

新世纪高职高专教改项目成果教材

电工技术基础

何超 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是新世纪教改项目成果系列教材之一,是面向 21 世纪课程教材。全书共分八章,主要内容有:电路的基本概念和基本定律,正弦交流电路和相量法,线性电路的一般分析方法,三相电路,简单电路的瞬态过程,磁路的基本概念和基本定律,变压器和电动机的基本结构和工作原理,工厂供电常识和安全用电常识,以及基本电工实验。

本书可作为高等职业技术教育机电类专业电工技术教材,也可作为计算机硬件相关专业以及非电类相关专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础/何超编著.-北京:高等教育出版社,2003.7

ISBN 7-04-012020-8

I. 电… II. 何… III. 电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 047646 号

责任编辑 李宇峰 封面设计 吴 昊 责任印制 潘文瑞

书 名 电工技术基础
主 编 何 超

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-82028899	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	021-56965341		http://www.hep.com.cn
			http://www.hepsh.com

排 版 南京理工排版校对公司
印 刷 宜兴市德胜印刷有限公司

开 本	787×1092 1/16	版 次	2003 年 7 月第 1 版
印 张	19.25	印 次	2003 年 7 月第 1 次
字 数	480 000	定 价	26.00 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000] 3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000] 2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一批较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2003 年 5 月

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硬件技术)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操作技能。同时,随着我国社会主义现代化建设的飞跃发展,家用电器的普及,电气自动化程度的提高,也对知识青年提出了深入学习电工知识的要求。

一、本书编写特色

1. 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”的教学原则;注意培养学生独立思考,富于联想,触类旁通的发散思维的能力。

2. 由浅入深,文笔简练,通俗易懂。数学工具就低不就高,精选图形,强调图形的直观解释作用。

3. 内容科学严谨,物理概念清楚;十分注重知识间的逻辑线索,条理简明清晰。

4. 本书为了培养学生的观察能力,动手操作能力和理论联系实际的能力(如实际电工计算的能力,以及运用理论知识分析及解决实际问题的能力),密切联系实际,在叙述某基本理论知识后,相机插入该知识的实际应用方面的知识,其内容取舍和阐述应是基本理论的自然延续,有机地结合,也以“必须、够用”为度;本书还推介了一些基本电工实验。

5. 本书各章均有逻辑线索图,目的在于帮助学生从总体(全局)上把握知识体系,便于记忆和融会贯通。

6. 本书各章均有本章小结,目的在于帮助学生掌握知识重点,指出易犯的错误或注意事项。

本书由何超同志任主编,严运国同志任副主编,参加编写和讨论的还有罗海庚、侯秀荔、陈小荣、蔡大山、赵清泉、石磊和何翔等同志。限于作者水平,错误和不妥之处在所难免,欢迎广大读者和各界人士批评指正。在本书编写过程中,得到了武汉科技大学中南分校、中国人民解放军第二炮兵指挥学院、沙市大学、鄂州大学和北京化工学校、北京轻工职业技术学院、包头职业技术学院以及武汉市成人教育学院暨广播电视大学等单位大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

二、使用本书的几点建议

1. 根据专业本身需要,选择教学内容,注意知识间的逻辑联系。

2. 注重培养学生电路分析的初步识图能力和分析计算能力,电路图与实际电路比照的能力,常见电器元部件识别、选择、使用的能力,寻找简单电路故障的能力,绘制和设计简单电路的能力,分析和解决简单的实际问题的能力。并努力创造条件,必要时在生产现场或实验室进行教学,让学生联系实际,动手动脑。

3. 本书精选了一些思考题和习题,以启发学生思维,帮助学生消化和深入理解所学知识,提高分析和解决实际问题的能力。建议适当安排思考题和习题的讨论课,对培养学生独立思考,富于联想,触类旁通的发散思维的能力方面,往往会收到意想不到的效果。思考题

前 言

可提问或布置课后讨论,也可作为书面作业,培养学生运用科学语言书面表达的能力。

4. 本书推介了一些基本电工实验,以培养学生的观察能力,动手操作能力和理论联系实际的能力。教师还可增加一些,但不能再少了。

5. 本书安排了一些选学内容,以*为标志。

6. 本书有些内容可让学生自学,一可节省学时,二可培养学生的开拓创新能力。但教师要引导、提示,提要求,有些自学内容要考核。

7. 本书建议使用60~80学时(实验另外),视学生基础和专业要求而定。

编 者

2003年5月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)82028899 转 6897 (010)82086060

传 真：(010)82086060

E - mail : dd@hep. com. cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮 编：100011

购书请拨打读者服务部电话：(010)64054588

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
第一节 电路的组成和电路模型	1
第二节 电路的基本物理量	2
第三节 电流和电压的参考方向	6
第四节 基尔霍夫定律	7
第五节 电阻元件	10
第六节 电源模型——电压源和电流源	12
第七节 电容元件	20
第八节 电感元件	23
第九节 电路元件的串联与并联	30
* 第十节 受控源	38
第十一节 电路中各点电位的计算	40
本章小结	41
本章逻辑线索图	42
习题	42
第二章 正弦交流电路和相量法	47
第一节 正弦交流电的基本概念	47
第二节 正弦量的相量表示	53
第三节 正弦交流电路的功率	68
第四节 正弦交流电路的谐振	81
本章小结	91
本章逻辑线索图	91
习题	92
第三章 线性电路的一般分析方法	99
第一节 电路的等效变换的基本概念	99
第二节 Y- Δ 变换	104
第三节 支路电流法	107
第四节 网孔法(网孔电流法)	112
第五节 节点电位法	116
第六节 叠加定理	121
第七节 戴维南定理和诺顿定理	125
第八节 最大功率传输条件	134

目 录

本章小结	137
本章逻辑线索图	138
习题	138
第四章 三相电路	144
第一节 三相电源	144
第二节 负载星形连接的三相电路	148
第三节 负载三角形连接的三相电路	153
第四节 三相电路的功率	155
本章小结	159
本章逻辑线索图	160
习题	161
第五章 简单电路的瞬态过程	163
第一节 换路定律及换路后初始值的计算	163
第二节 RC 电路的瞬态过程和时间常数	167
第三节 RL 电路的瞬态过程	173
第四节 三要素法	177
第五节 微分电路和积分电路	178
本章小结	181
本章逻辑线索图	182
习题	182
第六章 磁路	186
第一节 常见的电磁现象及应用	186
第二节 磁场的基本物理量和安培环路定理	188
第三节 铁磁现象和铁磁材料	190
第四节 磁路及其基本定律	194
第五节 简单磁路的计算	197
第六节 交流铁心线圈电路与交流磁路	202
第七节 电磁铁	205
本章小结	207
本章逻辑线索图	208
习题	209
附表	210
第七章 变压器和电动机	213
第一节 变压器的基本原理	213

第二节 变压器的结构与额定参数	219
第三节 直流电动机的工作原理	223
第四节 三相异步电动机的工作原理	227
第五节 电动机的选择	234
本章小结	237
本章逻辑线索图	238
习题	239
第八章 工厂供电常识和安全用电常识	241
第一节 工厂供电系统概述	241
* 第二节 工厂变配电常识	243
第三节 触电及救护常识	245
第四节 保护接地与保护接零	249
* 第五节 静电放电及其防护	252
本章小结	254
习题	254
电工学实验	255
电工学实验总则	255
实验一 元件伏安特性的测试	257
实验二 电位概念和戴维南定理	260
实验三 常用照明线路的安装	264
实验四 三相交流电路	268
实验五 三相异步电动机的检验与起动	272
附录	277
附录一 电工测量与电工测量仪表常识	277
附录二 直流电流表、万用表和直流稳压电源	280
附录三 试电笔、电磁式仪表和功率表	284
附录四 电流插座和插头、三相调压器及三相功率测量	291
附录五 兆欧表和钳形电流表	293
参考文献	297

第一章 电路的基本概念和基本定律

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、功率和电能;并介绍了电路结构的约束条件——基尔霍夫定律。

众所周知,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,电能已得到广泛地应用。电能可在发电站集中生产,联网传输,快捷方便;电能提供动力,驱动机器或设备,产生光能、热能、化学能等多种形式的能量;通过电路,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。并且电能控制方便、操作简单省力。电能已成为现代社会不能离开的东西。因此,学习和掌握电工技术知识是十分必要的。

第一节 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。图 1-1-1 所示为一个简单的手电筒电路,电源、灯泡和导线及开关均是电路元件。

有两种常用的电路。一种是提供电能的电力电路,如交流照明电路,工厂的动力电路,远程电力传输电路。对于这一类电路,通常要求尽可能减少能耗以提高效率。另一种是信号电路,广泛应用在电子技术、电子计算机和将非电量转换成电量的测量电路中,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。

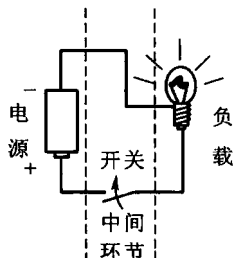


图 1-1-1 手电筒电路

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;负载是用电器设备,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。

对电路的研究采用建立电路元件的模型的方法。要求突出该电路元件的主要电磁性质,但不要因忽略次要因素在很大程度上影响到研究的精度,这样对研究问题会带来不少方便。

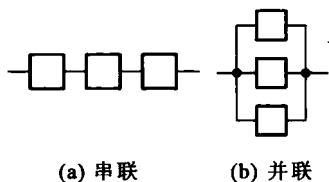


图 1-1-2 电路元件的串联与并联

电路元件模型,主要有电阻、电容、电感、电压源和电流源,等等,人们将电路元件连接成电路,最简单的连接方式有串联、并联,串联是把各元件的首尾顺序相连,并联是把各元件的首和首相连,尾和尾相连(见图 1-1-2),较复杂的连接方式有混联(即又有串联又有并联的混合连接方式)以及其他更复杂的连接方式。

第二节 电路的基本物理量

研究电路,首先要知道电路的基本物理量。电路的基本物理量,通常指电流、电压、功率和电能。在图 1-1-1 所示的手电筒电路中,电源(这里是电池)提供电能,开关闭合后,在电路两端产生电压(也称电位差),就有电流沿导线、灯丝流过,使灯泡发光,让电能转变为光能和热能。下面将进一步深入讨论这四个基本量。

一、电流

电荷有规则的定向运动,称为电流。电流通过的物体,称为导体。导体中的带电质点,在电场作用下有规则地移动,形成电流,并称为传导电流。导体可以是固体、液体或气体。不同的导体,导电机制有所不同。导体中的带电质点,在金属中是自由电子,如手电筒电路中的电流;在电解液中,是正负离子,在电场作用下分别向一定方向移动;在荧光灯等气体导电器件中,是气体中的带电质点。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方向;显然,负电荷移动的方向是电流的反方向。如在手电筒电路中的电流方向采用正电荷运动的方向,由电池的正极经过金属导线和灯丝后到达电池的负极,不采用负电荷(电子)运动的方向,由电池的负极经过金属导线和灯丝后到达电池的正极。

电路中各点的电流不一定相等。电路中某点处电流,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为

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

式中,电量的单位是 C(库[仑]),时间的单位是 s(秒),则电流的单位是 A(安[培]),较大的电流用 kA(千安)表示,较小的电流用 mA(毫安)、 μ A(微安)、nA(纳安)等表示。

“电流”一词就有双重含义,它既表示电荷有规则的运动的物理现象,同时又表示“电流”这样一个物理量。

【例 1-2-1】 1.5 C 的电荷在导线中由 a 向 b 转移,时间为 0.5 min,求电流的大小和方向。

$$\text{【解】} \quad I = \frac{q}{t} = \frac{1.5 \text{ C}}{0.5 \times 60 \text{ s}} = 0.05 \text{ C/s} = 0.05 \text{ A}$$

如果移动的是正电荷,电流流向由 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,计算电流时,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。二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。当然,也可以只考虑负离子的移动。

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(见图 1-2-1(a));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,如正弦交流电流(见图 1-2-1(b));仅只大小随时间变化的电流称为脉动电流(见图 1-2-1(c))。通常用 $i(t)$ 表示脉动和交流这样随时间变化的电流。

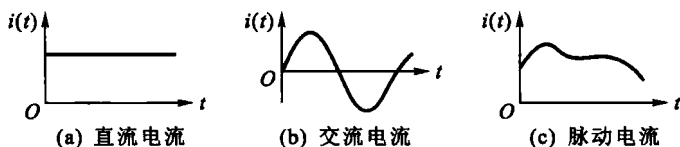


图 1-2-1 各种形式的电流

测量电流的方法和仪表众多,最基本的方法是用电流表。测量直流电流的仪表,是直流电流表,简称电流表,以符号 A 、 mA 和 μA 表示,分别称为安培计、毫安表和微安表。测量交流电流的仪表,称为交流电流表,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。

二、电压

1. 电压

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。

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

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

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零参考点,令其电位为零, $U_0 = 0$, 而把任意点 a 与参考点 0 之间的电压称为 a 点的电位, $U_a = U_{a0}$ 。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 0 ,有

$$U_{ab} = \frac{W_{a0}}{q} - \frac{W_{b0}}{q} = U_{a0} - U_{b0} = U_a - U_b \quad (1-2-3)$$

通常,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,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,标注了通过电路元件的电流流向,以及其上两端的电压的极性和电压的方向。

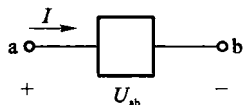


图 1-2-2 通过电路元件的电流方向及其上两端的电压的极性和电压的方向

测量电压的方法和仪表众多,但最基本的方法是用电压表。测量直流电压的仪表,称为直流电压表,简称“电压表”,以(V)、(kV)和(mV)表示,分别称为伏特表、千伏表、毫伏表。测量交流电压的仪表,称为交流电压表,通常在仪表上加“~”符号表示,如(V)、(kV)和(mV)。电压表只能和被测电路并联。

2. 电源的电动势

现在讨论电源的电动势及其方向。电源的电动势是和电路上的电压密切相关的物理量。

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,如图 1-2-3 所示。这就像一个人站在水池中,不停地把水舀到水槽顶端,才能在水槽中形成稳定的水流,如图 1-2-4 所示。

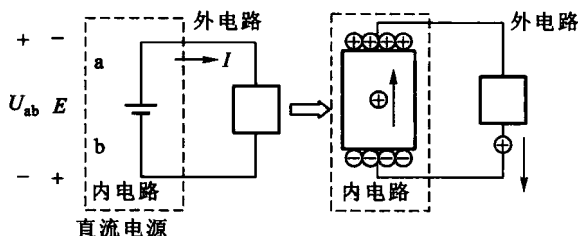


图 1-2-3 电源电动势的含义



图 1-2-4 有关电动势的比喻

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,根据能量转化和守恒定律,电源的电动势 E (在电源内部,电源力对单位正电荷所做的功)等于

电源两端对外电路的电压(在外电路上,电场力对单位正电荷所做的功)。

即,有

$$E = +U_{ab} \quad (1-2-4)$$

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 $u(t)$ 。

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,电动势的单位也是 V 。图 1-2-3 中给出了直流电源的符号。

思考题

1-2-1 电流有大小,也有方向,它是矢量还是代数量(标量)?

1-2-2 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)

1-2-3 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?

三、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。电流做功的功率称为电流的功率,简称电功率。

由(1-2-2)式可知,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某时刻的电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 表示,即

$$p = \frac{W(t)}{t} = u(t) \cdot \frac{q(t)}{t} = u(t) \cdot i(t) \quad (1-2-5)$$

式中,电压单位是 V ,电流单位是 A ,功率的单位是 W ,能量的单位是 J 。

注意: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)电压的定义可以看出。

由式(1-2-5)可知,在一段时间 t 内,电流流过一段电路或元件,所吸收(或释放、产生)的电能为

$$W(t) = \int_0^t u(t)i(t)dt \quad (1-2-6)$$

顺便指出,在电工学中,电能的单位也常用 $kW \cdot h$ (千瓦时)表示,1 $kW \cdot h$ 就是指 1 kW 功率的设备,使用 1 h 所消耗的电能;同样,100 W 的灯泡,工作 10 h 所消耗的电能也就是 1 $kW \cdot h$ 。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

第三节 电流和电压的参考方向

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和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,有必要引进电流、电压和电动势的参考方向的概念。

一、电流、电压和电动势的参考方向

所谓参考方向,就是在分析电路前,先给各支路分别假设一个电流方向,给各元件上的电压分别假设一个电压极性,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(见图 1-3-1 和图 1-3-2)。

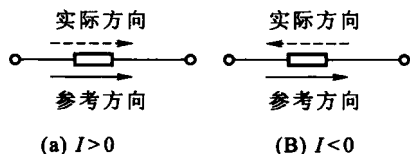


图 1-3-1 电流的参考方向与实际方向的关系

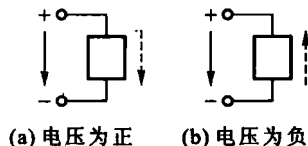


图 1-3-2 电压的参考方向(实线箭头表示)与实际方向(虚线箭头表示)的关系

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。

二、关联参考方向

为了使电路的分析更为简便,常采用“关联参考方向”,既把电路元件上电压的参考方向和电流的参考方向取为一致,也就是说,让电流的参考方向是使电流从电路元件上电压的参考极性为“+”的一端流入,从参考极性为“-”的一端流出。在采用关联参考方向时,电路图上可以只标出电压、电流中任一参考方向即可。

采用关联参考方向后,若算得的功率 $p = ui > 0$, 元件为吸收(即消耗)功率;若 $p < 0$, 则为产生功率。若电压电流采用非关联参考方向,仍规定吸收功率时 p 为正,元件产生功率时, p 为负,则计算功率的公式应改为

$$p = -ui \quad (1-3-1)$$

可见,采用关联参考方向,计算公式的形式和使用要简便得多。

对于电路分析,参考方向是十分重要的,必须养成分析电路时先假设参考方向的习惯。

[例 1-3-1] 计算图 1-3-3 中各元件的功率?

[解]

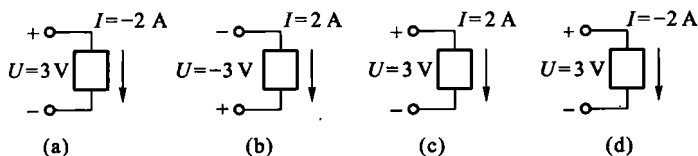


图 1-3-3 电压电流参考方向与功率的计算

(a)图中,电压电流采用关联参考方向,可以只标出一个。由 $P = UI$, 得

$$P = 3 \times (-2) \text{ W} = -6 \text{ W} \quad \text{功率 } P \text{ 为负,实际上该元件产生功率。}$$

(b)图中,电压电流亦为关联参考方向,故

$$P = (-3) \times 2 \text{ W} = -6 \text{ W} \quad \text{功率 } P < 0, \text{实际上该元件产生功率。}$$

(c)图中,电压电流亦为关联参考方向,故

$$P = 3 \times 2 \text{ W} = 6 \text{ W} \quad \text{功率 } P \text{ 为正,实际上该元件吸收功率。}$$

(d)图中,电压电流为非关联参考方向,故

$$P = -UI = -3 \times (-2) \text{ W} = 6 \text{ W} \quad \text{功率 } P \text{ 为正,实际上该元件吸收功率。}$$

(c)、(d)两图中电压电流的实际情况是完全一样的,实际电位都是上高下低,实际电流方向都是从上到下,所以元件吸收功率,但(c)图采用的是关联参考方向,(d)图为非关联参考方向,因此二者计算公式不同,差一个负号。这样,最后算得的结果才是相同的。

思考题

1-3-1 在图 1-3-4 所示的电压 u 和电流 i 的参考方向下,对元件 AB 而言,哪一个的 u 、 i 参考方向是关联的? 分别写出元件 A 和 B 吸收功率的表达式。

1-3-2 在图 1-3-5 所示电路中, U 和 U' 各等于什么? a、b 两点哪点电位高?

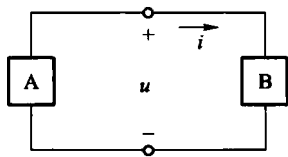


图 1-3-4 思考题 1-3-1 的题图

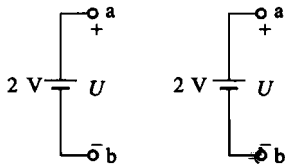


图 1-3-5 思考题 1-3-2 的题图

第四节 基尔霍夫定律

电路分析方法依据两个方面的规律:元件约束和结构约束。所谓元件约束是指约束各个电路元件端组上的电压、电流关系的规律,简称伏安关系。这个规律只取决于元件本身的性质,将在介绍电路元件模型时予以详述;所谓结构约束是指仅与电路中各元件连接状况有关的规律,也称拓扑约束的规律——基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是电路的基本定律之一,它包含有两条定律,分别称为基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压

定律(KVL)。

在讲述基尔霍夫定律之前,先介绍几个有关的名词(见图 1-4-1)。

(1) 支路:每一个二端元件就是一条支路,但为了方便,常把流过同一电流的部分电路称为一条支路,如图 1-4-1 中,有四条支路: a1b, a23b, a4b, a5676b。图(b)是图(a)的另一种画法。

(2) 节点:一般来说,支路的连接点称为节点。但为了方便,通常把 3 个或 3 个以上的支路的连接点称为节点,这样,图 1-4-1(a)中的 4 个节点简化为图 1-4-1(b)中的两个节点。

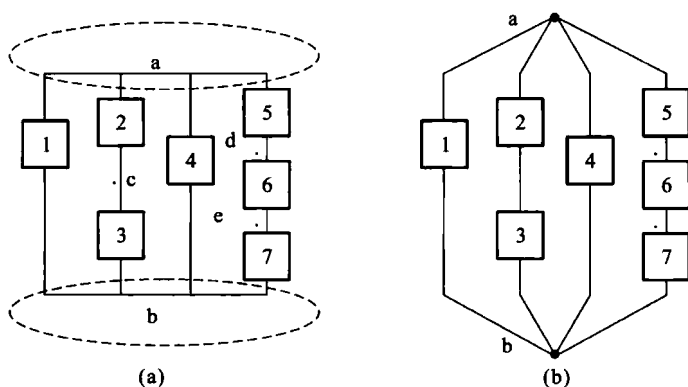


图 1-4-1 支路、节点、回路、网络的说明

(3) 回路:电路中由若干条支路组成的闭合路径称为回路,图 1-4-1 中有 6 个回路。其中有三个回路: 123, 432, 4567 是单孔的,内部不含有其他回路,又称为网孔。

一、基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Current Law,缩写为 KCL)

基尔霍夫电流定律来源于电荷守恒定律,它的内容是:

任一时刻,对于任一电路中任一节点,流入电流的总和等于流出电流的总和。

若事先规定电流的参考方向,比如假定流出节点的电流方向为正,流入节点的电流就为负。则基尔霍夫电流定律又可叙述为:在任一时刻,对于任一电路的任一节点,所有支路的电流的代数和恒等于零。KCL 的数学表达式为

$$\sum i = 0 \quad (1-4-1)$$

以图 1-4-2 为例,对于节点 A,有 $i_1 + i_3 = i_2 + i_4$ 或者 $i_1 - i_2 + i_3 - i_4 = 0$ 若已知 $i_1 = 5 \text{ A}$, $i_2 = 4 \text{ A}$, $i_3 = -3 \text{ A}$, 可求出 $i_4 = -2 \text{ A}$,说明 i_4 的真实电流方向和图中所示的相反。

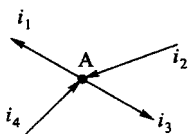


图 1-4-2 列写 KCL 方程说明图

由此可看出,运用基尔霍夫电流定律要涉及两套符号,一套是 KCL 方程中各项电流 i 的正负号,一套是各支路电流 i 本身的正负号,这一点请读者十分注意。

应该指出基尔霍夫电流定律可以扩展到任一假想闭合面 S,即对于