



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI
世纪高职高专电子技术规划教材

信号与系统

杨育霞 主编

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供
电子教案
习题解答



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专电子技术规划教材

信号与系统

杨育霞 主编

◆ 开本: 787×1092 1/16

人民邮电出版社

取 00.71 : 付宝

電話服務熱線: (010) 62170882 印刷展銷熱線: (010) 62158353

图书在版编目 (CIP) 数据

信号与系统 / 杨育霞主编. —北京: 人民邮电出版社, 2005.8 (2007.7 重印)

21 世纪高职高专电子技术规划教材

ISBN 978-7-115-13469-1

I. 信... II. 杨... III. 信号系统—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 079204 号

内 容 提 要

本书主要包括信号与系统的基本概念、连续信号与系统的时域分析、离散信号与系统的时域分析、连续信号与系统的频域分析、连续信号与系统的复频域分析、离散信号与系统的 z 域分析等。本书引入 MATLAB 方法, 便于教学。建议本书的授课时间为 48 学时。

本书可作为高职高专电子信息类及相关专业教材, 也可作为相关专业工程技术人员的自学参考书。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪高职高专电子技术规划教材

信号与系统

◆ 主 编 杨育霞

责任编辑 赵慧君

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京艺辉印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 12.25

字数: 284 千字

2005 年 8 月第 1 版

印数: 4 001—5 000 册

2007 年 7 月北京第 2 次印刷

ISBN 978-7-115-13469-1/TN

定价: 17.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

21 世纪高职高专电子技术规划教材

编 委 会

主 任 王俊鹏

副 主 任 张惠敏 向 伟

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱乃立 阮友德 许恒玉 苏本庆 余本海

李存永 肖 琰 邱寄帆 张新成 林训超

胡修池 胡起宙 赵慧君 曾令琴 韩 丽

程 勇 潘春燕

丛书出版前言

遵照教育部提出的以就业为导向, 高职高专教育从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想, 人民邮电出版社协同一些高职高专院校和相关企业共同开发了 21 世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育在我国不断深化, 各高职高专院校越来越关注人才培养的模式与专业课程设置, 越来越关心学生将来的就业岗位, 并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到, 高职高专院校所培养的人才与市场上需要的技术应用型人才仍存在差距。那么如何在保证知识体系完整性的同时, 能在教材中体现正在应用的技术、正在发展的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点, 为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程较经典, 及知识点又相对统一、固定的特点, 采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式, 借助本科老师在理论方面深厚的功底, 在写作质量上进行把关, 高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度, 力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才面向生产、管理第一线, 基础课程的教学应以必需、够用为原则, 以掌握概念、强化应用为教学重点, 注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时, 掌握“突出基本概念, 注重技能训练, 强调理论联系实际, 加强实践性教学环节”的原则, 在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例, 强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和 PLC 做项目的流程, 并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣, 并了解开发过程, 最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训, 从而达到对职业能力的培养。

以上这些仅是高职高专教材出版的初步。如何配合学校做好为国家培养人才的工作, 出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望, 关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正, 提出修改意见, 同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系, 共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 zhaohuijun@ptpress.com.cn。

21 世纪高职高专电子技术规划教材编委会

2005 年 8 月

编者的话

近年来,由于电子技术和集成电路的迅速发展,计算机已成为信号处理的重要手段。“信号与系统”课程为利用计算机处理工程中的各种信号提供了理论依据和分析计算的方法。本书正是为适应高职高专电子信息类专业开设“信号与系统”课程的需要,针对高职高专学生的特点而编写的。

因为本课程对数学基础要求较高,所以对高职高专学生来说难度较大,本书针对这种情况作了如下相应处理。

(1) 简化理论推导,通过具体的应用实例深入浅出地引出每个知识点的目的、思维方式、结果的应用领域,把深奥的理论变成可以操作的工具。

(2) 把难点分散,内容由浅入深,循序渐进,用通俗易懂的语言描述抽象难懂的术语。

(3) 物理语言描述与数学语言描述并重。数学语言可以深刻地揭示物理原型的特性,也可以作为利用计算机计算的计算方法基础,是本课程使用的基本语言。物理语言用来描述数学语言所代表的物理意义及其特性,以便于读者理解数学语言所代表的含义。在学习的过程中,要注意用物理语言解释数学语言,更要从简洁的数学语言中领悟其背后的物理意义。

(4) 连续时间系统与离散时间系统并重。连续时间系统分析是离散时间系统分析的基础,它可以处理连续的模拟信号。离散时间系统是对连续时间系统的发展,它可以用来仿真模拟系统,更重要的是可以实现某些模拟系统无法实现的信号处理问题。连续时间系统与离散时间系统的数学模型和分析方法有许多相似之处,但又有各自的不同特点。在学习的过程中,要注意从连续到离散的转换。

(5) 信号分析与系统分析并重。信号与系统是相互依存的整体。信号必定由系统产生、发送、传输与接收,没有离开系统而孤立存在的信号;同样,系统也离不开信号,系统的重要功能就是对信号进行加工、变换与处理。没有信号,系统就没有存在的意义。因此在实际应用中,信号与系统必须成为相互协调的整体,才能实现信号与系统各自的功能。本书把每种域内的信号与系统的分析安排在一章中介绍,以便使读者体会到信号与系统的相互依赖关系。

(6) 时域分析与频域(复频域)分析并重。时域分析是基础,是最原始、最自然、最容易理解的一种分析手段,但是由于时域的数学模型——微分方程(差分方程)、卷积的计算非常繁琐,而采用频域(复频域)分析能把微分方程(差分方程)的求解问题转化为代数方程的求解问题,把卷积计算转化为乘积计算。而代数方程是最容易解答的数学方程,乘积计算是最容易的四则运算中的一种。另外,信号的原始形式是时域的,而系统分析的出发点是频域的,所以,为了用系统处理信号,需要把信号在频域分解,为了分析系统对时域信号的作用,又需要用时域的数学模型来表示系统。在学习的过程中,要注意每种分析域的特点、相互关系以及各自的表达形式、计算方法。

(7) 理论分析与工程应用相结合。信号与系统课程是由于工程实际的需要而提出、形成与完善的,所以它具有很强的工程背景。本书中信号与系统的所有数学模型都是对工程实际中物理对象的数学抽象或理想化的表示。本书尽可能的提供这些数学模型所对应的工程应用实例,以便于读者结合实际去理解。在学习的过程中,要注意理论分析与工程应用的关系、理想与实际的关系。

(8) 理论计算与使用 Matlab 计算相结合。Matlab 是一种进行科学和工程计算的交互式程序语言。学生可以用 Matlab 求解习题、绘制曲线,把繁琐的数学计算变成轻松愉快的事情。通过 Matlab 的入门学习和在本门课程中的实际应用,还可以掌握一种实用的工程分析工具。本书在附录中只介绍本门课程使用的 Matlab 最基本用法,而把使用的实例穿插进各章的具体内容中,且同时提供理论计算过程和 Matlab 计算过程,以便于读者在学会解题方法的同时会用 Matlab 轻松进行计算。

(9) 每章之后有小结和习题。小结指出本章的重点和难点,习题归纳了本章应掌握的基本概念和基本理论,提供了本章基本分析方法的练习题,习题答案可从 <http://www.ptpress.com.cn/download/index1.asp?action=3> 上下载。

另外,为了方便学生在解题时查阅,本书还提供了 5 个附录。附录 1 是 Matlab 简介,介绍在本门课程中可能涉及到的 Matlab 使用方法。附录 2 是常用傅里叶变换表,附录 3 是常用单边拉普拉斯变换表,附录 4 是常用信号单边 z 变换表,附录 5 是常用数学公式。

本书第 1 章、第 6 章及附录由杨育霞编写,第 2 章和第 3 章由王学力编写,第 4 章和第 5 章由廉飞宇编写。杨育霞任本教材的主编并统稿。王俊鹏教授审阅了全书,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不足在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2005 年 5 月

目 录

第 1 章 信号与系统的基本概念	1
1.1 引言	1
1.2 信号	2
1.2.1 信号的分类	3
1.2.2 典型连续信号	4
1.2.3 典型离散时间信号	8
1.3 系统	10
1.3.1 系统的概念	10
1.3.2 连续时间系统与离散时间系统	11
1.3.3 系统的数学模型和基本运算单元	11
1.3.4 信号的简单处理	13
1.3.5 系统的性质	15
1.4 信号的 MATLAB 表示和可视化	18
1.4.1 典型信号的 MATLAB 表示	18
1.4.2 信号运算的 MATLAB 实现	21
小结	22
习题	23
第 2 章 连续时间系统的时域分析	25
2.1 连续时间系统的描述——微分方程的建立	25
2.1.1 线性时不变系统	25
2.1.2 连续时间系统的描述——微分方程的建立	26
2.2 连续时间系统的时域数学模型——微分方程的求解	27
2.2.1 微分方程的求解方法	27
2.2.2 零输入响应和零状态响应	30
2.3 连续时间系统的冲激响应和阶跃响应	32
2.3.1 冲激响应	32
2.3.2 阶跃响应	34
2.3.3 冲激响应和阶跃响应的关系	35
2.4 卷积及其性质	35
2.4.1 连续信号的卷积	36
2.4.2 卷积积分性质	37
2.4.3 卷积的应用——系统的零状态响应	38

2.4.4 卷积积分的计算	38
2.5 用 MATLAB 进行连续时间系统时域分析	42
2.5.1 用 MATLAB 解微分方程	42
2.5.2 用 MATLAB 计算冲激响应	44
2.5.3 用 MATLAB 计算阶跃响应	45
2.5.4 用 MATLAB 计算卷积	45
小结	46
习题	46
第 3 章 离散时间系统的时域分析	49
3.1 离散时间系统的时域数学模型——差分方程	49
3.1.1 线性时不变离散时间系统	49
3.1.2 LTI 离散时间系统的数学模型——差分方程的建立	50
3.2 离散时间系统的时域分析——差分方程的求解	51
3.2.1 差分方程求解的常用方法	51
3.2.2 常系数差分方程时域经典求解法(时域解析法)	51
3.2.3 零输入响应和零状态响应(全响应法)	54
3.2.4 单位样值响应	57
3.3 卷积和	58
3.3.1 离散时间信号分解与卷积和定义	58
3.3.2 卷积和的性质	59
3.3.3 卷积和的运算	59
3.4 用 MATLAB 进行离散时间系统的时域分析	63
3.4.1 用 MATLAB 求解差分方程	63
3.4.2 用 MATLAB 计算离散时间系统差分方程的单位样值响应	66
3.4.3 用 MATLAB 的卷积计算零状态响应	66
小结	67
习题	68
第 4 章 连续时间信号与系统的频域分析	70
4.1 周期信号的傅里叶分析	70
4.1.1 周期信号表示为正弦信号的线性组合	70
4.1.2 周期信号的傅里叶级数	71
4.1.3 典型周期信号的频谱	73
4.2 非周期信号的傅里叶变换	75
4.2.1 从傅里叶级数到傅里叶变换	75
4.2.2 典型非周期信号的傅里叶变换	77
4.3 傅里叶变换的性质	80
4.3.1 线性	80
4.3.2 对称性	80
4.3.3 尺度变换特性	81

4.3.4	时移特性	82
4.3.5	频移特性	83
4.3.6	时域卷积定理	83
4.3.7	频域卷积定理	84
4.4	周期信号的傅里叶变换	85
4.4.1	正弦和余弦信号的傅里叶变换	85
4.4.2	一般周期信号的傅里叶变换	85
4.4.3	周期单位冲激串的傅里叶变换	86
4.5	系统的频域分析	87
4.5.1	系统的频率响应	87
4.5.2	信号的不失真传输条件	89
4.5.3	理想低通滤波器	91
4.6	连续时间信号的时域抽样	92
4.6.1	时域抽样定理	93
4.6.2	信号的内插恢复	95
4.7	用 MATLAB 进行连续时间信号与系统的频域分析	96
4.7.1	用 MATLAB 求解典型周期信号的频谱	96
4.7.2	用 MATLAB 求解典型非周期信号的傅里叶变换	97
	小结	99
	习题	99
第 5 章	连续时间信号与系统的复频域分析	102
5.1	连续时间信号的拉普拉斯变换	102
5.1.1	拉普拉斯变换的定义	102
5.1.2	常用信号的拉氏变换及收敛域	104
5.2	拉普拉斯变换的基本性质	104
5.2.1	线性	105
5.2.2	时移特性	105
5.2.3	s 域平移特性	106
5.2.4	尺度变换	106
5.2.5	时域微分	106
5.2.6	时域积分	107
5.2.7	时域卷积定理	107
5.3	拉普拉斯逆变换	108
5.3.1	直接计算法	108
5.3.2	部分分式展开法	108
5.4	应用拉普拉斯变换分析线性电路	112
5.4.1	应用拉普拉斯变换求解微分方程	112
5.4.2	电路元件的复频域模型	112
5.4.3	线性电路的复频域分析	114

5.5	系统函数	114
5.5.1	系统函数的定义	114
5.5.2	连续时间系统的三种描述方式	115
5.5.3	用系统函数计算系统的零状态响应	116
5.5.4	系统函数的零极点图	116
5.5.5	由系统函数的零极点分布确定时域特性	117
5.6	系统的稳定性	120
5.6.1	时域判别法	120
5.6.2	s 域判别法	121
5.7	系统的频率响应	122
5.8	用 MATLAB 进行连续时间信号与系统的复频域分析	123
5.8.1	用 MATLAB 求解信号的拉氏变换	123
5.8.2	用 MATLAB 求解信号的拉氏逆变换	124
5.8.3	用 MATLAB 绘制系统的零极点图	126
5.8.4	由系统函数计算系统频率特性的 MATLAB 实现	127
	小结	128
	习题	128
第 6 章	离散时间信号与系统的复频域分析—— z 变换	131
6.1	z 变换的定义	132
6.1.1	抽样信号的拉氏变换	132
6.1.2	z 变换的定义	132
6.1.3	单边 z 变换的收敛域	133
6.2	常用序列的 z 变换	133
6.3	z 变换的性质	134
6.3.1	线性	134
6.3.2	移位性质	134
6.3.3	z 域微分性质	135
6.3.4	时域卷积定理	135
6.4	逆 z 变换	136
6.4.1	变换对对比法	136
6.4.2	幂级数展开法(长除法)	136
6.4.3	部分分式展开法	137
6.5	离散系统的 z 域分析	138
6.5.1	应用 z 变换求解差分方程	138
6.5.2	离散系统的系统函数	139
6.5.3	离散时间系统的稳定性	140
6.5.4	离散系统的频域分析	142
6.6	数字滤波器	143
6.6.1	数字滤波器的概念	143

6.6.2 IIR滤波器	144
6.6.3 FIR滤波器	145
6.7 用 MATLAB 进行 z 域分析	146
6.7.1 用 MATLAB 求 z 变换	146
6.7.2 用 MATLAB 求 z 逆变换	147
6.7.3 用 MATLAB 计算频率响应	149
小结	149
习题	150
附录 1 MATLAB 简介	152
附 1.1 MATLAB 简介	152
附 1.1.1 MATLAB 特点	152
附 1.1.2 MATLAB 6. x 的集成环境	153
附 1.2 MATLAB 的数值计算	155
附 1.2.1 MATLAB 的变量与表达式	155
附 1.2.2 矩阵的创建	158
附 1.2.3 MATLAB 常用的矩阵运算函数	160
附 1.2.4 多项式及其运算	161
附 1.3 MATLAB 程序设计	162
附 1.3.1 M 文件	162
附 1.3.2 程序流程控制	164
附 1.4 MATLAB 的符号运算	169
附 1.4.1 符号表达式和符号矩阵的创建	170
附 1.4.2 符号表达式和符号矩阵的运算	171
附 1.4.3 符号表达式的化简和展开	172
附 1.4.4 方程求解	173
附 1.5 MATLAB 图形绘制	173
附 1.5.1 绘制二维图形	173
附 1.5.2 二维图形的修饰	175
附 1.5.3 三维图形的绘制	176
附录 2 常用信号傅里叶变换表	177
附录 3 常用信号单边拉普拉斯变换表	179
附录 4 常用信号单边 z 变换表	180
附录 5 常用数学公式	181
参考文献	182

第 1 章

信号与系统的基本概念

本章首先从生活和工程中的实例入手，介绍信号与系统课程要解决的问题。然后，分别介绍信号的基本概念及其分类、基本信号、系统的基本概念、系统的数学模型以及系统对信号的运算和系统的性质。通过本章的学习，读者应建立起信号与系统的总体概念和数学语言的描述方法，为后续章节的学习奠定基础。

1.1 引言

信号与系统的概念其实对于每个人并不陌生，在生活和工作中有很多例子都属于信号与系统的范畴。

当驾驶着汽车在公路上奔驰时，要做的事情就是踩油门、拉换速杆、掌握方向盘，而汽车就会根据这些动作前进或停止、加速或减速、拐弯或直行。这辆汽车就是一个把操作指令变成行驶状态的系统。在这里，各种操作就是加到汽车系统上的输入信号，汽车运行的方向和速度就是经汽车系统处理后的输出信号。

当一束白光射入三棱镜时，就可以看到美丽的七色光谱。此时，三棱镜就是一个处理光信号的系统，白光就是输入的光信号，被三棱镜分解出来红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种不同的光就是系统的输出信号。

一个由电阻、电感和电容组成的电路就是一个电系统。电压源的电压或电流源的电流就是一个给定的输入信号，该电路的每个元件上的电压和电流就是对这个输入信号作出响应的输出信号。

我们每天使用的电话是一个传输声音信号的通信系统。通信系统的一般模型如图 1.1 所示。其中转换器是指把声音转换为电信号或者把电信号转换为声音的装置，如话筒和喇叭。信道是指电信号传输的通道，在有线电话中它是一对导线，在无线电话中它是电磁波传播的空间和通信卫星等。在电话通信系统中，声音信号变换为电信号后经发射机以电磁波的形式通过信道传输给接收端，接收端的转换器再把传过来的电信号转换为声音信号。

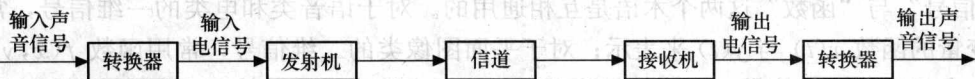


图 1.1 通信系统的组成

上述各种信号与系统都具有两个基本的共同点：一是包含物理对象性质的信息都是用信号来表现的，二是系统总是对给定的信号进行处理并作出响应而产生出另外的信号。信号与系统是紧密关联的整体，其中信号是主体，系统则是传输或处理信号的手段。离开了信号，

系统将失去存在的意义。

信号与系统分析就是要将各种不同领域的信号与系统问题抽象为理想化的模型,用最简洁的数学语言去描述、分析、计算它们,以便使我们认识和掌握其内在的规律。信号的数学描述可以用时间的函数 $x(t)$ 与 $y(t)$ 来表示,而系统的作用就是把输入信号 $x(t)$ 变换成需要的输出信号 $y(t)$,那么系统的数学描述就是 $y(t)$ 与 $x(t)$ 的代数方程或微(差)分方程。

有些信号是随时间连续变化的,例如电路中的电压电流就是在每个时间点都取值的连续时间信号。而另一些仅仅在离散时间点上取值,例如股票市场的收盘值(即每天停业前的值)就是每隔 24 小时取一个数据的离散时间信号。对这两类信号以及系统采用两种不同的分析路线,即连续时间信号与系统分析和离散信号与系统分析。近几十年来,由于集成电路、计算机软硬件技术的发展,使连续时间信号与系统分析和离散信号与系统分析日益交织在一起,把连续的信号取样为离散信号后用计算机处理的混合系统越来越多。因此,本书以并行的方式来讨论这两类信号与系统。

本课程最终要对所建立的信号与系统的数学表达式进行计算和求解,其内容涉及代数方程和微分方程的求解,傅里叶变换、拉普拉斯变换、 z 变换的计算,时域的波形图和频域的频谱图绘制等。这些繁琐的工作可以由 MATLAB 工程计算软件来完成。本书在附录中提供了 MATLAB 的入门知识,在正文的每一章里都提供了与课程对应的具体的 MATLAB 应用实例。这些 MATLAB 实例在帮助学生轻松计算和解题的同时,又可以使学生循序渐进地掌握一种实用的计算机软件。建议在使用 MATLAB 之前先按文中提示阅读附录中相关的内容,再学习各章的最后一节的 MATLAB 应用实例。

本书仅研究信号与系统分析的基本概念和基本分析方法,以便为读者进一步学习和研究信号处理等问题打下基础。

1.2 信 号

信号是信息的物理表现形式,或说是传递信息的函数,而信息则是信号的具体内容。例如,交通红绿灯是信号,它传递的信息是:红灯停,绿灯行。物理系统输出的信号反映了该系统全部或部分行为特征,因此又可以说信号是物理系统的表现形式。例如,RC 电路的输出信号代表了电路对输入信号的微分或积分处理行为。

从数学的观点来说,信号都是自变量的函数。对于目前所知物理系统的信号,其自变量可以是时间、频率、空间。在信号分析中,最基本的自变量是时间和频率。称“数学函数”是为了突出变量间的数学描述和运算关系,称“信号”则是为了突出其物理属性。在本书中,“信号”与“函数”这两个术语是互相通用的。对于语音类和电类的一维信号,常用时间自变量的函数 $x(t)$ 与 $y(t)$ 来表示;对于平面图像类的二维信号,常用函数 $f(x, y)$ 来表示。本书只讨论一维信号。一维信号除可以用解析表达式描述之外,还常用波形图来形象直观的描述。随着本课程的逐步深入,将会看到信号还可以用其各种变换(如傅里叶变换、拉普拉斯变换和 z 变换)来描述。

根据表现形式的不同,信号可以是电的、磁的、声的、光的、热的和机械的等。在各种信号中,电信号是最便于传输、控制与处理的信号,而且许多非电信号(如温度、压力、声音、

转速等)都可以由相应的传感器(转换器)变换为电信号。因此,研究电信号具有普遍的、重要的意义。在本书中,除非特别说明,我们都把信号视为随时间 t 变化的电压或电流信号。

1.2.1 信号的分类

为便于对信号进行数学描述,工程中根据信号的行为特征对信号进行分类。有了信号的分类,就能对信号进行正确的分析,就可以有目的地选择信号处理方法,从而设计出工程技术所要求的信号处理系统。因此,信号分类是确定信号处理方法和技术的基本条件。

1. 确定性信号与随机信号

如果信号可以用确定的数学表达式来表示,或用确定的信号波形来描述,则称此类信号为确定性信号。对于确定性信号,只要给定某一时间,就可以确定一个相应的函数值。例如我们熟知的正弦信号 $\sin(t)$ 、指数信号 e^{-at} 等都是确定性信号。

随机信号不是一个确定的时间函数,对于某一时刻,信号值无法确定,只能知道它取某一值的概率。随机信号也是工程中的一类应用广泛的信号。例如,在语音通信中,接收者不能预先确知对方发送的内容,否则就失去了通信的意义。另外,在通信传输中引入的各种干扰,海面上浪的起伏等也是随机的。本书只讨论确定性信号。

2. 连续时间信号与离散时间信号

若 t 是定义在时间轴上的连续自变量,那么,我们称 $x(t)$ 为连续时间信号,又称模拟信号。图1.2所示是连续时间信号。

如果一个信号只在某些时间点上才有意义,则这种信号称为离散时间信号。注意“某些时间点上才有意义”是说在两个时间点之间不存在信号。离散时间信号一般用序列 $x[n]$ 来表示,其中 n 取整数。图1.3所示为离散时间信号。

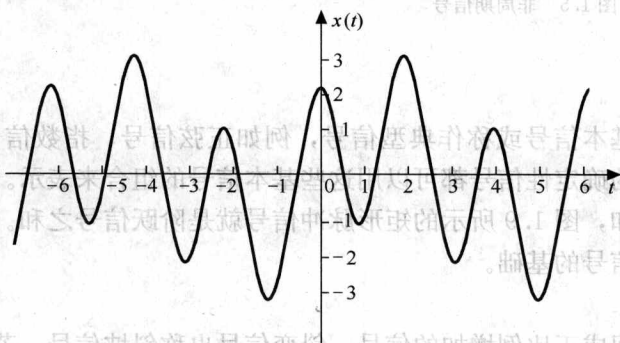


图 1.2 连续时间信号

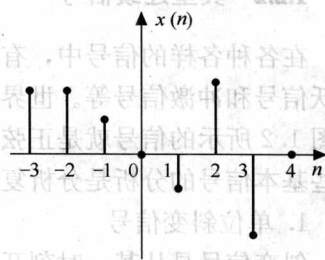


图 1.3 离散时间信号

3. 周期信号与非周期信号

若信号按照一定的时间间隔 T 周而复始且无始无终,则称此类信号为周期信号。周期信号的表达式可以写为

$$x(t) = x(t + nT) \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots (\text{任意整数}) \quad (1-1)$$

上式中 nT 称为 $x(t)$ 的周期,而满足关系式(1-1)的最小 T 值则称为信号的基本周期。为叙述方便,如不作特别强调,今后我们将把“基本周期”简称为“周期”。周期信号的定义域虽然是 $(-\infty, \infty)$ 时间范围,但一个周期时间内的波形就已经完整、准确地提供

了其随时间变化的信息特征：振幅、周期、初相、变化快慢等。所以只要给出其在一个周期内的变化过程，便可知道该信号在任意时刻的信号值。

周期信号是由振动、旋转等物理现象产生的，它是以无限、持续的时间波形出现的。虽然这种理想状况在现实中几乎不存在，但周期信号具有很好的特性，是信号频域分析的基础，所以是本课程涉及的非常重要的一类信号。

若信号在时间上不具有周而复始的特性，或者说信号的周期趋于无限大，则此类信号称为非周期信号。图 1.4 所示为周期信号的例子，图 1.5 所示为非周期信号的例子。

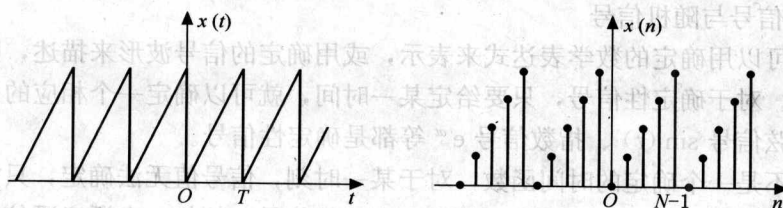


图 1.4 周期信号

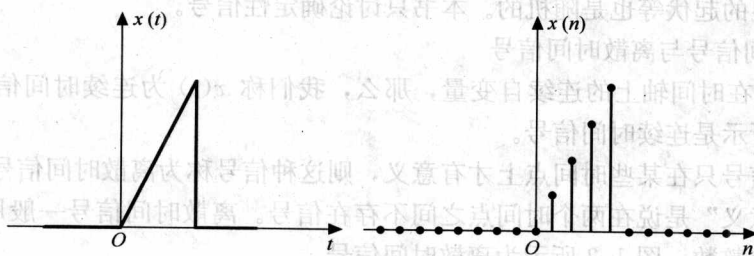


图 1.5 非周期信号

1.2.2 典型连续信号

在各种各样的信号中，有一些是基本信号或称作典型信号，例如正弦信号、指数信号、阶跃信号和冲激信号等。世界上所有的确定性信号都可以用这些基本信号的组合来表示。例如图 1.2 所示的信号就是正弦信号之和，图 1.9 所示的矩形脉冲信号就是阶跃信号之和。对这些基本信号的分析是分析复杂实际信号的基础。

1. 单位斜变信号

斜变信号是从某一时刻开始随时间成正比例增加的信号。斜变信号也称斜坡信号。若斜变信号增长的变化率为 1，斜变的起始点发生在 $t=0$ 时刻，就称其为单位斜变信号，其数学表达式为

$$r(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & t \geq 0 \end{cases} \quad (1-2)$$

其波形如图 1.6 所示。

2. 单位阶跃信号

单位阶跃信号 $u(t)$ 的函数表达式为

$$u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t \geq 0 \end{cases} \quad (1-3)$$

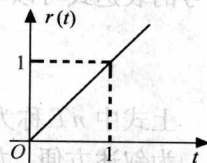


图 1.6 单位斜变信号

其波形如图 1.7 (b) 所示。

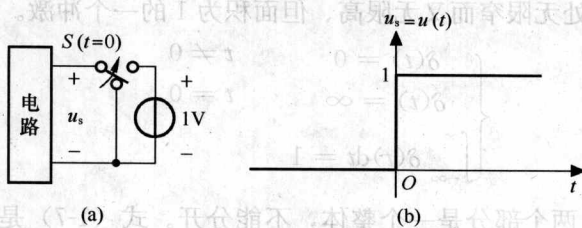


图 1.7 单位阶跃信号

单位阶跃函数是对某些物理对象从一个状态瞬间突变到另一个状态的描述。如图 1.7 (a) 所示, 在 $t=0$ 时刻对某一电路接入 1V 的直流电压源, 并且无限持续下去。这个电路获得电压信号的过程就可以用单位阶跃函数来描述。如果接入电源的时间推迟到 $t=t_0$ 时刻 ($t_0>0$), 如图 1.8 (a) 所示, 就可以用一个延时的单位阶跃函数来表示

$$u(t-t_0) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ 1 & t \geq t_0 \end{cases} \quad (1-4)$$

其波形如图 1.8 (b) 所示。

用阶跃函数的组合可以表示分段信号。例如波形如图 1.9 所示的脉冲宽度为 τ 的单位矩形脉冲信号可以用阶跃信号的组合表示为: $g_\tau(t) = u(t+\tau/2) - u(t-\tau/2)$ 。

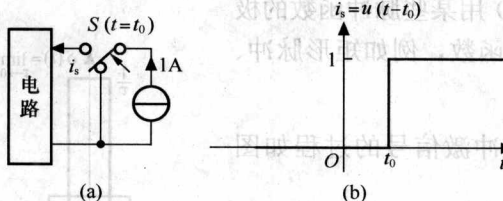


图 1.8 延迟 t_0 的单位阶跃信号

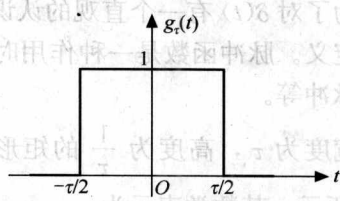


图 1.9 单位矩形脉冲信号

单位斜变信号 $r(t)$ 与单位阶跃信号 $u(t)$ 之间有下列微积分的关系:

$$r(t) = \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau \quad \frac{dr(t)}{dt} = u(t) \quad (1-5)$$

3. 符号函数

符号函数记作 $\text{sgn}(t)$, 其定义为

$$\text{sgn}(t) = \begin{cases} 1 & t > 0 \\ -1 & t < 0 \end{cases} \quad (1-6)$$

其波形如图 1.10 所示。

符号函数也可以用阶跃函数来表示, 即 $\text{sgn}(t) = 2u(t) - 1$ 。

4. 单位冲激信号

单位冲激信号又可称为冲激函数、狄拉克函数等, 记为 $\delta(t)$ 。单位冲激信号反映一种持续时间极短、函数值极大的信号类型。如雷击闪电、短促而强烈的干扰信号、瞬间作用的冲击力等。

(1) 定义

这种特殊的函数, 其定义也是特殊的。下面提供两种定义方法。

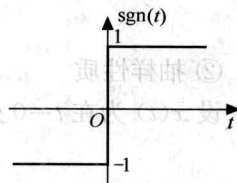


图 1.10 符号函数的波形