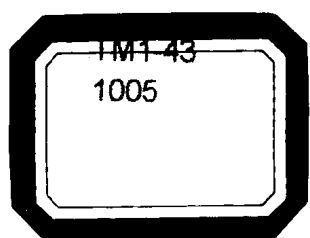


电工基础

丰满水电技术学校 贾文贵 编





177290

电 工 基 础

丰满水电技术学校 贾文贵 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是电力部所属电力技工学校电气类专业通用教材。全书共分八章：直流电路的基本概念；直流电路的分析计算；电磁与磁路；正弦交流电路的基本概念；正弦交流电路的分析计算；三相正弦交流电路；非正弦交流电路；线性电路的过渡过程。

为了便于教学，帮助学生掌握和巩固基本概念、基本理论和培养基本技能，全书章前有概述，章后有小结、有习题，各节都选择一定数量的理论联系实际的例题和思考题，书后附有部分习题、思考题答案。

本书除作为电力技工学校电气类专业的教材外，也可作为现场电力技工培训教材，并可供有关电力专业工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工基础/贾文贵编. —北京：中国电力出版社，1992.6
(1997 重印)

技工学校教材

ISBN 7-80125-372-8

I. 电… I 贾… III. 电工学-技工学校-教材 IV.
TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 06111 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

民族印刷厂印刷

*

1992 年 6 月第一版 1997 年 4 月北京第五次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 452 千字

印数 48221—53250 册 定价 18.40 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前 言

本书是按原水利电力部 1988 年 3 月颁发的水利电力技工学校教学计划、教学大纲及中国电力企业联合会《关于电力中专、技工学校教材建设的几点意见》编写的。1989 年 10 月在苏州召开的全国电力技工学校电气类教材编审会议审定了本书的编写大纲。

本教材以发变电运行和检修专业为主,兼顾电气类各专业教学需要。根据专业培养目标及教学大纲对教材的要求,同时考虑近代电路理论的发展和电力技工学校教学特点及学生的实际,教材的编写体系采取以路(电路、磁路)为主,电场、磁场知识则根据路的需要和专业课教学需要作适当的介绍。

全书共八章:直流电路的基本概念;直流电路的分析计算;电磁与磁路;正弦交流电路的基本概念;正弦交流电路的分析计算;三相正弦交流电路;非正弦交流电路;线性电路的过渡过程。书中注有“※”号的内容和习题,为选学内容和选做的习题。

教材的内容按先感性后理性的原则组织,突出技工培训特点和技工学校教学特色,强调理论联系实际,加强实验,加强练习。主要特点为在突出电路、磁路的基本原理的同时,适当结合一些电力生产的实例;着重物理概念的分析,辅以必要的教学论证(但不作过多的、偏深的数学推导);突出重点,分散难点,削枝强干;定义尽力准确,叙述尽力精炼,深入浅出,通俗易懂;文字表达力求通顺流畅。

除继承和保留电工基础课程基本的和传统的内容外,还适当地采用现代电路分析中的一些新术语、新概念、新技术,既注意内容更新,又坚持五性原则(即思想性、科学性、启发性、先进性和实用性),使教材好教好学。

全书重视有关“参考方向”的叙述;讲解全电流定律时,回避了线积分,采用了代数和的形式;正弦交流电路的分析计算采用了相量法;线性电路过渡过程的分析计算采用了三要素法。

教材的格式:分章分节,章前有概述,章后有小结、有习题,以理顺每章内容的知识结构和脉络。为了便于教学,帮助学生掌握和巩固基本概念、基本理论,培养基本技能,节后选择一定数量的理论联系实际的例题和思考题,把抽象的理论与具体的实例相结合,既突出重要内容,又联系实际应用,给学生以思考与想象的余地,以培养学生获得知识、分析解决问题以及实际工作的能力。书后附有部分习题答案,供教学和学习参考。

本书由丰满水电技术学校贾文贵编写,重庆电力技工学校袁孝齐主审。在编写本书过程中,丰满水电技术学校的各级领导和刘洪汉同志以及有关老师给予大力支持、关心和帮助,对此,编者表示深切的谢意。

由于编者水平所限,书中不妥之处一定不少,恳请使用本书的老师、同学和广大读者批评指正,以便进一步修改。

编 者

1990 年 12 月

目 录

前 言

第一章 直流电路的基本概念	1
第一节 电路	1
第二节 电流	3
第三节 电压与电位	4
第四节 电动势	7
第五节 电阻元件	9
第六节 欧姆定律	12
第七节 基尔霍夫定律	16
第八节 电功率与电能	20
第九节 电路的工作状态	24
小结	27
习题	30
第二章 直流电路的分析计算	34
第一节 电阻的串并联	34
第二节 支路电流法	40
第三节 回路电流法	42
第四节 节点电压法	46
第五节 电压源、电流源及其等效变换	48
第六节 叠加原理	52
第七节 戴维南定理	56
第八节 星形网络与三角形网络的等效互换	62
小结	65
习题	67
第三章 电磁与磁路	72
第一节 磁场概述	72
第二节 磁场强度和全电流定律	75
第三节 磁场对载流导体的作用力	79
第四节 铁磁物质的磁化	82
第五节 磁路及磁路定律	86
第六节 直导体中的感应电势	90
第七节 线圈中的感应电势	92
第八节 自感与自感电势	96
第九节 互感与互感电势	101
小结	108

习题	110
第四章 正弦交流电路的基本概念	113
第一节 交流电	113
第二节 正弦交流量	115
第三节 相位差	120
第四节 交流电的有效值	122
第五节 正弦量的相量表示法	125
第六节 正弦交流电路中的电阻元件	134
第七节 正弦交流电路中的电感元件	138
第八节 电容器的基本知识	143
第九节 正弦交流电路中的电容元件	150
小结	154
习题	156
第五章 正弦交流电路的分析计算	159
第一节 正弦交流电路的基尔霍夫定律	159
第二节 电阻和电感串联的正弦交流电路	162
第三节 电阻和电容串联的正弦交流电路	166
第四节 电阻、电感和电容串联的正弦交流电路	170
第五节 串联谐振	177
第六节 电阻、电感串联再与电容并联的正弦交流电路	180
第七节 并联谐振	184
第八节 复阻抗、复导纳及其等效互换	187
第九节 正弦交流电路的相量分析法	191
第十节 功率因数的提高	197
小结	201
习题	206
第六章 三相正弦交流电路	212
第一节 三相正弦交流电势	212
第二节 三相电源绕组的连接	215
第三节 三相负载的连接	219
第四节 对称三相电路的计算	224
第五节 不对称三相电路的计算	229
第六节 三相功率	235
第七节 对称分量法	239
第八节 三相电流的旋转磁场	243
小结	246
习题	249
第七章 非正弦交流电路	253
第一节 周期性非正弦交流量的产生和分解	253
第二节 周期性非正弦交流量的有效值、平均值及平均功率	258

第三节 非正弦交流电路的分析计算	251
第四节 非正弦对称三相电路	266
小结	270
习题	271
第八章 线性电路的过渡过程	274
第一节 概述	274
第二节 电阻、电容串联电路接通直流电源时的过渡过程	279
第三节 电阻、电容串联电路短接时的过渡过程	284
第四节 电阻、电容串联电路接通正弦交流电源时的过渡过程	287
第五节 电阻、电感串联电路接通直流电源时的过渡过程	290
第六节 电阻、电感串联电路短接时的过渡过程	292
第七节 电阻、电感串联电路接通正弦交流电源时的过渡过程	294
第八节 电容器对线圈放电的概念	296
小结	298
习题	300
部分思考题、习题答案	303

第一章 直流电路的基本概念

本章主要介绍电路的基本知识，其中，直流电路比较简单，也是研究其它电路的基础。所以，我们首先讨论直流电路的各基本物理量（如电流、电压、电位、电势、电阻、功率等）和电路的基本定律（即欧姆定律、基尔霍夫定律等）。

第一节 电 路

一、电路的概念

在日常生活中，把一个灯泡，通过开关、导线和干电池连接起来，就组成了一个照明电路，如图 1-1 所示。当接通开关，电路中就有电流流过，灯泡就亮起来了。在工厂的动力用电中，电动机通过开关、导线和电源接通，当电流流过，电动机就旋转起来了。这种为了获得电流而将各种电气设备和元件，按照一定的连接方式构成的电流通路，称为电路。简言之，电流所流经的路径称为电路。不管电路的结构如何，通常总是由电源、负载、导线和开关三个基本部分组成。

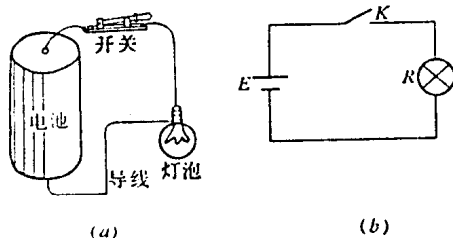


图 1-1 电路及电路图

(a) 电路；(b) 电路图

1. 电源

电源是电路中产生电能的设备。发电机、蓄电池、光电池等都是电源。在工作时，它们分别将机械能、化学能、光能等形式的能量转换为电能。

2. 负载

负载是电路中的用电设备。电灯、电炉、电动机等都是负载。工作时，它们分别将电能转换为光能、热能和机械能等各种形式的能量。

3. 导线和开关

导线和开关是连接电源和负载，用来传输、分配和控制电能的设备。

电路中，还有其它辅助设备，如测量仪表是用来执行测量任务的设备，熔丝是用来执行保护任务的设备，等等。

二、电路图

图 1-1 (a) 是用电气设备的实物图形表示的实际电路。它的优点是直观，但画起来很麻烦，而且，这些实际设备的电磁性能一般比较复杂，不便于用数学方法进行分析。因此，在分析和研究电路的工作状态时，总是把构成电路的实际设备抽象成一些理想化的模型。这些理想化的模型叫做理想电路元件（只抓住每种设备的主要电特性，而忽略其次要因素，即将这些实际设备理想化、模型化）。用理想电路元件，来模拟各种实际设备的电磁性

能并构成电路，再借助一些数学方法对电路进行分析、计算，从而达到掌握实际电路电特性的目的。

本教材引用的基本理想电路元件有：反映消耗电能的电阻元件、反映储存电场能量的电容元件、反映储存磁场能量的电感元件，以及反映向电路提供电能或电信号的电压源和电流源。这些元件都具有两个端点，又称做二端元件。

用统一规定的设备和元件图形符号画出的电路模型图叫电路图。例如，图 1-1 (a) 所示的实际电路，可画成图 1-1 (b) 所示的电路图。图 1-2 是几种常用的电气设备及元件的图形符号。

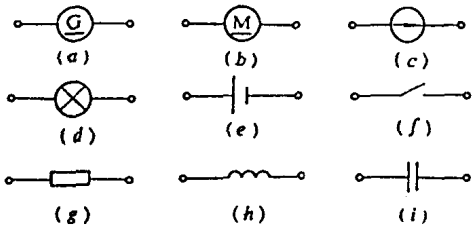


图 1-2 几种常用的电气设备及元件的图形符号

(a)直流发电机；(b)直流电动机；(c)一般电源；(d)灯泡；(e)电池；(f)开关；(g)电阻元件；(h)电感元件；(i)电容元件

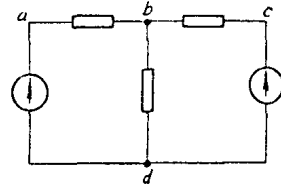


图 1-3 电路示例

三、有关电路的几个名词

以图 1-3 所示电路为例，介绍几个有关电路的名词。

1. 支路

电路中的每一分支电路叫做支路。如图 1-3 中 bad 、 bcd 和 bd 都是支路。支路 bad 和 bcd 中有电源，称为有源支路；支路 bd 中没有电源，则称为无源支路。

2. 节点

三个或三个以上支路相连接的点叫做节点。如图 1-3 中 b 点和 d 点都是节点。

3. 回路

电路中任一闭合路径叫做回路。如图 1-3 中 $abda$ 、 $bcd b$ 和 $abcd a$ 都是回路。

4. 独立回路（网孔）

内部不存在支路的回路叫做独立回路或网孔。如图 1-3 中 $abda$ 、 $bcd b$ 都是独立回路。选择独立回路的问题比较复杂，本书只提出以下的结论：凡是含有其他回路没有用过的新支路的回路，就是独立回路。一般网孔；都是独立回路。

图 1-1 (b) 所示的电路，只有一个回路，没有节点和支路，这样的电路叫做无分支电路。

思 考 题

1-1-1 作出电路图，说明电路的组成及各部分的作用。

1-1-2 指出图 1-4 所示电路的支路、节点和回路。

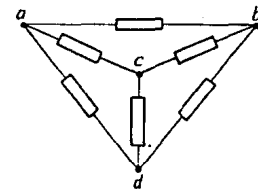


图 1-4 思考题 1-1-2 图

第二节 电 流

一、电流的概念

当我们合上电源开关的时候,电灯就会发光,电炉就会发热,电动机就会转动。这是因为在电灯、电炉和电动机中有电流通过的缘故。电流虽然用肉眼看不见,但是,可以通过它的各种效应,例如光效应(电灯的发光)、热效应(电炉的发热)和电磁效应(电动机的转动)等等,使我们能够知道它的存在。那么,什么叫电流呢?我们知道金属导体中的自由电子在电场力的作用下,会向电场力的反方向移动;电解液和被电离后的气体中的正负离子,在电场力的作用下会各自沿着相反的方向移动。这种电荷的有规则的定向运动,就形成了电流。上述电流称为传导电流,除此以外还有位移电流等。

二、电流的大小

衡量电流大小的物理量叫做电流强度。它等于单位时间内通过导体某一横截面的电量。电流强度简称电流,用符号 I 表示。这样,电流既是一种物理现象,又是一个物理量。如果在时间 t 内,通过导体某一横截面的电量为 q ,则流过该导体电流的大小为

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

电流的单位是安培(简称安),用符号 A 表示。如果每秒钟有 1 C 的电量通过导体某一横截面,这时的电流就是 1 A,即

$$1\text{A} = 1\text{C/s}$$

电流的较小单位是毫安(mA)及微安(μA)

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

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

电流的较大单位是千安(kA)

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

三、电流的方向

我们知道,在金属导体中的电流,实际上是带负电荷的自由电子作定向移动所形成的,照理说应把负电荷移动的方向定为电流的实际方向。但在电学史上,人们已经习惯于把正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。这个习惯规定起源于美国科学家本杰明·富兰克林(1706~1790年)。

这种规定对我们分析问题并无妨碍。如图 1-5 所示,自由电子在电场力的作用下逆着电场方向从 b 向 a 移动,其效果与等量的正电荷从 a 向 b 移动是一样的。因此,电流的实际方向规定为从 a 端到 b 端,如图中虚线箭头所示。

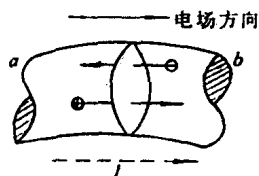


图 1-5 电流的示意图

在简单的电路中,电流的实际方向很容易判断,但在比较复杂图 1-5 电流的示意图
杂的电路中,电流的实际方向往往很难直接看出。为了计算和分析方便,我们首先假定电流的某一方向为电流的正方向(也叫电流参考方向),用实线箭头表示,并且规定:若电流

的实际方向与所选的电流的正方向一致, 则电流值为正; 若电流的实际方向与所选的电流的正方向相反, 则电流值为负。这样一来, 我们就可以把电流看成一个有正有负的代数量。在选定的电流正方向的参照下, 电流值的正和负, 就可以反映出电流的实际方向。

在图 1-6 所示的电路中, 已知电流的实际方向从 a 到 b , 如虚线箭头所示。若选取电流的正方向从 a 到 b , 如图 1-6 (a) 中实线箭头所示, 则电流 $I > 0$; 若选取电流的正方向从 b 到 a , 如图 1-6 (b) 中实线箭头所示, 则电流 $I < 0$ 。

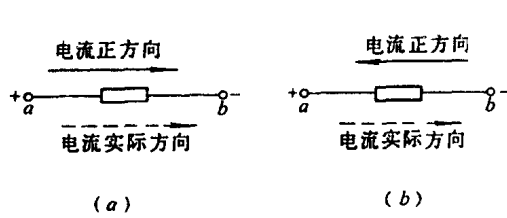


图 1-6 电流的正方向
(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

正方向 (也叫做参考方向), 是电路中的一个重要概念, 应注意以下几点:

(1) 电流的实际方向是客观存在的, 而正方向则是根据分析计算的需要任意选取的, 正方向一经选定后, 在整个分析计算过程中就必须以此为根据, 不能随意变动。

(2) 同一电流, 若正方向选择不同, 其结果是: 数值大小相等而符号相反, 即 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。可见, 电流值的正、负只有在选定正方向下才有意义。

(3) 电路中的基本公式和结论, 都是在一定正方向的前提下得出来的。因此, 在应用这些公式和结论时, 必须注意正方向的选择。

还需要指出, 电流是具有大小和方向的代数量, 是标量, 而不是向量。

【例 1-1】 已知图 1-5 中自由电子从 b 流向 a , 在 0.002 s 内通过某导体截面为 S 的电量为 0.001 C , 试求电流的大小和方向。

解 电流的大小

$$I = \frac{q}{t} = \frac{0.001}{0.002} = 0.5\text{ A}$$

电流的实际方向规定为正电荷移动的方向。题中自由电子从 b 流向 a , 相当于正电荷从 a 流向 b , 所以电流方向从 a 到 b 。

思考题

1-2-1 试述电流的定义、单位和方向。

1-2-2 一秒钟时间内从 a 到 b 通过某导体截面 S 的电量为 $2 \times 10^{-3}\text{ C}$ 。试求: (1) 若通过的为正电荷, 求 I_{ab} 和 I_{ba} ; (2) 若通过的为负电荷, 求 I_{ab} 和 I_{ba} 。

1-2-3 按电流的物理意义, 试解释 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

第三节 电压与电位

一、电压

在图 1-7 所示电路中, a 、 b 两电极分别带有等量的正、负电荷, 因而在 a 、 b 之间存在

着电场。如果用导线把灯泡和两个电极连接起来，则在电场力的作用下，正电荷就要从 a 电极经过灯泡移到 b 电极去，形成电流，并使灯泡发热发光，这是电场力移动电荷做功的结果。为了衡量电场力移动电荷做功的能力，我们引进电压这个物理量。其定义如下：如果正电荷 q 在电场力的作用下，由 a 点移动到 b 点时所做的功为 A_{ab} ，则 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 为

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

由此看出，电压在数值上等于电场力把单位正电荷由一点移到另一点所做的功。

电压的单位是伏特（简称伏），用符号 V 表示。如果电场力将 $1C$ 电量的正电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 $1J$ ，则 a 、 b 间的电压为 $1V$ ，即

$$1V = 1J/C$$

电压的较小单位是毫伏（ mV ）和微伏（ μV ）

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

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

电压的较大单位是千伏（ kV ）

$$1kV = 10^3V$$

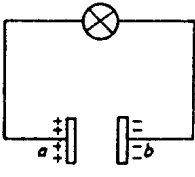


图 1-7 电压示意图

二、电位

在电路的分析计算中，特别是在电子电路中，除了应用电压这一概念外，还经常应用电位的概念。

若在电路中任选一点作为参考点，则电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压，数值上就等于电场力将单位正电荷从电路中某点移到参考点所作的功。电位用符号 φ 表示，如参考点为 o 点，则 a 点的电位为

$$\varphi_a = U_{ao} \quad (1-3)$$

参考点本身的电位就是参考点到参考点之间的电压， $\varphi_o = U_{oo} = 0$ ，即参考点的电位为零。所以参考点又叫零电位点。

电位的单位与电压相同，也是伏特（ V ）。

现在我们来讨论电位与电压的关系。

在图 1-8 中，选取 o 点为参考点时，则 a 点与 b 点的电位分别为

$$\varphi_a = U_{ao}$$

$$\varphi_b = U_{bo}$$

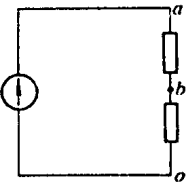


图 1-8 电压与电位的关系

U_{ao} 就是电场力把单位正电荷从 a 点移到 o 点所作的功，在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所作的功（ U_{ab} ），加上从 b 点移到 o 点所作的功（ U_{bo} ），即

$$U_{ao} = U_{ab} + U_{bo}$$

移项整理

$$U_{ab} = U_{ao} - U_{bo}$$

所以

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-4)$$

可见, 电路中任意两点间的电压就等于两点间电位之差, 所以电压又叫电位差。

三、电压的方向

由 (1-4) 式可知, 如果 $\varphi_a > \varphi_b$, 则 $U_{ab} > 0$, 表明 a 到 b 电位在降; 如果 $\varphi_a < \varphi_b$, 则 $U_{ab} < 0$, 表明 a 到 b 电位在升。习惯上, 把电压的实际方向规定为电位降的方向, 即高电位指向低电位的方向, 所以, 电压又称为电位降。

为了计算和研究问题的方便, 电压也和电流一样, 应选定一个正方向, 并且规定: 当电压的实际方向与所选正方向一致时, 则电压值为正; 当电压的实际方向与所选正方向相反时, 则电压值为负。在选定的电压正方向参照下, 电压值的正和负, 就可以反映出电压的实际方向。

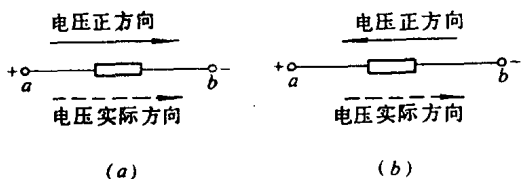


图 1-9 电压的正方向

(a) $U_{ab} > 0$; (b) $U_{ab} < 0$

已知电压的实际方向从 a (高电位端) 指向 b (低电位端), 如图 1-9 中虚线箭头所示。若选取电压的正方向从 a 指向 b , 如图 1-9 (a) 中实线箭头所示, 则电压 $U_{ab} > 0$; 若选取电压的正方向从 b 指向 a , 如图 1-9 (b) 中实线箭头所示, 则电压 $U_{ab} < 0$ 。

在电路图中, 电压的正方向还可用 “+”、“-” 参考极性表示, 由 “+” 极性指向 “-” 极性的方向为电压的正方向。在计算中, 电压的正方向常用双下标表示, 例如 U_{ab} 表示其正方向从 a 指向 b , 并有 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。习惯上选取同一支路电流和电压的正方向一致, 称为关联方向。

参考点的选择是任意的, 选取不同的点作为参考点, 各点的电位不同, 但两点间的电压不变。参考点一经选定后, 各点的电位就只能有一个确定的数值。这就是所谓的 “电位单值性原理”。

至于选什么点为参考点, 则要看分析计算问题的方便而定。例如, 电子电路常选各有关部分的公共点为参考点, 电力工程中, 常选大地为参考点。

至于选什么点为参考点, 则要看分析计算问题的方便而定。例如, 电子电路常选各有关部分的公共点为参考点, 电力工程中, 常选大地为参考点。

【例 1-2】 在图 1-8 所示电路中, 已知 $U_{ab} = 4 \text{ V}$, $U_{ao} = 7 \text{ V}$ 。试计算: (1) 选择 a 点为参考点时, b 点和 o 点的电位及 U_{bo} ; (2) 选择 b 点为参考点时, a 点和 o 点的电位及 U_{bo} 。

解 (1) 选择 $\varphi_a = 0$ 时, 有

$$\varphi_b = U_{ba} = -U_{ab} = -4 \text{ V}$$

$$\varphi_o = U_{ao} = -U_{oa} = -7 \text{ V}$$

$$U_{bo} = \varphi_b - \varphi_o = (-4) - (-7) = 3 \text{ V}$$

(2) 选择 $\varphi_b = 0$ 时, 有

$$\varphi_a = U_{ab} = 4 \text{ V}$$

$$\varphi_o = U_{ob} = -U_{bo} = -(U_{ao} - U_{ab}) = -3 \text{ V}$$

$$U_{bo} = -U_{ob} = -(-3) = 3 \text{ V}$$

由此可知, 各点的电位与参考点的选择有关, 而任意两点间的电压与参考点的选择无关。这一性质说明在直流电路中任意两点间的电压是唯一的, 与所取路径无关。

思 考 题

1-3-1 试述电压的定义、单位和方向。

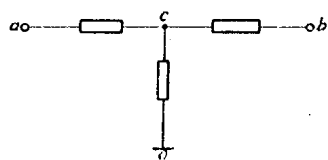


图 1-10 思考题 1-3-4 图

1-3-2 在图 1-7 所示电路中,若维持 a 、 b 两极间的电压 $U_{ab}=4\text{ V}$,将正电荷 $q=5\text{ C}$,从 a 移到 b ,问电场力做功是多少?

1-3-3 在图 1-8 所示电路中,已知 $U_{ao}=4\text{ V}$, $U_{bo}=7\text{ V}$ 。选取 o 点为参考点时,试计算: a 点和 b 点的电位及 U_{ab} 。

1-3-4 已知图 1-10 中, $\varphi_o=50\text{ V}$, $\varphi_b=-40\text{ V}$, $\varphi_c=30\text{ V}$,试求 U_{ac} 、 U_{bc} 、 U_{oc} 、 U_{ab} 、 U_{bo} 、 U_{ao} 。

1-3-5 按电压的物理意义,解释 $U_{ab}=-U_{ba}$ 。

第四节 电 动 势

一、电源力

在图 1-7 所示电路中, a 极上的正电荷,在电场力的作用下,由 a 极经导线和灯泡到达 b 极,电荷在电路中定向移动就形成了电流。但随着正电荷由正极移向负极,正负电荷中和,正极和负极上的正负电荷都将逐渐减少,两极之间的电压也将逐渐降低,最终正负电荷中和完毕,两极之间的电压为零,电流也就消失了。可见,电路出现的不是持续电流,而是一个暂态电流。

为了得到持续不断的电流,就必须有一种非电场力将正电荷从负极移到正极。这个任务是由电源来完成的。

在电源内部,由于其它形式能量的作用产生一种对电荷的作用力,叫做电源力。正电荷在电源力的作用下,从低电位移向高电位。不同的电源中,电源力的来源有所不同。例如,电池中的电源力是由电解液与极板间的化学作用产生的;发电机的电源力则是由电磁作用产生的。

图 1-11 (a) 示出了一个具有电源力的二端元件。由于电源力对电荷的作用,使二端元件两个端钮间产生电位差。

如果我们把电源经导线与负载接通,如图 1-11 (b) 所示,整个电路在动平衡状态下工作,形成了持续不断的电流。在电源的外部,正电荷在电场力的作用下,形成电流,从电源的正极经负载流向负极;在电源的内部,正电荷在电源力的作用下形成电流,从电源负极流向正极。如此下去,在电路中便形成了持续不断的电流。

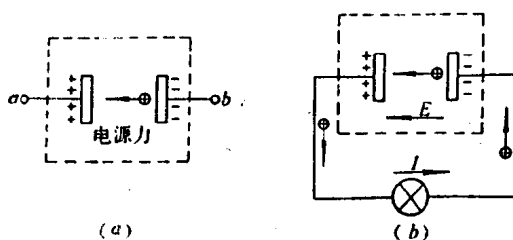


图 1-11 电源的电动势

(a) 电源力; (b) 电动势

二、电动势

电源力移动正电荷的过程中, 要做功。为了衡量电源力做功的能力, 我们引进了电动势这个物理量。其定义如下: 电源内部电源力将单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功叫做电源的电动势, 简称电势, 用符号 E 表示, 即

$$E = \frac{A}{q} \quad (1-5)$$

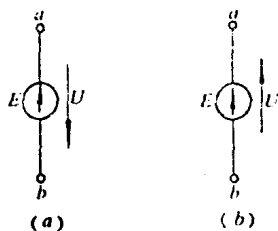
式中 E —— 电源的电势, V;

A —— 电源力所做的功, J;

q —— 正电荷的电量, C。

电势的方向, 是由电源的负极指向正极, 也就是电位升高的方向。可见, 电势的实际方向与电压的实际方向是相反的。

在电源端钮断开的情况下 (即没有接入负载), 电源的电势与端电压在数值上相等。若选择电势与电压的正方向相反, 如图 1-12 (a) 所示, 则有



$$E = U \quad (1-6)$$

若选择电势和电压的正方向相同, 如图 1-12 (b) 所示, 则有

$$E = -U$$

图 1-12 电势与电压的关系

(a) $E = U$; (b) $E = -U$

应当指出, 尽管电源的开路电压和电势在数值上相同, 并且使用同样的单位 (V), 但是, 电源的电势和电压的物理意义是不同的。前者是电源力将单位正电荷从电源的负极通过电源的内部移到正极所做的功, 而后者

是电场力将单位正电荷从电源的正极通过电源的外部移到负极所做的功。

思 考 题

1-4-1 试述电势的意义、单位和方向。

1-4-2 按 U 和 E 的物理意义, 试解释图 1-12。

1-4-3 在图 1-13 所示各图中, 已知电源电势 $E = 10 \text{ V}$, 求电源两端的电压 U_{ab} 。

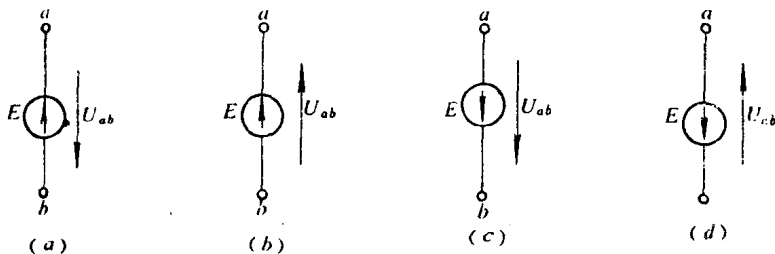


图 1-13 思考题 1-4-3 图

第五节 电 阻 元 件

一、电阻元件的概念

我们已经知道,金属导体中的电流由其中自由电子的定向移动所形成。而当自由电子在金属导体里做定向移动时,沿途都要和导体中的原子和分子相碰撞,使自由电子的运动受到一定的阻力。导体对电流呈现的阻力叫做电阻。日常生活中用到的电灯、电炉、电烙铁和实验用的电阻器等实际设备,可以抽象为理想电路元件——电阻元件,简称电阻,用符号 R 表示。它的图形符号如图 1-2 (g) 所示。因此,电阻既代表消耗电能的理想电阻元件,又表示衡量电流在电阻元件内流动时所受阻力的物理量。

电阻的单位是欧姆,简称欧,用符号“ Ω ”表示。电阻的较大单位是千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$)。

$$1\text{ k}\Omega = 10^3\ \Omega$$

$$1\text{ M}\Omega = 10^6\ \Omega$$

二、影响金属导体电阻大小的因素

1. 导体电阻的大小与导体的几何尺寸和材料的种类有关

实验证明,在一定温度下,导体的电阻与导体的几何尺寸、材料之间的关系可以表示为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-7)$$

式中 R ——导体电阻, Ω ;

L ——导体长度, m;

S ——导体截面, mm^2 ;

ρ ——电阻系数, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

电阻系数决定于导体的材料,是导体材料导电性能的反映。电阻系数是指长度为 1 m、截面积为 1 mm^2 的导体所具有的电阻值。几种常用导体材料的电阻系数列于表 1-1 中。

由表可知,银的电阻系数较小,导电性能最好,但价格太贵,不适于做一般的导电材料,只有在特别重要的地方,如继电器的触点和接触器的触头才用银来制造。铜的电阻系数也很小,价格比银便宜很多,因此,可用来绕制电动机和变压器的绕组或者用来制做导线。铝的电阻系数比铜大一些,但由于我国铝的产量比铜的产量大得多,所以以铝代铜是我国的一项技术政策,因而铝导线、铝母线、铝线变压器等得到了广泛的应用。

由表 1-1 还可以知道康铜、锰铜、镍铬、铝铬铁等合金材料的电阻系数比较大,它们是制做电阻丝的材料。应用这些电阻丝可以制成绕线电阻、电炉、变阻器等。

【例 1-3】 一电磁铁的线圈有 5510 匝,每匝导线的平均长度为 0.108 m,铜导线的直径为 0.16 mm,求线圈 (20°C) 的电阻。

解 导线总长度为

$$L = 5510 \times 0.108 = 595\text{ m}$$

导线的横截面积为

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.16^2}{4} = 0.02 \text{ mm}^2$$

查表 1-1 得铜的电阻系数为 $\rho=0.0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，所以线圈的电阻为

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{595}{0.02} = 520.625 \Omega$$

表 1-1 几种常用导体材料的电阻系数和电阻温度系数

材料名称	电阻系数 ρ (20℃) ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	电阻温度系数 α (0~100℃) (1/℃)
银	0.0162	0.0035
铜	0.0175	0.004
铝	0.0285	0.0042
钨	0.0548	0.0052
钢	0.13	0.0057
铸铁	0.50	0.001
康铜	0.44	0.000005
锰铜	0.42	0.000005
镍铬	1.08	0.000013
铝铬	1.20	0.00008
炭	10.00	-0.0005
铂	0.106	0.00389

2. 导线的电阻与温度有关

实验发现 220 V、100 W 的白炽灯在白炽状态下的电阻值为 484 Ω ，冷状态下的电阻为 36 Ω ，阻值相差很大。这说明导体的电阻与温度有关。金属材料的电阻值，一般随着温度的升高而增大。这是因为温度升高时，金属中原子和分子热运动加剧，增加了自由电子在做定向运动过程中与原子、分子碰撞的机会。为了计算在不同温度下的电阻，采用了电阻温度系数。其定义是：温度每增高 1℃时，每欧姆导体电阻的增加值，叫做电阻温度系数，用符号 α 表示。常用的导电材料的电阻温度系数已列于表 1-1 中。

在 0~100℃范围内金属导体的电阻与温度之间的关系为

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) \tag{1-8}$$

式中 R_1 —— 初始温度为 t_1 时的电阻值；
 R_2 —— 温度升高到 t_2 时的电阻值；
 α —— 导体的电阻温度系数。

【例 1-4】 发电机内部常装有用铂丝制成的电阻温度计，用于测量运行中的发电机内部的温度。如果在 20℃时测得铂丝元件电阻为 49.5 Ω ，在发电机运行一段时间后，测得铂丝元件电阻为 60.9 Ω 。试求这时发电机的内部温度。