



普通高等教育“十五”国家级规划教材

模拟电子技术基础

(第四版)

清华大学电子学教研组 编
华成英 童诗白 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十五”国家级规划教材

模拟电子技术基础

(第四版)

清华大学电子学教研组 编
华成英 童诗白 主编



高等教育出版社

内容简介

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材,是总结首届国家级精品课程——清华大学“电子技术基础”课程的教学实践,在第三版的基础上,根据教学基本要求修订而成的。

主要内容包括: 引言、常用半导体器件、基本放大电路、多级放大电路、集成运算放大电路、放大电路的频率响应、放大电路中的反馈、信号的运算和处理、波形的发生和信号的转换、功率放大电路、直流电源和模拟电子电路读图。

全书以引言开篇,以读图结尾,使读者尽快入门,并能站在系统的高度认识模拟电子电路。该书每章以本章讨论的问题开始,以小结结束;基本知识内容系统、精炼、深入,在讲清电路工作原理和分析方法的同时,尽量阐明电路结构的构思方法,引导读者举一反三。扩展部分篇幅虽少,但内容丰富,可开阔眼界。在例题、思考题、自测题和习题中增加了故障诊断和设计的题目,使提问题的角度更具有启发性、灵活性和实践性。各章的 Multisim 应用举例力图具有研究性质,全书的举例基本涵盖模拟电子电路的基本测试方法和仿真方法。

本书适于作为高等院校电气信息、电子信息类专业模拟电子技术基础课程的教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/华成英,童诗白主编;清华大学
电子学教研组编. —4版. —北京:高等教育出版社,
2006.5

ISBN 7-04-018922-4

I. 模... II. ①华...②童...③清... III. 模拟电
路-电子技术-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 043294 号

策划编辑 韩颖 责任编辑 韩颖 封面设计 于涛
责任绘图 黄建英 版式设计 王艳红 责任校对 俞声佳
责任印制 尤静

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 100011
总 机 010-58581000
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司
开 本 787×960 1/16
印 张 41.25
字 数 770 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
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>
畅想教育 <http://www.widedu.com>
版 次 1980年9月第1版
2006年5月第4版
印 次 2006年5月第1次印刷
定 价 43.00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 18922-00



● 华成英

1970年毕业于清华大学电机系,其后留校任教至今,现为自动化系教授,首届国家级精品课程“电子技术基础”课程负责人。主要从事电子技术方面的教学和微机应用方面的科学研究工作,参加成人高等教育和中央广播电视大学有关电子技术课程的建设工作。

近几年主编的著作有:

- 1.《模拟电子技术基础》(第三版),高等教育出版社,2001。该教材为普通高等教育“九五”国家教委重点教材,面向21世纪课程教材。于2004年获得北京市高等教育优秀教学成果一等奖,并与课程共同获得国家级教学成果二等奖。
- 2.《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》(教育部高教司成人高等教育规划教材),高等教育出版社,2001、2002。
- 3.《模拟电子技术基础题库》,高等教育出版社,2002。国家“九五”重点攻关项目成果。
- 4.《模拟电子技术基础(第三版)教师手册》,高等教育出版社,2002。
- 5.《帮你学模拟电子技术基础》,高等教育出版社,2004。
- 6.《模拟电子技术基础(第四版)电子教案》,高等教育出版社,2005。
- 7.《模拟电子技术基本教程》,清华大学出版社,2006。



● 童诗白

清华大学自动化系教授，博士生导师。1920年生人，1946年毕业于西南联大电机系，1951年获伊利诺大学博士学位。

童诗白教授为著名的电子学科学家、中国电子技术学科和课程建设的主要奠基人，一代教学大师。他于1956年创建了清华大学电子学教研组，并长期担任教研组长，从事教学和科研工作近六十余年。曾任国家教委电子技术课程教学指导小组组长；电子技术基础课程电教教材编审组组长，深圳大学电子工程系主任，联合国计算机应用中心网北京培训中心主任等职。20世纪80年代初筹建自动化仪表及装置博士点，主要研究电子系统的自动测试、故障诊断和可靠性。指导硕士生30余名，博士生近20名。他曾获得国家教委教学成果特等奖和全国优秀教师称号，是国家有突出贡献的专家。

童诗白教授是电子技术教材建设的巨匠，他主编的教材有13套，共20本，近900万字。由他组织电子学教研组其他教师编写的教材、专著和翻译教材十余套。纵观他的教学生涯，每当电子技术发展的重要阶段，他都编写了具有开创性的教材，学科内容始终处于领先水平，对全国电子技术课程内容体系的改革起着引导和推动作用。

20世纪50年代主编《电子技术基础》，60年代主编《电子电路设计》，完成了课程从工业电子学到电子技术基础的转换。70年代参编《晶体管电路》、主编《模拟电子技术基础》，实现了教学内容从以电子管为主到晶体管化的转换。80年代修订《模拟电子技术基础》第二版，完成了教学内容体系从分立元件电路为主体到集成电路为重点的更新。90年代共同主编《电子技术基础试题汇编》和《现代电子学及应用》，率先开设了电子技术方面的研究生课程。世纪之交共同主编《模拟电子技术基础》第三版，适应了21世纪高素质人才培养的需要。上述教材均得到广泛的应用，并获得各种奖项。其中《模拟电子技术基础》第一、二版，分别获得国家教委优秀教材一等奖、国家级优秀教材奖；第三版获得北京市教学成果一等奖，并与课程共同获得国家级教学成果二等奖。

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

第四版序

《模拟电子技术基础》(第四版)是普通高等教育“十五”国家级规划教材,是总结首届国家级精品课程——清华大学“电子技术基础”课程的教学实践,在第三版的基础上,根据教学基本要求修订而成的。适于作为高等院校电气信息、电子信息类各专业模拟电子技术基础课程的教材,也可作为工程技术人员的参考书。

主要内容包括: 引言、常用半导体器件、基本放大电路、多级放大电路、集成运算放大电路、放大电路的频率响应、放大电路中的反馈、信号的运算和处理、波形的发生和信号的转换、功率放大电路、直流电源和模拟电子电路读图。

主要特点如下:

一、第四版基本沿袭了第三版的体系,遵循“先器件后电路,先小信号后大信号,先基础后应用”的规律编排内容。在应用方面,是围绕信号的放大、运算、处理、转换和产生来介绍的。

二、第四版增加了第0章引言,与最后一章读图呼应,使读者了解模拟电子技术基础课程的特点,尽快入门,并能站在电子系统的高度来认识模拟电子电路,了解它们的功能和用途。

三、每章以“本章讨论的问题”开始,以“本章小结”结束,前后呼应。重新提炼了模拟电子技术的基本概念、基本电路和基本方法,它们占有主要篇幅,内容系统,叙述细致、深入、精炼。并力图在讲清电路工作原理和分析方法的同时,尽量阐明电路结构的构思方法,使读者从中获得启迪,有利于培养创新意识。扩展部分触类旁通,简单易懂,篇幅虽少,内容丰富,开阔眼界。

四、在各章主要节后增加了思考题,以利于理解和掌握基本概念、基本电路和基本方法。例题、自测题和习题难度层次分明,题型多样,内容丰富,联系实际;并增加了故障诊断和设计性的题目,使提问题的角度更具有启发性、灵活性和实践性。

五、各章最后一节为 Multisim 应用举例,这些举例或者具有研究性质,或者在实际实验中难于实现,且全书的举例尽量涵盖模拟电子电路的基本测试方法和仿真方法。

第四版由华成英、童诗白主编。华成英编写了全书的正文和自测题、习

II 第四版序

题，叶朝辉编写了各章的 Multisim 应用举例，刘昕对书中的例题进行了仿真；阎石、杨素行、王宏宝等参加了编写大纲的讨论。

北京工业大学陆培新教授审阅了全书，提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢！同时，也向对原教材提出过意见和建议的读者们表示衷心的感谢！

由于我们的能力和水平所限，书中定有疏漏、欠妥和错误之处。恳请各界读者一如既往，多加指正，以便今后不断改进。

本书第一、二、三版主编童诗白教授在第四版修订之初仙逝，在此谨表深切的怀念之情，并以此书的出版作为纪念。

编者

2006年1月于清华园

初 版 序

本书是参照高等学校工科基础课电工、无线电类教材会议在1977年11月制订的“电子技术基础”(自动化类)教材编写大纲和各兄弟院校后来对该大纲提出的修改意见编写的。现以《模拟电子技术基础》和《数字电子技术基础》两书出版。其中的基本部分,可供高等院校自动化专业“电子技术基础”课程两学期的教学使用。

在编写过程中,我们力图把内容的重点放在培养分析问题和解决问题的能力上。我们认为,自动化专业的毕业生在电子技术方面应该初步具有一看、二算、三选、四干的能力。所谓会看,就是能看懂本专业中典型电子设备的原理图,了解各部分的组成及其工作原理;会算,就是对各个环节的工作性能会进行定性或定量分析、估算;会选和会干,就是遇到本专业的一般性任务,能大致选定方案,选用有关的元、器件,并且通过安装调试把它基本上研制出来。因此,为了能会看,书中加强了基本概念和各种典型的基本单元电路的介绍,并专设阅图训练的章节;为了能会算,书中加强了基本原理和基本分析方法;至于会选和会干的能力,主要应在设计课、实验课和后续的其他教学环节中培养,但为了配合这方面的要求,书中也有一些设计举例,并设有电子设备的一些实际问题一章。

在处理不断增长的新技术和有限的篇幅之间的矛盾时,我们采取的措施是在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的前提下,尽可能地使学生能适应80年代电子技术发展的需要。为此,对于有些用分立元件组成的单元如调制放大、功率放大、门电路、触发电路等方面的内容,均予以大幅度地削减,而有关线性集成电路和数字集成电路部分,则相应加强。此外,还利用排小字(比较深入的部分)、打星号(附加内容)和加下注(补充说明和指明参考资料的出处)等方式,以适应不同程度的要求。在模拟电子技术基础各章小结之后,还附有思路流程图,希望能有助于使读者了解编写意图和基本内容(用粗线框出)。

参加模拟电子技术基础编写工作的有童诗白、金国芬、阎石、吴白纯、孙家焯、张乃国等同志,童诗白同志负责组织和定稿。参加讨论和整理的有马钟璞、董鸿芳、杨素行、王寒伟、孙昌龄、胡东成、尤素英等同志;为书中一些电路进行测试和验证的有朱亚尔、蔡文华、朱占星、杨焯、胡尔珊等同志。李

II 初版序

士鑫同志协助一部分制图的工作。

在模拟电子技术基础的整理和定稿过程中，得到了全国六十余所兄弟院校老师们对征求意见稿提出的宝贵意见。审稿会上，在主审单位西安交通大学沈尚贤教授的主持下，华中工学院、南京工学院、浙江大学、山东工学院、哈尔滨工业大学、上海交通大学、大连工学院、昆明工学院、太原工学院、华南工学院、天津大学、重庆大学、合肥工业大学等兄弟院校的老师仔细阅读了原稿，指出错误和不妥之处，并提出改进的建议，尤其是西安交通大学沈尚贤、叶德璇、王志宏等同志，在审稿期间，倍加辛劳，写出详细的评审和修改意见。此外，我们还得到本校计算机科学系、无线电系以及北京航空学院等单位同志的指正和帮助，本校建工系的几位同志描绘全部插图，在此一并致以衷心的感谢。

由于我们对先进的电子技术了解不够，本教材又缺乏一定的教学实践，因此书中必然存在许多缺点和错误，恳切希望兄弟院校的师生和其它读者给予批评和指正。

编者

1979年12月

第二版序

《模拟电子技术基础》上、下册自1980年和1981年相继出版以来，在各兄弟院校师生和广大读者的关注下，迄今总印刷量已超过一百万册。在这段时间内，我们一方面收到许多批评和建议，另一方面，通过几年来的教学实践，认识到教材中有些内容已不能适应当前教学改革形势的需要。这次修订第二版，编者将在总结经验、改正错误的基础上，力求能在以下几方面有所前进：

一、为了提高思想性、科学性和启发性，我们首先着眼于运用辩证唯物主义的观点来阐述分析和解决问题的科学思维过程。为此，书中在介绍基本电路和与之有关的基本概念、基本原理和基本方法之后，对每一个新出现的电路，都尽可能做到从实际需要出发，突出构成该电路的思路。我们希望，这样做一方面可以加深对基本原理的理解，简化定量分析的过程，加强读图的能力；更重要的是有利于启发思考、引导创新。

二、为了体现适合我国情况的先进性，我们大量删减了原书中现已过时的内容，诸如阻容耦合电压放大电路、变压器耦合功率放大电路、由分立元件组成的放大电路设计举例等。另外，在书中的第三章即开始介绍集成运算放大电路的组成和有关性能，在以后各章中还分别介绍了集成比较器、集成乘法器、集成功率放大器、集成三端稳压器、第四代高精度运算放大器等目前国内已比较流行而且已经生产的先进器件。我们还根据形势的发展，以直接耦合式代替阻容耦合式作为基本放大电路的典型，对它进行全面的分析，以便更好地与模拟、数字集成电路相配合。

三、为了加强教学上的适用性，本书中除第六章和末章外，其余各章都有正文和附录两部分。前者是按国家教委在1987年颁发的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》的精神编写的，这部分的内容大致符合60~70学时的课堂教学之用；后者是根据加深加宽的需要而补充的。为了适应不同学校或不同专业在讲授“模拟”和“数字”两部分课程的先后次序上有不同的安排，书中第一章(半导体器件基础)已为数字电路对半导体器件和基本电路的需要做好准备，因此学完该章后即可转入与本书配套的《数字电子技术基础》教材。考虑到两个学期教学内容的平衡性，建议教学内容可按下表处理：

II 第二版序

教学次序	教材内容	
	第一学期 60~70学时	第二学期 60~70学时
先“模拟”后“数字”	《模拟电子技术基础》	《数字电子技术基础》
先“数字”后“模拟”	《模拟》第一章《数字》除去“模数转换”一章	《模拟》从第二章开始加《数字》中的“模数转换”

四、为了帮助复习、巩固所学内容并启发不同程度的读者对各类问题进行思考，书中习题采用了多层次的结构。例如，属于基本要求的自我检验题，排在每章的习题之前，利用选择、填空等方式，使读者便于自行检查学习效果；设有思考题以加深对基本概念的理解；设有提高题以引导深入钻研；还有一定数量的分析计算和综合应用题以培养有关能力。习题总量增加到三百二十多道，其中除极个别的仍取自原教材外，其余都是根据近年来从教学和科学研究中所取得的经验重新改编的。书末附有部分计算题的答案以供校核。

本书先以讲义形式在本校出版并试用过两届。其中第一章由高扬编写，后因工作调动由胡尔珊整理；第二、三、四、十、十一章由胡尔珊编写；第五、六、七、八、九章由孙梅生编写；第十二章由胡尔珊、孙梅生二人合写；童诗白任主编，负责组织各章节内容的讨论和定稿；教研部主任阎石参加了编写过程的讨论。讲义稿承西安交通大学信控系沈尚贤教授主审，参加审阅的还有叶德璇、王志宏、唐泽荷几位副教授，他们都提出了很多宝贵意见。本书是在遵照审阅意见和针对讲义使用中所出现的问题加以修改而成。在此谨向他们和以前对原教材提出过批评和建议的同志们表示衷心的感谢！

电子技术日新月异，教学改革任重道远，我们的能力和这两方面的发展所提出的要求相比，还有很大的差距。恳请各界读者一如既往，对书中的缺点和错误多加指正，以便今后不断改进。

编者

1987年5月

第三版序

为了适应电子科学技术的高度发展和 21 世纪高等教育培养高素质人才的需要,我们在第二版的基础上,总结了多年来课程改革的经验,对教材内容作了修改和更新。考虑到素质教育的特点,在修订时,既要保持多年形成的比较成熟的体系,又要面向新世纪的发展;既要符合本门课程的基本要求,又要适当地引进电子技术中的新器件、新技术、新方法;既要使学生掌握基础知识,又要培养他们的定性分析能力、综合应用能力和创新意识;既要有利于教师对教材的灵活取舍,又要有利于学生对教材内容的主动学习和思考。为此制定了“保证基础,体现先进,联系实际,引导创新,分清层次,利于教学”的修订原则,使第三版具有系统性、科学性、启发性、先进性、实用性和适用性。具体做法是:

一、各章顺序是按先器件后电路、先小信号后大信号、先基础后应用的原则安排的,并以读图作为全书内容的复习和总结。鉴于 21 世纪是信息时代,在应用方面,书中是围绕信号的放大、运算、处理、转换和产生来介绍的。各章具体名称请见目录。

二、将第二版中难点和重点集中的部分加以调整,使每一章只有一个或两个主干,每一节只解决一个或两个问题,使难点分散,以利于读者“入门”和自学。

三、各章力图按“提出问题,突出主干,理顺思路,启发引导,总结规律,举一反三”的原则编排内容,沿主干方向由浅入深、由简到繁、承前启后、相互呼应,激发读者学习兴趣。在给定的条件下,使读者能主动思考,找出解决问题的方法,并在此基础上总结规律,“举一反三”。

四、由于电子电路分析和设计方法的现代化和自动化,使定量计算更准确和精确,因此设计者将更侧重电路结构的设计。第三版将更多地讲述电子电路的组成,更加注重电路结构的构思,突出定性分析。力图使读者不但“知其然”,还“知其所以然”,从中获得启迪,并进一步提高创新意识。

五、各章节在讲清基本内容的基础上,增加了“提高”和“引申”的内容,以扩展知识面,开阔视野。并对这部分内容设置相对独立的章节,以利于教师按学时多少和专业需要取舍。

六、对例题和习题作了进一步的修改,力图使其在难度上更有层次,在题

II 第三版序

型上更多样化，在提问题的角度上更具有启发性。

七、适当引入了近些年来电子技术的新器件、新技术、新方法，如可编程模拟器件、开关电容技术、EDA 软件等等，以利于读者了解电子技术的新发展。

第三版由童诗白、华成英主编，由华成英执笔。浙江大学郑家龙教授和北京工业大学陆培新教授审阅了全书，提出了很多宝贵的意见和建议。在本书的编写过程中还得到美国俄亥俄州立大学徐雄教授、北京市英塞尔器件集团总工程师高光天高级工程师的帮助。在此，谨向他们以及对原教材提出过批评和建议的读者们表示衷心的感谢！

由于我们的能力和水平所限，所提编写原则和书中具体内容若有疏漏、欠妥和错误之处，恳请各界读者一如既往，多加指正，以便今后不断改进。

编 者

2000年3月于清华大学自动化系

模拟电子技术基础符号说明

一、几点原则

1. 电流和电压(以基极电流为例,其它电流、电压可类比)

$I_{B(AV)}$	表示平均值
$I_B (I_{BQ})$	大写字母、大写下标,表示直流量(或静态电流)
i_B	小写字母、大写下标,表示交、直流量的瞬时总量
I_b	大写字母、小写下标,表示交流有效值
i_b	小写字母、小写下标,表示交流瞬时值
\dot{I}_b	表示交流复数值
Δi_B	表示瞬时值的变化量

2. 电阻

R	电路中的电阻或等效电阻
r	器件内部的等效电阻

二、基本符号

1. 电流和电压

$I、i$	电流的通用符号
$U、u$	电压的通用符号
$\dot{I}_f、\dot{U}_f$	反馈电流、电压
$\dot{I}_i、\dot{U}_i$	交流输入电流、电压
$\dot{I}_o、\dot{U}_o$	交流输出电流、电压
$I_Q、U_Q$	电流、电压静态值
$I_{REF}、U_{REF}$	参考电流、电压
$i_P、u_P$	集成运放同相输入端的电流、电位
$i_N、u_N$	集成运放反相输入端的电流、电位
$u_{IC}、\Delta u_{IC}$	共模输入电压、共模输入电压增量
$u_{Id}、\Delta u_{Id}$	差模输入电压、差模输入电压增量
\dot{U}_s	交流信号源电压
U_T	电压比较器的阈值电压

II 模拟电子技术基础符号说明

U_{OH} 、 U_{OL}	电压比较器的输出高电平、输出低电平
V_{BB}	基极回路电源
V_{CC}	集电极回路电源
V_{DD}	漏极回路电源
V_{EE}	发射极回路电源
V_{SS}	源极回路电源
2. 功率和效率	
P	功率通用符号
p	瞬时功率
P_o	输出交流功率
P_{om}	最大输出交流功率
P_T	晶体管耗散功率
P_V	电源消耗的功率
3. 频率	
f	频率通用符号
f_{bw}	通频带
f_c	使放大电路增益为 0dB 时的信号频率
f_H 、 f_L	放大电路的上限截止频率、下限截止频率
f_P	滤波电路的通带截止频率
f_0	电路的振荡频率、中心频率、滤波电路的特征频率
ω	角频率通用符号
4. 电阻、电导、电容、电感	
R	电阻通用符号
G	电导通用符号
C	电容通用符号
L	电感通用符号
R_b 、 R_c 、 R_e	晶体三极管的基极电阻、集电极电阻、发射极电阻
R_g 、 R_d 、 R_s	场效应管的栅极电阻、漏极电阻、源极电阻
R_i 、 R_{if}	放大电路的输入电阻、负反馈放大电路的输入电阻
R_L	负载电阻
R_N 、 R_P	集成运放反相输入端外接的等效电阻、同相输入端外接的等效电阻
R_o 、 R_{of}	放大电路的输出电阻、负反馈放大电路的输出电阻

R_s 信号源内阻

5. 放大倍数、增益

A 放大倍数或增益的通用符号

A_c 共模电压放大倍数

A_d 差模电压放大倍数

\dot{A}_u 电压放大倍数的通用符号, $\dot{A}_u = \dot{U}_o / \dot{U}_i$

\dot{A}_{uh} 高频电压放大倍数

\dot{A}_{ul} 低频电压放大倍数

\dot{A}_{um} 中频电压放大倍数

\dot{A}_{up} 有源滤波电路的通带放大倍数

\dot{A}_{us} 考虑信号源内阻时的电压放大倍数的通用符号, $\dot{A}_{us} = \dot{U}_o / \dot{U}_s$

\dot{A}_{uu} 第一个下标为输出量, 第二个下标为输入量, 电压放大倍数符号, \dot{A}_{ui} 、 \dot{A}_{ii} 、 \dot{A}_{iu} 以此类推

\dot{F} 反馈系数通用符号

\dot{F}_{uu} 第一个下标为反馈量, 第二个下标为输出量, \dot{F}_{ui} 、 \dot{F}_{ii} 、 \dot{F}_{iu} 以此类推

三、器件参数符号

1. P型、N型半导体和PN结

C_b 势垒电容

C_d 扩散电容

C_j 结电容

U_T 温度的电压当量

2. 二极管

D 二极管

D_Z 稳压二极管

I_D 二极管的电流

$I_{D(AV)}$ 二极管的整流平均电流

I_F 二极管的最大整流平均电流

I_R 、 I_S 二极管的反向电流、反向饱和电流

r_d 二极管导通时的动态电阻

r_z 稳压管工作在稳压状态下的动态电阻

U_{on} 二极管的开启电压