



新世纪高职高专
应用电子技术专业系列规划教材

DSP原理与实训指导

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主编 喻宗泉

大连理工大学出版社



新世纪高职高专应用电子技术专业系列规划教材

DSP 原理与实训指导

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主 编 喻宗泉

参 编 代淑芬 李彩娜 马政芳 王环坤 喻 晗



DSP YUANLI YU SHIXUN ZHIDAO

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

DSP原理与实训指导/喻宗泉主编. —大连:大连理工大学出版社,2008.10

(新世纪高职高专应用电子技术专业系列规划教材)

ISBN 978-7-5611-4207-3

I. D… II. 喻… III. 数字信号—信号处理—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 156004 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:14 字数:309 千字

印数:1~3000

2008 年 10 月第 1 版

2008 年 10 月第 1 次印刷

责任编辑:潘弘喆 吴媛媛

责任校对:王 俊

封面设计:张 莹

ISBN 978-7-5611-4207-3

定 价:29.00 元

总序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了21世纪的门槛。

20世纪与21世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高职教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且唯一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走研究型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,它从专科层次起步,进而应用本科教育、应用硕士教育、应用博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高等职业教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)研究型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职高专教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高职高专教材编审委员会就是由全国100余所高职高专院校和出版单位组成的旨在以推动高职高专教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职高专教材的特色建设为己任,始终会从高职高专教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职高专教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的运作模式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职高专教学成果,探索高职高专教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职高专院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高职高专教材编审委员会在推进高职高专教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高职高专教材编审委员会

2001年8月18日

前 言

《DSP 原理与实训指导》是新世纪高职高专教材编审委员会组编的应用电子技术专业系列规划教材之一。

DSP 技术是一门涉及众多学科且以应用为主要特征的新型学科分支,它诞生于 20 世纪 60 年代,应信息处理的要求而发展起来,现在已经广泛应用于视频监控、专业音响、变形式数字音频、媒体网关、数字广播、激光打印等各个方面。

本教材特点是实训指导功能强,资料翔实,以应用为主,尽量避免繁杂的数学推导,以利读者自学。

本教材重点讨论 DSP 技术的基本原理与应用,全书共分 6 章:数字信号处理(DSP)基础知识;数字信号处理的基本算法;数字滤波器的原理与设计;TMS320 系列 DSP 芯片;DSP 系统;DSP 实训。其中,DSP 实训在书中有较大的篇幅,目的在于通过职业技能实训使读者学会 DSP 的使用方法。

本教材由喻宗泉任主编,参加编写的还有代淑芬、李彩娜、马政芳、王环坤和喻晗。其中喻晗编写第 1 章,喻宗泉编写第 2 章并统稿,王环坤编写第 3 章,李彩娜编写第 4 章,代淑芬编写第 5 章,马政芳编写第 6 章。

本教材可作为高职高专院校电子、电气、自动化、信息技术、机电、生物医学工程等专业的教材,也可作为各类 DSP 培训班的实训教材,还可作为各类工程技术人员、管理人员、开发人员学习 DSP 时的参考资料。



尽管我们在本教材的特色建设方面做了许多努力,但由于作者的水平有限,加之时间仓促,书中内容难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

所有意见和建议请发往:gzjckfb@163.com

欢迎访问我们的网站:<http://www.dutpgz.cn>

联系电话:0411-84707492 84706104

编者

2008年10月

第 1 章 数字信号处理(DSP)基础知识	1
1.1 信号	1
1.1.1 信息、消息和信号	1
1.1.2 信号的种类	2
1.1.3 连续时间信号和离散时间信号	5
1.2 信号的检测与处理	6
1.2.1 信号的检测	6
1.2.2 信号的处理	7
1.2.3 信号的频谱	11
1.3 系统	13
1.3.1 系统框图与分类	13
1.3.2 线性系统与非线性系统	14
1.3.3 时不变系统与时变系统	15
1.4 DSP 系统	16
1.4.1 DSP 系统的硬件结构	16
1.4.2 DSP 系统的性能	20
1.5 DSP 芯片	21
1.5.1 DSP 芯片的型号	21
1.5.2 DSP 芯片的发展	23
1.5.3 DSP 芯片的主要性能指标	24
1.6 小结	24
思考题	25
第 2 章 数字信号处理的基本算法	26
2.1 数字信号处理的一般程序	26
2.2 傅立叶变换的四种形式	27
2.2.1 连续时间信号与连续频率信号间的傅立叶变换	27
2.2.2 连续时间信号与离散频率信号间的傅立叶变换	28
2.2.3 离散时间信号与连续频率信号间的傅立叶变换	29
2.2.4 离散时间信号与离散频率信号间的傅立叶变换	29
2.3 离散信号的傅立叶变换	30

2.3.1 离散时间信号的傅立叶变换	30
2.3.2 周期序列的离散傅立叶级数 DFS	31
2.3.3 有限长序列的离散傅立叶变换 DFT	33
2.4 离散傅立叶变换的运算特征	34
2.4.1 周期性	35
2.4.2 线性	35
2.4.3 奇偶对称性	36
2.4.4 共轭对称性	37
2.4.5 时移特性和频移特性	38
2.4.6 频域卷积特性	38
2.5 DFT 的快速算法——快速傅立叶变换 FFT	41
2.5.1 FFT 的种类	41
2.5.2 FFT 算法设计思路	41
2.6 基-2FFT 算法	42
2.6.1 时域抽取法 FFT	42
2.6.2 频域抽取法 FFT	48
2.7 基-4FFT 算法	50
2.8 离散傅立叶反变换快速算法	51
2.9 小结	52
思考题	52
第3章 数字滤波器的原理与设计	53
3.1 数字信号在系统中的处理	53
3.2 IIR 数字滤波器的原理与设计	55
3.2.1 模拟滤波器的设计简介	55
3.2.2 IIR 数字滤波器的设计	59
3.3 FIR 数字滤波器的原理与设计	62
3.3.1 FIR 数字滤波器的原理	63
3.3.2 FIR 数字滤波器的设计	68
3.4 自适应滤波器	71
3.5 数字滤波器的 MATLAB 实现	72
3.5.1 MATLAB 语言简介	73
3.5.2 基于 MATLAB 语言的滤波器设计	75
3.5.3 用 MATLAB 设计 FIR 滤波器	78
3.5.4 用 MATLAB 设计 IIR 滤波器	81

3.6 小结	84
思考题	84
第4章 TMS320 系列 DSP 芯片	86
4.1 TMS320C2xx 系列 DSP	86
4.1.1 TMS320F206 的结构特点	86
4.1.2 TMS320F206 引脚与兼容性	87
4.1.3 片内资源	90
4.1.4 指令集	92
4.2 TMS320C3x 系列 DSP	98
4.2.1 TMS320C31 引脚与内部结构	98
4.2.2 寄存器与存储器	99
4.2.3 引导方式	101
4.2.4 中断与指令集	102
4.3 TMS320C5000 系列 DSP	105
4.3.1 TMS320C54x 功能和结构	105
4.3.2 TMS320C54x 的引脚说明	105
4.3.3 存储器	109
4.3.4 指令集	109
4.4 小结	117
思考题	117
第5章 DSP 系统	118
5.1 DSP 系统的基本组成	118
5.2 DSP 电路的硬件结构	119
5.2.1 时钟与复位	119
5.2.2 A/D 和 D/A 转换	124
5.2.3 电平转换与电源	133
5.2.4 串口	134
5.2.5 主机接口	147
5.3 DSP 系统的软件设计	149
5.3.1 汇编语言设计	149
5.3.2 汇编开发	151
5.4 DSP 系统的开发	161
5.4.1 DSP 开发工具	161
5.4.2 DSP 开发工具的使用	163

5.5 小结	179
思考题	179
第6章 DSP 实训	180
6.1 基于 DSP 芯片的实训	180
6.1.1 DSP 数据存取	180
6.1.2 DSP 汇编语言程序设计	185
6.1.3 DSP C 语言程序设计	189
6.2 基于 DSP 系统的实训	192
6.2.1 指示灯显示	192
6.2.2 拨码开关控制	195
6.2.3 定时与计数	197
6.3 基于 DSP 算法的实训	199
6.3.1 有限冲激响应滤波器(FIR)算法	199
6.3.2 无限冲激响应滤波器(IIR)算法	203
6.3.3 快速傅立叶变换(FFT)算法	208
6.4 交通灯综合控制实训	210
参考文献	214

数字信号处理 (DSP) 基础知识

第1章

数字信号处理的英文全称是 Digital Signal Processing, 简称 DSP。数字信号处理器的英文全称是 Digital Signal Processor, 也简称 DSP, 是一种数字信号处理芯片。

因此说到 DSP, 既可以理解为数字信号处理技术, 也可以理解为数字信号处理器。在不发生混淆的场合, 通常指数字信号处理技术而不是指数字信号处理器。在容易发生混淆的时候, 常用 DSP 技术和 DSP 芯片来区别。

本书中说到的 DSP, 在不加声明的场合, 指数字信号处理技术。

DSP 研究数字信号在产生、传送、存储过程中的处理方式、处理特征、处理手段。

本章介绍 DSP 的基础知识, 包括:

1. 什么是信号;
2. 什么是数字信号;
3. 什么是产生、传送、存储信号的系统;
4. 什么是产生、传送、存储数字信号的系统。

本章介绍的内容是本书的基础。在后面的章节中, 将陆续介绍 DSP 的基本算法、处理原理、DSP 芯片、DSP 系统及其相关的实训操作。

1.1 信号

1.1.1 信息、消息和信号

信息、消息和信号是三个相关联而又不同的概念。

信息是一种知识, 是客观事物表现出来的数据、指令、情报等方面的知识, 它与事物变化的环境密切相关。人类在征服自然、改造自然的社会活动中, 物质在时间、空间的变化演绎过程中, 社会在按其自身规律发展的过程中, 都会产生大量的信息。

有些信息是有用的, 有些信息是无用的。人类最基本的活动就是在谋求或改善生存环境中不间断地获取并利用信息。当代脑科学的研究进展表明: 人类的大脑是在长达 50 万年漫长而又激烈的自然选择和生死攸关的生存竞争中进化而来的, 它是高度非线性的、远离平衡的、永远开放的一种自适应系统。没有信息的获取分析、判断和利用, 就没有人类大脑的进化过程。

消息是信息的一种客观表达,是一种已经被人们知道了的信息,例如电视中的图像、广播中的新闻、测量仪测出的高度、电话中的声音等等。它们都是客观存在的,但传到人们的五官里,便成了信息。

信号是消息的物理量再现,例如人类熟知的电信号、声音信号、光信号等,信号是携带信息的物理量。

信号是一种物理量,具有传播与处理的属性。信息要想传播,一般不是直接进行,而是要借助信号的形式才能进行传输;信息要想进行处理,也不是直接进行,同样也要借助信号的形式进行处理。任何一个物理量,都可以借助数学工具精确或近似描述,信号也不例外,例如信号可用单变量函数、多变量函数、曲线、表格、图形等描述。

信号既然是物理量,那么它就可能随时间或空间发生变化。而信息作为知识的一种,被包含在这些物理量的变化中。

1.1.2 信号的种类

人们为了方便处理各种不同的信号,根据信号的变化规律,对信号进行了相应的分类。按照信号变化规律的不同属性,有不同的分类方法及不同的结果。

1. 模拟信号与数字信号

按照随时间的变化不同,信号被分成连续时间信号和离散时间信号。前者又称为模拟信号,后者又称为数字信号。图 1-1 和图 1-2 分别给出了几种不同的模拟信号和数字信号。

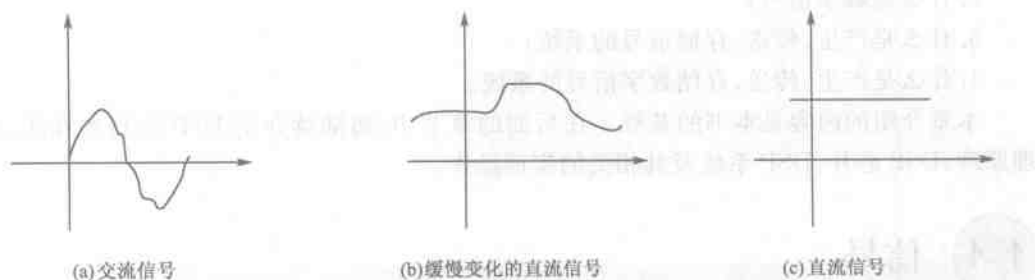


图 1-1 模拟信号

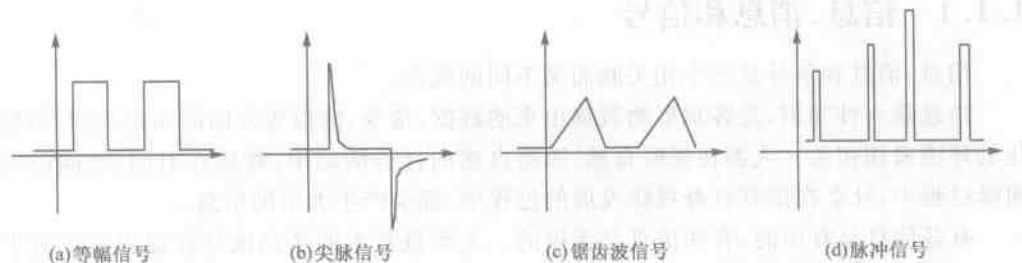


图 1-2 数字信号

模拟信号中有两种信号值得人们关注,这就是交流信号和缓慢变化的直流信号。交流信号中最常见的是正弦交流信号,市电电压电流、无线电信号、电视信号都属于这一类。

缓慢变化的直流信号广泛存在于工业自动化现场。工业生产过程中产生的流量、压力、温度等非电量,在经过传感器检测后,就可以转换成这一类电信号。模拟信号的典型特征就是一种连续变化的信号,在数学上可以用连续函数描述,图形上处处为光滑点、无间断。

产生、检测、转换、传送、处理、执行模拟电信号的技术就是模拟电子技术。

数字信号的特征是非连续性。在某一个时刻,信号会发生突然变化,突然升高或突然降低。在数字信号中最典型的是矩形波信号,又称为矩形波脉冲。电信号持续一段时间不变的电压被称为电平,矩形波脉冲由高电平和低电平交替形成。高低电平可以用二进制数的“1”和“0”来表示。如果用“1”表示高电平,那么“0”就表示低电平,由此二进制数广泛用于数字信号的表示及处理中。

2. 确定信号和随机信号

按照能否事先预知它的变化趋势,信号被分成确定信号和随机信号。确定信号如图1-3所示,随机信号如图1-4所示。

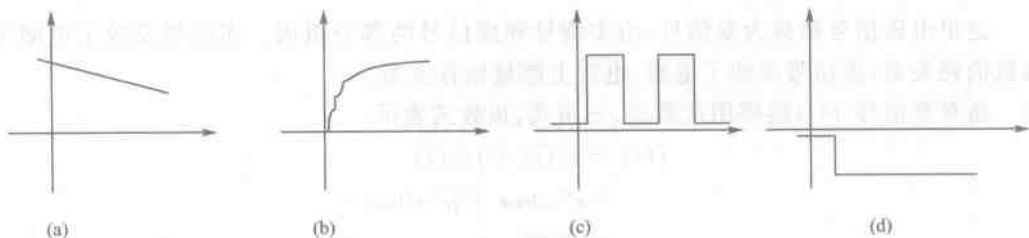


图 1-3 确定信号

确定信号是一种能用数学表达式描述的信号,其特征是在任一时刻,信号都有一个确定的数值。例如电容器充电或放电时,两端电压就是一个按指数规律变化的信号。又如一天24小时内气温的变化规律,中午的气温通常会高于半夜的气温。

随机信号是一种不能用数学表达式描述的信号,其特征是:任一时刻,信号是随机的,事先不可预测,因此它只能用统计方法描述。例如电视机中的干扰与噪音、电网电压的随机波动。

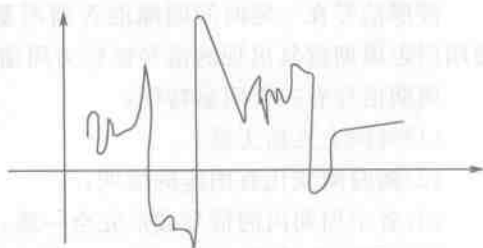


图 1-4 随机信号

3. 实信号和虚信号

按照能否物理实现,信号被分成实信号和虚信号。

实信号是一种能用物理手段实现的信号。无论是确定的,还是随机出现的,它都是时间的函数,是实实在在存在的信号。实信号在每个时刻均为实数,或称为实函数。例如无线电信号、黑白电视信号、电阻耗能时产生的电压电流信号,都是实信号。图1-5就是电阻上的电流、电压实信号。

虚信号是一种不能用物理手段实现的信号,是为了分析问题方便起见,人们头脑中想象的一个概念。在实际生产过程中,虚信号依旧存在,并且有实际的物理意义。电学中电

容、电感上的储能信号就是虚信号的典型实例。

图 1-6 是一个 RLC 串联电路,各处电压的相量关系为

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = IR + jI(X_L + X_C)$$

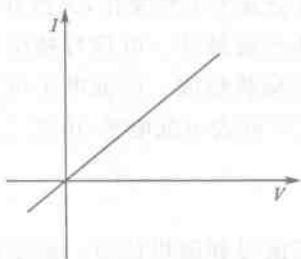


图 1-5 电阻上的电流、电压实信号

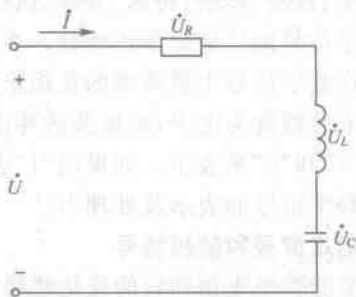


图 1-6 RLC 串联电路

这里电压信号被称为复信号,由实信号和虚信号两部分组成。实信号反映了电阻上能量消耗关系,虚信号反映了电感、电容上能量储存关系。

通常复信号 $f(t)$ 能够用代数式、三角式、指数式表示:

$$\begin{aligned} f(t) &= f_1(t) + jf_2(t) \\ &= e^{j\omega t} \cos \alpha t + j e^{j\omega t} \sin \alpha t \\ &= e^{(\alpha + j\omega)t} \end{aligned}$$

4. 周期信号和非周期信号

按照信号在一定时间间隔能否周而复始重现,信号被分成周期信号和非周期信号。使用固定周期重复出现的信号被称为周期信号,否则就被称为非周期信号。

周期信号有三个明显特征:

- (1) 时间上无始无终;
- (2) 随时间变化有固定的周期;
- (3) 各个周期内的信号波形完全一致。

研究周期信号可根据上述三个明显特征,只要能确定它的周期及一个周期内的波形或数学表达式,该信号便能唯一确定,不同时刻的值也随之确定。

设周期信号的周期为 T 或 N ,连续周期信号 $f(t)$ 与周期 T 之间的关系为

$$f(t) = f(t + kT)$$

式中, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。

离散周期信号 $f(n)$ 与周期 N 之间的关系为

$$f(n) = f(n + mN)$$

式中 m 的取值同 k 。

图 1-7 和图 1-8 分别给出了周期信号和非周期信号的几列波形。

【例 1-1】 判断下列 $f(t)$ 信号是否是周期信号,若是,问周期 T 等于多少?

$$(1) f(t) = 220\sqrt{2}\sin(314t + 30^\circ)$$

$f(t)$ 是周期信号, $2\pi f = 314$, 所以 $f = 50 \text{ Hz}$, $T = 1/f = 0.02 \text{ s}$ 。

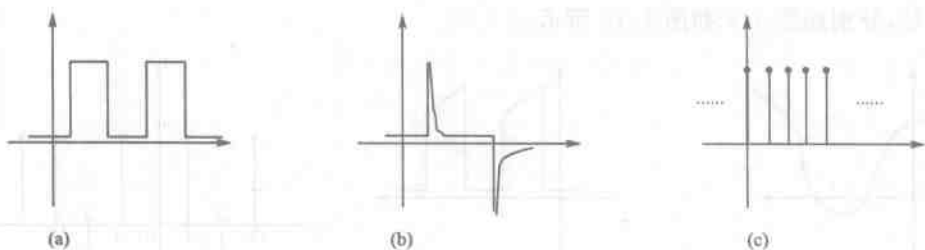


图 1-7 周期信号

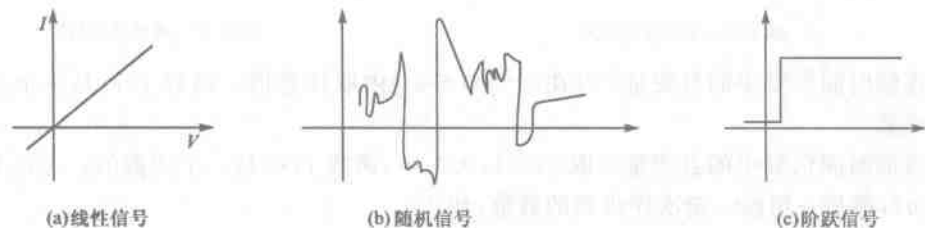


图 1-8 非周期信号

$$(2) f(t) = \sin 3t + \cos 2t$$

设 $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$, 其中 $f_1(t) = \sin 3t$, $f_2(t) = \cos 2t$ 。因为 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 都是周期信号, 设它们的周期分别为 T_1 和 T_2 。 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 可以分别表示成

$$f_1(t) = f_1(t + k_1 T_1)$$

$$f_2(t) = f_2(t + k_2 T_2)$$

则当 $k_1 T_1 = k_2 T_2$ 时, $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 具有相同的周期, 此时 $f(t)$ 的周期为

$$T = k_1 T_1 = k_2 T_2$$

取 $k_1 = 3$ 和 $k_2 = 2$, 能满足上式。此时 $k_1 T_1 = 2\pi$, $k_2 T_2 = 2\pi$ 。因为 $f_1(t)$ 的周期 T_1 为

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi/3 \text{ s}$$

则 T 为

$$T = 3 \times 2\pi/3 = 2\pi \text{ s}$$

或使用 $f_2(t)$ 的周期

$$T_2 = \pi \text{ s}$$

同样算得

$$T = k_2 T_2 = 2\pi \text{ s}$$

$$(3) f(t) = \sin \pi t + \cos 3t$$

设 $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$, 因 $f_1(t)$ 的周期 T_1 为

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\pi} = 2 \text{ s}$$

$f_2(t)$ 的周期 T_2 为

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi/3 \text{ s}$$

不存在整数 k_1 和 k_2 使 $k_1 T_1 = k_2 T_2$ 成立, 则 $f(t)$ 不是周期信号。

1.1.3 连续时间信号和离散时间信号

按照信号随时间或在一段时间内是否连续变化, 信号被分成连续时间信号和离散时

间信号,分别如图 1-9 和图 1-10 所示。

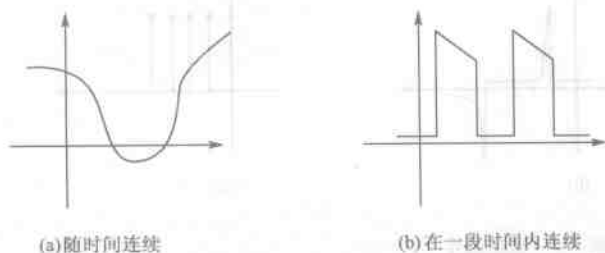


图 1-9 连续时间信号

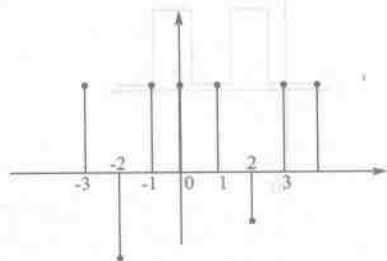


图 1-10 离散时间信号

连续时间信号中的自变量 t 可在 $(-\infty, +\infty)$ 内取任意值。函数 $f(t)$ 是一个连续变化的函数。

离散时间信号中的自变量 n 取 $0, \pm 1, \pm 2, \dots$, 函数 $f(n)$ 是一个离散值。无论是 n 还是 $f(n)$, 都是一组按一定次序排列的数值, 如:

n		-3	-2	-1	0	1	2	3	
$f(n)$		4	-6	3	3	5	-1.5	6.2	

由于 n 和 $f(n)$ 都为按一定次序排列的数值, 因此离散时间信号通常被称为序列。 n 的取值为整数, $f(n)$ 的取值为实数域内任意值。

离散时间信号的信号值在量化后, 用二进制数码表示, 这时形成的信号就是数字信号。

1.2 信号的检测与处理

信号依靠传感器完成检测, 检测完成后需要进行相应的处理。

1.2.1 信号的检测

生产过程中存在着各种与生产有关的参数。如压力、流量、温度、液位、物位、速度、转速、振动等各种非电量, 还有电压、电流、功率、电路元件的参数及相关技术性能等各种电量。它们决定了生产的流程及过程, 决定了产品的质量优劣。为了正常生产, 需要对这些参数进行检测和控制。

信号检测通常用传感器实现, 传感器常由敏感元件和转换元件组成, 敏感元件的功能是检测出信号, 转换元件的功能是把检测出的信号转变成计算机或人类便于接受的形式。

信号的检测与转换过程如图 1-11 所示。



图 1-11 信号的检测与转换过程