



新世纪

新世纪高职高专

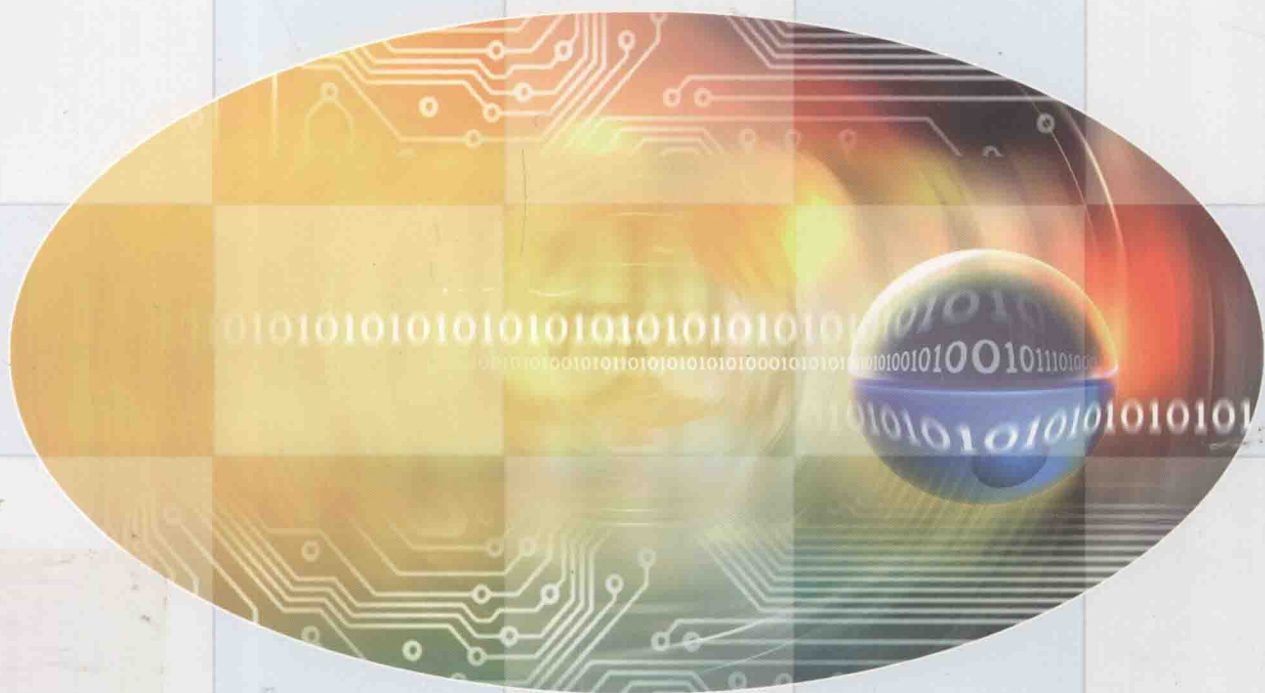
电气自动化技术类课程规划教材

电路与磁路

DIANLU YU CILU

新世纪高职高专教材编审委员会 组编

主编 谢小乐 主审 张小毛



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



新世纪高职高专
电气自动化技术类课程规划教材

电路与磁路

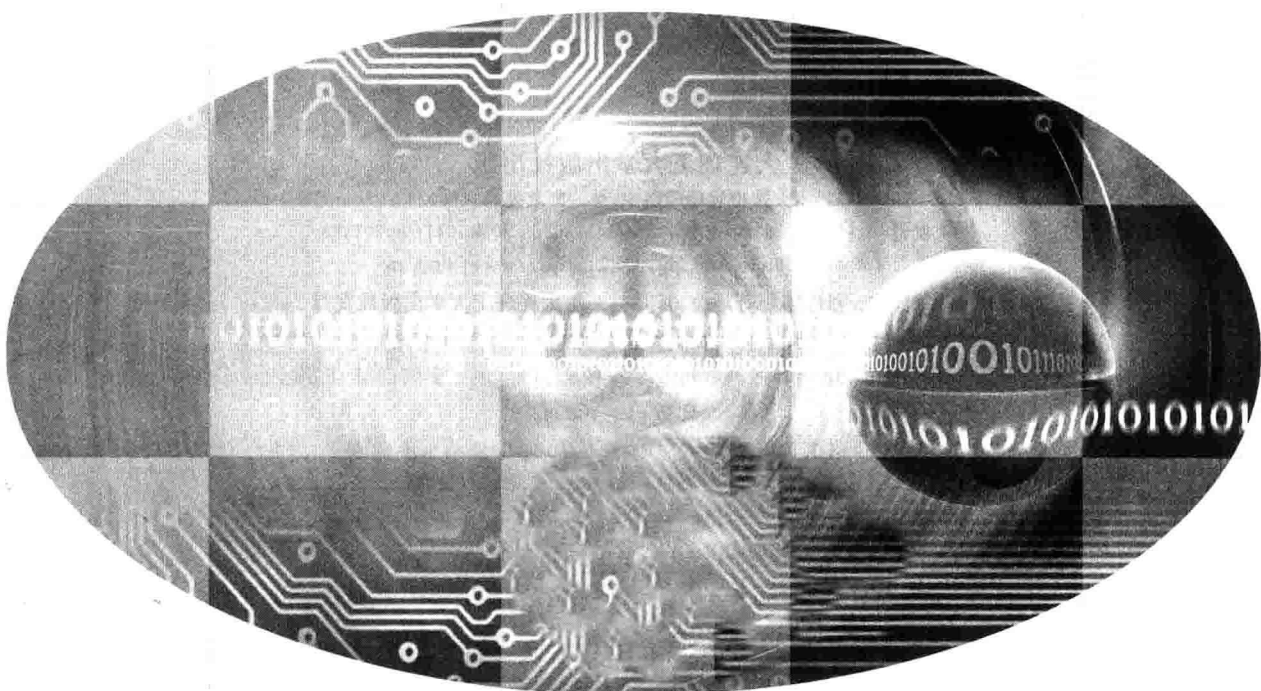
DIANLU YU CILU

新世纪高职高专教材编审委员会 组编

主 编 谢小乐

副主编 陈余庆 王玉芳

主 审 张小毛



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

图书在版编目(CIP)数据

电路与磁路 / 谢小乐主编. —大连: 大连理工大学出版社, 2010. 1

新世纪高职高专电气自动化技术类课程规划教材
ISBN 978-7-5611-5248-5

I. ①电… II. ①谢… III. ①电路理论—高等学校: 技术学校—教材②磁路—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 237599 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>

大连美跃彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm 印张: 14 字数: 321 千字

印数: 1~4000

2010 年 1 月第 1 版

2010 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 吴媛媛

责任校对: 任春荣

封面设计: 张莹

ISBN 978-7-5611-5248-5

定 价: 27.00 元

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

《电路与磁路》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。

本教材根据当前高职高专人才培养需求,主要以培养技能应用型人才为目标,在理论内容方面遵循了“够用为度、注重应用”的原则,将一些抽象的、理论性很强的却又与生产实践没有直接关联的内容予以摒弃,同时也注重了本课程与后续课程及生产一线的关联,并保证了各相关专业教育基础课程的基本教学要求。

本教材共分9章,分别为:电路的基本概念和基本定律;电阻电路的基本分析方法;正弦交流电路;三相正弦交流电路;二端口网络;线性电路过渡过程的时域分析;线性电路过渡过程的复频域分析;非正弦周期电路;磁路。

本教材在编写过程中力求突出以下特色:

1. 本教材力求体现高职高专教育特色,即注重基本理论的理解、基本方法的掌握,忽略复杂的推导过程,以“掌握概念、强化应用”为导向来取舍内容,并编入了一些与生产实践有直接关联的例题及讲解。

2. 打破了原有电路课程的基本体系,从电路的基本定律——基尔霍夫定律出发,讲解电路基本的等效变换方法、叠加定理和戴维南定理,再进一步学习几个重要的网络方程法,从而使基本理论与分析方法自成体系。教材还注重了教学内容的整合,将电路与磁路融合在一起,使内容思路清晰,循序渐进。

3. 每节设有“思考与练习”,章后设有“本章小结”和“习题”,并配有习题答案,有利于学生自学及巩固所学知识。

4. 本教材还编入了少量难度较大、但有时又必须要用到的内容,均在相关标题上用“*”号标记,便于各院校相关专业根据自身的需要选用。例如考虑到一些专业后续课程或其他较高层次人员学习的需要,书中特意编入了傅里叶变换和拉普拉斯变换的内容,并进行了清晰而完整的论述,这些章节均用“*”号标记。



本教材既兼顾了深度和广度,又兼顾了电气类、自动化类、电子类和通信类各专业的教学要求,可作为高职高专院校或应用型本科院校相关专业的教材,也可供有关工程技术人员自学或参考。

本教材由江西电力职业技术学院谢小乐任主编,大连海事大学陈余庆和江西电力职业技术学院王玉芳任副主编。具体编写分工如下:第1~4章、第9章由谢小乐编写;第6~8章由陈余庆编写;第5章由王玉芳编写。全书由谢小乐负责统稿和定稿。江西省电力公司副总工程师张小毛教授认真审阅了全书,并提出了许多十分宝贵的意见,对于本教材的修改和全书质量的提高有很大的帮助,在此致以深切的感谢!

由于编者学识水平和教学经验的限制等原因,书中难免存在一些疏漏与错误,恳请广大读者批评指正,并将发现的问题和建议及时反馈给我们,以便修订时完善,在此也一并诚表谢意!

所有意见和建议请发往:gzjckfb@163.com

欢迎访问我们的网站:<http://www.dutpgz.cn>

联系电话:0411-84707492 84706104

编 者

2010年1月



第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.2 电路的主要物理量	3
1.3 电路中几个重要的负载元件	8
1.4 独立电源	14
* 1.5 受控电源	17
1.6 基尔霍夫定律	18
本章小结	22
习题 1	23
第 2 章 电阻电路的基本分析方法	27
2.1 无源网络的等效变换	27
2.2 含独立源电路的等效变换	35
2.3 叠加定理	40
2.4 戴维南定理和诺顿定理	45
2.5 支路电流法	51
2.6 网孔电流法	54
2.7 节点电压法	58
2.8 替代定理与对偶原理	64
本章小结	65
习题 2	66
第 3 章 正弦交流电路	71
3.1 正弦量的三要素	71
3.2 正弦量的相量表示法	75
3.3 正弦电路中的电路元件	78
3.4 正弦交流电路的相量法分析	81
3.5 正弦交流电路的功率	86
3.6 谐振电路	91
3.7 互感和互感电压	93
3.8 互感线圈的连接	97
本章小结	101
习题 3	103

第4章 三相正弦交流电路	106
4.1 对称三相正弦量	106
4.2 三相电源和三相负载的连接	109
4.3 对称三相电路的计算	111
* 4.4 不对称三相电路	115
4.5 三相电路的功率	117
本章小结	119
习题4	121
第5章 二端口网络	123
5.1 端口网络及其端口条件	123
5.2 二端口网络的导纳参数和阻抗参数	124
5.3 二端口网络的传输参数和混合参数	129
5.4 二端口网络的级联	135
5.5 理想变压器	137
本章小结	139
习题5	139
第6章 线性电路过渡过程的时域分析	142
6.1 换路定律与初始值的计算	142
6.2 一阶电路的零状态响应	145
6.3 一阶电路的零输入响应	149
6.4 一阶电路的全响应	153
6.5 一阶电路的三要素公式法	155
6.6 阶跃响应	157
* 6.7 二阶电路的零输入响应	160
本章小结	166
习题6	166
* 第7章 线性电路过渡过程的复频域分析	170
7.1 拉普拉斯变换的定义	170
7.2 拉普拉斯变换的性质	170
7.3 拉普拉斯反变换	172
7.4 元件的复频域模型及运算电路	174
7.5 暂态电路的复频域分析法	176
本章小结	177
习题7	178
第8章 非正弦周期电路	180
* 8.1 非正弦周期函数分解为傅里叶级数	180
8.2 非正弦周期量的有效值和有功功率	183

8.3 非正弦周期电路的计算	187
本章小结	188
习题 8	189
第 9 章 磁 路	191
9.1 磁场的基本物理量	191
9.2 铁磁性物质及其磁化	193
9.3 磁路基本定律和简单计算	196
9.4 铁芯线圈及交流磁路的铁损	199
9.5 交流铁芯线圈的电路模型	202
本章小结	205
习题 9	205
习题答案	207

1 电路的基本概念和基本定律

1.1 电路和电路模型

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。

因使用目的和需要的不同,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 所示的电力系统结构示意图中,发电机是电源,是提供电能的设备,它可以把热能、原子能等非电能形式的能量转换为电能;白炽灯、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



图 1-1 电力系统结构示意图

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,通常称为强电电路,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。

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

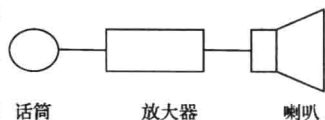


图 1-2 扩音器结构示意图

也有能量的传输和转换,但因电压、电流数值通常较小,故称为弱电电路,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)。

可见,一个完整的电路应包括电源、负载和中间环节三部分,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;负载是使用电能或输出电信号的设备,例如一台电视机可看做是强电系统的负载,而其中的扬声器或显像管又是信号处理设备自身的负载;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。

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,所以只需考虑灯泡消耗电能的性质,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。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来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? 请列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 何谓二端元件和多端元件?

1.2 电路的主要物理量

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作定向运动,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 时间内通过导体横截面 S 的电荷量为 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,则称其为直流电流,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

$$I = \frac{Q}{t}$$

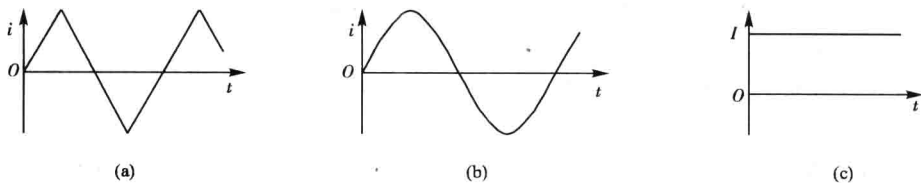


图1-4 电流波形示意图

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荷量为1库仑(C)时,电流为1 A。表示微小电流时,以毫安(mA)或微安(μ A)为单位;表示大电流时,以千安(kA)为单位。它们和安(A)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

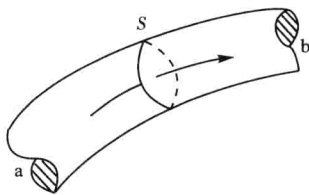


图1-3 导体中的电流

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 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。

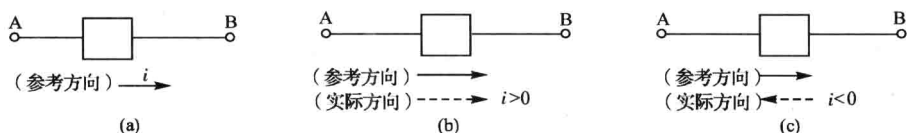


图 1-5 电流的参考方向

如果通过图 1-5(a) 中元件的电流为 15 mA,则电流实际方向也由 A 流向 B,如图 1-5(b) 所示,若电流实际由 B 流向 A,则电流 i 为 -15 mA,如图 1-5(c) 所示。

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

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、负极通过负载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 经连接导线和负载流向正极 A),形成了电流,而电场力就对电荷做了功。

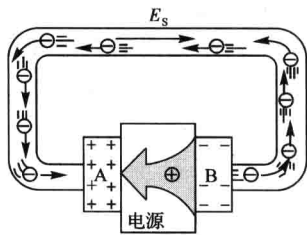


图 1-6 电荷的运动回路

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,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到低电位点,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 V 表示,单位是伏

特(V)。两点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

$$U_{AB}=V_A-V_B$$

国际单位制(SI)中,电压的单位是伏特(V),简称伏。当电场力把 1 C 的电荷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,以毫伏(mV)和微伏(μV)为单位,表示高电压时,则以千伏(kV)为单位,它们和伏(V)的关系是

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

2. 电动势

相对于电源正、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电源负极,于是电源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。

我们进一步通过图 1-7 所示的示意图来说明电动势的含义。

显然,电源内必须有一种能强行将正电荷从电源负极(低电位点)移到正极(高电位点)的力量,我们称之为电源力(是一种非静电场力)。

电动势的定义:电源内将单位正电荷从电源负极移到电源正极过程中非静电场力(电源力)所做的功称为电源的电动势。其表达式为

$$E=\frac{\text{d}W_s}{\text{d}q}$$

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。可见,电源内电动势的大小,实质上反映了电源提供电能本领的大小。

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。电动势的量纲和单位与电压、电位一样,国际单位也是伏特(V)。

3. 电压和电动势的参考方向

与电流一样,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(等价于用箭头表示)。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。而电源内电动势的参考方向,显然是由电源负极指向电源正极的(只要电源的参考极性标定,其上电压和电动势的参考方向就已经指定了)。

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

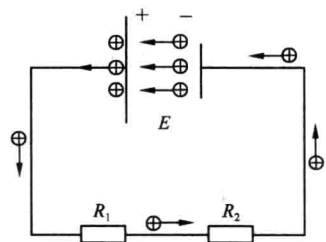


图 1-7 电动势的含义示意图

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 1-8 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 1-8 所示, 则

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

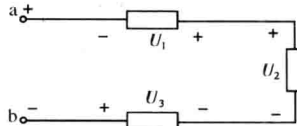


图 1-8 例 1-1 电路图

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 1-9 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: $I_1 = I_2 = -8 \text{ A}$, $I_3 = 12 \text{ A}$, $I_4 = I_5 = 4 \text{ A}$; $U_1 = 200 \text{ V}$, $U_2 = 120 \text{ V}$, $U_3 = 80 \text{ V}$, $U_4 = -70 \text{ V}$, $U_5 = -150 \text{ V}$ 。

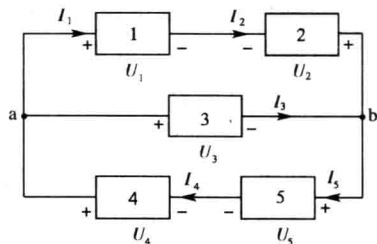


图 1-9 例 1-2 电路图

(1) 试指出各电流的实际方向和各元件电压的实际方向。

(2) 判断哪些元件是电源? 哪些元件是负载?

(3) 指出各元件的电压与电流的参考方向是关联参考方向还是非关联参考方向。

解 (1) 根据图中所标电流、电压参考方向, 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; 电压 U_1 、 U_2 、 U_3 的实际方向与参考方向相同, U_4 、 U_5 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 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 1-10 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 $dW = u dq$ 。所以,电路吸收的电功率为

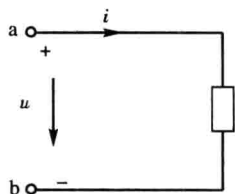


图 1-10 二端电路的功率

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

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)、式(1-3b)应增加一个负号。

在国际单位制(SI)中,功率的单位是瓦特(W),简称瓦。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 到 t 时间内,电路所吸收的电能为

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

对直流电路,有

$$W = P(t - t_0) \quad (1-4b)$$

在国际单位制(SI)中,电能的单位是焦耳(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,它是千瓦时(kWh)的简称,1 度等于功率为 1 kW 的用电设备在 1 小时内消耗的电能,即

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

【例 1-3】 计算图 1-11 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, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -8 \text{ V}$, $U_3 = 6 \text{ V}$, $I = 2 \text{ A}$ 。

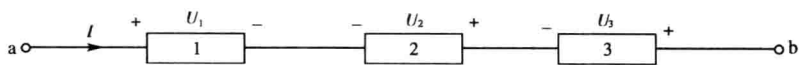


图 1-11 例 1-3 电路图

解 在图中,元件 1 电压与电流为关联参考方向,由式(1-3b)得

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

故元件 1 吸收功率。