

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

信号与系统

(第二版)

余成波 陶红艳 张莲 邓力 编著



清华大学出版社

高等学校教材
电子信息

信号与系统

(第二版)

余成波 陶红艳 张莲 邓力 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是一本有关信号处理的教材。全书共分7章,即信号与系统的基本概念、连续时间系统的时域分析、连续时间信号与系统的频域分析、连续时间信号与系统的复频域分析、离散时间系统的时域与频域分析、离散系统的Z域分析、系统分析的状态变量法。

本书着重讲述了连续时间与离散时间信号与系统的表示与分析方法、两类信号与系统的相似关系以及它们之间的内在联系或转换,侧重于介绍信号处理中较完善的基本方法和基本理论。引入MATLAB作为信号与系统分析的工具,将课程中的重点、难点用MATLAB进行形象、直观的计算机模拟与仿真实现,从而加深对信号与系统基本原理、方法及应用的理 解,书中配有大量的例题、习题和实验题,使读者能较好地 从基本理论过渡到实际应用。

本书可作为高等工 科院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、计算科学与技术、生物医学工程等专业本科生及大专生的教材,也可供成人教育有关专业选用,还可供有关科技人员学习参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

信号与系统/余成波等编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2007.6

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-14690-2

I. 信… II. 余… 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(2007)第021295号

责任编辑:魏江江 顾 冰

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

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:北京鑫海金澳胶印有限公司

装订者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:26.5 字 数:638千字

版 次:2007年6月第2版 印 次:2007年6月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:34.00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:023582-01

读者意见反馈

亲爱的读者：

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了今后为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间来填写下面的意见反馈表，以便我们更好地对本教材做进一步改进。同时如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题，或者有什么好的建议，也请您来信告诉我们。

地址：北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 602 室 计算机与信息分社营销室 收
邮编：100084 电子邮件：jsjic@tup.tsinghua.edu.cn
电话：010-62770175-4608/4409 邮购电话：010-62786544

教材名称：信号与系统（第二版）

ISBN: 978-7-302-14690-2

个人资料

姓名：_____ 年龄：_____ 所在院校/专业：_____

文化程度：_____ 通信地址：_____

联系电话：_____ 电子信箱：_____

您使用本书是作为：☐指定教材 ☐选用教材 ☐辅导教材 ☐自学教材

您对本书封面设计的满意度：

☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意 改进建议_____

您对本书印刷质量的满意度：

☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意 改进建议_____

您对本书的总体满意度：

从语言质量角度看 ☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意

从科技含量角度看 ☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意

本书最令您满意的是：

☐指导明确 ☐内容充实 ☐讲解详尽 ☐实例丰富

您认为本书在哪些地方应进行修改？（可附页）

您希望本书在哪些方面进行改进？（可附页）

电子教案支持

敬爱的教师：

为了配合本课程的教学需要，本教材配有配套的电子教案（素材），有需求的教师可以与我们的联系，我们将向使用本教材进行教学的教师免费赠送电子教案（素材），希望有助于教学活动的开展。相关信息请拨打 010-62776969 或发送电子邮件至 jsjic@tup.tsinghua.edu.cn 咨询，也可以到清华大学出版社主页（<http://www.tup.com.cn> 或 <http://www.tup.tsinghua.edu.cn>）上查询。

高等学校教材·电子信息 系列书目

ISBN	书 名	作 者	定 价
9787302082859	电子电路测试与实验	朱定华等著	23.00
9787302090724	数字电路与逻辑设计	林红等著	24.00
9787302087908	光纤通信原理	袁国良著	23.00
9787302092933	信息与通信工程专业科技英语	王朔中等	26.00
9787302095460	信号与系统	余成波等著	24.00
9787302101567	数字信号处理及 MATLAB 实现	余成波等著	19.00
9787302104407	数字设计基础与应用	邓元庆等著	29.00
9787302104391	模拟电路基础实验教程	刘志军等著	19.00
9787302117698	电子设计自动化技术及应用	李方明等著	46.00
9787302110156	电路分析基础教程	刘景夏等著	25.00
9787302111900	电力系统保护与控制	张艳霞等著	23.00
9787302116127	自动控制原理	余成波等著	35.00
9787302124610	电子技术基础	霍亮生等著	26.00
9787302125419	控制电器及应用	李中年著	26.00
9787302120643	数字电子技术基础	林涛等著	25.00
9787302132042	数字信号处理——原理与算法实现	刘明等著	23.50
9787302129004	EDA 技术及应用实践	高有堂等著	33.00
9787302132905	MATLAB 应用技术——在电气工程与自动化专业中的应用	王忠礼等著	26.00
9787302140566	智能仪器仪表	孙宏军等著	35.00

编审委员会成员

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学
西南交通大学

重庆工学院
重庆通信学院

王志功 教授
王新龙 教授
王成华 教授
邓元庆 教授
刘景夏 副教授
方 勇 教授
朱 杰 教授
何 晨 教授
严国萍 教授
朱定华 教授
刘复华 教授
李中年 教授
蒋刚毅 教授
王成山 教授
郭维廉 教授
王煦法 教授
郭从良 教授
徐佩霞 教授
赵鹤鸣 教授
刘志军 教授
郑永果 教授
朱守正 教授
张秉权 教授
张丽英 教授
林 君 教授
何怡刚 教授
曾喆昭 教授
冯久超 教授
冯全源 教授
金炜东 教授
余成波 教授
曾凡鑫 教授

重庆大学
重庆邮电学院

西安电子科技大学

西北工业大学

集美大学

云南大学

东华大学

曾孝平	教授
谢显中	教授
张德民	教授
彭启琮	教授
樊昌信	教授
何明一	教授
迟 岩	教授
刘惟一	教授
方建安	教授

改改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合新世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail:dingl@tup.tsinghua.edu.cn

近年来,随着信息科学与技术的迅速发展,新的信号处理和分析技术不断涌现。信息科学与技术研究的核心内容主要是信息的获取、传输、处理、识别及综合等,信号是信息的载体,系统是信息处理的手段。因此,作为研究信号与系统基本理论和方法的信号与系统课程,必须与信息科学技术的发展趋势相一致。为此,作者结合多年教学改革与实践成果,收集和整理国内外最新教材,对这部教科书进行了适时的修订再版。

与初版书相比,再版书的内容有大量改动,着重讲述了连续时间与离散时间信号与系统的表示与分析方法、两类信号与系统之间的相似关系、内在联系和转换,侧重于介绍信号处理中较完善的基本方法和基本理论。引入 MATLAB 作为信号与系统分析的工具,将课程中的重点、难点用 MATLAB 进行形象、直观的计算机模拟与仿真实现,从而加深对信号与系统基本原理、方法及应用的理 解,书中配有大量的例题、习题和实验题,使读者能较好地 从基本理论过渡到实际应用。

本书第二版仍由 7 章组成。但各章的顺序与初版书有所不同,全书由余成波教授统稿。参加编写的有重庆工学院余成波、陶红艳(第 1~4 章),重庆工学院张莲(第 5、第 6 章),重庆大学的邓力(第 7 章)。陈学军、翟峰、张睿、高云等同志参加了本书审核与编排工作。

再版书是在初版书的基础上改写的,并利用了初版书的部分材料。

全书的错误和缺点由全体编著者共同负责,欢迎广大的同行与读者提出宝贵意见。

编 者

2006 年 12 月

“信号与系统课程”是高等工科院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、计算科学与技术、生物医学工程等专业的一门重要的技术基础课程,其应用领域非常广泛,几乎遍及电类及非电类的各个工程技术学科。随着科学的进步,特别是近年来高集成度与高速数字技术的飞跃发展,新材料、新工艺和新器件的不断出现,使各技术学科领域和现代化工业的面貌发生了巨大的变化。当今科技革命的特征是以信息技术为核心,促使社会由电气化时代进入信息时代,并以知识密集产业作为主体产业。

在人类面临 21 世纪的新问题、新技术和新机遇的挑战所进行的教育改革中,加强素质培养,淡化专业,拓宽基础,促进各学科与专业的交叉与渗透已成为不可逆转的世界潮流。为了适应我国社会主义现代化建设和以信息技术为核心的高新技术迅猛发展的需要,贯彻我国西部地区发展战略和当今的教学规律,依据我国当前电气工程学科课程设置与教学改革的实际情况,把传统的《信息与系统》课程的教学内容与《数字信号处理》课程的内容及体系进行适当选择和裁剪组合,形成该《信号与系统》教材,突出了信号与系统课程最重要的概念与基本的理论和方法,可适应较少学时的教学要求,为信号处理理论与技术日益广泛应用于电气工程领域的发展奠定必备的基础理论知识,并直接与数字信号处理的基本理论和方法相衔接。使读者有可能在最短的时间内获得最大的信息量,培养工作能力,这样既有利于教学(提高质量);又有利于科技人员(学以致用)。

全书共分 7 章。内容包括信号与系统的基本概念、连续时间系统的时域分析、连续时间信号与系统的频域分析、连续时间信号与系统的复频域分析、离散时间系统的时域与频域分析、离散系统的 Z 域分析、系统分析的状态变量法。建议课堂教学 54 学时,不同的读者可根据各自的实际情况要求进行补充与删减。

全书由余成波教授统稿。参加编写的有余成波(第一、二、三、四章),张莲(第五章、第六章),邓力(第七章),陶红艳、刘东、刘江生等同志参加了本书审核与编排工作。

本书在编写过程中得到了学院领导自始至终的大力支持和帮助。许多兄弟院校的同行为本书的编写提出了许多宝贵意见和提供了帮助。在此,一并表示衷心的感谢。

本书作为高等工科院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、计算科学与技术等专业的教材,也可供自学考试及成人教育有关专业选用,还可供有关科技人员学习参考。

由于作者的水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请广大的同行与读者给予批评指正。

编 者

2004 年 2 月

第 1 章 信号与系统的基本概念	1
1.1 信号的定义与分类	1
1.1.1 信号的定义	1
1.1.2 信号的分类	2
1.2 基本的连续时间和离散时间信号	6
1.2.1 单位阶跃信号与单位冲激信号	6
1.2.2 正弦型信号与正弦型序列	13
1.2.3 指数型信号与指数型序列	14
1.2.4 单位门信号	17
1.2.5 符号信号	17
1.2.6 单位斜坡信号	18
1.2.7 抽样信号	18
1.3 信号的基本运算与波形变换	19
1.3.1 信号的基本运算	19
1.3.2 自变量变换导致的信号变换	23
1.3.3 信号的分解	29
1.4 系统的描述及其分类	33
1.4.1 系统的概念	33
1.4.2 系统模型	34
1.4.3 系统的基本连接方式	37
1.4.4 系统模拟	39
1.4.5 系统的分类	42
1.5 线性时不变系统的性质	47
1.5.1 齐次性	48
1.5.2 叠加性	48
1.5.3 线性性	48
1.5.4 时不变性	48
1.5.5 微分性	49

1.5.6 积分性	49
1.6 信号与系统分析概述	49
1.6.1 信号分析方法	49
1.6.2 系统分析方法	50
1.7 信号及其运算的 MATLAB 实现	51
1.7.1 连续时间信号的 MATLAB 实现	51
1.7.2 离散时间信号的 MATLAB 实现	61
1.7.3 连续时间信号的基本运算与波形变换的 MATLAB 实现	67
1.7.4 离散序列的基本运算与波形变换的 MATLAB 实现	70
1.7.5 信号的分解 MATLAB 实现	74
习题	77
MATLAB 实验	81
第 2 章 连续时间系统的时域分析	83
2.1 线性连续系统的描述及其响应	83
2.1.1 LTI 系统的微分方程描述	83
2.1.2 经典时域分析方法	85
2.1.3 零输入响应与零状态响应	88
2.2 冲激响应和阶跃响应	91
2.2.1 冲激响应	91
2.2.2 阶跃响应	93
2.3 卷积积分及其应用	95
2.3.1 卷积积分的定义	95
2.3.2 任意信号的冲激表示	95
2.3.3 用卷积积分计算线性时不变系统的零状态响应	96
2.3.4 卷积的计算——图形扫描法	97
2.3.5 卷积积分的性质	98
2.4 利用 MATLAB 进行 LTI 连续系统的时域分析	103
2.4.1 利用 MATLAB 求 LTI 连续系统的响应	103
2.4.2 利用 MATLAB 求 LTI 连续系统的冲激响应和阶跃响应	104
2.4.3 利用 MATLAB 实现连续时间信号的卷积	106
习题	107
MATLAB 实验	110
第 3 章 连续时间信号与系统的频域分析	112
3.1 信号分解为正交函数	112
3.1.1 正交函数集	112
3.1.2 信号的正交分解与最小均方误差	113
3.2 周期信号的傅里叶级数及基本性质	114

3.2.1	傅里叶级数的三角函数形式	115
3.2.2	傅里叶级数的指数形式	116
3.2.3	函数的对称性与傅里叶系数的关系	118
3.2.4	傅里叶级数的基本性质	121
3.3	周期信号的频谱	124
3.3.1	周期信号频谱的特点	124
3.3.2	周期矩形脉冲的频谱	126
3.3.3	周期信号的功率谱	130
3.4	非周期信号的频谱	131
3.5	常用非周期信号的傅里叶变换	135
3.5.1	单位冲激	135
3.5.2	冲激函数导数	136
3.5.3	单位直流信号	136
3.5.4	单位阶跃信号	137
3.5.5	符号函数	138
3.5.6	矩形脉冲信号	139
3.5.7	虚指数函数	140
3.5.8	周期信号	140
3.5.9	高斯函数信号	140
3.6	傅里叶变换的性质	141
3.6.1	线性性质	141
3.6.2	奇偶特性	142
3.6.3	正反变换的对称性	143
3.6.4	尺度变换(展缩性质或波形的缩放特性)	144
3.6.5	时移特性	145
3.6.6	频移特性	146
3.6.7	卷积定理	147
3.6.8	时域微分和积分性质	150
3.6.9	频域微分和频域积分	152
3.6.10	能量谱和功率谱	152
3.7	傅里叶反变换	155
3.7.1	利用傅里叶变换对称特性	155
3.7.2	部分分式展开	156
3.7.3	利用傅里叶变换性质和常见信号的傅里叶变换对	157
3.8	LTI系统的频域分析	157
3.8.1	频率响应	157
3.8.2	信号无失真传输	161
3.8.3	理想低通滤波器的响应	162
3.9	希尔伯特变换	165

3.9.1	因果时间函数的傅里叶变换的实部或虚部自满性	165
3.9.2	连续时间解析信号的希尔伯特变换表示法	166
3.9.3	希尔伯特变换的性质	168
3.10	调制与解调	169
3.10.1	正弦幅度调制和解调	169
3.10.2	脉冲幅度调制	176
3.11	连续时间信号的抽样	178
3.11.1	周期抽样	178
3.11.2	抽样的时域表示	179
3.11.3	时域抽样定理	181
3.11.4	连续时间信号的重建	182
3.12	用 MATLAB 进行连续时间信号与系统的频域分析	184
3.12.1	周期信号的傅里叶级数 MATLAB 实现	184
3.12.2	周期信号频谱分析 MATLAB 实现	187
3.12.3	非周期信号频谱分析 MATLAB 实现	201
3.12.4	傅里叶变换性质 MATLAB 实现	205
3.12.5	系统的频率特性的 MATLAB 实现	213
3.12.6	连续信号的抽样及重构 MATLAB 实现	215
3.12.7	利用 MATLAB 实现连续时间信号的相关分析	218
习题		224
MATLAB 实验		230
第 4 章	连续时间信号与系统的复频域分析	232
4.1	拉普拉斯变换	232
4.1.1	拉普拉斯变换的定义	232
4.1.2	拉普拉斯变换的收敛域	234
4.1.3	常用信号的拉普拉斯变换	235
4.2	拉普拉斯变换的性质	238
4.2.1	线性性质	238
4.2.2	时移(延时)特性	239
4.2.3	尺度变换(展缩性质)	241
4.2.4	频移特性	242
4.2.5	时域微分定理	243
4.2.6	时域积分定理	244
4.2.7	S 域微分定理	247
4.2.8	S 域积分定理	247
4.2.9	初值定理	248
4.2.10	终值定理	248
4.2.11	时域卷积定理	248

4.3	拉普拉斯反变换	250
4.3.1	逆变换表法	250
4.3.2	部分分式展开法(海维塞展开法)	250
4.3.3	围线积分法(留数法)	254
4.4	LTI 系统的复频域分析	255
4.4.1	微分方程的拉普拉斯变换解法	256
4.4.2	拉普拉斯变换法分析电路、S 域元件模型	258
4.5	系统函数 $H(s)$	262
4.5.1	$H(s)$ 的定义与性质	262
4.5.2	利用系统函数 $H(s)$ 求解连续时间 LTI 系统的响应	263
4.5.3	系统的方框图表示与模拟	265
4.5.4	系统函数的零、极点与系统特性的关系	270
4.6	系统的稳定性	275
4.6.1	系统稳定的概念	275
4.6.2	稳定性判据	276
4.7	用 MATLAB 进行连续时间信号与系统的复频域分析	278
4.7.1	用 MATLAB 绘制拉普拉斯变换的曲面图	278
4.7.2	用 MATLAB 实现拉普拉斯变换零极点分布对曲面图的影响	280
4.7.3	利用 MATLAB 绘制连续系统零极点图	281
4.7.4	利用 MATLAB 实现拉普拉斯反变换	282
4.7.5	利用 MATLAB 实现连续系统零极点分布与系统冲激响应 时域特性关系	283
4.7.6	利用 MATLAB 实现几何矢量法分析连续系统频率响应	286
习题		290
MATLAB 实验		295
第 5 章	离散时间系统的时域与频域分析	296
5.1	离散时间系统	296
5.1.1	离散时间系统的基本概念	296
5.1.2	离散时间系统的描述	297
5.2	离散时间系统的时域分析	298
5.2.1	迭代法	298
5.2.2	经典解法	299
5.2.3	零输入响应和零状态响应	300
5.2.4	用卷积和求零状态响应	301
5.3	离散时间信号与系统的频域响应	306
5.3.1	周期离散时间信号的离散傅里叶级数表示	306
5.3.2	非周期离散时间信号的离散时间傅里叶变换	310
5.3.3	周期序列的离散时间傅里叶变换	312