



21世纪高等职业教育规划教材
高职高专机械类专业通用技术平台精品课程教材

电工电子技术基础

第 四 版

主 编 黄淑琴



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

21 世纪高等职业教育规划教材

高职高专机械类专业通用技术平台精品课程教材

电工电子技术基础

(第四版)

黄淑琴 主 编

朱 健 副主编

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书根据高等职业教育的特色和“必需、够用”的原则,对教材内容作了精心的选择和编排,对传统的《电工学》、《电子学》和《电机学》进行整合,在1999年第一版、2005年第二版和2009年第三版基础上,经过十几年的教学实践修改而成。内容包括直流电路、交流电路、磁路与变压器、电机及控制和数字电路等。本书可作高职高专机电类专业及相关相近专业师生的教材,也可供相关专业的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/黄淑琴主编. —4版. —上海:
上海交通大学出版社,2012
21世纪高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-313-02118-2

I. 电... II. 黄... III. ①电工技术—高等学校:
技术学校—教材②电子技术—高等学校:技术学
校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 120644 号

电工电子技术基础

(第四版)

黄淑琴 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.25 字数:372千字

1999年6月第1版 2012年9月第4版 2012年9月第17次印刷

印数:2 030

ISBN978-7-313-02118-2/TM 定价:32.00元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-52219025

前 言

《电工电子技术基础》自 1999 年初版、2005 年第二版、2009 年第三版出版以来,已在国内外不少高校使用,新的教材内容体系得到很多同行老师的关心和支持,有的老师还向我们反馈了使用效果及使用中发现的不足之处,使我们深受鼓舞与启发。

这次修订是在总结教材几年来使用情况以及多年教学经验的基础上进行的。考虑到第三版已对本书作了合理的修改,故此次修订仍保留第三版的基本风格,除了第 1、2 章合并为第 1 章外,其他章、节安排没有很大的变化,修订的重点是对某些内容进行调整,有的加以精简或压缩,有的适当展开或补充,并对部分习题及例题加以调整,力求使教材更好教好学。

具体修改内容如下:

(1) 将第 1 章电路基本理论及基本定律和第 2 章直流电路的分析方法合在一起,改为直流电路,使全书内容更加精简。

(2) 电路的过渡过程增加了对复杂电路的分析方法:用戴维南定理化简电路,然后利用经典法的结论来解决。

(3) 数字电路增加了译码器和数据选择器的应用。

(4) 部分例题及习题作了更换,以突出实用性。

本书第四版参加编写的人员有:黄淑琴、朱健、赵安、曹秀洪等。编写中根据多年教学经验,对所有内容加以总结提炼,使用本教材的其他院校的老师对教材修订提供了宝贵意见,在此表示衷心感谢。

对本版教材中存在的缺点和疏漏,恳请使用本教材的老师、同学及读者批评指正。

编 者

2012 年 6 月

目 录

第 1 章 直流电路的概念及分析	1
1.1 电路的组成及作用	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 欧姆定律及电路的连接	5
1.4 电压源、电流源及其等效变换	8
1.5 基尔霍夫定律	12
1.6 电路中电位的概念及计算	15
1.7 支路电流法	16
1.8 叠加定理	17
1.9 戴维南定理	20
本章小结	23
习题	24
第 2 章 正弦交流电路	30
2.1 正弦交流量的三要素	30
2.2 正弦量的相量表示	33
2.3 电阻、电感和电容元件	36
2.4 正弦交流电路分析	40
2.5 正弦交流电路功率	46
2.6 三相电路	49
本章小结	56
习题	57
第 3 章 电路的过渡过程	60
3.1 过渡过程的产生与换路定律	60
3.2 RC 串联电路的过渡过程	63
3.3 一阶电路过渡过程的三要素法	68
3.4 RL 串联电路的过渡过程	70
3.5 微分电路和积分电路	74
本章小结	75
习题	76

第1章 直流电路的概念及分析

【内容提要】 本章介绍电路的组成和作用,电路的基本物理量,电路的基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律,电位的概念及计算,直流电路的基本分析法——支路电流法,叠加定理及戴维南定理。这些是学习电工学的基础。

【学习要求】 理解电路的几个基本物理量(电流、电压和电动势)的意义,理解电流、电压正方向(参考方向)的概念,掌握电功率的计算;掌握欧姆定律;理解电压源(包括恒压源)和电流源(包括恒流源)的特性;掌握两种电源模型等效变换的方法;掌握基尔霍夫电流和电压定律;理解电阻串联电路的等效变换及分压公式和电阻并联电路的等效变换及分流公式;掌握支路电流法;掌握用叠加原理分析计算电路的方法;掌握用戴维南定理分析电路的方法;掌握电路中电位的计算方法。

1.1 电路的组成及作用

在当代社会中,电工电子技术有着非常广泛的应用。电路是为了实现某种应用目的,将某些电气设备或电路元件按一定方式组合起来构成的一个电流通路。

图 1.1 所示手电筒电路是一个最简单的直流电路,它由电源、负载及中间环节三个部分组成。

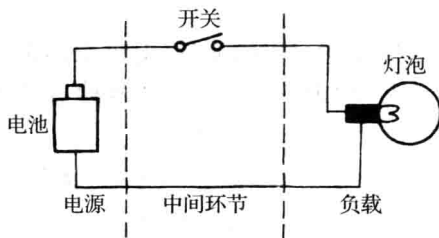


图 1.1 手电筒电路

电源是供应电能的设备,如电池、发电机等,它们将非电能量(如热能、水能、化学能等)转换为电能。负载是取用电能的设备,如灯泡、电动机等,它们将电能转换为光能、热能、机械能等。中间环节是连接电源和负载的部分,用来传输、分配和控制电能。最简单的中间环节是连接导线和开关,也可由多种元件或电气设备组成较为复杂的中间环节。

电路的作用一是实现电能的传输和转换,如手电筒电路;二是传递和处理信号,如电视机电路。

1.2 电路的基本物理量

电路的基本物理量有:电流、电压、功率及能量等。

1.2.1 电流

电流是由带电粒子(电荷)有规则的定向运动而形成的。因而,电流既有大小又有方向,其大小由电流强度(简称电流)表征,其实际方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向。

电流强度是单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

国际单位制中,电流强度的单位为安培,常用的还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)等单位。

大写字母 I 表示不随时间变化的电流,即直流电流,如图 1.2(a)所示。小写字母 i 表示随时间变化的电流,即时变电流,如图 1.2(b)所示。

电流的方向是客观存在的,但实际方向有时难以确定,因此引入参考方向的概念。

电流的参考方向,即电流的假定正方向,可任意选定,在电路中用一个箭头标出,如图 1.3 所示。 I_{AB} 表示参考方向由 A 指向 B。

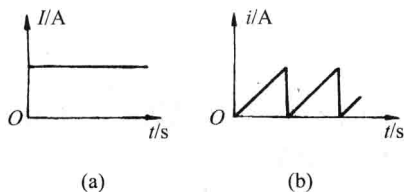


图 1.2 直流电流与时变电流

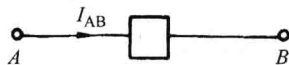


图 1.3 电流参考方向设定

[例 1.1] 图 1.4 中的方框用来泛指二端元件(对外引出两个端钮),已知电流 I 的参考方向如图所示,求下列两种情况下电流的真实方向:(1) $I = 5\text{ A}$; (2) $I = -5\text{ A}$ 。

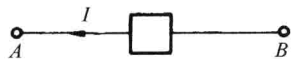


图 1.4 例 1.1 电路图

解 (1) $I = 5\text{ A}$ 时,因 I 为正,则电流的真实方向与参考方向相同,即由 B 向 A。

(2) $I = -5\text{ A}$ 时,因 I 为负,则电流的真实方向与参考方向相反,即由 A 向 B。

1.2.2 电压与电动势

1.2.2.1 电压及其参考极性

电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功,称为 A 点到 B 点的电压

$$U_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1.2)$$

电压用 u 或 U 表示,单位为伏特(V)。大写字母 U 表示直流电压,小写字母 u 表示时变电压。

所谓电压的参考极性,即为电路中两点间假定的极性或假定的电位降方向,通常在两点间标上正(+)、负(-)号或用一个箭头表示,如图 1.5(a)、(b)所示。电压的参考极性也可称为电压的参考方向。



图 1.5 电压参考极性设定

在假设的参考极性下,若 U 为正,则表示电压的真实极性与参考极性一致;反之,若 U 为负,则表示电压的真实极性与参考极性相反。在图 1.5 所示电路中,若 A 、 B 间电压用 U_{AB} 表示,则表明 A 、 B 两点间的电压参考极性为 A 正、 B 负。因此,

$$U_{AB} = U, U_{BA} = -U$$

于是 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

[例 1.2] 如图 1.6 所示的二端元件,已知电压 U 的参考极性如图所示,试求下列两种情况下电压 U 的真实极性:(1) $U = 5\text{ V}$; (2) $U = -5\text{ V}$ 。

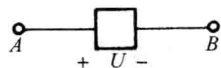


图 1.6 例 1.2 电路图

解 (1) $U = 5\text{ V}$ 时,因 U 为正,则电压 U 的真实极性与参考极性相同,即 A 点为高电位端。

(2) $U = -5\text{ V}$ 时,因 U 为负,则电压 U 的真实极性与参考极性相反,即 B 点为高电位端。

对于任一元件,其电流的参考方向与电压的参考方向的设定是任意的。因而两参考方向之间就存在如下两种可能的关系:一是关联参考方向,如图 1.7(a)所示;二是非关联参考方向,如图 1.8 所示。

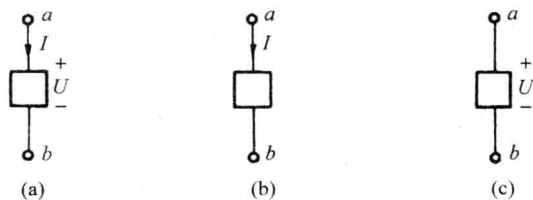


图 1.7 U 、 I 关联时电路标注

所谓关联参考方向是指电流参考方向与电压参考方向(电位降参考方向)相同。而非关联参考方向是指电流参考方向与电压参考方向相反。当采用关联参考方向时, U 、 I 可只选择其一在电路中标明其参考方向,而另一个因与其方向相同,可不必在电路中标明,如图 1.7(b)、(c)所示。

1.2.2.2 电动势

在电路中,正电荷是从高电位流向低电位的,因此要维护电路中的电流,就必须有能把正电荷从低电位移至高电位的非电场力,电源的内部就存在非电场力。非



图 1.8 U 、 I 非关联时电路标注

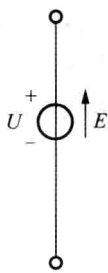


图 1-9 电动势的方向

电场力把单位正电荷从电源内部由低电位端移到高电位端所做的功，称为电动势，用字母 $e(E)$ 表示。电动势的实际方向在电流内部由低电位指向高电位，单位与电压相同，用 V(伏特)表示，如图 1.9 所示。

1.2.3 功率及能量

对于一个二端元件或二端网络(与外部只有两个端钮相联的元件或网络称为二端元件或二端网络。这里，网络即指较复杂的电路)，我们定义其所吸收(或产生)的功率为单位时间内该电路所吸收(或产生)的能量。即

$$P = \frac{dw}{dt} \quad (1.3)$$

功率用 p 或 P 表示，单位为瓦特(W)。大写字母 P 表示不随时间变化的功率，如直流电路的功率，小写字母 p 表示随时间变化的功率。

由式(1.3)、式(1.1)、式(1.2)得

$$P = UI \quad (1.4)$$

因 U, I 的数值有正、有负，则功率 P 也有正负，这表明二端网络有吸收和产生功率之分。当 U, I 采用关联参考方向时(如图 1.7 所示)，若 $P > 0$ ，则二端网络吸收功率，为负载；若 $P < 0$ ，则二端网络产生功率，为电源。反之，当 U, I 采用非关联参考方向时(如图 1.8 所示)，若 $P > 0$ ，则二端网络产生功率；若 $P < 0$ ，则二端网络吸收功率。

[例 1.3] 求图 1.10(a)、(b)所示二端网络 N 所吸收的功率。

解 (a) $P = UI = 2 \times (-1) = -2$ (W)

因 U, I 关联，则网络 N 吸收 -2 W 功率，即放出 2 W 功率。

(b) $P = UI = 2 \times (-1) = -2$ W

因 U, I 非关联，则网络 N 放出 -2 W 功率，即吸收 2 W 功率。

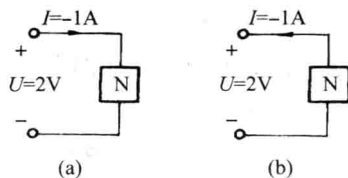


图 1.10 例 1.3 电路图

[例 1.4] 在图 1.11 所示电路中，已知 $U_{s1} = 15$ V， $U_{s2} = 10$ V， $R = 5 \Omega$ ，试求电流 I 和各元件的功率。

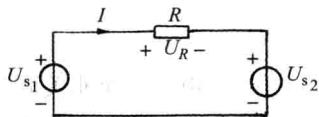


图 1.11 例 1.4 电路图

解 由图中电流的参考方向，可得

$$I = \frac{U_{s1} - U_{s2}}{R} = \frac{15 - 10}{5} = 1 \text{ (A)}$$

电流为正值，说明电流参考方向与实际方向一致。

根据功率计算时电压电流采用的参考方向可得：

元件 U_{s1} ：因 U_{s1}, I 非关联，故功率 $P_{s1} = UI = 15 \times 1 =$

15 (W) > 0 (产生功率)

元件 U_{s2} ：因 U_{s2}, I 关联，故功率 $P_{s2} = 10 \times 1 = 10$ (W) > 0 (吸收功率)

元件 R ： $P_R = 1 \times 5 = 5$ (W) (吸收功率)

由此可以看出：电源 U_{s1} 发出的功率等于各负载吸收的功率之和，即

$$15 \text{ W} = (10 \text{ W} + 5 \text{ W}), \text{ 称为功率平衡。}$$

能量是电路中的又一个基本物理量,在国际单位制中,能量的单位是焦耳(J)。功率的单位是瓦(W),在电工技术中,电功率常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)表示, $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 俗称1度电。

【例 1.5】某元件在直流电源作用下,测得其两端电压为 10V ,流过的电流为 5A ,问该元件经过 10h 后消耗多少度电能?

解 由题意可知

$$U = 10\text{V}, I = 5\text{A}, t = 10\text{h}$$

则

$$\begin{aligned} W &= UI t = 10 \times 5 \times 10 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{h} \\ &= 500 \text{ W} \cdot \text{h} = 0.5 \text{ kW} \cdot \text{h} = 0.5 \text{ 度} \end{aligned}$$

即此元件在使用 10h 后将消耗 0.5 度电能。

1.3 欧姆定律及电路的连接

1.3.1 欧姆定律

对于线性电阻元件,其电路模型如图 1.12 所示,其上的电压 U 、电流 I 之间的关系满足欧姆定律,即流过电阻元件的电流与其两端的电压成正比,也即

$$\frac{U}{I} = R \quad (U, I \text{ 关联, 见图 1.12(a)}) \quad (1.5)$$

或

$$\frac{U}{I} = -R \quad (U, I \text{ 非关联, 见图 1.12(b)}) \quad (1.6)$$

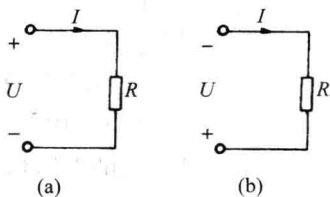


图 1.12 线性电阻元件的电路模型

(a) U, I 关联; (b) U, I 非关联

式中 R 称为电阻元件,单位为欧姆(Ω), R 亦可用电导 G 来表示, G 的单位为西门子(S),它与 R 间的关系为

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.7)$$

由式(1.5)、式(1.6)可得线性电阻元件的端电压 U 与端电流 I 之间的伏安关系如下:

$$\left. \begin{aligned} U &= RI \\ I &= GU \end{aligned} \right\} \quad (U, I \text{ 关联}) \quad (1.8)$$

或

$$\left. \begin{aligned} U &= -RI \\ I &= -GU \end{aligned} \right\} \quad (U, I \text{ 非关联}) \quad (1.9)$$

根据式(1.8)、式(1.9)所画出的曲线即称为线性电阻元件的伏安特性曲线,为一条过原点的直线如图 1.13(a)、(b)所示。而非线性电阻元件的伏安特性曲线为一条曲线,如二极管的伏安特性曲线,见图 1.14。

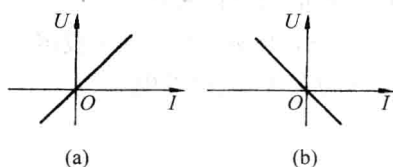


图 1.13 线性电阻元件的伏安特性曲线
(a) U 、 I 关联; (b) U 、 I 非关联

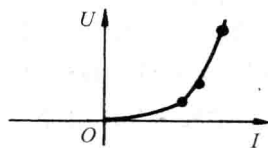


图 1.14 非线性电阻元件
的伏安特性曲线

由线性元件组成的电路称为线性电路。

1.3.2 电路的连接

1.3.2.1 电阻元件的串联

如果一个电路中有若干个电阻元件按顺序首尾相连,在电压源的作用下各电阻元件上流过的电流相等,那么这种连接方式称为电阻元件的串联,如图 1.15(a)所示。由欧姆定律得

$$U = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I$$

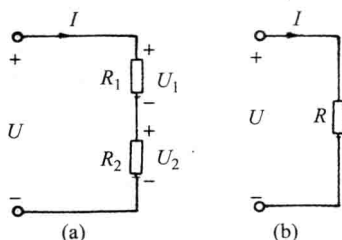


图 1.15 电阻元件的串联

图 1.15(b)所示的电路,其伏安关系

$$U = RI \quad (1.10)$$

两电路具有相同伏安关系(即相互等效)的条件是

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.11)$$

电阻 R 称为图 1.15(a)所示电路的等效电阻。而图 1.15(b)称为图 1.15(a)的最简等效电路。

1.3.2.2 电阻元件的并联

如果在一个电路中,若干个电阻元件的首端、尾端分别相联在一起,在电压源的作用下,各个电阻元件两端的电压相等,那么,这种连接方式称为电阻元件的并联,如图 1.16(a)所示。

由欧姆定律得

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

图 1.16(b)所示的电路,其伏安关系

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.12)$$

两电路具有相同伏安关系(即相互等效)的条件是

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1.13)$$

或

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (R \text{ 称为并联等效电阻})$$

电阻 R 称为图 1.16(a)所示电路的等效电阻。而图 1.16(b)称为图 1.16(a)的最简等效电路。

当 $R_1 = R_2$ 时,有 $R = \frac{1}{2} R_1 = \frac{1}{2} R_2$

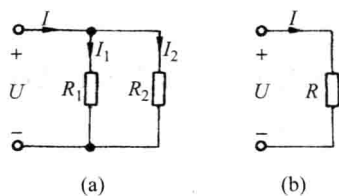


图 1.16 电阻元件的并联

1.3.2.3 电阻的混联

电阻元件串联和并联混合连接的方式称为电阻的混联。电阻元件混联电路的最简等效电路也为一个电阻元件,如图 1.17 所示。此类电路的等效,可通过电阻元件的串联等效和并联等效来逐步化简电路,最终总可以简化为一个电阻元件,而其逐步简化等效的过程可用“ $\Rightarrow$ ”表示。

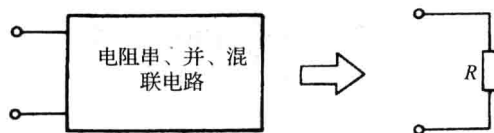


图 1.17 电阻混联二端网络的等效电路

[例 1.6] 电路如图 1.18(a)所示,求 a 、 b 两端的等效电阻 R_{ab} 。

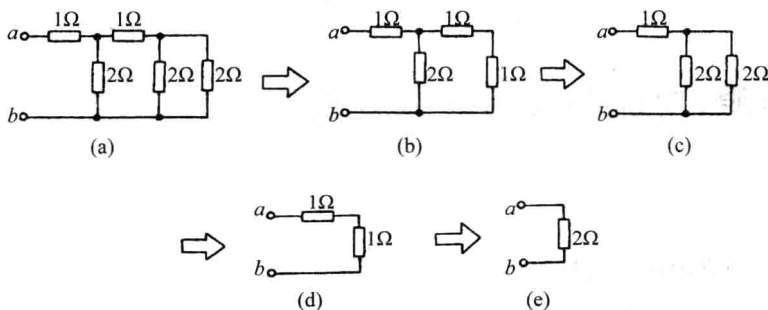


图 1.18 例 1.6 图

解 电路等效化简过程如图 1.18(b)~(e)所示,最终可求出 a 、 b 两端的等效电阻为

$$R_{ab} = 2\Omega$$

[例 1.7] 电路如图 1.19(a)所示,求 c 、 d 两端的等效电阻 R_{cd} 。

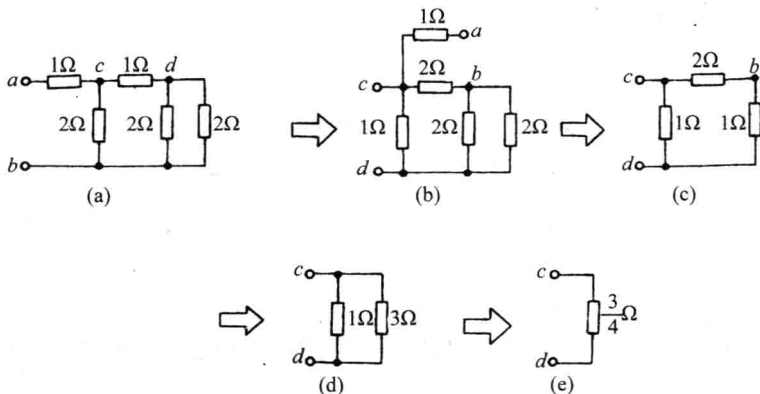


图 1.19 例 1.7 图

解 电路等效化简过程如图 1.19(b)~(e)所示,最终可求出 c 、 d 两端的等效电阻为

$$R_{cd} = \frac{3}{4}\Omega$$

[例 1.8] 电路如图 1.20(a)所示,求 a 、 b 两端的等效电阻 R_{ab} 。

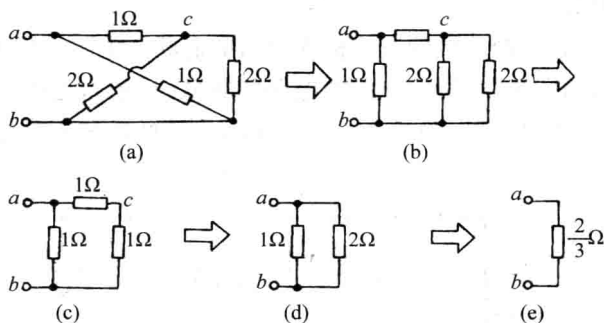


图 1.20 例 1.8 图

解 电路等效化简过程如图 1.20(b)~(e)所示,最终可求出 a, b 两端的等效电阻为

$$R_{ab} = \frac{2}{3} \Omega$$

1.4 电压源、电流源及其等效变换

1.4.1 电压源

独立电源有独立电压源与独立电流源

1.4.1.1 理想电压源的电路模型及其伏安关系

所谓理想电压源,即其端电压对外电路而言保持恒定,与通过它的电流大小无关。其电路模型如图 1.21(a)所示。其伏安关系为

$$\left. \begin{array}{l} U = U_s \\ I \text{ 为任意值} \end{array} \right\} \quad (1.14)$$

其伏安特性曲线如图 1.21(b)所示。

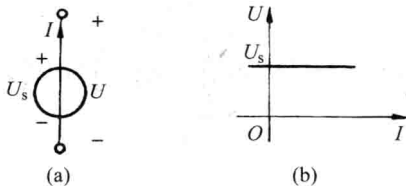


图 1.21 理想电压源的电路模型及其伏安特性曲线

但是,实际的电压源总含有一定的内阻,因而其电路模型就不能用理想电压源的模型来表征。

1.4.1.2 实际电压源的电路模型及其伏安关系

对于实际电压源,其电路模型如图 1.22(a)所示。其中, U 为电压源的输出电压; U_s 为理想电压源的电压; R_0 为电压源的内阻; I 为电压源的输出电流;其伏安关系为

$$U = U_s - R_0 I \quad (1.15)$$

电压源的内阻愈小,输出电压就愈接近理想电压源的电压 U_s ,当内阻 $R_0 = 0$ 时电压源就

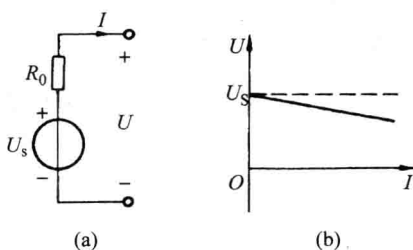


图 1.22 实际电压源的电路模型及其伏安特性曲线
是理想电压源。其伏安特性曲线如图 1.22(b)所示。

1.4.2 电流源

1.4.2.1 理想电流源的电路模型及其伏安关系

所谓理想电流源,即对外总能提供一个恒定的电流,此电流与它两端的电压无关。其电路模型如图 1.23(a)所示,伏安关系为

$$\left. \begin{aligned} I &= I_s \\ U &\text{为任意值} \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$

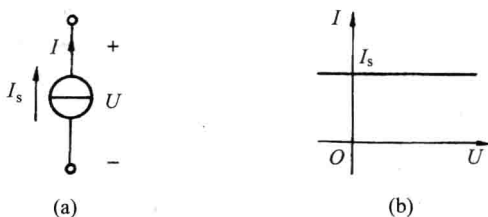


图 1.23 理想电流源的电路模型及其伏安特性曲线
伏安特性曲线如图 1.23(b)所示,为平行于横轴的一根直线。

但是,实际的电流源总含有一定的内阻,因而其电路模型就不能用理想电流源的模型来表征。

1.4.2.2 实际电流源的电路模型及其伏安关系

对于实际电流源,其电路模型如图 1.24(a)所示。其中, \$I\$ 为电流源的输出电流; \$I_s\$ 为理想电流源的电流; \$U\$ 为电流源的输出电压; \$R_0\$ 为电流源的内阻。其伏安关系为

$$I = I_s - \frac{U}{R_0}$$

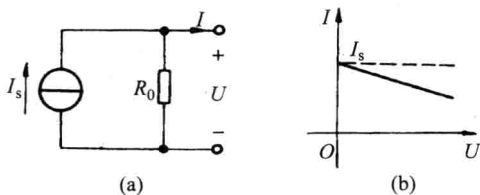


图 1.24 实际电流源的电路模型及其伏安特性曲线

电流源的内阻 \$R_0\$ 愈大,它对 \$I_s\$ 的分流作用愈小,输出电流 \$I\$ 愈接近于理想电流源的电流 \$I_s\$。当内阻 \$R_0 = \infty\$ 时电流源就是理想电流源。其伏安特性曲线如图 1.24(b)所示。

1.4.3 实际电压源与实际电流源间的等效互换

不论是实际电压源,还是实际电流源,对电源的外电路而言,它们就有可能相互等效。下面讨论两者相互等效的条件。

对于实际电压源,有 $U = U_s - R_0 I$, 此式也可写为

$$I = \frac{U_s}{R_0} - \frac{1}{R_0} U \quad (1.17)$$

而实际电流源的伏安关系为 $I = I_s - G_s U$, 为了让此式与式(1.17)相等,即实际电压源等效为实际电流源,此时必须满足如下的条件:

$$\left. \begin{aligned} I_s &= \frac{U_s}{R_0} \\ R &= R_0 \end{aligned} \right\} \quad (1.18)$$

利用式(1.18)可将实际电压源等效为实际电流源,如图 1.25(a)、(b)所示。

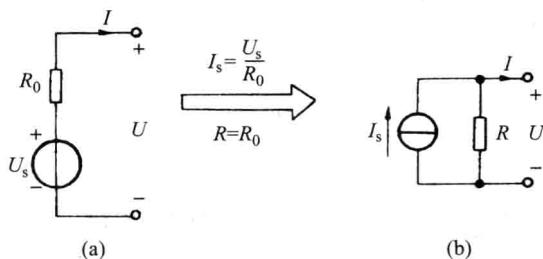


图 1.25 实际电压源等效为实际电流源

对于实际电流源,有 $I = I_s - \frac{U}{R}$, 此式也可写为

$$U = I_s R - IR \quad (1.19)$$

而实际电压源的伏安关系为 $U = U_s - R_0 I$, 为了让此式与式(1.19)相等,即实际电流源等效为实际电压源,此时必须满足如下的条件:

$$\left. \begin{aligned} U_s &= I_s R \\ R_0 &= R \end{aligned} \right\} \quad (1.20)$$

利用式(1.20)可将实际电流源等效为实际电压源,如图 1.26(a)、(b)所示。

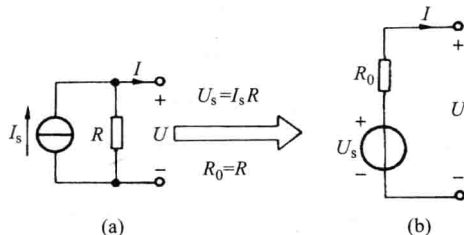


图 1.26 实际电流源等效为实际电压源

在等效变换时还需注意:

(1) 变换时两种电路模型的极性必须一致,即电流源流出电流的一端与电压源的正极性端相对应。

(2) 理想电压源和理想电流源不能进行等效变换。

(3) 这种变换关系只对外电路而言,对电源内部则不等效。

[例 1.9] 求图 1.27(a)所示电路的电压源形式的最简等效电路。

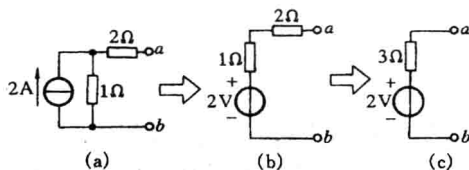


图 1.27 例 1.9 图

解 电路等效化简过程如图 1.27(a)~(c)所示,最终化简为一个 2 V 电压源与 3 Ω 电阻相串联的电路。

[例 1.10] 求图 1.28(a)所示电路的电流源形式的最简等效电路。

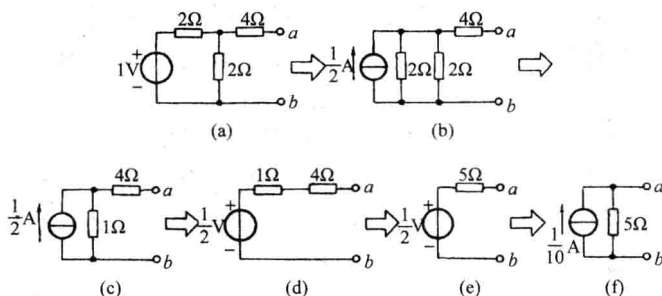


图 1.28 例 1.10 图

解 电路等效化简过程如图 1.28(a)~(f)所示,最终化简为一个 $\frac{1}{10}$ A 电流源与 5 Ω 电阻相并联的电路。

1.4.4 电路的短路和开路

当电源与负载相连接时,根据所连接负载的情况,电路通常会出现短路、开路、带负载 3 种工作状态。如图 1.29 所示电路,有

$$RI = U_s - R_0 I$$

$$I = \frac{U_s}{R + R_0}$$

当 $R=0$ 时, $U=0$, $I=\frac{U_s}{R_0}$, 称电路 ab 间短路。

当 $R=\infty$ 时, $I=0$, $U=U_s$, 称电路 ab 间开路。

当有负载情况下, $I=\frac{U_s}{R+R_0}$; 在 ab 间短路时, $U=0$,

$I=\frac{U_s}{R_0}$, 在 ab 间开路时, $I=0$, $U=U_s$ 。

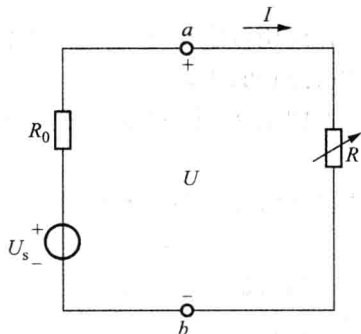


图 1-29 电路的 3 种工作状态

为了使电气设备能完全可靠地经济运行,引入了电气设备额定值,就是电气设备在电路的正常运行状态下能承受的电压、允许通过的电流及它们吸收和产生功率的限额。如额定电压

U_N , 额定电流 I_N 、额定功率 P_N 。

当通过电气设备的电流等于额定电流时,称为满载工作状态;当电流小于额定电流时,称为轻载工作状态;超过额定电流时,称为过载工作状态。

1.5 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律和欧姆定律都是电路的基本定律,欧姆定律反映了线性电阻元件上电流与电压的约束关系,基尔霍夫定律则从电路结构上反映了电路中电流之间或电压之间的约束关系。它包含两条定律,分别为基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。这些定律除适用于直流电路的分析以外,原则上也适用于其他电路。

为了说明基尔霍夫定律,下面先介绍几个与电路连接状况有关的名词。

支路 每个二端元件称为一条支路。如图 1.30 所示电路,有 4 条支路。但习惯上,也可把流有同一电流的部分(即元件以串联方式连接)称为一条支路,如图 1.30 所示,元件 1 和元件 2 以串联方式连接(流有同一电流),则它们可看作一条支路,因而图 1.30 也可看作只有 3 条支路。

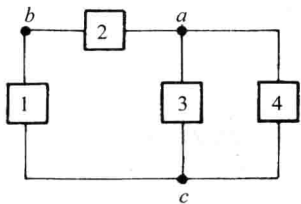


图 1.30 支路、节点、回路、网孔说明图

节点 元件的连接点称为节点,即三条或三条以上支路的交点。在电路图中用“·”标出。如图 1.30 所示电路中的 a 和 c 都是节点,而 b 可不作为节点。

回路 由支路组成的闭合路径称为回路,如图 1.30 所示电路有 3 个回路。

1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律反映了电路中任一节点上各支路电流之间的相互关系,其内容是:对于任一电路中的任一节点,在任一时刻流入(或流出)该节点的电流之代数和恒等于零。用数学式表达为

$$\sum I = 0 \quad (1.21)$$

在应用该定律时,首先要假定各支路电流的参考方向,然后选定流入(或流出)节点的电流在式(1.21)时为正。

在图 1.31 中,设流入节点 A 的电流为正,则 A 点的 KCL 方程为

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0 \quad (1.22)$$

由式(1.22)又可得如下方程:

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5 \quad (1.23)$$

式(1.23)为基尔霍夫电流定律的另一种表现形式。即流入某节点电流的总和等于流出该节点电流的总和。

基尔霍夫电流定律不仅对节点成立,对电路中任意闭合面而言也成立。即对于任一电路中的任一闭合面,在任一时刻,流入(或流出)该闭合面的电流之代数和恒等于零。如图 1.32 所示,有