

自动化

高等学校自动化专业“十一五”规划教材



信号与系统分析

和卫星 许 波 主编
张永瑞 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校自动化专业“十一五”规划教材

信号与系统分析

和卫星	许 波	主编
周新云	毛彦欣	参编
张永瑞		主审

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

本教材系统地介绍了信号与系统的基本概念、基本理论和基本分析方法。全书共分 8 章, 内容包括: 信号与系统的基本概念; 连续时间系统的时域分析; 连续时间信号的频域分析; 连续时间系统的频域分析; 连续时间信号与系统的复频域分析; 离散时间信号与系统的时域分析; 离散时间信号与系统的 z 域分析; 系统的状态变量分析等。

本教材采用数学概念与物理概念并重的处理方式, 阐述了连续时间信号和离散时间信号通过线性时不变系统的时域分析与变换域分析, 引入 MATLAB 软件作为信号与系统分析的工具, 来实现原理、方法与应用的三结合。书中配有大量的例题和习题, 并在每章末附有部分参考答案, 以利于读者对基本内容的理解和自学。

本教材可作为高等院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子信息科学与技术、生物医学工程、计算机科学与技术等专业“信号与系统”课程的教材, 也可供从事相关专业的科技工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统分析/和卫星, 许波主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2007. 3

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1807 - 4

I. 信… II. ①和… ②许… III. ①信号分析—高等学校—教材 ②信号系统—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(2007)第 020389 号

策 划 毛红兵

责任编辑 孟秋黎 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 26.875

字 数 636 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 33.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1807 - 4/TN · 0364

XDUP 2099001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦力	王建中	巨永锋	孙强	陈在平	李正明
吴斌	杨马英	张九根	周玉国	党宏社	高嵩
秦付军	席爱民	穆向阳			

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉	李荣正	余健明
段晨东	郝润科	谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋	刘晓婷	朱建公	朱若燕	何法江	李鹏飞
麦云飞	汪传生	张功学	张永康	胡小平	赵玉刚
柴国钟	原思聪	黄惟公	赫东锋	谭继文	

项目策划：马乐惠

策划：毛红兵 马武装 马晓娟

前 言

“信号与系统”课程是高等工科院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子信息科学与技术、生物医学工程、计算机科学与技术等专业的一门重要的技术基础课程。该课程的应用领域非常广泛，几乎遍及电类及非电类的各个工程技术学科。随着信息科学与技术的迅速发展，新的信号处理和分析技术不断涌现。由于信号是信息的载体，系统是信息处理的手段，因此，作为研究信号与系统基本理论和方法的“信号与系统”课程，必须与信息科学技术的发展趋势相一致。为此，编者在结合了多点的教学改革与实践成果，并参阅国内外最新优秀教材的基础上，编写了本教材。

本教材是根据高等工科院校“信号与系统课程教学基本要求”，并贯彻工科专业基础课教材立足于“加强基础，精选内容；结合实际，逐步更新；突出重点，利于教学”的指导思想而精心编排的。在内容结构上，采用先“信号分析”，后“系统分析”；先“连续信号与系统分析”，后“离散信号与系统分析”；先“时域分析”，后“变换域分析”。这样的安排，既体现了两者之间在理论分析上相对独立、内容上相互并行的特点，又遵循了先易后难、循序渐进的教学原则。

本教材主要讨论确定性信号的特性和线性时不变系统的基本理论和基本分析方法，建立信号分析与系统分析之间的逻辑关系，明确时域分析与变换域分析的相互关系和各自的适用范畴。在时域分析中，着重于基本信号的数学定义和性质、信号的变换与运算以及系统的描述与时域特性等的讲述；在变换域分析中，突出了傅里叶变换、拉普拉斯变换和 Z 变换的数学概念、基本性质和工程应用背景等，淡化了其数学运算和技巧以及建立信号频谱与系统函数的概念。

在辅助教学工具上，本教材引入了具有强大计算功能的 MATLAB 软件。在各章中通过例题的方式，借助 MATLAB 这种现代计算工具对基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用，实现了经典理论与现代计算技术相结合，从而为更有效地学习和理解新知识提供了有效的方法。

本教材内容丰富，论述清楚，系统性和实践性较强。结构上注重重点突出、难点分散，强调数学概念与物理概念并重，力求实现原理、方法与应用的三结合。本教材还精心选编了大量的例题和习题，并配备了部分参考答案，使之与正文有机结合，有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

考虑到大学本科阶段的教学特点，在编写本教材时注意教材的教学适用性，在总体结构上力求简明，章节内容安排上既注意了课程体系的连贯性，又

保持了一定的独立性，以适应不同的教学要求和教学计划，便于对本教材内容进行剪裁。

参加本教材编写工作的有：和卫星(第 5、7、8 章)、许波(第 3、4、6 章)、周新云(第 1、2 章)、毛彦欣(每章中有关 MATLAB 的内容)。本教材由和卫星、许波任主编，共同负责全书内容的选定和统稿。西安电子科技大学张永瑞教授主审了本教材并提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。在本教材编写的过程中，得到江苏大学电气信息工程学院有关领导的关心以及西安电子科技大学出版社毛红兵编辑的支持，在此也一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，教材中还存有一些不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 10 月

目 录

第一章 信号与系统的基本概念	1
1.1 信号的概念与分类	1
1.1.1 信号的概念	1
1.1.2 信号的分类	1
1.2 基本的连续时间信号	3
1.2.1 正弦信号与指数信号	3
1.2.2 抽样信号	5
1.2.3 阶跃信号与冲激信号	5
1.3 信号的运算与变换	10
1.3.1 信号的基本运算	10
1.3.2 自变量变换引起的信号变换	11
1.3.3 信号的分解	12
1.4 系统的描述与分类	15
1.4.1 系统的数学模型	16
1.4.2 系统的模拟	17
1.4.3 系统的分类	17
1.5 线性时不变系统的基本性质	18
1.5.1 叠加性与均匀性	18
1.5.2 微分与积分特性	18
1.5.3 时不变性	19
1.5.4 因果性	19
1.5.5 稳定性	19
1.5.6 无记忆性与记忆性	19
1.6 连续时不变系统分析方法综述	20
1.7 信号变换与运算及系统判断的 MATLAB 实现	20
习题一	27
习题一部分参考答案	30
第二章 连续时间系统的时域分析	32
2.1 连续时间系统的数学模型与算子表示法	32
2.1.1 连续时间系统的数学模型	32
2.1.2 系统方程的算子表示	33
2.2 连续时间系统的响应	36
2.2.1 微分方程的经典解	36
2.2.2 零输入响应与零状态响应	39
2.3 冲激响应与阶跃响应	40

2.3.1 冲激响应	40
2.3.2 阶跃响应	42
2.4 卷积	43
2.4.1 卷积的定义	43
2.4.2 卷积的计算	44
2.5 卷积的性质	46
2.5.1 卷积的代数运算	46
2.5.2 卷积的微分与积分	47
2.5.3 函数与冲激函数的卷积	48
2.5.4 卷积的时移性质	49
2.6 连续时间系统时域分析的 MATLAB 实现	51
习题二	55
习题二部分参考答案	59
第三章 连续时间信号的频域分析	61
3.1 信号的正交分解	61
3.1.1 矢量的正交分解	61
3.1.2 正交函数与正交函数集	62
3.1.3 信号的正交分解	63
3.2 周期信号的傅里叶级数分解	64
3.2.1 三角形式的傅里叶级数	64
3.2.2 指数形式的傅里叶级数	67
3.2.3 函数的对称性与傅里叶系数的关系	68
3.3 周期信号的频谱	71
3.3.1 周期信号的频谱	71
3.3.2 周期矩形脉冲信号的频谱	73
3.4 非周期信号的频谱	76
3.4.1 傅里叶变换	76
3.4.2 典型非周期信号频谱	78
3.5 傅里叶变换的性质	83
3.5.1 线性性质	83
3.5.2 时移性质	84
3.5.3 频移性质	85
3.5.4 尺度变换性质	87
3.5.5 对称性质	88
3.5.6 奇偶虚实性质	90
3.5.7 时域微分性质	91
3.5.8 时域积分性质	91
3.5.9 频域微分性质	94
3.5.10 频域积分性质	95
3.5.11 时域卷积定理	96
3.5.12 频域卷积定理	97
3.6 周期信号的傅里叶变换	100
3.6.1 正、余弦信号的傅里叶变换	100

3.6.2 一般周期信号的傅里叶变换	100
3.7 帕塞瓦尔定理与功率谱、能量谱	103
3.7.1 帕塞瓦尔定理	103
3.7.2 功率谱与能量谱	105
3.8 连续时间信号频域分析的 MATLAB 实现	106
习题三	112
习题三部分参考答案	119
第四章 连续时间系统的频域分析	121
4.1 系统响应的频域分析	121
4.1.1 频域系统函数	121
4.1.2 周期信号激励下系统响应的频域分析	123
4.1.3 非周期信号激励下系统响应的频域分析	126
4.2 无失真传输	129
4.3 理想低通滤波器与系统的物理可实现性	131
4.3.1 理想低通滤波器及其冲激响应	132
4.3.2 理想低通滤波器的阶跃响应	133
4.3.3 系统的物理可实现性	135
4.4 希尔伯特变换	136
4.4.1 系统函数的约束特性与希尔伯特变换	136
4.4.2 单边频谱与解析信号	137
4.5 调制与解调	142
4.5.1 调制与解调的概念	142
4.5.2 抑制载波的双边带幅度调制与解调	143
4.5.3 幅度调制与解调	145
4.5.4 单边带调制(SSB)与残留边带调制(VSB)	147
4.6 抽样定理	148
4.6.1 信号的时域抽样	148
4.6.2 时域抽样定理	152
4.6.3 连续时间信号的恢复	153
4.6.4 频域抽样定理	155
4.7 频分复用与时分复用	157
4.7.1 频分复用	157
4.7.2 时分复用	158
4.8 连续时间系统频域分析的 MATLAB 实现	159
习题四	168
习题四部分参考答案	174
第五章 连续时间信号与系统的复频域分析	176
5.1 拉普拉斯变换	176
5.1.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	176
5.1.2 拉普拉斯变换的收敛域	178
5.1.3 常见信号的拉普拉斯变换	180
5.2 拉普拉斯变换的性质	182
5.2.1 线性性质	182

5.2.2	时移(延时)性质	183
5.2.3	复频移性质	186
5.2.4	尺度变换性质	187
5.2.5	时域微分性质	189
5.2.6	时域积分性质	190
5.2.7	复频域微分性质	193
5.2.8	复频域积分性质	193
5.2.9	初值定理	194
5.2.10	终值定理	195
5.2.11	时域卷积定理	196
5.2.12	复频域卷积定理	198
5.3	拉普拉斯反变换	199
5.4	连续时间系统的复频域分析	206
5.4.1	微分方程的复频域求解	206
5.4.2	电路的复频域模型与求解	208
5.5	系统函数与系统特性	213
5.5.1	系统函数	213
5.5.2	系统函数的零点与极点	216
5.5.3	系统函数的零、极点分布与时域响应特性的关系	218
5.5.4	系统函数的零、极点分布与频域响应特性的关系	221
5.5.5	系统函数的极点分布与系统的稳定性的关系	224
5.6	线性系统的模拟	225
5.6.1	基本运算器	225
5.6.2	系统模拟的直接形式	225
5.6.3	系统模拟的组合形式	228
5.7	连续时间系统复频域分析的 MATLAB 实现	235
	习题五	241
	习题五部分参考答案	249
第六章	离散时间信号与系统的时域分析	254
6.1	离散时间信号基础	254
6.1.1	离散时间信号的数学描述	254
6.1.2	常见的离散时间信号	255
6.1.3	离散时间信号的基本运算	259
6.2	离散时间系统	263
6.2.1	线性时不变离散时间系统	263
6.2.2	离散时间系统的数学模型	264
6.2.3	系统方程的算子表示	267
6.2.4	离散时间系统的时域模拟	268
6.3	离散时间系统的时域响应	269
6.3.1	迭代法求解差分方程	270
6.3.2	经典法求解差分方程	270
6.3.3	零输入响应和零状态响应	273
6.4	单位序列响应与单位阶跃响应	275

6.4.1 单位序列响应	275
6.4.2 单位阶跃响应	280
6.5 卷积和	281
6.5.1 卷积和的定义	281
6.5.2 卷积和的求解	282
6.5.3 卷积和的性质	286
6.6 离散时间系统时域分析的 MATLAB 实现	289
习题六	294
习题六部分参考答案	300
第七章 离散时间信号与系统的 z 域分析	303
7.1 Z 变换	303
7.1.1 Z 变换的定义	303
7.1.2 Z 变换的收敛域	304
7.1.3 常见序列的 Z 变换	307
7.2 z 变换的性质	309
7.2.1 线性性质	309
7.2.2 移位性质	309
7.2.3 z 域尺度性质(序列指数加权)	311
7.2.4 z 域微分性质	312
7.2.5 z 域积分性质(序列除 $k+m$)	313
7.2.6 时域折叠	314
7.2.7 初值定理	314
7.2.8 终值定理	315
7.2.9 时域卷积定理	316
7.2.10 z 域卷积定理	317
7.3 Z 反变换	318
7.3.1 幂级数展开法(长除法)	319
7.3.2 部分分式展开法	320
7.3.3 围线积分法(留数法)	324
7.4 Z 变换与拉普拉斯变换的关系	327
7.5 差分方程的 Z 变换求解	329
7.6 系统函数与系统特性	332
7.6.1 系统函数	332
7.6.2 系统函数的零点与极点	333
7.6.3 系统函数的零、极点分布与时域响应的关系	334
7.6.4 系统函数与系统的因果稳定性的关系	336
7.7 离散时间系统的频率响应	338
7.7.1 频率响应	338
7.7.2 系统函数零、极点分布与频率响应特性的关系	340
7.8 离散时间系统的 z 域模拟	342
7.8.1 基本运算器	342
7.8.2 系统模拟的直接形式	343
7.8.3 系统模拟的组合形式	345

7.9 离散时间系统 z 域分析的 MATLAB 实现	348
习题七	351
习题七部分参考答案	356
第八章 系统的状态变量分析	360
8.1 状态方程	360
8.1.1 状态变量和状态方程	360
8.1.2 状态方程的一般形式	362
8.2 状态方程的建立	364
8.2.1 连续系统状态方程的建立	364
8.2.2 离散系统状态方程的建立	377
8.3 状态方程的求解	381
8.3.1 连续系统状态方程的求解	381
8.3.2 离散系统状态方程的求解	387
8.4 系统的可控制性与可观测性	393
8.4.1 状态矢量的线性变换	393
8.4.2 系统的可控制性	397
8.4.3 系统的可观测性	399
8.4.4 系统的可控性和可观性与系统函数的关系	401
8.5 系统的状态变量分析的 MATLAB 实现	404
习题八	407
习题八部分参考答案	412
参考文献	418

第一章 信号与系统的基本概念

1.1 信号的概念与分类

1.1.1 信号的概念

人们在日常生活和生产实践中，总是要不断地以各种方式发出消息和接收消息。古代人们利用烽火台的火光、击鼓鸣金的声音来传送警报或传达命令，或利用信鸽、旗语、驿站等传送消息；现代的人们手持通信机，以个人相应的电话号码呼叫或被呼叫，进行语音、图像、数据等各种信号的传输等等，这些都是消息的不同收/发方式。由于消息一般不便直接传输，故需要某种物理量作为载体。如通过声、光、电等的变化形式来表示和传送消息，即形成了声信号、光信号和电信号。由此可见，信号是消息的表现形式，消息是信号的具体内容。在数学上，信号可以表示为一个或多个变量的函数，且不同物理形态的信号之间可以相互转换。

描述信号的基本方法是写出它的数学表达式，此表达式是时间的函数，依据函数绘出的图像称为信号的波形。为方便讨论，本书中将信号与函数两名词通用。除了用数学表达式和波形进行描述外，随着问题的深入，还引用了频谱分析、各种变换等方式来描述和研究信号。

1.1.2 信号的分类

由于信号的物理属性、用途和数学特征不同，因此其分类方法也不同。例如，按其物理属性，可分为声信号、光信号和电信号等；按照不同的用途，可分为雷达信号、电视信号和通信信号等；按照数学特征，又有奇信号和偶信号之分，等等。在信号与系统分析中常用的分类方法如下。

1. 确定性信号与随机信号

如果信号可以被表示为某一确定的时间函数，即对于某一指定时刻，有一确定的函数值与之对应，则将这类信号称为确定性信号。例如，我们熟知的正弦信号、余弦信号等就是确定性信号。

与确定性信号相反，不能用某一确定的时间函数来描述的信号，就称为随机信号。这类信号往往具有不可预知的不确定性，因为信号在传输过程中，不可避免地要受到各种干扰和噪声的影响，这些干扰和噪声都具有随机性。对于随机信号，由于不能给出确切的时间函数，故一般采用统计规律方法对其进行研究。

2. 连续时间信号与离散时间信号

若时间函数自变量的定义域是连续的, 则该信号是连续时间信号, 如图 1.1 所示。对时间(自变量)和函数值都连续的信号又称为模拟信号。

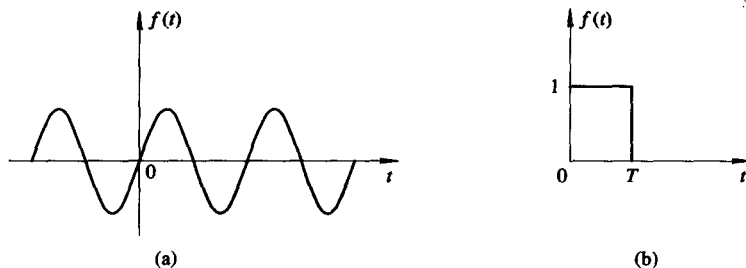


图 1.1 连续时间信号

若时间函数自变量的定义域是某些离散点的结合(这些离散点在时间轴上可以是均匀分布的, 也可以是不均匀分布的), 在其他时间函数没有定义, 则该信号是离散时间信号, 如图 1.2 所示。

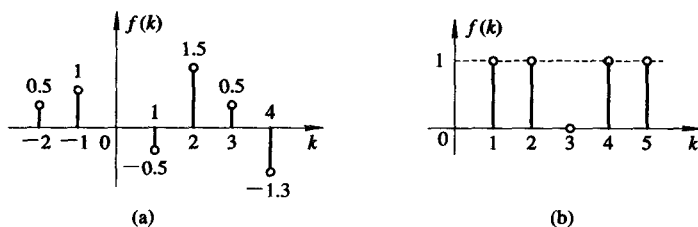


图 1.2 离散时间信号

在生产实际中, 如银行发布的存款利率、按年度或月份统计的人口数量等等都是典型的离散时间信号。另外, 离散时间信号还可以是连续时间信号的抽样信号, 如图 1.3 所示, $f(kT_s)$ 是在 $t=kT_s$ 各点的 $f(t)$ 值, 并称 $f(kT_s)$ 为 $f(t)$ 的抽样信号。 T_s 为抽样周期, $1/T_s$ 为抽样频率。通常又将 $f(kT_s)$ 简记为 $f(k)$, k 为整数, 是各函数值的序号。如果离散时间信号的值只能取某些规定的数值, 如图 1.2(b)所示, 则又称为数字信号。

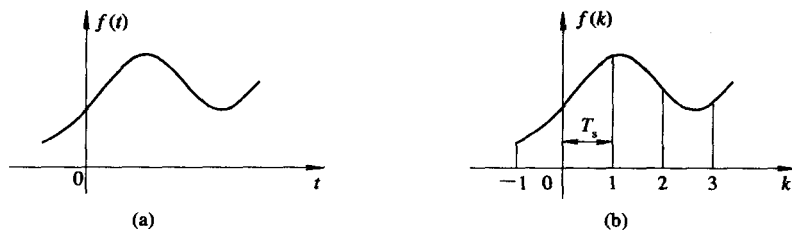


图 1.3 连续信号与抽样信号

3. 周期信号与非周期信号

在确定性信号中, 又有周期信号与非周期信号之分。若信号按一定时间间隔周而复始地重复着某一规律, 则称之为周期信号。其表示形式为

$$f(t) = f(t + nT), \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.1)$$

满足此关系的最小 T 值称为信号的周期。若信号在时间上不具有周而复始的特性,则称之为非周期信号。如果令周期信号的周期 T 趋于无穷大,则周期信号就变成了非周期信号。实际上,真正的周期信号是不存在的,所谓周期信号,是指在相当长的时间内按某一规律重复变化的信号。

4. 能量有限信号与能量无限信号

连续信号 $f(t)$ 满足下式:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt < \infty \quad (1.2)$$

则称 $f(t)$ 为能量有限信号。反之,不满足式(1.2)的信号为能量无限信号。

一般情况下,能量无限信号的平均功率是有限的,可以从功率的角度来对信号进行考查,因此,又称之为功率信号;而能量有限信号则简称为能量信号。

5. 一维信号与多维信号

从数学表达式来看,若信号表示为一个自变量的函数,则该信号为一维信号。反之,若信号表示为两个或两个以上自变量的函数,则该信号为多维信号。本书中着重讨论的是一维信号。

一维信号的自变量可以是时间变量,也可以是空间或其他变量,例如高度、位移、温度或其他统计分布的坐标变量。

6. 实信号与复信号

按照信号值是实数还是复数,信号又有实信号与复信号之分。实信号就是数学中的实值函数,复信号即复(数)值函数。显然,实信号是复信号的一种特殊情况。

信号除了上述分类外,还有其他类型之分,这里就不一一介绍了。

1.2 基本的连续时间信号

1.2.1 正弦信号与指数信号

1. 正弦信号

正弦信号和余弦信号两者仅在相位上相差 90° ,可通过三角函数互相转换,故经常将两者统称为正弦信号,其一般表达式为

$$f(t) = K \sin(\omega t + \theta) \quad (1.3)$$

式中, K 为振幅, ω 是角频率, θ 为初相位。正弦信号的波形如图 1.4 所示(初相位为 0)。

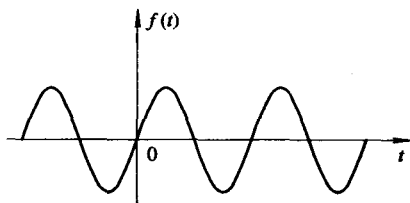


图 1.4 正弦信号

由于正弦信号是周期信号, 故其周期 T 与角频率、频率之间的关系满足下列关系式:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

2. 指数信号

指数信号的数学表达式为

$$f(t) = Ke^{at} \quad (1.4)$$

式中, K 为常数, 且表示指数信号在 $t=0$ 点的初始值。当 a 为实常数时, $f(t)$ 为实指数信号。若 $a>0$, 信号 $f(t)$ 随时间单调增长; 若 $a<0$, 信号 $f(t)$ 则随时间单调衰减; 当 $a=0$ 时, $f(t)=K$, 信号不随时间而变化, 为直流信号。指数信号的波形如图 1.5 所示。

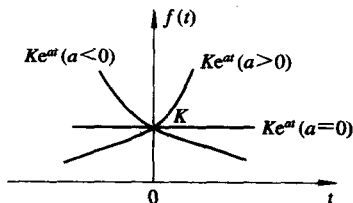


图 1.5 指数信号

通常定义 $\tau = \frac{1}{|a|}$ 为指数信号的时间常数, τ 值越大, 指数信号增长或衰减的速率越慢。

指数信号的一个重要特性是其对时间的微分和积分仍然是指数信号。

实际上, 用得较多的是单边指数信号, 其表达式为

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ Ke^{-\frac{1}{\tau}t}, & t \geq 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

当 a 为复数时, $f(t)$ 为复指数信号, 其数学表达式为

$$f(t) = Ke^{st} \quad (1.6)$$

其中, $s = \sigma + j\omega$, σ 是复数 s 的实部, ω 是 s 的虚部。

尽管实际上不能产生复指数信号, 但在信号分析理论中, 可以利用它来描述各种基本信号, 因此, 它是一种非常重要的信号。

借助欧拉公式可将式(1.6)展开为

$$Ke^{st} = Ke^{\sigma t} \cos \omega t + jKe^{\sigma t} \sin \omega t \quad (1.7)$$

式(1.7)表明, 复指数信号可分解为实部和虚部两部分, 其中实部含有余弦信号, 虚部则含有正弦信号。指数因子的实部 σ 表征了正弦和余弦函数的振幅随时间变化的情况。若 $\sigma>0$, 正弦、余弦信号是增幅振荡; 若 $\sigma<0$, 正弦、余弦信号是减幅振荡, 正弦减幅振荡信号如图 1.6 所示。指数因子的虚部 ω 是正弦、余弦信号的角频率。

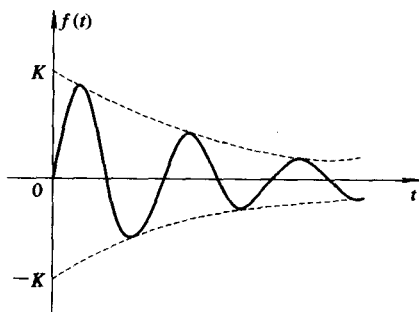


图 1.6 正弦减幅振荡信号

综上所述, 复指数信号具有如下特性:

若 $\sigma=0$, 即 s 为虚数时, 则正弦、余弦信号为等幅振荡。

若 $\omega=0$, 即 s 为实数时, 则复指数为一般的指数信号。

若 $\sigma=0$ 且 $\omega=0$, 即 $s=0$ 时, 则复指数变为直流信号。

1.2.2 抽样信号

抽样信号的数学表达式为

$$\text{Sa}(t) = \frac{\sin t}{t} \quad (1.8)$$

抽样信号的波形如图 1.7 所示, 它是一个偶函数, 在时间轴 t 的正、负两方向上都衰减振荡。在 $t=0$ 时, 其值最大, $\text{Sa}(t)=1$; 在 $t=k\pi (k=\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$ 处, $\text{Sa}(t)=0$ 。

除此以外, 抽样信号还具有以下性质:

$$\int_0^{+\infty} \text{Sa}(t) dt = \frac{\pi}{2} \quad (1.9)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \text{Sa}(t) dt = \pi \quad (1.10)$$

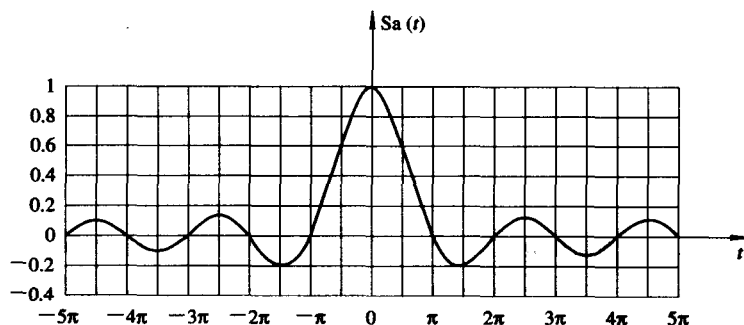


图 1.7 抽样信号

1.2.3 阶跃信号与冲激信号

1. 单位阶跃信号

单位阶跃信号 $\epsilon(t)$ 的数学表达式为

$$\epsilon(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases} \quad (1.11)$$

单位阶跃函数的波形如图 1.8 所示, 该信号描述了某些实际对象从一个状态到另一个状态可以瞬间完成的过程。图 1.9 所示为一无源二端网络接入 1 V 直流电压源的情况, 相当于端口处的电压为单位阶跃信号 $\epsilon(t)$ 。

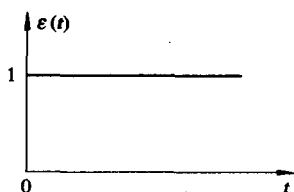


图 1.8 单位阶跃函数

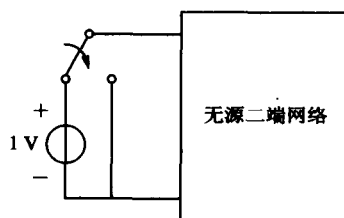


图 1.9 单位阶跃函数的产生