



银领工程系列

电工基础 及实训

曲桂英 主编



高等教育出版社
Higher Education Press



中国轻工业出版社

电工基础 及实训

第二版

000000



中国轻工业出版社

CHINA LIGHT INDUSTRY PRESS

银领工程系列

电工基础及实训

曲桂英 主编

高等教育出版社

内容提要

本书本着“全面素质培养,以能力为本位,突出技能训练”的原则编写。全书在编写过程中由电工基础理论入手,逐步地过渡到磁路、变压器、电动机、控制基础及控制电路。全书共分两大模块、八个单元。每一单元的内容相对独立并设有实验实训项目。本书根据高职高专院校的特点,降低了理论难度,突出理论知识的应用和实践能力的培养,符合职业技术应用型人才的培养特点,既可作楼宇智能化及工业电气自动化等专业的高职高专教材,也可作为从事电气类工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础及实训/曲桂英主编. —北京:高等教育出版社,2005. 11

ISBN 7-04-018104-5

I. 电… II. 曲… III. 电工学—高等学校:技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 116426 号

策划编辑	孙 杰	责任编辑	王莉莉	封面设计	王凌波	责任绘图	朱 静
版式设计	范晓红	责任校对	杨凤玲	责任印制	陈伟光		

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
			http://www.landaco.com.cn

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京民族印刷厂

开 本	787×1092 1/16	版 次	2005 年 11 月第 1 版
印 张	15.5	印 次	2005 年 11 月第 1 次印刷
字 数	380 000	定 价	18.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18104-00

出版说明

为了认真贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，落实《2003—2007 年教育振兴行动计划》，缓解国内劳动力市场技能型人才紧缺现状，为我国走新型工业化道路服务，自 2001 年 10 月以来，教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业教育产学研经验交流会，明确了高等职业教育要“以服务为宗旨，以就业为导向，走产学研结合的发展道路”，同时明确了高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。这类人才，既要能动脑，更要能动手，他们既不是白领，也不是蓝领，而是应用型白领，是“银领”。从而为我国高等职业教育的进一步发展指明了方向。

培养目标的变化直接带来了高等职业教育办学宗旨、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的改变。与之相应，也产生了若干值得关注与研究的新课题。对此，我们组织有关高等职业院校进行了多次探讨，并从中遴选出一些较为成熟的成果，组织编写了“银领工程”丛书。本丛书围绕培养符合社会主义市场经济和全面建设小康社会发展要求的“银领”人才的这一宗旨，结合最新的教改成果，反映了最新的职业教育工作思路和发展方向，有益于固化并更好地推广这些经验和成果，很值得广大高等职业院校借鉴。我们的这一想法和做法也得到了教育部领导的肯定，教育部副部长吴启迪专门为首批“银领工程”丛书提笔作序。

我社出版的高等职业教育各专业领域技能型人才培养培训工程系列教材也将陆续纳入“银领工程”丛书系列。

“银领工程”丛书适宜于高等职业学校、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

2004 年 9 月

前 言

本书在编写时,本着“以全面素质为基础,以能力为本位,以企业需求为基本依据,以就业为导向;适应企业技术发展,体现教学内容的先进性;以学生为主体,体现教学组织的科学性和灵活性”的原则,在内容的编排、理论的深浅、数学的推导、公式的记忆、知识的应用等方面较以往的传统教科书都有所突破。

本书较一般的同类书有如下特点:

1. 在内容的编排上,我们兼顾楼宇智能化专业所需的电工基础知识、电器基本知识、控制基本理论三部分内容,将本书分为两个模块。每个模块相对独立,自成体系。模块与模块之间既有联系,又可独立选择。

2. 在理论的深浅方面,我们按照高职高专教学改革的要求,在理论教学部分就浅不就深,突出理论知识的实用价值。以应用为目的,以必需、够用为度,加强实用性。全书与传统教材相比,虽然降低了理论难度,但仍然保持教材内容的相对连贯性和稳定性。

3. 关于数学的推导问题,由于本书的知识点中存在着大量的数学推导,为了节省教学时数和突出实用性,全书对高深理论内容,利用图解分析,删除繁琐的数学推导,对于各种定理、定律、公式等直接告知内容和出处,力求深入浅出,通俗易懂,便于教学和学生自学。

4. 学会公式的记忆,在本书的知识点中,有很多重要的公式需要记忆,为帮助学生记住重要公式,本书采取重点介绍,反复使用,多次练习的方式,使学生在理解中记忆,在记忆下理解,在记忆公式的同时记住了电工基础的内容和电器设备的原理。

5. 在知识的应用方面,本书突出理论知识的应用和实践能力的培养,克服传统教科书中为理解理论问题而做习题,大部分习题采用实际工作中的实际问题,并在每个单元的后面安排有实训项目,有条件的院校可在实训基地进行实训教学。力求使学生尽快掌握基本技能,将理论知识迅速转变为技术应用能力。

本书的总体框架体现了高职高专教学改革的特点,在内容上兼顾了当前科学技术的发展和我国职业教育的实际情况,同时注重教材内容有一定的前瞻性,也考虑了后续课程对本课程的要求,摒弃了把本科教材浓缩的弊端。因此本书适用于高职高专、成人高校、民办高校、电大等同类院校的楼宇智能化、电气技术、电气自动化等电类专业。

本书由黑龙江建筑职业技术学院副教授曲桂英担任主编并统稿。曲桂英编写两个模块的序及第4、5、6单元;申雄飞担任副主编并编写第3、7、8单元;王欣编写第1、2单元。

本书由于学同副教授担任主审。他仔细审阅了全部文稿和图稿,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

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) 58581897/58581896/58581879

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

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

模块一 电路及实训	1	课题 3.2 正弦量的相量表示法	71
单元 1 电路的基本概念、基本定律与实训	3	课题 3.3 单一参数的正弦交流电路	75
课题 1.1 电路和电路模型	3	课题 3.4 RLC 串联的交流电路	84
课题 1.2 电流	4	课题 3.5 阻抗的串联与并联	87
课题 1.3 电压、电位及电动势	5	课题 3.6 功率因数的提高	88
课题 1.4 电功率和电能	8	课题 3.7 实训项目	90
课题 1.5 欧姆定律	10	实训 日光灯电路的接线及功率因数的提高	90
课题 1.6 电源有载工作、开路及短路	11	习题	93
课题 1.7 基尔霍夫定律	14	单元 4 三相电路及实训	94
课题 1.8 简单电路的分析和计算	17	课题 4.1 三相电源及连接	94
课题 1.9 常用电工工具及其使用	19	课题 4.2 三相负载的星形联结	99
课题 1.10 常用电工仪器仪表	23	课题 4.3 三相负载的三角形联结	103
课题 1.11 实训项目	37	课题 4.4 三相负载的功率	105
实训一 电压、电流的测量	37	课题 4.5 实训项目	106
实训二 基尔霍夫定律的验证	39	实训一 三相正弦交流电路电压、电流、功率的测量	106
习题	41	实训二 三相交流电源相序指示器	110
单元 2 电路的分析方法与实训	43	习题	112
课题 2.1 电阻串、并联及等效变换	43	模块二 磁路、变压器、电动机及控制基础知识及技能	113
课题 2.2 电阻星形联结与三角形联结的等效变换	47	单元 5 磁路与变压器	115
课题 2.3 电压源与电流源及其等效变换	50	课题 5.1 磁路的基本概念	115
课题 2.4 支路电流法	54	课题 5.2 铁心线圈	119
课题 2.5 节点电压法	56	课题 5.3 变压器的用途、分类及基本结构	122
课题 2.6 叠加定理	58	课题 5.4 变压器的工作原理	124
课题 2.7 戴维宁定理与诺顿定理	60	课题 5.5 变压器的运行特性和额定值	130
课题 2.8 实训项目	62	课题 5.6 变压器的其他类型和应用	133
实训一 叠加定理的验证	62	课题 5.7 实训项目	136
实训二 戴维宁定理的验证	64	实训 参观中小型变电所	136
习题	66		
单元 3 正弦交流电路与实训	68		
课题 3.1 正弦交流电的基本概念	68		

习题	137	课题 7.5 熔断器	190
单元 6 交流电动机	138	课题 7.6 隔离器、刀开关	192
课题 6.1 三相异步电动机的结构	138	课题 7.7 低压断路器	193
课题 6.2 三相异步电动机的旋转原理	140	课题 7.8 主令电器	195
课题 6.3 三相异步电动机的电路分析	144	课题 7.9 实训项目	196
课题 6.4 三相异步电动机的转矩与机械 特性	147	实训一 低压电器的识别	196
课题 6.5 三相异步电动机的起动	150	实训二 低压电器的选择	197
课题 6.6 三相异步电动机的调速	154	习题	197
课题 6.7 三相异步电动机的制动	156	单元 8 继电 - 接触器控制的基本环 节及典型控制电路	198
课题 6.8 三相异步电动机的铭牌数据	157	课题 8.1 电气控制图形的绘制规则	198
课题 6.9 三相异步电动机的选择	161	课题 8.2 笼型异步电动机的起动控制 电路	202
课题 6.10 同步电动机	163	课题 8.3 笼型异步电动机的制动控制 电路	216
课题 6.11 单相异步电动机	164	课题 8.4 笼型异步电动机的调速控制 电路	223
课题 6.12 实训项目	166	课题 8.5 绕线转子异步电动机的控制	229
实训一 电动机运行中的故障与 排除	166	课题 8.6 实训项目	233
实训二 三相异步电动机三相绕 相的首尾判断	168	实训一 根据电气原理图绘制电气 接线图	233
习题	169	实训二 基本控制电路的接线 练习	235
单元 7 常用低压控制电器	171	习题	236
课题 7.1 概述	171	附录 常用电气图形符号和文字符号 ...	238
课题 7.2 常用低压电器的基础知识	173	参考书目	241
课题 7.3 接触器	177		
课题 7.4 继电器	182		

模块一 电路及实训

本模块的理论教学包括本专业所需的电路知识。由基本知识、基本概念入手,逐步地建立直流、单相交流、三相交流等各种电路模型及各种模型间的互换。实际训练由认识通用电工工具、专用电工工具入手,逐步学会使用各种电工仪表,并掌握测量各种电量和电路的方法及技能。

单元1 电路的基本概念、基本定律与实训

电路和磁路是电工技术的主要研究对象,而电路的研究起点是电路中的元件、参数和模型,因此电路理论是学习电工技术和电子技术的基础。本单元主要介绍电路模型、电路的组成及其物理量、电路的基本定律、电路的计算方法以及各种常用电工工具的使用方法等。

学习完本单元后,将能够:

- 懂得电路的基本概念及电路模型。
- 学会电路中各种物理量的概念,充分理解电流、电压、电动势的参考方向及关联方向的概念。
- 学会电功率 $P > 0$ 和 $P < 0$ 的定义及功率的计算。
- 学会欧姆定律、基尔霍夫定律的内容及应用。
- 了解电路的各种工作状态。
- 学会使用各种仪器仪表,并利用这些仪器仪表对电压、电流进行测量,以及对基尔霍夫定律进行验证。

课题 1.1 电路和电路模型

电路是由电路器件(例如晶体管)和电路元件(例如电容、电阻等)按一定要求相互连接而成。它提供了电流流通的路径。有些实际电路十分复杂,例如电力的产生、输送和分配是通过发电机、变压器、输电线等完成,形成了一个庞大而复杂的电路。但有些电路十分简单,例如手电筒就是一个很简单的电路,如图 1.1.1 所示。

但不管电路的结构是怎样简单或复杂,电路必定由电源、负载和中间环节三大部分组成。

电源是将非电能转换成电能的装置,例如:电池将化学能转换成电能。它是推动电流运动的源泉。

负载是将电能转换成非电能的装置,例如:白炽灯将电能转换成光能和热能。它是取用电能的装置。

中间环节是把电源与负载连接起来的部分,具有输送、分配、控制电路通断的功能。

为此,电路具有两个主要功能:其一,在电路中随着电流的流动实现电能与其他形式能量的转换、传输和分配。例如:发电厂把热能(通过煤粉等燃烧)转换成电能,再通过变压器、输电线送到各用户,各用户把它们再转换成光能、热能和机械能加以使用。其二,电路可以实现信号的传递和处理,例如:电视接收天线将含有声音和图像信息的高频电视信号通过高频传输线送到电视机,这些信号经过选择、变换、放大和检波等处理,恢复出原来的声音和图像信息,在扬声器中

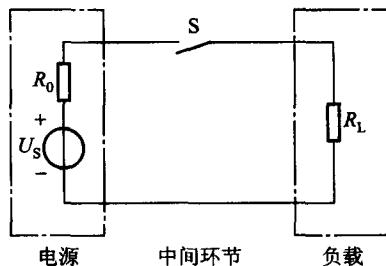


图 1.1.1 手电筒电路

发出声音,并在显像管屏幕上呈现图像。

实际的电路器件在工作时的电磁性质是比较复杂的,不是单一的,例如:电阻炉在通电工作时能把电能转换成热能,具有电阻的性质,但其电压和电流的存在也会产生磁场,故也具有储存磁场能量即电感的性质。因此在分析和计算时如果把该器件的所有电磁性质都考虑进去将是十分复杂的。所以人们为了表征电路中某一部分的主要电磁性能以便进行定性、定量分析,把该部分电路抽象成一个电路模型,即用理想的电路元件来代替这部分电路。那么什么是理想电路元件呢?指突出该部分电路的主要电或磁的性质,而忽略次要的电或磁性的假想元件。因此可以用理想电路元件及它们的组合来反映实际电路元件的电磁性质。

例如:电感线圈是由导线绕制而成的,它既有电感量又有电阻值,往往忽略线圈的电阻性质,而突出它的电磁性质,把它表征为一个储存磁场能量的电感元件。同样,电阻丝是用金属丝一圈一圈绕制而成,它既有电感量也有电阻值,在实际分析时往往忽略电阻丝的电感性质,而突出其主要的电阻性质,把它表征为一个消耗电能的电阻元件。

今后,理想电路元件都简称为电路元件,通常包括电阻元件、电感元件、电容元件以及理想的电压源和电流源。前三种元件均不产生能量,称为无源元件,后两种元件是提供能量的,称为有源元件。

【练习与思考】

1.1.1 电路主要由几部分组成?各部分的作用是什么?

1.1.2 电路模型与实际电路之间有什么区别?

课题 1.2 电 流

带电质点有规律运动的物理现象,称为电流。带电质点在电解质中指带正电或负电的正负离子,在金属导体中是指带负电的自由电子。在电场的作用下,正电荷顺电场方向运动,负电荷逆电场方向运动。规定正电荷移动的方向为电流方向。

电流在数值上等于单位时间内通过导体某一横截面积的电荷量。设在极短的时间 dt 内通过导体某一横截面的电荷量为 dq ,则通过该截面的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

上式表明电流 i 是随时间变化的。如果电流不随时间变化,即 $dq/dt = \text{常数}$,则这种电流称为恒定电流,简称直流,可写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2.2)$$

电流是客观存在的物理现象,虽然看不见摸不着,但可以通过电流的各种效应来体现它的客观存在。日常生活中的开、关灯,都分别体现了电流的“存在”与“消失”。在国际单位制(SI)中,规定电流的单位是库[仑]/秒,即安[培],简称安(A),电荷的单位是库[仑](C),时间的单位是秒(s),在电子电路中电流都很小,常以毫安(mA)、微安(μA)作为电流的计量单位,而在电力系统中电流都较大,常以千安(kA)作为电流的计量单位。它们之间的换算关系是

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

在分析电路时不仅要计算电流的大小,还应了解电流的方向。习惯上规定正电荷的移动方向作为电流的方向(实际方向),对于比较复杂的直流电路往往不能确定电流的实际方向;对于交流电,其电流方向是随时间变化的,更难于判断。因此,为分析方便引入了电流的参考方向这一概念,参考方向可以任意设定,在电路中用箭头表示。且规定,当电流的参考方向与实际方向一致时,电流为正值,即 $i > 0$,如图 1.2.1(a)所示,当电流的参考方向与实际方向相反时,电流为负值,即 $i < 0$,如图 1.2.1(b)所示。

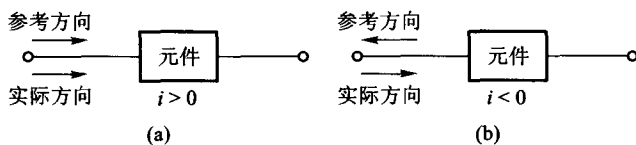


图 1.2.1 电流的参考方向与实际方向的关系

有时,还可以用双下标表示:如 I_{ab} (表示电流从 a 流向 b), I_{ba} (表示电流从 b 流向 a), 即 $I_{ab} = -I_{ba}$, 注意负号表示与规定的方向相反。

在分析电路时,首先要假定电流的参考方向,并以此为标准去分析计算,最后从结果的正负值来确定电流的实际方向。

【练习与思考】

1.2.1 什么是电流? 电流的方向是什么?

1.2.2 已知 $I_{ab} = -5 \text{ A}$, 则 I_{ba} 是多少?

课题 1.3 电压、电位及电动势

一、电压

电荷在电路中运动,必然受到电场力的作用。也就是说电场力对电荷做了功。为了衡量其做功的能力,引出“电压”这一物理量。电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功,称为 ab 两点间的电压,即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.3.1)$$

其中, dq 为由 a 点移到 b 点的电荷量,单位为库[仑](C), dW 为电场力将正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,单位为焦[耳](J), 电压的单位为伏[特](V)。有时还用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)等单位。它们之间的换算关系是

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

直流电路中,式(1.3.1)应写为

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1.3.2)$$

电路中任意两点间的电压仅与这两点在电路中的相对位置有关,而与选取的计算路径无关。习惯上规定电压的实际方向由高电位指向低电位。和电流一样,电路中两点间的电压可任意选定一个参考方向,且规定当电压的参考方向与实际方向一致时电压为正值,即 $U > 0$;相反时电压为负值,即 $U < 0$ 。

电压的参考方向可用箭头表示,也可用正(+)、负(-)极性表示,如图 1.3.1 所示,还可用双下标表示,如 u_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压参考方向由 A 指向 B。

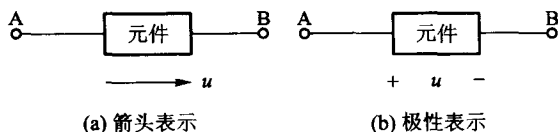


图 1.3.1 电压参考方向

对于任意一个元件的电流或电压的参考方向可以独立的任意指定。如果指定流过元件的电流的参考方向是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端,即两者的参考方向一致,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,如图 1.3.2(a)所示,当两者不一致时,称为非关联参考方向,如图 1.3.2(b)所示。

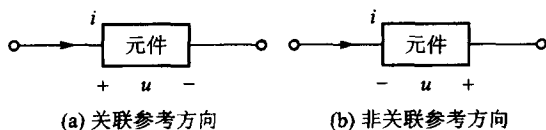


图 1.3.2 关联与非关联参考方向

二、电位

为了分析电路方便,常指定电路中任一点为参考点 0。电场力把单位正电荷 q 从电路中任意一点 a 移到参考点 0 电场力所做的功,称为 a 点电位,记为 V_a 。实际上电路中某点的电位即该点与参考点之间的电压。

为确定电路中各点的电位,就必须在电路中选一个参考点,且可归纳为:

(1) 参考点 0 的选取是任意的,其本身的电位为零,即 $V_0 = 0$,高于参考点的电位为正,比参考点低的电位为负。

(2) 参考点选取不同,电路中各点的电位也不同。但参考点一旦选定后电路中各点的电位只能有一个数值。

(3) 只要电路中两点位置确定,不管其参考点如何变更,两点之间的电压只有一个数值。

(4) 在研究同一电路系统时,注意只能选一个电位参考点。

【例 1.3.1】 如图 1.3.3 所示电路中,分别以 O 和 B 为参考点,试求电路中各点的电位。

解: 电路中

$$I = \frac{5}{1+4} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

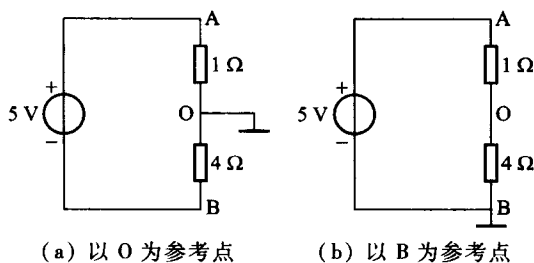


图 1.3.3 例 1.3.1 图

若以 O 点为参考点, 则 $V_O = 0 \text{ V}$

$$V_A = (1 \times 1) \text{ V} = 1 \text{ V}$$

$$V_B = -(1 \times 4) \text{ V} = -4 \text{ V}$$

$$[\text{验算: } U_{AB} = V_A - V_B = [1 - (-4)] \text{ V} = 5 \text{ V}]$$

若以 B 点为参考点, 则 $V_B = 0 \text{ V}$

$$V_A = [1 \times (1 + 4)] \text{ V} = 5 \text{ V}$$

$$V_O = (1 \times 4) \text{ V} = 4 \text{ V}$$

$$[\text{验算: } U_{AB} = V_A - V_B = (5 - 0) \text{ V} = 5 \text{ V}]$$

电位的引入, 给电路分析带来了方便, 在电子线路中往往不再画出电源而改用电位标出, 如图 1.3.4 所示为电路的一般画法与电子线路中的习惯画法示例。

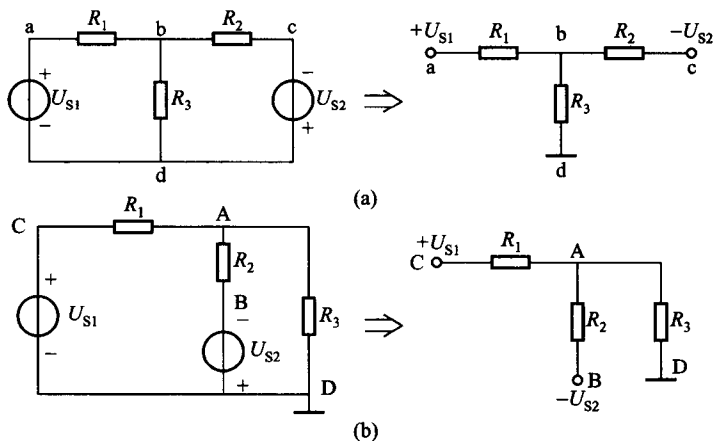


图 1.3.4 电路的一般画法与电子线路的习惯画法

三、电动势

在电路分析中, 也常用到电动势这个物理量。

电源的电动势 E 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极经电源内部移到电源正

极所做的功,也就是单位正电荷从电源负极到电源正极所获得的电能。

电动势的基本单位也是伏[特]。习惯上规定电动势的实际方向是由电源负极(低电位)指向电源正极(高电位)。

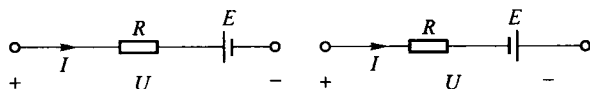
在电路分析中,也常用电压源的电动势大小来表示端电压的大小,但是要注意,电压源端电压的实际方向和电动势的实际方向是相反的。

因此从电压与电动势的定义可以得出这样一个结论:电场力把单位正电荷从电源的正极移到负极,而电源力则把单位正电荷从电源的负极移到正极,这样,该电荷实际上在电路中完整的绕行了一周,也就是说电路中的电流从电源的正极流出,经外电路,再经电源负极流回电源正极。

【练习与思考】

1.3.1 如题图 1.3.1 所示电路中,(1) 试求出电压 U 与电流 I 的关系表达式。

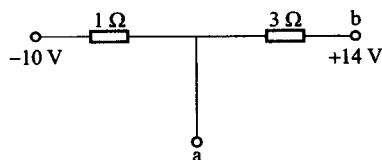
(2) 电压 U 与电流 I 是否为关联参考方向。



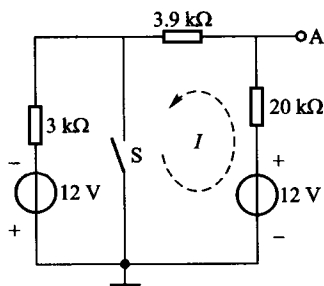
题图 1.3.1

1.3.2 如题图 1.3.2 所示电路,试求出电路中的电位 V_a 、 V_b 及电压 U_{ab} 。

1.3.3 在题图 1.3.3 所示电路中,试求开关 S 断开及合上时 A 点的电位。



题图 1.3.2



题图 1.3.3

课题 1.4 电功率和电能

在电路的分析和计算中,能量和功率的计算是十分重要的。这是因为电路在工作状况下总伴随电能与其他形式能量的相互交换;另一方面,电气设备、电路部件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值。