



“十二五”普通高等教育  
本科国家级规划教材



普通高等教育  
电气工程与自动化类  
规划教材

SIGNAL ANALYSIS AND PROCESSING

# 信号分析与处理

第3版

赵光宙 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
普通高等教育电气工程与自动化类规划教材

# 信号分析与处理

第3版

赵光宙 主编

机械工业出版社

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是教育部“面向21世纪电气信息类专业人才培养方案及教学内容体系改革研究与实践”项目的重要成果，是在原普通高等教育“十五”国家级规划教材和普通高等教育电气工程与自动化类规划教材《信号分析与处理》第2版的基础上修订而成的。

本书以连续、离散两条线，从时域、频域、复频域三个讨论域介绍信号分析、处理的基本概念、原理、技术、方法。本书以信号为主，与以系统为主的《自动控制理论》教材有较好的分工和衔接，共同构成关于信号与系统的较完整的工程科学基础。全书的内容包括：信号基本知识、连续信号的分析、离散信号的分析、信号处理基础、模拟和数字滤波器、随机信号分析与处理基础。书中内容力求简明扼要，叙述深入浅出，尽量体现物理意义，每部分还引入相应的 MATLAB 工具，便于读者实现计算机仿真学习。

本书主要面向自动化类、电气类专业本科生，也适用于机械类、仪器类等其他非电子信息类专业，还可作为相关领域科技工作者的参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

信号分析与处理/赵光宙主编. —3版. —北京:  
机械工业出版社, 2016.7

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 普通  
高等教育电气工程与自动化类规划教材  
ISBN 978-7-111-53415-0

I. ①信… II. ①赵… III. ①信号分析-高等学校-  
教材②信号处理-高等学校-教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 066115 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑: 于苏华 责任编辑: 于苏华 王 荣 刘丽敏  
责任印制: 常天培 责任校对: 刘秀丽 程俊巧  
北京京丰印刷厂印刷  
2016 年 7 月第 3 版·第 1 次印刷  
184mm×260mm·26.75 印张·655 千字  
标准书号: ISBN 978-7-111-53415-0  
定价: 49.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379469

网络服务

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

# 全国高等学校电气工程与自动化系列教材 编 审 委 员 会

主任委员 汪槩生 浙江大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王兆安 西安交通大学

王孝武 合肥工业大学

田作华 上海交通大学

刘 丁 西安理工大学

陈伯时 上海大学

郑大钟 清华大学

赵光宙 浙江大学

赵 曜 四川大学

韩雪清 机械工业出版社

委 员 (按姓氏笔画排序)

戈宝军 哈尔滨理工大学

王钦若 广东工业大学

吴 刚 中国科学技术大学

张纯江 燕山大学

张晓华 哈尔滨工业大学

邹积岩 大连理工大学

陈庆伟 南京理工大学

夏长亮 天津大学

萧蕴诗 同济大学

韩 力 重庆大学

熊 蕊 华中科技大学

方 敏 合肥工业大学

白保东 沈阳工业大学

张化光 东北大学

张 波 华南理工大学

杨 耕 清华大学

陈 冲 福州大学

范 瑜 北京交通大学

章 兢 湖南大学

程 明 东南大学

雷银照 北京航空航天大学



随着科学技术的不断进步，电气工程与自动化技术正以令人瞩目的发展速度，改变着我国工业的整体面貌。同时，对社会的生产方式、人们的生活方式和思想观念也产生了重大的影响，并在现代化建设中发挥着越来越重要的作用。随着与信息科学、计算机科学和能源科学等相关学科的交叉融合，它正在向智能化、网络化和集成化的方向发展。

教育是培养人才和增强民族创新能力的基础，高等学校作为国家培养人才的主要基地，肩负着教书育人的神圣使命。在实际教学中，根据社会需求，构建具有时代特征、反映最新科技成果的知识体系是每个教育工作者义不容辞的光荣任务。

教书育人，教材先行。机械工业出版社几十年来出版了大量的电气工程与自动化类教材，有些教材十几年、几十年长盛不衰，有着很好的基础。为了适应我国目前高等学校电气工程与自动化类专业人才培养的需要，配合各高等学校的教学改革进程，满足不同类型、不同层次的学校在课程设置上的需求，由中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科教学委员会、中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会、机械工业出版社共同发起成立了“全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会”，组织出版新的电气工程与自动化类系列教材。这套教材基于“**加强基础，削枝强干，循序渐进，力求创新**”的原则，通过对传统课程内容的整合、交融和改革，以不同的模块组合来满足各类学校特色办学的需要。并力求做到：

**1. 适用性：**结合电气工程与自动化类专业的培养目标、专业定位，按技术基础课、专业基础课、专业课和教学实践等环节，进行选材组稿。对有的具有特色的教材采取一纲多本的方法。注重课程之间的交叉与衔接，在满足系统性的前提下，尽量减少内容上的重复。

**2. 示范性：**力求教材中展现的教学理念、知识体系、知识点和实施方案在本领域中具有广泛的辐射性和示范性，代表并引导教学发展的趋势和方向。

**3. 创新性：**在教材编写中强调与时俱进，对原有的知识体系进行实质性的改革和发展，鼓励教材涵盖新体系、新内容、新技术，注重教学理论创新和实践创新，以适应新形势下的教学规律。

**4. 权威性：**本系列教材的编委由长期工作在教学第一线的知名教授和学者组成。他们知识渊博，经验丰富。组稿过程严谨细致，对书目确定、主编征集、资料申报和专家评审等都有明确的规范和要求，为确保教材的高质量提供了有力保障。

此套教材的顺利出版，先后得到全国数十所高校相关领导的大力支持和广大骨干教师的积极参与，在此谨表示衷心的感谢，并欢迎广大师生提出宝贵的意见和建议。

这套教材的出版如能在转变教学思想、推动教学改革、更新专业知识体系、创造适应学生个性和多样化发展的学习环境、培养学生的创新能力等方面收到成效，我们将会感到莫大的欣慰。

言 前

全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会

汪植生 陈永刚 郑大钟

本书在编写过程中，浙江大学本科教材编审委员会给予了大力支持，提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，参考了国内外许多优秀的教材和有关文献，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

本书是教育部颁布的“十五”国家级规划教材，自出版以来，深受广大师生和科研工作者的欢迎。本书又被列入“‘十二五’普通高等教育本科国家级规划教材”出版计划，为适应高等工程教育的新发展，这次修订工作按照“十二五”国家级规划教材出版计划进行。

## 前 言

被列入“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”的本书第2版从2006年出版至今，已经过11次印刷，发行45000余册，被许多学校相关专业采用，受到广大师生和科研工作者的欢迎。本书又被列入“‘十二五’普通高等教育本科国家级规划教材”出版计划，为适应高等工程教育的新发展，这次修订工作按照“十二五”国家级规划教材出版计划进行。

2012年教育部颁布的新本科专业目录中，将原电气信息类专业拆分成电气类、自动化类、电子信息类专业，进一步细化了强、弱电类专业之间的关系。作为这几类专业都需要学习和掌握的信号类课程，也需要细化这两类专业对信号知识的需求，这正是2000年开始编写本书时的初衷，诚如本书第1版前言所述，本书是适应电气工程与自动化类专业（或电气工程及其自动化专业和自动化专业）及其他非电子信息类相关专业的需要而编写的，有别于电子信息类专业所用的《信号与系统》和《数字信号处理》等教材。

这次教材的修订工作除了仔细订正了第2版中的一些错漏外，在广泛听取反馈意见的基础上，主要做了以下修订和调整：

1. 仍然从电气类、自动化类及其他非电子信息类专业对信号知识的需求出发，基本保持了原书的框架，即紧紧抓住信号这条主线，重点介绍信号分析、处理的基本原理和方法，弱化系统分析、设计的内容，以避免与其他课程的内容重叠。

2. 第二章离散信号的分析在原理、方法等方面都较重要，本次修订又重新做了较多调整。

3. 对第五章随机信号分析与处理基础的内容做了适当调整，在第四节中突出了非平稳随机信号的分析与处理方法。

4. 鉴于MATLAB信号处理工具箱及Simulink仿真软件包已经成为信号分析处理的重要工具，在附录中简要介绍了该工具箱，使初次接触MATLAB的读者能快速了解和掌握MATLAB的使用方法。本书在每章都引入了适合该章内容的MATLAB工具，用于一些例题的分析解答，每章还都提供了上机练习题，可以通过上机练习快速加深对各章内容的理解，提高使用计算机进行信号分析处理的能力。

5. 每章后面还给出了本章要点，便于读者对本章基本内容和重点内容的把握，也有利于读者对信号分析处理内容的梳理。

在本书修订过程中，浙江大学齐冬莲教授参与了方案讨论，提出了许多宝贵的意见；浙江理工大学熊卫华副教授提供了非平稳随机信号分析的一些材料；浙江大学宁波理工学院裘君副教授参与编写了附录及各章有关MATLAB的内容，并在图表绘制等方面付出了辛勤劳

动。作者在此深表感谢。本书修订过程中参阅了国内外许多学者的有关教材和著作，作者在此一并表示感谢。

经过本次修订，本书一定还会存在不少新的错漏和内容不妥之处，希望大家继续给以批评指正。

# 目 录

## 作 者

### 前 言

1	.....	第 1 章 绪论
1	.....	一、 绪论
1	.....	二、 绪论
4	.....	三、 绪论
4	.....	四、 绪论
2	.....	五、 绪论
7	.....	六、 绪论
8	.....	第 2 章 绪论
8	.....	一、 绪论
8	.....	二、 绪论
13	.....	三、 绪论
30	.....	四、 绪论
33	.....	五、 绪论
34	.....	六、 绪论
39	.....	七、 绪论
44	.....	八、 绪论
29	.....	九、 绪论
29	.....	十、 绪论
01	.....	十一、 绪论
15	.....	十二、 绪论
15	.....	十三、 绪论
14	.....	十四、 绪论
11	.....	十五、 绪论
80	.....	十六、 绪论
80	.....	十七、 绪论
84	.....	十八、 绪论
86	.....	十九、 绪论
94	.....	二十、 绪论
93	.....	二十一、 绪论
98	.....	二十二、 绪论

本书可作为高等院校自动化类专业及相关专业多学时课程的教学用书，也可供从事信号处理工作的工程技术人员参考。本书可作为高等院校自动化类专业及相关专业多学时课程的教学用书，也可供从事信号处理工作的工程技术人员参考。

# 目 录

序	
前言	
绪论	1
一、信号的概念	1
二、信号的分类	1
三、信号分析与处理概述	4
四、信号处理系统	4
五、自动化类专业开设信号类课程的特点	5
习题	7
第一章 连续信号的分析	8
第一节 连续信号的时域描述和分析	8
一、连续信号的时域描述	8
二、连续信号的时域运算	12
三、连续信号的时域分解	20
第二节 连续信号的频域分析	23
一、周期信号的频谱分析	24
二、非周期信号的频谱分析	33
三、傅里叶变换的性质	44
第三节 连续信号的复频域分析	59
一、信号的拉普拉斯变换	59
二、信号的复频域分析	67
第四节 信号的相关分析	72
一、相关系数	72
二、相关函数	74
三、相关定理	77
第五节 应用 MATLAB 的连续信号分析	80
一、连续时间信号描述	80
二、MATLAB 卷积运算	84
三、MATLAB 的傅里叶变换	86
四、MATLAB 的拉普拉斯变换	94
五、MATLAB 求相关函数	97
本章要点	98



习题	99
上机练习题	107
<b>第二章 离散信号的分析</b>	<b>109</b>
第一节 离散信号的时域描述和分析	109
一、信号的采样和恢复	109
二、时域采样定理	110
三、频域采样定理	113
四、离散信号的描述	115
五、离散信号的时域运算	119
第二节 离散信号的频域分析	125
一、周期信号的频域分析	125
二、非周期信号的频域分析	133
三、离散傅里叶变换 (DFT)	140
第三节 快速傅里叶变换 (FFT)	148
一、快速傅里叶变换的基本思路	148
二、基 2FFT 算法	150
三、FFT 的应用	154
第四节 离散信号的 $z$ 域分析	159
一、离散信号的 $Z$ 变换	159
二、 $Z$ 变换与其他变换之间的关系	172
第五节 应用 MATLAB 的离散信号分析	175
一、利用 MATLAB 进行离散信号描述	175
二、离散卷积的计算	179
三、离散信号的频域分析	180
四、快速傅里叶变换	181
五、离散信号 $Z$ 变换	184
本章要点	185
习题	186
上机练习题	188
<b>第三章 信号处理基础</b>	<b>190</b>
第一节 系统及其性质	190
一、系统的描述	190
二、系统的性质	191
第二节 信号的线性系统处理	195
一、时域法分析	195
二、频域法分析	203
三、复频域分析	210
第三节 解卷积 (逆滤波与系统辨识)	217
一、系统辨识问题	218
二、逆滤波问题	222
三、同态系统解卷积	225

090	第四节 数字信号处理技术 .....	227
091	一、数字信号处理的特点 .....	228
	二、数字信号处理的实现 .....	228
091	三、有限字长对实现数字信号处理的影响 .....	230
091	第五节 应用 MATLAB 的信号处理 .....	237
100	一、利用 MATLAB 的时域分析 .....	237
110	二、利用 MATLAB 的频域分析 .....	242
111	三、利用 MATLAB 的复频域分析 .....	246
112	四、利用 MATLAB 的系统辨识 .....	253
119	本章要点 .....	255
121	习题 .....	256
122	上机练习题 .....	259
	<b>第四章 滤波器</b> .....	261
148	第一节 滤波器概述 .....	261
148	一、滤波及滤波器的基本原理 .....	261
150	二、滤波器的分类 .....	262
154	三、滤波器的技术要求 .....	263
154	第二节 模拟滤波器 .....	265
159	一、概述 .....	265
175	二、巴特沃思 (Butterworth) 低通滤波器 .....	266
171	三、切比雪夫 (Chebyshev) 低通滤波器 .....	270
172	四、模拟滤波器的频率变换 .....	276
179	五、RC 有源滤波器 .....	280
180	第三节 数字滤波器 .....	282
181	一、概述 .....	282
184	二、无限冲激响应 (IIR) 数字滤波器 .....	283
182	三、有限冲激响应 (FIR) 数字滤波器 .....	293
182	第四节 应用 MATLAB 的滤波器设计 .....	299
188	一、模拟滤波器设计 .....	299
	二、数字滤波器设计 .....	308
190	本章要点 .....	317
190	习题 .....	318
191	上机练习题 .....	320
	<b>第五章 随机信号分析与处理基础</b> .....	321
201	第一节 随机信号的描述与分析 .....	321
203	一、随机信号及其概率结构 .....	321
210	二、随机信号在时域的数字特征 .....	323
212	三、随机信号的频域描述与分析 .....	330
218	第二节 随机信号通过线性系统的分析 .....	336
222	一、平稳随机信号通过连续系统 .....	336
222	二、平稳随机信号通过离散系统 .....	339

三、过渡过程分析 .....	342
第三节 最优线性滤波 .....	345
一、维纳滤波 .....	345
二、卡尔曼滤波 .....	349
三、自适应滤波 .....	357
第四节 非平稳随机信号的分析 .....	366
一、时-频域分析 .....	366
二、小波变换分析 .....	369
三、希尔伯特-黄变换分析 .....	376
第五节 应用 MATLAB 的随机信号分析、处理 .....	379
一、随机信号的描述 .....	379
二、随机信号的频谱分析 .....	380
三、随机信号通过线性系统分析 .....	382
四、利用 MATLAB 的卡尔曼滤波 .....	387
五、利用 MATLAB 的小波分析 .....	390
六、利用 MATLAB 进行维格纳变换 .....	391
七、利用 MATLAB 进行希尔伯特-黄变换 .....	393
本章要点 .....	396
习题 .....	397
上机练习题 .....	399
<b>附录 MATLAB 信号分析处理工具箱简介 .....</b>	<b>401</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>416</b>

# 绪 论

## 一、信号的概念

什么是信号?“信号”一词在人们的日常生活和社会活动中并不陌生,例如时钟报时声、汽车喇叭声、交通红绿灯、战场信号弹等,都是人们熟悉的信号。但是,要给信号下一个确切的定义,还必须先搞清它和信息、消息之间的联系。为此,先举一个人们通电话的例子。甲通过电话告诉了乙一个消息,如果这是一件乙事先不知道的事情,可以说乙从中得到了信息,而电话传输线上传送的是包含有甲的语言的电物理量。这里,语言是甲传递给乙的消息,该消息中蕴含有一定量的信息,电话传输线上变化的电物理量是运载消息、传送信息的信号。

可见,信息是指人类社会和自然界中需要传送、交换、存储和提取的内容。事物的一切变化和运动都伴随着信息的交换和传送。同时,信息具有抽象性,只有通过一定的形式才能把它表现出来。

人们把能够表示信息的语言、文字、图像、数据等称为消息。可见,信息是消息所包含的内容,而且是预先不知道的内容。人们所说的“这个讲座信息量大”或“那张报纸没有多少信息”就体现了消息和信息之间的关系。

一般情况下,消息不便于传送和交换,往往需要借助于某种便于传送和交换的物理量作为运载手段,我们把声、光、电等运载消息的物理量称为信号,它们通常是时间或空间的函数,所携带的消息则体现在它们的变化之中。在作为信号的众多物理量中,电信号是应用最广泛的物理量,因为它容易产生、传输和控制,也容易实现与其他物理量的相互转换。因此,我们通常所指的信号主要是电信号。

## 二、信号的分类

信号作为时间或空间的函数可以用数学解析式子表达,也可以用图形表示。我们观测到的信号一般是一个或一个以上独立变量的实值函数,具体地说,是时间或空间坐标的纯量函数。例如由语音转换得到的电信号,信号发生器产生的正弦波、方波等信号都是时间 $t$ 的函数 $x(t)$ ;一幅静止的黑白平面图像,由位于平面上不同位置的灰度像点组成,是两个独立变量的函数 $I(x, y)$ ;而黑白电视图像,像点的灰度还随时间 $t$ 变化,是三个独立变量的函

数  $I(x, y, t)$ 。具有一个独立变量的信号函数称为一维信号, 同样, 有二维信号、三维信号等多维信号。本书主要以一维信号  $x(t)$  为对象, 其中独立变量  $t$  根据具体情况可以是时间, 也可以是其他物理量。

根据信号所具有的时间函数特性, 可以分为确定性信号与随机信号、连续信号与离散信号、周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号, 现分述如下。

### 1. 确定性信号与随机信号

按确定性规律变化的信号称为确定性信号。确定性信号可以用数学解析式或确定性曲线准确地描述, 在相同的条件下能够重现, 因此, 只要掌握了变化规律, 就能准确地预测它的未来。例如正弦信号, 它可以用正弦函数描述, 对给定的任一时刻都对应有确定的函数值, 包括未来时刻。

不遵循确定性规律变化的信号称为随机信号。随机信号的未来值不能用精确的时间函数描述, 无法准确地预测, 在相同的条件下, 它也不能准确地重现。马路上的噪声、电网电压的波动量、生物电信号、地震波等都是随机信号。

### 2. 连续信号与离散信号

按自变量  $t$  的取值特点可以把信号分为连续信号和离散信号。连续信号如图 0-1a 所示, 它的描述函数的定义域是连续的, 即对于任意时间值其描述函数都有定义, 所以也称为连续时间信号, 用  $x(t)$  表示。离散信号如图 0-1b 所示, 它的描述函数的定义域是某些离散点的集合, 也即其描述函数仅在规定的离散时刻才有定义, 所以也称为离散时间信号, 用  $x(t_n)$  表示, 其中  $t_n$  为特定时刻。图 0-1b 表示的是离散点在时间轴上均匀分布的情况, 但也可以不均匀分布。均匀分布的离散信号可以表示为  $x(nT_s)$  或  $x(n)$ , 这时可称为时间序列。

离散信号可以是连续信号的抽样信号, 但不一定都是从连续信号采样得到的, 有些信号确实只是在特定的离散时刻才有意义, 例如人口的年平均出生率、纽约股票市场每天的道琼斯指数等。

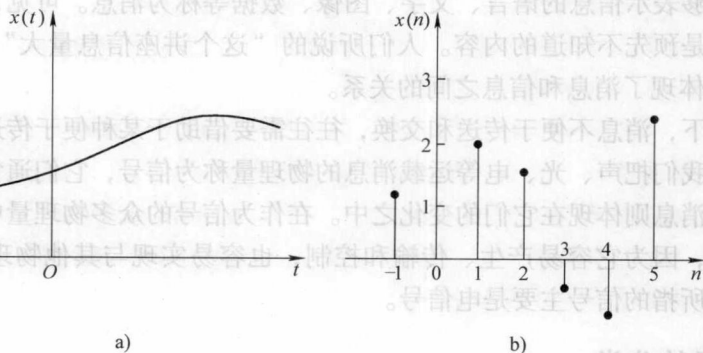


图 0-1 连续信号与离散信号

a) 连续信号 b) 离散信号

顺便指出, 连续信号只强调时间坐标上的连续, 并不强调函数幅度取值的连续, 因此, 一个时间坐标连续、幅度经过量化(幅度经过近似处理只取有限个离散值)的信号仍然是连续信号, 对应地, 把那些时间和幅度均为连续取值的信号称为模拟信号。显然, 模拟信号是



连续信号，而连续信号不一定是模拟信号。同理，时间和幅度均为离散取值的信号称为数字信号，数字信号是离散信号，而离散信号不一定是数字信号。

### 3. 周期信号与非周期信号

周期信号是依时间周而复始的信号。

对于连续信号，若存在  $T_0 > 0$ ，使

$$x(t) = x(t + nT_0) \quad n \text{ 为整数} \quad (0-1)$$

对于离散信号，若存在大于零的整数  $N$ ，使

$$x(n) = x(n + kN) \quad k \text{ 为整数} \quad (0-2)$$

则称  $x(t)$ 、 $x(n)$  为周期信号， $T_0$  和  $N$  分别为  $x(t)$  和  $x(n)$  的周期。显然，知道了周期信号一个周期内的变化过程，就可以确定整个定义域的信号取值。

不具有周期性质的信号就是非周期信号，它们一定不满足式(0-1)或式(0-2)。非周期信号也可以看作为周期是无穷大的周期信号，即在有限时间范围内其波形不重复出现。

### 4. 能量信号与功率信号

如果从能量的观点来研究信号，可以把信号  $x(t)$  看作是加在单位电阻上的电流，则在时间  $-T < t < T$  内单位电阻所消耗的信号能量为  $\int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$ ，其平均功率为  $\frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$ 。

信号的能量定义为在时间区间  $(-\infty, \infty)$  内单位电阻所消耗的信号能量，即

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt \quad (0-3)$$

而信号的功率定义为在时间区间  $(-\infty, \infty)$  内信号  $x(t)$  的平均功率，即

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt \quad (0-4)$$

若一个信号的能量  $E$  有界，则称其为能量有限信号，简称为能量信号。根据式(0-4)，能量信号的平均功率为零。仅在有限时间区间内幅度不为零的信号是能量信号，如单个矩形脉冲信号等。客观存在的信号大多是持续时间有限的能量信号。

另一种情况，若一个信号的能量  $E$  无限，而平均功率  $P$  为不等于零的有限值，则称其为功率有限信号，简称为功率信号。幅度有限的周期信号、随机信号等属于功率信号。

一个信号可以既不是能量信号，也不是功率信号，但不可能既是能量信号又是功率信号。

对于离散信号可以得出类似的定义和结论。

**例 0-1** 判断下列信号哪些属于能量信号，哪些属于功率信号。

$$x_1(t) = \begin{cases} A & 0 < t < 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$x_2(t) = A \cos(\omega_0 t + \theta) \quad -\infty < t < \infty$$

$$x_3(t) = \begin{cases} t^{-1/4} & t \geq 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

**解** 根据式(0-3)及式(0-4)，上述三个信号的  $E$ 、 $P$  分别可计算如下：

$$E_1 = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T A^2 dt = A^2 \quad P_1 = 0$$

$$E_2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T A^2 \cos^2(\omega_0 t + \theta) dt = \infty \quad P_2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{A^2}{2T} \int_{-T}^T \cos^2(\omega_0 t + \theta) dt = \frac{A^2}{2}$$

$$E_3 = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_1^T t^{-1/2} dt = \infty \quad P_3 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_1^T t^{-1/2} dt = 0$$

因此,  $x_1(t)$  为能量信号;  $x_2(t)$  为功率信号;  $x_3(t)$  既非能量信号又非功率信号。

### 三、信号分析与处理概述

信号是信息的载体, 为了有效地获取信息以及利用信息, 必须对信号进行分析与处理。可以说, 信号中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不同信号的特征, 从而了解其特性, 掌握它的变化规律。简言之, 就是从客观上认识信号。通常, 我们可以通过信号分析, 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, 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, 得到信号源特性、运行状况等信息, 这正是故障诊断的基础。

信号处理是指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号中所包含的有用信息, 采用一定的手段剔除原始信号中混杂的噪声, 削弱多余的内容, 这个过程就是最基本的信号处理过程。因此, 也可以把信号处理理解为为了特定的目的, 通过一定的手段去改造信号。

信号的分析 and 处理是互相关联的两个方面, 前者主要指认识信号, 后者主要指改造信号。它们的偏重面不同, 采取的手段也不同。但是, 它们又是密不可分的, 只有通过信号的分析, 充分了解信号的特性, 才能更有效地对它进行处理和加工, 可见信号分析是信号处理的基础。另一方面, 通过对信号的一定加工和变换, 可以突出信号的特征, 便于更有效地认识信号的特性。从这一意义上说, 信号处理又可认为是信号分析的手段。但是, 认识信号也好, 改造信号也好, 共同的目的都是为了充分地从中获取有用信息并实现对这些信息的有效利用。

信息时代的到来使信息科学技术渗透到社会活动、生产活动甚至日常生活的各个方面。作为信息科学技术的基础, 信号分析与处理原理及技术已经广泛地应用于通信、自动化、航空航天、生物医学、遥感遥测、语言处理、图像处理、故障诊断、振动学、地震学、气象学等各个科学技术领域, 成为各门学科发展的技术基础和有力工具。

### 四、信号处理系统

按对信号分析和处理方法的不同, 有模拟处理系统和数字处理系统两大类。

模拟信号处理系统输入模拟信号, 通过模拟元件 ( $R$ 、 $L$ 、 $C$  等) 和模拟电路构成的模拟系统的加工处理, 输出的仍然是模拟信号, 其基本形式如图 0-2 所示。人们常用的模拟滤波器是模拟信号处理系统最典型的例子。

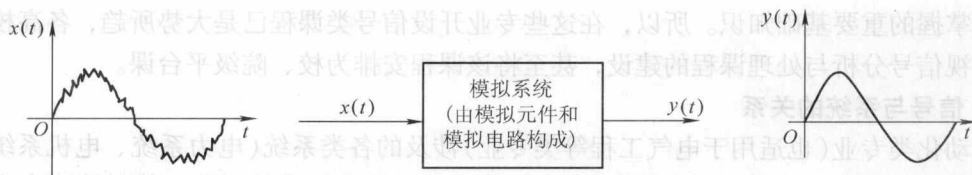


图 0-2 模拟信号处理系统框图

数字信号处理是 20 世纪 60 年代以后发展起来的技术，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(或专用数字装置)的运算功能代替模拟电路处理功能，达到信号加工、变换的目的。图 0-3 表示了数字信号处理系统的基本结构，系统首先通过模-数(A-D)转换把原始模拟信号转换成数字信号，当然，如果原始信号是离散时间信号，只要经过量化过程就能成为数字信号。数字系统是通用数字计算机或者专用数字硬件构成的系统，它按预先给定的程序对数字信号进行运算处理，处理结果是数字形式的。在一些情况下，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，为了得到模拟信号输出，将数字信号经过数-模(D-A)转换即可。



图 0-3 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和处理，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、稳定性好等优点，并且随着大规模集成电路技术的不断发展，处理的实时性不断得到提高。可以说，数字信号处理是信号处理的发展趋势，特别是一些复杂的信号处理任务更是如此。

微电子技术和计算机硬件技术的发展为数字信号处理提供了必要的物质基础。但是，由于数字信号处理的核心是处理算法，因此，我们不能不提到库利(J. W. Cooley)和图基(J. W. Tukey)在 1965 年发明的一种快速傅里叶变换(FFT)算法，它的出现使数字信号处理的速度提高了几个数量级，真正开创了数字信号处理的新时代。随后，在大规模集成电路技术以及处理算法的进一步发展和推动下，数字信号处理得到了迅猛发展和广泛应用，各种专用器件和设备不断涌现，特别是 20 世纪 80 年代推出了高速数字信号处理(DSP)芯片，极大地提高了信号处理能力，并使设计开发工作简单易行，是数字信号处理技术发展的又一个里程碑。

## 五、自动化类专业开设信号类课程的特点

过去认为信号类课程是通信、信息电子等弱电类专业的专业课程，实际上是一种偏见。随着以信号分析与处理为基础的信息科学与技术人们的经济活动、社会生活等方面所产生的影响力越来越大，它已经成为从事自动化类、电气类、仪器类、机械类等领域的科技人员