



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划

Signal Analysis and Processing

信号分析与处理 (第2版)

徐科军 黄云志 林逸榕 陈 强 编著
Xu Kejun Huang Yunzhi Lin Yirong Chen Qiang



清华大学出版社

1541766



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



CS1702659

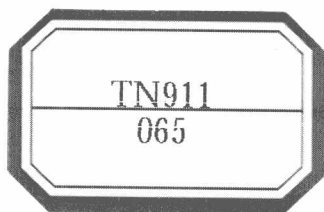
TN911

065

Signal Analysis and Processing

信号分析与处理 (第2版)

徐科军 黄云志 林逸榕 陈 强 编著
Xu Kejun Huang Yunzhi Lin Yirong Chen Qiang



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书主要介绍信号分析与处理的基本原理、方法和应用。全书共分为6章,内容包括:信号的基本知识、连续时间信号分析、离散时间信号分析、离散傅里叶变换和快速傅里叶变换、模拟滤波器简介和数字滤波器设计、随机信号分析,以及总结和应用。本书大部分章节附有习题和上机练习题,并附有部分习题的答案和提示,有助于读者加深对本书的理解。

本书可作为自动化专业、电气工程及自动化专业等工科专业的本科生教材或教学参考书,也可供有关教师和工程技术人员参考。

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

信号分析与处理/徐科军等编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2012.12

全国高等学校自动化专业系列教材

ISBN 978-7-302-30212-4

I. ①信… II. ①徐… III. ①信号分析—高等学校—教材 ②信号处理—高等学校—教材
IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 228436 号

责任编辑:王一玲

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:张雪娇

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 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市漂源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:175mm×245mm 印 张:17 字 数:420千字

版 次:2006年4月第1版 2012年12月第2版 印 次:2012年12月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00元

产品编号:044136-01

出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》



为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层次、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

顾问 (按姓氏笔画):

王行愚(华东理工大学)	冯纯伯(东南大学)
孙优贤(浙江大学)	吴启迪(同济大学)
张嗣瀛(东北大学)	陈伯时(上海大学)
陈翰馥(中国科学院)	郑大钟(清华大学)
郑南宁(西安交通大学)	韩崇昭(西安交通大学)

主任委员: 吴澄(清华大学)

副主任委员: 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

委员 (按姓氏笔画):

王雄(清华大学)	方华京(华中科技大学)
史震(哈尔滨工程大学)	田作华(上海交通大学)
卢京潮(西北工业大学)	孙鹤旭(河北工业大学)
刘建昌(东北大学)	吴刚(中国科技大学)
吴成东(沈阳建筑工程学院)	吴爱国(天津大学)
陈庆伟(南京理工大学)	陈兴林(哈尔滨工业大学)
郑志强(国防科技大学)	赵曜(四川大学)
段其昌(重庆大学)	程鹏(北京航空航天大学)
谢克明(太原理工大学)	韩九强(西安交通大学)
褚健(浙江大学)	蔡鸿程(清华大学出版社)
廖晓钟(北京理工大学)	戴先中(东南大学)

工作小组(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)
陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

责任编辑: 王一玲(清华大学出版社)

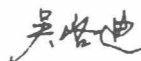


自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20 世纪 50 年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重大作用,如航空、航天等,“两弹一星”的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革方方面面,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分吸取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机

制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创建精品教材,重视实践性环节在人才培养中的作用,采用了竞争机制,以激励和推动教材建设。在此,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师致以诚挚的感谢,并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

 教授

2005年10月于教育部

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指示书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教育,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划的一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的、也可能是随机性的,控制方法可能是常规控制、也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术、从系统理论到工程实践、从计算机技术到信号处理、从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所、参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设基础知识与最新知识有机融合的教材?如何充分利用现代技术,适应现代大学生的接受习惯,改变教材单一形态,建设数字化、电子化、网络化等多元形态、开放性的“广义教材”?等等,这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版,对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、

创造个性化的教学环境,一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限,本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处,还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴俊 院士

2005年10月于清华大学



当今是信息时代,在科学研究、生产建设和工程实践中,信号处理技术,特别是数字信号处理技术应用日益广泛,正在发挥着越来越重要的作用。根据我国的具体情况,“以信息化带动工业化”成为发展工业的一种策略,这极大地拓宽了自动化专业的发展空间,也对自动化人才培养提出了以信息技术为主要特点的新要求。自动化专业是以信息为基础,以控制为核心,立足于系统。而信号是信息的表现形式,各种信号分析与处理的方法有助于信息的提取和利用。在生产过程中,各种被测和被控量都含有噪声,同时又隐藏着一些信息,通过分析和处理,可以滤除测量噪声,为控制提供更为准确和有效的信息。在系统的实现方面,随着实时性和控制算法复杂度的提高,部分单片机正在被数字信号处理器(DSP)所取代,而信号分析与处理方面的知识正是这种器件的理论基础。为此,我们根据应用型大学自动化专业课程体系的要求,考虑到总学时数的减少,将“信号与系统”中的信号部分内容以及“数字信号处理”中的部分内容融合,形成“信号分析与处理”这本教材。本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是作者在多年从事数字信号处理教学和科学研究的基础上编写的。本书重视理论联系实际,注重介绍信号处理的典型应用实例,介绍基于MATLAB语言的信号处理方法的计算机实现。考虑到学生的自主学习和教材内容的完整性,在离散信号分析中简要介绍了拉普拉斯变换和 z 变换。为了满足学生研究性学习的需要,在有些章节增加了思考题和上机练习题。本书的最后一章是总结和应用实例。

绪论包括信号的定义和分类、信号采集与处理系统简介、信号分析与处理的目的和内容、信号分析与处理的发展和应用,以及MATLAB简介。

第1章介绍连续信号时域分析中信号的描述、基本运算、分解和卷积;频域分析中周期信号的傅里叶级数、非周期信号的傅里叶变换;复频域分析中拉普拉斯变换的基本概念、性质以及分析方法;连续时间信号的相关分析。

第2章介绍离散时间信号分析的基本理论:离散时间信号——序列的表示、常用序列和序列的运算;采样定理与实现;序列的 z 变换及逆 z 变换、 z 变换的基本性质;离散系统描述与分析;离散时间信号的相关分析。

第3章讨论序列的傅里叶变换(DTFT);离散傅里叶变换(DFT)产生及其物理意义,离散傅里叶变换的一些性质;DFT在实际应用中存在的问题和解决的办法;快速傅里叶变换(FFT)的原理、实现及应用。

第4章介绍滤波器的定义、基本原理,以及滤波器的分类与技术指标;

巴特沃斯和切比雪夫 I 型模拟低通滤波器的设计方法,以及由低通到高通、带通及带阻滤波器的频率变换方法;无限冲激响应数字滤波器和有限冲激响应数字滤波器的设计方法;利用窗口法和切比雪夫逼近法设计出具有线性相位的 FIR 数字滤波器;滤波器设计中的实际问题。

第 5 章讨论随机信号的相关函数分析及其应用;随机信号功率谱估计,包括功率谱密度的定义、性质、与自相关函数的关系、估计方法和应用;互谱分析;谱估计中的几个重要问题,包括预处理、频谱泄漏与窗函数之间的关系、谱估计的基本步骤以及频谱校正方法;随机信号通过线性移不变系统的行为。

第 6 章首先采用流程图的方式,对前面几章的内容进行概括性的梳理和总结,以便读者从宏观上把握本书的主要内容;然后,介绍用信号分析与处理方法准确提取出频率、幅值和相位差信息的应用实例,以便读者熟悉信号处理方法的应用过程。

本书的第 1 版作为《全国高等学校自动化专业系列教材》之一于 2006 年出版。清华大学胡广书教授担任主审。胡广书教授仔细审阅了书稿,在本书的体系结构和具体的细节叙述方面都提出了许多指导性的意见。本书的第 1 版出版后,被国内一些高校选作教材,使用效果良好。为了让读者更好地掌握信号分析与处理的理论知识和提高实际动手能力,我们对第 1 版进行修订,在 2.2 节“采样定理及实现”中充实了等效时间采样方面的内容。在第 4 章“滤波器设计”中增加 4.5 节“滤波器设计中的实际问题”。考虑到第 6 章“自适应滤波器”一般不讲授,所以,改成“总结和应用”,先对全书的内容进行提纲挈领的总结,以便读者对信号分析与处理有较为完整的把握;再从处理信号频率、幅值和相位差的角度,介绍数字信号处理技术在自动化领域中的应用实例。

本教材的绪论,1.5 节、2.2 节、2.3 节、2.5 节和 2.6 节,第 5 章和第 6 章由徐科军编写;2.1 节、2.2 节和 2.7 节,第 3 章和 4.1 节、4.2 节、4.3 节、4.4 节和 4.6 节由黄云志编写;1.1 节至 1.4 节和 1.6 节由林逸榕编写;4.5 节由陈强编写;全书由徐科军统稿。此外,黄云志、陈强和甘敏对第 1 版中出现的印刷和书写错误进行了更正。

由于编者水平有限,书中可能存在不妥之处,欢迎读者批评指正。

编 者

于合肥工业大学

电气与自动化工程学院

2012 年 8 月

绪论	1
0.1 信号的定义及分类	1
0.1.1 连续时间信号与离散时间信号	1
0.1.2 能量信号与功率信号	2
0.1.3 确定性信号与随机信号	2
0.2 信号分析与处理系统简介	3
0.3 信号分析与处理的目的和内容	4
0.4 信号分析与处理的发展和应用	5
0.5 MATLAB 简介	6
第 1 章 连续时间信号分析	7
1.1 连续时间信号的时域分析	7
1.1.1 连续信号的时域描述	7
1.1.2 连续信号的基本运算	13
1.1.3 连续信号的时域分解	16
1.1.4 连续信号的卷积	18
1.2 周期信号的频率分解	21
1.2.1 周期信号的描述	21
1.2.2 傅里叶级数	22
1.2.3 周期信号的频域分析	26
1.2.4 傅里叶级数的性质	28
1.3 非周期信号的频谱	32
1.3.1 从傅里叶级数到傅里叶变换	32
1.3.2 傅里叶变换的性质	35
1.4 连续时间信号的复频域分析	40
1.4.1 拉普拉斯变换	40
1.4.2 拉普拉斯变换的性质	43
1.4.3 系统函数	44
1.5 连续信号的相关分析	44
1.5.1 相关函数的定义	45
1.5.2 相关与卷积的关系	46

1.5.3 相关定理	46
1.6 与本章内容有关的 MATLAB 函数	47
小结	54
习题和上机练习	54
参考文献	57
第2章 离散时间信号分析	58
2.1 离散时间信号	58
2.1.1 序列的表示	58
2.1.2 序列的运算	62
2.2 采样定理及其实现	65
2.2.1 采样过程	66
2.2.2 采样定理	66
2.2.3 频率混叠	69
2.2.4 采样方式	70
2.3 离散时间信号的相关分析	72
2.3.1 离散时间信号的相关分析	72
2.3.2 离散时间信号的互相关函数	73
2.4 离散时间信号的 z 域分析	74
2.4.1 z 变换及其收敛域	74
2.4.2 z 反变换	77
2.4.3 z 变换的性质	78
2.5 离散系统描述与分析	79
2.5.1 离散系统的数学模型	79
2.5.2 差分方程的描述	80
2.5.3 离散卷积的描述	81
2.6 物理可实现系统	82
2.6.1 因果系统	82
2.6.2 稳定系统	83
2.6.3 物理可实现系统的定义	84
2.7 与本章内容有关的 MATLAB 函数	85
小结	88
习题和上机练习	89
参考文献	91
第3章 离散傅里叶变换和快速傅里叶变换	92
3.1 连续时间信号的傅里叶变换	92

3.1.1	时间连续频率离散的傅里叶变换	92
3.1.2	时间连续频率连续的傅里叶变换	92
3.2	离散傅里叶变换及性质	93
3.2.1	序列的傅里叶变换	93
3.2.2	离散傅里叶变换	98
3.2.3	离散傅里叶变换的性质	106
3.2.4	离散傅里叶变换在应用中的问题	114
3.3	快速傅里叶变换	116
3.3.1	FFT 的基本思想	116
3.3.2	时间抽取基-2FFT 算法	117
3.3.3	频率抽取基-2FFT 算法	119
3.3.4	快速傅里叶逆变换	121
3.3.5	快速傅里叶变换的应用	122
3.4	与本章内容有关的 MATLAB 函数	124
小结		125
习题和上机练习		126
参考文献		128
第 4 章	数字滤波器的设计	129
4.1	滤波器概述	129
4.1.1	基本原理	129
4.1.2	滤波器的分类	130
4.1.3	滤波器的技术要求	131
4.2	典型模拟滤波器的设计	132
4.2.1	巴特沃斯低通滤波器	133
4.2.2	切比雪夫低通滤波器	135
4.2.3	模拟滤波器的频率变换	138
4.3	IIR 数字滤波器的设计	140
4.3.1	IIR 滤波器设计的基本条件	140
4.3.2	双线性变换法	141
4.3.3	用频率变换法设计其他类型的数字滤波器	144
4.4	FIR 数字滤波器的设计	147
4.4.1	FIR 滤波器的特性	147
4.4.2	FIR 滤波器设计的窗口法	151
4.4.3	FIR 滤波器设计的切比雪夫逼近法	158
4.5	滤波器设计中的实际问题	161
4.5.1	模拟滤波器与数字滤波器	161

4.5.2 简单形式的滤波器	162
4.5.3 FIR 与 IIR 滤波器	164
4.6 与本章内容有关的 MATLAB 函数	165
4.6.1 与 IIR 数字滤波器设计相关的 MATLAB 函数	165
4.6.2 与 FIR 数字滤波器设计相关的 MATLAB 函数	167
小结	170
习题和上机练习	171
参考文献	172
第 5 章 随机信号分析	174
5.1 随机信号简介	174
5.1.1 平稳随机过程	174
5.1.2 各态遍历随机过程	175
5.1.3 非平稳随机过程	176
5.2 随机信号的相关分析	176
5.2.1 随机信号的自相关函数及其应用	176
5.2.2 随机信号的互相关函数及其应用	183
5.3 随机信号的功率谱估计	189
5.3.1 随机信号的功率谱密度	189
5.3.2 功率谱密度的性质	191
5.3.3 功率谱密度与自相关函数的关系	191
5.3.4 功率谱估计的方法	195
5.3.5 功率谱估计的应用	198
5.3.6 互谱密度及其估计	202
5.4 谱估计中的几个问题	204
5.4.1 数据预处理	204
5.4.2 频谱泄漏与窗函数	205
5.4.3 谱估计的基本步骤	209
5.4.4 频谱校正方法	209
5.5 平稳随机信号通过线性系统 ^[3]	211
5.6 与本章内容有关的 MATLAB 函数	213
小结	215
习题和上机练习	215
参考文献	217
第 6 章 总结和应用	218
6.1 总结	218

6.1.1	主要内容	218
6.1.2	信号分类	218
6.1.3	数据采集	218
6.1.4	傅里叶变换	220
6.1.5	频域分析	220
6.1.6	时域分析	221
6.1.7	数字滤波器设计	222
6.2	应用	222
6.2.1	频率测量	223
6.2.2	幅值测量	226
6.2.3	相位差测量	230
	小结	234
	参考文献	235
	部分习题答案和提示	236
	附录 A 常用信号的傅里叶变换	247
	附录 B 常用信号的拉普拉斯变换	248
	附录 C 常用序列的 z 变换	249
	附录 D z 变换的主要性质	250



在科学和工程技术领域中常常需要对信号进行分析与处理。随着计算机和信息科学的飞速发展,信号分析与处理在工程技术领域应用越来越广泛,并且所起的作用也越来越大。那么,什么是信号?信号是如何分类的?如何采集信号?信号分析与处理的目的、内容、方法及特点是什么?信号分析与处理有哪些方面的应用,以及它的发展趋势如何?这些就是本章要介绍的内容。

0.1 信号的定义及分类

信息是信号的具体内容,信号是信息的物理表现形式,它反映了物理系统的状态与特性,是信息的函数。广义地说,任何带有信息的事物,如电压、电流、温度和压力等各种物理量,以及语音和图像等,均可称为信号。一般说来,电压和电流等是一个独立变量(时间)的函数;图像在平面坐标系中是两个独立变量的函数;气温和风速等则是取决于纬度、经度和高度这三个独立变量的函数。本课程只讨论作为一个独立变量函数(一般设定为时间 t)的信号,即一维信号。

0.1.1 连续时间信号与离散时间信号

按照自变量时间 t 的取值特点可以把信号分为连续信号和离散信号。如果在所讨论的时间间隔内,除有限个不连续间断点之外,对于任何时间值都可以给出确定的函数值,此信号就称为连续信号,如图 0.1.1 所示。

连续信号的幅值可以是连续的,也可以是离散的(只取某些规定的值)。时间和幅值都是连续的信号又称为模拟信号。在实际应用中,模拟信号与连续信号两名词往往不予区分。

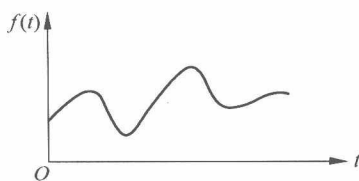


图 0.1.1 连续信号

与连续信号对应的是离散信号。离