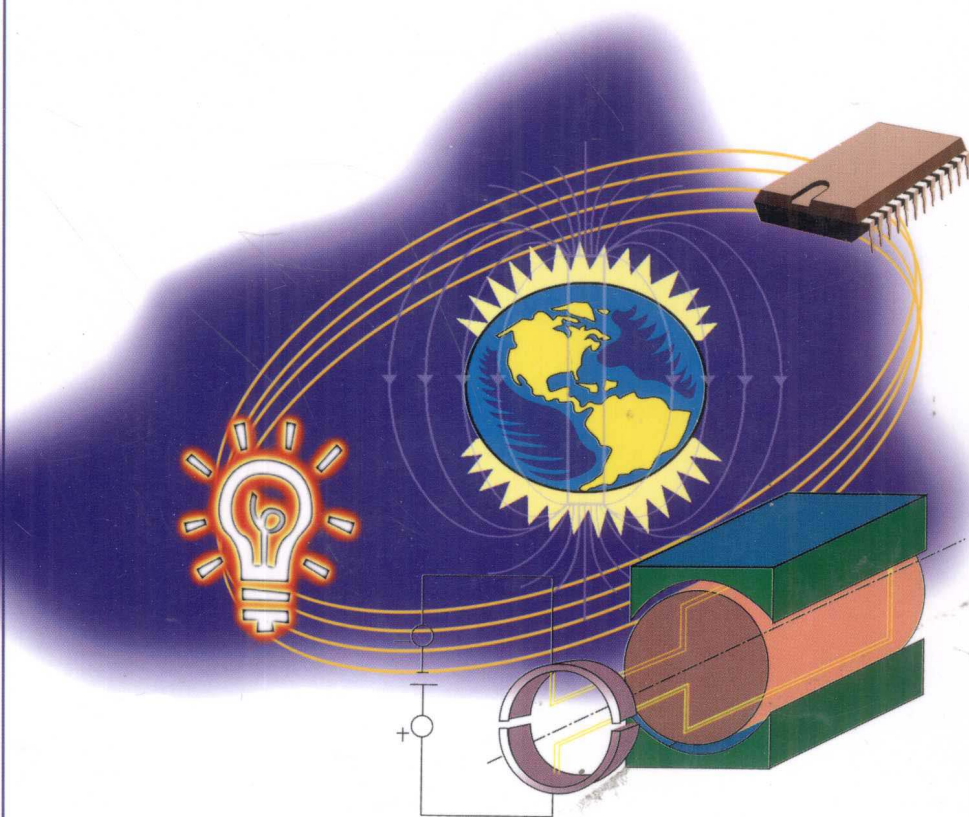


中等专业学校教材

电工基础

刘培玉 主编

DIANGONG JICHU



中国轻工业出版社

中等专业学校教材

电 工 基 础

(工科电类通用)

刘培玉 主 编

谢晓娣 副主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工基础/刘培玉主编. - 北京: 中国轻工业出版社, 1999.9 (2001.4 重印)

中等专业学校教材

ISBN 7-5019-2559-3

I. 电… II. 刘… III. 电工-理论-专业学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 26173 号

责任编辑: 孟寿萱

策划编辑: 孟寿萱 责任终审: 滕炎福 封面设计: 赵 朔

版式设计: 赵益东 责任校对: 郎静瀛 责任监印: 胡 兵

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 三河市宏达印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 1999 年 9 月第 1 版 2001 年 4 月第 2 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.75

字 数: 354 千字 印数: 3001—5000

书 号: ISBN 7-5019-2559-3/TP·058 定 价: 26.00 元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

前 言

本书是根据教育部 1998 年修订的中专电类各专业《电工基础教学大纲》(讨论稿)编写的教材。书中内容能够覆盖电工基础这门课的基本要求。

书中按教学大纲的基本精神,充分考虑到电类各专业对电工基础课程的要求,精选教学内容,力求突出针对性、实用性和先进性。在教材体系上由简到繁、深入浅出、主次分明、详略得当。在内容上注意总体结构的系统性,前呼后应,务求概念清楚、说理明白。在强调基本定理和概念的同时,强化部分章节的定量计算。为专业课的学习打下良好的基础。

本书参考学时数为 120 学时,1~10 章学时数分别为 12、18、6、26、6、4、14、6、16 和 12。书中各节之后附有思考与练习,以增强学生对本节中知识点的理解和巩固。每章之后附有小结和习题,希望能帮助读者在复习总结中获得新的体会和综合能力的提高。各章所安排的习题难度分布合理,题型广泛,使每讲授一次课后都有可布置的作业,保持课外作业的均衡性。重点教学内容的习题尤多,可供任课老师选用和读者自己练习。

本书由合肥电力学校刘培玉任主编,谢晓娣任副主编。第一、五、九章由刘培玉编写,第四章中四、五、六节和第七章由谢晓娣编写,第二章由安徽省轻工业学校高燕编写,第三章和第四章的一、二、三、七、八节由安徽省轻工业学校童辉编写,第六、八、十章由安徽纺织工业学校张栩编写。全书由刘培玉统稿。

本书聘请安徽省轻工业学校程周担任主审。主审对本书给予了充分肯定,并提出了许多宝贵的意见,包括教材体系的调整、教学内容的取舍、深广度的掌握、文字和插图的加工等等。主编根据审稿意见修改后脱稿。参加本书审稿的还有合肥电力学校王世才、胡孔忠,安徽省轻工业学校杨林国、徐国富,安徽纺织工业学校王道泉等。对于参加审稿的同志特别是主审所做的工作,编者在此表示衷心的感谢。

在编写本书的过程中,合肥电力学校陈士屏提出了许多建设性的意见,并给予了极大的关注,借此机会一并表示深深的谢意。

本书的编写仅是中专教材教改的初探。由于编者的水平和调查研究、理解教改精神等方面的局限,难免有不足之处,期望通过教师和读者的共同努力,把本课程的教改不断推向深化。

编 者

1999 年 4 月于合肥

目 录

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 电路的基本物理量	3
第三节 基尔霍夫定律	9
第四节 电阻元件	14
第五节 电压源和电流源	17
本章小结	21
习题	22
第二章 直流电路的分析	24
第一节 电阻的串联、并联和混联	24
第二节 电阻的星形连接与三角形连接网络的等效变换	29
第三节 实际电源的两种模型及其等效变换	33
第四节 支路法	35
第五节 网孔法	37
第六节 节点法	39
第七节 叠加定理	43
第八节 有源二端网络定理	45
第九节 含受控源电路的分析	50
本章小结	54
习题	55
第三章 电感与电容	59
第一节 电感	59
第二节 电容	63
第三节 含电容元件与电感元件的电路	65
本章小结	69
习题	70
第四章 正弦交流电路	71
第一节 正弦交流电的基本概念	71
第二节 正弦交流电的相量表示法	75
第三节 正弦交流电路中的基本电路元件	76
第四节 电阻、电感和电容元件串联的电路	83
第五节 电阻、电感和电容元件并联的电路	86
第六节 复阻抗与复导纳的等效变换	89

第七节 正弦交流电路中的功率	94
第八节 正弦交流电路的相量分析法	99
本章小结	105
习题	107
第五章 互感耦合电路	111
第一节 互感和互感电压	111
第二节 互感耦合电路的分析	115
本章小结	123
习题	124
第六章 谐振电路	127
第一节 串联电路的谐振	127
第二节 并联电路的谐振	130
本章小结	132
习题	133
第七章 三相正弦交流电路	134
第一节 对称三相正弦量和三相电压源	134
第二节 三相电源的连接	136
第三节 三相负载的电压和电流	139
第四节 三相电路的功率	145
第五节 对称三相电路的分析计算	149
第六节 不对称三相电路的分析	153
第七节 三相电压和电流的对称分量	158
本章小结	160
习题	161
第八章 非正弦周期性电流电路	164
第一节 非正弦周期量	164
第二节 非正弦周期性电流电路的分析和计算	169
第三节 周期信号的频谱、滤波器	172
第四节 对称三相电路中的高次谐波	173
本章小结	175
习题	175
第九章 线性动态电路的分析	177
第一节 换路定律与初始值的计算	177
第二节 一阶电路的零输入响应	181
第三节 一阶电路的零状态响应	186
第四节 一阶电路的全响应及其分析的三要素法	192
第五节 微分电路与积分电路	199
第六节 二阶电路的零输入响应	201

本章小结	206
习题	207
第十章 磁路与铁心线圈	209
第一节 铁磁性物质的磁化	209
第二节 磁路及磁路定律	212
第三节 交流铁心线圈	216
第四节 电磁铁	222
本章小结	224
习题	225
主要参考文献	226

第一章 电路的基本概念和基本定律

电工基础是工科电类各专业的一门重要技术基础课程。其任务是使学生掌握电气电子技术员所必须具备的电路基础知识、基本理论和基本方法，同时对磁路的概念有初步的了解。通过本课程的学习，使学生具有识读电路图的能力、分析电路的能力、初步建立电路模型的能力和学习电路新知识的能力，为学习专业课程与相关科学技术、从事专业技术工作打下基础。

电路理论是电工基本理论的主要组成部分，是学习本课程的重要内容。在电路理论中，分析的对象是由实际电路抽象出的电路模型，本章将以此为起点进而分析电路的一些物理量、基尔霍夫定律和几个基本电路元件。

第一节 电路和电路模型

一、电路及其组成

电路是电气设备或器件按一定方式组合而构成的电流的通路，又称为网络。一般地说，电路这个术语用于描述电气设备或器件的简单连接，网络可以包含许多电路。电路的基本功能是传输、变换、存储电能或信号。

在电工技术中有着数不胜数的电路，图 1-1 (a)、(b) 分别是简单的电力系统和扩音机电路。不同的电路所完成任务不同，组成电路的电气设备或器件也不同。尽管组成它们的电气设备或器件形式有着千差万别，根据各电气设备或器件工作性质可将电路分为电源或信号源、负载、中间环节等三个组成部分。

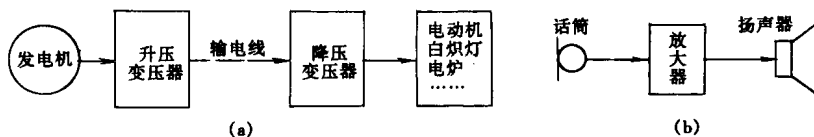


图 1-1

电源的作用根据电路的功能不同有两种表现形式。一种是将其它形式能量（如热能、原子能、化学能等）转换为电能，如发电机、干电池等；另一种是将某种形式的信号转换成另一种形式的信号，如话筒将声音信号转换为电信号。常常把前一类设备称为电源，后一种设备称为信号源。

负载的作用是将电能转换成其它形式的能量。电动机把电能转换成机械能，电灯将电能变换为光能，电炉将电能变换为热能，扬声器把电信号转换成声音，它们都属于负载。

变压器和输电线是中间环节，在电路中起传输和分配电能的作用。放大器处理（放大）电信号、开关控制电路、导线连接各种电气设备或器件，它们都是中间环节。

二、电路模型

电路在工作时所发生的各种电磁现象是由构成电路的电气设备或器件的电磁性能决定的。例如实际的电阻器，通电流时消耗电能，电流同时产生磁场，又将电能变为磁场能量储存着。在电路理论中，为了研究电路系统中的复杂电磁特性，人们定义了能够描述某种电磁性能的由数学定义的理想电路元件，简称电路元件。一个实际器件可根据其电磁性能用一些电路元件模拟，构成其模型。例如，电炉在忽略电流产生的磁场时可以用描述消耗电能的电阻元件作为其电路模型，若考虑电流产生的磁场仅仅用电阻元件作为其电路模型是不够全面的，必须用电阻元件和描述储存磁场能量的电感元件组合构成电路模型才能完整准确地描述其电磁特性。一个电路的电路模型是由一些电路元件组合而成的。需要强调的是，电路理论中所研究的电路是实际电路的电路模型。电路分析的基本方法就是根据电路的物理实际（电磁特性）建立电路模型，用数学手段分析电路模型，再回到物理实际中去。这是自然科学各领域普遍采用的方法。

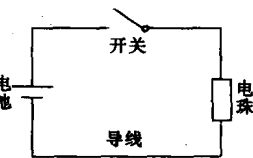


图 1-2

具有两个端钮的电路元件称为二端元件。电阻元件、电感元件、电容元件、电压源、电流源等都是二端元件。具有三个端钮的电路元件称三端元件，具有 n 个端钮的电路元件称 n 端元件，三个及以上端钮的电路元件也可称为多端元件。以后将介绍的受控源元件与耦合电感元件等都是多端元件。

在电路分析中将各种电路元件用规定的图形符号表示，由这些图形符号所画出的电路模型图叫电路图。今后我们所研究的电路都是对应于实际电路的电路图。表 1-1 是常见电路元件的符号，图 1-2 所示是手电筒的电路图。

表 1-1 常见电路元件的符号

元件名称	符 号	元件名称	符 号
电 池		可变电容	
电压源		无铁心的电感	
电流源		有铁心的电感	
电 阻		开 关	
可变电阻		不连接的交叉导线	
电 容		相连接的交叉导线	

第二节 电路的基本物理量

电路的工作是以其中的电压、电流、电能与功率、电动势、电荷、磁通等物理量描述的。本节介绍在电路分析计算中常用的电压、电流、电能与功率、电动势。

一、电 流

电流是电荷有规则的定向运动。电流是一种物理现象，通过电流的热效应、磁效应等使我们觉察到它的存在。如何来描述这种物理现象呢？一是看流过多少电荷，二是看电荷流动方向。这就是下面要讨论的电流强度和电流的方向的概念。

衡量电流强弱（或者说大小）的量称为电流强度，它等于单位时间内通过导体某横截面的电荷量。通常将电流强度简称为电流，用 i 表示。“电流”这一概念具有两层内涵：一是表示电荷有规则的定向流动这一物理现象；二是代表电流强度。显然电流的数值反映了流过导体电荷的多少。若在极短时间 dt 内，通过导体横截面 S （如图 1-3 所示）的电量为 dq ，则导体中的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

我们把正电荷流动的方向（负电荷流动的反方向）规定为电流的方向，俗称电流的实际方向，见图 1-3 用虚线箭头所示。图中电流的方向是从 a 端到 b 端。需要注意的是，电流本身是个标量，说它的方向只是为了描述电流沿导线的循行方向。

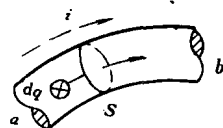


图 1-3

大小和方向都随时间变化的电流，称为交流电流（记为 AC）。大小和方向均不随时间变化的恒定电流，称为直流电流（记为 DC）。

在电路分析中，对变化的物理量（如电流和电压）一般用小写字母表示，对不变的物理量一般用大写字母表示。对于直流电流，式（1-1）可写为

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

式中， q 是在 t 时间内通过导体横截面的电荷量。

本教材物理量按惯例用国际单位制（SI）。电量的单位是库仑（C），时间的单位是秒（s），电流的单位是安培（A），简称安。安培是 SI 中七个基本单位之一。实用中，为便于计量较大或较小的物理量，常常在主单位的前面加上词头，以构成十进制倍数单位和分数单位。

一般国际单位制中用于构成十进制倍数单位和分数单位的常用词头有 k、m、 μ 等。

例如， $2\text{kA} = 2 \times 10^3 \text{A}$ ， $2\text{mA} = 2 \times 10^{-3} \text{A}$ ， $2\mu\text{A} = 2 \times 10^{-6} \text{A}$ 。

例 1-1 图 1-4 导体中， 0.001s 时间内有 $5 \times 10^{-4}\text{C}$ 的正电荷从 a 端到 b 端通过横截面 S ，同时有 $5 \times 10^{-4}\text{C}$ 的负电荷从 b 端到 a 端通过横截面 S 。试确定电流的大小和方向。

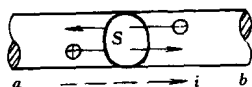


图 1-4

解 无论正电荷还是负电荷的流动都形成电流，向相反方向流动的正、负电荷产生的物理效应是相同的。因而，相当于有 $5 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-4} = 10^{-3} \text{C}$ 的正电荷从 a 端到 b 端通过横截面 S 。于是电流的大小

$$I = \frac{0.001}{0.001} = 1 \text{A}$$

因为正电荷由 a 端到 b 端流动，所以电流的方向应是从 a 到 b 。

二、电 压

电荷受电场力作用从一点移到另一点时，电场对电荷做功。为了衡量电场对电荷的做功能力，引入电压这一物理量。

在电场（或电路）中，电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功称为 a 、 b 两点间的电压，用 u 或 U 表示。即电压的大小

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

式中， dw 是电场力将正电荷 dq 由 a 点移到 b 点所做的功。国际单位制中，电压的单位是伏（V）。当电场力把 1 库仑（C）的电荷从一点移到另一点所做的功为 1 焦（J）时，这两点间的电压为 1 伏。

规定电场力对正电荷做功的方向即其电位能减少的方向为电压的方向。若正电荷从 a 点移到 b 点是电场力做功（其电位能减少），电压的方向从 a 点到 b 点，电压的方向常常用极性表示， a 点是正极性， b 点是负极性。在此也需说明，电压也是一个标量，电压的方向只是描述电场力对正电荷做功的方向而已。

大小和方向随时间变化的电压，称为交流电压。大小随时间变化，方向却不变化的电压称为脉动电压。大小和方向均不随时间变化的恒定电压，称为直流电压，用大写字母 U 表示。

需要说明的是，电压是针对两点之间而言的，说某一点的电压而不指出另一点的位置是毫无意义的。由于电场力对电荷做功与路径无关，所以电压只与两点之间的位置有关。

例 1-2 有 0.5C 的电荷从 a 点移到 b 点的过程中，其电位能的改变量为 10J，试确定下列四种情况下 a 、 b 间电压的大小和方向：（1）电荷为正，电位能增加；（2）电荷为负，电位能增加；（3）电荷为正，电位能减少；（4）电荷为负，电位能减少。

解 由式（1-2）， a 、 b 间电压的大小

$$u = \frac{10}{0.5} = 20 \text{V}$$

- （1）电荷为正，电位能增加时，电压的方向从 b 到 a ；
- （2）电荷为负，电位能增加时，电压的方向从 a 到 b ；
- （3）电荷为正，电位能减少时，电压的方向从 a 到 b ；
- （4）电荷为负，电位能减少时，电压的方向从 b 到 a 。

三、电流和电压的参考方向

电路中的电压或电流的方向（实际方向）是客观存在的。分析较为复杂的电路时，各电流或电压的方向往往很难直接判定。对于交流电路而言，电压或电流的方向随时间而变，因此在电路中难于标出。而分析计算电路时，必须依据各电流电压的方向为前提，确立它们的关系、建立电路方程，从而采用数学方法进行分析。为此，引入参考方向这一概念。为了便于分析计算电路，对电路中的电流和电压任意选定一个方向作为电流和电压的参考方向，当它们的实际方向与所选定的方向相同时，其值为正；当它们的实际方向与所选定的方向相反时其值为负。

本教材的电路图中，电流和电压的参考方向用实线箭头或双下标表示。电压的参考方向还可由“+”和“-”极性表示，参考方向由“+”极性到“-”极性，可称作参考极性。图 1-5 中各矩形框代表没有表明具体性质的电路元件或某一部分电路，元件 1 的电压 U_1 的参考方向是用实线箭头表示，参考方向由 a 到 b；元件 2 的电压 U_2 的参考方向是用“+”、“-”极性表示的；电流的参考方向是用实线箭头表示的。

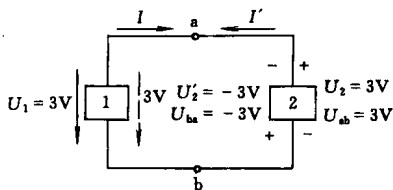


图 1-5

对于同一电压或电流参考方向的选择有两种不同情况，因此表示它们的数值也不相同，互为相反数，如图 1-5 中

$$I = - I'$$

$$U_{ab} = - U_{ba}$$

参考方向是电路理论中一个重要的概念，为此注意以下几点：

1. 实际方向是客观存在的，而参考方向是人为选择的，决定电流、电压数值为正值标准的方向，一经选定，在整个计算过程中不能改变，必须依此为准。
2. 因为电流、电压的正、负值都是对应于规定的参考方向而言的，离开参考方向这些数值的正、负毫无意义，所以在分析计算各电流、电压时首先要选定它们的参考方向。
3. 今后将要学习的一些结论和公式中，都是在一定的参考方向前提下得出的，应用时必须注意参考方向的规定。

参考方向的选择原则上是任意的，但对某一电路元件或某一部分电路的电压和电流的参考方向时常选择一致，称关联参考方向；对某一电路元件或某一部分电路的电压和电流的参考方向选择相反时，称非关联参考方向。如图 1-5 中， U_1 和 I 为非关联参考方向， U_2 和 I 为关联参考方向。

顺便指出，参考方向的概念对电动势等包含大小和方向两个因素的其它物理量都可以引用，用一个有正、负的数值同时表达它们的大小和方向。

例 1-3 图 1-6 所示电路中， $u_2 = -4V$ 、 $u_3 = -5V$ 、 $u_5 = -7V$ 、 $u_6 = 2V$ 、 $u_7 =$

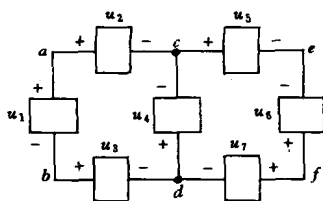


图 1-6

4V 试求 u_4 和 u_1 。

解 利用电压的定义求解, 设想有单位正电荷由 d 点经 f 点、 e 点移到 c 点, 其电位能的改变量应为 d 点到 c 点的电压。所以有

$$\begin{aligned} u_4 &= u_{dc} = u_{df} + u_{fe} + u_{ec} \\ &= -u_7 + u_6 - u_5 = (-4) + 2 - (-7) = 5V \end{aligned}$$

同理

$$\begin{aligned} u_1 &= u_{ab} = u_{ac} + u_{cd} + u_{db} = u_2 - u_4 - u_3 \\ &= (-4) - 5 - (-5) = -4V \end{aligned}$$

根据电压只与两点的位置有关而与路径无关的性质, 也可按下式求 u_1

$$\begin{aligned} u_1 &= u_{ab} = u_{ac} + u_{ce} + u_{ef} + u_{fd} + u_{db} = u_2 + u_5 - u_6 + u_7 - u_3 \\ &= (-4) + (-7) - 2 + 4 - (-5) = -4V \end{aligned}$$

电路分析中, 经常要求电路中某两点间的电压, 本例提供了一种求电压的方法: 在这两点间任选一条路径, 若组成该路径的各部分电压已知, 可直接按电压的定义求得该两点间的电压。

四、电 位

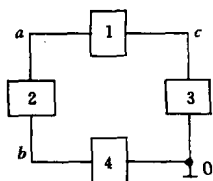


图 1-7

电子电路中常常要确定许许多多点中的任意两点之间的电压, 显然这些电压很多, 直接表示很不方便。为了解决这个问题, 引入电位的概念。在电路中任取一点为参考点, 其它各点到参考点的电压, 称为这些点的电位, 用 φ 表示。如图 1-7 所示电路, 选 0 点为参考点, a 、 b 、 c 各点的电位为

$$\varphi_a = u_{a0} \quad \varphi_b = u_{b0} \quad \varphi_c = u_{c0}$$

由定义可见: 参考点的电位就是参考点到参考点的电压, 所以参考点的电位为零。参考点可以任意选取, 但一经选定后, 各点的电位计算则以该点为准。如另选参考点, 则各点的电位将发生变化, 也就是说同一点的电位是随参考点的改变而不同的。

在工程中常选大地作为参考点。电子电路中, 常选一条特定的公共线作为参考点。这条公共线一般是很多元件共同连接之处, 且常与设备底座或机壳相联, 称作“地线”。在电路图中, 参考点(接地点)用符号“ $\perp$ ”表示。

电位的单位与电压的单位相同, 也是伏 (V)。

单位正电荷由 a 点移到 b 点电场力对电荷所做的功, 应为单位正电荷由 a 点移到 0 点电场力对电荷所做的功与单位正电荷由 b 点移到 0 点电场力对电荷所做的功之差, 因此有

$$u_{ab} = u_{a0} - u_{b0} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-3)$$

所以电压与电位的关系是: 电路中任意两点间的电压等于这两点的电位之差。因而

电压又称电位差。如果 $\varphi_a > \varphi_b$ ，称 a 点电位高， b 点电位低，并且 $u_{ab} > 0$ ，说明从 a 到 b 的方向是电场对正电荷做功的方向，故电压又叫电位降。电压不随参考点的选择不同而改变。

例 1-4 在例 1-3 中，试求：(1) 以 d 为参考点；(2) 以 b 为参考点两种情况下的 a 、 c 、 e 点的电位和电压 u_{ae}

解 (1) 以 d 点为参考点， $\varphi_d = 0$

$$\varphi_a = u_{ad} = u_1 + u_3 = (-4) + (-5) = -9V$$

$$\varphi_c = u_{cd} = -u_4 = -5V$$

$$\varphi_e = u_{ed} = -u_6 + u_7 = (-2) + 4 = 2V$$

$$u_{ae} = \varphi_a - \varphi_e = (-9) - 2 = -11V$$

(2) 以 b 点为参考点， $\varphi_d = 0$

$$\varphi_a = u_{ab} = u_1 = -4V$$

$$\varphi_c = u_{cb} = -u_2 + u_1 = -(-4) + (-4) = 0$$

$$\varphi_e = u_{eb} = -u_5 + u_{cb} = -(-7) + 0 = 7V$$

$$u_{ae} = \varphi_a - \varphi_e = (-4) - 7 = -11V$$

五、电 动 势

电路中的电流是依靠电源维持的。如图 1-8 所示电路中，电池是电源，它在电路中使正电荷从正极经小电珠移到负极，从而形成电流。我们应该注意到，若要使电流源源不断地流下去，这就要求电池能产生一个使正电荷逆着电场方向运动的力，将流到负极的正电荷从电源内部移到正极，从而使电流得以维持。这个力是由电池内部的化学作用（在一般的发电机中是由电磁感应作用）而产生的，显然是“非静电力”。我们把

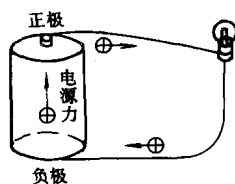


图 1-8

在电源内部存在的能够将正电荷从负极经电源内部移到正极的“非静电力”称为电源力。从能量的角度看，电源力具有将正电荷从低电位处（负极）经电源内部移到高电位处（正极）而克服电场力做功的能力。在电工理论中，用电动势表征电源的这种做功能力。

电源力把单位正电荷从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功，称为电源的电动势，用 e 或 E 表示。设在 dt 时间内电源力使正电荷 dq 从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功为 dW ，电源的电动势为

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

电动势的单位和电压相同。

规定电源力作用于正电荷时的运动方向为电源电动势的方向。换句话说，电源电动势的方向就是在电源内部从负极指向正极或者由低电位指向高电位的方向。正电荷在此方向运动时，其电位能增加。电动势也是一个标量，其方向只是表述了电源力对正电荷

做功的方向。电动势的参考方向用实线箭头、双下标或参考极性表示。箭头的方向是从参考负极性指向参考正极性，由 a 指向 b 的电动势可记为 e_{ab} 或 E_{ab} 。

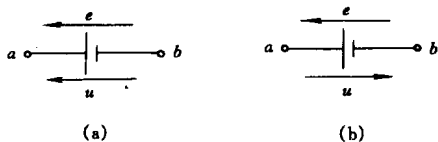


图 1-9

电源的电动势和电压都是反映对电荷做功能力的物理量，但它们的物理意义是不同的。电动势描述的是在电源内部的“非电能量”作用而使电荷的电位能的增加，而电压描述的是电场力对电荷做功使电荷的电位能的减少，前者使电位升高，后者使电位降低。它们却都反映电源外部两端钮的电位差这一事实。对于一个理想电源来说，电动势与电压的大小相等方向相反。如图 1-9 (a) 所示电源，选定电动势 e 与电压 u 的参考方向相同时

$$e = -u$$

图 1-9 (b) 所示电源，选定电动势 e 与电压 u 的参考方向相反时

$$e = u$$

六、电功率和电能

电路中伴随着电压与电流而转换或传输的电磁场能量，称为电能。当通过电路元件（或某一部分电路）的电流方向和其电压方向相同时，电荷通过该电路元件后的能量会减少，说明该电路元件从外部接受（吸收）了电能；反之，通过电路元件的电流方向和其电压方向相反时，电荷通过该电路元件后的能量会增加，说明该电路元件向外部发出（释放）了电能。如图 1-8 中小电珠从干电池中吸收电能而发光，干电池把电源力的作用使电荷增加的能量通过电流对小电珠释放。电功率就是电能对时间的变化率，即电路转换能量的速率，简称功率，用 p 或 P 表示。设电路 N 的端口电压（习惯上称端电压）为 u ，端口电流为 i ，根据电压和电流的定义，电路的功率

$$p = ui \quad (1-5)$$

或

$$P = UI$$

即任一瞬间电路的功率等于该时刻电压与电流的乘积。习惯上把电路接受或发出电能叫作接受（有时也说消耗）或发出（有时也说产生）功率。

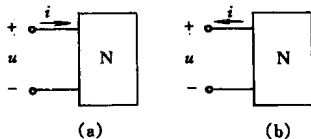


图 1-10

应用式 (1-5) 时，如果选定电压和电流的参考方向关联，如图 1-10 (a) 所示，功率 p 应视为电路接受的功率。计算结果为正值时，表示电路实际接受或消耗功率；计算结果为负值时，表示电路实际发出功率。相反，选定电压和电流的参考方向非关联时，如图 (b) 所示，式 (1-5) 功率 p 应视为电路发出的功率。计算结果为正值

时，表示电路实际发出功率；计算结果为负值时，表示电路实际接受或消耗功率。

SI 中，功率的单位是瓦特 (Watt)，简称瓦，符号为 W，1 瓦 (W) = 1 伏·安 (V·A)。

由式 (1-5) 可求得电路在 t_1 到 t_2 一段时间内接受或发出的电能

$$w = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

电能的单位是焦 (J), 1 焦 (J) = 1 瓦·秒 (W·s)。电能的常用单位是 kW·h, 即俗称的“度”。

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

根据能量守恒定律, 任何一个独立的电路系统中, 任意瞬间所有电源发出的功率总和恒等于各负载接受的功率总和, 这个结论就是电路的功率平衡原理。

例 1-5 已知图 1-10 (a) 二端网络发出 20W 功率, 电压 $u = 10\text{V}$, 试求电流 i 。

解: 根据该网络电压和电流的参考方向和式 (1-5) 可知, 网络发出的功率应为

$$p = -ui = 20\text{W}$$

所以

$$i = -\frac{p}{u} = -\frac{20}{10} = -2\text{A}$$

七、思考与练习

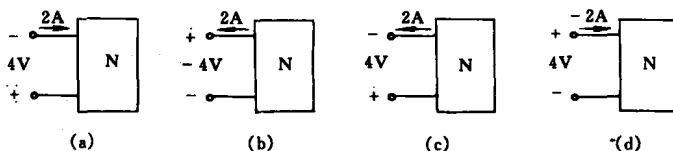
1.2.1 $5 \times 10^{-2}\text{C}$ 的正电荷, 在电场中从 a 点到 b 点移动, 电位能减少 1J。试决定 a 、 b 间电压大小和方向; 若电场不变, 该正电荷从 b 点移到 a 点, 其电位能是增加还是减少? a 、 b 间电压大小和方向是否改变?

1.2.2 如图 1-7 电路中, 已知 $u_{ab} = 4\text{V}$ 、 $u_{ac} = 4\text{V}$ 、 $u_{cb} = 2\text{V}$ 。试求以 0 点为参考点时, a 、 b 、 c 点的电位; 若改以 a 点为参考点, 则 b 、 c 点的电位是多少?

1.2.3 电压、电位、电动势间有何区别和关系? 若两点电位都很高, 是否两点间电压也一定很高? 怎样可以使人在高压线路上带电作业而不发生危险?

1.2.4 为了传输一定的电功率, 为什么高压输电时电流较小?

1.2.5 试求题 1.2.5 图各网络的功率, 并指出网络是接受还是发出功率。



题 1.2.5 图

第三节 基尔霍夫定律

若干电路元件连接成一电路后, 各元件的电压、电流还要受到电路结构的约束。这就是本节要介绍的基尔霍夫定律提出的约束条件。在叙述基尔霍夫定律之前, 先介绍几个表述电路结构的术语。

支路 由一个或一个以上的元件串接成的分支称为一条支路。例如图 1-11 所示的电路中有三条支路: 元件 1 和元件 2 串接成一条支路; 元件 3 和元件 4 串接成另一条支路; 元件 5 单独成为一条支路。流过支路的电流称为支路电流; 支路两端钮间的电压称

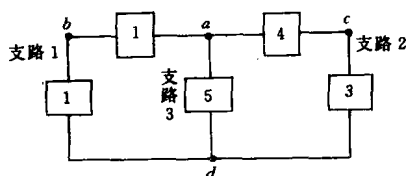


图 1-11

为支路电压。

节点 三个及三个以上的支路的连接点称为节点 (node)。图 1-11 电路中含有 a 、 d 两个节点。

回路 电路中由若干支路组成的闭合路径称为回路 (loop)。在图 1-11 电路中含有三个回路，其中三个支路中的任意两支路都构成一个回路，分别表述为 $abda$ 、 $adca$ 、 $abdca$ 。其中 $abda$ 和 $adca$ 两个回路中不含有分支支路，称其为网孔 (mesh)。必须说明的是，网孔的概念只在可以画在平面上而不出现任何支路互相交叉的电路 (称为平面电路) 有效。

关于支路、节点还有其它约定。例如可将每一个二端元件规定为一条支路；将两个或两个以上的支路的连接点规定为一个节点。因此，对于同一电路，采用这样的规定，得出的支路数和节点数一般都比按前述规定得出的要多。如图 1-11 的电路，用前一规定得出的支路数为 3，节点数为 2；而按后一规定所得出的支路数为 5，节点数为 4。

一、基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律 (记为 KCL) 的表述：任一时刻，流出电路任一节点的电流之和恒等于流入此节点的电流之和。

对任一节点 KCL 可用下式表示：

$$\sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}} \quad (1-6)$$

将此式移项有

$$\sum i_{\text{出}} - \sum i_{\text{入}} = 0$$

记为

$$\sum i = 0$$

因此，KCL 有第二种表述：任一时刻，流过电路任一节点的电流代数和恒等于零。对任一节点，数学表达式为

$$\sum i = 0 \quad (1-7)$$

对于直流电路写为

$$\sum I = 0$$

式 (1-7) 中正负号的确定规则是：参考方向背离节点的电流前面取正号，参考方向指向节点的电流前面取负号。

用 KCL 对节点列出的方程称为此节点的节点电流方程，也可直接称为 KCL 方程。如图 1-11 所示电路中节点 a 的节点电流方程是

$$i_{ab} = i_{ca} + i_{da}$$

或者

$$i_{ab} - i_{ca} - i_{da} = 0$$