

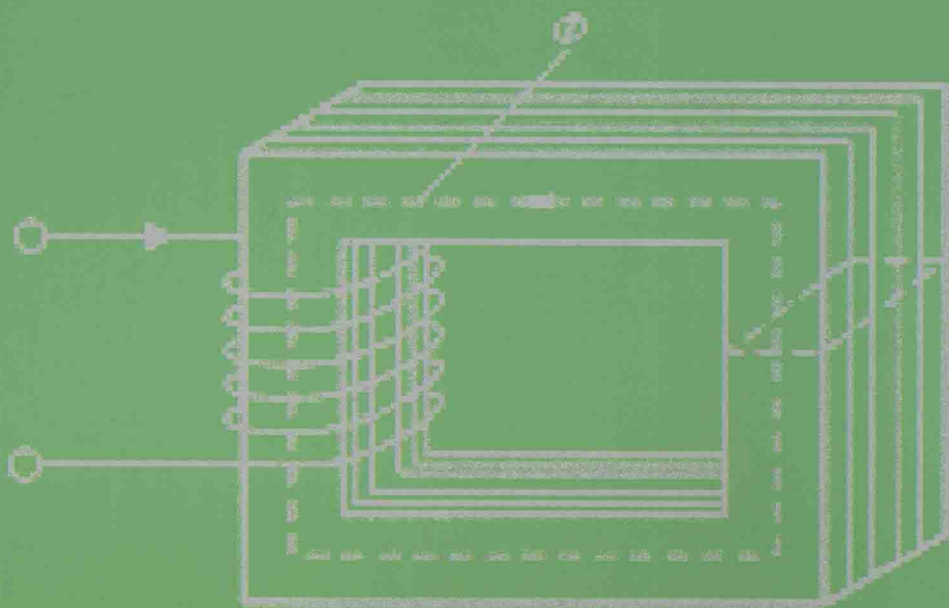


高职高专“十二五”规划教材
机电专业系列

电路基础

DIANLU JICHU

主编 熊木兰 林向义



 南京大学出版社

高职高专“十二五”规划教材

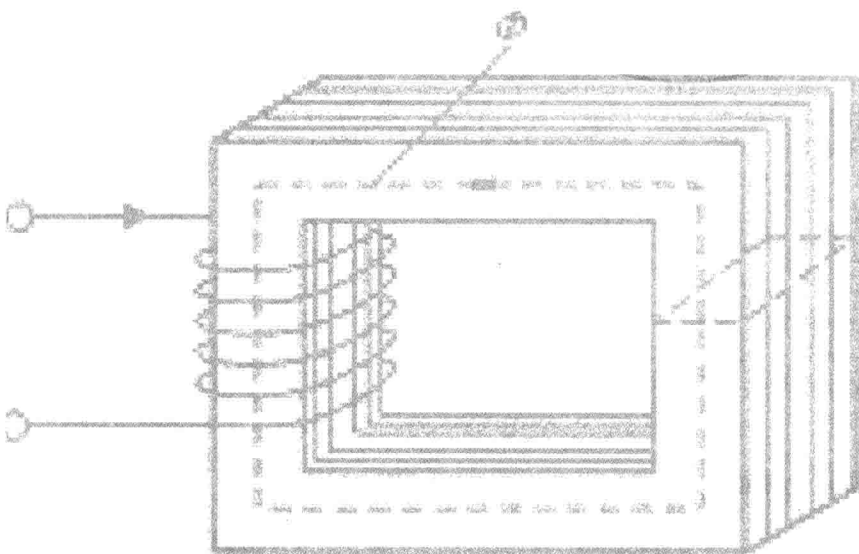
机电专业系列

电路基础

DIANLU JICHU

主 审	黄会雄	林向义		
主 编	熊木兰	瞿 红	王晓华	龚文杨
副主编	胡位标	赵 冉	曾平红	
参 编	李晗佳			

常州大学图书馆
藏书章



南京出版

图书在版编目(CIP)数据

电路基础 / 熊木兰, 林向义主编. — 南京: 南京大学出版社, 2011. 6

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-305-08334-1

I. ①电… II. ①熊… ②林… III. ①电路理论 IV.
①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 069254 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出 版 人 左 健

书 名 电路基础

主 编 熊木兰 林向义

责任编辑 胥橙庭 编辑热线 025-83597482

照 排 南京南琳图文制作有限公司

印 刷 南京大众新科技印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 14 字数 329 千

版 次 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-08334-1

定 价 28.00 元

发行热线 025-83594756 83686452

电子邮箱 Press@NjupCo.com

Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

本书根据高等职业教育人才培养目标而编写的,以“必需、够用”为度,以“讲清概念、强化应用”为重点。讲述电路的基本概念、基本原理以及基本分析方法。适用于电气电子类、自动化类以及其他相关专业“电路”课程教材,也可用于相关工程技术人员参考。

全书共分八章,分别为:电路的基本概念和基本定律;电阻电路;正弦交流电路;三相电路;非正弦周期性电流电路;动态电路;二端口网络;磁路和铁心线圈。书后附有 Multisim 软件简介和部分习题答案。

本书编写的主要特色:

(1) 通俗易懂,必需、够用。着重基本概念、基本原理以及基本分析方法的阐述。根据应用型人才的知识要求,内容安排由浅入深,分析过程通俗易懂,重点内容讲述细致,并且忽略深奥和繁琐的理论推导过程。

(2) 紧扣高职高专层次,为巩固提高分析问题和解决问题的能力以及提高学习积极性,在每节后面设有“思考题”,每章后面设有“本章小结”及习题,习题附有答案。在例题以及习题的选择中,摒弃繁杂的分析计算过程的例题及习题,注重理论知识的实际应用,把一些工程技术应用到例题中来。

(3) 引入先进的操作软件 Multisim,培养学生的动手能力。每章后面有计算机分析电路的方法和计算机仿真实验,让学生学会现代电路分析中先进的分析方法,并且会使用先进的工具软件,以提高学生实践能力。

(4) 配套教材附全书的电子课件。

本书由江西电力职业技术学院熊木兰、漳州职业技术学院林向义任主编,由黄会雄任主审,由湖南商务职业技术学院黄会雄任主审,江西电力职业技术学院胡位标、江西电力职业技术学院瞿红、商丘科技职业学院王晓华、常德职业技术学院龚文杨任副主编,参与本书编写工作的还有商丘科技职业学院李晗佳、南昌工程学院赵冉、湖南科技经贸职业技术学院曾平红。全书由熊木兰统稿。

由于编者学识水平和教学经验有限,书中难免有疏漏和错误之处,敬请读者批评指正,并希望提出宝贵意见。

编 者

2010 年 10 月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
第一节 电路和电路模型	1
第二节 电路的主要物理量	3
第三节 电阻元件	9
第四节 电路中的独立电源	12
第五节 受控源	16
第六节 基尔霍夫定律	18
第七节 应用 Multisim 软件进行基尔霍夫定律仿真验证	21
本章小结	23
习题	24
第二章 电阻电路	27
第一节 无源单口网络的等效变换	27
第二节 有源单口网络的等效变换	37
第三节 网孔电流法	41
第四节 节点电压法	46
第五节 叠加定理	51
第六节 戴维宁定理及诺顿定理	55
第七节 应用 Multisim 软件进行戴维宁定理仿真验证	60
本章小结	62
习题	63
第三章 正弦交流电路	68
第一节 正弦量的基本概念	68
第二节 正弦量的相量表示法	72
第三节 正弦交流电路中的电阻、电感和电容元件	76
第四节 正弦交流电路的相量分析	84
第五节 正弦交流电路的功率	91
第六节 谐振	95
第七节 含耦合电感的正弦稳态电路	100

第八节 应用 Multisim 软件进行功率因数提高仿真实验	106
本章小结	108
习题	110
第四章 三相电路	114
第一节 对称三相正弦量	114
第二节 三相电源和三相负载的连接	116
第三节 对称三相电路的计算	122
第四节 不对称三相电路	125
第五节 三相电路的功率	129
第六节 应用 Multisim 软件进行三相负载星形连接仿真实验	132
本章小结	133
习题	134
第五章 非正弦周期性电流电路	136
第一节 非正弦周期信号的谐波分析	137
第二节 非正弦周期性电流电路的分析	139
第三节 有效值、平均值、有功功率	143
本章小结	146
习题	147
第六章 动态电路	149
第一节 换路定律与初始条件	149
第二节 一阶电路的零输入响应	151
第三节 一阶电路的零状态响应	155
第四节 三要素法	158
第五节 二阶电路的零输入响应	162
第六节 复频域分析法	165
第七节 应用 Multisim 软件进行一阶电路仿真实验	170
本章小结	172
习题	172
第七章 二端口网络	175
第一节 二端口网络的概念	175
第二节 二端口网络的参数方程及参数	176
第三节 二端口网络的连接	186
第四节 理想变压器	187

本章小结·····	189
习题·····	190
第八章 磁路和铁芯线圈·····	192
第一节 磁场的主要物理量·····	192
第二节 铁磁性物质的磁化·····	193
第三节 磁路的基本定律·····	196
第四节 铁芯线圈·····	198
本章小结·····	202
习题·····	202
附录 Multisim 软件简介 ·····	204
一、Multisim 的特点 ·····	204
二、Multisim 7 的用户界面 ·····	204
三、Multisim 7 的元件和仪表 ·····	209
四、用 Multisim 7 进行仿真实验 ·····	209
参考答案·····	211
参考文献·····	216

第一章 电路的基本概念和基本定律

第一节 电路和电路模型

一、电路

为了完成某一功能,将若干电气设备或元器件按一定的方式连接起来而构成的电流通路即为电路。简单地说就是电流通过的路径。如在通信、电力、自动控制、计算机等各个领域,使用许多电路来完成各种各样的任务,同时也使各行业及人文生活有了突飞猛进的改变。复杂的电路又称为网络。电路与网络这两个名词并无明确的区别,一般可以通用。

电路的类型繁多,结构形式也各不相同,但电路主要功能可分为两类:一是进行电能的传输、分配和转换。典型的例子就是电力系统,发电厂的发电机把热能、核能、水能、风能等转换成电能,通过变压器、输电线传输给各用电单位,由用电器把电能转换成机械能、光能、热能等,从而构成了一个复杂电路或系统。二是进行电信号的产生、传递和处理。常见的如扩音机,传声器(话筒)将声音变成电信号,经过放大器的放大,送到扬声器(喇叭)将声音还原出来,从而实现声音的放大。当然,在这类电路中,也存在微弱电能的传输和转换,一般较少考虑这些效应,手机、电视、计算机等也属于此类功能的电路。

无论是简单电路还是复杂电路,都由三个基本部分构成。

- (1) 电源:提供电能或电信号的设备。如发电机、信号源。
- (2) 负载:将电能或电信号转变成非电形式的能量或信号的设备。如电动机、喇叭。
- (3) 导线:把电源和负载连接成闭合回路,常用的是铜导线和铝导线。

除此以外,通常还有控制和保护装置:用来控制电路的通断、保护电路的安全,使电路能够长期正常工作,如开关、熔断器等保护装置以及一些监测装置。

我们常用的手电筒就是一种最简单的电路,由干电池、小电珠、连接导线及开关组成,主要功能是把电能转换成光能。

二、理想电路元件

任何实际电路都是由若干实际电气设备或元器件组成的。如常见的收音机电路,由电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器和电源等实际部件组成,这些部件在通电时产生的电磁效应一般比较复杂,各种电磁现象交织在一起,给分析电路带来很大的麻烦。如:电阻器在通过电流时,不仅要发热,还会产生微弱的磁场;一个线圈在通电时既产生磁场也会发热。因此,对电路进行理论研究和分析时,总是在一定条件下对实际设备或元器件加以理想化,即抓住其主要电磁性质而忽略次要的电磁性质,用一些理想电路元件来模拟各种实际设备或元器件的电磁性能。

理想电路元件是只反映单一的电磁性质的电路元件,简称为电路元件.电路理论中,引用的基本电路元件有:反映消耗电能的电阻元件,图形符号如图 1-1(a);反映储存电场能量的电容元件,图形符号如图 1-1(b);反映储存磁场能量的电感元件,图形符号如图 1-1(c);反映向电路提供电能和电信号的电压源和电流源(在本章后面介绍).

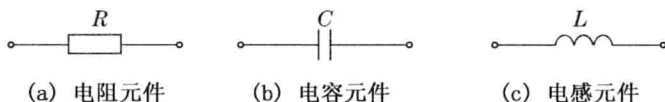


图 1-1 基本元件

一个灯泡,如果忽略通电时产生的微弱磁场,只考虑通电时将电能转换为光能和热能的现象,便可以用一个电阻元件来表示,即灯泡就是一个电阻;一个线圈,如果忽略其导线电阻,只考虑磁场效应,就可以用一个电感元件来表示.实际的连接电线是很复杂的,它不但有电阻,也有电感和电容效应,但在多数情况下可以看成是一个既无电感、电容,又无电阻的导线,即理想导线.

上述电路元件都具有两个端钮,称为二端元件,端钮数超过两个的电路元件称为多端元件,这些元件将在后面有关章节里介绍.

三、电路模型

一个实际电路往往由多个电路元件的组合来模拟,这样的电路称为电路模型,简称电路.如图 1-2(a)为实际手电筒的电路,图 1-2(b)为手电筒的电路模型,其中电阻元件 R 表示实际灯泡,直流电压源 U_S 表示电池, S 表示开关.

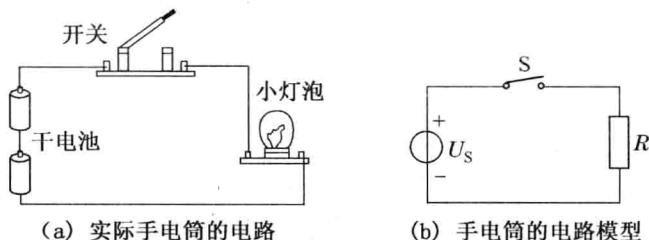


图 1-2 实际电路与电路模型

四、有关电路的一些名词

(一) 支路和节点

组成电路的每个二端元件叫做一条支路;两条或两条以上支路的连接点叫做节点.图 1-3 所示电路中,包含 5 个二端元件就有 5 条支路, a 、 b 、 c 、 d 分别为节点.

有时为了分析和计算电路方便,常把电路中通过同一电流的每个分支看做一条支路,把 3 条或 3 条以上支路的交汇点称为节点.因此,图 1-3 电路中,元

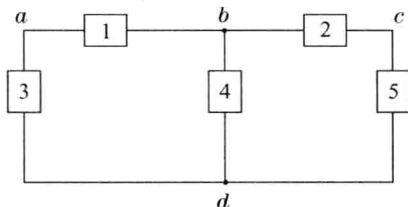


图 1-3 电路示例图

件 1 和元件 3 构成一条支路,元件 2 和元件 5 构成一条支路,元件 4 为一条支路,共有 3 条支路; b 、 d 为节点,而 a 、 c 就不是节点了。

(二) 回路和网孔

电路中,由几条支路所构成的闭合路径称为回路;内部不存在支路的回路称为网孔。那么,图 1-3 电路中,包含有 3 个回路,分别为:

回路 $abda$,由元件 1、元件 3、元件 4 构成;

回路 $abcda$,由元件 1、元件 2、元件 5、元件 3 构成;

回路 $bcd b$,元件 2、元件 5、元件 4 构成。

其中 $abda$ 、 $bcd b$ 两个回路内部不含有支路,回路 $abda$ 、 $bcd b$ 又称为网孔。因此网孔是特殊的回路。

思考题

1.1.1 电路由几部分组成? 各部分的作用是什么?

1.1.2 如图 1-4 所示电路中,含有几条支路? 几个节点? 几个回路以及几个网孔?

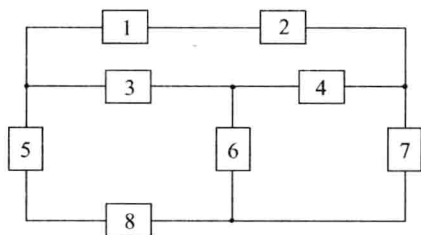


图 1-4 思考题 1.1.2 图

第二节 电路的主要物理量

每一个物理系统都有各自特定的物理量,电路的物理量有电流、电压、电位、电动势、电功率以及电能,本节将一一加以介绍。

一、电流及其参考方向

(一) 电流

带电粒子的定向运动形成电流,用符号 i 或 I 表示。电流的强弱用电流强度来描述。在电场的作用下,正电荷与负电荷向不同的方向运动,习惯上规定正电荷的运动方向为电流的方向(事实上,金属导体内的电流是由带负电的自由电子的定向运动产生的,其形成的电流方向与运动方向相反)。电流的大小为单位时间内通过导体横截面的电荷量,用公式表示为

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

式中, dq 为极短时间 dt 内通过导体横截面的微小电荷量。

电流是时间函数, 当电流的大小和方向都不随时间变化而变化时, 称之为直流电流 (DC), 常用大写字母 I 表示; 当电流的大小和方向随时间做周期性变化、且平均值为零时, 称之为交流电流 (AC), 常用小写字母 i 表示。所以直流时式 (1-1) 可以写为

$$I = \frac{q}{t} \tag{1-2}$$

式中, q 为在时间 t 内通过导体截面的电荷量。

在国际单位制 (SI) 中, 电荷量的单位为库仑 (C), 时间的单位为秒 (s), 电流的单位为安培 (A)。常用的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA)。SI 单位前的字母符号叫词头, 下面介绍几种电路中常用的 SI 词头, 如表 1-1 所示。

表 1-1 电路中的常用词头

因素	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	兆	千	毫	微	纳	皮
词头符号	M	k	m	μ	n	p

(二) 电流的参考方向

在电路分析中, 有时不能预先判定某些支路电流的实际方向。另外, 在交流电路中, 电流的大小和方向都随时间不断变化。为了分析和计算的需要, 任意选定一个方向作为电流的计算方向, 称为参考方向, 用实线表示。所以, 参考方向是一种任意假定的方向。

当假定的参考方向与电流实际方向一致时, 电流 i 为正值, 如图 1-5(a) 所示; 当假定的参考方向与电流实际方向相反时, 电流 i 为负值, 如图 1-5(b) 所示。因此, 假定了参考方向后, 对电路进行分析和计算, 通过得到的电流的正负值, 就可以最终确定电流的实际方向。特别指出, 在电路分析计算时, 没有选定参考方向的电流值是没有任何意义的。

对同一电流, 参考方向选择不同, 得出的电流是大小相等、符号相反的。因此, 电路中电流的正负号代表的是方向的含义。

电流参考方向的表示:

- (1) 用实线箭头表示, 箭头的指向为电流的参考方向;
- (2) 用双下标表示, 如 i_{AB} , 电流的参考方向由 A 指向 B, 且有 $i_{AB} = -i_{BA}$ 。

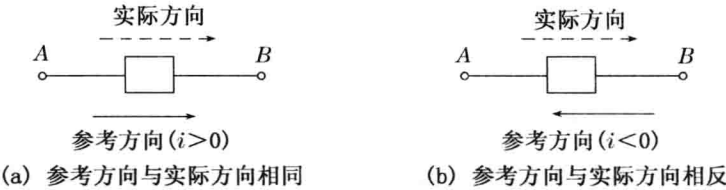


图 1-5 电流的参考方向

【例 1-1】 在 2 s 的时间内, 由导线 a 端均匀地流向 b 端的负电荷为 10 C, 则电流 I_{ab} 等于多少? 电流的实际方向如何?

解

$$I_{ab} = -\frac{10}{2} = -5(\text{A}).$$

由于是负电荷运动,形成的实际电流方向与电荷运动方向相反,因此电流的实际方向由 b 指向 a 。

二、电压、电位和电动势

(一) 电压

1. 电压

电荷在运动过程中所具有的能量(电位能)会产生转换. 正电荷在电场力作用下顺着电场方向运动,而负电荷在电场力作用下逆着电场方向运动,在运动过程中能量的变化量 dW 就等于电场力所做的功. 电压就是衡量电场力移动电荷做功的能力的物理量. 电压用符号 u 或 U 表示. 其定义如下:电荷 dq 在电场中由 A 点运动到 B 点,电场力所做的功为 dW ,则 A 、 B 两点间形成的电压大小为

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

规定电压的实际方向为正电荷由 A 点运动到 B 点时电位能减少(即正电荷在 A 点所具有的电位能大于它在 B 点所具有的电位能),则电压的方向从 A 指向 B ,即高电位指向低电位。

在 SI 中,电压的单位为伏特(V). 常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)等。

电压也是时间函数,当电压的大小和方向都不随时间变化而变化时,称之为直流电压,用大写字母 U 表示;当电压的大小和方向都随时间做周期性变化、且平均值为零时,称之为交流电压,常用小写字母 u 表示。

2. 电压的参考方向

同电流一样,在电路的分析计算中,电压的实际方向有时也很难预先确定,甚至实际方向在不断变化,因此电压也需要选取参考方向. 当假定的参考方向与电压实际方向一致时,电压 u 为正值,如图 1-6(a)所示;当假定的参考方向与电压实际方向相反时,电压 u 为负值,如图 1-6(b)所示。

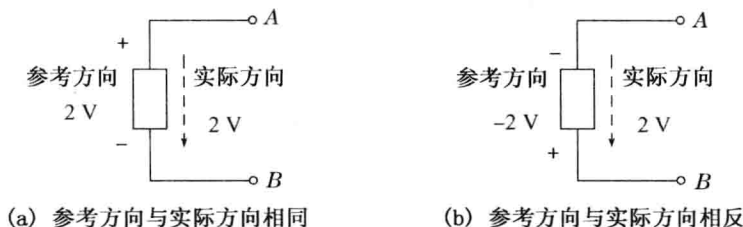


图 1-6 电压的参考方向

电压参考方向的表示:

- (1) 用实线箭头表示,箭头的指向为电压的参考方向;
- (2) 用双下标表示,如 u_{AB} ,电压的参考方向由 A 指向 B ,且有 $u_{AB} = -u_{BA}$;
- (3) 用“+”“-”极性表示,电压的参考方向由“+”指向“-”。

特别指出,在电路分析计算时,没有选定参考方向的电压值也是没有任何意义的. 对同一电压,参考方向选择不同,得出的电压大小相等、符号相反. 因此,电路中电压的正负号代

表的是方向的含义。

3. 关联参考方向

电路中电流的参考方向和电压的参考方向都可以任意选取,但在同一个元件或同一支路上将电压和电流的参考方向选定为一致时,称为关联参考方向;选定为相反时,称为非关联参考方向。

(二) 电位

在电路中,任选一点作为参考点,则其他各点到参考点的电压叫做各点的电位,用 V 或 φ 表示。若选 o 点为参考点,则 a 点的电位

$$\varphi_a = u_{ao}. \quad (1-4)$$

参考点的电位为零,所以参考点又叫零电位点,用符号“ $\perp$ ”表示。一般选取大地、设备外壳或接地点作为参考点。

电路中任意两点间的电压等于这两点的电位之差,如 a 、 b 两点间的电压

$$u_{ab} = \varphi_a - \varphi_b. \quad (1-5)$$

若 $u_{ab} > 0$,表明 a 点电位高于 b 点电位;若 $u_{ab} < 0$,表明 a 点电位低于 b 点电位。

在电路中,选择不同的点作为参考点,各点的电位都相应地改变,但任意两点间的电压保持不变,即电位与参考点的选择有关,而电压与参考点的选择无关。因此,分析电路时只能选一个点为参考点,而且一经选定后,整个分析过程中不能再改变。

电位是一个标量,如 a 点的电位 $\varphi_a > 0$,表明 a 点的电位比参考点高;如 a 点的电位 $\varphi_a < 0$,表明 a 点的电位比参考点低。

在 SI 中,电位的单位与电压的单位相同,为伏特(V)。

【例 1-2】 在如图 1-7 所示的电路中:(1) 以 d 为参考点;(2) 以 a 为参考点,分别计算 a 、 c 、 d 各点的电位以及电压 u_{ac} 。

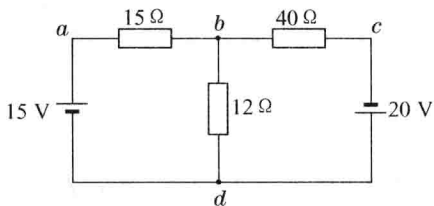


图 1-7 例 1-2 图

解 (1) 以 d 为参考点:

$$\varphi_d = 0;$$

$$\varphi_a = u_{ad} = 15 \text{ V};$$

$$\varphi_c = u_{cd} = -20 \text{ V};$$

$$u_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = 15 - (-20) = 35(\text{V}).$$

(2) 以 a 为参考点:

$$\varphi_a = 0;$$

$$\varphi_c = u_{ca} = -20 - 15 = -35(\text{V});$$

$$\varphi_d = u_{da} = -15 \text{ V};$$

$$u_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = 0 - (-35) = 35(\text{V}).$$

可见,不论是以 d 为参考点或以 a 为参考点, a 、 c 两点间的电压 u_{ac} 是不变的,而各点的电位却是因参考点不同而不同。

(三) 电动势

前面描述过,电场力总是将正电荷从高电位推向低电位形成电流。电路要维持电流的连续性,必须有将正电荷从低电位移动到高电位的电源。电压是电场力做功,将电能转换成其他形式的能。电源是电源力做功,电源力把正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端,将其他形式的能转换成电能以维持电路中电流的连续性。电动势就是衡量电源力对电荷做功的能力的物理量,用 e 或 E 表示。

$$e = \frac{dW_s}{dq} \quad (1-6)$$

式中: dW_s 为电源力所做的功; dq 为电荷量。

电动势的实际方向规定为由低电位指向高电位,即电位升的方向,与电压的方向相反。

在 SI 中,电动势的单位也为伏特(V)。

在电路的分析计算中,电动势也需要选取参考方向,由其数值的正、负来确定电动势的实际方向。

电压与电动势的关系:如图 1-8 所示的电路中,图(a) U 与 E 的参考方向相同, $U = -E$; 图(b) U 与 E 的参考方向相反, $U = E$ 。



(a) 电动势与电压的参考方向相同

(b) 电动势与电压的参考方向相反

图 1-8 电动势与电压的参考方向

三、电功率和电能

(一) 电功率

在分析电压时,明确了电荷在电路中流动时会发生能量的转换。定义电能转换的速率为电功率,简称功率,用 p 或 P 表示。

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

因此,功率与电压和电流密切相关,只要确定了电路中的电压和电流,功率的情况就完全确定了。由于参考方向的引入,电压 u 和电流 i 有正、负值,就决定了功率 P 也有正、负值。但功率是标量,其正、负符号不是方向的含义,而是表示吸收功率(负载)或发出功率(电源)。在直流情况下,有

$$P = UI \quad (1-8)$$

现在我们来讨论电路中二端元件吸收或发出功率。

在关联参考方向下,二端元件的吸收功率为

$$p = ui \quad (1-9)$$

在非关联参考方向下,二端元件的吸收功率为

$$p = -ui. \quad (1-10)$$

在上述分析中,若功率 p 为正值,表示该二端元件为吸收功率(负载);若功率 p 为负值,表示该二端元件为发出功率(电源).

在 SI 中,功率的单位为瓦特(W). 常用的单位还有兆瓦(MW)、千瓦(kW)、毫瓦(mW)等.

在任一电路中,任一瞬间都要满足功率平衡,即电路中总吸收功率要等于总发出的功率.

【例 1-3】 如图 1-9 所示的电路中, $U_1=20\text{ V}$, $U_2=10\text{ V}$, $U_3=50\text{ V}$, $U_4=-70\text{ V}$, $U_5=60\text{ V}$, $I_1=-1\text{ A}$, $I_2=3\text{ A}$, $I_3=4\text{ A}$. 求各二端元件的功率,并判断是吸收功率还是发出功率.

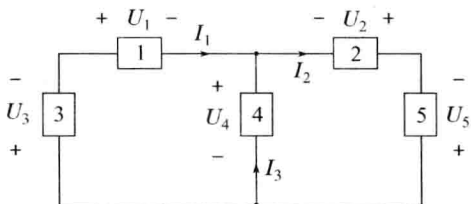


图 1-9 例 1-3 图

解 元件 1: 关联参考方向, $P_1 = U_1 I_1 = 20 \times (-1) = -20(\text{W})$, 发出功率;

元件 2: 非关联参考方向, $P_2 = -U_2 I_2 = -10 \times 3 = -30(\text{W})$, 发出功率;

元件 3: 关联参考方向, $P_3 = U_3 I_1 = 50 \times (-1) = -50(\text{W})$, 发出功率;

元件 4: 非关联参考方向, $P_4 = -U_4 I_3 = -(-70) \times 4 = 280(\text{W})$, 吸收功率;

元件 5: 非关联参考方向, $P_5 = -U_5 I_2 = -60 \times 3 = -180(\text{W})$, 发出功率.

由上得知, $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 0$, 该电路满足功率平衡, 即电路中总吸收功率等于总发出的功率.

(二) 电能

由式(1-7)得到在 dt 时间内电路吸收或发出的电能为 $dW = p dt$, 那么从 t_0 到 t_1 一段时间内电路所吸收或发出的电能为

$$W = \int_0^{t_1} p dt. \quad (1-11)$$

对于直流电路, 有

$$W = P(t_1 - t_0). \quad (1-12)$$

在 SI 中, 电能的单位为焦耳(J), 它等于功率为 1 W 的用电设备在 1 s (秒)内消耗的电能. 在电力工程中, 电能的单位常用度($\text{kW} \cdot \text{h}$)表示, 它等于功率为 1 kW 的用电设备在 1 h (小时)内消耗的电能.

$$1\text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3\text{ W} \times 3600\text{ s} = 3.6\text{ MJ}.$$

【例 1-4】 有一个电饭煲, 额定功率为 1000 W , 每天使用 2 h , 一台 60 W 的电视机, 每天使用 4 h , 一台 120 W 的电冰箱, 电冰箱的压缩机每天工作 8 h . 试问: 每月(按 30 天计)消耗多少度电?

解

$$W = (1 \times 2 + 0.06 \times 4 + 0.12 \times 8) \times 30 = 96 (\text{度}).$$

思考题

1.2.1 什么是参考方向？为什么要选取参考方向？什么是关联参考方向？

1.2.2 “两点间的电压等于这两点的电位值之差。由于电位值取决于电路的参考点，所以参考点改变时，这两点的电压也会改变。”这种说法对吗？

1.2.3 电路中有 a 、 b 、 c 、 d 四点，已知 $\varphi_a = 2 \text{ V}$ ， $\varphi_b = -3 \text{ V}$ ， $U_{ac} = -5 \text{ V}$ ， $U_{dc} = -3 \text{ V}$ 。求 φ_c 、 φ_d 和 U_{ad} 。

1.2.4 计算图 1-10 各元件的功率，指出是发出功率还是吸收功率。

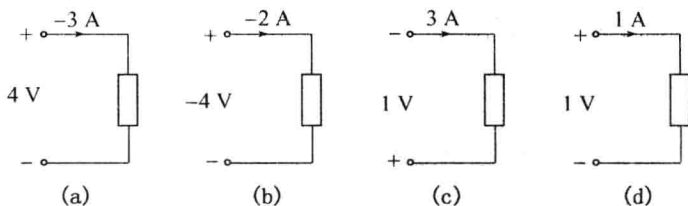


图 1-10 思考题 1.2.4 图

第三节 电阻元件

一个电路由很多实际电气设备和电气元件组成。电气设备和元件多种多样，它们都可以用电阻、电感、电容这三种电路参数来表示。因此，研究电路时必须了解各电路元件的特性。元件特性通常用元件电压与元件电流的关系来表示，从而建立相应的数学模型。电压、电流关系又称为伏安特性，可以在 $u-i$ 坐标平面上描绘电压、电流关系，这种关系的曲线称为伏安特性曲线。

一、电阻元件

电阻元件是一种最常见的二端元件。由于电阻元件是耗能元件，所以它的电压与电流的实际方向总是相同的。通过实验可以测得电阻元件的伏安特性曲线是一条通过原点的线：若该线是一条直线，表明该电阻元件是一线性电阻元件；若是一条曲线，表明该电阻元件是一非线性电阻元件。常见的白炽灯就相当于一个线性电阻元件，而二极管则是一个非线性电阻元件。

线性电阻元件的电路符号如图 1-11 所示，线性电阻元件的伏安特性曲线如图 1-12 所示，非线性电阻元件的伏安特性曲线如图 1-13 所示。

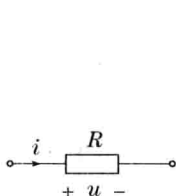


图 1-11 线性电阻元件的电路符号

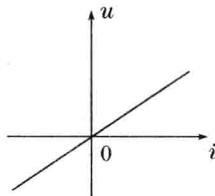


图 1-12 线性电阻元件的伏安特性曲线

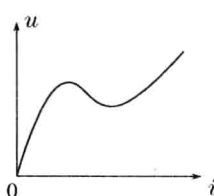


图 1-13 非线性电阻元件的伏安特性曲线

本书只讨论线性电阻元件,因此本书中出现的电阻元件均指线性电阻元件。

对于线性电阻元件,在关联参考方向下,根据它的伏安特性知,线性电阻元件两端的电压与流过该电阻的电流成正比,比例系数为 R ,表达式为

$$R = \frac{u}{i}. \quad (1-13)$$

式中, R 称为元件的电阻,简称电阻,它是反映电路中电能损耗的电路参数,是一个与电压、电流无关的正常数。

实际电阻器一般都可以近似地看成电阻元件,也就是可以用理想电阻元件作为实际电阻器的电路模型。

在 SI 中,电阻的单位为欧姆(Ω),简称欧。当电阻元件的电压为 1 V、流过电阻的电流为 1 A 时,该电阻元件的电阻为 1 Ω 。常用的单位还有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)等。

电阻元件还可以用电导来表征,电导是电阻的倒数,用 G 表示,其定义为

$$G = \frac{1}{R}. \quad (1-14)$$

在 SI 中,电导的单位为西门子(S),简称西。

二、欧姆定律

根据线性电阻的定义,电阻元件的电压与电流的方向总是一致的,其伏安特性曲线是一条通过原点的直线。因此,在电压、电流选择关联参考方向下,如图 1-14(a)所示,同一瞬间的电压 u 和电流 i 总是同号。因此得到

$$u = Ri \text{ 或 } i = Gu. \quad (1-15)$$

那么在电压、电流选择非关联参考方向下,如图 1-14(b)所示,同一瞬间的电压 u 和电流 i 总是异号。则

$$u = -Ri \text{ 或 } i = -Gu. \quad (1-16)$$



(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向

图 1-14 电阻的电压、电流参考方向

这就是大家熟悉的欧姆定律。

根据欧姆定律,线性电阻元件的电压和电流的变化规律是一致的,在交流情况下,其波形也是相似的。表明在任一瞬间电阻元件的电压(或电流)只决定于同一时间电流(或电压),