



高职高专“十一五”规划教材
电子信息系列

信号与系统

XINHAOYUXITONG

刘品潇 主 编

郑 冬 马世榜 副主编

李建朝 主 审

国防科技大学出版社

高职高专“十一五”规划教材

电子信息系列

信号与系统

	刘品潇	主 编
郑 冬	马世榜	副主编
	李建朝	主 审

国防科技大学出版社

【内容简介】本教材是为高职高专通信类专业编写的教材。

本书叙述简单明了,概念清晰,便于学生自学和教师施教。全书共分6章,内容包括信号与系统概述、连续信号与系统的时域分析、连续信号与系统的频域分析、连续信号与系统的复频域分析、离散信号与系统分析及离散信号与系统的 z 域分析。

本书可作为通信类专业高职高专教材,也可供工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/刘品潇主编. —长沙:国防科技大学出版社,2008.10
(高职高专“十一五”规划教材·电子信息系列)

ISBN 978-7-81099-571-9

I. 信… II. 刘… III. 信号系统—高等学校—教材
IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 157694 号

出版发行:国防科技大学出版社

网 址: <http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:唐卫葳 特约编辑:李斐然

印 刷 者:三河市骏杰印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.25

字 数:331千字

版 次:2008年10月第1版 2008年11月第1次印刷

定 价:21.00元

出版说明

高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,承担着培养高素质技术、技能型人才的重任。近年来,在国家和社会的支持下,我国的高职高专教育取得了不小的成就,但随着我国经济的腾飞,高技能人才的缺乏越来越成为影响我国经济进一步快速健康发展的瓶颈。这一现状对于我国高职高专教育的改革和发展而言,既是挑战,更是机遇。

要加快高职高专教育改革的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高职高专教材作为体现高职高专教育特色的知识载体和教学的基本工具,直接关系到高职高专教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为促进高职高专教育的发展,加强教材建设,教育部在《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中,提出了“重点建设好3000种左右国家规划教材”的建议和要求,并对高职高专教材的修订提出了一定的标准。为了顺应当前我国高职高专教育的发展潮流,推动高职高专教材的建设,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的人员成立了高职高专“十一五”规划教材编审委员会。

编审委员会依据教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,调研了百余所具有代表性的高等职业技术学院和高等专科学校,广泛而深入地了解了高职高专的专业和课程设置,系统地研究了课程的体系结构,同时充分汲取各院校在探索培养应用型人才方面取得的成功经验,并在教材出版的各个环节设置专业的审定人员进行严格审查,从而确保了整套教材“突出行业需求,突出职业的核心能力”的特色。

本套教材的编写遵循以下原则:

(1) 成立教材编审委员会,由编审委员会进行教材的规划与评审。

(2) 按照人才培养方案以及教学大纲的需要,严格遵循高职高专院校各学科的专业规范,同时最大程度地体现高职高专教育的特点及时代发展的要求。因此,本套教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化了对学生实际操作能力的培养。

(3) 教材的定位更加强调“以就业为导向”,因此也更为科学。教育部对我国的高职高专教育提出了“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则。根据这一原则,本套教材在编写过程中,力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现出“以行业为导向,以能力为本,以学生为中心”的风格,从而使本套教材更具实用性和前瞻性,与就业市场结合也更为紧密。

(4) 采用“以案例导入教学”的编写模式。本套教材力图突破陈旧的教育理念,在讲解的过程中,援引大量鲜明实用的案例进行分析,紧密结合实际,以达到编写实训教材的

目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本套教材涵盖了公共基础课系列、物流管理系列、计算机系列、财经管理系列、电子信息系列、机械系列和化学化工系列的主要课程。目前已经规划的教材系列名称如下:

公共基础课系列

- 公共基础课

计算机系列

- 公共基础课
- 计算机专业基础课
- 计算机网络技术专业
- 计算机软件技术专业
- 计算机应用技术专业

电子信息系列

- 公共基础课
- 应用电子技术专业
- 通信专业
- 电气自动化专业

化学化工系列

- 化学基础课

物流管理系列

- 物流管理专业

财经管理系列

- 工商管理专业
- 财务会计专业
- 经济贸易专业
- 财政金融专业
- 市场营销专业

机械系列

- 机械基础课
- 机械设计与制造专业
- 数控技术专业
- 模具设计与制造专业
- 机电一体化专业

对于教材出版及使用过程中遇到的各种问题,欢迎您通过电子邮件及时与我们取得联系(联系方式详见“教师服务登记表”)。同时,我们希望有更多经验丰富的教师加入到我们的行列当中,编写出更多符合高职高专教学需要的高质量教材,为我国的高职高专教育做出积极的贡献。

高职高专“十一五”规划教材编审委员会

前 言

随着信息科学技术的不断发展,信息技术对社会进步和国民经济发展起到越来越大的促进作用,并对传统的工作方式带来巨大的冲击,信息技术的应用领域也在不断扩展。信息获取、信息传输、信息识别和信息重现是信息技术研究的核心内容,其基本理论和方法已经成为相关领域的工程技术人员必备的知识。因此,信号与系统这门课程已经从电子信息工程专业的基础课程扩展成为测控技术、自动控制、电气工程、计算机技术等众多专业的基础课程。本书针对高等职业教育的特点,结合高职学生的特点和多年来高职教育的实践经验编写而成。本书在编写过程中注意突出了以下几点:

1. 在编写内容上力求通俗易懂、深入浅出,摒弃了一些繁琐的数学推导,采用有选择的编写模式,强调实践和应用,精炼理论,突出使用技能,内容体系更加适合高职高专的教学特点。

2. 为了让学生更好地吸收知识,该书在概念定律等理论知识的讲解之后都配有大量的例题,以达到淡化理论,突出应用,紧密联系实际的目的,更加便于学生对概念和定律的理解。

3. 鉴于国际上公认的优秀数学计算软件在信号与系统分析方面的广泛应用,本书部分章节的最后,都介绍了利用 MATLAB 软件实现相应分析过程的方法。使学生在完成学习完相关的理论和分析方法后可以利用 MATLAB 软件进行实践,在操作软件的过程中可以加深对理论知识的理解,增强学习兴趣。

4. 突出了实例教学。本书在介绍系统分析方法的内容之后增加了应用举例的小节,通过几个紧密联系实际的实例使理论具体化,促进学生对应用技能的掌握,突出了实例教学的优点。

本书由刘品潇担任主编,郑冬、马世榜担任副主编,任立民、毛翠丽等人参加编写。其中,第1章由任立民编写,第2章由毛翠丽编写,第3章由郑冬、马世榜编写,第6章由郑冬编写,其余章节的编写和全书统稿工作由刘品潇完成。在编写过程中得到了南阳理工学院等院校的大力支持,在此对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。

由于编者教学经验和学术水平有限,加之时间仓促,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 信号与系统概述	1
1.1 信号的分类和常用信号	2
1.1.1 信号的描述	2
1.1.2 信号的分类	2
1.1.3 常用信号	5
1.2 信号的基本运算	8
1.2.1 信号的相加和相乘	8
1.2.2 信号的反转	8
1.2.3 信号的平移	9
1.2.4 信号的展缩	9
1.3 系统的描述	10
1.3.1 系统模型	10
1.3.2 系统的框图表示	11
1.4 系统的分类	12
1.4.1 连续时间系统与离散时间系统	13
1.4.2 线性系统和非线性系统	13
1.4.3 时变系统和时不变系统	13
1.4.4 因果系统和非因果系统	14
本章小结	15
习题 1	15
第 2 章 连续信号与系统的时域分析	17
2.1 连续系统的微分方程及其算子表示	17
2.1.1 表征电路元件特性的关系式	17
2.1.2 电路基本定律	18
2.1.3 机械系统常用元件所遵循的物理定律	18
2.1.4 微分方程的求解	20
2.1.5 用算子符号表示微分方程	24
2.2 零输入响应和零状态响应	26
2.2.1 零输入响应的求取	27
2.2.2 零状态响应的求取	27
2.2.3 系统的完全响应	27

2.3	连续系统的冲激响应和阶跃响应	29
2.3.1	单位冲激信号(函数) $\delta(t)$ 的定义	29
2.3.2	冲激函数的性质	30
2.3.3	用冲激函数 $\delta(t)$ 表示信号	31
2.3.4	冲激响应	32
2.3.5	单位阶跃信号	35
2.3.6	阶跃响应	37
2.4	卷积积分	40
2.4.1	卷积积分的推导	40
2.4.2	卷积积分的图解法	41
2.4.3	卷积积分的性质	42
2.4.4	卷积积分的数值解	46
2.5	系统的时域分析法举例	48
2.6	利用 MATLAB 进行系统的时域分析	50
2.6.1	连续时间系统零状态响应的求解	50
2.6.2	利用 MATLAB 求单位冲激响应和单位阶跃响应	51
	本章小结	52
	习题 2	53

第 3 章 连续信号与系统的频域分析

3.1	周期信号的频谱——傅里叶级数	58
3.1.1	三角函数式傅里叶级数	59
3.1.2	指数函数式傅里叶级数	61
3.1.3	傅里叶级数的存在性	62
3.1.4	傅里叶级数的性质	63
3.2	非周期信号的频谱——傅里叶变换	67
3.2.1	从傅里叶级数到傅里叶变换	67
3.2.2	傅里叶变换的存在性	69
3.2.3	常用信号的傅里叶变换	70
3.3	傅里叶变换的性质	75
3.3.1	对称特性	76
3.3.2	线性(叠加性)特性	77
3.3.3	奇偶特性	77
3.3.4	尺度变换特性	79
3.3.5	延时特性	81
3.3.6	频移特性	82
3.3.7	微分特性	84
3.3.8	积分特性	85
3.3.9	时域和频域卷积特性(卷积定理)	86

3.4	傅里叶分析的应用举例	87
3.4.1	线性系统的傅里叶分析	87
3.4.2	无失真传输系统	91
3.4.3	滤波	92
3.4.4	调制与解调	96
3.4.5	抽样信号与抽样定理	98
3.5	利用 MATLAB 进行系统的频域分析	101
3.5.1	连续信号的频域分析	101
3.5.2	连续系统的频域分析	103
	本章小结	104
	习题 3	104
第 4 章	连续信号与系统的复频域分析	109
4.1	拉普拉斯变换	109
4.1.1	拉普拉斯变换的定义	109
4.1.2	拉普拉斯变换的存在定理与收敛性	111
4.1.3	常用信号的单边拉氏变换	112
4.2	拉普拉斯变换的性质	114
4.2.1	线性性质	114
4.2.2	延时特性	114
4.2.3	复频移特性	115
4.2.4	微分特性	115
4.2.5	积分特性	115
4.2.6	时间尺度变换特性(展缩特性)	116
4.2.7	时域卷积特性	116
4.2.8	初值定理和终值定理	117
4.3	拉普拉斯逆变换	118
4.4	系统的复频域分析	122
4.4.1	微分方程的复频域分析法	123
4.4.2	电路的复频域模型	124
4.5	连续系统函数与系统特性	129
4.5.1	系统函数	129
4.5.2	系统框图化简	130
4.5.3	系统函数的零、极点	131
4.5.4	系统频率响应特性的确定	131
4.5.5	连续系统的稳定性	135
4.6	利用 MATLAB 进行连续系统的复频域分析	138
4.6.1	MATLAB 中数学模型的表示	138
4.6.2	利用 MATLAB 实现部分分式展开式	139

4.6.3 $H(s)$ 的零、极点与系统特性的 MATLAB 计算	140
本章小结	142
习题 4	143
第 5 章 离散信号与系统分析	147
5.1 离散时间信号	147
5.1.1 离散时间信号的时域描述	147
5.1.2 常用离散信号	148
5.1.3 离散信号的基本运算	151
5.2 离散系统的数学模型	153
5.2.1 离散时间系统的数学模型概述	153
5.2.2 离散时间系统数学模型的建立	154
5.3 离散系统的零输入响应	156
5.4 离散系统的零状态响应	159
5.4.1 离散信号的时域分解和卷积和	159
5.4.2 离散时间系统的单位序列响应	163
5.4.3 离散时间系统的零状态响应	164
5.4.4 离散时间系统的全响应	166
5.5 利用 MATLAB 分析离散系统	167
5.5.1 零状态响应的求解	167
5.5.2 单位序列响应的求解	168
5.5.3 卷积和的求解	169
本章小结	170
习题 5	170
第 6 章 离散信号与系统的 z 域分析	174
6.1 离散信号的 z 变换	174
6.1.1 z 变换的定义	174
6.1.2 z 变换的收敛域	175
6.1.3 典型序列的单边 z 变换	177
6.1.4 z 逆变换	178
6.2 单边 z 变换的性质	180
6.2.1 线性性质	181
6.2.2 移序性质	181
6.2.3 z 域尺度变换	182
6.2.4 z 域微分	182
6.2.5 时域卷积定理	183
6.2.6 序列求和	183
6.2.7 初值定理	183

6.2.8 终值定理	184
6.3 离散系统的 z 域分析	184
6.3.1 零输入响应的 z 域求解	184
6.3.2 零状态响应的 z 域求解	185
6.3.3 全响应的 z 域求解	186
6.4 离散系统的系统函数和系统特性	187
6.4.1 系统函数 $H(z)$	187
6.4.2 z 域和 s 域的关系	188
6.4.3 离散系统的稳定性	190
6.5 利用 MATLAB 进行离散系统的 z 域分析	191
6.5.1 离散系统零、极点图的绘制	191
6.5.2 z 逆变换的实现	193
本章小结	194
习题 6	195
参考文献	196

第 1 章 信号与系统概述

人类在社会生活与生产活动中,彼此间需要交流各种信息。信息要用某种物理的方式来表达,例如,可以使用语言、文字、数据、图像等,也可以采用双方事先约定的编码来表达。这些语言、文字、数据、图像、编码等用约定的方式组成的符号统称为消息。消息中包含的事先不确定的内容就是信息,消息中不确定的内容越多,信息量就越大。消息是信息的载体,而消息一般不便于直接传输,在传输时需要把这个信息的载体以物理量的形式表示出来,如用声、光、电、位移、速度、温度、湿度、颜色等代替消息,最终构成信号。因此,信号也是信息的载体,是反映信息的物理量。

在电磁现象被人们认识之前,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,如烽火、鼓声、书信等。这些传输信息的方式或信息含量少,或传输速度慢,或传输距离近,有着种种的不足之处。因此,在电被人类认识之后,因其传输信息方便、快捷,以电作为信息载体的电信号传输就得到了快速发展。19 世纪初,人们开始研究如何使用电信号传送消息。现在电话、电报、无线电广播、电视、网络等已经成为人们生活中不可缺少的部分,而为了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,正向着超越地球的太阳系扩展。例如,以卫星通信技术为基础的“全球定位系统”(Global Positioning System, GPS) 可以利用无线电信号的传输,测定地球表面和周围空间任意目标的位置,精度可达数十米之内,如图 1-1 所示为 GPS 所拍摄的图像。而个人通信技术的发展也使得人们可以在任何时间和任何地方,手持通信机即可进行语音、图像、视频等各种数据信号的传输。



图 1-1 GPS 拍摄的图像

信号的传输要由许多不同功能单元组织起来的一个复杂系统来完成。系统泛指由若干相互作用、相互关联的事物组合而成的,具有特定功能的整体。以如图 1-2 所示的收音机系

统为例,在这个系统中所要传送的消息是声音。在传输这些声音时,广播电台首先把声音通过话筒转换成音频电信号,经放大后被高频信号(载波)调制,这时高频载波信号的某一参量随着音频信号的变化作相应的变化,使得要传送的音频信号包含在高频载波信号之内,高频信号再经放大,在高频电流流过天线时,形成无线电波向外发射,这种无线电波被收音机天线接收,然后经过放大、解调,还原为音频电信号,送入喇叭音圈中,引起纸盆相应的振动,听众就能听到广播电台的节目。通过这个实例可知,一个系统的工作主要是消息到信号的转换、信号的处理和传输等。

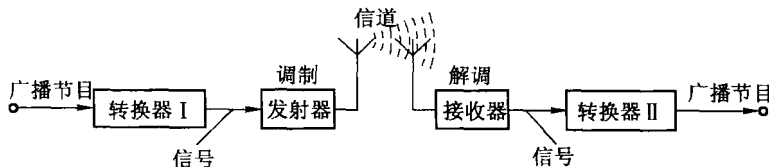


图 1-2 收音机系统图

系统理论包括系统分析与系统综合(设计)两方面的内容。系统分析是对已知系统进行各种特性分析;系统综合是根据实际需要来设计构成满足性能要求的系统。信号的产生、处理与传输离不开相应的系统,而系统分析也离不开信号分析。信号与系统的关系非常密切,有关它们的理论密不可分。

对于通信、电气、机械及计算机等学科,信号与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,本课程就是基于这方面基本理论的研究而设置的。本章将对信号和系统的基本问题进行介绍,以便在后续章节进行详细讨论。

1.1 信号的分类和常用信号

1.1.1 信号的描述

信号作为信息的载体,通常表现为某种物理过程,它可以借助示波器或其他测量仪表来进行观察或记录。但是这类实验方法有一定的局限性,这样得到的结果往往是局部的、个别的、缺乏普遍适用性。为了对信号进行分析研究,必须用数学语言对信号进行描述。

信号都有一种共同的表现形式,即在一定条件下,其物理量值随一个或多个独立变量而变化。因此在数学上,信号可以表示为具有一个或多个自变量的函数。若信号是具有单个自变量的函数,则称这种信号为一维信号。如果信号为具有 n 个自变量的函数,就称为 n 维信号。本书只讨论一维信号。

信号通常都是随时间变化的,因此一般将信号的自变量设为时间 t 或序号 k ,连续信号表示为时间 t 的函数 $f(t)$,离散信号表示为序号 k 的函数 $f(k)$ 。与函数一样,一个自变量为时间的信号除用解析式描述外,还可用图形来表示,通常将信号的图形表示称为波形或波形图。

1.1.2 信号的分类

在信号与系统分析中,常以信号所具有的时间函数特性来对信号加以分类。工程上对

信号往往有四种常见的分类方法。

1. 确定信号与随机信号

确定信号是指能够以确定的时间函数表示的信号,它在定义域内任意时刻都有确定的函数值。例如,电路中的正弦信号、指数信号和各种形状的周期信号都是确定信号。

若信号不能用确定的时间函数来表示,则称为随机信号。随机信号不是时间 t 的确定函数,它在每一个确定时刻的分布值是不确定的,只能通过大量实验测得它在某些确定时刻上取某些值的可能性分布(概率分布)。例如,马路上的噪声,其强度与频谱因时因地而异,且无法准确预测,因此为随机信号。如图 1-3 所示为随机信号的示例。

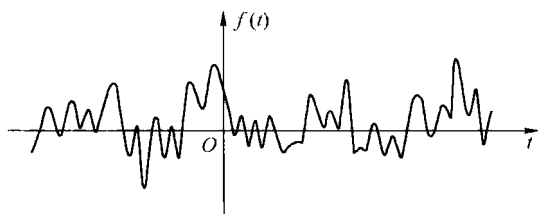


图 1-3 随机信号

实际通信系统中传输的信号都是随机信号,这是因为如果通信系统中传输的信号都是确定的时间函数,接收者就不可能由它得知任何新的消息,这样也就失去了通信的意义。但是,在一定条件下,随机信号也会表现出某种确定性。例如,在一个较长的时间内随时间变化的规律比较确定的信号,即可近看做确定信号。本书中只研究确定信号。

2. 连续时间信号与离散时间信号

按函数自变量 t 取值的连续与否,可将信号分为连续时间信号与离散时间信号,分别简称为连续信号与离散信号。

如果信号在所讨论的时间内,除有限的不连续点外,对任意时间值都可以给出确定的函数值,那么此信号就称为连续信号。如图 1-4 所示的几个信号都是连续信号。连续信号的幅值可以是连续的,也可以只取某些规定值。如图 1-4(a) 所示的正弦信号,其定义域 $(-\infty, +\infty)$ 和值域 $[-K, K]$ 都是连续的;如图 1-4(b) 所示的信号,其定义域 $(0, +\infty)$ 和值域 $(0, K]$ 也是连续的,这种信号又称为模拟信号。如图 1-4(c) 所示的信号的表达式为

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ K & t > 0 \end{cases}$$

该信号的定义域仅在 $t = 0$ 处有间断点,但其函数值只取 0 和 K 两个离散的数量。

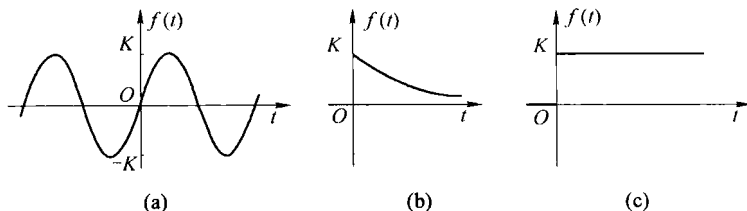


图 1-4 连续时间信号

与连续信号相对应的是离散信号,离散信号在时间上是离散的,只在某些不连续的规定瞬间给出函数值,在其他时间没有定义,大多数的离散信号是通过对连续信号采样得到的,

其幅值可以是连续的也可以是离散的。如图 1-5 所示为离散信号的示例。

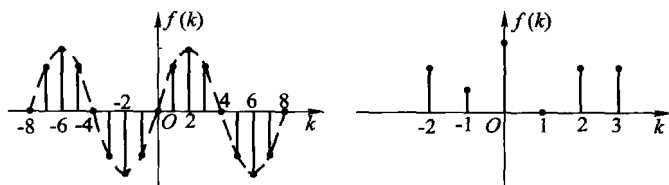


图 1-5 离散时间信号

3. 周期信号与非周期信号

周期信号是指按一定的时间间隔周而复始、无始无终的信号。对连续信号,若存在最小的正数 T ,使得

$$f(t) = f(t + rT) \quad (r = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots) \quad (1-1)$$

对于离散信号,若存在最小的整数 N ,使得

$$f(k) = f(k + rN) \quad (r = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots) \quad (1-2)$$

则称 $f(t)$ 、 $f(k)$ 为周期信号。 T 和 N 分别称为 $f(t)$ 和 $f(k)$ 的周期。如图 1-6 所示的两个信号分别满足式(1-1)和式(1-2),它们都是周期信号。

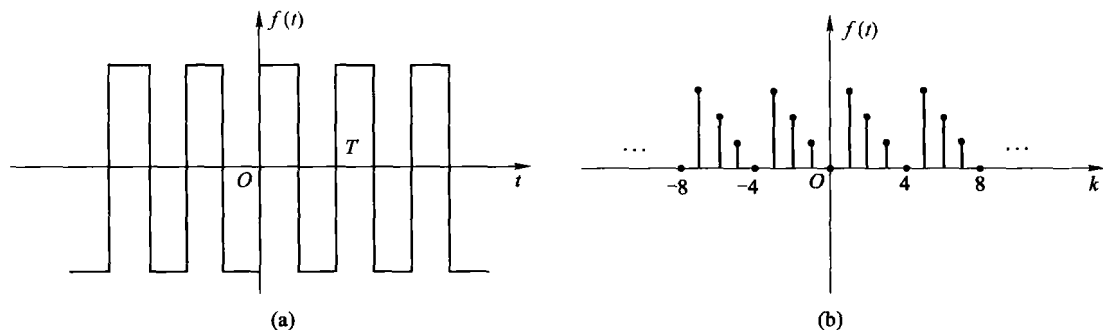


图 1-6 周期信号

不具有周期性的信号称为非周期信号,它不满足式(1-1)或式(1-2)。

4. 能量信号与功率信号

按照信号的能量或功率是否为有限值,信号可分为能量信号和功率信号两类。若把信号 $f(t)$ 看做是随时间变化的电压或电流,则当信号通过 1Ω 电阻时,信号在时间间隔 $-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}$ 内所消耗的能量为归一化能量,即

$$E = \lim_{T \rightarrow +\infty} \int_{-T/2}^{T/2} f^2(t) dt \quad (1-3)$$

在上述时间间隔内的平均功率称为归一化功率,即

$$P = \lim_{T \rightarrow +\infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f^2(t) dt \quad (1-4)$$

如果信号 $f(t)$ 的归一化能量有界,即 $0 < E < +\infty$,且归一化功率 $P = 0$,那么该信号为能量信号;如果信号 $f(t)$ 的归一化功率有界,即 $0 < P < +\infty$,且归一化能量 E 趋于无穷大,即 $E \rightarrow +\infty$,那么该信号为功率信号。如果信号归一化能量 E 趋于无穷大,且归一化功率 P

趋于无穷大,那么该信号就是非能量非功率信号。也就是说,按能量信号与功率信号分类并不能包括所有的信号。

1.1.3 常用信号

1. 正弦信号

正弦信号和余弦信号在相位上相差 $\frac{\pi}{2}$,常统称为正弦信号,它的表达式为

$$f(t) = K \sin(\omega t + \theta) \quad (1-5)$$

式中, K 为振幅; ω 为角频率; θ 称为初相。

正弦信号波形如图 1-7 所示。

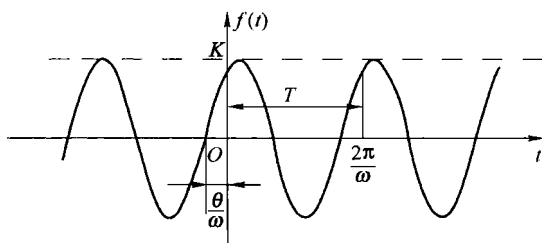


图 1-7 正弦信号波形图

正弦信号是周期信号,它的周期 T 、角频率 ω 和频率 f 满足以下关系式:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} \quad (1-6)$$

2. 指数信号

指数信号是信号与系统分析中使用最为广泛的一类信号。指数信号的表达式为

$$f(t) = Ke^{st} \quad (1-7)$$

式中, $s = \sigma + j\omega$, σ 和 ω 均为实数。

根据 s 的取值不同,式(1-7)概括了三种最常用的指数信号。

1) 实指数信号

这时 s 为实数,即 $\omega = 0$, $s = \sigma$,其波形如图 1-8 所示。

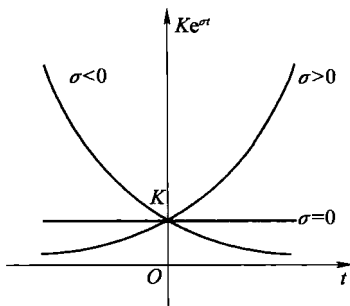


图 1-8 实指数信号

对于实指数信号,当 σ 取值范围不同时,可分为三种情况:当 $\sigma < 0$ 时, $f(t)$ 随 t 的增加按指数衰减;当 $\sigma > 0$ 时, $f(t)$ 随 t 的增加按指数增长;当 $\sigma = 0$ 时, $f(t) = K$ 为一常数,是一个直流信号。

2) 虚指数信号

这时 s 为纯虚数, 即 $\sigma = 0, s = j\omega$ 。此时 $f(t) = Ke^{j\omega t}$, 根据欧拉公式有

$$f(t) = Ke^{j\omega t} = K[\cos(\omega t) + j\sin(\omega t)] \quad (1-8)$$

这是一个复数信号, 它可以分解为实部和虚部两部分, 即

$$\operatorname{Re}(Ke^{j\omega t}) = K\cos(\omega t) \quad (1-9)$$

$$\operatorname{Im}(Ke^{j\omega t}) = K\sin(\omega t) \quad (1-10)$$

两者都是实数信号, 而且是相同基波周期的正弦信号。

3) 复指数信号

这时 s 为复数, 即 $s = \sigma + j\omega$, 则

$$f(t) = Ke^{st} = Ke^{(\sigma + j\omega)t} = Ke^{\sigma t}[\cos(\omega t) + j\sin(\omega t)] \quad (1-11)$$

这也是一个复数信号, 它分解为实部和虚部两部分后, 得

$$\operatorname{Re}[Ke^{(\sigma + j\omega)t}] = Ke^{\sigma t}\cos(\omega t) \quad (1-12)$$

$$\operatorname{Im}[Ke^{(\sigma + j\omega)t}] = Ke^{\sigma t}\sin(\omega t) \quad (1-13)$$

两者都是实数信号, 而且是同频率的振幅随时间变化的正弦振荡。其中复数 s 的实部 σ 决定了振幅随时间变化的情况: 当 $\sigma < 0$ 时, 振幅随 t 的增加按指数衰减, 如图 1-9(a) 所示; 当 $\sigma > 0$ 时, 振幅随 t 的增加按指数增长, 如图 1-9(b) 所示; 当 $\sigma = 0$ 时, 振幅为常数 K , 不随时间 t 变化。复数 s 的虚部 ω 为振荡的角频率。

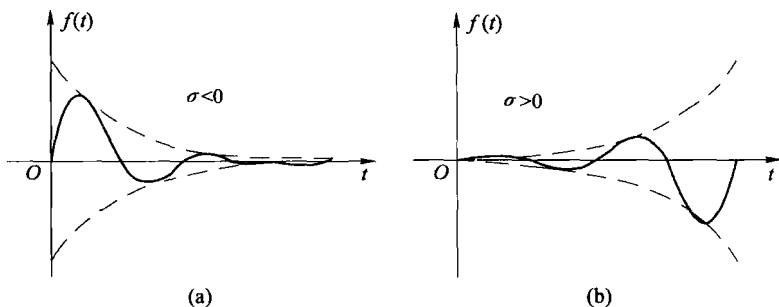


图 1-9 复指数信号

3. 抽样信号

抽样信号 $\operatorname{Sa}(t)$ 的表达式为

$$f(t) = \operatorname{Sa}(t) = \frac{\sin t}{t} \quad (1-14)$$

该信号是在信号与系统理论中占有重要地位的一个信号, 其波形如图 1-10 所示。

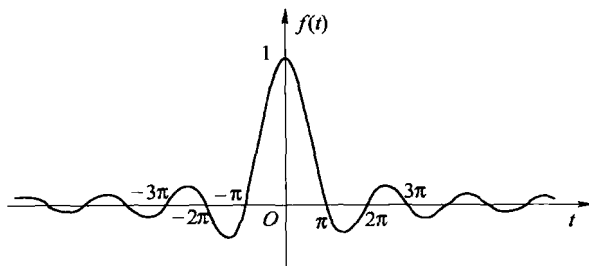


图 1-10 抽样信号