

高等院校信息与通信工程系列教材

信号和通信系统

(第2版)

包闻亮 汪源源 朱 谦 编著

清华大学出版社



高等院校信息与通信工程系列教材

信号和通信系统

(第2版)

包闻亮 汪源源 朱 谦 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书详细介绍信息传输系统方面的内容,包括信号、系统与噪声的基本理论和各种通信系统的基本原理。全书共分5章,第1章确定信号分析,第2章随机信号分析,第3章数字通信系统,第4章信号的调制传输,第5章噪声对通信系统的影响。

本书可作为高等院校电子信息工程、电子科学与技术、生物医学工程、计算机科学与技术等专业的教材和教学参考书,也可供相关专业科技工作者参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

信号和通信系统/包闻亮,汪源源,朱谦编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2007.7
(高等院校信息与通信工程系列教材)

ISBN 978-7-302-14835-7

I. 信… II. ①包… ②汪… ③朱… III. ①信号系统—高等学校—教材 ②通信理论—高等学校—教材 IV. TN911-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 034208 号

责任编辑:陈国新

责任校对:李建庄

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京市清华园胶印厂

装订者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.25 字 数:448 千字

版 次:2007年7月第2版 印 次:2007年7月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:022282-01

高等院校信息与通信工程系列教材

• 已出版书目

信息论与编码	曹雪虹 张宗橙
综合电子设计与实践	王振红
语音信号处理	韩纪庆 张 磊 郑铁然
光波导理论(第2版)	吴重庆
信号处理新方法导论	余英林 谢胜利 蔡汉添
电子设计自动化技术基础	马建国 孟宪元 等
专用集成电路设计与电子设计自动化	路而红
通信系统概论	吴诗其 朱立东
移动通信原理、系统及技术	曹达仲 侯春萍
现代通信网技术	许 辉 等
光纤通信与光纤信息网	董天临
信息理论基础习题集	陈 杰
通信电子电路	于洪珍
信号检测与估计理论	赵树杰 赵建勋
编码调制原理与技术	袁东风
计算机通信信息安全技术	王景中 徐小青
通信原理	王福昌 熊兆飞 黄本维
计算电磁学的数值方法	吕英华
通信网的安全理论与技术	戴逸民 王培康 陈 巍
图像编码基础(第3版)	姚庆栋 等
交换技术	糜正琨
TMS320C54xx DSP 实用技术(第2版)	汪安民
接入网技术	雷维礼 马立香
多抽样率数字信号处理理论及其应用	陶 然 张惠云 王 越
信号检测与估计理论学习辅导与习题解答	赵建勋
数字无线传输(第2版)	李式巨 姚庆栋 赵民健
音频信息处理技术	韩纪庆 等
扩频通信	田日才
通信原理实验	王福昌 潘晓明
通信原理学习辅导	张甫翊 张若渊
信号和通信系统(第2版)	包闯亮 汪源源 朱 谦



教师反馈表

感谢您购买本书！清华大学出版社计算机与信息分社专心致力于为广大院校电子信息类及相关专业师生提供优质的教学用书及辅助教学资源。

我们十分重视对广大教师的服务，如果您确认将本书作为指定教材，请您务必填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回我们的联系地址，我们将免费向您提供本书的电子教案和部分习题解答。

您需要教辅的教材：			
姓名：			
院系：			
院/校：			
您所教的课程名称：			
学生人数/学期：	_____人/	_____年级	学时：
您目前采用的教材：	作者：_____		
	书名：_____		
您准备何时用此书授课：			
联系地址：			
邮政编码：		联系电话	
E-mail：			
您对本书的建议：			系主任签字 盖章

我们的联系地址：

清华大学出版社 学研大厦 A602, A604 室

邮编：100084

Tel: 010-62770175-4409, 3208

Fax: 010-62770278

E-mail: liuli@tup.tsinghua.edu.cn; hanbh@tup.tsinghua.edu.cn



高等院校信息与通信工程系列教材编委会

主 编：陈俊亮

副 主 编：李乐民 张乃通 邬江兴

编 委 (排名不分先后)：

王 京	韦 岗	朱近康	朱世华
邬江兴	李乐民	李建东	张乃通
张中兆	张思东	严国萍	刘兴钊
陈俊亮	郑宝玉	范平志	孟洛明
袁东风	程时昕	雷维礼	谢希仁

责任编辑：陈国新

出版说明

信息与通信工程学科是信息科学与技术的重要组成部分。改革开放以来,我国在发展通信系统与信息系统方面取得了长足的进步,形成了巨大的产业与市场,如我国的电话网络规模已占世界首位,同时该领域的一些分支学科出现了为国际认可的技术创新,得到了迅猛的发展。为满足国家对高层次人才的迫切需求,当前国内大量高等学校设有信息与通信工程学科的院系或专业,培养大量的本科生与研究生。为适应学科知识不断更新的发展态势,他们迫切需要内容新颖又符合教改要求的教材和教学参考书。此外,大量的科研人员与工程技术人员也迫切需要学习、了解、掌握信息与通信工程学科领域的基础理论与较为系统的前沿专业知识。为了满足这些读者对高质量图书的渴求,清华大学出版社组织国内信息与通信工程国家级重点学科的教学与科研骨干以及本领域的一些知名学者、学术带头人编写了这套高等院校信息与通信工程系列教材。

该套教材以本科电子信息工程、通信工程专业的专业必修课程教材为主,同时包含一些反映学科发展前沿的本科选修课程教材和研究生教学用书。为了保证教材的出版质量,清华大学出版社不仅约请国内一流专家参与了丛书的选题规划,而且每本书在出版前都组织全国重点高校的骨干教师对作者的编写大纲和书稿进行了认真审核。

祝愿《高等院校信息与通信工程系列教材》为我国培养与造就信息与通信工程领域的高素质科技人才,推动信息科学的发展与进步做出贡献。

北京邮电大学
陈俊亮

本书的绪论讲述信息、信号与系统之间的关系;第1章讲述连续信号分析理论,包括频谱分析、相关分析、信号通过线性系统等内容;第2章讲述离散信号分析理论,包括离散信号分析、离散系统等内容;第3章介绍数字通信系统的基本原理以及一些具体的数字传输系统;第4章论述模拟通信系统原理;第5章阐述噪声对各种通信系统的影响,并比较各种通信系统的性能。各章后面均附有习题,有一些习题的内容涉及到具体实用系统。

本书有1个附录,介绍书中涉及的数学公式和特殊函数,供学生参考。

本书这次再版时,第1章和第2章由汪源源作了修改和补充,第3章由宋康作了修改和补充,第4章由包闻亮作了补充和修改,全书由包闻亮审核定稿。另外,在清华大学出版社编辑的大力支持和协助下,本书得以在较短时间向出版和发行,编者在此表示诚挚的谢意。

限于编者水平,书中难免有错误与不足之处,恳请广大读者批评指正。

2007年4月于复旦大学

前 言

本书第1版经两次印刷已过了10年,多年来复旦大学信息科学与工程学院各系、专业都采用这本教材。这次清华大学出版社诚邀编者修改和补充,出版第2版。

对于理工科电学类专业的学生来说,“信号与系统”是一门重要的课程。但在这门课程中,要用较少的学时全面论述信号和系统是很困难的。多年来,我们将“信号和系统”分别在三门课程中进行讨论:第一门课程为“信号和通信系统”,主要论述连续信号和系统的频域分析,并且讲述信息传输系统;第二门课程为“自控原理”,介绍连续信号和系统的时域分析、复频域分析以及系统的状态变量分析等,并且论述自动控制系统;第三门课程为“数字信号处理”,主要讲述离散时间信号和系统分析以及数字信号处理系统。后两门课程是在前一门课程学完之后同时进行的,全部内容在两学期内讲完。这样做的好处是三门课程的内容均衡衔接而不重复,每门课程都能在48~64学时内完成,学生可以对信号与系统全面了解。

本书以信息传输系统为主线,讲述信号、系统与噪声等基本理论。内容编排上先讨论信号与系统频域分析的各个重要课题。在频域分析中引入广义函数的概念,这样,对一类能量无限信号(如单位冲激函数、阶跃函数等)的傅里叶分析就有了更好的数学工具,考虑学生数学基础情况,对此节标以“*”号,教师可以根据具体情况,用极限方法引出冲激函数来讨论无限能量信号的傅里叶变换。然后介绍各种信息传输系统的基本原理。在学习基本原理的同时,加强了与实际通信系统的联系,特别对近年来应用广泛的数字通信系统根据最近的发展,修订并补充了部分内容。这对于缺乏实际系统认识的理科学生来说是很有必要的。

本书的绪论讲述信息、信号与系统之间的关系。第1章讲述连续信号和系统的频域分析理论,包括频谱分析、相关分析、信号通过线性系统等内容。第2章阐述随机信号的统计特性、典型噪声信号分析及随机信号通过线性系统等内容。第3章介绍数字通信系统的基本原理以及一些具体的数字传输系统。第4章论述模拟通信系统原理。第5章阐述噪声对各种通信系统的影响,并比较各种通信系统的性能。各章后面均附有习题,有一些习题的内容涉及到具体实用系统。

本书有4个附录,介绍书中涉及的数学公式和特殊函数,供学生参考。

本书这次再版时,第1章和第2章由汪源源作了修改和补充,第3章由朱廉作了修改和补充,第4章由包闻亮作了补充和修改,全书由包闻亮审核定稿。另外,在清华大学出版社编辑的大力支持和协助下,本书得以在较短时间内出版和发行,编者在此表示诚挚的谢意。

限于编者水平,书中难免有错误与不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007年4月于复旦大学

目 录

绪论	1
0.1 信息、信号与系统	1
0.2 信息与信息量	1
0.3 信号的描述及分类	3
0.4 系统的分类及分析方法	4
0.5 信息传输系统概述	6
0.5.1 信息传输系统模型	6
0.5.2 数字通信系统模型	7
习题 0	8
第 1 章 确定性信号分析	9
1.1 周期信号的傅里叶级数表示	9
1.1.1 周期信号的简谐波展开	9
1.1.2 离散频谱及其性质	12
1.2 连续频谱——能量型信号的频谱分析	17
1.2.1 傅里叶变换	17
1.2.2 连续频谱	21
*1.3 广义函数	25
1.3.1 广义函数的基本概念	25
1.3.2 广义函数的性质	26
1.3.3 几个特定的广义函数	29
1.4 常用的傅里叶变换	32
1.5 频谱密度的性质	43
1.6 能量谱与功率谱	50
1.7 确定信号通过线性时不变系统	52
1.7.1 系统的时间-频率表示法	52
1.7.2 卷积	54
1.7.3 频率域内线性系统的理论	56
1.7.4 无失真传输与理想滤波器	60

1.8 确定信号的相关	63
1.8.1 相关系数	63
1.8.2 相关函数	65
1.8.3 相关函数的性质	66
1.8.4 线性时不变系统与相关函数的关系	68
1.9 希尔伯特变换	69
1.9.1 希尔伯特变换的基本概念	69
1.9.2 希尔伯特变换的性质	71
1.9.3 希尔伯特变换的应用	72
习题 1	76
第 2 章 随机信号分析	86
2.1 随机信号的统计分布描述	86
2.1.1 随机信号的一维分布	87
2.1.2 随机信号的二维和 n 维分布	88
2.1.3 平稳随机信号	89
2.2 随机信号的平均表征	89
2.2.1 随机信号的集平均表征量	89
2.2.2 随机信号的时间平均表征量	95
2.2.3 各态历经性	95
2.2.4 随机信号的功率谱	97
2.2.5 随机信号的功率谱与自相关函数的关系	98
2.3 典型随机信号	99
2.3.1 起伏噪声	99
2.3.2 白噪声	100
2.3.3 窄带高斯噪声	102
2.3.4 正弦波加窄带高斯噪声	106
2.4 随机信号通过线性系统	109
2.4.1 输出信号的数字特征	109
2.4.2 输出与输入随机信号间的互相关	110
习题 2	112
第 3 章 数字通信系统	116
3.1 模拟信号的数字化原理	116
3.1.1 抽样定理	116
3.1.2 幅度量化	122
3.1.3 量化噪声	123

3.1.4	非均匀量化	126
3.2	脉冲幅度调制和时分多路复用	128
3.2.1	曲顶 PAM	128
3.2.2	平顶 PAM	130
3.2.3	PAM 系统的带宽与传输	131
3.2.4	时分多路复用	132
3.3	脉冲编码调制	136
3.3.1	线性 PCM 编码	136
3.3.2	非线性 PCM 编码	138
3.3.3	PCM 基群结构	140
3.4	增量调制	142
3.4.1	简单增量调制的工作原理	142
3.4.2	量化噪声和过载量化噪声	143
3.4.3	改进型增量调制	145
3.5	基带传输原理	148
3.5.1	基带信号的基本码型	148
3.5.2	基带信号的频谱特性	151
3.5.3	无码间串扰的基带信号传输	156
3.5.4	部分响应系统	163
3.5.5	信道噪声对基带信号传输的影响	167
3.6	匹配滤波器	170
3.7	纠错编码	175
3.7.1	常用的差错控制方法	176
3.7.2	纠错编码的基本原理	176
3.7.3	常用的简单编码	179
3.7.4	汉明码	180
3.7.5	循环冗余校验码	183
	习题 3	186
第 4 章	信号的调制传输	193
4.1	数字信号的调制	193
4.1.1	振幅键控	194
4.1.2	移频键控	196
4.1.3	移相键控	199
4.1.4	多进制数字信号的调制	203
4.2	振幅调制	207
4.2.1	双边带调制	207

4.2.2	一般的振幅调制	210
4.2.3	单边带调制	213
4.2.4	残留边带调制	217
4.3	角调制	220
4.3.1	调频波与调相波	220
4.3.2	调频信号的频谱与带宽	222
4.3.3	FM 信号的产生	227
4.3.4	FM 信号的解调	230
4.4	频分多路复用	233
4.5	码分多路复用	235
4.5.1	扩频概念及扩频系统模型	235
4.5.2	用伪随机码和 Walsh 正交函数作地址码	236
4.5.3	调制与解调	239
4.5.4	CDMA 的优点	242
	习题 4	242
第 5 章 噪声对通信系统的影响		251
5.1	二进制调制的误码率	251
5.1.1	噪声对相干检测二进制传输系统的影响	252
5.1.2	噪声对非相干检测二进制传输系统的影响	256
5.1.3	二进制数字调制系统的性能比较	262
5.2	调幅系统的抗噪声性能	263
5.2.1	DSB 系统的抗噪声性能	263
5.2.2	SSB 系统的抗噪声性能	264
5.2.3	AM 系统的抗噪声性能	265
5.3	FM 系统的抗噪声性能	266
5.3.1	FM 系统的解调增益	266
5.3.2	FM 系统与 AM 系统的输出信噪比比较	268
5.3.3	FM 解调中的门限效应	269
5.3.4	用去加重来改进 FM 系统的输出信噪比	271
5.4	PCM 系统的抗噪声性能	272
5.5	信息传输引论	275
5.5.1	信道与信道容量	275
5.5.2	带宽和信噪比互换	276
5.5.3	实际系统的潜力	277
	习题 5	279

附录.....	284
附录 A 常用数学公式	284
附录 B 施瓦茨不等式	285
附录 C 误差函数	286
附录 D 贝塞尔函数	288
参考文献.....	290

绪 论

0.1 信息、信号与系统

信息是人类社会和自然界中需要传送、交换、存储和提取的抽象内容。例如一次电话中,甲告诉乙所不知道的消息,就说甲发出了信息;而乙在电话中得知了原先不知道的消息,就说乙得到了信息。

信息存在于一切事物之中,事物的一切变化和运动都伴随着信息的交换和传送。各种各样的社会活动、无线电波的传播、计算机的运算等都是信息交换和传输的过程。信息是人类认识世界和改造世界的知识源泉。

信息是抽象的内容,为了传送和交换信息,必须通过语言、文字、图像和数据等将它表示出来。人们称表示信息的语言、文字、图像和数据等为消息。消息在许多情况下是不便于传送和交换的,例如语言就不宜远距离直接传送。为此需要用光、声、电等物理量来运载消息。人们称运载消息的光、声、电等物理量为信号。用数学式子表示时,它们就是时间或空间的函数。信号是包含(或表示)信息的时间或空间函数,记为 $S(t)$ 或 $S(x)$, $S(t)$ 、 $S(x)$ 的表示图形称为信号波形。

信息的交换、传送、存储和提取是借助于信号的传输、存储和处理来完成的。信号是物理量,因而信号的传输、存储和处理必须借助于物理设备才能实现。这些传输、存储和处理信号的设备总称为系统。具体地说,系统是由各个不同的单元按照一定的方式组成、并能完成某种任务的整体的总称。从抽象的观点看,系统所完成的任务就是传输、存储和处理信号,以达到自然界、人类社会、生产设备按照对人类有利的规律运动的目的,所以系统的组成、特性应该由信息和信号决定。

从上述可知,信息、信号与系统是不可分割的整体。本课程以信号与系统为主线,对连续时间信号与系统的时域、频域进行分析,对信息传输系统作详细的论述。之所以要讨论信息传输系统,是因为它不仅广泛存在于通信的各个业务领域(电报、电话、传真、数据传输及可视电话等),而且存在于广播、电视、雷达、控制、遥测及计算机科学等各领域。

0.2 信息与信息量

信息是一个社会概念。它是人类社会共享的一切知识、学问以及从客观现象中提取出来的各种消息的总和。对信息目前已有几十种定义。如维纳(N. Wiener)把信息定义为:“信息是我们在适应外部世界并使这种适应为外部世界所感知的过程中,同外部世界交换内容的总和。”而哈脱莱(R. Hartley)的定义为:“信息是消息中不确定性的消除”。

上面的信息是广义的概念,而常说的信息论则是从狭义的角度来研究信息,即主要研究与通信系统有关的信源的信息量、信道容量、噪声及编码问题。它的理论基础是从香农(C. Shannon)研究通信系统时建立并由他与韦佛(W. Weaver)于1949年发表的《通信的数学理论》中对信息引入定量的规定,从而人们开始对信息有了初步的了解。目前信息的含义已进一步发展,这一定量规定也逐渐暴露出它的局限性。不过对于无线电、电子学等技术领域来讲,香农理论仍不失为信息论的基础。

世界上任何事件的发生都是不确定的。任何信源产生的包含一定信息的符号都是随机的。若符号的出现是确定的,或者预先知道的,就无信息可言,信息的传输也就失去了意义。例如一个朋友告诉你一件事,如果你对这件事早已知道,你就对他讲的不感兴趣。如果你对这件事一无所知,而且认为这件事发生的可能性很小,那么你听到后就会感到吃惊、感觉得到了不少信息。因此关于某一事件发生的消息,其信息量和该事件发生的概率有相反的关系。如果事件是确定的(概率为1),那么它传送的信息量为零;反之,如果事件是不可能发生的(概率为0),那么该事件的发生有无穷的信息量。实际上,信息量 I 是事件概率的倒数的对数函数,即

$$I \approx \log \frac{1}{P}$$

另外,人们希望有效地传输信息。从工程的观点看,一则消息中的信息量和传输此消息所需要的时间成正比。这表明传输确定性比较大(出现概率大)的消息所用的时间比传输较小概率的消息所需时间短。早在信息论研究之前,人们为了有效地传输报文,对莫尔斯电码传送英文字母符号时就有此考虑。把字母出现的概率较大的用较短的码来传送,如字母 e 出现的概率是 $P=0.105$,用一个小点“·”来表示;字母 t ($P=0.072$)用“—”短划来表示。而概率出现较小的字母,如 Q ($P=0.001$)用“— — · —”来表示,字母 J ($P=0.0001$)用“· — — —”来表示。当然早期的莫尔斯电码由于没有信息论的理论指导,有的字母的电码并不一定是恰当的。

下面来说明传送概率为 P 的一个符号(或消息)所需最短时间确实和 $\log(1/P)$ 成正比。

首先,假设 a 和 b 是等概率的消息,目前需要传送其中的一个,它可以是“晴”和“雨”这类气象消息。可采用二进制脉冲来传送这两个消息,用无脉冲代表消息 a (晴),有脉冲代表消息 b (雨)。至少需要用一个二进制脉冲来传送两个等概率消息中的任何一个,信息的单位为 bit。显然,一个二进制脉冲能够传送 1bit 信息。

考虑有 4 个等概率消息的情况。如果这些消息由二进制脉冲传送,则每个消息需要两个二进制脉冲组成一个码组。每个二进制脉冲能取两种状态,因此两个脉冲的组合构成 4 种不同的码组分别表示 4 个消息。于是需要两个二进制脉冲来传送 4 个等概率消息中的任何一个,每个这样的消息占据的时间为传送两条等概率消息之一所需时间的 2 倍。因此它包含 2 倍的信息,即 2bit。通常, n 个等概率消息之一包含 $\log_2 n$ bit 信息。至少需要 $\log_2 n$ 个二进制脉冲来传送这样一个消息。这些事件中任一个发生的概率 $P=1/n$,因此

$$I = \log_2 n = \log_2 \frac{1}{P} \quad (0-2-1)$$

由此讨论看出,一个信息的信息量度(以 bit 为单位)等于信息编码所需的最小二进制脉冲数目。

信息量公式中对数的底数常取为 2,单位是 bit。也有以 e 或 10 为底数的,信息量单位名称也不同,但它们之间可以转换。

表面上看,上面的定义似乎很有局限性,它仅适合于离散性质的消息。但是信息论有一个重要的结论:任何形式的待传输的消息,总可以用二进制形式来表示而不失其主要内容。下面将会讨论到:对于频带有限的连续信号,可以用每秒若干个离散的抽样值来表示,而这些抽样值又可以用二进制码组来表示。由于噪声或者接收者能力有限,即抽样值的精度是有限的,所以用二进制码组表示的码组长度也是有限的。

0.3 信号的描述及分类

本书研究的信号主要是电信号,简称信号。信息必须借助于信号才能进行传送、交换、存储和提取,所以在信息系统中信号是一个重要的客体。就信号和信息的关系而言,一方面信号是表达信息的符号,信号包含着信息;另一方面由于系统是传输、变换和处理信号的,所以系统的特性必然与信号有关。因此必须透彻地了解和研究信号的各种属性。

研究信号的信号理论涉及面很广,内容十分丰富。从大的方面来说,可以分为两部分:一是信号分析,研究信号的解析表示、信号有用性能的数值特征、信号的变换和处理等;二是信号的综合,讨论满足系统给定的要求来设计或选择信号的最佳形式。信号分析与信号综合两个方面既有区别,又互相联系。信号分析是综合的基础,本书重点讨论信号的分析。电信号一般是指随时间变化的电压或电流。描述信号的基本方法是写出它的时域解析表示式或绘出信号波形。除了表示式与波形两种直观的描述方法之外,还可用频谱分析或其他正交变换的方式来描述信号。

信号的形式是多种多样的。对于各种信号可以从不同的角度进行分类,且分类方式常与系统有关。

(1) 按照信号自变量 t 的取值特点,可将信号分成连续时间信号与离散时间信号两种。对于任意时间值(除若干不连续点之外)都可给出确定的函数值的信号称为连续时间信号,如正弦波或矩形脉冲等。在时间上离散的信号,即只在某些不连续的瞬时给出函数值的信号称为离散时间信号。在某种条件下,连续时间信号与离散时间信号之间可以转换。

(2) 按照信号是否存在随机性的特点,可将信号分成确定信号与随机信号。如果信号仅为时间函数,且它的所有参量都确知,即对于给定的某一时刻可确定相应的函数值,这样的信号称为确定信号。而随机信号则是给定的某个时刻,信号的值具有不确定性。

(3) 按照信号幅度取值的特点,将信号分成模拟信号与数字信号。信号的幅度是连续取值的称为模拟信号,而信号的幅度只能取某个量值的整数倍的信号称为数字信号。

此外,根据信号能量的特点,可将信号分成能量型信号和功率型信号。能量型信号的持续时间不管有限还是无限,信号的能量是有限的。功率型信号是持续时间无限,能量也

无限,但其时间平均值是有限的信号。根据信号的重复性特点,可将信号分成周期信号与非周期信号。

本书研究信号四个方面的特性:①频谱特性,它表明信号占有的频带;②时间特性;③信息特性,它表示信号的信息含量;④能量特性,它表明信号的能量或功率。它们分别从频域、时域、信息和能量四个不同的角度对信号进行描述,有各自的意义,同时又存在密切的联系。

0.4 系统的分类及分析方法

信息的交换、传送、存储和提取是借助于信号通过各种各样的系统(物理设备)进行的。系统完成对信号的传输、存储和处理。信号对系统的输入称为激励,信号从系统中输出称为响应。系统的输入、输出之间的关系可由系统的数学模型来给定。可以用不同的数学模型把系统划分为不同的类型。

1. 连续时间系统和离散时间系统

如果系统的输入、输出都定义在所有时间上,称这样的系统为连续时间系统。例如由RLC组成的系统就是连续时间系统。如果系统的信号只在离散的瞬间变化,这种系统称为离散时间系统。

2. 线性系统和非线性系统

线性系统是输入、输出关系满足线性条件的系统,即若系统的输入为 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$, 其相应的输出为 $y_1(t)$ 和 $y_2(t)$, 则下式成立:

$$\alpha x_1(t) + \beta x_2(t) \rightarrow \alpha y_1(t) + \beta y_2(t) \quad (0-4-1)$$

上式表示系统的线性性质(叠加性及均匀性),这样的系统称为线性系统。线性系统可以是连续时间系统,也可以是离散时间系统。不具备上述性质的系统称为非线性系统。

3. 时不变系统和时变系统

参量不随时间而变化的系统称为时不变系统,参量随时间而改变的系统称为时变系统(变参系统)。对于时不变系统,若输入为 $x(t)$, 输出为 $y(t)$, 那么当输入延迟为 $x(t-T)$ 时, 输出是 $y(t-T)$, 而 T 为延迟时间。

系统是否线性 and 是否时不变是两个独立的概念。线性系统可以是时不变的或者是时变的。

4. 因果系统和非因果系统

凡是系统的响应出现在激励时刻之后的系统称为因果系统或物理可实现系统。如果系统对冲激信号 $\delta(t)$ 的响应是 $h(t)$, 那么系统为因果的充要条件对于连续时间系统是

$$h(t) = 0 \quad t < 0 \quad (0-4-2)$$

此外,根据不同的方式,系统还可分成集总参数系统和分布参数系统、即时系统和动