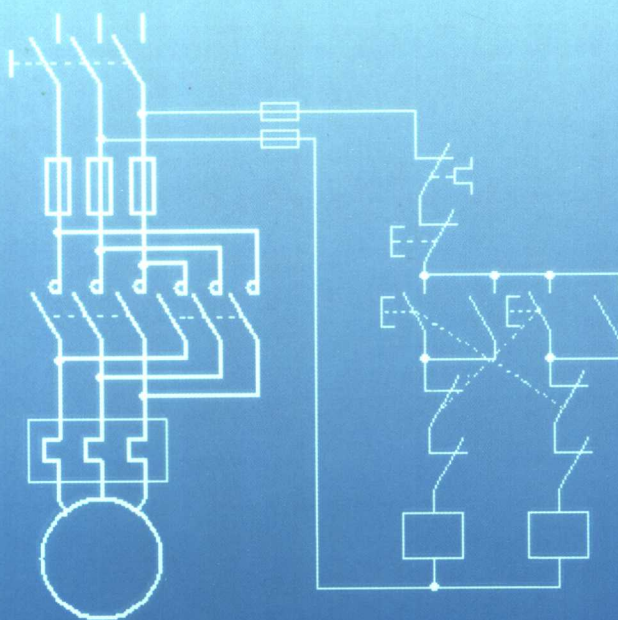




教育部高职高专规划教材

电工技术

董力 郑怡 主编



-43
13



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电 工 技 术

董 力 郑 怡 主编
王艳秋 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/董力, 郑怡主编. —北京: 化学工业出版社, 2005.5
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-7116-7

I. 电… II. ①董…②郑… III. 电工技术-高等学校: 技术学院-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 052920 号

教育部高职高专规划教材

电 工 技 术

董 力 郑 怡 主 编

王艳秋 主 审

责任编辑: 张建茹 唐旭华

责任校对: 战河红

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
教 材 出 版 中 心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 7¼ 字数 171 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7116-7

定 价: 14.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(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》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《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,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

为了适应社会经济和科学技术迅速发展及教育教学改革的需要,全国化工高职电仪类专业教学指导委员会组织有关院校经过广泛深入的调查研究和讨论,制定了高职高专电仪类专业新一轮的教材建设规划。新的规划教材根据“以市场需求为导向,以职业能力为本位,以培养应用型高技能人才为中心”的原则,注重以先进的科学发展观调整和组织教学内容,增强认知结构与能力结构的有机结合,强调培养对象对职业岗位(群)的适应程度,对电仪类专业教材的整体优化力图有所突破,有所创新。

本书是根据全国化工高职电仪类专业教学指导委员会 2004 年石家庄会议制定的教学计划和北京会议制定的《电工技术》教材编写大纲而编写的。

本书立足高职高专教育人才培养目标,注意精选内容,以必需、够用为度。内容上分电工基础和电机与电器两部分。电工基础主要包括直流电路、单相交流电路、三相交流电路、暂态过程分析,主要讲述基本概念、基本规律、基本分析方法和实际应用知识。电机与电器主要介绍变压器、电动机、低压电器的基本结构、功能和应用以及典型的继电器接触控制电路。

本书的内容尽量做到结构紧凑、内容简明、脉络清晰。在每章末有小结、习题。既便于教师讲授,又起到了对学生引导、总结、提高和自我检查的目的。

本书内容已制作成用于多媒体教学的 PowerPoint 课件,并将免费提供给采用本书作为教材的高职高专院校使用。如有需要可联系:txh@cip.com.cn 或 zjru68@263.net。

参加本书编写的人员都是在各高职高专院校从事电工技术教学和研究的一线教学人员,由董力、郑怡担任主编。董力编写第 1、3、4、5 章,郑怡编写第 2 章,刘江彩编写第 6、7 章,刘宪春编写第 8 章。

本书由辽宁工学院王艳秋教授主审。在审阅的过程中提出了许多具体的、宝贵的意见,谨在此表示衷心的感谢!

限于编者水平,书中的缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2005 年 4 月

目 录

1 直流电路	1
1.1 电路及其组成	1
1.2 电路中的物理量及参考方向	1
1.3 电路中电位的计算	2
1.4 基尔霍夫定律	3
1.5 复杂电路的基本分析方法	5
1.6 电气设备的额定值及电路的工作状态	12
小结	13
思考题与习题	14
2 单相交流电路	17
2.1 正弦交流电的基本概念	17
2.2 正弦交流电的表示法 (相量图表示、相量复数表示)	19
2.3 单一参数的交流电路	21
2.4 电阻、电感、电容元件串联的交流电路	27
2.5 功率因数的提高	30
2.6 正弦交流电路中的谐振	32
2.7 非正弦交流电路的概念	34
小结	35
思考题与习题	36
3 三相交流电路	40
3.1 三相交流电源	40
3.2 三相负载的联接	41
3.3 三相电路的功率	45
小结	46
思考题与习题	46
4 暂态过程分析	48
4.1 初始值的确定	48
4.2 一阶电路的三要素	50
小结	52
思考题与习题	53
5 变压器	56
5.1 磁路的基本概念	56
5.2 交流铁心线圈电路	58
5.3 变压器	59
5.4 几种常用的变压器	62

小结	66
思考题与习题	66
6 交流电动机	68
6.1 三相异步电动机的基本结构和铭牌	68
6.2 三相异步电动机的工作原理	71
6.3 三相异步电动机的运行分析	74
6.4 三相异步电动机的启动、调速、制动	76
6.5 单相异步电动机	79
小结	81
思考题与习题	82
7 继电器接触式控制线路	84
7.1 常用低压电器	84
7.2 三相异步电动机基本控制电路	92
小结	96
思考题与习题	97
8 安全用电技术	99
8.1 电流对人体的伤害	99
8.2 常见的触电方式	99
8.3 防止触电的保护措施	101
8.4 安全用电及触电急救常识	103
8.5 电气防火和防爆	105
小结	106
思考题与习题	106
参考文献	107

1 直流电路

电路的基本概念及基本定律是分析电路的重要基础。本章在了解电路的基本概念以及电流、电压、电动势基本物理量的实际方向及参考方向的基础上，重点讨论复杂线性电路的几种基本分析计算方法，为今后的学习打下必要的基础。

1.1 电路及其组成

将某些电器设备或元件用一定方式组合起来的电流通路称为电路。电路由电源、负载和中间环节三部分组成。

图 1-1 是手电筒电路的示意图，它是一个最简单的电路，由干电池、灯泡、开关三部分组成。

电源可将非电能转换成电能向电路提供能量。例如干电池将化学能转化成电能。

负载是用电设备，它吸收电能转换成其他形式的能量。例如灯泡吸收电能转换成光能。

中间环节是指将电源与负载连接成闭合电路的导线、开关设备、保护设备等。

任何实际电路是由多种电气元件组成的，各元件的外形和作用千差万别，为了便于对实际电路进行分析和计算，通常是将实际电气元件用能够反映其主要特征的理想元件来代替。用理想元件符号等效实际元件所画出的电路图为电路模型。如图 1-1 (b) 所示即为手电筒的电路模型。

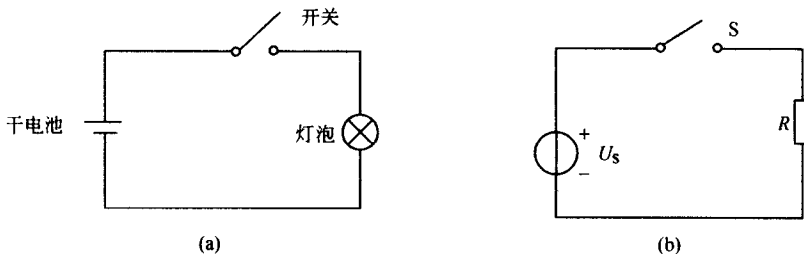


图 1-1 手电筒电路示意图

1.2 电路中的物理量及参考方向

图 1-2 电路模型中标出了电流 I 、电压 U 、电动势 E 的实际方向。

电流 I 的实际方向在图中用箭头表示。外电路中电流的方向是从电源“+”极流出，流入电源“-”极。流经负载电阻 R 时，负载两端极性如图 1-2 所示。电源内部电流的方向是从电源的“-”极流向电源的“+”极。

电压 U 的实际方向是电位降低的方向。即从“+”到“-”。

电动势 E 的实际方向是电位升高的方向。即从“-”到

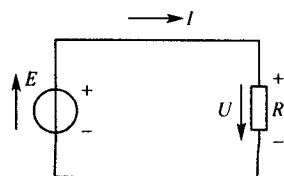


图 1-2 电路模型

“+”。

电路图中任意设定的电量方向为参考方向。按参考方向求解后若参考方向对应的数值为负，说明参考方向与实际方向相反，反之参考方向即为实际方向。

【例 1-1】 图 1-3 中各方框表示闭合电路中的某一电气设备，图中标出的极性和方向都是实际极性和实际方向，试判断哪些是电源？哪些是负载？

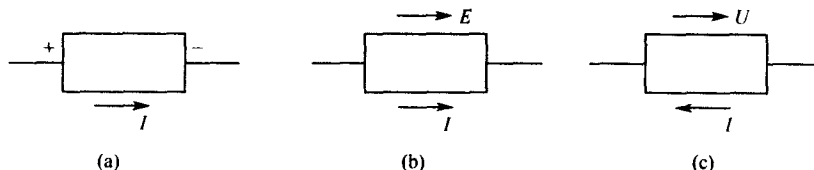


图 1-3 例 1-1 图

解 图 1-3(a) 中，电流方向为从“+”到“-”，方框内为负载。

图 1-3 (b) 中，由 E 的方向可知电气设备两端极性左“-”，右“+”，电流是从“-”到“+”，方框内为电源。

图 1-3 (c) 中，由 U 的方向可知电气设备两端的极性右“-”，左“+”，电流是从“-”到“+”，方框内为电源。

1.3 电路中电位的计算

电路中某点与参考点之间的电压即为该点的电位。参考点的电位为零。

电路中任意一点电位的计算方法：从参考点出发沿任选一条路径“走”到被测点，在“走”的路径中，遇到电位升高取正值，遇到电位降低取负值，累计其代数和即为被测点的电位值。

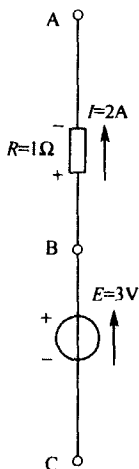


图 1-4 例 1-2 图

【例 1-2】 某一完整电路的一部分如图 1-4 所示。分别以 A、B、C 为参考点，计算各点的电位。

解 如图 1-4 所示，若以 A 为参考点，首先根据给定的 I 和 E 的参考方向标出电路中各元件两端的极性，按照电位的计算方法有

$$U_A = 0V$$

$$U_B = IR = 2 \times 1 = 2V$$

$$U_C = U_B - E = 2 - 3 = -1V$$

若以 B 为参考点

$$U_B = 0$$

$$U_A = -IR = -2 \times 1 = -2V$$

$$U_C = -E = -3V$$

若以 C 为参考点

$$U_C = 0$$

$$U_B = E = 3V$$

$$U_A = E - IR = 3 - 2 \times 1 = 1V$$

从例 1-2 可看出，电路中各点的电位随参考点的变化而变化，但任意两点之间的电位差值不变。在例 1-2 中，以 A、B、C 三点中任意一点为参考点，均有 $U_{AB} = -2V$ ， $U_{BC} = 3V$ ，

$U_{CA} = -1V$ 。

【例 1-3】 在图 1-5 中, 若电流已知, 请写出 A、B、C 三点电位的表达式。

解 由电流 I 的参考方向标出各电阻元件两端的极性。

首先取逆时针方向从参考点“走”到被测点, 各点电位为

$$U_A = E_2 + IR_2$$

$$U_B = U_A + IR_3 = E_2 + IR_2 + IR_3$$

$$U_C = U_A + U_B + IR_1 - E_1 = E_2 + IR_2 + IR_3 + IR_1 - E_1$$

若取顺时针方向从参考点“走”到被测点, 各点电位为

$$U_C = -IR_4$$

$$U_B = U_C + E_1 - IR_1 = -IR_4 + E_1 - IR_1$$

$$U_A = U_C + U_B - IR_3 = -IR_4 + E_1 - IR_1 - IR_3$$

从例 1-3 中可以看到, 从参考点到被测点会有 n 条不同的路径, 一般计算时取最简单的路径。尽管表达式不同, 但取不同路径计算结果是惟一的。

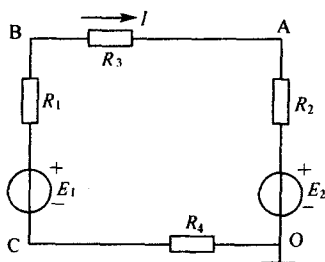


图 1-5 例 1-3 图

1.4 基尔霍夫定律

如图 1-6 电路, 若已知 E_1 、 E_2 、 R_1 、 R_2 、 R_3 , 求解电路中电流分布。这类问题运用欧姆定律和电阻串并联公式已不能得出结果。这样的电路称复杂电路。求解复杂电路的基本定律为基尔霍夫定律。以下介绍几个基本概念。

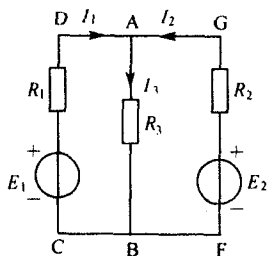


图 1-6 复杂电路

① **支路** 电路中任意一段无分支的路径称为支路。图 1-6 中有 AB、ADCB、AGFB 三条支路。

② **节点** 电路中三条或三条以上支路的交点称为节点。如图 1-6 中有 A、B 两个节点。

③ **回路** 电路中任意一个闭合路径称为回路。如图 1-6 中有 ADCBA、AGFBA、DAGFBCD 三个回路。

④ **网孔** 内部不含有其他支路的回路称为网孔。如图 1-6 中有 ADCBA、AGFBA 两个网孔。

1.4.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)

① **电流连续性原理阐明** 电路中任一点 (包括节点) 上任何瞬间都不会发生电荷堆积或减少现象。KCL 是电流连续性原理的体现。

② **KCL 研究对象** 节点上电流。

③ **KCL 内容** 任一瞬间, 流入一个节点的电流总和等于从该节点流出的电流总和。

④ **KCL 数学表达式** $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$, 或 $\sum I = 0$ 。

如图 1-6 中, A、B 两节点电流方程是相同的。两个方程只能取一个为独立方程。可以证明, 当电路有 n 个节点时可列出 $n-1$ 个独立电流方程。或者说包含新支路的节点所列方程为独立方程。

在图 1-7 电路中, 若将闭合路径 ABC 作为一个封闭面, 则称为广义节点根据 KCL 有

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

若对电路中 A、B、C 三个节点应用 KCL，则有

$$I_A = I_1 - I_3$$

$$I_B = I_2 - I_1$$

$$I_C = I_3 - I_2$$

将以上三式相加得 $I_A + I_B + I_C = 0$ ，可见，广义节点概念是 KCL 推广的应用。

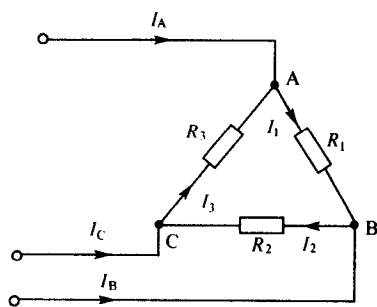


图 1-7 广义节点

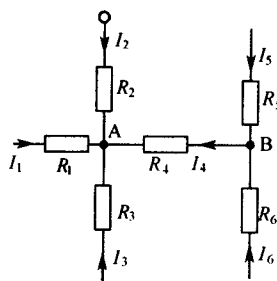


图 1-8 例 1-4 图

【例 1-4】如图 1-8 所示电路中， $I_1 = 3A$ ， $I_2 = 1A$ ， $I_5 = -5A$ ， $I_6 = -4A$ ，求 R_3 、 R_4 上电流。

解 首先设定 R_3 、 R_4 上电流 I_3 、 I_4 的参考方向如图 1-8 所示，列出节点 A、B 的 KCL 方程为

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

$$I_5 + I_6 - I_4 = 0$$

代入数据解得

$$3 + 1 + I_3 + I_4 = 0$$

$$I_3 = 5A$$

$$-5 - 4 - I_4 = 0$$

$$I_4 = -9A$$

由例 1-4 可看到，在应用 KCL 列节点电流方程式时，要按图中所标注的电流参考方向列出方程式。若解出的结果为正值，说明电流的参考方向与实际方向相同；若解出的结果为负值，说明电流的参考方向与实际方向相反。

1.4.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律是确定电路中回路内电压之间关系的一个定律。

KVL 研究对象 回路内电压。

KVL 内容 任时刻，电路中任一回路内各段电压的代数和等于零。

KVL 数学表达式 $\sum U = 0$ 。

在应用 KVL 列方程式之前，应先确定所选回路的绕行方向，沿绕行方向绕行一周遇到电位升高取正值，遇到电位降低取负值，取其代数和等于零。

在图 1-6 中，取回路 CDABC、BAGFB、CDAGFBC 均沿顺时针方向绕行一圈，根据 KVL 列方程如下。

回路 CDABC

$$E_1 - I_1 R_1 - I_3 R_3 = 0$$

回路 BAGFB

$$I_3 R_3 + I_2 R_2 - E_2 = 0$$

回路 CDAGFBC

$$E_1 - I_1 R_1 + I_2 R_2 - E_2 = 0$$

以上三个 KVL 方程任意组合两个方程可得出第三个方程, 所以只有两个方程是独立方程。一般在平面电路中 N 个网孔可列出 N 个独立的电压方程。

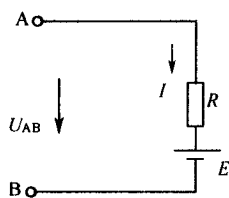


图 1-9 开口电路

KVL 定律还可以推广到如图 1-9 所示的开口电路。同样按顺时针或逆时针方向绕行一圈, 电位升高取正, 电位降低取负, 代数和为零。根据 KVL 有

$$U_{AB} - IR - E = 0$$

【例 1-5】在图 1-6 电路中已知 $R_1 = 3\Omega$, $E_1 = 24V$, $R_2 = 6\Omega$, $E_2 = 12V$, $R_3 = 6\Omega$, 求各支路电流。

解 ① 在图中设出各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向。

② 根据 KCL、KVL 列出独立方程, 即

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$E_1 - I_1 R_1 - I_3 R_3 = 0$$

$$I_3 R_3 + I_2 R_2 - E_2 = 0$$

代入数据

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$24 - 3I_1 - 6I_3 = 0$$

$$6I_3 + 6I_2 - 12 = 0$$

解得

$$I_1 = 3A$$

$$I_2 = -2.5A$$

$$I_3 = 0.5A$$

③ I_1 、 I_3 数值为正, 说明参考方向与实际方向相同。 I_2 数值为负, 说明参考方向与实际方向相反。

1.5 复杂电路的基本分析方法

1.5.1 支路电流法

支路电流法是以支路电流为未知量, 根据 KCL、KVL 列出方程式, 从而求出各支路电流的方法。解题步骤和方法如例 1-5。

1.5.2 电压源和电流源的等效变换

实际使用的电源可以等效为电压源和电流源两种形式。图 1-10(a) 表示一个电压源模型, E_0 是一个理想电压源 (内阻 r_0 为零的电压源称为理想电压源)。图 1-10(b) 为一个电流源模型, I_s 是一个理想电流源 (内阻 r_s 为无穷大的电流源为理想电流源, 其输出电流为恒定电流)。

常用的供电电源如发电机、蓄电池等均用电压源模型表示, 如图 1-10(a); 光电池和一些电子器件中有恒流输出, 一般用电流源模型表示, 如图 1-10(b)。两种电源模型是可以相互等效变换的。

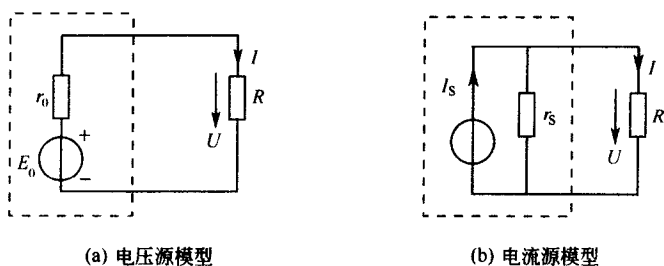


图 1-10 电压源和电流源电路模型

在图 1-10 中, 若两种电源模型对相同负载电阻 R 作用相同时, 即负载电阻 R 上有相同的电压 U 和电流 I , 则两种电源是可以相互等效变换的。

对电压源模型有

$$E_0 = r_0 I + U \quad (1-1)$$

对电流源模型有

$$I_S = I + \frac{U}{r_S}$$

上式变换为

$$I_S r_S = r_S I + U \quad (1-2)$$

对比式(1-1)、式(1-2)得出

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= r_0 I_S \\ r_0 &= r_S \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式(1-3) 为电压源和电流源的等效变换式。

【例 1-6】 作出如图 1-11 所示各电路的等效电源图。

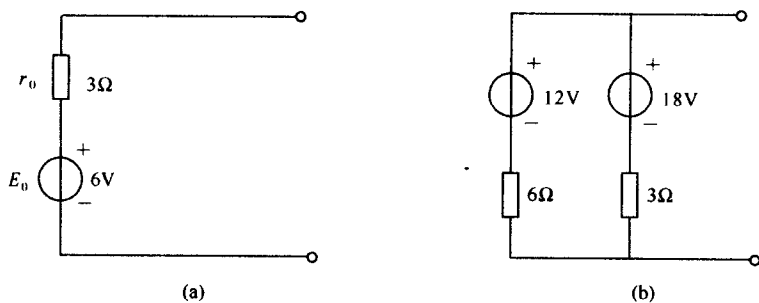


图 1-11 例 1-6 图

解 ① 图 1-11(a) 中为电压源, 将其变成电流源。作图 1-12, 即

$$I_s = \frac{E_0}{r} = \frac{6}{3} = 2\text{A}, \quad r_S = 3\Omega$$

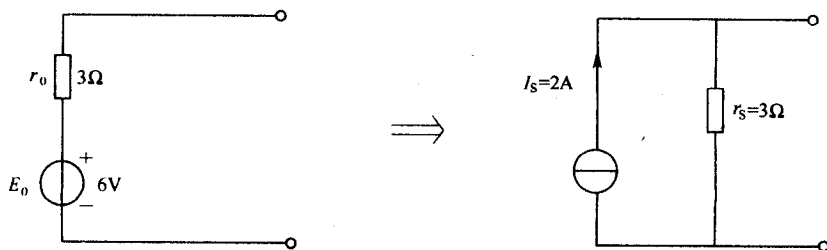


图 1-12 图 1-11(a) 题解图

② 先将图 1-11(b) 中两个电压源变换成两个电流源，然后再将两个电流源合并为一个电流源，再将这个电流源变换成一个电压源。注意变换过程中电流源电流方向及电压源电压的极性。

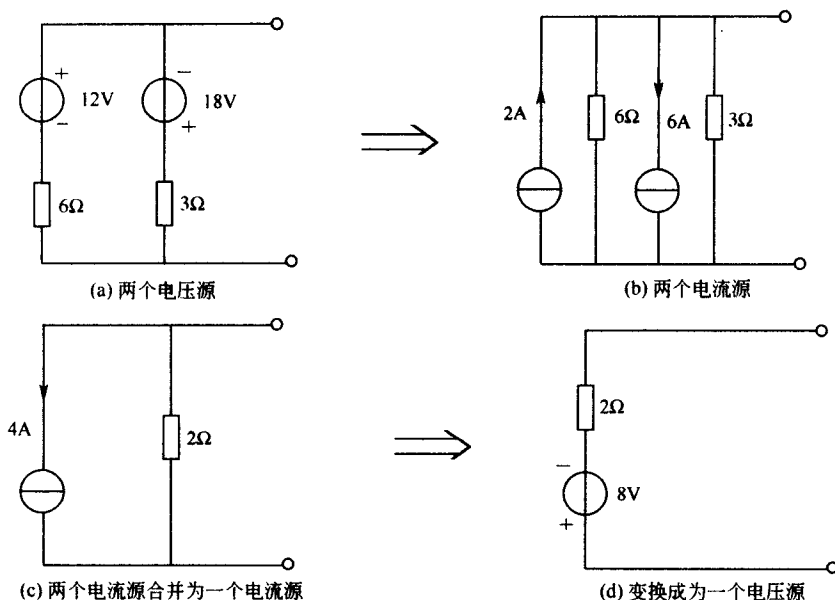


图 1-13 图 1-11(b) 题解图

【例 1-7】在图 1-13 中若在电源输出端加入一个 $R=6\Omega$ 的电阻如图 1-14。用电压源电流源等效互换的方法求 R 上通过的电流 I 。

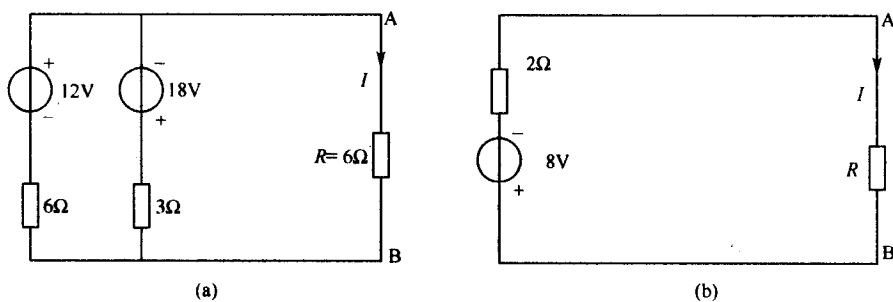


图 1-14 例 1-7 图

解 将图 1-14(a) 中 A、B 左边进行电源的等效变换如图 1-14(b)。

R 上的电流为

$$I = -\frac{8}{2+6} = -1\text{A}$$

由上例题可看出，求解复杂电路中某一支路电流时用电压源、电流源等效互换方法较为简单。

1.5.3 叠加原理

叠加原理是线性电路中的一条重要原理。叠加原理的内容是：在线性电路中，任一支路

的电流或电压等于由各个电源单独作用时在该支路所产生电流或电压的代数和。

通过例题 1-8 说明应用叠加原理的分析方法。

【例 1-8】 用叠加原理求图 1-15(a) 中的电流 I_1 、 I_2 。

解 ① 首先将原电路分解成各个电源单独作用时的电路叠加。图 1-15(b) 为电压源 E 单独作用时的电路。此时不考虑恒流源的作用，恒流源 I_S 为零值，该支路应作开路处理。

图 1-15(c) 为恒流源单独作用时的电路。此时不考虑恒压源的作用，恒压源 E 为零值应作短路处理。图 1-15(a) 电路是图 1-15(b) 和图 1-15(c) 的叠加。

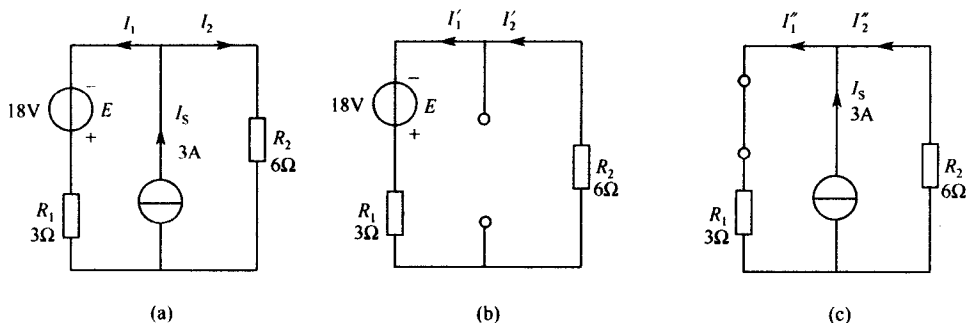


图 1-15 例 1-8 图

② 按各电源单独作用时的电路图分别求出各支路的电流。

图 1-15(b) 电压源单独作用时

$$I_1' = I_2' = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{18}{3 + 6} = 2\text{A}$$

图 1-15(c) 恒流源单独作用时

$$I_1'' = 2\text{A}, I_2'' = 1\text{A}$$

③ 应用叠加原理求出 I_1 、 I_2

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 2 + 2 = 4\text{A} \quad (I_1', I_1'' \text{ 与 } I_1 \text{ 参考方向相同})$$

$$I_2 = -I_2' + I_2'' = -2 + 1 = -1\text{A} \quad (I_2' \text{ 与 } I_2 \text{ 参考方向相反})$$

由上例可以看出，叠加原理把复杂电路化为多个简单电路求解，最后进行叠加。叠加原理适用于计算电流、电压，但不能用于计算功率，因为功率是电流（或电压）的二次函数，是非线性。

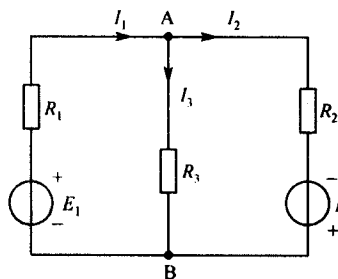


图 1-16 节点电位法

1.5.4 节点电位法

节点电位法是以电路中的节点电压为未知量列方程求解的电路分析方法，这种方法用在多支路少节点的电路中计算支路电流时非常简便。尤其对多支路两节点电路的计算尤为简便。

下面以图 1-16 两节点电路为例，介绍节点电位法的分析方法。

电路有 A、B 两个节点，选 B 参考点。即 $U_B = 0$ ，根据图中各支路电流的参考方向写出从三条支路计算 U_A 的表达式

$$\left. \begin{aligned} U_A &= E_1 - I_1 R_1 \\ U_A &= I_3 R_3 \\ U_A &= -E_2 + I_2 R_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

分别写出由 U_A 表示的各支路电流的表达式

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E_1 - U_A}{R_1} \\ I_3 &= \frac{U_A}{R_3} \\ I_2 &= \frac{U_A + E_2}{R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

根据 KCL 有

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (1-6)$$

将式(1-5) 代入(1-6) 中得

$$\begin{aligned} \frac{E_1 - U_A}{R_1} - \frac{U_A + E_2}{R_2} - \frac{U_A}{R_3} &= 0 \\ \text{整理得} \quad U_A &= \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \end{aligned} \quad (1-7)$$

式中分母为两节点之间各支路的恒压源为零后的电阻的倒数和。分子为各支路恒压源与本支路电阻相除后的代数和。当恒压源两端极性与节点电压的参考极性一致时取正号, 极性相反时取负号(图 1-16 中 E_1 与 U_{AB} 一致时取正号; E_2 与 U_{AB} 相反时取负号)。公式 (1-7) 也可表示为

$$U_A = \frac{\sum \frac{E}{R}}{\sum \frac{1}{R}} \quad (1-8)$$

【例 1-9】 用节点电位法求例 1-5 题。

解 根据式(1-8) 可求出节点 A 的电位值

$$\begin{aligned} U_A &= \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\frac{24}{3} + \frac{12}{6}}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6}} = 15\text{V} \\ I_1 &= \frac{E_1 - U_A}{R_1} = \frac{24 - 15}{3} = 3\text{A} \\ I_2 &= \frac{E_2 - U_A}{R_2} = \frac{12 - 15}{6} = -0.5\text{A} \\ I_3 &= \frac{U_A}{R_3} = \frac{15}{6} = 2.5\text{A} \end{aligned}$$

【例 1-10】 用节点电位法求图 1-17 电路中各支路的电流。

已知: $E_1 = 9\text{V}$, $R_1 = 3\Omega$, $I_s = 5\text{A}$, $R_4 = 10\Omega$, $R_3 = 6\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $E_2 = 12\text{V}$ 。

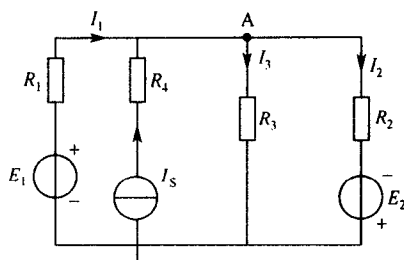


图 1-17 例 1-10 图

解 设各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 如图 1-17 所示。

根据 KCL 有

$$I_1 + I_S - I_2 - I_3 = 0$$

用电位 U_A 取代各电流代入上式得

$$\frac{E_1 - U_A}{R_1} + I_S - \frac{U_A}{R_3} - \frac{U_A + E_2}{R_2} = 0$$

整理得

$$U_A = \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} + I_S}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\frac{9}{3} - \frac{12}{6} + 5}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6}} = 9\text{V}$$

所以

$$I_1 = \frac{E_1 - U_A}{R_1} = \frac{9 - 9}{3} = 0\text{A}$$

$$I_2 = \frac{U_A + E_2}{R_2} = \frac{9 + 12}{6} = 3.5\text{A}$$

$$I_3 = \frac{U_A}{R_3} = \frac{9}{6} = 1.5\text{A}$$

对节点 A 而言, $\sum I = 0$ 。结果正确。

在应用节点电位法分析计算时应注意以下两点。

① 若两节点之间有恒流源支路 (或恒流源与一电阻元件串联) 时, 则两节点的节点电压公式的一般形成为

$$U = \frac{\sum \frac{U_S}{R} + \sum I_S}{\sum \frac{1}{R}} \quad (1-9)$$

式中分子中增加了恒流源的代数和。当恒流源流向节点时取正号; 背离节点时取负号。分母中不含与恒流源串联的电阻。

② 若两节点之间有一条路径为恒压源时, 由于恒压源的一端作为参考点, 则另一节点的电位就是恒压源的恒压值。

1.5.5 等效电源定理

求解复杂电路中某一条支路的电流时, 应用等效电源定理求解非常简便。其方法是将待求支路从电路中取出, 其余电路称为有源两端网络。该有源两端网络可以用一个等效电压源取代。这种复杂电路最终就化为了一个简单电路。如图 1-18 所示。

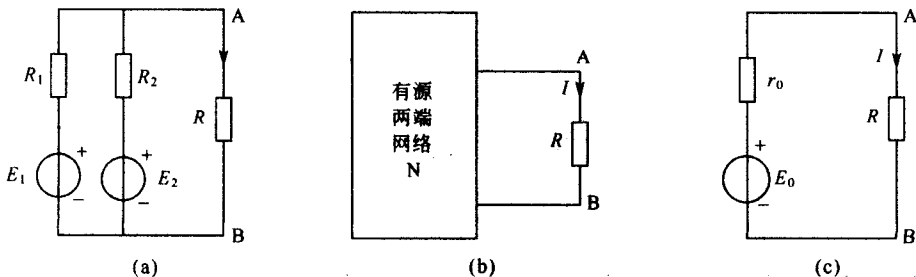


图 1-18 有源两端网络