

高等职业技术教育机电类系列教材

Gaodeng Zhiye Jishu Jiaoyu Jidianlei Xilie Jiaocai

电 工 学

高鸿斌 卢建兵 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等职业技术教育机电类系列教材

电 工 学

主 编 高鸿斌 卢建兵
参 编 陈 斌 周天宏 戴 艳

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书包括电工技术和电子技术两部分。电工技术主要介绍电路的基本概念及基本定律,直流电阻电路分析,单相交流电路,三相交流电路,电路的暂态分析,电工仪表与测量,直流电动机及其拖动,变压器,交流电动机及其拖动,控制系统;电子技术主要介绍常用半导体器件,基本放大电路,运算放大器,直流稳压电源,数字逻辑门电路,组合逻辑电路,触发器及其应用,555 电路及应用等。

本书为高等职业技术学院和高等专科学校机械类专业、机电类专业及其他非电类专业电工学课程的教材,也可作为成人高等教育相关专业的教学用书,同时供从事相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学/高鸿斌,卢建兵主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2011.2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0960 - 3

I. ①电… II. ①高…②卢… III. ①电工学—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 019864 号

书 名 电工学

主 编 高鸿斌 卢建兵

责任编辑 陈 慧

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 22.5 字数 561 千字

版次印次 2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书主要介绍的内容包括电工技术和电子技术两部分。电工技术主要介绍电路的基本概念及基本定律,直流电阻电路分析,单相交流电路,三相交流电路,电路的暂态分析,电工仪表与测量,直流电动机及其拖动,变压器,交流电动机及其拖动,控制系统;电子技术主要介绍常用半导体器件,基本放大电路,运算放大器,直流稳压电源,数字逻辑门电路,组合逻辑电路,触发器及其应用,555 电路及其应用等。

本书为高等职业技术学院和高等专科学校机械类专业、机电类专业及其他非电类专业电工学课程的教材,也可作为成人高等教育相关专业的教学用书,同时还可供有关工程技术人员和管理人员参考使用。

本书编写过程中,注重实用性和可操作性,紧紧围绕电工、电工测量、控制、电子技术的工程应用,力求将较深的理论与复杂的数学分析进行归纳和简化,将定量分析转化为定性说明,将理论知识与应用有机结合起来,在保证必需的基础理论与常规技术的同时,充分考虑到教材的先进性、通用性和实用性,体现学训结合,以满足日常教学和教学改革的需要。

本书内容本着高职高专培养目标,根据当前高职高专教育在校学生的实际情况,本着“必需、够用、易学”的原则,保证满足高职高专相关专业电工技术和电子技术的基本要求。其主要特点有:

第一、实用性强。教材内容结合高职高专学生特点,增加了典型实例分析的篇幅。

第二、简明扼要。教材内容没有大篇理论推导,突出实践技能内容。

第三、内容新颖。教材内容选用了工业企业比较常用的典型电路进行分析;本书的图形、文字符号均参考国家标准 GB/T 4728.1—2005 和 GB 3102.5—1993。

本书由高鸿斌、卢建兵担任主编,陈斌、周天宏、戴艳担任副主编。参加编写情况:兰州资源环境职业技术学院高鸿斌编写第一、十四、十五、十六、十七和十八章,兰州资源环境职业技术学院卢建兵编写第四、五、十一和十二章,兰州资源环境职业技术学院陈斌编写第七、十章及附录,兰州资源环境职业技术学院周天宏编写第三、六、八和十三章,甘肃靖远煤业集团公司培训处戴艳编写第二、九章及实验。全书由卢建兵统稿、高鸿斌主审。

本书在编写过程中得到了兰州资源环境职业技术学院和甘肃靖远煤业集团公司培训处有关部门及老师的大力支持和帮助,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有缺点和错误,敬请读者批评指正。

编者

2011 年 1 月

目 录

上篇 电工技术

第一章 电路的基本概念及基本定律	3
第一节 电路的概念、组成和作用	3
第二节 电路的基本物理量	4
第三节 电能和电功率	8
第四节 电阻元件	9
第五节 欧姆定律	11
第六节 电源元件	13
第七节 电路的基本工作状态	15
第八节 基尔霍夫定律	17
第九节 电位计算及电气设备的额定值	20
第十节 实例分析	23
思考题与习题	24
第二章 直流电阻电路的分析	27
第一节 无源二端网路	27
第二节 电压源与电流源的等效变换	33
第三节 支路电流法	36
第四节 网孔电流法	38
第五节 节点电压法	41
第六节 叠加定理	43
第七节 戴维宁定理	46
第八节 实例分析	50
思考题与习题	52
第三章 单相交流电路	58
第一节 正弦交流电路	58
第二节 正弦交流电的表示方法	60
第三节 单一参数的交流电路	63
第四节 电阻、电感和电容元件串联的交流电路	69
第五节 阻抗的串联和并联	72
第六节 正弦交流电路中的谐振	75

第七节 功率因数提高	78
第八节* 非正弦周期信号电路	81
第九节 实例分析	84
思考题与习题	84
第四章 三相交流电路	88
第一节 三相电源	88
第二节 负载星形连接的三相电路	91
第三节 负载三角形连接的三相电路	93
第四节 三相功率	94
第五节 实例分析	96
思考题与习题	98
第五章* 电路的暂态分析	100
第一节 稳态与瞬态	100
第二节 RC 串联电路在直流激励下的响应	101
第三节 RL 串联电路在直流激励下的响应	106
第四节 一阶直流线性电路暂态过程的三要素法	108
第五节 实例分析	109
思考题与习题	110
第六章 电工仪表与测量	113
第一节 电工仪表及测量的基本知识	113
第二节 电流的测量	118
第三节 电压的测量	120
第四节 电阻的测量	122
第五节 单相交流电路功率及电能的测量	125
第六节 万用表	127
第七节 实例分析	129
思考题与习题	130
第七章 直流电动机及其拖动	133
第一节 直流电动机的结构及其工作原理	133
第二节 直流电动机的电力拖动	137
第三节 实例分析	142
思考题与习题	142
第八章 变压器	144
第一节 变压器的基本结构和工作原理	144

第二节 变压器的运行特性·····	147
第三节 三相变压器·····	153
第四节 实例分析·····	156
思考题与习题·····	157
第九章 交流电动机及其拖动·····	159
第一节 三相异步电动机的基本结构和工作原理·····	159
第二节 三相异步电动机机械特性·····	170
第三节 三相异步电动机的启动与制动·····	173
第四节 实例分析·····	176
思考题与习题·····	178
第十章 控制系统·····	179
第一节 低压控制电器·····	179
第二节 异步电动机的控制·····	182
第三节 实例分析·····	186
思考题与习题·····	187

下篇 电子技术

第十一章 常用半导体器件·····	191
第一节 半导体的基本知识·····	191
第二节 晶体二极管·····	194
第三节 稳压管·····	196
第四节 晶体三极管·····	197
第五节 场效应晶体管·····	203
第六节 实例分析·····	206
思考题与习题·····	208
第十二章 基本放大电路·····	211
第一节 基本放大电路的组成及静态工作点·····	211
第二节 放大电路的动态分析·····	215
第三节 静态工作点的设置与稳定·····	222
第四节 射极输出器·····	225
第五节 场效应管放大电路·····	228
第六节 阻容耦合多级放大电路·····	229
第七节 放大电路中的负反馈·····	232
第八节 实例分析·····	240
思考题与习题·····	241

第十三章 运算放大器	247
第一节 集成运算放大器.....	247
第二节 理想集成运算放大器的分析方法.....	250
第三节 集成运算放大器使用中应注意的问题.....	257
第四节 实例分析.....	259
思考题与习题.....	260
第十四章 直流稳压电源	263
第一节 单相半波整流电路.....	263
第二节 单相桥式整流电路.....	264
第三节 电容滤波电路.....	266
第四节 电感滤波电路.....	268
第五节 稳压二极管稳压电路.....	269
第六节 实例分析.....	270
思考题与习题.....	272
第十五章 逻辑门电路	274
第一节 数制与编码.....	274
第二节 逻辑代数及应用.....	276
第三节 晶体管的开关作用.....	280
第四节 基本逻辑门电路.....	281
第五节 TTL 与非门电路	285
第六节 实例分析.....	287
思考题与习题.....	287
第十六章 组合逻辑电路	290
第一节 组合逻辑电路的分析与设计.....	290
第二节 中规模组合逻辑电路的应用.....	293
第三节 实例分析.....	300
思考题与习题.....	301
第十七章 触发器及其应用	303
第一节 基本 R—S 触发器	303
第二节 同步 R—S 触发器	305
第三节 主从 J—K 触发器	307
第四节 D 触发器.....	308
第五节 寄存器.....	309
第六节 二进制计数器.....	310
第七节 实例分析.....	312

思考题与习题	313
第十八章 555 电路及其应用	315
第一节 555 电路的组成及工作原理	315
第二节 555 电路的应用实例	316
思考题与习题	319
实验	320
实验一 基尔霍夫定律验证	322
实验二 戴维宁定理验证	323
实验三 日光灯电路和功率因数的提高	324
实验四 三相交流电路特性	326
实验五 三相异步电动机正、反转控制	327
实验六 常用电子仪表的使用	330
实验七 晶体管共射极单管放大器特性	332
实验八 集成运算的基本应用——模拟运算实验	334
实验九 整流滤波电路实验	336
实验十 组合逻辑电路的设计与测试	337
附录	339
参考文献	349

上篇 电工技术

第一章 电路的基本概念及基本定律

本章主要讨论电路的基本物理量、基本定律、工作状态,以及电压和电流的正方向等,这些知识都是分析与计算电路的基础。

第一节 电路的概念、组成和作用

一、电路的概念

电路是电流的通路,即电流通过的路径。电路是为了某种需要由一些电工设备或元件按照一定方式连接而成的闭合回路。较复杂的电路称为网络。

一般来说,电路中的电流、电压和功率关系要受两类条件的约束:一类是电工设备或元件自身性质的约束;另一类是来自电工设备或元件连接方式的约束。

所谓电路分析,就是依据这两类约束条件,分析和计算电路各部分的电流、电压、功率以及它们之间的相互关系。

所谓原理电路图,简称电路图,就是用国际规定的图形符号、文字符号和线条连接起来,表明各个电器元件之间的关系和电路的具体安排示意图。通常采用原理电路图进行电路分析。

可见,电路的基本理论是电工和电子应用技术的基础,而原理电路图分析又是电路基本理论的一个重要组成部分。

二、电路的组成

电路一般由电源、负载和中间环节三个基本部分组成,如图 1-1 所示。

1. 电源

电源是供应电能的设备,它把其他形式的能量转化为电能。例如,发电机、电池等都是电源,发电机将机械能转换成电能,而电池则将化学能转换成电能。随着科学技术的日益发展和各种能源的充分开发,目前水力资源、风力资源、原子能、太阳能、地热、潮汐等都已成为电能的来源。

2. 负载

负载是取用电能设备的统称。它是一种能将电能转化成光能、机械能和热能等其他形式能量的装置,如日光灯、电动机、电炉、扬声器等。

3. 中间环节

中间环节是指联接电源和负载的部分,起着传输、控制和分配电能的作用。中间环节包括电源和负载以外的所有部分,如变压器、输电线、开关、保护装置和处理器等。最简单的中间环节,就是导线和开关。

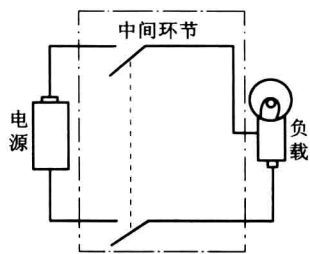


图 1-1 电路的组成

对于电源来讲,负载和中间环节称为外回路,而电源内部的一段电路则称为内回路。

三、电路的作用

电路的作用可概括为两个方面:一是电能的传输、分配和转换,二是信号的传递和处理。

(1) 电路能够实现电能的传输、分配和转换。例如,电力系统,其电路如图 1-2 所示。在此电路中,电源输出电能,通过中间环节供应给负载。

这一类电路的作用主要是以较高的效率传输、分配和转换电能。由于需要输送的能量较大、电压较高、电流较强,所以要求电能的传输效率高、损耗少。

(2) 电路能够实现信号的传递和处理。例如,扩音机,其电路如图 1-3 所示。



图 1-2 电能的传输和转换

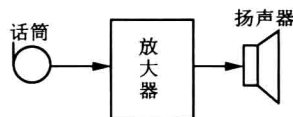


图 1-3 信号的传递和处理

电话筒把语言或音乐转换为相应的电压和电流,它们就是电信号,通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于电话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间还要用放大器来放大。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。

在图 1-3 中,话筒是输出信号的设备,称为信号源,也相当于电源。信号源输出的电信号的变化规律是取决于所加的信息。扬声器是接受和转换信号的设备,也就是负载。

所谓信息传递和处理电路就是用来实现信息传递和处理的电路。例如,用热电偶测量温度,用电阻测量材料的变形,以及收音机、电视机等天线接收信号,然后转换成声音、图像等电路,都属于信息转换和处理电路。

四、电路的激励与响应

在电路分析中,通常把作用在电路上的电源或信号源的电压或电流,称为“激励”,也叫“输入”,它推动电路工作;把由于激励在电路各部分产生的电压和电流,称为“响应”,也叫“输出”,它是电路工作的目的。

综上所述,一个完整的电路应当包括电源、负载和中间环节三个部分,是发生、传递和应用电能(或信号)的各种部件组成的总体,用以实现电能的传输和转换、信号的传递和处理。

第二节 电路的基本物理量

一、电流

1. 电流的概念

电能的传递与转换,是通过电荷这一载体的定向移动实现的。我们把电荷有规则地定向运动现象,称为电流。例如,处于电场之中的金属导体,其中自由电子受电场力作用,沿着电场的方向定向移动,就形成了电流。

2. 电流的大小和种类

电流的大小指单位时间内通过导体横截面的电量。电流分为直流电流和交流电流两种类型。

(1) 直流电流。方向不随时间变化而变化的电流,称为直流电流,简称直流,简写为

“DC”。直流电流常用大写字母 I 表示。

(2) 交流电流。大小和方向随时间的变化而变化的电流,称为交流电流,简称交流,简写成“AC”。交流电流常用小写字母 i 表示。

对于直流,其电流(I)等于单位时间(t)内通过导体横截面的电量(Q)。即

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

所以,电流一词,既代表一种物理现象,又代表一个物理量。

3. 电流的单位

我国计量单位采用国际单位制(SI),在国际单位制中,电流的单位是安培,简称安(A);电量的单位是库仑(C);时间的单位是秒(s)。

当每秒内通过导体横截面的电量为 1 C 时,则电流为 1 A。当计量微小电流时,还可以用毫安(mA)或微安(μ A)为单位;当计量大电流时,以千安(kA)为单位。它们之间的关系如下:

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

4. 电流的方向

不同的导电物质形成电流的运动电荷可以是正电荷,也可以是负电荷,甚至两者都有。习惯上规定正电荷运动的方向(或负电荷运动的反方向)为电流的方向。

在简单的直流电路中,电流的实际方向可由电源的极性直接确定,即由电源正(+)极经过外电路流向负(-)极。在一些复杂的直流电路中,往往难以事先判断某支路中电流的实际方向。

对交流电流来讲,其方向随时间而变,无法用一个箭号来表示其实际方向。为此,引入电流的参考方向(或称正方向)这一概念。当然,所选的电流参考方向,并不一定都与电流的实际方向一致。

当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值,如图 1-4(a)所示;当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值,如图 1-4(b)所示。



图 1-4 电流正负值

因此,在参考方向选定之后,电流的数值才有正负之分。电流的正负值、参考方向及实际方向的关系,如图 1-5 所示。

本书电路图上所标出的电流方向均为正方向,需要表明实际方向时用虚线箭头表示或加以说明。

电流的方向除了用箭头表示外,还可以用双下标来表示。例如, I_{ab} 表示电流正方向是由 a 点指向 b 点,故 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

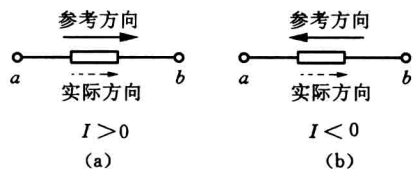


图 1-5 电流的参考方向

二、电压

1. 电压的概念

在图 1-6 中, 电池正极板 a 带正电荷, 负极板 b 带负电荷, 于是在极板 a 、 b 之间存在电场。若用导线将电源极板与负载灯泡相连, 则正电荷在电场力的作用下从 a 板经导线、灯泡移动到 b 板, 形成电流并使灯泡发光, 这说明电场力做了功。为了衡量电场力对电荷做功能力的大小, 引入了电压物理量。其定义为: a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点, 电场力所做的功。用公式表示为:

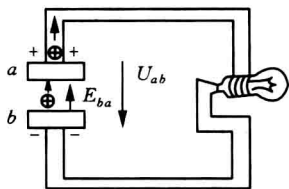


图 1-6 电场力对电荷做功

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = -\frac{W_a - W_b}{Q} = U_a - U_b \quad (1-2)$$

式(1-2)说明:

(1) a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功, 也就是单位正电荷从 a 点到 b 点所失去的能量。

(2) 电路中任意两点间的电压等于这两点的电位之差, 所以电压又称为电位差。

2. 电压的大小和单位

直流电压用大写字母 U 来表示, 交流电压用小写字母 u 来表示。

电压的单位用伏特(V)表示。当计量较大的电压时, 用千伏(kV)来表示; 当计量较小的电压时, 用毫伏(mV)、微伏(μ V)来表示。它们之间的关系如下:

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

3. 电压的方向

与电流一样, 电压也具有方向性。电压的实际方向规定为由高电位点指向低电位点。因此, 在电压的方向上, 电位是逐步降低的。

同理, 电压也可以选择了一个方向作为参考方向(正方向), 并据此正方向进行计算。当实际方向与参考方向相同时, 电压为正值; 当实际方向与参考方向相反时, 电压为负值, 如图 1-7 所示。在分析电路时, 电压的参考方向也可以用参考极性表示, 参考极性也可以任意假定。在电路图上用“+”、“-”号表示, “+”表示高电位端, “-”表示低电位端。当电压值为正时, 该电压的实际极性与参考极性相同; 当电压值为负时, 该电压的实际极性与参考极性相反。可见, 在没有设定参考方向时, 电压的正负也是没有意义的。

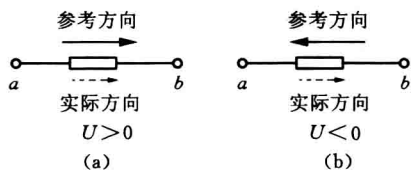


图 1-7 电压的参考方向

电压的参考方向除用箭头(起点代表假定的高电位点, 终点代表假定低电位点)、正负号表示外, 还可以用双下标表示(第一个下标代表高电位点、第二个下标代表低电位点)。例如, 用 U_{ab} 表示两点间的电压, 它的参考方向是由 a 指向 b , 也就是说 a 点的参考极性为“+”, b 点的参考极性为“-”。

应当指出, 电路图中所标的电压方向都是正方向, 一般假定电流与电压有相同的正方向。

此外, 还应当指出, 参考点变了, 电位的值也变了, 但是不论参考点如何变化, 两点间的

电压是不改变的,通常把这一性质称为电位的相对性和电压的绝对性。

三、电动势

如前所述,在闭合电路中,电场力移动正电荷沿外电路由电源的正极流向负极。为了保持电流的连续与恒定,必须使两极间电压保持恒定,即要使流向负极的正电荷经过另一路径(如内电路)流回到正极,从而使正电荷沿电路不断地循行。显然,在电源的内部必须要有另一种力,能克服电场力使正电荷逆电场而上,这种力称为电源力或非静电力。例如,在发电机中,当导体在磁场中运动时,导体内便出现这种电源力;在电池中,电源力来自电极与电解质接触后发生的化学反应。

电源力克服电场力把电荷从负极(b 点)移到正极(a 点)所做的功 A_{ku} 与被移运的电量 Q 的比值,称为电源电动势,用 E_{ku} 表示,即

$$E_{ku} = \frac{A_{ku}}{Q} \quad (1-3)$$

电动势是衡量外力做功能力的物理量,它在数值上等于单位正电荷受电源力作用从电路的某一点移到另一点所做的功。电源力克服电场力做功,使正电荷的电位能升高,把非电能转为电能。电动势的单位也用伏特(V)表示。

电动势的实际方向规定为从低电位点指向高电位点,即由负极指向正极。因此,在电动势的方向上,电位是逐步升高的。

在直流电路中,电动势的实际方向很容易通过直观确定。而在交流电路中,由于电动势的实际方向是随时间而改变的,所以电路图上标出的方向仍为正方向,至于它的实际方向可由交流电动势的时间函数的正负值表明。

需要说明,一个元件或者一段电路中电流和电压的参考方向是可以任意设定的,两者可以一致,也可以不一致。当电流和电压的参考方向一致时,称为关联参考方向,如图 1-8(a)、(b)所示;两者相反时称为非关联参考方向,如图 1-8(c)、(d)所示。

在电路中,负载上一般设定为关联参考方向,电源上设定为非关联参考方向。值得注意的是,由于关联参考方向是针对某一具体元件或一段电路而言的,因此,必须说明在哪一个元件或哪一段电路上电压和电流为关联或非关联参考方向。

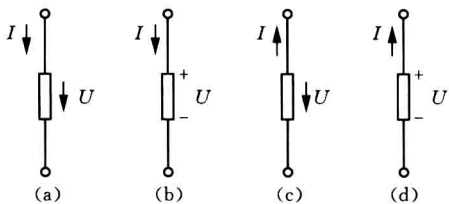


图 1-8 关联参考方向与非关联参考方向

【例 1-1】 在图 1-9(a)中,5 个元件代表了电源或负载电阻,图中标出了电流和电压的参考方向。

已知: $U_1 = 100 \text{ V}$, $U_2 = -70 \text{ V}$, $U_3 = 60 \text{ V}$, $U_4 = -40 \text{ V}$, $U_5 = 10 \text{ V}$, $I_1 = -4 \text{ A}$, $I_2 = 2 \text{ A}$, $I_3 = 6 \text{ A}$ 。试标出各电流的实际方向和电压的实际极性。

解: 在图 1-9(a)中各元件都标出了电流、电压的参考方向,已知: U_1 、 U_3 、 U_5 、 I_2 和 I_3 的值为正,这表示实际方向与设定的参考方向一致; U_2 、 U_4 、 I_1 为负值,表示实际方向与参考方向相反。因而得出如图 1-9(b)箭头所标各元件的电压、电流的实际方向。电压的方向可用“+”表示高电位端。

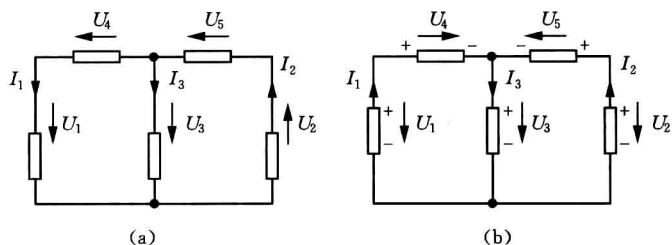


图 1-9 例 1-1 图

第三节 电能和电功率

一、电能

在电流通过电路的同时,电路内发生了能量的转换。在电源内,电源力不断地克服电场力对电荷做功,正电荷在电源内获得了能量,把非电能转换成电能,同时,由于热效应而消耗掉一小部分电能。在外电路中,正电荷在电场力作用下不断地通过负载而放出能量,把电能转换成其他形式的能。由此可见,在电路中,电荷只是一种转换和传输能量的媒介物,电荷本身并不产生或消耗任何能量。通常所说的用电,就是指取用电荷所携带的能量。

从非电能转换来的电能 W_E 就等于电源力做的功,也就等于电源的电动势(E)与被移动电量(Q)的乘积,即

$$W_E = EQ = EIt$$

此电能可分为两部分:一是外电路取用的电能(即电源输出的电能) W ,二是内电路消耗掉的电能 W_0 。根据能量守恒定律得

$$W_E = W + W_0$$

外电路取用的电能等于电场力做的功,也就等于电路两端的电压 U (即电源的端电压)与受电场力作用而移动的电量 Q 的乘积,即

$$W = UQ = UIt$$

由以上公式得

$$W_0 = W_E - W = (E - U)It$$

式中, $E - U$ 称为电源内部电压降,用 U_0 表示,则

$$W_0 = U_0 It$$

由此可得电路的能量平衡方程式为

$$EIt = UIt + U_0 It$$

等式两边除以 It , 则得

$$E = U + U_0 \quad (1-4)$$

式(1-4)称为电路的电压平衡方程式。其意义是电源电动势等于电源端电压与电源内部电压降之和。

二、电功率

电能量对时间的变化率,称为电功率,也就是电场力在单位时间内所做的功。即