

21
世纪

高职高专新概念教材

付玉明 主 编

武铁敦 蔡燕娟 陈 晓 副主编

电路分析基础

21 Shi Ji Gao Zhi Gao Zhuan Xin Gai Nian Jiao Cai

(第二版)



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

21 世纪高职高专新概念教材

电 路 分 析 基 础

(第二版)

付玉明 主 编,

武铁敦 蔡燕娟 陈 晓 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书是在第一版的基础上根据编者讲授该门课程的经验 and 听取读者使用的反馈意见后修改而成的。全书共分 6 章, 主要内容有: 电路的基本概念和定律; 电阻性网络分析的一般方法; 一阶动态电路分析; 正弦稳态电路分析; 耦合电感元件和理想变压器; 二端口网络。书后附有 16 个实验。

本书充分考虑专科层次学生数理基础的实际水平, 按照循序渐进、理论联系实际、便于自学的原则编写。教材内容适量、实用, 叙述简练, 概念清晰, 通俗易懂。对于电路的分析求解, 步骤清楚, 力求结果正确, 举例实际并具有典型性, 例题、习题安排合理, 且习题附有参考答案, 便于自学。

本书可作为电器、通信、电子、自动化、计算机、机电等专业的大学专科学学生使用的电路理论课教材, 也适合从事电力、电信等行业的工程技术人员学习参考。

本书为任课教师配有电子教案, 此教案用 PowerPoint 制作, 教师可以根据教学需要任意修改。选用本教材的教师可直接从中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载, 也可与北京万水电子信息有限公司联系, 获取该电子教案。联系电话: 010-82564395。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路分析基础/付玉明主编. —2 版. —北京: 中国水利水电出版社, 2004
(21 世纪高职高专新概念教材)
ISBN 7-5084-2295-3

I. 电… I. 付… III. 电路分析—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM133
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 076837 号

书 名	电路分析基础 (第二版)
作 者	付玉明 主编 武铁敦 蔡燕娟 陈晓 副主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 17 印张 370 千字
版 次	2002 年 2 月第 1 版 2004 年 8 月第 2 版 2004 年 8 月第 6 次印刷
印 数	20001—25000 册
定 价	24.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

21 世纪高职高专新概念教材

编委会名单

主任委员 刘 晓 柳菊兴

副主任委员 胡国铭 张栻勤 王前新 黄元山 柴 野

张建钢 陈志强 宋 红 汤鑫华 王国仪

委 员 (按姓氏笔画排序)

马洪娟
毛芳烈
王明晶
东小峰
田绍槐
孙明魁
宋锦河
张晓辉
李存斌
杨永生
肖晓丽
陈道义
郑有想
赵 敬
夏春华
袁晓州
曹季俊
谢兆鸿
廖家平

马新荣
王 祥
王泽生
台 方
申 会
安志远
张 晔
张浩军
李作纬
杨庆德
闵华清
单永磊
侯怀昌
赵作斌
徐 红
袁晓红
梁建武
韩春光
管学理

尹朝庆
王乃钊
王绍卜
叶永华
刘 猛
许学东
张 慧
张海春
李珍香
杨名权
陈 川
周杨娣
胡大鹏
赵秀珍
徐凯声
钱同惠
蒋金丹
詹慧尊
蔡立军

方 宁
王希辰
王春红
宁书林
刘尔宁
闫 菲
张弘强
张曙光
李家瑞
杨均青
陈 炜
周学毛
胡国良
赵海廷
徐雅娜
钱新恩
蒋厚亮
雷运发
黎能武

方 鹏
王国思
王路群
田 原
刘慎熊
何 超
张怀中
李 琦
李晓桓
汪振国
陈语林
武铁敦
费名瑜
唐伟奇
殷均平
高寅生
覃晓康
廖哲智
魏 雄

项目总策划 雨 轩

编委会办公室 主 任 周金辉

副主任 孙春亮 杨庆川

参编学校名单

(按第一个字笔划排序)

三门峡职业技术学院	华中科技大学
山东大学	华东交通大学
山东交通学院	华北电力大学工商管理学院
山东建工学院	华北航天工业学院
山东省电子工业学校	江汉大学
山东农业大学	江西渝州电子工业学院
山东省农业管理干部学院	江西赣西学院
山东省教育学院	西安外事学院
山东商业职业技术学院	西安欧亚学院
山西阳泉煤炭专科学校	西安铁路运输职工大学
山西运城学院	西安联合大学
山西经济管理干部学院	孝感职业技术学院
广州市职工大学	杨陵职业技术学院
广州铁路职业技术学院	昆明冶金高等专科学校
中华女子学院山东分院	武汉大学动力与机械学院
中国人民解放军第二炮兵学院	武汉大学信息工程学院
中国矿业大学	武汉工业学院
中南大学	武汉工程职业技术学院
天津市一轻局职工大学	武汉广播电视大学
天津职业技术师范学院	武汉化工学院
长沙大学	武汉电力职业技术学院
长沙民政职业技术学院	武汉交通管理干部学院
长沙交通学院	武汉科技大学工贸学院
长沙航空职业技术学院	武汉商业服务学院
长春汽车工业高等专科学校	武汉理工大学
北京对外经济贸易大学	武汉铁路职业技术学院
北京科技大学职业技术学院	河南济源职业技术学院
北京科技大学成人教育学院	郑州工业高等专科学校
石油化工管理干部学院	陕西师范大学
石家庄师范专科学校	南昌水利水电高等专科学校
辽宁交通高等专科学校	哈尔滨金融专科学校
华中电业联合职工大学	济南大学

济南交通高等专科学校
济南铁道职业技术学院
荆门职业技术学院
贵州无线电工业学校
贵州电子信息职业技术学院
恩施职业技术学院
黄冈职业技术学院
黄石计算机学院
湖北工学院
湖北丹江口职工大学
湖北交通职业技术学院
湖北汽车工业学院
湖北经济管理大学

湖北药检高等专科学校
湖北经济学院
湖北教育学院
湖北鄂州大学
湖北水利水电职业技术学院
湖南大学
湖南工业职业技术学院
湖南计算机高等专科学校
湖南省轻工业高等专科学校
湖南涉外经济学院
湖南郴州师范专科学校
湖南商学院
湖南税务高等专科学校

序

根据 1999 年 8 月教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》)的精神,由中国水利水电出版社北京万水电子信息有限公司精心策划,聘请我国长期从事高职高专教学、有丰富教学经验的教师执笔,在充分汲取了高职高专和成人高等学校在探索培养技术应用性人才方面取得的成功经验和教学成果的基础上,撰写了此套《21 世纪高职高专新概念教材》。

为了编写本套教材,出版社进行了广泛的调研,走访了全国百余所具有代表性的高等专科学校、高等职业技术学院、成人教育高等院校以及本科院校举办的二级职业技术学院,在广泛了解情况、探讨课程设置、研究课程体系的基础上,经过学校申报、征求意见、专家评选等方式,确定了本套书的主编,并成立了编委会。每本书的编委会聘请了多所学校主要学术带头人或主要从事该课程教学的骨干,教学大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论。

本套《21 世纪高职高专新概念教材》有如下特点:

(1) 面向 21 世纪人才培养的需求,结合高职高专学生的培养特点,具有鲜明的高职高专特色。本套教材的作者都是长期在第一线从事高职高专教育的骨干教师,对学生的基本情况、特点和认识规律等有深入的了解,在教学实践中积累了丰富的经验。因此可以说,每一本书都是教师们长期教学经验的总结。

(2) 以《基本要求》和《培养规格》为编写依据,内容全面,结构合理,文字简练,实用性强。在编写过程中,作者严格依据教育部提出的高职高专教育“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,力求从实际应用的需要(实例)出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论概念,加强了应用性和实际操作性的内容。

(3) 采用“问题(任务)驱动”的编写方式,引入案例教学和启发式教学方法,便于激发学习兴趣。本套书的编写思路与传统教材的编写思路不同:先提出问题,然后介绍解决问题的方法,最后归纳总结出一般规律或概念。我们把这个新的编写原则比喻成“一棵大树、问题驱动”的原则。即:一方面遵守先见(构建)“树”(每本书就是一棵大树),再见(构建)“枝”(书的每一章就是大树的一个分枝),最后见(构建)“叶”(每章中的若干小节及知识点)的编写原则;另一方面采用问题驱动方式,每一章都尽量用实际中的典型实例开头(提出问题、明确目标),然后逐渐展开(分析解决问题),在讲述实例的过程中将本章的知识点融入。这种精选实例,并将知识点融于实例中的编写方式,可读性、可操作性强,非常适合高职高专的学生阅读和使用。本书读者通过学习构建本书中的“树”,由“树”找“枝”,顺“枝”摸“叶”,

最后达到构建自己所需要的“树”的目的。

(4) 部分教材配有实验指导和实训教程,便于学生练习提高。

(5) 部分教材配有动感电子教案。为顺应教育部提出的教材多元化、多媒体化发展的要求,大部分教材都配有电子教案,以满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作,教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载。

(6) 提供相关教材中所有程序的源代码,方便教师直接切换到系统环境中教学,提高教学效果。

总之,本套教材凝聚了数百名高职高专一线教师多年的教学经验和智慧,内容新颖,结构完整,概念清晰,深入浅出,通俗易懂,可读性、可操作性和实用性强。

本套教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校。

新的世纪吹响了我国高职高专教育蓬勃发展的号角,新世纪对高职教育提出了新的要求,高职教育占据了全面素质教育中所不可缺少的地位,在我国高等教育事业中占有极其重要的位置,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着日趋显著的作用,是培养新世纪人才所不可缺少的力量。相信本套《21 世纪高职高专新概念教材》的出版能为高职高专的教材建设和教学改革略尽绵薄之力,因为我们提供的不仅是一套教材,更是自始至终的教育支持,无论是学校、机构培训还是个人自学,都会从中得到极大的收获。

当然,本套教材肯定会有不足之处,恳请专家和读者批评指正。

21 世纪高职高专新概念教材编委会

2001 年 3 月

第 二 版 前 言

本书根据第一版使用后各方面的反馈,并在听取一线教师和广大读者使用该教材后提出的宝贵意见的基础上,在必须够用的前提下进行了修改,使之更切合高职高专电气电子类专业教学层次,使内容和编排上更趋合理性及便于教和学,使学生能较好掌握电路分析的基础知识。主要做了以下工作:

(1) 对大多数内容进行了整理和重新编写,去掉了原书中一些不妥和错误之处,重点编写了第 1、4 两章,第 1 章内容上增加了运算放大器;将原第 7 章谐振电路修改后合并到了第 4 章正弦稳态电路分析中,且在第 4 章增加了部分内容,这样全书由原来 7 章变为了 6 章,使结构更为合理。

(2) 对习题的难度及习题与章节内容的衔接进行了调整,并补充了一些思考题与练习题。

(3) 有些章节内容的安排顺序进行了调整,使概念更为清晰易懂,并在内容上作了一定的充实。

全书共分 6 章,内容为:电路的基本概念和定律、电阻性网络分析的一般方法、一阶动态电路分析、正弦稳态电路分析、耦合电感元件和理想变压器、二端口网络。

第二版的修订主要由付玉明完成,陈晓参加了全书的组织策划和部分章节的修改工作。湖北民族学院的陈甘澍教授为本书的修改付出了大量的心血,在此表示衷心的感谢。

本教材力图做到概念准确、内容精练、重点突出、理论联系实际、注重方法的叙述。在讲解上力求通俗易懂、便于自学。为方便教学,书后附有 16 个实验。

本书可作为高职高专院校的电气、电子、通信、自动化、计算机、机电等专业的教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

在本书编写出版过程中,得到了中国水利水电出版社的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,欢迎读者批评指正。

编者

2004 年 6 月

第一版前言

本书是根据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》，结合当前高职高专电子类专业“电路分析基础”课程实际教学需要编写的一门专业技术基础课教材。全书共分为7章，其主要内容有：电路基本概念和定律；电阻性网络分析的一般方法；一阶动态电路分析；正弦稳态电路分析；耦合电感元件和理想变压器；二端口网络；谐振电路。

本书充分考虑专科层次学生数理基础的实际，按照循序渐进、理论联系实际、便于自学的原则编写；教材内容以适量、实用为度，不贪多求难；编写力求叙述简练，概念清晰，通俗易懂。对于电路的分析求解，做到步骤清楚，结果正确，举例结合实际并具有典型性，例题、习题安排合理，且习题附有答案，便于自学。为方便教学，书后附有16个实验。

本书为高职高专相关专业电路理论课的教材，也适合从事电力、电信等行业的工程技术人员参考。

本书为任课教师配有电子教案，此教案用PowerPoint制作，教师可以根据教学需要任意修改。选用本教材的教师可与北京万水电子信息有限公司联系，获取该电子教案。

本书由付玉明任主编，负责全书的组织策划、修改补充和定稿工作，并编写第1、3、5章；武铁敦、蔡燕娟、黄国祥任副主编，蔡燕娟编写第2、6章，黄国祥编写第4、7章。武铁敦、李永辉、李金堂编写了本书实验。参加本书大纲讨论及部分章节编写的还有黎能武、王祥、叶雪军、张高煜、夏勇、张宇、鲁宇宁等。

在本书编写出版过程中，得到了中国水利水电出版社的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥和错误之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2002年2月

目 录

序

第二版前言

第一版前言

第 1 章 电路的基本概念和定律	1
学习目标	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路及其功能	1
1.1.2 实际电路的组成	2
1.1.3 电路模型	2
思考与练习	3
1.2 电流和电压的参考方向	3
1.2.1 电流及其参考方向	3
1.2.2 电压及其参考方向	4
1.2.3 电压、电流的关联参考方向	5
思考与练习	6
1.3 电功率	6
思考与练习	8
1.4 电阻元件	9
1.4.1 线性非时变电阻	9
1.4.2 电阻元件上消耗的功率和能量	10
思考与练习	11
1.5 电压源和电流源	12
1.5.1 电压源	12
1.5.2 电流源	13
思考与练习	14
1.6 基尔霍夫定律	14
1.6.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	15
1.6.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	16
思考与练习	20
1.7 受控源与运算放大器	21
1.7.1 四种形式的受控源	21

1.7.2 运算放大器	23
思考与练习	24
1.8 等效电路的概念	24
1.9 电阻的串联和并联	25
思考与练习	30
1.10 含独立源电路的等效化简	30
1.10.1 实际电源的两种模型及其等效变换	30
1.10.2 含独立源的二端电路的等效	34
思考与练习	36
1.11 含受控源电路的等效化简	37
思考与练习	39
1.12 平衡电桥、电路的 Y 形连接与 Δ 连接的等效变换	40
思考与练习	43
小结	44
练习一	46
第 2 章 电阻性网络分析的一般方法	50
学习目标	50
2.1 支路电流法	50
思考与练习	53
2.2 节点电压法	53
2.2.1 节点电压方程式的一般形式	54
2.2.2 电路中含有理想电压源支路的处理方法	56
思考与练习	57
2.3 网孔电流法	58
2.3.1 网孔电流法的一般步骤	58
2.3.2 电路中含有理想电流源支路的处理方法	60
思考与练习	61
2.4 叠加定理	62
思考与练习	65
2.5 置换定理	65
思考与练习	68
2.6 戴维南定理和诺顿定理	68
2.6.1 戴维南定理	69
2.6.2 诺顿定理	71
思考与练习	74
小结	74
练习二	76

第3章 一阶动态电路分析	80
学习目标	80
3.1 电容元件和电感元件	80
3.1.1 电容元件	80
3.1.2 电感元件	85
思考与练习	88
3.2 换路定律及初始值的确定	88
3.2.1 换路定律	88
3.2.2 初始值的确定	89
思考与练习	91
3.3 零输入响应	92
3.3.1 RC 电路的零输入响应	92
3.3.2 RL 电路的零输入响应	94
思考与练习	97
3.4 零状态响应	98
3.4.1 RC 电路的零状态响应	98
3.4.2 RL 电路的零状态响应	99
3.4.3 单位阶跃响应	100
思考与练习	102
3.5 全响应	103
思考与练习	104
3.6 求解一阶电路的三要素法	104
思考与练习	108
小结	108
练习三	109
第4章 正弦稳态电路分析	113
学习目标	113
4.1 正弦量的基本概念	113
4.1.1 正弦量的三要素	113
4.1.2 同频率正弦量的相位差	116
4.1.3 正弦电流、电压的有效值	116
思考与练习	118
4.2 正弦量的相量表示法	118
4.2.1 复数的运算规律	118
4.2.2 正弦量的相量表示	120
思考与练习	122
4.3 基本元件 VCR 的相量形式和 KCL、KVL 的相量形式	122

4.3.1 基本元件 VCR 的相量形式	122
4.3.2 KCL、KVL 的相量形式	126
思考与练习	127
4.4 复阻抗与复导纳	128
4.4.1 复阻抗	128
4.4.2 复导纳	131
4.4.3 复阻抗与复导纳的变换	133
思考与练习	134
4.5 正弦稳态电路分析	134
思考与练习	136
4.6 正弦稳态电路中的功率	136
4.6.1 R、L、C 元件的功率和能量	136
4.6.2 二端电路的功率	140
4.6.3 无功功率、视在功率和复功率	141
4.6.4 正弦稳态电路中的最大功率传输	143
思考与练习	145
4.7 谐振电路	145
4.7.1 串联谐振	145
4.7.2 并联谐振	148
思考与练习	150
4.8 三相电路	150
4.8.1 三相交流电动势的产生	150
4.8.2 三相电源的连接	151
4.8.3 对称三相负载的星形连接	152
4.8.4 对称三相负载的三角形连接	154
4.8.5 三相电路的功率	155
思考与练习	156
小结	156
练习四	157
第 5 章 耦合电感元件和理想变压器	161
学习目标	161
5.1 耦合电感元件	161
5.1.1 耦合电感的概念	161
5.1.2 耦合电感元件的电压、电流关系	163
5.1.3 同名端	164
思考与练习	167
5.2 耦合电感的去耦等效	168

5.2.1 耦合电感的串联等效	168
5.2.2 耦合电感的 T 型等效	169
思考与练习	173
5.3 空芯变压器电路的分析	173
思考与练习	178
5.4 理想变压器	179
5.4.1 理想变压器两个端口的电压、电流之间的关系	179
5.4.2 理想变压器的阻抗变换性质	180
思考与练习	184
小结	184
练习五	185
第 6 章 二端口网络	187
学习目标	187
6.1 二端口网络的方程与参数	188
6.1.1 二端口网络的 Z 方程和 Z 参数	188
6.1.2 二端口网络的 Y 方程和 Y 参数	190
6.1.3 二端口网络的 T 方程和 T 参数	193
6.1.4 二端口网络的 H 方程和 H 参数	195
思考与练习	196
6.2 二端口网络的连接与等效	197
6.2.1 二端口网络的串联	197
6.2.2 二端口网络的并联	199
6.2.3 二端口网络的级联	201
6.2.4 二端口网络的等效	203
思考与练习	207
6.3 二端口网络的网络函数与特性阻抗	207
6.3.1 二端口网络的策动点函数	207
6.3.2 转移函数	208
6.3.3 二端口网络的特性阻抗	210
思考与练习	211
小结	211
练习六	213
习题参考答案	216
电路分析实验指导	225
实验一 直流电路中电位及电压关系的研究	225
实验二 线性与非线性元件伏安特性的测定	226
实验三 基尔霍夫定律的验证	229

实验四	叠加原理的验证·····	230
实验五	戴维南定理和诺顿定理·····	231
实验六	电压源和电流源的等效变换·····	232
实验七	受控源特性的研究·····	234
实验八	一阶电路响应特性实验·····	236
实验九	研究 L 、 C 元件在直流和交流电路中的特性 ·····	238
实验十	交流电路参数的测量·····	239
实验十一	RLC 元件在正弦交流电路中的特性实验 ·····	241
实验十二	串联谐振电路实验·····	243
实验十三	改善功率因数实验·····	245
实验十四	互感电路实验·····	246
实验十五	三相交流电路电压和电流的关系·····	249
实验十六	三相电路功率的测量·····	251
参考文献	·····	254

第1章 电路的基本概念和定律

学 习 目 标

- 深刻理解支路上电流、电压参考方向及电流、电压间关联参考方向的概念。
- 熟练掌握基尔霍夫电流、电压定律，并能灵活地运用于电路的分析计算。
- 理解理想电压源、理想电流源的伏安特性，以及它们与实际电源两种模型的区别。
- 了解受控源和理想运算放大器的特性，会求解含受控源的电路。
- 正确运用等效概念和方法来化简和求解电路。

本章讲述电路的基本概念和基本定律，是电路的基础理论知识。先从建立电路模型概念、认识电路变量等最基本的问题出发，重点讨论电路的基本变量电流、电压和电功率；然后讲述电路的基本定律，即基尔霍夫电流定律和电压定律；讲述电阻元件和独立电源、受控源的特性，并对运算放大器作了介绍。

1.1 电路和电路模型

实际电气装置种类繁多，如自动控制设备、卫星接收设备、邮电通信设备等。实际电路的几何尺寸也相差甚大，如电力系统或通信系统可能跨越省界、国界甚至是洲际的，但集成电路的芯片有的则小如指甲。为了分析研究实际电气装置的需要和方便，常采用模型化的方法，即用抽象的理想元件及其组合代替实际的器件，从而构成了与实际电路相对应的电路模型。

1.1.1 电路及其功能

电在日常生活、工农业生产、交通运输、科学研究以及国防建设等各个方面都有着广泛的应用。在通信、自动控制、计算机、电力等各个技术领域中，使用着许许多多电器设备，广义上说，这些电器设备都是实际中的电路。实际电路就其作用大致可分为这几个方面：①进行能量的传输、分配与转换，例如电力系统中的输电电路；②传送和处理信号，例如电话线路、放大器电路；③测量电路，例如万用表电路（用来测量电压、电流和电阻等）；④存储信息，例如计算机的存储电路，存放数据、程序。电路虽然多种多样、功能各异，但它们是受共同的基本规律支配的，正是在这种共同的基础上，形成了“电路理论”这一学科。