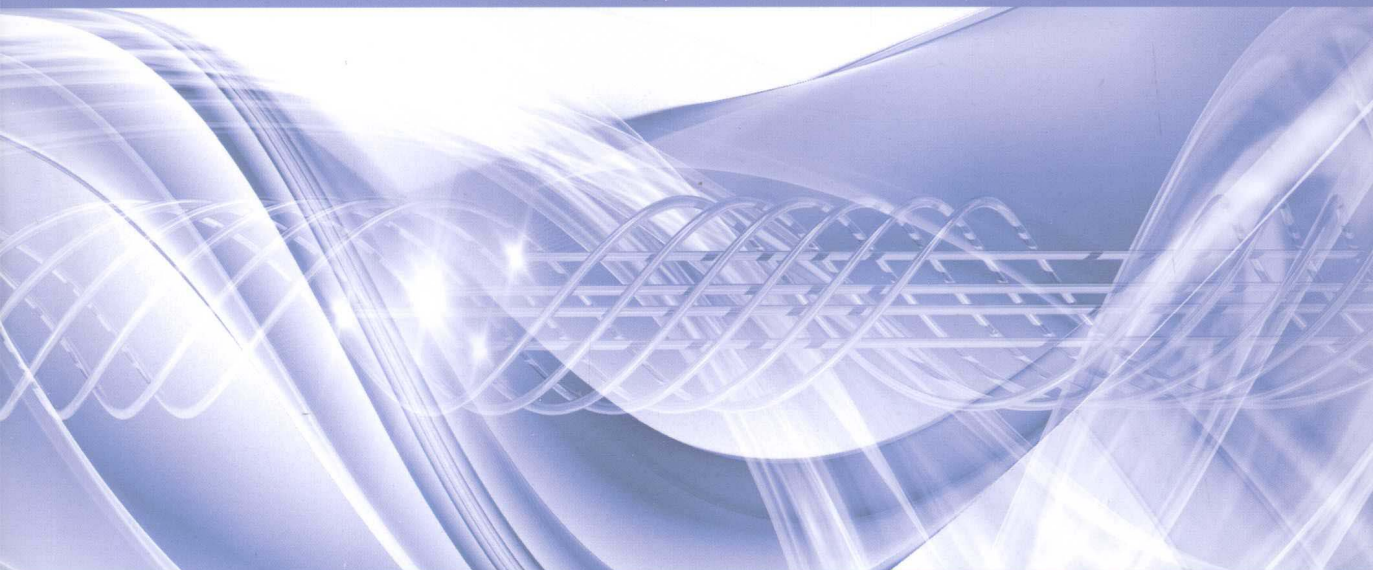




普通高等教育“十二五”规划教材



卓越工程师系列教材

信号处理与线性系统分析

刘海成 刘静森 杨冬云 吴东艳 编



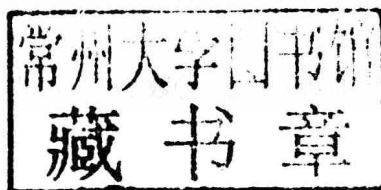
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材
卓越工程师系列教材

信号处理与线性系统分析

刘海成 刘静森 杨冬云 吴东艳 编
欧阳斌林 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材和卓越工程师系列教材。本书深度融合“信号与系统”和“数字信号处理”课程内容,形成两门课程新的教学体系,以适应少学时教学需求。本书在引入 MATLAB 对理论验证、仿真和设计的同时,加强实际应用的引领。采样定理和快速离散傅里叶变换(FFT)等环节完全与实际工程应用对接。

本书可作为普通高等院校信息类、电气类、自动化类及相关专业的本科“信号与系统”课程和“数字信号处理”课程的教材,也可作为高职高专和函授教材,还可供工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号处理与线性系统分析/刘海成等编. —北京:中国电力出版社, 2012. 9

普通高等教育“十二五”规划教材. 卓越工程师系列教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 3469 - 4

I. ①信… II. ①刘… III. ①数字信号处理—高等学校—教材②线性系统—系统分析—高等学校—教材 IV. ①TN911.72
②O231.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 211024 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 9 月第一版 2012 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.75 印张 602 千字

定价 45.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

“信号与系统”和“数字信号处理”课程是信息类、电气类、自动化类及相关专业的两门关系最紧密的专业课程。“信号与系统”课程主要是以信号分析和系统分析的基本方法为主要内容,促使学生建立信号和 LTI 系统的基本分析方法和思想,是继电路分析课程后,学习模拟电子技术、高频电子线路、数字信号处理和自动控制原理等课程的思想和方法基础。而“数字信号处理”课程则是以数字系统为平台实现信号的数字化处理,既包括数字信号的处理,也包括模拟信号的处理,侧重实践和应用。“数字信号处理”课程虽然完全承接“信号与系统”课程,但更重要的是利用信号与系统中“信号的分解,响应的叠加”的基本思想,以及傅里叶理论进行信号分析和数字系统设计,其核心内容是谱分析技术和滤波器设计。可以说,两门课程是学生培养信息技术应用能力的基础课程。

但是,一直以来“信号与系统”作为“数字信号处理”的先修课程,“信号与系统”中一般有部分学时用来学习离散时间信号的基础知识,而在“数字信号处理”的开始部分,又要对这部分内容进行重复学习。这种用重复学时来学习重复内容的做法不能够适应教学改革和少学时授课的实际需要。尤其是这部分作为“数字信号处理”课程的开篇章节,重复讲述且占学时多,喧宾夺主,造成没有足够时间和精力完成“数字信号处理”课程的真正核心内容的教学。也就是说,在教学内容和侧重点上若不能针对两门课程的特点加以改革和区分,势必造成只停留在“做题”的层面,知识点混乱,不宜培养应用能力。因此,两门课程要有机整合,合理承接,避免重复,更重要的是对技术思想与设计应用课程要有不同的教学侧重点。

另外“信号与系统”和“数字信号处理”系列课程理论性极强,抽象概念多,公式推导较多,起点高,难度大,会影响学生学习的积极性。而此课程却是进行电子系统设计的核心基础知识之一,极大地制约着学生应用能力的培养,是学生学习专业知识到形成专业能力的瓶颈课程。近些年,国内外各个高校都针对这两门课程进行教学改革并出版教材,这些教材不但体系完整、结构经典,而且是在理论教学上引入 MATLAB 进行辅助教学,对理论验证、仿真和设计,教学上收获了一些成功的喜悦。然而,很多现有的教材,为了强调“应用和改革”,一味地将 MATLAB 作为课程教学实践的唯一落脚点,而对具体的实现避而不谈,造成了在实际应用中脱离 MATLAB 时学生无从下手的局面。并且,这些教材都以通信系统为背景进行讲述,对于其他相关专业实例从不提及。如何处理好课程的典型实例的普适性,如何设计实践环节以符合各专业平台需要,也是值得讨论的重要问题。MATLAB 对于课程的理解和辅助设计是有巨大优势的,但是过于“傻瓜”化,对于实体的制作与实践上无从体现,这正是“信号与系统”和“数字信号处理”系列课程传统改革的最大弊端。MATLAB 能快速帮助教师和学生透彻地理解理论知识,但会使学生一直停留在理论层面。因此,不但要结合 MATLAB 工具丰富教学,更重要的是如何恰当地将硬件电路、EDA 技术和嵌入式软件实现引入课堂,培养实际应用能力。该系列课程的改革已经是电气信息及仪器仪表类相关专业应用型课程体系改革迫在眉睫的关键问题之一。

本书在采样定理等内容环节进行了改革和创新,采用 A/D 转换器和 D/A 转换器模型来分析,与实际工程应用对接。以及加入了基于 FFT 实现频率响应测量等环节,教材与学生的实践紧密结合。

因此,从教学体系、教学内容、教学方法、实验教学等方面对“信号与系统”和“数字信号处理”这两门课程的教学进行探索,以适应高等教育,尤其是符合“卓越计划”需求。本书作为黑龙江省高等教育教学改革工程立项——“‘卓越工程师培养计划’下信号与系统及数字信号处理课程的改革与实践”成果,将全面尝试改革,抛砖引玉。

本书作为“信号与系统”和“数字信号处理”这两门课程的教材,两个学期完成教学。本书由黑龙江工程学院刘海成编写第 7~10 章并统稿,刘静森编写第 1~4 章,杨冬云编写第 5、6 章,吴东艳编写第 11、12 章和附录。加 * 内容为拓展或选学知识。教材全面借鉴了 CDIO 工程教育理念,并结合卓越计划要求,深入企业一线调研,与 Intel 移动通信技术北京有限公司李飞工程师和江苏嘉钰新能源技术有限公司余兵工程师等进行深入探讨,对书稿内容全方位工程化优化调整,切合企业对人才能力需求。全书经东北农业大学欧阳斌林教授审阅,提出了很多宝贵意见,在此表示由衷的感谢。黑龙江工程学院秦进平教授对本书的出版给予了大力支持,表示深深感谢。同时,书中参考和应用了许多学者和专家的著作和研究成果,在此也向他们表示诚挚的敬意和感谢。

本书虽然力求完美,但是水平有限,错误之处在所难免,敬请读者不吝指正和赐教,不胜感激!

编 者

2012 年 8 月

目 录

前言

第 1 章 信号与系统分析导论	1
1.1 信号的定义与描述	1
1.1.1 信号的定义	1
1.1.2 信号的描述	1
1.2 信号的分类	1
1.2.1 确定信号与随机信号	2
1.2.2 连续时间信号与离散时间信号	2
1.2.3 周期信号与非周期信号	3
1.2.4 能量信号与功率信号	4
1.3 基本信号及信号的基本运算	5
1.3.1 连续时间基本信号	5
1.3.2 连续时间信号的基本运算	11
1.3.3 离散时间基本信号	13
1.3.4 离散时间信号的基本运算	15
1.3.5 信号的对称性质	17
1.4 系统的定义与描述	18
1.4.1 系统的定义	18
1.4.2 系统的描述	19
1.5 系统的分类	20
1.5.1 线性系统与非线性系统	20
1.5.2 时变系统与非时变系统	22
1.5.3 因果系统与非因果系统	23
1.5.4 稳定系统与非稳定系统	23
1.6 复合系统的连接	24
1.7 信号与系统分析概述	24
1.8 信号的 MATLAB 表示	25
1.8.1 连续信号的 MATLAB 表示	25
1.8.2 离散信号的 MATLAB 表示	26
习题及思考题	27
第 2 章 连续时间信号与系统的时域分析	30
2.1 连续时间 LTI 系统的描述	30

2.1.1	连续时间 LTI 系统的数学模型	30
2.1.2	连续时间 LTI 系统的特性	31
2.2	连续时间 LTI 系统的响应	31
2.2.1	连续时间 LTI 系统的初始条件	31
2.2.2	连续时间 LTI 系统的零输入响应	32
2.2.3	连续时间 LTI 系统的零状态响应	33
2.2.4	连续时间 LTI 系统的完全响应	35
2.3	连续时间 LTI 系统的时域分析	36
2.3.1	连续时间信号的时域分解	36
2.3.2	单位冲激响应	37
2.3.3	零状态响应的卷积积分描述	38
2.3.4	卷积积分	39
2.4	冲激响应与系统特性	45
2.4.1	复合系统的冲激响应	45
2.4.2	因果系统的冲激响应	46
2.4.3	稳定系统的冲激响应	46
	习题及思考题	47
第 3 章	离散时间信号与系统的时域分析	49
3.1	离散时间 LTI 系统的描述	49
3.1.1	离散时间 LTI 系统的数学模型	49
3.1.2	离散时间 LTI 系统的特性	50
3.2	离散时间 LTI 系统的响应	50
3.2.1	离散时间 LTI 系统的初始条件	50
3.2.2	离散时间 LTI 系统的零输入响应	51
3.2.3	离散时间 LTI 系统的零状态响应	51
3.2.4	离散时间 LTI 系统的完全响应	53
3.3	离散时间 LTI 系统的时域分析	54
3.3.1	离散时间信号的时域分解	54
3.3.2	单位脉冲响应	55
3.3.3	零状态响应的卷积和描述	56
3.3.4	卷积和	57
3.4	单位脉冲响应与系统特性	61
3.4.1	复合系统的单位脉冲响应	61
3.4.2	因果系统的单位脉冲响应	62
3.4.3	稳定系统的单位脉冲响应	62
	习题及思考题	62

第 4 章 信号与系统的频域分析	65
4.1 信号的正交分解	65
4.1.1 矢量的正交分解	65
4.1.2 信号的正交分解	67
4.2 连续时间周期信号的正交分解	68
4.2.1 连续时间周期信号的傅里叶级数	68
4.2.2 连续时间周期信号的频谱	73
4.2.3 连续时间周期信号的功率谱	75
4.3 连续时间非周期信号的正交分解	76
4.3.1 连续时间非周期信号的傅里叶变换	76
4.3.2 连续时间非周期信号的频谱	78
4.3.3 常用信号的傅里叶变换	80
4.3.4 傅里叶变换的性质	85
4.4 连续系统的频域分析	91
4.4.1 连续系统的频率响应函数	91
4.4.2 连续时间信号通过系统的频域分析	92
4.4.3 连续时间 LTI 系统的稳态响应和暂态响应	96
4.4.4 无失真传输系统	97
4.4.5 理想模拟滤波器	98
4.5 离散时间周期序列的正交分解	100
4.5.1 离散时间周期序列的傅里叶级数	100
4.5.2 离散时间周期序列的频谱	101
4.6 离散时间非周期序列的正交分解	102
4.6.1 离散时间非周期序列的傅里叶变换	102
4.6.2 离散时间非周期序列的频谱	104
4.6.3 离散时间傅里叶变换的性质	105
4.7 离散系统的频域分析	107
4.7.1 离散系统的频率响应函数	107
4.7.2 离散时间信号通过系统的频域分析	109
4.7.3 离散时间 LTI 系统的稳态响应和暂态响应	112
4.7.4 理想数字滤波器	113
4.8 时域采样及恢复	114
4.8.1 时域采样定理	114
4.8.2 实际采样	116
4.8.3 采样信号的恢复	117
4.8.4 四种傅里叶变换之间的关系	119
习题及思考题	121

第 5 章 连续时间信号与系统的复频域分析	125
5.1 拉普拉斯变换	125
5.1.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	125
5.1.2 拉普拉斯变换的收敛域	127
5.1.3 常用信号的拉普拉斯变换	128
5.2 拉普拉斯变换的基本性质	129
5.3 拉普拉斯反变换	135
5.3.1 部分分式展开法	135
5.3.2 围线积分法	139
5.4 连续时间 LTI 系统的复频域分析	141
5.4.1 连续时间 LTI 系统的系统函数	141
5.4.2 连续时间 LTI 系统的响应	142
5.5 连续时间 LTI 系统的系统函数与系统特性	146
5.5.1 系统函数的零极点分布	147
5.5.2 系统函数与系统的时域特性	148
5.5.3 系统函数与系统频率响应	149
5.5.4 系统的因果性与稳定性	151
5.6 连续时间系统的模拟与实现	153
5.6.1 连续系统的连接	153
5.6.2 连续系统的模拟	154
5.6.3 连续系统的实现	158
习题及思考题	161
第 6 章 离散时间信号与系统的复频域分析	165
6.1 Z 变换	165
6.1.1 从序列的傅里叶变换到 Z 变换	165
6.1.2 Z 变换的收敛域	166
6.1.3 常用函数的 Z 变换	168
6.2 Z 逆变换	169
6.2.1 幂级数展开法(长除法)	170
6.2.2 部分分式展开法	171
6.2.3 留数定理法	173
6.3 Z 变换的性质	174
6.4 离散时间 LTI 系统的复频域分析	181
6.4.1 离散时间 LTI 系统的系统函数	181
6.4.2 利用 Z 变换求解差分方程	182
6.5 离散时间 LTI 系统的系统函数与系统特性	184
6.5.1 系统函数的零极点分布	184

6.5.2 系统函数与系统的时域特性	185
6.5.3 系统函数与系统频率响应	186
6.5.4 系统的因果性与稳定性	189
6.5.5 IIR 系统与 FIR 系统	190
习题及思考题	190
第 7 章 离散傅里叶变换 (DFT) 及应用	193
7.1 离散傅里叶变换 (DFT)	193
7.2 DFT 与频域抽样定理	196
7.2.1 DFT 与 Z 变换及 DTFT 之间的关系	196
7.2.2 频域内插公式及频域采样定理	199
7.3 有限长序列及其 DFT 的对称性质	201
7.4 有限长序列的循环移位与循环卷积	203
7.4.1 循环移位定理	203
7.4.2 循环卷积及循环卷积定理	205
7.5 离散傅里叶变换的应用	207
7.5.1 利用 DFT 计算序列的线性卷积	207
* 7.5.2 利用 DFT 计算序列的相关函数	212
7.5.3 利用 DFT 对连续时间信号进行频谱分析	213
* 7.5.4 利用 DFT 对非周期序列进行频谱分析——Chirp-Z 变换	221
习题及思考题	224
第 8 章 快速离散傅里叶变换 (FFT) 及应用	227
8.1 DFT 运算量及减少运算量的基本途径	227
8.2 基 2FFT 算法	228
8.2.1 基 2DIT-FFT 算法原理	228
8.2.2 基 2DIF-FFT 算法原理	230
8.3 基 2DIT-FFT 算法的 C 语言实现	232
8.3.1 基 2DIT-FFT 的原位计算规律	232
8.3.2 旋转因子的变化规律及生成	233
8.3.3 序列的倒序规律及实现	234
8.3.4 基 2DIT-FFT 算法的 C 语言编程	235
8.4 实序列的 FFT 算法及 C 语言实现	236
8.5 IDFT 的快速算法及 C 语言实现	239
* 8.6 FFT 应用举例——基于 FFT 实现频率响应测量	240
习题及思考题	241
第 9 章 无限长单位脉冲响应 (IIR) 数字滤波器的设计	243
9.1 滤波器设计概述	243
9.1.1 滤波器概述	243

9.1.2	滤波器的技术指标及其归一化	245
9.1.3	选频滤波器设计的思路和方法	246
9.2	全通系统和最小相位系统	247
9.2.1	全通系统	247
9.2.2	最小相位系统	249
9.3	经典模拟低通滤波器设计	251
9.3.1	巴特沃斯滤波器设计	252
9.3.2	切比雪夫滤波器设计	254
9.4	模拟滤波器的频带转换技术	261
9.4.1	模拟滤波器的设计思路及步骤	261
9.4.2	原型低通到高通的频带转换技术	261
9.4.3	原型低通到带通的频带转换技术	263
9.4.4	原型低通到带阻的频带转换技术	265
9.5	脉冲响应不变法设计 IIR 数字滤波器	266
9.5.1	基于模拟滤波器设计 IIR 数字滤波器的方法概述	266
9.5.2	脉冲响应不变法的原理及设计步骤	268
9.6	用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器	272
9.6.1	双线性变换法的设计思想和原理	273
9.6.2	利用模拟滤波器设计 IIR 数字滤波器的步骤及双线性变换法举例	275
9.7	基于 MATLAB 进行 IIR 数字滤波器设计	279
	习题及思考题	288
第 10 章	有限长脉冲响应 (FIR) 数字滤波器设计	290
10.1	线性相位 FIR 数字滤波器的条件及特点	290
10.1.1	线性相位的定义	290
10.1.2	FIR 数字滤波器的线性相位条件	290
10.1.3	线性相位 FIR 数字滤波器的零点分布特点	292
10.1.4	线性相位 FIR 数字滤波器幅度特性 $H_g(\omega)$ 的特点	293
10.2	窗函数法设计线性相位 FIR 数字滤波器	296
10.2.1	窗函数法设计线性相位 FIR 数字滤波器的原理	296
10.2.2	被截断理想目标滤波器 $H_d(e^{j\omega})$	296
10.2.3	矩形窗截取线性相位 FIR 数字滤波器	298
10.2.4	典型窗函数、特性及应用要点	299
10.2.5	窗函数法设计 FIR 数字滤波器的步骤及方法	303
10.2.6	MATLAB 下窗函数法设计 FIR 数字滤波器的方法	305
10.3	频率采样法设计 FIR 数字滤波器	308
10.3.1	频率采样法设计 FIR 数字滤波器的原理	308
10.3.2	用频率采样法设计线性相位 FIR 数字滤波器的条件	308

10.3.3	频率采样法的逼近误差及改进措施	309
10.3.4	频率采样法的设计步骤	311
10.4	IIR 与 FIR 数字滤波器比较及 FDATool 工具	311
10.4.1	IIR 和 FIR 数字滤波器的比较	311
10.4.2	IIR 和 FIR 数字滤波器设计工具——FDATool	312
	习题及思考题	314
第 11 章	数字滤波器的算法结构与误差分析	317
11.1	量化及量化误差分析	317
11.1.1	量化误差的统计分析	318
11.1.2	A/D 变换的量化误差	320
11.1.3	量化噪声通过 LTI 系统的响应	321
11.2	数字系统中的系数量化效应	322
11.2.1	系数量化误差对系统频率响应特性的影响	323
11.2.2	极点位置灵敏度	324
11.3	数字滤波器的信号流图及误差表示	326
11.4	IIR 数字滤波器的算法结构	328
11.4.1	IIR 数字滤波器的直接型算法结构	328
11.4.2	IIR 数字滤波器的级联型算法结构	331
11.4.3	IIR 数字滤波器的并联型算法结构	333
11.5	FIR 数字滤波器的算法结构	335
11.5.1	FIR 数字滤波器的直接型和级联型结构	335
11.5.2	FIR 数字滤波器的线性相位结构	337
11.5.3	FIR 数字滤波器的频率采样结构	337
11.6	FFT 的有限字长效应分析	339
	习题及思考题	343
第 12 章	系统的状态变量分析	347
12.1	系统的状态与状态变量	348
12.2	状态变量模型的建立	348
12.2.1	连续时间系统状态方程的建立	349
12.2.2	离散时间系统状态方程的建立	355
12.3	状态方程的求解	357
12.3.1	连续时间系统状态方程的复频域求解	357
12.3.2	连续时间系统状态方程的时域求解	360
12.3.3	离散时间系统状态方程的时域求解	363
12.3.4	离散时间系统状态方程的 z 域求解	366
12.4	线性系统的可控制性和可观测性	369
12.4.1	状态矢量的线性变换	369

12.4.2 系统的可控制性和可观测性	372
习题及思考题.....	377
附录 A 巴特沃斯归一化模拟低通滤波器参数表	379
附录 B 切比雪夫归一化模拟低通滤波器参数表	380
附录 C 三角函数与双曲函数公式	382
参考文献.....	384

第1章 信号与系统分析导论

本章介绍信号与系统的基本概念及信号与系统的分类与特性,重点讨论线性系统和时不变系统的特性,并以此为基础介绍信号与系统分析的基本内容和方法。

1.1 信号的定义与描述

1.1.1 信号的定义

人类的社会活动,除了涉及物质材料的利用以及使能量做功的活动之外,还有一类重要的活动称为关于信息的活动,它与消息过程以及信号过程有密切的关系。由于人类感兴趣的信息蕴含于消息之中,为了有效地传递、变换、储存和提取消息,常常需要将消息转换成便于传输和处理的信号。从古代利用烽火传递警报,利用击鼓传达命令,到现代的电话、电报、无线电广播与电视,其目的都是要把某些消息借一定形式的信号传递出去,所以消息是被传送的对象。就其基本含义而言,信号是消息的表现形式与传载体,而消息则是信号的具体内容。

信号一般表现为随时间变化的某种物理量。根据物理量的不同特性,可对信号进行具体分类。例如,钟楼的报时钟声和轮船的汽笛声是声信号,交通路口的红绿灯是光信号,电子电路中的电流、电压是电信号等。

在各种各样传递消息的方式中,利用电信号传递消息得到了最广泛的发展与应用。因为电信号易于产生,便于传输、控制与处理,同时,在实际应用中,许多非电信号(如声、光、温度、位移、压力、加速度等)都可以通过适当的传感器转换成电信号。因此,研究电信号具有重要意义。在本书中,若无特殊说明“信号”一词均指电信号。

1.1.2 信号的描述

信号是消息的表现形式,通常体现为随若干变量而变化的某种物理量。在数学上,可以描述为一个或多个独立变量的函数。例如,锅炉的温度可描述为温度随时间变化的函数,语音信号可描述为声压随时间变化的函数,一张黑白图片可描述为灰度随二维空间变量变化的函数,电信号可描述为电压或电流随时间变化的函数。如信号 $x(t) = \sin t$ 表示正弦信号,实际工程中可以是电压或电流信号等。

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。在信号与系统分析中,根据信号和自变量的特性,信号可以分为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、能量信号与功率信号等。

1.2.1 确定信号与随机信号

按照信号的确定性来划分, 信号可以分为确定信号与随机信号。

确定信号是指能够以确定的时间函数表示的信号, 其在定义域的任意时刻都有确定的函数值。例如, 正弦信号、指数信号等。图 1-1 (a) 所示的正弦信号就是确定信号的一个例子。

随机信号也称为不确定信号, 它不是时间的确定函数, 其在定义域内的任意时刻没有确定的函数值。图 1-1 (b) 所示的混有噪声的正弦信号就是随机信号的一个例子, 它无法以确定的时间函数来描述, 只能用概率统计的方法进行描述。

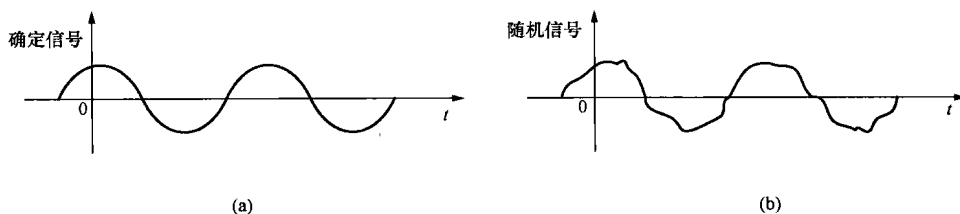


图 1-1 确定信号与随机信号波形

(a) 确定信号; (b) 随机信号

实际传输的信号几乎都具有不可预知的不确定性, 因而都是随机信号。例如, 通信系统中传输的信号带有不确定性, 接收者在收到所传送的消息之前, 对信号源所发出的消息是不知道的, 否则, 接收者就不可能由它得知任何新的信息, 也就失去了通信的意义。另外, 信号在传输过程中难免要受到各种干扰和噪声的影响, 使信号失真, 所以, 一般的通信信号都是随机信号。本课程只讨论确定信号的分析, 它也是研究随机信号特性的重要基础, 而对随机信号的分析是后续课程的任务。

1.2.2 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划分, 信号可分为连续时间信号与离散时间信号。

连续时间信号是指在信号的定义域内, 除有限个间断点外, 任意时刻都有确定的函数值的信号。连续时间信号通常用 $x(t)$ 表示。连续时间信号的幅值可以是连续的, 也可以是离散的。时间和幅值均连续的信号称为模拟信号。在实际应用中, 连续时间信号与模拟信号常常不予区分。图 1-2 (a)、(b) 分别表示一个模拟信号和一个具有离散幅值的连续时间信号。

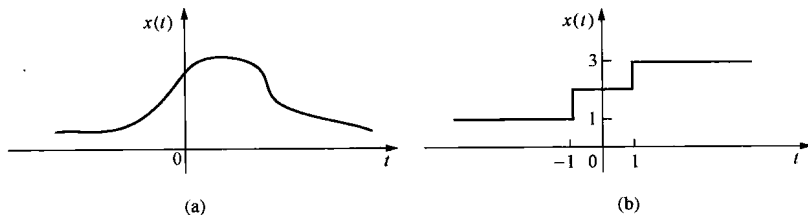


图 1-2 连续时间信号

(a) 模拟信号; (b) 具有离散幅值的连续时间信号

离散时间信号是指信号的定义域为离散的时刻点,而在这些离散的时刻点之外无定义。离散时间信号通常用 $x(n)$ 表示,其中 n 表示序号,因此离散信号也称为序列。离散时间信号的幅值也可以是连续的或离散的。时间和幅值均离散的信号称为数字信号。在实际应用中,离散时间信号与数字信号常常不予区分。图 1-3 (a)、(b) 分别表示一个数字信号和一个具有离散幅值的离散时间信号。

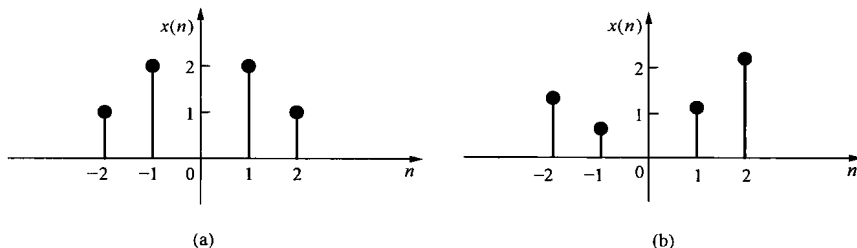


图 1-3 离散时间信号

(a) 数字信号; (b) 具有离散幅值的离散时间信号

需要指出的是,连续时间信号与离散时间信号只是信号的不同形式,都是本书研究的内容。它们之间有着密切联系,在一定意义之下可以互相转化,在实际应用中,正是利用这种互相转化的关系,才能更深刻的认识信号所描述的客观世界。

1.2.3 周期信号与非周期信号

按照信号的周期性划分,信号可以分为周期信号与非周期信号。

周期信号是指定义在区间 $(-\infty, +\infty)$ 上,每隔一个固定的时间间隔波形重复变化的信号。连续时间周期信号与离散时间周期信号的数学表示式分别为

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

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

满足式 (1-1) 和式 (1-2) 中的最小正数 T 、 N 分别称为周期信号的基本周期。

非周期信号就是不具有重复性的信号。

周期信号与非周期信号在一定条件可以互相转化。当周期信号的周期趋于无穷大时,周期信号将变成非周期信号。当非周期信号以某个周期进行延拓时,非周期信号将变成周期信号。连续时间周期信号与非周期信号的转化关系如图 1-4 所示,离散时间周期信号与非周期信号的转化关系如图 1-5 所示。

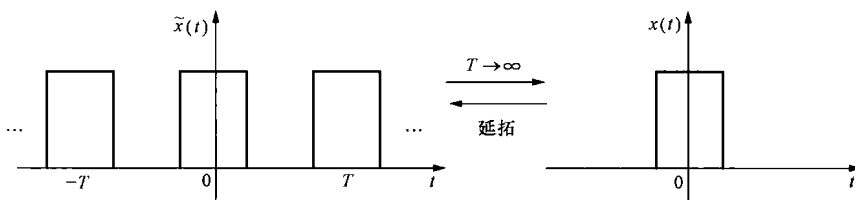


图 1-4 连续时间周期信号与非周期信号的转化图

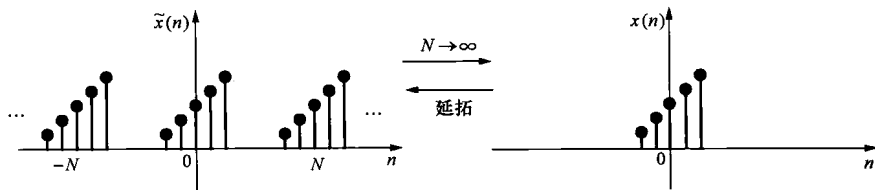


图 1-5 离散时间周期信号与非周期信号的转化图

【例 1-1】 判断离散余弦信号 $x(n) = \sin(\omega n)$ 是否为周期信号。

解：由周期信号的定义，如果 $\sin[\omega(n+N)] = \sin(\omega n)$ ，则 $x(n)$ 是周期信号。因为

$$\sin[\omega(n+N)] = \sin(\omega n + \omega N)$$

$x(n)$ 是离散时间信号，要使其为周期信号，必须有

$$\omega N = m2\pi, m \text{ 为整数}$$

有

$$N = m \frac{2\pi}{\omega}$$

因此，只有在 $2\pi/|\omega|$ 为有理数时， $2\pi/|\omega| = p/q$ (p 和 q 为不可约分的整数)， $x(n) = \sin(\omega n)$ 才是一个周期信号，且最小正周期是 p (当 $q=m$ 时)。

1.2.4 能量信号与功率信号

按照时间函数的可积性划分，信号可以分为能量信号与功率信号。

可以从能量的观点来研究信号。信号可看作是随时间变化的电压或电流，如把信号 $x(t)$ 看作为加在 1Ω 电阻上的电流，则其瞬时功率为 $|x(t)|^2$ ，在时间间隔 $-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}$ 内所消耗的能量为归一化能量，即为

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

而在上述时间间隔内 $-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}$ 的平均功率为归一化功率，即为

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

对于离散时间信号 $x(n)$ ，其归一化能量 E 与归一化功率 P 的定义分别为

$$E = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{n=-N}^N |x(n)|^2 \quad (1-5)$$

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |x(n)|^2 \quad (1-6)$$

若信号的归一化能量为非零的有限值，且其归一化功率为零，即 $0 < E < \infty$ ， $P=0$ ，则称其为能量信号。由于能量信号的功率为零，只能从能量的角度去研究它。

若信号的归一化功率为非零的有限值，且其归一化能量为无穷大，即 $0 < P < \infty$ ， $E \rightarrow \infty$ ，则称其为功率信号。由于功率信号的能量为无穷大，只能从功率的角度去研究它。