



普通高等教育“十五”国家级规划教材

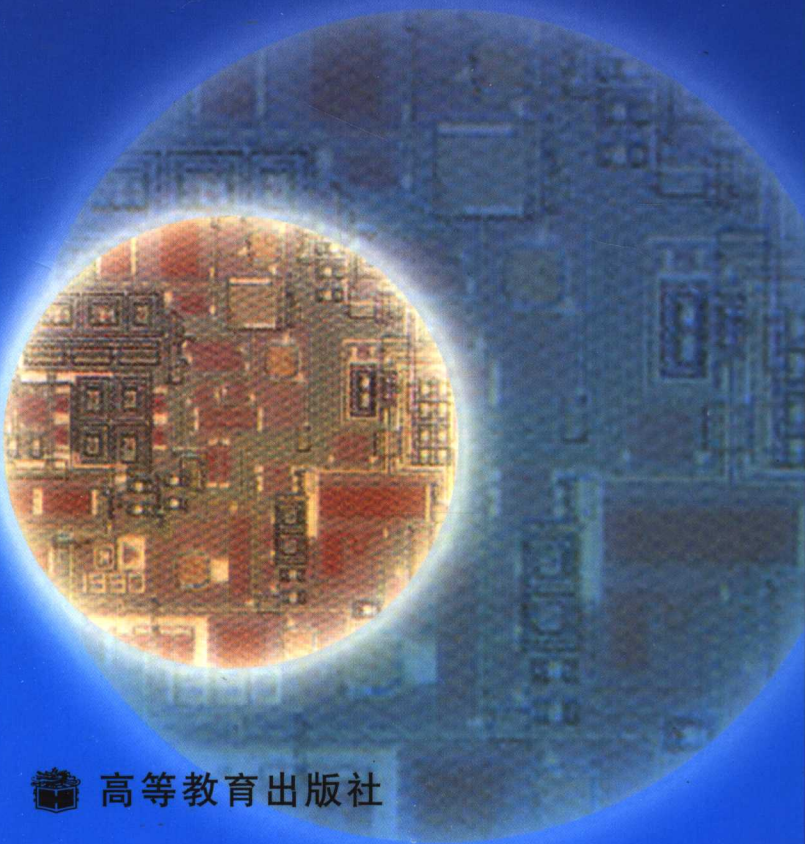
电子技术基础

模拟部分（第五版）

华中科技大学电子技术课程组 编

主编 康华光

副主编 陈大钦 张林



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

电子技术基础

模拟部分(第五版)

华中科技大学电子技术课程组编

主 编 康华光

副主编 陈大钦

张 林

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础. 模拟部分/康华光主编; 华中科技大学电子技术课程组编. —5版. —北京: 高等教育出版社, 2006. 1

ISBN 7-04-017789-7

I. 电... II. ①康... ②华... III. ①电子技术-高等学校-教材②模拟电路-电子技术-高等学校-教材

IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第146100号

策划编辑 韩颖 责任编辑 欧阳舟 封面设计 刘晓翔
责任绘图 朱静 版式设计 王莹 责任校对 殷然
责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landrace.com
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		http://www.landrace.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	1979年3月第1版
印 张	38.25		2006年1月第5版
字 数	700 000	印 次	2006年1月第1次印刷
		定 价	43.20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 17789-00



康华光 1925年8月出生于湖南衡山，现为华中科技大学教授、博士生导师。长期从事电子技术教学与生物医学工程研究。

康华光教授1951年毕业于武汉大学电机工程学系并留校任教。1953年院系调整到华中科技大学（原华中工学院）工作至今。现任中国电子学会生物医学电子学分会委员。曾任国家教委高校工科电工课程教学指导委员会副主任兼电子技术课程教学指导小组组长。

由康华光主编的《电子技术基础》（模拟、数字部分）第一、二、三、四版（高等教育出版社，1979、1982、1988、1999年）曾先后于1988、1992、1996、2002年荣获四次国家级奖励，含优秀教材奖、优秀教材特等奖、科技进步二等奖和优秀教材一等奖。主持研究的“优化电子技术基础课程建设”项目获1989年国家级优秀教学研究成果奖。

在科研方面，康华光教授主要从事交叉学科的研究，如生物医学信息的检测与分析以及细胞电生理研究。建立了国内第一个具有国际先进水平的细胞信使实验室。主持了多项国家级科研课题，开展国内、国际交流与合作，成绩卓著。培养了博士、硕士生40余名。发表了多篇学术论文和专著《膜片钳技术及其应用》（科学出版社，2002年）。

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材。前版荣获 2002 年全国普通高等学校优秀教材一等奖。其特点如下：1. 加强了信号与电子系统的基本知识；2. 对每一问题的讲述，先以概念引路，然后逐步展开分析与讨论，例如器件的建模，由物理概念讲述其参数，从而得出电路模型；3. 坚持以集成电路为主线，加强 CMOS 器件等新内容；4. 加强 SPICE 程序对电子电路的仿真分析与设计。

内容包括：绪论、运算放大器、二极管及其基本电路、双极结型三极管及放大电路基础、场效应管放大电路、模拟集成电路、反馈放大电路、功率放大电路、信号处理与信号产生电路、直流稳压电源、电子电路的计算机辅助分析与设计。

本书可作为高等学校电气信息类(含电气类、电子类)等专业的“模拟电子技术基础”课程的教材。

注：本书全部习题未经编者书面同意，任何单位和个人不得以习题解答等形式出版发行，否则追究法律责任。

本书封底贴有高等教育出版社防伪标签。无标签者不得销售。

第五版序

当代电子技术的迅速发展，为人们的文化、物质生活提供了优越的条件，数码摄像机、家庭影院、空调、电子计算机等，都是典型的电子技术应用实例，可谓琳琅满目、异彩纷呈。至于电子技术在科技领域的应用，更是起着龙头作用，例如通信工程、测控技术、空间科学等比比皆是。而计算机的普及，也为大学生们提供了良好的学习平台。

本版是在前版的基础上修订而成，在修订过程中，参考了教育部组织编写的《电子技术基础(A)课程基本要求》，提出了如下的思路：精选内容，推陈出新；讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法。对于较简单的电路，可用手工的方法进行近似计算；对于较复杂的电路，则可利用计算机及相应的软件进行仿真分析和设计。具体考虑有如下几点：

1. 简述信号与电子系统的概念，为学习模拟电路和数字电路提供引导性的背景知识。

2. 由于微电子学与制造工艺的进步，特别是在数字电路中，与双极型器件的性能相比，MOS器件具有明显的优势。

3. 在模拟电路中增加了器件建模的内容，并利用SPICE软件对电路作具体的仿真分析与设计。在数字电路中增加了用Verilog语言建模的内容，借助Quartus II集成开发软件对电路进行仿真分析与设计。

目前，硬件与软件之间的界限越来越模糊，模拟电路或数字电路均属硬件，在利用软件对电路进行辅助设计时，不能轻视硬件，应

引导学生全面发展。

4. 重新改编了例题、复习思考题和习题，以便读者深入理解教材内容。SPICE 部分和 Verilog 语言部分的内容，供各院校师生灵活选用。

参加本版模拟部分修订工作的有张林(第 1、3、11 章及附录 A、B、C)、王岩(第 2、6、10 章)、杨华(第 4、7 章)、陈大钦(第 5、8、9 章)等。参加数字部分修订工作的有秦臻(第 1、3、4、10 章及附录 A、C、D)、罗杰(第 2 章及附录 B)、瞿安连(第 5、6 章)、张林(第 7 章)、彭容修(第 8、9 章)等。康华光为主编，负责全书的策划、组织和定稿。陈大钦、张林为模拟部分的副主编，邹寿彬、秦臻为数字部分的副主编，协助主编工作。此外，张林还完成了模拟电路的 SPICE 分析；罗杰还完成了数字电路的 Verilog 语言描述。

本书由哈尔滨工业大学蔡惟铮教授主审，参加审阅的模拟部分为王淑娟教授，数字部分审阅的为杨春玲教授，在此表示衷心的感谢。第四版发行期间，承全国各兄弟院校师生给我们以鼓励，寄来了不少宝贵意见和建议，编者在此一并致以谢忱。

康华光

2005 年 7 月于武汉华中科技大学

初 版 序

本书是根据高等学校工科基础课电工、无线电类教材编写会议(1977年11月合肥会议)所制订的“电子技术基础”(电力类)教材编写大纲编写的。在编写过程中,我们力图以马列主义、毛泽东思想为指导,运用辩证唯物主义观点和方法来阐明本学科规律。

“电子技术基础”是电力工程类各专业的一门技术基础课,它是研究各种半导体器件的性能、电路及其应用的学科。从本学科内容大的方面来划分,本书上、中两册属模拟电子技术,下册属数字电子技术;前者主要是讨论线性电路,后者则着重讨论脉冲数字电路。

教材中注意总结我们近年来的教学实践经验,加强了基础理论,如加强了半导体的物理基础和电路的基本分析方法;同时也注意吸取国内外的先进技术,如加强了线性集成电路和数字集成电路(包括中、大规模集成电路)的原理和应用,新增了电子电路的计算机辅助分析等内容。

在内容的安排上,注意贯彻从实际出发,由浅入深、由特殊到一般、从感性上升到理性等原则。通过各种半导体器件及其电路来阐明电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法。对于基本的和常用的半导体电路(包括脉冲数字电路),除了作定性的分析外,还介绍了工程计算或设计方法。为了加深对课堂知识的理解,列举了若干电路实例,并配有一定数量的例题、思考题和习题。

在使用本教材时,请注意以下几点:

(1) 本课程是在学完普通物理学和电工原理的大部分内容之后开

设的，课程之间的相互配合和衔接非常重要。例如，在第一章用能带理论来解释半导体内两种载流子——电子和空穴的导电规律时，应以普通物理学中讲的固体能带理论为基础；又如在分析放大器时，既讨论了稳态分析(频域)，也介绍了瞬态分析(时域)，在“运算放大器”一章中，又有积分、微分电路以及其他应用，这些内容应以电工原理中的无源线性电路的瞬态分析为基础，只有配合得好，才能取得满意的效果。

(2) 本教材是按课程总学时数约 200(包括实验课等环节)而编写的，除了基本内容之外，还编入了部分较深入的内容，这些内容均在标题前注有星号(*)或用小字排印，自成体系。不同专业可按学时多少，由教师灵活选择，也可供读者自学参考。

(3) 课程中各个教学环节的配合十分重要，除了课堂讲授外，还必须通过习题课和实验课等环节加以补充，有些内容可以把这几个环节有机地结合起来。对于实验课，必须予以高度重视，通过实验课，不仅可以验证理论，加深对理论知识的理解，更重要的是，可以学会电子测试技术，使理论紧密结合实践。

参加本书编写工作的有汤之璋(第一章)、陈婉儿(第一、二、九章)、陈大钦(第三、五、十章)、康华光(第四、十一章)、王岩(第六、七、十三章)、林家瑞(第六章)、邹寿彬(第八、十二章)、周劲青(第十一章)和江庚和(第十三章)等同志，最后由康华光同志定稿。在编写过程中，张瑾、朱立群、赵月怀、肖锡湘、杨华、石友惠、汪菊华、罗玉兰以及其他同志参加了许多工作，给予很大支持。

本书由南京工学院李士雄副教授主审，参加主审工作的还有江正战、张志明、衣承斌、陈黎明和丁康源等同志。

在武汉和南京举行的审稿会上，承西安交通大学沈尚贤教授、清华大学童诗白教授、浙江大学邓汉馨副教授、上海交通大学徐俊荣副教授以及重庆大学、山东工学院、沈阳机电学院、合肥工业大学、大连工学院、湖南大学、华南工学院、同济大学、哈尔滨工业大学、天津大学、太原工学院和昆明工学院等兄弟院校的教师代表对初稿进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵的意见。

在编写本书第八章(电子电路的计算机辅助分析)的过程中，承中国科学院湖北岩体土力学研究所计算机室协助解题。

对所有为本教材进行审阅并提出宝贵意见以及在编写出版过程中给予热情帮助和支持的同志们，我们在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限，加之时间比较仓促，书中错误和不妥之处，在所难免，殷切希望使用本教材的师生及其他读者，给予批评指正。

编者

1979年3月

第二版序

本书是在第一版的试用基础上，并按照高等工业学校《电子技术基础教学大纲》(草案)(四年制自动化类和电力类专业试用)，总结提高、修改增删而成的。主要做了下列几方面的工作；(1)从本课程的目的和任务出发，在保证打好基础的前提下，精选了内容，例如删去了“电子电路的计算机辅助分析”一章，适当精简了器件内部的物理过程、放大器的频率特性分析、分立元件电路以及设计方面的内容等，在篇幅上有较大的缩减；(2)删繁就简改写了第二、四、六章的大部分内容。同时，将第一版的第九、十章各分为两章，以利于教学；(3)增加了部分新内容，如集成运算放大器的应用电路，中规模数字集成电路等；(4)加强了电路分析方法，如用“虚短”的概念分析集成运算放大器的线性应用电路；在数字电路中，突出了组合逻辑与时序逻辑电路的分析方法；(5)近几年来，由于大规模集成电路的飞速发展，出现了微处理机对各个科学技术领域的渗透，为此，我们充实了“MOS 数字集成电路”一章的内容；(6)重新整理并增删了各章所附的思考题和习题。此外，在编排上，把基本内容排大字，选讲内容排小字，自学参考内容既排小字，又带*号。

本版各章基本上由原编者修订，参加的人员有汤之璋、康华光、陈婉儿、王岩、陈大钦、邹寿彬、朱立群等同志，全书由康华光同志定稿。在修订过程中，得到了汤之璋教授的帮助与指导，陈婉儿同志协助校阅了第一至第六章的书稿，肖锡湘、陈晓天、丘小云、石友惠、罗玉兰以及其他同志参加了许多工作。

本书由南京工学院李士雄教授主审，参加审阅工作的还有陈天授、

陈黎明、皇甫正贤、郑虎申等同志；在本书第一版的试用期间，承全国有关兄弟院校的师生寄来不少宝贵意见和建议，编者在此深表谢忱。

本版内容虽有所改进，但离教学要求尚有差距，恳请使用本教材的师生和其他读者予以批评指正，以便不断提高。

编者

1982年10月于武汉

第三版序

自本书第一版问世以来，已经历了近十年。在这期间，电子技术领域发生了迅猛而巨大的变化。新技术革命和教学改革的不深入，促使本教材不断改进完善，第三版现在与读者见面了。

新版是在第二版的基础上，经过改革试验、总结提高、修改增删而成的。在修订工作中，依照 1987 年经国家教委批准的《高等学校电子技术课程教学基本要求》，在保证基本教学内容的前提下，为适应电子技术不断发展的新形势和教学上的灵活性以及因材施教的需要，本版适当增加了部分加宽加深的选讲内容，具体考虑如下：

1. 新版在体系上作了较大的调整。在模拟部分中，将“模拟集成电路”一章的位置提前，以致有可能在“反馈放大器”以及后续各章中，均以模拟集成电路为对象进行讨论，这就形成了以模拟集成电路为主干的体系。数字部分则直接以小规模数字集成电路引路，逐步向中大规模集成电路深入，几乎大部分内容都纳入“组合逻辑”和“时序逻辑”两大类电路之中。

2. 在保证基本理论完整性的原则下，删去或精简了一些分立元件电路内容，增强了集成电路的应用，并引入模拟乘法器、开关电容滤波器、压控振荡器、锁相环、直流变换器、门阵列、算术逻辑单元、动态存储器、集成 A/D 与 D/A 转换器等新技术内容。

3. 为了开拓学生的知识广度，新增了“调制与解调”一章。

4. 本书数字部分的内容安排与讲述方法，注意到了与“微处理器基础”的密切联系，以利于压缩学时，提高教学效果。

5. 为了贯彻理论联系实际的原则，书中以不同的方式，安排了一定数量的电路实例，并注意阅读电子电路图和查阅电子器件手册的训练。

6. 教材正文与例题、习题紧密配合。例题是正文的补充。某些内容则有意地让读者通过习题来掌握，以调节教学节律，利于理解深化。

7. 在编排上，对于加宽加深的内容，均注有*号，以便于教师选讲和读者自学参考。

本版仍沿用从模拟到数字的体系，若有需要，亦可按数字到模拟的体系讲授，只需将模拟部分的“半导体二极管和三极管”一章移到数字部分之前讲授即可。

参加新版模拟部分修订工作的有汤之璋(第1章)、康华光(第1、2、6、7章)、王岩(第5、8、11章)和陈大钦(第3、4、8、9、10章及附录A)等同志。参加数字部分修订工作的有康华光(第1、2章)、邹寿彬(第3、4、7章)和赵德宝(第5、6章及附录A)等同志。康华光同志为主编，负责全书的组织和定稿。陈大钦和邹寿彬同志分别为模拟和数字部分的副主编，协助主编工作。在修订过程中，得到了汤之璋教授的支持与帮助。赵德宝、瞿安连、肖锡湘同志协助校订了模拟部分的原稿。陈大钦、瞿安连同志协助校订了数字部分的原稿。丁素芳、罗杰、杨晓安和汪菊华等同志绘制了全书的插图。教研室的其他同志也参加了部分工作。

本书由南京工学院李士雄教授主审，负责组织审稿工作的为衣承斌副教授，参加审阅的，模拟部分为衣承斌、陈黎明、陈天授副教授，李桂安讲师；数字部分为丁康源副教授，郑虎申、严振祥、皇甫正贤讲师。在第二版发行期间，承全国许多师生给我们以鼓励，寄来了不少宝贵意见和建议，编者谨此一并致以谢忱。

本版虽有所改进提高，但离教学改革的要求尚远。敬希读者予以批评指正。

编者

1987年8月于武昌华工园

第四版序

在电子技术日新月异的形势下，为了培养跨世纪的电子技术人才，本书在第三版的基础上，经过教学改革与实践，对其内容作了较大的修改和更新，使之更符合电子信息时代的要求。在修订过程中，依照 1995 年教育部（原国家教委）颁发的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》，提出了如下的总思路：精选内容，推陈出新；讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法。对其主要的技术指标，采用工程近似方法进行计算。至于更全面的分析或设计，则可借助 PSPICE^① 软件来实现，这将有利于读者开拓思路。具体考虑如下：

1. 加强电子系统与信号的概念，为学习模拟电路和数字电路提供了引导性的背景知识。

2. 增加了部分新器件的内容，如砷化镓场效应管（MSFET）、VMOS 功率器件、BiCMOS 门电路、现场可编程门阵列（FPGA）器件等，以适应新技术发展的需要。

3. 将三端有源器件（BJT、FET）的六种电路组态（共射、共集、共基和共源、共漏、共栅）归结为三种通用的电路组态，即反相电压放大器、电压跟随器和电流跟随器，这就有利于电子电路的分析与综合，也为学习和使用 BiFET 和 BiCMOS 等一类新型集成电路器件奠定了基础。

4. 根据当前教学上的需要与设备条件的可能性，模拟部分增设了“电子电路的计算机辅助分析与设计”一章；数字部分增设了数

^① 见附录 A。

字系统的分析与设计一章，为电子电路的仿真与设计自动化作了入门性的介绍。

5. 为便于读者深入理解教材内容，加强了例题，其中部分电路具有实用性。同时也改编了具有启发意义的复习思考题和习题，并附有少量的 PSPICE 例题及习题供各院校师生灵活选用。

参加本版模拟部分修订工作的有瞿安连(第1章)、康华光(第2、3、7章)、陈大钦(第4、5、8、9章)、王岩(第6、8、10章)、张林(第11章及附录)等同志。参加数字部分修订工作的有康华光(第1章及附录A、B)、邹寿彬(第2、3、4、5章)、杨华(第6、7章)、李玲和张林(第8章)、彭容修(第9、10章)、秦臻和罗杰(第11章及附录C)。康华光同志为主编，负责全书的策划、组织和定稿。陈大钦和邹寿彬同志分别为模拟部分和数字部分的副主编，协助主编工作。此外，杨华同志负责改编模拟部分第2、3、7章的习题和第1章的校订工作；张林同志协助有关各章的编者，完成了 PSPICE 例题及习题的解答工作。

本书由东南大学衣承斌教授主审，参加审阅的，模拟部分为刘京南教授、李桂安副教授；数字部分为皇甫正贤教授、戴义宝副教授。第三版发行期间，承全国各兄弟院校师生给我们以鼓励，寄来了不少宝贵意见和建议，编者谨此一并致以衷心的感谢。

编 者

1998年8月于武汉华中理工大学

本书常用符号表

<p>A 集成运放器件</p> <p>A A 增益</p> <p>a 整流元件的阳极(正极)</p> <p>A_f 反馈放大电路的闭环增益</p> <p>A_v, \dot{A}_v 电压增益</p> <p>A_i, \dot{A}_I 电流增益</p> <p>A_r, \dot{A}_R 互阻增益</p> <p>A_g, \dot{A}_C 互导增益</p> <p>A_{vc} 共模电压增益</p> <p>A_{vd} 差模电压增益</p> <p>A_{vo} 开环电压增益</p> <p>A_{vf} 闭环电压增益</p> <p>B 势垒</p> <p>b BJT的基极</p> <p>BW 频谱宽度, 带宽</p> <p>C 电容</p> <p>c BJT的集电极</p> <p>C_b 隔直电容(耦合电容)</p> <p>C_e 发射极旁路电容</p> <p>$C_{b'c}$ 基极-集电极电容</p> <p>$C_{b'e}$ 基极-发射极电容</p>	<p>C_B 势垒电容</p> <p>C_D 扩散电容</p> <p>C_j 结电容</p> <p>C_f 反馈电容</p> <p>C_i 输入电容</p> <p>C_o 输出电容</p> <p>C_L 负载电容</p> <p>D 二极管</p> <p>D 扩散系数</p> <p>d 场效应管的漏极</p> <p>E 能量</p> <p>e BJT的发射极, 自然对数的底</p> <p>e 电子的电荷量</p> <p>E 电场强度</p> <p>F 反馈系数</p> <p>F_v 电压反馈系数</p> <p>f 频率</p> <p>f_L 放大器的下限频率</p> <p>f_H 放大器的上限频率</p> <p>f_T 特征频率</p> <p>f_α BJT的共基极截止频率</p>
---	--