_+ 值	62	2.8.1 迭代法	85
2.3.1 电容电压的跳变	62	2.8.2 齐次解和零输入响应	86
2.3.2 电感电流的跳变	63	2.8.3 特解和完全响应	89
2.4 零输入响应和零状态响应	64	2.8.4 零状态响应	91
2.4.1 零输入响应	64	2.9 单位样值响应	93
2.4.2 零状态响应	64	2.10 卷积和	95
2.5 冲激响应与阶跃响应	67	2.11 卷积和的性质	100
2.5.1 冲激响应	67	2.12 卷积的计算机辅助计算	102
2.5.2 阶跃响应	74	2.12.1 连续时间信号的卷积	102
2.6 卷积积分	74	2.12.2 离散时间信号的卷积	104
2.7 卷积积分的性质	82	习题	105
2.8 差分方程的求解	85		

第三章 连续时间信号的频域分析——傅里叶变换

3.1 引言	114	3.7.1 时域卷积定理	157
3.2 信号的正交分解	115	3.7.2 频域卷积定理	157
3.2.1 矢量的正交分解	115	3.8 帕塞瓦尔定理	159
3.2.2 信号的正交分解	117	3.9 周期信号的傅里叶变换	161
3.3 完备正交函数集	121	3.9.1 正弦信号的傅里叶变换	161
3.4 连续时间周期信号的傅里叶级数	123	3.9.2 一般周期信号的傅里叶变换	162
3.4.1 三角形形式的傅里叶级数	124	3.9.3 单位冲激序列的傅里叶变换	162
3.4.2 指数形式的傅里叶级数	126	3.10 抽样与重构	164
3.4.3 傅里叶级数的性质	131	3.10.1 理想抽样	164
3.4.4 函数对称性与傅里叶系数的关系	133	3.10.2 矩形脉冲抽样	165
3.4.5 周期矩形脉冲的频谱与周期的关系	136	3.10.3 抽样定理	167
3.5 连续时间非周期信号的傅里叶变换	139	3.10.4 从样本恢复连续时间信号	168
3.5.1 傅里叶变换定义	139	3.11 典型信号的傅里叶变换及傅里叶变换性质的仿真演示	170
3.5.2 典型非周期信号的傅里叶变换	142	3.11.1 周期矩形脉冲的频谱	171
3.6 傅里叶变换的性质	147	3.11.2 非周期矩形脉冲的频谱	173
3.7 卷积定理	157	3.11.3 傅里叶变换的时移性质	174

3.11.4 傅里叶变换的频移性质	177	3.11.6 由抽样信号恢复连续时间信号	181
3.11.5 抽样信号的傅里叶变换	179	习题	185

第四章 傅里叶变换在通信系统中的应用

4.1 引言	200	4.6.1 希尔伯特变换	217
4.2 系统的频率特性	201	4.6.2 希尔伯特变换与因果系统的网络函数	221
4.2.1 频率特性	201	4.7 带通信号与带通滤波器	223
4.2.2 频率响应	203	4.7.1 解析信号	223
4.3 无失真传输	205	4.7.2 带通信号	225
4.3.1 失真的概念	205	4.7.3 带通系统及其响应	228
4.3.2 线性系统无失真传输的条件	206	4.8 多路复用	231
4.3.3 相位为什么与频率成正比	207	4.8.1 频分复用	231
4.4 理想低通滤波器	208	4.8.2 时分复用	233
4.4.1 理想低通滤波器的频率特性	208	4.9 相时延和群时延	238
4.4.2 理想低通滤波器的冲激响应	209	4.10 功率谱和能量谱	240
4.4.3 理想低通滤波器的阶跃响应	209	4.10.1 相关函数	240
4.4.4 理想低通滤波器对矩形脉冲的响应	211	4.10.2 功率谱	242
4.5 调制与解调	212	4.10.3 能量谱	245
4.5.1 调制	212	4.11 信号经过系统的计算机辅助分析与仿真	246
4.5.2 解调	214	4.11.1 理想低通滤波器对矩形脉冲的响应	246
4.5.3 进一步讨论	216	4.11.2 信号的调制与解调	249
4.6 希尔伯特变换	217	4.11.3 频分复用	252
		习题	255

第五章 连续时间信号与系统的复频域分析

5.1 引言	263	存在条件	266
5.2 拉普拉斯变换	263	5.2.3 基本信号的拉普拉斯变换	267
5.2.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	263	5.3 拉普拉斯变换的性质	269
5.2.2 单边拉普拉斯变换的		5.4 拉普拉斯反变换	280

5.4.1 部分分式展开法	280	与时域特性	303
5.4.2 围线积分法	286	5.8.2 系统函数的零、极点分布	
5.5 利用拉普拉斯变换求解		与频率特性	307
微分方程	287	5.9 系统的稳定性	311
5.6 利用拉普拉斯变换分析		5.9.1 稳定系统的定义	311
动态电路	288	5.9.2 根据系统函数的极点位置	
5.6.1 复频域模型	288	判断系统的稳定性	312
5.6.2 动态电路的复频域		5.10 双边拉普拉斯变换	316
分析法	292	5.11 拉普拉斯变换与傅里叶	
5.7 系统函数	296	变换的关系	322
5.7.1 系统函数的基本概念	297	5.11.1 拉普拉斯变换与傅里叶	
5.7.2 策动点函数和转移		变换的关系	322
函数	298	5.11.2 极点在虚轴时如何由	
5.7.3 线性时不变复合系统的		$F(s)$ 确定 $F(\omega)$	323
系统函数	300	5.12 微分方程的计算机辅助求解与	
5.7.4 系统函数的零、极点与		频率特性的仿真分析	325
自然频率	302	5.12.1 微分方程的计算机辅助	
5.8 系统函数的零、极点与时域特性		求解	325
和频率特性的关系	303	5.12.2 频率特性的仿真分析	328
5.8.1 系统函数的零、极点分布		习题	329

第六章 离散时间信号与系统的 z 变换

6.1 引言	341	函数	366
6.2 z 变换的定义	341	6.7.2 系统函数的零极点分布与	
6.3 z 变换的收敛域 典型离散信号		单位样值响应的关系	367
的 z 变换	342	6.7.3 系统函数与差分方程	371
6.3.1 z 变换的收敛域	342	6.8 系统的因果性与稳定性	372
6.3.2 典型序列的 z 变换		6.8.1 系统的因果性	373
及其收敛域	343	6.8.2 系统的稳定性	373
6.4 z 变换的性质	350	6.9 系统函数的零、极点分布与频率	
6.5 z 反变换	357	响应的关系	375
6.5.1 部分分式展开法	357	6.9.1 离散时间系统的频率	
6.5.2 幂级数展开法	359	响应	375
6.5.3 围线积分法	360	6.9.2 频率响应的几何	
6.6 利用 z 变换解差分方程	362	确定法	376
6.7 离散系统的系统函数	366	6.10 傅里叶变换、拉普拉斯变换、	
6.7.1 单位样值响应与系统		z 变换之间的关系	383

6.10.1 序列的傅里叶变换	383	与频率特性的仿真分析	387
6.10.2 z 变换与拉普拉斯变换的 关系	384	6.11.1 差分方程的计算机辅助 求解	387
6.10.3 傅里叶变换、拉普拉斯 变换、 z 变换的联系和 区别	386	6.11.2 频率特性的仿真分析 ...	388
6.11 差分方程的计算机辅助求解		习题	392

第七章 系统的状态变量分析法

7.1 引言	400	解法	424
7.2 系统的框图和流图表示	403	7.5.2 输出方程的复频域 解法	426
7.2.1 利用框图模拟系统	403	7.5.3 离散系统状态方程的 z 变换解法	429
7.2.2 利用信号流图模拟 系统	405	7.6 状态方程式的时域解法	429
7.2.3 信号流图的梅森增益 公式	408	7.6.1 一阶矢量微分方程式的 解法	429
7.3 连续时间系统的状态方程 的建立	412	7.6.2 e^{At} 的计算	432
7.3.1 状态方程的一般形式和 建立方法概述	412	7.6.3 离散时间系统的时域 解法	434
7.3.2 由电路图建立状态 方程	414	7.7 状态矢量的线性变换	435
7.3.3 由系统输入 - 输出方程或 流图建立状态方程	416	7.8 由状态方程判断系统的 稳定性	438
7.3.4 由系统函数 (转移函数) 分解建立状态方程	418	7.9 系统的可控制性与可观测性	444
7.4 离散时间系统的状态方程的 建立	420	7.9.1 系统的可控性	445
7.5 状态方程式的变换域解法	424	7.9.2 系统的可观测性	447
7.5.1 状态方程的复频域		7.9.3 由系统函数观察系统 可控性和可观性	449
		习题	452

参考答案

参考书目

第一章 绪论

1.1 引言

随着电子信息技术的迅速发展和计算机的广泛应用,信号与系统的基本概念和分析方法已被广泛引入各个学科。我们将以通信系统为主要背景,研究信号通过系统传输或处理的一般规律,着重基本概念和基本分析方法。

人类进行通信的历史悠久。千百年来,人们一直在用语言、图符、钟鼓、烟火、竹简、纸书等传递信息,古代人的烽火狼烟、飞鸽传信、驿马邮递就是这方面的例子。19 世纪,电话的发明第一次实现了人类的远程实时的交互通信;20 世纪,移动通信得到飞速的发展;21 世纪互联网的崛起和无线通信的普及,使得已成为我们生活中不可缺少的手机,也不再只用于语音交互,而是成为移动通信的主要工具。

中国移动通信技术的发展大体经历了三代技术标准的演进:模拟制式的频分双工(频分多址 Frequency Division Multiple Access, FDMA)技术(1G)、数字的时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)技术和码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)技术(2G)、将高速移动接入和基于互联网协议的服务结合起来实现多媒体服务的技术(3G)。

第一代移动通信技术,主要采用的是模拟技术和频分多址(FDMA)技术。由于受到传输带宽的限制,不能进行移动通信的长途漫游,只能是一种区域性的移动通信系统。1987 年中国电信开始办理移动电话业务,采用的是英国在 1985 年开发出的全地址通信系统(TACS),属于第一代蜂窝移动通信网的代表。模拟通信系统的模型如图 1-1-1 所示。

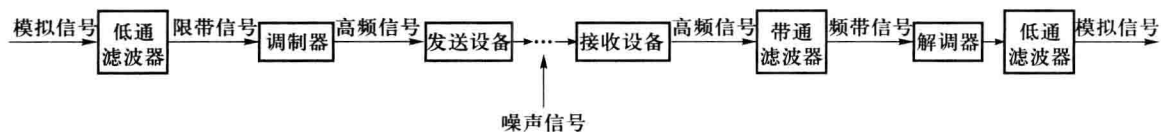


图 1-1-1 模拟通信系统模型

第二代移动通信技术,完成了模拟技术向数字技术的转变。数字通信系统的模型如图 1-1-2 所示。全球主要有 CDMA 和 GSM 两种体制。CDMA 是美国高通公司提出的标准,中国联通从 2002 年开始大规模发展 CDMA 市场。1991 年由爱立信和一家芬兰公司架设了第一个 GSM 的移动通信网,开始投入商用。1994 年 12 月广东首先开通了第一个 GSM 数字移动电

话网。GSM 占世界手机用户的 80%，据称有 20 亿用户。但因第二代采用不同的制式，移动通信标准不统一，因而用户无法在不同制式覆盖的范围内进行全球漫游，且系统带宽有限，限制了数据业务的应用，也无法实现高速率的业务如移动的多媒体业务。

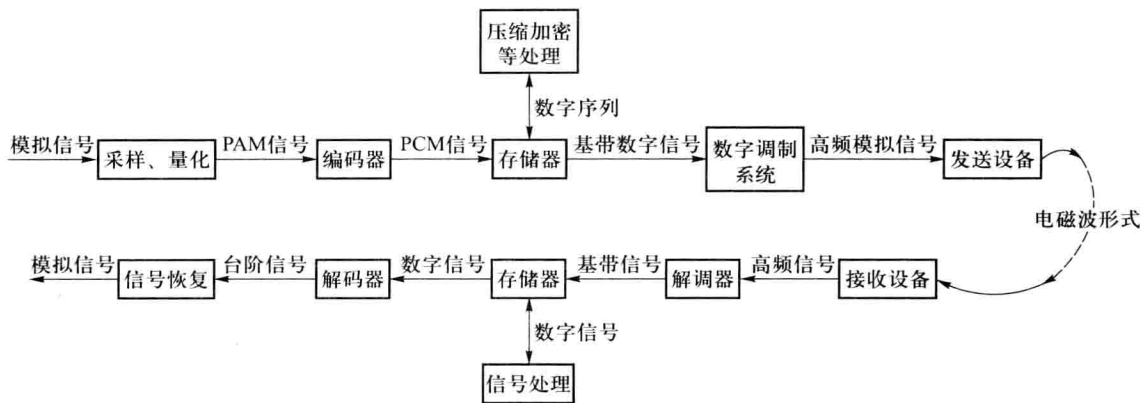


图 1-1-2 数字通信系统模型

第三代移动通信技术，移动通信网络将高速移动接入和基于互联网协议的服务结合起来，不仅能传输话音，还能传输数据，从而提供快捷、方便的无线应用，如无线接入 Internet。3G 能够实现高速数据传输和宽带多媒体服务，提供包括卫星在内的全球覆盖，并实现有线和无线以及不同无线网络之间业务的无缝连接。无线 + IP + 高速 + 无缝漫游可以是 3G 通信技术的简单写照。目前全球有三大标准，中国三家运营商从 2G 到 3G 的演进中，中国移动采用 TD - SCDMA 标准（中国），中国联通采用 WCDMA 标准（欧洲），中国电信采用 CDMA2000 EVDO 标准（美国）。

为满足多媒体业务的要求，为用户提供更经济、内容更丰富的无线通信服务会使系统大大复杂化，对系统带宽、吞吐量、实时性、延迟性等提出了更高的要求。正是在这种趋势下，第四代移动通信网络（4G）是人们研究的课题。

3GPP（第三代合作伙伴计划）于 2004 年底率先开始了 LTE（Long Term Evolution），即长期演进等项目，目标是使 3G 演进系统获得更高的峰值速率。深入研究这些新技术，对未来几年的宽带无线移动通信系统的发展以及 4G 技术标准化有重要的参考价值。LTE 是一个新兴和有前途的技术，是下一代 3.9G 蜂窝网络的规范，有人预计到 2013 年 LTE 用户将超过 3200 万。优化 LTE 的各个方面是目前产业和学术界关注的话题。

以手机为代表的移动通信的迅速发展，与电路芯片集成度的提高和性能的提升，以及互联网和多媒体技术为核心的技术革命是互相关联的。我们不在这方面展开。我们将要深入学习的是有关“信号”和“系统”的基本问题。

观察图 1-1-1 和图 1-1-2，不论是模拟通信还是数字通信，在系统中出现频率最多的词汇是“信号”。通信系统中，信号的传输和信号的处理是相互联系，且又各自形成了相对独立的学科体系。它们共同的理论基础之一是研究信号的基本性能，如信号的表示、运算和信号的频谱有关内容，这就是本课程“信号分析”的任务。

有关“系统分析”的任务，我们首先提出两个问题作为学习本课程之前的思考。第一个问题是：1876 年贝尔发明了电话，直接将声信号（语音）转变为电信号沿导线传送，实现了一对一的对

话。那么为什么很多人能够同时打电话而不会相互干扰呢?如何实现多路通信,使得我们能利用有限的资源(设备、频率等)实现通信的普及。第二个问题是:在数字通信中,我们的语音、图像等模拟信号(连续信号),在抽样、量化为数字信号(离散信号)传输后,如何保证能够恢复为原来的模拟信号。这是现代通信中两个最基本的问题,也是我们课程要学习的“系统分析”的基础理论内容。

在第一章中我们对“信号”的表示及运算进行介绍,并对系统分析给出一个概要介绍;第二章讨论“系统”的时域分析方法。在对“信号”与“系统”的时域分析中,我们将同时介绍“连续”和“离散”的信号与系统的分析方法,以便学习者能够对照理解。第三章进入信号与系统的频域分析,也只有学习了第三章后,才能回答上面我们提出的有关“系统分析”的两个问题。

1.2 信号的描述与分类

信号是消息的表现形式与传送载体,消息是信号的传送内容。我们一般将主观感受到的语言、文字、数据或图像等统称为消息,而将消息之中赋予人们的新知识与新概念称为信息。这就是说,消息与信息是不同的。信息是包含在消息之中的新内容,即人们原来不知道或不确定的事物。传送消息,一般要先将消息转换为信号,然后将信号从发送端传送至接收端,最后再将信号还原成消息。古代烽火台上的火光用于边疆警报,赋予“敌人入侵”的消息,烽火台上的火光就是早期的一种信号。

电是应用最广泛的物理量,当电压、电流、电荷、电磁波等物理量载有声音、图像、文字等消息时,就成了电信号。我们以通信系统的基本问题为背景,研究信号经系统传输或处理的一般规律,只讨论电信号,以下即简称信号。

从数学上来讲,一个信号可以看作是一个或多个独立变量的函数。如果它的值是一个独立变量的函数,这种信号称为一维信号。如果独立变量有 n 个,它就称为 n 维信号。在大多数情况下,时间信号是一维信号,因为它的自变量仅仅是时间 t 。

对信号的描述通常有三种方式,分别为公式法、图形法和表格法。

公式法又称为闭式表达式,是通过物理量的变化与时间的数学关系来描述信号随时间的变化过程,如式(1-2-1)所示的正弦信号。

$$f(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-2-1)$$

实际中,可以通过记录物理量随时间变化的数据,根据这些数据画出图形,即图形法描述,如图1-2-1所示周期方波为图形法描述信号。

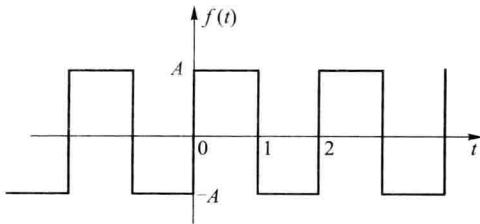


图 1-2-1 周期方波

表格法描述信号是将这些数据与时间对应的关系列成表格的方法。

当然,如果用公式描述了信号随时间变化的关系,也可以根据公式画出图形(图 1-2-2)和列出表格(表 1-2-1),这样可以更直观地描述信号。但是,许多信号是难以用一个完整的数学闭式表达式来描述,就只能用图形法和表格法描述。

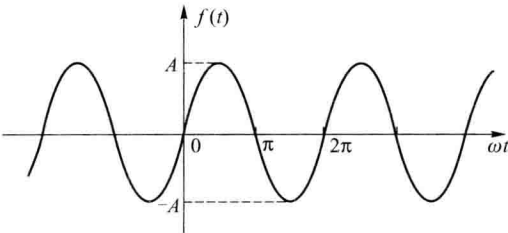


图 1-2-2 图形表示信号

表 1-2-1 表格法表示信号

ωt	0	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π	$\frac{5\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{7\pi}{4}$	2π
$A \sin \omega t$	0	$\frac{A\sqrt{2}}{2}$	A	$\frac{A\sqrt{2}}{2}$	0	$-\frac{A\sqrt{2}}{2}$	-A	$-\frac{A\sqrt{2}}{2}$	0

用数学公式法描述信号,也称为函数,在此我们不严格区分信号与函数的差别。信号的分类方法很多,可以从不同的角度对信号进行分类。下面我们分别讨论几种不同的信号分类。

1.2.1 确定性信号和随机信号

确定性信号是指可以表示为可确定的时间函数的信号,对于指定的某一时刻 t ,信号有确定的函数值 $f(t)$ 。如我们所熟知的正弦信号、周期脉冲信号等。

随机信号不是一个确定的时间函数,就是说信号在时间点上的取值是一个不确定的变量。通信系统中传输的信号往往都是为了传输带有信息量的信号。接收端在收到传送的消息之前,对信源所发出的消息是未知的,否则,接收端就不可能由它得知任何新消息,也就失去了通信的意义。所以一般的通信信号都是随机信号。在传输过程中,信号难免受到各种干扰和噪声的影响,使其产生失真,这是另一类随机信号,这类只能知道它的统计规律,如在某时刻取某一数值的概率。

确定性信号与随机信号有着密切的联系,确定性信号的分析是随机信号分析的重要基础。本书的研究对象限定于确定性信号,随机信号的分析在“概率论与随机过程”等课程中进行分析 and 讨论。

1.2.2 连续时间信号和离散时间信号

根据时间取值的连续性划分,确定性信号可分为连续时间信号和离散时间信号,简称为连续信号和离散信号。

连续时间信号是指在信号存在的时间范围内,除了个别的间断点之外,表示信号的函数在该时间内所有瞬间都有定义,那么这个信号就被称为连续时间信号。例如

$$f(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ \cos \pi t & (t \geq 0) \end{cases} \quad (1-2-2)$$

这个信号可用图 1-2-3(a) 中的波形表示。图 1-2-3(b) 是另一有间断点的连续时间信号。

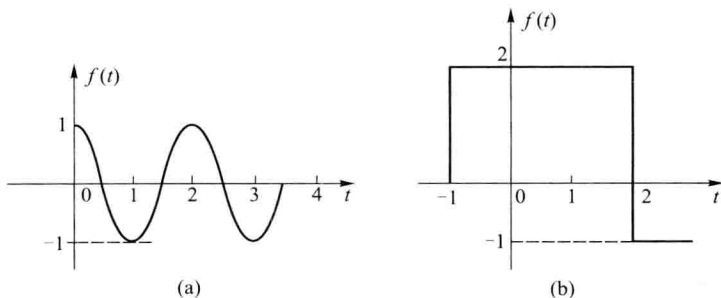


图 1-2-3 具有间断点的连续信号

对于连续时间信号,若其幅度取值为连续的则称为模拟信号,如图 1-2-1—图 1-2-3 所示各信号均为模拟信号。通常在实际应用中不严格区分连续时间信号与模拟信号,对于幅值存在间断点的连续时间信号可以看作是多段模拟信号的组合。

离散时间信号是指在某些不连续的规定时刻有定义,而在其他时刻没有定义的信号。理论上,对于离散时间信号,时间轴上的时间间隔可以是不同的,但实际中多数情况下,考虑的情况是等时间间隔的离散时间信号,如图 1-2-4 所示。对于等时间间隔的离散信号,更关心离散值的变化,此时,自变量 t 简化为用整数序号 n 表示,函数符号写作 $x(n)$,仅当 n 为整数时 $x(n)$ 才有意义,所以离散时间信号也可认为是一组序列值的集合,简称离散序列。

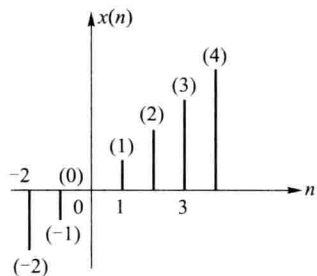


图 1-2-4 等时间间隔的离散时间信号

离散时间信号是许多实际问题的数学模型描述,也可以是连续时间信号按某时间间隔抽样得到,又称为抽样信号。这样的离散时间信号的幅度大小可以是实数范围内的任何值。如果对于幅度取值离散,只取某些规定值,即时间和幅度取值都具有离散性的这种信号又称为数字信号。如图 1-2-5(a) 为模拟信号,图 1-2-5(b) 为抽样信号,图 1-2-5(c) 为数字信号,可见数字信号是离散信号的一种。

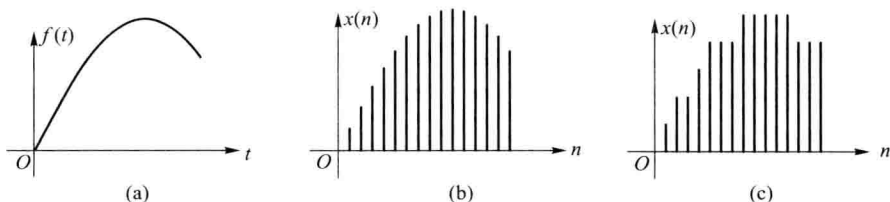


图 1-2-5 连续时间信号的抽样及量化

目前大多数数字信号处理系统中的数字信号,通过在模拟信号离散点上取值,再对所取的幅值进行量化后得到的,而用不同的量化规则得到的数字信号可以有不同的编码方式。如果采用 1 位编码,量化只有两个等级,可以用 0 或 1 数字表示信号;如果采用 2 位编码,量化可以有 4 个

等级,可以用00、01、10、11数字表示信号;如果采用3位编码,量化可以描述8个等级的数字信号等。

1.2.3 周期信号与非周期信号

在确定性信号中,信号可分为周期信号与非周期信号。

周期信号就是依一定时间间隔周而复始,而且是无始无终的信号,它们的表达式可以写做

$$f(t) = f(t + nT) \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots (\text{任意整数}) \quad (1-2-3)$$

满足此关系式的最小 T 值称为信号的周期。在图1-2-1中方波是一个周期信号,其无始无终,且周期为2,表示为 $f(t) = f(t + 2n)$ 。而图1-2-2中所描述的正弦波,是大家熟悉的周期为 2π 的周期信号。非周期信号在时间上不具有周而复始的特性。若令周期信号的周期 T 趋于无限大,则成为非周期信号。

具有相对较长周期的确定性信号可以构成所谓“伪随机信号”,从某一时段看,这种信号似无规律,而经一定周期之后,波形严格重复。利用这一特点产生的伪随机码在通信系统中得到广泛应用。

我们之所以将信号分为周期性和非周期性两类进行讨论,是因为在满足某些条件下,周期信号可以按傅里叶级数展开。傅里叶级数所表征的是不同频率、不同幅度的正弦信号和余弦信号的叠加。这一点在数学课程有关级数的内容中已经讨论。进一步我们将通过非周期信号等效为周期无穷大的周期信号,来得到非周期信号的傅里叶变换。傅里叶级数与傅里叶变换一起建立信号的傅立叶分析,也就是我们后面要讨论的信号频谱分析。目前信号的频域分析法是通信及信号处理重要的分析方法和基础。

1.2.4 能量信号与功率信号

信号可以看作是随时间变化的电压或电流,信号 $f(t)$ 在 1Ω 的电阻上的瞬时功率为 $|f(t)|^2$,在时间区间 $(-\infty, \infty)$ 所消耗的总能量定义为

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt \quad (1-2-4)$$

其平均功率定义为

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt \quad (1-2-5)$$

上述两式中,被积函数都是 $f(t)$ 的绝对值平方,所以信号能量 E 和信号功率 P 都是非负实数。

若信号 $f(t)$ 的能量 $0 < E < \infty$,此时 $P = 0$,则称此信号为能量有限信号,简称能量信号。若信号 $f(t)$ 的功率 $0 < P < \infty$,此时 $E = 0$,则称此信号为功率有限信号,简称功率信号。

信号 $f(t)$ 还可以是一个既非功率信号,又非能量信号,如单位斜坡信号

$$r(t) = \begin{cases} t & (t \geq 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases} \quad (1-2-6)$$

但一个信号不可能同时是功率信号,又是能量信号。

一般来说周期信号都是功率信号,如图1-2-6所示为功率信号。非周期信号或者是能量信号,或者是功率信号,或者是既非功率信号又非能量信号。