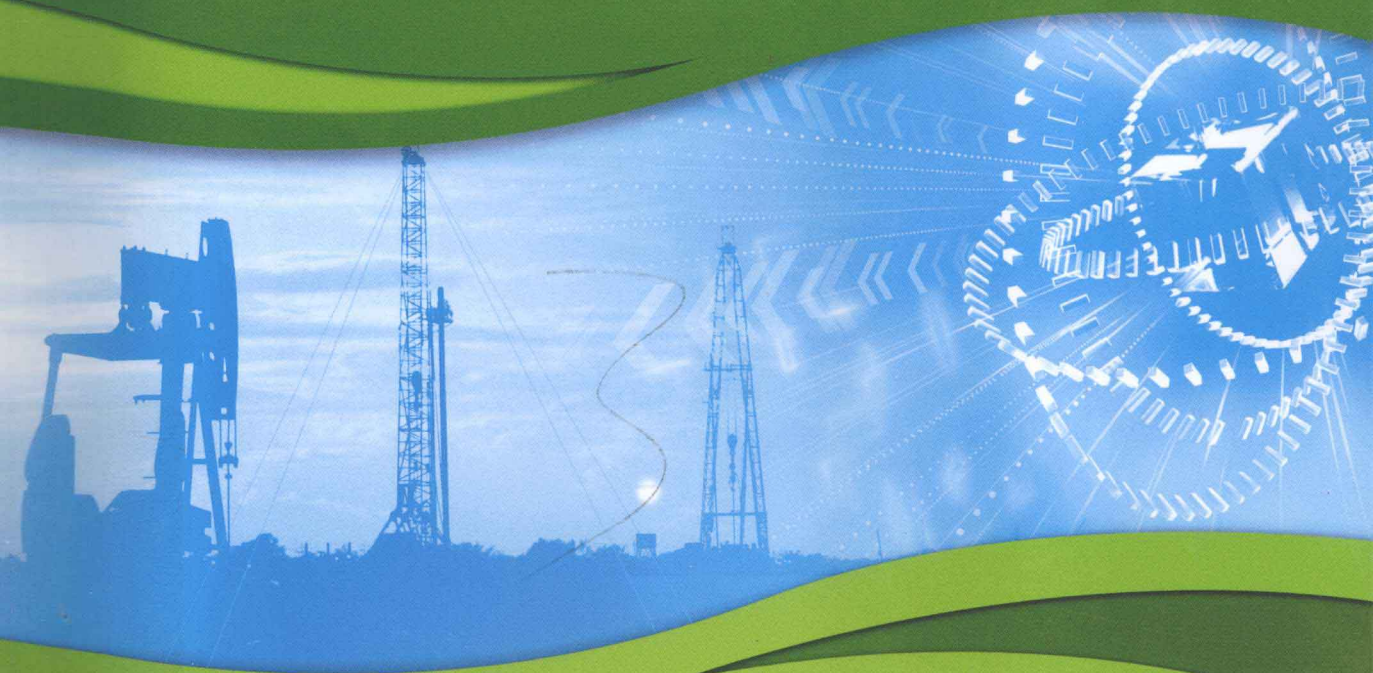


电工技术基础

李德龙 © 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书简要介绍了直流电路、交流电路的基本分析方法,三相交流电路的连接形式及提高功率因数的方法,磁路及变压器、电动机基础知识,常用低压电器与应用等内容。同时还结合实际训练介绍了常用电工仪表及工具的使用,以及安全用电常识。

本书可作为有关专业职工培训教材,也可供从事电气作业的操作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础/李德龙主编.

北京:石油工业出版社,2012.4

ISBN 978-7-5021-8996-9

I. 电…

II. 李…

III. 电工技术

IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 054098 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523574 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14.5

字数: 368 千字

定价: 29.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

根据《石油石化专业技能鉴定》对钻井、采油、井下作业等工种的职业能力要求，山东胜利职业学院组织骨干教师到企业生产现场实地调研论证，广泛征求企业技术人员、技能大师和一线职工的意见、建议，编写了本教材。

教材的编写力求突出职业性和针对性，努力体现职业特色和石油特点，面向生产一线；以职业能力和职业岗位（群）的要求为核心，以“必须、够用”为度，建立“相对不完善的理论体系和相对完善的技能体系”。课程内容的选取以职业实践所需要的动作技能和心智技能为重点。

教材的编写力求突出技术性和应用性，改变旧教材“从概念到概念”、“从公式到公式”的刻板说教，注意发挥图、表、例在塑造应用型人才中的“赋型”作用，体现“能力本位”的特点。

教材各章均附有思考题和习题，兼顾了钻井、采油、井下作业等工种职业技能鉴定要求。

教材中涉及到的相关资料采用最新国家标准。

教材第一章、第二章、第七章由李德龙编写，第三章、第四章、第六章由黄小强编写，第五章由李娜编写，第八章由李明江编写，第九章由袁秀伟编写。全书由李德龙主编，孙松尧主审。

在教材编写过程中，得到了胜利油田、中国石油大学有关领导、专家和同行的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编写人员水平有限，书中难免有不妥之处，请广大读者提出宝贵意见。

编 者
2012 年 2 月

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电路与电路模型.....	1
第二节 电流和电压的参考方向.....	5
第三节 欧姆定律.....	6
第四节 电源有载工作电路、开路与短路.....	9
第五节 基尔霍夫定律	13
第六节 电路中电位的概念及计算	17
第七节 电阻串并联连接的等效变换	19
第八节 电压源与电流源及其等效变换	24
第九节 复杂电路的分析方法	28
习 题	35
第二章 正弦交流电路	39
第一节 正弦电压与电流	39
第二节 单一元件的交流电路	43
第三节 电阻、电感与电容串联的交流电路	51
第四节 电路的谐振	55
第五节 功率因数的提高	58
习 题	60
第三章 三相交流电路	63
第一节 三相电压	63
第二节 负载星形连接的三相电路	66
第三节 负载三角形连接的三相电路	70
第四节 三相功率	72
习 题	73
第四章 磁路与变压器	75
第一节 磁路及其基本定律	75
第二节 磁性材料的磁性能	77
第三节 交流铁心线圈	80
第四节 电磁铁	82

第五节 变压器	83
习 题	93
第五章 常用低压电器与应用	95
第一节 低压配电电器	95
第二节 低压主令电器	98
第三节 低压控制电器	101
第四节 低压保护电器	108
习 题	114
第六章 电动机及其基本控制电路	116
第一节 三相异步电动机结构与原理	116
第二节 三相异步电动机电磁转矩与机械特性	122
第三节 三相异步电动机铭牌数据	123
第四节 三相异步电动机定子绕组首尾端判别	125
第五节 三相异步电动机的启动、调速、制动	126
第六节 单相异步电动机	130
第七节 电动机基本控制电路	134
习 题	140
第七章 电工常用工具和仪表	143
第一节 电工常用工具	143
第二节 常用电工仪表的类型、误差和准确度	147
第三节 指针式仪表的结构及工作原理	149
第四节 电流、电压、功率及电能的测量	151
第五节 电阻的测量	160
第六节 万用表	165
习 题	172
第八章 安全用电常识	176
第一节 安全用电	176
第二节 电气安全技术	181
第三节 触电急救的原则和方法	188
第四节 电气设备消防及灭火	191
习 题	194
第九章 电工基础技能训练	196
实训课题一 常用电工仪表的使用	196
实训课题二 重要定律、定理的验证	199

实训课题三	日光灯电路·····	203
实训课题四	三相交流电路·····	205
实训课题五	单相变压器·····	207
实训课题六	三相异步电动机·····	210
实训课题七	低压电器设备·····	212
实训课题八	电气控制线路制作工艺及三相异步电动机点动与常动控制线路安装·····	217
实训课题九	急救与消防训练·····	222
参考文献	·····	224

第一章 直流电路

本章首先介绍电路的基本概念和主要物理量、电路模型以及电路的状态和电气设备的额定值，然后讨论基尔霍夫两定律和电路的分析方法。我们在分析时先从直流电路出发，从中引出的概念、定律、定理和分析方法，也普遍地适用于交流电路和其他各种线性电路。因此，本章是全书的重要理论基础。

通过本章的学习，应了解电路的基本概念和主要物理量，理解电流、电压的参考方向和电功率正负值的含义，理解电路模型的概念和理想电路元件的特性，以及实际电源的两种电路模型；理解电路的三种状态和电气设备额定值的意义，掌握基尔霍夫定律，并能运用支路电流法、叠加定理和戴维南定理分析直流电路。

第一节 电路与电路模型

一、电路概念

电路是电流流通的路径，是为某种需要由若干电气元件按一定方式组合起来的整体，主要用来实现能量的传输和转换，或实现信号的传递和处理。

电路的结构形式，按所实现的任务不同而多种多样，但无论是哪种电路，均离不开电源、负载和中间环节这三个最基本的组成部分。

电源是提供电能的设备，如发电机、电池、变压器等。

负载是指用电设备，如电灯、电动机、空调、冰箱等。

中间环节是用作电源与负载相连接的，通常是一些连接导线、开关、接触器等辅助设备。

图 1-1 是电路在两种典型场合的应用。图 1-1 (a) 是发电厂的发电机把热能、水能或原子能等转换成电能，通过变压器、输电线路等中间设备输送至各用电设备；图 1-1 (b) 通过电路把所接收的信号经过变换（放大）和传递，再由扬声器输出。

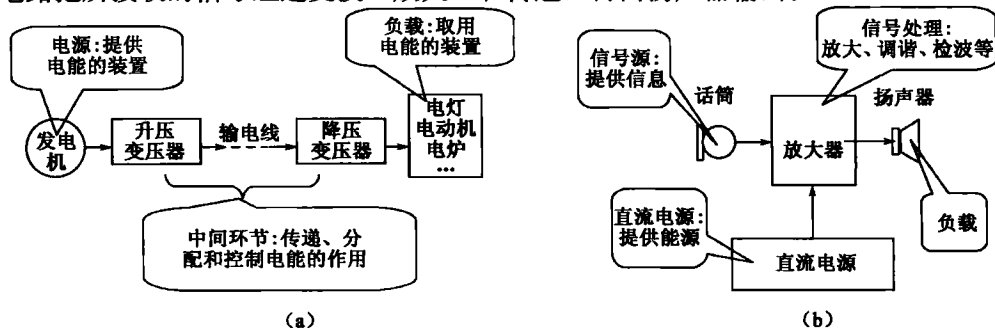


图 1-1 电路的两种典型应用

二、电路中的物理量

1. 电流

电荷（能自由运动的带电粒子）的定向运动形成电流 I 。电流的强弱用电流强度来度量。

电流强度的定义：单位时间内通过导体横截面的电荷量。

电流计算的公式为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

不随时间变化的电流用大写字母表示，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

随时间变化的量用小写字母表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

电流的单位：安培（A）、毫安（mA）、微安（ μA ）。

电流的方向：习惯上将正电荷运动的方向规定为电流的（真实）方向。

2. 电压和电位

（1）物理学定义：单位正电荷由 a 点移动到 b 点电场力所做的功 W 即为 a、b 两点之间的电压。

不随时间变化的电压计算公式为

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

随时间变化的电压公式为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-5)$$

（2）电工学定义：电路中两点间的电位差称为电压，其公式为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

电压的单位：伏特（V）、千伏（kV）、毫伏（mV）。

电压的方向：由高电位指向低电位（电位降落方向）。

在电气设备的调试和检修中，经常要测量各点的电位，看其是否符合设计数值。电位是度量电路中各点所具有的电位能大小的物理量，它在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移到参考点所做的功。

对照电位与电压的定义，不难理解电路中任意一点的电位，就是该点与参考点（在电路中指定某点作参考点，规定其电位为零）之间的电压，而电路中任意两点之间的电压，则等于这两点电位之差。因此，电位的测量实质上就是电压的测量，即测量该点与参考点之间的电压。

3. 电动势

为了维持电路中的电流，必须使电源正负极板间保持一定的电压，这就要借助外力使移动到负极板的正电荷经过电源内部回到正极板，在这过程中，外力要克服电场力做功，这种外力是非电场力，称为电源力。

为衡量电源力对电荷做功的能力，引出电动势 E 这个物理量。

电动势的定义：在电源内，把单位正电荷从负极移到正极的过程中，非静电力（电源力）所做的功。

电动势的公式为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-7)$$

电动势的单位：伏特（V）。

电动势的方向：在电源内部由低电位指向高电位（电位上升方向）。

4. 电能和电功率

一个电路中总有一些元器件产生（放出）能量，一些元器件消耗（吸收）能量。由电压定义可知，在时间 t 内电荷 Q 受电场力作用从 a 点经负载移到 b 点，电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-8)$$

这就是在时间 t 内所消耗（或吸收）的电能，电能（电功）的单位是焦耳（J）。

电功率（简称功率）的定义：单位时间内元件所吸收的能量（电能）。

电功率的公式为

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-9)$$

电功率的单位：瓦特（W）、千瓦（kW）。

通常所说的功率单位马力（PS）与千瓦（kW）的关系是：1PS=0.735kW。

5. 电阻

电阻的定义：对电流的阻碍能力，分为线性电阻、非线性电阻。

电阻的单位：电阻的国际单位是欧姆（ Ω ）。当电路两端的电压为 1V 时，流过的电流是 1A，则该段电路的电阻阻值为 1Ω 。电阻的单位还有千欧（k Ω ）、兆欧（M Ω ），它们的换算关系为

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega \quad 1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

金属导体的电阻与其电阻率、长度成正比，与其横截面积成反比。

电阻的公式为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-10)$$

式中 L ——导体的长度，m；

S ——导体的横截面积， mm^2 ；

ρ ——导体的电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

导体的电阻率与温度有关，大多数金属导体的电阻率随温度升高而升高。

三、电路模型

在电路分析中用电流、电压等物理量来描述其工作过程。然而，实际电路是由电工设备

和器件等组成，它们的电磁性质较为复杂，难以数学化描述。因此，对实际电路的分析和计算，需将实际电路元件理想化（或模型化），即在一定条件下突出其主要的电磁性质，忽略次要因素，将它近似地看作理想元件。

如电炉通电后，会产生大量的热（电流的热效应），呈电阻性，同时由于有电流通过还要产生磁场（电流的磁效应），它又呈电感性。但其电感微小，是次要因素，可以忽略，因此可以理想化地认为电炉是一个电阻元件，用一个参数为 R 的电阻器件来表示。

对实际电路分析，就是在一定条件下将实际元器件理想化表示，将电路中元器件看作理想元件，理想元件所组成的电路称为电路模型，也简称为电路。在今后学习中，所接触电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等，若没有特殊说明，均表示为理想元件，分别由相应的参数来描述，用规定的图形符号来表示。如常用的手电筒，其电路模型如图 1-2 所示，实际电路中灯泡是电阻元件，其参数为电阻 R ，干电池是电源元件，其参数为电动势 E （对于干电池一般在考虑其电动势外，还要考虑其本身的内阻，若干电池的内阻阻值远远小于灯泡的阻值，是次要因素，可忽略不计，故将干电池理想化为无电阻的电源元件）。干电池与灯泡的连接还有导体和开关，其电阻微小可忽略不计，认为是一个无电阻的理想导体。

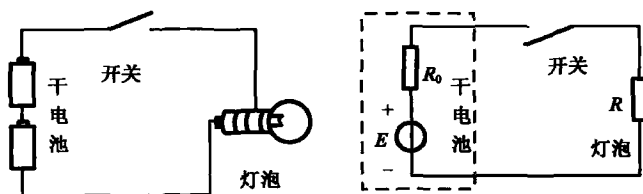


图 1-2 手电筒电路

练习与思考

一、选择题（将正确的选项填入括号内）

- 电阻的国际单位是（ ）。
(A) 欧姆 (OM) (B) 欧姆 (R) (C) 欧姆 (Ω) (D) 瓦特 (W)
- 电功率的单位是（ ）。
(A) 千瓦小时 (B) 千瓦 (C) 度 (D) 伏
- 电流的单位是（ ）。
(A) 伏特 (B) 瓦特 (C) 欧姆 (D) 安培
- 对电动势叙述正确的是（ ）。
(A) 电动势就是电压
(B) 电动势就是高电位
(C) 电动势就是电位差
(D) 电动势是外力把单位正电荷从电源负极移到正极所做的功
- $1 \text{ 欧姆} (\Omega) = () \text{ 千欧} (\text{k}\Omega)$ 。
(A) 10^{-3} (B) 10^3 (C) 10^6 (D) 10^9



6. 自由电子在电场力的作用下的定向移动称为 ()。
- (A) 电源 (B) 电流 (C) 电压 (D) 电阻
7. 电路中某两点间的电位差称为 ()。
- (A) 电源 (B) 电流 (C) 电压 (D) 电阻
8. 导体对电流起阻碍作用的能力称为 ()。
- (A) 电源 (B) 电流 (C) 电压 (D) 电阻
9. 一段圆柱状金属导体, 若将其拉长为原来的 2 倍, 则拉长后的电阻是原来的 () 倍。
- (A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4
10. 同材料同长度的电阻与截面积的关系是 ()。
- (A) 无关 (B) 截面积越大, 电阻越大
- (C) 截面积越大, 电阻越小 (D) 电阻与截面积成正比

二、判断题 (正确的打“√”, 错误的打“×”)

11. () 1 马力等于 1000 瓦特。
12. () 电池是把化学能转换为电能的装置。
13. () 电路由电源、导线和开关组成。
14. () 负载是取用电能的装置。

第二节 电流和电压的参考方向

在分析电路时, 当元器件中有了电流通过, 其流动方向总是从高电位一端流向低电位的一端, 这是电流流动的实际方向; 或者当知道了电流流动的实际方向, 也能判别出元器件两端的电位高低。然而, 当分析较为复杂电路时, 往往很难知道电流的实际流动方向, 特别是交流电路, 由于电流的实际流动方向随时间变化, 其实际流动方向难以在电路中标注。因此, 引入了“参考方向”的概念, 这是分析和计算电路的基础。

电流的实际方向是指正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向。

电流的参考方向是指在分析与计算电路时, 任意假定某一个方向作为电流的方向。当所假定的电流方向与实际方向一致时, 则电流为正值 ($I > 0$); 所假定的电流方向与实际方向不一致时, 则电流为负值 ($I < 0$)。可见, 参考电流的值有正负之分; 只有参考方向被假定后, 电流的值才能分出正负, 如图 1-3 所示。

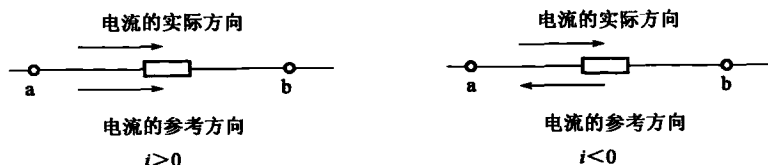


图 1-3 电流的方向

电压在分析电路时也有方向性, 电压的方向规定为从高电位端指向低电位端, 即电位降低的方向。电压参考方向和电流参考方向一样, 也是任意指定, 分析电路时, 假定某一方向

是电位降低的方向，如所假定的电压方向与实际方向一致时，则电压为正值 ($U>0$)；电压参考方向与实际方向相反时，则电压为负值 ($U<0$)。因此，只有参考方向被假定后，电压的值才有正负之分，如图 1-4 所示。

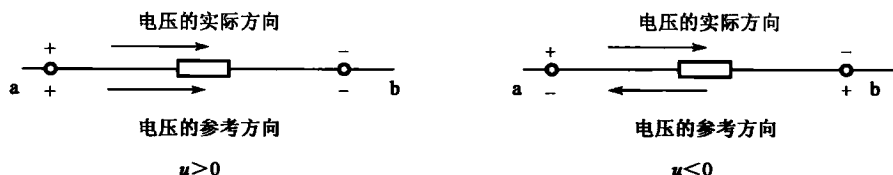


图 1-4 电压的方向

在电路中所标注的电流、电压方向，通常均为参考方向，它们的值为正，还是为负，与所假定的参考方向有关。

电压的参考方向除可以用“+”、“-”极性表示外，也可用箭头标注，还可以用双下标表示，如 a、b 两点间的电压 U_{ab} ，它的参考方向是由 a 指向 b，即 a 点的参考极性为“+”，b 点的参考极性为“-”；若参考方向选为 b 指向 a，则为 U_{ba} ， $U_{ba} = -U_{ab}$ 。

电流的参考方向用箭头标注，也可用双下标表示，如 I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点流向 b 点。

电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位（“-”极性）端指向高电位（“+”极性）端，其参考方向也是任意指定的。

练习与思考

判断题（正确的打“√”，错误的打“×”）

1. () 电压的正方向规定为由低电位点指向高电位点。
2. () 当电流正方向与实际方向相反时，则电流 $I>0$ 。
3. () U_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点流向 b 点。
4. () $-I_{ab}$ 表示电流的实际参考方向是由 a 点流向 b 点。
5. () 电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位（“-”极性）端指向高电位（“+”极性）端，其参考方向就是实际方向。
6. () 负电荷流动的方向为电流的方向。
7. () 电压是没有方向的。

第三节 欧姆定律

一、欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，这是欧姆定律的基本内容。欧姆定律是电路分析中最基本的定律之一。在图 1-5 电路中，欧姆定律可表示为

$$U = I \cdot R \quad (1-11)$$

式中, R 为电路中的电阻。

由式 (1-11) 可见, 如果电阻固定, 则电流的大小与电压成正比; 如果电压固定, 电流的大小与电阻成反比, 它反映电阻对电流起阻碍作用。

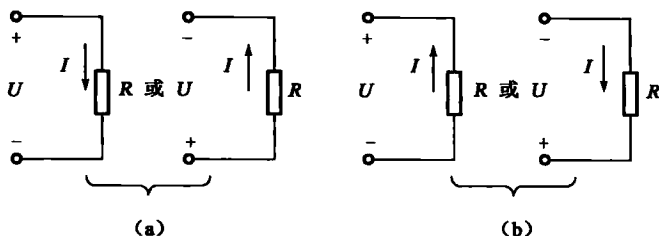


图 1-5 欧姆定律

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

在电路图中, 由于所选电流、电压的参考方向的不同, 欧姆定律的表达式中可带有正负号, 当电压和电流的参考方向一致时, 称为关联参考方向, 如图 1-5 (a) 所示, 则得

$$U = I \cdot R \quad (1-12)$$

当电压和电流的参考方向不一致时, 称为非关联参考方向, 如图 1-5 (b) 所示, 则得

$$U = -I \cdot R \quad (1-13)$$

式 (1-12) 和式 (1-13) 中的正、负号是由于选取的电压和电流的参考方向不同而得出的; 应用公式时, 还应注意电压、电流其值本身也有正值和负值之分。

电阻的倒数被称为电导, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-14)$$

电导的单位为西门子 (S)。

二、伏安特性

以电压为横坐标, 电流为纵坐标, 可以做出一条经过原点的直线, 表示了电流与电压的正比关系, 称为电阻的伏安特性曲线, 如图 1-6 所示。具有该特性的电阻称为线性电阻。

电压与电流之间不具有图 1-6 所示的关系, 称为非线性电阻, 如半导体二极管, 其正向电阻的伏安特性, 如图 1-7 所示, 表明半导体二极管的正向电阻为非线性电阻。

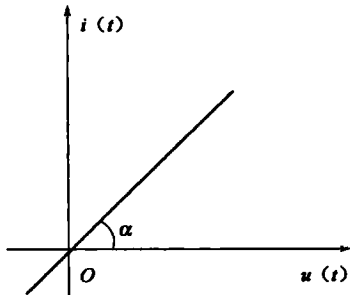


图 1-6 线性电阻伏安特性

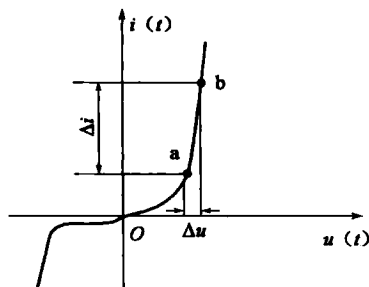


图 1-7 非线性电阻伏安特性



[例 1-1] 如图 1-8 所示的电路, 试应用欧姆定律求电路中的电阻 R 。

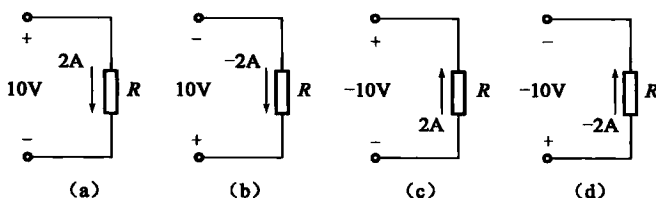


图 1-8 电阻电路

解

对图 1-8 (a) 电路有 $R = \frac{U}{I} = \frac{10}{2} = 5(\Omega)$

对图 1-8 (b) 电路有 $R = -\frac{U}{I} = -\frac{10}{-2} = 5(\Omega)$

对图 1-8 (c) 电路有 $R = -\frac{U}{I} = -\frac{-10}{2} = 5(\Omega)$

对图 1-8 (d) 电路有 $R = \frac{U}{I} = \frac{-10}{-2} = 5(\Omega)$

练习与思考

一、选择题 (将正确的选项填入括号内)

1. 欧姆定律的内容是 ()。

- (A) 流过电阻的电流与电源两端电压成正比
- (B) 流过电阻的电流与电源两端电压成反比
- (C) 流过电阻的电流与电阻两端电压成正比
- (D) 流过电阻的电流与电阻两端电压成反比

2. 流过电阻 R 的电流 I , 与电阻两端的电压 U 成正比, 与电阻 R 成反比, 这个结论称为 ()。

- (A) 欧姆定律
- (B) 电流定律
- (C) 电压定律
- (D) 叠加原理

3. 导体中电流的大小与加在导体两端的电压成正比, 与导体的 () 成反比。

- (A) 电阻
- (B) 电动势
- (C) 电量
- (D) 功率

二、判断题 (正确的打“√”, 错误的打“×”)

1. () 欧姆定律的表达式为: 电流 (I) = 电压 (U) / 电阻 (R)。

2. () 根据一段电路的欧姆定律, 可知导体的电阻或电导与其两端所施加的电动势和通过它的电流强度有关。

3. () 电阻的倒数被称为电导, 即 $G=1/R$, 其单位为西门子 (S)。



第四节 电源有载工作电路、开路与短路

一、电源有载工作

前面主要介绍了不含电源的一段电阻电路，而在实际电路中往往是含有电源的闭合电路。如图 1-9 所示的电路是一个简单的电源有载工作电路，电路中 R_L 为负载电阻， R_0 为电源内阻， E 为电源电动势。下面从这个简单的有源闭合电路出发，得出电源有载工作电路的常规分析方法。

1. 电压与电流

开关闭合时，应用欧姆定律得到电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} \quad (1-15)$$

负载电阻两端的电压为

$$U = I \cdot R_L$$

并由上述两式得出

$$U = E - I \cdot R_0 \quad (1-16)$$

式 (1-16) 称为全电路欧姆定律。其表示为：电源端电压 (U) 小于电源电动势 (E)，两者之差等于电流在电源内阻上产生的压降 ($R_0 I$)。电流越大，则端电压下降的就越多，表示电源端电压 U 和输出电流 I 之间的关系曲线，称为电源的外特性曲线，如图 1-10 所示。曲线的斜率与电源的内阻 R_0 有关。

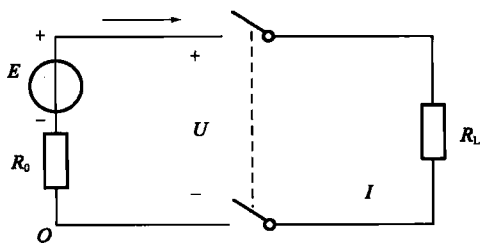


图 1-9 电源有载工作电路

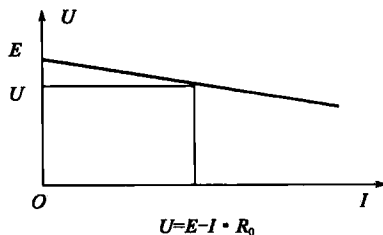


图 1-10 电源的外特性

电源的内阻一般很小，当 $R_0 \ll R$ 时， $U \approx E$ 。当电流（负载）变动时，电源的端电压波动不大，说明了它带负载能力强。反之，当 R_0 不能忽略时，电源的端电压随电流（负载）变化明显，说明它带负载能力弱。

2. 功率与功率平衡

对式 (1-16) 的各项均乘以电流 I ，则得到功率平衡式为

$$\begin{aligned} UI &= EI - R_0 I^2 \\ P &= P_E - \Delta P \end{aligned} \quad (1-17)$$

式中， $P_E = EI$ 是电源产生的功率； $\Delta P = R_0 I^2$ 是电源内阻损耗的功率； $P = UI$ 是电源输出的功率（负载消耗功率）。

在电路分析中,不仅要计算功率的大小,有时还要判断功率的性质,即该元件是产生功率还是消耗功率。根据电压和电流的实际方向可以确定电路元件的功率性质:

(1) 当 U 和 I 的实际方向相同,即电流从“+”端流入,从“-”端流出,则该元件是消耗(取用)功率,属负载性质。

(2) 当 U 和 I 的实际方向相反,即电流从“+”端流出,从“-”端流入,则该元件是输出(提供)功率,属电源性质。

由此可见,在电路元件上 U 和 I 的参考方向选得一致的条件下,当 $P=UI$ 为正值时,表明 U 、 I 的实际方向相同,该元件是负载性质,消耗功率;当 P 为负时,表明 U 、 I 的实际方向相反,该元件是电源性质,输出功率。如果 U 、 I 的参考方向选得不一致,则情况相反。

[例 1-2] 在图 1-9 所示的电路中,已知电源电动势 $E=220\text{V}$,内阻 $R_0=10\Omega$,负载 $R_L=100\Omega$,求:(1) 电路电流 I ; (2) 电源端电压 U ; (3) 负载上的电压降; (4) 电源内阻上的电压降。

解 (1) 由式 (1-15) 得 $I = \frac{E}{R_L + R_0} = \frac{220}{100 + 10} = 2(\text{A})$

(2) 电源端电压 $U = E - I \cdot R_0 = 220 - 10 \times 2 = 200(\text{V})$

(3) 负载上的电压降 $U = R_L I = 100 \times 2 = 200(\text{V})$

(4) 电源内阻电压降 $R_0 I = 10 \times 2 = 20(\text{V})$

[例 1-3] 在图 1-11 所示的电路中,已知 $U=200\text{V}$, $I=5\text{A}$,内阻 $R_{01}=R_{02}=0.5\Omega$ 。求:(1) 电源的电动势 E_1 和负载反电动势 E_2 ; (2) 试说明功率的平衡。

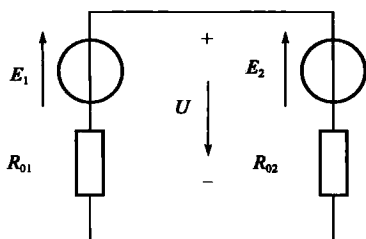


图 1-11 计算电路

解 (1) 求电源电动势 E_1 和负载反电动势 E_2 :

由 $U = E_1 - \Delta U_1 = E_1 - R_{01} I$, 得

$$E_1 = U + R_{01} I = (200 + 0.5 \times 5) = 202.5(\text{V})$$

由 $U = E_2 + \Delta U_2 = E_2 + R_{02} I$, 得

$$E_2 = U - R_{02} I = (200 - 0.5 \times 5) = 197.5(\text{V})$$

(2) 求功率的平衡:

由 (1) 可知: $E_1 I = E_2 I + R_{01} I^2 + R_{02} I^2$, 等号两边同乘以 I , 则得 $E_1 I = E_2 I + R_{01} I^2 + R_{02} I^2$

其中, $E_1 I = 202.5 \times 5 = 1012.5(\text{W})$, 是电源产生的功率; $E_2 I = 197.5 \times 5 = 987.5(\text{W})$, 是负载取用的功率; $R_{01} I^2 = 0.5 \times 25 = 12.5(\text{W})$, 是电源内阻上损耗的功率; $R_{02} I^2 = 0.5 \times 25 = 12.5(\text{W})$, 是负载内阻上损耗的功率。

由上所述,在一个电路中,电源产生的功率和负载取用的功率及内阻的损耗功率是平衡的。

3. 电气设备的额定值

每一个电气设备都有一个正常条件下运行而规定的正常允许值,这是由电气设备生产厂家根据其使用寿命与所用材料的耐热性能、绝缘强度等而标注的该设备的额定值。电气设备的额定值常标注在铭牌上或写在说明书中,在使用中要充分考虑额定数据,超额定值运行,设备轻则缩短使用寿命,重则损毁设备;低于额定值运行,可能造成不能发挥设备全部效

能，也会造成浪费（大马拉小车）。

电气设备的额定值用字母加下标 N 来表示，如额定功率 P_N 、额定电压 U_N 、额定电流 I_N 等。

注意：不能将额定值与实际值等同，例如，一只灯泡，标有电压 220V，功率 100W，这是它的额定值，表示这只灯泡接在电压 220V 电源上吸收功率是 100W。在使用时，电源电压经常波动，稍高于或低于 220V，这样灯泡的实际功率就不会正好等于其额定值 100W 了。所以，电气设备在使用时，电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。

【例 1-4】 有一只额定值为 5W、500Ω 的线绕电阻，求其额定电流 I_N 和额定电压 U_N 的值。

$$\text{解 } I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R_N}} = \sqrt{\frac{5}{500}} = 0.1 \text{ (A)}$$

$$U_N = I_N R_N = 0.1 \times 500 = 50 \text{ (V)}$$

【例 1-5】 一只标有“220V、40W”的灯泡，试求它在正常工作条件下的电阻和通过灯泡的电流。若每天使用 4h，问一个月消耗多少度的电能？（一个月按 20 天计算，1kW·h 即为 1 度电）

$$\text{解 } I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} = 0.182 \text{ (A)}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.182} = 1210 \text{ (}\Omega\text{)} \text{ 或 } R = \frac{U^2}{P} = 1210 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$W = Pt = 40 \times (4 \times 20) = 0.04 \times 120 = 4.8 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

所以，灯泡的电阻为 1210Ω；通过灯泡的电流为 0.182A；一个月耗电 4.8 度。

二、电源开路

图 1-12 所示的电路中，当开关 S 断开时，就称电路处于开路状态。开路时，电源没有带负载，所以又称电源空载状态。电路开路，相当于电源负载电阻为无穷大，因此电路中电流为零。无电流，则电源内阻没有压降 ΔU 损耗，电源的端电压 U 等于电源电动势 E ，电源也不输出电能。电路开路时外电阻视为无穷大，电路开路时的特征为：

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

三、电源短路

如图 1-13 所示电路，当电源的两端由于某种原因被电阻值接近为零的导体连接在一起，电源处于短路状态。

电源短路状态，外电阻可视为零，电源端电压也为零，电流不经过负载，电流回路中仅有很小的电源内阻 R_0 ，因此回路中的电流很大，这个电流称为短路电流，用 I_s 表示。

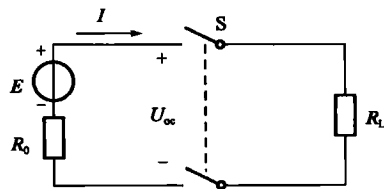


图 1-12 电源开路