



中国计算机学会教育专业委员会 推荐
全国高等学校计算机教育研究会 出版
高等学校规划教材

电路与电子学

(第3版)

王文辉 刘淑英 蔡胜乐 等编著

计算机学科教学计划 2001



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会
教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会
教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会

教育部
高等学校
电子信息类专业
教学指导委员会

电路与电子学

(第3版)

主编 王守志 副主编 王守志 王守志

清华大学出版社



清华大学出版社
Tsinghua University Press
www.tup.tsinghua.edu.cn

高等学校规划教材

电路与电子学

(第3版)

王文辉 刘淑英 蔡胜乐 编著
李晶皎 王永军

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在国家“九五”规划教材《电路与电子学》第2版的基础上,按照 CC2001 和 CCC2002 教程精神,并参照教育部 2004 年制定的“电子技术基础(A)课程教学基本要求”重新修订而成。全书分为上、下两篇。上篇为电路基础,内容包括:直流电路、电路的过渡过程、交流电路及各种电路的分析方法等。下篇为模拟电子技术基础,内容包括:半导体二极管、三极管和场效应管,放大电路基础,功率放大电路,集成运算放大器,负反馈放大电路,信号的运算、处理及波形发生电路,直流电源等。本书内容简明,立足应用,并配套出版了《电路与电子学习题解答与实验指导》教材。本书还为任课教师免费提供多媒体电子课件。

本书为电子信息类各专业平台课程教材,可供高校计算机、通信、电子、电气及自动化等专业作为本科生教材,还可供自学考试、成人教育和电子工程技术人员自学使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子学/王文辉,刘淑英,蔡胜乐等编著. —3版. —北京:电子工业出版社,2005.7

高等学校规划教材

ISBN 7-121-01144-1

I. 电… II. ①王…②刘…③蔡… III. ①电路—高等学校—教材②电子学—高等学校—教材 IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 038078 号

策划编辑: 童占梅

责任编辑: 童占梅

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23 字数: 585 千字

印 次: 2005 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 8000 册 定价: 30.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

新版说明

由中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会(简称“两会”)组织和推荐,自1996年起电子工业出版社出版了基于CC1991教程的15本系列教材。该系列教材受到高校师生和读者的普遍欢迎和肯定,其中有11本入选1996—2000年全国工科电子类专业“九五”国家规划教材。

几年过去了,计算(机)学科又有了很大发展。IEEE-CS/ACM联合计算教程专题组,组织世界各国150多位专家,历时3年多,在美、欧、亚召开了一系列会议,在CC1991的基础上,发布了“Computing Curricula 2001—Computer Science Final Report”(简称CC2001)。专家们认为:随着计算(机)学科技术的迅速发展,使得现有的任何一所学校的计算机专业都很难再像CC1991所提到的那样,能够覆盖计算(机)学科的所有知识领域。所以,需按市场需求将计算(机)学科划分为4个主要分支:计算机科学、计算机工程、软件工程和信息系统。其中计算机科学是各分支的基础,CC2001正是基于计算机科学制定的。我国“两会”追踪CC2001,经过3年多的工作,最后以中国计算机科学与技术教程2002研究组的名义推出了“China Computing Curricula 2002”(简称CCC2002)。CC2001与CC1991比较有以下几个方面的变化:

(1)将CC1991确定的11个主领域扩展为14个主领域:离散结构、编程基础、算法与复杂性、计算机组织与体系结构、操作系统、网络计算、编程语言、人-机交互、图形学与可视化计算、智能系统、信息管理、职业与社会问题、软件工程、数值计算。对各主领域的名称、核心内容及选学内容都进行了调整和扩充。

(2)提出了课程的组织结构和实现策略。课程分为3类:入门(基础)课程、核心(必修)课程和附加(选修)课程。入门课程可按编程、算法和硬件优先等多种方式组织,使学生能够接触到计算机系统的设计、构造和应用,为学生提供实用性的技能训练,同时还应提高学生的兴趣和智慧;核心课程的组织可按传统、压缩、系统或网络方法进行,特别强调贯彻CC1991提出的3个过程、12个重复概念、职业与社会的关系等方法论思想;此外,还应设置一些介绍热门或前沿技术的附加课程。

(3)更加强调学生的专业实践,要求把专业实践放在重要位置,并贯穿于教学的全过程。

这次对系列教材的全面修版,力求反映计算(机)学科发展的最新成就,并力争符合CC2001和CCC2002所提出的要求及高校课程和教学改革的需要。这套教材的对象为本科生、研究生和高职高专生(通过删减使用),信息技术领域的从业人员也可使用。

为了保证编审和出版质量,编委会进行了调整,电子工业出版社成立了编辑出版小组。在原教材工作的基础上,编委会对教材大纲逐一进行了认真讨论和评审,其中一些关键性和难度较大的教材还进行了多次讨论和修改。

限于水平和经验,教材中还会存在缺点和不足,希望读者提出中肯的批评和建议。读者可以通过电子工业出版社华信教育资源网站<http://www.hxedu.com.cn>反馈信息并发表意见,我们在此表示衷心的感谢!

教材编委会

教材编委会

主任	杨文龙	北京航空航天大学
常委	张吉锋	上海大学
	朱家镗	东北大学
	龚天富	电子科技大学
	袁开榜	重庆大学
委员	陈传波	华中科技大学
	傅清祥	福州大学
	俸远楨	电子科技大学
	古天龙	桂林电子工业学院
	李建中	哈尔滨工业大学
	刘乃琦	电子科技大学
	王文辉	东北大学
	陆 枫	华中科技大学
	王晓东	福州大学
	王永军	东北大学
	王玉龙	北方工业大学
	徐 洁	电子科技大学
	徐炜民	上海大学
	杨心强	解放军理工大学
	袁崇义	北京大学
	张 璟	西安理工大学
	章振业	北京航空航天大学
	朱一清	东南大学
	童占梅	电子工业出版社
	胡先福	电子工业出版社

第3版前言

本书是在2002年出版的国家“九五”规划教材《电路与电子学》第2版的基础上,按照CC2001和CCC2002教程精神,并参照教育部电子信息与电气基础课程教学指导委员会于2004年8月修订的“电子技术基础(A)课程教学基本要求”(草案)重新修订而成的。

原书的结构不变,仍保持原来的上、下两篇。上篇电路基础部分,对第3章内容做了压缩,对电路部分的例题和习题做了进一步修改,力图在难度上更有层次。下篇模拟电子技术基础部分,在第5章中对放大电路的组成与分析做了调整,在第7章对近年来电子技术的新技术、新器件进行了扼要的介绍,第9章增加了电子系统中常用的放大电路内容,第10章对原有内容做了删减。总之,编者力图保持内容简明的特点,删除了在教学中极少采用的内容,新增加的内容有机地融入到原书相关的章节中,新版篇幅比第2版略有减少。

在修订本书的同时,我们同步编写了与本书配套的《电路与电子学习题解答与实验指导》一书,供读者学习参考。本书还提供教学用多媒体电子课件,任课教师可通过华信教育资源网<http://www.hxedu.com.cn>或直接联系010-68152204索取。

本次修订工作仍由第2版的全体作者完成。第1,2,3章由刘淑英编写,第4,5章由蔡胜乐编写,第6,7章由李晶皎编写,第8,9章由王文辉编写,第10章由王永军编写,配套教学课件由李景宏、马学文和陈默编制。系列教材编委会常委、东北大学朱家镗教授审阅了全书,并提出了详尽的评审和修改意见。本书在编写过程中,得到了东北大学“教育部电工电子基础课程教学基地”有关同志的大力支持,他们提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

限于水平和能力,修订后的教材一定还存在许多不完善之处,恳请广大读者批评指正。作者的E-mail地址:wwh212cn@yahoo.com.cn。

编著者

2005年5月于东北大学信息学院

第 2 版前言

《电路与电子学》教材自 1997 年出版以来,迄今已经多次印刷,受到诸多兄弟院校师生及广大读者的关注,我们深表感谢。

这次修订主要是根据这几年广大读者对这本书提出的一些意见和建议,以及我们使用本书的体会而进行的。通过这次修订,编者力图一方面保持内容简明的特点,删除了在教学中极少采用的内容;另一方面又增加了一些内容,以便使本书除能满足计算机专业本科生的需要外,还能满足其他电类专业本科生的教学需要。考虑到本书是电类专业的重要的技术基础课,所以这部分新增加的内容,即便对计算机专业的读者来说,也是非常必要的。新增加的内容有机地融入到原书相关的章节中,因此修订版的篇幅增加极为有限。

原书的结构不变,仍保持原来的上、下两篇。修订工作主要集中在下篇模拟电子技术基础部分。在放大电路基础(第 5 章)一章中,扩充了放大器频率响应的内容,对放大器的频率特性进行了定量的分析。第 8 章负反馈放大器的内容做了适当的扩充。第 9 章中正弦波振荡电路稍加扩充,补充了 LC 振荡。第 10 章对原有内容做了删减,加强了目前广泛应用的开关电源的介绍。

参加修订工作的仍为原版的全体作者。第 1,2,3 章由刘淑英编写,第 4,5 章由蔡胜乐编写,第 6,7 章由李晶皎编写,第 8,9 章由王文辉编写,第 10 章由王永军编写。全书由刘淑英、蔡胜乐、王文辉主编。东北大学电子技术教研室的其他同志也参加了编写的讨论,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!限于水平和能力,修订版也一定会有许多不尽如人意之处,恳请继续得到广大读者的批评指正。

编著者
2001 年 6 月于东北大学

第 1 版前言

本书是根据“计算机学科教学计划 1993”编写的。这份教学计划是中国计算机学会教育委员会和全国高等院校计算机教育研究会,在研究、学习、借鉴了 1990 年 12 月 ACM 和 IEEE/CS 联合专题组发表的“Computing Curricula 1991”报告,并结合我国高等院校计算机本科教学的实际情况而制定的。教学计划明确规定《电路与电子学》是计算机专业的一门技术基础课,本课应使学生初步掌握基本电路与电子学方面的知识,其内容包括:简单电路的分析,线性网络分析的一般方法和定理,一阶网络分析,三相电路的基本知识,放大电路基础,频率特性与多级放大器,功率放大器,运算放大器及其应用,稳压电源。把电子学中的数字电路基础,逻辑门电路等有关内容放到另一本教材《数字逻辑与数字系统》中去讲授。本书内容仅包括两方面:一是电路基础;二是模拟电子技术基础。

在编写过程中,我们注意了以下几个问题。

一、总结汲取了多年为计算机专业讲授电子技术课的经验。

多年来尚无一本计算机专业使用的全国统编的电路和电子学方面的教材。但任计算机专业电子技术课的老师往往根据专业的需要,从多本教材中选择内容讲授。为了进一步适应计算机专业电子技术课的教学需要,东北大学电子技术教研室的同志曾于 1989 年 8 月会同几所兄弟院校的同行编写了《计算机电子线路与逻辑设计基础》,经过几届本科生的使用,积累了一定的经验。我们正是在前面工作的基础上,进一步充实了内容。使之更加适应计算机专业的需要,编写出这本《电路与电子学》。

二、保证基础,突出集成。

本书上篇为电路基础,下篇为模拟电子技术基础。上篇是下篇的基础。我们根据计算机学科各专业的需要,认真汲取了电路课的教学经验,筛选出最基本的内容进行重点阐述,以保证基础。在下篇中删除了大量陈旧的分立元件电路,而以集成运放为主线进行讨论。这样既节约了篇幅,又可与目前电子技术飞速发展的现状相适应。作为电子技术的基础知识,必不可少地要介绍元器件知识及基本放大电路,本书在这部分内容处理上,保留了必要的基础知识,以免在内容叙述上出现割裂和跳跃,并采用了以直接耦合放大电路为主的分析方法,这样既保证了基础,又为集成运放的讨论做了准备。

三、讲清概念,立足应用。

全书授课总学时为 60,其中上篇 20 学时,下篇 40 学时。篇幅有限,但涉及内容很多。因此,本书在论述方法上强调对基本概念、基本原理的理解和应用,而舍弃了很多烦琐的推导过程,尽量简化定量分析。本书作为技术基础课的教学用书,重点放在讲解基本知识方面,但从应用角度,对于新知识、新器件我们也给以应有的注意,并进行了概要的介绍,用以扩展读者的眼界。

本书在内容讲述过程中精选了大量例题,每章后面附有习题,这些例题和习题与教材内容紧密配合,深浅适当。书末附有部分习题参考答案,以供校核。

全书分上下两篇共 10 章,其中第 1,2,3 章由刘淑英编写,第 4,5 章由蔡胜乐编写,第 6,7

章由李晶皎编写,第 8,9 章由王文辉编写,第 10 章由王永军编写。全书由王文辉、刘淑英主编。

本书由东北大学田志芬教授主审,田老师仔细审阅了书稿,写出了详细的评审和修改意见。中国计算机学会教育委员会和全国高等院校计算机教育研究会的教材编委会编委、东北大学教授朱家镗对本书做了全面细致的审阅,东北大学电路教研室副教授陈绍林、孙玉琴对本书的上篇也进行了审阅,他们都提出了很多宝贵意见和建议。本书正是遵照这些评审意见修改而成。在此谨向他们表示衷心的感谢。

按照“计算机学科教学计划 1993”的要求,为计算机学科各专业编写电路与电子学教材,应该说这还是一种尝试,由于我们水平有限,经验不足,不当之处在所难免,恳望得到读者的批评指正。

编著者
1994 年 8 月于东北大学

上篇 电路基础符号说明

V	电位
u	电压、正弦交流电电压瞬时值
i	电流、正弦交流电电流瞬时值
U	直流电压、电压有效值
I	直流电流、电流有效值
u_s	电压源电压
i_s	电流源电流
U_s	直流电压源电压
I_s	直流电流源电流
U_{oc}	开路电压
I_{sc}	短路电流
$\dot{U}$	电压有效值相量
$\dot{I}$	电流有效值相量
R	电阻
L	电感
C	电容
G	电导
f	频率
T	周期
ω	角频率
U_m	电压最大值
I_m	电流最大值
Z	复阻抗
φ	阻抗角
X	电抗
X_L	感抗
X_C	容抗
Y	复导纳
p	瞬时功率
P	平均功率
Q	无功功率
S	视在功率

下篇 模拟电子技术基础符号说明

1. 电流和电压

I, i	电流的通用符号
U, u	电压的通用符号
I_E (以发射极电流为例)	表示直流量, 用大写字母、大写下标
i_E	表示电流的瞬时总量, 用小写字母、大写下标
I_e	表示交流有效值, 用大写字母、小写下标
i_e	表示交流瞬时值, 用小写字母、小写下标
$\dot{I}_e$	表示正弦交流复数量
ΔI_E	表示直流变化量
Δi_E	表示瞬时值变化量
$\dot{U}_s, \dot{I}_s$	正弦交流信号源电压、电流
$\dot{U}_i, \dot{I}_i$	正弦交流输入电压、电流
$\dot{U}_o, \dot{I}_o$	正弦交流输出电压、电流
$\dot{U}_f, \dot{I}_f$	正弦交流反馈电压、电流
$\dot{U}_d, \dot{I}_d$	正弦交流偏差电压、电流
V_{CC}	晶体管集电极回路直流电源电压
V_{EE}	晶体管发射极回路直流电源电压
V_{BB}	晶体管基极回路直流电源电压
V_{DD}	场效应管漏极回路直流电源电压
V_{SS}	场效应管源极回路直流电源电压
U_{REF}, I_{REF} 或 U_R, I_R	参考电压、参考电流
U_Q, I_Q	晶体管的静态工作点电压、电流值
U_+, I_+	集成运放同相输入端对地电压、电流
U_-, I_-	集成运放反相输入端对地电压、电流
u_{IC}	共模输入电压
u_{Id}	差模输入电压
Δu_{IC}	共模输入电压增量
Δu_{Id}	差模输入电压增量
U_T	电压比较器的阈值电压

2. 功率和效率

P	功率通用符号
p	瞬时功率
P_o	输出功率
P_v	总电源功率
P_{om}	最大输出功率
P_T	晶体管耗散功率
P_E	电源提供的功率
η	效率
η_{max}	最大效率

3. 频率

f	频率通用符号
ω	角频率通用符号
f_{bw}	通频带
f_H	放大电路的上限截止频率
f_L	放大电路的下限截止频率
f_C	放大电路的增益为 0dB 时对应的信号频率
f_p	滤波电路的截止频率
f_0	电路的振荡频率

4. 电阻、电感、电容

R	电阻的通用符号
G	电导的通用符号
C	电容的通用符号
L	电感的通用符号
R_S	信号源内阻
R_i	放大电路的输入电阻
R_{if}	负反馈放大电路的输入电阻
R_o	放大电路的输出电阻
R_{of}	负反馈放大电路的输出电阻
R_L	放大电路的负载电阻

5. 放大倍数

A	放大倍数或增益的通用符号
A_{ud}	差模电压放大倍数

A_{uc}	共模电压放大倍数
$\dot{A}_u$	电压放大倍数的通用符号
$\dot{A}_{us}$	考虑信号源内阻的电压放大倍数
$\dot{A}_{uh}$	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
$\dot{A}_{bw}$	有源滤波器的通带电压放大倍数
$\dot{A}_U, \dot{A}_R, \dot{A}_G, \dot{A}_I$	各类负反馈放大电路的开环放大倍数
$\dot{A}_{Uf}, \dot{A}_{Rf}, \dot{A}_{Gf}, \dot{A}_{If}$	各类负反馈放大电路的闭环放大倍数
$\dot{F}_U, \dot{F}_R, \dot{F}_G, \dot{F}_I$	各类负反馈放大电路的反馈系数

6. 各种器件及其参数符号

Si	硅元素符号
Ge	锗元素符号
N	N 型(电子型) 半导体
P	P 型(空穴型) 半导体
n	电子浓度
p	空穴浓度
U_T	温度的电压当量
I_S	PN 结反向饱和电流
C_J	PN 结总电容
C_B	势垒电容
C_D	扩散电容
D	二极管
U_r	二极管的死区电压
U_D	二极管的正向压降
I_D	二极管的电流
$U_{(BR)}$	二极管的反向击穿电压
I_F	二极管的最大整流电流
I_R	二极管的反向电流
U_R	二极管的最大反向工作电压
f_M	二极管的最高工作频率
r_D	二极管导通时的动态电阻
D_Z	稳压二极管(稳压管)

U_Z	稳压二极管的稳定电压
I_Z	稳压二极管的稳定电流
r_Z	稳压二极管稳压时的动态电阻
P_{ZM}	稳压二极管的最大耗散功率
T	晶体管(三极管)或场效应管
b	晶体管的基极
c	晶体管的集电极
e	晶体管的发射极
I_{CBO}	发射极开路时 $c-b$ 极间的反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时 $c-e$ 极间的穿透电流
$\bar{\alpha}$	晶体管共基直流电流放大系数
α	晶体管共基交流电流放大系数
$\bar{\beta}$	晶体管共射直流电流放大系数
β	晶体管共射交流电流放大系数
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时 $c-e$ 极间的反向击穿电压
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路时 $c-b$ 极间的反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时, $e-b$ 极间的反向击穿电压
I_{CM}	集电极最大允许电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
U_{CES}	晶体管饱和区电压降
f_{β}	晶体管 β 的上限截止频率
f_T	晶体管的特征频率
r_{be}	晶体管 $b-e$ 极间交流等效电阻
r_{ce}	晶体管 $c-e$ 极间交流等效电阻
$r_{bb'}$	晶体管的基区体电阻
$r_{b'e}$	晶体管的发射结交流等效电阻
$C_{b'e}$	晶体管发射结的等效电容
$C_{b'c}$	晶体管集电结的等效电容
$h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$	晶体管共射接法 h 参数微变等效电路的 4 个参数
d	场效应管的漏极
g	场效应管的栅极
s	场效应管的源极
g_m	场效应管的跨导
I_D	场效应管的漏极电流
I_{DSS}	耗尽型场效应管 $U_{GS} = 0$ 时的漏极电流
U_P	耗尽型场效应管的夹断电压

U_T	增强型场效应管的开启电压
I_{DM}	漏极最大允许电流
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
$U_{(BR)DS}$	场效应管 d—s 极间的击穿电压
$U_{(BR)GS}$	场效应管 g—s 极间的击穿电压
R_{GS}	场效应管 g—s 极间直流输入电阻
C_{gs}	场效应管 g—s 极间的等效电容
C_{gd}	场效应管 g—d 极间的等效电容
r_{ds}	场效应管 d—s 极间的交流等效电阻

A	集成运算放大器
A_{od}	集成运放的开环差模增益
U_{IO}	集成运放的输入失调电压
dU_{IO}/dT	失调电压的温漂
I_{IO}	集成运放的输入失调电流
dI_{IO}/dT	失调电流的温漂
I_{IB}	集成运放输入级静态偏置电流
K_{CMR}	集成运放的共模抑制比
r_{id}	集成运放的差模输入电阻
r_o	集成运放的输出电阻
U_{om}	输出电压限幅值
U_{idmax}	集成运放最大差模输入电压
U_{icmax}	集成运放最大共模输入电压
S_R	集成运放的转换速率
f_c	单位增益带宽
f_H	- 3dB 带宽

7. 其他符号

Q	放大电路的静态工作点
S	整流电路的脉动系数
S_r	稳压电路的稳压系数

目 录

上篇 电路基础

第 1 章 直流电路	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.2 电流、电压、电位	(2)
1.2.1 电流和电流的参考方向	(2)
1.2.2 电压和电压的参考方向	(2)
1.2.3 电位	(3)
1.3 电功率	(3)
1.4 电阻元件	(4)
1.5 电压源与电流源	(6)
1.5.1 电压源	(6)
1.5.2 电流源	(6)
1.5.3 电压源与电流源的等效变换	(7)
1.6 基尔霍夫定律	(10)
1.6.1 基尔霍夫电流定律	(10)
1.6.2 基尔霍夫电压定律	(11)
1.7 简单的电阻电路	(13)
1.7.1 电阻的串联	(13)
1.7.2 电阻的并联	(14)
1.7.3 简单电阻电路的计算	(15)
1.8 支路电流分析法	(17)
1.9 节点电位分析法	(19)
1.10 叠加原理	(21)
1.11 等效电源定理	(23)
1.11.1 戴维南定理	(23)
1.11.2 诺顿定理	(25)
1.12 含受控电源的电阻电路	(26)
1.12.1 受控电源	(26)
1.12.2 含受控源电阻电路的分析	(27)
习题 1	(30)
第 2 章 电路的过渡过程	(36)
2.1 电容元件与电感元件	(36)
2.1.1 电容元件	(36)