



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材

# 信号

# 与线性系统

第6版 上册

原著 管致中 夏恭恪 孟 桥  
修订 孟 桥 夏恭恪

高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材

(编号: 2013-1-169)

# 信号

# 与线性系统

XINHAO YU XIANXING XITONG 第6版 上册

原著 管致中 夏恭恪 孟 桥  
修订 孟 桥 夏恭恪

高等教育出版社·北京

## 内容简介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,同时也是“十二五”江苏省高等学校重点教材。作者在第5版的基础上,根据长期的教学实践以及技术发展的需要,对原教材作了修订,使其更加贴近当前的教学要求。

本书将第5版内容进行了扩充,增加了第4版中的随机变量、随机过程、线性系统对随机信号的响应这三章,并参考学校实际教学安排将全书划分为上、下两册,按照先连续系统后离散系统、先时域分析法后变换域分析法、先输入-输出描述后状态空间描述、先确定后随机的顺序,由浅入深地对信号与系统的分析方法进行了全面的介绍。上册的具体内容包括:绪论、连续时间系统的时域分析、连续信号的正交分解、连续时间系统的频域分析、连续时间系统的复频域分析、连续时间系统的系统函数、离散时间系统的时域分析、离散时间系统的变换域分析、线性系统的状态变量分析。书中引入大量的工程应用实例,加深读者对相关内容的理解。

本书可作为普通高等学校电子信息与电气信息类专业本科生“信号与系统”课程的教材,也可以作为相关领域工程技术人员的参考资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

信号与线性系统.上册/管致中,夏恭恪,孟桥著.

--6版.--北京:高等教育出版社,2015.6

ISBN 978-7-04-044665-4

I. ①信… II. ①管… ②夏… ③孟… III. ①信号理论-高等学校-教材 ②线性系统-高等学校-教材 IV.

①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 014073 号

策划编辑 王楠  
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 王楠  
责任校对 吕红颖

封面设计 于文燕  
责任印制 韩刚

版式设计 马敬茹

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 北京汇林印务有限公司  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 31.5  
字数 710千字  
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.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>  
版 次 1979年2月第1版  
2015年6月第6版  
印 次 2015年6月第1次印刷  
定 价 45.40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 44665-00

## 第 6 版前言

这一版最大的变化,是对原来第 4 版和第 5 版的内容进行了综合。在第 4 版以及以前的各版中,都包含随机信号处理方面的内容,从而使得教材内容覆盖了系统对确定性信号的响应和对随机信号的响应两个方面的内容,分上、下两册发行。在第 5 版的改编中,因为考虑到很多学校将这部分内容放到了通信原理或者统计信号处理等课程中讲授,所以删去了这一部分内容,以使得教材内容得以减少到单本教材发行。但是从近年使用的情况看,需要在信号与系统课程中讲授随机信号处理内容的学校也不少,由此就形成了第 4 版和第 5 版并行发行的情况,影响了教材内容的更新。所以在第 6 版中,我们恢复了随机信号分析等相关三章的内容。同时,按照实际教学需求,在章节次序上作了一些调整,将状态变量分析的内容从第十一章调整到了第九章,将前九章的内容组织成为教材的上册,覆盖了大部分学校的教学要求。而离散傅里叶变换和数字滤波器等内容从原来的第九章、第十章推后到第十章和第十一章,并与后面随机信号分析的三章内容一起构成了教材的下册,提供给有增加数字信号处理以及随机信号处理基本内容教学需要的学校选用。由此,读者可以根据各自的需求,决定是否只需要学习上册内容,或者需要学习全部上下册相关的内容。

在各章具体内容的安排上,依然延续了原教材先连续后离散、先时域后变换域的学习路径。相关的编写思路等可以参考第 5 版和第 4 版的前言部分。在教学进程的组织上,前八章内容是相互关联的,构成了信号与线性系统分析的基础。而后面的内容则是在前八章内容基础上的进一步延伸,可以分为状态变量分析法(第九章)、离散傅里叶变换与数字滤波器(第十章、第十一章)以及随机信号及其通过系统后的响应(第十二章至第十四章)三个部分,这三个部分之间相互没有联系,可以在教学或者学习中根据实际需要进行取舍或者调整讲述顺序。在教材修订的同时,我们也通过精品资源共享课程以及中国大学 MOOC 等平台,建设了网络以及 MOOC 等各种新型的教学资源,可以供读者在阅读学习时参考。

在这次修订中,我们还根据当前教学的需求以及计算机辅助分析的发展对分析技术手段的影响,在内容上做了一些修整。例如,杜阿美尔积分目前已经完全被卷积积分所替代,在系统响应分析中不再使用了,所以在第二章中去掉了对这方面内容的介绍;系统的频率特性用计算机很容易绘出,所以再详细讨论波特图的画法就显得比较过时了,所以这次修订中对波特图介绍也进行了简化,只保留了一阶实数极零点的波特图分析,重点放在对波特图构成特点的介绍,去掉了比较繁琐的共轭极点的波特图等内容;在第十二章的例题中,原先采用查表法计算正态分布的相关数值,因为涉及很多查表法转换计算,非常繁琐,而通过计算机辅助计算软件可以使计

算过程得以简化,所以这次修订中在例题的最后增加了一个用 MATLAB 进行正态分布数值计算的非常简单的代码实例。此外,在章节上也略微做了一些调整,去掉了原来的 § 6.2“系统函数的图形表示”等内容,将相关部分移到了使用这些图示的地方进行介绍;原来的 § 6.3、§ 6.4 合并为一节,集中介绍系统的极零图,以便于教学内容的组织。

近年来,工程专业认证开始进入了各个工科专业,成为高等工程教育质量保障的一个重要环节,并将与华盛顿协议等国际工程认证体系接轨,从而促进我国高等工程教育水平的提高。工程认证从学生的需要出发,对高等工程教育的各个方面进行考核,要求各个课程对学生的毕业要求提供必要的支撑。这给我们提供了一个审视课程教学体系、教学内容的新视角。在 2015 年版的工程专业认证通用标准中,对毕业达成度提出了 12 点要求。而信号与系统课程则与其前 4 点要求(工程知识,问题分析,设计/开发解决方案、研究)完全或者部分相关。在这 4 点毕业要求中,要求学生能够将数学、自然科学、工程基础和专业知识用于解决复杂工程问题;能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理,识别、表达、分析复杂工程问题,以获得有效结论;能够设计针对复杂工程问题的解决方案,设计满足特定需求的系统、单元(部件)或者工艺流程;能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究,包括设计实验、分析与解释数据等。而以上这些正是这门课程的核心内容,直接支撑了这些毕业要求的实现。这也要求我们在相关的习题或者考卷内容的设计上,必须能够对相关毕业要求的达成度进行观测和评估,以对学生在这些方面达到的程度进行评测,从而能够为专业认证的相关指标提供必要的参考数据。

本次修订工作由孟桥和夏恭恪共同制定了修订原则,具体修订工作由孟桥完成。本次修订工作得到了江苏省教育厅“十二五”重点教材建设项目的支持。樊祥林、王琼、曹振新、董志芳、俞菲、冯曼等教师对相关内容的完善和优化方面提出了许多宝贵意见;在多年的教学过程中以及在中国大学 MOOC 上与同学们的交流和讨论也为本次修订带来了许多启发;高等教育出版社的各位编辑对本书的校正和排版做了大量的工作。在此一并对这些关心和帮助过本书修订工作的人们致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限,教材中可能依然存在疏漏或错误之处,敬请读者批评指正。作者的邮箱地址为:mengqiao@seu.edu.cn,欢迎提出宝贵意见。

作者

2015年6月20日 于东南大学

## 第5版前言

“信号与系统”课程是电子信息与电气信息类专业学生的一门非常重要的专业基础课程,它一方面起着连接基础课程和专业课程的重要桥梁作用,同时也为后续相关的专业课程学习打下了坚实的基础。

这套教材从1979年第1版起,历经多次修改,每一次修改都是与教学需求的改变以及相关技术的发展相联系的。本次修订也不例外。修订版在内容上依然保持了原教材的特色,按照先连续系统后离散系统、先时域分析法后变换域分析法、先输入-输出描述后状态空间描述的顺序,对信号与系统的分析方法进行全面的介绍。教材首先从连续时间系统的时域分析法开始,以学生在物理或者电路中早已熟悉的电路问题为实例,介绍线性系统的时域分析方法。其内容与电路类课程的相关内容有一定的连接,同时也兼顾到高等数学中介绍过的线性微分方程等方面的知识。在时域法介绍完以后,通过信号分解的角度,介绍线性系统的频域分析法;然后,通过对傅里叶变换进行扩展,进一步介绍线性系统的拉普拉斯分析。在介绍线性系统分析方法的同时,结合实例,逐步引出稳定、因果、系统频响等工程中非常重要的概念。

在完整地介绍了连续时间系统分析方法以后,教材转向了对离散时间系统分析方法的介绍。在介绍了离散时间信号和系统等相关概念后,逐步介绍了离散时间系统的时域分析法、频域分析法以及 $z$ 变换分析法。在这部分内容中,离散时间系统对读者而言可能是一个新的概念,但是其分析方法以及稳定、因果、系统频响等概念与连续时间系统有很多相似之处,通过与连续时间系统分析相关概念的比较分析,对这部分内容的理解会容易得多。考虑到当前数字系统已经在各个领域得到广泛的应用,教材中也专门设定了两章,介绍离散傅里叶变换以及数字滤波器的设计。

教材的最后一章介绍了线性系统的状态变量分析方法,并由此引出了可控制性、可观测性等系统特性。这部分内容的介绍以连续时间系统为主,然后将相关的方法和结论扩展到离散时间系统分析。总之,掌握了连续时间系统和离散时间系统分析之间的联系,可以达到事半功倍的效果。

教材内容由浅入深,由简单到复杂,将一些基本概念和基本分析方法逐步引出。在各章内容中,大量结合工程应用中的实例,特别是电路系统方面的例子,加深读者对相关内容的理解。

本版教材是在2004年出版的《信号与线性系统(第4版)》(上、下册)基础上进一步进行修订的。本次修订的一个主要的工作,就是去除了原教材中关于随机信号分析相关的内容(原教材的第12至14章),以使得原来的上下册教材可以合并为一册,便于教学。原来的教材从系统

对确定性信号响应的分析自然延伸到系统对随机信号的分析,为学生学习通信、雷达信号处理等课程打下了良好的基础,成为原教材的特色之一。但近年来,由于对各门课程教学学时的一再压缩,教学内容受到一定的影响,大多数学校将系统对随机信号分析的内容放在了“通信原理”或者“统计信号处理”等专业课程中讲授,而在“信号与系统”课程中不再介绍。所以这次修订删除了这部分的内容,使得教材与当前的课程体系相适应。

除了删除最后3章以外,其他各章基本保持了原有内容,包括例题、图表和习题,但也根据需要进行了一定的修改。为了使教师更快熟悉本书的内容,这里将一些改动之处以及改动时的考虑归纳如下。

在§2.1节中,增加了对线性系统零状态响应求解的基本思路的介绍,那就是将复杂信号分解为若干个简单信号的和,通过求解系统对简单信号的响应以及线性系统的叠加性,求得系统对任意信号的响应。第四章对系统频域分解法的介绍部分,原教材重点通过几个电路的例子说明求解过程, $H(j\omega)$ 与一般的线性微分方程之间的关系则通过将微分方程两边同求傅里叶变换的方法简要说明。在这次修订中则反之,着重介绍了 $H(j\omega)$ 与微分方程的关系;而对电路分析的部分(相当于电路的正弦稳态分析),则作为一种不需要写出微分方程而直接从电路得到 $H(j\omega)$ 的快捷方法加以介绍。这样,无论读者是否有电路分析方面的基础,都可以很快掌握系统的频域分析方法。在这一章的最后,增加了对调幅波通过系统后调制信号不失真的证明。第五章中,删除了原来的“阶跃信号作用于RLC串联电路的响应”一节,因为相关的内容在很多电路分析教材中都会介绍。在对双边拉普拉斯变换计算的介绍中,强调了对基本的指数型左边信号拉普拉斯变换公式的直接应用,简化了左边信号的正、反变换的求解过程。第六章中,通过极零图画系统频响的内容是一个比较难处理的知识点,因为有了计算机以后,从系统函数画系统频响图变得非常方便,不再有人会采用这种方法来画系统的频响图了。但是其中反映出的极零点对系统频响的影响,以及由此导出的全通系统等概念,在电子线路等其他课程中又是非常重要的概念。与此相似的还有关于波特图的画法。这两个部分的内容虽然直接使用价值不大,但是完全删去也是不合适的,这里仅进行了一些删减。对系统的稳定性的介绍方面,从系统的全响应出发,分别从零输入和零状态两个方面讨论系统的稳定性条件,使得对系统BIBO稳定条件的研究更加充分。对于原教材中的根轨迹部分,因为现在用计算机求方程的根以及画根轨迹非常方便,所以这里仅仅保留了根轨迹的定义和使用价值方面的简单内容,删去了对根轨迹作图画法的介绍。在第十一章关于连续时间系统状态方程分析法的介绍中,保留了相对比较简单的复频域分析法,删除了相对复杂且实际使用得很少的时域分析法方面的内容。

教材中,也对一些专有名词做了统一。例如,系统的幅度频率和相位频率特性,有些地方简称为“幅度特性”和“相位特性”,有些地方简称为“幅频特性”和“相频特性”,这里统一使用后一种说法,因为这种名称可以同时体现出频谱图中的横、纵坐标的意义;“取样”“抽样”也是在离散时间系统中互用的两个名词,在本教材中统一为“抽样”。

在修订中,孟桥和夏恭恪共同确定了本次修订的原则,具体修订工作由孟桥完成。清华大学郑君里教授审阅了全文并提出了许多非常宝贵的修改意见,高等教育出版社各位编辑与作者

的通力协作为本书的出版提供了有利条件。研究生江敏伟、彭杰等在文字校对、公式图表号调整等方面做了大量的工作。在长期教学过程中与各位从事信号与系统教学的同仁的研讨以及与广大学生的交流,也对本书的修订有着很大的助益。这里一并对这些关心和帮助过本书修订工作的人们致以深深的谢意。

由于作者水平有限,本版教材中可能依然存在疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。作者的邮箱地址为:mengqiao@seu.edu.cn,欢迎提出宝贵意见。

· 作 者 ·

2011年4月8日 于东南大学



## 第4版前言

本书是1992年《信号与线性系统》第三版的修订版本。新版本在内容上仍然覆盖了信号与系统课程教学基本要求的所有内容,在体系结构上保留了原书的特色。按照先连续系统后离散系统、先时域分析法后变换域分析法、先输入-输出描述后状态空间描述、先确定信号后随机信号的顺序,对信号与系统的分析方法进行了全面的介绍,由浅入深,由简单到复杂,将一些基本概念和基本分析方法逐步引出。同时,根据当前信息和通信技术的发展动态,结合高校教学改革的形势和要求,综合近十年来教学实践中的经验和教学需要,对教材内容进行了修订,以期能够更好地为各个高校信号与系统课程的教学服务。

与上一版相比,本书最大区别在于在第八章 $z$ 变换之后增加了离散傅里叶变换和数字滤波器两章的内容,在以往的教学体系中这些内容都是出现在专业课《数字信号处理》中的。增加这两章的原因是多方面的。首先,这些内容已经与前面两章的内容构成了一个完整的体系,引入这些内容使离散时间信号与系统分析的内容更加完善。其次,这也是工程应用的需要。离散傅里叶变换作为一个重要的数学工具,在通信、自动控制和信息处理等各个领域都有广泛的应用,原书仅在第八章中用一个小节介绍这些方面的内容显然不能满足读者的需要,所以在本版中对离散傅里叶变换作了较详细的介绍,包括其性质、应用、快速算法以及由此引出的循环卷积运算等内容,以满足读者对这些方面的要求。同时,随着计算机技术和超大规模集成电路技术的发展,在很多场合连续信号处理的工作是由离散时间系统进行的,数字滤波器在工程中的应用越来越多,这就要求从事这方面工作的技术人员能够深入了解数字滤波器的工作原理,能够根据实际工作的要求设计出数字滤波器。所以在第十章中,我们重点介绍了数字滤波器处理连续信号的工作原理以及FIR、IIR滤波器的设计方法。在对IIR滤波器设计方法的介绍中,避开复杂的模拟滤波器的设计方法,重点讨论了如何以已知的模拟滤波器的系统函数为原型设计出数字滤波器,而对于如何求出原型模拟滤波器未作详细介绍,只是以例题的方式给出了一个比较容易计算和理解的巴特沃思滤波器设计的例子。在很多工程应用中,利用巴特沃思滤波器设计出的数字滤波器基本上能够满足需要。而对于FIR滤波器,由于它容易实现线性相位、设计方法简单、系统稳定性容易得到保证等种种优点,是第十章介绍的重点。通过第十章的学习,读者基本上可以设计出满足工程应用需要的数字滤波器。

增加离散傅里叶变换和数字滤波器这两章的另外一个重要的原因就是教学的需要。近年来随着教学改革的深化以及人才培养的需要,在很多高校中信号与系统从原来仅对通信和信息类专业本科生开设的课程,变成了通信、信息、自动控制、电气工程、计算机技术、生物医学工程

等诸多学科本科生的必修课程,有些高校中还为非电类专业开设了本课程,这些专业的读者对原本在数字信号处理中这两方面的内容也有迫切的需要,但常常由于总课时的限制又无法开设数字信号处理课程。在这种情况下,这两章的内容可以作为对这方面知识的一个补充。同时,考虑到有很多专业(特别是通信和信息专业)在后续的专业课中开设有数字信号处理课程,所以虽然根据内容的连续性将这两章排在了第八章之后,但是与后面第十一章以后的内容并没有联系,完全可以跳过以避免不同课程之间教学内容的重复。所以教师可以根据总的教学计划以及课时的具体情况决定是否在教学中采用这两章的内容。

本书中其他各章的内容中基本保持了大多数原有内容,包括例题、图表和习题,但也根据需要进行了一定的修改。为了使教师更快熟悉本书的内容,这里将一些改动之处以及改动时考虑归纳如下。

在第一章的信号概念中,加入了信号的运算内容,包括算术运算、时延、尺度变换、反褶等,为后面章节里有关内容(如卷积计算、傅里叶变换性质等)的讨论打下基础。在时域分析中,则删除了一些较陈旧的内容,如杜梅尔积分等。同时考虑到原来的数值积分与后面的离散卷积重复,故也一并删去。对连续信号频域分析的内容进行了调整,调整后的第三章主要讨论一般信号的谱分析,而系统的频域分析法以及谱分析的应用(例如调制解调)等集中在第四章中讨论,这样一来使体系更为简明,也更便于教学;同时加强了周期性信号的谱密度函数分析,从而使频域求解方法统一在谱密度函数的基础上,加深了对 FS 与 FT 之间关系的理解。在第六章中,将系统的奈奎斯特判据和根轨迹合并为反馈系统稳定性判据,强调了两种方法的共同应用背景,体系更为合理,同时也使得读者对控制理论有了初步的了解,便于理解和掌握。

在第七章和第八章对离散时间系统时域和频域分析法的介绍中,加强了与连续时间系统分析方法的比较,同时在其中也增加了一些经典的非电离散时间系统的例子,加深读者对离散时间系统的理解,使知识融会贯通。在第八章中还对利用留数法计算反 $z$ 变换的算法进行了深入介绍,不仅讨论了它在单边反变换中的应用,而且也讨论了它在双边反变换中的应用。原来在第八章中的数字滤波器和离散傅里叶变换两个小节现各自分别扩展为第九章和第十章,内容更加完整。

在第十一章状态变量分析法中,对状态方程建立过程的侧重点放到了“由输入-输出方程求状态方程”上,相应的内容也提到“电系统状态方程的建立”之前。这首先是因为由输入-输出方程建立状态方程的过程比较规则和简单,读者容易掌握,通过它可以加快对状态方程和输出方程的理解,也便于引出状态方程的矩阵形式以及介绍状态方程的多样性。另外一个原因是考虑到有些非电专业的读者对电系统分析不是很熟悉,这时可以通过这一节学习状态变量的建立过程,不会被复杂的电网络分析难倒,对于这些读者来说完全可以跳过“电系统状态方程的建立”这一节。此外,鉴于计算机数值分析方法在科研和工程中的广泛应用,在这一章中还加强了对系统的数值分析方法的介绍,在原来欧拉方法的基础上进一步介绍了龙格-库塔方法,并将这种数值分析方法从线性系统分析推广到了非线性系统分析,并通过两个著名的非线性系统的例子向读者揭示了混沌等非线性系统的一些重要的特性。介绍这些内容的目的并不是向读者系

统介绍非线性系统的分析方法,而是想通过它向读者打开探索非线性系统的大门。

对于教材中最后三章有关随机信号的内容,基本保持了原来的结构和体系。对其中一些统计量(例如均值、自相关函数等)的物理意义也进行了深入讨论。同时在最后一章对最佳滤波器的设计方法进行了更为详细的介绍,并通过实例分析了匹配滤波器的工作原理和效果,以利于读者进一步学习和掌握在通信、雷达声呐等应用场合的信号处理的原理。在这三章内容中,第十三章为随机信号的分析,第十四章则为系统对随机信号响应的分析方法。而第十二章“随机变量”中的内容似乎与本书的主题“信号与线性系统分析”有些不符。在这次修订过程中,考虑到有些读者可能缺乏这些方面的基础知识,且原书这章有着鲜明的不同于其他数学类教材的特色,就是结合工程实例对概率论进行介绍,对于从事电子技术和通信方面工作的读者仍具有一定的参考价值,所以在新版中依然保留了第十二章。如果读者在先修课程中已经学过这方面的知识,也可以跳过这章。

为配合双语教学的进行,本版改变了以前各版本中只在索引中给出有关名词和术语的英文形式的方式,在正文第一次出现有关名词和术语时就给出其英文词汇以及缩写,使读者在阅读时能够直接接触和熟悉相应的英文词汇,为今后阅读相关的英文文献打下基础。在索引中,有关名词的排列也由原来按笔画顺序排列改为按汉字的拼音字母顺序排列,以方便读者查找。

本书的原作者管致中参加了修订版大纲的审定。上册内容的具体的修订工作由夏恭恪完成,下册内容的具体修订工作由孟桥完成。清华大学郑君里教授审阅了全文并提出了许多非常宝贵的修改意见,谨致以衷心的感谢。

在本书的编写过程中,熊明珍老师以及梅霆、杨长清、魏强等研究生在文字录入上提供了帮助。此外,在长期的教学过程中与各位从事信号与系统教学的同仁的研讨以及与广大同学的交流,也对本书的编写有着很大的助益。高等教育出版社的各位编辑与作者的愉快合作为本书的出版创造了良好的条件。这里一并对这些关心和帮助过本书修订工作的人们致以深深的谢意。

由于作者水平有限,修订版中可能依然存在疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2003年9月6日于东南大学

## 第3版前言

本书是1982年出版的《信号与线性系统》一书的修订版本。新版本包含了原版本的全部内容,当然也同样覆盖了1986年国家教委颁发的高等工业学校“信号与系统”课程教学基本要求的内容,另外还增加了一些新内容。全书扩展为12章,仍分上、下两册出版。

与原版本相比,主要的变动是增添了三章有关随机变量、随机过程与随机信号通过线性系统的内容。这是因为实际带有信息的信号都是具有不可预知的随机性的;同时考虑到随着电子科学技术的发展,对微弱信号的检测与分析的重要性日益突出,实际问题中噪声背景多不能忽略。这样,过去为通信类专业学生所要求的有关随机过程的理论和概率方法方面的知识也已成为其他非通信类专业学生所需要,而且将成为科技工作者的专业基础知识的重要组成部分。非通信类专业在后续课程中一般不再设有随机信号分析课程。为使这些学生也能有一些这方面的基础知识,因此增添了这部分并未列入课程基本要求的内容,以供各校按自己的教学安排情况自行决定是否选用。

“信号与线性系统”是一门“开放性的”基础理论课程,每一部分内容俱可根据专业需要深化和扩展。如离散信号的 $Z$ 域分析可扩展到数字信号处理的内容;复频域分析可扩展到网络综合的内容;状态变量分析可扩展到状态控制的内容等。本书中所增添的随机信号分析也可扩展到通信理论的内容。

除增添随机信号分析的内容外,其他章节内容也有少量增删。如增加了单边谱与希尔伯特变换、双边拉普拉斯变换、离散系统的稳定性判据、系统的可观性与可控性等,使全书的系统性更加完整。同时对原书中个别不妥的提法也作了相应的订正。原书所选习题与正文内容配合不够密切,有些题目计算较繁,这次对习题作了较大的增删,以使能更好地符合教学要求。

本书由夏恭恪负责上册及全书习题的修订工作,管致中负责下册修订工作。全书承清华大学郑君里教授仔细审阅并提出宝贵的意见,谨致以衷心的感谢。

修订版中仍可能存在疏漏甚至错误之处,欢迎读者随时提出,以便今后进一步修订。

编者

1991年12月于东南大学

## 第2版前言

《信号与线性系统》是无线电技术专业的主要技术基础课之一。我们曾一度将此课与电路分析课合并成一课,由于两课程的内容密切相关,这样安排对于统一处理教学内容是有好处的。但是这样一个大课学时过多,在教学计划中安排不便,并且这两部分内容,不少院校是由两个教研组分别开课的;另外也有人主张有关信号与系统方面的理论推迟到高年级学习可能更为有利。所以,在1980年春修订的无线电技术专业参考性教学计划中,把这门大课分成为两课。同年6月,在高等学校工科电工教材编审委员会电路理论及信号分析编审小组的会议上,审订了《信号与系统》课程的教学大纲。本书就是根据这个教学大纲对原来我们编写的《电路、信号与系统》的下册重新进行改编而成的。

在教材体系的处理上,本书按照由时域分析到变换域分析、由连续时间系统到离散时间系统、由系统的输入-输出方程表示法到状态变量方程表示法这样的顺序安排,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,使学生较易接受。在本书第一章绪论中,对于信号和系统的概念以及系统分析方法的特点作了一般介绍。第二章是以卷积法为主要内容的连续时间系统的时域分析法。第三章信号分析,先讨论信号表示为正交函数集的一般方法,然后着重研究了信号的频谱特性。第四章则根据信号的频谱特性和系统的频率特性,很自然地引出了连续时间系统的频域分析法。第五章再把频域的概念推广到复频域,得到了用拉普拉斯变换来分析连续时间系统的复频域分析法。鉴于由复频域分析中引出的转移函数的重要意义,特以第六章一章来讨论连续时间系统的特性与转移函数的关系。在对连续时间系统的分析作了全面介绍后,第七、第八两章转而介绍离散时间系统的分析。第七章先讨论离散信号的特性及离散时间系统的描述法,然后研究离散时间系统的时域分析法。第八章是离散时间系统的变换域分析,主要是 $Z$ 变换法,也简要介绍了离散傅里叶变换的概念。最后第九章,介绍了系统在状态空间中的描述法,再用和前面所述的解输入-输出方程相对比的方法,介绍了连续时间系统和离散时间系统的状态方程的变换域解法和时域解法。

和原来我们编写的《电路、信号与系统》一书下册比较,本书有较大的改动。已调波的频谱分析主要应用于通信系统及电路中,可在其他有关课程中去学习,因此在本课程中予以删去。这样,本书的体系也显得更加合理了。书中强调了转移函数的概念。为适应数字技术发展的需要,把离散时间系统提高到与连续时间系统并重的地位。此外,还增加了一些新内容,包括沃尔什函数,根轨迹,数字滤波器,离散傅里叶变换,线性时变系统与非线性系统的状态方程解法,等等。至于根据我们在教学实践中遇到的问题以及兄弟院校提出的建议而作的增删和修改,包括

习题的重新选编就更多了,这里不再一一列举。由于本课程是一技术基础课,学生应当通过本课程的教学集中力量学好有关的基本理论和基本分析方法。所以,和《电路、信号与系统》下册一样,本书不可能也不应当把信号与系统方面的内容包罗无遗。例如随机信号、反馈系统、综合理论等内容,本书基本上均未涉及,留到高年级必修课和选修课中去学习。

当前,我国高等学校教学中存在的较普遍的问题之一是课堂灌输偏多,对于学生自己去掌握知识的积极性则发挥得不够。我们不主张在使用本教材时教师要逐章逐节地依次在课堂上讲一遍。在符合教学大纲基本要求的前提下,教师完全可以根据自己的经验和观点在诸如内容的取舍上、讲解的次序上以及阐明问题的方法上,采取不同的做法,而不必过多地受教材的约束。目前,最好要减少一点讲课时数,留一部分内容让学生自学,以培养学生独立学习的能力。还要告诉学生,学习一门课程不要只读一本教科书,应当尽量读点参考书,以便开阔思路,学得更活。

本书除第四、五两章外均由管致中同志编写,第四、五章由夏恭恪同志编写,全部习题由华似颢同志选编,教研组内还有一些同志对本书初稿提出了建议并参加了出版的辅助工作。

本教材初稿经清华大学常迥教授审阅。郑君里同志也看过书稿。他们都提出了一些宝贵的修改意见。对于我们原编写的教材《电路、信号与系统》,合肥工业大学芮坤生教授以及其他兄弟院校同志曾提出了宝贵的修改建议。这些意见对本书的改编帮助很大,在此我们谨向上述院校的同志们致以衷心的感谢。

由于我们学识水平有限或工作中的疏忽,本书仍可能留有错误或不妥之处。欢迎读者继续提出意见,寄交人民教育出版社或直接寄给我们,以便今后进一步修改。

编者

一九八一年十二月于南京工学院

# 第 1 版前言

《电路、信号与系统》是无线电技术专业的第一门技术基础课。学生在学习了高等数学、物理学等课的基础上,再通过本课程的学习,将进一步掌握专业所需的基本概念、基本理论和基本方法。根据 1977 年 10 月教育部召开的高等学校工科基础课教材座谈会上确定的教材编写计划,属于这一性质的教材有两种类型;本教材是其中之一。同年 12 月,在高等学校工科基础课电工、无线电教材编写会议上,讨论审订了《电路、信号与系统》教材的编写大纲,本书就是根据这个大纲编写的。

按照编写大纲的要求,本课程应当继承原《电路及磁路基础》课和《无线电技术基础》课线性电路部分中有用的基本内容,删除其中陈旧繁琐的内容,同时还要引进一些为适应科学技术迅速发展所需要的新内容。因此,本教材应当包括有关电路定理与电路特性,信号分析方法与信号的频谱特性,线性系统的各种分析方法,以及一些典型信号加于一些典型电路后电路响应的特性等主要内容,并且要将这些内容组成一个新的有机的体系。

在教材体系的处理上,考虑到如果把稳态分析和瞬态分析、时域分析法和频域分析法、连续信号系统和离散信号系统全部一下和盘托出,势必会使初学的低年级学生感到头绪纷繁,概念混杂。从教学法的角度看,这样做是不适当的。因此,各种基本分析方法与基本概念要先易后难逐步引出,逐步巩固,逐步扩大。在组织本书的内容时,我们把激励信号施加于线性系统而后求取系统响应作为贯穿全书的主要线索。在本书上册第一、二、三章,首先研究如何应用电路定理去分析直流和正弦形交流等简单激励源作用于简单电路的方法,继而在第四章中对单频率正弦信号通过  $RC$ 、 $LC$  电路这样的简单线性系统进行了分析,再进一步在第五章中介绍了一般的二端对网络的分析法,然后再在第六章把集中参数系统的分析扩展到作为分布参数系统的传输线。这样,在本书上册中,就构成了单频信号作用于线性系统的稳态分析的一个完整体系。在本书下册第七、八章,先介绍信号的频谱分析法及信号的频谱特性,从而将一复杂信号分解为许多正弦分量,同时把激励源的接入也看成为无限多个稳定的正弦分量的作用相叠加;然后在第九章中利用傅里叶积分和叠加定理,就很自然地从事态分析过渡到瞬态分析法,再在第十章中将频域分析法推广到复频域,引出了重要的分析线性系统的拉普拉斯变换法。在第十一章时域分析法中,也是先将信号在时域中进行分解,然后运用叠加积分,这就构成了另一重要的分析线性系统的卷积法。第十二章是把上述频域、时域分析法应用于求解状态方程;最后,第十三章,把连续时间系统的分析方法扩展引申到离散时间系统。所以,从稳态到瞬态,从频域到时域,从连续到离散,这就是本书的体系,也是本书的特点。本课程应有的基本概念、基

本理论和基本方法,都是按这个体系组织起来的。

根据过去的教学经验,我们在编写本书时,对于原《电路及磁路基础》课和《无线电技术基础》课线性电路部分中一些陈旧繁琐的内容,作了删减,例如交流电路的一些部分、磁路、谐振电路中谐振特性的一些部分、影像参数滤波器等。过去有关耦合电路和变压器的内容散处在各课中,从不同的角度去进行分析,各自得出需用的结论,其间缺乏互相关联;现在把这方面的内容集中在第三章中统一处理,用统一的分析方法引出在不同条件下的各种实用等效电路。过去只讨论 $LC$ 电路的频率特性,对于同样重要的 $RC$ 电路的频率特性却很少讨论;现在在第四章中补充了这部分内容。网络拓扑、信号分析中的正交函数集等概念,还有最后三章,都是为适应新技术发展的需要而增加的新内容。

本教材是给低年级学生使用的,不可能也不应当把有关电路、信号与系统的内容包罗无遗。例如,网络综合理论、随机过程、反馈系统、时变系统等,本书均未涉及。这些内容均将在后继的高年级必修和选修课中学习。再如状态方程、离散时间系统等内容,本书也只是对其基本理论和基本分析方法进行介绍,而把进一步深入研究的内容留给后继课程。

科学技术在迅速发展,为适应形势的需要,在学校里应该使学生学什么,课程的内容如何组织,这些始终是教师不断面临的问题。解决这些问题的方案不应该只有一种,而是可以见仁见智、百家争鸣,提出多种方案。因此我们认为,教师在使用本教材时,不宜受过多的约束,在内容的取舍上、讲解的次序上以及阐明问题的方法上,都可以有自己的看法和做法。例如,有的院校把传输线、已调波的频谱等内容划归别的课程,有的院校认为时域分析法可提前学习,而且还要强调古典解法,诸如此类,当然都是可以的。对于学生,我们认为也要告诉他们,不要只读一本教科书,还应该读点参考书,才能思路开阔。

本书一至六章由沙玉钧同志编写,绪论、七、八、十一、十二、十三章由管致中同志编写,九、十章由夏恭恪同志编写,前六章习题由江金蓉同志选编,后七章习题由华似韵同志选编,教研组内还有一些同志参加了辅助工作。本书原稿由华南工学院冯秉铨教授主审,并于1978年12月举行了审稿会议进行集体审稿。审稿会由冯秉铨教授主持,大连工学院、上海交通大学、北京工业学院、北京航空学院、华中工学院、华南工学院、西北电讯工程学院、西安交通大学、合肥工业大学、重庆大学、南京工学院、浙江大学、清华大学等兄弟院校都派代表参加了审稿,提出了许多宝贵意见。此外,有的兄弟院校还给我们寄来了书面意见。这些意见对于本书的修改定稿帮助很大。在这里我们谨向上述院校和同志们致以衷心的感谢。

由于本书编写的时间紧迫,成书匆促,又由于我们学识水平有限,书中很可能还留有疏漏或错误之处。我们非常欢迎读者提出本书存在的问题,寄交人民教育出版社编辑部,或者直接寄给我们,以便今后据以修改。

编者

一九七九年元月于南京工学院



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第一章 绪论 .....               | 1   |
| § 1.1 信号传输系统 .....         | 1   |
| § 1.2 信号的概念 .....          | 3   |
| § 1.3 信号的简单处理 .....        | 7   |
| § 1.4 系统的概念 .....          | 11  |
| § 1.5 线性非时变系统的分析 .....     | 15  |
| § 1.6 非电系统的分析 .....        | 18  |
| 习题 .....                   | 21  |
| 第二章 连续时间系统的时域分析 .....      | 24  |
| § 2.1 引言 .....             | 24  |
| § 2.2 系统方程的算子表示法 .....     | 27  |
| § 2.3 系统的零输入响应 .....       | 31  |
| § 2.4 奇异函数 .....           | 36  |
| § 2.5 信号的时域分解 .....        | 41  |
| § 2.6 阶跃响应和冲激响应 .....      | 44  |
| § 2.7 叠加积分 .....           | 50  |
| § 2.8 卷积及其性质 .....         | 53  |
| § 2.9 线性系统响应的时域求解 .....    | 64  |
| 附录 从分配函数观点看冲激函数 .....      | 71  |
| 习题 .....                   | 74  |
| 第三章 连续信号的正交分解 .....        | 82  |
| § 3.1 引言 .....             | 82  |
| § 3.2 正交函数集与信号分解 .....     | 83  |
| § 3.3 信号表示为傅里叶级数 .....     | 89  |
| § 3.4 周期信号的频谱 .....        | 100 |
| § 3.5 傅里叶变换与非周期信号的频谱 ..... | 106 |
| § 3.6 常用信号频谱函数举例 .....     | 112 |
| § 3.7 周期信号的频谱函数 .....      | 122 |