



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高等学校电气信息类规划教材

electric information

信号与系统

(修订版)

XINHAO YU XITONG

曾喆昭 主编

湖南大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校电气信息类规划教材
总主编 王耀南

信号与系统(修订版)

主 编 曾喆昭
副主编 丘德润 李正光 文 卉

湖南大学出版社

2010·长沙

内 容 提 要

本书共分8章,内容包括:信号与系统的基本概念;连续时间信号与系统的时域分析、频域分析和复频域(S域)分析;离散信号与系统的时域分析、频域分析和复频域(Z域)分析;系统的状态空间分析。

本书的全部例题和习题选自近几年来国内20余所重点大学的考研真题,题目来源广,灵活性强,理论与应用结合紧密,特别是知识的融合程度高。为了启迪读者的解题思路,帮助读者澄清模糊或错误概念,培养读者理论联系实际的能力,提高读者的解题能力,每章习题都附有详细的习题解答,便于读者学习使用。

本书不仅可以作为高等院校电气信息类各专业的教材,还可作为电子信息类专业学生报考硕士研究生的复习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统(修订版)/曾喆昭主编. —长沙:湖南大学出版社,2004.8(2010.12再版)
(高等学校电气信息类规划教材)

ISBN 978-7-81053-784-1

I. 信... II. 曾... 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(修订版)

Xinhao yu Xitong(Xiudingban)

主 编:曾喆昭

责任编辑:张建平 金 伟

出版发行:湖南大学出版社

责任印制:陈 燕

社 址:湖南·长沙·岳麓山

邮 编:410082

电 话:0731-88822559(发行部),88820006(编辑室),88821006(出版部)

传 真:0731-88649312(发行部),88822264(总编室)

电子邮箱:presszhangjp@hnu.cn

网 址: <http://press.hnu.cn>

印 装:长沙瑞和印务有限公司

开本:787×1092 16开

印张:26

字数:666千

版次:2010年12月第2版

印次:2010年12月第1次印刷

印数:1~2 000册

书号:ISBN 978-7-81053-784-1/TP·46

定价:48.00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)

丁跃浇 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的迅猛发展,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

修订版前言

《信号与系统》课程以“高等数学”、“工程数学”及“电路分析”等课程为基础,同时又是“数字信号处理”、“通信原理”、“随机信号与系统分析”等课程的先修基础课程,在电气信息类专业教学环节中起着承上起下的作用。该课程无论从教学内容还是从教学目的来看,都是一门理论性和实践性较强的课程,其基本方法和原理广泛应用于信息处理的各个领域。

本书第1版出版已6年。此次修订,在内容介绍方面,尽量避免过多的数学推导,删去了时域分析和复频域分析的经典分析方法,重点突出了复频域分析的现代分析方法。为了避免与“数字信号处理”、“随机信号与系统分析”等后续课程内容的重叠,删去了快速傅立叶变换和随机信号与系统分析的内容。为了体现理论与应用的有机结合,在信号运算方面补充了相应的运算电路,使该课程从纯数学的教学环境中解脱出来。此外,还补充了应用广泛的信号相关运算内容。

在修订过程中,席燕辉博士、王小华博士和黄亚飞博士做了大量具体工作并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2010年5月

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

1.0 引 言	(1)
1.1 信号的描述和分类	(3)
1.1.1 信号的描述	(3)
1.1.2 信号的分类	(3)
1.2 信号的基本特性	(6)
1.2.1 时间特性	(6)
1.2.2 频率特性	(6)
1.2.3 能量特性与功率特性	(6)
1.2.4 信息特性	(7)
1.3 信号的基本运算	(7)
1.3.1 相加和相乘	(7)
1.3.2 信号的翻转、平移和展缩	(8)
1.3.3 信号的导数和积分	(10)
1.3.4 差分和迭分	(11)
1.3.5 信号的分解	(12)
1.4 奇异信号	(12)
1.4.1 连续时间单位阶跃信号 $\epsilon(t)$	(12)
1.4.2 连续时间单位冲激信号 $\delta(t)$	(13)
1.4.3 广义函数和 δ 函数性质	(13)
1.4.4 阶跃序列和脉冲序列	(14)
1.5 系统的描述	(16)
1.5.1 系统模型	(16)
1.5.2 系统的输入输出描述	(16)
1.5.3 系统的状态空间描述	(18)
1.6 系统的特性和分类	(19)
1.6.1 系统的定义和表示	(19)
1.6.2 系统的特性	(20)
1.6.3 系统的分类	(23)
1.7 信号与系统的分析方法	(24)
1.7.1 信号的分析方法	(24)
1.7.2 系统的分析方法	(25)

习题 1	(27)
习题 1 解答	(30)

第 2 章 连续信号与系统的时域分析

2.1 连续时间基本信号	(42)
2.1.1 奇异信号	(42)
2.1.2 正弦信号	(42)
2.1.3 指数信号	(43)
2.1.4 抽样信号	(44)
2.1.5 单位阶信号	(44)
2.1.6 三角形信号	(44)
2.1.7 符号信号	(45)
2.1.8 单位斜坡信号	(45)
2.2 卷积积分	(45)
2.2.1 卷积的定义	(45)
2.2.2 卷积的图解机理	(46)
2.2.3 卷积的性质	(48)
2.2.4 常用信号的卷积公式	(51)
2.3 信号的相关分析	(52)
2.3.1 相关系数	(52)
2.3.2 相关函数	(55)
2.3.3 相关定理	(58)
2.4 连续时间系统的零输入响应	(58)
2.4.1 系统的初始条件	(58)
2.4.2 连续时间系统的零输入响应的求解	(59)
2.5 连续时间系统的零状态响应	(60)
2.5.1 连续信号 $f(t)$ 的 $\delta(t)$ 分解	(60)
2.5.2 基本信号 $\delta(t)$ 激励下的零状态响应	(60)
2.5.3 一般信号 $f(t)$ 激励下的零状态响应	(61)
2.5.4 连续系统的阶跃响应	(62)
习题 2	(66)
习题 2 解答	(70)

第 3 章 连续信号与系统的频域分析

3.0 引言	(80)
3.1 信号的正交分解	(80)
3.1.1 矢量的正交分解	(80)

3.1.2 信号的正交分解	(82)
3.2 周期信号的连续时间傅立叶级数	(85)
3.2.1 三角形形式的傅立叶级数	(85)
3.2.2 指数形式的傅立叶级数	(88)
3.3 周期函数信号的频谱	(90)
3.3.1 周期信号的频谱	(90)
3.3.2 周期信号频谱的特点	(91)
3.3.3 周期信号的功率	(94)
3.4 非周期信号的连续时间傅立叶变换	(94)
3.4.1 傅立叶变换	(95)
3.4.2 非周期信号的频谱函数	(96)
3.4.3 典型信号的傅立叶变换	(98)
3.5 傅立叶变换的性质	(103)
3.6 周期信号的傅立叶变换	(112)
3.7 连续时间信号的抽样定理	(115)
3.7.1 信号的时域抽样定理	(115)
3.7.2 周期脉冲采样(实际采样)	(119)
3.7.3 频域抽样	(120)
3.8 连续系统的频域分析	(122)
3.8.1 基本信号激励下的零状态响应	(123)
3.8.2 一般信号 $f(t)$ 激励下的零状态响应	(124)
3.8.3 无失真传输条件	(129)
3.8.4 理想低通滤波器的特性	(130)
3.9 相关函数与能谱密度函数	(131)
习题3	(133)
习题3 解答	(139)

第4章 连续信号与系统的复频域分析

4.0 引 言	(156)
4.1 拉普拉斯变换	(156)
4.1.1 从傅立叶变换到拉普拉斯变换	(156)
4.1.2 双边拉氏变换的收敛域	(157)
4.1.3 单边拉氏变换	(159)
4.1.4 常用信号的单边拉氏变换对	(160)
4.2 单边拉氏变换的性质	(160)
4.3 单边拉氏逆变换	(165)
4.3.1 单边拉氏逆变换意义	(165)

4.3.2 部分分式展开法	(166)
4.4 连续时间系统的复频域分析	(171)
4.5 系统微分方程的复频域解	(172)
4.6 RLC 系统的复频域分析	(175)
4.6.1 KCL、KVL 的复频域形式	(176)
4.6.2 系统元件的复频域模型	(176)
4.7 连续系统的表示和模拟	(180)
4.7.1 连续系统的方框图表示	(180)
4.7.2 连续系统的信号流图表示	(183)
4.7.3 连续系统的模拟	(186)
4.8 系统函数与系统特性	(187)
4.8.1 $H(s)$ 的零点和极点	(187)
4.8.2 $H(s)$ 的零、极点与时域响应	(188)
4.8.3 $H(s)$ 与系统的频率特性	(190)
4.8.4 $H(s)$ 与系统的稳定性	(191)
4.8.5 拉普拉斯变换与傅立叶变换的关系	(192)
习题 4	(193)
习题 4 解答	(197)

第 5 章 离散信号与系统的时域分析

5.0 引 言	(212)
5.1 离散时间基本信号	(212)
5.1.1 离散时间信号	(212)
5.1.2 离散时间基本信号	(213)
5.2 卷积和	(217)
5.2.1 卷积和的定义	(217)
5.2.2 卷积和的图解机理	(218)
5.2.3 卷积和的矩阵计算法	(220)
5.2.4 卷积和的性质	(221)
5.2.5 常用序列的卷积和公式	(222)
5.3 离散时间系统的基本概念	(223)
5.4 离散时间系统的响应	(225)
5.4.1 离散系统零输入响应 $y_x(k)$	(225)
5.4.2 离散系统零状态响应 $y_f(k)$	(225)
习题 5	(228)
习题 5 解答	(230)

第 6 章 离散信号与系统的频域分析

6.0 引 言	(235)
6.1 周期信号的离散时间傅立叶级数(DTFS)	(235)
6.1.1 周期信号的离散时间傅立叶级数	(236)
6.1.2 离散时间周期信号的频谱	(237)
6.2 非周期信号的离散时间傅立叶变换(DTFT)	(239)
6.2.1 离散时间傅立叶变换	(239)
6.2.2 常用信号的离散时间傅立叶变换	(242)
6.3 周期序列的离散时间傅立叶变换	(246)
6.4 离散时间傅立叶变换的性质	(249)
6.5 离散傅立叶变换(DFT)	(252)
6.5.1 离散傅立叶变换(DFT)的引入	(253)
6.5.2 DFT 的计算	(255)
6.5.3 DFT 的性质	(256)
6.6 离散系统的频域分析	(260)
6.6.1 基本信号 $e^{j\omega k}$ 激励下的零状态响应	(260)
6.6.2 一般信号 $f(k)$ 激励下的零状态响应	(262)
习题 6	(266)
习题 6 解答	(270)

第 7 章 离散信号与系统的复频域分析

7.0 引 言	(284)
7.1 Z 变换	(284)
7.1.1 从拉普拉斯变换到 Z 变换	(284)
7.1.2 双边 Z 变换的定义和收敛域	(285)
7.1.3 常用序列的双边 Z 变换	(287)
7.2 双边 Z 变换的性质	(288)
7.3 Z 域逆变换	(296)
7.3.1 双边 Z 逆变换的定义	(296)
7.3.2 双边 Z 逆变换的计算	(296)
7.4 单边 Z 变换	(302)
7.4.1 单边 Z 变换的定义和收敛域	(302)
7.4.2 常用序列的单边 Z 变换	(303)
7.4.3 单边 Z 变换的性质	(303)
7.4.4 单边 Z 逆变换的计算	(306)
7.5 离散系统的 Z 域分析	(308)
7.5.1 离散信号的 Z 域分解	(308)

7.5.2 基本信号 z^k 激励下的零状态响应	(309)
7.5.3 一般信号 $f(k)$ 激励下的零状态响应	(309)
7.6 离散系统差分方程的 Z 域解	(311)
7.6.1 差分方程的 Z 域解	(311)
7.6.2 离散系统的频率响应	(313)
7.7 离散系统的表示和模拟	(317)
7.7.1 离散系统的方框图表示	(317)
7.7.2 离散系统的信号流图表示	(320)
7.7.3 离散系统的模拟	(321)
7.8 系统函数与系统特性	(324)
7.8.1 $H(z)$ 的零点和极点	(324)
7.8.2 $H(z)$ 的零、极点与时域响应	(324)
7.8.3 $H(z)$ 与离散系统频率响应	(325)
7.8.4 $H(z)$ 与离散系统的稳定性	(327)
7.8.5 Z 域与 S 域的映射关系	(330)
习题 7	(331)
习题 7 解答	(337)

第 8 章 系统的状态空间分析

8.0 引言	(353)
8.1 状态方程的建立	(355)
8.1.1 连续时间系统状态方程的建立	(355)
8.1.2 离散时间系统状态方程的建立	(360)
8.2 状态方程的求解	(363)
8.2.1 连续时间系统状态方程的解法	(363)
8.2.2 离散时间系统状态方程的解法	(376)
8.3 系统的可控性和可观性	(380)
8.3.1 系统的可控制性	(383)
8.3.2 系统的可观测性	(385)
习题 8	(387)
习题 8 解答	(390)

参考文献	(397)
------------	-------

第 1 章 信号与系统的基本概念

1.0 引 言

信号与系统是相互关联的两个方面,它们的侧重面不同,采用的手段也不同,但是它们又是密不可分的,只有通过信号的分析,充分了解信号的特征性,才能有效地对它进行处理和加工,由此可见,信号分析是信号处理的基础。另一方面,系统通过对信号的一定加工和变换,可以突出信号的特征,便于有效地认识信号的特性。从这个意义上说,系统实现信号处理又可认为是信号分析的手段。但是,认识信号(信号分析)也好,改造信号(信号处理)也好,共同的目的都是为了充分地、有效地从信号中获取有用信息并实现对这些信息的有效利用。例如,在通信领域如何实现可靠、经济和快速的信息传输交换;在自动控制领域如何获取系统输出信号的最佳动态、静态性能。图 1.1~图 1.3 分别是系统框图、典型的无线通信系统框图和自动控制系统框图。

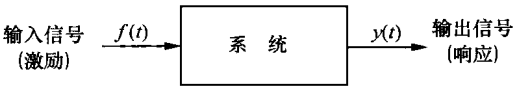


图 1.1 激励、系统与响应

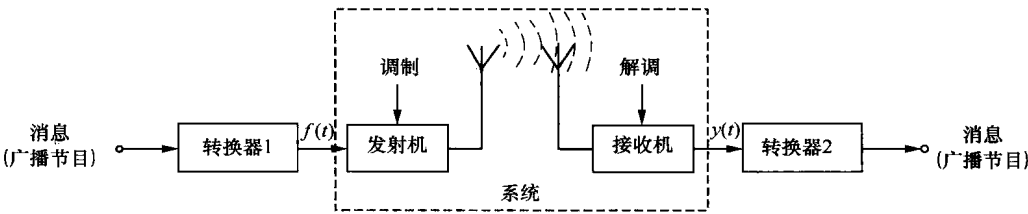


图 1.2 无线电广播系统的组成

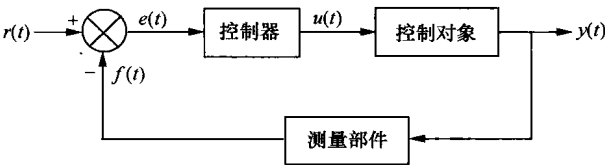


图 1.3 典型自动控制系统框图

信号是信息的载体,为了有效地获取信息以及利用信息,就必须对信号进行分析与处理。可以说,对信息的利用程度在一定意义上取决于信号的分析与处理技术。

信号分析最直接的意义在于通过解析法或测试法找出信号的特征,从而了解其特性,掌握其随时间或频率变化的规律。通过信号分析,可以将一个复杂信号分解成若干简单信号分量之和,或者用有限的一组参量去表示一个复杂波形的信号,并从这些分量的组成情况或这组有限的参量去考察信号的特性;另一方面,信号分析是获取信号源(主要指被研究的系统)特征信息的重要手段,人们往往可以通过对信号特征的详细了解,得到信号源的特性、运行情况甚至故障等信息,这正是故障分析和故障诊断的基础。

信号处理是指系统通过对信号的加工和变换,把一个信号变换成另一个信号的过程。例如,为了有效地利用信息中包含的有用信息,采用一定的手段(滤波)剔除原始信号中混杂的噪声,削弱多余的内容,这个过程是最基本的信号处理过程。

根据对信号分析处理方法的不同,有模拟处理系统和数字处理系统两大类。

模拟信号处理系统通过模拟元件 RLC 和模拟电路构成的模拟系统对输入的模拟信号进行加工处理,输出的信号也是模拟信号。比如常用的模拟滤波器就是一个最典型的模拟信号处理系统,如图 1.4 所示。

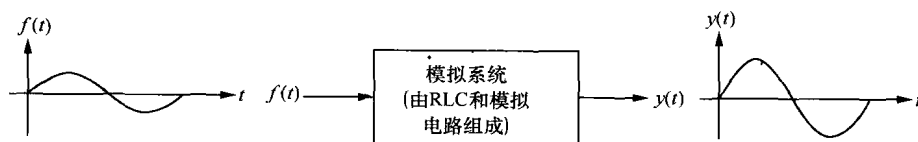


图 1.4 模拟信号处理系统

数字信号处理系统是 20 世纪 60 年代发展起来的技术,它依赖于大规模集成电路和数字处理算法的发展,其核心是用数字计算机的运算功能代替模拟电路装置,达到信号加工变换的目的。图 1.5 表示了数字信号处理系统的基本结构,系统首先通过模拟—数字转换器(ADC)把原始模拟信号转换成数字信号。数字系统是通用数字计算机或专用数字硬件(如单片机、DSP 等)构成的系统,它按预先给定的处理程序对数字信号进行运算处理,处理结果是数字形式的。在某些情况下,这些数字结果就能满足处理的要求,直接可用。在另一些情况下,为了得到模拟输出,将数字输出经过数字—模拟转换器(DAC)即可。

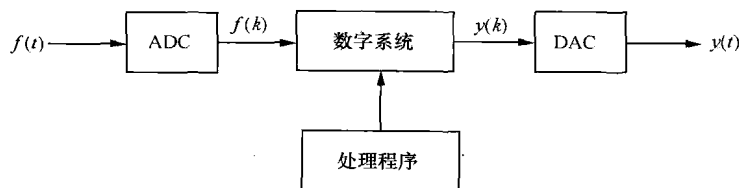


图 1.5 数字信号处理系统框图

数字信号处理系统以数学运算的形式对信号实现分析处理,摒弃了传统的模拟电路处理信号的形式,因而具有处理功能强、精度高、灵活性大、稳定性好等突出优点,特别是近年来高速 DSP 的出现,使得处理的实时性不断提高。可以说,数字信号处理是信号处理的发展趋势,特别是一些复杂信号的处理更是如此。

1.1 信号的描述和分类

1.1.1 信号的描述

信号是携带信息(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)。如果信号是单个独立变量的函数,则称这种信号为一维信号。一般情况下,信号为 n 个独立变量的函数时,就称为 n 维信号。本书只讨论一维信号。并且,为了方便起见,一般都将信号的自变量设为时间 t 或序号 k 。

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,我们可以从不同的角度进行分类,而且通常与系统有关。常用的几种分类主要有:确定性信号与随机性信号;连续时间信号与离散时间信号;周期信号与非周期信号;实信号与复信号;功率有限信号与能量信号;奇信号与偶信号;因果信号与反因果信号。

1. 确定信号与随机信号

(1) 确定信号

任一由确定时间函数描述的信号,称为确定信号或规则信号。对于这种信号,给定某一时刻后,就能确定一个相应的信号值。如衰减振荡信号 $f(t) = 5e^{-20t} \sin(200\pi t)$ 就是一个典型的确定信号,如图 1.6 所示。

(2) 随机信号

在某一时刻的取值具有不确定性,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和干扰的影响。由于噪声和干扰的影响,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。如某随机信号如图 1.7 所示。

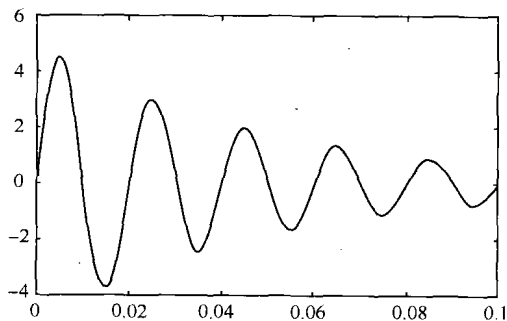


图 1.6 确定信号波形

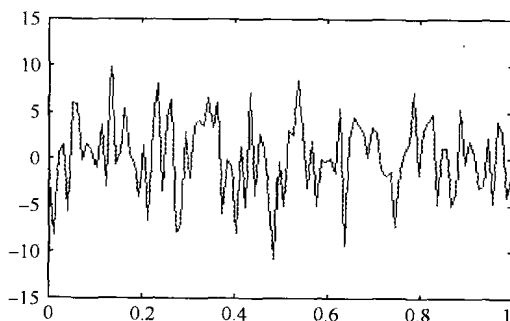


图 1.7 随机信号波形

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。

(2) 离散时间信号

只有在一些离散时刻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。离散时间信号通常通过采样保持器对模拟信号采样得到。

(3) 数字信号

离散时间信号不仅在时间上是离散的, 而且在幅度上是量化的, 则称之为数字信号。数字信号是离散信号的特例。数字信号通常通过模拟-数字转换器(ADC)对模拟信号采样量化得到。

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:

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

则称 $f(t)$ 为连续时间周期信号, 满足式(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:

$$f(k) = f(k + mN), m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.2)$$

则称 $f(k)$ 为离散时间周期信号或周期序列, 满足式(1.2)的最小值 N 称为 $f(k)$ 的周期。

(3) 非周期信号

凡是不满足式(1.1)或(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】 试判断下例信号是否为周期信号, 若是, 请确定其周期。

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

$$(2) f_2(t) = \cos(20t) + \sin(10\pi)t.$$

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

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

即

$$\begin{aligned} \sin(2\pi t) + \cos(3\pi t) &= \sin[2\pi(t + kT)] + \cos[3\pi(t + kT)] \\ &= \sin(2\pi t + 2\pi kT) + \cos(3\pi t + 3\pi kT) \end{aligned}$$

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

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

显然 $p=2, q=3$ 时, $f_1(t)$ 具有最小周期 $T = \frac{2}{k}$, 取 $k=1$, 有 $T=2$, 所以 $f_1(t)$ 是以 2s 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:

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