



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

电路基本分析 (第3版) 学习指导

刘青松 王国枝 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

电路基本分析(第3版) 学习指导

Dianlu Jiben Fenxi (Di-san Ban) Xuexi Zhidao



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育），是《电路基本分析》（第3版）（石生主编，2008年高等教育出版社出版）的配套学习指导。全书内容共10章：电路的基本概念和定律、电路分析的等效变换法、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及分析问题、解决问题的能力与基本的运算能力。

本书可作为正在学习“电路基本分析”课程的高职高专、成人高等学校以及民办高等学校电力技术类、自动化类、电子信息类和通信类等各专业学生课程指导、复习用书，也可为相关本科专业及其他专业、有关科技人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基本分析（第3版）学习指导 /刘青松，王国枝主编. —北京：高等教育出版社，2011.5
ISBN 978-7-04-031472-4

I. ①电… II. ①刘…②王… III. ①电路分析-高等学校：技术学校-教学参考资料 IV. ①TM133
中国版本图书馆 CIP数据核字（2011）第 026458号

策划编辑 孙 杰	责任编辑 王莉莉	封面设计 张志奇	责任绘图 杜晓丹
版式设计 马敬茹	责任校对 杨凤玲	责任印制 尤 静	

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街4号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京宏信印刷厂	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787×1092 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	15.25	版 次	2011年5月第1版
字 数	360 000	印 次	2011年5月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	24.80 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 31472-00

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育),是《电路基本分析》(第3版)(石生主编)的配套学习指导教材,是根据《教育部关于以就业为导向 深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,为加强教材建设,提高课程教学质量,以《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》为宗旨,结合“电路基本分析”课程的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与上述基本要求一致。

“电路基本分析”是电力技术类、自动化类、电子信息类等相关专业共同开设的一门重要的专业技术课。教学实践表明,学生除了接受基本的课堂教学以外,有选择地研读一些学习参考教材,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,培养科学思维能力,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,还考虑现代电子科技日新月异的发展、面向21世纪电工系列课程改革的趋势和潮流及取得的新成果,我们在多年的教学实践基础上,紧密结合《电路基本分析》(第3版)(石生主编)教材,编写了这本《电路基本分析(第3版)学习指导》。

本书共分10章,覆盖课程基本要求的全部内容。每章均按基本要求、重点与难点、内容提要、典型例题分析四个模块编写。

(1)“基本要求”简要介绍本章学习内容的目的和要求。

(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”简明归纳了每章的核心内容。例如,第2章讲述的电路分析的等效变换法,将各个定理的基本内容,使用的范围、条件,应用中注意的问题作了简要归纳;再如,第3章讲述的电路分析的网络方程法,将电路的各种分析方法、解算问题的步骤、方程通式、选用时机等作了充分归纳总结。该模块还明确了本章内容的主要概念。

(4)“典型例题分析”是本书重点内容,是全书的精华,它是编者多年在该课程教学中的经验、体会的总结。例题大部分选自主教材的课后习题,体现了与主教材配套使用的特点。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。有的例题是运用基本概念求解的;有的例题是使用多种方法巧妙结合求解的;有的例题是编者在几十年教学实践中遇到的各届学生发问多、难度大的题目。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。书中题号前带“*”号,表示该题为知识拓展和加深题。

近年来,随着各高校办学规模的扩大,招生人数的逐年增加,入校学生的基础参差不齐,而多数新的教学计划中课程学时压缩,课内讲授中举例及习题讨论课会有所削弱。因此编写这本教材的目的之一就是补充行之有效的习题讨论课的内容。在本书中还讲述了一些不便在有限学时数内展开讲授而对学生又带有启发、联想、引申问题的内容。这些内容对学生加深基本概念理

解,熟练掌握分析方法,逐步培养分析问题、解决问题的能力都是非常有益和必要的。

本书第1、2、3章由嘉兴学院刘青松编写;第4、5、6、7章由太原电力高等专科学校王国枝编写;第8章由太原电力高等专科学校张建宏编写;第9章由嘉兴学院王璇编写;第10章由太原电力高等专科学校王晓峰编写。全书由刘青松、王国枝共同统稿。

本书承蒙太原电力高等专科学校韩肖宁教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写的过程中还得到了太原电力高等专科学校副校长石生教授、田震教授,嘉兴学院曹泰斌教授、侯锐教授等许多专家、教授和同行的帮助,编者一并表示感谢,同时还要诚挚地感谢编者所有同事多年来的关心和支持。

由于编写水平有限,时间紧迫,所以书中如有不足或错误,恳请读者批评指正。

编 者
2010年8月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和定律	1
1.1 基本要求	1
1.2 重点与难点	1
1.3 内容提要	1
1.4 典型例题分析	6
第 2 章 电路分析的等效变换法	13
2.1 基本要求	13
2.2 重点与难点	13
2.3 内容提要	13
2.4 典型例题分析	24
第 3 章 电路分析的网络方程法	39
3.1 基本要求	39
3.2 重点与难点	39
3.3 内容提要	39
3.4 典型例题分析	44
第 4 章 正弦交流电路	57
4.1 基本要求	57
4.2 重点与难点	57
4.3 内容提要	58
4.4 典型例题分析	69
第 5 章 谐振与互感电路	94
5.1 基本要求	94
5.2 重点与难点	94
5.3 内容提要	94
5.4 典型例题分析	107
第 6 章 三相电路	125
6.1 基本要求	125
6.2 重点与难点	125
6.3 内容提要	125
6.4 典型例题分析	132
第 7 章 非正弦周期电流电路	150
7.1 基本要求	150
7.2 重点与难点	150
7.3 内容提要	150

7.4 典型例题分析	153
第 8 章 动态电路的时域分析	167
8.1 基本要求	167
8.2 重点与难点	167
8.3 内容提要	167
8.4 典型例题分析	176
第 9 章 动态电路的复频域分析	195
9.1 基本要求	195
9.2 重点与难点	195
9.3 内容提要	195
9.4 典型例题分析	201
第 10 章 二端口网络	218
10.1 基本要求	218
10.2 重点与难点	218
10.3 内容提要	218
10.4 典型例题分析	225
参考文献	237

第 1 章 电路的基本概念和定律

1.1 基本要求

- (1) 了解电路的基本功能,理解电路模型的概念。
- (2) 理解电流、电压、电位、电功率及能量的定义。
- (3) 掌握电流、电压参考方向的概念。
- (4) 掌握功率的计算,正确理解功率的吸收或发出与电压、电流参考方向的关系,能熟练计算出电路元件吸收或发出的功率。
- (5) 掌握电阻元件、独立电压源、独立电流源的定义、特点及其端口上的电压、电流关系。
- (6) 理解基尔霍夫定律(KCL 和 KVL)的内容、实质,掌握利用 KCL、KVL 列方程的方法。

1.2 重点与难点

重点:正确理解电压、电流的参考方向;引入电压、电流参考方向的概念后,正确使用欧姆定律,并清楚元件吸收或发出的功率计算;电阻元件、理想电压源、理想电流源的特点及其端口的伏安关系;应用基尔霍夫定律列方程的方法。

难点:元件功率的吸收或发出与电压、电流参考方向的关系;基尔霍夫定律的灵活运用。

1.3 内容提要

一、电路模型

实际电路是由各种实际电气、电子器件按一定方式连接而成。实际电路的主要功能为:

- (1) 进行能量的产生、传输、分配与转换。
- (2) 实现信息的产生、传递、变换、处理与控制。

实际的电气器件种类繁多,功能各异,但从能量转换角度考虑,可以将其用具有单一电磁性质的理想化电路元件表示,具体有:电阻元件——描述消耗电能这一电磁特性;电感元件——描述储存磁场能量这一电磁特性;电容元件——描述储存电场能量这一电磁特性。电阻、电感和电容是三种基本的负载元件模型。

将理想的负载元件模型和电源模型用理想的导线按一定方式连接起来就构成电路模型。

二、电流及其参考方向

电荷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。即

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

电流的国际单位是安[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,任意选定。

由于电路复杂,电流方向难定;交流电路,电流方向瞬变,因此引入参考方向,即任意选定一个方向作为某支路电流的参考方向,用实线箭头标示在电路图上,表示此为电流的参考方向。规定了参考方向后,电流就是一个代数量。在参考方向下进行计算,若计算结果为正值,则电流的实际方向与参考方向一致;若计算结果为负值,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,且无法进行计算。以后电路中电流的方向均为参考方向。

三、电压、电位及电压的参考方向

单位正电荷在电场力的作用下由 a 点移到 b 点电场力所做的功,称为 a、b 两点间的电压,记为 u_{ab} ,即

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

若取电路中任一点 o 为参考点,则由 a 点到参考点 o 的电压称为 a 点的电位,记为 V_a ,参考点的电位为 0。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],符号为 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,用实线箭头或正负极性标示在电路图上,为了与电流的参考方向区别,电压的参考方向多用极性表示。按此参考方向计算,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。

对一段电路或某一元件,若电压、电流的参考方向相同,称为关联参考方向,如图 1-1(a)所示;若不同,称为非关联参考方向,如图 1-1(b)所示。

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) 参考方向可以任意确定,但一经确定后,求解过程中始终不应改变。

(3) 理论上,电压和电流的参考方向可以任意指定。但为了分析方便,常对无源元件采用关联参考方向,对电源采取非关联参考方向。

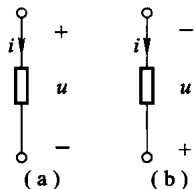


图 1-1 电压、电流的参考方向关系

四、电功率与电能

1. 电功率

单位时间内吸收(或发出)的能量称为吸收(或发出)电功率,简称功率。即

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

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,该元件吸收的电功率为 $p = ui$

该元件发出的电功率为 $p = -ui$

在电压、电流取非关联参考方向时,该元件发出的电功率为 $p = ui$

该元件吸收的电功率为 $p = -ui$

可见,元件吸收功率或发出功率的计算,只与电压、电流的参考方向有关,与在此参考方向下计算出的数值的正负无关。当计算出的结果 $p_{\text{吸}} > 0$ 时,则该元件实际吸收功率; $p_{\text{吸}} < 0$ 时,则该元件实际发出功率;当计算结果 $p_{\text{发}} > 0$ 时,则该元件实际发出功率; $p_{\text{发}} < 0$ 时,则该元件实际吸收功率。

2. 电能

电能是功率对时间的积分。从 $t_0 \sim t$ 时间内电路吸收的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt$$

电能的国际单位是焦[耳],符号为 J。

工程上,电能的单位经常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)表示,俗称 1 度电,即

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$$

五、电阻元件

1. 电阻元件定义

任意时刻,伏-安($u-i$)平面上的一条曲线确定的二端元件,称为电阻元件。此曲线称为电阻元件的伏安特性曲线。电压与电流的约束关系,简称 VCR。

2. 线性时不变电阻元件(简称线性电阻)

线性电阻元件的图形符号如图 1-2 所示。

伏安特性曲线为过原点的一条直线,即电压正比于电流,比例系数定义为电阻参数 R 。

VCR 关系:在 u, i 取关联参考方向时

$$u_R = Ri_R$$

若 u, i 取非关联参考方向时

$$u_R = -Ri_R$$

电阻 R 的国际单位是欧[姆],符号为 Ω 。

线性电阻有时也用电导 G 表示,定义

$$G = \frac{1}{R}$$

此时 VCR 关系:在 u, i 取关联参考方向时

$$i_R = Gu_R$$

若 u, i 取非关联参考方向时

$$i_R = -Gu_R$$

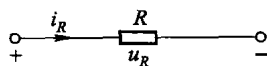


图 1-2 线性电阻元件的图形符号

电导 G 的国际单位是西[门子], 符号为 S 。

3. 功率

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

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

在电压、电流取非关联参考方向时, 线性电阻元件吸收的功率为

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

4. $R > 0, R < 0$

若 $R > 0$, 称为正电阻。正电阻吸收的功率恒大于零, 表明正电阻在电路中始终消耗功率, 为耗能元件。若 $R < 0$, 称为负电阻。负电阻吸收的功率恒小于零, 表明负电阻在电路中向外输送功率, 充当电源的作用, 工程实际中可用有源电子器件实现负电阻。

5. 特例

当电阻 $R = \infty$ 时, 电流 $i_R = 0$, 称为开路, 此时电压 u_R 可为任意值, 此值由外电路来确定; 当电阻 $R = 0$ 时, 电压 $u_R = 0$, 称为短路, 此时电流 i_R 可为任意值, 此值由外电路来确定。

六、独立电源

1. 电压源

(1) 理想电压源的图形符号如图 1-3(a) 所示。

端口的伏安关系式为

$$u = u_s$$

直流理想电压源的伏安特性曲线如图 1-3(b) 所示, 为一条平行于 i 轴的直线, 表明电压源的端电压与通过它的电流的大小无关。

(2) 理想电压源的特点: 输出的电压由电源本身决定, 与外电路无关; 流过它的电流是任意的, 由外电路确定。

(3) 当电压、电流取非关联参考方向时, 如图 1-3(a) 所示, 电压源发出的功率为 $p = u_s i$ 。若 $p > 0$, 电压源实际发出功率; 若 $p < 0$, 电压源实际吸收功率。

在电路中, 电压源吸收功率是确实存在的, 此时它充当其他电源的负载。

(4) 实际电源的电压源模型如图 1-4(a) 所示, 其端口伏安关系式为

$$u = u_s - R_s i$$

伏安特性曲线如图 1-4(b) 所示。

由图可以看出, 实际电压源输出的电压随端口电流的增大而减小。电流越大, 内阻 R_s 上的压降越大, 输出的电压越小。

2. 电流源

(1) 理想电流源的图形符号如图 1-5(a) 所示。

端口的伏安关系式为

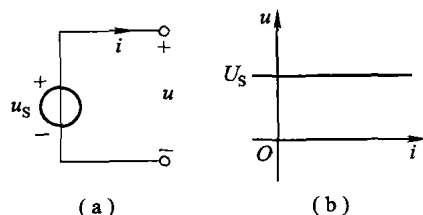


图 1-3 独立电压源的图形符号及其伏安特性曲线

$$i = i_s$$

直流理想电流源的伏安特性曲线如图 1-5(b) 所示, 是一条平行于 u 轴的直线。即表明电流源的电流与其两端的电压大小无关。

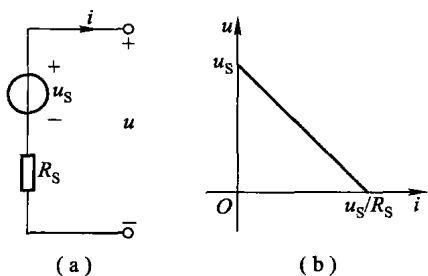


图 1-4 实际电源的电压源模型及其伏安特性曲线

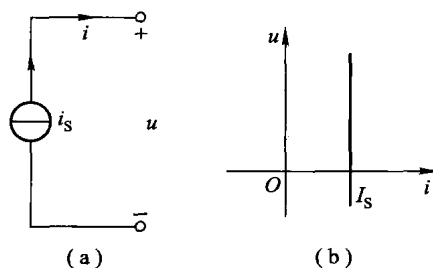


图 1-5 理想电流源的图形符号及其伏安特性曲线

(2) 理想电流源的特点: 输出的电流由电源本身决定, 与外电路无关; 两端的电压是任意的, 由外电路确定。

(3) 当电压、电流取非关联参考方向时, 如图 1-5(a) 所示, 电流源发出的功率为 $p = i_s u$ 。若 $p > 0$, 电流源实际发出功率; 若 $p < 0$, 电流源实际吸收功率。

在电路中, 电流源吸收功率是确实存在的, 此时它充当其他电源的负载。

(4) 实际电流源模型如图 1-6(a) 所示, 其端口伏安关系式为

$$i = i_s - G_s u$$

伏安特性曲线如图 1-6(b) 所示。

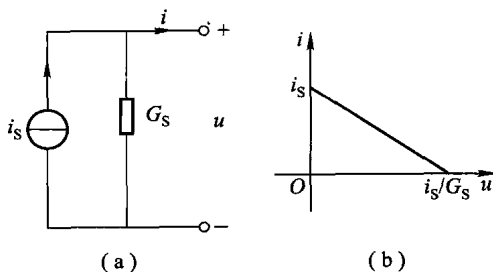


图 1-6 实际电源的电流源模型及其伏安特性曲线

由图 1-6 可以看出, 实际电流源输出的电流随端口电压的增大而减小。电压越大, 内导 G_s 上的分流越大, 输出的电流越小。

七、基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫电流定律(简称 KCL)

KCL 内容的几种形式:

(1) 任意时刻, 对任意节点或封闭面, 流入(或流出)的各支路电流代数和为零, 即

$$\sum i = 0$$

若流入电流取正, 流出电流就取负; 若流出电流取正, 流入电流就取负。

(2) 任意时刻,对任意节点或封闭面,流入的各支路电流和等于流出的各支路电流和,即

$$\sum i_{\lambda} = \sum i_{\text{出}}$$

KCL 的实质:电荷守恒,电流连续。

使用时注意:列写 KCL 方程时,应先指定各支路电流的参考方向,然后选节点或封闭面,再列方程。

2. 基尔霍夫电压定律(简称 KVL)

KVL 的内容:任意时刻,沿着电路中任一闭合回路,所有元件电压的代数和为零,即

$$\sum u = 0$$

KVL 推广:适用于电路中的假想回路。即电路中任意两点之间的电压 u_{ab} 等于从 a 点找一条路径到 b 点所有元件电压的代数和,和绕向一致的电压取正,不一致的电压取负。

KVL 实质:能量守恒的体现。

使用时注意:列写 KVL 方程时,需首先选定回路,指定回路的绕行方向(顺时针或逆时针),给出支路(或元件)电压的参考方向,再列方程,若电压的参考方向与绕行方向一致,电压取正,反之取负。

3. 关于基尔霍夫定律的几点说明

(1) KCL 对电路中任意节点或封闭面的各支路电流施加了线性约束;KVL 对回路元件电压施加了线性约束。

(2) KCL、KVL 的列写只与电路的连接关系有关,与电路元件的性质无关。

(3) 元件在电路中,不仅受 KCL、KVL 这种连接关系上的约束,而且还受本身电压、电流关系(即 VCR)的约束。

(4) 基尔霍夫定律是集总参数电路普遍适用的基本定律,在任意时刻均成立。其与元件电压、电流的关系是电路分析的基本依据。

1.4 典型例题分析

例 1-1 在图 1-7(a) 所示电路中,有 A、B 两个元件,B 元件吸收的功率为 $P_B = 12 \text{ W}$, 电流 $I = 2 \text{ A}$, 试标出两元件电压的参考方向并计算其代数值和 P_A 。

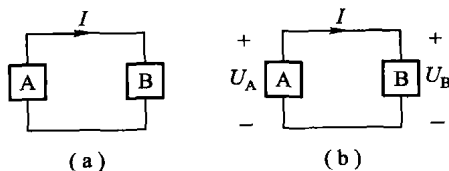


图 1-7 例 1-1 图

分析:电压、电流的参考方向可以任意标出,若二者方向相同,即为关联参考方向,则 $p = ui$ 表示元件吸收功率, $p = -ui$ 表示元件发出功率;若二者方向相反,即为非关联参考方向,则 $p = ui$ 表示元件发出功率, $p = -ui$ 表示元件吸收功率。

解:两元件电压的参考方向如图 1-7(b) 所示。

对于 B 元件, U_B 和 I 方向相同, 则 $P_{B吸} = U_B I = 12 \text{ W}$

$$U_B = \frac{12}{I} = \frac{12}{2} \text{ V} = 6 \text{ V}$$

由能量守恒可知, 元件 A 发出功率 $P_{A发} = 12 \text{ W}$

因为 U_A 和 I 方向相反, 所以

$$P_{A发} = U_A I = 12 \text{ W}$$

则

$$U_A = \frac{12}{I} = \frac{12}{2} \text{ V} = 6 \text{ V}$$

评注: 元件功率的吸收与发出, 仅与 u 、 i 的参考方向有关, 与数值的正负无关; 而元件实际吸收还是发出功率, 要依计算结果的正负来确定。

例 1-2 各元件如图 1-8 所示。(1) 图(a)中, 若元件吸收功率为 10 W , 求 U ; (2) 图(b)中若元件吸收功率为 10 W , 求 I ; (3) 求图(c)中元件发出的功率; (4) 求图(d)中元件吸收的功率。

分析: 进一步理解功率的吸收与发出与元件电压、电流参考方向之间的关系。

解: (1) 图(a)中, 电压、电流参考方向关联, 所以元件吸收功率

$$P_{吸} = U \times 5 = 10 \text{ W}$$

$$U = \frac{10}{5} \text{ V} = 2 \text{ V}$$

(2) 图(b)中, 电压、电流参考方向非关联, 所以元件吸收功率

$$P_{吸} = -(-4) \times I = 10 \text{ W}$$

$$I = \frac{10}{4} \text{ A} = 2.5 \text{ A}$$

(3) 图(c)中, 电压、电流参考方向关联, 所以元件发出功率

$$P_{发} = -10 \times 10^{-3} \times (-5) \times 10^{-3} \text{ W} = 5 \times 10^{-5} \text{ W}$$

(4) 图(d)中, 电压和电流的参考方向关联, 所以元件吸收功率

$$P_{吸} = (-6) \times (-2 \times 10^{-3}) \text{ W} = 12 \times 10^{-3} \text{ W}$$

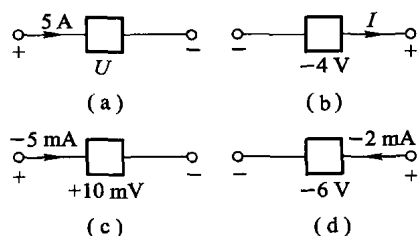


图 1-8 例 1-2 图

例 1-3 在图 1-9 中, 试比较 a、c 两点电位的高低。(1) b、c 两点用导线连接; (2) b、d 两点接地; (3) 两条支路不相连。

分析: 由电位、电压的概念和电位与电压之间的关系可以很容易计算出结果。

解: (1) b、c 两点用导线连接, 若选 d 点为参考点, 则

$$c \text{ 点电位} \quad V_c = U_{cd} = 3 \text{ V}$$

$$a \text{ 点电位} \quad V_a = U_{ad} = (2+3) \text{ V} = 5 \text{ V}$$

所以 $V_a > V_c$ 。

(2) b、d 两点接地, 则 $V_b = V_d = 0$ (取“接地点”为参考节点), 则

$$a \text{ 点电位} \quad V_a = U_{ab} = 2 \text{ V}$$

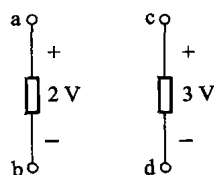


图 1-9 例 1-3 图

c 点电位

$$V_c = U_{cd} = 3 \text{ V}$$

所以 $V_c > V_a$ 。

(3) 两条支路不相连,选不出一个公共的参考点,故无法比较 a、c 两点电位的高低。

评注:

电位、电压的联系与区别:

(1) “电位”针对电路中某点而言,等于某点到参考点之间的电压。电位的高低与参考点的选择有关;一个电路中,只能选择一个参考节点,并且始终不能改变。

(2) 电路中两点之间的电压是确定的,与参考点的选择没有关系。

例 1-4 图 1-10 所示电路中,已知 $U_s = 20 \text{ V}$, $I_s = 7 \text{ A}$, $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$,求 R_1 和 R_2 消耗的功率。

分析:电阻元件在电路中是消耗电能、吸收功率的无源元件。在电阻值已知时,求出其流过电流或其两端电压,均可以计算出吸收功率。

解: R_1 流过的电流为理想电流源电流 I_s ,故

$$R_1 \text{ 消耗的功率 } P_1 = I_s^2 R_1 = 7^2 \times 100 \text{ W} = 4900 \text{ W}$$

R_2 两端的电压为理想电压源电压 U_s ,故

$$R_2 \text{ 消耗的功率 } P_2 = \frac{U_s^2}{R_2} = \frac{20^2}{200} \text{ W} = 2 \text{ W}$$

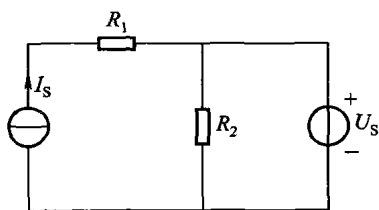


图 1-10 例 1-4 图

评注:

(1) 理想电压源的特点:其端电压是确定的,由电源本身决定,与外接电路无关;而其流过电流可以是任意的,由外电路决定。

(2) 理想电流源的特点:其流过电流是确定的,由电源本身决定,与外接电路无关;而其两端电压可以是任意的,由外电路决定。

例 1-5 计算图 1-11 所示电路中电阻上电压和两电源发出的功率。

分析:由电阻元件的 VCR 关系式求出电阻上电压,其 VCR 关系式的正、负取决于电压、电流的参考方向。正确理解理想电压源、电流源的特点是本题分析的关键。

解:如图 1-11 所示电路可知 $I = 4 \text{ A}$

$$\text{由欧姆定律知 } U_R = -5I = -5 \times 4 \text{ V} = -20 \text{ V}$$

$$\text{由 KVL 定律知 } U = -U_R + 6 = (20 + 6) \text{ V} = 26 \text{ V}$$

所以,6 V 电压源发出功率 $P_1 = -6I = -6 \times 4 \text{ W} = -24 \text{ W}$ (实际为吸收功率)

4 A 电流源发出功率 $P_2 = 4U = 4 \times 26 \text{ W} = 104 \text{ W}$ (实际为发出功率)

评注:计算理想电源的功率,应首先标出流过理想电压源电流和理想电流源端电压的参考方向,然后由外电路计算其代数值,再计算电源吸收或发出的功率。此功率可正可负,说明理想电源可以对电路提供能量,起电源的作用,也可以从外电路吸收能量,充当其他电源的负载。

例 1-6 求图 1-12(a) 中的 I 、 U_1 、 U_2 。

分析:进一步理解理想电压源和电流源的特点,运用 KCL、KVL 及欧姆定律计算此题。

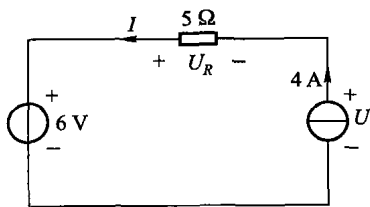


图 1-11 例 1-5 图

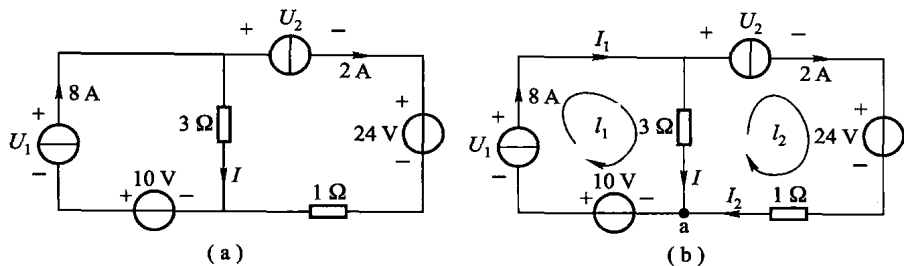


图 1-12 例 1-6 图

解:如图 1-12(b)所示, $I_1 = 8 \text{ A}$, $I_2 = 2 \text{ A}$

对节点 a 应用 KCL 定律,则

$$I_1 = I + I_2$$

$$I = I_1 - I_2 = (8 - 2) \text{ A} = 6 \text{ A}$$

对回路 l_1 应用 KVL 定律,则 $U_1 = 3I - 10 = (3 \times 6 - 10) \text{ V} = 8 \text{ V}$

对回路 l_2 应用 KVL 定律,则 $U_2 = 3I - 1 \cdot I_2 - 24 = (3 \times 6 - 1 \times 2 - 24) \text{ V} = -8 \text{ V}$

评注:KCL 和 KVL 是集总参数电路任何时刻都使用的基本定律。

(1) KCL 对电路中支路电流给以约束,KVL 对电路中元件电压给以约束。

(2) KCL 不仅适合于节点,而且适合于封闭面;KVL 是对电路中任意封闭面列写。

(3) KCL 使用时,应首先指定各支路电流参考方向,然后选定节点或封闭面,根据流入电流的代数和为零或流出电流的代数和为零列写代数方程,也可用流入的和等于流出的和来列写。

(4) KVL 使用时,应首先选定网孔或回路,确定绕向,给出元件电压的参考方向,再列写代数方程,元件电压的参考方向与绕向一致取正,不一致取负。

(5) KVL 可以推广到求电路中两点之间的电压。如需计算 a、b 之间的电压 U_{ab} ,其等于从 a 点找一条路径到 b 点所有元件电压的代数和。两点之间的电压是确定的,与选择的路径无关。

例 1-7 如图 1-13(a) 所示电路,(1) 仅用 KCL 求各元件电流;(2) 仅用 KVL 求各元件电压;(3) 求各电源发出的功率。

解:各条支路电流和各元件电压参考方向如图(b)所示。

(1) 应用 KCL 定律

$$I_1 = 2 \text{ A}$$

$$I_4 = -3 \text{ A}$$

$$I_5 = 4 \text{ A}$$

$$I_2 = I_1 + I_5 = (2 + 4) \text{ A} = 6 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 + I_4 - I_2 = (2 - 3 - 6) \text{ A} = -7 \text{ A}$$

(2) 应用 KVL 定律

$$U_4 = 2I_1 = 2 \times 2 \text{ V} = 4 \text{ V}$$

$$U_1 = U_4 + 15 = (4 + 15) \text{ V} = 19 \text{ V}$$

$$U_3 = (-3 + 15 + 4) \text{ V} = 16 \text{ V}$$

$$U_2 = (-12 + 3) \text{ V} = -9 \text{ V}$$

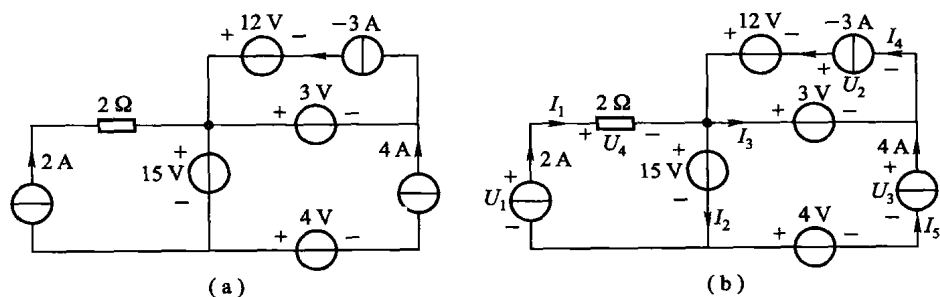


图 1-13 例 1-7 图

(3) 2 A 电流源发出功率

$$P_1 = 2U_1 = 2 \times 19 \text{ W} = 38 \text{ W}$$

15 V 电压源发出功率

$$P_2 = -15I_2 = -15 \times 6 \text{ W} = -90 \text{ W} \text{ (实际吸收 } 90 \text{ W)}$$

4 V 电压源发出功率

$$P_3 = -4I_5 = -4 \times 4 \text{ W} = -16 \text{ W} \text{ (实际吸收 } 16 \text{ W)}$$

4 A 电流源发出功率

$$P_4 = 4U_3 = 4 \times 16 \text{ W} = 64 \text{ W}$$

3 V 电压源发出功率

$$P_5 = -3I_3 = -3 \times (-7) \text{ W} = 21 \text{ W}$$

12 V 电压源发出功率

$$P_6 = 12I_4 = 12 \times (-3) \text{ W} = -36 \text{ W} \text{ (实际吸收 } 36 \text{ W)}$$

-3 A 电流源发出功率

$$P_7 = -3U_2 = -3 \times (-9) \text{ W} = 27 \text{ W}$$

评注:利用 KVL 计算元件电压时,关键是找出与求解电压相应的回路,此回路中,其他元件电压应已知。有时能找出多个回路来求解某一电压,所以,求解方法不唯一,但结果唯一。下面一题即为这种情况。

例 1-8 如图 1-14(a) 所示电路中,已知各点电位 $V_1 = 20 \text{ V}$, $V_2 = 12 \text{ V}$, $V_3 = 18 \text{ V}$,试求各支路电流。

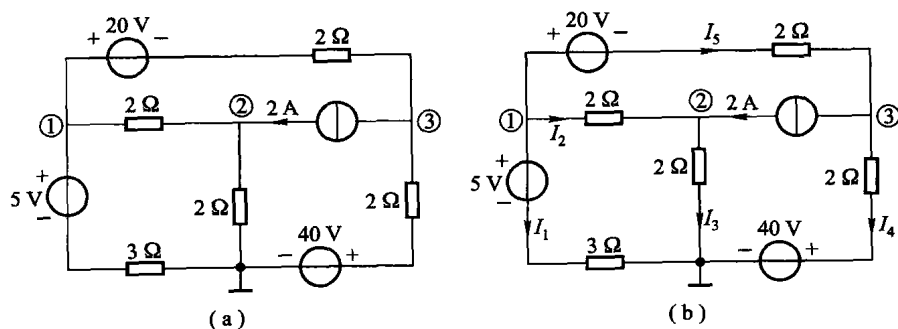


图 1-14 例 1-8 图

解:各支路电流参考方向如图(b)所示。

因为 $V_2 = 12 \text{ V}$, 所以

$$2I_3 = 12$$

$$I_3 = 6 \text{ A}$$

对节点②应用 KCL 定律有

$$I_2 = I_3 - 2 = (6 - 2) \text{ A} = 4 \text{ A}$$