

与邱关源主编《电路》（第5版）配套，提供全书习题解答

电路

高效学习指导

— 助教 — — 助学 — — 助记 — — 助考 —

王竹萍 张涛 黄昆 编著
齐超 主审

高等教育出版社

思维导图

帮助记忆

与邱关源主编《电路》(第5版)配套,提供全书习题解答

电路高效学习指导

Dianlu Gaoxiao Xuexi Zhidao

助教 助学 助记 助考

王竹萍 张 涛 黄 昆 编著
齐 超 主审

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是邱关源主编、罗先觉修订的《电路》(第5版)教材的配套学习辅导书,旨在应用思维导图对电路分析课程知识体系进行梳理、归纳、总结和解题指导。本书强调基本概念、基本理论和基本方法的正确理解和灵活运用,以帮助学生准确掌握电路课程的知识要点和基本的分析方法。主要内容有:电路基本概念、基本定律、电路元件、电路的分析方法、正弦交流电路、电路暂态过程的时域分析与复频域分析、非正弦周期电流电路、二端口网络、网络图论基础知识与电路方程矩阵、非线性电路及均匀传输线。

书后附录B中附有各章的彩色电路思维导图。每章的思维导图呈现了该章知识要点的“全景图”。此图既能帮助学生有效学习、快速记住电路知识要点、提高学习效率、轻松备考;又能辅助教师备课,快速、有效地进行课堂教学。

本书可供高等学校电子与电气信息类专业师生作为电路分析课程的参考教材,以及考试、考研的复习用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路高效学习指导 / 王竹萍, 张涛, 黄昆编著. --
北京: 高等教育出版社, 2015. 10
ISBN 978 - 7 - 04 - 041256 - 7

I. ①电… II. ①王… ②张… ③黄… III. ①电路 -
高等学校 - 教学参考资料 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 244501 号

策划编辑 王勇莉
插图绘制 尹文军

责任编辑 孙琳
责任校对 张小镝

封面设计 李卫青
责任印制 朱学忠

版式设计 范晓红

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 100120
印 刷 高教社(天津)印务有限公司
开 本 889mm × 1194mm 1/16
印 张 19
字 数 700千字
插 页 12
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2015年10月第1版
印 次 2015年10月第1次印刷
定 价 38.70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 41256 - 00

前 言

编写此书的主要目的是为了指导学生高效率地学习电路课程。电路课程因为理论性强,常被认为是枯燥、难学的课程。作者改革传统电路教学与学习模式,成功地将思维导图应用于高校电路课程多媒体教学中,是一种全新的尝试,且课堂效果俱佳。该教学模式自始至终围绕思维导图进行,倡导学生不要一行一行地作线性笔记,而是画思维导图。作者用思维导图放射性的思维方式去梳理、归纳、总结电路课程的基本内容,使一个个零散的知识点按照一定的关系用图形、公式和关键词相互联系起来,精心设计创作并绘制出彩色电路思维导图——电路知识要点的“全景图”,以帮助学生更有效地学习和更快速地记忆整本书的要点。因目前流行的绘制思维导图的工具软件制作出的思维导图视觉效果欠佳,所以本书中的电路思维导图全部为计算机辅助手工绘制,极具个性化。

全书共分18章,第1~17章由三部分组成(第18章仅给出习题与解答部分):

内容提要:以表格为主、图解说明为辅的形式归纳本章出现的名词术语及其基本内容,知识脉络清晰,突出强化了对概念和方法的理解,且便于查询。

电路思维导图应用范例:本部分以范例给出常规解题步骤。在应用思维导图求解范例的过程中,帮助学生学会应用思维导图,使学生快速掌握并牢记知识点,迅速理清解题思路、培养解题能力。在学完每章之后,该章“全景图”已不知不觉地深深印在学生的脑海中。各章电路思维导图均在附录B中。

本章习题与解答:每章习题均给出详细解答,强调基本概念和常规解题方法,淡化解题技巧。

本书作者从学习邱关源主编的第一版电路教材《电工原理》开始,到讲授《电路》第二、三、四、五版教材,见证了西安交通大学“电路”教材整个发展过程。作者根据多年从事电路课程教学实践的经验,结合对该课程教学改革的尝试及自编的教学讲义,编著了《电路(第5版)高效学习指导》一书。

本书由王竹萍、张涛、黄昆编著。在编写过程中,承蒙孟大伟、刘胜辉、周美兰教授的指导,吸取了许多宝贵的建议,在此表示由衷的感谢。对教研室其他教师江东、善意、朱建良、杨平、周伟宏、于平、陈才、陈雯给予的帮助也在此一并致谢。

这里特别要感谢哈尔滨工业大学齐超教授对本书的认真审阅,针对其提出的宝贵意见,作者做了进一步的修改。由于作者水平有限,书中出现不妥之处或错误在所难免,敬请广大读者和同行批评指正。

编 者

2013年12月于哈尔滨

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》,其为人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进行严厉打击。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 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第一章 电路模型和电路定律	1	第九章 正弦稳态电路的分析	130
内容提要	1	内容提要	130
电路思维导图应用范例	5	电路思维导图应用范例	139
本章习题与解答	6	本章习题与解答	143
第二章 电阻电路的等效变换	13	第十章 含有耦合电感的电路	157
内容提要	13	内容提要	157
电路思维导图应用范例	17	电路思维导图应用范例	160
本章习题与解答	18	本章习题与解答	162
第三章 电阻电路的一般分析	27	第十一章 电路的频率响应	175
内容提要	27	内容提要	175
电路思维导图应用范例	29	电路思维导图应用范例	177
本章习题与解答	35	本章习题与解答	178
第四章 电路定理	48	第十二章 三相电路	187
内容提要	48	内容提要	187
电路思维导图应用范例	51	电路思维导图应用范例	192
本章习题与解答	55	本章习题与解答	193
第五章 含有运算放大器的电阻电路	70	第十三章 非正弦周期电流电路和信号的频谱	202
内容提要	70	内容提要	202
电路思维导图应用范例	72	电路思维导图应用范例	205
本章习题与解答	73	本章习题与解答	206
第六章 储能元件	77	第十四章 线性动态电路的复频域分析	218
内容提要	77	内容提要	218
电路思维导图应用范例	78	电路思维导图应用范例	223
本章习题与解答	79	本章习题与解答	224
第七章 一阶电路和二阶电路的时域分析	82	第十五章 电路方程的矩阵形式	250
内容提要	82	内容提要	250
电路思维导图应用范例	90	电路思维导图应用范例	254
本章习题与解答	94	本章习题与解答	258
第八章 相量法	120	第十六章 二端口网络	266
内容提要	120	内容提要	266
电路思维导图应用范例	122	电路思维导图应用范例	272
本章习题与解答	123	本章习题与解答	273

第十七章 非线性电路	283	本章习题与解答	292
内容提要	283	附录 A 磁路和铁心线圈	295
电路思维导图应用范例	284	附录 A 习题与解答	295
本章习题与解答	287	参考书目	297
第十八章 均匀传输线	292	附录 B 电路思维导图	

第一章 电路模型和电路定律

内容提要

表 1-1 与本课程相关的物理量、国际单位制 (SI) 的基本单位及其常用词头

基本物理量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	导出量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	SI 导出单位	导出量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	SI 导出单位	导出量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	SI 导出单位
长度	l	米	m	频率	f	赫[兹]	Hz	s^{-1}	电荷[量]	$Q(q)$	库[伦]	C	$A \cdot s$	电阻	R	欧[姆]	Ω	V/A
质量	m	千克	kg	力	F	牛[顿]	N	$kg \cdot m/s^2$	电位	V	伏[特]	V	W/A	电导	G	西[门子]	S	A/V
时间	t	秒	s	能[量]/功	$W(w)$	焦[耳]	J	$N \cdot m$	电压	$U(u)$	伏[特]	V	W/A	磁通[量]	Φ	韦[伯]	Wb	$V \cdot s$
电流	$I(i)$	安[培]	A	功率	$P(p)$	瓦[特]	W	J/s	电容	C	法[拉]	F	C/V	电感	L	亨[利]	H	Wb/A
热力学温度	T	开[尔文]	K	说明:物理量的符号一律用斜体字母表示,单位符号用正体字母表示。注意英文或希腊字母符号的大小写、斜体和正体的书写规范														
国际单位制的常用词头				倍率	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}			
				名称	吉	兆	千	百	十	分	厘	毫	微	纳	皮			
				符号	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p			

表 1-2 电流、电压及其参考方向

电流的定义:单位时间内通过导体横截面的正电荷变化率,即 $i = \frac{dq}{dt}$		电压的定义:电场力将单位正电荷由 A 点移至 B 点所做的功,即 $u = \frac{dW}{dq}$	
电流参考方向的表示	电压参考方向的表示	同一个二端元件(或二端网络)上的电压与电流参考方向的表示	
		电压与电流取关联的参考方向	电压与电流取非关联的参考方向
说明:1. 上述方框“$\square$”表示任意一个二端元件或二端网络,其上的电压与电流的参考方向是各自独立、任意选取的。若 $i > 0$ 或 $u > 0$,表明电流或电压实际方向与参考方向一致;若 $i < 0$ 或 $u < 0$,表明电流或电压实际方向与参考方向相反。所谓电压与电流选取关联或非关联的参考方向,是针对标注在同一个方框上的电压和电流而言的。 2. 在分析、计算电路时,必须标注相关的电压或电流的变量及其参考方向,不必考虑实际方向(若实际方向已知,可取与实际方向一致或相反的参考方向)			

表 1-3 电功率的计算

电功率的定义:电场力在单位时间内所做的功,即 $p = \frac{dW}{dt}$。 任意二端元件或二端网络(用方框“$\square$”表示),其两个端钮上的电压、电流为 u 和 i,则电功率又可表示为 $p = ui$	功率的计算 与 判断吸收或发出功率 $p = ui = \begin{cases} u, i \text{ 取关联参考方向} & \begin{cases} p > 0, \text{吸收正功率(发出负功率)} \\ p < 0, \text{发出正功率(吸收负功率)} \end{cases} \\ u, i \text{ 取非关联参考方向} & \begin{cases} p > 0, \text{发出正功率(吸收负功率)} \\ p < 0, \text{吸收正功率(发出负功率)} \end{cases} \end{cases}$
---	---

表 1-4 描述电路的术语

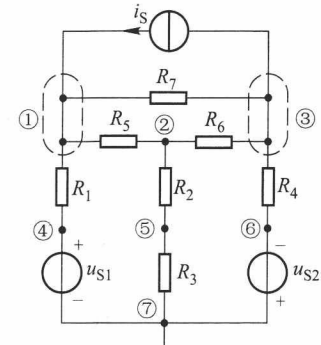
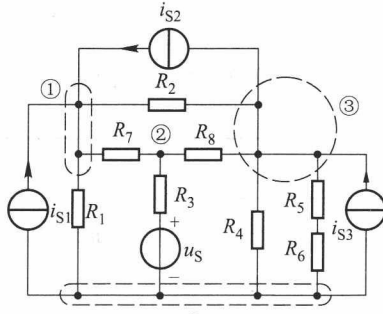
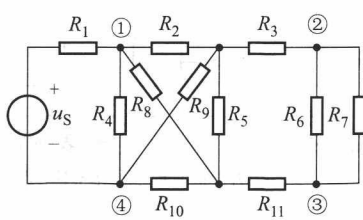
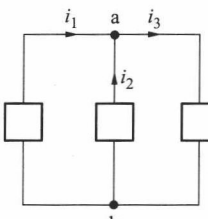
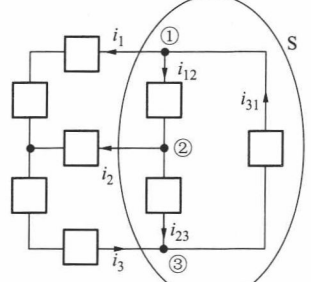
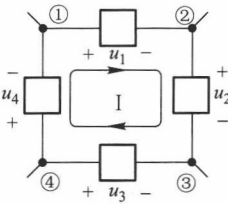
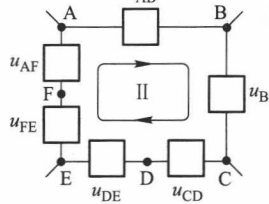
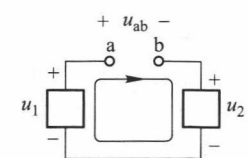
名词术语	基本定义	图例说明
支路	有两种定义形式: (1) 每一个二端元件为一条支路。图 1 的支路共 10 个: $u_{s1}, u_{s2}, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$ 和 i_s 。 (2) 流过同一电流的每一个分支为一条支路。图 1 的支路共 7 个: $u_{s1} - R_1, R_2 - R_3, u_{s2} - R_4, R_5, R_6, R_7$ 和 i_s	 图 1
结点	结点有两种定义形式: (1) 两个或更多个二端元件的连接点(即支路的连接点)。图 1 的结点共 7 个: ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦。 (2) 三个或更多个二端元件的连接点。图 1 的结点共 4 个: ①, ②, ③, ⑦; 图 2 的结点共 4 个: ①, ②, ③, ④。 注: 图 1 中连接点“•”的个数比结点的个数多, 若两个连接点间无元件而仅有连线(不是支路)时, 则两个连接点视为一个结点。例如, 图 1 中 R_1, R_5, R_7 和 i_s 视为连在一个结点①上, R_4, R_6, R_7 和 i_s 视为连在一个结点③上	
路径	从起点到终点连续不重复地经过每个二端元件, 这样的一系列元件构成了一条路径。 图 1 中三条路径 $u_{s1} - R_1, R_2 - R_3, u_{s2} - R_4$ 也是支路; 而 $R_1 - R_5 - R_6$ 和 $u_{s2} - R_3$ 为两条路径但不是支路	
回路	终点和起点是同一个结点的路径。即由一个结点起始(起点), 不重复地沿路径经过所有结点, 再回到起始点(终点)。 图 1 仅给出了 10 个回路: $i_s - R_7, R_5 - R_6 - R_7, R_5 - R_6 - i_s, u_{s1} - R_1 - R_7 - R_4 - u_{s2}, u_{s1} - R_1 - i_s - R_4 - u_{s2}, u_{s2} - R_4 - R_7 - R_5 - R_2 - R_3, u_{s1} - R_1 - R_5 - R_2 - R_3, u_{s2} - R_4 - R_6 - R_2 - R_3, u_{s1} - R_1 - R_5 - R_6 - R_4 - u_{s2}, u_{s1} - R_1 - i_s - R_6 - R_2 - R_3$	
平面电路	各支路之间可以没有交叉地画在平面上的电路称为平面电路。图 1、图 2 和图 3 均为平面电路, 其中图 3 可画为图 4。 注: 图 3 中, 若在结点①和②、结点③和④之间各接入一个电阻, 则图 3 将变为非平面电路	
网孔	在平面电路中, 没有包围其他回路的回路(回路中没有其他支路跨越)称为网孔。 如图 1 所示网孔共 4 个: $u_{s1} - R_1 - R_5 - R_2 - R_3, u_{s2} - R_4 - R_6 - R_2 - R_3, R_5 - R_6 - R_7, i_s - R_7$	 图 2
接地点	表示参考点, 电位为零, 用图形“⊥”表示。如图 1 中的结点⑦	
串联	将两个或更多个二端元件级联起来, 依次相连的各个元件流过同一电流称为串联。因各串联元件中具有相同的电流, 所以只需定义一个未知电流。即已知一个元件的电流, 也就知道串联的所有元件的电流。例如, 图 1 中 $u_{s1} - R_1, R_2 - R_3, u_{s2} - R_4$ 均为串联。 注: 各元件串联时, 流过同一电流, 各元件电流值一定相等, 但两个元件电流值相等不一定是串联	
并联	将两个或更多个二端元件, 每个元件的两端都连到同一对结点上称为并联。因各并联元件两端具有相同的电压, 所以只需定义一个未知电压。即已知一个元件的电压, 也就知道并联所有元件的电压。例如, 图 1 中 i_s 与 R_7 为并联, 图 3 中 R_6 与 R_7 为并联。 注: 各元件并联时, 其两端为同一电压, 各元件电压值一定相等; 但两个元件电压值相等不一定是并联	
串-并联(混联)	各二端元件之间既有串联, 也有并联。图 3 中 R_6 与 R_7 为并联, R_3 与 R_{11} 为串联。	
三角形联结(Δ 形或 Π 形联结)	电路中的三个电阻或三个电压源既不是串联, 也不是并联, 而是连成三角形(也称 Δ 形或 Π 形联结)。例如, 图 1 中 $R_5 - R_6 - R_7$ 为三角形联结	 图 3
星形联结(Y形或 T 形联结)	电路中的三个电阻或三个电压源既不是串联, 也不是并联, 而是连成星形(也称 Y 形或 T 形联结)。例如, 图 1 中 $R_1 - R_5 - R_7, R_4 - R_6 - R_7, R_2 - R_5 - R_6$ 均为星形联结	

图 4

表 1-5 电路基本元件(理想元件)

元件名称 (符号)		元件模型	元件参数值、单位名称/符号	元件定义	元件上的 $u-i$ 关系(伏安关系) (式中 $\pm$ 符号由 u, i 参考方向确定)	说明
无源元件	电阻(R)		电阻值 R 、欧[姆]/ Ω 电导值 $G = \frac{1}{R}$ 、西[门子]/S	$R = \frac{u}{i}$ ——伏安特性 (电阻元件为耗能元件)	欧姆定律 $u = \pm Ri$ 或 $i = \pm Gu$	1. 电阻、电感、电容和独立源为二端线性理想元件。 2. 受控源属于二端口元件,其完整模型及伏安关系如下:
	电感(L)		电感值 L 、亨[利]/H	$L = \frac{\Psi}{i}$ ——韦安特性 (电感元件为储能元件)	$u = \pm L \frac{di}{dt}$ 或 $i = \pm \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\xi) d\xi$	
	电容(C)		电容值 C 、法[拉]/F	$C = \frac{q}{u}$ ——库伏特性 (电容元件为储能元件)	$i = \pm C \frac{du}{dt}$ 或 $u = \pm \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) d\xi$	
有源元件	独立源		电压值 $u_s(t)$ 、伏[特]/V 元件模型含电压值及参考极性	端电压 u 总保持为规定的时间函数值 $u_s(t)$,而与该元件本身流过的电流 i 的大小无关。 当 $u_s(t) = U_s$ 时,表示直流电压源。 注:电压源两端不能短接,单独存在时应开路	$u = \pm u_s$ 元件电流 i 由外接电路确定	
			电压值 U_s 、伏[特]/V 大写字母表示直流 元件模型含电压值及参考极性	端电压 u 总保持为规定的恒定值 U_s ,而与该元件本身流过的电流 i 的大小无关。 注:电压源两端不能短接,单独存在时应开路	$u = \pm U_s$ 元件电流 i 由外接电路确定	
		电流源(i_s) 	电流值 $i_s(t)$ 、安[培]/A 元件模型含电流值及参考极性	流过的电流 i 总保持为规定的时间函数值 $i_s(t)$,而与该元件本身的端电压 u 的大小无关。 当 $i_s(t) = I_s$ 时,表示直流电流源。 注:电流源两端不能断开,单独存在时应短路	$i = \pm i_s$ 元件电压 u 由外接电路确定	
	受控源(非独立源)	受电压控制电压源(VCVS) 	电压值 μu_1 、伏[特]/V 元件模型含电压值及参考极性,控制端口处的电压 u_1 为控制量	端电压 u 取决于控制端口处的电压 u_1 ,即由 u_1 控制,而与该元件本身流过的电流 i 无关	$u = \pm \mu u_1$ 元件电流 i 由外接电路确定	
		受电流控制电压源(CCVS) 	电压值 ri_1 、伏[特]/V 元件模型含电压值及参考极性,控制端口处的电流 i_1 为控制量	端电压 u 取决于控制端口处的电流 i_1 ,即由 i_1 控制,而与该元件本身流过的电流 i 无关	$u = \pm ri_1$ 元件电流 i 由外接电路确定	
		受电压控制电流源(VCCS) 	电流值 gu_1 、安[培]/A 元件模型含电流值及参考极性,控制端口处的电压 u_1 为控制量	流过的电流 i 取决于控制端口处的电压 u_1 ,即由 u_1 控制,而与该元件本身的端电压 u 无关	$i = \pm gu_1$ 元件电压 u 由外接电路确定	
		受电流控制电流源(CCCS) 	电流值 βi_1 、安[培]/A 元件模型含电流值及参考极性,控制端口处的电流 i_1 为控制量	流过的电流 i 取决于控制端口处的电流 i_1 ,即由 i_1 控制,而与该元件本身的端电压 u 无关	$i = \pm \beta i_1$ 元件电压 u 由外接电路确定	
						受控源受 u_1 控制时, $i_1 = 0$; 受 i_1 控制时, $u_1 = 0$ 。故其模型只画出被控端口,省略了控制端口

表 1-6 基尔霍夫定律及应用

基尔霍夫电流定律(KCL)	KCL 的应用		
在集总电路中,任何时刻,对任一结点,其上连接的所有支路的电流代数和恒等于零,即 $\sum_{k=1}^N i_k = 0$ 又可表述为:在集总电路中,任何时刻,流入结点的支路电流总和必定等于流出该结点的支路电流总和。它表明电流的连续性	应用说明 1	应用说明 2 应用 KCL 时,必须先标出结点上各支路电流的参考方向。在 $\sum i = 0$ 中,若规定流出结点的电流前取“+”号,则流入取“-”号,反之亦然。 对图 5 中结点 a,列 KCL 方程 $-i_1 - i_2 + i_3 = 0$ 也可表述为 $i_3 = i_1 + i_2$  图 5	应用说明 3 此定律可将结点推广为封闭面(广义结点)。被封闭面切割的支路即为封闭面上连接的支路。 对图 6 中封闭面 S,列 KCL 方程 $i_1 + i_2 - i_3 = 0$  图 6
	应用说明 1	应用说明 2 应用 KVL 时,必须先标出回路中各支路电压的参考方向,然后指定一个回路的绕行方向。在 $\sum u = 0$ 中,凡支路电压参考方向与回路绕行方向一致时,u 前取“+”,反之,取“-” 对图 7 中回路 I,列 KVL 方程 $u_1 + u_2 - u_3 + u_4 = 0$ 上式 KVL 方程又可写为 $u_3 = u_4 + u_1 + u_2$ 对图 8 中回路 II,列 KVL 方程 $u_{AB} + u_{BC} + u_{CD} + u_{DE} - u_{FE} - u_{AF} = 0$ 上式 KVL 方程又可写为 $u_{AB} + u_{BC} + u_{CD} + u_{DE} = u_{AF} + u_{FE}$  图 7  图 8	应用说明 3 绕行的路径必须构成闭合路线才能应用 KVL,但被研究的电路不一定是通路。此时可构成广义回路。 对图 9,列 KVL 方程 $-u_1 + u_{ab} + u_2 = 0$ 即 $u_{ab} = u_1 - u_2$ 注意: $u_1 \neq u_2$  图 9

基尔霍夫定律列写独立方程的个数(设电路中有 n 个结点, b 条支路):

- ① KCL 的独立方程数为 $n-1$ 个。对任意 $n-1$ 个结点列出 KCL 方程是独立的,这 $n-1$ 个结点称为独立结点,余下一个非独立结点称为参考点,不列方程。
- ② KVL 的独立方程数为 $b-(n-1)$ 个。对任意 $b-n+1$ 个独立回路列出的 KVL 方程是独立的。在平面电路中,对 $b-n+1$ 个网孔列出的 KVL 方程也是独立的

例 1-1 在图 10(a) ~ (h) 方框表示的一段电路中,其标注的电压与电流的参考方向是关联参考方向还是非关联参考方向?

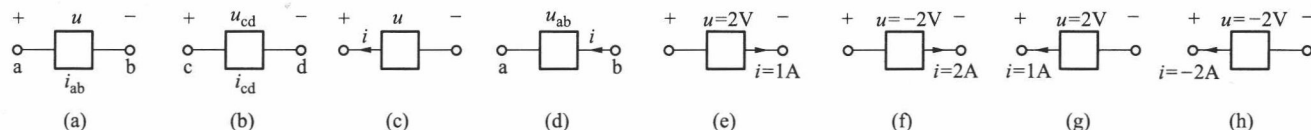


图 10 例 1-1 图

解: 图 10(a)、(b)、(e) 和 (f) 中方框上的电压和电流为关联参考方向,图 10(c)、(d)、(g) 和 (h) 中方框上的电压和电流为非关联参考方向(不必考虑 u 、 i 的值)

例 1-2 求图 10(e)、(f)、(g) 和 (h) 中各段电路的功率。

解: 图 10(e) 中, $p = ui = 2 \times 1 \text{ W} = 2 \text{ W} > 0$, u 和 i 取关联参考方向,吸收 2 W 的功率。图 10(f) 中, $p = ui = (-2) \times 2 \text{ W} = -4 \text{ W} < 0$, u 和 i 取关联参考方向,发出 4 W 的功率。

图 10(g) 中, $p = ui = 2 \times 1 \text{ W} = 2 \text{ W} > 0$, u 和 i 取非关联参考方向,发出 2 W 的功率。图 10(h) 中, $p = ui = (-2) \times (-2) \text{ W} = 4 \text{ W} > 0$, u 和 i 取非关联参考方向,发出 4 W 的功率

例 1-3 电路如图 11 所示,设 $u_s(t) = U_m \cos(\omega t)$, $i_s(t) = Ie^{-at}$,试求所有元件中的电流和电压。

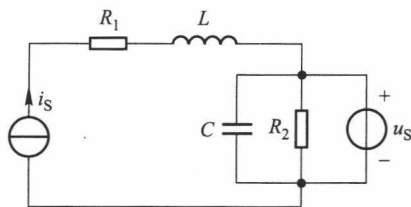


图 11 例 1-3 图

解: 在图 11 中,首先标注各支路的电流、电压变量及其参考方向,如图 12 所示。

在图 12 中,因电流源的电流为 $i = i_s = Ie^{-at}$,而元件 i_s 、 R_1 、 L 为串联,其流过的电流均为 i ,则

$$u_{R_1} = -R_1 i = -R_1 i_s = -R_1 Ie^{-at}, u_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{di_s}{dt} = L \frac{d}{dt}(Ie^{-at}) = -aLIe^{-at}$$

又元件 C 、 R_2 、 u_s 为并联,其两端的电压均为 u ,因电压源的电压 $u = u_s = U_m \cos(\omega t)$,则

$$i_C = C \frac{du}{dt} = C \frac{du_s}{dt} = C \frac{d}{dt}[U_m \cos(\omega t)] = -C\omega U_m \sin(\omega t), i_{R_2} = \frac{u}{R_2} = \frac{u_s}{R_2} = \frac{U_m}{R_2} \cos(\omega t)$$

电压源 u_s 中的电流 i_{u_s} 由外电路确定,对结点①列 KCL 方程

$$i_{u_s} = i - i_C - i_{R_2} = i_s - i_C - i_{R_2} = Ie^{-at} + C\omega U_m \sin(\omega t) - \frac{U_m}{R_2} \cos(\omega t)$$

电流源 i_s 的电压 u_{i_s} 由外电路确定,对 $i_s - R_1 - L - u_s$ 构成的回路(取逆时针绕行方向)列 KVL 方程

$$u_{i_s} + u_{R_1} - u_L - u = 0, \text{得 } u_{i_s} = -u_{R_1} + u_L + u_s = R_1 Ie^{-at} - aLIe^{-at} + U_m \cos(\omega t)$$

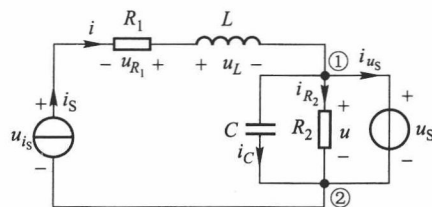


图 12 例 1-3 解图

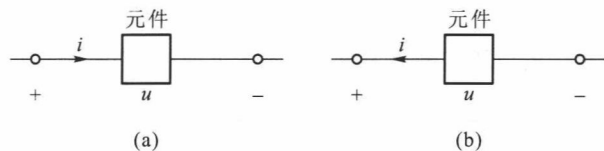
本章习题与解答

1-1 说明题 1-1 图(a)、(b)中:

(1) u 、 i 的参考方向是否关联?

(2) ui 乘积表示什么功率?

(3) 如果在图(a)中 $u > 0$ 、 $i < 0$, 图(b)中 $u > 0$ 、 $i > 0$, 元件实际发出还是吸收功率?

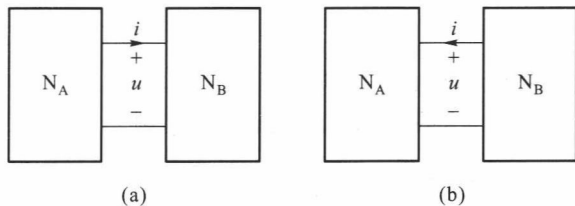


题 1-1 图

解: 题 1-1 图(a)中, (1) u 、 i 的参考方向是关联的; (2) ui 乘积表示吸收功率; (3) 因 $u > 0$ 、 $i < 0$, $p = ui < 0$, 元件实际发出功率。

题 1-1 图(b)中, (1) u 、 i 的参考方向是非关联的; (2) ui 乘积表示发出功率; (3) 因 $u > 0$ 、 $i > 0$, $p = ui > 0$, 元件实际发出功率。

1-2 在题 1-2 图(a)与(b)中, 试问对于 N_A 与 N_B , u 、 i 的参考方向是否关联? 此时乘积 ui 对 N_A 与 N_B 分别意味着什么功率?



题 1-2 图

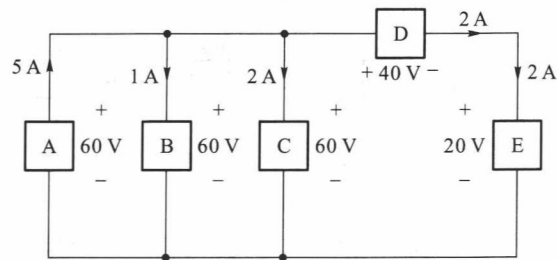
解: 题 1-2 图(a)中, u 、 i 的参考方向对 N_A 而言是非关联的; 对于 N_B 而言则是关联的。此时乘积 ui 对 N_A 表示发出功率, 对 N_B 表示吸收功率。

题 1-2 图(b)中, u 、 i 的参考方向, 对 N_A 而言是关联的; 对 N_B 而言则是非关联的。此时乘积 ui 对 N_A 表示吸收功率, 对 N_B 表示发出功率。

1-3 求解电路以后, 校核所得结果的方法之一是核对电路中所有元件的功率平衡, 即一部分元件发出的总功率应等于其他元件吸收的总功率。试校核题 1-3 图中电路所得解答是否正确。

解: $p_A = 60 \times 5 \text{ W} = 300 \text{ W} > 0$, $p_B = 60 \times 1 \text{ W} = 60 \text{ W} > 0$, $p_C = 60 \times 2 \text{ W} = 120 \text{ W} > 0$, $p_D = 40 \times 2 \text{ W} = 80 \text{ W} > 0$, $p_E = 20 \times 2 \text{ W} = 40 \text{ W} > 0$

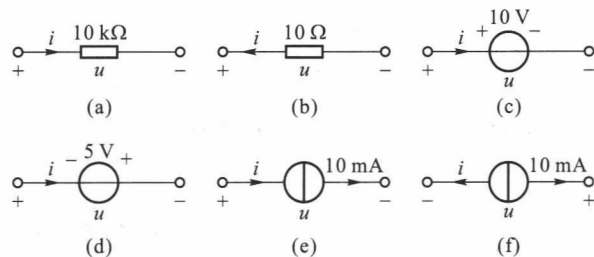
元件 A 上电压与电流取非关联参考方向, 即 A 发出功率; 元件 B、C、D、E 上的电压与电流均取关联参考方向, 即 B、C、D、E 均吸收功率。



题 1-3 图

元件吸收的总功率为 $p_{\text{总吸收}} = p_B + p_C + p_D + p_E = 300 \text{ W}$ 与元件发出的总功率相等, $p_{\text{总发出}} = p_A = 300 \text{ W}$, 即功率平衡。

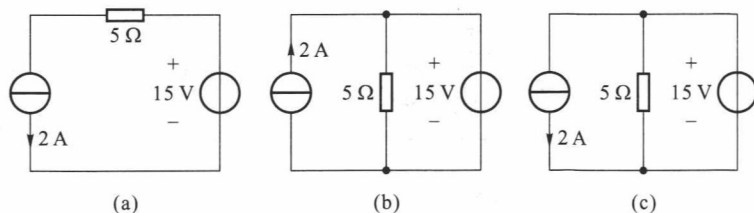
1-4 在指定的电压 u 和电流 i 的参考方向下, 写出题 1-4 图所示各元件的 u 和 i 的约束方程 (即 VCR)。



题 1-4 图

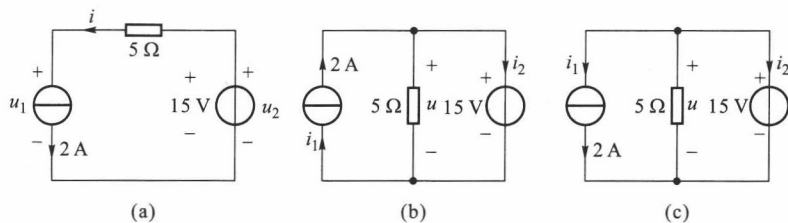
解: 题 1-4 图(a), $u = 10 \times 10^3 i = 10^4 i$; 图(b), $u = -10i$; 图(c), $u = 10 \text{ V}$; 图(d), $u = -5 \text{ V}$; 图(e), $i = 10 \times 10^{-3} \text{ A} = 10^{-2} \text{ A}$; 图(f) $i = -10 \times 10^{-3} \text{ A} = -10^{-2} \text{ A}$ 。

1-5 试求题 1-5 图中各电路中电压源、电流源及电阻的功率 (须说明是吸收还是发出)。



题 1-5 图

解:标注题 1-5 图(a)、(b)、(c)中各元件上的电压、电流参考方向如题 1-5 解图(a)、(b)、(c)所示。



题 1-5 解图

题 1-5 解图(a)中, $p_{\text{电流源}} = u_1 i = (-5i + u_2) \times i = (-5 \times 2 + 15) \times 2 \text{ W} = 10 \text{ W} > 0$ (u_1 与 i 取关联参考方向, 吸收功率)

$$p_{\text{电阻}} = Ri^2 = 5 \times 2^2 \text{ W} = 20 \text{ W} \text{ (吸收功率)}$$

$$p_{\text{电压源}} = u_2 i = 15 \times 2 \text{ W} = 30 \text{ W} > 0 \text{ (} u_2 \text{ 与 } i \text{ 取非关联参考方向, 发出功率)}$$

题 1-5 解图(b)中, $p_{\text{电流源}} = ui_1 = 15 \times 2 \text{ W} = 30 \text{ W} > 0$ (u 与 i_1 取非关联参考方向, 发出功率)

$$p_{\text{电阻}} = \frac{u^2}{R} = \frac{15^2}{5} \text{ W} = 45 \text{ W} \text{ (吸收功率)}$$

$p_{\text{电压源}} = ui_2 = u \left(i_1 - \frac{u}{R} \right) = 15 \times \left(2 - \frac{15}{5} \right) \text{ W} = -15 \text{ W} < 0$ (u 与 i_2 取关联参考方向, 发出功率)

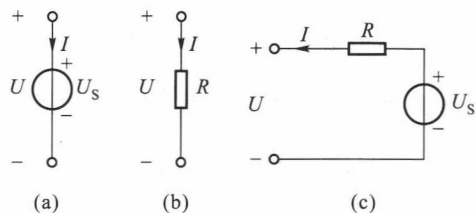
题 1-5 解图(c)中, $p_{\text{电流源}} = ui_1 = 15 \times 2 \text{ W} = 30 \text{ W} > 0$ (u 与 i_1 取关联参考方向, 吸收功率)

$$p_{\text{电阻}} = \frac{u^2}{R} = \frac{15^2}{5} \text{ W} = 45 \text{ W} \text{ (吸收功率)}$$

$p_{\text{电压源}} = ui_2 = u \left(-i_1 - \frac{u}{R} \right) = 15 \times \left(-2 - \frac{15}{5} \right) \text{ W} = -75 \text{ W} < 0$ (u 与 i_1 取关联参考方向, 发出功率)

1-6 以电压 U 为纵轴, 电流 I 为横轴, 取适当的电压、电流标尺, 在同一坐标上: 画出以下元件及支路的电压、电流关系 (仅画第一象限)。

(1) $U_s = 10 \text{ V}$ 的电压源, 如题 1-6 图(a)所示;



题 1-6 图

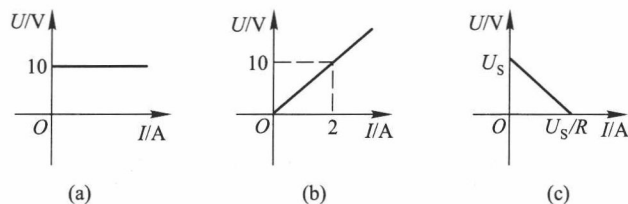
(2) $R = 5 \Omega$ 线性电阻, 如题 1-6 图(b)所示;

(3) U_s 、 R 的串联组合, 如题 1-6 图(c)所示。

解:(1) 题 1-6 图(a)中, $U = U_s = 10 \text{ V}$, 其元件的电压、电流关系如题 1-6 解图(a)所示;

(2) 题 1-6 图(b)中, $U = RI = 5I$, 其元件的电压、电流关系如题 1-6 解图(b)所示;

(3) 题 1-6 图(c)中, $U = -RI + U_s$, 其支路的电压、电流关系如题 1-6 解图(c)所示。

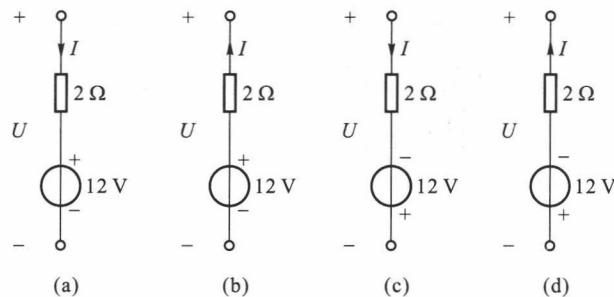


题 1-6 解图

1-7 题 1-7 图中各元件的电流 I 均为 2 A 。

(1) 求各图中支路电压;

(2) 求各图中电源、电阻及支路的功率, 并讨论功率平衡关系。



题 1-7 图

解:(1) 题 1-7 图(a)中, $U = 2I + 12 = (2 \times 2 + 12) \text{ V} = 16 \text{ V}$; 题 1-7 图(b)中, $U = -2I + 12 = (-2 \times 2 + 12) \text{ V} = 8 \text{ V}$;

题 1-7 图(c)中, $U = 2I - 12 = (2 \times 2 - 12) \text{ V} = -8 \text{ V}$; 题 1-7 图(d)中, $U = -2I - 12 = (-2 \times 2 - 12) \text{ V} = -16 \text{ V}$ 。

(2) 题 1-7 图(a)中, $p_{\text{电压源}} = 12I = 12 \times 2 \text{ W} = 24 \text{ W}$ (吸收功率), $p_{\text{电阻}} = 2I^2 = 2 \times 2^2 \text{ W} = 8 \text{ W}$ (消耗功率), $p_{\text{支路}} = UI = 16 \times 2 \text{ W} = 32 \text{ W}$ (吸收功率)

因 $p_{\text{支路吸}} = p_{\text{电阻耗}} + p_{\text{电压源吸}} = (8 + 24) \text{ W} = 32 \text{ W}$, 即功率平衡。

题 1-7 图(b)中, $p_{\text{电压源}} = 12I = 12 \times 2 \text{ W} = 24 \text{ W}$ (发出功率), $p_{\text{电阻}} = 2I^2 = 2 \times 2^2 \text{ W} = 8 \text{ W}$ (消耗功率), $p_{\text{支路}} = UI = 8 \times 2 \text{ W} = 16 \text{ W}$ (发出功率)

因 $p_{\text{支路发}} = p_{\text{电压源发}} - p_{\text{电阻耗}} = (24 - 8) \text{ W} = 16 \text{ W}$, 即功率平衡。

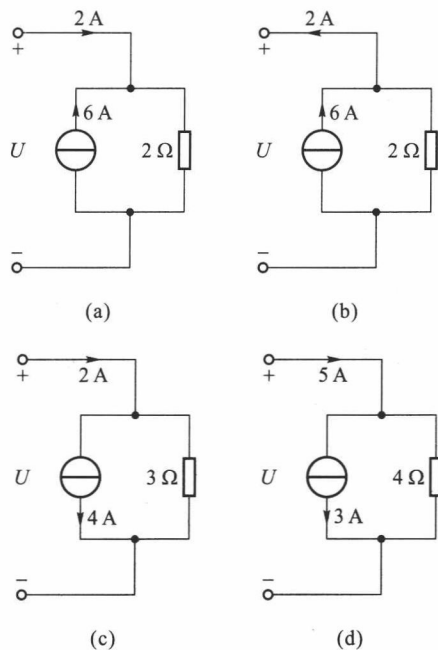
题 1-7 图(c) 中, $p_{\text{电压源}} = 12I = 12 \times 2 \text{ W} = 24 \text{ W}$ (发出功率), $p_{\text{电阻}} = 2I^2 = 2 \times 2^2 \text{ W} = 8 \text{ W}$ (消耗功率), $p_{\text{支路}} = UI = -8 \times 2 \text{ W} = -16 \text{ W}$ (发出功率)

因 $p_{\text{支路发}} = p_{\text{电压源发}} - p_{\text{电阻耗}} = 24 - 8 = 16 \text{ W}$, 即功率平衡。

题 1-7 图(d) 中, $p_{\text{电压源}} = 12I = 12 \times 2 \text{ W} = 24 \text{ W}$ (吸收功率), $p_{\text{电阻}} = 2I^2 = 2 \times 2^2 \text{ W} = 8 \text{ W}$ (消耗功率), $p_{\text{支路}} = UI = -16 \times 2 \text{ W} = -32 \text{ W}$ (吸收功率)

因 $p_{\text{支路吸}} = p_{\text{电阻耗}} + p_{\text{电压源吸}} = (8 + 24) \text{ W} = 32 \text{ W}$, 即功率平衡。

1-8 试求题 1-8 图中各电路的电压 U , 并分别讨论其功率平衡。



题 1-8 图

解: 根据电流源的定义, 电流源的端电压 U 要由外电路才能确定, 因此可由与之并联的电阻支路求得电压 U 。

题 1-8 图(a) 中, $U = U_{2\Omega} = 2 \times (2 + 6) \text{ V} = 16 \text{ V}$

$p_{\text{端口}} = U \times 2 = 32 \text{ W}$ (端口左侧部分电路发出功率)

$p_{6A} = U \times 6 = 16 \times 6 \text{ W} = 96 \text{ W}$ (发出功率)

$p_{2\Omega} = \frac{U^2}{2} = \frac{16^2}{2} \text{ W} = 128 \text{ W}$ (消耗功率)

因 $p_{\text{总发出}} = p_{\text{端口}} + p_{6A} = 128 \text{ W}$, $p_{\text{总吸收}} = p_{2\Omega(\text{消耗})} = 128 \text{ W}$, 整个电路功率平衡。

题 1-8 图(b) 中, $U = U_{2\Omega} = 2 \times (6 - 2) \text{ V} = 8 \text{ V}$, $p_{\text{端口}} = U \times 2 = 16 \text{ W}$ (端口左侧部分电路吸收功率)

$p_{6A} = U \times 6 = 8 \times 6 \text{ W} = 48 \text{ W}$ (发出功率)

$p_{2\Omega} = \frac{U^2}{2} = 32 \text{ W}$ (吸收并消耗功率)。

因 $p_{\text{总发出}} = p_{6A} = 48 \text{ W}$, $p_{\text{总吸收}} = p_{\text{端口}} + p_{2\Omega} = 48 \text{ W}$, 整个电路功率平衡。

题 1-8 图(c) 中, $U = U_{3\Omega} = 3 \times (2 - 4) \text{ V} = -6 \text{ V}$, $p_{\text{端口}} = U \times 2 = (-6) \times 2 \text{ W} = -12 \text{ W} < 0$ (端口左侧电路吸收功率)

$p_{4A} = U \times 4 = (-6) \times 4 \text{ W} = -24 \text{ W}$ (发出功率), $p_{3\Omega} = \frac{U^2}{3} = 12 \text{ W}$ (消耗功率)

因 $p_{\text{总发出}} = |p_{4A}| = 24 \text{ W}$, $p_{\text{总吸收}} = |p_{\text{端口}}| + p_{3\Omega} = 24 \text{ W}$, 整个电路功率平衡。

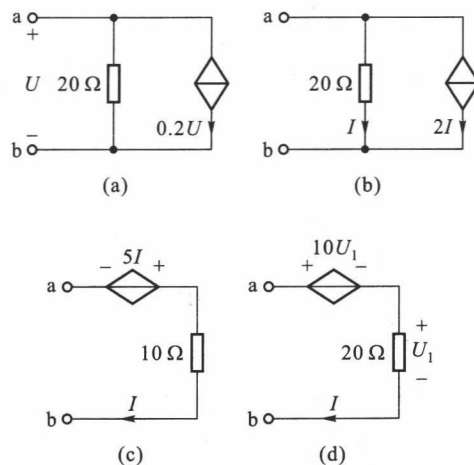
题 1-8 图(d) 中, $U = U_{4\Omega} = 4 \times (5 - 3) \text{ V} = 8 \text{ V}$

$p_{\text{端口}} = U \times 5 = 40 \text{ W}$ (端口左侧电路发出功率)

$p_{3A} = U \times 3 = 8 \times 3 \text{ W} = 24 \text{ W}$ (吸收功率), $p_{4\Omega} = \frac{U^2}{4} = 16 \text{ W}$ (消耗功率)

因 $p_{\text{总发出}} = p_{\text{端口}} = 40 \text{ W}$, $p_{\text{总吸收}} = p_{3A} + p_{4\Omega} = (24 + 16) \text{ W} = 40 \text{ W}$, 整个电路功率平衡。

1-9 题 1-9 图中各受控源是否可看为电阻? 并求各图中 a、b 端钮的等效电阻。



题 1-9 图

解: 题 1-9 图(a) 中, 受控源的电压 U 与电流 $0.2U$ 取关联参考方向, 其比值为 $\frac{U}{0.2U} = 5 \Omega$, 即受控源可看为一个 5Ω 的电阻, 则

$$R_{ab} = \frac{20 \times 5}{20 + 5} \Omega = 4 \Omega$$

题 1-9 图(b) 中, 受控源的电压 $20I$ 与电流 $2I$ 取关联参考方向, 其比值为

$\frac{20I}{2I} = 10 \Omega$, 即受控源可视为 10Ω 电阻, 则

$$R_{ab} = \frac{20 \times 10}{20 + 10} \Omega = \frac{20}{3} \Omega = 6.667 \Omega$$

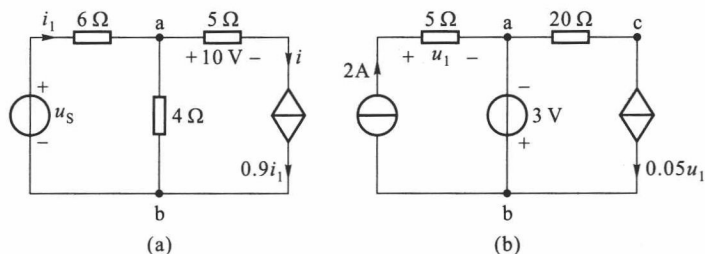
题 1-9 图(c)中, 受控源的电压 $5I$ 与电流 I 取非关联参考方向, 其比值为 $-\frac{5I}{I} = -5$, 即受控源不可视为电阻元件, 则

$$R_{ab} = \frac{U_{ab}}{I} = \frac{-5I + 10I}{I} = 5 \Omega$$

题 1-9 图(d)中, 受控源的电压 $10U_1$ 与电流 I 取关联参考方向, 其比值为 $\frac{10U_1}{I} = \frac{10 \times 20I}{I} = 200 \Omega$, 即受控源可看成 200Ω 的电阻, 则

$$R_{ab} = (200 + 20) \Omega = 220 \Omega$$

1-10 电路如题 1-10 图所示, 试求: (1) 图(a)中, 电流 i_1 和电压 u_{ab} ; (2) 图(b)中, 电压 u_{cb} 。



题 1-10 图

解: 题 1-10 图(a)中, 5Ω 的电流 $i = \frac{10}{5} \text{ A} = 2 \text{ A}$, 受控源的电流 $i = 0.9i_1$, 得

$$i_1 = \frac{i}{0.9} = \frac{2}{0.9} \text{ A} = 2.222 \text{ A}$$

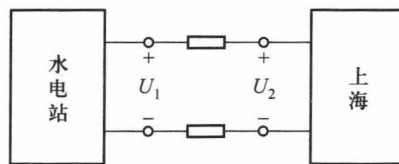
$$u_{ab} = 4 \times (i_1 - i) = 4 \times (2.222 - 2) \text{ V} = 0.889 \text{ V}$$

题 1-10 图(b)中, $u_1 = 5 \times 2 \text{ V} = 10 \text{ V}$, 受控电流源的电流 $0.05u_1 = 0.05 \times 10 \text{ V} = 0.5 \text{ A}$, 得

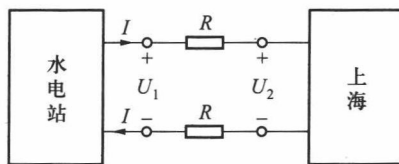
$$u_{cb} = u_{ca} + u_{ab} = -20 \times 0.05u_1 - 3 = -13 \text{ V}$$

1-11 我国自葛洲坝水电站至上海的高压直流输电线示意图如题 1-11 图。输电线每根对地耐压为 500 kV , 导线容许电流为 1 kA 。每根导线电阻为 27Ω (全长 1088 km)。试问当首端线间电压 U_1 为 1000 kV 时, 可传输多少功率到上海? 传输效率是多少?

解: 题 1-11 图中, 依题意, 导线容许电流为 $I = 1 \text{ kA}$, 每根导线电阻为 $R = 27 \Omega$, $U_1 = 1000 \text{ kV}$, 如题 1-11 解图所示, 有



题 1-11 图



题 1-11 解图

$$\begin{aligned} p_{\text{上海}} &= U_2 I = (-RI + U_1 - RI) I = (-2RI + U_1) I \\ &= (-2 \times 27 \times 1 \times 10^3 + 1000 \times 10^3) \times 10^3 \text{ W} \\ &= 946 \times 10^6 \text{ W} = 946 \times 10^3 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$p_{\text{水电站}} = U_1 I = 1000 \times 10^3 \times 1 \times 10^3 \text{ W} = 10^6 \text{ kW},$$

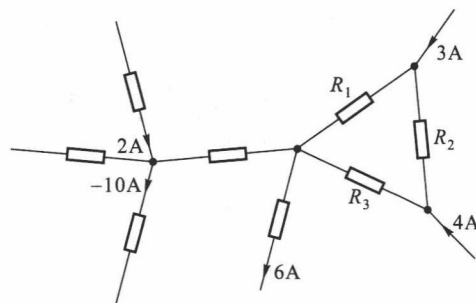
$$\eta = \frac{p_{\text{上海}}}{p_{\text{水电站}}} \times 100\% = \frac{946 \times 10^3}{10^6} \times 100\% = 94.6\%$$

1-12 对题 1-12 图所示电路, 若:

(1) R_1, R_2, R_3 不定;

(2) $R_1 = R_2 = R_3$ 。

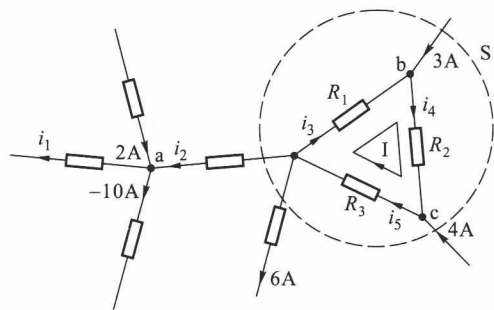
在以上两种情况下, 尽可能多地确定各电阻中的未知电流。



题 1-12 图

解: 在题 1-12 图中, 标注各支路未知电流为 i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 及其参考方向, 结点 a、b、c, 闭合面 S, 回路 I 及绕行方向, 如题 1-12 解图所示。

(1) 对闭合面 S, 应用 KCL, 有 $i_2 = (3 + 4 - 6) \text{ A} = 1 \text{ A}$; 对结点 a, 有 $i_1 = 2 + i_2 - (-10) = 13 \text{ A}$, 不能确定电流 i_3, i_4, i_5 ;



题 1-12 解图

(2) 对回路 I, 应用 KVL, 有 $R_1 i_3 + R_2 i_4 + R_3 i_5 = 0$, 若 $R_1 = R_2 = R_3$, 则

$$i_3 + i_4 + i_5 = 0 \quad \langle 1 \rangle$$

对 b 结点, 应用 KCL, 有 $-i_3 + i_4 = 3 \text{ A}$ $\langle 2 \rangle$

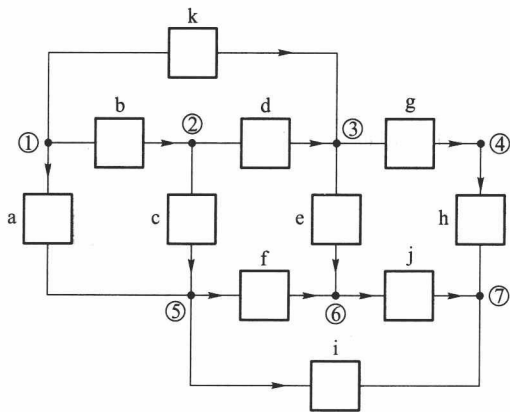
对 c 结点, 应用 KCL, 有 $-i_4 + i_5 = 4 \text{ A}$ $\langle 3 \rangle$

联立求解 $\langle 1 \rangle$ 、 $\langle 2 \rangle$ 、 $\langle 3 \rangle$ 式, 解得

$$i_3 = -\frac{10}{3} \text{ A} = -3.333 \text{ A}, i_4 = -\frac{1}{3} \text{ A} = -0.333 \text{ A}, i_5 = \frac{11}{3} \text{ A} = 3.667 \text{ A}$$

在 (1) 问中已求得 $i_1 = 13 \text{ A}$, $i_2 = 1 \text{ A}$ 。

1-13 在题 1-13 图所示电路中, 已知 $u_{12} = 2 \text{ V}$, $u_{23} = 3 \text{ V}$, $u_{25} = 5 \text{ V}$, $u_{37} = 3 \text{ V}$, $u_{67} = 1 \text{ V}$, 尽可能多地确定其他各元件的电压。



题 1-13 图

解: 题 1-13 图中, $u_a = u_{15} = u_{12} + u_{25} = (2 + 5) \text{ V} = 7 \text{ V}$, $u_b = u_{12} = 2 \text{ V}$

$$u_c = u_{25} = 5 \text{ V}, \quad u_d = u_{23} = 3 \text{ V}, \quad u_e = u_{36} = u_{37} - u_{67} = (3 - 1) \text{ V} = 2 \text{ V}$$

$$u_f = u_{56} = u_{52} + u_{23} + u_{36} = -u_{25} + u_{23} + u_{36} = (-5 + 3 + 2) \text{ V} = 0 \text{ V}$$

$$u_i = u_{57} = u_{56} + u_{67} = (0 + 1) \text{ V} = 1 \text{ V}$$

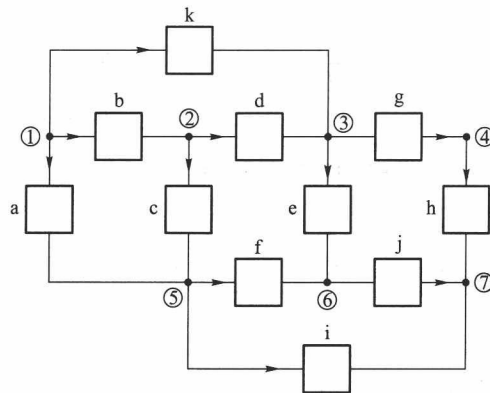
$$u_j = u_{67} = 1 \text{ V}$$

$$u_k = u_{13} = u_{12} + u_{23} = (2 + 3) \text{ V} = 5 \text{ V}$$

不能确定电压 $u_g = u_{34}$, $u_h = u_{47}$ 。

1-14 对上题所示电路, 指定各支路电流的参考方向, 然后列出所有结点处的 KCL 方程, 并说明这些方程中有几个是独立的。

解: 上题所示电路 (题 1-13 图) 中, 共有 6 个结点 ①、②、③、⑤、⑥、⑦, 元件 g 与 h 串联看成一条支路 $i_g = i_h$ (4 不是结点), 标注各支路电流的参考方向, 如题 1-14 解图所示其结点的 KCL 方程如下



题 1-14 解图

结点 ①: $i_a + i_b + i_k = 0$;

结点 ②: $-i_b + i_c + i_d = 0$;

结点 ③: $-i_d + i_e + i_g - i_k = 0$;

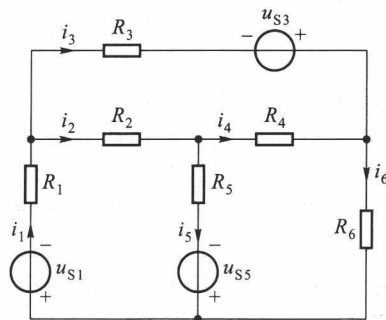
结点 ⑤: $-i_a - i_c + i_f + i_i = 0$;

结点 ⑥: $-i_e - i_f + i_j = 0$;

结点 ⑦: $-i_h - i_i - i_j = 0$ 。

以上 6 个方程相加, 得 $0 = 0$, 即以上 6 个方程不是线性独立的, 但去掉任意一个方程, 余下的 5 个方程则彼此是线性独立的。

1-15 电路如题 1-15 图所示, 该电路可列 KVL 的回路共有 7 个, 试按给定支路电流的参考方向列出这些 KVL 方程。并找出其中三组独立方程 (每组中方程应尽可能多)。



题 1-15 图