

普通高等教育“十一五”规划教材

信号与系统

金学波 杜晶晶 夏海霞 编著
王松林 主审



西安电子科技大学出版社
XIDIAN UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十一五”规划教材

信号与系统

金学波 杜晶晶 夏海霞 编著
王松林 主审

西安电子科技大学出版社

2010

内 容 简 介

本书全面系统地论述了信号与线性系统分析的基本理论和方法,强调了信号的分解特性与系统的线性时不变性,建立了两者之间的逻辑联系。全书分为四部分,共8章,内容分别包括信号与系统的基本概念、线性时不变系统的时域分析、傅里叶级数与傅里叶变换、连续时间系统的频域分析、拉普拉斯变换、连续时间系统的S域分析、Z变换、离散时间系统的Z变换分析。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、测控技术与仪器、光信息科学与技术、电气工程及自动化等专业的教材,也可作为相关专业科技工作人员的参考书。

★本书配有电子教案,需要者可登录西安电子科技大学出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/金学波,杜晶晶,夏海霞编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2010.3
普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2374-0

I. 信… II. ①金… ②杜… ③夏… III. 信号系统—高等学校—教材
IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 013204 号

策 划 张 媛

责任编辑 南 景 张 媛

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 12.75

字 数 296千字

印 数 1~3000册

定 价 19.00元

ISBN 978-7-5606-2374-0/TN·0548

XDUP 2666001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

信号与系统的概念已经渗透到了信息科学、计算机科学及控制领域的各个方面,应用领域极其广泛,尤其是随着现代通信技术和多媒体技术的发展,信号的传输和处理技术已经得到越来越多的应用。目前,“信号与系统”是电子信息工程、通信工程、自动化、计算机、测控技术等专业的一门重要专业基础课,该课程主要介绍对确定信号与线性系统进行分析、处理的基本理论和方法,在所有专业课程中起着承前启后的作用。

作者参阅了大量国内外同类教材和相关文献资料,采用深入浅出的方法全面系统地论述了信号与系统分析的基本理论和方法,并在理论讲述中列举了部分应用实例,以加深学生对基本理论的理解,提高学生运用所学知识分析、解决实际问题的能力。在结构和体系的处理上,本书按照由连续时间系统到离散时间系统、由时域分析到变换域分析的顺序安排,以便将一些基本分析方法和基本概念逐步引出、逐步巩固、逐步扩大,使读者较易接受。在内容上,本书力争做到突出重点、分解难点。具体来讲,对于本书的撰写,作者主要从以下几个方面作了努力和探索,这也是本书的特色。

本书的第一大特点是大大简化了时域中求解系统响应方法的讲解。多年的教学经验告诉我们,时域系统的讲解和学习都非常困难,繁琐的数值计算、多而杂的知识点,搅乱了本来十分明了的时域求响应的思路。时域中求解系统的响应需要进行微分方程或差分方程的求解,教师和学生陷入求解方程的“泥潭”,与起始点的跳变、卷积积分的区间讨论等计算问题处于“胶着”状态。更为重要的是,随着计算机的推广和使用,利用数值计算的方法求系统的响应在实际中已经很少应用。因此,本书省略了利用冲激函数匹配法求系统起始状态的跳变、复杂信号卷积的数值计算等内容,力争从整体上讲明时域求解系统响应的方法,即将系统全响应分解为零输入响应和零状态响应,利用系统的单位冲激响应(或单位样值响应)与输入信号的卷积求得系统零状态响应的基本思路。在保证整体思路简单明了的情况下,本书将一些必要的补充知识巧妙地安排在另外的部分,如将系统单位阶跃响应的概念放在了习题中。这样,第2章内容便整体清楚明了、简单易懂,又包含了必要的扩展知识点,同时与 S 域和 Z 域分析相呼应,时域分析法中的难点问题,如起始点的跳变、卷积的计算等,便可轻松解决。我们把求解系统零状态响应的具体方法放在了 S 域和 Z 域分析中,同时,讲明变换域分析和时域分析的关系,由于有了第2章清晰的概念,就很容易理解变换域分析的基本原理了。

本书的第二大特点是以四大部分讲述连续及离散系统,但根据需要有所侧重。目前,“信号与系统”课程国内常用教材的结构有两种:一种是先信号分析后系统分析;另一种是以系统分析为主线,在各种系统分析中插入相应信号分析的内容。随着信息技术和计算机技术的发展,信号的分析与处理在各种领域中也得到了越来越多的应用,为了突出信号分析与系统分析的同等地位,本书采用了信号分析与系统分析并行的结构,在总体上又采用了先连续后离散的顺序。在每部分中,先介绍相应的信号分析和处理方法,然后再对相应

的系统分析方法加以介绍,这样就可以使信号与系统之间相辅相成的关系得以体现,既可以对信号及分析方法有一个完整的认识,也可以针对系统对信号的“加工、变换、处理”的作用过程给出一个直观的描述。信号分析与系统分析具有相同的原理,但是其具体方法却并不相同,根据这一差异,本书在各部分中对信号与系统的介绍略有侧重。例如,在第二部分频域分析中,基本理论和各种分析方法在信号及系统分析中物理意义都很直观,因此两者的介绍都给予了加强;并详细介绍了连续部分。对于离散信号与系统的频域分析部分,因其内容较多、理论比较复杂,而且,一般情况下,在后续课程“数字信号处理”中都会加以介绍,因此本书没有作过多讨论。在第三部分 S 域分析中,由于基本理论和各种分析方法对信号的分析物理意义并不直观,因此侧重点在拉普拉斯变换基本理论及连续系统分析上。同样,在第四部分 Z 域分析中,其侧重点也在 Z 变换基本理论及离散系统分析上。

本书的第三大特点是注重知识的整体性,力争用最简单的方法解决复杂的问题,在确有必要的情况下介绍多种方法,并加以比较,目的在于解决问题。在内容的组织上,本书力求理论分析与实际应用相结合,着重让学生掌握信号分析、处理及系统分析的基本原理与方法。在保证基本分析理论完整和有序的前提下,以各种分析和处理方法的应用为主,尽量避免复杂原理的数学推导过程,通过理论与实例相结合,淡化理论推导和数学运算,加强实例和应用。在知识点讲述中,通过形象化的例子帮助学生理解深奥的理论知识;在例题和习题的安排上增加应用型 and 实用型内容,提高学生运用所学知识分析和解决问题的能力。本书通过大量的实例使学生对信号与系统分析的一般方法有一个直观上的认识,能够将数学的分析方法与实际的信号、系统分析相结合,从而在提高学生应用性技能的同时,也能为后续相关课程的学习打下坚实的基础,培养良好的学习能力。本书通过理论基础和实际应用相结合,既保证严密的理论体系,又结合工程的特点介绍相关内容,两者相互促进、相互补充,加强学生对相关知识的理解。

本书分为四部分,共8章。第1章讲述了信号与系统的基本概念,包括典型的连续信号与离散信号、典型系统举例及系统的性质等内容。第2章并行介绍了连续时间系统与离散时间系统的时域分析,避免了从时域求解复杂系统。在时域分析方法中利用简单的一阶系统阐明数学概念和物理概念,主要强调各种相应的关系、卷积积分和卷积和的基本概念,对于复杂的计算,则利用后续的变换域分析方法进行处理。第3章从频域的观点分析了连续时间信号,首先研究了LTI系统对复指数信号的响应,由此引出傅里叶变换的工程意义,然后讨论周期信号的傅里叶级数表示,并延伸到非周期信号的傅里叶变换。第4章讨论了通过傅里叶变换对连续时间系统的分析,如滤波器、信号的抽样及其恢复等。第5章首先研究了傅里叶变换与拉普拉斯变换的关系,接下来讨论了拉普拉斯变换收敛域及反变换的计算方法。第6章研究了利用拉普拉斯变换分析连续时间系统的方法,阐述了系统函数的几种求法,利用系统函数求解系统的响应,分析了响应与系统零极点的关系,并引入了第4章中讨论过的频率响应函数的概念,读者可以看到从频域和复频域不同的角度分析系统响应的不同,最后分析了系统的稳定性问题。第7章作为第8章的基础介绍了 Z 变换及 Z 反变换的相关问题。第8章讨论了用 Z 变换的方法分析线性时不变离散系统。

信号与线性系统这一学科的内容极为丰富,本书在组织该方面课程教学时有很大的灵活性,适当地选用本书的一部分内容,例如第1~4章、第7和第8章内容可以独立构成电子信息类以外的专业开设“信号与系统”课程的内容。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、测控技术与仪器、光信息科学与技术、电气工程及自动化等专业的教材，也可作为相关专业科技工作人员的参考书。

本书由金学波、杜晶晶、夏海霞共同编写。具体分工是：金学波撰写第1~4章，夏海霞撰写第5、6章，杜晶晶撰写第7、8章。本书的编写得到了浙江理工大学教务处、浙江理工大学信息电子学院等有关部门和领导的指导与支持，得到了浙江理工大学电子信息工程系很多教师的关心和帮助，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中还参阅了国内外大量的经典著作、文献和资料，尤其是郑君里教授、燕庆明教授、吴大正教授和陈生潭教授的《信号与系统》教材，给编者很大的启发，对本书的写作有很多帮助，在此也表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中难免有不妥或错误之处，恳请读者批评指正。

编 者
于浙江理工大学
2009年10月

目 录

第一部分 时域分析

第 1 章 信号与系统的基本概念	3
1.1 引言	3
1.1.1 信号及其分类	4
1.1.2 系统的表示方法及其分类	5
1.2 自变量的变换	7
1.3 基本连续时间信号	9
1.3.1 单位阶跃信号	9
1.3.2 单位冲激信号	10
1.3.3 周期信号	11
1.3.4 复指数信号	11
1.4 基本离散时间信号	12
1.4.1 抽样	12
1.4.2 单位阶跃序列	13
1.4.3 单位脉冲序列	13
1.4.4 周期离散信号	14
1.4.5 离散时间的矩形信号	14
1.5 系统实例	15
1.5.1 连续系统实例	15
1.5.2 离散系统实例	17
1.6 系统的基本性质	18
1.6.1 线性	18
1.6.2 时不变性	19
1.6.3 因果性	19
1.7 小结	20
习题	20
第 2 章 线性时不变系统的时域分析	23
2.1 系统建模及其求解	23
2.1.1 连续系统的微分方程及其求解	23
2.1.2 差分方程及其求解	25
2.2 零输入响应与零状态响应	26
2.3 连续时间 LTI 系统: 卷积积分	29

2.3.1 用单位冲激函数表示连续时间信号	29
2.3.2 单位冲激响应及零状态响应的卷积积分表示	30
2.4 离散时间 LTI 系统: 卷积和	31
2.4.1 用单位样值函数表示离散时间信号	31
2.4.2 单位样值响应及零状态响应的卷积和表示	32
2.5 卷积积分的计算及其性质(补充内容)	34
2.6 小结	37
习题	38

第二部分 频域分析

第 3 章 傅里叶级数与傅里叶变换	45
3.1 周期信号的傅里叶级数展开	45
3.1.1 周期信号的傅里叶级数	45
3.1.2 周期信号的频谱	48
3.1.3 吉布斯现象	50
3.2 傅里叶变换	52
3.2.1 基本信号的傅里叶变换	52
3.2.2 傅里叶变换的性质	59
3.2.3 周期信号的傅里叶变换	67
3.3 小结	68
习题	68
第 4 章 连续时间系统的频域分析	72
4.1 系统与输入、输出信号在频域内的关系	72
4.2 LTI 系统的频率响应	73
4.3 滤波器	77
4.3.1 理想低通滤波器	78
4.3.2 滤波器应用举例	81
4.4 抽样和恢复	83
4.4.1 抽样定理	84
4.4.2 信号的恢复	87
4.4.3 实际应用中的信号抽样及恢复	88
4.5 调制与解调	92
4.6 小结	95
习题	95

第三部分 S 域分析

第 5 章 拉普拉斯变换	99
5.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	99
5.2 拉普拉斯变换的收敛域	100
5.3 拉普拉斯变换的性质	101

5.4 拉普拉斯反变换	110
5.4.1 有理拉普拉斯反变换	110
5.4.2 拉普拉斯反变换的计算	111
5.5 小结	115
习题	115
第6章 连续时间系统的S域分析	118
6.1 连续时间系统的系统函数	118
6.1.1 微分方程的拉普拉斯变换	118
6.1.2 系统函数的直接构造	120
6.1.3 方框图的系统函数	122
6.2 利用系统函数求系统的响应	125
6.2.1 零状态响应与零输入响应	125
6.2.2 冲激响应与阶跃响应	126
6.2.3 系统函数的零极点对时域响应的影响	128
6.3 频率响应函数	131
6.3.1 一阶系统	132
6.3.2 二阶系统	133
6.3.3 最小相移网络与全通网络	135
6.4 系统的稳定性	136
6.4.1 稳定性的定义	136
6.4.2 反馈控制	138
6.5 劳斯判据(补充内容)	139
6.6 小结	143
习题	143

第四部分 Z 域分析

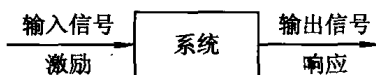
第7章 Z变换	149
7.1 Z变换及其收敛域	149
7.1.1 Z变换的定义	149
7.1.2 Z变换的收敛域	149
7.1.3 基本离散信号的Z变换	151
7.1.4 Z变换与拉氏变换的关系	152
7.1.5 Z变换与离散时间傅里叶变换的关系	153
7.2 Z变换的性质	154
7.3 Z反变换	162
7.4 小结	167
习题	167
第8章 离散时间系统的Z变换分析	169
8.1 离散时间系统的系统函数	169
8.1.1 差分方程的Z变换和系统函数	169
8.1.2 方框图的系统函数	171

8.2 利用系统函数求系统的响应	174
8.2.1 零状态响应与零输入响应	174
8.2.2 单位样值响应与单位阶跃响应	176
8.2.3 系统函数的零极点对时域响应的影响	177
8.3 离散时间系统的频率响应	179
8.3.1 离散时间系统的频率响应及其特性	179
8.3.2 由系统函数的零极点求频率响应	183
8.4 系统的稳定性	187
8.5 朱里判据(补充内容)	188
8.6 小结	190
习题	190
参考文献	193

第一部分 时域分析

时域分析法是信号与系统理论的基本方法。顾名思义，时域分析法即以时间为考察依据，研究信号、系统随时间的变化表现出来的不同特性。因此，本部分的信号描述方法及系统的研究方法都是基于时间的概念。

信号与系统是两个既相互独立又密切相关的概念，它们出现在范围广泛的各个领域，例如，通信、电路设计、声学、地震学以及图像处理等。虽然在不同领域中所出现的信号与系统的性质很不相同，但全部都具有两个基本的共同点：信号总是一个或几个独立变量的函数，该函数一般都包含了关于某些现象性质的信息；系统总是对给定的信号作出响应而产生另外的信号，或产生某些需要的特性。系统无法脱离信号而单独存在，系统的特性往往需要通过信号经过系统后出现的变化表现出来，即满足下图所示的关系：



在分析系统对信号的作用时，时域方法可以给出最直观的解释，如系统的时延特性等，但在很多情况下往往需要借助于变换域分析，具体的变换域分析方法将在第二、三、四部分介绍。与系统分析相对应的是信号分析，例如，分析信号中的低频成分及高频成分、在图像中寻找微小目标的位置等等。如前所述，信号与系统是分不开的，信号分析往往是系统分析、设计某一系统达到预期目的的基础。例如，在明确了信号中噪声的成分主要为高频成分后，我们可以设计滤波器将高频成分去除来达到信号去噪的目的。

本部分将并行介绍信号与系统的描述方法，分类并列举一些典型信号和系统。另外，介绍信号的变换及系统的性质，这些都是时域分析、变换域分析的基础。通过本部分的学习，我们还要掌握如何在时域中求解信号经过系统时产生的响应。

第1章 信号与系统的基本概念

1.1 引言

人们相互问讯,发布新闻,广播或传递数据、图像,其目的都是要把某些消息借一定形式的信号传送出去。很久以来,人们曾寻求各种方法,以实现信号的传输。例如,我国古代利用烽火传送边疆警报。另外,还有利用击鼓鸣金的方法报送时刻或传达命令,这是声信号的传输。19世纪初,人们开始研究如何利用电信号传送消息。1837年,莫尔斯(F. B. Morse)发明了电报,他用点、划、空适当组合的代码表示字母和数字,这种代码称为莫尔斯电码。1876年,贝尔(A. G. Bell)发明了电话,直接将语音信号转变为电信号沿导线传送。19世纪末,人们又致力于研究用电磁波传送无线电信号。

随着信号传输、信号交换理论与应用的发展,出现了所谓“信号处理”的新课题。信号处理可以理解为对信号进行某种加工或变换。信号处理的应用已遍及许多科学技术领域,例如,从月球探测器发来的信号可能被淹没在噪声之中,但是,利用信号处理技术进行增强,就可以在地球上得到清晰的月球图像。石油勘探、地震测量以及核试验监测仪所得数据的分析都依赖于信号处理技术的应用。此外,在心电图、脑电图分析,语音识别与合成,图像数据压缩以及经济形势预测(如股票市场分析)等各种领域中都广泛采用了信号处理技术。

信号传输、信号交换和信号处理相互联系密切(也可认为交换是属于传输的组成部分),但又各自形成了相对独立的学科体系。它们共同的理论基础之一是信号基本性能的研究(信号分析),包括信号的描述、分解、变换、检测、特征提取以及为适应指定要求而进行的信号设计。

“系统”是由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体。在信息科学与技术领域中,常常利用通信系统、控制系统和计算机系统进行信号的传输、交换与处理。实际上,往往需要将多种系统共同组成一个综合性的复杂整体,例如宇宙航行系统。

信号与系统之间有着十分密切的联系。离开了信号,系统将失去意义。信号作为待传输消息的表现形式,可以看做运载消息的工具,而系统则是为传送信号或对信号进行加工处理而构成的某种组合。研究系统所关心的是,对于给定信号形式与传输、处理的要求,系统能否与其相匹配,它应具有怎样的功能和特性。

随着科学技术的发展,人工系统的规模日益庞大,内部结构也越来越复杂,人们致力于研究将系统理论用于系统工程设计,以期使较复杂的系统最佳地满足预定的要求,以此为背景,出现了一门边缘技术科学,这就是系统工程学。

目前，随着电子信息技术的发展，信号与系统的基本理论知识显得越来越重要，已经成为电子信息类科学必不可少的重要工具。

1.1.1 信号及其分类

信号是消息的表现形式，消息则是信号的具体内容。信号可以描述范围极为广泛的物理现象，在一般情况下，信号都可以描述为某一自变量的函数并用波形表示。

时域信号可以表示为时间的函数，如电路中电容两端的电压变化为 $u_c(t) = e^{-0.5t}$, $t \in [0, +\infty)$ ，这是一个在时间上和幅度上都连续的信号，如图 1.1 所示。如果我们只能得到某些采样点的值，则信号便不是连续曲线了，自变量也不是在时间上连续的，而是一个个离散的点，通常用 $x[n]$ 表示， $n = \dots -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$ 。 $x[n]$ 可以表示自变量本来就是离散的现象，例如有关人口统计学中的一些数据、股票市场的指数等。图 1.2 给出了近 94 年的道琼斯工业平均(Doe Jones Industrial Average)指数值。也有一些离散信号是由本来连续的时间信号经过采样而得到的，这时离散信号 $x[n]$ 则代表了一个自变量是连续变化的连续时间信号在一系列离散时刻点上的样本值。

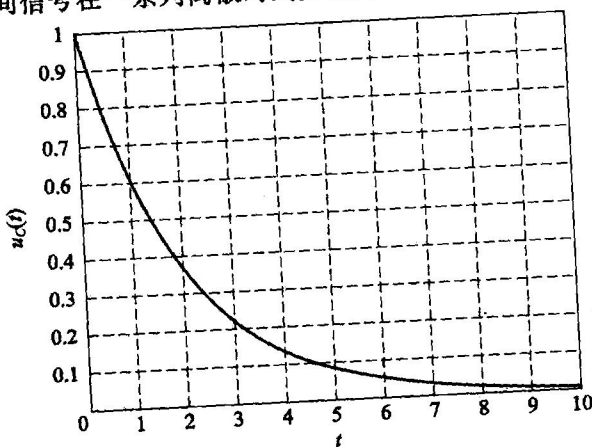


图 1.1 电路中电容两端的电压变化

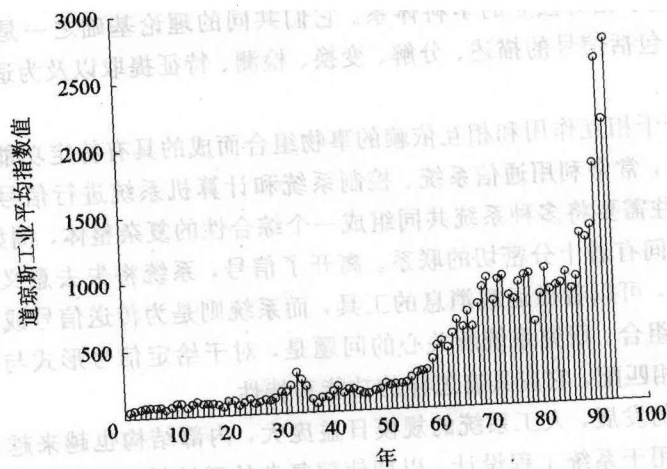


图 1.2 近 94 年道琼斯工业平均指数值

可见,根据信号的自变量可以将其分为连续时间信号和离散时间信号。从其他角度,信号还可以有其他的分类。

1. 确定性信号与随机信号

确定性信号可以表示为确定的函数表达式,例如图 1.1 所示的电容两端的电压变化为 $u_C(t) = e^{-0.5t}$ 。随机信号在某一时刻的值不确定,只能用其统计特性描述,如均值、方差等。本书只研究确定性信号。

2. 周期信号与非周期信号

周期信号以一定的周期不断重复,而且无始无终,我们熟悉的正弦信号、余弦信号都是周期信号,它们都可以表示为 $f(t) = f(t+T)$,而非周期信号不具备上述特性。

3. 一维信号与多维信号

根据自变量的个数可以将信号分为一维和多维信号,例如语音信号、电压信号等一般为一维信号,而图像为二维信号。如图 1.3 所示的二维图像信号,每一个像素的灰度值都是横纵坐标的函数,即 $f(x, y)$ 。



图 1.3 图像信号

4. 因果信号与非因果信号

如果信号 $f(t)$ 在 $t < 0$ 时有 $f(t) = 0$, 则该信号称为因果信号;否则为非因果信号。显然,周期信号为非因果信号。

1.1.2 系统的表示方法及其分类

所谓系统,是指由若干相互联系、相互作用的单元组成的具有一定功能的有机整体。

我们接触到的系统很多,如通信系统、计算机系统、自动控制系统、生态系统、经济系统、社会系统等等。这些系统又由很多子系统组成,它们都可以完成特定的功能。实际上,很多复杂整体往往需要多种系统共同组成,如宇宙航行系统。因此,“系统”一词的意义是十分广泛的,既可以表示通信系统、电力系统、机械系统等物理系统,又可以表示政治结构、经济组织、生产管理等非物理系统,还可以表示计算机网络、交通运输网、水利灌溉网以及交响乐队等人工系统等。

系统理论研究包括系统分析与系统综合两个方面。在给定系统的条件下,研究系统对于输入激励信号所产生的输出响应,这是系统分析问题;系统综合则是按某种需要先提出对于给定激励的响应,而后根据此要求设计系统。分析与综合二者关系密切,但又有各自

的体系和研究方法，分析是综合的基础。本书着重讨论系统分析。

从系统的功能上看，系统表现为对输入信号的作用结果，即在系统的作用下，输入信号转变为输出信号。输出信号一般与输入信号不同，这种不同反映了系统的作用。因此，系统的描述方法也是基于输入、输出信号的，例如，描述连续系统输入、输出关系的微分方程和描述离散系统输入、输出关系的差分方程分别为

$$\begin{cases} \frac{d^3}{dt^3}r(t) + 7 \frac{d^2}{dt^2}r(t) + 16 \frac{d}{dt}r(t) + 12r(t) = e(t) \\ y[n] + 2y[n-1] + 6y[n-2] = 5x[n] \end{cases} \quad (1.1)$$

式中： $e(t)$ 、 $x[n]$ 为系统的输入信号，也叫系统的激励函数； $r(t)$ 、 $y[n]$ 为系统的输出信号，也称系统的响应。

系统的特性是由输入、输出信号来表征的，因此，系统也可以由输入、输出信号之间的关系来描述，如后面章节将要提及的某一系统的系统函数：

$$H(j\omega) = \frac{R(j\omega)}{E(j\omega)} \quad (1.2)$$

及

$$H(s) = \frac{R(s)}{E(s)}, \quad H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (1.3)$$

就是用系统的输入及输出信号经过一系列的运算得来的，其中 $R(j\omega)$ 、 $R(s)$ 及 $Y(z)$ 是输出信号的一种表示， $E(j\omega)$ 、 $E(s)$ 及 $X(z)$ 是输入信号的一种表示。

另外，系统还可以用系统框图进行表示，即将系统方程中的相加、倍乘（标量乘法运算）、积分（或微分）和延时用框图的形式来表示，如图 1.4 所示。

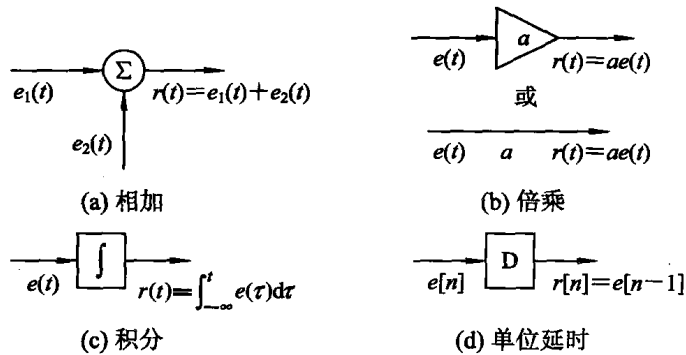


图 1.4 四种基本单元方框图

图 1.4 中，相加、倍乘和积分表示微分方程描述的系统的的基本单元；相加、倍乘和延时表示差分方程描述的系统的的基本单元。

虽然也可以不采用积分单元而用微分运算构成基本单元，但是在实际应用中考虑到抑制突发干扰（噪声）信号的影响，往往选用积分单元。

如果一阶微分方程的表达式分别为

$$\frac{d}{dt}r(t) + a_0 r(t) = b_0 e(t) \quad (1.4)$$

和

$$\frac{d}{dt}r(t) + a_0 r(t) = b_1 \frac{d}{dt}e(t) \quad (1.5)$$

则容易导出式(1.4)和式(1.5)相应的方框图分别如图 1.5 和图 1.6 所示。

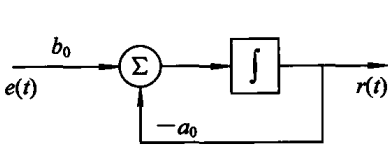


图 1.5 与方程(1.4)对应的方框图

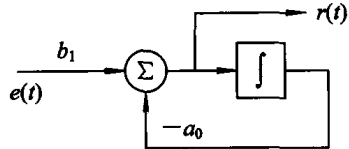


图 1.6 与方程(1.5)对应的方框图

从系统的功能、用途等方面可以有很多系统分类方法，如根据系统中的信号是连续的还是离散的，可以将系统分为连续时间系统与离散时间系统；根据系统的性质可以将系统分为线性系统和非线性系统、时变系统和非时变系统、因果系统与非因果系统等等。关于系统的性质，将在 1.6 节详述。

1.2 自变量的变换

信号与系统中的一个重要概念是关于信号的变换。例如，在飞机控制系统中对应于驾驶员动作的信号，经机械系统变换为飞机推力和控制飞机翼面位置改变的信号，进而再经过该机体的动力学和运动学原理变换为飞机速度和航向上的变化。本节所涉及到的变换是最基本、最简单的变换，即时间轴的变换。

考虑自变量经适当变换后的信号，如图 1.7 所示， $x[-n]$ 就是将 $x[n]$ 以 $n=0$ 为轴反转而得到的；又如图 1.8， $f(-t)$ 也是从信号 $f(t)$ 以 $t=0$ 为轴反转得到。这样，如果 $f(t)$ 是一个录制在磁带上的声音信号的话，那么 $f(-t)$ 就代表同样一盘磁带倒过来放音（即从末尾向前倒放）的结果。自变量变换的第二个例子如图 1.9 中的三个信号，即 $f(t)$ 、 $f(2t)$ 和 $f(t/2)$ 这三个信号是与自变量的线性尺度变换联系着的。倘若我们再一次把 $f(t)$ 想象为一盘磁带的话，那么 $f(2t)$ 就是这盘磁带以两倍的速度放音的结果，而 $f(t/2)$ 则代表原磁带将放音速度降低一半。

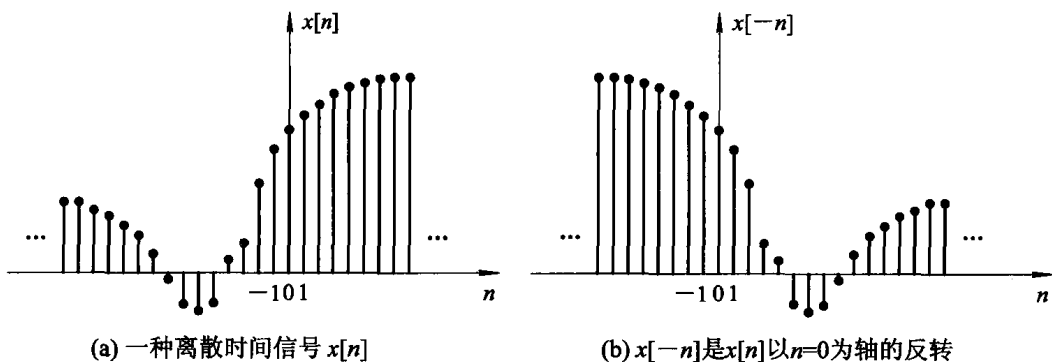


图 1.7 离散时间信号 $x[n]$ 及 $x[-n]$