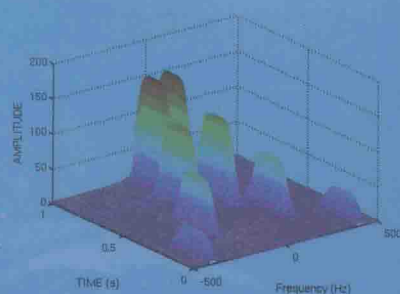
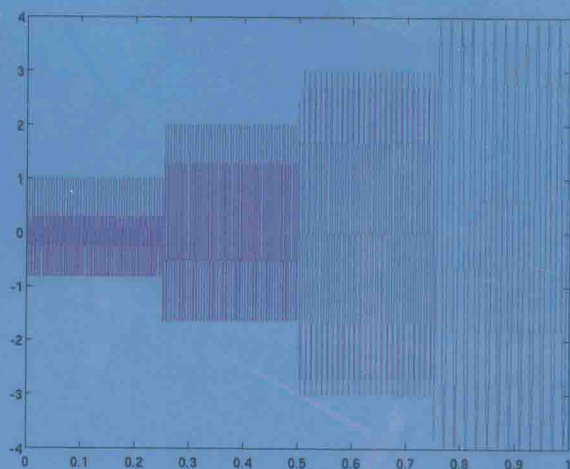


教育部电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

国家精品资源共享课配套教材

工程信号与系统

郭宝龙 闫允一 朱娟娟 吴宪祥 编著



教育部电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

国家精品资源共享课配套教材

工程信号与系统

GONGCHENG XINHAO YU XITONG

郭宝龙 闫允一 朱娟娟 吴宪祥 编著



高等教育出版社·北京

内容简介

本书聚焦于基本信号、信号分解、线性时不变系统分析三个中心问题,力求突出分析方法和原理;采用“连续”与“离散”类比的方法,从时域、频域到变换域有序推进知识演进。每章以问题为导引,引出基本概念和分析方法,加强对工程案例的分析并配备 MATLAB 示例,激发读者深入思考工程信号分析问题的兴趣。引入小波分析将传统理论延伸到当代信息处理技术前沿,便于读者将所学知识 with 工程应用结合起来,构建系统化的信息处理知识体系。

本书采用纸质教材与网络资源相融合的新形式。紧密结合“信号与系统”国家精品资源共享课程建设,将动画演示、习题详解、例题解析、案例解析、仿真程序、教学视频等资源与传统教材内容一体化设计,丰富、生动、更具时代气息。

本书可以作为电子信息类专业信号与系统课程的本科教材,特别适用于“卓越工程师计划”试点或教改班课程的改革教材,也可供电子信息领域相关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程信号与系统 / 郭宝龙等编著. --北京: 高等教育出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-04-039738-3

I. ①工… II. ①郭… 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(2014)第 111456 号

策划编辑	袁 坤	责任编辑	袁 坤	封面设计	张 楠	版式设计	王 莹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刁丽丽	责任印制	张泽业		

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
印 刷 中国农业出版社印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 28
字 数 580 千字
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.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2014 年 7 月第 1 版
印 次 2014 年 7 月第 1 次印刷
定 价 41.50 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 39738-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/12430611>
2. 输入数字课程账号（见封底明码）、密码、验证码
3. 点击“进入课程”
4. 开始课程学习

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。

使用本账号如有任何问题，请发邮件至：zhangshan@hep.com.cn

工程信号与系统

郭宝龙 闫允一 朱娟娟 吴宪祥 编著

用户名

密码

验证码

进入课程

数字课程介绍

纸质教材

版权信息

联系方式

《工程信号与系统》数字课程与纸质教材一体化设计，紧密配合。数字课程涵盖动画演示、习题详解、例题解析、案例解析、仿真程序和教学视频等板块。充分运用多种形式媒体资源，极大地丰富了知识的呈现形式，拓展了教材内容。在提升课程教学效果同时，为学生学习提供思维与探索的空间。

二、资源使用

本书数字资源分为 7 种类型，每种类型对应的小图标如下



案例解析 (A)：大量工程应用案例，激发阅读和学习兴趣。



动画资源 (D)：生动演示难点、重点，助学助教。



仿真资源 (F)：仿真程序源代码。



例题解析 (L)：扩充例题资源，帮助理解相关知识点。



图片资源 (T)：清晰的三维仿真图片，弥补黑白印刷的不足。



习题资源 (X)：常见问题汇总，西安电子科技大学期末试卷。



疑点解析 (Y)：重点、难点的补充讲解。

数字资源以“类别图标+类别代号+章节序号”的形式呈现，例如第 1 章第 1 个案例解析资源的命名为“A1001”，第 2 章第 2 个动画资源的命名为“D2002”，以此类推。

扫描二维码或登录网址 http://www.icourses.cn/coursestatic/course_4233.html 可观看本课程“国家精品资源共享课”的授课视频。



前言

培养优秀工程人才是大学工科专业的根本任务。从人才培养过程来看,工程概念的建立不仅需要应用环节上加强,更需要从最基本的专业基础课程开始,工程素养和工程意识的培养应该贯穿于大学工科人才培养的整个过程,即“工程”的概念在各门课程的教学中都应予以思考和体现,包括信号与系统这样的专业基础课程。对“工程”一词可理解如下:

- “工程”是一种理念,它应该贯穿整个培养环节,渗透于全部教学内容中;
- “工程”是一种实践,它应该是知识的有序组织、理论结合实际、应用知识分析问题、综合设计系统、工程实践等;
- “工程”是一种能力,是由问题到目标的探索学习能力、逻辑思维分析能力,运用知识解决问题的实践动手能力。

“信号与系统”作为电子信息类专业的专业基础课,在该门类知识体系中占有重要基础地位。编者结合一线教学实践和教学研究,并结合国家“卓越工程师计划”主旨,探索编写了《工程信号与系统》一书。本书力图体现以下特点。

1. 知识讲述上突出了基本信号、信号分解、线性时不变系统分析三个中心问题,重视概念强化和规律提炼,简化不必要的推导过程,弱化不具有代表性的技巧,力求突出分析的方法和原理。

2. 内容编排上采用了“类比”的科学方法,易于构建系统性的知识体系。采用“连续”与“离散”类比的科学方法,从时域、频域到变换域有序推进知识演进,增强全书内容的系统性、逻辑性,易于学生构建信号与系统分析完整的知识体系。

3. 重视引导学生以问题驱动学习和工程案例。每章以问题为导引,通过科学方法的引入和推进,构建信号与系统分析的知识演进逻辑,并加强了对工程实践中典型案例的介绍和分析,配备了 MATLAB 示例,通过案例分析加深知识的系统性理解,提高分析问题的能力,激发读者对工程信号分析问题进行深入思考的兴趣。

4. 重视信号与系统学科前沿知识的引入和交叉融合。本书将小波分析引入到“信号与系统”课程中,重点阐述其概念和特性,不过多地拘泥于理论细节的推导,这使得本书的知识体系具有先进性,将传统理论延伸到当代信息处理技术前沿。

5. 重视本课程与后续课程的知识衔接,重点强调了对数字信号处理、自动控制原理以及小波分析等相关课程的入门引导,希望起到“开窗搭桥”的作用,即在信号与系统的课堂中能接触到后续课程的知识,增强了知识之间的联系。

6. 本书采用了纸质教材与网络资源融合的新方式。紧密结合信号与系统国家精品资源共享课程建设,将动画演示(D)、仿真程序(F)、习题详解(X)、案例解析(A)、例题解析(L)、疑点解析(Y)、图片资源(T)以扩展资源的形式放在网络上;

同时每一章将重要知识点讲解的视频资源,做成了二维码以直接浏览,实现了数字资源与纸质教材的一体化设计。

全书共9章,内容包括信号与系统概述、连续系统的时域分析、离散系统的时域分析、傅里叶变换与频域分析、离散傅里叶变换、拉普拉斯变换与复频域分析、 z 变换分析、系统的状态空间分析、小波分析理论简介。其中部分章节前面加了“*”,作为本课程基本内容的扩展。离散傅里叶变换和小波分析两章,一般只需讲解1~2次课,目的是让学生了解信号知识的后续发展概貌。如果该专业后续没有开设“数字信号处理课程”,可以根据需要选择或全部讲授第五章离散系统傅里叶分析内容。本书标准实施课程内容(略去带“*”部分),大约需要64学时;若加上全部拓展内容大约需要80~90学时。授课教师可以依据所在专业教学计划和学生接受程度进行适当调整。

全书由郭宝龙主编并统稿,并具体编写第一、二、三章,闫允一编写第五、九章,朱娟娟编写第六、七章和第八章(部分),吴宪祥编写第四章和第八章(部分),吴进福等录入了部分图表和文字。

全书承蒙清华大学电子工程系郑君里教授审阅,提出许多指导性修改意见,进一步提高了书稿质量,作者表示衷心的感谢!本书的编写和出版得到了教育部电子电气基础课程教学指导分委员会推荐,得到了高等教育出版社等单位的大力支持和帮助,得到了西安电子科技大学电路信号与系统教学研究中心的吴大正、张永瑞、杨林耀、李学武、李小平、王松林等老师们的帮助和支持,在此表示衷心的感谢!感谢责任编辑袁坤的认真工作,也要感谢同学们在课堂上的教学互动,使本书增色不少。

本书可以作为电子信息类专业信号与系统课程的本科教材,特别适合用于“卓越工程师计划”试点或教改班课程的改革教材,也可供电子信息领域相关工程技术人员学习参考。限于作者水平有限,书中定有许多不足或值得商榷之处,恳请读者予以批评指正,意见请发送至 blguo@xidian.edu.cn。

编者

于西安电子科技大学

2013年10月

目 录

第一章 信号与系统概述 1

- 1.1 信号的基本概念和分类 2
 - 1.1.1 几个概念 2
 - 1.1.2 信号的描述 2
 - 1.1.3 信号的分类 2
 - 1.1.4 信号的 MATLAB 表示与绘图 6
- 1.2 基本信号 7
 - 1.2.1 阶跃函数 8
 - 1.2.2 冲激函数 9
 - 1.2.3 冲激函数的广义函数定义 10
 - 1.2.4 冲激函数的性质 11
 - 1.2.5 单位脉冲序列和单位阶跃序列 13
- 1.3 信号的运算 14
 - 1.3.1 信号的+、-、 $\times$ 运算 14
 - 1.3.2 信号的时间变换运算 14
- 1.4 系统的概念及分类 17
 - 1.4.1 系统的定义 17
 - 1.4.2 系统的分类及性质 19
- 1.5 信号与系统分析方法及知识点导航 23
 - 1.5.1 LTI 系统的分析方法 23
 - 1.5.2 研究的重点问题 24
 - 1.5.3 本课程知识点导航 26
- 习题 26

第二章 连续系统的时域分析 31

- 2.1 LTI 连续系统的响应 32

2.1.1	连续系统的描述	32
2.1.2	微分方程的经典解	34
2.1.3	系统的初始值	36
2.1.4	零输入响应和零状态响应	37
2.1.5	MATLAB 求解	40
2.2	冲激响应与阶跃响应	41
2.2.1	冲激响应	41
2.2.2	阶跃响应	42
2.2.3	MATLAB 求解	44
2.3	卷积积分	45
2.3.1	信号的时域分解与卷积积分	45
2.3.2	卷积积分的定义	47
2.3.3	卷积的图解法	47
2.3.4	卷积积分的性质	49
2.3.5	综合举例	52
2.3.6	卷积的 MATLAB 求解	55
2.4	相关函数	56
2.4.1	相关函数定义	56
2.4.2	应用案例	58
2.5	连续系统的微分算子描述	61
2.5.1	微分算子及系统的描述	61
2.5.2	由传输算子计算冲激响应	63
	习题	66

第三章 离散系统的时域分析 71

3.1	差分方程的建立及经典解法	72
3.1.1	离散系统的描述	72
3.1.2	差分方程的经典解法	73
3.1.3	零输入响应和零状态响应的经典解法	76
3.1.4	应用案例	79
3.1.5	MATLAB 求解	80

3.2	基本信号与基本响应	82
3.2.1	单位脉冲序列和单位阶跃序列	82
3.2.2	单位脉冲(序列)响应和阶跃响应	86
3.2.3	MATLAB 求解	90
3.3	卷积和	91
3.3.1	卷积和	91
3.3.2	卷积和的图解法	93
3.3.3	不进位乘法求卷积和	95
3.3.4	卷积和的性质	95
3.3.5	卷积和的 MATLAB 求解	97
3.4	离散系统的差分算子描述	98
3.4.1	差分算子描述	98
3.4.2	由传输算子计算单位脉冲响应	100
习题		103
第四章	傅里叶变换与频域分析	109
4.1	信号分解为正交函数	112
4.1.1	矢量正交与正交分解	112
4.1.2	信号正交与正交函数集	112
4.1.3	信号的正交分解	113
4.2	周期信号的傅里叶级数	114
4.2.1	傅里叶级数的三角形式	114
4.2.2	波形的对称性与谐波特性	118
4.2.3	傅里叶级数的指数形式	119
4.3	周期信号的频谱及特点	121
4.3.1	信号频谱的概念	121
4.3.2	周期信号频谱的特点	123
4.3.3	周期信号的功率——Parseval 等式	126
4.3.4	应用案例	127

4.4	非周期信号的频谱——傅里叶变换	128
4.4.1	傅里叶变换	128
4.4.2	常用函数的傅里叶变换	130
4.5	傅里叶变换的性质	131
4.5.1	傅里叶变换的基本性质	131
4.5.2	傅里叶变换的奇偶性	140
4.6	能量谱和功率谱	141
4.6.1	能量谱	141
4.6.2	功率谱	142
4.7	周期信号的傅里叶变换	145
4.8	LTI 系统的频域分析	147
4.8.1	基本信号 $e^{j\omega t}$ 作用于 LTI 系统的响应	147
4.8.2	一般信号 $f(t)$ 作用于 LTI 系统的响应	147
4.8.3	频率响应 $H(j\omega)$ 的求法	150
4.8.4	无失真传输与滤波	151
4.8.5	应用案例	155
4.9	取样定理	157
4.9.1	信号的取样	157
4.9.2	时域取样定理	158
4.9.3	应用案例	159
4.10	模拟滤波器	162
4.10.1	巴特沃思滤波器	163
4.10.2	切比雪夫滤波器	166
4.11	傅里叶变换在通信系统中的应用	168
	习题	177

第五章 离散傅里叶变换 183

5.1	连续变换到离散变换的演化	184
-----	--------------	-----

5.1.1	取样离散化	184
5.1.2	五种傅里叶变换的比较	186
5.2	离散傅里叶变换 (DFT)	188
5.2.1	离散傅里叶变换的基函数	188
5.2.2	离散傅里叶变换定义	190
5.2.3	离散傅里叶变换的物理意义	191
5.2.4	快速傅里叶变换 (FFT)	193
5.3	离散傅里叶级数 (DFS)	194
5.4	离散时间傅里叶变换 (DTFT)	196
5.4.1	DTFT 的定义	196
5.4.2	从 DFS 到 DTFT	200
5.5	三个变换间的关系	201
5.5.1	DFT 与 DFS 的关系	201
5.5.2	DTFT 与 DFS 的关系	202
5.5.3	DTFT 与 DFT 的关系	203
5.6	离散傅里叶变换的性质	204
5.7	离散余弦变换 (DCT)	206
5.7.1	由 DFT 导出 DCT	206
5.7.2	二维离散余弦变换	207
5.7.3	综合案例: JPEG 中的 DCT	208
习题		210

第六章 拉普拉斯变换与复频域分析 213

6.1	拉普拉斯变换基本理论	214
6.1.1	从傅里叶变换到拉普拉斯变换	214
6.1.2	常用函数的拉普拉斯变换简表	218
6.1.3	拉普拉斯变换性质	219
6.1.4	拉普拉斯反变换	222
6.1.5	拉普拉斯变换的 MATLAB 计算	224

6.2	拉普拉斯变换应用于电路分析	225
6.2.1	电路的 s 域模型	225
6.2.2	电路系统的复频域分析	227
6.3	连续系统的复频域分析法	230
6.3.1	拉普拉斯变换法求微分方程	230
6.3.2	系统函数	231
6.3.3	系统函数与系统的频率特性	236
6.4	连续系统的信号流图与系统模拟	240
6.4.1	系统的方框图	240
6.4.2	系统的信号流图表示	241
6.4.3	连续系统的模拟	244
6.5	零极点配置在模拟滤波器的应用分析	247
6.5.1	频率响应与零极点的关系	247
6.5.2	常见理想滤波器的零极点配置	249
6.5.3	物理可实现滤波器	251
6.6	控制系统分析和应用	252
6.6.1	闭环反馈系统的基本特性	252
6.6.2	根轨迹法	256
6.6.3	奈奎斯特稳定性判据	261
6.6.4	案例分析	265
习题		267

第七章 z 变换分析 275

7.1	z 变换基本理论	276
7.1.1	z 变换定义	276
7.1.2	z 变换性质	280
7.1.3	逆 z 变换	283
7.1.4	z 变换和拉普拉斯变换的关系	288
7.2	离散时间系统的 z 变换分析法	291

7.2.1	线性差分方程的 z 变换解	291
7.2.2	系统函数	292
7.3	信号流图与系统模拟	296
7.3.1	系统的方框图	296
7.3.2	系统的 z 域流图	298
7.3.3	离散系统的模拟	299
7.4	频率响应特性	301
7.4.1	对正弦序列 $A\cos(\Omega T k)$ 的响应	301
7.4.2	LTI 离散系统的频率响应定义	302
7.4.3	应用案例分析	304
7.5	数字滤波器设计及分析	307
7.5.1	模拟信号的数字化处理系统	307
7.5.2	配置系统函数零点极点实现滤波系统	308
7.5.3	数字滤波器的结构与分类	311
7.5.4	无限冲激响应 (IIR) 数字滤波器设计及应用举例	312
7.5.5	有限冲激响应 (FIR) 数字滤波器设计及应用举例	319
7.6	综合案例分析	326
习题		329

第八章 系统的状态空间分析 335

8.1	系统的状态变量描述法	336
8.1.1	状态变量、状态方程与输出方程	336
8.1.2	连续系统状态方程的建立	338
8.1.3	离散系统状态方程的建立	342
8.2	连续系统状态方程的求解	345
8.2.1	时域解法	345
8.2.2	s 域解法	347
8.3	离散系统状态方程的 z 域求解	350

8.4	系统函数矩阵与系统稳定性分析	353
-----	----------------	-----

8.5	线性系统的可控性和可观性的应用分析	355
-----	-------------------	-----

8.5.1	线性系统的可控性	355
-------	----------	-----

8.5.2	线性系统的可观性	356
-------	----------	-----

8.6	状态空间法应用举例	359
-----	-----------	-----

习题	362
----	-----

* 第九章 小波分析理论简介 369

9.1	平稳信号	370
-----	------	-----

9.2	短时傅里叶变换	373
-----	---------	-----

9.2.1	傅里叶变换的局限	374
-------	----------	-----

9.2.2	短时傅里叶变换 (STFT)	375
-------	----------------	-----

9.2.3	短时傅里叶变换的缺陷	377
-------	------------	-----

9.3	连续小波变换	381
-----	--------	-----

9.3.1	小波函数的定义	381
-------	---------	-----

9.3.2	连续小波变换的定义	382
-------	-----------	-----

9.3.3	连续小波变换的数值计算	385
-------	-------------	-----

9.3.4	连续小波变换的性质	387
-------	-----------	-----

9.3.5	二进小波	387
-------	------	-----

9.4	离散小波变换	388
-----	--------	-----

9.4.1	离散小波变换的定义	389
-------	-----------	-----

9.4.2	尺度函数	390
-------	------	-----

9.4.3	Haar 小波	391
-------	---------	-----

9.4.4	子带编码	395
-------	------	-----

9.4.5	DWT 的快速分解	396
-------	-----------	-----

9.4.6	DWT 的快速重构	399
-------	-----------	-----

9.4.7	小波提升方案	400
-------	--------	-----

9.5	小波变换的工程应用	404
-----	-----------	-----

9.5.1	语音信号的去噪	404
9.5.2	语音信号的特征提取	407
9.5.3	图像去噪	410
9.5.4	数字水印	413
9.5.5	图像融合	414
9.5.6	图像超分辨率重建	417
9.6	小波变换思想辨析	418
9.6.1	傅里叶变换、短时傅里叶变换与小波变换	419
9.6.2	离散傅里叶变换、 z 变换与离散小波变换	420
9.6.3	小波变换的不足之处	421
习题		424

参考文献	426
------	-----



第一章

信号与系统概述

本章重点要求：

- (1) 掌握信号的基本概念、信号分解、信号运算、奇异信号等；
- (2) 掌握系统的基本概念、线性时不变系统 (LTI) 的描述方法；
- (3) 掌握信号与系统研究的主要问题，理解全书的知识点布局。

思考：信号与线性系统分析研究的主要问题及研究方法是什么？