

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

信号与系统教程 及实验

杜尚丰 主编

清华大学出版社

高等学校教材

电子信息

信号与系统教程 及实验

杜尚丰 主编
赵龙莲 刘春红 位耀光 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分8章,主要包括:信号与系统分析的基本概念与方法,连续时间系统与离散时间系统的时域分析,连续信号的傅里叶变换与系统频域分析,连续信号的拉普拉斯变换与系统的S域分析,离散时间信号与系统的Z域分析,离散时间信号与系统的傅里叶变换分析。在上述内容的基础上,分析了系统的特征并介绍了求取系统函数的有利工具——信号流图。最后介绍了系统的状态空间分析方法。每章配有例题与MATLAB仿真程序,便于加深对信号与系统的理解。

本书是21世纪高等学校电子信息类规划教材,可作为高等学校工科(理科)的自动化,电子信息与通信工程,电气类学生使用教材,也可供科研与工程技术人员自学参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统教程及实验/杜尚丰主编. —北京:清华大学出版社,2013.1

高等学校教材·电子信息

ISBN 978-7-302-28232-7

I. ①信… II. ①杜… 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(2012)第039668号

责任编辑:高买花 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁 毅

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19.25

字 数:483千字

版 次:2013年1月第1版

印 次:2013年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:33.00元

产品编号:039759-01

编审委员会成员

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

华中师范大学
武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学

王志功	教授
王新龙	教授
王成华	教授
邓元庆	教授
刘景夏	副教授
方 勇	教授
朱 杰	教授
何 晨	教授
严国萍	教授
朱定华	教授
吴彦文	教授
刘复华	教授
李中年	教授
蒋刚毅	教授
王成山	教授
郭维廉	教授
王煦法	教授
郭从良	教授
徐佩霞	教授
赵鹤鸣	教授
刘志军	教授
郑永果	教授
朱守正	教授
张秉权	教授
张丽英	教授
林 君	教授
何怡刚	教授
曾喆昭	教授
冯久超	教授

西南交通大学

冯全源 教授

重庆工学院

金炜东 教授

重庆通信学院

余成波 教授

重庆大学

曾凡鑫 教授

重庆邮电学院

曾孝平 教授

谢显中 教授

西安电子科技大学

张德民 教授

彭启琮 教授

西北工业大学

樊昌信 教授

集美大学

何明一 教授

云南大学

迟 岩 教授

东华大学

刘惟一 教授

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人: 魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

信号与系统课程是电子、通信类,自控类及计算机类专业非常重要的专业基础课。本书写作一直贯穿时域与变换域的思想,内容介绍循序渐进,概念介绍直观形象,同时配以大量的图形解释、例题和习题,并给出了 MATLAB 实现的例子,极大地方便了教与学。

十几年的教学,跨越了“九五”、“十五”、“十一五”,见证了信号与系统教学内容的演变历程。在信息量庞大的今天,信号与系统的教授内容也必须与时俱进,才能满足现代教学的需求。

我们教授课程时,对专业基础课、专业课、专业选修课的教学方法是不同的。因此在编制教材时,也是贯穿这一指导思想。

(1) 注重信号与系统这门基础课在后续课程学习时的作用,有目的地撰写内容,避免了冗余,提高了教学效率。如在时域分析中,注重微分、差分方程的解法与卷积(卷积和)的作用。而在变换域分析中,注重三种变换的重要性,增加了赫尔伯特部分,在实践教学中,验证是非常有效的。

(2) 注重掌握本书内容的学习方法与手段,以往的学生掌握传授知识的途径是通过做作业(手工)附加适量实验,现在不同了,需要借助计算机摆脱繁重的计算。在本次编写中,增加了用计算机来求解问题的手段,节约了大量时间。我们认为,在信息发达的今天,过于传统会有碍于我们获取更多的知识。因此,在编写教材时,也注重讲解计算机工具在信号与系统分析时的作用,同时也丰富了学生的实践环节。

本书采用从基本概念出发、以理论与实际结合为例子的介绍方法,遵循从模拟到离散、从信号到系统分析、时域到变换域的思路,系统地介绍了连续时间和离散时间信号与系统的分析方法。第 1 章给出信号与系统的定义、运算、特性、信号与系统的数学描述及基本概念。第 2 章介绍系统的时域分析方法,包括连续系统和离散系统。第 3 章介绍信号的傅里叶变换定义,常用信号的傅里叶变换和傅里叶变换性质;傅里叶变换方法用于求解信号与系统,无失真传输,采样定理与赫尔伯特变换。第 4 章介绍连续时间系统的拉普拉斯变换以及拉普拉斯变换的分析,拉普拉斯变换与傅里叶变换之间的关系。第 5 章介绍离散时间系统的 Z 变换、常用信号的 Z 变换、 Z 变换的性质、使用 Z 变换方法分析信号与系统以及 Z 变换与拉普拉斯变换之间的关系。第 6 章介绍离散系统的傅里叶分析方法。第 7 章介绍系统函数、相关特性与信号流程图。第 8 章介绍信号与系统的状态变量分析方法、状态变量模型的建立、模型转换、系统时域分析方法与频域分析方法。

全书在介绍基本概念的同时给出了大量的实际应用例子,并介绍了实现这些方法的 MATLAB 函数和运算。这些例题一方面紧密结合了基本概念与方法的应用,另一方面也减缓了对某些抽象概念理解上的梯度。同时全文给出了大量的习题。

本书第1章和第2章由杜尚丰编写,第3章和第4章由赵龙连编写,第5章和第6章由刘春红编写,第7章和第8章由位耀光编写。全书由杜尚丰统稿。

本书的编写基于一些知名的教材与教学中积累的资料,由于水平有限,因此书中的错误在所难免,恳切希望广大读者提出批评与指正,帮助我们不断修改、完善和丰富本书内容。

杜尚丰

2011-7-31

目 录

第 1 章 信号与系统概述	1
1.1 绪言	1
1.2 信号	2
1.3 信号的基本运算	7
1.4 阶跃函数和冲激函数	10
1.5 系统的描述	19
1.6 系统的性质	23
1.7 LTI 系统分析方法概述	26
习题	27
第 2 章 系统的时域分析	30
2.1 LTI 连续系统的响应	30
2.1.1 微分方程的经典解	30
2.1.2 零输入响应和零状态响应	34
2.1.3 冲激响应和阶跃响应	36
2.1.4 卷积积分	38
2.2 离散系统的时域分析	44
2.2.1 LTI 离散系统的响应	44
2.2.2 差分方程的经典解	46
2.2.3 零输入响应和零状态响应	49
2.2.4 单位序列和单位序列响应	52
2.2.5 卷积和	53
习题	58
第 3 章 连续信号的傅里叶变换与频域分析	60
3.1 非周期信号的傅里叶变换	60
3.2 傅里叶变换的性质	68
3.3 周期信号的傅里叶变换	80
3.3.1 正弦、余弦信号的傅里叶变换	80
3.3.2 一般周期信号的傅里叶变换	81
3.4 抽样信号的傅里叶变换与抽样定理	83
3.4.1 抽样信号的傅里叶变换	83

3.4.2 抽样定理	85
3.5 傅里叶变换的应用	86
3.5.1 频域法求系统的响应	86
3.5.2 无失真传输	90
3.5.3 理想低通滤波器	91
3.5.4 调制与解调	95
3.6 希尔伯特变换与应用	97
3.6.1 希尔伯特变换	98
3.6.2 希尔伯特变换的应用实例	100
3.7 连续信号傅里叶变换的 MATLAB 应用实例	101
习题	107
第 4 章 拉普拉斯变换和连续时间系统的 S 域分析	112
4.1 拉普拉斯变换	112
4.2 拉普拉斯变换的性质	116
4.3 拉普拉斯逆变换	125
4.4 拉普拉斯变换与傅里叶变换的关系	130
4.5 用拉普拉斯变换求解线性系统的响应	132
4.5.1 微分方程的 S 域求解	132
4.5.2 S 域元件模型	133
4.6 系统函数	135
4.6.1 系统函数	135
4.6.2 系统的联结	137
4.7 系统函数的零极点分布对系统时域特性的影响	138
4.7.1 $H(s)$ 零、极点分布与 $h(t)$ 波形特征的对应	139
4.7.2 $H(s)$ 、 $F(s)$ 极点分布与自由响应、强迫响应特征的对应	141
4.7.3 $H(s)$ 、 $F(s)$ 极点分布与暂态响应、稳态响应特征的对应	142
4.8 系统函数零极点与系统频率响应特性的关系	143
4.9 系统函数零极点分布与系统稳定性的关系	146
4.10 MATLAB 仿真实现连续系统的 S 域分析	146
习题	150
第 5 章 离散时间信号与系统的 Z 域分析	154
5.1 Z 变换及其应用	154
5.1.1 Z 变换	154
5.1.2 Z 变换的收敛域	155
5.1.3 典型序列的 Z 变换	158
5.1.4 逆 Z 变换	159
5.1.5 Z 变换的性质	161

5.2 离散时间系统的 Z 域分析	166
5.2.1 由差分方程描述的系统	166
5.2.2 全通滤波器和最小相位系统	169
5.3 离散时间系统函数与系统特性	170
5.3.1 系统函数与零极点	170
5.3.2 系统函数的零极点分布与系统时域特性的关系	172
5.3.3 系统函数的零极点分布与系统频率响应的关系	173
5.3.4 系统函数的零极点分布与系统稳定性的关系	175
5.4 Z 变换与拉普拉斯变换的关系	177
5.5 利用 MATLAB 对离散系统进行 Z 域分析	178
习题	181
第 6 章 离散傅里叶变换与频域分析	185
6.1 离散傅里叶级数	185
6.1.1 离散傅里叶级数的定义	185
6.1.2 离散傅里叶级数的性质	188
6.2 离散傅里叶变换	190
6.2.1 四种信号及其傅里叶变换	190
6.2.2 离散信号傅里叶变换的定义	192
6.2.3 离散傅里叶级数与离散傅里叶变换的关系	193
6.3 离散傅里叶变换的性质	194
6.4 线性卷积的计算	199
6.5 频率采样定理	203
6.5.1 Z 变换与 DFT 的关系	203
6.5.2 不失真条件	204
6.5.3 $F(z)$ 的内插表达式	205
6.6 离散傅里叶变换的应用	208
6.7 MATLAB 仿真	212
习题	215
第 7 章 系统函数	218
7.1 系统函数与系统特性	218
7.1.1 系统函数的零、极点分布	218
7.1.2 系统函数与时域响应	220
7.1.3 系统函数与频域响应	222
7.2 系统稳定性的判定	226
7.2.1 因果系统	226
7.2.2 稳定系统	226
7.3 系统的信号流图与梅森公式	228

7.3.1 信号流程图及其组成	228
7.3.2 信号流程图的简化	229
7.3.3 梅森增益公式	231
7.4 MATLAB 应用实例	233
习题	235
第 8 章 系统分析的状态变量法	237
8.1 系统的状态空间描述	237
8.1.1 状态空间基本概念	237
8.1.2 根据系统物理模型建立状态方程	239
8.1.3 由系统的输入-输出方程建立状态方程	240
8.1.4 将系统函数分解建立状态方程	241
8.2 系统函数(传递函数)	244
8.2.1 系统函数(传递函数)矩阵	244
8.2.2 系统函数描述和状态空间描述的比较	245
8.3 状态方程的求解	245
8.3.1 齐次状态方程的时域解	246
8.3.2 齐次状态方程的变换域解	248
8.3.3 非齐次状态方程的解	249
8.3.4 线性离散系统状态方程的解	250
8.4 能控性与能观性	252
8.4.1 系统的能控性	252
8.4.2 系统的能观性	254
8.5 应用例题	255
8.5.1 状态方程建立	255
8.5.2 状态方程求解	257
8.5.3 系统能控能观性	258
8.6 MATLAB 应用于线性系统	260
8.6.1 利用 MATLAB 求解状态空间表达式	260
8.6.2 用 MATLAB 判断线性系统的能控性和能观性	262
8.6.3 状态方程求解	263
习题	264
附录 习题答案	267
参考文献	295

信号与系统概述

本章介绍信号与系统的概念以及它们的分类方法,并讨论了线性时不变(LTI)系统的特性和分析方法,深入地研究了阶跃函数、冲激函数及其特性,介绍了它们在信号和 LTI 系统分析中占有十分重要的地位。

1.1 绪言

在近代,人们在自然科学(如物理、化学、生物等)以及工程、经济、社会等许多领域中,广泛地引用“系统”的概念、理论和方法,并根据各学科自身的规律,建立相应的数学模型,研究各自的问题。一般认为,系统是指由若干相互关联、互相作用的事物按一定规律组合而成的具有特定功能的整体。系统可具有不同的属性和规模。

通信系统的任务是传输消息(如语言、文字、图像、数据、指令等)。为了便于传输,先由转换设备将所传消息按一定规则变换为相对应的信号(如电信号、光信号,它们通常是随时间变化的电流、电压或光强等),经过适当的信道(即信号传输的通道,如传输线、电缆、空间、光纤、光缆等)将信号传送到接收方,再转换为声音、文字、图像等。通信设备中的滤波器是一个简单系统,而由同步卫星和地面站组成的卫星通信是一个庞大的复合系统,它不仅包括完成通信任务的通信系统,还包括保障卫星正常运行的各类子系统。

工业部门常采用微机控制的过程控制系统,用于随时检测、调节或控制工艺流程的各种参数(温度、压力、流量等),保证设备正常运转,生产出合格产品。

工商部门将产品的产量(或进货量)与库存、销售速率等的关系看作是经济系统,以研究如何根据市场销售的状况调节生产(或进货)速度,使产品既不脱销又不积压,节省资金提高效益。

生态学家将生物种群(如细菌、害虫、鱼类等)数量与有关制约因素(如药物、捕捞等)之间的关系看作是生态系统,用于研究药物效能、生物资源开发以及不同种群相互依存、相互竞争的关系等。

在分析属性各异的各类系统时,常常抽去具体系统物理的或社会的含义而把它抽象化为理想化的模型,将系统中运动、变化的各种量(电压、电流、光强、力、位移、生物数量等)统称为信号,宏观地研究信号作用于系统的运动变化规律,揭示系统的一般性能,而不关心它内部的各种细节。

信号的概念与系统的概念是紧密相连的。信号在系统中按一定规律运动、变化,系统在

输入信号的驱动下对它进行“加工”、“处理”并发送输出信号,如图 1.1 所示。输入信号常称为激励,输出信号常称为响应。

在电子系统中,系统通常是电子线路,信号通常是随时间变化的电压或电流(有时可能是电荷或磁通)。从数学观点而言,这类信号是独立变量 t 的函数 $f(t)$ 。在光学成像系统(如照相机)中,系统由透镜组成,信号是分布于空间各点的灰度,它是二维空间坐标 x, y 的函数 $f(x, y)$ 。如果图像信号是运动的,则可表示为空间坐标 x, y 和时间 t 的函数 $f(x, y, t)$ 等。信号是一个独立变量的函数时,称为一维信号。如果信号是 n 个独立变量的函数,就称为 n 维信号。

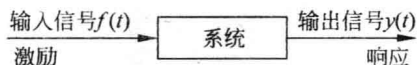


图 1.1 信号与系统

信号理论和系统理论涉及范围广泛,内容十分丰富。信号理论包括:信号分析、信号处理和信号综合;系统理论包括系统分析和系统综合。信号分析主要讨论信号的表示、信号的性质等;系统分析主要研究对于给定的系统(它也是信号的变换器或处理器),它在输入信号(激励)的作用下产生的输出信号(响应)。信号分析与系统分析关系紧密又各有侧重,前者侧重于信号的解析表示、性质、特征等,后者则着眼于系统的特性、功能等。

一般而言,信号分析和系统分析是信号处理、信号综合及系统综合的共同理论基础。本书主要研究信号分析和系统分析的基本概念和基本分析方法,以便为读者进一步学习、研究有关网络理论、通信理论、数字信号处理、控制理论、现代信号处理和信号检测理论等打下基础。

1.2 信号

信号常可表示为时间函数(或序列),该函数的图像称为信号的波形。在讨论信号的有关问题时,“信号”与“函数(或序列)”两个词常互相通用。

如果信号可以用一个确定的时间函数(或序列)表示,就称其为确定信号(或规则信号)。当给定某一时刻值时,这种信号有确定的数值。

实际上,由于种种原因,在信号传输过程中存在着某些“不确定性”或“不可预知性”。譬如,在通信系统中,收信者在收到所传送的消息之前,对信息源所发出的消息总是不可能完全知道的,否则通信就没有意义了。此外,信号在传输处理的各个环节中不可避免地要受到各种干扰和噪声的影响,使信号失真(畸变),而这些干扰和噪声的情况总是不可能完全知道的。这类“不确定性”或“不可预知性”统称为随机性。因此,严格来说,在实践中经常遇到的信号一般都是随机信号。研究随机信号要用概率、统计的观点和方法。虽然如此,研究确定信号仍是十分重要的,这是因为它是一种理想化的模型,不仅适用于工程应用,也是研究随机信号的重要基础。本书只讨论确定信号。

1. 连续信号和离散信号

根据信号定义域的特点可将其分为连续时间信号和离散时间信号。

1) 连续时间信号

在连续时间范围内($-\infty < t < \infty$)有定义的信号称为连续时间信号,简称连续信号。这

里“连续”是指函数的定义域——时间(或其他量)是连续的,至于信号的值域可以是连续的,也可以不是连续的。例如,图 1.2(a)中的信号

$$f_1(t) = 10\sin(\pi t), \quad -\infty < t < \infty$$

其定义域 $(-\infty, \infty)$ 和值域 $[-10, 10]$ 都是连续的。图 1.2(b)的信号

$$f_2(t) = \begin{cases} 0, & t < -1 \\ 1, & -1 < t < 1 \\ -1, & 1 < t < 3 \\ 0, & t > 3 \end{cases} \quad (1.1)$$

其定义域 $(-\infty, \infty)$ 是连续的,但其函数值只取 $-1, 0, 1$ 三个离散的值。

信号在 $t=-1, t=1$ 和 $t=3$ 处有间断点,一般可不定义间断点处的函数值,如式(1.1)所示。为了使函数定义更加完整,此处规定:若函数在 $t=t_0$ 处有间断点,则函数在该点的值等于其左极限 $f(t_{0-})$ 与右极限 $f(t_{0+})$ 之和的 $\frac{1}{2}$,即

$$f(t_0) = \frac{1}{2}[f(t_{0-}) + f(t_{0+})] \quad (1.2)$$

这样,信号在定义域 $(-\infty, \infty)$ 均有确定的函数值。图 1.2(c)所示的单位阶跃函数定义为

$$\varepsilon(t) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \frac{1}{2}, & t = 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases} \quad (1.3)$$

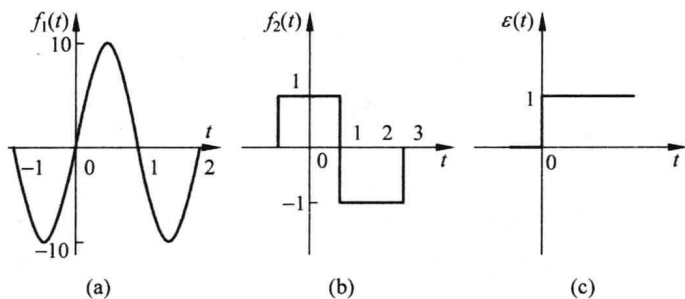


图 1.2 连续时间信号

2) 离散时间信号

仅在一些离散的瞬间才有定义的信号称为离散时间信号,简称离散信号。这里“离散”是指信号的定义域——时间(或其他量)是离散的,它只取某些规定的值。如果信号的自变量是时间 t ,那么离散信号是定义在一些离散时刻 $t_n (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 的信号,在其余时间,不予定义。时刻 t_n 与 t_{n+1} 之间的间隔 $T_n = t_{n+1} - t_n$ 可以是常数,也可以随 n 而变化。本书只讨论 T_n 等于常数的情况。若令相继时刻 t_{n+1} 与 t_n 之间的间隔为 T ,则离散信号只在均匀离散时刻 $t = \dots, -2T, -T, 0, T, 2T, \dots$ 时有定义,它可表示为 $f(nT)$ 。为了简便,不妨把 $f(nT)$ 简记为 $f(n)$ 。这样的离散信号也常称为序列。

序列 $f(n)$ 的数学表示式可以写成闭合形式,也可逐个列出 $f(n)$ 的值。通常把对应某序号 m 的序列值称为第 m 个样点的“样值”。图 1.3(a)的信号为

$$f_1(n) = \begin{cases} 0, & n < -1 \\ 1, & n = -1 \\ 2, & n = 0 \\ 0.5, & n = 1 \\ -1, & n = 2 \\ 0, & n \geq 3 \end{cases}$$

列出了各样点的值。图 1.3(b)所示为单边指数序列,以闭合形式表示为:

$$f_2(n) = \begin{cases} 0, & n < 0 \\ e^{-an}, & n \geq 0, a > 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

对于不同的 a ,其值域 $[0,1]$ 是连续的。与连续信号 $\epsilon(t)$ 相对应,离散时间信号

$$\epsilon(n) = \begin{cases} 0, & n < 0 \\ 1, & n \geq 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

称为单位阶跃序列,如图 1.3(c)所示,其值域只取 0、1 两个数值。

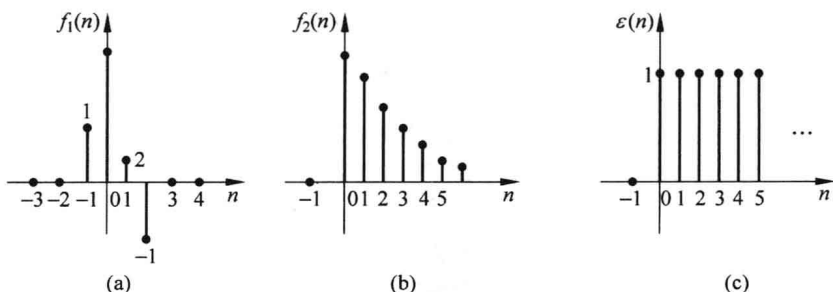


图 1.3 离散时间信号

如上所述,信号的自变量(时间或其他量)的取值可以是连续的或离散的,信号的幅值(函数值或序列值)也可以是连续的或离散的。时间和幅值均为连续的信号称为模拟信号,时间和幅值均为离散的信号称为数字信号。在实际应用中,连续信号与模拟信号两个词常常不予区分,离散信号与数字信号两个词也常互相通用。

2. 周期信号和非周期信号

周期信号是定义在 $(-\infty, \infty)$ 区间,每隔一定时间 T (或整数 N),按相同规律重复变化的信号,如图 1.4 所示。连续周期信号可表示为:

$$f(t) = f(t + mT), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.6)$$

离散周期信号可表示为

$$f(k) = f(k + mN), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.7)$$

满足以上关系式的最小 T (或 N) 值称为该信号的重复周期,简称周期。只要给出周期信号在任一周期内的函数式或波形,便可确知它在任一时刻的值。不具有周期性的信号称为非周期信号。