



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

信号与系统

孙春霞 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

信号与系统

孙春霞 主编

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书深入浅出而又全面系统地介绍了连续与离散信号及系统分析的基本理论和方法。全书共分8章,内容包括信号与系统分析的基本概念和必要的预备知识,线性时不变连续时间信号与系统的时域分析、频域分析、复频域分析,离散时间信号与系统的时域分析、频域分析、 z 域分析,连续与离散系统的状态变量分析。本书还配有相应的虚拟实验介绍,在每章增加一节以MATLAB为工具进行信号与系统的分析。

本书可作为高等院校通信、电子、电气工程、自动化及自动控制等专业基础课程的教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/孙春霞编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.12

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2161-6

I. 信… II. 孙… 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188464号

策 划 杨丕勇

责任编辑 杨丕勇

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

网 址 //www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.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 2008年12月第1版 2008年12月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 23.875

字 数 564千字

印 数 1~4000册

定 价 34.00元

ISBN 978-7-5606-2161-6/TN·0473

XDUP 2453001-1

*** 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。



“信号与系统分析”是电子、通信、自动控制、雷达、生物电子学等多种学科的一门主干专业基础课程。该课程核心的一些基本概念和方法，对于社会和自然类等学科也是非常重要的。近年来，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，信号与系统分析方法潜在的和实际的应用一直在扩大，随之而来的该课程的理论教学也在不断地革新。国外每隔一年就有一本这类代表性的著作问世，国内现已出版的同类书籍也很多。我们根据多年的教学实践经验，同时参考了大量的国内外同类教材，编写了本书。

本书采用先信号后系统、先连续后离散、先时域后变换域、先输入输出法后状态变量法的编写顺序，同时加强理论与实践的结合，在每章最后增加一节用 MATLAB 仿真软件进行信号与系统的分析。这种结构符合由浅入深、由简到繁、由静到动、由局部到整体的认识规律，便于学生学好本课程。同时在编写手法上，本书注意物理语言描述与数学语言描述并重，注意同前后课程的衔接，内容叙述深入浅出，使之更加符合学习的认知过程。在辅助工具上，本书注重计算机仿真软件的运用，使学生从单纯的习题计算转移到基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用，从而提高学习效率和学习效果。在例题与习题的选择上，本书增加了工程性和综合性的例题与习题，以培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书第 1、2、4 章由孙春霞编写，第 3 章由田瑞编写，第 5、6 章由贾君霞编写，第 7、8 章由苗新法编写，孙春霞负责全书的组织编排及统稿工作。兰州交通大学高继森教授任本书的主审并提出了许多宝贵意见。

由于水平有限，书中难免有疏漏和不当之处，恳请读者批评指正。

编者

2008 年 7 月于兰州交通大学

欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~~ “十一五” 国家级规划教材 ~~~~~	数控机床故障分析与维修(高职)(第二版)	25.00
计算机系统结构(第四版)(李学干)	25.00	液压与气动技术(第二版)(朱梅)(高职)
计算机系统安全(第二版)(马建峰)	30.00	~~~~~计算机提高普及类~~~~~
计算机网络(第三版)(蔡皖东)	27.00	计算机应用基础(第三版)(丁爱萍)(高职)
计算机应用基础教程(第四版)(陈建铎)		计算机文化基础(高职)(游鑫)
(for Windows XP/Office XP)	30.00	计算机文化基础上机实训及案例(高职)
计算机应用基础(冉崇善)(高职)		计算机科学与技术导论(吕辉)
(Windows XP & Office 2003 版)	23.00	计算机应用基础(高职)(赵钢)
《计算机应用基础》实践技能训练		计算机应用基础——信息处理技术教程
与案例分析(高职)(冉崇善)	18.00	《计算机应用基础——信息处理技术教程》
微型计算机原理(第二版)(王忠民)	27.00	习题集与上机指导(张郭军)
微型计算机原理及接口技术(第二版)(裘雪红)	36.00	计算机组装与维修(中职)(董小莉)
微型计算机组成与接口技术(第二版)(高职)	28.00	微型机组装与维护实训教程(高职)(杨文诚)
微机原理与接口技术(第二版)(龚尚福)	37.00	~~~~~计算机网络类~~~~~
单片机原理及应用(第二版)(李建忠)	32.00	计算机网络技术基础教程(高职)(董武)
单片机应用技术(第二版)(高职)(刘守义)	30.00	计算机网络管理(雷震甲)
Java程序设计(第二版)(高职)(陈圣国)	26.00	网络设备配置与管理(李飞)
编译原理基础(第二版)(刘坚)	29.00	网络安全与管理实验教程(谢晓燕)
人工智能技术导论(第三版)(廉师友)	24.00	网络安全技术(高职)(廖兴)
多媒体软件设计技术(第三版)(陈启安)	23.00	网络信息安全技术(周明全)
信息系统分析与设计(第二版)(卫红春)	25.00	动态网页设计实用教程(蒋理)
信息系统分析与设计(第三版)(陈圣国)(高职)	20.00	ASP动态网页制作基础教程(中职)(苏玉雄)
传感器原理及工程应用(第三版)	28.00	局域网组建实例教程(高职)(尹建璋)
数字图像处理(第二版)(何东健)	30.00	Windows Server 2003组网技术(高职)(陈伟达)
电路基础(第三版)(王松林)	39.00	组网技术(中职)(俞海英)
模拟电子电路及技术基础(第二版)(孙肖子)	35.00	综合布线技术(高职)(王趾成)
模拟电子技术(第三版)(江晓安)	25.00	计算机网络应用基础(武新华)
数字电子技术(第三版)(江晓安)	23.00	计算机网络基础及应用(高职)(向隅)
数字电路与系统设计(第二版)(邓元庆)	35.00	~~~~~计算机技术类~~~~~
数字信号处理(第三版)(高西全)	29.00	计算机系统结构与组成(吕辉)
电磁场与电磁波(第二版)(郭辉萍)	28.00	电子商务基础与实务(第二版)(高职)
现代通信原理与技术(第二版)(张辉)	39.00	数据结构——使用 C++ 语言(第二版)(朱战立)
移动通信(第四版)(李建东)	30.00	数据结构(高职)(周岳山)
移动通信(第二版)(章坚武)	24.00	数据结构教程——Java 语言描述(朱振元)
物理光学与应用光学(第二版)(石顺祥)	42.00	离散数学(武波)
		24.00

软件工程(第二版)(邓良松)	22.00	微机装配调试与维护教程(王忠民)	25.00
软件技术基础(高职)(鲍有文)	23.00	《微机装配调试与维护教程》实训指导	22.00
软件技术基础(周大为)	30.00	~~~~~数据库及计算机语言类~~~~~	
嵌入式软件开发(高职)(张京)	23.00	C程序设计与实例教程(曾令明)	21.00
~~~~~计算机辅助技术及图形处理类~~~~~		程序设计与C语言(第二版)(马鸣远)	32.00
电子工程制图(第二版)(高职)(童幸生)	40.00	C语言程序设计课程与考试辅导(王晓丹)	25.00
电子工程制图(含习题集)(高职)(郑芙蓉)	35.00	Visual Basic.NET程序设计(高职)(马宏锋)	24.00
机械制图与计算机绘图(含习题集)(高职)	40.00	Visual C#.NET程序设计基础(高职)(曾文权)	39.00
电子线路CAD实用教程(潘永雄)(第三版)	27.00	Visual FoxPro数据库程序设计教程(康贤)	24.00
AutoCAD实用教程(高职)(丁爱萍)	24.00	数据库基础与Visual FoxPro9.0程序设计	31.00
中文版AutoCAD 2008精编基础教程(高职)	22.00	Oracle数据库实用技术(高职)(费雅洁)	26.00
电子CAD(Protel 99 SE)实训指导书(高职)	12.00	Delphi程序设计实训教程(高职)(占跃华)	24.00
计算机辅助电路设计Protel 2004(高职)	24.00	SQL Server 2000应用基础与实训教程(高职)	22.00
EDA技术及应用(第二版)(谭会生)	27.00	Visual C++基础教程(郭文平)	29.00
数字电路EDA设计(高职)(顾斌)	19.00	面向对象程序设计与VC++实践(揣锦华)	22.00
多媒体软件开发(高职)(含盘)(牟奇春)	35.00	面向对象程序设计与C++语言(第二版)	18.00
多媒体技术基础与应用(曾广雄)(高职)	20.00	面向对象程序设计——JAVA(第二版)	32.00
三维动画案例教程(含光盘)(高职)	25.00	Java程序设计教程(曾令明)	23.00
图形图像处理案例教程(含光盘)(中职)	23.00	JavaWeb程序设计基础教程(高职)(李绪成)	25.00
平面设计(高职)(李卓玲)	32.00	Access数据库应用技术(高职)(王趾成)	21.00
~~~~~操作系统类~~~~~		ASP.NET程序设计与开发(高职)(眭碧霞)	23.00
计算机操作系统(第二版)(颜彬)(高职)	19.00	XML案例教程(高职)(眭碧霞)	24.00
计算机操作系统(修订版)(汤子瀛)	24.00	JSP程序设计实用案例教程(高职)(翁健红)	22.00
计算机操作系统(第三版)(汤小丹)	30.00	Web应用开发技术:JSP(含光盘)	33.00
计算机操作系统原理——Linux实例分析	25.00	~~~~~电子、电气工程及自动化类~~~~~	
Linux网络操作系统应用教程(高职)(王和平)	25.00	电路(高贲)	26.00
Linux操作系统实用教程(高职)(梁广民)	20.00	电路分析基础(第三版)(张永瑞)	28.00
~~~~~微机与控制类~~~~~		电路基础(高职)(孔凡东)	13.00
微机接口技术及其应用(李育贤)	19.00	电子技术基础(中职)(蔡宪承)	24.00
单片机原理与应用实例教程(高职)(李珍)	15.00	模拟电子技术(高职)(郑学峰)	23.00
单片机原理与应用技术(黄惟公)	22.00	模拟电子技术(高职)(张凌云)	17.00
单片机原理与程序设计实验教程(于殿泓)	18.00	数字电子技术(高职)(江力)	22.00
单片机实验与实训指导(高职)(王曙霞)	19.00	数字电子技术(高职)(肖志锋)	13.00
单片机原理及接口技术(第二版)(余锡存)	19.00	数字电子技术(高职)(蒋卓勤)	15.00
新编单片机原理与应用(第二版)(潘永雄)	24.00	数字电子技术及应用(高职)(张双琦)	21.00
MCS-51单片机原理及嵌入式系统应用	26.00	高频电子技术(高职)(钟苏)	21.00
微机外围设备的使用与维护(高职)(王伟)	19.00	现代电子装联工艺基础(余国兴)	20.00
		微电子制造工艺技术(高职)(肖国玲)	18.00

现代控制理论基础(舒欣梅)	14.00	数控加工与编程(第二版)(高职)(詹华西)	23.00
过程控制系统及工程(杨为民)	25.00	数控加工工艺学(任同)	29.00
控制系统仿真(党宏社)	21.00	数控加工工艺(高职)(赵长旭)	24.00
模糊控制技术(席爱民)	24.00	数控加工工艺课程设计指导书(赵长旭)	12.00
工程电动力学(修订版)(王一平)(研究生)	32.00	数控加工编程与操作(高职)(刘虹)	15.00
工程力学(张光伟)	21.00	数控机床与编程(高职)(饶军)	24.00
工程力学(皮智谋)(高职)	12.00	数控机床电气控制(高职)(姚勇刚)	21.00
理论力学(张功学)	26.00	数控应用专业英语(高职)(黄海)	17.00
材料力学(张功学)	27.00	机床电器与 PLC(高职)(李伟)	14.00
材料成型工艺基础(刘建华)	25.00	电机及拖动基础(高职)(孟宪芳)	17.00
工程材料及应用(汪传生)	31.00	电机与电气控制(高职)(冉文)	23.00
工程材料与应用(戈晓岚)	19.00	电机原理与维修(高职)(解建军)	20.00
工程实践训练(周桂莲)	16.00	供配电技术(高职)(杨洋)	25.00
工程实践训练基础(周桂莲)	18.00	金属切削与机床(高职)(聂建武)	22.00
工程制图(含习题集)(高职)(白福民)	33.00	模具制造技术(高职)(刘航)	24.00
工程制图(含习题集)(周明贵)	36.00	模具设计(高职)(曾霞文)	18.00
工程图学简明教程(含习题集)(尉朝闻)	28.00	冷冲压模具设计(高职)(刘庚武)	21.00
现代设计方法(李思益)	21.00	塑料成型模具设计(高职)(单小根)	37.00
液压与气压传动(刘军营)	34.00	液压传动技术(高职)(简引霞)	23.00
先进制造技术(高职)(孙燕华)	16.00	发动机构造与维修(高职)(王正键)	29.00
机械原理多媒体教学系统(资料)(书配盘)	120.00	机动车辆保险与理赔实务(高职)	23.00
机械工程科技英语(程安宁)	15.00	汽车典型电控系统结构与维修(李美娟)	31.00
机械设计基础(郑甲红)	27.00	汽车机械基础(高职)(娄万军)	29.00
机械设计基础(岳大鑫)	33.00	汽车底盘结构与维修(高职)(张红伟)	28.00
机械设计(王宁侠)	36.00	汽车车身电气设备系统及附属电气设备(高职)	23.00
机械设计基础(张京辉)(高职)	24.00	汽车单片机与车载网络技术(于万海)	20.00
机械基础(安美玲)(高职)	20.00	汽车故障诊断技术(高职)(王秀贞)	19.00
机械 CAD/CAM(葛友华)	20.00	汽车营销技术(高职)(孙华宪)	15.00
机械 CAD/CAM(欧长劲)	21.00	汽车使用性能与检测技术(高职)(郭彬)	22.00
机械 CAD/CAM 上机指导及练习教程(欧)	20.00	汽车电工电子技术(高职)(黄建华)	22.00
画法几何与机械制图(叶琳)	35.00	汽车电气设备与维修(高职)(李春明)	25.00
《画法几何与机械制图》习题集(邱龙辉)	22.00	汽车使用与技术管理(高职)(边伟)	25.00
机械制图(含习题集)(高职)(孙建东)	29.00	汽车空调(高职)(李祥峰)	16.00
机械设备制造技术(高职)(柳青松)	33.00	汽车概论(高职)(邓书涛)	20.00
机械制造基础(高职)(郑广花)	21.00	现代汽车典型电控系统结构原理与故障诊断	25.00

欢迎来函索取本社书目和教材介绍! 通信地址: 西安市太白南路2号 西安电子科技大学出版社发行部
 邮政编码: 710071 邮购业务电话: (029)88201467 传真电话: (029)88213675。

目

录

第 1 章 信号与系统的基本概念	1
1.1 信号的描述与分类	1
1.1.1 信号的定义	1
1.1.2 信号的分类	1
1.2 系统的描述与分类	4
1.2.1 系统的定义	4
1.2.2 系统的分类	5
1.2.3 系统分析方法概述	8
习题 1	9
第 2 章 连续时间信号与系统的时域分析	11
2.1 基本信号及其时域特性	11
2.1.1 普通信号	11
2.1.2 奇异信号	14
2.2 连续时间信号的时域运算	21
2.2.1 相加(相减)	21
2.2.2 相乘	21
2.2.3 信号时移	22
2.2.4 翻转(折叠)	23
2.2.5 尺度变换	23
2.2.6 微分	24
2.2.7 积分	25
2.2.8 信号的时域分解	25
2.3 连续时间 LTI 系统的响应	29
2.3.1 时域经典分析法	29
2.3.2 初始条件的确定	33
2.3.3 系统的零输入响应和零状态响应	34
2.4 连续 LTI 系统的冲激响应和阶跃响应	36
2.4.1 冲激响应	36
2.4.2 阶跃响应	38
2.5 卷积积分	39
2.5.1 卷积积分法原理	39
2.5.2 卷积积分的图示	39
2.6 卷积积分的性质	42
2.6.1 卷积的代数运算	42
2.6.2 函数与冲激函数的卷积	44
2.6.3 卷积积分的时移特性	44

2.6.4	尺度变换性质	44
2.6.5	卷积的微分特性	45
2.6.6	卷积的积分特性	45
2.6.7	卷积的微积分特性	46
2.7	利用 MATLAB 实现连续时间信号与系统的时域分析	47
2.7.1	连续时间信号的 MATLAB 表示	47
2.7.2	用 MATLAB 实现连续时间信号的卷积	50
2.7.3	LTI 连续时间系统冲激响应、阶跃响应的 MATLAB 实现	54
	习题 2	54
第 3 章	连续时间信号与系统的频域分析	61
3.1	正交函数的概念	61
3.1.1	正交矢量	61
3.1.2	正交函数	62
3.1.3	完备的正交函数集	63
3.2	傅里叶级数	64
3.2.1	三角形式的傅里叶级数	65
3.2.2	周期信号的对称性与傅里叶级数系数的关系	68
3.2.3	傅里叶级数的指数形式	71
3.3	周期信号的频谱及功率谱	72
3.3.1	周期信号的频谱	72
3.3.2	周期信号的功率谱	76
3.4	非周期信号的频谱——傅里叶变换	77
3.4.1	傅里叶变换	77
3.4.2	典型信号的傅里叶变换	78
3.5	傅里叶变换的性质	84
3.5.1	线性	84
3.5.2	奇偶虚实性	84
3.5.3	对称性	86
3.5.4	尺度变换	88
3.5.5	时移特性(延时特性)	89
3.5.6	频移特性	90
3.5.7	时域卷积定理	93
3.5.8	频域卷积定理	93
3.5.9	时域微分和积分特性	95
3.5.10	频域微分和积分特性	98
3.5.11	帕斯瓦尔定理	99
3.6	周期信号的傅里叶变换	100
3.6.1	正弦和余弦信号的傅里叶变换	101
3.6.2	单位冲激序列的傅里叶变换	101
3.6.3	一般周期信号的傅里叶变换	102
3.6.4	傅里叶级数系数与傅里叶变换间的关系	103
3.7	连续 LTI 系统的频域分析	104
3.7.1	频域分析法	104

3.7.2	无失真传输	106
3.7.3	理想低通滤波器	107
3.8	连续信号与系统频域分析的 MATLAB 实现	108
3.8.1	周期信号频谱的 MATLAB 实现	108
3.8.2	非周期信号频谱的 MATLAB 实现	112
3.8.3	信号的幅度调制及 MATLAB 实现	113
3.8.4	利用 MATLAB 分析系统的频率特性	115
	习题 3	118
第 4 章 连续时间信号与系统的复频域分析		125
4.1	拉普拉斯变换	125
4.1.1	从傅里叶变换到拉普拉斯变换	125
4.1.2	拉普拉斯变换的收敛域	126
4.1.3	常用信号的拉氏变换	128
4.2	拉普拉斯变换的性质	129
4.2.1	线性性质	130
4.2.2	时移(延时)特性	130
4.2.3	尺度变换特性	131
4.2.4	复频移特性	132
4.2.5	时域微分性质(定理)	132
4.2.6	时域积分性质(定理)	133
4.2.7	s 域微分性质	134
4.2.8	s 域积分性质	135
4.2.9	卷积定理	135
4.2.10	初值定理	136
4.2.11	终值定理	137
4.3	拉普拉斯反变换	138
4.3.1	逆变换查表法	139
4.3.2	部分分式展开法	139
4.3.3	留数法(围线积分法)	142
4.4	系统的复频域分析	143
4.4.1	微分方程的变換解	143
4.4.2	电路的 s 域模型	145
4.4.3	系统函数	149
4.5	系统函数的零极点分析	151
4.5.1	根据系统零极点的分布判断系统的稳定性	153
4.5.2	系统函数的零极点与系统的频率响应特性	156
* 4.6	系统稳定性的一般判别方法	161
4.7	LTI 系统复频域框图和信号流图	164
4.7.1	LTI 连续系统复频域的基本图示法	164
4.7.2	系统的复频域模拟	166
4.7.3	梅森公式及应用	168
4.8	连续信号与系统频域分析的 MATLAB 实现	171
4.8.1	由连续系统零极点分布分析系统冲激响应的时域特性	171

4.8.2	由连续系统零极点分布分析系统的频率特性	174
	习题 4	178
第 5 章	离散时间信号与系统的时域分析	186
5.1	离散时间信号及运算	186
5.1.1	序列的定义	186
5.1.2	常用序列	187
5.1.3	序列的运算	189
5.2	采样定理	191
5.3	离散时间系统的描述	195
5.3.1	离散时间系统的差分方程	195
5.3.2	离散时间系统的算子方程	196
5.4	常系数线性差分方程的解	198
5.4.1	经典解法	198
5.4.2	零输入与零状态解法	200
5.5	离散时间系统的单位脉冲响应	203
5.6	卷积和	207
5.6.1	序列的卷积和	207
5.6.2	用卷积和求零状态响应	210
5.7	利用 MATLAB 实现离散时间信号与系统的时域分析	213
5.7.1	离散时间信号的 MATLAB 表示	213
5.7.2	LTI 离散时间系统时域分析的 MATLAB 实现	216
	习题 5	219
第 6 章	离散时间信号与系统的频域分析	224
6.1	周期序列的离散时间傅里叶级数	224
6.1.1	周期信号的离散时间傅里叶级数	224
6.1.2	离散时间周期信号的频谱	226
6.2	非周期序列的离散时间傅里叶变换	228
6.2.1	离散时间傅里叶变换	228
6.2.2	常用信号的离散时间傅里叶变换	230
6.3	周期序列的离散时间傅里叶变换	234
6.4	离散时间傅里叶变换的性质	237
6.5	几种傅里叶变换的关系	241
6.6	离散傅里叶变换	242
6.6.1	离散傅里叶变换的引入	243
6.6.2	DFT 的性质	246
6.7	离散时间系统的频域分析	248
6.7.1	基本信号 $e^{j\omega n}$ 激励下的零状态响应	248
6.7.2	一般信号 $f(n)$ 激励下的零状态响应	250
6.8	利用 MATLAB 实现离散时间信号与系统的频域分析	251
6.8.1	非周期信号频域分析的 MATLAB 实现	251
6.8.2	周期信号频域分析的 MATLAB 实现	252
*6.8.3	FFT 的应用	254
	习题 6	255

第 7 章 离散时间信号与系统的 z 域分析	260
7.1 Z 变换	260
7.1.1 双边 Z 变换的定义和收敛域	260
7.1.2 常用序列的双边 Z 变换	263
7.1.3 Z 变换与傅里叶变换的关系	263
7.1.4 Z 变换与拉普拉斯变换的关系	264
7.2 双边 Z 变换的性质	265
7.3 Z 反变换	270
7.3.1 双边 Z 反变换的定义	270
7.3.2 双边 Z 反变换的计算	271
7.4 单边 Z 变换	277
7.4.1 单边 Z 变换的定义	278
7.4.2 常用序列的单边 Z 变换	278
7.4.3 单边 Z 变换的性质	278
7.4.4 单边 Z 反变换的计算	281
7.5 LTI 离散系统的 z 域分析	283
7.5.1 基本信号 z^n 激励下的零状态响应	283
7.5.2 一般因果序列 $f(n)$ 激励下的零状态响应	283
7.5.3 差分方程的 z 域求解	284
7.6 离散系统的表示和模拟	287
7.6.1 离散系统的方框图表示	287
7.6.2 离散系统的信号流图表示	290
7.6.3 离散系统的模拟	292
7.7 离散系统频率响应和系统函数	294
7.7.1 离散系统的频率响应	294
7.7.2 离散系统的系统函数 $H(z)$	295
7.7.3 $H(z)$ 的零极点与时域响应	296
7.7.4 LTI 离散系统的 $H(z)$ 与稳定性	297
7.8 数字滤波器	299
7.8.1 数字滤波器的基本原理	299
7.8.2 数字滤波器的设计	300
7.9 利用 MATLAB 实现离散时间信号与系统的 z 域分析	302
7.9.1 用 MATLAB 实现部分分式展开	302
7.9.2 用 MATLAB 计算 Z 变换和 Z 反变换	302
7.9.3 用 MATLAB 实现 LTI 离散系统的 z 域分析	303
习题 7	305
第 8 章 状态变量分析法	312
8.1 状态、状态变量和动态方程	312
8.1.1 连续系统的动态方程	312
8.1.2 离散系统的动态方程	314
8.1.3 LTI 连续系统动态方程的建立	315
8.1.4 LTI 离散系统动态方程的建立	325
8.2 LTI 系统动态方程的求解	326

8.2.1	LTI 连续系统动态方程的求解	326
8.2.2	LTI 离散系统动态方程的求解	335
8.3	系统的可控制性和可观测性	340
8.3.1	状态矢量的线性变换	341
8.3.2	系统的可控制性及一般判定方法	343
8.3.3	系统的可观测性及一般判定方法	345
8.4	利用 MATLAB 对 LTI 系统进行状态变量分析	346
8.4.1	动态方程的 MATLAB 实现	347
8.4.2	LTI 连续系统状态变量分析的 MATLAB 实现	347
8.4.3	LTI 离散系统状态变量分析的 MATLAB 实现	349
8.4.4	系统可观测性和可控制性的 MATLAB 实现	350
习题 8		351
习题答案(部分)		355
参考文献		371

第1章 信号与系统的基本概念

本章介绍了信号与系统的基本概念及信号与系统的分类与特性,并简要介绍了信号与系统分析的基本内容和分析方法。

1.1 信号的描述与分类

1.1.1 信号的定义

现代社会的人们每天都会与含有信息的各种各样的信号接触,如打电话、看电视、观天象等等,以便我们获得信息或将信息传递出去。但信息一般都不能直接传送,它必须借助于一定形式的信号(光信号、声信号、电信号等),才能远距离快速传输和进行各种处理。因此,可以说信号是信息的载体,是信息的表现形式。那么,什么是信号?广义地说,信号是带有信息的随时间变化的物理量。例如,机械振动产生的力信号、位移信号及噪声信号;雷电过程产生的声信号、光信号;电气系统随参数变化产生的电磁信号等。在数学上,信号可以用含有一个或多个变量的函数来表示。在讨论信号的有关问题时,“信号”与“函数”两个词常互相通用。

在可以作为信号的诸多物理量中,电信号是应用最广泛的物理量。电信号易于产生与控制,传输速度快,容易实现与非电量的相互转换。所谓电信号,是指带有一定信息量,随时间变化的电流、电压、电容器上的电荷、电感线圈的磁通以及空间的电磁波等。本书主要研究随时间变化的电流或电压信号。

1.1.2 信号的分类

信号的分类方法很多,可以从不同的角度对信号进行分类。根据信号时间函数的性质,从不同的研究角度出发,可将信号大致分为下列类型:确定信号与随机信号,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,能量信号与功率信号,普通信号与奇异信号,因果信号与非因果信号等。

1. 确定信号与随机信号

按照时间函数的确定性来划分,信号可分为确定信号和随机信号。

确定信号也叫规则信号,是指有明确数学函数表达式的信号。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。如果信号是时间的随机函数,则事先将无法预知它的变化规律,这种信号称为不确定信号或随机信号。随机信号不能以明确的数学表达式表示,只能用概率统计的方法描述。确定信号的基本理论与分析方法是研究随机信号的基

础,本书只讨论确定信号。

2. 连续时间信号与离散时间信号

按照信号自变量取值的连续性来划分,信号可分为连续时间信号与离散时间信号。

一个信号,如果在某个时间区间内除有限个间断点外都有定义,就称该信号在此区间内为连续时间信号,简称连续信号。这里“连续”一词是指在定义域内(除有限个间断点外)信号变量是连续可变的。至于信号的取值,在值域内可以是连续的,也可以是跳变的。如图 1-1 所示的信号,其自变量 t 在定义域 $(-\infty, +\infty)$ 内连续变化,所以是连续信号,其中图 1-1(a)所示的信号在值域 $[-A, A]$ 上连续取值;图 1-1(b)所示的信号在 $t=0$ 时发生了跳变。为了简便起见,若信号表达式中的定义域为 $(-\infty, +\infty)$,则省去不写。也就是说,凡没有标明时间区间时,均默认其定义域为 $(-\infty, +\infty)$ 。

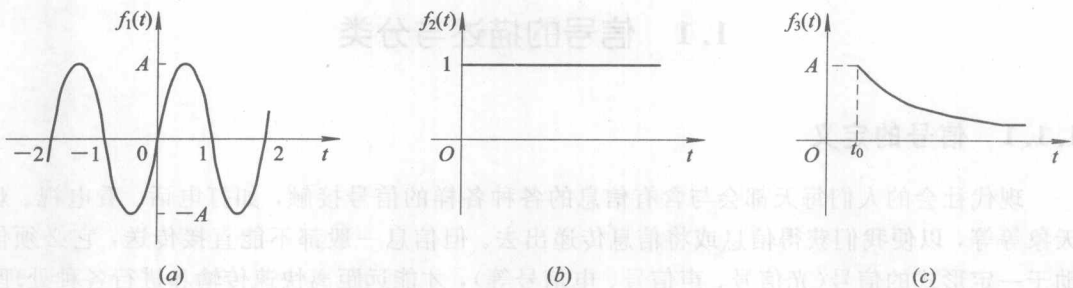


图 1-1 连续信号

仅在离散时刻点上有定义的信号称为离散时间信号,简称离散信号。这里“离散”一词表示自变量只取离散的数值,相邻离散时刻点的间隔可以是相等的,也可以是不相等的,在这些离散时刻点以外,信号无定义。信号的值域可以是连续的,也可以是不连续的,如图 1-2 所示。

定义在等间隔离散时刻点上的离散信号叫做均匀离散信号,也称为序列,通常记为 $f(n)$,其中 n 称为序号。与序号 n 相应的序列值 $f(n)$ 称为信号的第 n 个样值。本书只研究均匀离散信号,所以本书所说的离散信号均指均匀离散信号。

在工程应用中,常常把幅值可连续取值的连续信号称为模拟信号(如图 1-1(a)所示);把幅值可连续取值的离散信号称为采样信号(如图 1-2(a)所示);而把幅值只能取某些规定数值的离散信号称为数字信号(如图 1-2(b)、(c)所示)。

3. 周期信号与非周期信号

按照时间函数的周期性来划分,信号可分为周期信号与非周期信号。

一个连续信号 $f(t)$,若对所有 t 均有

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

则称 $f(t)$ 为连续周期信号,满足式(1-1)的最小 T 值称为 $f(t)$ 的周期。

一个离散信号 $f(n)$,若对所有 n 均有

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

则称 $f(n)$ 为离散周期信号或周期序列,满足式(1-2)的最小 N 值称为 $f(n)$ 的周期。周期信号的波形如图 1-3 所示。

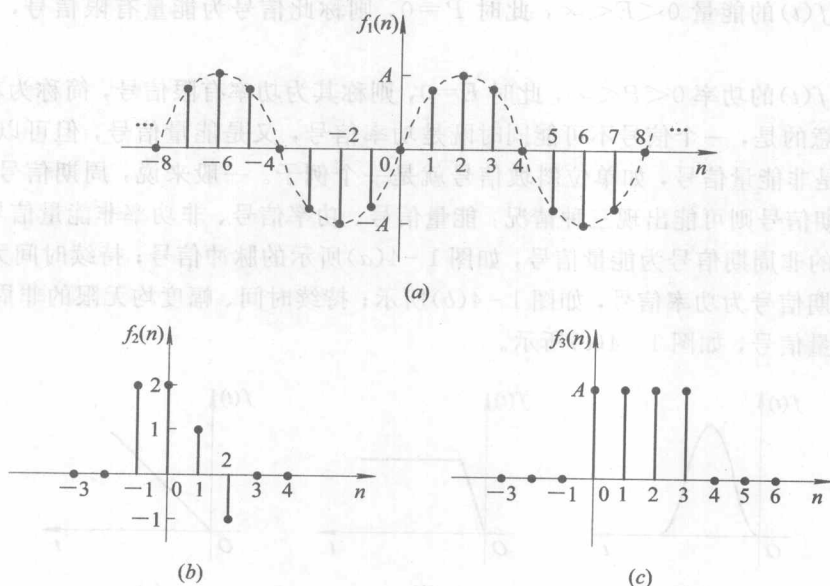


图 1-2 离散信号

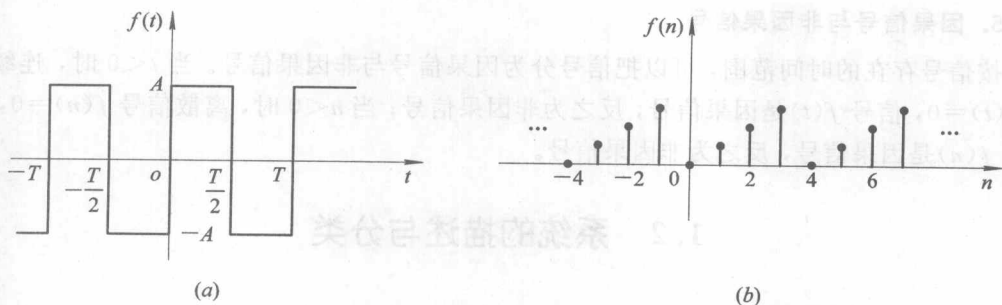


图 1-3 周期信号

凡是无重复变化规律的信号皆为非周期信号。

4. 能量信号与功率信号

我们有时需要知道信号的能量特性和功率特性。为此，需要研究信号电流或电压在一单位电阻上所消耗的能量和功率。

若信号 $f(t)$ 在一单位电阻上的瞬时功率为 $|f(t)|^2$ ，在 $(-\infty, +\infty)$ 区间的信号能量 E 定义为

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

而信号功率 P 定义为在 $(-\infty, +\infty)$ 区间信号 $f(t)$ 的平均功率，即

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

上两式中，被积函数都是 $f(t)$ 的绝对值平方，所以信号能量 E 和信号功率 P 都是非负实数。

若信号 $f(t)$ 的能量 $0 < E < \infty$, 此时 $P = 0$, 则称此信号为能量有限信号, 简称能量信号。

若信号 $f(t)$ 的功率 $0 < P < \infty$, 此时 $E = 0$, 则称其为功率有限信号, 简称为功率信号。

值得注意的是, 一个信号不可能同时既是功率信号, 又是能量信号, 但可以既是非功率信号, 又是非能量信号, 如单位斜坡信号就是一个例子。一般来说, 周期信号都是功率信号; 非周期信号则可能出现三种情况: 能量信号、功率信号、非功率非能量信号。如: 持续时间有限的非周期信号为能量信号, 如图 1-4(a) 所示的脉冲信号; 持续时间无限、幅度有限的非周期信号为功率信号, 如图 1-4(b) 所示; 持续时间、幅度均无限的非周期信号为非功率非能量信号, 如图 1-4(c) 所示。

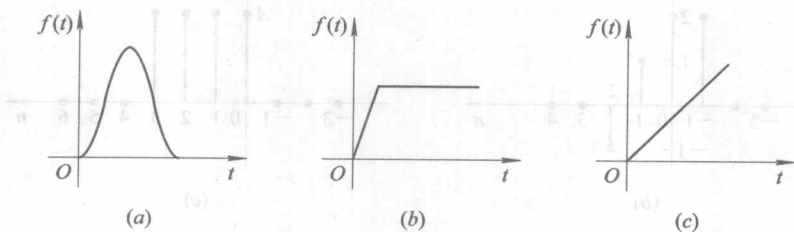


图 1-4 三种非周期信号

5. 因果信号与非因果信号

按信号存在的时间范围, 可以把信号分为因果信号与非因果信号。当 $t < 0$ 时, 连续信号 $f(t) = 0$, 信号 $f(t)$ 是因果信号, 反之为非因果信号; 当 $n < 0$ 时, 离散信号 $f(n) = 0$, 则信号 $f(n)$ 是因果信号, 反之为非因果信号。

1.2 系统的描述与分类

1.2.1 系统的定义

所谓系统, 是由一些相互制约的部件或事物组成并且具有一定功能的整体。例如, 为了实现某种特定的功能(如能量转换或信息处理), 人们把若干部件有机地组成一个整体, 这个整体就是系统, 如通信系统、雷达系统、控制系统、电力系统、机械系统等。系统的概念不仅适用于自然科学的各个领域, 而且还适用于社会科学, 如政治领域、经济组织、生产管理、教育体制、人口发展等。在各种系统中, 电系统具有特殊的重要作用, 这是因为大多数的非电系统可以用电系统来模拟或仿真。

系统在外加信号作用下将产生某种反应, 这种外加信号称为系统的输入或激励, 相应的反应称为系统的输出或响应。对系统的理论研究包括系统的分析和系统的综合两个方面。系统分析讨论的中心问题是在给定的输入作用下, 系统将产生什么样的输出。系统综合是讨论在规定了某种激励下的响应后, 确定系统的结构以满足规定的可实现的技术要求。尽管系统分析和系统综合紧密相关, 而且系统的设计是科研人员最富有创造性的部分, 但是系统分析却是最基本的。本书主要讨论系统分析。