



普通高等教育“十五”国家级规划教材

( 高职高专教育 )

# 电路基本分析 学习指导

刘青松 主 编

刘青松 赵兴勇 王玲桃 编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材  
(高职高专教育)

# 电路基本分析学习指导

刘青松 主编  
刘青松 赵兴勇 王玲桃 编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是根据教育部制定的“高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求”,为高职高专层次的学生编写的“电路基本分析”课程学习指导书。全书内容共十章:电路的基本概念和定律、电阻电路的等效变换法、电路分析的网络方程法、正弦交流电路、谐振与互感电路、三相电路、非正弦周期电流电路、动态电路的时域分析、动态电路的复频域分析、二端口网络。每章内容包括基本要求、重点与难点、内容提要、典型例题分析四部分。着重指导学生对课程基本概念、基本理论、基本分析方法的理解和掌握,以提高学生分析问题、解决问题的能力与基本的运算能力。书后的光盘提供了各章的自我测试题及解答、2003年山西省高等专科学校专升本招生考试题(含解答)和几套专升本模拟试题以及有关院校本课程的考试题(含解答)。

本书可作为正在学习电路基本分析课程的高职高专、本科学生的课程指导、复习用书,也可供相关专业有关科技人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路基本分析学习指导/刘青松主编. —北京:高等教育出版社, 2003.12

ISBN 7-04-013178-1

I.电... II.刘... III.电路分析-高等学校:技术学校-教学参考资料 IV.TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 101987 号

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 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16  
印 张 15.5  
字 数 370 000

版 次 2003 年 12 月第 1 版  
印 次 2003 年 12 月第 1 次印刷  
定 价 26.20 元(含光盘)

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

## 出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

# 前言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,是《电路基本分析》(石生主编)一书的配套学习指导书,是结合当前电类专业“电路基本分析”课程实际教学需求编写的。本书在内容体系、广度、深度以及教学的适应性等方面都以“高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求”为依据。

“电路基本分析”是电气技术、电力系统自动化、电子信息工程、自动化、计算机科学与技术等电类专业的一门重要的技术基础课。教学实践表明,学生除了接受基本的课堂教学以外,有选择的研读一些学习参考书,做一定数量的练习题,是学好本课程的重要环节,也是引导学生主动学习,培养科学思维方法,提高分析问题和解决问题能力的重要途径。针对当前“电路基本分析”课程内容丰富、授课学时少、学生难以在课堂内全面理解和掌握教学内容的实际情况,并结合专升本的考试情况,我们在多年的教学实践基础上,编写了这本《电路基本分析学习指导》。

本学习指导是按照电类专业教学基本要求编写的,可以配合不同版本的教材使用。本书共分十章:电路的基本概念和定律、电阻电路的等效变换法、电路分析的网络方程法、正弦交流电路、谐振与互感电路、三相电路、非正弦周期电流电路、动态电路的时域分析、动态电路的复频域分析、二端口网络。每章内容由以下四部分组成:

(1) 基本要求:简要介绍学习本章内容的目的、要求。

(2) 重点与难点:强调本章应深刻理解和熟练掌握的内容及难点。

(3) 内容提要:综述本章主要概念、理论和方法,归纳总结重要结论和分析方法。

(4) 典型例题分析:结合典型例题求解,题前有解题分析,详细介绍解题思路、方法、步骤;题后有评注,总结求解此类题型的技巧、注意事项。典型例题分析是本书重点内容,是全书的精华,它是编著者多年在该课程教学中的经验、体会的总结。有的例题是运用基本概念求解的典型;有的例题是使用多种方法巧妙结合求解的,这类问题有分析、有评注、有计算、有引申问题的讨论,以起到画龙点睛的作用,使读者有茅塞顿开之感。

(5) 自我测试题:这部分精选习题用于学生自我检查或课后练习,以便了解自己对学习内容掌握程度或进一步巩固提高学习效果。本练习及简要解答见书后附盘。

本书由王玲桃编写第一、二、三章,刘青松编写第四、五、六章,赵兴勇编写第七、八、九、十章。全书由刘青松负责统稿。

本书初稿承蒙华北工学院刘朝阳教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

在编写的过程中得到了太原电力专科学校副校长石生教授、田震教授等许多专家、教授和同行的帮助,田震教授还给此书撰写了导论,在此一并表示感谢。

由于编写水平有限,书中难免有不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2003年8月

## 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) 58581897/58581698/58581879/58581877

**传 真：**(010) 82086060

**E - mail：**dd@hep.com.cn 或 chenrong@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社法律事务部

**邮 编：**100011

**购书请拨打电话：**(010)64014089 64054601 64054588

|      |     |
|------|-----|
| 策划编辑 | 孙 杰 |
| 责任编辑 | 王莉莉 |
| 封面设计 | 王凌波 |
| 责任绘图 | 朱 静 |
| 版式设计 | 王艳红 |
| 责任校对 | 存 怡 |
| 责任印制 | 杨 明 |

# 目 录

|                      |     |                      |     |
|----------------------|-----|----------------------|-----|
| 导论 .....             | 1   | 第六章 三相电路 .....       | 134 |
| 第一章 电路的基本概念和定律 ..... | 4   | 第一节 基本要求 .....       | 134 |
| 第一节 基本要求 .....       | 4   | 第二节 重点与难点 .....      | 134 |
| 第二节 重点与难点 .....      | 4   | 第三节 内容提要 .....       | 135 |
| 第三节 内容提要 .....       | 4   | 第四节 典型例题分析 .....     | 141 |
| 第四节 典型例题分析 .....     | 8   | 第七章 非正弦周期电流电路 .....  | 158 |
| 第二章 电阻电路的等效变换法 ..... | 19  | 第一节 基本要求 .....       | 158 |
| 第一节 基本要求 .....       | 19  | 第二节 重点与难点 .....      | 158 |
| 第二节 重点与难点 .....      | 19  | 第三节 内容提要 .....       | 158 |
| 第三节 内容提要 .....       | 19  | 第四节 典型例题分析 .....     | 162 |
| 第四节 典型例题分析 .....     | 30  | 第八章 动态电路的时域分析 .....  | 175 |
| 第三章 电路分析的网络方程法 ..... | 54  | 第一节 基本要求 .....       | 175 |
| 第一节 基本要求 .....       | 54  | 第二节 重点与难点 .....      | 175 |
| 第二节 重点与难点 .....      | 54  | 第三节 内容提要 .....       | 175 |
| 第三节 内容提要 .....       | 54  | 第四节 典型例题分析 .....     | 185 |
| 第四节 典型例题分析 .....     | 59  | 第九章 动态电路的复频域分析 ..... | 200 |
| 第四章 正弦交流电路 .....     | 78  | 第一节 基本要求 .....       | 200 |
| 第一节 基本要求 .....       | 78  | 第二节 重点与难点 .....      | 200 |
| 第二节 重点与难点 .....      | 78  | 第三节 内容提要 .....       | 200 |
| 第三节 内容提要 .....       | 79  | 第四节 典型例题分析 .....     | 207 |
| 第四节 典型例题分析 .....     | 88  | 第十章 二端口网络 .....      | 219 |
| 第五章 谐振与互感电路 .....    | 105 | 第一节 基本要求 .....       | 219 |
| 第一节 基本要求 .....       | 105 | 第二节 重点与难点 .....      | 219 |
| 第二节 重点与难点 .....      | 105 | 第三节 内容提要 .....       | 219 |
| 第三节 内容提要 .....       | 105 | 第四节 典型例题分析 .....     | 227 |
| 第四节 典型例题分析 .....     | 118 | 参考文献 .....           | 239 |

# 导 论

《电路基本分析学习指导》是为高职高专层次的学生编写的电路课程学习辅导书,也可供本科学生及相关专业工程技术人员参考。

电路理论是为电类各专业学生共同开设的非常重要的技术基础课。它讨论的是电类各专业的学生必须掌握的基本概念、基本规律及基本分析计算方法,是学习其他专业课及分析解决实际问题的基础。

由于电路理论课程本身的重要性,又由于该课程是升学考试(专升本)的必考科目之一,所以如何学好这门课,是学生们非常关心的问题。为了帮助同学们掌握电路理论的基本内容,搞清电路理论课程的规律和特点,抓住重点,弄懂难点,彻底掌握电路分析计算方法,现从以下几个方面进行提示以建立起学习电路理论的思想体系,这对学好本课程至关重要。

## 一、电路理论课的特点和学习的思想方法

电路理论是一门技术基础课,它的系统性和逻辑性非常强。电路理论课程把物理学揭示的自然现象应用到工程实际,它应用大量的数学,研究电路能量转换的基本规律和分析计算方法。电路课的特点是物理、数学和工程三者紧密结合的课程,尤其是工程应用的观点是同学们所缺乏的,需要自觉培养。

说到数学,这是学好电路的必要前提。它涉及的面非常宽,包括代数、几何、三角等初等数学,还包括高等数学中的微积分、微分方程以及线性代数、复变函数、积分变换等,不仅要熟练掌握它们的运算。还应深刻理解它们的数理概念。

关于物理学课程中所学的电势、电能、电压、电流等,必须清楚它们的定义及物理意义,电路理论不再赘述这些基本概念。电路理论来源于物理学的研究,但它不同于物理学,两者分析问题的侧重点不同。电路理论研究问题的侧重点不再是元件的内部机理而重在外部关系。即对于电阻、电感、电容这些元件只注重其端口特性,尤其是由这些不同性质的元件组成电路整体之后,各元件间电流及电压的约束关系及能量转换的规律。掌握这些规律是要靠进行大量的数学分析计算才能实现的。

电路理论的研究方法是把各种工程电路抽象化以后去研究它的分析计算方法。抽象化的方法是以能量转换的特征分类,把实际元件抽象成电阻、电感、电容三种不同性质的元件以建立电路的基本模型,找到它们的端口特性的数学模型,进一步对整体电路即电路的复合模型进行分析计算。

电路理论研究的问题,依据解决问题的不同,可以分为两类。一类是电路分析问题,即已知电路结构特点和元件参数,求电路中各处的电压、电流、功率等;另一类是电路综合问题,即已知工程上的要求,构成对应的电路。本书讲解的电路基本分析课程,主要研究的是电路分析问题。

电路理论引入激励和响应两个名词,把电源的作用称为激励,在电源的作用下产生的结果称为响应。已知激励和电路参数,求取电路中的响应是贯穿本课程始终的一条主线。所以,讲课以

方法为重,考试以解题为主。

## 二、电路的基本概念

电路的内涵十分丰富,应用范围也十分广泛,即使同一性质电路,由于应用场合不同,为了满足所提出的特殊要求,还可以演变出很多种变形电路。乍看起来,电路形式是花样繁多,变化莫测。其实不管电路怎样复杂,怎样变化,但万变不离其宗。它总是由各种各样的电路元件,通过一定的连接方式而组成的。

电路的基本功能是向外电路提供能量或电信号。其中电源是电路中能量的供应者,电路工作的动力,而电路所有其他元件,则起能量的控制、转换、传输和消耗的作用。它们都可以用等效的电路参数来代替,因此,电路就是由电源和电气元件电路参数,通过导线连接形成。而电压和电流是描述电路工作情况的变量。电路的性质是由电源的性质和电路元件参数的性质所决定的。

## 三、电路理论课学习要点

1. 深刻理解电路的每一个基本概念、定义及它们的意义。电路的基本概念并不多,但变化莫测,计算公式繁多需要记忆,要在理解的基础上记忆。

2. 深刻理解,熟练掌握电路分析的基本定律和定理,这是电路分析的基本依据,如:

① 要牢固掌握,深刻理解,熟练运用基尔霍夫两定律及电路元件特性方程,它们是学好整个电路理论的基础。

② 要弄清楚电路等效变换的“等效”概念。其中,电阻串并联、戴维宁定理、诺顿定理、叠加定理、电压源和电流源的等效变换要能熟练运用。

③ 要能熟练的运用回路法、节点法,列写电路方程。

在电路基本分析各章中。第一章讨论了电路变量——电压、电流、功率和基尔霍夫定律。在这里特别要注意参考方向的问题。在第二章中,讨论了电阻电路的等效变换,如:串并联等效变换、Y- $\Delta$ 等效变换、叠加定理和戴维宁定理、诺顿定理、电源的等效变换等。学习中应当明确,各个定理和等效的成立条件和运用场合,以便依据具体问题,灵活选用。第三章讨论了网络的各种解法,如:支路法、回路法、节点法,它们为电路问题提供了各种可供选择的解法。从第四章到结束,研究了各种性质不同的电路的分析方法。其中正弦稳态响应、阶跃响应是求解各种响应的基础;关于一阶电路的过渡过程问题,用叠加定理和三要素法解题较为方便;对于二阶及更高阶电路利用拉普拉斯变换法更为方便。

3. 在解决复杂问题时,常常用到数学变换的方法,如相量变换、傅里叶变换、拉普拉斯变换等等。这些在电路理论中至关重要,要深刻理解它们的数理概念。

总之,本课程涉及面较广,但每章每节都有其独特的特点。例如学习交流电路时,要注意它与直流电路根本不同点是电源在“变”的问题,由此引出电感、电容、互感、谐振等一系列问题,所以学习过程中就必须时刻联想到“变”的概念。又如过渡过程问题,则必须抓住“瞬变”概念等。

学习电路课程还需紧紧地抓住“林”与“树”的关系,即要了解每一章节的“总体”所需解决的问题,而且对其中每一具体问题要逐个解决,以达到彻底、全面地对各章内容融会贯通。

以上这些都是电路分析的重要内容。同样的问题,如果概念清楚、方法合适,就会方便、快捷

地解决问题,否则,可能会绕很大的弯路。

#### 4. 循序渐进,由浅入深,善于总结

学习应当循序渐进,由浅入深,不要看不起基础问题,而专挑难题作。实际上,对于基础问题,只要肯下功夫,弄懂吃透,便能起到举一反三,以点带面的作用。应当少中求多,慢中求快,稳扎稳打,稳步前进。

在学习过程中,要做好总结。总结之所以有必要,是因为我们学习电路时,总是一章章、一节一节、一个知识点、一个知识点地学,一个个具体问题去研究的。在考察每个问题时,不得不把它们从总体的联系中抽出来,割断开来加以考察,从它的特殊方面逐个加以研究。因此,对任何具体问题的认识必然是片面的,不完全的,不深刻的,只有对所学过的整个电路问题,加以概括和总结,才能从全局上、总体上,分析不同概念、不同规律、不同方法的发生、发展。不把具体问题放到全局中考察,从它所处的地位去考察,任何一个具体问题都不会弄清楚,因此总结是很重要的。

总结过程,是由多到少,由厚到薄,由个别到一般,由混乱到条理化、系统化的过程。总结就是精炼思想认识,分析问题来龙去脉,相互联系,作出重要结论,形成概念的过程。对于重要结论和公式,要铭记心中,以便随时引用。

学习电路分析,还要理论联系实际,多做题。多演多练是学好电路的基本保证,演算一个题不要得出答案就了事,要回味一下电路的基本概念是如何应用的。好好品味一下基本概念的积极性,这样才能进一步理解基本概念,熟悉电路基本定律(理),掌握解题思路及技巧,提高自己分析问题和解决问题的能力。

# 第一章

## 电路的基本概念和定律

### 第一节 基本要求

对学习本章内容的基本要求如下：

- (1) 了解电路的基本功能及电路模型的概念。
- (2) 深刻理解并掌握电流和电压关联参考方向的意义与应用。
- (3) 深刻理解欧姆定律的物理意义及欧姆定律只适用于线性电阻元件,能根据欧姆定律正确地写出线性电阻元件的伏安关系。
- (4) 深刻理解电功率的定义,能计算电路元件吸收或发出的功率。
- (5) 深刻理解和熟练掌握理想电压源与理想电流源的定义、电路符号、功能、端口上的电压、电流关系及其性质。
- (6) 熟练掌握基尔霍夫定律(KCL 和 KVL)。

### 第二节 重点与难点

了解和掌握电压、电流的参考方向,学习时不要和物理学中的电压、电流的真实方向混淆,弄清两者之间的关系。电阻元件、电压源与电流源的电压电流关系(简称 VCR)非常重要,必须能够深刻理解和灵活应用。基尔霍夫定律是电路理论的基础,对于两定律的理解及灵活应用是今后分析电路的基本依据。

难点:参考方向,功率计算。

### 第三节 内容提要

#### 一、电路模型

实际电路是由一些电气器件或设备按一定方式连接而成。实际电路的主要功能为：

- (1) 进行能量的传输、分配与交换。
- (2) 实现信息的传递与处理。

实际的电气器件或设备虽然种类繁多,但从能量转换规律分析,可以将其用理想化的电路元

件表示,用理想电阻元件描述电能转换热能这一特性,用理想电感元件表现储存磁场能量这一特性,用理想电容元件表现存储电场能量这一特性。电阻、电感和电容是电路的基本模型。

由理想电路元件组合成的模拟实际电路所建立的模型称为电路模型。

## 二、电流的定义及其参考方向

带电粒子或电荷在电场力作用下的定向运动形成电流。

电流:单位时间内通过某一截面的电荷量称为电流,即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

电流的国际单位为安[培],符号为 A。

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向。

电流的参考方向是一种假设方向,因为在很多情况下电流的实际方向是未知的。可任意选定一个方向作为某支路电流的参考方向,用箭头表示在电路图上。规定了参考方向后,电流就是一个代数量,若电流为正值,则电流的实际方向与参考方向一致;若电流为负值,则电流的实际方向与参考方向相反。应注意,在未规定参考方向的情况下,电流的正负号是没有意义的。在正弦交流电路中没有电流参考方向是不能计算的。

## 三、电压、电位的定义及电压的参考方向

a、b 两点间的电压为单位正电荷在电场力的作用下由 a 点转移至 b 点所做的功 dA,即

$$u_{ab} = \frac{dA}{dq}$$

若取电路中任一点为参考点,则由 a 点到参考点的电压称为 a 点的电位  $V_a$ 。因此,a,b 两点之间的电压等于这两点之间的电位差,即

$$u_{ab} = V_a - V_b$$

电压、电位的国际单位是伏[特],符号是 V。

电压的实际方向是高电位点指向低电位点的方向。电压的参考方向可以任意选定,按此参考方向来计算电路,若计算结果  $u > 0$ ,则表示电压的实际方向与参考方向一致;若计算结果  $u < 0$ ,则表示电压的实际方向与参考方向相反。

关于电压和电流的参考方向,需注意:

(1) 在求解电路时,必须首先给出求解过程中所涉及的一切电压、电流的参考方向,并在电路图中予以标出。

(2) 参考方向的指定具有任意性,但一经指定后,在求解过程中不应改变。

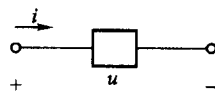


图 1-1 电压、电流取

关联参考方向

(3) 一般来说,同一段电路的电压和电流的参考方向可以各自选定。但为了分析方便,常对一段电路采用关联参考方向,即电流从电压的正极性端流入,并从它的负极性端流出。图 1-1 所示为关联参考方向的示例。

## 四、电功率与电能

### 1. 电功率

电能转换的速率称为电功率,简称功率。

功率的国际单位是瓦[特],符号为 W。

在电压、电流取关联参考方向时(如图 1-1 所示),求该元件的电功率的计算公式为

$$p = ui$$

在电压、电流取非关联参考方向时(如图 1-2 所示),求该元件的电功率的计算公式为

$$p = -ui$$

当计算结果  $P > 0$  时,则该元件实际吸收功率;当计算结果  $P < 0$  时,则该元件实际发出功率。

注意:某元件吸收“正”功率与其发出“负”功率在含义上相同,即两种说法等价。

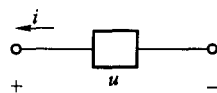


图 1-2 电压、电流取非关联参考方向

## 2. 电能

电能是功率对时间的积分,在从 0 至  $t$  时间内电路吸收的电能为

$$W = \int_0^t p dt = \int_0^t ui dt$$

电能的国际单位为焦[耳],符号为 J。

电能与功率的关系为

$$p = \frac{dw}{dt} = ui$$

## 五、电阻元件

(1) 电阻元件是一个二端元件,其电压与电流的关系,可在  $u-i$  平面上画出称为伏安特性的曲线。

(2) 线性电阻的伏安特性曲线为一条过原点的直线,即满足  $u_R = Ri_R$  的电阻是线性电阻,否则为非线性的。线性电阻的图形符号如图 1-3 所示,国际单位是欧[姆]( $\Omega$ )。线性电阻的特性有时用电导  $G(G = \frac{1}{R})$  表示,国际单位是西[门子](S)。

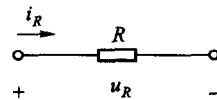


图 1-3 线性电阻元件

(3) 在电压、电流取关联参考方向(如图 1-3 所示)时,用欧姆定律描述电压、电流间的关系的数学表达式为

$$u_R = Ri_R$$

若电压、电流取非关联参考方向时,其关系为

$$u_R = -Ri_R$$

(4) 在电压、电流取关联参考方向时,线性电阻元件吸收的功率为

$$p = u_R i_R = Ri_R^2 = \frac{u_R^2}{R}$$

若电压、电流取非关联参考方向时,线性电阻元件吸收的功率为

$$p = -u_R i_R = R i_R^2 = \frac{u_R^2}{R}$$

(5)  $R = \frac{u}{i}$ , 若  $R > 0$ , 称  $R$  为“正电阻”, 若  $R < 0$ , 则称为“负电阻”。工程实际中可用有源电子器件实现负电阻。正电阻的功率  $p > 0$ , 即它恒为耗能元件; 而负电阻的  $p < 0$ , 即它在电路中是向外输送功率的。

(6) 当电阻器件的电阻  $R \rightarrow \infty$  时, 无论电压  $u_R$  为何值, 电流  $i_R$  恒等于零, 称为开路, 可以用“断路”表示; 当  $R = 0$  时, 无论  $i_R$  为何值, 电压  $u_R$  恒等于零, 称为短路, 电阻元件可用一根短路线替代。

## 六、独立电源

### 1. 电压源

(1) 理想电压源的电路符号如图 1-4(a) 所示, 理想电压源的外特性曲线为一条平行于  $i$  轴的直线, 如图 1-4(b) 所示, 表明电压源的端电压与通过它的电流无关。

(2) 理想电压源与外电路相接时, 流经它的电流及电源的功率由外电路确定。

(3) 在电路中, 电压源可以向外电路发出功率也可从外电路吸收功率。当电压、电流取关联参考方向时, 电压源吸收的功率为  $p = ui$ , 若  $p > 0$ , 电压源实际吸收功率, 若  $p < 0$ , 电压源实际发出功率。

(4) 实际电源的电压源模型如图 1-5(a) 所示, 其外特性为

$$u = u_s - R_S i$$

外特性曲线如图 1-5(b) 所示。

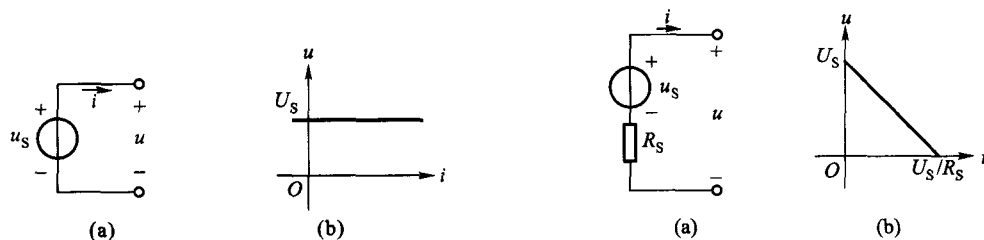


图 1-4 理想电压源的电路符号及其外特性曲线

图 1-5 实际电源的电压源模型及其外特性曲线

### 2. 电流源

(1) 理想电流源的电路符号如图 1-6(a) 所示, 理想电流源的外特性曲线是一条平行于  $u$  轴的直线, 如图 1-6(b) 所示, 即表明电流源的电流与其端电压无关。

(2) 理想电流源与外电路相接时, 其端电压及电源的功率由外电路确定。

(3) 在电路中, 电流源可以向外电路发出功率也可以从外电路吸收功率。

(4) 实际电流源模型如图 1-7(a) 所示, 其外特性为

$$i = i_s - G_S u$$

外特性曲线如图 1-7(b) 所示。

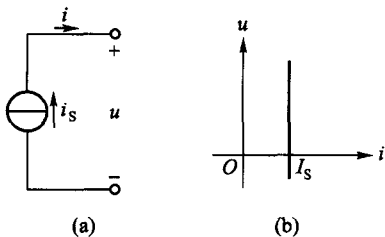


图 1-6 理想电流源的电流及其外特性曲线

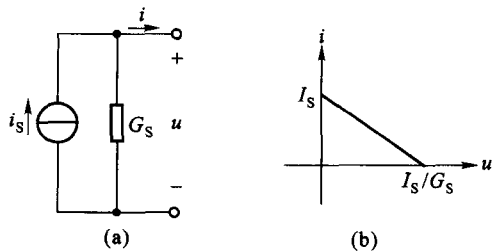


图 1-7 实际电源的电流源模型及其外特性曲线

## 七、基尔霍夫定律

### 1. 电路中的几个专用名词

(1) 支路:一般来说,电路中的每一个二端元件可视为一条支路。但是为了分析和计算上的方便,常常又把电路中流过同一电流的分支称为一条支路。

(2) 节点:一般来说,元件之间的连接点称为节点。但若以电路中流过同一电流的分支作为一条支路,则三条或三条以上支路的连接点才称为节点。

(3) 回路:由支路组成的闭合路径称为回路。

(4) 网孔:将电路画在平面上,内部不含支路的回路称为网孔。

### 2. 基尔霍夫电流定律(KCL)

KCL 的内容是:在指定了各支路电流的参考方向后,流进(或流出)电路中任一节点电流的代数和为零,即  $\sum_{j=1}^n i_j = 0$  ( $n$  为该节点所连的支路数)。KCL 也适用于电路的任一封闭面。

KCL 的基本原理是电流的连续性原理在电路中的体现。

注意:列写 KCL 方程时,应按各项电流的参考方向列写,若将流进节点(封闭面)的电流取正号,则流出节点的电流取负号,反之亦然。

### 3. 基尔霍夫电压定律(KVL)

KVL 的内容是:在指定了各支路电压的参考方向后,沿任一闭合回路绕行一周,各支路电压的代数和为零,即  $\sum_{j=1}^b u_j = 0$  ( $b$  为闭合回路中支路数)。KVL 也适用于电路中的假想回路。

KVL 定律是能量守恒的体现。

注意:列写 KVL 方程时,需首先指定回路的绕行方向(顺时针或逆时针),支路电压的参考方向与绕行方向一致时,支路电压取正,反之取负。

基尔霍夫定律是电路的基本定律,是电路分析的基本依据。只要是集总参数电路,它都是普遍适用的。

## 第四节 典型例题分析

**例 1-1** 有一确定的电路,若如图 1-8(a)所设电流  $I$  的参考方向,选 b 点作为参考点,试计算电流  $I$ ; 电位  $V_a, V_b, V_c$ ; 电压  $U_{ab}, U_{bc}$ 。若再选 c 点作为参考点,试计算电流  $I$ ; 电位  $V_a, V_b$ ,

$V_c$ ; 电压  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ 。

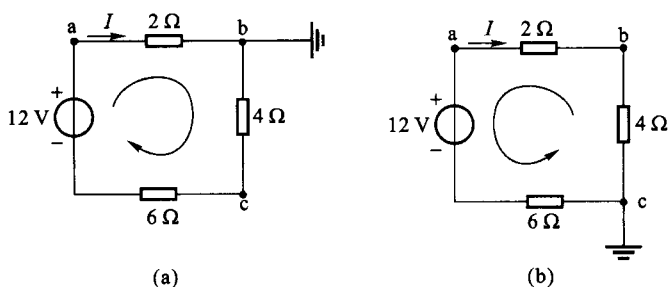


图 1-8 例 1-1 的图

分析：本题是一个单回路电路，由欧姆定律及 KVL 很容易计算出结果，但通过计算所要表述的有关电流、电位、电压更深层次的概念非常重要。

解：在图 1-8(a)所示电路中，按顺时针方向列写 KVL 方程，有

$$2I + 4I + 6I - 12 = 0$$

$$I = 1 \text{ A}$$

根据电位的定义并应用欧姆定律，可求得

$$V_a = 2I = 2 \text{ V}$$

$$V_b = 0$$

$$V_c = -4I = (-4 \times 1) \text{ V} = -4 \text{ V}$$

应用电压概念，得

$$U_{ab} = V_a - V_b = (2 - 0) \text{ V} = 2 \text{ V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = [0 - (-4)] \text{ V} = 4 \text{ V}$$

在图 1-8(b)所示电路中，按逆时针方向列写 KVL 方程，有

$$12 - 6I - 4I - 2I = 0$$

$$I = 1 \text{ A}$$

电位为

$$V_a = 2I + 4I = 6 \text{ V}$$

$$V_b = 4I = 4 \text{ V}$$

$$V_c = 0$$

电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b = (6 - 4) \text{ V} = 2 \text{ V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = (4 - 0) \text{ V} = 4 \text{ V}$$

评注：通过本题的计算，对电流、电位、电压的概念可以归纳出几点带有共性的结论：

- (1) 电路中电流数值的正与负与参考方向密切相关，参考方向设的不同，计算结果仅差一负号。
- (2) 电路中各点电位数值根据所选参考点的不同而改变，若参考点一经选定，则各点的电位数值就惟一的。
- (3) 电路中任意两点之间的电压数值与参考点的选择无关。

**例 1-2** 求图 1-9(a) 所示电路中 1.4 V 电压源发出的功率  $P_1$  和 0.5 A 电流源发出的功率  $P_2$ 。

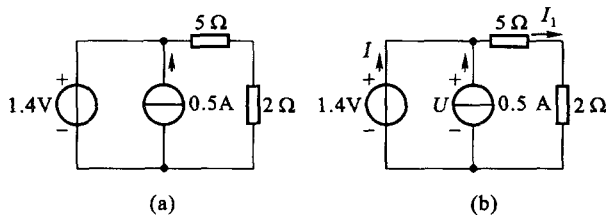


图 1-9 例 1-2 的图

**分析：**求一段电路吸收或产生的功率关键是要求出其两端的电压及其流过的电流。求电压源的功率须先设电压源中的电流  $I$ ，设法求出  $I$ ；求电流源的功率须先设电流源两端的电压  $U$ ，设法求出  $U$ 。

**解：**设电压源中的电流、电阻支路的电流和电流源两端的电压分别为  $I, I_1$  和  $U$ ，参考方向如图 1-9(b) 所示。

根据 KVL,  $I_1$  可直接求解，由 KCL 可求出  $I$

$$I_1 = \frac{1.4}{5+2} \text{ A} = 0.2 \text{ A}$$

根据 KCL, 有

$$\begin{aligned} -I - 0.5 + I_1 &= 0 \\ I &= I_1 - 0.5 = (0.2 - 0.5) \text{ A} = -0.3 \text{ A} \\ U &= 1.4 \text{ V} \end{aligned}$$

1.4 V 电压源的功率为

$$P_1 = -UI = -1.4 \times (-0.3) \text{ W} = 0.42 \text{ W} > 0 \quad (\text{实际吸收功率})$$

1.4 V 电压源发出的功率为  $-0.42 \text{ W}$ 。

0.5 A 电流源的功率为

$$P_2 = -U \times 0.5 = -1.4 \times 0.5 \text{ W} = -0.7 \text{ W} < 0 \quad (\text{实际发出功率})$$

0.5 A 电流源发出的功率为  $0.7 \text{ W}$ 。

**评注：**求电源功率时，首先应求解出电流源的电压及电压源的电流，然后按题中要求套用前面第三节四、介绍的功率计算公式计算，关键应清楚电源有时也吸收功率。

**例 1-3** 电路如图 1-10(a) 所示，求 10 V 电压源发出的功率。

**分析：**此题电路虽较复杂，但针对待求量需求出 10 V 电压源的电流  $I_1$ ，依据基尔霍夫电压定律和欧姆定律先求出  $I_2$ ，再对节点①应用基尔霍夫电流定律即可求出  $I_1$ 。

**解：**给出所需各支路电流的参考方向如图 1-10(b) 所示，根据 KVL 及欧姆定律，有

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{10-6}{8} \text{ A} = 0.5 \text{ A} \\ I_3 &= \frac{10}{10} \text{ A} = 1 \text{ A} \end{aligned}$$

对节点①应用 KCL, 有