



高等院校教材

信号与系统

马金龙 胡建萍 王宛苹 编著

毛培法 陈显萼 主审

 科学出版社
www.sciencep.com

高等院校教材

信号与系统

马金龙 胡建萍 王宛革 编著
毛培法 陈显萼 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共分10章。主要内容有:信号与系统的基本概念,连续时间信号的频域分析,LTI系统方程的建立与系统模拟,卷积的计算,连续时间系统的时域分析,连续时间系统的频域分析,连续时间系统的复频域分析,离散时间系统的时域分析,离散时间系统的 z 域分析,状态变量分析法。

本书可作为高等学校电子电气工程、通信工程、计算机工程、自动化工程等专业学生信号与系统课程的教材,也可供相关专业、相关领域的研究人员参考,还可当作一本考研的辅导书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/马金龙等编著. —北京:科学出版社,2006

(高等院校教材)

ISBN 7-03-016623-X

I. 信… II. 马… 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(2005)第 148078 号

责任编辑:马长芳 朱海磊 / 责任校对:刘小梅

责任印制:黄晓靖 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2006年1月第一次印刷 印张:24

印数:1—4 000

字数:456 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

前 言

“信号与系统”课程是电子电气工程、通信工程、计算机工程、自动化工程等专业的一门主干专业基础课,也是相关专业研究生入学考试课程之一。这门课程的主要任务是研究确定信号通过线性时不变系统进行传输、处理的基本理论和分析方法。主要内容是研究信号的时域和频域特性,研究系统的五种分析方法,即时域分析法(包括卷积分析法)、傅里叶变换分析法、拉普拉斯变换分析法、 z 变换分析法和状态变量分析法。其课程特点是原理多、性质多、公式多、理解难、解题要技巧。

杭州电子科技大学“信号与系统”是2004年浙江省级精品课程,编写高质量的易教易学的教材是我们的主要任务之一。本教材以本科学生为授课对象,以培养应用型、适当兼顾研究型人才为目标,既便于教师授课,又便于学生自学。

全书共分10章:第一章信号与系统的基本概念,第二章连续时间信号的频域分析,第三章LTI系统方程的建立与系统模拟,第四章卷积的计算,第五章连续时间系统的时域分析,第六章连续时间系统的频域分析,第七章连续时间系统的复频域分析,第八章离散时间系统的时域分析,第九章离散时间系统的 z 域分析,第十章状态变量分析法。内容符合教育部本科“信号与系统”课程要求。

本书系统全面地介绍了信号与系统的基本理论和分析方法。从信号到系统,从连续系统到离散系统,从输入输出方程到状态变量方程,以统一的观点阐明基本原理、概念和方法。其主要特点是:重在基本概念、基本原理和基本方法的讲解,从易到难,难易结合;编写上通俗易懂、易教易学、重在原理,压缩繁琐的理论推导;在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念的讲解,其过程简明、清晰和准确;对于连续的和离散的,采用并行叙述的方法;例题占较大的篇幅,例题、习题紧扣基本原理和基本概念,避免偏和怪;书中叙述了很多既实用又易接受的求解方法和解题技巧,所以本书也是很好的考研辅导书。

本书以“实用、适用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质和方法阐述全面透彻,概念准确清晰。“适用”是适用于我们的授课对象——应用型适当兼顾研究型人才。

本书由杭州电子科技大学马金龙担任主编,负责拟定大纲和统稿,并编写第一至四章,第六、八、九章和全部的习题。胡建萍编写第十章,王宛苹编写第五、七章。

很荣幸也特别感谢毛培法教授和陈显尊教授担任本书的主审。毛培法教授是我国信号与系统领域的元老之一,曾翻译出版了郑钧著的《线性系统分析》(科学出版社)和帕普里斯著的《信号分析》(人民邮电出版社)等国外优秀教材,在信号与系统领域有很深的造诣。陈显尊教授从事了很多国家级攻关项目,发表了众多高水平

的论文,是位德高望重的长辈。两位教授认真审阅了全文并提出了许多宝贵的修改意见。特别感谢教研室的张蜀章教授、周巧娣副教授和吕幼华副教授,他们仔细审核了书稿,提出了许多有价值的意见。特别感谢胡晓萍老师为本书做了大量的工作。可以说,这是我们集体智慧的结晶,是我们二十年教学经验的概括和总结。

非常感谢浙江省教育厅的大力支持,非常感谢杭州电子科技大学和电子信学院各级领导的大力支持和帮助,衷心感谢所有关心、支持和提供帮助的各位领导和同事。

由于作者水平有限,时间较紧,书中会有一些缺点和错误,恳请广大读者和专家予以指正。

马金龙

于杭州电子科技大学

2005年11月20日

目 录

前言

第一章 信号与系统的基本概念	1
1.1 信号与系统的定义	1
1.1.1 信号的定义	1
1.1.2 系统的定义	2
1.2 信号的分类	3
1.3 典型连续时间信号	6
1.4 典型离散时间信号.....	13
1.5 连续时间信号的运算.....	16
1.5.1 $f(t)$ 到 $f(at+b)$ 的运算	16
1.5.2 微积分运算	18
1.5.3 信号的加减和相乘运算	18
1.6 离散时间信号的运算.....	19
1.6.1 $x(n)$ 到 $x(an+b)$ 的运算	19
1.6.2 序列的加减和相乘运算	20
1.6.3 差分和累加运算	21
1.7 信号的分解.....	22
1.8 系统的分类及性质.....	25
1.9 系统的分析方法.....	29
习题	30
第二章 连续时间信号的频域分析	35
2.1 周期信号的傅里叶级数.....	35
2.1.1 三角形式的傅里叶级数	35
2.1.2 指数形式的傅里叶级数	36
2.2 傅里叶系数的计算.....	37
2.2.1 函数的对称性与傅里叶系数的关系	37
2.2.2 坐标轴的移动	44
2.2.3 导数函数间傅里叶系数的关系	45
2.3 周期信号的频谱.....	47
2.3.1 单边频谱.....	47
2.3.2 双边频谱.....	49

2.3.3 周期信号频谱的特点	50
2.3.4 频带宽度	50
2.4 傅里叶变换	51
2.4.1 傅里叶变换的定义	51
2.4.2 常用非周期信号的频谱	52
2.5 傅里叶变换的性质	59
2.6 希尔伯特变换	72
2.7 周期信号的傅里叶变换	74
2.8 抽样信号的频谱	77
2.8.1 时域抽样	78
2.8.2 频域抽样	79
2.8.3 抽样定理	80
习题	82
第三章 LTI 系统方程的建立与系统模拟	89
3.1 连续时间系统微分方程的建立	89
3.2 连续时间系统中的算子	92
3.2.1 连续算子及微分方程的算子表示	92
3.2.2 算子的有关性质	93
3.2.3 因果连续信号的算子表示	94
3.3 离散时间系统差分方程的建立	98
3.4 离散时间系统中的算子	99
3.4.1 离散算子及差分方程的算子表示	99
3.4.2 离散时间信号的算子表示	100
3.5 连续时间系统的模拟	102
3.5.1 基本单元	102
3.5.2 连续时间系统的模拟图	103
3.6 离散时间系统的模拟	107
3.6.1 基本单元	108
3.6.2 离散时间系统的模拟图	108
3.7 信号流图	111
3.7.1 信号流图的术语	111
3.7.2 信号流图的绘制	112
3.8 梅森公式	114
习题	117
第四章 卷积的计算	123
4.1 连续时间信号的卷积	123

4.2 卷积的性质	125
4.3 卷积的计算	131
4.3.1 用卷积的定义计算	131
4.3.2 用卷积的性质计算	132
4.3.3 用算子计算卷积	134
4.4 离散信号的卷积和	135
4.5 卷积和的性质	139
4.6 卷积和的计算	142
4.6.1 用定义式计算	142
4.6.2 竖式乘法	143
4.6.3 算子求解	145
习题	147
第五章 连续时间系统的时域分析	152
5.1 引言	152
5.2 时域经典法求解微分方程	152
5.2.1 齐次解的计算	152
5.2.2 特解的计算	154
5.2.3 完全解的计算	157
5.3 冲激平衡法求系统的响应	158
5.3.1 初始条件的确定和系统响应的计算	158
5.3.2 系统响应的函数形式	162
5.4 零输入响应的计算	163
5.4.1 零输入响应方程的确定	164
5.4.2 零输入响应的计算	164
5.5 零状态响应的计算	165
5.5.1 零状态响应方程的确定	166
5.5.2 用冲激平衡法求零状态响应	166
5.5.3 算子求解	167
5.5.4 单位冲激响应和单位阶跃响应	167
5.5.5 卷积求零状态响应	169
5.6 连续时间系统时域分析举例	170
5.6.1 系统完全响应的分解	170
5.6.2 时域分析法举例	170
习题	174
第六章 连续时间系统的频域分析	179
6.1 周期信号对 LTI 系统的影响	179

6.1.1 复指数信号的响应	179
6.1.2 正弦信号的响应	180
6.1.3 直流信号的响应	180
6.1.4 非正弦周期信号的响应	180
6.2 非周期信号对 LTI 系统的响应	182
6.3 频域系统函数	184
6.3.1 频域系统函数定义	184
6.3.2 频域系统函数的计算	184
6.3.3 频率特性	186
6.4 信号的无失真传输	187
6.5 理想滤波器	188
6.5.1 理想滤波器的频率特性	188
6.5.2 理想低通滤波器的响应	189
6.5.3 其他理想滤波器的响应	191
6.6 幅度调制与解调	193
6.6.1 幅度调制	193
6.6.2 幅度解调	194
6.7 抽样信号的恢复	196
习题	197
第七章 连续时间系统的复频域分析	202
7.1 拉普拉斯变换	202
7.1.1 拉普拉斯变换定义	202
7.1.2 拉普拉斯变换的收敛域	203
7.1.3 一些常用信号的拉普拉斯变换	205
7.2 拉普拉斯变换的性质	205
7.2.1 双边拉氏变换的性质	206
7.2.2 单边拉氏变换的几个性质	211
7.3 拉普拉斯反变换	215
7.4 拉普拉斯变换求解微分方程	218
7.5 拉普拉斯变换分析电路	222
7.5.1 基尔霍夫定律的 s 域形式	222
7.5.2 基本电路元件的 s 域 VCR	223
7.5.3 复阻抗	225
7.5.4 用 s 变换分析电路	227
7.6 系统函数	230
7.6.1 系统函数	230

7.6.2 系统函数的零极点图	231
7.6.3 $H(s)$ 的极点与 $h(t)$ 的关系	233
7.6.4 系统的稳定性	234
7.7 系统的频率响应	236
7.7.1 正弦稳态响应	236
7.7.2 系统的频率响应	237
习题	238
第八章 离散时间系统的时域分析	245
8.1 常系数线性差分方程的求解	245
8.2 差分方程的经典解法	246
8.2.1 齐次解的计算	246
8.2.2 特解的计算	249
8.2.3 初始条件的确定	251
8.2.4 完全解的计算	252
8.3 零输入响应的计算	255
8.4 零状态响应的计算	257
8.4.1 经典法求解	257
8.4.2 算子求解	258
8.4.3 单位冲激响应	259
8.4.4 用卷积和求解零状态响应	261
8.5 离散系统时域分析举例	262
8.5.1 系统完全响应的分解	262
8.5.2 分析举例	262
习题	268
第九章 离散时间系统的 z 域分析	272
9.1 z 变换	272
9.1.1 z 变换的定义	272
9.1.2 z 变换的收敛域	273
9.1.3 常用序列的 z 变换	274
9.1.4 z 变换和 s 变换的关系	276
9.2 z 变换的性质	278
9.3 逆 z 变换	286
9.3.1 幂级数展开法	286
9.3.2 部分分式展开法	287
9.3.3 围线积分法	290
9.4 离散系统的 z 域分析	293

9.4.1 系统响应函数形式	293
9.4.2 用 z 变换求解差分方程	294
9.5 系统函数	296
9.5.1 系统函数	296
9.5.2 离散系统的稳定性	298
9.6 离散系统频率响应特性	300
9.6.1 频率响应特性	300
9.6.2 正弦序列的稳态响应	301
习题	302
第十章 状态变量分析法	306
10.1 引言	306
10.2 LTI 连续时间系统状态方程的建立	308
10.2.1 状态方程和输出方程的标准形式	308
10.2.2 状态方程和输出方程的建立	310
10.3 状态转移矩阵	315
10.3.1 矩阵的特征根	315
10.3.2 状态转移矩阵	315
10.4 LTI 连续时间系统状态方程的时域求解	320
10.5 LTI 连续系统状态方程的 s 域求解	322
10.6 LTI 离散时间系统状态方程的建立	325
10.6.1 离散时间系统状态方程的标准形式	325
10.6.2 状态方程的建立	326
10.7 LTI 离散时间系统状态方程的求解	329
10.7.1 离散时间系统状态方程的时域求解	329
10.7.2 离散时间系统状态方程的 z 域求解	332
10.8 状态矢量的线性变换	334
10.8.1 系统状态的线性变换	334
10.8.2 A 矩阵的对角化	336
习题	341
习题答案	347
参考文献	370
附录	371

第一章 信号与系统的基本概念

人们在日常生活和工作中都离不开各种信息,如气象、交通等信息,需要对各种信息进行获取、存储、传输和处理。几乎所有的信息类学科如电子电气工程、通信工程、计算机工程、自动化工程和其他的工程学科都需要信号与系统的概念和原理。

“信号与系统”是以信号传输和信号处理等工程问题为背景,经科学抽象和理论概括而形成的一门基础理论课程,其任务是研究确定信号通过线性时不变系统进行传输、处理的基本理论和分析方法。“信号与系统”的理论包含信号和系统两部分。

本章介绍信号与系统的概念,信号与系统的分类,常见的信号及运算,系统的特性和分析方法,为后续内容及后续课程的学习打下基础。

1.1 信号与系统的定义

信号与系统是两个既相互联系又相互区别的研究对象。信号是运载信息的工具,系统是产生、传输和处理信号的客观实体。信号离开了系统,就失去了存在的价值;系统没有信号的输入,也就失去了作用。如电视信号与电视机,没有电视机,丰富多彩的电视节目对你而言也是无关的;同样,没有电视信号,电视机只能作为一种摆设。

1.1.1 信号的定义

信号存在于我们生活和工作中的方方面面,如马路上的交通信号是你安全的保障;医生抢救病人时,需要多种医疗仪器监测病人的生命体征并及时作出反应。

图 1.1-1 是某地在同一时间随着高度上升空气温度的变化曲线,变量是高度。图 1.1-2 是上海股市中的一只股票新世界(600628)在 2005 年 4 月 29 日至 6 月 17 日周收盘价格曲线,这里的变量是时间。

比较上面两条曲线,发现两者的差异:图 1.1-1 是连续曲线,图 1.1-2 是离散序列。

信号定义:信号是带有信息的某种物理量,是变量的函数或序列。变量可以是

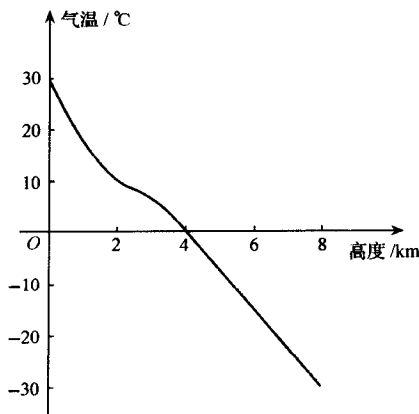


图 1.1-1 气温随高度变化图

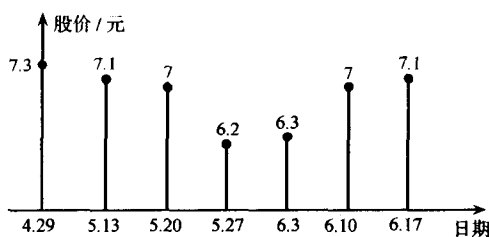


图 1.1-2 新世界周收盘股价图

时间或空间距离等,本书研究变量为时间的信号。

信号有多种形式,如光信号、声音信号等。电信号是常用的信号,所谓电信号是随时间变化的某个电的物理量,常用的有电压信号和电流信号。此外,也把电容的电荷及电感的磁链作为电信号。

研究信号是为了对信号进行处理和分析,所谓信号处理是对信号进行某种加工或变换,目的是提取有用的部分,去掉多余的内容,滤除各种干扰和噪声,或将信号进行转化,便于分析和识别。

信号的特性可以从时间特性和频率特性两方面进行描述。

信号可用函数解析式表示(有时域的、频域的及变换域的),也可用波形或频谱表示。

1.1.2 系统的定义

系统是由若干个相互作用和相互依赖的事物组成的具有特定功能的整体,如常说的卫生系统、文教系统、公安系统等。电系统是由各种具体电路所组成,完成对电信号的加工、变换或运算。系统也是一个数学模型,是对反映输入(激励)信号与输出(响应)信号关系的物理过程的描述。

图 1.1-3 是一般通信系统的原理性模型,信号从信息源经系统处理传送到接收者。

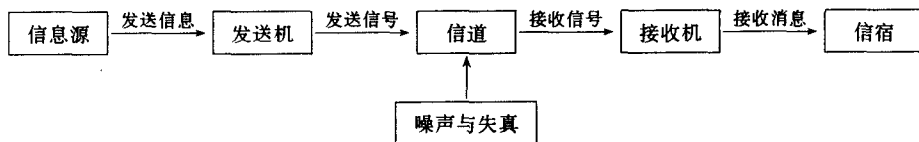


图 1.1-3 单向点对点通信系统

系统中的信号分为输入信号和输出信号。图 1.1-4(a)是有多个输入信号和多个输出信号的系统,图 1.1-4(b)中只有一个输入和一个输出(称为单输入单输出系统),本书重点是研究单输入单输出系统。

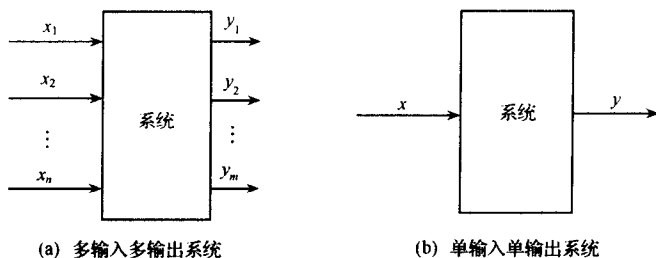


图 1.1-4 输入输出系统

如果系统中的信号是连续时间信号,这样的系统称为连续时间系统(简称连续系统),如图 1.1-5(a)表示。如果信号是离散时间信号,称为离散时间系统(简称离散系统),如图 1.1-5(b)表示。



图 1.1-5 连续时间系统和离散时间系统

系统的作用是将输入信号转化为输出信号,实现输入到输出的运算功能。连续系统和离散系统分别表示为

$$r(t) = T[e(t)] \quad (1.1-1)$$

$$y(n) = T[x(n)] \quad (1.1-2)$$

1.2 信号的分类

根据信号函数的性质,大体上可把信号分成以下几类:确定信号和随机信号,连续时间信号和离散时间信号,周期信号和非周期信号,能量信号和功率信号,时限信号和无时限信号等。此外,还有偶信号和奇信号,实信号和虚信号,普通信号和奇异信号等之分。

1. 确定信号和随机信号

确定信号是一个可以用明确数学关系式表达的信号,也就是预先可以知道其变化规律,是时间的确定函数,如正弦信号 $2\sin(3t)$ 、马路上的交通信号。本书研究的是确定信号。

随机信号与之相反,是在任意给定时刻其值不确定的信号,也就是不能预知其变化规律,不是时间的确定函数。如通信中的各种干扰,又如汽车行驶时座椅的振动等。但随机信号具有统计特性,可以通过统计方法来表征。

2. 连续时间信号和离散时间信号

按时间取值的连续性,信号有连续时间信号和离散时间信号之分。连续时间信号简称为连续信号,离散时间信号简称为离散信号。

如果变量 t 是连续的,对应的信号就是连续信号。连续信号是指在讨论的时间内,除若干个间断外,对于任意时刻都可以确定其函数值,连续信号又称模拟信号。

离散信号是在讨论的时间范围内,只有某些时刻才有数值,而其他时刻没有给定函数值。离散信号的间隔时间可以相等也可以不相等,但大多数是等间隔的离散时间信号。图 1.2-1 是离散时间信号,间隔时间用 T 表示,以 n (整数)为变量。

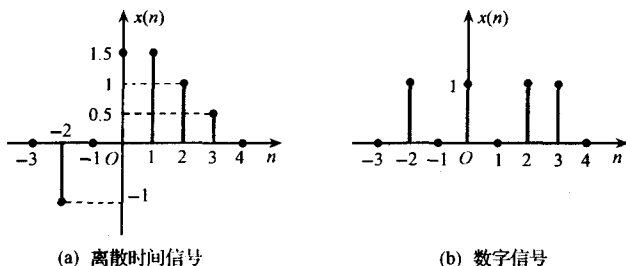


图 1.2-1 离散时间信号

在等间隔离散信号中,如信号的幅值限定在某些数值,这种信号称为数字信号,典型的数值只取“0”和“1”二者之一。图 1.2-1(b)是数字信号。

3. 周期信号和非周期信号

既然信号可用函数表示,函数有周期和非周期之分,故信号分为周期信号和非周期信号。

一个连续时间信号 $f(t)$,如果存在非零的正数 T ,满足

$$f(t + T) = f(t) \quad (1.2-1)$$

则称 $f(t)$ 是周期为 T 的周期信号。周期信号对于所有 t 和任意整数 m ,有

$$f(t + mT) = f(t) \quad (1.2-2)$$

满足式(1.2-2)的最小正数称为 $f(t)$ 的基本周期 T_0 。

对于离散信号 $x(n)$,如存在正整数 N ,对任意 n ,有

$$x(n + N) = x(n) \quad (1.2-3)$$

则称 $x(n)$ 是周期为 N 的周期信号。对任意整数 m ,有

$$x(n + mN) = x(n) \quad (1.2-4)$$

其中 $x(n)$ 的基本周期 N_0 是满足式(1.2-4)的最小正整数。

从波形上看,周期信号函数有一个基本波形,而其余的是基本波形经平移 T

整数倍后的重复拷贝。

例 1.2-1 确定下面的信号是否是周期信号。如果是,求基本周期。

$$(1) f(t) = \sin\left(\frac{\pi}{3}t\right) + \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right) + 2 \quad (2) x(n) = \cos\left(\frac{1}{4}n\right)$$

解 (1) $f(t) = \sin\left(\frac{\pi}{3}t\right) + \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right) + 2 = f_1(t) + f_2(t) + f_3(t)$

其中

$$f_1(t) = \sin\left(\frac{\pi}{3}t\right) \text{ 是周期信号, 基本周期 } T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 6;$$

$$f_2(t) = \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right) \text{ 是周期信号, 基本周期 } T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 8;$$

$$f_3(t) = 2 \text{ 是直流信号, 可以看成是任何周期的周期信号。}$$

$$\text{因为 } \frac{T_1}{T_2} = \frac{6}{8} = \frac{3}{4} \text{ 是有理数, 则 } f(t) \text{ 是周期信号。}$$

$$\text{基本周期 } T_0 = 4T_1 = 3T_2 = 24。$$

$$(2) x(n) = \cos\left(\frac{1}{4}n\right) = \cos(\omega_0 n), \omega_0 = \frac{1}{4}$$

$$\frac{2\pi}{\omega_0} = 8\pi \text{ 是无理数, 由于离散信号的周期是正整数, 故 } x(n) \text{ 是非周期信号。}$$

4. 能量信号和功率信号

连续信号 $f(t)$ 的能量 E 和平均功率 P 定义为

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt \quad (1.2-5)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |f(t)|^2 dt \quad (1.2-6)$$

如 $f(t)$ 为非周期信号, 取 $T \rightarrow \infty$ 的极限。

离散信号 $x(n)$ 的能量 E 和平均功率 P 定义为

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)|^2 \quad (1.2-7)$$

$$P = \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |x(n)|^2 \quad (1.2-8)$$

如 $x(n)$ 为非周期信号, 取 $N \rightarrow \infty$ 的极限。

(1) 信号的能量 E 有界, 即 $0 < E < \infty$, 而平均功率 $P = 0$, 该信号是能量信号。

(2) 信号的平均功率 P 有界, 即 $0 < P < \infty$, 而能量 $E \rightarrow \infty$, 该信号是功率信号。

(3) 信号的能量 $E \rightarrow \infty$, 平均功率 $P \rightarrow \infty$, 该信号既不是功率信号也不是能量

信号。

一般,周期信号是功率信号。

例 1.2-2 判断下列信号哪些是能量信号,哪些是功率信号。

$$(1) f(t) = \begin{cases} e^{-2t} & (t \geq 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases} \quad (2) x(n) = \begin{cases} 2 & (n \geq 0) \\ 0 & (n < 0) \end{cases} \quad (3) f(t) = \begin{cases} t & (t \geq 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases}$$

解 (1) $E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \int_0^{\infty} e^{-4t} dt = \frac{1}{4}$ (有界)

因此,该信号是能量信号。

$$(2) P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |x(n)|^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=0}^N 2^2 \\ = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{4(N+1)}{2N+1} = 2 \text{ (有界)}$$

因此,该信号是功率信号。

$$(3) E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \int_0^{\infty} t^2 dt = \infty$$

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |f(t)|^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} t^2 dt \\ = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{3T} \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^3 = \infty$$

因此,该信号既不是能量信号,也不是功率信号。

5. 时限信号和无时限信号

时限信号在时间段($t_1 < t < t_2$)以外的值为零;否则称为无时限信号,如 $\sin t$ 。

若信号在 $t > t_0$ 不等于零, $t < t_0$ 为零,称为有始信号(又称右边信号)。如果 $t_0 = 0$,则称为因果信号,因果信号常以 $f(t) = g(t)u(t)$ 形式出现,其中 $u(t)$ 是单位阶跃信号。

若信号在 $t < t_0$ 不等于零,在 $t > t_0$ 为零称为有终信号(又称左边信号)。如果 $t_0 = 0$,则称为反因果信号,反因果信号以 $f(t) = g(t)u(-t)$ 形式出现。

例 1.2-1 中的信号都是无时限信号,例 1.2-2 中的信号都是因果信号。

1.3 典型连续时间信号

本节中介绍几种典型的连续时间信号,这些信号在以后经常用到。

1. 实指数信号

实指数信号简称为指数信号,函数公式为

$$f(t) = Ke^{at} \quad (1.3-1)$$