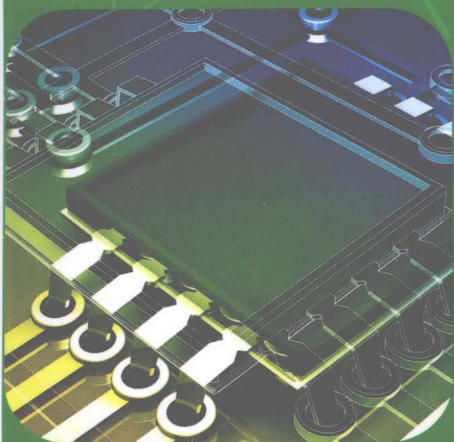


高 / 等 / 院 / 校 / 精 / 品 / 课 / 程 / 规 / 划 / 教 / 材



电工技术

杨云英◎主编 王红伟 文勇◎副主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等院校精品课程规划教材

电 工 技 术

主 编 杨云英

副主编 王红伟 文 勇

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了电工技术的基础知识,既清晰明了地表达了电工技术中电路、磁路、变压器、电机及控制的完整理论体系,又注重理论联系实际,突出供电及安全用电。主要包括:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法,正弦交流电路,磁路及变压器,交直流电动机,电动机的继电接触控制,工业企业供电与安全用电,常用电工仪表和实验。

本书适用于非机、非电类专业的高等学校学生,亦可供其他非电专业的大学生使用,并可供高校教师及有关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/杨云英主编. —北京:北京理工大学出版社, 2010. 2

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2990 - 6

I. ①电… II. ①杨… III. ①电工技术 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 009402 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中画美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 265 千字

版 次 / 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 25.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书是编者在总结多年教学经验的基础上,根据高校学生的特点,组织机电工程系第一线任课的老师和昆钢企业相关技术人员,以校企合作的形式编写而成的。全书减少了不必要的论证及数学推导,加强针对性,突出实用,强化学生的实践意识,培养学生解决实际问题的能力。

教材在编写上力求突出特色,每一章都有学习目标,内容以应用为目的,把握适用性、科学性、先进性和应用性。正确处理理论知识与技能的关系,注重培养学生的自学能力、实践能力、应用能力和创新能力。各章附有丰富的思考题和习题,便于学生练习、掌握和巩固所学知识。该教材的价值在于兼顾学生学习理论知识和通过职业技能鉴定考试两种要求。

本教材共分为 10 章,根据电工技术课程的性质和地位,非机、非电类专业的需求和电工技术的发展精选内容,内容包括:电路的基本概念与基本定律,电路基本分析方法,单相正弦交流电,三相正弦电路分析,电路动态分析,磁路及变压器,交直流电动机,电动机的继电接触控制,工业企业供电与安全用电,电工测量。

本教材由杨云英担任主编,王红伟、文勇担任副主编。其中,第 1、第 2 章由周萍编写;第 3 章由莫丽薇编写;第 4、第 5 章由杨云英编写;第 6、第 7 章由曹宇编写;第 8、第 9、第 10 章由王红伟编写;实验部分由王新青编写。全书由文勇和企业专家李小兵统稿。

本书适用于非机、非电类专业的高等学校学生,也可供其他非电专业的大学生使用,并可供高校教师及有关工程技术人员参考。

本书在编写过程中参考了大量的兄弟院校的有关教材和书籍,在此向相关作者表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	(1)
1.1 电路的基本组成	(1)
1.2 电路的基本物理量	(3)
1.3 电路中电位的计算	(8)
1.4 欧姆定律	(10)
1.5 电路的基本元件	(10)
1.6 电路的工作状态及设备的额定值	(16)
习 题	(18)
第 2 章 电路基本分析方法	(20)
2.1 基尔霍夫定律	(20)
2.2 电源模型的等效变换	(23)
2.3 支路电流法	(26)
2.4 节点分析法	(27)
2.5 网孔分析法	(28)
2.6 叠加定理	(30)
2.7 戴维南定理	(33)
2.8 电路基本分析法典型例题	(36)
习 题	(41)
第 3 章 单相正弦交流电	(43)
3.1 正弦量的基本概念	(43)
3.2 正弦量的相量表示法	(47)
3.3 基尔霍夫定律的相量形式	(50)
3.4 正弦电流电路中的电阻元件	(50)
3.5 正弦稳态电路中的电感元件	(52)

3.6	正弦稳态电路中的电容元件	(55)
3.7	复阻抗、复导纳及其等效变换	(59)
3.8	正弦稳态电路中的功率与功率因数的提高	(62)
3.9	谐振电路	(70)
3.10	一般正弦电流电路的计算	(74)
习 题		(78)
第 4 章	三相正弦电路分析	(80)
4.1	三相正弦交流电源	(80)
4.2	三相电路中负载的连接	(83)
4.3	三相对称负载电路计算	(85)
4.4	不对称三相电路的计算	(88)
4.5	三相电路的功率	(89)
习 题		(90)
第 5 章	动态电路分析	(92)
5.1	换路定律	(92)
5.2	一阶动态电路的分析方法	(94)
5.3	零输入响应和零状态响应	(96)
5.4	动态电路的全响应	(101)
习 题		(104)
第 6 章	磁路及变压器	(107)
6.1	磁路的基本知识	(107)
6.2	变压器	(115)
习 题		(122)
第 7 章	交直流电动机	(123)
7.1	三相异步电动机的结构和工作原理	(123)
7.2	三相异步电动机的启动、调速和制动	(135)
7.3	直流电动机	(141)
习 题		(147)
第 8 章	电动机的继电接触控制	(149)
8.1	常用控制电器	(149)

8.2 三相鼠笼式异步电动机的基本控制线路.....	(158)
习 题.....	(168)
第 9 章 工业企业供电与安全用电.....	(169)
9.1 发电、输电和配电.....	(169)
9.2 安全用电.....	(172)
9.3 静电防护和电气防火、防爆、防雷及触电急救.....	(176)
习 题.....	(178)
第 10 章 电工测量.....	(179)
10.1 常用的直读式电工测量仪表.....	(179)
10.2 万用表.....	(180)
10.3 钳形电流表.....	(182)
10.4 兆欧表.....	(183)
10.5 接地电阻测量仪.....	(186)
10.6 仪表的准确度与测量误差.....	(187)
习 题.....	(188)
实验.....	(189)
参考文献.....	(202)

第1章 电路的基本概念与基本定律

学习目标

- 理解电路的基本组成，电路的三种工作状态和额定电压、电流、功率等概念。
- 熟悉电路中常用基本元件的特性。
- 掌握电流、电压、电功率、电能等基本概念。

1.1 电路的基本组成

1.1.1 电路及电路模型

1. 电路的基本概念

任何实际电路通常是由多种电气设备及元器件组成的，无论是简单电路还是复杂电路，电路中各元件所表征出的电磁现象和能量转换和特征一般都比较复杂。为了便于对电路进行分析和计算，常把实际的元器件加以近似化、理想化，在一定的条件下忽略其次要性质，如结构、材料、形状等，用足以表征其主要电磁特性的“模型”来表示，即用理想元件来表示。例如，我们用“电阻元件”这样一个理想电路元件来反映消耗电能的特征，因为当电流通过电阻元件时，在它内部进行着把电能转换成热能等不可逆的过程。这样，在电源频率不是很高的电路中，所有的电阻器、电炉、电灯、电烙铁等实际元器件，都可以用“电阻元件”这个模型来近似的表示。常见的电路元件有电阻元件、电容元件、电感元件、电压源、电流源。

为了便于用数学方法分析电路，一般要将实际电路模型化，用足以反映其电磁性质的理想电路元件或其组合来模拟实际电路中的器件，从而构成与实际电路相对应的电路模型。

日常生活中最简单的一个实际电路——手电筒电路。它由干电池（电源）、小灯泡（负载）、开关及连接导线（中间环节）、筒体组成。图 1-1（a）所示为电路实物图，而其相对应的电路模型如图 1-1（b）所示。

模型中的电阻元件 R 作为灯泡的电路模型，反映了将电能转换为热能和光能这一物理现象，主要具有消耗电能的性质；干电池用电压源 E 和电阻元件 R_0 的串联组合作为模型，分别反映了电池内储化学能转换为电能以及电池本身耗能的物理过程；筒体用来连接电池和灯泡，其电阻忽略不计，认为是无电阻的理想导体。连接导线也是用理想导线（电阻为零）表示。开关用来控制电路的通断。

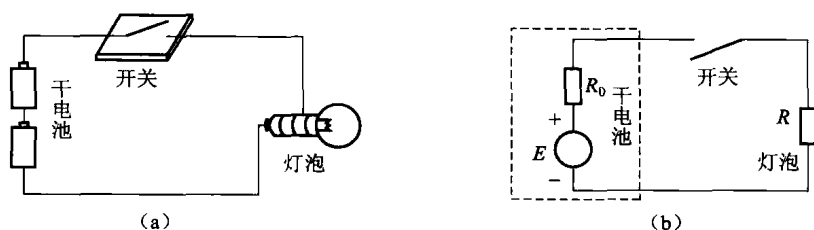


图 1-1 手电筒电路

(a) 手电筒电路实物图; (b) 手电筒电路模型图

这种由理想元件组成的与实际电气元器件相对应的电路,并用统一规定的符号表示而构成的电路,就是实际电路的模型,称为“电路模型”,也叫实际电路的电路原理图,简称“电路图”。

综上所述,电路是由电源、负载和中间环节组成,其中电源是提供电能的设备,如发电机、信号源等;负载是指用电设备,如电灯、空调、冰箱等;中间环节是作电源和负载的连接件,如开关、导线等。

今后分析的电路都是指电路模型,简称电路。在电路图中,各种电路元件都用规定的图形符号表示。

2. 电路的基本组成

电路的基本组成包括以下四个部分:

- (1) 电源(供电元件):为电路提供电能的设备和器件(如电池、发电机等)。
- (2) 负载(耗能元件):使用(消耗)电能的设备和器件(如灯泡等用电器件)。
- (3) 控制器件:控制电路工作状态的器件或设备(如开关等)。
- (4) 连接导线:将电器设备和元器件按一定方式连接起来(如各种铜、铝电缆线等)。

1.1.2 电路的作用

1. 实现电能的传输、分配与转换

发电机将热能、水能、核能转换为电能;升压变压器至降压变压器的作用是传输、分配电能;电灯、电动机、电炉等负载是将电能转换为光能、热能或机械能。电路的作用示例一如图 1-2 所示。

2. 实现信号的传递与处理

话筒(信号源)将语音信号转换为电信号;放大器(中间环节)完成信号转换、放大和信号处理;扬声器(负载)为接受转换信号的设备。电路的作用示例二如图 1-3 所示。

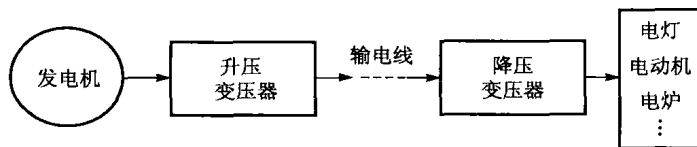


图 1-2 电路的作用示例一

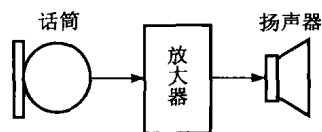


图 1-3 电路的作用示例二

1.2 电路的基本物理量

在电路分析中,需要分析研究的物理量很多,电路中最常用的基本物理量有电流、电压及电功率等。

1.2.1 电流及电流的参考方向

1. 电流

电流是电路中一个具有大小和方向的基本物理量,其定义为在单位时间内通过导体截面的电通量或电荷量。当电流的量值和方向都不随时间变化时,称为直流电流,简称直流,直流电流常用英文大写字母 I 表示。当量值和方向随着时间按周期性变化的电流,称为交流电流,简称交流,常用英文小写字母 i 表示。

设在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内,通过导体横截面的电荷量为 $\Delta q = q_2 - q_1$,则在 Δt 时间内的电流强度可用数学公式表示为

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

2. 电流的单位

在国际单位制 (SI) 中,电流的单位为安培 (简称安),用 A 表示。常用的单位有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 等。

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} \quad 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

3. 电流的实际方向

物理中对基本物理量的实际方向规定: 电流是正电荷运动的方向。也就是说,在物理学中,规定电流的方向是正电荷运动的方向,即电流的真实方向。如图 1-4 所示。

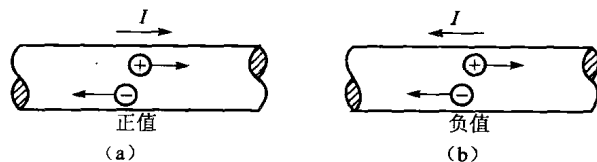


图 1-4 电流的实际方向

4. 电流的参考方向

在电路分析中,有时对某一段电路中电流实际方向事先很难判断出来,有时电流的实际方向 (如交流电路) 还在不断地改变,因此难以在电路中标明电流的实际方向。为了解决这样的问题,引入了电流“参考方向”的概念。

设定电流的参考方向是任意假定的电流方向,是任意选定的。若电路分析中计算出的电流值为正值,则说明电流的参考方向与实际方向相同;若电路分析中计算出的电流值为负值,则说明电流的参考方向与实际方向相反。于是在指定的电流参考方向下,电流值的正和负,就可以反映出电流的实际方向。

指定参考方向的用意在于把电流看成代数量。电流的参考方向可以任意指定,一般用箭

头表示,也可以用双下标表示。例如 $i_{ab} > 0$ 表示参考方向是由 a 到 b。

图 1-5 表示一个电路的一部分,其中的方框表示一个二端元件。在图 1-5 (a) 中流过这个元件的电流为 i , 其实际方向或是由 a 到 b, 与参考方向一致, 则电流为正值, 即 $i > 0$ 。在图 1-5 (b) 中, 电流的实际方向是由 b 到 a, 与参考方向不一致, 故电流为负值, 即 $i < 0$ 。这样, 在指定的电流参考方向下, 电流的正和负就可以反映出电流的实际方向。若电路分析中求得电流 $i = -2 \text{ A}$, 则说明电流的真实方向与参考方向相反; 若求得电流 $i = 2 \text{ A}$, 则说明电流的真实方向与参考方向一致。

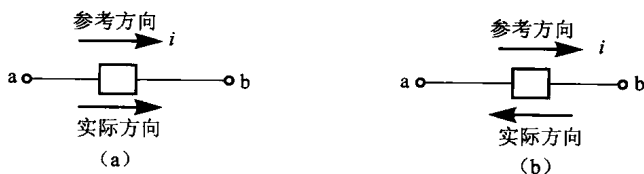


图 1-5 电流的实际方向与参考方向间的关系

(a) $i > 0$; (b) $i < 0$

电路元件或一段电路的电流无参考方向, 其值的正负无意义; 在分析和计算电路的过程中, 参考方向一旦选定, 中途不得更改。这样在分析电路时, 可以任意假设电流的参考方向, 不必考虑它的实际方向, 给电路计算带来了很大的方便。

1.2.2 电压及电压的参考方向

1. 电压

电压是电路中一个具有大小和方向(极性)的重要物理量, 又称其为电压差或电压降, 它与电路中的某两点(如 a, b)有关。电压 U_{ab} 的大小定义为: 在电路中, 单位正电荷经任意路径由节点 a 运动到节点 b 电场力所做的功。用公式表示为

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

正电荷顺着电场力的方向由 a 点移动到 b 点, 电场力做正功, 此时 $U_{ab} > 0$, 所以 a 点到 b 点的电压也称电压降。电压总是指两点之间而言, U_{ab} 前一个下标 a 代表起点, 后一个下标 b 代表终点, 方向则由起点指向终点。

量值和方向都不随时间变化的电压称为直流电压, 用大写字母 U 表示。量值和方向都随时间变化的电压称为交流电压, 用小写字母 u 表示。

2. 电压的单位

在国际单位制(SI)中, 电压的单位为伏特(简称伏), 用 V 表示, 常用单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)。它们与 V 的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}; \quad 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

3. 电压的实际方向

物理中对基本物理量的实际方向规定：电压是高电位指向低电位的方向，即电位降低的方向；而电动势是低电位指向高电位，即电位升高的方向。

电压的方向又称为电压的极性，其定义为如该电场力做功的数值为正，则 a, b 两节点之间的电压为正，反之亦然。

4. 电压的参考方向

电路中任意设定的电压极性称为电压参考极性。如在分析计算电路中得到 $U_{ab} > 0$ ，说明电压的真实极性与参考极性一致；反之则不一致。

对于一段电路或元件两端也可以任意选定一个方向为电压的参考方向，当电压的实际方向与参考方向一致时，电压为正值 ($u > 0$)；反之，当电压的实际方向与参考方向相反时，电压为负值 ($u < 0$)。图 1-6 所示，箭头方向为电压的实际方向，正负极性表示电压的参考方向，则 u_1 的参考方向与实际方向一致，取 $u_1 > 0$ ，而 u_2 的参考方向与实际方向不一致，取 $u_2 < 0$ 。

对电路中两点之间的电压也可以指定参考方向或参考极性。指定电压参考方向后，电压就成为一个代数量。电压的参考方向是任意指定的。在电路中，电压的参考方向可以用一个箭头表示，也可以用正 (+)、负 (-) 极性来表示，由正极指向负极的方向就是电压的参考方向，还可以用双下标表示，如表示 a 和 b 之间的电压 U_{ab} 的参考方向是由 a 指向 b 的。

1.2.3 电流和电压的关联参考方向

一个元件的电流或电压的参考方向可以独立地任意指定。如果指定流过元件的电流参考方向是从电压正极性的一端指向负极性的一端，即两者的参考方向一致，则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向，如图 1-7 所示，即沿电流参考方向为电压降低的参考方向；当两者不一致时，称为非关联参考方向。人们常常习惯采用关联参考方向。

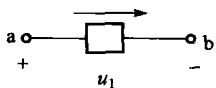


图 1-6 电压的实际方向与参考方向间的关系

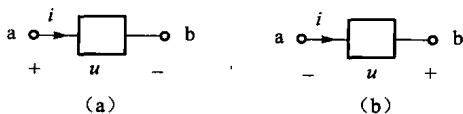
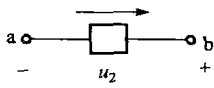


图 1-7 关联参考方向与非关联参考方向

(a) 关联方向；(b) 非关联方向

关联参考方向对负载而言，其电压 U 和电流 I 的参考方向相同；对电源而言，其电流 I 参考方向与电动势 E 的参考方向相同，而与电压的参考方向相反。

在参考方向选定后，电流（或电压）值才有正负之分。对任何电路分析时都应先指定各处的电流 i 和电压 u 的参考方向。

关于电流和电压关联参考方向，需注意下面几点：

(1) 分析电路前必须选定电压和电流的参考方向。电流、电压参考方向是任意选择的，但为了分析方便，一般采用电压电流的关联参考方向。

(2) 分析计算电路时, 电路图上所标注的均为参考方向。参考方向一经选定, 必须在图中相应位置标注 (包括方向和符号), 在计算过程中不得任意改变。

(3) 参考方向设定的不同, 其表达式的符号也就不同, 但实际方向是不变的。

1.2.4 电动势

衡量电源做功能力的物理量叫做电源的电动势。常用符号 E 或 $e(t)$ 表示, E 表示大小与方向都恒定的电动势 (即直流电源的电动势), $e(t)$ 表示大小和方向随时间变化的电动势, 也可简记为 e 。电动势的国际单位制为伏特, 记做 V。

电动势的大小等于电源力把单位正电荷从电源的负极, 经过电源内部移到电源正极所做的功。如设 W 为电源中非静电力 (电源力) 把正电荷量 q 从负极经过电源内部移送到电源正极所做的功, 则电动势大小为

$$E = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极, 即与电源两端电压的方向相反。

1.2.5 电功率与电能

1. 电功率

电功率 (简称功率) 所表示的物理意义是电路元件或设备在单位时间内吸收或发出的电能。两端电压为 U 、通过电流为 I 的任意二端元件的功率大小为

$$P = UI \quad (1-4)$$

功率的国际单位制单位为瓦特 (W), 常用的单位还有毫瓦 (mW)、千瓦 (kW), 它们与 W 的换算关系是

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}; \quad 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

一个电路最终的目的是电源将一定的电功率传送给负载, 负载将电能转换成工作所需要的一定形式的能量。即电路中存在发出功率的器件 (供能元件) 和吸收功率的器件 (耗能元件)。

习惯上, 通常把耗能元件吸收的功率写成正数, 把供能元件发出的功率写成负数, 而储能元件 (如理想电容、电感元件) 既不吸收功率也不发出功率, 即其功率 $P=0$ 。通常所说的功率 P 又叫做有功功率或平均功率。

在指定电压和电流的参考方向后, 一个元件若吸收功率为 10 W, 也可以认为它发出功率为 -10 W, 同理, 一个元件若发出功率为 10 W, 也可以认为它吸收功率为 -10 W。当电路中某元件吸收功率时, 其所消耗的功率由电路中其他部分元件所提供, 消耗功率的元件可能会发热、发光等。

【例 1-1】 求图 1-8 所示各元件的功率。

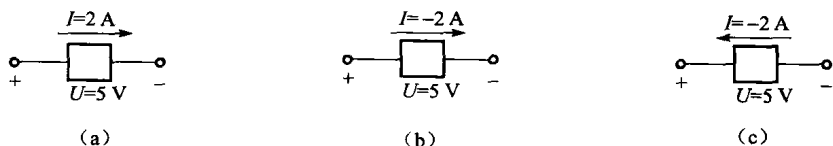


图 1-8

解: (a) 电压电流为关联方向

$P = UI = 5 \times 2 = 10 \text{ (W)}$, $P > 0$, 吸收 10 W 功率。

(b) 电压电流为关联方向

$P = UI = 5 \times (-2) = -10 \text{ (W)}$, $P < 0$, 发出 10 W 功率。

(c) 电压电流为非关联方向

$P = -UI = -5 \times (-2) = 10 \text{ (W)}$, $P > 0$, 吸收 10 W 功率。

【例 1-2】如图 1-9 所示, 已知 $I = 1 \text{ A}$, $U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = 6 \text{ V}$, $U_3 = 4 \text{ V}$ 。求各元件功率, 并分析电路的功率平衡关系。

解: 设电流和电压的参考方向如图 1-9 所示。

元件 A 的电压电流为非关联方向, 则

$P_1 = -U_1 I = -10 \times 1 = -10 \text{ (W)}$, $P_1 < 0$, 产生 10 W 功率, 电源。

元件 B 的电压电流为关联方向, 则

$P_2 = U_2 I = 6 \times 1 = 6 \text{ (W)}$, $P_2 > 0$, 吸收 10 W 功率, 负载。

元件 C 的电压电流为关联方向, 则

$P_3 = U_3 I = 4 \times 1 = 4 \text{ (W)}$, $P_3 > 0$, 吸收 10 W 功率, 负载。

$P_1 + P_2 + P_3 = -10 + 6 + 4 = 0$, 则电路的功率平衡。

2. 电能

电能是指在一定的时间内电路元件或设备吸收或发出的电能量, 用符号 W 表示, 其国际单位制为焦耳 (J), 电能的计算公式为

$$W = Pt = UI t \quad (1-5)$$

通常电能用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 来表示大小, 也叫做度 (电), 即

$$1 \text{ 度 (电) } = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} \quad (1-6)$$

即功率为 1 000 W 的供能或耗能元件, 在 1 小时的时间内所发出或消耗的电能量为 1 度。

【例 1-3】一个电磁炉额定值为 (220 V, 2 000 W), 每天累计使用 2 小时, 问:

(1) 一个月 (按 30 天计算) 用电多少度?

(2) 每度电电费为 0.39 元, 则应付电费多少元?

解: (1) 一个月的用电量为:

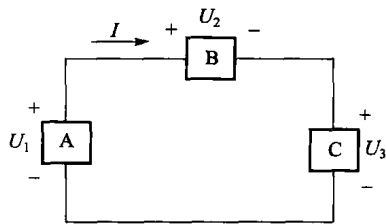


图 1-9

$$W = pt = 2\,000 \times 10^{-3} \times 2 \times 30 \text{ kWh} = 120 \text{ (度)}$$

(2) 电费为:

$$\text{¥} = 0.39 \times 120 = 46.8 \text{ (元)}$$

1.3 电路中电位的计算

电位是电路分析中经常用到的一个概念。尤其在电子线路中,常用电位的概念来分析电路中一些元件的工作状态。如判断二极管、三极管的工作状态是导通还是截止等。另外,应用电位的概念还可以简化电路图的画法,使我们分析起来更加清晰、方便。

1.3.1 电位

把任意一个节点选定为参考点,则其电位被指定为零电位。参考点是任意选取的,参考点电位为零。工程上选择大地、设备外壳或接地点为参考点。

当在电路中任选一点为参考点,则某点到参考点的电压降就叫做这一点(相对于参考点)的电位。参考点是可以任意选定的,但一经选定,各点电位的计算即以该点为准。如果参考点变了,那么电路中各点电位也随之发生变化。参考点一般用符号“ $\perp$ ”表示,并规定参考点的电位值为零。某点电位为正,说明该点电位比参考点高;某点电位为负,说明该点电位比参考点低。

在电路中的电位值是相对的,参考点选取的不同,电路中各点的电位也将随之改变;电路中两点间的电压值是固定的,不会因参考点的不同而变,即与零电位参考点的选取无关。也就是说,若同一电路中参考点选择不同,则同一点 a 或 b 的电位也会不同,但两点间的电位差 U_{ab} 却保持不变。在直流电路中当电源的一个极接地时,可省略电源不画,而用没有接地极的电位代替电源。

求取电路中电位的一般步骤:

- (1) 选定电路中某点作为参考点,并规定参考点的电位值为零;
- (2) 标出各电流参考方向并计算;
- (3) 计算电路中各点与参考点间的电压即为各点的电位。

以图 1-10 (a) 所示电路为例, d 点为参考点,即 d 点的电位为零 ($U_d = 0$), 计算电路中各点的电位。

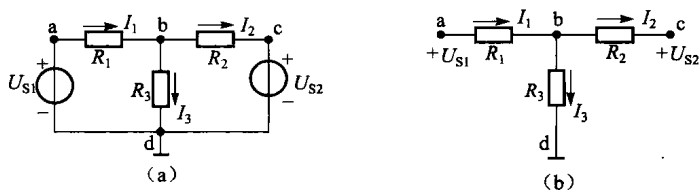


图 1-10 电位的计算

在直流电路中当电源的一个极接地时,可省略电源不画,而用没有接地极的电位代替电源,故图 1-10 (a) 的另一种画法为图 1-10 (b)。

$$\begin{aligned} U_a = U_{ad} = U_{S1} & \quad \text{或} \quad U_a = U_{ab} + U_{bd} = I_1 R_1 + I_3 R_3 \\ U_b = U_{bd} = I_3 R_3 & \quad \text{或} \quad U_b = U_{ba} + U_{ad} = -I_1 R_1 + U_{S1} \\ U_c = U_{cd} = U_{S2} & \quad \text{或} \quad U_c = U_{cb} + U_{bd} = -I_2 R_2 + I_3 R_3 \end{aligned}$$

可以看出,求一点电位往往有多条路径,如求 b 点的电位除了从 R_3 到 d 外,还可沿路径 bad 或 bcd 求得,一般尽量选择最简便的路径。

【例 1-4】求图 1-11 所示电路中,当 S 断开和闭合时两种情况下 a 点的电位 U_a 。

解:

(1) 当 S 断开时,电路为单一支路,三个电阻上流过同一电流,因此可得下式:

$$\frac{-12 - U_a}{(6 + 4) \times 10^3} = \frac{U_a - 12}{20 \times 10^3}$$

求得

$$U_a = -4 \text{ V}$$

(2) 当 S 闭合时,则 $U_b = 0$, $4 \text{ k}\Omega$ 和 $20 \text{ k}\Omega$ 电阻上流过同一电流。

$$\frac{U_b - U_a}{4 \times 10^3} = \frac{U_a - 12}{20 \times 10^3}$$

求得

$$U_a = 2 \text{ V}$$

计算电位时注意以下几点。

(1) 电位的参考点可以选择电路中任意一点,但一经选定,在计算电路中各点电位时就可不可更改了。

(2) 参考点的电位为零,但不一定是电路中最低电位。电路中高于参考点的电位为正电位,其值为正,低于参考点的电位为负电位,其值为负。

(3) 同一电路中,参考点选择不同点时,同一点的电位值对于不同参考点是不相同的,这是电位的相对性。

(4) 各点电位的值与计算时所选择的路径无关,即对于同一参考点沿不同路径求出的电位值相同,这是电位的单值性。

(5) 电路中任何两点间的电位差(电压)与参考点的选择无关,即无论选择电路中任何一点为参考点,电路中两点间的电压保持不变,这是电压的绝对性。

1.3.2 电位与电压的关系

电路中某点的电位其实就是该点与参考点之间的电压,即 $U_a = U_{a0}$, 两点间的电压等于两点间电位之差,即 $U_{ab} = U_a - U_b$ 。

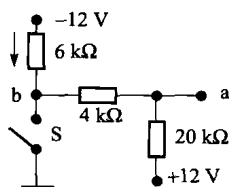


图 1-11

1.3.3 等电位点

所谓等电位点是指电路中电位相同的点。

等电位点具有以下特点：

- (1) 等电位点之间的电压（电位差）为零。
- (2) 若用导线或电阻元件等无源元件将等电位点连接在一起，则导线或连接元件上没有电流流过，电路的工作状态不变。
- (3) 若将两等电位点之间的无电流支路断开，则电路的工作状态也不变化。

1.4 欧姆定律

欧姆定律是一条重要的电学定律，是贯穿整个电学的主线。全面正确地理解和透彻地掌握欧姆定律，是正确解答涉及电学问题的前提和基础。欧姆定律是初中电路计算的桥梁，初中电路的基本计算都是通过欧姆定律来过渡的。其中电流、电压、电阻的测定与求解是电路计算的三个基本物理量，而这三个基本物理量通过欧姆定律联系在一起。

所谓部分欧姆定律（VCR）是指流过电路中电阻的电流与加在电阻两端的电压成正比，与电阻的阻值成反比。用公式表示（通常取 U 、 I 参考方向为关联参考方向）为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad I = UR \quad (1-7)$$

电流 I 的单位是安（A），电压 U 的单位是伏（V），电阻 R 的单位是欧（ Ω ）。

欧姆定律中的三个物理量之间的关系是一一对应的关系，电流的大小由电压和电阻同时决定。同一导体的电阻通常看作是不变的（除非特别说明）。

1.5 电路的基本元件

在电工技术的电路分析中，讨论的电路均是指集总参数电路，电路中的元件均是指理想元件，且为集总参数元件。集总参数元件假定：在任何时刻，流入二端元件的一个端子的电流一定等于从另一端子流出的电流，两个端子之间的电压为单值量。即集总参数元件是每一个具有两个端钮的元件中有确定的电流，端钮间有确定的电压。集总参数电路就是由集总参数元件构成的电路。

电路元件从能量特性方面可分为无源元件和有源元件；从外部端钮数量可分二端元件和多端元件，其中二端元件具有两个引出端；多端元件具有两个以上引出端。

当理想元件具有两个端钮与外部连接时，这类元件叫二端元件。如电阻元件、电压源、电流源、电容元件、电感元件等。如果没有具体说明是何二端元件，一般用方框符号表示。

如图 1-12 所示，其中图 1-12（a）表示二端元件 A；图 1-12（b）表示电阻；图 1-12