



高职高专电气工程及自动化类专业精品课程教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI GONGCHENG JI ZIDONGHUALEI ZHUANYE JINGPIN KECHENG JIAOCAI

李家坤 周海波 主编

电路基础

DIANLU JICHU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高职高专电力工程及自动化类专业精品课程教材

电路基础

主 编 李家坤 周海波

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本书是电气工程及自动化、机电工程、电子信息工程的专业基础教材,全书共8章,主要包括电路的基本概念与基本定律、直流电阻电路及电路的分析方法、正弦稳态电路、三相交流电路、电路的暂态分析、电路谐振与非正弦周期交流电路、耦合电路与二端口网络、磁路与铁芯线圈等内容。

书中具有典型的例题和习题,便于提高读者分析和解决实际问题的能力,便于自学。

本书既可作为高职院校电气工程及自动化、机电工程、电子信息工程等专业的教科书,也可供从事电工电子技术工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/李家坤 周海波 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5609-6409-6

I. 电… II. ①李… ②周… III. 电路理论-高等学校:技术学校-教材
IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 136376 号

电路基础

李家坤 周海波 主编

策划编辑:谢燕群

责任编辑:余 涛

封面设计:潘 群

责任校对:李 琴

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:武汉首壹印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:13.75

字 数:280千字

版 次:2010年8月第1版第1次印刷

定 价:23.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

本教材根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》、教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神,由具有丰富经验的教师编写而成。

为了满足高职院校电气工程及自动化、机电工程、电子信息工程等专业的教学、就业和岗位要求,加快高职应用型人才的培养,本教材的编写注重学生应用能力、分析能力和基本技能的培养,突出高职教育的职业性。本教材特点如下。

(1) 顺应教育部面向 21 世纪高职教育教学内容和课程体系的改革要求,在整合了电类专业相关课程的基础上,充分考虑高职高专教育对象的需求,以实际、实用为原则。

(2) 在内容上,对传统教学内容进行了大胆取舍,强调基本电路理论的应用和掌握,避免复杂的推理论证,力求通俗易懂。

(3) 对基本理论的分析采用图解、图示等方法,并强调电路基本理论的实际应用。

(4) 书中有典型例题,每章后面附有小结、思考题与习题,便于学生总结和复习。

本教材由长江工程职业技术学院李家坤、周海波任主编,广东清远职业技术学院的李生明和长江工程职业技术学院的黄宝玉、熊巍任副主编。参加编写的还有黄伟林、龙俊、程天龙和郑晓静。李家坤、周海波负责全书的统稿工作。

在编写过程中,参阅了许多同行专家编著的教材和资料,得到了不少启发和教益,在此致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,敬请读者指正。

编 者

2010 年 4 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.1.1 电路的组成、作用和电路模型	(1)
1.1.2 理想元件与电路模型	(2)
1.2 电路的基本物理量	(3)
1.2.1 电流及其参考方向	(3)
1.2.2 电压、电位、电动势	(4)
1.2.3 电功率和电能	(7)
1.3 基本电路元件	(8)
1.3.1 理想电阻元件	(9)
1.3.2 理想电容元件	(9)
1.3.3 理想电感元件	(10)
1.4 电源及其等效变换	(11)
1.4.1 电压源	(12)
1.4.2 电流源	(13)
1.5 基尔霍夫定律	(15)
1.5.1 电路结构的有关术语	(15)
1.5.2 基尔霍夫定律	(16)
小结	(19)
思考题与习题	(21)
第 2 章 直流电阻电路	(25)
2.1 电阻串、并联电路	(25)
2.1.1 串联电阻电路	(25)
2.1.2 电阻并联电路	(27)
2.1.3 电阻混联电路	(28)
2.2 电阻的星形连接与三角形连接及等效变换	(29)
2.2.1 电阻的星形连接与三角形连接	(29)
2.2.2 星形连接和三角形连接等效变换	(30)
2.3 电路中各点电位的计算	(31)
2.3.1 电位的定义	(31)

2.3.2 电位的计算	(31)
2.4 电路的基本分析方法	(32)
2.4.1 支路电流法	(32)
2.4.2 网孔电流法	(34)
2.4.3 节点电压法	(36)
2.5 叠加定理	(39)
2.5.1 叠加定理的定义	(39)
2.5.2 叠加定理的应用	(40)
2.6 戴维南定理和诺顿定理	(42)
2.6.1 戴维南定理	(42)
2.6.2 利用戴维南定理的解题步骤	(42)
2.6.3 诺顿定理及其应用	(45)
2.7 受控源电路的分析	(47)
2.7.1 受控源	(47)
2.7.2 含受控源的简单电路分析	(48)
2.8 最大功率传输定理及其应用	(48)
2.8.1 负载获取最大功率的条件	(49)
2.8.2 最大功率传输定理的应用	(49)
2.9 简单非线性电阻电路的分析	(51)
2.9.1 非线性电阻元件	(51)
2.9.2 应用图解法分析非线性电阻电路	(52)
小结	(53)
思考题与习题	(56)
第3章 单相正弦交流电路	(60)
3.1 正弦交流电的概念	(60)
3.1.1 正弦量的三要素	(60)
3.1.2 同频率正弦量的相位差	(62)
3.2 正弦量的相量表示法	(64)
3.2.1 复数	(64)
3.2.2 正弦量的相量表示法	(65)
3.2.3 基尔霍夫定律的相量形式	(67)
3.3 电路中电压与电流的关系	(69)
3.3.1 正弦交流电路中的电阻元件	(69)
3.3.2 正弦交流电路中的电感元件	(71)
3.3.3 正弦交流电路中的电容元件	(73)

3.4 复阻抗与复导纳	(75)
3.5 正弦交流电路的稳态分析	(78)
3.6 正弦交流电路中的功率	(80)
3.6.1 正弦交流电路的瞬时功率	(80)
3.6.2 平均功率、无功功率和视在功率	(81)
3.6.3 复功率	(82)
3.7 功率因数的提高	(84)
3.7.1 提高功率因数的意义	(85)
3.7.2 功率因数提高的方法	(85)
小结	(87)
思考题与习题	(88)
第4章 三相交流电路	(92)
4.1 三相电源及其连接方式	(92)
4.1.1 对称三相电源	(92)
4.1.2 三相电源的Y形连接	(94)
4.1.3 三相电源的 Δ 形连接	(95)
4.2 三相负载的连接及对称三相电路的计算	(96)
4.2.1 三相负载的Y形连接	(96)
4.2.2 三相负载的 Δ 形连接	(98)
4.3 简单不对称三相电路的分析	(100)
4.3.1 Y形不对称三相电路的分析与计算	(100)
4.3.2 Δ 形不对称三相电路的分析与计算	(102)
4.4 三相电路的功率及测量	(103)
小结	(105)
思考题与习题	(105)
第5章 电路的暂态分析	(108)
5.1 电路暂态分析的基本概念及换路定则	(108)
5.1.1 暂态分析的基本概念	(108)
5.1.2 换路定则	(109)
5.1.3 初始值的确定	(109)
5.2 一阶电路的零输入响应	(111)
5.2.1 RC电路的零输入响应	(111)
5.2.2 RL电路的零输入响应	(114)
5.3 一阶电路的零状态响应	(116)
5.3.1 RC串联电路的零状态响应	(116)

5.3.2 RL 串联电路的零状态响应	(118)
5.4 一阶电路的全响应	(119)
5.5 一阶电路的三要素法	(121)
5.5.1 三要素的确定	(122)
5.5.2 应用举例	(122)
5.6 二阶电路的分析	(125)
5.6.1 RLC 串联电路的微分方程	(126)
5.6.2 过阻尼非震荡放电过程	(127)
5.6.3 临界阻尼非震荡放电过程	(129)
5.6.4 欠阻尼震荡放电过程	(130)
小结	(132)
思考题与习题	(133)
第 6 章 谐振与非正弦周期交流电路	(137)
6.1 串联谐振电路	(137)
6.1.1 串联谐振的条件和特点	(137)
6.1.2 品质因数	(140)
6.1.3 谐振曲线	(142)
6.2 并联谐振电路	(143)
6.2.1 并联谐振的条件	(143)
6.2.2 并联谐振的特点	(145)
6.3 非正弦周期交流电路	(146)
6.3.1 非正弦周期信号及其分解	(147)
6.3.2 有效值、平均值和平均功率	(148)
6.3.3 非正弦周期交流电路的计算	(152)
6.3.4 滤波器的概念	(154)
小结	(156)
思考题与习题	(157)
第 7 章 耦合电路与二端口网络	(160)
7.1 电磁感应	(160)
7.1.1 电磁感应现象	(160)
7.1.2 自感现象	(160)
7.2 耦合电感	(162)
7.2.1 互感现象	(162)
7.2.2 耦合电感电压与电流关系	(163)
7.2.3 同名端及其测定	(164)

7.3 耦合电感电路的分析计算	(165)
7.3.1 耦合线圈串联	(165)
7.3.2 耦合线圈并联	(167)
7.3.3 耦合电感电路的计算	(168)
7.4 二端口网络的方程与参数	(169)
7.4.1 二端口	(169)
7.4.2 Z 参数——开路阻抗	(170)
7.4.3 Y 参数——短路导纳参数	(171)
7.4.4 T 参数——传输参数	(173)
7.4.5 H 参数——混合参数	(174)
7.4.6 二端口网络的等效电路	(176)
7.5 理想变压器	(178)
7.5.1 理想变压器	(178)
7.5.2 阻抗变换的作用	(179)
小结	(183)
思考题与习题	(186)
第8章 磁路与铁芯线圈	(188)
8.1 磁场基本物理量	(188)
8.1.1 磁感应强度	(188)
8.1.2 磁通	(189)
8.1.3 磁场强度	(189)
8.1.4 磁导率	(190)
8.2 铁磁物质及磁化曲线	(190)
8.2.1 高导磁性	(191)
8.2.2 磁化曲线	(191)
8.2.3 磁滞回线	(192)
8.2.4 基本磁化曲线	(193)
8.3 磁路的基本定律	(194)
8.3.1 磁路欧姆定律	(194)
8.3.2 磁路基尔霍夫定律	(194)
8.3.3 直流磁路计算	(195)
8.4 铁芯线圈分析	(197)
8.4.1 交流铁芯线圈电路电磁关系	(198)
8.4.2 交流铁芯线圈的损耗	(199)
8.5 电磁铁	(200)



8.5.1 直流电磁铁	(200)
8.5.2 交流电磁铁	(201)
小结	(202)
思考题与习题	(203)
附录 常用铁磁物质材料磁化数据表	(205)
参考文献	(207)

第 1 章 电路的基本概念

本章主要介绍电路的组成、作用,电路的基本物理量,以及电路中的重要定律——基尔霍夫定律(Kirchhoff's law)。后续章节对各种电路的研究都会用到本章所讲的一些基本物理量和基尔霍夫定律进行计算,因此必须牢固掌握本章教学内容。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成、作用和电路模型

电路是由一些电路元器件按一定的要求连接而成,构成电流的通路,即电流的流通过径。较复杂的电路又称为网络。

电路的结构形式是多种多样的,就其功能而言,主要分为以下两类。

第一类电路的功能是实现电能的传输和转换,图 1-1(a)所示的灯泡电路,它由干电池、开关、灯泡和导线等元件组成。在此电路中,干电池作为电源向电路提供电能;灯泡是一种用电设备,在电路中吸收电能转换为别的能量,称为负载;在电源和负载之间的开关和导线可以使电流在电源和负载间形成通路,完成电能的传输。当开关闭合后,电路中就有电流流过,将干电池中的电能转换,从而使得灯泡发光。图 1-1(b)为灯泡电路的电路模型图。

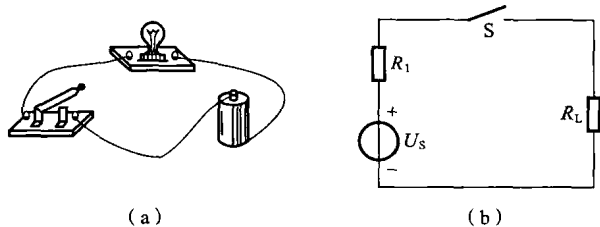


图 1-1 灯泡电路

第二类电路的功能是实现信号传递和处理,图 1-2(a)所示的扩音器系统是一个简单的实际电路。图 1-2(a)为扩音器系统的电路模型图。

扩音器系统将声音变成电信号,电信号经过放大器传送到扬声器,变成声音输出。在此系统中,传声器是输出信号的设备,即信号源,其作用是把语音信号转换为相应的电压和电流信号;扬声器是接收和转换信号的设备,其作用是把电信号还原为语音输出,相当于负载;放大器属于传输的中间环节,其作用是把话筒输出的微弱电

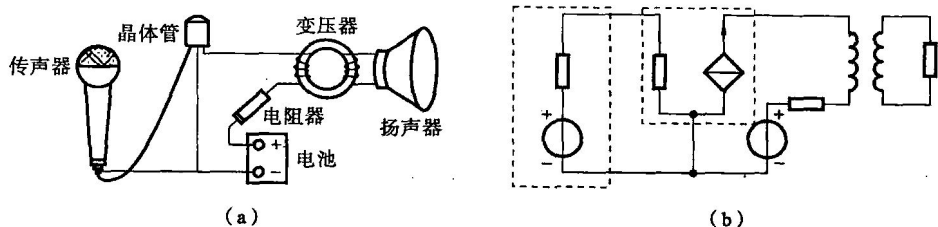


图 1-2 扩音器电路

信号放大成足以推动扬声器发出声音的较强信号。

综上所述,一个完整的电路主要由电源(或信号源)、负载、传输环节(包括导线和控制设备)三大部分组成。电源是提供电能或电信号的设备,通常指蓄电池、发电机、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,如灯泡、电热丝、扬声器、电视机等;传输环节用于传输、控制电能和电信号,通常指开关、导线和熔断器等,或者放大器等信号处理电路。

1.1.2 理想元件与电路模型

实际电路都是由一些根据实际需要起不同作用的电路器件组成的,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,在一定条件下,对实际器件加以理想化,只考虑其中主要作用的某些电磁现象,而将其他电磁现象忽略,或者将一些电磁现象分别处理。例如,灯泡发光电路中的灯泡在通电后除了具有消耗电能的电阻性外,灯泡在发光的同时还会在周围产生磁场,即它还有电感性,但是由于后者的作用微弱,可略去不计。所以在研究时,只需考虑灯泡消耗电能的电阻性,而不考虑其产生磁场的电感性,将其看做电阻元件。

在一定条件下对实际电路器件加以理想化,只考虑其中主要作用的某些电磁现象,即突出主要电磁性质,忽略次要因素,称为实际器件理想化(或者模型化),这些电路器件称为理想电路元件,简称理想元件。例如,认为电阻元件是一种只表示消耗电能的元件;电感元件是可以储存磁场能量的元件;电容是可以储存电场能量的元件。

由理想元件互相连接组成的电路称为电路模型,图 1-1(a)、图 1-2(a)所示是实际电路,图 1-1(b)、图 1-2(b)所示是理想电路模型。以后再分析电路时,所画的电路图 中的电路元件都是理想电路元件,所以一般都省略理想二字,将理想电路元件直接称为电路元件,将理想电路模型称为电路模型。

电路元件按其 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。在理想电路中,主要有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源。这些元件都是二端元件,它们都是通过两个端钮与电路的其他部分相连接。多端元件通过三个或三个以上端钮与电路其他部分连接。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流及其参考方向

1. 电流

电流是金属导体内自由电子在电场作用下做有规则的定向运动而形成的。电流的大小用电流强度来衡量,简称电流。所以平时所讲的电流既是一种物理现象,又是一个用来衡量这种现象的物理量,如图 1-3 所示。设在 dt 时间内通过导体横截面积 S 的电荷量为 dq ,则在导体 AB 中的电流强度为

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

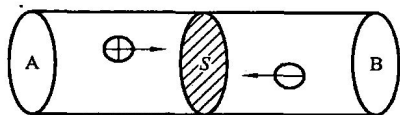


图 1-3 导体中的电流

即电流强度为单位时间内通过某一导体横截面积的电荷量,并规定正电荷的定向运动方向(即负电荷运动的反方向)为电流的实际方向。

大小、方向不随时间变化而变化的电流称为恒定电流或直流电流,简称直流,用大写字母 I 表示。对直流电流而言,若在规定时间内通过导体横截面的电荷量为 Q ,则有

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

若电流的大小、方向都随时间变化而变化,则称为交变电流,简称交流,通常用小写字母 i 表示,其大小可由式(1-1)得出。

在国际单位制(SI)中,电流的单位是安培(A),简称安;电荷的单位是库仑(C),简称库;时间单位为秒(s)。当每秒流过导体横截面的电量为 1 库仑(C)时,电流为 1 安培(A)。表示大电流时,常用千安(kA)为单位;表示微小电流时,常用毫安(mA)为单位。单位换算关系如下:

$$10^3 \text{ kA} = 10^6 \text{ A}$$

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

2. 电流的参考方向

电流的方向是客观存在的,如图 1-4 所示,支路有两个端钮分别为 A、B,在该支路中,电流的方向要么是从 A 到 B,要么就是从 B 到 A。在分析电路时,为了方便计算,人们应用代数中正负数的概念,往往用一个代数量同时表达电流的大小和方向。对于交流电,电流的方向是随时间变化而变化的,无法用一个固定的方向表示,则在其可能的两个方向中任意选择一个方向,作为电流分析计算时采用的方向,这个方向就称为电流的参考方向,也称电流的正方向。

电流的参考方向是一个任意假定的电流方向,用箭头表示在电流上,并用符号 i 表示,如图 1-4(a)所示。规定了电流参考方向以后,电流就是代数量而且有正、负之分:若电流为正值,则电流实际方向与参考方向一致,如图 1-4(b)所示;若电流为负值,则电流实际方向与参考方向相反,如图 1-4(c)所示。由此可见,可以根据电流的参考方向和计算结果中的正、负号判断电流的实际方向。

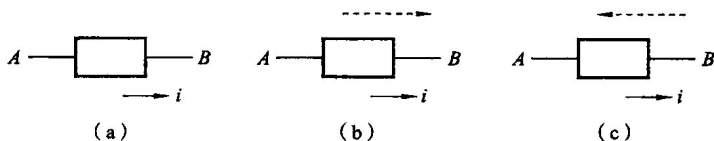


图 1-4 电流的参考方向

需要注意以下几点。

(1) 在分析和计算电路前,必须选定各支路电流的参考方向,且一旦选定电流的参考方向,即使计算结果为负值,也不能再改变原来选定的方向;未规定电流的参考方向时,电流的正负没有任何意义。

(2) 在电路图中,电流的参考方向都用实线箭头表示,需要表示实际方向时则用虚线箭头表示。如图 1-4 所示,图中实线箭头表示电流的参考方向,虚线箭头表示电流的实际方向。由此可知,图 1-4(b)中 i 为正值,图 1-4(c)中 i 为负值。

(3) 电流的参考方向除了用实线箭头在电路图中表示外,还可以用双下标表示,如可用 i_{AB} 表示电流及其参考方向。

1.2.2 电压、电位、电动势

1. 电压

对于一个电源(如蓄电池)而言,它的两个电极上总是分别带有正、负电荷,所以电源的两极之间存在着一个电场(即库仑场)。如果用导线、负载和电源连接成一个闭合回路,在电场力的作用下,正电荷从电源正极经导线及负载流向电源负极,从而形成电流,在此过程中电场力就对电荷做了功。

经理论分析和实践证明,电荷在电场中从一点移动到另一点时,电场力所做的功只与这两点的位置有关,而与路径无关。假设电场中的这两点分别为 A 、 B ,且 A 点为正极, B 点为负极,电场力把单位正电荷从 A 点经外电路移动到 B 点所做的功,称为 A 、 B 两点之间的电压,用 U_{AB} 表示。可见,电压是衡量电场力做功能力的一个物理量。

若使电荷 dq 经外电路由电源正极 A 移动到负极 B ,电场力做功为 dW ,则有

$$U_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

电压的实际方向规定为电压从高电位点指向低电位点,即由正极指向负极,所以

电压的方向是电位降低的方向。电压的 SI 单位是伏特,简称伏,用大写字母 V 表示。当电场力把 1 库仑(C)的电量从一点移动到另一点所做的功为 1 焦耳(J)时,这两点间的电压为 1 伏特(V)。与电流一样,在表示不同等级的电压时,可以给电压的单位冠以词头,如千伏、毫伏、微伏等,其单位换算关系如下:

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \text{ } \mu\text{V}$$

2. 电位

电位是在电子电路中分析电路常用的一个物理量,是指单位电荷在静电场中某一点所具有的电势能,又称电势。在电子学中某点的电位常指该点到参考点的电压降。例如,在电路中任选一点 A 作为参考点,则某点 B 的电位就是由 B 点到 A 点的电压,用 φ_B 表示,则有

$$\varphi_B = U_{BA}$$

由此可见,参考点 A 的电位应该为参考点对参考点的电压,显然为零,所以参考点又称为零电位点。若用 φ_A 表示 A 点的电位,则可得出电压与电位间的关系如下:

$$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A \quad (1-4)$$

即两点间的电压等于这两点间的电位差,所以电压又称为电位差。电位的单位也是伏特(V)。

在计算电路中某点的电位时,必须先选择零电位点。通常零电位点是可以任意选取的,参考点选择不同,同一点的电位相应地也不同。在分析电路时,为了计算方便,常选择大地、设备外壳等接地点作为参考点,当然有时也选择电路中的公共接点作为参考点,参考点的电位用接地符号表示。

例 1-1 图 1-5 所示的电路中,已知 $U_{AB} = 9 \text{ V}$, $U_{BC} = 5 \text{ V}$, $U_{CD} = 2 \text{ V}$,假设选择 D 点为参考点,试求 A 、 B 、 C 三点的电位。

解 由题意可知 D 点为参考点,即零电位点,所以有

$$\varphi_D = 0 \text{ V}$$

又由电压与电位的关式(1-4)可知

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = \varphi_C - 0 = \varphi_C$$

即 C 点的电位 $\varphi_C = U_{CD} = 2 \text{ V}$

同理可知

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C, \quad U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

则分别可得出 A 、 B 两点的电位 φ_A 、 φ_B 为

$$\varphi_B = U_{BC} + \varphi_C = (5 + 2) \text{ V} = 7 \text{ V}$$

$$\varphi_A = U_{AB} + \varphi_B = (9 + 7) \text{ V} = 16 \text{ V}$$

所以当选择 D 点为参考点时, A 、 B 、 C 三点的电位分别为 16 V、7 V、2 V。

试考虑选择其他任意一点为参考点来计算另外三点的电位。

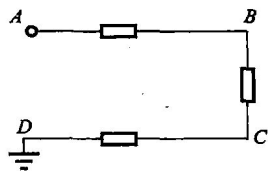


图 1-5 例 1-1 图

3. 电动势

电动势是一个表征电源特征的物理量。在电场力的作用下,正电荷经外电路从电源正极移动到电源负极,为了在外电路形成连续的电流,电源内部正电荷必须从电源负极移动到电源正极。相对于外电路,将电源内部称为内电路,那么这时就要求在电源内部有一种电源力(又称非静电力),把正电荷从内电路中的低电位点移动到高电位点,使正电荷回到电源正极,以维持外电路电流的流通。电源力把单位正电荷从电源负极经内电路移动到电源正极所做的功,称为该电源的电动势,用字母 E 或 e 表示。电动势的单位为伏特(V)。

电压与电动势按随时间的变化情况分类,可分为直流和交流两种。如果电压和电动势的值与方向都不随时间变化而变化,则称为直流电压和直流电动势,分别用大写字母 U 和 E 表示。若电压和电动势的值与方向随时间变化而周期性变化,则称为交流电压和交流电动势,分别用小写字母 u 和 e 表示。

根据电动势定义,有以下两种电动势表达式:

$$\text{直流电动势} \quad E = \frac{W}{q} \quad (1-5)$$

$$\text{交流电动势} \quad e = \frac{dW}{dq} \quad (1-6)$$

由此可知,若电源力把 1 库仑(C)的正电荷从电源负极移动到电源正极所做的功为 1 焦耳(J),则电动势就等于 1 伏特(V)。

4. 电压、电动势的参考方向

与电流分析相同,在分析电路的电压和电动势时,也需要用到其参考方向,只有在已经选取参考方向的情况下,电压和电动势的数值才有正、负之分。当电压、电动势的参考方向与实际方向一致时,数值为正;当电压、电动势的参考方向与实际方向相反时,数值为负。

电压、电动势的参考方向一般有三种表示方式。第一种是采用参考极性表示方式。在电路图中标出正(+)、负(-)极性,并标以相应的符号,电压标记为 u ,电动势标记为 e ,则正极指向负极的方向就是电压 u 的参考方向,而负极指向正极的方向就是电动势 e 的参考方向。第二种是采用箭头来表示。用箭头直接在电路图上标注参考方向,并标以相应的符号。第三种是采用双下标表示。双下标的顺序直接反映电压和电动势的参考方向。例如, u_{ab} 表示电压的参考方向是由 a 指向 b ; E_{ab} 表示电动势的参考方向由 a 指向 b 。

5. 关联与非关联参考方向

在电路中,一个元件的电流或电压的参考方向可以分别独立地规定。对于同一个元件而言,若电流的参考方向与电压的参考方向相同,即两者的参考方向一致,则把电流和电压的参考方向称为关联参考方向;若两者不一致,则称为非关联参考方

向。一般地,在未特殊说明的情况下,电路图中的电流和电压都选择关联参考方向,所以只需标出电流或电压中的一个参考方向。

1.2.3 电功率和电能

1. 电功率

电流在单位时间内做的功称为电功率。电功率是用来表示消耗电能快慢的物理量,反映了电流通过电路时传输或转换电能的速率,简称功率,用符号 p 或 P 表示,单位为瓦特,简称瓦,用大写字母 W 表示。有

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-7)$$

如图 1-6 所示,若流过二端元件的电流和元件的端电压分别为 i 和 u ,关联参考方向如图所示,且在电路中,正电荷受电场力作用,由 a 点运动到 b 点,电场力做功为 $dW = udq$ 。所以,可计算电阻吸收的功率为

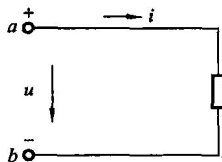


图 1-6 元件电功率

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui \quad (1-8)$$

所以,由式(1-8)可知,任意瞬时,电路的电功率等于该瞬时的电压与电流的乘积。对于直流电路而言,由于任意时刻该电路中电压和电流的值都是恒定的,所以,直流电路的电功率为

$$P = UI \quad (1-9)$$

需要注意的是,式(1-8)和式(1-9)都是在电流和电压为关联参考方向的情况下得出的,若电流和电压为非关联参考方向,则应在公式中增加一个负号。功率可正可负,若功率 $P > 0$,则表示元件实际是在吸收功率,或者说是在消耗功率;若功率 $P < 0$,则表示元件实际是在发出功率,或者说该元件是在提供功率。

例 1-2 如图 1-7 所示的电路中,有三个元件,其电流和电压的参考方向如图中所示。已知 $I_1 = 0.3 \text{ A}$, $I_2 = -0.3 \text{ A}$, $I_3 = -0.3 \text{ A}$,且 $U_1 = -12 \text{ V}$, $U_2 = 7 \text{ V}$, $U_3 = -5 \text{ V}$,试计算图中各元件的功率,并指出哪个元件吸收功率,哪个元件发出功率?

解 在图 1-7 中,元件 1 的电流和电压为关联参考方向,由式(1-9)可得

$$P_1 = U_1 I_1 = 0.3 \times (-12) \text{ W} = -3.6 \text{ W}$$

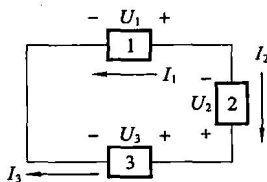


图 1-7 例 1-2 图

元件 2 的电流和电压为非关联参考方向,元件 3 的电流和电压为关联参考方向,同理可得

$$P_2 = -U_2 I_2 = -(-0.3) \times 7 \text{ W} = 2.1 \text{ W}$$

$$P_3 = U_3 I_3 = (-0.3) \times (-5) \text{ W} = 1.5 \text{ W}$$

由计算结果可知 $P_1 < 0$, $P_2 > 0$, $P_3 > 0$,所以实际上元件 1 是在发出功率,元件 2 和元件 3 是在吸收功率。