



新世纪

新世纪高职高专

电气自动化技术类课程规划教材

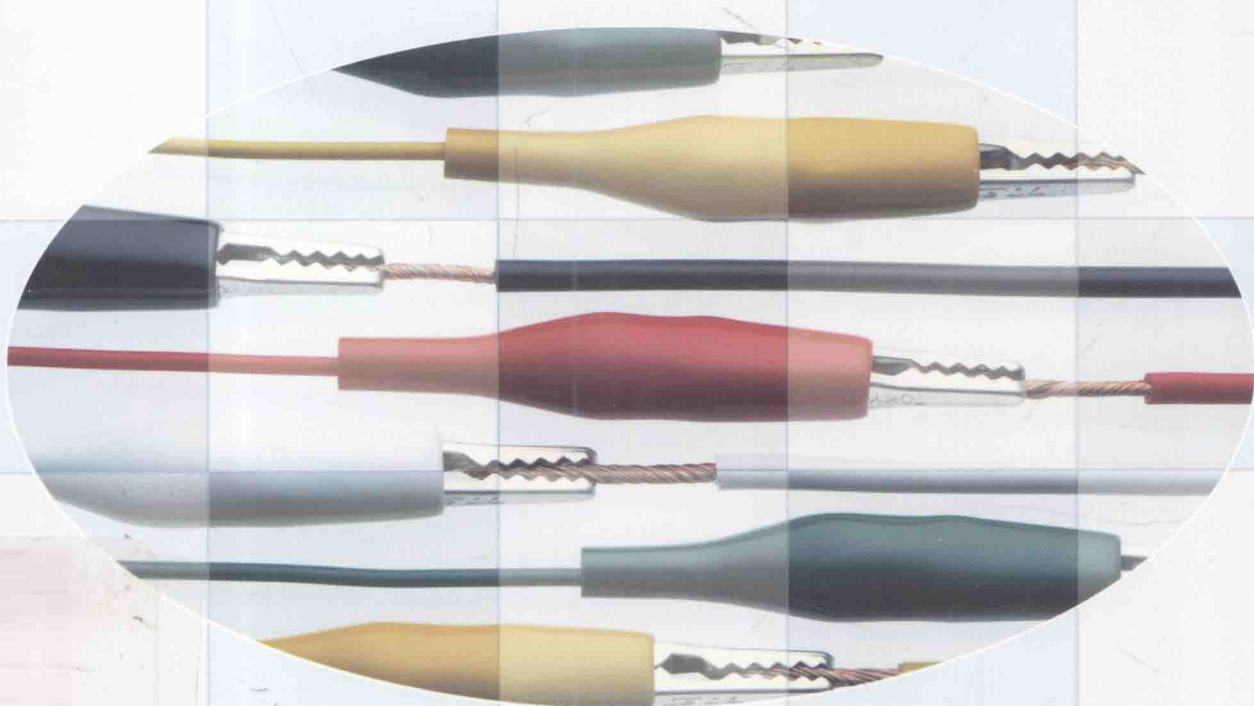
电路基础与实践

DIANLU JICHU YU SHIJIAN

新世纪高职高专教材编审委员会 组编

主编 荆珂 段波

主审 戴崇



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



新世纪高职高专
电气自动化技术

电路基础与实践

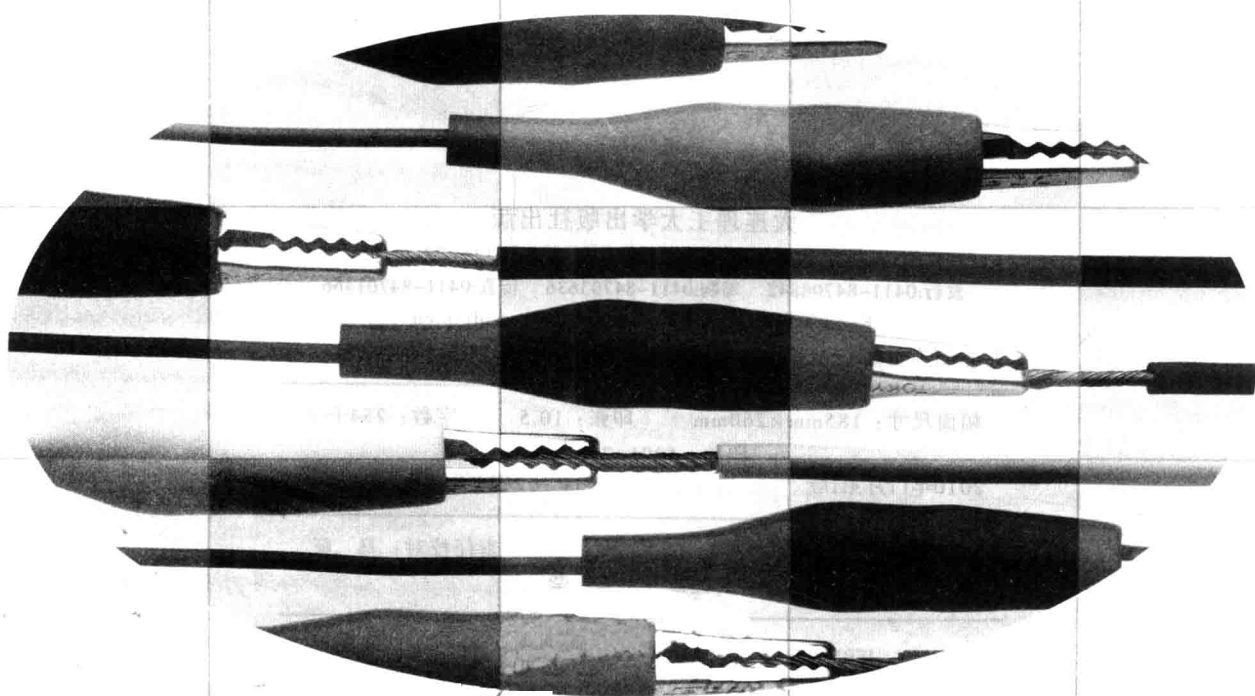
DIANLU JICHU YU SHIJIAN

新世纪高职高专教材编审委员会 组编

主编 荆珂 段波

副主编 吴巍 李芳 宋长坡

主审 戴崇



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

图书在版编目(CIP)数据

电路基础与实践 / 荆珂, 段波主编. — 大连 : 大连理工大学出版社, 2010.11(2011.11 重印)
新世纪高职高专电气自动化技术类课程规划教材
ISBN 978-7-5611-5904-0

I. ①电… II. ①荆… ②段… III. ①电路理论—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 223007 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路80号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

丹东新东方彩色包装印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm 印张: 10.5 字数: 254千字

印数: 4001~7000

2010年11月第1版

2011年11月第2次印刷

责任编辑: 唐 爽

责任校对: 马 征

封面设计: 张 莹

ISBN 978-7-5611-5904-0 定 价: 24.00 元

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的培养目标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职教育,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?答案肯定而且唯一,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目的问题。

众所周知,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研究型(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,它从专科层次起步,进而应用本科教育、应用硕士教育、应用博士教育……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。

高等职业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)研究型人才培养的教育并驾齐驱,还需要假以时日;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。新世纪高职高专教材编审委员会就是由全国100余所高职高专院校和出版单位组成的旨在以推动高职高专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高专教材的特色建设为己任,始终会从高职高专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,以其纵览全国高职高专教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的运作模式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职高专教学成果,探索高职高专教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职高专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。

新世纪高职高专教材编审委员会在推进高职高专教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门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。

新世纪高职高专教材编审委员会

2001年8月18日

前 言

《电路基础与实践》是新世纪高职高专教材编审委员会组编的电气自动化技术类课程规划教材之一。

本教材紧扣高职办学新理念,结合高职教学的基本要求,采用基于工作过程的项目教学法,通过实施不同的项目而进行教学活动,其目的是在课堂教学中将理论与实践教学有机地结合起来,充分发掘学生的创造潜能,提高学生解决实际问题的综合能力。基于工作过程的项目教学法与传统的教学法相比,有很大的区别,主要表现在改变了传统的“三个中心”,即由以教师为中心转变为以学生为中心,由以课本为中心转变为以“项目”为中心,由以课堂为中心转变为以实际经验为中心。所以,在运用项目教学法进行教学设计的时候,学生是认知的主体,是知识的主动建构者。

本教材根据项目教学法编写,力求突出如下特点:

1. 本教材根据电气自动化类专业要求及内容分类,将电路基础与实践课程分为8个项目。其中项目1~7分别由项目要求、实施目标、实施器材、实施步骤、实训报告、相关知识、项目小结、课后练习等部分构成,各学校可根据自身实际情况进行教学设计,完成教学任务。项目8是电工技能训练项目,目的是使学生掌握室内照明电路的安装技术,增强解决实际问题的能力。

2. 相关知识部分以案例为先导,增强读者对电路的认识。对电路分析方法仅做定向阐述,注重结果应用。

3. 教材的每个项目后附有项目小结和练习题,有利于学生课后巩固、复习。

4. 项目在实施过程中,有条件的学校可以利用 Multisim 软件进行部分电路仿真,增强学生的学习兴趣,以达到事半功倍的效果。

本教材共分8个项目,分别为:认识电路的基本物理量和基尔霍夫定律、电路基本定理及应用、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、互感耦合电路、动态电路的过渡过程、非正弦周期电路及室内照明电路的安装。

本教材由辽宁石油化工大学职业技术学院荆珂、昆明冶金高等专科学校段波担任主编。锦州石化职业技术学院吴巍、辽宁石油化工大学职业技术学院李芳、宋长坡任副主编。具体编写分工如下:李芳编写项目1;荆珂编写项目2、项目8;段波编写项目3、项目4;吴巍编写项目5、项目6;宋长坡编写项目7。全书由荆珂统稿和定稿。辽宁机电职业技术学院王成安教授和安徽水利水电职业技术学院戴崇老师审阅了全书并提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表感谢!

尽管我们在探索《电路基础与实践》教材建设的特色方面做出了许多努力,但由于编者的水平有限,加之时间仓促,教材中难免存在一些疏漏和不足之处,恳请读者批评指正,并将建议及时反馈给我们,以便修订时改进。

所有意见和建议请发往:dutpgz@163.com

欢迎访问我们的网站:<http://www.dutpbook.com>

联系电话:0411-84707424 84706676

编 者

2010年11月



项目 1 认识电路的基本物理量和基尔霍夫定律	1
1.1 电路和电路模型	2
1.2 电路的基本物理量及其参考方向	4
1.3 无源元件	9
1.4 电 源	16
1.5 基尔霍夫定律	20
项目小结	24
课后练习	25
项目 2 电路基本定理及应用	28
2.1 电阻电路的等效变换	29
2.2 电源等效变换	34
2.3 叠加定理	38
2.4 戴维南定理与诺顿定理	42
2.5 支路电流法	48
2.6 网孔电流法	50
2.7 节点电压法	54
项目小结	56
课后练习	57
项目 3 单相正弦交流电路	60
3.1 正弦交流电的概念	61
3.2 正弦量的表示法	64
3.3 正弦电路定律的相量形式	65
3.4 阻抗的计算	68
3.5 正弦交流电路稳态分析	71
3.6 正弦稳态电路的功率及功率因数的提高	73
3.7 谐 振	77
项目小结	80
课后练习	81
项目 4 三相正弦交流电路	84
4.1 三相正弦交流电路的概念	85
4.2 对称三相正弦交流电路的分析与计算	87

4.3 不对称三相正弦交流电路	91
4.4 三相正弦电路的功率	93
项目小结	95
课后练习	96
项目5 互感耦合电路	98
5.1 耦合电感	99
5.2 有耦合电感的正弦电路	103
5.3 变压器	106
项目小结	110
课后练习	111
项目6 动态电路的过渡过程	113
6.1 过渡过程的产生与换路定律	114
6.2 一阶电路的零状态响应	117
6.3 一阶电路的零输入响应	119
6.4 一阶电路的全响应	122
6.5 一阶电路的三要素法	123
6.6 积分电路和微分电路	125
项目小结	127
课后练习	128
项目7 非正弦周期电路	131
7.1 非正弦周期信号及其分解	132
7.2 非正弦周期电路中的有效值、平均值、平均功率	135
7.3 非正弦周期电路的计算	138
7.4 滤波器	139
项目小结	142
课后练习	142
项目8 室内照明电路的安装	144
8.1 室内照明电路安装	145
8.2 技能训练	153
参考答案	155
参考文献	159

项目1

认识电路的基本物理量和基尔霍夫定律

【项目要求】

了解电路的基本组成及基本物理量的意义；掌握电压、电流的概念及其正方向的规定；掌握电能与电功率的计算方法；掌握电阻、电感、电容和电源元件的特性；掌握基尔霍夫定律在电路中的应用；熟悉测量仪表的使用方法。

1. 知识要求

- (1)掌握电流、电压参考方向及电能与电功率的计算方法。
- (2)掌握电阻、电感、电容和电源元件的特性。
- (3)掌握基尔霍夫定律及其应用。

2. 技能要求

- (1)根据要求能够正确连接电路。
- (2)能够正确使用电流表、电压表及万用表,准确测量电路中电流、电压、电位等物理量。
- (3)根据测得电路的物理量,能够分析电路的工作状态。
- (4)能够对电路元件识读、检测。

【实施目标】

- (1)熟悉电流表、电压表、万用表的使用方法。
- (2)连接一个具有三个回路的实际电路,对各物理量进行测试,并能分析电路的工作状态。
- (3)能够利用基尔霍夫定律解决电路计算问题。
- (4)掌握电路各元件的特性并能够识读、检测。

【实施器材】

- (1)电源、导线、元件、开关若干。
- (2)电流表、电压表、万用表。

【实施步骤】

- (1)学习项目要求的相关知识。
- (2)连接一个具有三个回路的实际电路,检查无误后,通电测试。
- (3)利用电流表、电压表、万用表,在线测量各物理量。
- (4)利用基尔霍夫定律计算得到结果,并与实际测得数据比较。

(5)对电阻、电容、电感元件进行识读、检测。

【实训报告】

实训报告内容包括实施目标、实施器材、实施步骤、测量数据、比较数据及总结体会。

【相关知识】

1.1 电路和电路模型

案例 1.1

手电筒是大家熟悉的一种用来照明的简单用电器具,其结构如图1-1所示。

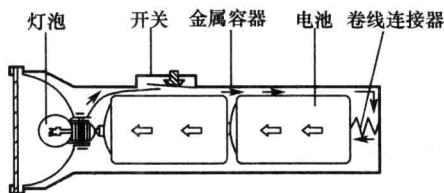


图 1-1 手电筒结构示意图

它由四部分组成：

- (1) 电池——将化学能转换为电能。
- (2) 灯泡——将电能转换为光能。
- (3) 开关——通过它的闭合与断开,能够控制灯泡是否发光。
- (4) 金属容器、卷线连接器——相当于传输电能的金属导线,提供了手电筒中其他元件之间的连接。

1.1.1 电路

电路是为了实现某种功能由电气器件(如电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器等)按一定方式连接而成的集合体。例如,手电筒是一种最简单的电路,它由电池、灯泡、开关、金属容器等组成一个电流的通路;又如,电力系统和电视机则是相当复杂的电路,它们由许多的电路元件连接组成。

电路的作用之一是实现电能的传输和转换。如图1-2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;负载是消耗电能的设备,可能包括白炽灯、电动机、电热设备等,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,称为强电电路,要求在电能的传输和转换过程中,电路的能量损耗尽可能小,效率尽可能高。



图 1-2 电力系统结构示意图

电路的另一个作用是实现信号的传递和处理。如图1-3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;喇叭接收电信号并将其转换为声音,它是扩音器的负载;由于话筒输出的电信号很弱,不足以驱动喇叭发声,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信号传递和处理的性能(如失真、稳定性、放大倍数、级间配合等问题)。

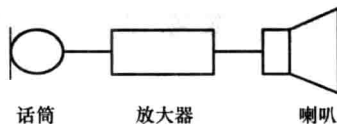


图 1-3 扩音器结构示意图

可见,一个完整的电路应包括电源、中间环节和负载三部分,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;中间环节用于传输、控制电能和电信号,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;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。

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,所以只需考虑灯泡消耗电能的性能,而将其视为电阻元件。

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。常用的有表示将电能转换为热能的电阻元件、表示电场性质的电容元件、表示磁场性质的电感元件及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,可以分为二端元件和多端元件。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。

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来确定一个实际电路用什么样的电路模型表示。

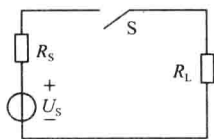


图 1-4 手电筒电路模型

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。如图1-1所示的手电筒,其电路模型如图1-4所示。

【练一练】

- (1) 电路由哪几部分组成? 电路的作用有哪些? 请列举出两个生活中常见的实际电路。
- (2) 何谓理想电路元件? 常见的理想电路元件有哪些?
- (3) 何谓二端元件和多端元件?

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

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及它们之间的关系上。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 电流及其参考方向

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1-5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

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

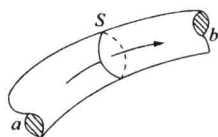


图 1-5 导体中的电流

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,其波形图如图1-6(a)、1-6(b)所示。

如果电流的大小和方向不随时间而变化,则称其为直流电流,用大写字母 I 表示,其波形图如图1-6(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 $I = \frac{Q}{t}$ 。在国际单位制(SI)中,电流的单位是安培,简称安,符号是 A。电量的单位是库仑,简称库,符号是 C。当每秒通过导体横截面的电量为 1 C 时,电流为 1 A。表示微小电流时,常以毫安(mA)或微安(μA)为单位;表示大电流时,常以千安(kA)为单位。它们和安的关系是

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

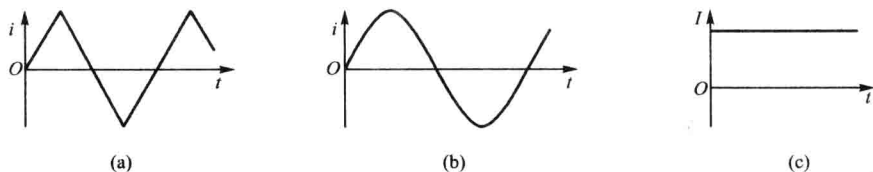


图 1-6 电流波形示意图

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,也称为电流的正方向。它是一个任意假定的电流方向,用箭头标示在电路上,并标以符号,如图1-7(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具有正有负,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1-7(b)所示;如果电流为负值,则电路中电流实际方向与电流参考方向相反,如图1-7(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。

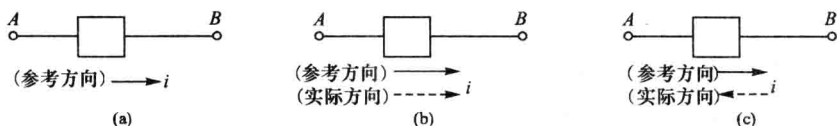


图 1-7 电流的参考方向

如通过图1-7(a)中元件的电流的大小为 15 mA,电流实际由 B 流向 A,则电流 i 为 -15 mA 。在直流电路中,测量电流时,应根据电流的实际方向将电流表串联接入待测支路中,电流表上标注的“+”、“-”号为电流表的极性。

1.2.2 电压和电动势及其参考方向

1. 电压

一个电源(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、负极通过负载连接成一个闭合电路,如图1-8所示,在电场力的作用下,正电荷从电源正极 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。

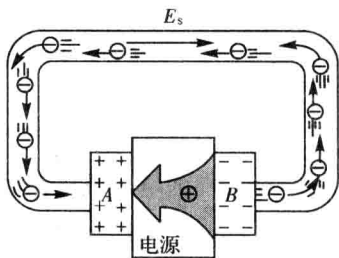


图 1-8 电荷的运动回路

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,称为 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

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

可以证明电场力做功与路径无关, 因此上式定义的电压也与路径无关, 仅取决于始末点位置。可以得出结论: 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。所以, 电压也可以用电位表示, 电位即物理学中的电势, 用 φ 表示, 单位是伏特(V)。两点间的电压就是这两点间的电位之差。这样, a 、 b 两点间的电压可表示为

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

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

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

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做的功, 称为该电源的电动势, 用 E 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, 并以箭头标示。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,用下标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 在如图1-9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1-9所示,则

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

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1-10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。

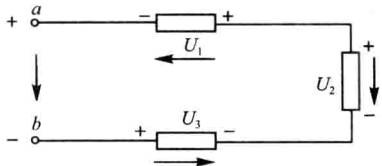


图 1-9 例 1-1 电路图

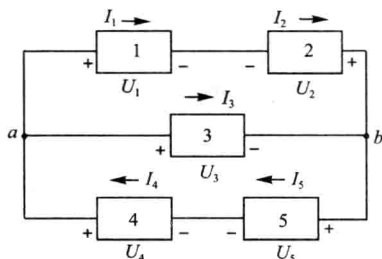


图 1-10 例 1-2 电路图

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是关联方向还是非关联方向。

解 (1) 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。元件 1、2、3 各自两端电压的实际方向与参考方向相同,元件 4、5 各自两端电压的实际方向与参考方向相反,即 a 点为高电位点, b 点为低电位点。

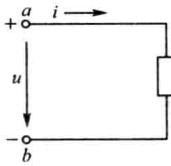
(2) 对于元件 1 和元件 5,电流由低电位点流向高电位点,因此它们是电源;对于元件 2、3、4,电流由高电位点流向低电位点,因此它们是负载。

(3) 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。



流过二端元件的电流和电压分别为 i 和 u ,如图 1-11 所示,关联参考方向如图中箭头所示。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 $dW=udq$ 。所以,电路吸收的电功率为

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

图 1-11 二端电路的功率 上式表明,任意瞬时,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

$$P = UI \quad (1-3b)$$

当电压、电流为非关联参考方向时,式(1-3a)和式(1-3b)等号右侧各增加一个负号。

在国际单位制(SI)中,功率的单位是瓦特,简称瓦,符号是 W。常用单位还有千瓦(kW)和毫瓦(mW)。照明灯泡的功率用瓦作单位,动力设备如电动机则多用千瓦作单位,而在电子电路中往往用毫瓦作单位。

由于电压与电流均为代数量,因而功率也可正可负。若 $P > 0$,表示元件实际吸收或消耗功率;若 $P < 0$,表示元件实际发出或提供功率。

2. 电能

电路在一段时间内吸收的能量称为电能。根据式(1-3a),在 $t_0 \sim t$ 时间内,电路吸收的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-4a)$$

直流时

$$W = Pt \quad (1-4b)$$

在国际单位制(SI)中,电能的单位是焦耳,简称焦,符号是 J。1 J 等于 1 W 的用电设备在 1 s 内消耗的电能。电力工程中,电能常用“度”作单位,1 度 = 1 kWh,即功率为 1 kW 的用电设备在 1 h 内消耗的电能。即

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$$

例 1-3 计算图 1-12 中各元件的功率,指出是吸收还是发出功率,并求出整个电路的功率。已知电路为直流电路, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -8 \text{ V}$, $U_3 = 6 \text{ V}$, $I = 2 \text{ A}$ 。

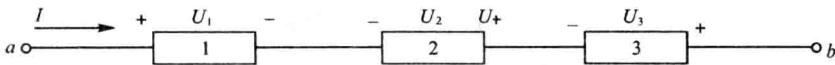


图 1-12 例 1-3 电路图

解 在图中,元件 1 的电压与电流为关联参考方向,由式(1-3b)得

$$P_1 = U_1 I = 4 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 8 \text{ W}$$

故元件 1 吸收功率。

元件 2 和元件 3 的电压与电流是非关联参考方向,所以得

$$P_2 = -U_2 I = -(-8 \text{ V}) \times 2 \text{ A} = 16 \text{ W}$$