



高等职业教育
机电类课程规划教材

电路基础

(电类)

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编/郭少英 主审/张裕民

GAODENG ZHIYE JIAOYU JIDIANLEI
KECHENG GUIHUA JIAOCAI



大连理工大学出版社



高等职业教育机电类课程规划教材
GAODENGZHIYE JIAOYU JIDIANLEI KECHENG GUIHUAJIAOCAI

电路基础

(电类)

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主审 张裕民

主编/郭少英 副主编/张 晔 荆 珂 赵松杰 王彦良

~~DIANLU JICHU~~

大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2003

图书在版编目(CIP)数据

电路基础(电类) / 郭少英主编. — 大连: 大连理工大学出版社,
2003.8

(高等职业教育机电类课程规划教材)

ISBN 7-5611-2362-0

I. 电… II. 郭… III. 电路理论—高等学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 033275 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市凌水河 邮政编码:116024

电话:0411-4708842 传真:0411-4701466 邮购:0411-4707961

E-mail:dlutp@mail.dlptt.ln.cn URL: <http://www.dlutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:18.5 字数:424千字

印数:1,500

2003年8月第1版

2003年8月第1次印刷

责任编辑:梁艾玲 李波

责任校对:王亚男

封面设计:王福刚

定 价:44.00元(本册 24.00元)

新世纪高等职业教育教材编委会教材建设指导委员会

主任委员:

戴克敏 大连职业技术学院院长 教授

副主任委员(按姓氏笔画为序):

王 敏 辽宁商务职业学院院长 教授

王大任 辽阳职业技术学院院长 教授

李竹林 河北建材职业技术学院院长 教授

李长禄 黑龙江工商职业技术学院副院长 副研究员

刘志国 秦皇岛职业技术学院院长 教授

刘兰明 邯郸职业技术学院副院长 教授

刘君涛 烟台大学职业技术学院院长 副教授

范利敏 丹东职业技术学院院长 教授

宛 力 沈阳电力高等专科学校副校长 教授

侯 元 呼和浩特职业技术学院院长 副教授

徐晓平 盘锦职业技术学院院长 教授

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

韩学军 辽宁公安司法管理干部学院副院长 教授

秘书长:

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长:

周 强 齐齐哈尔大学职业技术学院副院长

秘书组成员(按姓氏笔画为序):

王澄宇 大庆职业学院

张秀霞 大连职业技术学院

徐 哲 盘锦职业技术学院

鲁 捷 沈阳师范大学职业技术学院

谢振江 黑龙江省公安司法警官学院

会员单位(排名不分先后):

邯郸职业技术学院

邢台职业技术学院

河北工业职业技术学院

河北软件职业技术学院

河北职业技术学院

石家庄铁路工程职业技术学院

石家庄职业技术学院

河北能源职业技术学院

河北建材职业技术学院

秦皇岛职业技术学院

燕山大学职业技术学院

- 河北职业技术师范学院
张家口职业技术学院
承德石油高等专科学校
青岛大学高等职业技术学院
青岛职业技术学院
烟台大学职业技术学院
烟台职业技术学院
山东铝业公司职业教育培训中心
东营职业技术学院
山东石油大学职业技术学院
威海职业学院
潍坊职业学院
山东纺织职业学院
日照职业技术学院
山东科技大学工程学院
山东科技大学财政金融学院
山东劳动职业技术学院
山东轻工学院职业技术学院
德州学院职业技术学院
聊城职业技术学院
呼和浩特职业技术学院
内蒙古财经学院高职教学部
内蒙古大学职业技术学院
内蒙古工业大学职业技术学院
包头职业技术学院
包头钢铁学院职业技术学院
呼伦贝尔学院
广西财政高等专科学校
南昌水利水电高等专科学校
哈尔滨职业技术学院
黑龙江工商职业技术学院
黑龙江省公安司法警官学院
黑龙江省建筑职业技术学院
齐齐哈尔职业学院
齐齐哈尔大学职业技术学院
牡丹江大学
佳木斯大学应用技术学院
大庆职业学院
大庆高等专科学校
鸡西大学
伊春职业学院
绥化师范高等专科学校
吉林财税高等专科学校
吉林交通职业技术学院
吉林粮食高等专科学校
吉林商业高等专科学校
吉林职业技术学院
吉林经济管理干部学院
吉林大学应用技术学院
四平师范大学职业技术学院
沈阳电力高等专科学校
丹东职业技术学院
大连职业技术学院
辽宁商务职业学院
沈阳师范大学职业技术学院
鞍山科技大学职业技术学院
鞍山师范学院职业技术学院
本溪冶金高等专科学校
渤海船舶职业学院
朝阳师范高等专科学校
大连大学
大连轻工业学院职业技术学院
大连国际商务职业学院
大连水产学院职业技术学院
辽宁对外经贸职业学院
辽宁机电职业技术学院
东北财经大学高等职业技术学院
抚顺师范高等专科学校
辽宁石油化工大学职业技术学院
抚顺职业技术学院
阜新高等专科学校
锦州师范学院高等职业技术学院
锦州师范高等专科学校
辽宁财政高等专科学校
辽宁大学高等职业技术学院
辽宁工程技术大学技术与经济学院
辽宁工程技术大学职业技术学院
辽宁工学院职业技术学院
辽宁公安司法管理干部学院
辽宁经济职业技术学院
辽宁农业管理干部学院
辽宁农业职业技术学院
辽宁省交通高等专科学校
辽阳职业技术学院
辽阳石油化工高等专科学校
盘锦职业技术学院
沈阳大学职业技术学院
沈阳大学师范学院
沈阳工业大学高等职业技术学院
沈阳建工学院高等职业技术学院
沈阳农业大学高等职业技术学院
沈阳农业大学经贸学院
铁岭师范高等专科学校
营口高等职业学院
辽宁金融职业技术学院
沈阳建工学院职业技术学院
辽阳信息职业技术学院
辽宁中医学院职业技术学院
沈阳电视大学
沈阳医学院职业技术学院
沈阳音乐学院职业艺术学院
沈阳职业技术学院
大连医学院丹东分院

总 序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育理论教学与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育的目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是由北方地区 100 余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门(如国家教育部、辽宁省教育厅)以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001 年 8 月 18 日

《电路基础(电类)》是新世纪高等职业教育教材编审委员会推出的机电类课程规划教材之一。

本教材顺应国家教育部面向 21 世纪高职教育教学内容和课程体系的改革要求,在整合电类专业相关课程的基础上,充分考虑到高职教育对象的需求,以实际、实践、实用为原则,对传统教学内容进行大胆取舍和补充,以电路基本元件的性能及电路网络的分析应用为主,避免复杂的推理论证和定量分析,力求理论描述通俗易懂,并补充了一些实用性很强的实践技能训练。

本教材具有以下特点:

第一、注重教学内容的整合,融合电磁学的部分内容,加大了对电路基本元件物理特性的介绍。

第二、改革了电路基础课程的理论体系,由电路的基本定律——基尔霍夫定律出发,讲解叠加定理、戴维南(诺顿)等效定理,并在此基础上学习电路网络的基本分析方法,从而使基本理论及分析方法自成体系。

第三、以电路的基本元件特性和基本电路定律为基础,选取与工程实际结合紧密的实例,增强了教学内容的实用性。

第四、采取从特殊→普遍→特殊的方法,以典型的实验实训例证代替繁杂的数学推证,讲解电路特性,将重点置于电路定律与结果的实际应用上,降低了对数学知识的要求同时增强教学内容的实践性与直观性,采集部分实物图片,加大了实用技术的讲解与训练。

第五、注重计算机及自动化技术的应用,增加了电路分析软件介绍的内容;注意将电路课程的理论教学与实验实训教学内容融合一体,每章后附有相应的实训题目,最后还单列一章综合实训;章节后配有思考与练习题,并给出了建议习题,便于读者掌握知识点。

全教材共分 9 章,分别为基本电路元件、电路基本原理与分析方法、正弦交流电、互感耦合电路、一阶电路暂态分析、非正弦周期电路、二端口网络、电路分析软件介绍、综合



实训。第1~3章为电路理论的基础部分,是必须讲解与学习的内容;第4~6章可以根据各校学时设置及专业教学特点,有所侧重地讲解与学习;第7、8两章作为选学内容,供各位读者选学;第9章及部分章节后配备的单元实训,是实训教学的基本内容,各校可根据实际条件安排进行。

通过本书的学习,以掌握概念、强化应用为重点,要求掌握电路的基本概念、基本定律和初步分析计算方法,理解磁路的特点,使学生对技术基础理论领域的新发展有一般了解,提高分析问题和解决问题的能力及使用计算工具进行运算的能力,为学习后续课程准备必要的电路知识,并为从事本专业工作打下基础。

下面是对课程学时分配的建议。按总学时为90学时(含实训)考虑:

第1章 基本电路元件	10 学时
第2章 电路基本定律及分析方法	18 学时
第3章 正弦交流电路分析	24 学时
第4章 互感耦合电路	8 学时
第5章 一阶电路暂态分析	6 学时
第6章 非正弦周期电路	8 学时
第7章 二端口网络	4 学时
第8章 电路分析软件介绍	4 学时
第9章 综合实训	8 学时

由于各校、各专业实际需要和课程学时不同,以上看法和学时分配建议仅作为教学参考,可根据实际情况予以调整。

本教材由邯郸职业技术学院郭少英任主编,大庆职业学院张晔、邯郸职业技术学院赵松杰、辽宁石油化工大学职业技术学院荆珂、辽阳职业技术学院王彦良任副主编。具体分工如下:郭少英编写了第1、2章,赵松杰编写了第3章,张晔、王玉民编写了第4、5章,荆珂编写了第6、7章,王彦良编写了第8、9章。大连理工大学张裕民审阅了全书,提出了许多宝贵的意见和建议。

尽管我们在探索《电路基础(电类)》教材特色建设的突破方面做出了许多努力,但由于作者的水平有限,加之时间仓促,书中内容难免有疏漏之处,恳请各相关教学单位和读者在使用本教材的过程中给予关注,并将意见及时反馈给我们,以便修订时改进。

所有意见、建议请寄往:gzjckfb @163.com

联系电话:0411-4707604

编 者
2003年8月



第1章 基本电路元件	1	的提高	113
1.1 电路和电路模型	1	3.7 串并联电路的谐振	119
1.2 电路的基本物理量	3	3.8 三相电路的概念	124
1.3 电阻元件	8	3.9 对称三相电路的分析与计算	126
1.4 电容元件	14	3.10 不对称三相电路的概念	130
1.5 电感元件	19	3.11 三相电路的功率	133
1.6 独立电源	22	3.12 单元实训三	137
1.7 受控电源	24	习题3	146
1.8 单元实训一	26	第4章 互感耦合电路	151
习题1	35	4.1 磁路的基本知识	151
第2章 电路基本定律及分析方法	39	4.2 铁芯线圈*	157
2.1 基尔霍夫定律	39	4.3 互感和互感电压	160
2.2 电阻电路的等效变换	43	4.4 互感线圈的联结及去耦等效电路	164
2.3 叠加定理	54	4.5 含互感的正弦电路的分析	169
2.4 等效电源定理	59	4.6 变压器	172
2.5 支路分析法	65	4.7 单元实训四	176
2.6 网孔分析法	70	习题4	182
2.7 结点分析法	74	第5章 一阶电路暂态分析	184
2.8 单元实训二	81	5.1 过渡过程的产生与换路定律	184
习题2	86	5.2 一阶电路的零状态响应	188
第3章 正弦交流电路分析	92	5.3 一阶电路的零输入响应	192
3.1 正弦量的概念	92	5.4 一阶电路的全响应	195
3.2 正弦量的相量表示及相量运算	95	5.5 一阶电路的三要素法	197
3.3 电路定律的相量形式和相量图	101	5.6 积分电路和微分电路	199
3.4 阻抗和导纳及其串并联	106	5.7 单元实训五	201
3.5 正弦稳态电路分析	111		
3.6 正弦稳态电路的功率及功率因数			

习题 5	202	第 8 章 电路分析软件介绍	234
第 6 章 非正弦周期电路	205	8.1 MATLAB 基本使用方法	234
6.1 非正弦周期信号及其分解	205	8.2 MATLAB 命令的执行	242
6.2 非正弦周期电路中的有效值、平均值、平均功率	210	8.3 用 MATLAB 对电路仿真	248
6.3 非正弦周期电路的计算	213	习题 8	256
6.4 滤波器	216	第 9 章 综合实训	257
习题 6	218	9.1 磁电系电流表的结构与原理	257
第 7 章 二端口网络	220	9.2 制作万用表的电流表	260
7.1 二端口网络的概念	220	9.3 制作万用表的电压表	263
7.2 二端口网络参数方程	221	9.4 制作万用表的欧姆表	265
7.3 二端口网络的特性阻抗	228	9.5 制作万用表的正弦交流电压表	269
7.4 二端口网络的等效电路	229	9.6 利用直流电桥测量电阻	270
7.5 二端口网络的连接	231	9.7 继电器的应用二	273
习题 7	232	习题答案	277

第1章

基本电路元件

本章要点

这一章是学习本课程的重要基础,本章将在中学物理教学基础上,介绍电路模型的概念,电压、电流等电路的基本物理量,电阻、电感、电容、电压源、电流源等基本电路元件。要求学生理解和掌握电路模型及电压、电流参考方向的概念,深刻理解和掌握电路基本元件的特性及电压、电流的关系。

任何电路,无论是传输电能还是传递电信号,其功能总是通过电路中的电流、电压和功率的关系体现出来。所谓电路分析,就是在电路的连接方式以及电源和参数已知的条件下,分析和计算电路各部分的电流、电压和功率,以及它们之间的关系。电路的基本理论是电工和电子应用技术的基础,而电路分析则是电路基本理论的重要组成部分。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是由电子电气设备和器件按一定方式连接而成的电流通路。例如,手电筒是一个最简单的电路,它由电池、开关、灯泡、导线等组成一个电流的通路;又如,电力系统或电视机则是相当复杂的电路,它由许多的电路元件连接组成。

因使用目的和需要不同,电路的种类很多,作用也各不相同。

电路的作用之一是实现电能的传输和转换。如图 1.1 所示的电力系统中,发电机是电源,是供给电能的设备,它可以把热能、原子能等非电能形式的能量转换为电能;电灯、电动机、电热设备等是负载,是消耗电能的设备,它们把电能转换为光能、机械能、热能等其他形式的能量,从而满足生活、生产的需要;变压器、输电线以及开关等是中间环节,用于

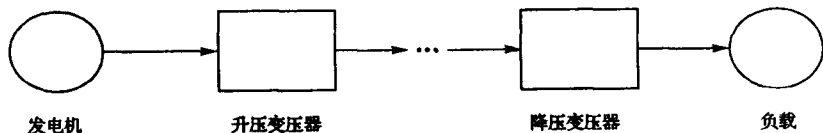


图 1.1 电力系统结构示意图

连接电源和负载,起传输和分配电能、保证安全供电的作用。这类电路中,一般电压较高,

电流较大,通常称为强电电路,要求在电能的输送和转换过程中,电路的能量损耗尽可能小,效率尽可能高。

电路的作用之二是实现信号的传递和处理。如图 1.2 所示的扩音器结构示意图中,话筒是信号源,用于将声音信号转换为微弱的电信号;喇叭接收电信号并转换为声音,它是扩音器的负载;由于话筒输出的电信号很弱,不足以推动喇叭发声,因此用放大器来放大电信号。在这类电路中,虽然也

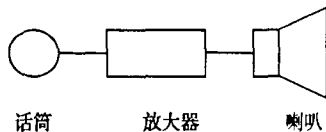


图 1.2 扩音器结构示意图

有能量的传输和转换,但因电压、电流数值通常较小,称为弱电电路,较少考虑能量的损耗和效率问题,研究的重点是如何改善电路传递和处理信号的性能(如失真、稳定性、放大倍数、级间配合等问题)。

综上所述,一个完整的电路应包括电源、负载和传输环节三个部分,是由发生、传送和应用电能(或电信号)的各种部件组成的总体。电源是提供电能或电信号的设备,常指发电机、蓄电池、整流装置、信号发生装置等设备;负载是使用电能或输出电信号的设备,如一台电视机可看作是强电系统的负载,而其中的扬声器或显像管又是信号处理设备自身的负载;传输环节用于传输电能和电信号,常指输电线、开关和熔断器等传输、控制和保护装置,或放大器等信号处理电路。

1.1.2 理想元件

组成电路的实际电路器件通常比较复杂,其电磁性能的表现是由多方面交织在一起的。但在研究时,为了便于分析,在一定的条件下要对实际器件加以理想化,只考虑其中起主要作用的某些电磁现象,而将其他电磁现象忽略,或将一些电磁现象分别处理。例如连接在电路中的灯泡,通电后消耗电能而发光、发热,并在其周围产生磁场(电流周围会产生磁场),但是由于后者的作用微弱,只需考虑灯泡消耗电能的性能,而将其视为电阻元件。

我们将实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为理想电路元件,简称为电路元件。每一种电路元件体现某种基本现象,具有某种确定的电磁性质和精确的数学定义。常用的有电阻元件、电容元件、电感元件、电压源元件和电流源元件等。

电路元件按照其与电路其他部分相连接的端钮数可以分为二端元件与多端元件。二端元件通过两个端钮与电路其他部分连接,多端元件通过三个或三个以上端钮与电路其他部分连接。本章后几节将分别讲解常用的电路元件的特性。

1.1.3 电路模型

由理想电路元件互相连接组成的电路称为电路模型。电路模型是实际电路的抽象和近似,应当通过对电路的物理过程的观察分析而确定一个实际电路用什么样的电路模型表示。模型取得恰当,对电路的分析与计算的结果就与实际情况接近。本书所说的电路均指由理想电路元件构成的电路模型。理想电路元件及其组合虽然与实际电路元件的性能不完全一致,但在一定条件下,工程上允许的近似范围内,实际电路完全可以用理想电路元件组成的电路代替,从而使电路的分析与计算得到简化。

思考与练习

1.1.1 电路由哪几部分组成?电路的作用有哪些?请你举出两个生活中常见的实际电路。

1.1.2 何谓理想电路元件?常见的理想电路元件有哪些?

1.1.3 何谓两端元件和多端元件?

1.2 电路的基本物理量

无论是电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,都体现在电路中电流、电压和电功率的大小和它们之间的关系上,因此在讨论电路的分析和计算方法之前,首先概略地阐述一下这几个基本物理量。

1.2.1 电流

1. 电流

金属内的自由电子在电场的作用下做定向运动,形成电流。电流的强弱用电流强度来衡量。如图 1.3 所示,假设在 dt 时间内通过导体截面 S 的电量为 dq ,则电流强度为

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

即电流强度在数值上等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。规定正电荷运动的方向或负电荷(金属中的自由电子)运动的相反方向为电流的实际方向。在外电场的作用下,正电荷将沿着电场方向运动,而负电荷将逆着电场方向运动,电流的实际方向总是和外电场的方向一致。电流强度习惯上简称为电流。

一般地,电流是时间的函数,随时间而变化。我们将大小和方向都随时间而变化的电流称为交流电流,用小写字母 i 表示,如图 1.4(a)、(b) 所示。

如果电流的大小和方向不随时间而变化,称为直流电流,用大写字母 I 表示,如图 1.4(c) 所示。对于直流电流,若在时间 t 内通过导体横截面的电荷量为 Q ,则电流为 $I = \frac{Q}{t}$ 。

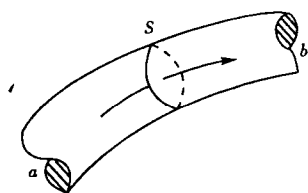


图 1.3 导体中的电流

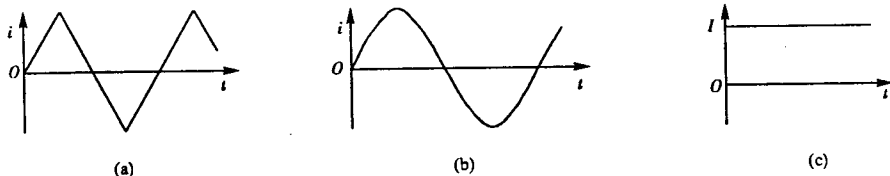


图 1.4 电流波形示意图

国际单位制(SI)中,电流的单位是安培(A),简称安。当每秒通过导体横截面的电量

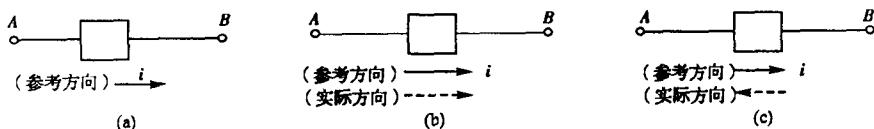
为1库仑(C)时,电流为1A。表示微小电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为单位;表示大电流时,以千安(kA)为单位。它们和安的关系是:

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} \quad 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

2. 电流的参考方向

当电路比较复杂时,在得出计算结果之前,判断电流的实际方向很困难,而进行电路的分析与计算,又必须确定电流的方向。对于交流电流,电流的方向随时间而改变,无法用一个固定的方向表示,因此我们引入电流的“参考方向”这一概念。

任意规定某一方向作为电流数值为正的方向,称为电流的参考方向。它是一个任意假定的电流方向,用箭头表示在电路上,并标以符号 i ,如图 1.5(a) 所示。规定了电流的参考方向以后,电流就变成了代数量而且有正有负,根据电流的参考方向和计算结果中的正、负号,就可以知道电流的实际方向。如果电流 i 为正值,则电路中电流实际方向与电流参考方向一致,如图 1.5(b) 所示;如果电流 i 为负值,则电路中电流实际方向与电流参考方向相反,如图 1.5(c) 所示。需要注意的是,未规定电流的参考方向时,电流的正负没有任何意义。



(b) 参考方向与实际方向一致, i 为正值 (c) 参考方向与实际方向相反, i 为负值

图 1.5 电流的参考方向

如通过图 1.5(a) 中元件的电流为 15mA, 电流实际由 B 流向 A, 则电流 i 为 -15 mA。

1.2.2 电压和电动势

1. 电压

物理学中讲过,一对分别带有正、负电荷的极板之间存在着一个电场。一个电源(例如蓄电池)的两个电极上总是分别带有正负电荷,所以电源的两极间存在着一个电场。如果用导线把电源的正、负极连接成一个闭合电路,如图 1.6 所示,在电场力的作用下,正电荷要从电源正极 A 经过连接导线和负载流向电源负极 B(实际上是带负电的电子由负极 B 经负载流向正极 A),形成了电流,而电场力就对电荷做了功。

电场力把单位正电荷从 A 点经外电路(即电源以外的电路)移到 B 点所做的功,叫做 A、B 两点之间的电压,用字母 U_{AB} 表示,电压是衡量电场力做功能力的一个物理量。

若电场力做功 dW , 使电荷 dq 经外电路由电源正极 A 移动到负极 B, 则 U_{AB} 为

$$U_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

可以证明电场力作功与路径无关,因此上式定义的电压也与路径无关,仅取决于始末点位置。可以得到结论:电路中任意两点间的电压有确定的数值。由于电场力把正电荷从

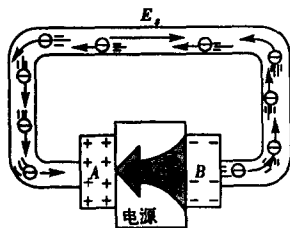


图 1.6 电荷的运动回路

高电位点移向低电位点,因此规定电压的实际方向是从高电位点指向低电位点,即电位降的方向。

国际单位制(SI)中,电压的单位是伏特(V),简称伏。当电场力把1C的电量从一点移动到另一点所做的功为1J(焦耳)时,这两点间的电压为1V。表示微小电压时,以毫伏(mV)和微伏(μ V)为单位,表示高电压时则以千伏(kV)为单位,它们和伏的关系是

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} \quad 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V} \quad 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

2. 电动势

相对于电源外部正负两极间的外电路而言,通常把电源内部正负两极间的电路称为内电路。在电场力的作用下,正电荷源源不断地从电源正极经外电路到达负极,于是正极上的正电荷数量不断减少。如果要维持电流在外电路中流通,并保持恒定,就要使移动到电源负极上的正电荷经过电源内部回到电源正极。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作的功,叫做该电源的电动势,用字母 ϵ 表示。电动势是衡量电源力做功能力的物理量,它把正电荷从低电位点(电源负极)移向高电位点(电源正极),故电动势的方向是从低电位点指向高电位点,即电位升的方向。

在电源力的作用下,电源不断地把其他形式的能量转换为电能。在各种不同的电源中,产生电源力的原因是不同的,例如在电池中是由于电解液和金属极板之间的化学作用,在发电机中是由于电磁感应作用,在热电偶中是由于两种不同金属连接处的热电效应等。和电压的单位相同,电动势的单位也是伏特(V)。

3. 电压和电动势的参考方向

和电流一样,电路图中所标的电压和电动势的方向也都是参考方向,只有在已经标定参考方向之后,电压和电动势的数值才有正、负之分。一般地,在元件或电路两端用符号“+”、“-”分别标定正负极性,由正极指向负极的方向为电压的参考方向,并以箭头表示。如果电压 U 为正值,则实际方向与参考方向一致;如果电压 U 为负值,则实际方向与参考方向相反。

4. 关联与非关联参考方向

一个元件的电压或电流的参考方向可以独立地任意假定。如果指定流过元件的电流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;当两者不一致时,称为非关联参考方向。

在分析计算复杂电路时,参考方向的规定常有一些习惯的方法。

方法一,在直流电路中,如果已经知道电流、电压或电动势的实际方向,则取它们的参考方向与实际方向一致;对于不能确定实际方向的电路或交流电路,则一般采用关联参考方向。

方法二,用双下标脚注表示电压与电动势的参考方向,例如 U_{ab} 表示电路中 a 、 b 两点间电压的参考方向从 a 点指向 b 点,而 U_{ba} 则表示电压的参考方向从 b 点指向 a 点,显然, $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

方法三,为了便于分析电路,常在电路中任意指定一点作为参考点,假定该点电位是零(用符号“ $\perp$ ”表示),则由电压的定义可以知道,电路中的 a 点与参考点间的电压即为 a 点相对于参考点的电位,因此我们可以用电位的高低(大小)来衡量电路中某点电场能量

的大小。电路中参考点的位置原则上可以任意指定,参考点不同,各点电位的高低也不同,但是电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。在实际电路中,常以大地或仪器设备的金属机壳(或底板)作为电路的参考点,参考点又常称为接地点。

例 1-1 如图 1.7 所示的电路中,已知 $U_1 = 10\text{V}$, $U_2 = -16\text{V}$, $U_3 = -4\text{V}$, 试求 U_{ab} 。

解 标定 a 、 b 两点间电压的参考方向如图 1.7 所示, 则

$$\begin{aligned} U_{ab} &= -U_1 + U_2 - U_3 \\ &= -10\text{V} + (-16)\text{V} - (-4)\text{V} = -22\text{V} \end{aligned}$$

U_{ab} 为负值,表明电压的实际方向由 b 点指向 a 点,即 b 点是高电位点。

例 1-2 如图 1.8 所示的电路中有五个电路元件,电流和电压的参考方向均已标在电路图上。

实验测得: $I_1 = I_2 = -8\text{A}$, $I_3 = 12\text{A}$, $I_4 = I_5 = 4\text{A}$;
 $U_1 = 200\text{V}$, $U_2 = 120\text{V}$, $U_3 = 80\text{V}$, $U_4 = -70\text{V}$,
 $U_5 = -150\text{V}$ 。

- (1) 试指出各电流的实际方向和各电压的实际极性。
- (2) 判断哪些元件是电源?哪些是负载?
- (3) 指出各元件的电压与电流的参考方向为关联方向还是非关联方向。

解 根据图中所标电流、电压方向,流过元件 1、2 的电流实际方向与参考方向相反,由右流向左;流过元件 3 的电流实际方向与参考方向相同,由左流向右,流过元件 4、5 的电流实际方向与参考方向相同,由右流向左; a 点为高电位点, b 点为低电位点。

对于元件 1 和元件 5,电流由低电位点流向高电位点,因此它们是电源;对于元件 2、3、4,电流由高电位点流向低电位点,因此它们是负载。

按照关联参考方向的规定,元件 1、3、5 的电压与电流是关联参考方向;元件 2、4 的电压与电流是非关联参考方向。

1.2.3 电功率和电能

1. 电功率

电流通过电路时传输或转换电能的速率称为电功率,简称为功率,用符号 p 表示。

流过一两端元件的电流和电压分别为 i 和 u ,如图 1.9 所示,关联参考方向如箭头所示。在电路中,正电荷 dq 受电场力作用,由 a 点运动到 b 点,电场力做功 dW ,且 $dW = u dq$ 。所以,电功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-3a)$$

上式表明,任一瞬时,电路的功率等于该瞬时的电压与电流的乘积。对直流电路,有

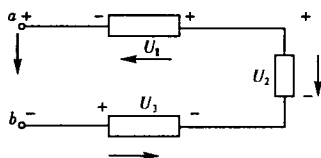


图 1.7 例 1-1 电路图

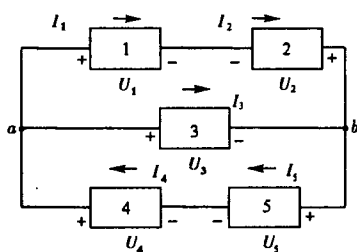


图 1.8 例 1-2 电路图

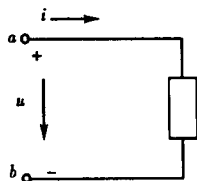


图 1.9 两端电路的功率