

电工技术基础题解

主 编 吴根忠

副主编 王辛刚 徐 红 韩永华



科学出版社

电工技术基础题解

主 编 吴根忠

副主编 王辛刚 徐 红 韩永华

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书共 7 章,分为直流电路、单相正弦交流电路、三相交流电路、变压器、电动机、电气自动控制、供配电技术与安全用电,每章都包含内容提要、典型例题分析和习题解答三大部分,题型包括判断题、选择题、填空题、简答题、分析题和计算题,所有的题目都有详细的解答。全书编写条理清晰,例题分析中详细介绍解题思路,能启发逻辑思维,便于学生阅读和自学,有助于学生分析能力和解题能力的提高,能有效提高学习效果和学习成绩,对总结和复习具有一定的参考和辅导作用。

本书可供非电类专业本科学生和广大自学者学习参考,也可作为电工学教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础题解 / 吴根忠主编. —北京:科学出版社, 2018.12

ISBN 978-7-03-059268-2

I. ①电… II. ①吴… III. ①电工技术-高等学校-题解 IV. ①TM-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 249393 号

责任编辑:余 江 张丽花 高慧元 / 责任校对:王萌萌
责任印制:张 伟 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 12 月第一次印刷 印张:13 1/8

字数:331 000

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

“电工技术基础”是高等学校工科非电类专业学生获得电工技术以及电气控制基本理论和技能的重要课程，编者经过多年的教学实践，了解到学生在学习过程中希望有一本理论结合实际的学习辅导、解题的参考书。为此，编者结合多年从事电工技术基础的教学经验，根据课程大纲的要求和学生在学习中的反馈信息编写了本书。

电工技术基础主要包含直流电路、单相正弦交流电路、三相交流电路、变压器、电动机、电气自动控制、供配电技术与安全用电等内容。本书每章分为内容提要、典型例题分析和习题解答三大部分，帮助学生巩固电工技术基础各章的内容知识要点，通过习题解答学生可掌握解题技巧。本书题型全面、习题难易程度兼顾，在习题解答中力求讲清分析思路与解题的方法，培养学生理论结合实际解题能力，为后续的学习打下基础。

本书由浙江工业大学吴根忠主编，浙江工业大学的王辛刚、徐红和浙江理工大学的韩永华参与了本书的编写。在本书编写过程中还得到了余世明、庄婵飞、陆飞、庄华亮、仇翔、曹全军、李剑清等老师的指导与帮助，也得到了科学出版社的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2018年7月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 内容提要	1
1.2 典型例题分析	5
1.3 习题解答	15
第 2 章 单相正弦交流电路	69
2.1 内容提要	69
2.2 典型例题分析	72
2.3 习题解答	79
第 3 章 三相交流电路	108
3.1 内容提要	108
3.2 典型例题分析	110
3.3 习题解答	113
第 4 章 变压器	128
4.1 内容提要	128
4.2 典型例题分析	131
4.3 习题解答	133
第 5 章 电动机	148
5.1 内容提要	148
5.2 典型例题分析	151
5.3 习题解答	154
第 6 章 电气自动控制	177
6.1 内容提要	177
6.2 典型例题分析	178
6.3 习题解答	180
第 7 章 供配电技术与安全用电	200
7.1 内容提要	200
7.2 典型例题分析	200
7.3 习题解答	201
参考文献	204

第1章 直流电路

1.1 内容提要

1. 电路的基本概念

电路是由电源、导线和负载等元件或电气设备按一定方式连接起来的电流通路。
电路的作用主要是实现电能的传递和转换，或者实现信号的传送和处理。
在电路分析中常用的名词有节点、支路、回路和网孔等。

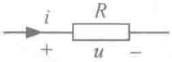
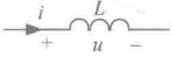
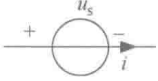
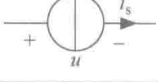
2. 参考方向

电压、电流的参考方向是在分析和计算电路过程中人为假定的方向，它可能与实际方向一致，也可能与实际方向相反，由计算结果的正负所决定。

3. 理想电路元件和电路模型

理想电路元件分为无源元件(电阻、电感和电容)、有源元件(理想电压源和理想电流源)和受控元件(电压控制的电压源、电压控制的电流源、电流控制的电压源和电流控制的电流源)。
理想电路元件的伏安特性如表 1-1 所示。

表 1-1 理想电路元件的伏安特性

理想元件	图形符号	伏安特性
电阻		$u = iR$
电感		$u = L \frac{di}{dt}$
电容		$i = C \frac{du}{dt}$
电压源		电压源两端的电压已知
电流源		电流源的电流已知

电路模型是从实际电路中提取出来，由理想电路元件构成的电路。

以直流电路为例，在计算外电路的电压和电流时，与电压源并联的部分电路(也可以是一个电阻)可移除(断开)，如图 1-1 (a)可简化为图 1-1 (b)；简化后不会影响外电路中的电压和电流，两个电路中只有电压源中的电流是不一样的。

在计算外电路的电压和电流时，与电流源串联的部分电路(也可以是一个电阻)可移除(短接)，如图 1-2(a)可简化为图 1-2(b)。简化后不会影响外电路中的电压和电流，两个电路中只有电流源两端的电压是不一样的。

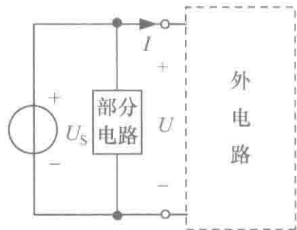


图1-1(a)

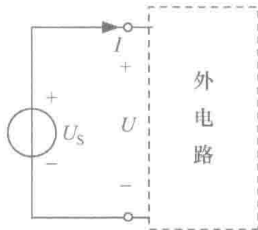


图1-1(b)

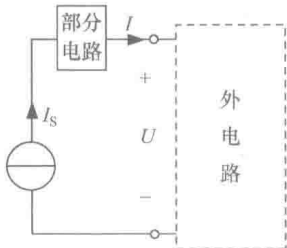


图1-2(a)

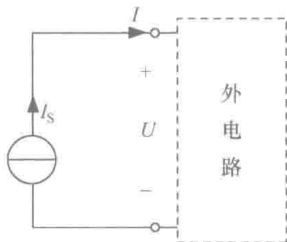


图1-2(b)

4. 实际电源

一个实际的电压源可以等效为一个理想电压源 U_s 和电阻 R_1 串联的模型，称为电压源模型；一个实际的电流源可以等效为一个理想电流源 I_s 和电阻 R_2 并联的模型，称为电流源模型。电压源模型和电流源模型可以相互转换，如图 1-3 所示。图中的参数关系为电压源模型等效为电流源模型时： $I_s=U_s/R_1$ ， $R_2=R_1$ 。或者，电流源模型等效为电压源模型时： $U_s=I_sR_2$ ， $R_1=R_2$ 。

5. 功率

在一个多电源的电路中，其中的一个电源(电压源或电流源)或者一个有源二端网络可能发出功率或吸收功率。当电压和电流的参考方向关联时，按公式 $P=UI$ 计算所得的是吸收的功率(如果计算结果为负值，表明实际是发出功率的)；当电压和电流的参考方向非关联时，按公式 $P=UI$ 计算所得的是发出的功率(如果计算结果为负值，表明实际是吸收功率的)。

6. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析和计算电路最基本的定律，分为基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫电流定律(KCL)：在集总电路中，在任一时刻，对任何一个节点，流入该节点的电流的代数和等于零，即 $\sum i=0$ 。

基尔霍夫电压定律(KVL)：在集总电路中，在任一时刻，对任何一个回路，沿回路同一循行方向，各部分电压的代数和等于零，即 $\sum u=0$ 。

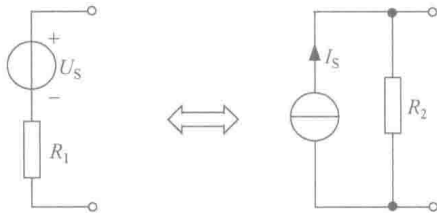


图 1-3 电压源模型与电流源模型的等效变换

7. 支路电流法

支路电流法是以支路电流为求解对象,应用 KCL 和 KVL 列出所需方程组进行求解的一种电路分析方法。

对于一个具有 n 个节点, b 条支路的电路而言,可以列出 $n-1$ 个独立的 KCL 方程, $b-(n-1)$ 个独立的 KVL 方程。对于平面电路,通常可选网孔作为独立回路来列写 KVL 方程,或者根据“每选择一个回路至少包含一条新的支路”这样一个原则来选择独立回路。

如果电路中含有电流源,由于该支路电流已知,在选择回路时避开含有电流源的支路,可以减少列写 KVL 方程的个数。

8. 回路电流法

回路电流法是以回路电流为求解对象,对独立回路应用 KVL 列出所需方程组进行求解的一种电路分析方法。

如果电路中含有电流源,在选择回路时只让一个回路经过含有电流源的支路,那么该回路电流就是该电流源的电流,从而可以减少列写 KVL 方程的个数。

对于一个具有 n 个节点, b 条支路的电路,独立回路数是 $l=b-(n-1)$,回路电流方程的一般形式为

$$\begin{cases} R_{11}I_{l1} + R_{12}I_{l2} + \cdots + R_{1l}I_{ll} = U_{S11} \\ R_{21}I_{l1} + R_{22}I_{l2} + \cdots + R_{2l}I_{ll} = U_{S22} \\ \vdots \\ R_{l1}I_{l1} + R_{l2}I_{l2} + \cdots + R_{ll}I_{ll} = U_{Sll} \end{cases}$$

其中, $R_{11}, R_{22}, \cdots, R_{ll}$ 称为自电阻,自电阻始终为正值; $R_{12}, R_{21}, \cdots, R_{jk} (j \neq k)$ 称为互电阻,当两回路电流在公共支路上的方向一致时,互电阻取正值,反之取负值; $U_{S11}, U_{S22}, \cdots, U_{Sll}$ 为各个回路的电压源之和,当电压源所产生的电流方向与回路电流方向一致时,取正值,反之取负值。

回路电流方程实际上就是每个回路的 KVL 方程,利用自阻、互阻和电压源的代数和等概念可以根据电路结构和参数直接写出回路电流方程。

9. 节点电压法

节点电压法是以节点电压为求解对象,对独立节点应用 KCL 列出所需方程组进行求解的一种电路分析方法。

节点电压方程的一般形式为

$$\begin{cases} G_{11}U_{n1} + G_{12}U_{n2} + \cdots + G_{1(n-1)}U_{n(n-1)} = I_{S11} \\ G_{21}U_{n1} + G_{22}U_{n2} + \cdots + G_{2(n-1)}U_{n(n-1)} = I_{S22} \\ \vdots \\ G_{(n-1)1}U_{n1} + G_{(n-1)2}U_{n2} + \cdots + G_{(n-1)(n-1)}U_{n(n-1)} = I_{S(n-1)(n-1)} \end{cases}$$

其中, $G_{11}, G_{22}, \cdots, G_{(n-1)(n-1)}$ 称为自电导,自电导始终为正值; $G_{12}, G_{21}, \cdots, G_{jk} (j \neq k)$ 称为互电导,互电导始终为负值; $I_{S11}, I_{S22}, \cdots, I_{S(n-1)(n-1)}$ 为流入各个节点的电流源的代数和。

节点电压方程实际上就是每个节点的 KCL 方程,利用自导、互导和流入节点的电流源的代数和等概念可以根据电路结构和参数直接写出节点电压方程。

10. 叠加定理

在含有多个独立电源的线性电路中，各处的电压或电流等于各个独立电源单独作用时在该处产生的电压或电流的代数和。

叠加定理只适用线性电路，非线性电路中的电压和电流不能叠加。在线性电路中，也只有电压或电流能进行叠加，功率是不能叠加的。

在应用叠加定理时，当某一个电源单独作用时，不作用的电压源置零，该电压源所在的位置应该短路；不作用的电流源置零，该电流源所在的位置应该开路。

在叠加时要注意总图和分图中电压、电流的参考方向是否一致，当分图中的参考方向与总图不一致时，在叠加时应取负号。

11. 等效电源定理(戴维南定理和诺顿定理)

戴维南定理：任何一个含有独立电源的二端网络，对外电路来说，可以用一个理想电压源 U_S 和电阻 R_0 串联的模型等效替代，理想电压源 U_S 的大小为该有源二端网络的开路电压，电阻 R_0 为该有源二端网络除源后的等效电阻。等效替代后，外电路中各处的电压电流保持不变。

诺顿定理：任何一个含有独立电源的二端网络，对外电路来说，可以用一个理想电流源 I_S 和电阻 R_0 并联的模型等效替代，理想电流源 I_S 的大小为该有源二端网络的短路电流，电阻 R_0 为该有源二端网络除源后的等效电阻。

根据戴维南定理得到的等效电路称为戴维南等效电路，根据诺顿定理得到的等效电路称为诺顿等效电路，这两个等效电路可以相互转换。

一个有源二端网络(其等效电压源的电压为 U_S ，等效电阻为 R_0)对负载电阻 R_L 供电，当负载电阻 R_L 与该有源二端网络的等效电阻 R_0 相等时，负载电阻上获得最大功率，最大功率

$$P_{\max} = \frac{U_S^2}{4R_0}。R_L = R_0 \text{ 称为最大功率匹配条件。}$$

12. 过渡过程产生的原因

电路中含有动态元件(电容、电感，也称为储能元件)，在电路发生换路(电路结构或元件参数发生变化)时，储能元件上的能量变化需要一定的时间，电路从一种稳定状态变到另一种稳定状态的过程称为过渡过程。

13. 换路定律

当没有纯电压源和电容构成的回路，或者没有纯电流源和电感支路构成的节点时，在电路发生换路瞬间，电容上的电压不能突变，电感上的电流不能突变，即 $u_C(0_+) = u_C(0_-)$ ， $i_L(0_+) = i_L(0_-)$ 。换路定律是动态电路中求解初始值最重要的依据。

14. 零输入响应、零状态响应和全响应

换路后电路中没有激励源，仅由动态元件的初始储能所产生的响应称为零输入响应。零输入响应的一般表达式为

$$f(t) = f(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad t > 0$$

换路后电路中动态元件的初始储能为零，仅由激励源所产生的响应称为零状态响应。零状态响应的一般表达式为

$$f(t) = f(\infty)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad t > 0$$

换路后电路中动态元件的初始储能不为零，同时又有激励源，此时所产生的响应称为全响应。全响应可以理解为零输入响应和零状态响应的叠加。全响应的一般表达式为

$$f(t) = f(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} + f(\infty)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad t > 0$$

15. 一阶电路的三要素法

一阶电路的三要素是指初始值、稳态值和时间常数。

初始值。在计算初始值时，一般都必须先根据换路定律把 $u_C(0_+)$ 或 (和) $i_L(0_+)$ 求解出来，再根据换路后的电路结构和 KCL、KVL 来求解其他的初始值。同时要注意，除了电容电压和电感电流外，其他所有量在换路前后都是要发生变化的。

稳态值。稳态值可按求解稳态电路的方法，对换路后的电路进行求解而得。在求解稳态值时，电容相当于开路，电感相当于短路。

时间常数。时间常数反映了过渡过程时间的长短，时间常数越大，过渡过程时间也就越长，工程上一般认为经过 $3\tau \sim 5\tau$ ，过渡过程结束。对 RC 电路来说， $\tau = RC$ ，对 RL 电路来说， $\tau = L/R$ 。时间常数计算式中的 R 分别是电容或电感两端得到的等效电阻，而不是从电源端得到的等效电阻，这一点需要特别注意。

利用初始值 $f(0_+)$ 、稳态值 $f(\infty)$ 和时间常数 τ 直接得到一阶电路动态响应的方法称为三要素法。三要素公式为

$$f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad t > 0$$

利用三要素公式同样可以求解零状态响应和零输入响应。

1.2 典型例题分析

例 1-1 把图 1-4(a) 所示的电路改为图 1-4(b) 所示的电路，电流 I_1 将()。

(a) 增大 (b) 不变 (c) 减小 (d) 不能确定

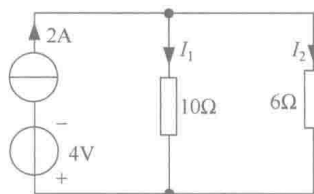


图 1-4(a)

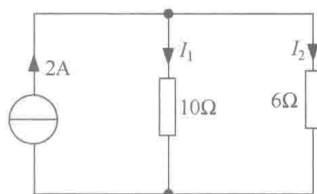


图 1-4(b)

解 该题主要考虑 4V 电压源是否会对电流 I_1 和 I_2 产生影响。在分析时，把电压源和电流源所在支路之外的电路称为外电路，由于该电压源与电流源是串联的，对外电路来说，无论电压源是否存在，端口的电流恒定不变，所以图 1-4(a) 和图 1-4(b) 是等效的，从而可以确定电流 I_1 不变。

或者也可以这样分析。右侧两个电阻是并联的关系，对两个电路图应用分流公式，同样

可以得到电流 I_1 不变这个结论。

所以正确答案应该是 b。

例 1-2 把图 1-5 (a) 所示的电路改为图 1-5 (b) 所示的电路, 电流 I_1 将 ()。

- (a) 增大 (b) 不变 (c) 减小 (d) 不能确定

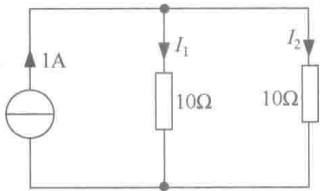


图 1-5 (a)

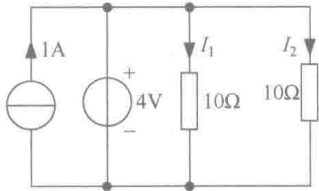


图 1-5 (b)

解 该题是把 4V 电压源与电流源并联, 对于并联的两个电阻来说, 图 1-5 (a) 中两个电阻的总电流是恒定的, 电流 I_1 可由分流公式计算得到 ($I_1=0.5\text{A}$); 而在图 1-5 (b) 中电阻两端的电压是恒定的, 电流可直接用电阻两端的电压除以电阻计算得到 ($I_1=0.4\text{A}$)。

所以正确答案应该是 c。

例 1-3 试求图 1-6 (a) 所示电路中 a 点的电位 V_a 。

解 该题可用多种方法进行求解。

方法一: 节点电压法

图 1-6 (a) 可改画成图 1-6 (b) 所示。

对 a 点列节点电压方程, 可得电位 V_a 为

$$V_a = \frac{-\frac{24}{20} + \frac{48}{60}}{\frac{1}{20} + \frac{1}{60} + \frac{1}{30}} = -4(\text{V})$$

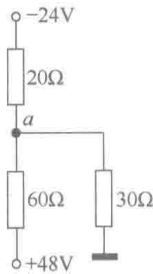


图 1-6 (a)

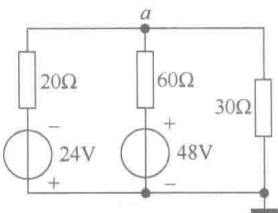
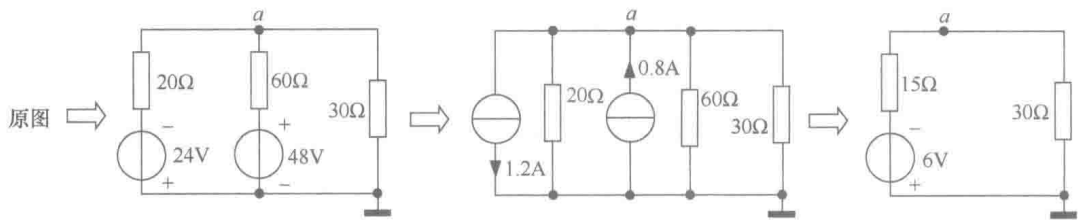


图 1-6 (b)

方法二: 用电源等效变换方法计算



从而可求得

$$V_a = \frac{30}{30+15} \times (-6) = -4(\text{V})$$

方法三：用叠加原理计算

当-24V 电压源单独作用时，得到如图 1-6(c) 所示的分图。此时 a 点的电位为

$$V'_a = -24 \times \frac{60//30}{20+60//30} = -12(\text{V})$$

当+48V 电压源单独作用时，得到如图 1-6(d) 所示的分图。此时 a 点的电位为

$$V''_a = 48 \times \frac{20//30}{60+20//30} = 8(\text{V})$$

所以， a 点电位

$$V_a = V'_a + V''_a = -12 + 8 = -4(\text{V})$$

该题还可以用支路电流法、戴维南等效电路等方法进行求解。

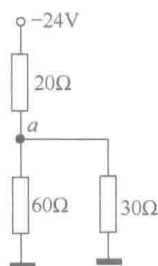


图 1-6(c)

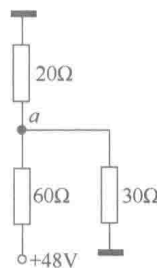


图 1-6(d)

例 1-4 用支路电流法求图 1-7(a) 所示电路中各支路电流。

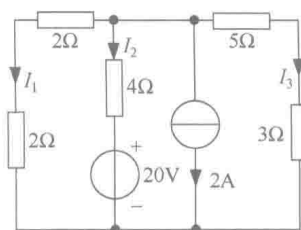


图 1-7(a)

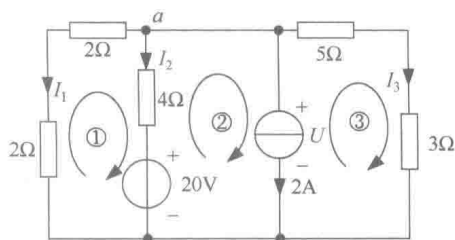


图 1-7(b)

解 应用支路电流法求解电路时，独立回路的选取是关键，也是难点。该题可以选择不同的回路来进行求解。

方法一：选网孔为独立回路

对于一般平面电路来说，通常选取网孔作为独立回路，如图 1-7(b) 所示。由于在列写回路的 KVL 方程时有电流源存在，所以需要把电流源两端的电压 U 作为附加变量在图 1-7(b) 中标注出来。

$$\text{对节点 } a \quad I_1 + I_2 + I_3 + 2 = 0$$

$$\text{对回路①} \quad 4I_2 + 20 - 4I_1 = 0$$

$$\text{对回路②} \quad U - 20 - 4I_2 = 0$$

$$\text{对回路③} \quad 8I_3 - U = 0$$

求解上述 4 个方程, 可得

$$I_1 = 1.2\text{A}, \quad I_2 = -3.8\text{A}, \quad I_3 = 0.6\text{A}$$

采用这个方法求解, 回路选择比较简单, 但是在方程中出现了新的变量——电流源两端的电压 U , 方程个数较多, 共有 4 个方程, 求解比较烦琐。同时, 电流源两端的电压 U 也是经常容易被忽略的。

方法二: 合理选择独立回路

除了选网孔作为独立回路外, 还可以通过合理选择回路来减少方程个数, 方便求解。

由于电流源所在支路的电流是已知的, 所以只要不出现新的变量, 回路电流方程的个数就可以相应减少。选取回路的原则是: 所选回路不要经过电流源所在的支路。

按照这个原则, 选取回路和节点如图 1-7(c) 所示。

$$\text{对节点 } a \quad I_1 + I_2 + I_3 + 2 = 0$$

$$\text{对回路①} \quad 4I_2 + 20 - 4I_1 = 0$$

$$\text{对回路②} \quad 8I_3 - 4I_1 = 0$$

上述三个方程中只有三个变量, 求解可得

$$I_1 = 1.2\text{A}, \quad I_2 = -3.8\text{A}, \quad I_3 = 0.6\text{A}$$

采用这种方法求解, 所列的方程数较少, 求解较为方便。

例 1-5 图 1-8(a) 所示电路中, $R_2 = R_3 = 10\Omega$ 。当 $I_S = 0$ 时, $I_1 = 1\text{A}$, $I_2 = 2\text{A}$, $I_3 = 2\text{A}$ 。求 $I_S = 1\text{A}$ 时的 I_1 、 I_2 和 I_3 。

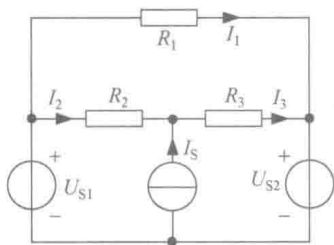


图 1-8(a)

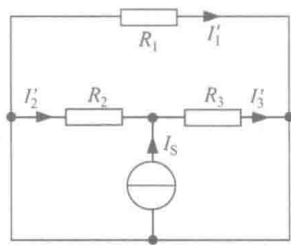


图 1-8(b)

解 从题意可知, 当 $I_S = 0$ 时的电流值, 也就是在两个电压源作用时的电流。根据叠加定理, 原电路图中当 $I_S = 1\text{A}$ 时的电流可以看成两个电压源作用时的分量加上 1A 电流源单独作用时的分量。

电流源 $I_S = 1\text{A}$ 单独作用时的电路图如图 1-8(b) 所示, 从图中可以求得

$$I'_1 = 0\text{A}$$

$$I'_2 = -\frac{R_3}{R_2 + R_3} I_S = -\frac{10}{10+10} \times 1 = -0.5(\text{A})$$

$$I'_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I_S = \frac{10}{10+10} \times 1 = 0.5(\text{A})$$

所以, 原电路图中当 $I_S = 1\text{A}$ 时的电流为

$$I''_1 = I_1 + I'_1 = 1 + 0 = 1(\text{A})$$

$$I''_2 = I_2 + I'_2 = 2 - 0.5 = 1.5(\text{A})$$

$$I''_3 = I_3 + I'_3 = 2 + 0.5 = 2.5(\text{A})$$

通过该题的求解可以知道,在应用叠加定理时,不一定需要把总图分解成各个独立源单独作用时的分图,而是可以根据需要在某个(或某几个)分图中保留多个独立源。

例 1-6 电路如图 1-9(a) 所示,已知 $U_S=12\text{V}$, $I_S=5\text{A}$, $R_1=6\Omega$, $R_2=3\Omega$, $R_3=2\Omega$, $R_4=4\Omega$, $R_5=2/3\Omega$, $R_6=2\Omega$, 求电压源 U_S 和电流源 I_S 各输出多少功率?

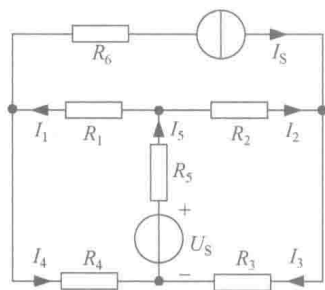


图 1-9(a)

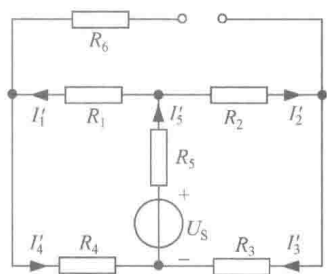


图 1-9(b)

解 要求得电压源 U_S 和电流源 I_S 输出的功率,需要计算电流源两端的电压和流过电压源的电流 I_5 。可以用叠加原理、支路电流法、回路电流法和节点电压法方法进行求解。这里给出用叠加原理和支路电流法求解的方法。

方法一: 用叠加原理

U_S 单独作用时, I_S 开路, 如图 1-9(b) 所示。

$$I'_5 = \frac{U_S}{(R_1 + R_4) // (R_2 + R_3) + R_5} = \frac{12}{(6+4) // (3+2) + 2/3} = 3(\text{A})$$

$$I'_1 = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} I'_5 = \frac{3+2}{6+3+2+4} \times 3 = 1(\text{A})$$

$$I'_2 = I'_3 = I'_5 - I'_1 = 3 - 1 = 2(\text{A})$$

I_S 单独作用时, U_S 短路, 如图 1-9(c) 所示。因为 $R_1 R_3 = R_2 R_4$, 电桥平衡, 所以 $I''_5 = 0\text{A}$ 。这样

$$I''_1 = -I''_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I_S = \frac{2}{3+2} \times 5 = 2(\text{A})$$

$$I''_3 = -I''_4 = I_S + I''_2 = 5 - 2 = 3(\text{A})$$

叠加得

$$I_1 = I'_1 + I''_1 = 1 + 2 = 3(\text{A})$$

$$I_2 = I'_2 + I''_2 = 2 - 2 = 0(\text{A})$$

$$I_5 = I'_5 + I''_5 = 3 + 0 = 3(\text{A})$$

所以, 电压源发出的功率

$$P_{U_S} = U_S I_5 = 12 \times 3 = 36(\text{W})$$

电流源两端电压(参考方向为右正左负)

$$U_I = -I_2 R_2 + I_1 R_1 + I_5 R_6 = -0 \times 3 + 3 \times 6 + 5 \times 2 = 28(\text{V})$$

电流源发出的功率

$$P_{I_S} = U_I I_S = 28 \times 5 = 140(\text{W})$$

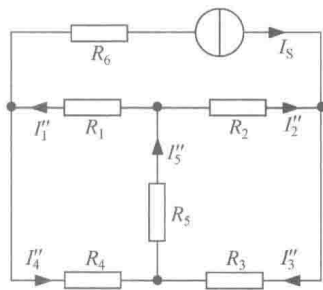


图 1-9(c)

方法二：用支路电流法

图 1-9(a)中共有 4 个节点，6 条支路，其中 I_S 已知，共需列写 5 个方程。选取节点和回路如图 1-9(d) 所示。注意，在选取回路时，不要包含电流源所在的支路。

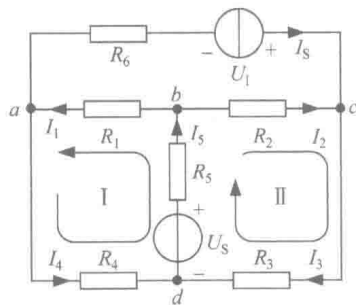


图 1-9(d)

对节点列写 KCL 方程。

$$\text{节点 } a \quad I_1 = I_S + I_4$$

$$\text{节点 } b \quad I_5 = I_1 + I_2$$

$$\text{节点 } c \quad I_3 = I_2 + I_S$$

对回路列写 KVL 方程。

$$\text{回路 I} \quad I_1 R_1 + I_4 R_4 - U_S + I_5 R_5 = 0$$

$$\text{回路 II} \quad I_2 R_2 + I_3 R_3 - U_S + I_5 R_5 = 0$$

代入数据有

$$\begin{cases} I_1 = 5 + I_4 & (1) \\ I_5 = I_1 + I_2 & (2) \\ I_3 = I_2 + 5 & (3) \\ 6I_1 + 4I_4 - 12 + 2I_5 / 3 = 0 & (4) \\ 3I_2 + 2I_3 - 12 + 2I_5 / 3 = 0 & (5) \end{cases}$$

把式(1)代入式(2)、式(4)得

$$\begin{cases} I_5 = 5 + I_4 + I_2 & (6) \\ I_3 = I_2 + 5 & (7) \\ 18 + 10I_4 + 2I_5 / 3 = 0 & (8) \\ 3I_2 + 2I_3 - 12 + 2I_5 / 3 = 0 & (9) \end{cases}$$

把式(6)、式(7)代入式(8)、式(9)得

$$\begin{aligned} 18 + 10I_4 + 2(5 + I_4 + I_2) / 3 &= 0 \\ 3I_2 + 2(I_2 + 5) - 12 + 2(5 + I_4 + I_2) / 3 &= 0 \end{aligned}$$

化简得

$$32 + 16I_4 + I_2 = 0$$

$$4 + 17I_2 + 2I_4 = 0$$

解得 $I_4 = -2\text{A}$, $I_2 = 0\text{A}$; 进而得到 $I_1 = 3\text{A}$, $I_5 = 3\text{A}$ 。

所以，电压源发出的功率

$$P_{US} = U_S I_5 = 12 \times 3 = 36 (\text{W})$$

电流源两端的电压

$$U_1 = -I_2 R_2 + I_1 R_1 + I_S R_6 = -0 \times 3 + 3 \times 6 + 5 \times 2 = 28 (\text{V})$$

电流源发出的功率

$$P_{IS} = U_1 I_S = 28 \times 5 = 140 (\text{W})$$

例 1-7 有源二端网络 N 的开路电压 U_0 为 9V，如图 1-10(a) 所示；若连接成图 1-10(b) 所示电路，电流 I 为 1A；若连接成图 1-10(c) 所示电路，求电路中的电流 I 。

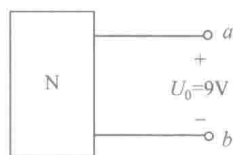


图 1-10(a)

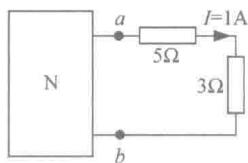


图 1-10(b)

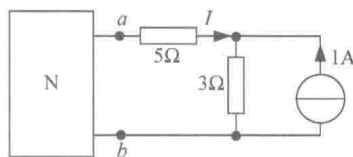


图 1-10(c)

解 该题中有源二端网络 N 内部的结构和参数都未知，可以用戴维南等效电路来替代有源二端网络 N，并从图 1-10(a) 和图 1-10(b) 给出的条件求得戴维南等效电路的电压源 U_S 和等效电阻 R_0 。

由图 1-10(a) 可知，戴维南等效电路中电压源的电压就是开路电压 U_0 ，所以

$$U_S = U_0 = 9V$$

这样，图 1-10(b) 就可等效成图 1-10(d) 所示，从图 1-10(d) 中可求得

$$R_0 = 1\Omega$$

同样，图 1-10(c) 可等效变换成图 1-10(e) 所示的电路。利用叠加原理可以求得电流 I 为

$$I = \frac{9}{1+5+3} - \frac{3}{1+5+3} \times 1 = \frac{2}{3} (A)$$

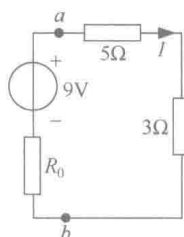


图 1-10(d)

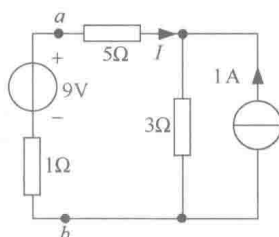


图 1-10(e)

例 1-8 在图 1-11(a) 所示电路中， $U_{S1}=20V$ ， $U_{S2}=10V$ ， $I_S=1A$ ， $R_1=5\Omega$ ， $R_2=6\Omega$ ， $R_3=10\Omega$ ， $R_4=5\Omega$ ， $R_5=1\Omega$ ， $R_6=8\Omega$ ， $R_7=12\Omega$ 。求电流 I 。

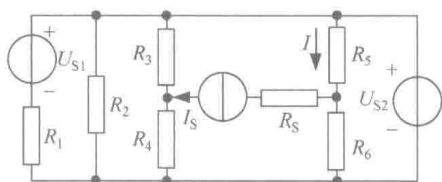


图 1-11(a)

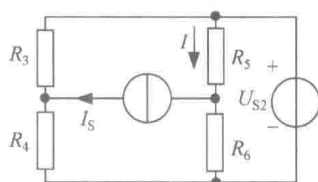


图 1-11(b)

解 在计算电流 I 时，可先将电路进行简化，把与 I_S 串联的电阻 R_5 去掉，与 U_{S2} 并联的两条支路 (U_{S1} R_1 所在的支路和 R_2 支路) 去掉，这样处理对电流 I 没有影响。

简化后得到的电路如图 1-11(b) 所示。求解该题可以用多种方法，这里介绍两种求解方法。

方法一：用叠加原理

图 1-11(b) 中有两个独立源，可以把该图分解为两个分图。

当 U_{S2} 单独作用时, 如图 1-11 (c) 所示, 可得

$$I' = \frac{U_{S2}}{R_5 + R_6} = \frac{10}{8 + 12} = 0.5(\text{A})$$

当 I_S 单独作用时, 如图 1-11 (d) 所示, 可得

$$I'' = \frac{R_6}{R_5 + R_6} I_S = \frac{12}{8 + 12} \times 1 = 0.6(\text{A})$$

叠加得

$$I = I' + I'' = 0.5 + 0.6 = 1.1(\text{A})$$

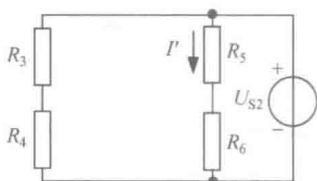


图 1-11 (c)

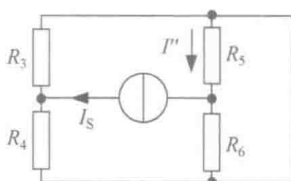


图 1-11 (d)

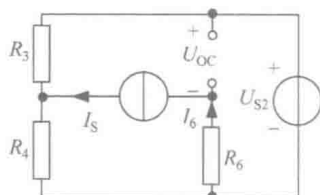


图 1-11 (e)

方法二: 用戴维南定理

提取 R_5 所在支路, 得到有源二端网路如图 1-11 (e) 所示。

根据图 1-11 (e) 可以看出, $I_6 = I_S$, 所以开路电压为

$$U_{OC} = U_{S2} + I_6 R_6 = 10 + 1 \times 12 = 22(\text{V})$$

开路电压也可利用叠加原理求得。

当电压源单独作用时 (电流源所在位置开路):

$$U'_{OC} = U_{S2} = 10\text{V}$$

当电流源单独作用时 (电压源所在位置短路):

$$U''_{OC} = I_S R_6 = 1 \times 12 = 12(\text{V})$$

叠加得

$$U_{OC} = U'_{OC} + U''_{OC} = 10 + 12 = 22(\text{V})$$

求等效电阻时需要除源, 除源后得到图 1-11 (f) 所示电路, a 、 b 两端的等效电阻为

$$R_{ab} = R_6 = 12\Omega$$

得到图 1-11 (g) 所示的戴维南等效电路。从图 1-11 (g) 中可求得

$$I = \frac{U_{OC}}{R_{ab} + R_5} = \frac{22}{12 + 8} = 1.1(\text{A})$$

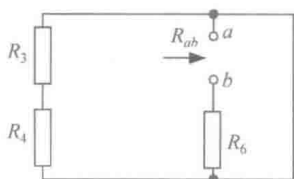


图 1-11 (f)

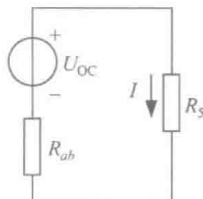


图 1-11 (g)