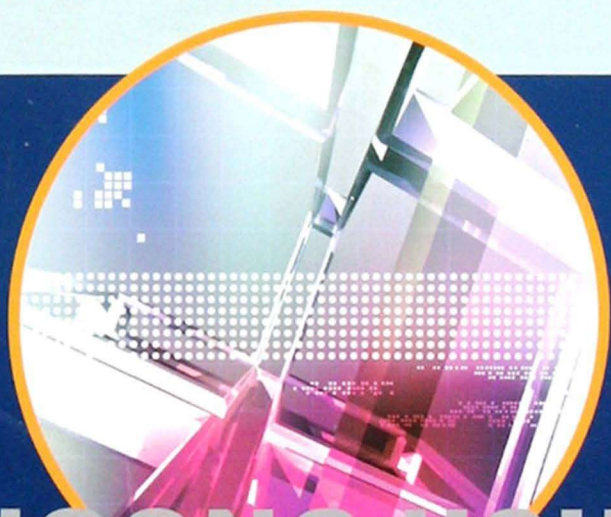
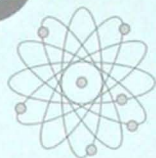


陕西省中等职业教育规划教材



DIANGONGJISHU
电工技术

主编 唐政平

>>>>> DIANGONGJISHU
DIANGONGJISHU



西北大学出版社
NORTHWEST UNIVERSITY PRESS

陕西省中等职业教育规划教材

电工技术

DIANGONGJISHU

主编

唐政平

副主编

李靖 屈建喜

参编

(以章节顺序排序)

谢静 朱红雨 陈华 刘娟娟 孙耀

西北大学出版社

— 图书在版编目 (C I P) 数据

电工技术 / 唐政平著 . — 西安: 西北大学出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-5604-2626-6

I. 电… II. 唐… IV. F230-05

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第 062497 号

电工技术

作 者: 唐政平 著

出版发行: 西北大学出版社

地 址: 西安市太白北路229号

邮 编: 710069

电 话: 029-88305287

E - m a i l: xdpres@nwu.edu.cn

经 销: 全国新华书店

印 装: 西安向阳印务有限责任公司

开 本: 889毫米×1194毫米 1/32

印 张:

字 数: 千

版 次: 2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5604- -

定 价: 20.00元

前言

本书根据教育部颁发的中等职业学校电工技术课程的教学大纲,结合陕西中等职业学校多年来的教育教学改革经验编写,是陕西省教育厅中等职业教育规划教材之一。

本教材的编写广泛吸收了各中等专业学校在 2005 年以来,全面推行工学结合、校企合作、“2+1”教学模式等教学改革的成果,适应以就业为导向的人才培养模式和电工技术的飞速发展要求。它适合于实行“2+1”教学模式的三年制中等职业学校机械类、机电类和电气类等专业的学生使用。

根据当前职业教育教学改革的要求以及用人单位对电工技术知识的需求和学生的实际,我们注意突出基本知识和基本方法,以定性分析为主,避免繁杂的理论和数学推导,注重实际技能的培养,使学生掌握分析问题和解决问题的方法。

本书的第一、二章由陕西纺织服装职业技术学院屈建喜和陕西省机电工程学校唐政平编写,第三、七、八章由陕西纺织服装职业技术学院谢静、刘娟娟编写,第四、五章由西安航天工业学校朱红雨、陕西省电子工业学校李靖编写,第六、九章由西安航天工业学校陈华、陕西省电子信息学校孙耀编写,全书由唐政平统稿。

教学学时分配建议表

章 节	理论(必修+选学)	实 验	小 计
第一章	12+2	2	16
第二章	4+2		6
第三章	14+4	2	20
第四章	8	2	10
第五章	8+2		10

章 节	理论(必修+选学)	实 验	小 计
第六章	6+2	2	10
第七章	12+2		14
第八章	10+2	6	18
第九章	4		4
合 计	78+16	14	108

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和错误,恳请各位老师和读者指正。

编 者

2009 年 5 月

目录

CONTENTS

第一章 电路的基本概念和基本定律	/1
第一节 电路和电路模型	/1
第二节 电流、电压、电功率	/3
第三节 电阻元件与欧姆定律	/9
第四节 电压源、电流源	/14
第五节 电路的工作状态	/20
第六节 电路的基本规律	/22
本章小结	/28
习题一	/29
实验一 认识实验	/32
第二章 电容和电感	/36
第一节 电容及电容元件	/36
第二节 电容器的串并联	/41
第三节 电磁感应现象	/43
本章小结	/48
习题二	/48
第三章 正弦交流电路	/49
第一节 正弦交流电的产生	/49
第二节 正弦量的三要素	/51
第三节 正弦量的旋转矢量表示法	/57
第四节 RLC 元件的交流特性	/59
第五节 RL 串联电路	/68
第六节 RC 串联电路	/71
第七节 功率因数和功率因数的提高	/74
* 第八节 谐振电路	/77

本章小结	/81
习题三	/82
实验二 RLC 串并联实验	/84
第四章 三相交流电路	/86
第一节 三相交流电的产生	/86
第二节 三相电源的连接	/88
第三节 三相负载的连接	/91
第四节 对称三相电路的功率	/96
本章小结	/98
习题四	/99
实验三 对称三相负载的连接	/101
第五章 磁路与变压器	/103
第一节 磁路与铁磁性物质的磁化	/103
第二节 单相变压器的结构和工作原理	/104
第三节 其他变压器	/108
本章小结	/111
习题五	/111
第六章 常用电工仪表	/112
第一节 常用电工仪表的基本知识	/112
第二节 电流表与电压表	/115
第三节 万用表及其使用	/120
第四节 兆欧表	/123
第五节 电度表及电能的测量	/125
本章小结	/127
习题六	/128
实验四 常见电工仪表的使用	/128
第七章 电动机	/130
第一节 三相异步电动机	/130
第二节 单相异步电动机	/140
第三节 直流电动机	/142
第四节 常用控制电机	/150
本章小结	/155

习题七	/156
第八章 异步电动机的控制	/157
第一节 常用低压电器	/157
第二节 三相异步电动机的控制	/166
* 第三节 单相异步电动机的控制	/175
本章小结	/177
习题八	/178
实验五 三相电机的单向运转	/179
实验六 正反转控制	/181
* 实验七 星形-三角形降压启动控制	/183
第九章 电力系统与安全用电常识	/185
第一节 电力系统的概念	/185
第二节 用电常识	/187
本章小结	/190
习题九	/190
参考文献	/191

第一章 电路的基本概念和基本定律

电路是由电源、负载和中间环节组成的。实际的电路有的很简单,有的会很复杂,为了更好地使电能为人类服务,我们必须研究电路和其基本规律。

第一节 电路和电路模型

一、关于电的基本概念

人类对电及电现象的认识是非常早的。通过不断的认识、研究与实践,人们知道了自然界中的各种物质是由原子组成的,而原子又由原子核和核外电子组成。有些物质的核外电子移动比较困难,我们把这些物质称为绝缘体;而有些物质的核外电子能比较容易地从一个原子移动到另一个原子,我们把这些物质称为导体。电子移动后的位置由其他原子上的电子立即进行补充,整个物质对外不显示电性。容易移动的电子称为自由电子。按照组成物质的核外电子能否自由移动,我们把物质划分为导体和绝缘体两大类。导体中的自由电子带有负电荷,在电场的作用下,电子便定向移动,形成电流。

在电源内部,电荷从能量较低的地方流向能量较高的地方,也就是电流吸收了能量,电场力作了功。而在电源外部,电荷从能量较高的地方移向能量较低的地方,也就是移动的电荷载放了能量,对外电路作了功。

电流流动的路径就是电路。电路是为电流的流通提供闭合路径的集合体。复杂的电路也常称为网络。

二、电路及其组成

电路是各种电器设备按一定方式连接起来的整体,是电流的流通过程,是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。电源、负载和中间环节是电路的基本组成部分。

电源是把其他形式的能量转换为电能的装置。例如,发电机将机械能转化为电

能,蓄电池是将化学能转变为电能。负载是取用电能的装置,它把电能转化为其他形式的能量。例如,电动机将电能转化为机械能,电炉将电能转化为热能,电灯将电能转化为光能。导线和开关用来连接电源和负载,为电流提供通路,把电源的能量供给负载,并根据负载需要接通和断开电路。

人们在日常生活中或在生产和科研中广泛地使用着各种电路。图 1-1 所示的手电筒的实际电路就是一个最简单的直流电路。

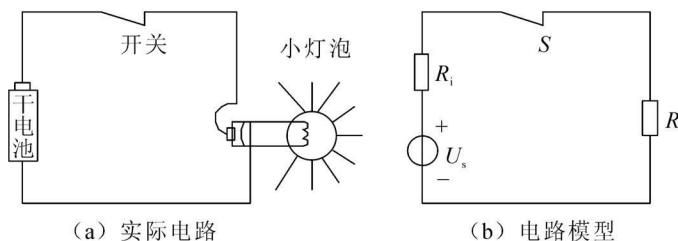


图 1-1 电路的组成

电路有两个作用,第一是进行能量的转化、传输和分配,第二是进行信号的传递与处理。例如,扩音机的输入是由声音转换而来的电信号,通过电子电路组成的放大电路,输出的便是放大的电信号,从而实现了放大功能。电视机可将接收到的高频电信号,经过处理,转化成图像和声音。城市内的交通信号灯,可将电能转化为交通指挥信号。

三、电路模型

为了便于进行分析和计算,在一定条件下,把实际元件加以近似化、理想化,忽略次要性质,用足以表征主要特征的“单纯参数”来表示,我们把这种元件称为理想电路元件。

理想电路元件是一种理想化的模型,简称为电路元件。电阻元件是一种只表示消耗电能的元件,电感元件是表示其周围空间存在着磁场而可以储存磁场能量的元件,电容元件是表示其周围空间存在着电场而可以储存电场能量的元件等。

对具有两个引出端的元件,称为二端元件;对具有两个以上引出端的元件,称为多端元件。

实际电路可以用 1 个或若干个理想电路元件经理想导体连接起来模拟,这便构成了电路模型。如图 1-1 所示,图(a)为手电筒的实际电路,若把小灯泡看成是电阻元件,用 R 表示,考虑到干电池内部自身消耗的电能,把干电池看成是电阻元件和电压源串联,连接导线看成为理想导线(其电阻为零)。这样,手电筒的实际电路

就可以用电路模型来表示,如图 1-1(b)所示。

第二节 电流、电压、电功率

一、电流及参考方向

前已述及,电荷的定向移动形成电流。习惯上规定正电荷运动的方向为电流正方向,电流的大小常用电流强度来表示。电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量,习惯上常简称为电流。

电流主要分为两类:一类为大小和方向均不随时间改变的电流,称为稳恒电流,简称直流,常简写作 dc 或 DC,用大写字母 I 表示;另一类为大小和方向都随时间变化的电流,称为交变电流,用小写字母 i 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的交变电流称为交流,常简写作 ac 或 AC,也用 i 表示。

为了便于以后的讨论,一般将直流量用大写字母 I 表示,而将交变量用小写字母 i 表示。

图 1-2 为几种常见电流的波形图,其中图(a)为直流,图(b)(c)均为交流。

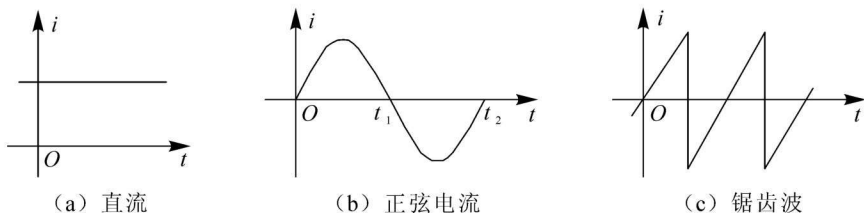


图 1-2 几种电流的波形

对于直流,单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的,其电流强度为

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

对于交变电流,若假设在一很小的时间间隔 Δt 内,通过导体横截面的电荷量为 Δq ,则该瞬间电流强度为

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-2)$$

电流的单位是安培,符号为 A,表示 1 秒(s)内通过导体横截面的电荷为 1 库仑(C)。有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)或微安(μ A)等,其关系如下:

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

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

在分析电路时,对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向很难立即判断出来,有时电流的实际方向还会不断改变,因此在电路中很难标明电流的实际方向。为分析方便,在这里,我们引入电流的“参考方向”这一概念。

在一段电路或一个电路元件中事先选定一个电流方向作为电流的参考方向。本书中用虚线箭头表示电流的实际方向,用箭头直接标在电路上表示电流的参考方向,也用双下标表示,如 i_{ab} 表示参考方向由 a 指向 b 。参考方向是任意选定的,而电流的实际方向是客观存在的。因此,所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。当选定电流的参考方向与实际方向一致时, $i>0$; 当选定电流的参考方向与实际方向相反时, $i<0$ 。电流的参考方向与实际方向如图 1-3 所示,图中虚线为实际方向,实线为参考方向。

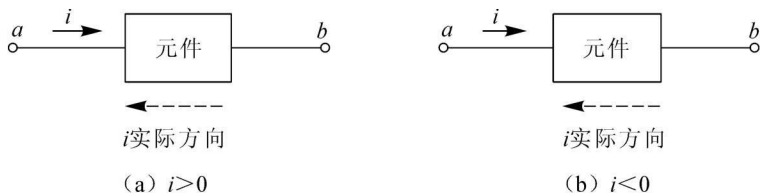


图 1-3 电流的参考方向与实际方向

电流的实际方向是客观存在的,它不因其参考方向选择的不同而改变,即存在

$$I_{AB} = -I_{BA}$$

本书中不加特殊说明时,电路中的公式和定律都是建立在参考方向的基础上的。

二、电压与参考方向

在物理知识中已知,电路中 a, b 两点间电压的大小等于电场力把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。电压的实际方向就是正电荷在电场中受电场力作用而移动的方向。在直流电路中,电压为恒定值,用 U 表示,即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

在交变电流电路中,电压为变值,用 u 表示,即

$$u_{AB} = \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta q} \quad (1-4)$$

式中, Δq 为由 A 点移动到 B 点的电荷量, ΔW_{AB} 为移动过程中电荷所减少的电能。

电压的实际方向是使正电荷电能减少的方向,电压的单位是伏(特),符号为 V ,

常用的有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)等,其换算关系为:

$$1\text{kV}=1000\text{V}=10^3\text{V}$$

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

$$1\mu\text{V}=10^{-3}\text{mV}=10^{-6}\text{V}$$

在电路分析中,也需要为电压指定参考方向。在元件或电路中两点间可以任意选定一个方向作为电压的参考方向。电路图中,电压的参考方向一般用实线箭头表示,也可用双下标 U_{ab} (或 u_{ab}),表示电压参考方向由 a 点指向 b 点,或用“+”“-”极性表示电压参考方向由“+”极性指向“-”极性,如图 1-4 所示。

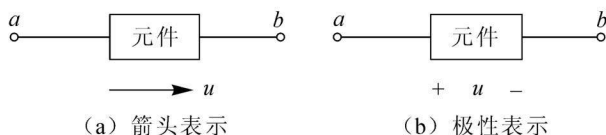


图 1-4 电压的参考方向表示法

当电压的实际方向与它的参考方向一致时,电压值为正,即 $u>0$;反之,当电压的实际方向与它的参考方向相反时,电压值为负,即 $u<0$ 。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1-5 所示。

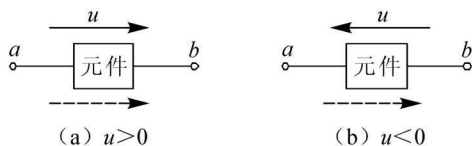


图 1-5 电压的参考方向与实际方向

电压的实际方向也是客观存在的,它决不因该电压的参考方向选择的不同而改变,于是有

$$U_{ab} = -U_{ba} \quad (1-5)$$

对于同一个元件或同一段电路上的电压和电流的参考方向的假定,原则上是任意的,但为了方便起见,习惯上常将电压和电流的参考方向设定为一致,也就是选取电流的参考方向为从电压的正流向电压的负,并称之为关联参考方向。为简单起见,一般情况下,只须标出电压或电流其中之一的参考方向,就意味着另一个选定的是与之相关联的参考方向。

三、电位

为了分析电路的状态方便,计算电压时常指定电路中任意一点为参考点。我们定义:电场力把单位正电荷从电路中某点移到参考点所做的功称为该点的电位,用

大写字母 V 表示。电路中某点的电位即该点与参考点之间的电压。

为了确定电路中各点的电位,就必须在电路中选取一个参考点。它们之间的关系如下:

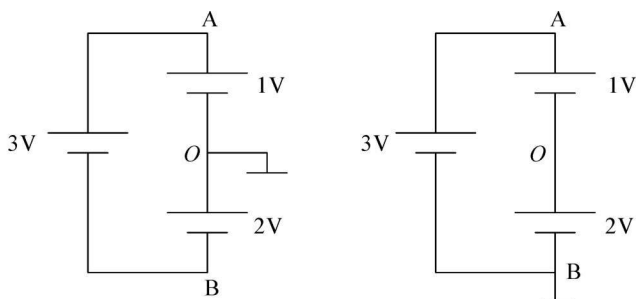
(1)参考点的电位为零,即 $V_0=0$,比该点高的电位为正,比该点低电位为负。如图 1-6(a)所示的电路中,选取 O 点为参考电位点,则 A 点的电位为正, B 点的电位为负。

(2)其他各点的电位为该点与参考点之间的电位差。如图 1-6(a)中 A, B 两点的电位分别为

$$V_A = V_A - V_O = V_{AO} = 1V$$

$$V_B = V_B - V_O = V_{BO} = -2V$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 3V$$



(a) 以 O 为参考点

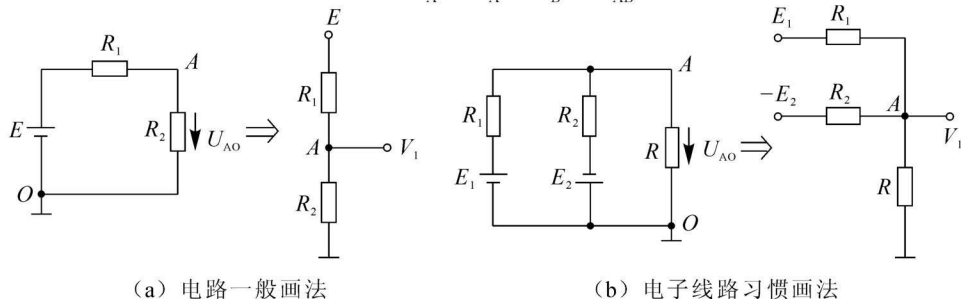
(b) 以 B 为参考点

图 1-6 电位的计算示例

(3)参考点选取不同,电路中各点的电位也不同,但任意两点间的电位差(电压)不变。如选取 B 点为参考点,如图 1-6(b)所示,则

$$V_B = 0$$

$$V_A = V_A - V_B = U_{AB} = 3V$$



(a) 电路一般画法

(b) 电子线路习惯画法

图 1-7 电路的一般画法与电子线路的习惯画法

但 A, B 两点间的电压不变, 仍然为 $U_{AB} = 3\text{V}$ 。

(4) 在研究同一电路系统时, 只能选取一个电位参考点。电位概念的引入, 给电路分析带来了方便, 因此, 在电子线路中往往不再画出电源, 而改用电位标出。图 1-7 是电路的一般画法与电子线路的习惯画法示例。

四、电动势

在图 1-8 所示的电路中, 在电场力的作用下, 正电荷不断地从 A 移动到 B , A 与 B 两极板间的电场逐渐减弱, 最后消失, 导线中的电流也逐渐减小为零。为了维持持续不断的电流, 就必须保持 A, B 间有一定的电位差, 即保持一定的电场。这必然要借助于外力来克服电场力把正电荷不断地从 B 极板移到 A 极板去。这种外力是非电场力, 我们称之为电源力, 电源就是能产生这种力的装置。例如, 在发电机中, 当导体在磁场中运动时, 磁场能转化为电能; 在电池中, 化学能转化为电能。

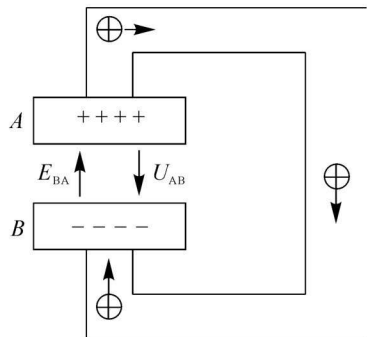


图 1-8 电压和电动势

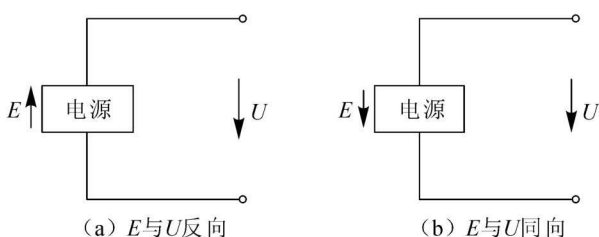


图 1-9 电源的电动势 E 与端电压 U

电动势是用来衡量电源力大小的物理量。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极板移到正极板所做的功, 用 E 表示。电动势的方向是电源力克服电场力移动正电荷的方向, 从低电位到高电位。对于一个电源设备, 若其电动势 E 与其端电压 U 的参考方向相反, 如图 1-9(a) 所示, 当电源内部没有其他能量转换 (如不计内阻) 时, 根据能量守恒定律, 应有 $U = E$; 若参考方向相同, 如图 1-9(b) 所示, 则 $U = -E$ 。本书在以后论及电源时, 一般用端电压 U 来表示。

五、电能和电功率

在图 1-10 所示的直流电路中, a, b 两点间的电压为 U , 在时间 t 内电荷 Q 受电场力作用, 从 a 点移动到 b 点, 电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-6)$$

若负载为电阻元件,则在时间 t 内所消耗的电能为

$$W = UIt = I^2 R t \quad (1-7)$$

在我国法定计量单位中,能量的单位是焦耳,简称焦,符号为 J;在实际生活中还采用千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作为电能的单位,简称为 1 度电。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3600 \text{ W} \cdot \text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

单位时间内消耗的电能称为电功率(简称功率),即

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R \quad (1-8)$$

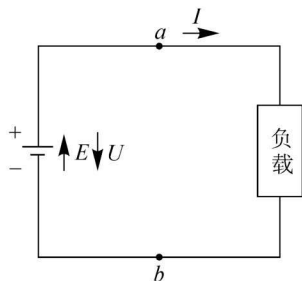
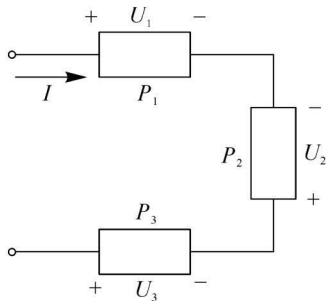


图 1-10 电路的功率

功率的单位是瓦特,简称瓦,符号为 W,常用的有千瓦(kW)、兆瓦(MW)和毫瓦(mW)等。

一段电路,在 u 和 i 取关联参考方向时, $P = ui$;在 u 和 i 取非关联参考方向时, $P = -ui$ 。若 $P > 0$,说明这段电路上电压和电流的实际方向是一致的,电路吸收了功率,是负载性质;若 $P < 0$,则这段电路上电压和电流的实际方向不一致,电路发出功率,是电源性质。

例 1-1 在如图所示的直流电路中, $U_1 = 4\text{V}$, $U_2 = -8\text{V}$, $U_3 = 6\text{V}$, $I = 4\text{A}$,求各元件接受或发出的功率 P_1 , P_2 和 P_3 ,并求整个电路的功率 P 。



例 1-1 图

解: P_1 的电压参考方向与电流参考方向相关联,故

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16 \text{ W (接受 16 W)}$$

P_2 和 P_3 的电压参考方向与电流参考方向非关联,故

$$P_2 = -U_2 I = -(-8) \times 4 = 32 \text{ W (接受 32 W)}$$

$$P_3 = -U_3 I = 6 \times 4 = -24 \text{ W (发出 24 W)}$$

整个电路的功率 P ,设接收功率为正,发出功率为负,故

$$P = 16 + 32 - 24 = 24 \text{ (W)}$$

思考与练习

电位的概念是什么？在电路中怎样确定各点的电位？

第三节 电阻元件与欧姆定律

一、电阻元件

电阻器、灯泡、电炉等在一定条件下可以用二端电阻作为其模型。物理学知识已经介绍过，导体的电阻与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比，并与导体的材料有关，即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-9)$$

式中 R ——导体材料的电阻，单位为欧姆(Ω)；

l ——导体材料的长度，单位为米(m)；

S ——导体的截面积，单位为平方米(m^2)。

ρ 是与导体材料性质有关的物理量，称为电阻率或电阻系数，单位为欧·米($\Omega \cdot \text{m}$)

如果某个电阻的阻值不随所加电压和通过的电流而改变，即在一定的温度下其阻值是常数，则这种电阻称为线性电阻。它的伏安特性是一条经过原点的直线，如图 1-11 所示。若电阻元件的伏安特性曲线不随时间变化，则该电阻元件为线性时不变电阻；若其电阻值随电压和电流的变化而变化，其电压与电流的比值不是常数，这类电阻称为非线性电阻。

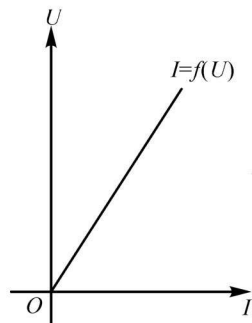


图 1-11 线性电阻的伏安特性

线性时不变电阻在实际电路中应用非常广泛，本书将集中讨论线性时不变电阻，简称线性电阻，在不加特殊说明时，

所说的电阻均指线性电阻。全部由线性元件组成的电路称为线性电路。本章仅讨论线性直流电路。

电阻作为一种理想电路元件，分为固定电阻器和可变电阻器两类。

一类是固定电阻器，有线绕电阻、薄膜电阻和实心电阻等类型。线绕电阻功率较大，稳定性高，阻值较小；薄膜电阻稳定性较好，误差小，阻值较大，功率较小；实心电阻阻值较大，功率较小，稳定性差。