



普通高等教育“九五”国家级重点教材

电路

邱关源 主编

高等教育出版社

第四版

普通高等教育“九五”国家级重点教材

电 路

(第四版)

邱关源 主编

高等教育出版社

(京)112 号

内容简介

本书是 1989 年《电路》(第三版)的修订版,内容符合教育部颁布的《电路课程教学基本要求》,经教育部“电路、信号系统和电磁场课程教学指导小组”审查,同意作为高等学校教材出版。

本书主要内容有:电路模型和电路定律、电阻电路的等效变换、电阻电路的一般分析、电路定理、含有运算放大器的电阻电路、一阶电路、二阶电路、相量法、正弦稳态电路的分析、含有耦合电感的电路、三相电路、非正弦周期电流电路和信号的频谱、拉普拉斯变换、网络函数、电路方程的矩阵形式、二端口网络、非线性电路简介、均匀传输线,另有磁路和铁心线圈及 PSPICE 简介两个附录。书末附有部分习题答案

本书是普通高等教育“九五”国家级重点教材,适合普通高等学校电类(强、弱电)专业师生使用,也可供科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路/邱关源主编. —4 版. —北京:高等教育出版社, 1999

“九五”国家级重点教材

ISBN 7-04-007316-1

I. 电… II. 邱… III. 电路理论—高等学校—教材
IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 07859 号

电路(第四版)

邱关源

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009

电 话 010-64054588 传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 中国科学院印刷厂

版 次 1979 年 2 月第 1 版

1999 年 6 月第 4 版

开 本 787×960 1/16

印 次 1999 年 6 月第 1 次印刷

印 张 32.5

定 价 37.00 元

字 数 590 000

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第四版序言

本书的第三版出版已 10 年。此次出版的为第四版,主要目标是为了适应教学内容和课程体系改革以及拓宽专业面的需求。

80 年代后,国内外的一致意见认为本科电路课程的基本内容和范围大体上已趋稳定。新版保持过去重视基本内容、基本概念和慎重处理传统内容的特色;明确本课程主要任务是为后续课程和学生将来工作需要准备必要的基础知识,不强调电路理论学科本身的要求;进一步删简了一些过深内容或过于严谨的叙述;拓宽了适用面,使本教材更能兼顾强电和弱电类专业的需要;作了适当删简以适应学时数的削减。另外,还适度地引入了为学习本书的学生能接受的少量新内容,以开拓他们的眼界和思路。

与第三版对比,具体的变动和调整主要有:(1)删去了“2b 法”,第十五章补充了列表法作为参考内容。(2)非线性电路部分移后并作了删简;作为参考内容增加了有关“混沌电路”和“人工神经元电路”的初步知识的内容。(3)删去了第三版第十九章(电路设计)和第二十章(开关电容网络简介)。(4)在附录中增加了“PSPICE 简介”,同时把分布参数电路改为本文中的第十八章。

本版保留了第三版的部分习题,补充了一些新习题,使总的习题数量和类型有所增加。书后给出了部分习题的答案。全部答案可参考与本书配套的《〈电路〉(第四版)学习指导书》,该书中还提供了一些解题的思路。

书中标有星(*)号并排成小字的整节或其他排成小字的内容均属参考内容,可以取舍,不要求讲授。习题中也有少量是标有星号的。

书末附有索引。

参加本版修订工作的有江慰德、刘正兴、陈燕、罗先觉,全书经邱关源修改、补充和定稿。本书承天津大学杨山教授和孙雨耕教授仔细审阅并提出宝贵修改意见,谨致以衷心谢意。书稿经教育部“电路、信号系统和电磁场课程教学指导小组”审阅,同意作为教材出版。

书中不足和错误之处,希读者予以批评指正。意见请寄西安交通大学电气工程学院。

第一版序言

本书系根据 1977 年 11 月在合肥召开的全国高等学校工科基础课电工、无线电教材编写会议所通过的编写大纲编写的。

本书内容分为两大部分。第一部分(一至十一章、十八章)包括直流电路、正弦电流电路、非正弦周期电流电路、线性电路的过渡过程(经典法和运算法)、二端口网络以及磁路等,这部分属于电路理论的传统内容。第二部分(十二至十七章)包括多端元件和受控电源、网络图论、状态方程和计算非线性电阻电路的牛顿-拉夫逊法等,还有两章有关数学的内容即矩阵和计算方法,这部分反映了现代网络理论的某些新内容,以计算机辅助分析的基础知识和有源电路的初步分析为主。

书中对传统内容进行了精选,保证了必需的常用基础知识,删去了一些不常用的和陈旧的内容。在体系安排上,第二部分内容全部放在后面,可供选用,以便在使用时具有一定的灵活性。

本书只讨论集中参数电路,分布参数电路移至电磁场(电工原理II)。

本书的基本部分为一至十一章,其中个别节如 §10-9 网络函数和 §10-10 复频率平面、极点和零点可作为参考内容。十二、十四两章也建议作为基本内容,但 §12-6 密勒定理可以不讲。十五章一般作为参考内容。十八章带有附录性质,如这部分内容放在有关后续课程中进行较为合适,可以不讲。十三章属于数学内容,但为学习以后几章所必需。十六章的内容是电路的计算机辅助分析所必须具备的基础知识。这两章究竟在那门课程中讲授为宜,以及如何处理,都尚待进一步研究,本书暂集中为两章且保留在正文中。十七章可灵活处理。

估计总的讲课时数(包括本书全部内容)约 110 学时。

本书的一至九章和十八章是以我校 1973 年在校内发行的《电工基础》上、下册的一至十一章为基础进行改写的,参加该书这些部分编写工作的有:邱关源、范丽娟、刘国柱、夏承铨、宁超、肖衍明、周佩白、黄东泉、刘正兴、潘经慧等同志。这些部分的改写以及本书其余部分均由邱关源负责执笔。书稿最后的文字润色工作由黄东泉负责。

本书承哈尔滨工业大学周长源和刘润两位同志初审,提出了宝贵的修改意见,谨致以衷心的感谢。书稿经 1978 年 2 月在西安召开的审稿会议讨论通过。参加会议的有二十余单位,其中有哈尔滨工业大学、清华大学、重庆大学、浙江大学、

南京工学院、中国科技大学、上海交通大学、北京工业大学、河北电力学院、成都工学院、吉林电力学院、河北水利水电学院以及其他(包括西安地区)十余所高等院校的代表。会上承兄弟院校的代表们提出宝贵修改意见,谨致以衷心的感谢。

限于我们的水平以及时间仓促,书中不妥和错误之处恐不在少数,希望读者予以批评指正。意见请寄西安交通大学电工原理教研室。

编 者

1978年3月

第二版序言

本书系《电路(电工原理 I)》的修订本。修订本的内容及其次序的安排,基本上符合电工教材编审委员会于 1980 年 6 月审订的高等工业学校四年制电类(不包括无线电技术类)各专业试用的《电路教学大纲(草案)》。全书共有十四章和一个附录,分上、下两册出版。

与原版本对比,修订本加强和充实了基本的和传统的内容,并调整了原版本后半部分的一些内容。变动较大的地方有:(1)电路元件的介绍集中在第一章。(2)受控源的概念提到前面,因此各种分析和计算方法中均包括具有受控源的电路。(3)过渡过程(时域分析)放在第三章,在正弦电流电路稳态分析的前面。但是,只要稍作一些补充,把第三章移到后面(即仍按原版本的次序)讲授也是可行的。有关部分的写法考虑了这种可能性。(4)原版本的第三章(正弦电流电路的基本概念)不再单独作为一章,其中部分内容删去,部分内容放在本书的第一章,而其主要内容则结合在本书的第四章中。(5)原版本的第十五章(状态方程)删去,部分内容分别放在本书的第十章和第十三章。(6)原版本的第十三章(矩阵),十六章(计算方法),十八章(磁路和铁心线圈)均删去;计算方法的某些内容则移在本书的第十四章。(7)非线性电路的大部分内容经过重写。(8)增加了有关均匀传输线的内容,放在附录中。实质上这部分是本书的一章,主要供不设《电磁场》课程的专业选用,也供愿意在《电路》课程中讲授具有分布参数的电路的教师选用。(9)增加了有关计算机辅助分析内容的一章,但全章作为参考内容处理。

本书保留了原版本的部分内容和例题。习题则全部重选,数量上略有减少,但类型则稍有增加。使用本书的教师可以适当地自选一些习题作为补充。

书中排成小字的内容,包括标有星号(*)的整节,以及排成大字的第十四章都属加深加宽的内容,供参考用。在使用本书教学时,这些内容均可根据实际需要和可能而有所取舍。

参加本书修订工作的有:邱关源、范丽娟、刘国柱、江慰德和刘正兴。本书初稿承哈尔滨工业大学周长源、高象贤和刘润同志仔细审阅,并提出宝贵的修改意见,谨致以衷心的感谢。书稿并经高等学校电工教材编审委员会电路理论及信号分析编审小组审查通过。

本书虽然在原版本的基础上,根据各方面的读者提出的建设性意见作了一些改进,但缺点和错误之处在所难免,希望读者予以批评指正。意见请寄西安交通大学电工原理教研室。

编 者

1982 年

第三版序言

本书的第一版《电路(电工原理 I)》和第二版《电路(修订本)》先后于 1978 年和 1982 年出版。此次出版的为第三版。新版本内容满足工科电工课程教学指导委员会于 1986 年制订的高等工业学校电路课程(130—160 学时)的教学基本要求。全书共有 20 章和两个附录,分上、下两册出版。

与第二版对比,主要的变动和调整有:(1)把图论的基本知识前移;补充了建立电路方程的 2b 法。(2)把运算放大器前移,作为一种基本多端元件来处理,有关内容也随之而加强。(3)非线性电路的部分内容经过改写并稍有充实。这部分移到了上册,目的是为了有利于配合后续课程的需要,不过仍可放在线性电路部分的后面来讲授。(4)增加了电路设计的初步概念。除在个别章节中略有涉及外,专门增加了一章(第十九章),这可能有利于加强工程背景。(5)增加了有关开关电容网络的初步知识(第二十章)。这新增加的两章均作为参考内容列入。(6)个别图形符号和正弦电流电路部分的少量定义参照有关国家标准作了相应的变动。(7)删去了网络的计算机辅助分析的内容。

本版本对基本内容、传统内容和新内容的协调予以充分的注意,而以前两者为主。由于电路课程的教学时数不可能增多,除考虑到各部分内容的分量恰当外,删简了一些较繁琐的或过分强调技巧的内容,而力图突出基本概念和基本原理,并采用比较有效和精练的方式把问题交待清楚。这样做可能更有利于培养学生在教师指导下的自学能力。

考虑到一些专业的教学需要,书末增加了有关磁路的内容作为附录。本版本保留了第二版的部分例题和习题,而总的习题数量则有所增加,并增加了少量需要用计算机求解的练习。

书中标有星(*)号并排成小字的章节均属参考内容,可以根据实际需要和可能有所取舍,不一定都要讲授。

参加本版修订工作的有邱关源、刘正兴、叶金官。本书承哈尔滨工业大学周长源、刘润、高象贤同志仔细审阅并提出宝贵修改意见,谨致以衷心谢意。书稿经高等工业学校电路理论与信号分析课程教学指导小组同意作为教材出版。

本书在某些方面所作的变动和尝试,以及书中的不足和错误之处,均希读者

予以批评指正。意见请寄西安交通大学电工原理教研室。

编 者

1988 年

目 录

第一章 电路模型和电路定律	1
§ 1-1 电路和电路模型	1
§ 1-2 电流和电压的参考方向	3
§ 1-3 电功率和能量	5
§ 1-4 电路元件	6
§ 1-5 电阻元件	6
§ 1-6 电容元件	9
§ 1-7 电感元件	12
§ 1-8 电压源和电流源	15
§ 1-9 受控电源	17
§ 1-10 基尔霍夫定律	19
习 题	24
第二章 电阻电路的等效变换	31
§ 2-1 引言	31
§ 2-2 电路的等效变换	31
§ 2-3 电阻的串联和并联	32
§ 2-4 电阻的 Y 形连接和 Δ 形连接的等效变换	35
§ 2-5 电压源、电流源的串联和并联	39
§ 2-6 实际电源的两种模型及其等效变换	40
§ 2-7 输入电阻	43
习 题	45
第三章 电阻电路的一般分析	50
§ 3-1 电路的图	50
§ 3-2 KCL 和 KVL 的独立方程数	52
§ 3-3 支路电流法	56
§ 3-4 网孔电流法	58
§ 3-5 回路电流法	61
§ 3-6 结点电压法	66
习 题	73
第四章 电路定理	80
§ 4-1 叠加定理	80

§ 4-2	替代定理	86
§ 4-3	戴维宁定理和诺顿定理	88
§ 4-4	特勒根定理	96
§ 4-5	互易定理	99
§ 4-6	对偶原理	102
习 题		104
第五章	含有运算放大器的电阻电路	111
§ 5-1	运算放大器的电路模型	111
§ 5-2	比例电路的分析	114
§ 5-3	含有理想运算放大器的电路的分析	116
习 题		119
第六章	一阶电路	123
§ 6-1	动态电路的方程及其初始条件	123
§ 6-2	一阶电路的零输入响应	126
§ 6-3	一阶电路的零状态响应	132
§ 6-4	一阶电路的全响应	137
§ 6-5	一阶电路的阶跃响应	141
§ 6-6	一阶电路的冲激响应	144
习 题		150
第七章	二阶电路	158
§ 7-1	二阶电路的零输入响应	158
§ 7-2	二阶电路的零状态响应和阶跃响应	166
§ 7-3	二阶电路的冲激响应	168
习 题		170
第八章	相量法	173
§ 8-1	复数	173
§ 8-2	正弦量	176
§ 8-3	相量法的基础	179
§ 8-4	电路定律的相量形式	183
习 题		187
第九章	正弦稳态电路的分析	190
§ 9-1	阻抗和导纳	190
§ 9-2	阻抗(导纳)的串联和并联	194
§ 9-3	电路的相量图	196
§ 9-4	正弦稳态电路的分析	198
§ 9-5	正弦稳态电路的功率	201
§ 9-6	复功率	205
§ 9-7	最大功率传输	208

§ 9-8 串联电路的谐振	210
§ 9-9 并联谐振电路	216
习 题	218
第十章 含有耦合电感的电路	231
§ 10-1 互感	231
§ 10-2 含有耦合电感电路的计算	235
§ 10-3 空心变压器	239
§ 10-4 理想变压器	240
习 题	243
第十一章 三相电路	248
§ 11-1 三相电路	248
§ 11-2 线电压(电流)与相电压(电流)的关系	251
§ 11-3 对称三相电路的计算	252
§ 11-4 不对称三相电路的概念	255
§ 11-5 三相电路的功率	256
习 题	258
第十二章 非正弦周期电流电路和信号的频谱	263
§ 12-1 非正弦周期信号	263
§ 12-2 周期函数分解为傅里叶级数	264
§ 12-3 有效值、平均值和平均功率	270
§ 12-4 非正弦周期电流电路的计算	272
* § 12-5 对称三相电路中的高次谐波	275
* § 12-6 傅里叶级数的指数形式	277
* § 12-7 傅里叶积分简介	280
习 题	282
第十三章 拉普拉斯变换	289
§ 13-1 拉普拉斯变换的定义	289
§ 13-2 拉普拉斯变换的基本性质	291
§ 13-3 拉普拉斯反变换的部分分式展开	295
§ 13-4 运算电路	299
§ 13-5 应用拉普拉斯变换法分析线性电路	302
习 题	308
第十四章 网络函数	314
§ 14-1 网络函数的定义	314
§ 14-2 网络函数的极点和零点	316
§ 14-3 极点、零点与冲激响应	317
§ 14-4 极点、零点与频率响应	320
§ 14-5 卷积	325

习 题	326
第十五章 电路方程的矩阵形式	332
§ 15-1 割集	332
§ 15-2 关联矩阵、回路矩阵、割集矩阵	335
* § 15-3 矩阵 A 、 B_f 、 Q_f 之间的关系	341
§ 15-4 回路电流方程的矩阵形式	342
§ 15-5 结点电压方程的矩阵形式	346
§ 15-6 割集电压方程的矩阵形式	351
* § 15-7 列表法	353
§ 15-8 状态方程	357
习 题	362
第十六章 二端口网络	369
§ 16-1 二端口网络	369
§ 16-2 二端口的方程和参数	370
§ 16-3 二端口的等效电路	379
§ 16-4 二端口的转移函数	381
§ 16-5 二端口的连接	384
§ 16-6 回转器和负阻抗变换器	386
习 题	389
第十七章 非线性电路简介	394
§ 17-1 非线性电阻	394
§ 17-2 非线性电容和非线性电感	399
§ 17-3 非线性电路的方程	401
§ 17-4 小信号分析法	403
§ 17-5 分段线性化方法	406
* § 17-6 工作在非线性范围的运算放大器	410
* § 17-7 二阶非线性电路的状态平面	413
* § 17-8 非线性振荡电路	416
* § 17-9 混沌电路简介	417
* § 17-10 人工神经元电路	420
习 题	422
第十八章 均匀传输线	426
§ 18-1 分布参数电路	426
§ 18-2 均匀传输线及其方程	427
§ 18-3 均匀传输线方程的正弦稳态解	431
§ 18-4 均匀传输线的原参数和副参数	438
§ 18-5 终端接特性阻抗的传输线	442
§ 18-6 终端接任意阻抗的传输线	443

§ 18-7 无损耗传输线·····	446
§ 18-8 无损耗线方程的通解·····	453
§ 18-9 无损耗线的波过程·····	457
习 题 ·····	459
附 录 A 磁路和铁心线圈 ·····	461
§ A-1 磁场和磁路 ·····	461
§ A-2 铁磁物质的磁化曲线 ·····	463
§ A-3 磁路的基本定律 ·····	465
§ A-4 恒定磁通磁路的计算 ·····	467
§ A-5 交变磁通磁路简介 ·····	472
§ A-6 铁心线圈 ·····	475
习 题 ·····	476
附 录 B PSPICE 简介 ·····	479
§ B-1 电路的计算机辅助分析 ·····	479
§ B-2 PSPICE ·····	482
部分习题答案 ·····	487
索引 ·····	496
参考书目 ·····	502

第一章

电路模型和电路定律

•———— 内 容 提 要 ————•

本章介绍电路模型的概念,电压、电流参考方向的概念,吸收、发出功率的表达式和计算方法,还将介绍电阻、电容、电感、独立电源和受控电源等电路元件。

不同的电路元件的变量之间具有不同的约束。基尔霍夫定律是集总参数电路的基本定律,包括电流定律和电压定律,分别对相互连接的支路电流之间和相互连接的支路电压之间予以线性约束。这种约束与构成电路的元件性质无关

§ 1-1 电路和电路模型

人们在工作 and 生活中时常会遇到一些实际电路。实际电路是为完成某种预期的目的而设计、安装、运行的,由电路器件(例如晶体管)和电路部件(例如电容器、电阻器等)相互连接而成,具有传输电能、处理信号、测量、控制、计算等功能。在实际电路中,电能或电信号的发生器称为电源,用电设备称为负载。电压和电流是在电源的作用下产生的,因此,电源又称为激励源。由激励而在电路中产生的电压和电流称为响应。有时,根据激励和响应之间的因果关系,把激励称为输入,响应称为输出。

有些实际电路十分复杂。例如,电力的产生、输送和分配是通过发电机、变压器、输电线等完成的,形成了一个庞大和复杂的电路或系统。当前,集成电路的应用已渗透到许多领域,集成电路芯片可能小到不大于指甲,但在上面有成千上万个晶体管相互连接成为一个电路或系统。当今,超大规模集成电路的集成度越来越高,就是说在同样大小的硅片上可容纳的器件数目越来越多,可达数百万或更多。前面所谈电路,无论尺寸大小都是比较复杂的,但有些电路非常简单,例如手电筒就是一个很简单的电路。

本书的主要内容是介绍电路理论的入门知识并为后续课程准备必要的基础。电路理论研究电路中发生的电磁现象,并用电流、电荷、电压、磁通等物理量描述其中的过程。电路理论主要用于计算电路中各器件的端子电流和端子间的电压,一般不涉及内部发生的物理过程。本书讨论的电路不是实际电路而是它们的电路模型。实际电路的电路模型是由理想电路元件相互连接而成,理想电路元件是组成电路模型的最小单元,是具有某种确定的电磁性质的假想元件,它是一种理想化的模型并具有精确的数学定义。在一定假设条件下,可用足以反映其中电磁性质的理想电路元件或它们的组合模拟实际电路中的器件。在电路模型中各理想元件的端子是用“理想导线”连接起来的。根据端子的数目,理想电路元件可分为二端、三端、四端元件等等。

图 1-1(a)所示为含有一个电源即干电池,一个负载即小灯珠和两根连接导线的简单电路,其电路模型如图 1-1(b)所示。该图中的电阻元件 R 作为小灯珠的电路模型,干电池用电压源 U_s 和电阻元件 R_s 的串联组合作为模型,连接导线用理想导线(其电阻设为零)或线段表示。

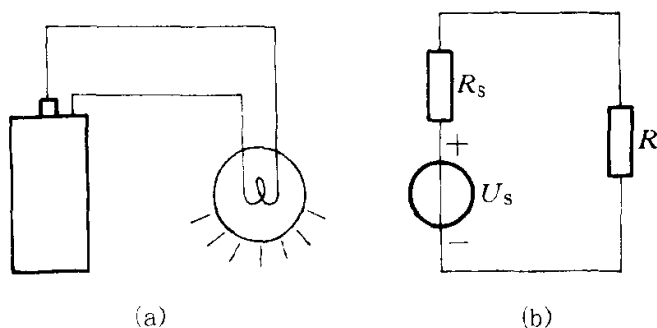


图 1-1 实际电路与电路模型

用理想电路元件或它们的组合模拟实际器件就是建立其模型(简称建模)。建模时必须考虑工作条件,并按不同精确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象及功能反映出来。例如,在直流情况下,一个线圈的模型可以是一个电阻元件;在较低频率下,就要用电阻元件和电感元件的串联组合模拟,在较高频率下,还应计及导体表面的电荷作用,即电容效应,所以其模型还需要包含电容元件。可见在不同的条件下,同一实际器件可能采用不同的模型。模型取得恰当,对电路的分析和计算结果就与实际情况接近;模型取得不恰当,则会造成很大误差,有时甚至导致自相矛盾的结果。如果模型取得太复杂就会造成分析的困难;反之,如果取得太简单,就不足以反映所需求解的真实情况。所以建模问题需要专门研究,本书不作介绍。

今后本书所说电路一般均指由理想电路元件构成的抽象电路或电路模型,