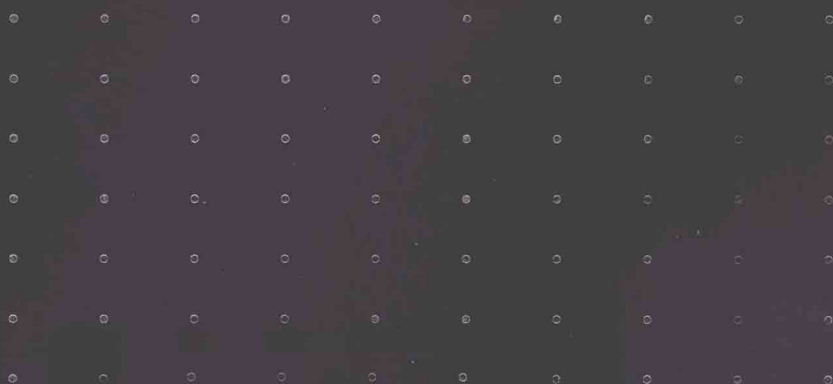


教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

信号与系统

■ 主 编 汤全武

■ 副主编 陈晓娟 李德敏



教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

信号与系统

■ 主 编 汤全武
■ 副主编 陈晓娟 李德敏



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书主要讲述连续信号和离散信号的时域分析和变换域分析,线性时不变系统的描述和特性,连续信号和离散信号通过线性时不变系统的时域分析和变换域分析,以及系统的状态变量分析法。

本书根据信息科学技术发展的趋势,结合近年来多所院校教学改革的成果,按照先输入-输出描述后状态变量描述,先连续后离散,先时域后变换域的结构体系。内容突出基本理论、基本概念和基本分析方法,以 MATLAB 作为信号与系统分析的工具,给出大量实例,注重典型题目的分析。自测题以填空题和选择题为主,习题分为基础题和提高题,以适应不同层次的学生。

本书可作为电子信息工程、通信工程、自动化、信息工程、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、光信息科学与技术、计算机科学与技术、网络工程等专业的本科教材,也可供其他专业选用和工程技术人员参考,同时可作为报考通信与信息系统、信号与信息处理、电路与系统等学科硕士研究生的复习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/汤全武主编. —北京:高等教育出版社, 2011.2

ISBN 978-7-04-031515-8

I. ①信… II. ①汤… III. ①信号系统-高等学校-教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 011996 号

策划编辑 杜 炜 责任编辑 李葛平 封面设计 张申申 责任绘图 尹 莉
版式设计 马敬茹 责任校对 杨雪莲 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 25.5
字 数 620 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011 年 2 月第 1 版
印 次 2011 年 2 月第 1 次印刷
定 价 37.00 元

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

物料号 31515-00

序

自1999年以来,我国高等教育的规模发生了历史性变化,开始进入大众化的发展阶段。高等院校从生源基础知识水平、课程设置、教学目的到培养目标都趋于多元化,原有教材类型和种类较少的现状已经难以满足不同类型高等院校培养不同类型人才的需求。而在本科教育中,基础课程建设是保证和提高教学质量的关键。为此,“教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社合作,以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的《电子电气基础课程教学基本要求》、电子信息科学类与电气信息类各教学指导分委员会最新制定的专业规范以及《全国工程教育专业认证标准(试行)》为依据,共同组织制订了“电子信息科学类与电气信息类专业平台课程教材规划”。

这套规划教材的制订和编写遵循了以下几点原则:

1. 尊重历史,将高等教育出版社经过半个多世纪的积淀所形成的名家名作、精品教材纳入规划。这些教材经过数十年的教学实践检验,具有很好的教学适用性。此次规划将依据新的《电子电气基础课程教学基本要求》以及电气信息学科领域的最新发展,对教材内容进行修订。

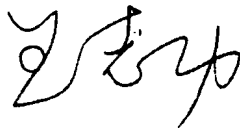
2. 突出分类指导,突出不同类型院校工程教育的特点。大众化教育阶段,不同类型院校的人才培养目标定位不同,应当根据不同类型院校学生的特点组织编写与之相适应的教材。鼓励有编写基础的一般院校和应用型本科院校经过2~3年的试用,形成适用于本层次教学的教材。

3. 理论知识与实际应用相结合。提倡在教材编写中把理论知识与在实际生产和生活中的应用紧密结合,着重培养学生的工程实践能力和创新能力,以适应社会对工程教育人才的要求。

4. 数字化的多媒体资源与纸质教材内容相结合。在教育部“加快教育信息化进程”的倡导下,提倡利用多样化、立体化的信息技术手段(如动画、视频等),将课程教学内容展现给学习者,以加深他们对知识的理解,达到更好的教学效果。

教材建设是一项长期、艰巨的工程。我们将本着成熟一批出版一批的指导思想,把这项工作扎实持续地推进下去,为电子信息科学类与电气信息类专业基础课程建设一批基础扎实、教学适用性强、体现时代气息的规划教材,为提高高等教育教学质量,深化高等教育教学改革做出应有的贡献。

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员



2010年12月

前 言

信号与系统课程已经发展为信息类专业的专业基础课程,尤其是许多院校实行大类招生后,建立大平台的教学模式,需要突出“三基”和“宽口径”内容的教材,为专业的选择和专业课的学习打下坚实的基础;同时需要在有限的课时内提供尽可能多的信息,要求教材中融入现代教学手段如计算机仿真技术,故将 MATLAB 仿真融入教材中,提供了大量的实例;另外,一本好的教材能够满足不同层次的需求,诸如本科生自身的层次需求、自学者的需求等。

本书主要讲述连续信号和离散信号的时域分析和频域分析,线性时不变系统的描述和特性,连续信号通过线性时不变系统的时域分析、实频域分析、复频域分析,离散信号通过线性时不变系统的时域分析、 z 域分析和系统的状态变量分析法。

本书根据信息科学技术发展的趋势,结合近年来多所院校教学改革的成果,按照先输入-输出描述后状态变量描述,先连续后离散,先时域后变换域的结构体系。内容突出基本理论、基本概念和基本分析方法,以 MATLAB 作为信号与系统分析的工具,注重典型题目的分析。习题分为基础题和提高题,以适应不同层次的学生。

本书的特点如下:

1. 跟踪信息科学技术发展的趋势,体现多所院校近年来的教学改革成果。
2. 突出基本理论、基本概念和基本分析方法,以适应大平台教学的需要。
3. 将计算机仿真技术融入教材中,以 MATLAB 为工具给出大量的实例。
4. 一般例题和典型例题相结合,基础习题和提高习题相结合,以满足不同层次的需求。
5. 每章有内容提要,给出学习要求和重点;每章结尾有小结。
6. 每章有自测题,自测题以填空题和选择题为主。

本书由汤全武任主编,陈晓娟、李德敏任副主编。其中陈晓娟(东北电力大学)编写第3章,李德敏(东华大学)编写第7章,汪西原(宁夏大学)编写第5章,车进(宁夏大学)编写第6章,刘淑琴(内蒙古师范大学)编写第2章,陈元莉(西华师范大学)编写第4章的1~8节,汤全武(宁夏大学)编写绪论、第1章、第4章的9~14节以及每章的自测题和部分习题,并对全书进行了统稿。书稿承蒙西安电子科技大学张永瑞教授审阅并提出了宝贵意见,编者表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参考了诸多文献资料,在此向文献资料的作者们表示感谢。

限于水平,书中错误及不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2010年10月

目 录

绪论	1
第 1 章 信号与系统的概念	6
1.1 信号的定义与分类	6
1.1.1 信号的定义	6
1.1.2 信号的分类	6
1.2 典型连续信号及其时域特性	10
1.2.1 直流信号	10
1.2.2 正弦信号	10
1.2.3 指数信号	10
1.2.4 复指数信号	11
1.2.5 取样信号	12
1.3 信号的时域变换	13
1.3.1 反折	13
1.3.2 时移	13
1.3.3 尺度	14
1.3.4 倒相	15
1.4 信号的时域运算	16
1.4.1 相加	16
1.4.2 相乘	17
1.4.3 数乘	17
1.4.4 微分	17
1.4.5 积分	18
1.5 奇异信号	18
1.5.1 单位斜变信号	18
1.5.2 单位阶跃信号	19
1.5.3 单位门信号	20
1.5.4 单位冲激信号	20
1.5.5 单位冲激偶信号	24
1.5.6 符号信号	26
1.6 系统的定义与描述	27
1.6.1 系统的定义	27
1.6.2 系统的数学模型	27
1.6.3 系统的框图表示	28
1.7 系统的性质与分类	29

1.7.1 系统的性质	29
1.7.2 系统的分类	30
1.8 信号与系统概念的 MATLAB 实现	33
1.8.1 连续时间信号的 MATLAB 表示	33
1.8.2 常用连续时间信号的 MATLAB 表示	33
1.8.3 连续信号的时域运算与时域变换	38
1.9 典型例题解析	41
本章小结	48
自测题	52
习题	55
第2章 连续时间系统的时域分析	59
2.1 连续时间系统的数学描述	59
2.1.1 连续时间系统的数学模型——微分方程	59
2.1.2 连续时间系统的时域模拟	60
2.2 连续时间系统的响应	63
2.2.1 微分方程的经典解	63
2.2.2 起始点的跳变—— 0_- 到 0_+ 状态的转换	65
2.2.3 零输入响应和零状态响应	67
2.3 冲激响应和阶跃响应	70
2.3.1 冲激响应	70
2.3.2 阶跃响应	72
2.4 卷积积分	73
2.4.1 卷积积分的定义	73
2.4.2 卷积的图示	73
2.5 卷积积分的性质	75
2.5.1 卷积的代数运算	75
2.5.2 函数与奇异函数的卷积	77
2.5.3 卷积的微分与积分	78
2.6 求系统零状态响应的卷积积分法	80
2.7 连续时间系统时域分析的 MATLAB 实现	81
2.8 典型例题解析	84
本章小结	86
自测题	89
习题	90
第3章 连续时间信号与系统的频域分析	94
3.1 周期信号的傅里叶级数分析	94
3.1.1 周期信号的分解	95
3.1.2 奇、偶函数的傅里叶级数	101
3.1.3 傅里叶级数的指数形式	102
3.1.4 典型周期信号的傅里叶级数	103

3.2 周期信号的频谱	107
3.2.1 周期信号的频谱	107
3.2.2 周期矩形脉冲信号的频谱	108
3.2.3 周期信号的功率	110
3.3 非周期信号的频谱	112
3.3.1 傅里叶变换	112
3.3.2 典型非周期信号的傅里叶变换	114
3.3.3 奇异函数傅里叶变换	118
3.4 傅里叶变换的性质	121
3.4.1 傅里叶变换的性质	121
3.4.2 相关定理	137
3.5 周期信号的傅里叶变换	140
3.6 取样定理	144
3.6.1 取样信号的频谱	144
3.6.2 时域取样定理	146
3.6.3 频域取样定理	147
3.7 连续时间系统的频域分析	148
3.7.1 频域系统函数	148
3.7.2 系统对非周期信号的响应	149
3.7.3 系统对周期信号的响应	151
3.8 无失真传输	152
3.9 理想低通滤波器	156
3.9.1 理想低通滤波器的冲激响应	156
3.9.2 理想低通滤波器的阶跃响应	157
3.10 调制与解调	160
3.11 从取样信号恢复连续时间信号	163
3.12 连续时间信号与系统频域分析的 MATLAB 实现	164
3.13 典型例题解析	167
本章小结	171
自测题	177
习题	180
第 4 章 连续时间信号与系统的复频域分析	188
4.1 拉普拉斯变换	188
4.1.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	188
4.1.2 拉普拉斯变换的收敛域	189
4.1.3 常用信号的拉普拉斯变换	191
4.2 拉普拉斯变换的性质	192
4.3 拉普拉斯逆变换	197
4.3.1 查表法	197
4.3.2 部分分式展开法	197

4.3.3 围线积分法(留数法)	199
4.4 连续时间系统的复频域分析	200
4.4.1 微分方程的复频域解	200
4.4.2 电路的 s 域模型	201
4.5 系统函数	203
4.5.1 系统函数 $H(s)$ 的定义	203
4.5.2 利用系统函数求系统的零状态响应	204
4.6 系统函数的零、极点分布对系统时域特性的影响	204
4.6.1 系统函数的零、极点分布与系统冲激响应特性的关系	205
4.6.2 系统函数的零、极点分布与系统响应形式之间的关系	207
4.7 系统函数的零、极点分布与系统频率响应特性的关系	208
4.8 系统的 s 域模拟图与框图	211
4.8.1 系统的 s 域模拟图	211
4.8.2 系统的框图	213
4.9 信号流图与梅森公式	214
4.9.1 连续系统的信号流图表示	214
4.9.2 梅森公式	217
4.10 系统的稳定性分析	218
4.10.1 系统的稳定性	218
4.10.2 系统稳定性的判断	219
4.11 双边拉普拉斯变换*	221
4.12 拉普拉斯变换与傅里叶变换的关系	223
4.13 连续时间信号与系统复频域分析的 MATLAB 实现	226
4.13.1 MATLAB 实现部分分式展开式	226
4.13.2 拉普拉斯变换及其曲面图	228
4.13.3 绘制连续系统零、极点图	229
4.13.4 连续系统零、极点分析	231
4.14 典型例题解析	232
本章小结	239
自测题	243
习题	248
第5章 离散时间信号与系统的时域分析	253
5.1 离散时间信号及其时域特性	253
5.1.1 离散时间信号	253
5.1.2 离散时间信号的时域运算和变换	254
5.1.3 常用的典型离散时间信号	255
5.2 离散时间系统及其数学描述	259
5.2.1 离散时间系统的性质	259
5.2.2 离散时间系统的数学模型——差分方程	260
5.2.3 离散时间系统的模拟	261

5.3 离散时间系统的响应——时域分析	263
5.3.1 差分方程的时域求解	263
5.3.2 单位样值响应	267
5.4 卷积和	268
5.4.1 卷积和的性质	268
5.4.2 卷积和的运算	269
5.5 离散时间系统时域分析的 MATLAB 实现	272
5.6 典型例题解析	275
本章小结	280
自测题	284
习题	287
第 6 章 离散时间信号与系统的 z 域分析	290
6.1 z 变换	290
6.1.1 z 变换的定义	290
6.1.2 z 变换的收敛域	291
6.2 常用序列的 z 变换	292
6.2.1 单位样值序列	292
6.2.2 单位阶跃序列	293
6.2.3 斜变序列	293
6.2.4 指数序列	294
6.2.5 复指数序列	294
6.3 z 变换的性质	294
6.3.1 线性特性	294
6.3.2 时移特性	295
6.3.3 z 域微分特性	296
6.3.4 z 域尺度变换特性	297
6.3.5 时域卷积特性	297
6.3.6 初值定理	298
6.3.7 终值定理	298
6.4 z 逆变换	301
6.4.1 幂级数展开法(长除法)	301
6.4.2 部分分式展开法	303
6.4.3 围线积分法(留数法)	305
6.5 z 变换与拉普拉斯变换的关系	307
6.6 离散时间系统的 z 域分析	309
6.6.1 用 z 变换求解线性离散时间系统的响应	309
6.6.2 离散时间系统的系统函数	311
6.6.3 系统函数的零、极点分布与单位样值响应的关系	312
6.6.4 离散时间系统的稳定性和因果性	314
6.7 离散时间系统的频率响应特性	314

6.7.1 离散时间系统的频率响应	314
6.7.2 频率响应特性的几何确定	315
6.8 离散时间系统 z 域分析的 MATLAB 实现	317
6.8.1 用留数法求解 z 逆变换的 MATLAB 实现	317
6.8.2 求解系统完全响应的 MATLAB 实现	318
6.8.3 利用 MATLAB 求解系统的零、极点分布及频响特性	320
6.9 典型例题解析	321
本章小结	325
自测题	328
习题	331
第 7 章 线性系统的状态变量分析	335
7.1 线性系统的状态变量法	335
7.1.1 系统用状态变量描述的基本术语	336
7.1.2 系统的状态变量描述	337
7.2 连续系统状态方程的建立	342
7.2.1 根据电路图列写状态方程	342
7.2.2 由系统的模拟框图或信号流图建立状态方程	343
7.2.3 由微分方程或系统函数建立状态方程	344
7.3 离散系统状态方程的建立	348
7.3.1 离散系统状态方程的一般形式	348
7.3.2 由系统框图或信号流图建立状态方程	348
7.3.3 由差分方程或系统函数建立状态方程	349
7.4 系统状态方程的求解	350
7.4.1 连续时间系统状态方程的求解	350
7.4.2 离散时间系统状态方程的求解	352
7.5 系统的可控制性和可观测性	355
7.6 系统状态变量分析法的 MATLAB 实现	357
7.6.1 系统微分方程到状态方程的转换	357
7.6.2 由系统状态方程求系统函数矩阵 $H(s)$	357
7.6.3 连续时间系统的状态方程求解	358
7.6.4 离散时间系统的状态方程求解	360
7.7 典型例题解析	362
本章小结	366
自测题	368
习题	371
部分习题参考答案	375
英中文名词对照	389
参考文献	394

绪 论

随着信息技术的不断发展及其应用领域的不断扩展,信号与系统这门课程已经从电子信息工程类的专业基础课程扩展成电子信息工程、自动化、电子科学与技术、电气工程及其自动化、通信工程、计算机科学与技术、网络工程、生物医学工程等众多电类专业的专业基础课程,甚至在很多非电专业中也设置了这门课程,其地位已经越来越重要。而其内容也从单一的电系统分析扩展到许多非电系统分析。虽然各个专业开设这门课程时的侧重点有所不同,应用背景也有差异,但是,本课程依然保留了以分析系统对信号的响应为主线的教学体系,并且在长期的教学实践中取得了很好的效果。

信号与系统是电子电气信息类专业本科生的专业基础主干课程。本课程的教学目的是让学生掌握信号和线性系统分析的基本理论、基本原理和基本方法,能够在后续课程的学习和工作中灵活应用这些方法解决问题。该课程与本科生的许多专业课(例如通信原理、数字信号处理、通信电路、自动控制原理、图像处理、微波技术等)有很强的联系,也是这些学科研究生入学考试的必考课程之一,其重要性是其他课程不可替代的。该课程涉及信号与系统的概念、信号分析、连续时间系统和离散时间系统的时域和频域分析、系统的状态变量描述、傅里叶变换、拉普拉斯变换、 z 变换,等等,内容涉及到大量的数学课程,例如线性微分方程、积分变换、复变函数、离散数学等。信号与系统课程的特点是,它不仅具有很强的理论性,而且同时具有很强的实用性,因此该课程对于理论和实践两个体系都有很高的要求。

1. 历史的回顾

人类进入 21 世纪的信息时代,科学技术的创新不断涌现,使人们享受着现代文明的乐趣,信号与系统的概念已经深入到人们的生活和社会的各个方面。手机、电视机、通信网、计算机网络等已成为人们日常使用的工具和设备。回顾科学技术的发展历史,尤其是信号与系统学科的发展,令人激动不已。

20 世纪 40 年代末创立的三大科学思想和理论,即系统论、信息论和控制论成为许多学科的理论根基。系统论是美国生物学家贝塔朗菲创立的,他为确立适用于系统的一般原则做出了贡献。信息论是美国数学家香农创立的,它成为现代通信理论的基础。控制论是美国数学家维纳提出的,它促进了自动控制、通信、计算机、人工智能理论及应用的发展。

当然,三大科学理论是在吸取前人许多成果基础上通过深刻思考建立的。1822 年,法国数学家傅里叶(J. Fourier, 1768—1830)证明了将周期信号展开为正弦级数的理论,为信号的分析 and 处理打下了基础。法国数学家拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749—1825)于 19 世纪初提出了拉普拉斯变换方法,为后来电路和系统的分析提供了有力工具。1831 年,英国人法拉第(M. Faraday, 1791—1867)发现了电磁感应现象。1837 年,美国人莫尔斯(S. F. Morse, 1791—1872)发明了电报。1864 年英国科学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)提出了电磁波理论。1875 年美国入贝尔(A. G. Bell, 1847—1922)发明了电话。1894 年,意大利人马克尼(G. Marconi, 1874—

1937)和俄国人波波夫分别发明了无线电。马克尼利用赫兹的火花振荡器作为发射器,实现了无线电信号的传递。1907年,美国人福斯特发明了真空三极管,实现了对微弱信号的放大。1946年,第一台电子计算机(ENIAC)在美国宾夕法尼亚大学莫尔电子工程学院研制成功。1947年,美国贝尔实验室的布拉丁、巴丁和肖克利研制成功第一只点接触晶体管,翻开了半导体应用历史的第一页,大大促进了电子工程、通信、计算机等技术的发展。

再如1912年,阿姆斯特朗组装了第一台超外差收音机。1916年,人类实现了第一次语言和音乐的无线电广播。1925年,英国的贝尔德发明了电视。1954年,彩色电视试播成功。1958年,美国的基尔比利用半导体单晶硅材料研制成第一片集成电路(IC)。1965年,世界上第一颗地球同步通信卫星发射升空,从而推动了电话、电报、数据传输和电视转播的革命。1998年11月,铱星通信正式启用,从而使通信技术达到了更高的水平。这些成就,又反过来促进了信号、信息、系统的理论不断完善。

2. 信号与系统的应用领域

信号与系统的应用领域非常广泛,下面仅举几例。

(1) 通信领域

在通信系统中,许多信号不能直接进行传输,需要根据实际情况进行适当的调制以提高信号的传输质量或传输效率。信号的调制有多种形式,如信号的幅度调制、频率调制和相位调制,但都是基于信号与系统的基本理论。信号的正弦幅度调制可以实现频分复用,信号的脉冲幅度调制可以实现时分复用,复用技术可以极大地提高信号的传输效率,有效利用信道资源。信号的频率调制和相位调制可以增强信号的抗干扰能力,提高传输质量。此外,离散信号的调制还可以实现信号的加密、多媒体信号的综合传输等。由此可见,信号与系统的理论与方法在通信领域有着广泛的应用。

(2) 控制领域

在控制系统中,系统的传输特性和稳定性是描述系统的重要属性。信号与系统分析中的系统函数可以有效地分析和控制连续时间系统与离散时间系统的传输特性和稳定性。一方面通过分析系统的系统函数,可以清楚地确定系统的时域特性、频响特性和相位特性,以及系统的稳定性等。另一方面在使用系统函数分析系统特性的基础上,可以根据实际需要调整系统函数以实现所需的系统特性。如通过分析系统函数的零、极点分布,可以了解系统是否稳定。若不稳定,可以通过反馈等方法调整系统函数实现系统稳定。系统函数在控制系统的分析与设计中有着重要的应用。

(3) 信号处理

在信号处理领域中,信号与系统的时域分析和变换域分析的理论和方法为信号处理奠定了必要的理论基础。在信号的时域分析中,信号的卷积与解卷积理论可以实现信号恢复和信号去噪,信号相关理论可以实现信号检测和谱分析等。在信号的变换域分析中,信号的傅里叶变换可以实现信号的频谱分析,连续信号的拉普拉斯变换和离散信号的 z 变换可以实现信号的变换域描述和表达。信号的变换域分析拓展了信号时域分析的范畴,为信号的分析 and 处理提供了一种新途径。信号与系统分析的理论也是现代信号处理的基础,如信号的自适应处理、时域分析、Wavelet分析等。

(4) 生物医学工程

生物医学工程是信息学科与医学交叉的学科,生物医学领域中许多系统描述和信号处理都是

基于信号与系统的基本理论和方法。例如,在生物神经系统中,神经元的等效电路是以非线性系统描述的,相应的数学模型为非线性微分方程或状态方程,其分析方法为解析方法或数值计算方法。近年来,随着生命科学和信息科学的迅速发展和渗透,信号与系统的分析在生物医学工程领域中的应用也日益深入且广泛。

3. 本课程的研究内容及性质

本课程主要讨论的是确定性信号的时域和频域分析,线性时不变系统的描述与特性,以及信号通过线性时不变系统的时域分析与变换域分析。通过本课程的学习,可以使学生牢固掌握信号与系统的时域、变换域分析的基本原理和基本方法,理解傅里叶变换、拉普拉斯变换、 z 变换的数学概念、物理概念与工程概念,掌握利用信号与系统的基本理论与方法分析和解决实际问题的基本方法,为进一步学习后续课程打下坚实的基础。

本课程从概念上可以区分为信号分解和系统分析两部分,但二者又是密切相关的。根据连续信号分解为不同的基本信号,对应推导出线性系统的分析方法分别为时域分析、频域分析和复频域分析;离散信号分解和系统分析也是类似的过程。

本课程采用先连续后离散的顺序安排知识,使学生可先集中精力学好连续信号与系统分析的内容,再通过类比理解离散信号与系统分析的概念。状态分析方法也结合这两大块给出,从而建立完整的信号与系统的概念。

信号与系统课程是一门实践性较强的课程。考虑到后续课程的实践性更强,对学生实验基本技能的熟练程度提出更高的要求。因此,将信号与系统课程实验教学部分定位于基础性的实验教学。实验课程的教学目标是:通过实验课,使学生加深对信号与系统课程教学内容的理解,从实践上验证所学的理论知识;培养学生的实际动手能力、分析问题与解决问题能力,为后继课程的学习以及课程设计、毕业设计打下坚实的实践基础。实验课程教学的基本要求是:正确且熟练地使用实验所需各种电子仪器;掌握使用电子元器件构建典型的电网络的基本技能及其测试与分析技术;具有正确处理实验数据、进行误差分析的能力;能独立写出理论分析完善、文理通顺、字迹工整的实验报告;其要点在于培养学生实事求是地进行科学实验的严谨学风。所有实验均可应用 MATLAB 软件仿真加以实现。

4. 信号与系统的研究方法

信号分析主要研究信号的描述、运算、特性以及信号发生某些变化时其特性的相应变化。信号分析的基本目的是揭示信号自身的特性,例如,确定信号的时域特性与频域特性,随机信号的统计特性等。实现信号分析的主要途径是研究信号的分解,即将一般信号分解成众多基本信号单元的线性组合,通过研究这些基本信号单元在时域或变换域的分布规律来达到了解信号特性的目的。由于信号的分解可以在时域进行,也可以在频域或复频域进行,因此信号的分析方法有时域法、频域法和复频域法。

在信号的时域分析中,采用单位冲激信号 $\delta(t)$ 或单位脉冲序列 $\delta(n)$ 作为基本信号,将连续时间信号表示为 $\delta(t)$ 的加权积分,将离散时间信号表示为 $\delta(n)$ 的加权和,它们分别是一种特殊的卷积积分运算与卷积和运算。这里,通过基本信号单元的加权值随变量 t 或 n 的变化直接表征信号的时域特性。

在信号的频域分析中,采用虚指数信号 $e^{j\omega t}$ 或 $e^{j\Omega n}$ 作为基本信号,将连续时间或离散时间信号表示为 $e^{j\omega t}$ 或 $e^{j\Omega n}$ 的加权积分或加权和。这就导出了傅里叶分析的理论和方法。这里,通过各

基本信号的单元振幅(或振幅密度)、相位随频率的变化(即信号的频谱)来反映信号的频域特性。

在信号的复频域分析中,则采用复指数信号 e^{st} ($s = \sigma + j\omega$) 或 z^n ($z = re^{j\theta}$) 作为基本信号,将连续时间或离散时间信号表示为 e^{st} 或 z^n 的加权积分或加权和,相应导出了拉普拉斯变换与 z 变换的理论和方法。

系统分析的主要任务是分析给定系统在激励作用下产生的响应。其分析过程包括建立系统模型,用数学方法求解由系统模型建立的系统方程,求得系统的响应。必要时,对求解结果给出物理解释,赋予一定的物理意义。就本书所研究的线性时不变系统(Linear Time-Invariant system,简称 LTI 系统)而言,由输入-输出模型建立的系统方程是一个线性常系数的微分方程或差分方程,只着眼于系统激励与响应之间的关系,并不关心系统内部变量的情况,多用于单输入-单输出系统;由状态空间模型建立的状态方程是一阶线性微分方程组或差分方程组,输出方程是一组代数方程,它不仅给出系统的响应,而且提供系统内部各变量的情况,多用于多输入-多输出系统的分析。

在系统方程或系统输出响应的求解方面,按照系统理论,一般先求出系统的零输入响应和零状态响应;然后将它们叠加,得到系统的完全响应。设系统的初始观察时刻 $t_0 = 0$,如果将系统的初始状态看成另一种历史输入信号,那么,零输入响应 $y_{zi}(t)$ ($t \geq 0$) 是历史输入信号作用于系统后在 t 时刻所产生的响应;而零状态响应 $y_{zs}(t)$ ($t \geq 0$) 是在 $[0, t]$ 区间的当前输入信号作用于系统后在 t 时刻所产生的响应。就系统分析方法而言,两者没有本质的差别。所以,系统分析问题可以归结为系统在当前输入作用下其零状态响应的求解问题。

分析 LTI 系统的基本思想是先将激励信号分解为众多基本信号单元的线性组合,求出各基本信号单元通过系统后产生的响应分量,再将这些响应分量叠加起来得到系统在激励信号作用下的输出响应。与信号分析类似,系统分析也有相应的时域分析法、频域分析法和复频域分析法。

在 LTI 系统的时域分析中,将输入信号 $f(t)$ 分解成冲激信号(或脉冲序列)单元的线性组合,只要求出基本信号 $\delta(t)$ 或 $\delta(n)$ 作用下系统的响应,就可以根据系统的线性和时不变特性确定各种冲激信号(或脉冲序列)单元作用下系统的响应分量,再将这些响应分量叠加,求得系统在 $f(t)$ 激励下的输出响应。这就产生了系统响应的卷积积分和卷积和计算方法。

在频域分析中,把输入信号 $f(t)$ 分解为虚指数信号 $e^{j\omega t}$ 或 $e^{j\Omega n}$ 单元的线性组合,只要求出基本信号 $e^{j\omega t}$ 或 $e^{j\Omega n}$ 作用下系统的响应,再由系统的线性、时不变特性确定各虚指数信号单元作用下的系统响应分量,并将这些响应分量叠加,便可求得 $f(t)$ 激励下的系统响应,这就是傅里叶分析的思想。

在复频域分析中,用复指数信号 e^{st} 或 z^n 作为基本信号,将输入 $f(t)$ 或 $f(n)$ 分解为复指数信号单元的线性组合,其系统响应表示为各复指数信号单元作用下相应输出的叠加,这就是应用拉普拉斯变换和 z 变换的系统分析方法。

综上所述,LTI 系统分析方法的理论基础是信号的分解特性和系统的线性、时不变特性。实现系统分析的统一观点和方法是:激励信号可以分解为众多基本信号单元的线性组合;系统对激励所产生的零状态响应是系统对各基本信号单元分别作用时相应响应的叠加;不同的信号分解方式将导致不同的系统分析方法。在统一观点下,传统的数学变换工具被赋予了明确的物理意

义。同时表明,无论是连续时间系统还是离散时间系统的变换域分析法在本质上都属于“时域”的分析方法,所有系统分析方法都是在使用某种基本信号进行信号分解的条件下导出合乎逻辑的必然结果。

随着现代科学技术的迅速发展,新的信号与系统的分析方法不断涌现。其中计算机辅助分析方法就是近年来较为活跃的方法。这种方法利用计算机进行数值运算,从而免去复杂的人工运算,且计算结果精确可靠,因而得到广泛的应用和发展。本书引入 MATLAB 对信号与系统进行分析,尤其是 MATLAB 的强大绘图功能,使得对信号与系统进行数值计算、可视化建模及仿真调试成为可能。

本书按照先输入-输出描述后状态变量描述,先连续后离散,先时间域后变换域的顺序,研究线性时不变系统的基本分析方法,结合实例介绍其简单应用。

第 1 章

信号与系统的概念

内容提要:

本章介绍信号与系统的基本概念以及信号与系统的分类与特性。首先介绍信号的定义和分类,重点阐述典型连续信号和奇异信号的时域特性及其描述,在此基础上介绍了信号的时域变换和运算。然后对系统的定义、分类、特性及其描述作了介绍。最后介绍利用 MATLAB 实现信号的描述、基本运算的方法以及典型例题分析。

本章的学习要求是了解信号与系统的基本概念与定义,会画信号的波形;了解常用基本信号的时域描述方法、特点与性质,并会应用这些性质;深刻理解信号的时域变换与运算的方法,并会求解;深刻理解线性时不变系统的定义与性质,并会应用这些性质。

本章的重点是基本的连续时间信号的时域描述与时域特性;单位冲激信号的定义、性质及应用;信号的时域变换与时域运算及其综合应用;线性时不变系统的性质及应用。

1.1 信号的定义与分类

1.1.1 信号的定义

信号已经深入到人们的日常生活和社会活动的各个方面,具有广泛的含义。严格地说,信号是指信息的表现形式与传送载体,而信息则是信号的具体内容。但是,信息的传送一般都不是直接的,需借助某种物理量作为载体。例如电台的各种信息就是通过电磁波信号传向四面八方的。

信号可以是时间的一元函数,也可以是空间与时间的二元函数(如电视信号中的亮度信号),还可以是变换域中变量的函数。它可以用函数式、曲线、数据或图像来描述。本书后面经常研究的是时间函数表示的信号,在讨论信号的有关问题时,“信号”与“函数”两个词常互相通用。

1.1.2 信号的分类

信号的分类方法很多,可以从不同的角度对信号进行分类。在信号与系统分析中,根据信号的特点,可将其分为连续时间信号与离散时间信号、周期信号与非周期信号、确定信号与随机信号、能量信号与功率信号等。

1. 连续时间信号与离散时间信号

根据信号定义域的特点,信号可以分为连续时间信号与离散时间信号。

连续时间信号是指在信号的定义域内,除有限个间断点外,任意时刻都有确定函数值的信