



教育部高职高专规划教材
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

信号与系统

第二版

燕庆明 主编

高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



教育部高职高专规划教材

信号与系统

第二版

燕庆明 主编

本书配有光盘，需要者请到网络光盘实验室拷贝

高等教育出版社

内容提要

本书是教育部高职高专规划教材。全书包括:信号与系统概论、连续系统的时域分析、连续系统的频域分析、连续系统的 s 域分析、离散系统的时域分析和离散系统的 z 域分析等六章。

本书第一版曾获国家教委优秀教材二等奖。全书简明易懂,例题丰富,突出基本概念,理论联系实际,实用性较强,适于高职高专教学。每章配有学习要点、小结和难度适中的习题,每节后配有思考题。为了提高教学效果,学生可利用书后所附的多媒体 CAI 课件光盘在课外复习自学。

本书可作为高职高专电子、通信和自控等专业的教材,也可供电大、函大、成人自考等有关专业选用,还可供广大科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/燕庆明主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2001

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-04-009824-5

I.信… II.燕… 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 (2001) 第 07855 号

责任编辑 林 宇 封面设计 杨立新 责任绘图 朱 静
版式设计 周顺银 责任校对 胡晓琪 责任印制 宋克学

信号与系统 第二版

燕庆明 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京人卫印刷厂

版 次 1995 年 1 月第 1 版

开 本 787×1092 1/16

2001 年 7 月第 2 版

印 张 15.25

印 次 2001 年 7 月第 1 次印刷

字 数 370 000

定 价 19.80 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用2~3年的时间,在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专教育教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的,适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2000年4月3日

前 言

随着科学的发展,人类的进步,电子科学技术的发展水平已成为人类文明的重要标志。这其中,信号与系统理论是最活跃、最有生命力的专业基础之一。它的概念和方法,在无线电技术、通信、电子、自动控制、雷达技术、图像处理、遥感技术、地震学、海洋学和生物医学工程等众多领域都有广泛应用。就趋势而论,随着超大规模集成电路(VLSI)和计算机的普遍应用,各学科之间不断渗透,有关信号与系统的概念、理论和分析方法将不断发展,其适用领域将逐步扩大。因此在高职高专的相关专业开设信号与系统课程是非常必要的。

本书在原专科教材《信号与系统》(高等教育出版社,1994年)的基础上修订而成,可作为高职高专电子、通信和自控等专业的教材。参考学时范围为52~60学时。书中标有“*”的内容可视专业要求选学。

这次修订工作以“教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见”为指导,针对高等技术应用性人才的培养目标和高职高专的特点,对本课程的内容体系认真分析取舍,削枝强干,突出重点;基础理论以必需、够用为度,着重基本概念;突出应用性,全书自始至终以工程应用为目的,理论联系实际,注意实用性和针对性;注意教材的适用性、通俗性和趣味性,力争做到由浅入深,启发诱导,循序渐进,图文并茂。

本书由燕庆明主编并统稿。参加编写工作的还有于凤芹、田备和周治平老师。书稿由东南大学夏恭恪教授主审。由于编者水平有限,书中可能有错谬之处,诚望读者批评指正。

在新的千年到来之际,作者谨把此书献给21世纪。

编者

2000年5月

目 录

第 1 章 信号与系统:概论	1	3-1-2 周期信号的指数级数表示	66
1-1 引言	1	*3-1-3 正交信号的概念	68
1-2 信号的概念	6	3-2 周期信号的频谱	69
1-3 系统的概念	8	3-2-1 周期信号频谱的特点	69
1-4 线性系统的性质	11	3-2-2 双边频谱与信号的带宽	70
1-5 信号与系统分析概要	15	3-3 非周期信号的频谱分析	74
1-5-1 信号分析	15	3-3-1 傅里叶变换	74
1-5-2 系统分析	16	3-3-2 常用非周期信号的频谱	75
本章小结	17	3-4 傅氏变换的性质与应用	81
习题	17	3-4-1 脉冲展缩与频带的关系	81
第 2 章 连续系统的时域分析	19	3-4-2 信号的延时与相位移动	82
2-1 系统的微分方程及其响应	19	3-4-3 信号的调制与频谱搬移	84
2-1-1 系统的微分方程	19	3-4-4 卷积定理及其应用	87
2-1-2 零输入响应与零状态响应	21	3-5 系统的频域分析	89
2-2 阶跃信号与阶跃响应	25	3-5-1 系统函数与不失真传输	89
2-2-1 单位阶跃函数	25	3-5-2 信号通过理想滤波器	91
2-2-2 一阶系统的零状态响应	26	3-6 采样信号与采样定理	96
2-2-3 阶跃响应	28	3-6-1 采样信号	96
2-3 冲激信号与冲激响应	29	3-6-2 采样定理	97
2-3-1 单位冲激函数	29	本章小结	100
2-3-2 冲激响应	35	习题	100
2-4 卷积及其应用	39	第 4 章 连续系统的 s 域分析	105
2-4-1 卷积的概念与性质	39	4-1 拉普拉斯变换	106
2-4-2 系统的卷积分析法	40	4-1-1 拉普拉斯变换的定义	106
2-4-3 卷积的计算:图形扫描法	44	4-1-2 常用信号的拉氏变换	108
*2-4-4 相关积分和相关函数	46	4-2 拉氏变换的性质与应用	111
2-5 系统的特征函数及其应用	48	4-2-1 延时特性	111
2-5-1 二阶系统的特征函数	48	4-2-2 复频移特性	114
2-5-2 二阶系统的冲激响应与阶跃响应	49	4-2-3 微分定理	115
*2-5-3 阶跃响应的动态指标	54	4-2-4 积分定理	116
本章小结	56	4-2-5 卷积定理	117
习题	57	4-3 拉氏反变换	119
第 3 章 连续系统的频域分析	62	4-4 LTI 系统的 s 域分析	123
3-1 周期信号的分解与合成	62	4-4-1 微分方程的拉氏变换解法	123
3-1-1 周期信号的三角级数表示	62	4-4-2 电路元件的 s 域模型	125
		4-4-3 s 域分析法的应用举例	128

4-5 系统函数 $H(s)$	131	6-1-1 z 变换的定义	185
4-5-1 $H(s)$ 的定义与性质	131	6-1-2 典型序列的 z 变换	187
4-5-2 系统的方框图表示与模拟	136	6-2 z 反变换	189
4-6 系统函数的零、极点	140	6-2-1 幂级数展开法(长除法)	190
4-6-1 $H(s)$ 的零、极点	140	6-2-2 部分分式展开法	190
4-6-2 $H(s)$ 的零、极点分布与时域特性的关系	142	6-3 z 变换的主要性质	194
4-6-3 $H(s)$ 的零、极点分布与频域特性的关系	144	6-3-1 线性性质	194
*4-6-4 波特图	147	6-3-2 移位特性	194
4-7 连续系统的稳定性	151	6-3-3 尺度变换性质	196
4-7-1 系统稳定的概念	151	6-3-4 卷和定理	196
4-7-2 稳定性判据	153	6-4 离散系统的 z 域分析	198
*4-8 反馈与控制	155	6-4-1 差分方程的 z 变换解	199
4-8-1 开环与闭环控制	155	6-4-2 离散系统的 z 域模拟	201
4-8-2 应用举例	157	6-4-3 系统函数 $H(z)$	202
本章小结	159	6-5 离散系统的稳定性	206
习题	160	6-5-1 z 变换与拉氏变换的关系	206
第5章 离散系统的时域分析	166	6-5-2 离散系统的稳定性	208
5-1 离散时间信号	166	6-6 数字信号处理	210
5-2 离散时间系统	170	6-6-1 离散系统的频率特性	210
5-2-1 差分方程	170	6-6-2 数字信号处理的概念	213
5-2-2 离散系统的时域模拟	172	本章小结	216
5-2-3 系统的响应	174	习题	217
5-3 卷和及其应用	175	全书总结	220
5-3-1 离散信号的分解与卷和	176	附录 A 利用特征函数求零状态响应的一般方法	224
5-3-2 离散系统的零状态响应	178	附录 B 罗斯-霍尔维茨判据	226
本章小结	182	附录 C 《信号与系统》多媒体 CAI 课件 CD 盘说明	230
习题	183	部分习题答案	231
第6章 离散系统的 z 域分析	185	参考文献	236
6-1 z 变换	185		

第1章

信号与系统:概论

学习要点

本章概述信号与系统的基本概念。读者学习本章要注意理解以下主要内容:

1. 信号的概念与信号的分类;
2. 系统的概念、系统的分类与系统的联接形式;
3. 线性系统的定义及其特性,系统的时不变性与因果性。

1-1 引言

电子工程、信号与系统理论及应用的发展已经有 200 多年的历史。以 19 世纪的伟大科学发现和技术实现为基础,20 世纪又创造了无数的奇迹,其成就是令人难忘的,现略举几例如下。

电磁理论的建立。1820 年,丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1771—1851)通过实验发现了电流的磁效应。1831 年,英国人法拉第(M. Faraday, 1791—1867)又发现了电磁感应现象,确认了电能产生磁,磁能产生电的规律。1864 年,苏格兰科学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)提出了电磁波理论,即麦克斯韦方程。1888 年,德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)经过反复实验证明了电磁波确实存在。图 1-1 记载了三位科学家的历史功绩。

1837 年,画家出身的美国人莫尔斯(S. F. B. Morse, 1791—1872)发明了电报。1843 年,他用电报机从华盛顿向 40 英里外的巴尔提摩发出了电文。研究之初,当他试图说服别人为他投资

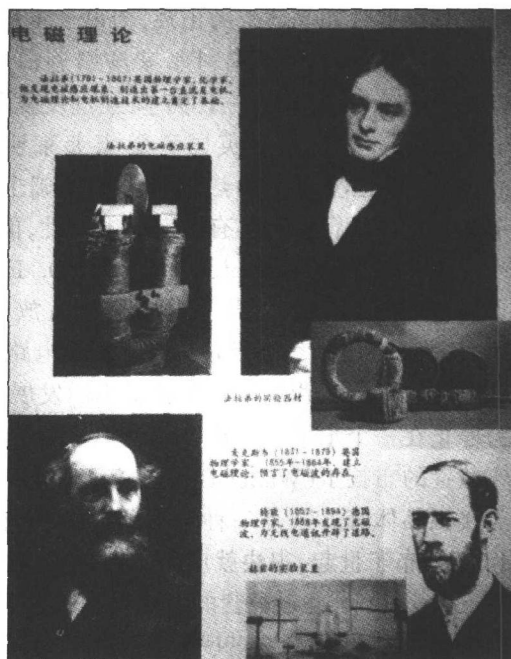


图 1-1 法拉第(上)、麦克斯韦(左下)、赫兹(右下)

注:本章照片取自中国科协 1999 年科技展。

时,得到的回答常常是:“先生,用导线传递消息,你为啥不发明一个能飞向月球的火箭呢?”但莫尔斯的创造欲望经过 10 多年的奋斗终于实现了。图 1-2 是莫尔斯早期的电报机和现在仍在使用的部分电码。

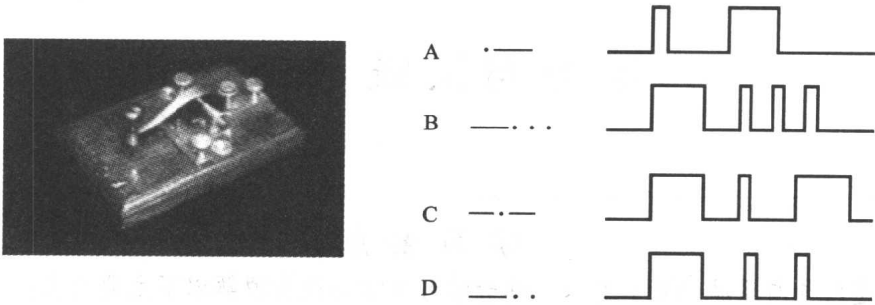


图 1-2

1876 年,另一项伟大发明在波士顿诞生了,这就是美国科学家贝尔(A. G. Bell, 1847—1922)发明的电话。贝尔当时仅是一名聋哑人学校的教师,但凭借对电流作用敏锐的认识和不懈的努力,实现了通过导线互相通话。经过不断改进,1878 年,他实现了从波士顿到纽约之间 200 英里的首次长途通话。贝尔曾经把电话的话音比喻为歌声,他说:“这歌声是永不停止的,因为这是对生活故事的歌颂,而生活是永不停止的。那高悬的电话线正在把生与死、成功与失败的消息传遍全球。”图 1-3 是贝尔和他早期的电话机。

电真空器件和晶体管的出现,为电子工程的发展打下了有力的基础。英国科学家汤姆逊(J. Thomson, 1856—1940)在 1895—1897 间经过反复测试,证明了电子的存在。随后英国科学家弗莱明(J. A. Fleming)在爱迪生发明的热二极管的基础上发明了实用的真空二极管。它具有单向导电特性,能用来整流或检波。1906 年,美国人福斯特(L. D. Froest)发明了真空三极管。它对微弱电子信号有放大作用。1914 年福斯特用真空三极管构成了振荡电路。



图 1-3

人类的生产实践和科学实验是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。从 1948 年起,固态电子学的时代向我们走来。1947 年 12 月 24 日,贝尔实验室的布拉丁(Walter Brattain)、巴丁(John Bardeen)和肖克利(William shockley)发明了一种点接触晶体管。这是一种全新的固态器件,它体积小、电性能稳定、功耗低。这项发明自从 1948 年公布于世起,很快就应用于通信、电视、计算机等领域,促进了电气和电子工程技术的飞速发展。图 1-4 是电子管的发明人和布拉丁等人当时在实验室工作的情景。

1945 年,世界奇迹出现了。第一台电子计算机在美国宾州大学摩尔电子工程学院研制成功。这台叫做 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) 的计算机是以美国科学家莫奇利为主设计的。这台计算机占地约 165 m², 使用 18000 个真空电子管, 重 30 吨, 每秒钟可运算 5000 次, 这在当时是史无前例的。今天的计算机已发展到第五代, 速度已接近每秒

5 万亿次。然而第一台计算机仍是划时代的。没有当初，何有今天?! 图 1-5 是 ENIAC 的实景。



图 1-4 弗莱明(左)、福斯特(右上)、巴丁等人(右下)



图 1-5 图灵(左上)、莫奇利和埃克多(右上)、ENIAC(下)

在广播、电视与通信方面,近百年来的发展也是惊人的。

1894 年,意大利的马可尼(G. Marconi, 1874—1937)发明了无线电。没有受过正规大学教育的 20 岁的马可尼利用赫兹的火花振荡器作为发射器,通过电键的开闭产生电磁波信号。1895 年他发射的信号可远达 1 公里以上,1897 年发射的信号可送到 20 公里之外。从此无线电通信

的时代开始了。

1912 年,阿姆斯特朗组装了第一台超外差接收机。1916 年实现了人类第一次语言和音乐的无线电广播。1925 年,英国的贝尔德(J. L. Baird)首先发明电视。几乎在同时,美国无线电公司的工程师若基(V. K. Zworykin)发明了电视显像管。1933 年,他利用真空二极管、真空三极管和显像管等,发明了与今天相似的电视机,1936 年黑白电视机正式问世。1954 年,彩色电视试播成功。1982 年,美国又研制成功数字电视。50 年代微波通信成为电视传输的主干线。1965 年,世界上第一颗地球同步通信卫星投入使用,广泛地用于电话、电报、数据传输和电视转播等。图 1-6 展示了早期的广播、电视与现代通信技术的情况。

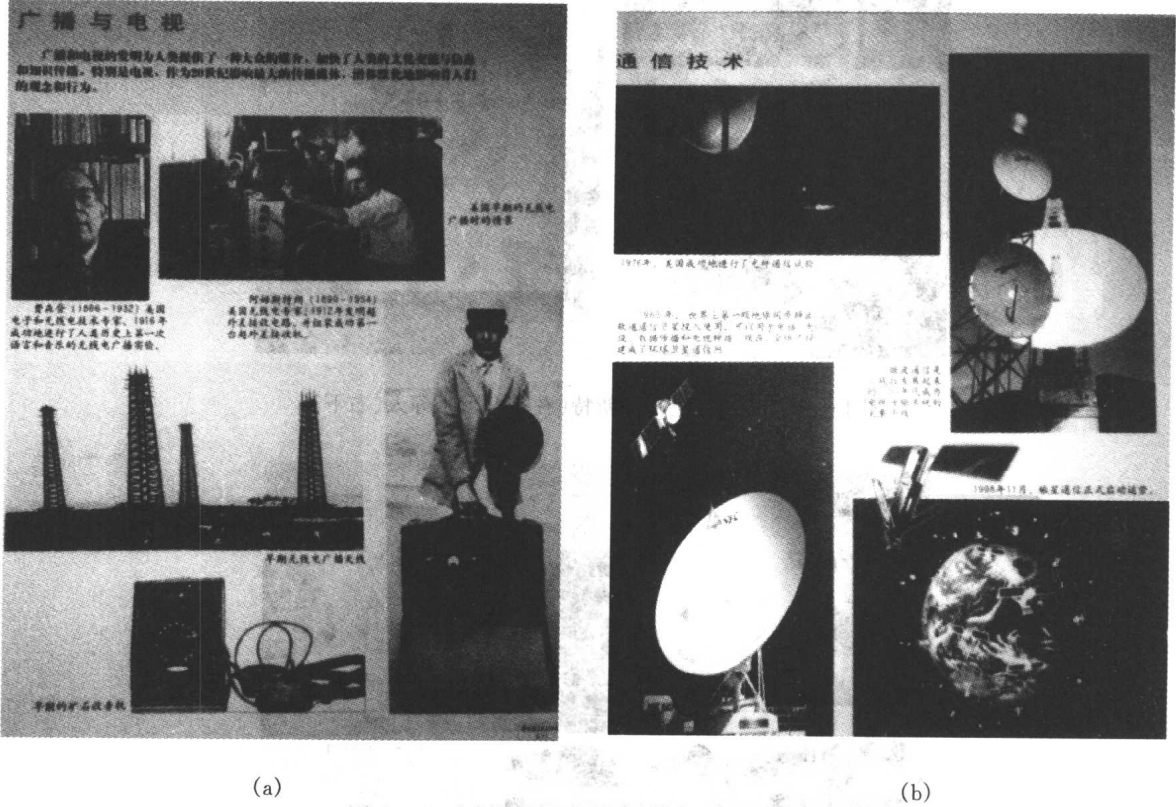


图 1-6 (a)早期的广播、无线与矿石收音机;
(b)微波、卫星、光纤通信

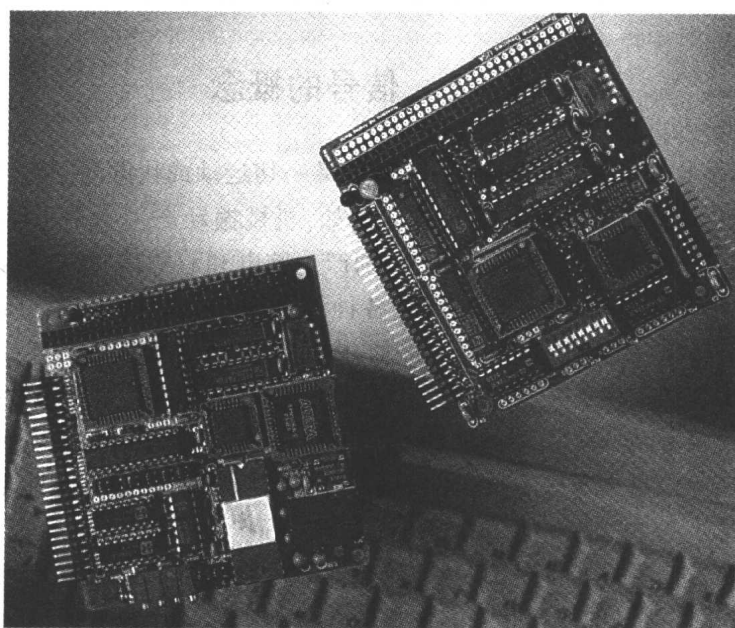
从 20 世纪 50 年代末期开始,科学又把人类带入了微电子时代。1958 年,利用半导体单晶硅材料,世界上第一片集成电路(Integrated Circuit-IC)在美国德克萨斯州诞生了。1961 年,福查德公司生产出第一片商用 IC。到 60 年代末,在大约 1/4 英寸见方的小硅片上可以集成 68 000 个晶体管和数千个其他元件。从 20 世纪 70 年代起,集成电路技术飞速发展,各种大规模集成(Large Scale Integrated—LSI)和超大规模集成(Very Large Scale Integrated—VLSI)电路层出不穷。由于集成电路具有成本低、尺寸小、可靠性高、电性能优良等优点并被广泛使用,从而引起了工业系统、通信系统、控制系统、计算机系统、测量系统、生物医学系统的革命性发展。图 1-7 为集成电路的设计和集成电路的应用。

在信号与系统学科发展的过程中,1948 年创立的三大科学思想和理论起到了非常重要的

• 4 •



(a)



(b)

图 1-7 (a)基尔比和诺伊斯发明集成电路;
(b)用集成电路组装的电路板

奠基和推动作用, 这就是系统论、信息论和控制论。系统论是美国生物学家贝格朗菲创立的, 他为确立适用于系统的一般原则做出了重大贡献。信息论是美国数学家仙农建立的, 它是现代通信理论的基础, 在计算技术、自动控制等方面得到广泛应用。控制论是美国数学家维纳提出的, 它促进了通信、计算机和人工智能等理论的发展。图 1-8 的照片显示了三位科学家的风采。



图 1-8 贝塔朗菲(上)、维纳(下)、仙农(右)

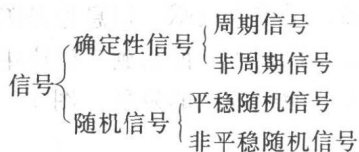
1-2 信号的概念

宇宙中的一切事物都处在不停的运动中,物质的一切运动或状态的变化,广义地说都是一种信号(signal),即信号是物质运动的表现形式。例如,机械振动产生力信号、位移信号及噪声信号;雷电过程产生声、光信号;大脑、心脏运动分别产生脑电和心电信号;电气系统随参数变化产生电磁信号等。在通信系统中,信号就是传送各种消息(message)的工具。所谓消息,就是通过某种方式传递的声音、文字、图像、符号等。例如,电话中传送的声音是消息;电报中传送的电文是消息;电视系统中传送的图像是消息;雷达测出目标的距离、方位、速度等数据是消息。通过各种消息的传递,使受信者获取各种不同的信息(information)。一般地说,信息是指具有新内容、新知识的消息,是排除消息中那些不确定性的东西,它既不是物质,也不是能量,但它也必须依附于物质,依附于能量。

通常,传送消息的信号形式都是随时间变化的。如温度信号、压力信号、光信号、电信号等,它们反映了事物在不同时刻的变化状态。由于电信号处理起来比较方便,所以工程上常把非电信号转化为电信号进行传输。基于电信号的重要性,本书仅研究电信号,并把它简称为信号。

在电系统中,信号的两种主要形式是电压信号和电流信号,可分别用时间函数 $u(t)$ 和 $i(t)$ 表示,或一般地记为 $f(t)$ 、 $y(t)$ 等。

信号随时间变化的规律是多种多样的,可大致分类如下:



确定性信号与随机信号

若信号随时间的变化服从于某种确定规律,能用确定的数学函数表达,对任一确定的时刻,信号有确定的函数值,这种信号称为确定性信号。大家熟悉的正弦信号就是如此。相反,如果信号的取值在不同时刻随机变化,不可能预先确切地知道它的变化规律,则称之为随机信号或非确定性信号。噪声就是典型的随机信号。诚然,由于信号在传输过程中不可避免地要受到各种干扰,所以理想的确定性信号是不存在的,但作为科学的抽象,研究确定性信号的特性仍是十分重要的。本书只研究确定性信号。

图 1-9 给出了几种简单信号的波形,其中(a)~(e)各信号均是确定性信号。而(f)是随机信号,无法写出其函数表达式。

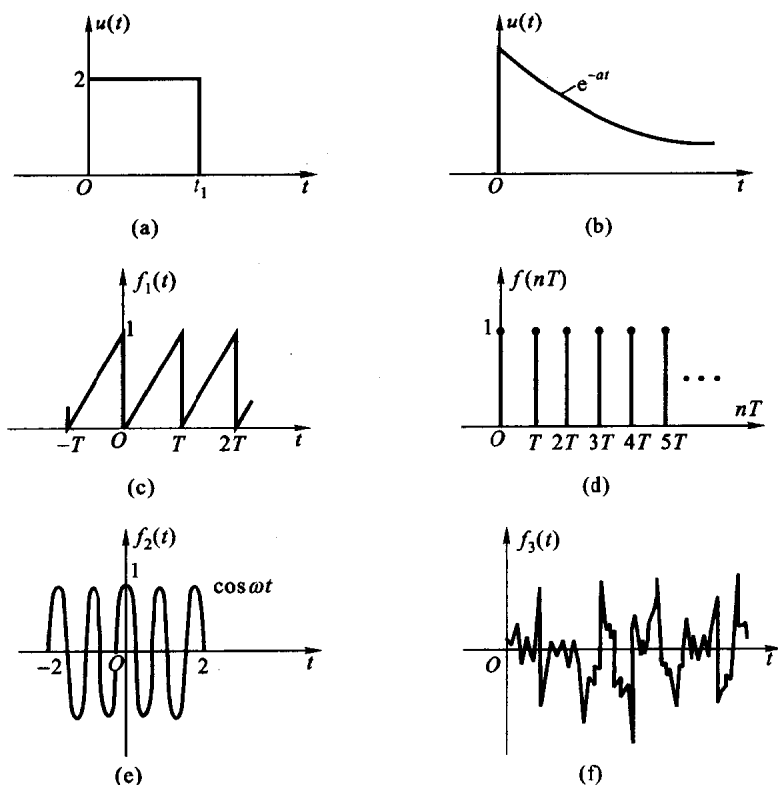


图 1-9

周期信号与非周期信号

周期信号是按某一固定周期重复出现的信号,它可表示为

$$f(t) = f(t + nT)$$

式中 T 为周期, $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 这种信号,只要给出任一周期内的变化规律,即可确定它在所有其他时间内的规律性,如图 1-9(c)所示。非周期信号有两种表现形式:一种是仅在某些时间区间内存在的信号,如图 1-9 中(a)、(b)、(d)、(e);另一种是拟周期信号,如信号

$$f(t) = \cos t + \cos \sqrt{2}t$$

这里, $f(t)$ 的两个余弦分量的频率之比为无理数。这类信号就称为拟周期信号或概周期信号。它在工程上很少应用,本书不予研究。

连续时间信号与离散时间信号

不论周期信号还是非周期信号,若从时间变量的取值是否连续出发,又可以分为连续时间信号和离散时间信号。若信号在所有连续的时间值上均有定义,则称为连续时间信号,简称为连续信号或模拟信号;若信号的取值仅在一些离散时间点上才有定义,则称为离散时间信号,简称为离散信号。如图 1-9(d)所示信号 $f(nT)$ 为离散信号,图中其他信号均为连续信号。

最后说明有始信号的概念。若信号 $f(t)$ 在 $t < t_0$ 时恒等于零,则称 $f(t)$ 为有始信号(或因果信号)。如图 1-9(a)、(b)、(d)、(f)均为有始信号。周期信号则不是有始信号。

思考题

1-2.1 什么是信号,如何理解消息与信息?

1-2.2 如何理解连续信号和离散信号的概念,连续信号与数学上的连续函数有何不同?

1-2.3 试写出图 1-9(a)~(e)各信号的数学表达式。

1-3 系统的概念

各种变化着的信号从来不是孤立存在的,信号总是在系统中产生又在系统中不断传递。所谓系统(system),是由若干相互联系、相互作用的单元组成的具有一定功能的有机整体。

例如图 1-10 所示电视系统,摄像机的作用是把目标图像的光信息转换成相应的电信号,麦克风把伴随图像的声音(语言、音乐等)也转换成相应的电信号。这些信号经过发射机处理与放大后通过天线以电磁波形式发射到空间,接收机则把通过天线收到的信号进行放大、处理后送到显像管和扬声器。

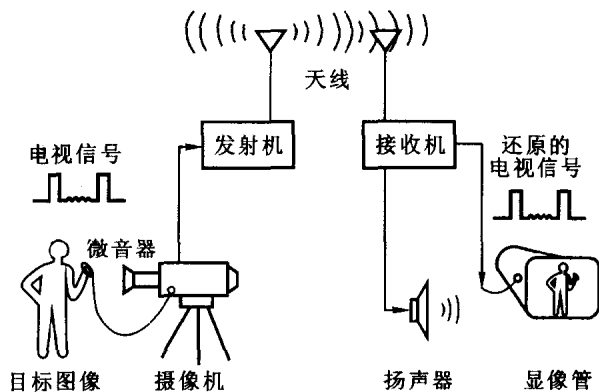


图 1-10 电视系统的组成

上述电视系统的组成部件(单元)是麦克风、摄像机、发射机、天线、接收机、扬声器、显像管等。这些单元在系统中是相互依存、相互作用的统一体。缺少哪个单元,或任一部件发生故障都无法完成电视图像和伴音传输的功能。

系统的种类很多,如通信系统、计算机系统、自动控制系统、生态系统、经济系统、社会系统等。系统的规模可大可小,视实际需要而定。如通信系统是较大的系统,其中包括接收机、发射机和计算机等,它们是通信系统的组成单元,它们本身又是一个较小的系统,称为子系统;而一个

电容元件具有存储电荷的功能,也可以把它看作一个小系统。

系统的功能随其构成形式而定。有的可完成对信号的加工与处理,如放大、滤波、延迟、积分等;有的可完成对运动物体的遥测与控制,如雷达、卫星遥测遥控系统等;有的可完成工业过程中各种物理量(如温度、压力、流量、速度等)的自动检测。系统的功能虽然不尽相同,但其输入与输出的对应关系却可以简单地用框图表示出来。若系统的输入(激励)信号 $f(t)$ 和输出(响应)信号 $y(t)$ 均为一个,这样的系统称为单输入-单输出系统,表示方法如图 1-11(a)所示;若系统的输入信号有多个,如 $f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)$, 输出信号也有多个,如 $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$, 则称之为多输入-多输出系统,表示方法如图 1-11(b)所示。尽管实际中多输入-多输出系统用得很多,但就方法和概念而论,单输入-单输出系统是重要的基础,因此本书重点研究单输入-单输出系统。

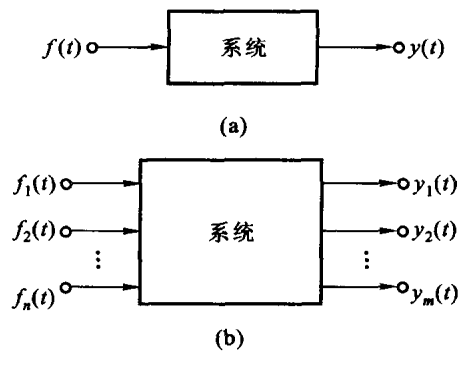


图 1-11

根据系统处理的信号形式的不同,系统可分为三大类:连续时间系统(简称连续系统)、离散时间系统(简称离散系统)和混合系统。若系统中各个子系统的输入、输出信号均为连续信号,则称为连续系统;若系统的各个子系统的输入、输出信号均为离散信号,则称之为离散系统;若系统中有的子系统为连续系统,有的子系统为离散系统,这样的系统称为混合系统。图 1-12(a)、(b)和(c)分别给出了三类系统的示意图。在图 1-12(c)中,A/D 称为模拟-数字转换器,其作用是把模拟信号(连续信号)转换为数字信号(离散信号);D/A 称为数字-模拟转换器,其作用是把数字信号转换为模拟信号。由于该系统含有 A/D 和 D/A 子系统,故整个系统为混合系统。目前在通信、图像处理、工业过程控制等系统中常有计算机参与,所以混合系统的应用非常广泛。

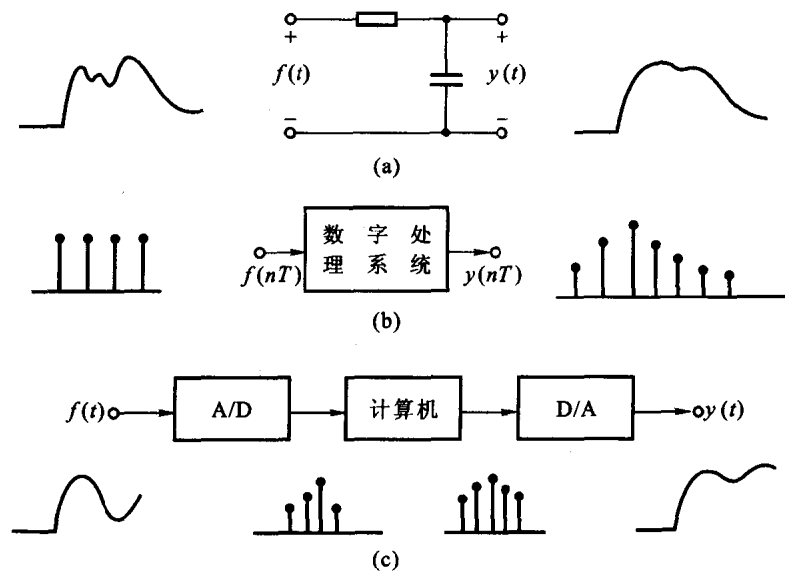


图 1-12 (a)连续系统 (b)离散系统 (c)混合系统

如前所述,实际系统通常由许多子系统组合而成。子系统的相互连接一般有串联(级联)、并联、混联与反馈连接等四种。例如图 1-13 所示检测系统,信号(温度、压力、速度等)经过传感器转换为电信号,然后经放大器适当放大,再送入显示器。这三个子系统的连接形式就是串联。

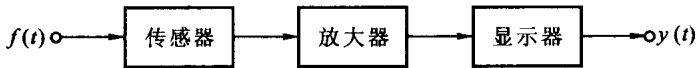


图 1-13 系统的串联

图 1-14 所示为一个简单的信号处理系统。对外部输入的信号 $f(t)$,该系统分别用一个低通滤波器和两个不同中心频率的带通滤波器处理后相加,这三个子系统的连接形式称为并联。

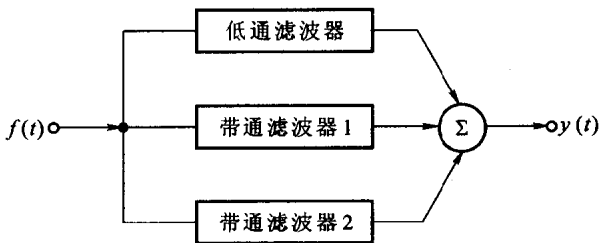


图 1-14 系统的并联

图 1-15 所示为一电子望远镜系统,其中 θ_i 是指定的望远镜角度, θ_o 为望远镜的实际角度。为了使系统的输出 θ_o 精确地达到指定角度,可利用电位器(子系统)从输出 θ_o 中取出一部分信息 θ_f 反馈到比较器, θ_i 与 θ_f 比较后再送入放大器等环节进行调整,直至达到要求。图中的连接形式称为反馈连接。

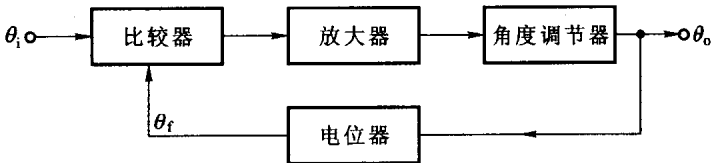


图 1-15 系统的反馈连接

如图 1-16 所示为计算机控制系统,它由计算机、信号变换电路、被控对象、传感器和变送器等环节(或称子系统)组成。这些环节在整个系统中是相互依存、相互作用的统一体,缺少哪一部分都不能完成控制过程。

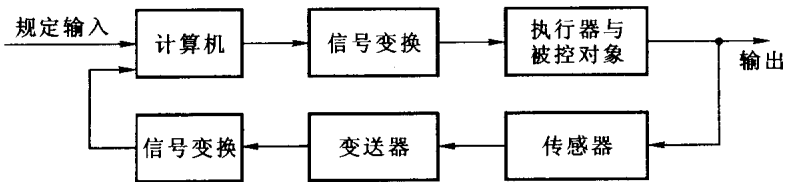


图 1-16

总之,不论系统的连接形式与功能如何,信号总是与系统相伴存在,信号经由系统才能传输。虽然各种系统传输的信号内容可能不同,但信号通过系统的规律是一致的。因此,本书所介绍的