

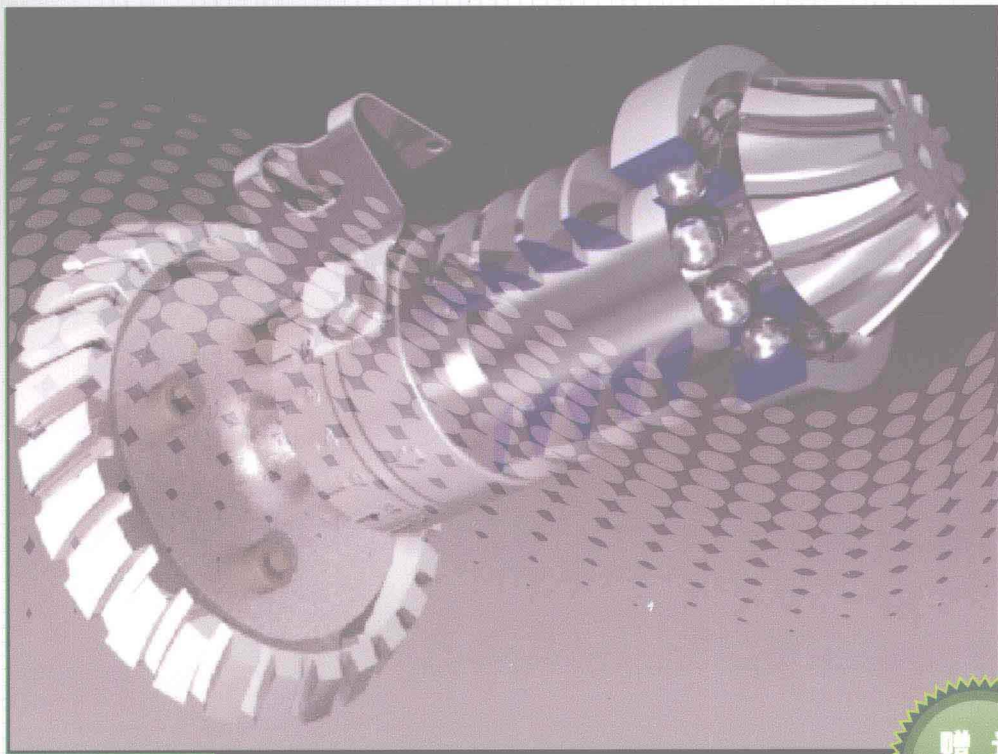


高职高专机电类专业基础课规划教材

电工电子技术基础

DIANGONG DIANZI JISHU JICHU

张芳芳 汤银忠 张存礼 韩学政 主编
马起朋 副主编



赠送
电子课件

本书特色

- ❁ 理论知识阐述条理清晰，详简得当，易于掌握。
- ❁ 案例通俗易懂，典型生动，以培养学生的工程应用能力和解决实际问题的能力，提高学生的职业能力。
- ❁ 电子元器件实物图片直观形象，易于学生理解。

清华大学出版社

高职高专机电类专业基础课规划教材

电工电子技术基础

韩学政 主 编

张芳芳 汤银忠 张存礼 马起朋 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了电工电子技术的基本内容,把培养学生的职业能力作为首要目标,内容系统连贯,深入浅出;案例通俗易懂,典型生动;插入了电子元件实物图片,直观形象;附录中列出了电阻、电容和常用电子器件的型号参数及使用方法,实用性强。本书主要包括:电工电子技术基础知识、低压电器与电工测量、交流电路、电机与变压器、常用电子器件及其应用、集成运算放大器组合逻辑电路、时序逻辑电路等内容。

本书可作为高职高专院校机电类专业电工电子技术基础课程教材,也可作为其他非机电类专业和成人教育、职业培训及相关技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/韩学政主编;张芳芳,汤银忠,张存礼,马起朋副主编. —北京:清华大学出版社, 2009.9

(高职高专机电类专业基础课规划教材)

ISBN 978-7-302-20944-7

I. 电… II. ①韩… ②张… ③汤… ④张… ⑤马… III. ①电工技术—高等学校:技术学校—教材 ②电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TMTN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 148574 号

责任编辑:孙兴芳

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:29.25 字 数:708 千字

版 次:2009 年 9 月第 1 版 印 次:2009 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:38.50 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:032192-01

前 言

本书依据“关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见”的精神,借鉴德国职业教育的双元制思想,即基于工作过程为导向的课程开发与教学过程设计思想,以就业为导向,加大课程建设与改革的力度,创新教材模式。把“强化职业道德,增强学生的职业能力”作为首要目标,突出应用环节;紧扣高职办学理念,以理论够用为原则,删繁就简,削枝强干,注重技能训练和实际应用。全书贯彻“简明、实用、够用”的原则,正确处理了理论知识与技能的关系,用实例强化概念;简化理论推导,注重结论的应用,通过典型实例、实训,提高学生的职业技能和综合素质,充分体现了科学性、实用性、代表性和先进性。

本书具有以下几个突出特点。

(1) 考虑对教材适用对象的要求,既具备必需的理论基础知识,又满足高等职业技术人才的实际需求。因此,在内容编排上充分考虑了理论深度,避免理论上过深或过浅、内容上过繁或过简。

(2) 每个元器件的介绍都配有图形,直观形象,易于学生理解;并在中间部分穿插思考、提示或小实验,启发学生思考,激发学习兴趣,开拓学生视野,增强了趣味性和实用性。

(3) 每章最后都设有拓展实训,以培养学生的工程应用能力和解决实际问题的能力,突出了对学生职业能力的培养。

(4) 每章开始设有本章要点和技能目标,每章的章末附有本章小结和习题,结构简单明确,有利于学生的预习和复习。在例题和习题的选择上,更加注重理论联系实际,使学生学了就有用、学了就能用。

(5) 将电阻电容等常用电子元件的命名方法、标称值、型号及参数列入附录,方便学生实训和岗位需要时查阅。

全书内容包括电工电子技术基础知识、低压电器与电工测量、交流电路、电动机与变压器、常用电子器件及其应用、集成运算放大器、组合逻辑电路、时序逻辑电路和模拟量与数字量的转换等。

本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校的二级职业技术学院自动化、机电、计算机及其相关专业的教材使用,也可作为相关工程技术人员和操作人员的参考书或成人教育和岗前培训教材。

本书由韩学政教授任主编,张芳芳、汤银忠、张存礼、马起朋任副主编。具体分工如下:马起朋、史严梅编写第1、2章;张裕仕、韩学政编写第3章;韩学政编写第4章;张芳芳、韩学政编写第5、6章;刘红星编写第7章;田中俊编写第8章;卢纪丽编写第9章;汤银忠编写思考与习题部分答案。

滨州学院的宋宁宁同志对书中绘图倾注了大量的精力;北京航空航天大学李明军博



士也对该书提出了很好的建议，在此对给予支持帮助的以上单位和个人表示诚挚的感谢！

在本书编写过程中，编者参考了有关书刊和资料，并引用了其中一些资料，在此一并向这些作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有些不足之处，恳请广大读者批评指正，我们一定会不断改进。

编 者

目 录

第 1 章 电工电子技术基础知识	1	2.3.5 刀开关	54
1.1 太阳能水箱加热显示电路设计说明	1	2.3.6 主令电器	57
1.2 电路的基本概念及基本定律	2	2.4 电工仪表	62
1.2.1 电路模型	2	2.4.1 电工仪表的基础知识	62
1.2.2 参考方向	2	2.4.2 电工仪表的使用方法	67
1.2.3 电路的基本定律	8	2.5 电工工具	73
1.3 电路的分析方法	12	2.5.1 验电笔	74
1.3.1 电压源和电流源的等效变换 ...	12	2.5.2 螺钉旋具	76
1.3.2 戴维南定理与诺顿定理	16	2.5.3 电工钳	77
1.4 电路的工作状态	21	2.5.4 电烙铁	77
1.4.1 电路的有载工作	21	2.6 照明电路的安装过程与故障处理	79
1.4.2 电路的开路	22	2.6.1 常用照明附件和	
1.4.3 电路的短路	23	白炽灯的安装	79
1.5 太阳能水箱加热显示电路的		2.6.2 荧光灯照明线路	83
设计过程	23	2.7 电路测量的设计过程	86
1.6 拓展实训	25	2.8 拓展实训	87
1.6.1 基尔霍夫定律验证实训	25	2.8.1 直流电位、电压和电流的	
1.6.2 戴维南定理的验证实训	26	测量实训	87
1.6.3 电压源与电流源的等效		2.8.2 低压电器的拆装实训	89
变换实训	29	本章小结	89
本章小结	31	思考题与习题	90
思考题与习题	32		
第 2 章 低压电器与电工测量	36	第 3 章 交流电路	91
2.1 电路测量设计说明	36	3.1 直流稳压电源的设计说明	91
2.2 低压电器基础知识	37	3.2 交流电路的基本概念	92
2.2.1 低压电器的分类与用途	37	3.2.1 正弦量	92
2.2.2 低压电器的主要技术指标	39	3.2.2 相量	93
2.2.3 低压电器的组成	40	3.3 RLC 交流电路	95
2.3 常用低压电器	42	3.3.1 单一参数电路	95
2.3.1 接触器	42	3.3.2 RLC 电路	100
2.3.2 继电器	44	3.3.3 电路的谐振	102
2.3.3 熔断器	50	3.4 三相交流电路	106
2.3.4 断路器	52	3.4.1 三相电源	107
		3.4.2 三相负载	110
		3.4.3 三相电路的计算	112



3.4.4 三相电路的功率	115	4.7.1 单相电容式电动机的 故障检修	178
3.5 安全用电	118	4.7.2 小型变压器的测试	179
3.5.1 触电	119	本章小结	181
3.5.2 保护接地与保护接零	121	思考题与习题	181
3.5.3 安全用电措施	122		
3.6 直流稳压电源电路的设计过程	122	第5章 常用电子器件及其应用	184
3.7 拓展实训	123	5.1 半导体二极管	185
3.7.1 正弦稳态交流电路相量的 研究	123	5.1.1 半波整流电路设计	185
3.7.2 三相交流电路电压、电流的 测量	125	5.1.2 二极管工作原理与 特性参数	185
本章小结	126	5.1.3 常见二极管及其应用	187
思考题与习题	127	5.1.4 二极管整流电路	189
第4章 电动机与变压器	130	5.1.5 二极管稳压电路	191
4.1 三相异步电动机控制电路的设计	130	5.1.6 带有半波整流器的 照明电路设计过程	192
4.2 电动机的分类	131	5.2 半导体三极管	193
4.3 三相异步电动机	131	5.2.1 三极管放大电路设计	193
4.3.1 三相异步电动机的铭牌	131	5.2.2 三极管工作原理与特性	194
4.3.2 三相异步电动机的选择	133	5.2.3 三极管基本放大电路	196
4.3.3 三相异步电动机的结构	136	5.2.4 多级放大电路	205
4.3.4 三相异步电动机的 工作原理	137	5.2.5 差动放大电路	209
4.3.5 三相异步电动机的 电磁转矩和机械特性	141	5.2.6 三极管放大电路的 设计过程	213
4.3.6 三相异步电动机的运行	144	5.3 场效应管	215
4.4 直流电动机与控制电机	149	5.3.1 场效应管放大电路设计	215
4.4.1 直流电动机的结构及分类	149	5.3.2 场效应晶体管工作原理与 特性	216
4.4.2 直流电动机的工作原理和 机械特性	150	5.3.3 场效应管放大电路	220
4.4.3 直流电动机的运行	152	5.3.4 场效应管放大电路设计 过程	224
4.4.4 控制电机	156	5.4 晶闸管	225
4.5 变压器	159	5.4.1 晶闸管整流电路设计	225
4.5.1 变压器的结构、原理、 运行	159	5.4.2 晶闸管基础知识	225
4.5.2 变压器的选择和使用	169	5.4.3 晶闸管整流电路	227
4.5.3 特殊变压器	171	5.4.4 晶闸管的选择与保护	229
4.6 三相异步电动机正反转控制线路的 设计过程	174	5.4.5 晶闸管触发电路	231
4.7 拓展实训	178	5.4.6 单相半控桥式整流电路设计 过程	234

5.5 拓展实训	235	7.2.3 组合逻辑电路的分析方法	290
5.5.1 常用电子器件的测试	235	7.2.4 组合逻辑电路的设计方法	292
5.5.2 差动放大电路性能测试	238	7.3 常见的组合逻辑电路	293
本章小结	240	7.3.1 编码器	293
思考题与习题	241	7.3.2 译码器	295
第 6 章 集成运算放大器	244	7.3.3 数据选择器	300
6.1 方波信号发生器的设计说明	244	7.3.4 加法器	303
6.2 集成运算放大器基础知识	245	7.3.5 数据比较器	304
6.2.1 集成运放的结构	245	7.4 数字密码锁电路设计过程	305
6.2.2 集成运放的符号	245	7.5 拓展实训	310
6.2.3 主要技术参数	246	7.5.1 逻辑门电路与组合逻辑电路	
6.2.4 集成运放的理想模型	248	功能测试	310
6.3 放大器中的负反馈	249	7.5.2 编码器、译码器及显示器	311
6.3.1 反馈的类型及判别方法	249	本章小结	313
6.3.2 反馈放大电路的工作原理	250	思考题与习题	313
6.3.3 负反馈对放大器的影响	252	第 8 章 时序逻辑电路	317
6.4 集成运放的应用电路	253	8.1 数字电子秒表的设计	317
6.4.1 比例运算电路	253	8.2 触发器	318
6.4.2 加法运算电路	257	8.2.1 基本触发器	319
6.4.3 积分运算电路	259	8.2.2 主从触发器	322
6.4.4 微分运算电路	261	8.2.3 边沿触发器	326
6.4.5 电压比较器	261	8.2.4 集成触发器	330
6.5 集成运放的选取和使用	264	8.3 时序逻辑电路的一般分析方法	333
6.5.1 集成运放的选取	264	8.3.1 时序逻辑电路分析的	
6.5.2 集成运算放大器的		一般步骤	333
使用要点	264	8.3.2 同步时序逻辑电路的	
6.6 方波信号发生器的设计过程	267	分析举例	334
6.7 拓展实训	268	8.3.3 异步时序逻辑电路的	
6.7.1 三角波信号发生器的设计	268	分析举例	336
6.7.2 集成差分放大电路的设计	269	8.4 计数器	337
本章小结	271	8.4.1 二进制计数器	337
思考题与习题	272	8.4.2 非二进制计数器	344
第 7 章 组合逻辑电路	273	8.4.3 集成计数器的应用	349
7.1 数字密码锁电路设计	273	8.5 数码寄存器与移位寄存器	354
7.2 组合逻辑基础知识	274	8.5.1 数码寄存器	354
7.2.1 逻辑门电路	274	8.5.2 移位寄存器	355
7.2.2 逻辑函数及其化简	282	8.5.3 集成移位寄存器 74194	357



8.5.4 移位寄存器构成的移位型 计数器.....	358
8.6 集成 555 定时器.....	359
8.6.1 定时器的电路结构与 工作原理.....	359
8.6.2 施密特触发器.....	360
8.6.3 多谐振荡器.....	362
8.6.4 单稳态触发器.....	365
8.7 电子秒表的设计过程.....	369
8.8 拓展实训.....	370
8.8.1 防盗报警器的制作实训	370
8.8.2 竞赛抢答器的设计实训	371
本章小结.....	371
思考题与习题.....	373
第 9 章 模拟量与数字量的转换.....	376
9.1 可编程增益放大器设计.....	376
9.1.1 可编程增益放大器的 设计说明.....	376
9.1.2 增益放大器的分类.....	377
9.1.3 可编程增益放大器的设计	378
9.2 数模转换器.....	380
9.2.1 计算机输出控制电机电路 设计说明.....	380
9.2.2 数模转换器的基本原理	380
9.2.3 不同类型数模转换器的 工作原理.....	381
9.2.4 常用集成数模转换器	383
9.2.5 数模转换器的 主要技术指标.....	385
9.2.6 计算机输出控制电机的 设计.....	386
9.3 模数转换器	387
9.3.1 模拟量输入计算机的 电路设计说明	387
9.3.2 模数转换器的基本原理.....	388
9.3.3 各种类型的模数转换器.....	390
9.3.4 模数转换器的 主要技术指标	396
9.3.5 集成模数转换器及其应用.....	396
9.3.6 模拟量输入计算机的 电路设计	399
9.4 拓展实训	400
9.4.1 数模转换器 DAC0832 的 测试	400
9.4.2 模数转换器 ADC0809 的 测试	401
本章小结	402
思考题与习题	403
附录.....	408
附录一 电阻的命名方法及其标称值.....	408
附录二 电容的命名方法及其标称值.....	413
附录三 低压电器的命名方法及含义.....	416
附录四 常用电子元器件型号及参数.....	419
附录五 集成电路	426
附录六 电器的文字符号和图形符号.....	428
部分习题参考答案	433
参考文献.....	456

第 1 章 电工电子技术基础知识

本章要点

- 了解电路的基本概念及电路模型。
- 理解电流、电压的参考方向及关联方向的概念。
- 掌握欧姆定律、基尔霍夫定律的内容及应用。
- 理解电压源和电流源之间的等效变换。
- 掌握戴维南定理和诺顿定理。
- 熟悉电路的三种工作状态。

技能目标

- 会测量直流电路中的电流和电压。
- 能够对有源二端网络等效参数进行测量。
- 掌握电源外特性的测试方法，能够对电压源和电流源进行等效变换。

主要理论及工程应用导航

本章主要讲述了电路的基本概念、基本定律及电路分析方法，介绍了电路的工作状态，为后面分析各种电工电子电路奠定必要的基础。

众所周知，现代生活离不开电，电灯、电视、电话、电冰箱、电梯等都要用电。现代工农业生产少不了电，现代科学技术更离不开电。电的作用变得越来越大，它渗透到人类生活的每一个角落。对于人类来说，电是如此的重要，又是如此的神奇。因此，作为 21 世纪的大学生，更有必要学习电的相关概念和知识。

1.1 太阳能水箱加热显示电路设计说明

1. 设计目的

掌握电路基本定律的应用。

2. 设计内容

太阳能晒水箱中的水在冬天往往温度不够高，要在水箱中加装一个“220V，2000W”的电热管，并利用一个“6V，1W”的小灯泡和一段 $10\Omega/\text{m}$ 的电阻丝，为电热管安装一个指示灯，如果小灯泡两端的电压按 5V 设计，请你设计能够满足以上要求的电路图，电阻丝足够长并可按需进行截取。



1.2 电路的基本概念及基本定律

电路也称为电网络,是各种电器设备按照一定方式连接起来的整体。现代工程技术领域中存在着种类繁多、形式和结构各不相同的电路,但就其作用而言,主要包括两个方面:一是进行能量转换、传输和分配,如电力系统电路,发电机组将其他形式的能量转换成电能,经变压器、输电线传输到各用电部门后,用电部门再把电能转换成光能、热能、机械能等其他形式的能而加以利用;二是对电信号的处理和传递,如收音机或电视机把电信号经过调频、滤波、放大等环节的处理,使其成为人们所需要的其他信号。电路的这两种作用在自动控制、通信、计算机技术等方面得到了广泛应用。

思考:什么是电路?如何求取电路中的电压和电流呢?

1.2.1 电路模型

实际的电路器件在工作时的电磁性质比较复杂,绝大多数器件具备多种电磁效应,给分析问题带来困难。为了使问题得以简化,便于探讨电路的普遍规律,在分析和研究具体电路时,对实际的电路器件,一般取其起主要作用的方面,并用一些理想电路元件来替代。所谓理想电路元件,是指在理论上具有某种确定的电磁性质的假想元件,它们以及它们的组合可以反映出实际电器元件的电磁性质和实际电路的电磁现象。因为实际电路元件虽然种类繁多,但在电磁性能方面可以把它们归类。例如,有的元件主要是供给能量的,它们能将非电能量转化成电能,像干电池、发电机等就可用“电压源”这样一个理想元件来表示;有的元件主要是消耗电能的,当电流通过它们时就把电能转化成其他形式的能,像各种电炉、白炽灯等就可用“电阻元件”这样一个理想元件来表示;另外,还有的元件主要是储存磁场能量和储存电场能量的,就可用“电感元件”或“电容元件”来表示等。

用抽象的理想元件及其组合近似地替代实际电路元件,即把实际电路的本质特征抽象出来所形成的理想化了的电路就可构成与实际电路相对应的电路模型。以后所讨论的电路都是电路模型,通过对它们的基本规律进行研究,达到分析实际电路的目的。

1.2.2 参考方向

1. 电流电压及其参考方向

带电粒子的定向移动形成电流。单位时间内通过导体截面的电荷量定义为电流强度,用它来衡量电流的大小。电流强度简称为电流,用*i*表示,根据定义有

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

式中: dq 为导体截面中在 dt 时间内通过的电荷量。国际单位制中,电荷量的单位为库仑(C);时间单位为秒(s);电流单位为安培,简称安(A),有时还用千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等单位。

习惯上将正电荷移动的方向规定为电流的方向。

当电流的大小和方向不随时间而变化时,就称其为直流电流,简称直流(Direct Current, DC)。对不随时间变化的物理量一般都用大写字母来表示,即直流时,式(1-1)可以改写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

电荷在电路中运动,必定受到力的作用,也就是说力对电荷做了功。为了衡量其做功的能力,引入“电压”这一物理量,并定义电场力把单位正电荷从A点移动到B点所做的功称为A点到B点间的电压,用 u_{AB} 表示。即

$$u_{AB} = \frac{dw_{AB}}{dq} \quad (1-3)$$

式中: dw_{AB} 表示电场力将 dq 的正电荷从A点移动到B点所做的功,单位为焦耳(J);电压单位为伏特,简称伏(V),有时还用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等单位。

直流时,式(1-3)应写成

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-4)$$

由电压的定义可知,如果正电荷从A点移动到B点是电场力做功,那么正电荷从B点移动到A点必定有一种外力在克服电场力做功,或者说电场力做了负功,即 $dw_{AB} = -dw_{BA}$,则 $u_{AB} = -u_{BA}$ 。这说明,电压是有方向的。电压的方向是电场力移动正电荷的方向。

以上对电流、电压规定的方向,是电路中客观存在的,称为实际方向,对于一些十分简单的电路可以直观地确定。但在分析计算较复杂一些的电路时,往往很难判断出某一元件或某一段电路上电流或电压的实际方向,而对那些大小和方向都随时间变化的电流或电压,要在电路中标出它们的实际方向就更不方便了。为此,在分析计算电路时采用标定“参考方向”的方法。

参考方向是人们任意选定的一个方向。例如,图1-1(a)和图1-1(b)所示的某电路中的一个元件,其电流的实际方向虽然事先不知,但它只有两种可能,不是从A流向B,就是从B流向A,可以任意选定一个作为参考方向并用箭头标出。图1-1中选定的参考方向是从A指向B,该方向与实际方向不一定一致。将电流用一个代数量来表示,若 $i > 0$,则表明电流的实际方向与参考方向是一致的,如图1-1(a)所示;若 $i < 0$,则表明电流的实际方向与参考方向是不一致的,如图1-1(b)所示。于是在选定的参考方向下,电流值的正、负就反映了它们的实际方向。

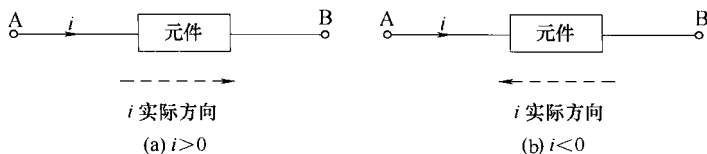


图 1-1 电流的参考方向与实际方向的关系

同样道理,电路中两点间的电压也可任意选定一个参考方向,并由参考方向和电压值



的符号反映该电压的实际方向。

电压的参考方向可以用一个箭头表示,如图 1-2(a)所示;也可以用正(+)、负(-)极性表示,称为参考极性,如图 1-2(b)所示;另外还可以用双下标表示,如 u_{AB} 表示 A、B 两点间电压的参考方向是从 A 指向 B 的。以上几种表示方法只需任选一种标出即可。

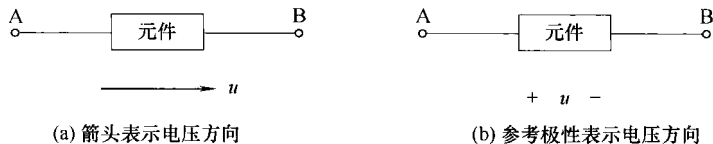


图 1-2 电压的参考方向与参考极性的表示方法

在以后的电路分析中,完全不必先去考虑各电流、电压的实际方向如何,而应首先在电路图中标定它们的参考方向,然后根据参考方向列写有关电路方程,计算结果的符号与标定的参考方向就反映了它们的实际方向。参考方向一经选定,在分析电路的过程中就不再变动。

对于同一个元件或同一段电路上的电压和电流的参考方向,彼此原是可以独立无关任意选定的,但为方便起见,习惯上常将电压和电流的参考方向选得一致,称其为关联的参考方向。为简单明了,一般情况下,只需标出电压或电流中的某一个参考方向,这就意味着另一个选定的是与之相关联的参考方向。

2. 电位

在电路中任选一点 O 作为参考点,则该电路中某一点 A 到参考点的电压就叫做 A 点的电位,用 u_A 表示。根据定义有

$$u_A = u_{AO} \quad (1-5)$$

电位实际上就是电压,其单位也是伏特(V)。

电路参考点本身的电位为零,即 $u_O = 0$, 所以参考点也称零电位点。

电路中除参考点外的其他各点的电位可能是正值,也可能是负值,某点电位比参考点高,则该点电位就是正值,反之则为负值。

以电路中的 O 点为参考点,则另两点 A、B 的电位分别为 $u_A = u_{AO}$ 、 $u_B = u_{BO}$, 它们分别表示电场力把单位正电荷从 A 点或 B 点移到 O 点所做的功,那么电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功 u_{AB} 就等于电场力把单位正电荷从 A 点移到 O 点,再从 O 点移到 B 点所做的功的和,即

$$u_{AB} = u_{AO} + u_{OB} = u_{AO} - u_{BO} \text{ 或 } u_{AB} = u_A - u_B \quad (1-6)$$

式(1-6)说明,电路中 A 点到 B 点的电压等于 A 点电位与 B 点电位的差,因此,电压又叫电位差。

参考点是可以任意选定的,一经选定,电路中其他各点电位也就确定了。参考点选择不同,电路中同一点的电位会随之而变,但任意两点的电位差即电压是不变的。在电路图中不指明参考点而谈某点的电位是没有意义的。在一个电路系统中只能选一个参考点。至于选哪点作为参考点要根据分析问题的方便而定。

3. 电动势

图 1-3 所示有两个电极 A 和 B, A 带正电称正极, B 带负电称负极, 用导线把 A、B 两极连接起来, 在电场力的作用下, 正电荷沿着导线从 A 移动到 B(实质上是导体中的自由电子在电场力作用下从 B 移到了 A), 形成了电流 i 。随着正电荷不断从 A 移到 B, A、B 两极间的电场逐渐减弱, 以至消失, 这样导线中的电流也会减至零。为了维持连续不断的电流, 必须保持 A、B 间有一定的电位差, 即保持一定的电场。这就需要有一种力来克服电场力, 把正电荷不断地从 B 极移到 A 极去。电源就是能产生这种力的装置, 这种力称为电源力。例如, 在发电机中, 导体在磁场中运动时, 就有磁场能转换为电源力; 在电池中, 就有化学能转换为电源力。

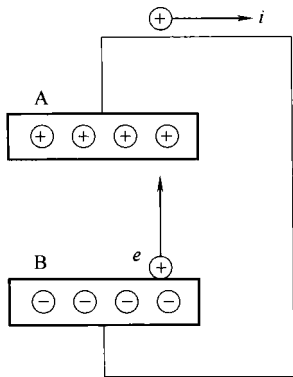


图 1-3 电源力做功示意图

电源力把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功称为电源的电动势, 用 e 表示, 即

$$e = \frac{dw_{BA}}{dq} \quad (1-7)$$

式中: dw_{BA} 表示电源力将 dq 的正电荷从 B 移到 A 所做的功。显然, 电动势与电压有相同的单位——伏特(V)。

按照定义, 电动势的方向是电源力克服电场力移动正电荷的方向, 是从低电位到高电位的方向。对于一个电源设备, 如干电池, 其电动势 e 与电压 u 的参考方向选择相反, 如图 1-4(a)所示。当电源内部没有其他能量转换时, 根据能量守恒原理, 应有 $u = e$; 如果 u 和 e 的参考方向选择相同, 如图 1-4(b)所示, 则 $u = -e$ 或 $e = -u$ 。

【例 1-1】在图 1-5 所示电路中, O 为零电位点, 已知 $U_A = 50 \text{ V}$, $U_B = -40 \text{ V}$, $U_C = 30 \text{ V}$ 。①求 U_{BA} 和 U_{AC} ; ②如果元件 4 为具有电动势 E 的电源装置, 在图 1-5 中所标参考方向下求 E 的值。

解:

① 因为电压就是电位差, 所以

$$U_{BA} = U_B - U_A = -40 - 50 = -90(\text{V})$$

$$U_{AC} = U_A - U_C = 50 - 30 = 20(\text{V})$$

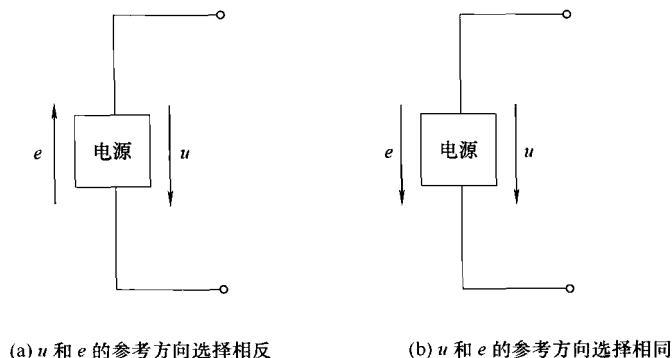


图 1-4 电源的电动势 e 与端电压 u

② 根据电位的定义有 $U_B = U_{B0}$ 。在图 1-5 中, 电动势 E 的参考方向与电压 U_{B0} 的参考方向相同, 则有

$$E = -U_{B0} = -U_B = 40V$$

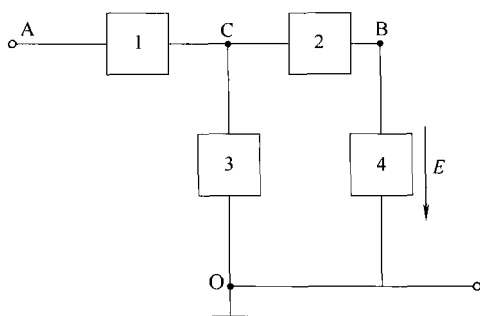


图 1-5 例 1-1 的电路图

4. 功率与电能

正电荷从电路的高电位端移到低电位端是电场力对正电荷做了功, 该段电路吸收了电能; 正电荷从电路的低电位端移到高电位端是外力克服电场力做了功, 即这段电路将其他形式的能量转化成电能释放了出来。把单位时间内电路吸收或释放的电能定义为该电路的功率, 用 P 表示。设在 dt 时间内电路转化的电能为 dw , 则

$$P = \frac{dw}{dt} \quad (1-8)$$

国际单位制中, 功率的单位为瓦特, 简称瓦(W)。此外还常用千瓦(kW)、毫瓦(mW)等单位。

对式(1-8)进一步推导, 可得

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-9)$$

即电路的功率等于该段电路的电压与电流的乘积。直流时, 式(1-9)应写为

$$P = UI \quad (1-10)$$

在 u 和 i 的关联参考方向下, 若 $P > 0$, 说明这段电路上电压和电流的实际方向是一致的, 电场力对正电荷做了功, 电路吸收了功率; 若 $P < 0$, 则说明这段电路上电压和电流实际方向不一致, 一定是外力克服电场力做了功, 电路发出功率。在使用式(1-9)及式(1-10)时, 必须注意 u 和 i 的关联参考方向及各数值正、负号的含义。

根据能量守恒原理, 一部分元件或电路发出的功率一定等于其他部分元件或电路吸收的功率。或者说, 整个电路的功率是平衡的。

式(1-8)可写为 $dw = Pdt$, 则在 t_0 到 t_1 的一段时间内, 电路消耗的电能为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} Pdt \quad (1-11)$$

直流时, P 为常量, 则

$$W = P(t_1 - t_0) \quad (1-12)$$

国际单位制中, 电能 W 单位为焦耳(J), 它表示功率为 1W 的用电设备在 1s 内所消耗的电能。使用中还常采用千瓦时(kW·h)或度, 即

$$1 \text{度电} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

【例 1-2】 图 1-6 所示为某电路中的一部分, 三个元件中流过相同的电流 $I = -2 \text{ A}$, $U_1 = -2 \text{ V}$ 。①求元件 a 的功率 P_1 , 并说明它是吸收还是发出功率; ②若已知元件 b 发出功率为 10 W, 元件 c 的吸收功率为 12 W, 求 U_2 、 U_3 。

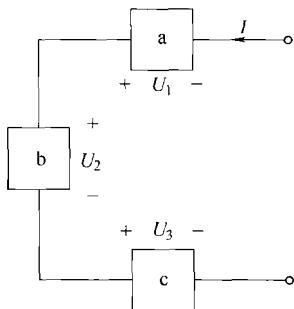


图 1-6 例 1-2 电路图

解:

① 对于元件 a, 电压与电流是非关联参考方向, 计算功率的公式为

$$P_1 = -U_1 I$$

代入数据得 $P_1 = (-2) \times (-2) = 4(\text{W})$, 所以元件 a 吸收功率。

② 元件 b 的电压 U_2 与电流 I 是关联参考方向, 且发出功率, 则 P_2 为负值, 即

$$U_2 I = -10(\text{W})$$

$$U_2 = \left(\frac{-10}{-2} \right) = 5(\text{V})$$

同样道理, 对于元件 c 有

$$U_3 I = 12(\text{W})$$

$$U_3 = \left(\frac{12}{-2} \right) = -6(\text{V})$$



1.2.3 电路的基本定律

1. 欧姆定律

电阻元件是反映电路器件消耗电能这一物理性能的一种理想元件。它有两个端钮与外电路相连接, 这样的元件都称为二端元件。在讨论各种理想元件的性能时, 重要的是要确定其端电压与电流之间的关系, 这种关系称为元件约束, 简称 **VCR**。欧姆定律反映了任一时刻电阻元件的这种约束关系。在电压与电流的关联参考方向下, 欧姆定律表达式为

$$u = iR \quad (1-13)$$

式中: R 为电阻元件的电阻值, 单位为欧(Ω)。常用的单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。

应用欧姆定律时要注意电压和电流的参考方向, 在电阻元件的电压及电流参考方向选择不关联时, 欧姆定律表示为

$$u = -iR \quad (1-14)$$

电阻 R 的倒数称为电导, 用 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-15)$$

式中: 电导的单位为西门子(S)。

同一个电阻元件, 既可以用电阻 R 表示, 也可以用电导 G 表示。引用电导后, 欧姆定律可表示为

$$i = uG \quad (1-16)$$

2. 基尔霍夫定律

电阻元件的性能是由元件的约束关系来表征的, 那么若干元件按一定方式连接后构成的电路整体, 它们相互间的电流和电压又有什么联系呢? 是如何相互制约的呢? 基尔霍夫定律反映了这类约束关系, 称为“拓扑约束”。

1) 几个名词

电路由电路元件相互连接而成。在叙述基尔霍夫定律之前, 需要先介绍电路的几个名词。

(1) 支路: 电路中的每个分支都叫支路。在图 1-7 所示的电路中, ABE、ACE、ADE 这 3 个分支都是支路。一条支路中流过的电流, 称为支路电流, 如图 1-7 中的 i_1 、 i_2 、 i_3 。ABE、ACE 两支路中含有有源元件, 称为有源支路; ADE 支路不含有源元件, 称为无源支路。

(2) 节点: 3 个或 3 个以上支路的连接点叫做节点。在图 1-7 所示电路中, A、E 两点都是节点, 而 B、C、D 不能称为节点。这样, 支路也可看作是连接两个节点的一段分支。

(3) 回路: 电路中任一闭合路径都称为回路。在图 1-7 所示的电路中, ABECA、ACEDA、ABEDA 都是回路, 此电路只有 3 个回路。

(4) 网孔: 回路平面内不含有其他支路的回路就叫做网孔。在图 1-7 所示的电路中, 回路 ABECA 和 ACEDA 就是网孔, 而回路 ABEDA 平面内含有 ACE 支路, 所以它就