



高等学校电气信息类规划教材

总主编 王耀南

信号与系统

曾喆昭 倪振文 主编

湖南大学出版社

TN911.6
N523:1

高等学校电气信息类规划教材
总主编 王耀南

信号与系统

主 编 曾喆昭 倪振文
副主编 丘德润 李正光 文 卉

湖南大学出版社

2004 年 · 长沙

内 容 简 介

本书共分为8章,即信号与系统的基本概念,连续信号的时域分析,连续信号与系统的频域分析、复频域分析,离散信号的时域分析,离散信号与系统的频率分析、复频域分析,系统的状态空间分析。本书深入浅出,重点突出,精选了近几年来全国20余所重点大学的考研试题作为各章例题和习题,因此,本书不仅可以作为高等学校电气信息类各专业的本科教材,还可作为相关专业学生准备研究生入学考试的复习指导书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/曾喆昭,倪振文主编. —长沙:湖南大学出版社,
2004.8

(高等学校电气信息类规划教材)

ISBN 7-81053-784-9

I. 信... II. ①曾... ②倪... 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(2004)第 063301 号

信号与系统

Xinhao yu Xitong

主 编: 曾喆昭 倪振文

责任编辑: 李继盛

封面设计: 张 毅

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731-8821691(发行部), 8821315(编辑室), 8821006(出版部)

传 真: 0731-8649312(发行部), 8822264(总编室)

电子邮箱: press@hnu.net.cn

网 址: <http://press.hnu.net.cn>

印 装: 湖南新华印刷集团有限责任公司(邵阳)

总 经 销: 湖南省新华书店

开本: 787×1092 16 开

印张: 25

字数: 578 千

版次: 2004 年 8 月第 1 版

印次: 2004 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1~4 000 册

书号: ISBN 7-81053-784-9/TP·46

定价: 34.00 元

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

高等学校电气信息类规划教材

编辑委员会

主 任:章 兢

(湖南大学副校长,教授,博士生导师)

总 主 编:王耀南

(湖南大学电气与信息工程学院院长,教授,博士生导师)

常务副主任:彭楚武 罗 安 何怡刚 黄辉先 黎福海 黄守道 王英健

副 主 任:(按姓氏笔画为序)

王新辉 邓曙光 朱荣辉 刘志壮 陈日新 杨家红 张万奎

张忠贤 周少武 贺达江 黄绍平 彭解华 瞿遂春

委 员:(按姓氏笔画为序)

丁跃尧 方厚辉 王 辉 王 群 王建君 田学军 包 艳

刘祖润 肖强晖 李益华 李正光 李茂军 李春树 李欣然

余建坤 汪鲁才 张学军 金可音 孟凡斌 欧青立 唐勇奇

康 江 黄智伟 揭 屿 曾喆昭 熊芝耀 戴瑜兴

参 编 院 校

(排名不分先后)

湖南大学

国防科学技术大学

湘潭大学

湖南师范大学

长沙理工大学

湖南科技大学

湖南农业大学

南华大学

株洲工学院

湖南工程学院

吉首大学

湖南商学院

湖南理工学院

湖南文理学院

湖南城市学院

邵阳学院

怀化学院

零陵学院

长沙学院

湖南工学院(筹)

序

我国高等教育已经发展到大众化教育的新阶段。随着国家工业化建设迅猛发展,电气信息类专业技术人才的需求也日益增大。为了适应人才培养的这种新形势,跟踪科学技术的前沿进展,我们根据教育部面向 21 世纪电气信息类课程改革的要求,结合湖南大学和兄弟院校长期教学教改的经验,为大学电气信息类本科生编写了这套教材。

电气信息类课程是培养电类专业人才的基础课程,大量概念、理论、方法和工程案例构成了一个完整的技术知识体系。学生要开启心智、培育形成电类专业思维、打下电类专业人才的技术知识基础,必须系统地扎实地学好这些课程。为此,我们在组织编写这套教材时,特别注意了以下几个方面:

一是保证基础。作为大学基础课程,应确保基本概念、基本原理和基本方法的学习。只有透彻地理解和掌握了基础知识,才能顺利地进入电气信息技术领域的大门,才有可能进一步深造。

二是跟踪新技术。电气信息技术发展日新月异,大学教材必须及时吸纳最新技术,使学生了解学科发展动态。本套教材一方面注意反映学科各方面的最新进展,安排了扩充阅读的相关文献题录,指引学生直接接触学科前沿;另一方面还根据学科与技术的发展趋势,对经典知识进行重新组织编排。本套教材还将及时再版,及时更新内容,确保与时俱进,始终处于技术发展的最前沿。

三是注重应用。电气与信息理论源于工程实践,源于科学发现和技术发明,就像艺术源于生活一样。本套教材在讲述基本理论的同时,注重联系工程实际,并把作者的研究成果应用到其中。在正文、例题和习题中,特意安排了大量工程实用问题,通过理论和工程实际的结合,使学生学到知识并掌握方法。

四是文理渗透、启发诱导。为了提升素质,开阔视野,培养科学创新意识,理工科学生应适当了解与学科相关的课程外知识。为此,在许多教材中精心安排了“扩展与思考”的内容,使学生从中体会科学思想、科学方法以及科技与人文、科学与艺术相互交融的精神和境界。

五是部分教材以多媒体 CAI 课件配合。这样可以将重要的知识点以生动形象的画面表现出来,深化认识,提高学习效果,也便于课堂教学。

本套教材经过充分研讨和论证,聘请各院校教学经验丰富、科研基础深厚的教授和副教授担任主编和编写者,是湖南所有电气信息类院校团结协作的成果,是全省最优秀的电气信息工程学科专家学者集体智慧的结晶。

本套教材的编写和出版,得到了湖南大学、国防科学技术大学、湘潭大学、湖南师范大学、长沙理工大学、湖南农业大学、湖南科技大学、南华大学、株洲工学院、湖南工程学院、吉首大学、湖南商学院、湖南理工学院、湖南城市学院、湖南文理学院、邵阳学院、怀化学院、零陵学院、长沙学院、湖南工学院(筹)等高校的通力合作,得到了湖南大学出版社的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

王耀南

2004 年 6 月于岳麓山

前 言

2003年12月在岳麓书院召开了湖南省电气信息类专业教材编写工作会议,湖南大学、长沙理工大学、湘潭大学、湖南科技大学、南华大学等全省20余所大学的相关专家学者参加了会议。会上,湖南大学副校长、博士生导师章兢教授和湖南大学电气与信息工程学院院长、博士生导师王耀南教授作了重要讲话,与会专家共同制定了湖南省高等学校电气信息类教材整合与编写规划,明确了《信号与系统》教材的编写要求,制定了教材编写大纲,并委托本书主编负责组织编写《信号与系统》。

在编写过程中,编者广泛参考了国内外相关教材,扬长避短,突出重点。在内容取材方面,不仅突出了各章节内容的衔接性,更突出了本书的重点,明确了书中哪些内容必须学,哪些内容可学或可不学,让学生像老师一样站在较高的层次了解本书的全局,使学生学起来轻松愉快。此外,为了有效加深学生对信号与系统基本概念、基本理论与基本应用的深入领会和灵活运用,特别选择了近年来全国20余所重点大学考研试题作为书中的例题与习题。因此本书不仅可以作为电气信息类各专业本科学生的教材,也可作为相关专业研究生考生的复习指导书。

本书由曾喆昭教授、倪振文副教授任主编,副主编有丘德润副教授、李正光副教授和文卉讲师。参加本书编写工作的有:长沙理工大学曾喆昭(第1~第4章);湖南科技大学倪振文(第5~第6章);湖南文理学院丘德润(第7章);怀化学院李正光(第8章);长沙理工大学文卉为本书做了大量的编辑校对工作,绘制了大量的插图,并编写了第1~第4章的全部习题和答案。湖南大学的李树涛博士对本书提出了许多宝贵的修改意见,编者在此深表谢意。在编写过程中,参考了大量的相关教材和资料,我们对这些教材和资料的作者谨致深切的感谢,同时还感谢湖南大学电气与信息工程学院和湖南大学出版社对本书出版的大力支持和帮助!

编 者

2004年7月

目 次

第 1 章 信号与系统的基本概念

1.1 信号的描述和分类	(1)
1.1.1 信号的描述	(1)
1.1.2 信号的分类	(1)
1.2 信号的基本特性	(3)
1.3 信号的基本运算	(4)
1.3.1 相加和相乘	(4)
1.3.2 信号的翻转、平移和展缩	(5)
1.3.3 信号的微分和积分	(6)
1.3.4 差分和迭分	(6)
1.3.5 信号的分解	(7)
1.4 奇异信号	(8)
1.4.1 连续时间单位阶跃信号 $\varepsilon(t)$	(8)
1.4.2 连续时间单位冲激信号 $\delta(t)$	(9)
1.4.3 广义函数和 δ 函数性质	(9)
1.4.4 阶跃序列和脉冲序列	(10)
1.5 系统的特性和分类	(10)
1.5.1 系统的定义和表示	(10)
1.5.2 系统的特性	(11)
1.5.3 系统的分类	(12)
1.6 信号与系统的分析方法	(13)
1.6.1 信号的分析方法	(13)
1.6.2 系统的分析方法	(14)
1.7 典型例题	(15)
习题一	(20)

第 2 章 连续信号的时域分析

2.1 连续时间基本信号	(23)
2.1.1 奇异信号	(23)
2.1.2 正弦信号	(23)
2.1.3 指数信号	(24)

2.1.4	抽样信号	(25)
2.1.5	单位门信号	(26)
2.1.6	三角信号	(26)
2.1.7	符号信号	(26)
2.1.8	单位斜坡信号	(26)
2.2	卷积积分	(27)
2.2.1	卷积的定义	(27)
2.2.2	卷积的图解机理	(28)
2.2.3	卷积的性质	(33)
2.2.4	常用信号的卷积公式	(33)
2.3	连续输入系统的零响应	(33)
2.3.1	系统的初始条件	(34)
2.3.2	连续系统零输入响应的求解	(35)
2.4	连续系统的零状态响应	(35)
2.4.1	连续信号 $f(t)$ 的 $\delta(t)$ 分解	(35)
2.4.2	基本信号 $\delta(t)$ 激励下的零状态响应	(35)
2.4.3	一般信号激励下的零状态响应	(36)
2.4.4	连续系统的阶跃响应	(37)
2.5	典型例题	(40)
	习题二	(51)

第3章 连续信号与系统的频域分析

3.1	信号的正交分解	(54)
3.1.1	矢量的正交分解	(54)
3.1.2	信号的正交分解	(55)
3.2	周期信号的连续时间傅立叶级数	(56)
3.2.1	三角形形式的傅立叶级数	(57)
3.2.2	指数形式的傅立叶级数	(60)
3.3	周期信号的频谱	(61)
3.3.1	周期信号的频谱	(61)
3.3.2	周期信号频谱的特点	(63)
3.3.3	周期信号的功率	(65)
3.4	非周期信号的连续时间傅立叶变换	(66)
3.4.1	傅立叶变换	(66)
3.4.2	非周期信号的频谱函数	(67)
3.4.3	典型信号的傅立叶变换	(69)
3.5	傅立叶变换的性质	(75)
3.6	周期信号的傅立叶变换	(83)

3.7 连续时间信号的抽样定理	(86)
3.7.1 信号的时域抽样定理	(86)
3.7.2 周期脉冲采样(实际采样)	(90)
3.7.3 频域抽样	(92)
3.8 连续系统的频域分析	(94)
3.8.1 基本信号 $e^{j\omega t}$ 激励下的零状态响应	(94)
3.8.2 一般信号 $f(t)$ 激励下的零状态响应	(95)
3.8.3 无失真传输条件	(99)
3.8.4 理想低通滤波器的特性	(101)
3.9 典型例题	(102)
习题三	(118)

第4章 连续信号与系统的复频域分析

4.1 拉普拉斯变换	(125)
4.1.1 从傅立叶变换到拉普拉斯变换	(125)
4.1.2 双边拉普拉斯变换的收敛域	(126)
4.1.3 单边拉普拉斯变换	(128)
4.1.4 常用信号的单边拉氏变换对	(128)
4.2 单边拉普拉斯变换的性质	(129)
4.3 单边拉普拉斯逆变换	(134)
4.3.1 单边拉普拉斯逆变换的意义	(134)
4.3.2 部分分式展开法	(135)
4.4 连续时间系统的复频域分析	(139)
4.5 系统微分方程的复频域解	(140)
4.6 RLC 系统的复频域分析	(143)
4.6.1 KCL、KVL 的复频域形式	(143)
4.6.2 系统元件的复频域模型	(143)
4.7 连续系统的表示和模拟	(146)
4.7.1 连续系统的方框图表示	(147)
4.7.2 连续系统的信号流图表示	(150)
4.7.3 连续系统的模拟	(152)
4.8 系统函数与系统特性	(154)
4.8.1 $H(s)$ 的零点和极点	(154)
4.8.2 $H(s)$ 的零点、极点与时域响应	(154)
4.8.3 $H(s)$ 与系统的频率特性	(156)
4.8.4 $H(s)$ 与系统的稳定性	(157)
4.8.5 拉普拉斯变换与傅立叶变换的关系	(158)
4.9 典型例题	(159)

习题四	(179)
-----------	-------

第 5 章 离散信号的时域分析

5.1 离散时间基本信号	(183)
5.1.1 离散时间信号	(183)
5.1.2 离散时间基本信号	(183)
5.2 卷积和	(191)
5.2.1 卷积和的定义	(191)
5.2.2 卷积和的图解机理	(193)
5.2.3 卷积和的性质	(196)
5.2.4 常用序列的卷积和公式	(198)
5.3 典型例题	(198)
习题五	(206)

第 6 章 离散信号与系统的频率分析

6.1 周期信号的离散时间傅立叶级数(DTFS)	(212)
6.1.1 离散时间周期信号的傅立叶级数	(212)
6.1.2 离散时间周期信号的频谱	(216)
6.1.3 离散时间傅立叶级数的收敛	(218)
6.2 非周期信号的离散时间傅立叶变换(DTFT)	(219)
6.2.1 离散时间傅立叶变换	(220)
6.2.2 常用信号的离散时间傅立叶变换	(223)
6.3 周期序列的离散傅立叶变换	(225)
6.3.1 离散时间傅立叶级数系数和离散时间傅立叶变换的关系	(225)
6.3.2 周期序列的离散时间傅立叶变换	(226)
6.4 离散时间傅立叶变换的性质	(229)
6.4.1 离散时间傅立叶变换的周期性	(229)
6.4.2 线性	(229)
6.4.3 时移与频移性质	(230)
6.4.4 共轭与共轭对称性	(231)
6.4.5 差分与累加	(231)
6.4.6 时间反转	(231)
6.4.7 时域扩展	(232)
6.4.8 频域微分	(233)
6.4.9 帕斯瓦尔定理	(234)
6.4.10 相乘性质	(234)
6.4.11 对偶性	(235)
6.5 离散傅立叶变换(DFT)	(239)

6.5.1	离散傅立叶变换(DFT)的引入	(239)
6.5.2	DFT 的计算	(242)
6.5.3	DFT 的性质	(243)
6.6	离散系统的频域分析	(248)
6.6.1	基本信号 $e^{j\omega}$ 激励下的零状态响应	(249)
6.6.2	一般信号 $f(k)$ 激励下的零状态响应	(251)
6.7	快速傅立叶变换(FFT)简介	(259)
6.7.1	直接计算 DFT 的特点及减少运算量的基本途径	(259)
6.7.2	基 2 FFT 概述	(259)
6.7.3	DIF-FFT 算法与直接计算 DFT 运算量的比较	(262)
习题六		(263)

第 7 章 离散信号与系统的复频域分析

7.1	z 变换	(272)
7.1.1	从拉普拉斯变换到 z 变换	(272)
7.1.2	双边 z 变换的定义和收敛域	(273)
7.1.3	常用序列的双边 z 变换	(275)
7.2	双边 z 变换的性质	(275)
7.3	z 域逆变换	(283)
7.3.1	双边 z 逆变换的定义	(283)
7.3.2	双边 z 逆变换的计算	(283)
7.4	单边 z 变换	(291)
7.4.1	单边 z 变换的定义和收敛域	(291)
7.4.2	常用序列的单边 z 变换	(291)
7.4.3	单边 z 变换的性质	(292)
7.4.4	单边 z 逆变换的计算	(295)
7.5	离散系统的 z 域分析	(298)
7.5.1	离散信号的 z 域分解	(299)
7.5.2	基本信号 z 激励下的零状态响应	(299)
7.5.3	一般信号 $f(h)$ 激励下的零状态响应	(299)
7.6	离散系统差分方程的 z 域解	(301)
7.6.1	差分方程的 z 域解	(301)
7.6.2	离散系统的频率响应	(303)
7.7	离散系统的表示和模拟	(306)
7.7.1	离散系统的方框图表示	(306)
7.7.2	离散系统的信号流图表示	(309)
7.7.3	离散系统的模拟	(310)
7.8	系统函数与系统特性	(313)

7.8.1 $H(z)$ 的零点和极点	(313)
7.8.2 $H(z)$ 的零点、极点与时域响应	(313)
7.8.3 $H(z)$ 与离散系统的频率响应	(314)
7.8.4 $H(z)$ 与离散系统的稳定性	(316)
7.8.5 z 域与 S 域的映射关系	(319)
习题七	(320)

第8章 系统的状态空间分析

8.1 状态方程的建立	(325)
8.1.1 连续时间系统状态方程的建立	(327)
8.1.2 离散时间系统状态方程的建立	(332)
8.2 状态方程的解法	(334)
8.2.1 连续时间系统状态方程的解法	(334)
8.2.2 离散时间系统状态方程的求解	(348)
8.3 系统的可控性和可观性	(353)
8.3.1 系统的可控性	(356)
8.3.2 系统的可观性	(358)
习题八	(359)

习题参考答案	(366)
--------	-------

参考文献	(383)
------	-------

第1章 信号与系统的基本概念

本章重点介绍信号与系统的基本概念,包括信号的定义及其分类、信号的基本特性、信号的基本运算、奇异信号在信号与系统分析中的重要意义;系统的定义及其分类、系统的特性和信号与系统的分析方法。

1.1 信号的描述和分类

1.1.1 信号的描述

信号是带有信息(如声音、图像、数据等)的随时间变化的物理量或物理现象(如声、光、电等),其图形称为信号的波形。信号的描述主要有三种:解析式描述、图形描述、测量数据或统计数据描述等。

1.1.2 信号的分类

信号的形式多种多样,可以从不同的角度进行分类,而且通常与系统有关。常用的几种分类为:确定性信号和随机性信号;连续时间信号和离散时间信号;周期信号和非周期信号;实信号和复信号;功率有限信号和能量信号;奇信号和偶信号;因果信号和反因果信号。

1. 确定信号与随机信号

(1) 确定信号:可以表示为时间函数(或序列),而且它的参量都确定,给定的某一时刻的取值是完全确定的,它所包含的信息的不同完全体现在取值随时间的不同变化规律上。

(2) 随机信号:在某一时刻的取值具有不可预知的不确定性,只能通过大量试验测出它在某一时刻取值的概率分布。通常实际系统工作时,总会受到来自系统内部或周围环境的各种噪声的干扰和影响。由于噪声的干扰和影响,任一系统的输出信号都不可能是确定信号。研究随机信号要用到概率统计的方法,尽管如此,研究确定信号仍是十分重要的,它不仅广泛应用于系统分析设计中,同时也是进一步研究随机信号的基础。

2. 连续信号与离散信号

(1) 连续时间信号:在连续时间范围内有定义的信号称为连续时间信号,简称为连续信号。

离散时间信号:在一些离散的瞬间才有定义的信号称为离散时间信号,简称为离散信号或序列。

(2) 数字信号:如果离散时间信号不仅在时间上是离散的,而且在幅度上又是量化的则称为数字信号。数字信号是离散信号的特例。

3. 周期信号与非周期信号

(1) 连续时间周期信号

一个连续信号 $f(t)$, 若对所有的 t 均有:

$$f(t) = f(t + mT), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots \quad (1.1.1)$$

则称 $f(t)$ 为连续时间周期信号, 满足式(1.1.1)的最小值 T 称为 $f(t)$ 的周期。

(2) 离散时间周期信号

一个离散信号 $f(k)$, 若对所有的 k 均有:

$$f(k) = f(k + mN), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots \quad (1.1.2)$$

则称 $f(k)$ 为离散时间周期信号或周期序列, 满足式(1.1.2)的最小 N 值称为 $f(k)$ 的周期。

(3) 非周期信号

凡是不满足式(1.1.1)或式(1.1.2)的信号称为非周期信号。非周期信号的幅值在时间上不具有周而复始变化的特性, 它不具有周期, 或者认为它具有趋向无穷大的周期。

例 1.1.1 试判断下列信号是否为周期信号。若是, 请确定其周期。

$$(1) f_1(t) = \sin 2t + \cos 3t$$

$$(2) f_2(t) = \cos 2t + \sin \pi t$$

解: (1) 假设 $f_1(t)$ 的最小周期为 T , 则有下列等式成立:

$$f_1(t) = f_1(t + kT) \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots$$

即

$$\sin 2t + \cos 3t = \sin 2(t + kT) + \cos 3(t + kT) = \sin(2t + 2kT) + \cos(3t + 3kT)$$

为了使上述等式成立, 有 $2kT = 2\pi p$ 及 $3kT = 2\pi q$

即

$$T = \frac{\pi}{k}p = \frac{2\pi}{3k}q$$

显然 $p=2, q=3$ 时, $f_1(t)$ 具有最小周期 $T = \frac{2\pi}{k}$, 取 $k=1$, 有 $T=2\pi$, 所以 $f_1(t)$ 是以 2π 为周期的周期信号。

(2) 假设 $f_2(t)$ 的最小周期为 T , 则有下列等式成立:

$$f_2(t) = f_2(t + kT) \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots$$

即

$$\begin{aligned} \cos 2t + \sin \pi t &= \cos 2(t + kT) + \sin \pi(t + kT) \\ &= \cos(2t + 2kT) + \sin(\pi t + \pi kT) \end{aligned}$$

为了使上述等式成立, 有 $2kT = 2\pi p$ 及 $k\pi T = 2\pi q$

即

$$T = \frac{\pi}{k}p = \frac{2}{k}q$$

很显然, 无论 p, q 取任何整数都不可能使等式 $T = \frac{\pi}{k}p = \frac{2}{k}q$ 成立, 所以 $f_2(t)$ 不是周期信号。

4. 能量信号与功率信号

(1) 能量有限信号: 如果信号 $f(t)$ 的能量 E 满足: $0 < E < \infty$ (且信号功率 $P=0$), 则称 $f(t)$ 为能量有限信号 (简称能量信号)。

(2) 功率有限信号: 如果信号 $f(t)$ 的功率 P 满足: $0 < P < \infty$ (且信号能量 $E=\infty$), 则称 $f(t)$ 为功率有限信号 (简称功率信号)。很显然, 周期信号是功率信号, (在有限时间区间内存在非零值的信号) 必定是能量信号; 而非周期信号可能是能量信号也可能是功率信号。

(3) 定义信号 $f(t)$ 的能量 E 为

$$E = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} |f(t)|^2 dt \quad (1.1.3)$$

(4) 定义信号 $f(t)$ 的功率 P 为

$$P = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} |f(t)|^2 dt \quad (1.1.4)$$

(5) 定义离散信号 $f(k)$ 的能量 E 为

$$E = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |f(k)|^2 \quad (1.1.5)$$

5. 实信号与复信号

(1) 实信号: 物理可实现的信号, 它在各时刻的取值是实数, 称为实信号, 如, $f(t) = A \sin t$, $f(t) = Ae^{-at}$, $f(k) = B \cos(2k)$ 等。

(2) 复信号: 虽然实际上不产生复信号, 但为了理论分析的需要, 常常引用取值为复数的复信号, 如 $f(t) = e^{j\omega t}$, $f(k) = e^{j\omega k}$, 等。

6. 奇信号与偶信号

(1) 偶信号: 一个信号 $f(t)$ 或 $f(k)$, 若其波形关于坐标纵轴对称, 即满足 $f(t) = f(-t)$ 或 $f(k) = f(-k)$, 则称 $f(t)$ 或 $f(k)$ 为偶信号。

(2) 奇信号: 一个信号 $f(t)$ 或 $f(k)$, 若其波形关于坐标原点对称, 即满足 $f(t) = -f(-t)$ 或 $f(k) = -f(-k)$, 则称 $f(t)$ 或 $f(k)$ 为奇信号。

凡不具备上述奇偶特性的信号称为非奇非偶信号。

7. 因果信号与反因果信号

(1) 因果信号: 若当 $t < t_0$ (t_0 为实常数) 时, $f(t) = 0$; 当 $t \geq t_0$ 时, $f(t) \neq 0$, 则称 $f(t)$ 为因果信号。通常取 $t_0 = 0$, 故因果信号可用 $f(t)\varepsilon(t)$ 表示。

(2) 反因果信号: 若当 $t \geq t_0$ (t_0 为实常数) 时, $f(t) = 0$; 当 $t < t_0$ 时, $f(t) \neq 0$, 则称 $f(t)$ 为反因果信号。通常取 $t_0 = 0$, 故反因果信号可用 $f(t)\varepsilon(-t)$ 表示。

1.2 信号的基本特性

信号的基本特性包括时间特性、频率特性、能量特性和信息特性。

1. 时间特性

确定信号是一个确定的时间函数, 它的解析式或波形都集中体现了信号的时间特性。

例如,信号持续时间的长短、变化速率的快慢、信号幅值的大小以及随时间改变呈现出来的变化规律等。

2. 频率特性

在一定条件下,一个复杂信号可以分解成众多不同频率成分的正弦分量的线性组合,其中每个分量都具有各自的振幅和相位。研究表明,信号各正弦分量的振幅随频率增大而逐渐减小,因此,信号的能量主要集中在低频分量上,把集中主要能量的一定频率范围称为信号的频率宽度。频谱是信号在频率域的一种表示形式,它集中体现了信号的频率特性,包括信号的频带宽度和各正弦分量的振幅、相位随频率的分布情况等。

3. 能量特性与功率特性

任何信号通过系统时都伴随着一定能量或功率的传输,表明信号具有能量特性或功率特性。

4. 信息特性

无论确定信号还是随机信号都有一个共同的特性,即信号可以携带或者含有一定的信息。人们利用各种系统对信号进行传输、处理和加工的目的就是为了获取其中有用的信息,这些信息往往体现在信号的某些属性和参数的变化之中。例如,在电报传输系统中,持续时间长短不一的脉冲序列信号代表不同的电报数码,分组数码表示不同的报文信息。又如,收音机天线回路接收到的无线电广播信号中,高频信号的幅度或频率变化就携带了有用的广播节目信息等。

本书只讨论确定信号的时间特性和频率特性,不讨论随机信号的统计特性。

1.3 信号的基本运算

信号的基本运算包括信号的相加和相乘,信号波形的翻转,平移和展缩,连续信号的分微分和积分以及离散信号的差分 and 选分运算等。

1.3.1 相加和相乘

1. 信号相加

n 个信号 $f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)$ 相加构成一个新的信号 $f(t)$, 即

$$f(t) = f_1(t) + f_2(t) + \dots + f_n(t) \quad (1.3.1)$$

信号相加运算可以用加法器来实现,如图 1.3.1 所示。

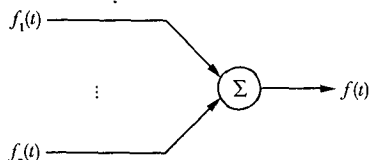


图 1.3.1 信号相加运算

2. 信号相乘

n 个信号 $f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)$ 相乘构成一个新的信号 $f(t)$, 即

$$f(t) = f_1(t) \times f_2(t) \times \cdots \times f_n(t) \quad (1.3.2)$$

信号相乘运算可以用乘法器来实现,如图 1.3.2 所示。若信号 $f(t)$ 乘以实常数 a ,即得 $y(t) = af(t)$,可用数乘器实现,如图 1.3.3 所示。数乘器又称标量乘法器或比例器。

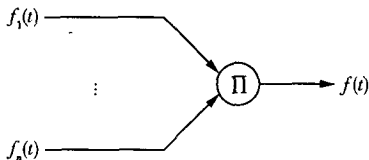


图 1.3.2 信号相乘运算

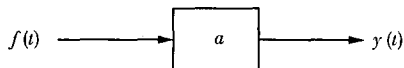
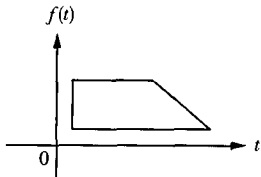
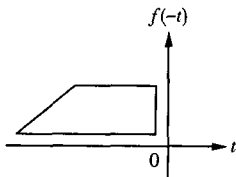


图 1.3.3 数乘器

1.3.2 信号的翻转、平移和展缩

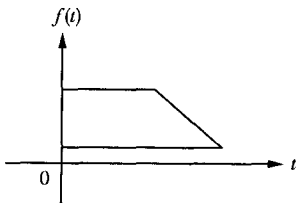
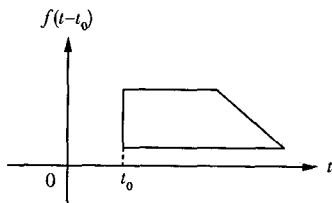
1. 信号的翻转

将信号 $f(t)$ 或 $f(k)$ 的自变量 t 或 k 换成 $-t$ 或 $-k$, 得到另一个信号 $f(-t)$ 或 $f(-k)$, 我们称这种变换为信号的翻转。如图 1.3.4 所示。

图 1.3.4(a) $f(t)$ 图形图 1.3.4(b) $f(-t)$ 图形

2. 信号的平移

将信号 $f(t)$ 的自变量换成 $t \pm t_0$ (t_0 为正常数), 得到另一个信号 $f(t \pm t_0)$, 我们称这种变换为信号的平移。信号 $f(t - t_0)$ 的波形可通过将 $f(t)$ 波形沿 t 轴向右平移 t_0 个单位来确定; 而 $f(t + t_0)$ 的波形可通过将 $f(t)$ 波形沿 t 轴向左平移 t_0 个单位来确定。如图 1.3.5 所示。对于离散信号也有类似情况。设 k_0 为正整数, 那么, $f(k - k_0)$ 或 $f(k + k_0)$ 分别表示将 $f(k)$ 波形沿 k 轴向右或向左平移 k_0 个单位。如图 1.3.6 所示。

图 1.3.5(a) $f(t)$ 图形图 1.3.5(b) $f(t - t_0)$ 图形

3. 信号的展缩

如果将信号 $f(t)$ 的自变量 t 换成 at , a 为正数, 并且保持 t 轴尺度不变, 那么, 当 $a > 1$ 时, $f(at)$ 表示 $f(t)$ 将波形以坐标原点为中心, 沿 t 轴压缩为原来的 $\frac{1}{a}$; 当 $0 < a < 1$ 时,