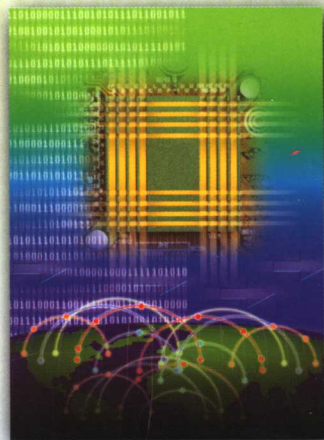
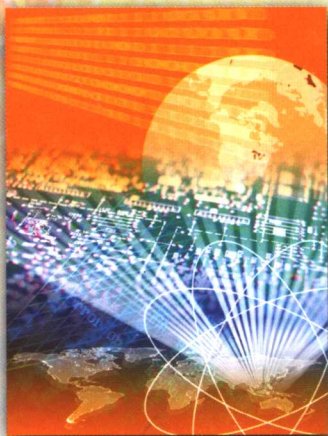




高等学校“十一五”精品规划教材

电工技术

主 编 任振辉 张丽娟 高 亮



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TM/134

2008



高等学校“十一五”精品规划教材

电工技术

主 编 任振辉 张丽娟 高 亮
副主编 李东明 王学军 侯晨伟



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全书共分8章, 主要内容包括: 直流电路及基本定律、正弦交流电路、三相交流电路、电路的时域分析、磁路与变压器、电动机、电气控制线路、安全用电和节约用电。每章均有典型例题和习题。

本书参考学时为40~60学时, 可作为高等院校非电类专业本科、专科、高职用《电工技术》教材, 也可供电气工程技术人员及电气技术爱好者参考和自学。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/任振辉, 张丽娟, 高亮主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2008

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-5180-0

I. 电… II. ①任…②张…③高… III. 电工技术—高等学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第001399号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 电工技术
作 者	主编 任振辉 张丽娟 高亮
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 11.25印张 268千字
版 次	2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	21.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

《电工技术》一书是在全国高等院校电学科教材研究会的指导下编写的，是高等学校“十一五”精品规划教材之一。本书的基本内容符合全国高等院校电学科教材研究会审定的《电工技术》教学大纲，适用于高等院校非电类本科、专科、高职用《电工技术》教材，也可供电气工程技术人员和电气技术爱好者参考与自学。

作者在本书的编写过程中，总结和吸收了各院校教学和教学改革的有益经验，注重理论的系统性和实用性，删除了以往陈旧过时或不适用的内容，增补了新的知识和技术，修改了对一些问题的分析思路和解答方法，使之更适合于组织教学和学生自学。书中例题、习题丰富，图形、符号均采用最新国家标准。在编写过程中，作者借鉴和参考了书后所列参考文献，在本书出版之际，向文献的作者致以衷心的感谢。

参加本书编写的单位有：河北农业大学、河北经贸大学、华北电力大学、石家庄铁道学院、河北工业职业技术学院、保定电力职业技术学院、河北软件职业技术学院等院校。

参加本书编写的人员有：任振辉、张丽娟、高亮、李东明、王学军、侯晨伟、苏海锋、马永鹏、张义华、刘扬、陈俊红、郭燕霞、王龙、宋冬冬。全书由河北农业大学任振辉负责统稿、校审和定稿。

由于作者水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年1月

目 录

前言

第一章 直流电路及基本定律	1
第一节 电路及基本物理量	1
第二节 电路的工作状态	6
第三节 电压源与电流源及等效变换	7
第四节 基尔霍夫定律	11
第五节 支路电流法	13
第六节 节点电压法	13
第七节 叠加定理	15
第八节 戴维南定理与诺顿定理	17
习题	20
第二章 正弦交流电路	24
第一节 正弦交流电的基本概念	24
第二节 正弦量的相量表示法	28
第三节 单一参数的交流电路	30
第四节 串联交流电路	36
第五节 并联交流电路	41
第六节 电路的功率因数	42
第七节 复杂正弦电路的分析与计算	45
第八节 电路中的谐振	47
习题	52
第三章 三相交流电路	56
第一节 三相交流电源	56
第二节 负载星形连接的三相电路	59
第三节 负载三角形连接的三相电路	62
第四节 三相电路的功率	64
习题	66
第四章 电路的时域分析	68
第一节 过渡过程的概念	68
第二节 RC 电路的时域响应	71
第三节 RL 电路的时域响应	76
第四节 微分电路和积分电路	81
习题	83

第五章 磁路与变压器	85
第一节 磁路的基本概念	85
第二节 变压器的基本结构和工作原理	90
第三节 变压器的运行特性及变压器绕组极性与测定	95
第四节 三相变压器及特殊用途变压器	97
习题	100
第六章 电动机	102
第一节 三相异步电动机的结构和工作原理	102
第二节 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	107
第三节 三相异步电动机的使用	112
第四节 单相异步电动机	122
第五节 同步电动机简介	124
第六节 直流电机简介	125
习题	130
第七章 电气控制线路	132
第一节 常用控制电器	132
第二节 继电器、接触器控制的基本电路	138
第三节 电气控制的基本方法	141
第四节 可编程控制器	148
习题	158
第八章 安全用电和节约用电	160
第一节 触电及其预防	160
第二节 保护接地和保护接零	164
第三节 电气火灾、爆炸的预防及静电防护	167
第四节 节约用电	168
习题	170
参考文献	171

第一章 直流电路及基本定律

本章是电工学课程的基础，并且为后面的电子电路、电机电路以及控制与测量电路打基础。本章首先介绍电路的基本知识，包括电路的基本物理量，电路模型以及电路的基本定理、定律和分析方法。这些基本规律和分析方法只要辅以适当的数学工具，就可以适用于交流电路以及其他各种线性电路。

第一节 电路及基本物理量

一、电路的组成及电路模型

电路是电流的通路，它是为了实现某种功能或者某种需要，由若干电工设备或电气元件按一定方式连接起来。任何一个实际电路无论其复杂程度如何，都无一例外的包括电源、中间环节和负载这三个要素。

电源是电路中电能的提供者，其作用是将其他形式的能量转换成电能。作为直流电源的有干电池、蓄电池、直流发电机、整流电源等，作为交流电源的有交流发电机等。

负载是电路的能量消耗者，其作用是将电能转化成所需要形式的能量。例如，将电能转化成机械能的电动机、转换成光能的电灯、转换成热能的电炉等用电设备。

中间环节主要包括连接导线和一些控制器件。它们连接于电源和负载之间，起电能的传递、控制、分配和保护等作用。

实际电路的种类有很多，按功能分为两大类：电力电路（即强电电路）和信号电路（即弱电电路）。

电力电路主要用来实现电能的传输和转换。复杂的有电力系统。比如在发电厂内，发电机可把热能、水能或核能等其他形式的能量转换为电能，然后通过变压器和输电线等这些中间环节来传输和分配电能。简单的电路如手电筒电路，如图 1-1 所示。

信号电路主要用来实现信号的传递和处理。如扩音器电路。先由话筒把语言或音乐（通常称为信息）转换为相应的电压和电流，它们就是电信号。而后通过放大电路的转换和放大处理传递到扬声器，把电信号还原为语言或音乐。话筒是输出信号的设备，称为信号源，相当于电源，但与上述的发电机、电池这种电源不同，信号源输出的电信号（电压和电流）的变化规律是取决于所加的信息的。扬声器是接收和转换信号的设备，也就是负载。

不论电能的传输和转换，或者信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压与电流称为激励，它推动电路工作；由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析，就是在已知电路的结构和元件参数的条件下，讨论电路的激励与响应之间的关系。

实际生活和生产中的电气元件有很多，性能又很复杂。为了研究电路的基本规律，掌握电路元件最本质的物理特性，就需要对实际电路元件进行科学的概括和抽象，形成一些具有特定的电磁性质的理想元件，即模型元件，由理想元件组成的电路叫做电路模型，简

称电路图。在电路图中，各种模型元件都用相应的符号表示。例如手电筒电路用电路符号表示即构成电路图，如图 1-2 所示。

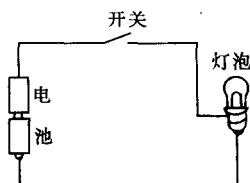


图 1-1 手电筒电路

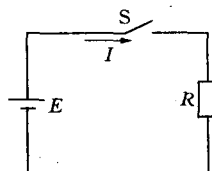


图 1-2 用电路符号绘制的电路图

二、电路中的基本物理量及其正方向

1. 电流

(1) 电流的大小。单位时间内通过导线横截面积的电荷量称为电流，可表示为

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (1-1)$$

若单位时间内通过导线横截面积的电荷量不变，称为直流，可表示为

$$I = \frac{Q}{t}$$

我国法定计量单位中电流的单位是安培 (A)，简称安，较小的电流可用毫安 (mA) 或微安 (μA) 等单位。

(2) 电流的正方向。习惯上人们规定正电荷的移动方向为电流的实际方向，但在分析较复杂的电路时，往往难以判断某支路电流的实际方向，而且有时电流的方向还会随时间交变，更难以表示其实际方向。为了解决这一问题，我们在分析电路之前，可以完全不考虑电流的实际方向，而给它假设一个方向。这个假定的电流方向称为电流的正方向，或称为参考方向。

正方向可以任意选定，电流的正方向可用箭头或双下标表示。图 1-3 所示为箭头表示的正方向，也可以用正方向 I_{ab} 表示，显然 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。当确定了正方向之后，就可以根据定理、定律等列写方程，求解该量，若结果为正，则表示电流的实际方向与正方向一致，否则相反。图 1-3 (a) 中， $I > 0$ ，则实际方向与正方向相同；图 1-3 (b) 中， $I < 0$ ，则实际方向与正方向相反。或者用图 1-3 (c) 表示。

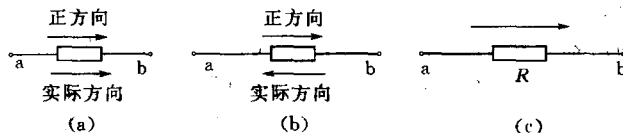


图 1-3 电流的正方向与实际方向表示方式

(a) $I > 0$; (b) $I < 0$; (c) $I_{ab} < 0$

需要指出的是，未标正方向时，电流的正负值是毫无意义的，本书中所标注的电流方向也都是正方向（特殊说明除外）。

2. 电压及电位

(1) 电位。电位是相对于确定的参考点来说的。电路中某点的电位是指单位正电荷在电场力作用下，自该点沿任意路径移动到参考点所做的功。用字母 V 表示。参考点的选择

是任意的，但在一个电路中参考点只能有一个。参考点的选用通常有两种方法：在电力工程中以大地为参考点，用符号 $\perp$ 表示；在电子电路中，通常取若干导线的交汇点或机壳作为电位的参考点，用符号 $\perp$ 表示。规定参考点的电位为零。

电路中任何一点的电位值是参考点相比较而得出的，比其高者为正，比其低者为负。

(2) 电压。电路中两点之间的电位差称为这两点间的电压，用字母 U 表示。例如电路中 A、B 两点间的电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-2)$$

我国的法定计量单位中，电压的单位是伏特 (V)，简称伏，常用的单位还有微伏 (μV)、毫伏 (mV) 和千伏 (kV)。

电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端，即电位降的方向。在分析电路时，和电流一样，为了简化分析，我们也要假定电压的正方向。电压的正方向有三种表示方法，如图 1-4 所示。图 1-4 (a) 用 “+”、“-” 分别表示假定的高电位端和低电位端；图 1-4 (b) 则用箭头的指向表示，箭头由高电位端指向低电位端。图 1-4 (c) 用双下标来表示，电压的正方向即从下角标的第一个字母指向第二个字母，如 U_{AB} ，即表示 A 点高电位，B 点低电位。

当电压的正方向确定后，分析计算出的电压若为正值，说明电压的实际方向与正方向一致；若为负值，说明电压的实际方向与正方向相反。

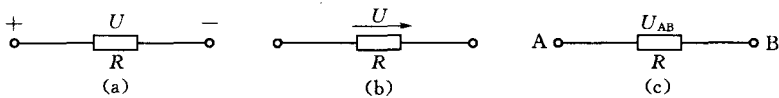


图 1-4 电压正方向的三种表示方式

电位与电压在表达形式上虽有区别，但从本质上是相同的。电路中两点之间的电压就是这两点之间的电位差值。例如 A、B 两点间的电压是 U_{AB} ，那么 $U_{AB} = V_A - V_B$ 。电位从形式上是指一点的电位，实际上仍然是两点间的电压，不过另一点是参考点而已。所以电压又叫电位差，它是一个绝对量，与参考点的选择无关。电位是一个相对量，它与参考点的选取有关。

在简化电路图的时候也常常用电位值来代替电源。如图 1-5 所示，图 1-5 (a) 是电源表示方式，图 1-5 (b) 是电位表示方式。

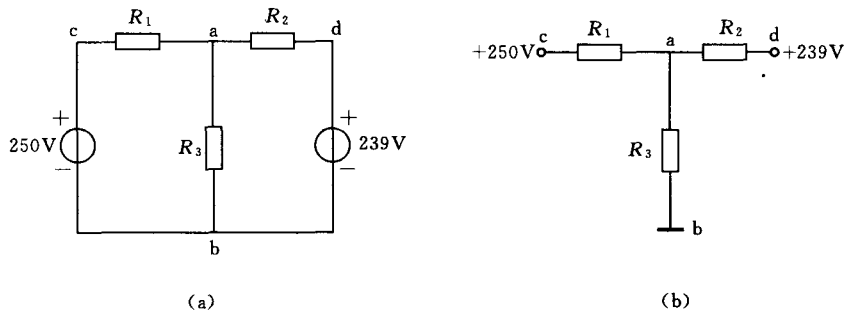


图 1-5 电路图的两种表示方式

【例 1-1】 求图 1-6 所示电路中 a、b、c 点的电位及电阻 R 。

解： 根据图示电路，设 d 点为参考点。

$V_a = -9\text{V}$ ，即 a 点电位比 d 点电位低 9V；

$V_b = V_a + E_2 = -9 + 3 = -6\text{ (V)}$ ；即 b 点电位比 d 点电位低 6V；

$V_c = E_3 = 4\text{V}$ ；即 c 点电位比 d 点电位高 4V。

$$U_{bc} = V_b - V_c = -6 - 4 = -10\text{ (V)}$$

$$R = \frac{U_{bc}}{I} = \frac{-10}{-2} = 5(\Omega)$$

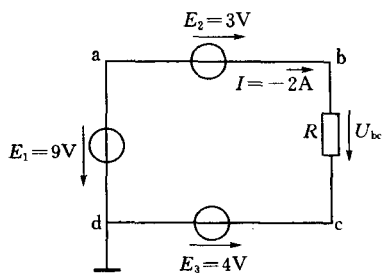


图 1-6 例 1-1 图

3. 电动势

电动势是衡量电源内部非电场力做功能力的物理量，用字母 E 表示。在数值上电动势等于非电场力把单位正电荷从负极经电源内部移到正极所做的功。因此，电动势的单位也是伏特 (V)。

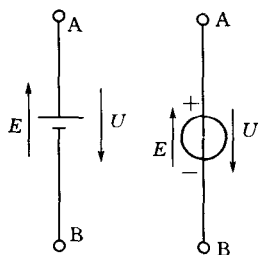


图 1-7 电压与电动势的正方向关系

电动势的实际方向规定为电源力推动正电荷运动的方向，即电位升高的方向，所以电动势与电压的实际方向相反。电动势的正方向规定为从低电位指向高电位，与电压规定的正方向相反。如图 1-7 所示。

4. 关联正方向

电压、电流的正方向在标定时都具有任意性，因而两者间应相互独立，互不限制。如果在同一段电路中，两者的正方向取向一致，称之为关联正方向或关联参考方向；两者的正方向取向不一致，称之为非关联正方向。但是对于电阻元件来说，实际电压是从高电位端指向低电位端，实际电流是从高电位端流入，从低电位端流出。因此，为了分析、计算的方便，一般情况下，通常负载元件选取电压的正方向与电流的正方向一致。而对于电源元件，常常选取电动势的正方向与电流的正方向相同，即电压的正方向与电流的正方向相反，即 U 与 I 为非关联正方向。

关联正方向是一个很重要的概念，在电路理论中许多公式的导出均与关联正方向有关。以欧姆定律为例，在关联正方向条件下表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-3)$$

若为非关联正方向，欧姆定律表示为

$$I = -\frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = -IR \quad (1-4)$$

【例 1-2】 应用欧姆定律对图 1-8 中的电路列写公式，并求出电阻。

解： (a) $R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2} = 3 (\Omega)$

(b) $R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} = 3 (\Omega)$

$$(c) R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{2} = 3 (\Omega)$$

$$(d) R = \frac{U}{I} = \frac{-6}{-2} = 3 (\Omega)$$

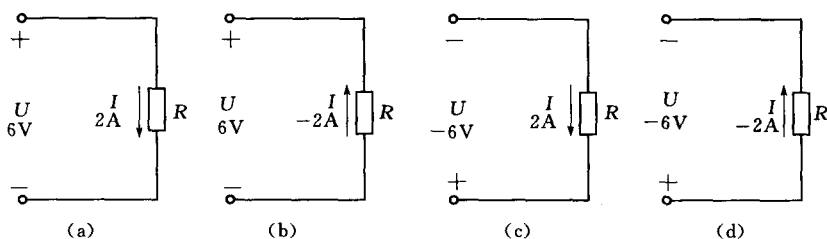


图 1-8 例 1-2 图

5. 功率

我们把单位时间内电流所做的功称为电功率，简称功率，用 P 表示。在法定计量单位中，功率的单位是瓦特 (W)，简称瓦，常用单位还有 kW 和 MW。

对于一个元件，若电压、电流为关联正方向时，则

$$P = UI$$

若电压、电流为非关联正方向时，则

$$P = -UI$$

当 $P > 0$ 时元件吸收功率，为负载性元件； $P < 0$ 时元件发出功率，为电源性元件。在电能计量中，如果功率 P 的单位用千瓦 (kW)，时间 t 的单位用小时 (h)，则从公式 $W = UI t = Pt$ 可知，电能的单位为千瓦时 (kW·h)，简称千瓦时。

6. 额定值

各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值，例如一盏电灯的电压是 220V，功率是 60W，这就是它的额定值。额定值是制造厂家为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。大多数电气设备（例如电机、变压器等）的寿命与绝缘材料的耐热性能及绝缘强度有关。当电流超过额定值过多时，由于发热过甚，绝缘材料将遭受损坏；当所加电压超过额定值过多时，绝缘材料也可能被击穿。反之，如果电压和电流远低于其额定值，不仅得不到正常合理的工作情况，而且也不能充分利用设备的能力。此外，对电灯及各种电阻器来说，当电压过高或电流过大时，其灯丝或电阻丝也将被烧毁。因此，制造厂家在制定产品的额定值时，要全面考虑使用的经济性、可靠性以及寿命等因素，特别要保证设备的工作温度不超过规定的容许值。

电气设备或元件的额定值常标在铭牌上或写在其他说明中，在使用时应充分考虑额定数据。例如一把电烙铁，标有 220V 45W，这就是额定值，使用时就不能接到 380V 的电源上。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

额定电压 U_N ，即电气设备规定的正常使用的电压。当电压过高或过低时，设备不能正常工作，而且可能损坏。

额定电流 I_N ，即设备长期（或规定时间内）允许通过的最大电流。当电流超过额定值时称为过载；小于额定电流时称为轻载或欠载；达到额定值时称为额定工作状态或满载。一般电路允许短时过载，但长时间过载是不允许的。

额定功率 P_N ，即电气设备在额定电压时允许的最大输出或输入功率。

此外，在实际使用时，电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值，这也是一个重要的概念。究其原因，一是受到外界的影响。例如电源额定电压为 220V，但电源电压经常波动，稍低于或稍高于 220V。这样，额定值为 220V 40W 的电灯上所加的电压不是 220V，实际功率也就不是 40W 了。另一原因是，在一定电压下电源输出的功率和电流决定于负载的大小，就是负载需要多少功率和电流，电源就给多少，所以电源通常不一定处于额定工作状态，但是一般不应超过额定值。

第二节 电路的工作状态

一、有载运行状态与额定值

将电源和负载连接起来形成闭合通路，称为负载运行或有载运行状态，如图 1-9 所示。此时电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-5)$$

负载电阻两端的电压为

$$U = RI = E - R_0 I \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 可见，由于内阻的作用，电源端电压 U 总小于电动势 E 。

把式 (1-6) 各项乘以电流 I ，则得功率平衡式

$$UI = RI^2 = EI - R_0 I^2$$

即

$$P = P_E - P_0 \text{ 或 } P_E = P + P_0 \quad (1-7)$$

式中： P_E 为电源发出的总功率， $P_E = EI$ ； P 为负载消耗的功率， $P = UI = I^2 R$ ； P_0 为电源内阻消耗的功率， $P_0 = I^2 R_0$ 。

在一个实际电路中，功率总是平衡的，即

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}}$$

式中： P_{out} 为发出的功率； P_{in} 为吸收的功率。

二、开路状态

如图 1-10 所示，当开关 S 打开，电路就处于开路状态（对电源而言，又称为空载状态）。

开路时电路的电阻相当于无穷大，电路中电流为零。此时电源的端电压（空载电压）等于电源电动势，即 $U_{\text{oc}} = E$ 。电源对外不输出功率。

三、短路状态

电流不经过负载而直接流回电源，称为短路，如图 1-11 所示。

一般来说，电源内阻很小，导线电阻可视为零，短路电流 I_s 必然很大，这时电源所发出的功率全部消耗在电源内阻 R_0 上，因此会产生大量的热而烧毁电源。

短路通常是一种事故，应竭力避免。为了防止短路事故所引

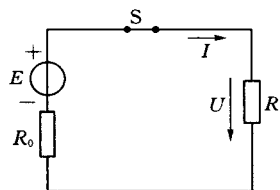


图 1-9 有载运行状态

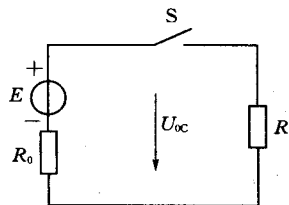


图 1-10 开路状态

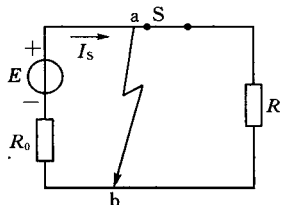


图 1-11 短路状态

起的后果，实际电路中应接入熔断器或断路器，一旦发生短路能迅速将故障电路与电源自动断开。

有时候根据需要，将电路中的某一部分或某一元件短路，常称为短接，应该把它与事故短路区分开。

第三节 电压源与电流源及等效变换

在实际应用中，电源的种类很多，它们的共同点是向电路提供电压和电流，因此可以把电源分成两大类：电压源和电流源。

一、实际电源的两种模型

一个实际电源，其端电压一般会随其供电电流的增大而有所下降。通常把电源电压和电流间的这种关系称为伏安特性或电源的外特性。在 $I-U$ 坐标平面里，伏安特性通常是一根呈下降趋势的曲线，如图 1-12 所示。为了简化分析，常常把它近似成一根直线，直线方程描述如下

$$U = U_{oc} - IR_0 \quad (1-9)$$

式中： R_0 称为电源的内电阻，简称内阻， $R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ 。

当电源开路时， $I=0$ ， $U=U_{oc}=E$ ；当短路时， $U=0$ ， $I=I_{sc}=\frac{E}{R_0}$ 。内阻越小，直线越平。

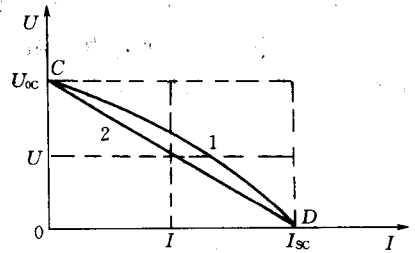


图 1-12 电源的伏安特性曲线

根据式 (1-9)，可以把实际电源描述成一个电压值为开路电压 U_{oc} （或电源电动势 E ）的恒定电压和内阻为 R_0 的串联电路，称为电压源模型。如图 1-13 所示。

当内阻 $R_0=0$ 时，电压 U 恒等于电动势 E ，是一定值，而电流 I 是由外电路决定的。这样的电源称为理想电压源或恒压源，其电路模型如图 1-14 (a) 所示。它的外特性曲线将是与横轴平行的一条直线，如图 1-14 (b) 所示。

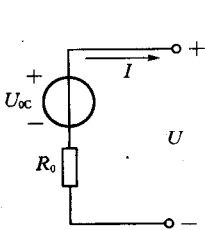


图 1-13 电压源表示的实际电源

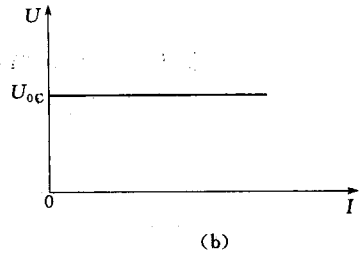
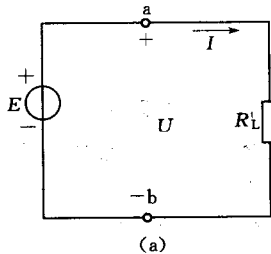


图 1-14 理想电压源电路与外特性曲线
(a) 理想电压源电路；(b) 外特性曲线

实际中，如果一个电源的内阻远小于负载电阻，即 $R_0 \ll R_L$ 时，则内阻压降 $R_0 I \ll U$ ，于是 $U \approx E$ ，负载端电压基本恒定不变，可以认为是理想电压源。通常用的稳压电源可认为是一个理想电压源。

式 (1-9) 两边除以内阻 R_0 ，则得

$$\frac{U}{R_0} = \frac{U_{oc}}{R_0} - I = \frac{E}{R_0} - I = I_{sc} - I$$

即

$$I_{sc} = \frac{U}{R_0} + I$$

式中： I 为电源的短路电流 $I_{sc} = \frac{E}{R_0}$ ， I 是负载电流； $\frac{U}{R_0}$ 是引出的另一个电流。电路图如图 1-15 所示。

这就是实际电源的电流源模型。两条支路并联，对负载来讲，其上的电压和电流都没有改变。

当电流源开路时， $I=0$ ， $U=U_0=R_0 I_{sc}$ ；当短路时， $U=0$ ， $I=I_{sc}$ 。内阻越大，直线越陡。

当 $R_0=\infty$ 时，电流 I 恒等于电流 I_s ，是一定值，而其两端的电压 U 是由外电路决定的。这样的电源称为理想电流源或恒流源，其电路模型如图 1-16 (a) 所示。它的外特性曲线是与纵轴平行的一条直线，如图 1-16 (b) 所示。

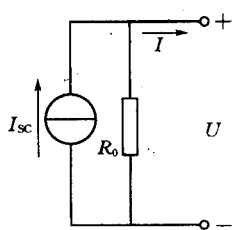
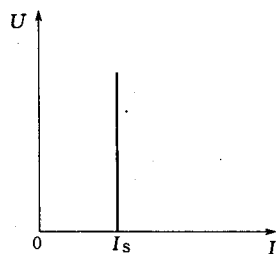
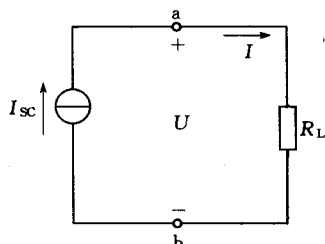


图 1-15 电流源表示
的实际电源



(a)

(b)

图 1-16 理想电流源电路与外特性曲线

(a) 理想电流源电路；(b) 外特性曲线

实际中，如果一个电源的内阻远大于负载电阻，即 $R_0 \gg R_L$ 时，则 $I \approx I_s$ ，负载电流基本恒定不变，可以认为是理想电流源。例如晶体管可以近似地认为是一个理想电流源。

二、电压源与电流源的等效变换

同一个实际电源可以用两种不同形式的电路模型，由于它们的伏安特性是相同的，我们可以把具有相同伏安特性的不同电路称为等效电路，或者说它们互为等效。但是这种等效仅仅是相对于外电路而言的。如图 1-17 所示，一个恒压源 E 与内阻 R_0 串联的电路可以等效为一个恒流源 I_s 与内阻 R_0 并联的电路。因为对外接负载来说这两个电源提供的电压和电流完全相同，即 $U=U'$ ， $I=I'$ ，所以对负载来说，这两个电源是相互等效的，它们之间可以互变。变换的条件是 $R_0=R'_0$ ， $E=I_s R'_0$ ， $I_s=E/R_0$ 。

变换时要注意 I_s 与 E 的正方向必须保持一致，即 I_s 的方向对应从 E 的负极指向正极。

【例 1-3】 试求图 1-18 (a) 所示电路的等效电流源模型，并求出流经 15Ω 电阻的电流。

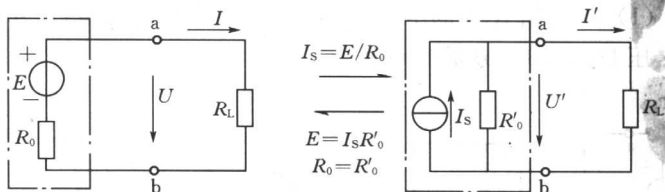


图 1-17 电压源与电流源的等效变换

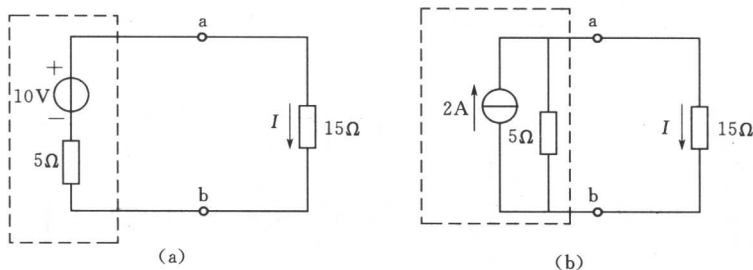


图 1-18 例 1-3 图

解：图 1-18 (a) 中的 $U_s = 10\text{V}$, $R_0 = 5\Omega$, 则 $I_s = 2\text{A}$, I_s 的箭头方向向上, 再把 5Ω 的电阻与 I_s 并联即可, 如图 1-18 (b) 所示。

现在来检验这两种模型分别对 15Ω 电阻提供的电流。图 1-18 (a) 中

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} = \frac{10}{5 + 15} = 0.5(\text{A})$$

图 1-18 (b) 中

$$I = \frac{R_0}{R_0 + R_L} \times I_s = \frac{5}{5 + 15} \times 2 = 0.5(\text{A})$$

若要求出两种模型中流过 5Ω 电阻的电流, 则图 1-18 (a) 中 $I = 0.5\text{A}$, 图 1-18 (b) 中 $I' = 2 - 0.5 = 1.5(\text{A})$; 假如 15Ω 电阻断开, 图 1-18 (a) 所示电路中无电流流过, 功率损耗为零; 而图 1-18 (b) 所示电路中电流为 2A , 则功率损耗为 $P = I_s^2 R_0$ 。

从这里可以看出, 这种等效是针对外电路 (如 15Ω 电阻) 而言的, 对电源内部来说, 这种等效是不成立的。

需要指出, 理想电压源与理想电流源之间没有等效关系, 因为它们的伏安特性不一样。

电源的等效变换可以作为分析电路的一种方法。

【例 1-4】 试用电压源和电流源等效变换的方法计算图 1-19 (a) 中 1Ω 电阻上的电流 I 。

解：根据图 1-19 的变换次序, 最后化简为图 1-19 (f) 的电路, 由此可得

$$I = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{4}{3} + 1} \times 2 = \frac{8}{7}(\text{A})$$

【例 1-5】 电路如图 1-20 (a) 所示, $U_1 = 10\text{V}$, $I_s = 2\text{A}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, $R = 1\Omega$ 。(1) 求电阻 R 中的电流 I ; (2) 计算理想电压源 U_1 中的电流 I_{U_1} 和理想电流源 I_s 两端的电压 U_{I_s} ; (3) 分析功率平衡。

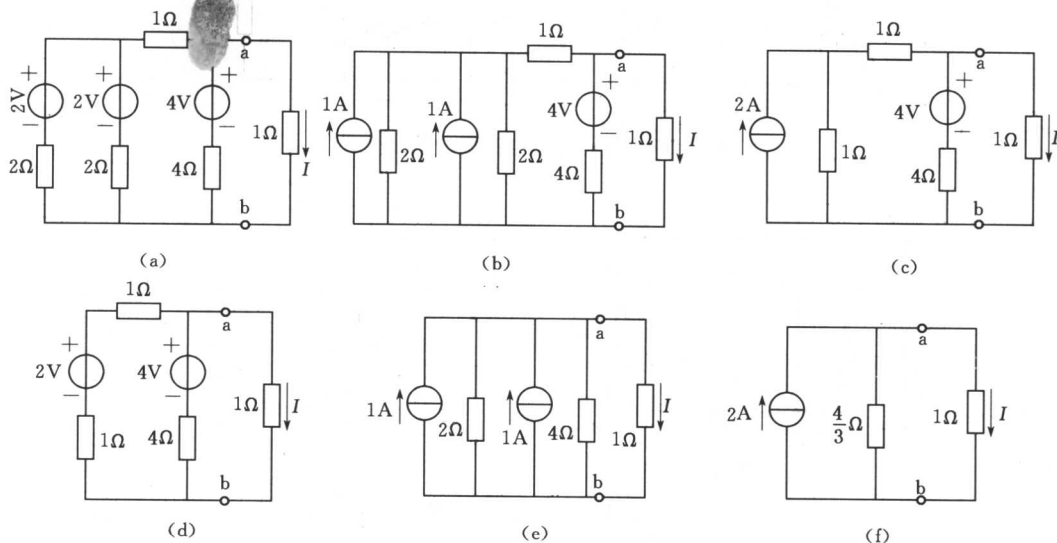


图 1-19 例 1-4 图

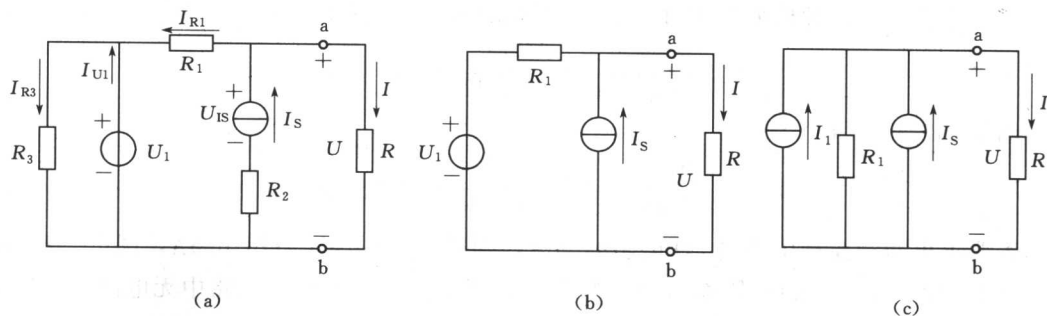


图 1-20 例 1-5 图

解: (1) 可将与理想电压源 U_1 并联的电阻 R_3 除去 (断开), 并不影响该并联电路两端的电压 U_1 ; 也可将与理想电流源串联的电阻 R_2 除去 (短接), 并不影响该支路中的电流 I_s 。这样简化后得出图 1-20 (b) 的电路。而后将电压源 (U_1 , R_1) 等效变换为电流源 (I_1 , R_1), 得出图 1-20 (c) 的电路。由此可得

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10}{1} = 10(\text{A})$$

$$I = \frac{I_1 + I_s}{2} = \frac{10 + 2}{2} = 6(\text{A})$$

(2) 应注意, 求理想电压源 U_1 和电阻 R_3 中的电流、理想电流源 I_s 两端的电压以及电源的功率时, 相应的电阻 R_3 和 R_2 应当保留。在图 1-20 (a) 中

$$I_{R_1} = I_s - I = 2 - 6 = -4(\text{A})$$

$$I_{R3} = \frac{U_1}{R_3} = \frac{10}{5} = 2(\text{A})$$

于是, 理想电压源 U_1 中的电流

$$I_{U1} = I_{R3} - I_{R1} = 2 - (-4) = 6(\text{A})$$

理想电流源 I_s 两端的电压

$$U_{Is} = U + R_2 I_s = RI + R_2 I_s = 1 \times 6 + 2 \times 2 = 10(\text{V})$$

(3) 本例中, 理想电压源 U_1 和理想电流源 I_s 都是电源, 它们发出的功率分别为

$$P_{U1} = U_1 I_{U1} = 10 \times 6 = 60(\text{W})$$

$$P_{Is} = U_{Is} I_s = 10 \times 2 = 20(\text{W})$$

各个电阻所消耗或者取用的功率分别为

$$P_R = RI^2 = 1 \times 6^2 = 36(\text{W})$$

$$P_{R1} = R_1 I_{R1}^2 = 1 \times (-4)^2 = 16(\text{W})$$

$$P_{R2} = R_2 I_s^2 = 2 \times 2^2 = 8(\text{W})$$

$$P_{R3} = R_3 I_{R3}^2 = 5 \times 2^2 = 20(\text{W})$$

两者平衡

$$60\text{W} + 20\text{W} = 36\text{W} + 16\text{W} + 8\text{W} + 20\text{W}$$

$$80\text{W} = 80\text{W}$$

第四节 基尔霍夫定律

在分析电路时, 除了最基本的欧姆定律外, 还有一个应用非常广泛, 也始终贯穿在分析之中的一个定律, 就是基尔霍夫定律。基尔霍夫定律所阐述的是电路中电流和电压应遵循的定律, 依据电荷守恒的电流连续性原理和基于能量守恒的电位单值性原理, 是分析和计算电路的基础。在叙述基尔霍夫定律之前介绍几个名词术语。

支路: 电路中的每一分支称为支路, 支路上连接有负载。一条支路流过一个电流, 即支路电流。在图 1-21 中共有三条支路: ab、adb、acb。其中 ab 支路不含电源, 称为无源支路。adb、acb 含有电源, 称为有源支路。

节点: 电路中三条或三条以上的支路相连接的点称为节点。在图 1-21 中共有两个节点: a 和 b。

回路: 是由一条或多条支路所组成的闭合电路。图 1-21 中共有三个回路: adbca、adba 和 acba。

网孔: 闭合回路内部不含有其他支路的回路。图 1-21 中 adbca、acba 是网孔。

一、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律 (KCL) 又称基尔霍夫第一定律, 是用来确定连接在同一节点上的各支路电流之间的关系的。由于电流的连续性, 电路中任何一点都不能堆积电荷。因

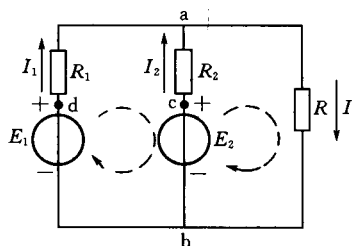


图 1-21 具有三条支路
两个节点的电路