

电工原理学习指导

林继尧 编

华南理工大学出版社
·广州·

内 容 简 介

本书是《电工原理》教材的配套用书。主要论述了《电工原理》电路的基本概念、基本定律、基本分析和基本计算方法。同时,结合大量例题,对如何掌握“四个基本”进行了系统的讲解。为了强化学生对教材内容的理解能力,书中还提供了部分习题解答过程,各章后附有若干自测题及参考答案。

图书在版编目(CIP)数据

电工原理学习指导/林继尧编. —广州:华南理工大学出版社,1999.10
ISBN 7-5623-1476-4

I. 电…

II. 林…

III. 电工-理论-教学参考资料

IV. TM①

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编 510640)

责任编辑 凌 志 詹志青

各地新华书店经销

广州市新光明印刷厂印装

*

1999年10月第1版 1999年10月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:8.875 字数:213千

印数:1—5000册

定价:15.00元

前 言

《电工原理学习指导》是基于自学电工基础知识的立场,为了配合《电工原理》教材(王定中、梁振权、江勋兰、林继尧编,华南理工大学出版社出版)而编写的。

为了适应成人高等教育的特点,便于学生自学,本书与《电工原理》教材配套使用,能帮助学生更好地理解电路的基本概念和基本定律,掌握电路的基本分析与计算方法。本指导书除了说明教材中每章的基本要求和学习顺序外,还着重阐述学习要点与指导,以典型例题讲明解题的思路和解题的方法。对于在基本概念的理解和计算技能方面易于出错或含糊的地方,也特别提醒读者注意。为使学生能学好教材中每章的主要内容,掌握电路的分析和计算方法,书中还提供了部分习题的解答过程。同时,本书每章后面附有若干自测题及答案,以便学生检查自己的学习效果。

由于编写时间仓促,书中难免有错误和不当之处,敬请读者多提宝贵意见,以便今后再版时完善。

编 者

1999年3月

目 录

1	电路元件和电路定律	1
1.1	基本要求	1
1.2	学习顺序	1
1.3	学习要点与指导	1
1.4	习题 1 部分题解	4
1.5	第 1 章自测题	5
2	简单电阻电路的分析	6
2.1	基本要求	6
2.2	学习顺序	6
2.3	学习要点与指导	6
2.4	习题 2 部分题解	11
2.5	第 2 章自测题	14
3	线性电阻电路的一般分析方法	16
3.1	基本要求	16
3.2	学习顺序	16
3.3	学习要点与指导	16
3.4	习题 3 部分题解	22
3.5	第 3 章自测题	24
4	线性电路的几个定理	26
4.1	基本要求	26
4.2	学习顺序	26
4.3	学习要点与指导	26
4.4	习题 4 部分题解	34
4.5	第 4 章自测题	37
5	正弦电流电路和相量法	39
5.1	基本要求	39
5.2	学习顺序	39
5.3	学习要点与指导	39
5.4	习题 5 部分题解	51
5.5	第 5 章自测题	57
6	三相电路	59
6.1	基本要求	59
6.2	学习顺序	59
6.3	学习要点与指导	59

6.4	习题6部分题解	65
6.5	第6章自测题	66
7	耦合电感和理想变压器	68
7.1	基本要求	68
7.2	学习顺序	68
7.3	学习要点与指导	68
7.4	习题7部分题解	73
7.5	第7章自测题	76
8	谐振电路	77
8.1	基本要求	77
8.2	学习顺序	77
8.3	学习要点与指导	77
8.4	习题8部分题解	80
8.5	第8章自测题	81
9	双口网络	82
9.1	基本要求	82
9.2	学习顺序	82
9.3	学习要点与指导	82
9.4	习题9部分题解	85
9.5	第9章自测题	87
10	动态电路的时域分析	89
10.1	基本要求	89
10.2	学习顺序	89
10.3	学习要点与指导	89
10.4	习题10部分题解	102
10.5	第10章自测题	106
11	磁路及铁心线圈	108
11.1	基本要求	108
11.2	学习顺序	108
11.3	学习要点与指导	108
11.4	第11章部分练习题题解	115
11.5	第11章自测题	117
附录A		118
(一)	1996年下半年广东省高等教育自学考试电路基础试题	118
(二)	1997年下半年广东省高等教育自学考试电路基础试卷	124
附录B		130
(一)	1996年下半年广东省高等教育自学考试电路基础试题参考答案	130
(二)	1997年下半年广东省高等教育自学考试电路基础试卷参考答案	133
参考文献		136

1 电路元件和电路定律

1.1 基本要求

- (1) 了解电路模型是什么,它与电路实际部件有何异同。
- (2) 对电路基本变量 i 和 u 的参考方向、参考极性以及它们的关联参考方向,都应十分清楚,并能熟练地掌握电路元件功率的计算,能正确判断元件是发出(产生)功率还是吸收(消耗)功率。
- (3) 对电路基本元件的伏安关系要十分清楚,特别是电压源和电流源与负载的关系。
- (4) 掌握受控电源四种类型的符号与相应的代号。
- (5) 对基尔霍夫定律 $\sum I = 0$ 和 $\sum u = 0$ 的含义应十分清楚,能相当熟练地掌握其式子中各项正负的判别。

1.2 学习顺序

- (1) 先读教材 1.1、1.2、1.3;再看本书 1.3.1~1.3.3;然后做教材中的练习题 1-1、1-2。
- (2) 先读教材 1.4,认真看懂例 1-3;再看本书 1.3.4;然后做教材中的练习题 1-3、1-5。
- (3) 先读教材 1.5、1.6、1.7,看懂例 1-7、例 1-9、例 1-11;再看本书 1.3.5;然后做教材中的练习题 1-6、1-8、1-10、1-14、1-15、习题 1 中的 1、3(a)、5、8(b)。
- (4) 先读教材 1.8,看懂例 1-14;然后做教材的练习题 1-16、1-18、习题 1 中的 10。
- (5) 看懂习题 1 的部分题解,了解其分析计算的方法。
- (6) 做第 1 章自测题,检查自学效果。

1.3 学习要点与指导

1.3.1 电路模型

电路是指由各种电路元件按一定方式联接起来的整体。电路元件的实体千差万别,但只要它们的物理性质可用一数学表达式描述,就可用符合这表达式的数学模型(简称模型)来表示这一类电路元件,这种数学模型也就是理想电路元件。电路理论中所指的电路,也就是由各种电路元件模型按一定方式构成的电路模型(简称电路)。

电路模型能正确反映实际电路中各部件的联接关系,但它们两者是有区别的,前者抽象且忽略所有误差,便于电路的分析和计算。所以,电路理论中只讨论电路模型。

1.3.2 参考方向

电流和电压两个物理量,除了具有大小高低外还有方向。中学物理课本中规定电流方向取正电荷运动方向。但在电路的分析和计算过程中,事前并不知道电流方向,使得计算无法进行。因此,必须先任意设定电流方向再进行计算。这个设定的方向则称为参考方向。这时计算出来的结果若大于零,则电流的实际方向与参考方向相同;若小于零,则电流的实际方向与参考方向相反。

图 1-1 中方框表示电路元件,图中标的方向(用箭头表示)均为参考方向。



图 1-1 电流参考方向

对于图 1-1(a), $i = 2\text{A}$, 表示电流实际方向与参考方向相同, 即电流实际方向是从 a 流向 b。用下标符号也可以表示电流方向, 例如图 1-1(a), $i_{ab} = 2\text{A}$ 。

对于图 1-1(b), $i = -3\text{A}$, 表示电流实际方向与参考方向相反, 即电流实际方向是从 b 流向 a, 也就是 $i_{ba} = 3\text{A}$ 。

同理, 电路中也必须先设定电压方向, 即参考方向, 电路的有关计算才能进行。电压方向是从“+”极(高电位)指向“-”极(低电位)的, 因此通常又用电压的参考极性来代替电压参考方向。

图 1-2 中方框表示电路元件, 图中标的电压方向(或电压极性)均为参考方向(参考极性)。



图 1-2 电压参考方向

对于图 1-2(a), $u = 3\text{V}$, 表示电压实际方向与参考方向相同, 即实际方向从 a 指向 b, a 点电位高, b 点电位低。用下标符号表示则为 $u_{ab} = 3\text{V}$ 。

对于图 1-2(b), $u = -6\text{V}$, 表示电压实际极性与参考极性相反, 即实际电压方向从 b 指向 a, b 点电位高, a 点电位低。用下标符号表示则为 $u_{ba} = 6\text{V}$ 。

电流、电压关联参考方向是指电流参考方向和电压参考方向一致时的方向。电路理论中所有公式的推导通常都是在关联参考方向下进行的。因此, 电路中一般只需标出电流参考方向或电压参考极性即可。

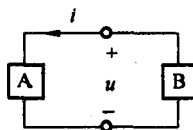


图 1-3 关联参考方向

在图 1-3 中, 方框 A、B 分别表示两个电路元件。对于元件 A, 电流 i 和电压 u 的参考方向相同, 则 i, u 参考方向称为关联参考方向。

对于元件 B, 电流 i 和电压 u 的参考方向相反, 则 i, u 参考方向称为非关联参考方向。

1.3.3 功率

在电学中, 功率是端口处电压 u 与端口处电流 i 的乘积, 即 $P = ui$, 而 u 和 i 是有方向的物理量, 因此功率 P 就有“+”、“-”之分。在关联参考方向下, 若 $P > 0$, 则元件吸收(消耗)功率; 若 $P < 0$, 则元件发出(产生)功率。

在图 1-3 中, 对于元件 A, 若 $P = ui > 0$, 则元件 A 吸收(消耗)功率; 若 $P = ui < 0$, 则元件 A 发出(产生)功率。

对于元件 B, 因 u 和 i 是非关联参考方向, 但只要将其中之一反转 180° , 即在其前面加一个“-”号, 则在关联参考方向下元件 B 的功率表达式即为 $P = -ui$ 。

1.3.4 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的基本定律,不论电路是由什么性质的集总元件所组成,KCL 和 KVL 总是成立的。基尔霍夫定律是电路分析的基本依据之一,电路理论主要是在 KCL 和 KVL 这两条定律下进行的各种讨论。

要掌握基尔霍夫定律的应用,首先要熟悉描述电路联接状况的几个基本术语:

支路——有两种定义。一种是电路中的每一个二端元件称为一条支路;另一种是把电路中两个或两个以上元件的串联看作一条支路。

节点——支路的联接点称为节点。

回路——由支路组成的任一闭合路径称为回路。

网孔——回路内不含有任何支路的回路,称为网孔。

另外,基尔霍夫电流定律(KCL)也可推广到适用于电路中任一假设的闭合曲面,对于这个闭合曲面通常称为“广义节点”。

1.3.5 电路元件

(1) 电阻元件

线性电阻元件的电压与电流关系受欧姆定律约束。在图 1-4 所示的关联参考方向下,电阻元件的伏安关系为 $u = Ri$,电阻元件总是吸收(消耗)功率的,其功率与电压、电流的关系为

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$

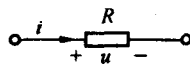


图 1-4 电阻元件

(2) 电压源

电压源是一种理想电源,它的符号、代号不同则表示不同类型的电压源。从电压源对外电路(负载)的伏安关系(见图 1-5)可看出电压源有两大特点:

- ① 不管外接负载 R 如何变化,电压源两端电压始终不变,始终有 $u = u_s$;
- ② 当外接负载 R 短路时,电压源可提供无限大电流。

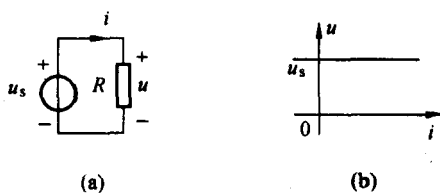


图 1-5 电压源及其伏安特性

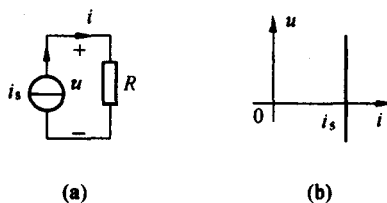


图 1-6 电流源及其伏安特性

(3) 电流源

电流源也是一种理想电源,从其对外电路(负载)的伏安关系(见图 1-6)也可看出它有两大特点:

- ① 不管外接负载 R 如何变化,电流源流出的电流始终不变,始终有 $i = i_s$;
- ② 电流源两端的电压 u 随外接负载 R 大小变化而变化, $u = Ri_s$ 。

注意:电流源的端电压可以为零值,切不可认为有电流流动而其端电压不能为零。

(4) 受控电源

受控电源是一种非独立电源,它受电路中其他支路的电压或电流所控制而不能独立存在。受控电源有四种类型,其符号及对应的代号均有不同。

VCCS——电压控制电压源; VCCS——电压控制电流源;

CCVS——电流控制电压源; CCCS——电流控制电流源。

注意:在分析计算含受控源的电路时,一定要使控制量与被控制量在电路方程中体现。

1.4 习题1部分题解(题目内容见主教材第16页)

题1

解 根据电压源和电流源的特性,对于端口电压 u 而言,原电路可等效为图1-7。

对于图1-7,则有

$$\begin{aligned} u_R &= 5 \times 5 = 25 \text{ (V)} \\ u &= 10 + u_R = 35 \text{ (V)} \end{aligned}$$

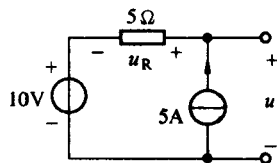


图1-7

题3

解 (1) 对于图(a),由 KCL 得流过 10Ω 电阻的电流为 $(1+i)$ 。对于由两边支路所构成的回路,均选逆时针绕行方向,则得 KVL 方程

$$10 + 10(1+i) + 10 = 0$$

解之,得

$$i = -3 \text{ (A)}$$

(2) 对于图(b),由 KCL 可得流过 2Ω 电阻的电流为 $(10-3)=7\text{ (A)}$,于是得右边网孔的 KVL 方程(逆时针方向)为

$$2 \times 7 - u - 4 = 0$$

解之得

$$u = 10 \text{ (V)}$$

题5

解 流过 5Ω 电阻的电流 I_R 由 KCL 得

$$i_R = 5 + 1 = 6 \text{ (A)}$$

根据 KVL,则得

$$u_s = 5 + 5i_R = 35 \text{ (V)}$$

题8

解 在计算功率过程中,这里的电压、电流均取关联参考方向。

(1) 对于图(a),由 KCL 得

$$i = \frac{10}{20} + \frac{10+5i}{10}$$

整理后得

$$0.5i = 1.5; \quad i = 3 \text{ (A)}$$

则 10 V 电压源的功率为

$$P_{10V} = 10 \cdot (-i) = -30 \text{ (W)} \quad (\text{因 } P < 0, \text{故 } 10\text{ V 电压源发出功率})$$

(2) 对于图(b),根据电压源的特性,得 1 A 电流源的端电压为 1 V ,其功率为

$$P_{1A} = (-1) \times 1 = -1 \text{ (W)} \quad (\text{因 } P < 0, \text{故 } 1\text{ A 电流源发出功率})$$

5 V 电压源的电流为

$$i_2 = \frac{1-5}{5} = -0.8 \text{ (A)}$$

于是, 5V 电压源的功率为

$$P_{5V} = 5i_2 = 5 \times (-0.8) = -4 \text{ (W)} \quad (\text{因 } P < 0, \text{故 } 5V \text{ 电压源发出功率})$$

1V 电压源的电流为

$$i_1 = 1 - i_2 = 1 - (-0.8) = 1.8 \text{ (A)}$$

则 1V 电压源的功率为

$$P_{1V} = 1 \times 1.8 = 1.8 \text{ (W)} \quad (\text{因 } P > 0, \text{故 } 1V \text{ 电压源吸收功率})$$

题 9

解 根据电流源的特性得 $0.5i$ 受控电流源的电流为

$$0.5i = \frac{u}{3 \times 10^3} = \frac{3}{3 \times 10^3} = 1 \times 10^{-3} \text{ (A)}$$

$$i = \frac{1 \times 10^{-3}}{0.5} = 2 \times 10^{-3} \text{ (A)}$$

由 KCL 得电压源 u_s 的电流 i_0 (如图 1-8 所示) 为

$$i_0 = 0.5i - i = -0.5i = -1 \times 10^{-3} \text{ (A)}$$

因此, 由 KVL 得

$$u_s = 50i_0 - 50i = 50 \times (-1 \times 10^{-3}) - 50 \times (2 \times 10^{-3}) = -0.15 \text{ (V)}$$

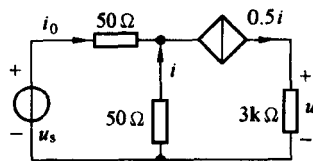


图 1-8 题 9 图

1.5 第 1 章自测题

1-1 图 1-9 中方框代表某一电路元件, 试求各元件的功率, 并指出是发出功率还是吸收功率。 ($-6\text{W}, 3\text{W}, -21\text{W}, 28\text{W}, -4\text{W}$)

1-2 电路如图 1-10 所示, 试求电流 I_1 。 (-2A)

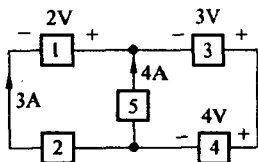


图 1-9 自测题 1-1 图

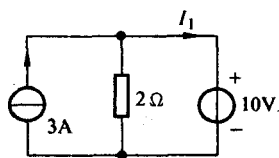


图 1-10 自测题 1-2 图

1-3 电路如图 1-11 所示, 试求 3A 电流源的端电压 u 。 (10.5V)

1-4 已知图 1-12 电路中电阻 R_1 的电压为 10V , 试求电阻 R 所吸收的功率。 (3W)

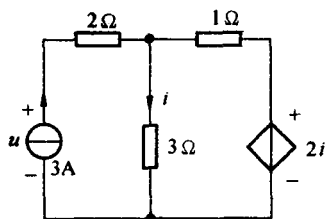


图 1-11 自测题 1-3 图

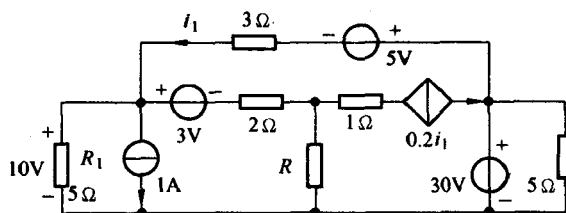


图 1-12 自测题 1-4 图

2 简单电阻电路的分析

2.1 基本要求

- (1) 正确理解“等效电路”的概念,应十分清楚电路“等效变换”是对外电路而言的。
- (2) 能灵活应用分压公式、分流公式求电路元件的电压、电流。
- (3) 掌握电源的各种联接方式及其等效变换。
- (4) 熟练掌握利用含源支路的串并联组合等效变换来化简电路。
- (5) 掌握含受控源二端网络的等效化简及输入电阻的计算方法。

2.2 学习顺序

(1) 先读教材 2.1、2.2、2.3,看懂例 2-3、例 2-5;再读本书的 2.3.1、2.3.2,理解例 2-3 的分析计算方法;然后做教材中的练习题 2-3、2-5、习题 2 中的 6、10。

(2) 先读教材 2.4、2.5,看懂例 2-11 中化简的各步骤;再读本书的 2.3.3,尤其要理解例 2-4 中不同等效变换方式在电路计算中的应用;然后做教材中的练习题 2-9 和 2-13、习题 2 中的 12、13。

(3) 先读教材 2.6,看懂例 2-13、例 2-14;然后读本书的 2.3.4,掌握含受控源电路的等效变换及化简;最后做教材中的练习题 2-16、习题 2 中的 17、18。

(4) 看懂习题 2 的部分题解,了解其分析计算的方法。

(5) 做第 2 章自测题,检查自学效果。

2.3 学习要点与指导

2.3.1 网络等效的定义

两个二端网络,如果端钮电压、电流关系相同,那么这两个网络是互等效的。

具有相互等效的网络,在由它们组成的电路中 can 相互代换,而对这网络端钮以外部分(例如外接的负载),其电压、电流的解答结果均不变。

注意:等效变换是对外电路而言的,对网络内任何元件都不等效。等效变换在电路的分析计算中相当重要,后面所述的内容经常要用到这个概念。

2.3.2 简单电阻网络的分析

(1) 电阻串联电路的端口等效电阻等于所串接的电阻之和。第 k 个电阻 R_k 上的电压 u_k 可由下面的分压公式来求得

$$u_k = \frac{R_k}{R} u \quad (2-1)$$

式中 R_k ——第 k 个电阻的阻值;

R ——串联电路端口的等效电阻,若有 N 个电阻串联,则端口等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_k + \cdots + R_N$$

u ——串联电路的端口电压。

例 2-1 有一个量程为 10V 的电压表,其内阻为 $1\text{M}\Omega$,今要将其量程扩大到 100V,试问应串联多大的电阻?

解 设 10V 电压表量程为 U_V ,其内阻为 R_V ,应串联的电阻为 R_X ,则根据式(2-1)有

$$U_V = \frac{R_V}{R_V + R_X} \times 100 = 10 \text{ (V)}$$

解之得应串联的电阻为

$$R_X = \frac{100R_V - 10R_V}{10} = 9R_V = 9 \text{ (M}\Omega\text{)}$$

(2) 电导并联电路的端口等效电导等于所并接的电导之和。第 k 个电导 G_k 的电流 i_k 可由下面的分流公式求得

$$i_k = \frac{G_k}{G} i \quad (2-2)$$

式中 G_k ——第 k 个电导的电导值;

G ——并联电路端口的等效电导,若有 N 个电导并联,则端口等效电导为

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \cdots + G_k + \cdots + G_N$$

i ——并联电路的端口电流。

例 2-2 有一个量程为 1mA 的电流表,其内阻为 $2\text{k}\Omega$,今要将其量程扩大到 10mA,试问应并联多大的电阻?

解 设 1mA 电流表量程为 I_A ,其内阻为 $R_A = 2\text{k}\Omega$,即 $G_A = \frac{1}{R_A} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ S}$,应并接的电导为 G_X ,根据式(2-2)有

$$I_A = \frac{G_A}{G_A + G_X} \times 10 \times 10^{-3} = 1 \times 10^{-3} \text{ (A)}$$

解之得

$$G_X = 9G_A = 4.5 \times 10^{-3} \text{ (S)}$$

即应并联的电阻为 $R_X = \frac{1}{G_X} = \frac{1}{4.5 \times 10^{-3}} \approx 222.22 \text{ (}\Omega\text{)}$

(3) 串并混联电阻电路的计算

电路中既有电阻的串联又有电阻的并联,通常称之为混联电路。混联电路的一般计算步骤是先求总电阻(或总电导),然后求总电流(或总电压),最后根据分流或分压关系求出结果。但有时不完全按上述步骤,计算反而显得简单容易。

例 2-3 试求图 2-1 电路中的电流 I_x 。

解 先求电路中电压源两端的等效电阻 R 。根据电阻串联、并联等效电阻的计算方法,则有

$$R = R_1 + \frac{R_2 \left(R_3 + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} \right)}{R_2 + \left(R_3 + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} \right)} = 1 + \frac{6 \times \left(1 + \frac{4 \times 4}{4 + 4} \right)}{6 + \left(1 + \frac{4 \times 4}{4 + 4} \right)} = 3 \text{ (}\Omega\text{)}$$

于是得总电流

$$I = \frac{U_s}{R} = \frac{18}{3} = 6 \text{ (A)}$$

由分流公式得

$$I_1 = \frac{6}{6 + \left(1 + \frac{4 \times 4}{4 + 4}\right)} \cdot I = \frac{6}{9} \times 6 = 4 \text{ (A)}$$

再分流,则得

$$I_x = \frac{4}{4 + 4} \cdot I_1 = 2 \text{ (A)}$$

另一解法: 设 I_x 为未知量, 则有 $I_1 = 2I_x$, $I = I_1 + I_2 = 3I_x$, 对于左边回路, 选顺时针绕行方向时, 得 KVL 方程

$$R_1 I + R_3 I_1 + R_4 I_x - U_s = 0$$

代入数据, 得

$$3I_x + 2I_x + 4I_x - 18 = 0$$

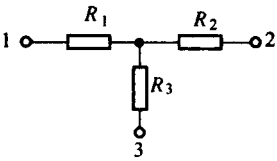
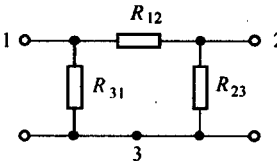
解之得

$$I_x = 2 \text{ (A)}$$

(3) 星形(Y)电阻网络与三角形(Δ)电阻网络的等效变换

星形(Y)电阻网络与三角形(Δ)电阻网络的等效变换如表 2-1 所示。虽然它们属三端网络, 但经等效变换后电路则变为串、并联混合电路, 使电路的分析计算变得简单容易。

表 2-1

	星形(Y)电阻网络	三角形(Δ)电阻网络
电路形式		
等效变换条件	将 Δ 形网络等效为 Y 形网络时 $R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_2 = \frac{R_{12} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_3 = \frac{R_{23} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$	将 Y 形网络等效为 Δ 形网络时 $R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$ $R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$ $R_{31} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2}$

例 2-4 试求图 2-2(a) 所示电路的电流 I 。

解 先将图 2-2(a) 中三角形联接的电阻网络等效变换成星形联接, 如图 2-2(b); 然后进一步简化为图 2-2(c)。

由图 2-2(c) 可得

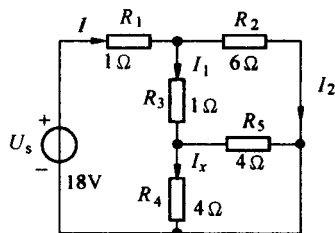


图 2-1 例 2-3 图

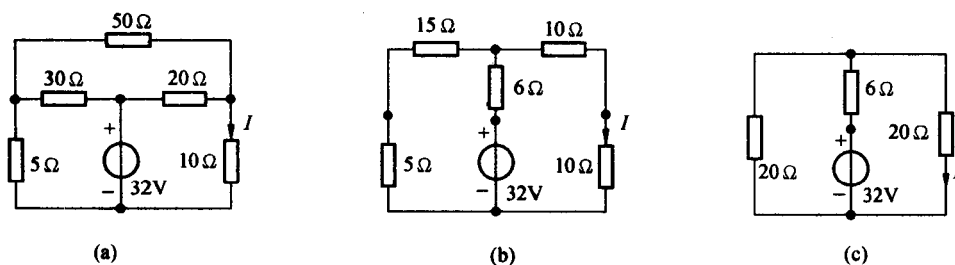


图 2-2 例 2-4 图

$$I = \frac{20}{20 + 20} \times \frac{32}{6 + \frac{20 \times 20}{20 + 20}} = 1 \text{ (A)}$$

2.3.3 只含独立电源的二端网络的等效

对于含独立源支路的串联、并联以及串并混联的二端网络,可根据电源伏安特性和 KCL, KVL 来进行等效变换,化简电路为最简的形式。但要注意:电路中不允许有电源不相容的情况发生,即不能违背 KCL, KVL。

(1) 电压源的串联可等效为一个电压源,其电压值为所串联电压源电压之代数和,如表 2-2 所示。

(2) 电流源的并联可等效为一个电流源,其电流值为所并联电流源电流之代数和,如表 2-2 所示。

表 2-2

	独立电压源的串联	独立电流源的并联
原电路		
等效电路		

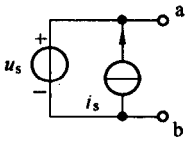
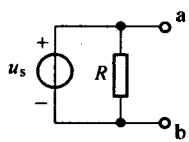
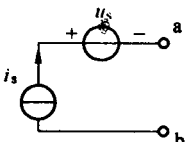
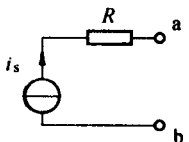
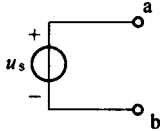
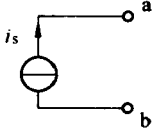
(3) 电压值不相同的电压源不允许并联,因为违背了 KVL。

(4) 电流值不相同的电流源不允许串联,因为违背了 KCL。

(5) 电压源与其他电路元件并联,可等效为一个电压源,此电压源电压大小和方向与原电压源的相同,如表 2-3 所示。

(6) 电流源与其他电路元件串联,可等效为一个电流源,此电流源电流大小和方向与原电流源的相同,如表 2-3 所示。

表 2-3

	电压源与其他电路元件并联	电流源与其他电路元件串联
原电路	 	 
等效电路		

(7) 电压源与电阻串联支路和电流源与电阻并联支路的相互等效

这种含源支路组合方式的等效变换通常又称为实际电压源与实际电流源的等效变换,其等效变换的关系如图 2-3 所示。

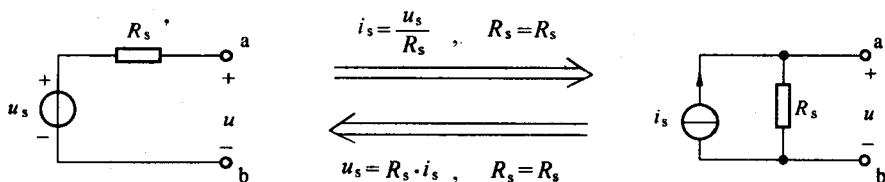


图 2-3 含源支路组合方式等效变换

例 2-5 试求图 2-4(a) 所示电路中电阻 R_1 和 R_2 吸收的功率。

解 设图 2-4(a) 中电阻 R_1 和 R_2 的电流分别为 i_1, i_2 , 然后将 i_s 与 R_2 的并联组合等效为串联组合, 如图 2-4(b) 所示。于是得

$$i_1 = \frac{u_s - R_2 \cdot i_s}{R_1 + R_2} = \frac{12 - 3 \times 1}{6 + 3} = 1(\text{A})$$

因此, 电阻 R_1 吸收的功率为

$$P_1 = R_1 \cdot i_1^2 = 6 \times 1^2 = 6(\text{W})$$

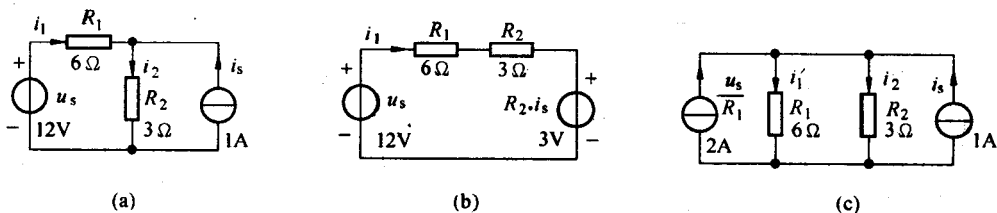


图 2-4 例 2-5 图

将 u_s 与 R_1 的串联组合等效为并联组合,如图 2-4(c)所示,此时由分流关系得电阻 R_2 的电流 i_2 为

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \left(\frac{u_s}{R_1} + i_s \right) = \frac{6}{6+3} \times (2+1) = 2(\text{A})$$

因此,电阻 R_2 吸收的功率为

$$P_2 = R_2 \cdot i_2^2 = 3 \times 2^2 = 12(\text{W})$$

注意:图 2-4(b)中 R_2 的电流并不等于图 2-4(c)中 R_2 的电流,因为 i_s 与 R_2 的并联组合变换为 $R_2 i_s$ 与 R_2 的串联组合,对电阻 R_2 来说并不存在等效关系。

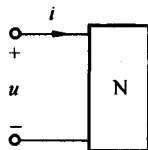
2.3.4 含受控源电路的等效变换及化简

首先要把受控源当作独立电源看待,按上面所述的有关方法进行等效变换,但此等效电路不是最简单的,电路中仍保留有受控电源与控制量的关系,此时还应根据端口的伏安关系,进一步将电路化简为最简单的形式。

二端网络内仅含电阻和受控源时,网络可等效为一个电阻,此电阻常常被称为网络的输入电阻。输入电阻是不含独立电源的二端网络端口电压与端口电流之比。

设图 2-5 中网络 N 不含独立电源,若在端口施一电压 u ,则有流进网络电流 i ,因此网络 N 的输入电阻为

$$R_{in} = \frac{u}{i} \quad (2-3) \quad \text{图 2-5 二端网络}$$



注意:求含受控源二端网络的输入电阻时,端口电压 u 和电流 i 要取关联参考方向。否则本应是正值的输入电阻就会变为负值。虽然,含受控源二端网络的输入电阻可以是负值,但这也是在端口电压 u 和电流 i 为关联参考方向下的结果。

2.4 习题 2 部分题解(题目内容见主教材第 35 页)

题 2

解 根据电阻串、并混联电路的分析计算方法,有

$$R_{ab} = 10 + \frac{40 \times (10 + R)}{40 + (10 + R)} = R$$

即

$$10 \times [40 + (10 + R)] + 40 \times (10 + R) = R[40 + (10 + R)]$$

整理后得

$$R^2 = 900$$

于是得

$$R = 30(\Omega); \quad R = -30(\Omega) (\text{不合题意,舍去})$$

故当 $R = 30\Omega$ 时,电路 a、b 端的等效电阻等于 R 。

题 4

解 依题意,根据分压公式则有

$$U_{ab} = \frac{28}{36+28}u_s - \frac{36}{28+36}u_s = \left(\frac{28}{64} - \frac{36}{64} \right)u_s = \frac{-8}{64}u_s = 25$$

解之得

$$u_s = \frac{64}{-8} \times 25 = -200 \text{ (V)}$$

题 5

解 设有关支路的电流为 i_a, i_b, i_c , 如图 2-6 所示, 则 u_s 提供的总电流 i_a 为

$$i_a = \frac{u_s}{\frac{8 \times 8}{8+8} + \frac{8 \times 2}{8+2}} = \frac{10}{4+1.6} = \frac{10}{5.6} \text{ (A)}$$

由分流关系得

$$i_b = \frac{8}{8+8} i_a = \frac{5}{5.6} \text{ (A)}; \quad i_c = \frac{8}{8+2} i_a = \frac{8}{5.6} \text{ (A)}$$

因此, 得

$$i = i_c - i_b = \frac{8}{5.6} - \frac{5}{5.6} = \frac{3}{5.6} \approx 0.536 \text{ (A)}$$

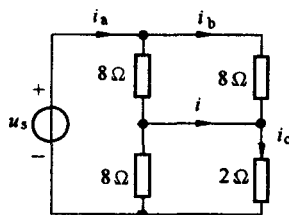


图 2-6

题 6

解 设流过 R_2, R_3, R_4 的电流分别为 i_1, i_2, i_3 , 如图 2-7 所示, 则有

$$i_2 = \frac{u_s}{R_3} = \frac{10}{5} = 2 \text{ (A)}$$

$$i_3 = \frac{u_s}{R_4 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{10}{4 + \frac{2 \times 2}{2+2}} = 2 \text{ (A)}$$

由分流关系得

$$i_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_3 = \frac{2}{2+2} \times 2 = 1 \text{ (A)}$$

因此得

$$i = i_1 + i_2 = 1 + 2 = 3 \text{ (A)}$$

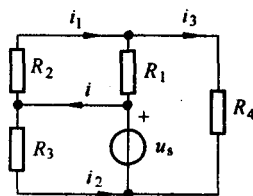


图 2-7

题 13

解 根据电源特性, 对 5A 电流源来说原电路可等效为图 2-8。设图中 5A 电流源端电压为 u , 根据 KVL 得电流源端电压为

$$u = 1 \times 5 + 12 = 17 \text{ (V)}$$

因此, 电流源发出的功率为

$$P = 17 \times 5 = 85 \text{ (W)}$$

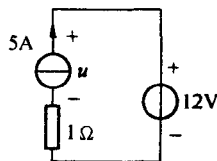


图 2-8

题 17

解 对题 17 所示二端网络进行化简的步骤如下:

(1) 将 $0.2u$ 受控电流源与 6Ω 电阻的并联, 等效为 $1.2u$ 受控电压源与 6Ω 电阻的串联, 如图 2-9(a) 所示;

(2) 将 $1.2u$ 受控电压源和 12V 独立电压源串联等效为 $(12 + 1.2u)$ 受控电压源, 将 6Ω 电阻与 4Ω 电阻串联等效为一个 10Ω 电阻, 则得图 2-9(b) 所示的电路;

(3) 将 $(12 + 1.2u)$ 受控电压源与 10Ω 电阻的串联组合, 等效为一受控电流源与一电阻