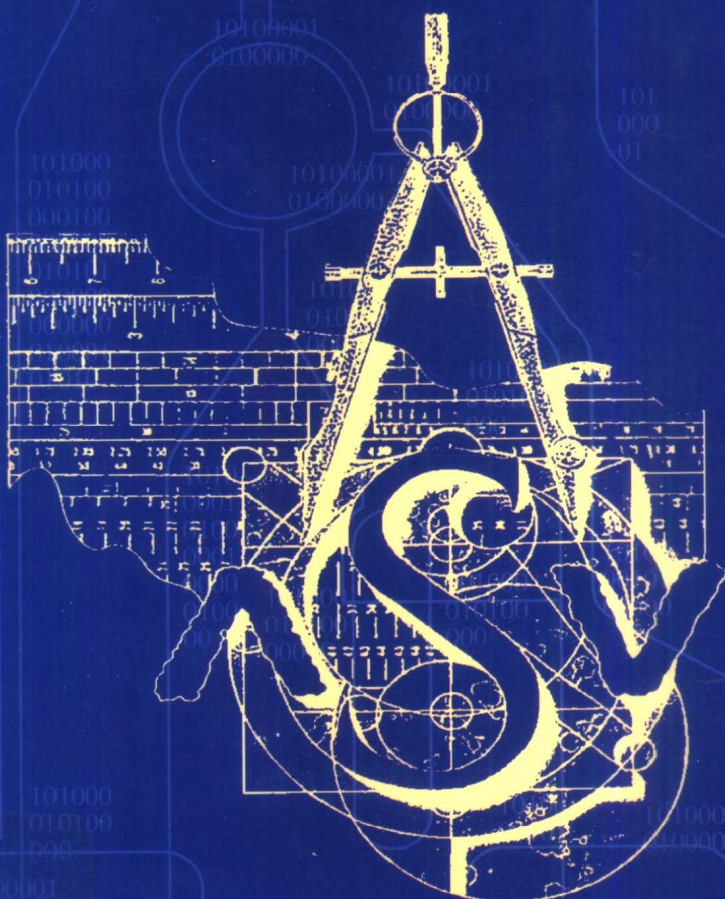


高职高专机电类系列教材

电工技术

GAOZHIGAOZHUANJIDIANLEI
XILIEJIAOCAI

何超 主编



中国
人民
大学
出版
社

高职高专机电类系列教材

电 工 技 术

何 超 主 编

罗海庚 副主编

中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/何超主编

北京: 中国人民大学出版社, 2000

高职高专机电类系列教材

ISBN 7-300-03443-8/F·1030

I. 电…

II. 何…

III. 电工技术-高等学校: 技术学校-教材

IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 32933 号

高职高专机电类系列教材

电工技术

何 超 主 编

罗海庚 副主编

出版发行: 中国人民大学出版社

(北京海淀路 157 号 邮编 100080)

发行部: 62514146 门市部: 62511369

总编室: 62511242 出版部: 62511239

E-mail: rendafx@public3.bta.net.cn

经 销: 新华书店

印 刷: 中国人民大学印刷厂

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28.75

2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

字数: 657 000

定价: 35.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

内容提要

本书是为高等学校工科和计算机类各专业编写的电工技术教材,读者对象主要是高等职业技术教育的大专层次的电类、机电类和计算机类的学生,以及其他高等院校非电类等相关专业的本科学生。本书也可供高等教育自学的读者参考。依据高等职业技术教育的特点,本书强调实践和动手能力的培养,理论密切联系实际。在正文中插入了阅读材料,提供了一些实践小知识和背景材料。本书力求做到深入浅出,通俗易懂,逻辑线索清晰,内容科学严谨,物理概念明晰。本书强调图形的直观解释作用,强调实际电工计算能力和分析及解决实际问题的能力的培养。

本书共分十二章。包括“电路与磁路”和“电工技术”两大部分。在“电工技术”部分还包含了“电力拖动”的基本知识。本书讲述了电路和磁路的分析,电磁现象及其应用;电动机、变压器和低压电器、控制器件及工厂供电方面的必备常识。在内容取舍上,强调基本理论以“必须够用”为度,贯彻少而精,启发式,培养学生独立思考、富于联想、触类旁通的发散思维能力的原则;在联系实际上,要求是基本理论的自然延续,有机结合,也以“必须够用”为度。培养学生尊重科学,尊重客观规律,勇于实践,大胆探索的精神,以及将实际经验上升到理论高度的能力。

前言

电工技术是工科和计算机类各专业的基础课，也是学习后续课程，如电子技术和计算机技术的先修课。本课程的任务是：让学生掌握在生活和生产实践中经常用到的最基本的电路与磁路、变压器、电动机以及工厂电器设备、控制器件等方面的基础知识和电工技术。

本书是为高等学校工科和计算机类各专业编写的电工技术教材，读者对象主要是高等职业技术教育的大专层次的电类、机电类和计算机类的学生，以及其他高等院校非电类等相关专业的本科学生。依据高等职业技术教育的特点，本书强调实践和动手能力的培养，理论密切联系实际。在正文中插入了阅读材料，提供了一些实践小知识和背景材料。本书力图做到深入浅出，通俗易懂，逻辑线索清晰，结构合理；内容科学严谨，物理概念明晰；本书强调图形的直观解释作用，强调实际电工计算能力和分析及解决实际问题的能力的培养。

本书包括“电路与磁路”和“电工技术”两大部分。依据减少内容重复，精简课程门类的原则，在“电工技术”部分还包含了“电力拖动和工厂供电”方面的基本知识。在内容取舍上，强调基本理论以“必须够用”为度，贯彻少而精，启发式，培养学生独立思考、富于联想、触类旁通的发散思维能力的原则；在联系实际上，要求是基本理论的自然延续，有机地结合，也以“必须够用”为度。培养学生尊重科学，尊重客观规律，勇于实践，大胆探索的精神，努力学习怎样将实际经验上升到理论高度的本领。为了适应不同学校不同专业的需求，本书安排了一些选学内容，以*为标志。

本书给出了较丰富的例题和思考题，帮助学生理解和消化教学内容。每章后面有小结和本章逻辑线索图，帮助学生从整体上把握知识体系，领会知识间的相互联系。为了帮助学生自学，本书还给出了思考题和习题的答案，请读者恰当地使用它们。还给出了一些资料性的附录。

本书共分十二章。讲述了电路和磁路的分析，电磁现象及其应用；电动机、变压器和低压电器、控制器件及工厂供电方面的必备常识。其中第一章、第二章由何超编写；第三章由何翔编写；第四章由蔡大山编写；第五章、第六章、第七章由罗海庚编写；第八章、第九章、第十章由姚裕安编写；第十一章、第十二章由严运国编写；何超任主编，罗海庚任副主编。在编写中，贯穿了作者们个人的观点和体会。

编者诚挚地欢迎广大读者和各界人士批评指正本书的错误和不妥之处，提出宝贵的建议，以不断提高本书的编写质量。

在本书的编写过程中，得到了中国人民大学、华中理工大学、中国人民解放军第二

炮兵指挥学院、武汉化工学院、沙市大学和武汉市成人教育学院暨广播电视大学、湖北省职工大学等单位的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

主编

2000年5月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	(1)
§ 1.1 电路的组成和电路模型	(1)
§ 1.2 电路的基本物理量	(2)
§ 1.3 电流和电压的参考方向	(7)
§ 1.4 基尔霍夫定律	(9)
§ 1.5 电阻元件	(12)
阅读材料一 电阻器的类型、符号和标称阻值系列	(15)
§ 1.6 电源模型——电压源和电流源	(20)
§ 1.7 电容元件	(28)
阅读材料二 电容器的类型、符号和标称阻值系列	(32)
§ 1.8 电感元件	(35)
阅读材料三 电感器的类型、符号和标称阻值系列	(43)
* § 1.9 受控源	(46)
§ 1.10 电路中各点电位的计算	(48)
本章小结	(50)
习 题	(51)
第二章 正弦交流电路和相量法	(57)
§ 2.1 正弦交流电的基本概念	(57)
§ 2.2 正弦量的相量表示法	(63)
§ 2.3 正弦交流电路的功率	(77)
§ 2.4 正弦交流电路的谐振	(91)
本章小结	(100)
习 题	(101)
第三章 线性电路的一般分析方法	(109)
§ 3.1 电路的等效变换的基本概念	(109)
§ 3.2 Y- Δ 变换	(115)
§ 3.3 支路电流法	(117)
§ 3.4 网孔电流法	(122)
§ 3.5 节点电位法	(126)
§ 3.6 叠加定理	(131)

§ 3.7 戴维南定理和诺顿定理	(134)
* § 3.8 最大功率传输条件	(143)
本章小结	(147)
习 题	(148)
第四章 三相电路	(154)
§ 4.1 三相电源	(154)
§ 4.2 负载星形联接的三相电路	(158)
§ 4.3 负载三角形联接的三相电路	(163)
§ 4.4 三相电路的功率	(165)
本章小结	(169)
习 题	(171)
第五章 简单电路的过渡过程	(173)
§ 5.1 换路定律及换路后初始值的计算	(174)
§ 5.2 RC 电路的过渡过程和时间常数	(178)
§ 5.3 RL 电路的过渡过程	(184)
§ 5.4 三要素法	(187)
§ 5.5 微分电路和积分电路	(189)
本章小结	(192)
习 题	(193)
第六章 磁 路	(196)
§ 6.1 常见的电磁现象及应用	(196)
§ 6.2 磁场的基本物理量和安培环路定理	(198)
§ 6.3 铁磁现象和铁磁材料	(202)
§ 6.4 磁路及其基本定律	(205)
§ 6.5 简单磁路的计算	(209)
§ 6.6 交流铁芯线圈电路与交流磁路	(214)
本章小结	(217)
习 题	(219)
第七章 变压器	(222)
§ 7.1 变压器的结构和额定参数	(222)
§ 7.2 变压器的基本原理	(227)
§ 7.3 自耦变压器	(234)
§ 7.4 仪用互感器	(236)
§ 7.5 其他特殊变压器	(238)
本章小结	(241)
习 题	(242)
第八章 电动机及电力拖动	(244)
§ 8.1 电力拖动系统及其动力学基础	(244)

§ 8.2 直流电动机的工作原理及其基本结构	(251)
§ 8.3 他励直流电动机的机械特性	(259)
§ 8.4 他励直流电动机的启动、制动与调速	(263)
* § 8.5 串励和复励直流电动机	(274)
阅读材料四 直流电动机的常见故障及处理方法	(276)
§ 8.6 交流电动机的电枢磁场	(278)
阅读材料五 三相异步电动机定子绕组首端和末端的判断	(289)
§ 8.7 三相异步电动机的工作原理及其机械特性	(291)
§ 8.8 三相异步电动机的电力拖动	(300)
阅读材料六 鼠笼式异步电动机的常见故障及处理方法	(314)
§ 8.9 单相异步电动机	(317)
* § 8.10 同步电动机	(319)
§ 8.11 电动机的选择	(322)
本章小结	(333)
习 题	(334)
第九章 控制电机	(338)
§ 9.1 伺服电动机	(338)
§ 9.2 力矩电动机	(342)
§ 9.3 步进电动机	(345)
§ 9.4 测速发电机	(348)
本章小结	(351)
习 题	(351)
第十章 近代电机控制技术简介	(353)
§ 10.1 电机调速控制概论	(353)
§ 10.2 直流调速控制	(354)
§ 10.3 交流调速控制	(356)
本章小结	(358)
习 题	(359)
第十一章 低压电器及电气控制线路	(360)
§ 11.1 常用手动电器和熔断器	(360)
§ 11.2 自动电器	(367)
§ 11.3 电气控制线路图	(374)
§ 11.4 继电—接触控制的基本环节	(375)
§ 11.5 继电—接触控制常见的自动控制方式	(382)
§ 11.6 典型控制线路	(391)
§ 11.7 电气控制技术的发展概况	(404)
本章小结	(407)
习 题	(408)

第十二章 工厂供电常识和安全用电常识	(412)
§ 12.1 工厂供电系统概述.....	(412)
§ 12.2 工厂变配电常识.....	(414)
§ 12.3 触电及救护常识.....	(418)
§ 12.4 保护接地与保护接零.....	(425)
* § 12.5 静电放电及其防护.....	(428)
* § 12.6 电气火灾及其预防.....	(430)
本章小结.....	(438)
习 题.....	(440)
附 录	
一、常用电气文字符号	(441)
二、常用辅助文字符号(GB7159-87)	(441)
三、通用派生代号表	(442)
四、低压电器产品型号类组代号表	(442)
五、特殊环境条件派生代号表	(442)
六、用电设备组的需要系数	(443)
七、建筑照明负荷需要系数	(443)
八、电气原理图中常用新旧电气符号对照表	(444)
关于本书的编写说明和使用本书的几点建议.....	(448)
参考文献	(449)

第一章 电路的基本概念和基本定律

提要 本章是电工技术的入门篇，介绍电路的基本概念和基本定律。包括电路的组成和常见的电路元件模型；讲解电路的基本物理量，如电压、电流、电功率和电能；并介绍了电路结构的约束条件——基尔霍夫定律。

19 世纪末期，电机、电话和电灯这三大发明，使人类社会走上了电气化的道路。到如今，电能的使用已广泛深入到人们生活的各个方面，从家用电器到现代化工农业生产和交通运输，以及科学研究、信息传递，电能已成为最主要的能源。电能可以在发电站集中生产，联网传输到数百数千公里之外而瞬间可达；可以方便地提供动力，转换成光、热、化学等多种形式的能量；可以对信息进行变换、处理，然后以文字、声音、图像等方式向远方传送。并且控制方便、操作简单省力。电能已成为人们须臾不能离开的东西。因此，学习和掌握电工技术知识是十分必要的。

§ 1.1 电路的组成和电路模型

电流的通路称为电路。它是由电路元件按一定方式组合而成的。

有两种常用的电路：一种是电能的产生、传输和使用过程中的设备，如从发电机，经过变压器、输电线组成的电网，再到用电设备的电力电路。对于这一类电路，通常要求尽可能减少能耗以提高效率。另一种是在电子技术、电子计算机和非电量转换成电量的测量中广泛应用的信号电路，其主要目的是传递和处理信号，对于这一类电路，主要关心的是信号传递的质量，如要求不失真、准确、灵敏、快速等。

无论哪一种电路，都有电源、负载和中间环节三个基本部分。电源提供电能，用来把其他形式的能量转换成电能；负载是用电设备，通常指将电能转换成其他形式的能量而做功的器件。但从广义上来说，人们往往把后级电路称做前级电路的负载，而前级电路又往往被看成后级电路的电源。连接电源和负载的导线、开关、变压器等电器设备就是中间环节。它们起着传输、分配和控制电能的作用。

科学研究的主要方法之一，就是建立模型，即突出所研究事物的主要的基本的特征，而忽略其次要因素，把所研究的问题明朗化，简单化。对电路的研究也采用了建立电路元件的模型的方法，突出该电路元件的主要电磁性质或特征，利用它们以及它们的

组合反映实际电路中发生的电磁现象。这些电路模型是假想的理想化元件，性质单纯，可以建立起描绘其输入输出关系的数学关系式，从而可以用数学的方法来分析电路，总结和发现电路规律。如线性电阻元件模型突出了该元件上的电流与电压之间的正比例关系，而忽略了其电流的磁效应，在很多情况下用线性电阻模型代替实际电阻器，对研究问题带来不少方便，也不会因忽略次要因素在很大程度上影响到研究的精度。一定的模型，对应着一定的工作条件和一定的研究问题的精度。当然通过不断地修改模型，可以逐步使模型更接近实际电路，提高研究的精度。这些电路模型，我们会逐步学习到。

§ 1.2 电路的基本物理量

电路的基本物理量，通常指电流、电压、电流的功率和电能。我们约定，以小写英文字母后带括号(t)，如 $i(t)$ 、 $u(t)$ 表示随时间变化的物理量，而以大写字母，如 I 、 U 表示不随时间变化的量。

为行文简便，如无特别声明，各表示式及文中单位均取我国法定计量单位及国际单位制，并采用相应的表示大小单位关系的词冠。如以 k 表示千倍； M 表示兆倍 (10^6)； m 表示 10^{-3} 倍，中文读作“毫”； μ 表示 10^{-6} 倍，中文读作“微”，如 μF 表示“微法拉”； n 表示 10^{-9} 倍，中文读作“纳”，如 nA 表示“纳安培”； p 表示 10^{-12} 倍，中文读作“皮”，如 pF 表示“皮法拉”等。

1.2.1 电 流

一、电流的定义

电荷有规律的运动，称为电流。

金属导体中的自由电子在电场作用下有规律的运动形成电流；电解液中，正负离子在电场作用下分别向一定方向移动，形成电流；荧光灯等气体导电器件是利用气体中的带电质点在电场作用下的有规律的运动，形成电流；简言之，导体中的带电质点，在电场作用下有规律地移动，形成电流，并称之为传导电流。

二、电流强度

电流的强弱用电流强度表示。电路中各点的电流强度不一定相等。电路中某点处电流强度，在数值上等于单位时间内穿过该点处导体横截面的电荷数量，严格地说，电流强度的大小就是通过导体横截面的电量 q 对时间 t 的变化率，这一点是显而易见的。设在 dt 时间内通过导体某一横截面的电量为 dq ，则通过该截面的电流强度为

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-2-1)$$

式中，电量的单位是库仑 (C)，时间的单位是秒 (s)，则电流强度的单位是安培 (A)，较大的电流强度用千安 (kA) 和兆安 (MA) 表示，较小的电流强度用毫安 (mA)、微安 (μA)、纳安 (nA) 等表示。

电流强度常简称为“电流”。这样，“电流”一词就有双重含义，它既表示电荷定向运动的物理现象，同时又表示“电流强度”这样一个物理量。

三、电流的方向

在电场中，正负电荷的移动方向是相反的，在历史上，已规定采用正电荷运动的方向作为电流的实际方向；显然，负电荷移动的方向是电流的反方向。

[例 1-2-1] 1.5 库仑的电荷在导线中由 a 向 b 转移，时间为 0.5 分钟，求电流强度的大小和方向。

$$[\text{解}] \quad I = \frac{q}{t} = \frac{1.5}{0.5 \times 60} = 0.05 \text{ 库仑/秒} = 0.05 \text{ A}$$

如果移动的是正电荷，电流方向由 a 到 b ；如果移动的是负电荷，电流方向则相反，由 b 到 a 。因为电流的方向是正电荷移动的方向。

[例 1-2-2] 电解质溶液中含有数量相等的正负离子，在电场的作用下，通过导体截面，计算电场强度时，只考虑正离子的移动，还是正负离子都考虑？为什么？

[解] 只考虑正离子的移动，因为一定数量的正离子通过导体截面，引起的电流的大小和方向，等同于同样数量的负离子沿相反的方向通过导体截面引起的电流的大小和方向。两者是一个问题的两个方面。否则，会得出电流为零或者两倍于真正电流的错误结论。

四、电流按波形的分类

大小和方向都不随时间变化的电流称为稳恒电流，也常称为直流电流，用大写字母 I 表示；大小和方向同时随时间作周期性变化的电流，称为交流电流，如正弦交流电；仅大小随时间变化的电流称为脉动电流 (图 1-2-1)。通常用 $i(t)$ 表示大小随时间变化的电流。

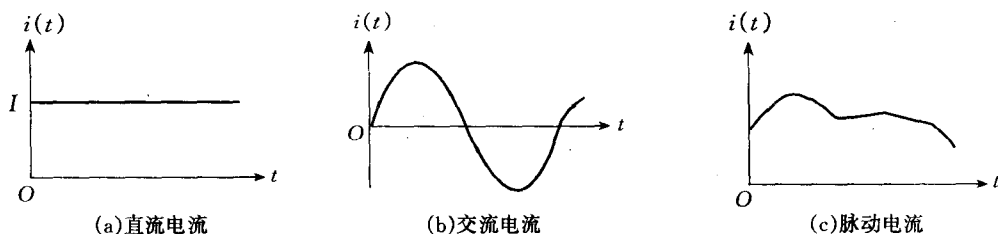


图 1-2-1 各种形式的电流

五、电流的测量

测量电流的方法和仪表很多，最基本的方法是用电流表。测量直流电流强度的仪

表,是直流电流表,简称电流表,以符号— A —, — mA —和— μA —表示,分别叫做安培计、毫安表和微安表。测量交流电流的仪表,叫做交流电流表,通常在仪表上加“~”符号表示,如— A —, — mA —和— μA —等。电流表只能串联于被测电路中。

1.2.2 电 压

既然电流是带电粒子在电场作用下定向移动形成的,那么电场力必然对带电粒子做功;反过来,如果在非电场力作用下,带电粒子逆着它所受电场力的方向移动,就克服了电场力做了功,而把其他形式的能量转变为电场能量储存起来。为了衡量电场力做功的大小,引入电路分析第二个基本物理量——电压。

一、电压的定义

电压的定义是:电场力把一定数量的电荷 q 从 a 点移到 b 点所做的功 W_{ab} , 则电场中 a 点到 b 点的电压为

$$u_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2-2)$$

电压又称为电位差。实际上,为了便于分析和比较电场中不同点的能量特性,总是在电场中指定某一点为参考点 o , 令其电位为零, $U_o = 0$, 而把任意点 a 与参考点 o 之间的电压称为 a 点的电位, $U_a = U_{ao}$ 。在物理学中,电位参考点选在无穷远处;在电力工程上常选大地作参考点;在电路分析,特别在电子工程上,电位参考点选用一条特定的公共线,这条公共线是该电路中很多元件的汇集处,而且常常是电源的一个极。这个点一般和机壳相连,用接机壳的符号“ $\perp$ ”表示。这条公共线虽不一定真正接地,有时也称为“地线”。在电路分析中,选中了参考点以后,谈论电位才有意义。

从式 (1-2-2) 可知,电场力对电荷做的功 W_{ab} 与路径无关,否则对不同的路径 ab , 将有不同的电压值 u_{ab} 。这样,对于同一点 o , 有

$$u_{ab} = \frac{W_{ao}}{q} - \frac{W_{bo}}{q} = u_{ao} - u_{bo} = U_a - U_b \quad (1-2-3)$$

可见,电压 u_{ab} 就是 a 、 b 两点间电位差。这就是电压又称为电位差的道理。

二、电压的极性与方向

通常,我们记高电位点为电压的“正极”,低电位点为电压的“负极”,因而,电压也就有了极性。为了分析电路的方便,我们按照电压的极性规定电压的方向:从正极指向负极,即规定电压的方向为电场力移动正电荷的方向。在图 1-2-2 中,我们标注了通过电路元件的电流方向,以及其上两端的电压的极性和电压的方向。

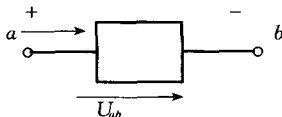


图 1-2-2 通过电路元件的电流方向及其上两端的电压的极性和电压的方向

三、正电荷移动时，能量的得失体现为电位的升降

从式(1-2-2)可知，电场力移动电荷，电场力总做正功，电场能量减少。如果移动的是正电荷，电位降低，点 a 电位比点 b 电位高；如果移动的是负电荷，则电压 u_{ab} 为负值，表示电位升高，起点 a 电位比终点 b 电位低[见图1-2-3(a)，图中 F 为电场力]。

如果非电场力克服电场力做功，即电场力做负功， $W_{ab} < 0$ ，电场能量增加。如果移动的是正电荷，则电压 u_{ab} 为负值，表示电位升高，起点 a 电位比终点 b 电位低；如果非电场力移动的是负电荷，则电压 u_{ab} 为正值，表示电位降低，起点 a 电位比终点 b 电位高[见图1-2-3(b)，图中 F' 为非电场力]。

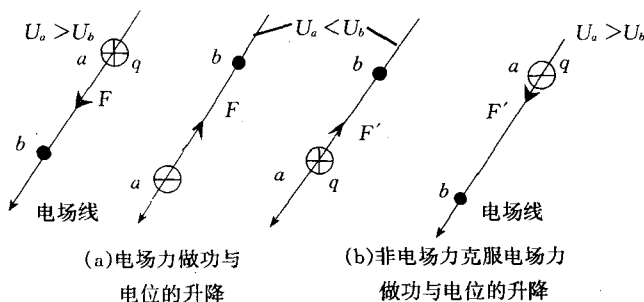


图 1-2-3 电场力做功与非电场力克服电场力做功两种情况下电位的升降

综上所述，正电荷移动时，电场能量的得失体现为电位的升降（两者一致）。我们规定正电荷在电场力作用下移动的方向为电流的方向，也就使分析电路中能量的得失，电位的升降有了比较简明的标准。

四、电源的电动势及其方向

若电流通过元件时，电场能量减少，则该元件吸收（或消耗）电场能量，并把它转换为其他形式的能量，如热能和光能等。该元件称为“负载”。反之，若电流通过某种元件时，电场能量增加（即得到电场能量）。则该元件是产生（或提供）电场能量的元件。电源就是这样一种能够产生电场能量的元件。在电源内部，非电场力 F' 对电荷做功，使正（负）电荷不断地从低（高）位向高（低）电位移动，将正负电荷分开，保持在电源的两端的极板上总有一定的电量积累，从而保持两极间一定的电位差 U_{ab} ，这个电位差维持着电路中的电场，保证电路接通时的电流流动。这个非电场力常称为“电源力”。电源上正电荷积聚的一端称为电源的“正极”，负电荷积聚的一端称为电源的“负极”。这样，在电源外部的电路——外电路中，电流的方向从正极流向负极，而在电源的内部——内电路中，电流的方向从负极流向正极，整个电路构成电流的封闭通路。

在内电路中，电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功，称为电源的电动势 E 。电动势 E 的方向由电源的负极指向电源的正极，即从电位低端指向电位高端。

这样,在电源内部,电动势 E 的方向与电源的两端电压 U_{ab} 相反。对于图 1-2-4,有 $E = +U_{ab}$ (因 E 的方向是负极到正极为正)。

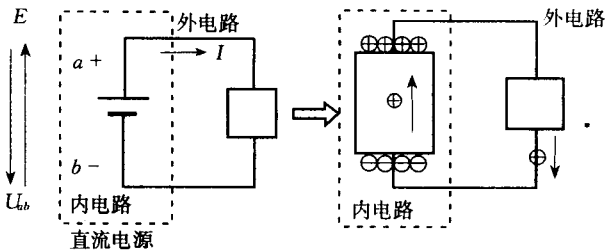


图 1-2-4 电源电动势的含义

五、直流电压 (或电动势) 与交变电压 (或电动势)

我们把不随时间变化的电压称为恒定电压 U , 或直流电压 U ; 大小和极性(方向)都随时间变化的电压称为交变电压 $u(t)$ 。图 1-2-4 中给出了直流电源的符号, 如电池。

类似地, 有直流电动势 E 和交变电动势 $e(t)$, 在国际单位制中, 电动势单位是伏特。

六、电压的测量

测量电流的方法和仪表众多, 但最基本的方法是用电压表。测量直流电压的仪表, 叫直流电压表, 简称“电压表”, 以 $\text{—}\text{V}\text{—}$, $\text{—}\text{kV}\text{—}$ 和 $\text{—}\text{mV}\text{—}$ 表示, 分别叫做伏特表、(千伏)电压表、毫伏表。测量交流电压的仪表, 叫做交流电压表, 通常在仪表上加“ $\sim$ ”符号表示, 如 $\text{—}\text{V}\text{—}$, $\text{—}\text{kV}\text{—}$ 和 $\text{—}\text{mV}\text{—}$ 。电压表只能和被测电路并联。

1.2.3 电路中的功率和能量

在电路中, 电场力或非电场力驱动电荷做功, 并完成电能和其他形式能量的相互转换。而电荷移动, 形成电流。故常说电流做功。电流做功的功率称做电流的功率。

一、电流的功率

由式 (1-2-2) 可知, 在电路中, 电流的功 $W = uq$, 那么电流流过一段电路或元件的功率可以用电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 表示, 即

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u(t) \cdot i(t) \quad (1-2-4)$$

并称为瞬时功率 $p(t)$ 。

式中, 电压单位是伏特, 电流单位是安培, 功率的单位是瓦特, 能量的单位是焦耳。在直流电流做功的情况下, 功率表示为直流电压和直流电流的乘积, 即

$$P = UI \quad (1-2-5)$$

注意: 式 (1-2-4) 和式 (1-2-5) 中已包含了电压和电流同方向的要求, 这一点从式 (1-2-2) 的定义可以看出。

由图 1-2-4 可知, 对于电源, 若记其两端电压为 $U_s = U_{ab}$, 其产生的功率为

$P = -U_s I$ (负号表示电流 I 和电压 U_s 的方向相反)。但电动势 $E = +U_s$, 所以有

$$-EI = -U_s I \quad (1-2-6)$$

对于外电路, 电流 I 和电压 U_{ab} 的方向相同, 电流 I 在外电路消耗的功率 $P = IU_{ab}$ 。

二、电流的功——电能的计算

由式 (1-2-4) 可知, 在一段时间 t 内, 电流通过一段电路或元件, 所吸收 (或释放、产生) 的电能为

$$W(t) = \int_0^t p d\tau \quad (1-2-7)$$

或

$$W(t) = \int_0^t u \cdot i d\tau \quad (1-2-8)$$

于是, 在一段时间 t 内的平均功率 P , 可按下式计算

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1}{t} \int_0^t p(\tau) d\tau = \frac{1}{t} \int_0^t u(\tau) i(\tau) d\tau \quad (1-2-9)$$

顺便指出, 在电工学中, 电能的单位也常用千瓦时 (kWh) 表示, 1 千瓦时就是指 1 千瓦功率的设备, 使用 1 小时所消耗的电能; 同样, 100 瓦的灯泡, 工作 10 小时所消耗的电能也就是 1 千瓦时。1 千瓦时俗称 1 度电。

$$1\text{kWh} = 1\,000\text{W} \times 3\,600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J} \quad (1-2-10)$$

思考题

1. 电流有大小, 也有方向, 它是矢量还是代数量 (标量)?
2. 试比较电压和电动势的共同点和相异处 (提示: 从二者的物理意义、单位、方向及使用场合等几个方面比较)。
3. 电位的升降和电压的正负有什么关系? 和电场力对电荷做功有什么关系?

§ 1.3 电流和电压的参考方向

1.3.1 电流、电压和电动势的参考方向

在分析较复杂的电路时, 很难事先判断其各处电流的真实方向, 以及各段电路两端的电压的真实极性, 有时电流的实际方向和电压的真实极性还在不断改变。因此, 往往先假设一个电流方向或者电压极性, 称为电流或电压的“参考方向”。当实际方向与参考方向一致时, 相应的电流或电压为正值, 反之为负值 (图 1-3-1 和图 1-3-2)。

对于电动势来讲, 同样可以选定它的参考方向, 以此来确定电源电动势的正负。