



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 信号

# 与

# 线性系统

## 第4版

### 上册

管致中  
夏恭恪  
孟 桥



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 信号与线性系统

第4版

上册

管致中 夏恭恪 孟桥



高等教育出版社

## 内容提要

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材。作者在第3版的基础上,根据当前信息和通信技术的发展,结合高校教学改革的形势和要求,综合近十年来的教学实践,对教材作出修订。

与上版相比,本书保留了大部分原有内容,最大的改动是增加了离散傅里叶变换和数字滤波器这两章。上册的具体内容是:绪论、连续时间系统的时域分析、连续信号的正交分解、连续时间系统的频域分析、连续时间系统的复频域分析、连续时间系统的系统函数。

本书可供普通高等学校电气信息类专业作为“信号与系统”课程的教材使用,也可供有关科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

信号与线性系统.上册/管致中,夏恭恪,孟桥编著.  
4版.—北京:高等教育出版社,2004.1

ISBN 7-04-013016-5

I. 信... II. ①管... ②夏... ③孟... III. ①信号理论—高等学校—教材 ②线性系统—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(2003)第 105284 号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-82028899		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 涿州市星河印刷厂

开 本	787×960 1/16	版 次	1979年2月第1版 2004年1月第4版
印 张	23	印 次	2004年1月第1次印刷
字 数	430 000	定 价	26.40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

策划编辑	刘激扬
责任编辑	刘激扬
封面设计	李卫青
责任绘图	朱 静
版式设计	张 岚
责任校对	康晓燕
责任印制	陈伟光

## 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给予严厉打击。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) 58581897/58581698/58581879/58581877

**传 真：**(010) 82086060

**E - mail：**dd@hep.com.cn 或 chenrong@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

**邮 编：**100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

## 第四版前言

本书是1992年《信号与线性系统》第三版的修订版本。新版本在内容上仍然覆盖了信号与系统课程教学基本要求的所有内容,在体系结构上保留了原书的特色。按照先连续系统后离散系统、先时域分析法后变换域分析法、先输入输出描述后状态空间描述、先确定信号后随机信号的顺序,对信号与系统的分析方法进行了全面的介绍,由浅入深,由简单到复杂,将一些基本概念和基本分析方法逐步引出。同时,根据当前信息和通信技术的发展动态,结合高校教学改革的形式和要求,综合近十年来教学实践中的经验和教学需要,对教材内容进行了修订,以期能够更好地为各个高校信号与系统课程的教学服务。

与上一版相比,本书最大区别在于在第八章 $z$ 变换之后增加了离散傅里叶变换和数字滤波器两章的内容,在以往的教学体系中这些内容都是出现在专业课《数字信号处理》中的。增加这两章的原因是多方面的。首先,这些内容已经与前面两章的内容构成了一个完整的体系,引入这些内容使离散时间信号与系统分析的内容更加完善。其次,这也是工程应用的需要。离散傅里叶变换作为一个重要的数学工具,在通信、自动控制和信息处理等各个领域都有广泛的应用,原书仅在第八章中用一个小节介绍这些方面的内容显然不能满足读者的需要,所以在本版中对离散傅里叶变换作了较详细的介绍,包括其性质、应用、快速算法以及由此引出的循环卷积运算等内容,以满足读者对这些方面的要求。同时,随着计算机技术和超大规模集成电路技术的发展,在很多场合连续信号处理的工作是由离散时间系统进行的,数字滤波器在工程中的应用越来越多,这就要求从事这方面工作的技术人员能够深入了解数字滤波器的工作原理,能够根据实际工作的要求设计出数字滤波器。所以在第十章中,我们重点介绍了数字滤波器处理连续信号的工作原理以及FIR、IIR滤波器的设计方法。在对IIR滤波器设计方法的介绍中,避开复杂的模拟滤波器的设计方法,重点讨论了如何以已知的模拟滤波器的系统函数为原型设计出数字滤波器,而对于如何求出原型模拟滤波器未作详细介绍,只是以例题的方式给出了一个比较容易计算和理解的巴特沃思滤波器设计的例子。在很多工程应用中,利用巴特沃思滤波器设计出的数字滤波器基本上能够满足需要。而对于FIR滤波器,由于它容易实现线性相位、设计方法简单、系统稳定性容易得到保证等种种优点,是第十章介绍的重点。通过第十章的学习,读者基本上可以设计出满足工程应用需要的数字滤波器。

增加离散傅里叶变换和数字滤波器这两章的另外一个重要的原因就是教学的需要。近年来随着教学改革的深化以及人才培养的需要,在很多高校中信号与系统从原来仅对通信和信息类专业本科生开设的课程,变成了通信、信息、自动控制、电气工程、计算机技术、生物医学工程等诸多学科本科生的必修课程,有些高校中还为非电类专业开设了本课程,这些专业的读者对原本在数字信号处理中这两方面的内容也有迫切的需要,但常常由于总课时的限制又无法开设数字信号处理课程。在这种情况下,这两章的内容可以作为对这方面知识的一个补充。同时,考虑到有很多专业(特别是通信和信息专业)在后续的专业课中开设有数字信号处理课程,所以虽然根据内容的连续性将这两章排在了第八章之后,但是与后面第十一章以后的内容并没有联系,完全可以跳过以避免不同课程之间教学内容的重复。所以教师可以根据总的教学计划以及课时的具体情况决定是否在教学中采用这两章的内容。

本书中其他各章的内容中基本保持了大多数原有内容,包括例题、图表和习题,但也根据需要进行了一定的修改。为了使教师更快熟悉本书的内容,这里将一些改动之处以及改动时考虑归纳如下。

在第一章的信号概念中,加入了信号的运算内容,包括算术运算、时延、尺度变换、反褶等,为后面章节里有关内容(如卷积计算、傅里叶变换性质等)的讨论打下基础。在时域分析中,则删除了一些较陈旧的内容,如杜梅尔积分等。同时考虑到原来的数值积分与后面的离散卷积重复,故也一并删去。对连续信号频域分析的内容进行了调整,调整后的第三章主要讨论一般信号的谱分析,而系统的频域分析法以及谱分析的应用(例如调制解调)等集中在第四章中讨论,这样一来使体系更为简明,也更便于教学;同时加强了周期性信号的谱密度函数分析,从而使频域求解方法统一在谱密度函数的基础上,加深了对FS与FT之间关系的理解。在第六章中,将系统的奈奎斯特判据和根轨迹合并为反馈系统稳定性判据,强调了两种方法的共同应用背景,体系更为合理;同时也使得读者对控制理论有了初步的了解,便于理解和掌握。

在第七章和第八章对离散时间系统时域和频域分析法的介绍中,加强了与连续时间系统分析方法的比较,同时在其中也增加了一些经典的非电离散时间系统的例子,加深读者对离散时间系统的理解,使知识融会贯通。在第八章中还对利用留数法计算反 $z$ 变换的算法进行了深入介绍,不仅讨论了它在单边反变换中的应用,而且也讨论了它在双边反变换中的应用。原来在第八章中的数字滤波器和离散傅里叶变换两个小节现各自分别扩展为第九章和第十章,内容更加完整。

在第十一章状态变量分析法中,对状态方程建立过程的侧重点放到了“由输入输出方程求状态方程”上,相应的内容也提到“电系统状态方程的建立”之前。

这首先是因为由输入输出方程建立状态方程的过程比较规则和简单,读者容易掌握,通过它可以加快对状态方程和输出方程的理解,也便于引出状态方程的矩阵形式以及介绍状态方程的多样性。另外一个原因是考虑到有些非电专业的读者对电系统分析不是很熟悉,这时可以通过这一节学习状态变量的建立过程,不会被复杂的电网络分析难倒,对于这些读者来说完全可以跳过“电系统状态方程的建立”这一节。此外,鉴于计算机数值分析方法在科研和工程中的广泛应用,在这一章中还加强了对系统的数值分析方法的介绍,在原来欧拉方法的基础上进一步介绍了龙格-库塔方法,并将这种数值分析方法从线性系统分析推广到了非线性系统分析,并通过两个著名的非线性系统的例子向读者揭示了混沌等非线性系统的一些重要的特性。介绍这些内容的目的并不是向读者系统介绍非线性系统的分析方法,而是想通过它向读者打开探索非线性系统的大门。

对于教材中最后三章有关随机信号的内容,基本保持了原来的结构和体系。对其中一些统计量(例如均值、自相关函数等)的物理意义也进行了深入讨论。同时在最后一章对最佳滤波器的设计方法进行了更为详细的介绍,并通过实例分析了匹配滤波器的工作原理和效果,以利于读者进一步学习和掌握在通信、雷达声纳等应用场合的信号处理的原理。在这三章内容中,第十三章为随机信号的分析,第十四章则为系统对随机信号响应的分析方法。而第十二章“随机变量”中的内容似乎与本书的主题“信号与线性系统分析”有些不符。在这次修订过程中,考虑到有些读者可能缺乏这些方面的基础知识,且原书这章有着鲜明的不同于其他数学类教材的特色,就是结合工程实例对概率论进行介绍,对于从事电子技术和通信方面工作的读者仍具有一定的参考价值,所以在新版中依然保留了第十二章。如果读者在先修课程中已经学过这些方面的知识,也可以跳过这章。

为配合双语教学的进行,本版改变了以前各版本中只在索引中给出有关名词和术语的英文形式的方式,在正文第一次出现有关名词和术语时就给出其英文词汇以及缩写,使读者在阅读时能够直接接触和熟悉相应的英文词汇,为今后阅读相关的英文文献打下基础。在索引中,有关名词的排列也由原来按笔划顺序排列改为按汉字的拼音字母顺序排列,以方便读者查找。

本书的原作者管致中参加了修订版大纲的审定。上册内容的具体的修订工作由夏恭恪完成,下册内容的具体修订工作由孟桥完成。清华大学郑君里教授审阅了全文并提出了许多非常宝贵的修改意见,谨致以衷心的感谢。

在本书的编写过程中,熊明珍老师以及梅震、杨长清、魏强等研究生在文字录入上提供了帮助。此外,在长期的教学过程中与各位从事信号与系统教学的同仁的研讨以及与广大同学的交流,也对本书的编写有着很大的助益。高等教育出版社的各位编辑与作者的愉快合作为本书的出版创造了良好的条件。这里



一并对这些关心和帮助过本书修订工作的人们致以深深的谢意。

由于作者水平有限,修订版中可能依然存在疏漏不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2003年9月6日 于东南大学

# 目 录

第一章 绪 论 .....	1
§ 1.1 引言 .....	1
§ 1.2 信号的概念 .....	3
§ 1.3 信号的简单处理 .....	7
§ 1.4 系统的概念 .....	10
§ 1.5 线性时不变系统的分析 .....	13
§ 1.6 非电系统的分析 .....	16
习题 .....	19
<hr/>	
第二章 连续时间系统的时域分析 .....	23
§ 2.1 引言 .....	23
§ 2.2 系统方程的算子表示法 .....	26
§ 2.3 系统的零输入响应 .....	29
§ 2.4 奇异函数 .....	34
§ 2.5 信号的脉冲分解 .....	39
§ 2.6 阶跃响应和冲激响应 .....	44
§ 2.7 叠加积分 .....	52
§ 2.8 卷积及其性质 .....	55
§ 2.9 线性系统响应的时域求解 .....	67
附录 从分配函数观点看冲激函数 .....	74
习题 .....	77
<hr/>	
第三章 连续信号的正交分解 .....	85
§ 3.1 引言 .....	85
§ 3.2 正交函数集与信号分解 .....	86
§ 3.3 信号表示为傅里叶级数 .....	94
§ 3.4 周期信号的频谱 .....	105
§ 3.5 傅里叶变换与非周期信号的频谱 .....	111
§ 3.6 常用信号的傅里叶变换 .....	118
§ 3.7 周期信号的傅里叶变换 .....	122

§ 3.8 傅里叶变换的基本性质 .....	130
§ 3.9 帕塞瓦尔定理与能量频谱 .....	145
§ 3.10 沃尔什函数 .....	149
习题 .....	157
<hr/>	
第四章 连续时间系统的频域分析 .....	164
§ 4.1 引言 .....	164
§ 4.2 信号通过系统的频域分析方法 .....	165
§ 4.3 理想低通滤波器的冲激响应与阶跃响应 .....	171
§ 4.4 佩利-维纳准则 .....	174
§ 4.5 调制与解调 .....	178
§ 4.6 频分复用与时分复用 .....	189
§ 4.7 希尔伯特变换 .....	191
§ 4.8 信号通过线性系统不产生失真的条件 .....	195
习题 .....	200
<hr/>	
第五章 连续时间系统的复频域分析 .....	205
§ 5.1 引言 .....	205
§ 5.2 拉普拉斯变换 .....	206
§ 5.3 拉普拉斯变换的收敛区 .....	211
§ 5.4 常用函数的拉普拉斯变换 .....	212
§ 5.5 拉普拉斯反变换 .....	216
§ 5.6 拉普拉斯变换的基本性质 .....	227
§ 5.7 线性系统的拉普拉斯变换分析法 .....	239
§ 5.8 阶跃信号作用于 RLC 串联电路的响应 .....	251
§ 5.9 双边拉普拉斯变换 .....	255
§ 5.10 线性系统的模拟 .....	262
§ 5.11 信号流图 .....	268
习题 .....	277
<hr/>	
第六章 连续时间系统的系统函数 .....	286
§ 6.1 引言 .....	286
§ 6.2 系统函数的表示法 .....	288
§ 6.3 系统函数极点和零点的分布与系统时域特性的关系 .....	292
§ 6.4 系统函数极点和零点的分布与系统频率特性的关系 .....	296
§ 6.5 波特图 .....	300

---

§ 6.6 系统的稳定性 .....	308
§ 6.7 反馈系统的稳定性 .....	314
§ 6.8 根轨迹 .....	320
习题 .....	329
<hr/>	
部分习题参考答案 .....	336
索引 .....	347

# 第一章 绪 论

## § 1.1 引 言

人类社会的发展离不开人类群体的活动,为了保证群体活动的协调和有序,人们之间就必须相互交流信息。信息要用某种物理方式表达出来,例如可以用语言、文字或图画来表达,也可以用收、发双方事先约定的编码来表达。这些语言、文字、图画、编码等等,分别是按一定规则组织起来,因而含有了信息的一组约定的符号,这种用约定方式组成的符号统称为消息(message)。消息依附于某一物理量的变化上就构成信号(signal)。

在电磁现象被人类认识之前,信息的交流与传输是由直接作用于人类感觉器官的信号来实现的,例如烽火、鼓声、旗语、书信等等。在这里传输的是直接作用于人耳的声信号或直接作用于人眼的光信号。这些传输信息的方式,或信息含量少,或传输速度慢,或传输距离受限,有着种种的不足之处。因此,在电被人类认识之后,因其传输信息快速、便捷,用电作为信息载体的电信号的传输就得到了快速的发展。自1837年莫尔斯(F. B. Morse)发明电报以来,历经百余年的发展,传输电信号的通信方式得到了广泛运用与迅速发展,现在电话、电报、无线广播,电视已成为人们生活中不可缺少的部分,而为适应生产活动全球化的需要,已经实现了环绕全球的电信号通信,并正向超越地球的太阳系通信扩展。在信息传输理论中也常将直接作用于人类感官的信号统称为消息。消息一般并不便于直接传输,所以要利用一些转换设备,把各种不同的消息转变成为便于传输的电的信号。电信号常常是随着时间变化的电压或电流等电的量,这种变化是与语言的声音变化或者图画的色光变化等相对应的。这样变化着的电压或电流,分别构成了代表声音、图像和编码等消息的信号,因而信号中也就包含了消息中所含有的信息。所以,带有信息的信号是信息传输技术的工作对象。

信号的传输,要由用许多不同功能的单元组织起来的一个复杂系统来完成。从广泛的意义上说,一切信息的传输过程都可以看成是通信,一切完成信息传输任务的系统都是通信系统,例如电报、电话、电视、雷达、导航等系统均属之。以一个电视系统来说,在这系统中,所要传输的信息包含在一些配有声音的画面之中。在传输这些画面时,先要利用电视摄像机把画面的光线色彩转变成图像信号,并利用话筒把声音转变成伴音信号,这些就是电视要传输的带有信息的原始

信号。然后,把这些信号送入电视发射机,发射机能够产生一种反映上述信号变化的便于传播的高频电信号。最后,由天线将这高频电信号转换为电磁波发射出去,在空间传播。电视接收者用接收天线截获了电磁波的一小部分能量,把它转变成为高频电信号送入电视接收机。接收机的作用正好和发射机相反,它能从送入的高频电信号中恢复出原来的图像信号与伴音信号,并把这两种信号分别送到显像管和喇叭,使接收者能看到传输的画面,还听到配套的伴音。这个过程,可以用一个简明的方框图表示,如图 1-1 所示。这个图表示了一般通信系统的组成,其中转换器(transducer)指的是把消息转换为电信号或者反过来把电信号还原成消息的装置,如摄像管和显像管、话筒和喇叭之类。因为这些装置同时完成了从一种形式的能量转换为另一种形式的能量的工作,所以也常称之为换能器。信道(channel)指的是信号传输的通道,在有线电话中它是一对导线;在利用电磁波传播的无线电通信系统中,它可以是电磁波传播的空间、卫星通信中的人造卫星,也可以是波导或同轴电缆;在近来发展的光通信中,则是光导纤维。如果理解得更加广泛发射机和接收机也可以看成是信号通道的一部分,因此有时也称它们为信道机。所以一个通信系统的工作,主要是包括消息到信号的转换、信号的处理和信号的传输,有时还要对信号进行监测。



图 1-1 通信系统的组成

与信号传输技术同时发展起来的还有信号处理技术。信号处理的研究领域较少涉及信号的传输,而更多的是考虑信号收到以后的解释。这些信号可能是通信中所传输的信号,也可能是包含有信息的某些数据,诸如生物学中的信号(例如脑电、心电数据)、计算机打印的科学实验数据、商业数据、气象资料等。这里的基本问题是分析收到的信号或数据,从中提取出有用的信息。特别是在存在有使信号含糊不清的噪声或干扰的情况下,提取所需要的确切信息。信号处理技术包含有滤波、变换、增强、压缩、估值与识别等内容。自上世纪 80 年代以来,随着高速数字计算机的发展及大规模集成电路技术的进步,信号处理的理论与方法都有了很大的发展,并取得了广泛的运用。如多媒体通信、影碟机、高清晰电视、数码相机以及机械振动分析、机械故障诊断、心电、脑电分析等等。

信号传输与信号处理是两个独立的学科,但两者又是密切有关的学科,在发展中相互影响相互促进。如处理带有不确定性的随机信号的技术,就密切依赖于研究信息传输所发展起来的理论,而信号处理技术的运用又大大提高了信号传输的质量。扩展了通信的距离。信号传输与信号处理的共同的理论基础之一

是信号分析与系统分析。即要研究信号的特性、系统的分析方法、实现系统各组成部分的具体电路以及这些电路对信号产生何种影响等问题。

信息的传输与处理技术,除应用在通信领域外,自上世纪 40 年代以来也广泛渗透到其他许多技术领域:如各种雷达与声纳、自动化与遥测数据的处理、全息技术、计算技术、以至天文学、地震学、生物学、经济学等等领域。

由以上简略的叙述可以看出,对于通信、自控、电气及计算机等学科,信号和系统的基本分析方法以及它们的基本特性都是必须具备的知识,本课程就是为研究这方面的基本理论而设置的。在本章下面几节中将分别对于信号、系统、系统分析等问题介绍一点一般概念,以便后面逐章进行详细讨论。

## § 1.2 信号的概念

在信号传输系统或信号处理系统中传输处理的主体是信号,系统所包含的各种电路、设备则是为实施这种传输或处理的各种手段。因此,电路、设备的设计和制造的要求,必然要取决于信号的特性。随着欲待传输或处理的信号日益复杂,相应地,系统中的元器件、电路、设备和结构等也日益复杂。这就是信号分析具有重要意义的原因。

广义地说,信号是随着时间变化的某种物理量。只有变化的量中才可能含有信息。电信号是随着时间变化的电量,它们通常是电压或电流,在某些情况下,也可以是电荷或磁通。信号表示为一个时间的函数,所以在信号分析中,信号和函数二词常相通用。信号可按不同方式进行分类,通常的分类如下:

### 1. 确定信号与随机信号

与信号是一确定的时间函数时,给定某一时间值,就可以确定一相应的函数值。这样的信号是**确定信号**(determinate signal)。但是,带有信息的信号往往具有不可预知的不确定性,它们是一种**随机信号**(random signal)。随机信号不是一个确定的时间函数,当给定某一时间值时,其函数值并不确定,而只知道此信号取某一数值的概率。严格地说,除了实验室发生的有规律的信号外,一般的信号都是随机的。因为对于接收者来说,信号如果是完全确定了的时间函数,就不可能由它得到任何新的信息,因而也就失去了传输信号的目的。但是,对于确定信号的分析仍然具有重要意义,因为有些实际信号与确定信号有相近的特性。例如,乐音在一定时间内近似于周期信号。从这一意义上来说,确定信号是一种近似的、理想化了的信号,作这样的处理,能够使问题分析大为简化,以便于工程上的实际应用。在信号传输过程中,除了人们所需要的带有信息的信号外,同时也还会夹杂着如噪声、干扰等人们所不需要的信号,它们大都带有更大的随机性质。本书将主要对确定信号进行分析,对于随机过程也将作一些基本的分析,进

一步的研究则留待后续课程中去讨论。

## 2. 连续信号与离散信号

确定信号表示为确定的时间函数,如果在某一时间间隔内,对于一切时间值,除了若干不连续点外,该函数都给出确定的函数值,这信号就称为**连续信号**(continuous signal)。如图 1-2(a)、(b)所示的两个函数,都是在时间间隔  $-\infty < t < \infty$  内的连续信号,只是在  $t < 0$  的范围内,两者的信号值均为零。

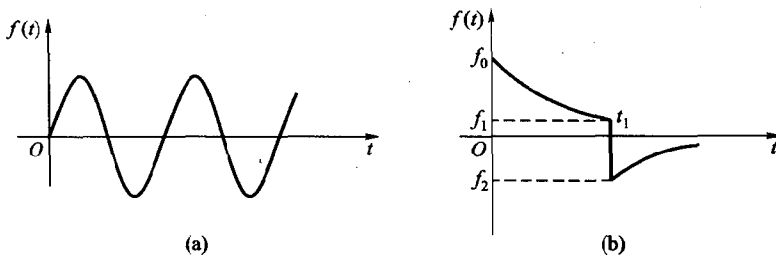


图 1-2 连续信号

这里  $t=0$  是一个任意选取的起计时间的参考点。这种在  $t < 0$  其值为零的函数,称为**有始函数\*** (causal function)。应注意的是,连续信号中可以包含有不连续点。如图 1-2(b)中所示函数  $f(t)$ ,在  $t=0$  和  $t=t_1$  处是不连续的,因在该两点处

$$\lim_{t \rightarrow 0^+} f(t) \neq \lim_{t \rightarrow 0^-} f(t)$$

实际上,所谓连续信号是指它的时间变量  $t$  是连续的。因此,为了更加确切,也常把这种信号称做**连续时间信号**(continuous-time signal)。若用  $f(t_0^+)$  表示  $\lim_{t \rightarrow 0^+} f(t_0 + \epsilon)$ ,用  $f(t_0^-)$  表示  $\lim_{t \rightarrow 0^-} f(t_0 - \epsilon)$  则  $f(t_0^+) - f(t_0^-)$  称为在  $t=t_0$  处的不连续值。显然,图 1-2(b)中信号在  $t=0$  处的不连续值是  $f_0$ ,这是一正值;在  $t=t_1$  处的不连续值是  $f_2 - f_1$ ,是一负值。有时信号函数的不连续点也称为**断点**(break point)。在断点处不连续值常称为跳变值,如不连续值为正则称为正跳变,为负则称为负跳变。

和连续信号相对应的是**离散信号**(discrete signal)。代表离散信号的时间函数只在某些不连续的时间值上给定函数值,如图 1-3 所示。图中函数  $f(t_k)$  只在  $t_k = -1, 0, 1, 2, 3$  等等离散的时刻给出函数值(图中括号内的数值)。所以,所谓离散信号,实际上指的是它的时间变量  $t$  取离散值  $t_k$ ,因而这种信号也常称

\* causal function 通常译为“因果函数”,但“因果”一词不能确切地表示在  $t < 0$  时它的值为零的意思,故本书中称之为“有始函数”。有始函数的时间起始点也可不设定为零,而取某一时间  $t_0$ 。



为离散时间信号(discrete-time signal)。当  $t_k < 0$  时,如果函数值  $f(t_k)$  均为零,则这种离散时间函数也是有始的。离散时间信号可以在均匀的时间间隔上给出函数值,也可以在不均匀的时间间隔上给出函数值,但一般都采用均匀间隔。连续时间信号有时也称为模拟信号,而幅度也取离散值的离散时间信号则有时也称为数字信号。

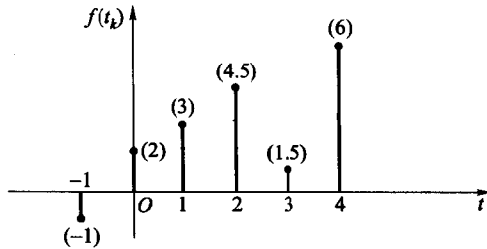


图 1-3 离散信号

用确定的时间函数表示的信号,又可分为周期信号(periodic signal)和非周期信号(non-periodic signal)。对于周期性和非周期性的意义,是大家都熟悉的,这里不再赘述。严格的数学意义的周期信号,是无始无终地重复着某一变化规律的信号。当然,这样的信号实际上是不存在的,所谓周期信号只是指在较长时间内按照某一规律重复变化的信号。

### 3. 能量信号与功率信号。

信号还可以用它的能量特点来加以区分。在一定的时间间隔里,把信号施加在一电阻负载上,负载中就消耗一定的信号能量。如电阻取归一化值为  $1 \Omega$ ,则信号能量即为信号的平方值在该时间间隔上的积分。把这能量值对于时间间隔取平均,即得在此时间内信号的平均功率。现在,如果将时间间隔无限趋大,则一般信号均将属于下述两种情况之一:或者信号总能量为有限值而信号平均功率为零;或者信号平均功率为有限值而信号总能量为无限大。属于前一种情况的信号称为能量信号(energy signal),因为它们只能从能量去加以考察,而无法从平均功率去考察;属于后一种情况的信号称为功率信号(power signal),对于它们,总能量就没有意义,因而只能从功率去加以考察。由直观不难理解,在时间间隔无限趋大的情况下,周期信号都是功率信号;只存在于有限时间内的信号是能量信号;存在于无限时间内的非周期信号可以是能量信号,也可以是功率信号,这要根据信号是何种函数而定。

表示确定信号的时间函数,包含了信号的全部信息量。所以信号的特性首先表现为它的时间特性,通常由信号随时间变化的波形来描述。信号的时间特性主要是指信号随时间变化快慢的特性。所谓变化的快慢,一方面的意义是同