

铁路职业教育铁道部规划教材

电工电子技术

DIANGONGDIANZIJISHU

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI

王友勇 谢立波 毛必显 编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

电工电子技术

王友勇 谢庆波 毛必显 编
程 立 审

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国铁道出版社

2009年·北京

内 容 简 介

本书是铁路职业教育铁道部规划教材之一,主要介绍了电路的基本知识和相关计算、基本元器件的认识和选用、电子技术基础、逻辑电路的原理和应用、计算机基础知识和工业计算机的应用等。

本书可作为高职、中专铁道工程(大型养路机械)专业的专业基础课程教材,也可作为学习较复杂的机械控制系统的岗位技能读本。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/王友勇,谢庆波,毛必显编. —北京:
中国铁道出版社,2009.2
铁路职业教育铁道部规划教材
ISBN 978-7-113-09633-5

I. 电… II. ①王…②谢…③毛… III. ①电工技术—职业
教育—教材②电子技术—职业教育—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 015122 号

书 名:电工电子技术

作 者:王友勇 谢庆波 毛必显 编

责任编辑:金 锋

电话:010-51873134

电子信箱:jinfeng88428@163.com

封面设计:陈东山

责任校对:张玉华

责任印制:金洪泽 陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市华丰印刷厂

版 次:2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:13.25 字数:330 千

书 号:ISBN 978-7-113-09633-5/TM·84

定 价:25.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前言

本书由铁道部教材开发小组统一规划,为铁路职业教育规划教材。本书是根据铁道职业教育铁道工程(大型养路机械)专业教学计划“电工电子技术”课程教学大纲编写的,由铁路职业教育铁道工程(大型养路机械)专业教学指导委员会组织,并经铁路职业教育铁道工程(大型养路机械)专业教材编审组审定。

随着我国经济的快速发展,铁路在国民经济中的作用愈显突出。进入新世纪以来,我国铁路进入了大发展的快车道,伴随着六次大面积提速,铁路的技术装备和管理水平进入世界先进行列,铁路线路维修也进入了机械化时代。

自从1984年从国外引进大型养路机械进行线路维修、大修以来,铁路工务系统的作业方式和维修体制已经发生了根本性的变革,线路养护修理的质量、效率得到极大地提高,施工与运行的矛盾得到很大程度的缓解,施工生产中的事故明显减少。特别是在铁路的六次大提速工程中,大型养路机械更是发挥了不可替代的作用,已成为确保线路质量,提高既有线路效能,保证高速、重载、大密度铁路运输必不可少的现代化装备。

正是由于大型养路机械设备为铁路建设事业的发展作出的巨大贡献,所以,大型养路机械事业正以飞快的速度向前发展。全路大型养路机械设备的品种和装备数量快速增加,大型养路机械使用人员的队伍正不断壮大。大型养路机械是资金密集、技术密集的现代化设备,具有结构复杂、生产率高、价格昂贵等特点,并且大型养路机械使用集运行、施工、检修于一身,所以,大型养路机械的运用人员必须具有较高的综合素质和技术业务水平,并通过专业培训和岗位学习使自身的能力得到不断的提高。

鉴于此,铁道部教材开发小组统一规划组织了《配砟整形车》、《全断面道砟清筛机》、《抄平起拨道捣固车》、《钢轨打磨列车》、《轨道动力稳定车》、《大型养路机械运用管理》等一系列铁道工程(大型养路机械)专业教材,以满足大型养路机械运用人员学习和培训的需要。

本书为铁路职业教育铁道工程(大型养路机械)专业的专业基础课教材,主要介绍了电路的基本知识和相关计算、基本元器件的认识和选用、电子技术基础、逻辑电路的原理和应用、计算机基础知识和工业计算机的应用等,有助于学生较快掌握其中的基本技能,提高职业素养。

本书有如下特色:

1. 本书属基础知识性质,选题新颖,力求反映电子技术的新成就和新经验,以

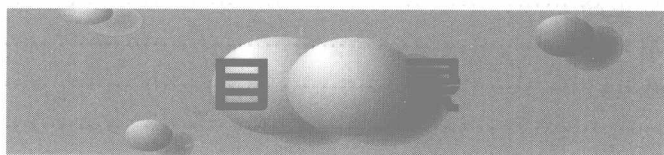
适应我国经济迅速发展的需要。

2. 理论联系实际,以应用技术为主,努力培养读者良好的知识素养。

本书由南宁铁路局柳州工务机械段王友勇、谢庆波和铁路大型养路机械培训中心毛必显高级工程师编写,昆明中铁大型养路机械集团有限公司程立高级工程师参审并校对。在编写过程中得到了许多同仁的支持和帮助,在此表示感谢。

限于我们的知识水平和实践能力,书中难免有纰漏和错误,恳请专家与读者批评指正。

编 者
2008. 12



第一章 电路基础	1
第一节 电路的概念	1
第二节 电路的基本物理量	3
第三节 电阻与电导	11
第四节 欧姆定律	13
第五节 焦耳—楞次定律	17
第六节 电路的工作状态	18
复习思考题	20
第二章 基本元器件认识	21
第一节 常用电阻器	21
第二节 电容器与电容	23
第三节 电感器与电感	28
第四节 继电器	32
第五节 传感器	37
复习思考题	40
第三章 直流电路分析	42
第一节 电阻串联电路	42
第二节 电阻并联电路	45
第三节 电阻混联电路	49
第四节 电容器的串联和并联	53
第五节 电源的串联和并联	55
第六节 电路中各点电位的计算	58
第七节 电桥中各点的平衡条件	62
第八节 负载获得最大功率的条件	63
第九节 基尔霍夫定律	64
第十节 万用表的基本原理	66
复习思考题	70
第四章 正弦交流电路分析	72
第一节 正弦交流电路基本概念	72

第二节 正弦交流电路相量表示法	77
第三节 单一参数的正弦交流电路	80
第四节 RLC 串联电路	86
第五节 RLC 并联电路	88
第六节 三相交流电路	89
复习思考题	93
第五章 半导体器件	96
第一节 半导体的基本知识	96
第二节 PN 结及其特性	100
第三节 半导体二极管	103
第四节 特殊半导体二极管	107
第五节 半导体三极管	111
第六节 特殊三极管	121
第七节 场效应管	123
复习思考题	128
第六章 放大电路基础	129
第一节 共发射极基本放大电路	129
第二节 静态工作点的稳定	135
第三节 多级放大器	137
第四节 负反馈放大电路	140
第五节 集成运算放大器和电压比较器	148
复习思考题	150
第七章 直流稳压电路	152
第一节 硅稳压管稳压电路	152
第二节 半导体管串联型稳压电路	155
第三节 串联型直流稳压电路	158
第四节 集成稳压电路	160
第五节 开关稳压电路简介	162
复习思考题	163
第八章 逻辑电路	164
第一节 数制和 BCD 编码	164
第二节 逻辑数学	166
第三节 逻辑门电路	173
第四节 组合逻辑电路	175
第五节 触发器和时序逻辑电路	178
第六节 脉冲波形的产生与整形	182

复习思考题	186
第九章 数/模与模/数转换器	187
第一节 数/模(D/A)转换器	187
第二节 模/数(A/D)转换器	191
第三节 采样—保持电路	193
复习思考题	195
第十章 工业计算机应用	196
第一节 微型计算机常识	196
第二节 总线技术应用	197
第三节 工业计算机简介	199
第四节 轨道形状处理机简介	202
复习思考题	203
参考文献	204

第一章

电路基础

围绕一般机械电气系统的识读与分析,我们首先需要掌握电子电路的基础知识。本章对电路的概念、电路的基本物理量,以及电路最基本的欧姆定律进行介绍。

第一节 电路的概念

一、电 路

电流经过的路径叫做电路。用电源、负载、开关和导线便可组成一个最简单的电路,图1-1(a)即为电路的实物接线图,其中电源是一节干电池。将其他形式的能量转换成电能的装置称为电源,常用的电源还有蓄电池、发电机等,它们分别将化学能、机械能转换成电能。随着科学技术的日益发展和各种能源的充分开发,如水力资源、原子能、太阳能、地热、潮汐、风能等都已成为电能的来源。将电能转换为其他形式能量的器件或设备称为负载,也称作用电器。图1-1(a)中的电灯即为负载,它可以将电能转换成光能。电炉和电动机则分别将电能转换为热能、机械能。开关起切断或接通电路的作用,连接导线是输送和分配电能的导体,常用的导线有铜线、铝线。

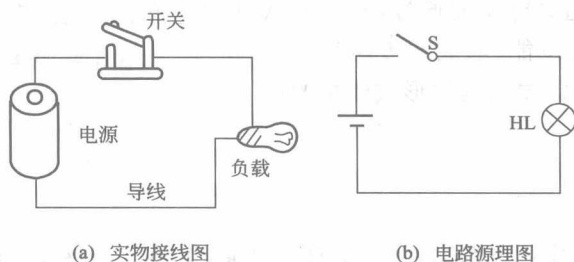


图 1-1 电路图

一个完整的电路,一般应由电源、负载、中间环节(导线、开关等)三个部分组成。中间环节连接着电源和负载,它起着传输、控制和分配电能的作用。如收音机的电路,它由天线、晶体管、电阻器、电容器和扬声器等组成。它把天线接收到的信号经过中间电路的处理和放大,然后推动扬声器工作使之播放出声音。在这个电路里,天线就可看成是一种电源(信号源);扬声器把电能转换为声能,就是一种负载;而各种中间的处理和放大电路等就可看成是中间环节。

电路又分为外电路和内电路。从电源的一端经过负载再回到电源另一端的电路,叫做外

电路。电源内部的通路,如电池内部两极之间的通路,叫做内电路。

用电池、直流发电机等作电源的电路,称为直流电路;用交流发电机等作电源的电路,称为交流电路。我们主要对直流电路进行介绍与分析。

二、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,但从抽象和概括的角度来看,电路的作用主要体现在以下两个方面:

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,这时电路主要是用来传送、分配和变换电能。发电厂的发电机将热能、水能和核能等转换成电能,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换成机械能、热能或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

在电视机电路中,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换为相应的电信号,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。

总之,在电路中,随着电流的通过,进行着从其他形式的能量转换成电能、电能的传输和分配以及又把电能转换成所需要的其他形式能量的过程。



图 1-3 电视机电路示意图

三、电路图

像图 1-1(a)那样的实物电路图,看起来直观易懂,但画起来麻烦,而且没有突出电路的特征。因此,在实际中是将实物接线图 1-1(a)中的各实物用特定的电路符号来表示,即画成图 1-1(b)所示的电原理图。通常所说的电路图,都是指电原理图。

电路图中常用的电路符号见表 1-1。

表 1-1 中的各种图形符号有规律地组合便可构成各种电路图。如图 1-1(b)所示的电路,在开关 S 闭合时只有一条电流经过的路径,称为单回路电路或无分支电路。图 1-4 所示也是一个单回路电路,但在电路中有两个电阻负载,一个是灯泡,一个是电阻器。单回路电路的工作过程是比较简单的。开关 S 闭合,电路接通(通路),电路中有电流流过,电灯发亮;开关 S 断开,电路开路(断路),电路中没有电流流过,电灯不亮。

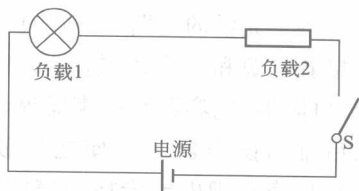
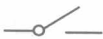


图 1-4 有两个负载的电路

表 1-1 常用的电路图形符号

符 号	名 称	符 号	名 称	符 号	名 称
	开关		电阻器		接机壳
	电池		电位器		接地
	发电机		电容器		端子
	电感器 线圈		电流表		连接导线 不连接导线
	带铁芯 电感器		电压表		熔断器
	抽头线圈		二极管		灯

第二节 电路的基本物理量

无论哪一种电路,在实现它的能量转换时,都要涉及电流、电压、电动势和电功率等物理量。我们对电路进行分析和计算,也就是对这些量的分析和计算,所以有必要首先掌握这些基本物理量的概念。

一、电 流

1. 电流的形成

由物质的内部结构分析已经知道,任何物质都是由分子组成,分子是由原子组成,而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成。在自由状态下,导体中的电子或液体和气体中的离子作无规则的自由运动;在一定外加条件下,如将导体接上电源,导体中电荷将有规则地定向运动而形成电流。在金属导体中,电流是自由电子在外电场作用下有规则地定向运动形成的。在某些液体或气体中,电流则是正离子或负离子在外电场作用下,向相反方向运动而形成的。由此可知,电流的产生需要有两个必要条件:第一,导体内要有可以移动的自由电荷,如自由电子、正离子或负离子等;第二,导体内要维持一个电场,即外加电源。这两个条件缺一不可。

水往一定方向流动形成水流,同样,如果物体里的带电质点往一定方向运动便形成电流。人们虽然看不见电流,但可以通过它的热效应、磁效应和光效应等来观察其存在。

2. 电流的大小

衡量电流大小的物理量是电流强度,它取决于在单位时间内通过导体横截面的电荷量的多少。电荷量简称电荷,单位是库仑,用字母 C 表示。在相同时间内通过导体横截面的电荷量越多,就表示流过该导体的电流越强,反之越弱。电流强度在数值上等于 1 s 内通过导体横截面的电荷量,用字母 I 表示。若在时间 $t(\text{s})$ 内通过导体横截面的电荷量是 $Q(\text{C})$,则电流强度 I 就可用下式表示

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

电流强度的基本单位是安培,简称安,用字母 A 表示。若在 1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 C,则电流强度就是 1 A。常用的电流强度单位还有 kA(千安)、mA(毫安)、 μ A(微安),它们之间的换算关系是:

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

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

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

例 1-1 某导体在 5 min 内均匀通过的电荷量为 4.5 C,求导体中的电流是多少毫安?

解
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{4.5}{5 \times 60} = 0.015 (\text{A}) = 15 \text{ mA}$$

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。为统一起见,规定以正电荷运动的方向为电流的方向。

在金属导体中,在电场力的作用下,自由电子定向运动形成的电流的实际方向,与电子的定向运动方向相反,如图 1-5 所示。

在分析或计算电路时,常常需要确定电流的方向。这在简单的直流电路中容易确定,但当电路比较复杂时,某段电路中电流的实际方向往往难以确定。此时可先假定电流的参考方向,然后列方程求解电流。当解出值为正值时,就表示电流的实际方向与所假设的参考方向一致,如图 1-6(a)所示;反之,当电流为负值时,就表示电流的实际方向与参考方向相反,如图 1-6(b)所示。

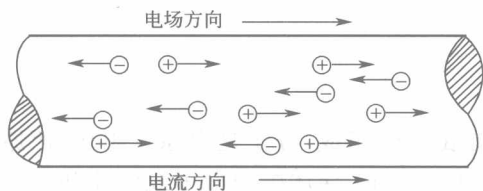


图 1-5 电荷的运动方向和电流方向

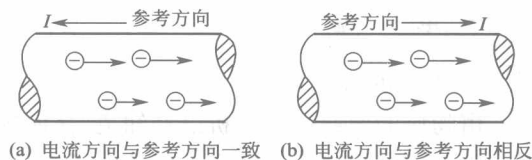


图 1-6 电流的方向

例 1-2 图 1-7(a)中的方框用来泛指某元件。设已知流过图中所示元件的直流电流为 1 A,方向为由 a 至 b,试问如何表示这一电流?

解 有两种表示方法,如图 1-7(b)和图 1-7(c)所示,显然有 $I_1 = -I_2$ 。

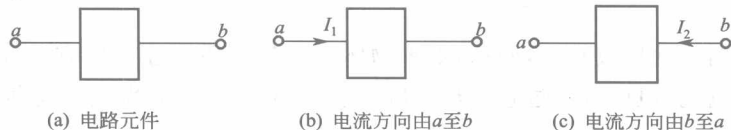


图 1-7 电流方向表示

实际电流的方向由计算结果的正负来判断:正则为设定方向;负则与设定方向相反。

4. 电流的种类

电流分直流电流和交流电流两大类。大小和方向都不随时间变化的电流,称为稳恒电流,简称直流(简写作 DC),直流电流与时间之间的函数关系如图 1-8(a)所示;大小随时间变化,

而方向不随时间变化的电流,称为脉动电流,波形如图 1-8(b)所示;大小和方向都随时间变化的电流,称为交流电流,简称交流(简写作 AC),其波形如图 1-8(c)所示。其中,脉动电流是交流电流的一种。

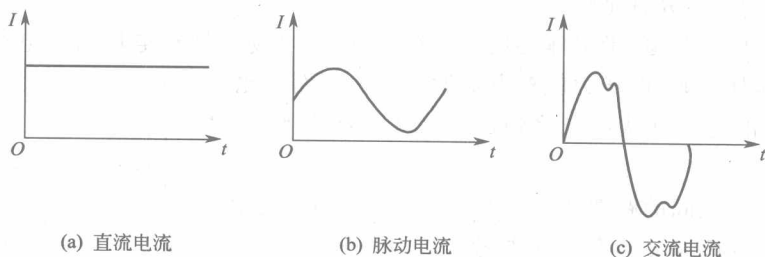


图 1-8 电流强度与时间的关系波形

脉动电流和交流电流的大小虽然随时间而变化,但可以在一个很短的时间 Δt 内研究它们的大小。在 Δt 时间内,若导体横截面的电荷量变化是 ΔQ ,则瞬时电流强度 i 为

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

5. 电流密度

在实际工作中,有时需要选择导线的粗细(或截面积),这就要用到电流密度这一概念。流过导体单位横截面积的电流,叫做电流密度,用字母 J 表示。若电流在导体横截面上均匀分布,则

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-3)$$

常用的电流密度单位是 A/mm^2 。截面面积不同的导线所允许的电流密度不同。当导线中通过的电流超过允许值时,导线将发热,严重时甚至会烧毁。

6. 电流的测量

为了具体了解电路中电流的大小,以便在分析电路时作为依据,必须经常测量电路中的电流。通常用电流表测量电流。电流表按其测量范围不同,有安培表、毫安表、微安表等,在表盘上分别用 A、mA、 μA 标明。用电流表测量电流时,具体方法如下:

(1) 粗略估计电路中电流的大小,以便选择电流表的量程。若一时无法确定,可先把电流表的量程选择置于最大挡位进行测量,然后逐步缩小测量范围。

(2) 电流表应串接在电路中,使被测电流由电流表的“+”端流入,从“-”端流出,如图 1-9 所示。

(3) 测量电流时,如发现表针猛然打到头,要立即断开电源,检查原因。

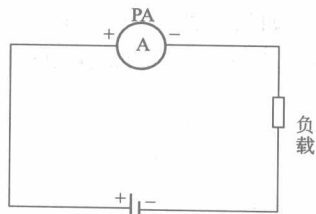


图 1-9 电流表的接法

二、电位、电压与电动势

1. 电位

电路中的每一点均有一定的电位,这就如同空间的每一处均有一定的高度一样。为了说明高度,就必须要有有一个计算高度的起点,如某一架空线的高度为 9 m,这个高度实际上是从

地面算起的,只是因不说自明,所以常常省去这一标准。

同样,为了分析电路中某一点电位,也必须先指定一个计算电位的起点,一旦规定了计算起点,则电路中各点的电位就可以确定了。

那么,电位的含义究竟是什么呢?

从物理学中已经知道,带电体的周围存在着电场,电场对处在电场内的电荷有力的作用,当电场力使电荷移动时,电场力就对电荷做了功。下面来比较一下在图 1-10 所示的均匀电场中,电场力 f 把正电荷 Q 从 a 点移到 o 点和从 b 点移到 o 点所做的功。

设 a 点与 o 点之间的距离为 L_{ao} , b 点与 o 点之间的距离为 L_{bo} , 则电场力 f 将 Q 从 a 点移到 o 点做的功为

$$A_{ao} = fL_{ao}$$

电场力 f 将 Q 从 b 点移到 o 点做的功为

$$A_{bo} = fL_{bo}$$

由于电荷量不同时,作用在电荷上的电场力也不同,电场力所做的功也不同,因此规定:电场力把单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功,称为该点的电位,用符号 φ 表示。从定义中可以看出,电场中某点的电位与电场强度和该点在电场中的位置有关,与该点有无电荷无关。

以 o 点为参考点时, a 点的电位 φ_a 为

$$\varphi_a = \frac{A_{ao}}{Q} \quad (1-4)$$

b 点的电位 φ_b 为

$$\varphi_b = \frac{A_{bo}}{Q} \quad (1-5)$$

很明显,由于 $A_{ao} > A_{bo}$, 因而 a 点电位比 b 点电位高。如果不选择 o 点作参考点,而另选择一个参考点,那么 φ_a, φ_b 的数值将与上面不同。可见,电场中某点的电位与参考点的选择有密切关系。人们通常以大地作为参考点,在电子设备中一般以金属底板、机壳等作为参考点,这样便于比较各点的电位。电位的概念很重要,在分析电子电路时要经常用到。

参考点的电位规定为零,因而低于参考点的电位是负电位,高于参考点的电位是正电位。

如果功的单位是 J(焦耳),电荷的单位是 C(库仑),则电位的单位就是 V(伏特,简称伏)。除 V 之外,电位的常用单位还有 kV、mV、 μ V,它们之间的换算关系是

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

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

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

这里应该特别指出的是,参考点不同,电路中各点的电位有不同的数值,这可以由下面的例题计算得到说明。

例 1-3 图 1-11 所示的一段导体中,已知电场力将 3C 的正电荷 Q 从 a 点移到 b 点需做功 9 J,由 b 点移至 c 点需做功 6 J。试计算:

(1) 以 c 点为参考点时, a 点和 b 点的电位分别是多少?

(2) 以 b 点为参考点时, a 点和 c 点的电位分别是多少?

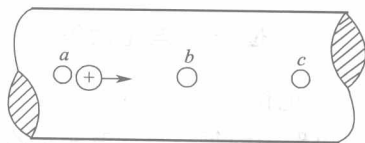


图 1-11 例 1-3 图

解 (1) 以 c 点为参考点, 即 $\varphi_c = 0$ 。根据电位定义, b 点的电位 φ_b 就是电场力将单位正电荷从 b 点移至 c 点所做的功, 即

$$\varphi_b = \frac{A_{bc}}{Q} = \frac{6}{3} = 2(\text{V})$$

同理, a 点的电位是电场力将单位正电荷从 a 点移至 c 点所做的功, 也就是从 a 点移至 b 点和从 b 点移至 c 点所做的功之和, 即

$$A_{ac} = A_{ab} + A_{bc} = 9 + 6 = 15(\text{J})$$

$$\varphi_a = \frac{A_{ac}}{Q} = \frac{15}{3} = 5(\text{V})$$

(2) 以 b 点为参考点, 即 $\varphi_b = 0$, 则 a 点电位为

$$\varphi_a = \frac{A_{ab}}{Q} = \frac{9}{3} = 3(\text{V})$$

根据已知条件, 由 b 点移至 c 点电场力需做 6J 的功。现求 c 点电位, 即求由 c 点移至参考点 b 所做的功。由图可知, $c \rightarrow b$ 是逆电场方向移动, 电场力做负功, 所以

$$\varphi_c = \frac{A_{cb}}{Q} = \frac{-A_{bc}}{Q} = \frac{-6}{3} = -2(\text{V})$$

由上例可知, 参考点不同, 各点电位的数值也不同。只有确定了参考点之后, 各点电位才有确定的数值。

2. 电压

电压是衡量电场力做功能力大小的物理量。若电场力将电荷 Q 从 a 点移到 b 点, 所做的功为 A_{ab} , 则两点间的电压 U_{ab} 为

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{Q} \quad (1-6)$$

由上式可知, 电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功称为 a, b 两点间的电压。

在讨论电路问题时, 有时需要研究两个点之间的电位关系, 这就要用到电位差的概念。在图 1-10 中, a 点与 b 点间的电位差是

$$\varphi_a - \varphi_b = \frac{A_{ao}}{Q} - \frac{A_{bo}}{Q} = \frac{A_{ab}}{Q} = U_{ab}$$

可见, 电场中两点间的电位差, 就是两点间的电压。由于电压是电位之差, 所以, 电路中某两点的电压大小只跟该两点的位置有关, 而与参考点的选择无关。

在图 1-10 中, a 点与参考点 o 之间的电压是

$$U_{ao} = \varphi_a - \varphi_o$$

由于 $\varphi_o = 0$, 所以 $U_{ao} = \varphi_a$ 。因此, 电场中某点与参考点之间的电压, 就是该点的电位。

当导体两端加有电场时, 导体两端就有电位差, 导体内的自由电子受到电场力的作用而有规则地定向运动, 从而形成电流。可见导体内产生电流的必要条件是: 导体两端必须存在电位差, 即电压。

电压和电流一样, 不但有大小, 而且还有方向, 即有正有负。电压的实际方向规定由高电位指向低电位, 即电位降低的方向。在电路图中, 常用带箭头的细实线, 或采用“+”、“-”号, 或采用双下标表示电压的方向。其中, “+”号表示电压的高电位端, “-”号表示电压的低电位端; 当电压参数采用双下标时, 表明电压方向从第一个下标指向第二个下标。若遇到电路中某两点间的电压方向不能预先确定时, 也可先假定电压的参考方向, 再根据所得数值的正负来确

定其实际方向。

根据电压与电位的关系,有

$$U_{ba} = \varphi_b - \varphi_a = -(\varphi_a - \varphi_b) = -U_{ab}$$

这说明两点间的电压参考方向假定不同时,其关系是数值相等符号相反。

如果电压的大小和方向不随时间而变动,这样的电压叫做恒定电压或直流电压,用 U 表示;如果电压的大小和方向都随时间变化,则称为交变电压或交流电压,用 u 表示。

电压的单位与电位的单位一样,也是 V,常用的单位还有 kV(千伏)、mV(毫伏)、 μ V(微伏)。

电压可用电压表来测量其大小。测量时,应将电压表的选择开关置于适当的量程上,使电压表的正负极和被测电路电压的极性一致,然后把电压表与被测电路并联,不要串联。

例 1-4 在图 1-12 中,设 $U_{\omega} = 6\text{ V}$, $U_{cd} = 2\text{ V}$ 。试分别以 c 点和 o 点作参考点,求 d 点电位和 d, o 两点间的电压。

解 (1) 以 c 点为参考点,即 $\varphi_c = 0$ 。

因为 $U_{cd} = \varphi_c - \varphi_d$
故 $\varphi_d = \varphi_c - U_{cd} = 0 - 2 = -2(\text{V})$

因为 $U_{\omega} = \varphi_c - \varphi_o$
故 $\varphi_o = \varphi_c - U_{\omega} = 0 - 6 = -6(\text{V})$

所以 $U_{do} = \varphi_d - \varphi_o = -2 - (-6) = 4(\text{V})$

(2) 以 o 点为参考点,即 $\varphi_o = 0$ 。

因为 $U_{\omega} = \varphi_c - \varphi_o$
故 $\varphi_c = U_{\omega} + \varphi_o = 6 + 0 = 6(\text{V})$

因为 $U_{cd} = \varphi_c - \varphi_d$
故 $\varphi_d = \varphi_c - U_{cd} = 6 - 2 = 4(\text{V})$

所以 $U_{do} = \varphi_d - \varphi_o = 4 - 0 = 4(\text{V})$

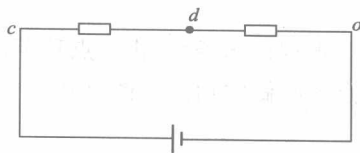


图 1-12 例 1-4 图

由以上计算结果可知,参考点变了,电位的值也随之而变,但不管参考点如何变化,两点间的电压是不改变的。通常把这一性质称为电位的相对性和电压的绝对性。

3. 电动势

(1) 电动势的产生过程

要使电路中有持续不断的电流,就必须保证电路中有一定的电位差存在,而维持这种电位差依靠的是电源。在前面已叙述过,电源是将其他形式的能量转换为电能的装置。电源内部的能量能维持两个电极保持一定的电位差,并使正极的电位高于负极的电位。

在电池和发电机这两种电源中,产生电位差的方式是不同的。在电池中,是由电解液和极板之间的化学反应而产生的;而在发电机中是由机械能通过电磁感应,在发电机内部的线圈中产生的。但是,它们有一个共同点,就是能把电源内部导体中的正、负电荷分别推向两个电极,使得一个电极具有一定数量的正电荷,另一个电极具有相等数量的负电荷,于是在两极之间就形成了电场,出现了一定的电位差。我们把电源内部这种推动电荷移动的作用力称为电源力。

现以发电机中的一段导体为例,分析电源内部的情况。导体内部有大量的自由电子,在电源力 F' 的作用下,电子向导体的一端运动,使这段导体的一端出现电子积累,而另一端则因缺少电子而出现正电荷的积累,如图 1-13(a) 所示。

由于电源力使导体中的正、负电荷分离,在电源的内部就产生了电场。这时,电荷除受电

源力作用外,还受到电场力的作用。电场力 F 和电源力 F' 的方向恰好相反,如图 1-13(b)所示。开始时 $F' > F$,自由电子继续向一端移动,促使正、负电荷在导体两端的积累增加,电场力 F 增大。当导体两端电荷积累到一定程度时, $F' = F$,如图 1-13(c)所示。自由电子就停止定向移动,导体两端电荷的积累处于稳定状态,两端产生了稳定的电位差。

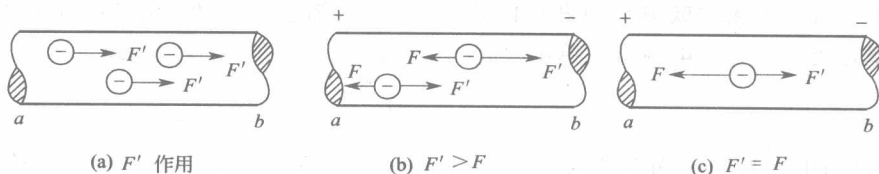


图 1-13 电动势的产生过程

既然电位差的产生是电源力移动电荷的结果,因而电源力对电荷做了功。电源力将单位正电荷从电源负极经电源内部移动到正极所做的功,叫做电源的电动势,用字母 E 表示。如果被移动的电荷量用 Q 表示, A_{ab} 表示电源力把 Q 从 a 端移送到 b 端所做的功,则有

$$E = \frac{A_{ab}}{Q} \quad (1-7)$$

式中,功的单位为 J,电量的单位为 C,则电动势的单位为 V。

电动势是用来衡量电源力对电荷做功能力的物理量。在电源力的作用下,电源不断地把其他形式的能量转换为电能。

(2) 电源电动势与电源端电压的关系

电源两端具有不同的电位,它们之间的电位差便是电源的端电压,有时也称为电源电压。由以上分析可知,电源的电动势在数值上等于电源两端的电位差(端电压)。但两者的方向相反:电动势的方向(或极性)是由电源的负极指向正极(由低电位指向高电位),是电位升的方向;而电压的方向是由正极指向负极(由高电位指向低电位),是电位降的方向。电源的电动势与端电压的方向表示以及电源的常用画法,如图 1-14 所示。其长线表示电源正极,短线表示电源负极。电动势的方向由负极指向正极,而端电压则由正极指向负极。

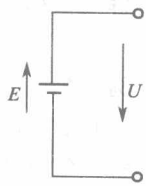


图 1-14 电动势与端电压的方向

(3) 电动势与电压的区别

电动势与电压的定义类似,但是两者是有区别的,具体如下:

① 电动势与电压具有不同的物理意义,电动势表示非电场力(电源力)做功的大小,而电压则表示电场力做功的大小。

② 电动势与电压的方向不同,电动势的方向由低电位指向高电位,即电位升的方向,而电压与之相反。

③ 电动势仅存在于电源内部,电压不仅存在于电源两端,而且也存在于电源外部。

三、电能与电功率

1. 电能

当电流在电路中流动时,电源力和电场力都要做功。使正电荷从电源正极经外电路移至电源负极,是电场力做功;使正电荷在电源内部从负极移至正极是电源力做功。电场力或电源力在一段时间内移动电荷所做的功,称为电功,也称为电流的电能,用 A 表示。

根据电流、电压的定义,由公式 $I = \frac{Q}{t}$, $U = \frac{A}{Q}$,可得出电能 A 的数学表达式为