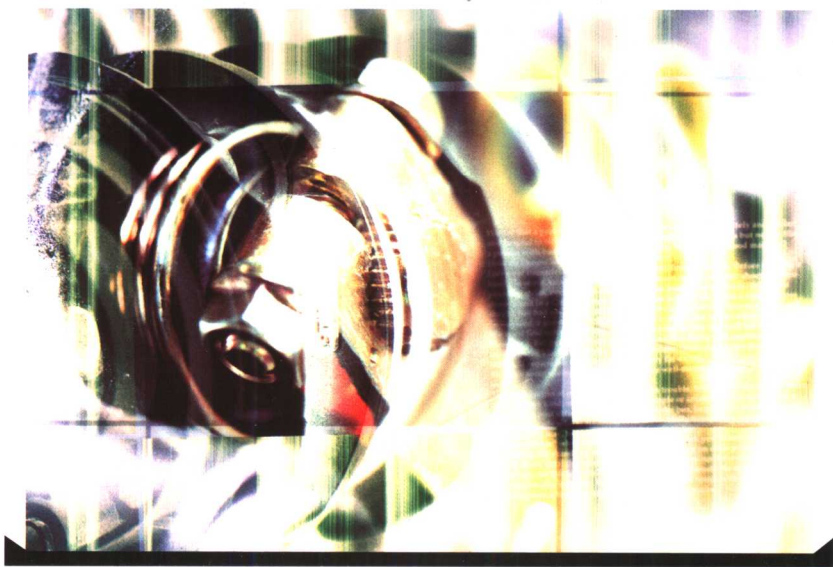


教育部商业职业教育教学指导委员会组编
中央广播电视中等专业学校审定
21世纪中等职业教育规划教材（理工类）

电工技术基础

王仁红 闫丙智 主 编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

教育部商业职业教育教学指导委员会组编
中央广播电视中等专业学校审定
21世纪中等职业教育规划教材(理工类)

电工技术基础

主审 孟祥常

主编 王仁红 闫丙智

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书主要介绍电路基础知识及直流电路、交流电路基础知识,内容包括:直流电路和交流电路的几种典型电路组成及参数分析,电容器、磁与电磁感应、三相交流电路、异步电动机和变压器等。

经审定,本书主要用作中等职业学校电类专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础 / 王仁红, 闫丙智主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2006. 10

21 世纪中等职业教育规划教材(理工类)

ISBN 7-81104-340-8

I. 电... II. ①王...②闫... III. 电子技术—专业学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 105949 号

21 世纪中等职业教育规划教材(理工类)

电 工 技 术 基 础

Diangong Jishu Jichu

主 编 王仁红 闫丙智

*

责任编辑 张华敏

封面设计 水木时代

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

安徽蚌埠广达印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 170mm×228mm 印张: 11.5

字数: 219 千字

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-340-8

定价: 19.50 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

编审说明

为了更好地适应中等职业学校电类专业教学需求,我们组织中职学校教学一线教师编写了这本《电工技术基础》教材。

根据中职教育的要求及当前中职学生特点,本书对电工技术的基本概念、基本理论和基本分析方法都作了详尽的阐述,并注重教育教学与生产实践、社会服务和技术推广相结合。编写时部分内容虽已在物理课程中讲过,但为了加强理论的系统性,并满足电工技术的需要,仍列入书中,使学生进一步理解和巩固。

本书中每章每节都有练习题,便于学生课后复习巩固。每章都有“小结”,用于帮助学生建立全章知识结构。

书中带“*”的内容,各校可根据学生实际水平及课时安排自行选择。

本书由王仁红主编,高级教师孟祥常主审。参加编写工作的还有闫丙智、李治国、冯国庆等。

本书在编写过程中,作者汲取了国内同类教材的优点,在此向原作(编)者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请广大读者不吝批评指正。

教育部商业职业教育教学指导委员会

2006年10月

目 录

第一章 电路的基础知识	(1)
§ 1.1 电路的组成与作用	(1)
§ 1.2 电 流	(3)
§ 1.3 电压和电位	(4)
§ 1.4 电源和电动势	(6)
§ 1.5 电阻和电阻定律	(8)
§ 1.6 欧姆定律	(9)
§ 1.7 电能和电功率	(12)
第二章 直流电路	(18)
§ 2.1 串联电路	(18)
§ 2.2 并联电路	(21)
§ 2.3 混联电路	(23)
§ 2.4 电路中各点电位的计算	(26)
§ 2.5 基尔霍夫定律	(28)
§ 2.6 支路电流法	(32)
* § 2.7 电压源、电流源及其等效变换	(33)
§ 2.8 戴维宁定理	(37)
* § 2.9 叠加原理	(40)
第三章 电 容 器	(45)
§ 3.1 电容器与电容	(45)
§ 3.2 电容器的连接	(47)
§ 3.3 电容器的充电与放电	(52)
第四章 磁与电磁感应	(57)
§ 4.1 磁的基础知识	(57)
§ 4.2 磁通和磁感应强度	(60)
§ 4.3 磁导率和磁场强度	(62)
* § 4.4 铁磁物质的磁化与磁滞	(65)
* § 4.5 磁路与磁路欧姆定律	(68)
§ 4.6 磁场对载流导体的作用	(70)

§ 4.7	电磁感应	(75)
§ 4.8	自感现象与自感系数	(83)
§ 4.9	互感现象与互感线圈的同名端	(86)
第五章	正弦交流电路	(92)
§ 5.1	正弦交流电的基本概念	(92)
§ 5.2	正弦量的旋转相量表示法	(99)
§ 5.3	单一参数的正弦交流电路	(102)
§ 5.4	RL 串联电路	(113)
§ 5.5	RC 串联电路	(116)
§ 5.6	RLC 串联电路	(119)
§ 5.7	实际线圈与电容并联	(123)
* § 5.8	谐振电路	(125)
§ 5.9	功率因数的提高	(130)
第六章	三相交流电路	(139)
§ 6.1	三相交流电源	(139)
§ 6.2	三相负载的接法	(142)
§ 6.3	三相电路的功率	(147)
第七章	异步电动机	(153)
§ 7.1	三相笼型异步电动机的转动原理	(153)
* § 7.2	三相异步电动机的启动与调速	(159)
* § 7.3	单相异步电动机	(162)
§ 7.4	三相笼型异步电动机的铭牌	(166)
第八章	变压器	(170)
§ 8.1	变压器的类别与构造	(170)
§ 8.2	变压器的工作原理及作用	(171)
§ 8.3	几种常用变压器	(174)
参考文献		(178)

第一章

电路的基础知识

本章主要介绍电路的基础知识,包括电学中的基本物理量、欧姆定律及电路的工作状态。这些内容是电学的基础,也是其他电学应用课程的基础。

§ 1.1 电路的组成与作用

1.1.1 电路的组成

电路流通的闭合路径称为电路,它是为了某种需要,由若干电子设备及元件按一定方式组成的。它主要由电源、负载、连接导线、控制和保护装置四部分组成。最简单的电路如图 1-1 所示。

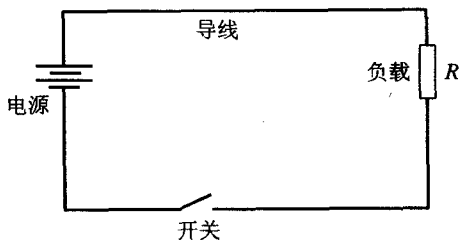


图 1-1 电路图

电源——向电路提供能量的设备。它能把其他形式的能转化成电能。常见的电源有干电池、蓄电池、发电机等。

负载——即用电设备,它是各种用电设备的总称。其作用是把电能转化成其他形式的能,如电灯、电动机、电加热器等。

连接导线——它把电源和负载接成闭合回路,输送和分配电能。一般常用的导线是铜线和铝线。

控制和保护装置——用来控制电路的通断、保护电路的安全,使电路正常工作,如开关、熔断器等。

1.1.2 电路的作用

在现代化的生产和科学技术领域中,电路用来完成控制、计算、通信、测量以及发电、配电等各方面的任务。虽然实际电路种类繁多,功能各异,但概括来说,电路的作用主要表现在以下两个方面。

1. 实现电能的输送和变换

例如,在电力系统组成的电路中,如图 1-2 所示,这时,电路主要用来传送、分配和变换电能。发电厂的发电机将热能、水能和核能等转化成电能,通过输电导线和各级变电所中的升压或降压变压器将电能输送到各用电设备,再根据需要将电能转化成机械能、热能、光能等其他形式的能量。

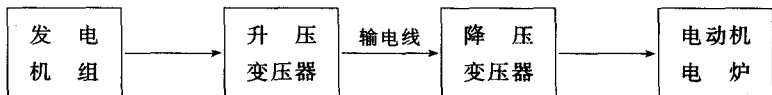


图 1-2 电力系统电路示意图

2. 实现信号的传递和处理

常见的电路如电视机电路如图 1-3 所示,通过接收装置把载有语言、文字、音乐、图像的电磁波接收后转化为相应的电信号,然后通过多种中间电路环节将信号进行传递和处理,送到显像管和扬声器后还原为原始信息。

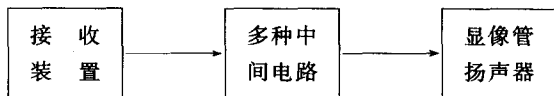


图 1-3 电视机电路示意图

练习

1. 电流流通的 _____ 叫电路,它由 _____、_____、_____、

组成。

2. 电路的作用是_____、_____。

§ 1.2 电 流

1.2.1 电流的形成

电荷的定向运动叫做电流。我们知道,在通常状况下,物质不显带电的性能,但给予一定外加条件时(如接上电源),就能迫使金属或某些溶液中的带电粒子发生规则的运动,从而形成电流。

在金属导体中,电流是电子在外电场作用下有规则地运动形成的,在某些液体或气体中,电流则是正、负离子在电场力作用下向着相反方向的运动形成的。

1.2.2 电流的大小

电流是一种物理现象,又是一个表示带电粒子定向运动强弱的物理量,电流在数值上等于通过导体横截面的电荷量 q 和通过这些电荷量所用时间的比值,用公式表示为

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

如果在 1 s(秒)内通过导体横截面的电荷量是 1 C(库仑),导体中的电流为 1 A(安或安培)。

1.2.3 电流的方向

在不同的导电物质中,形成电流的运动电荷可以是正电荷,也可以是负电荷,甚至两者都有。我们规定正电荷定向运动的方向为电流的方向。在金属导体中,电流的方向与自由电子运动方向相反。

电流的方向是客观存在的。在简单电路中,电流的实际方向很容易判别,但在分析和计算较为复杂的电路时,往往无法确定电路中电流的实际方向,为了计算方便,常常事先假定一个电流方向(假想的电流方向)称为参考方向,用箭头在电路图中标明电流的参考方向,如果计算结果电流为正值,那么电流的实际方向与参考方向一致,如果计算的结果电流为负值,那么电流的实际方向与参考方向相反。如图 1-4 所示。

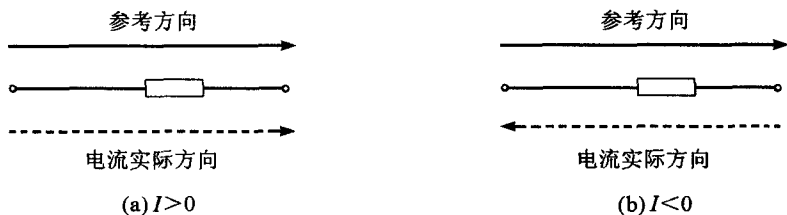


图 1-4 电流的方向

练习

1. 要保持导体中有持续的电流,导体两端要有_____。
2. 规定_____做定向运动的方向为电流的方向,金属导体中自由电子的运动方向与电流方向是_____的。
3. 通过电阻的电流是 5 A,经过 4 min,通过该电阻截面的电荷量是_____。

§ 1.3 电压和电位**1.3.1 电压**

带电体的周围存在着电场,电场是存在于电荷周围空间的特殊物质。电场中的电荷要受到电场对它的作用——电场力。当电场力使电荷移动时,电场力对电荷做了功。如图 1-5 所示电场中,电荷 q 在电场力 F 的作用下,由 a 移动到 b ,如果电荷 q 移动的距离是 L_{ab} ,那么电场力对电荷所做的功为

$$W = FL_{ab}$$

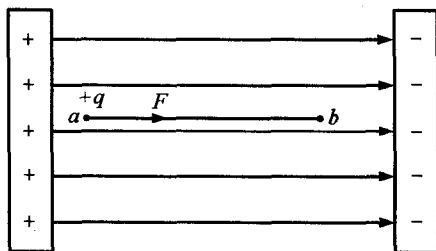


图 1-5 匀强电场中电场力对电荷做功

为了衡量电场力做功的大小,引入电压这个物理量。 a 、 b 两点间的电压在

数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功,可用下式表示

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q}$$

式中 q ——由 a 点移到 b 点的电荷量,单位库[仑],符号为 C;

W_{ab} ——电场力将 q 由 a 点移到 b 点所做的功,单位是焦[耳],符号为 J;

U_{ab} —— a, b 两点间的电压,单位是伏[特],符号为 V。

1.3.2 电位

电位在物理学中被称为电势,电路中各点的电位是相对的,与参考点(假定电位为零的点)的选择有关。在讨论电位问题时,首先要选定参考点,比参考点高的电位为正,比参考点低电位为负。某点电位等于该点与参考点间的电压,而两点间的电压又等于两点间的电位之差。如图 1-5 所示,若用符号 V_a 表示 a 点的电位,用 V_b 表示 b 点的电位,则有

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

若 $V_a = 0$ 则 $V_b = -U_{ab} < 0$; 若 $V_b = 0$ 则 $V_a = U_{ab} > 0$ 。由此可见,不管如何选定参考点,总有 $V_a > V_b$ 即 $U_{ab} > 0$ 。因此规定电压的方向由高电位指向低电位,是电位降低的方向,所以电压又称电位降。和电流相似,在电路计算中,事先无法确定电压的实际方向时,也常选定参考方向,如果计算为正值,那么该参考方向与实际方向相同;如果计算结果电压为负值,那么电压的实际方向与参考方向相反。

例 1 如图 1-6 所示,已知 $U_{CO} = 3 \text{ V}$, $U_{CD} = 2 \text{ V}$,试分别以 D 点和 O 点为参考点,求各点电位及 D, O 两点间的电压 U_{DO} 。

解

(1) 以 D 点为参考点,则 $V_D = 0$ 。因为

$$U_{CD} = V_C - V_D$$

则有 $V_C = U_{CD} + V_D = 2 + 0 = 2(\text{V})$

又由于 $U_{CO} = V_C - V_O$

则 $V_O = V_C - U_{CO} = 2 - 3 = -1(\text{V})$

$$U_{DO} = V_D - V_O = 0 - (-1) = 1(\text{V})$$

(2) 以 O 点为参考点,则 $V_O = 0(\text{V})$ 。同理

$$U_{CO} = V_C - V_O$$

$$V_C = U_{CO} + V_O = 3 + 0 = 3(\text{V})$$

$$U_{CD} = V_C - V_D$$

$$V_D = V_C - U_{CD} = 3 - 2 = 1(\text{V})$$

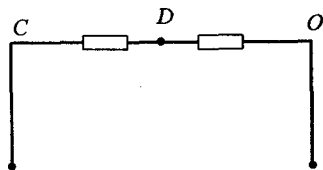


图 1-6

$$U_{DO} = V_D - V_O = 1 - 0 = 1(\text{V})$$

由上面计算的结果可知,参考点一旦改变,各点的电位也随之改变,而两点间的电压是不变的。

练习

1. 若 $V_a = 5 \text{ V}$, $V_b = 3 \text{ V}$, 则 $U_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$, $U_{ba} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
2. 电路中某点的 与参考点的选择有关, 若参考点改变, 各点的 将改变, 而两点间的电压 。
3. 如图 1-7 所示, 已知 $V_O = 0$, $V_A = 10 \text{ V}$, $V_B = 5 \text{ V}$, $V_C = -5 \text{ V}$, 则 $U_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$, $U_{BC} = \underline{\hspace{2cm}}$, $U_{AC} = \underline{\hspace{2cm}}$, $U_{CA} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

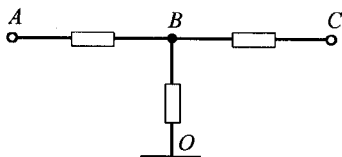


图 1-7

§ 1.4 电源和电动势

1.4.1 电源力

如图 1-8 所示电路, 在电场力 F_2 的作用下, 正电荷由正极板 A 经外电路

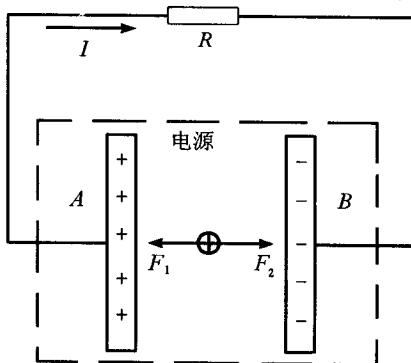


图 1-8 含有电源的电路

移动到负极板 B 时,与极板 B 上的负电荷中和,使 A 、 B 极板上聚集的正负电荷数减少,两极板间电压随之降低,最后正负电荷完全中和,两极板间电压为零,电流中断。要保证电路中有持续的电流, A 、 B 极板间必须存在一个与电场力方向相反的非静电力 F_1 ,它能将正电荷从 B 极板源源不断地移到 A 极板,以保证电路中有持续不断的电流,这种存在于电源内部的非静电性质的力称为电源力。

1.4.2 电动势

在电源内部,电源力不断地把正电荷从低电位移到高电位,这个过程中电源力要做功。为了衡量电源力做功的能力,引入电动势这个物理量。

在电源内部,电源力将单位正电荷从低电位移到高电位所做的功叫做电源电动势,用 E 表示,并且

$$E = \frac{W}{q}$$

式中 W ——电源力移动正电荷做的功,单位是焦[耳],符号为 J ;

q ——电源力移动的电荷量,单位是库[仑],符号为 C ;

E ——电源电动势,单位是伏[特],符号为 V 。

电动势的单位是伏特(V),方向规定为由电源负极(低电位)指向正极(高电位),在电源内部的电路中,是电源力移动正电荷形成电流,方向是从负极指向正极;在电源外部的电路中,是电场力移动正电荷形成电流,方向是从正极指向负极。在电源不接负载的情况下,电源电动势与电源端电压在数值上是相等的。如果电动势的方向与电压参考方向相反,如图 1-9(a) 所示,则有 $E = U$;若电动势的方向与电压参考方向相同,如图 1-9(b) 所示,则有 $E = -U$ 。

应当指出,尽管电源开路时电压与电动势在数值上相等,且有相同的单位,但是电动势与电压是两个物理意义不同的物理量。电动势只存在于电源内部,是衡量电源力做功的物理量;电压存在于电源的内、外部,是衡量电场力做功的物理量。电动势的方向从负极指向正极,是电位升高的方向;而电压的方向是从正极指向负极,是电位降低的方向。

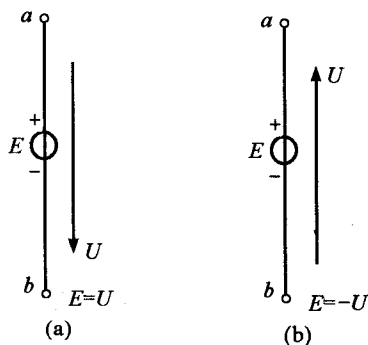


图 1-9

练习

1. 电源电动势的方向规定为由_____指向_____,是_____移动单位正电荷做功。
2. 电源电动势的大小由_____决定,与外电路_____。
3. 在外电路电流由_____极流向_____极,是_____做功;在内电路电流由_____极流向_____极,是_____做功。

§ 1.5 电阻和电阻定律

1.5.1 电阻

导体中的自由电子在电场力的作用下定向运动,形成电流。做定向运动的自由电子要与金属中的带正电粒子发生碰撞,从而阻碍自由电子的定向运动。可见导体对电荷的定向运动有阻碍作用,导体对电流的阻碍作用叫电阻,用字母 R 表示。任何物体都有电阻。

1.5.2 电阻定律

导体的电阻是客观存在的,它的大小不仅和导体的材料有关,还和导体的尺寸有关。经实验证明,在温度不变时,一定材料制成的导体的电阻跟它的长度成正比,跟它的截面积成反比。这个实验规律称为电阻定律,用公式表示为

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 R ——导体的电阻,单位是欧[姆],符号为 Ω ;

ρ ——电阻率,其值由电阻材料的性质来定,单位是欧[姆]米,符号为 $\Omega \cdot \text{m}$;

L ——导体的长度,单位是米,符号是 m ;

S ——导体的截面积,单位是平方米,符号为 m^2 。

导体的电阻不仅和材料性质、尺寸有关,还和温度有关。对于金属导体,温度升高,做定向运动的自由电子运动加速,必然与金属中的带正电粒子发生碰撞的机会增多,受到的阻碍加大,电阻增大;反之,电阻减小。但是有些合金的电阻几乎不受温度影响,可用来制成标准电阻。

几种常见材料在 20°C 时的电阻率见表 1-1。

表 1-1 20 °C 时材料的电阻率

材料名称	电阻率 $\rho(\Omega \cdot \text{m})$	材料名称	电阻率 $\rho(\Omega \cdot \text{m})$
银	1.65×10^{-8}	碳	1.0×10^{-6}
铜	1.75×10^{-8}	康铜	5.0×10^{-7}
铝	2.83×10^{-8}	锰铜	4.4×10^{-7}
钨	5.3×10^{-8}	电木	$10^{10} \sim 10^{14}$
铁	9.8×10^{-8}	橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$

电阻率反映了物质的导电性能,电阻率越大,电阻越大,导电性能越差。根据物质的电阻率,将物质分为三类:导体、绝缘体和半导体。将 $\rho < 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 的物质称为导体,如银、铜、铝等是电的良导体。 $\rho > 10^5 \Omega \cdot \text{m}$ 的物质称为绝缘体,如玻璃、木棒等不能导电。半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间,如硅、锗。

例 2 要绕制一个 3Ω 的电阻,如果选用截面为 1.48 mm^2 的锰铜导线,问需多长?

解 查表可知锰铜的电阻率 $\rho = 4.4 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$,由电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S}$ 可求得

$$L = \frac{RS}{\rho} = \frac{3 \times 1.48 \times 10^{-6}}{4.44 \times 10^{-7}} = 10(\text{m})$$

练习

1. 电阻是指导体对_____的阻碍作用。
2. 导线电阻大小不仅与导体的_____和_____有关,还与_____有关。
3. 电阻定律的数学表达式是:_____。
4. 一根铜导线长 800 m,截面积为 2 mm^2 ,它的电阻是_____。

§ 1.6 欧姆定律

1.6.1 部分电路欧姆定律

图 1-10 为不含电源的部分电路,当在电阻两端加上电压时,电阻中就有电流流过。通过实验可以知道:流过电阻的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比,与电阻成反比。这一个结论称为部分电路欧姆定律,用公式表示为

$$I = \frac{U}{R}$$

从图中可以看出,电阻两端的电压方向和流过电阻的电流方向都是从高电位指向低电位,即电压与电流的参考方向一致,称为关联参考方向。当 U 、 I 间为非关联参考方向(U 、 I 的参考方向相反)时,欧姆定律应写成 $I = -\frac{U}{R}$,式中“-”切不可漏掉。

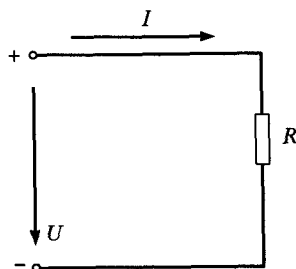


图 1-10 部分电路欧姆定律

对于某一确定电阻,其两端电压与流过的电流总成正比关系。若以电流为横坐标,电压为纵坐标,可画出电阻的电压和电流之间的关系曲线。

如图 1-11 所示,由欧姆定律可得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0.2} = \frac{4}{0.4} = \frac{6}{0.6} = \dots = 10(\Omega)$$

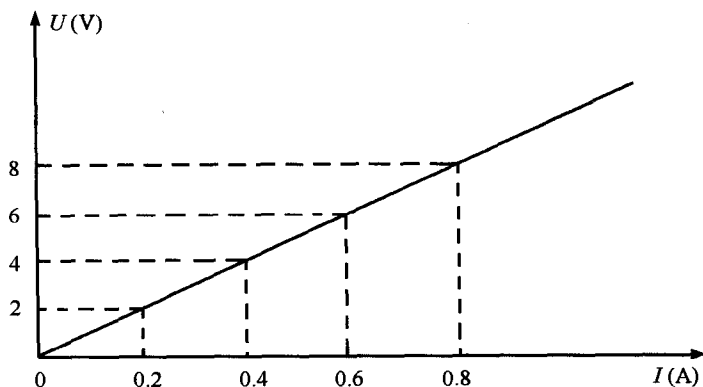


图 1-11 线性电阻的电压、电流关系

从曲线上可以看出,电阻值不随电压、电流的变化而变化,即电阻值是一个常数,我们称这样的电阻为线性电阻,由线性电阻组成的电路称为线性电路。特别指出的是,欧姆定律只适用于线性电路。

1.6.2 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路,如图 1-12 所示, R 为负载的电阻, E 为电源的电动势, r 为电源的内阻。

电路闭合后,电路中有电流 I ,电阻 R 和 r 都产生电压降 $U_{\text{外}}$ 、 $U_{\text{内}}$,且有路端电压

$$U_{\text{外}} = E - U_{\text{内}}$$

根据部分电路的欧姆定律可知

$$U_{\text{外}} = IR, \quad U_{\text{内}} = Ir$$

把它们代入上式,则有 $IR = E - Ir$

整理得
$$I = \frac{E}{R + r}$$

式中 E ——电源电动势,单位是伏[特],

符号为 V ;

R ——负载电阻,单位是欧[姆],符号是 Ω ;

r ——电源内阻,单位是欧[姆],符号是 Ω ;

I ——闭合电路的电流,单位是安[培],符号为 A 。

上式说明,闭合电路中的电流与电源电动势成正比,与电路的总电阻(内电路电阻与外电路电阻之和)成反比,这一规律叫全电路欧姆定律。

由上式可知,当 R 增大时, I 减小, $U_{\text{外}}$ 增大;当 $R \rightarrow \infty$ (断路状态), $I \rightarrow 0$, 则 $U_{\text{外}} = E$, 即断路时端电压等于电源电动势。

当 R 减小时,则 I 增大, $U_{\text{外}}$ 减小;当 $R = 0$ 时, $U_{\text{外}} = 0$, 这种情况称为短路状态,此时 $I_s = \frac{E}{r}$, 由于 r 很小,所以短路电流很大,可能烧毁电源,为此电路中必须有短路保护装置。

例 3 有一电源电动势 $E = 3 \text{ V}$, 内阻 $r = 0.4 \Omega$, 外接电阻 $R = 9.6 \Omega$, 求电源端电压和内压降。

解 由全电路欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{3}{9.6 + 0.4} = 0.3(\text{A})$$

由部分电路欧姆定律可求得

电流端电压 $U_{\text{外}} = IR = 0.3 \times 9.6 = 2.88(\text{V})$

内压降 $U_{\text{内}} = Ir = 0.3 \times 0.4 = 0.12(\text{V})$

例 4 已知电源的开路电压 $U_0 = 1.5 \text{ V}$, 接上 9Ω 的负载电阻时,其路端电压为 1.35 V , 求电池的内电阻 r 。

解 由已知得 $U = 1.35 \text{ V}$, 即 $IR = 1.35 \text{ V}$, 则

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1.35}{9} = 0.15(\text{A})$$

开路时, $E = U_0 = 1.5 \text{ V}$, 由全电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R + r}$ 得

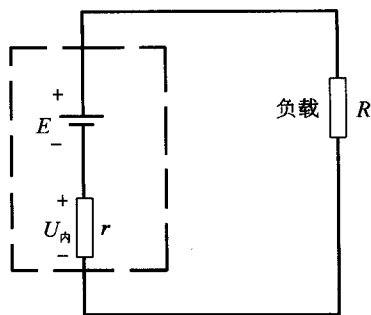


图 1-12 全电路欧姆定律