



面向“十二五”工学结合教改立项教材
国家示范性职业院校专业建设项目成果

电工基础

DIANGONG
JICHU



◎ 主编 李新德 李道臣

中国商业出版社



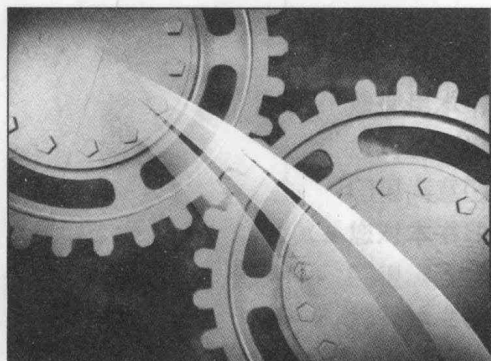
面向“十二五”工学结合教改立项教材
国家示范性职业院校专业建设项目成果

主编：汪洋

副主编：李新德、张怀英、冯喜忠、张怀广

电工基础

DIANGONG JICHU



通讯地址：

电子邮箱：

主审 汪 洋

主 编 李新德
副主编 张怀英
冯喜忠
张怀广

李道臣
程 泓
张 轩

常州
藏 书

中国商业出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工基础(修订版)/李新德,李道臣主编.一北京:中国商业出版社,2012.2 印

ISBN 978 - 7 - 5044 - 6513 - 9

I. 电… II. ①李…②李… III. 电工学 - 技术培训 - 教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 085636 号

责任编辑:刘树林

中国商业出版社出版发行
(100053 北京广安门内报国寺1号)
新华书店总店北京发行所经销
北京航天伟业印刷有限公司

* * * * *

787×1092 毫米 16 开 18.5 印张 430 千字
2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

定价:36.80 元

* * * *

(如有印装质量问题可更换)

前 言

电工基础是一门理论性较强的专业基础课,是机电类专业一门重要的技术基础课。多年来,在“电工基础”课程的教学过程中,我们先后使用过多种教材和讲义,为适应电子技术和电路理论的迅速发展,根据国家教育部对高等职业技术学院的教学要求,在教学实施中,我们对教材内容不断地进行调整、提炼和更新,逐步形成了一定的教学特色,本书也正是在此基础上编写而成的。

电工基础的主要任务是为学生学习专业知识和从事工程技术工作打好电工基础的理论基础,并使他们受到必要的基本技能的训练。为此,在本书中对基本理论、基本定律、基本概念及基本分析方法都作了尽可能详细的阐述,并通过实例、例题和习题来说明理论的实际应用,以加深学生对理论的掌握和理解,同时了解电工基础的发展与生产发展之间的密切关系。

本书在编写过程中主要突出以下几个方面:

1. 内容广

“电工基础”作为机电类的基础学科,要求教材对电学的基础理论、基本概念、元件、定律、方法做一个详细介绍,涉及面较广,从直流到交流,从稳态到暂态。从不同角度、不同侧面组织材料,针对高职学生特点,本书做到知识面广而不杂,脉络清晰。

2. 深浅适中

高等职业技术学院是培养面向 21 世纪应用型人才的学校。为体现这一宗旨,我们在编写过程中尽可能避开抽象的理论推导,而注重强调各元件的外特性以及在电学中的应用,使学生既能学会分析电路的方法,又不会被其复杂的理论推导所困扰;强调理论以够用为度,突出实用性,充分体现高等职业技术学院的办学特色。

3. 实用性强

“电工基础”是与实际联系比较密切的一门学科,因此在编写过程中尽可能贴近实际。用充分的实例来说明,以帮助学生理解有关概念和理论。同时,在实践教学上,我们安排一部分旨在开发学生智力,探索创新的实训内容。比如功率因数的提高等。这些都以所学知识为基础,同时又是对理论知识的升华,使学生能学有所用。

为帮助学生进一步理解和掌握,本书每一小节后大部分留有一定的思考与练习,同时每章后又附有一定量的习题。

对于本书中有些内容,教师在讲授时可以灵活掌握,一般应视专业的需要、学时的多少和学生的实际水平而决定取舍。有些内容可以让学生通过自学掌握,不必全在课堂讲授。各章习题的数目较多一些,教师在选择时也可以灵活些,同时也可以满足部分学习成绩较好的学生希望多做一些习题的要求。不同专业可按需要选择其中部分内容讲授。

参加本书编写的有商丘职业技术学院的汪洋、李新德、李道臣、冯喜忠、张怀英、程泓(商丘技师学院)、张轩(天津大学建筑设计院)、张怀广(濮阳职业技术学院)等老师。其中李新德(第五章)、李道臣(十二章)、冯喜忠(第二、十一章)担任主编,张怀英(第十、三章)、程泓(第四、六章)、张轩(第一、九章)、张怀广(第七、八章)担任副主编,汪洋担任主审。全书由汪洋负责统稿。

由于编者水平有限,书中的错误和疏漏之处在所难免,敬请使用本书的教师和学生批评指正,以便我们及时改正。

编者

2012 年 2 月

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路的作用与组成部分	(1)
1.2 电路模型	(2)
1.3 电路中的基本物理量	(3)
1.3.1 电流	(3)
1.3.2 电压	(4)
1.3.3 电位	(5)
1.3.4 功率和能量	(5)
1.4 基尔霍夫定律	(7)
1.4.1 电路中常用的名词	(7)
1.4.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	(8)
1.4.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	(9)
1.5 电源有载工作、开路与短路	(12)
1.5.1 电源有载工作	(12)
1.5.2 电源开路	(15)
1.5.3 电源短路	(15)
第2章 电路的分析方法	(19)
2.1 电阻的串联与并联	(19)
2.1.1 电阻的串联	(19)
2.1.2 电阻的并联	(20)
2.1.3 电阻的混联	(24)
2.2 电阻的星形连接和三角形连接的等效变换	(25)
2.2.1 基本概念	(26)
2.2.2 电阻的星形连接和三角形连接的等效变换	(26)
2.2.3 应用举例	(27)
2.3 电压源与电流源及其等效变换	(28)
2.3.1 电压源	(29)
2.3.2 电流源	(29)
2.3.3 电压源与电流源的等效变换	(31)
2.4 支路电流法	(36)
2.5 节点电压法	(39)
2.6 叠加原理	(42)

2.7	戴维宁定理与诺顿定理	(45)
2.7.1	戴维宁定理	(45)
2.7.2	诺顿定理	(48)
2.8	受控电源电路的分析	(50)
2.9	非线性电阻电路的分析	(53)
第3章	正弦交流电路	(58)
3.1	正弦电压与电流	(58)
3.1.1	频率与周期	(58)
3.1.2	幅值与有效值	(59)
3.1.3	初相位	(61)
3.2	正弦量的相量表示法	(62)
3.3	电阻元件、电感元件与电容元件	(66)
3.3.1	电阻元件	(67)
3.3.2	电感元件	(67)
3.3.3	电容元件	(70)
3.4	电阻元件的交流电路	(72)
3.5	电感元件的交流电路	(73)
3.6	电容元件的交流电路	(76)
3.7	电阻、电感与电容元件串联的交流电路	(79)
3.8	交流电路的频率特性	(84)
3.8.1	串联电路的频率特性	(84)
3.8.2	串联谐振	(88)
3.8.3	并联谐振	(91)
3.9	功率因数的提高	(94)
第4章	三相电路	(99)
4.1	三相电压	(99)
4.2	负载星形联接的三相电路	(102)
4.3	负载三角形联接的三相电路	(108)
4.4	三相功率	(110)
第5章	电路的暂态分析	(115)
5.1	换路定则与初始值	(115)
5.1.1	换路定则	(115)
5.1.2	电压、电流初始值的确定	(116)
5.2	三要素分析法	(116)
5.3	一阶电路的零状态响应	(118)
5.3.1	一阶 RC 电路的零状态响应	(118)

5.3.2	一阶 RL 电路的零状态响应	(118)
5.4	一阶电路的零输入响应	(119)
5.4.1	一阶 RC 电路的零输入响应	(119)
5.4.2	一阶 RL 电路的零输入响应	(120)
5.5	微分电路与积分电路	(121)
5.5.1	微分电路	(121)
5.5.2	积分电路	(121)
5.6	一阶电路响应的分解	(122)
第 6 章 磁路与铁心线圈电路 (124)		
6.1	磁场的基本物理量	(124)
6.1.1	磁感应强度	(124)
6.1.2	磁通	(124)
6.1.3	磁场强度	(125)
6.1.4	磁导率	(125)
6.2	磁性材料的磁性能	(126)
6.2.1	高导磁性	(126)
6.2.2	磁饱和性	(127)
6.2.3	磁滞性	(128)
6.3	磁路欧姆定律	(129)
6.4	交流铁心线圈电路	(132)
6.4.1	电磁关系	(132)
6.4.2	线圈两端的电压与电流之间的函数关系	(133)
6.4.3	功率损耗	(134)
6.4.4	等效电路	(135)
6.5	变压器	(136)
6.5.1	变压器的结构和工作原理	(136)
6.5.2	变压器的外特性	(142)
6.5.3	变压器的损耗与效率	(143)
6.5.4	特殊变压器	(143)
6.5.5	变压器绕组极性的测定	(145)
6.6	电磁铁	(147)
第 7 章 异步电动机 (152)		
7.1	三相异步电动机的结构	(152)
7.2	三相异步电动机的工作原理	(158)
7.2.1	旋转磁场	(158)
7.2.2	三相异步电动机的工作原理	(161)
7.2.3	异步电动机的转差率与分类	(162)

7.3 三相异步电动机的电路分析	(163)
7.3.1 定子电路	(164)
7.3.2 转子电路	(164)
7.3.3 异步电动机的功率和转矩	(166)
7.4 三相异步电动机的机械特性	(168)
7.4.1 机械特性曲线上的特殊点	(168)
7.4.2 稳定工作区和非稳定工作区	(169)
7.5 三相异步电动机的启动	(171)
7.5.1 三相异步电动机的直接启动	(171)
7.5.2 笼型异步电动机的降压启动	(172)
7.5.3 绕线转子电动机的启动	(173)
7.6 三相异步电动机的调速	(175)
7.6.1 变极调速	(175)
7.6.2 改变转差率调速	(176)
7.6.3 变频调速	(177)
7.7 电磁调速异步电动机	(178)
7.7.1 转差离合器的结构	(178)
7.7.2 转差离合器的工作原理	(179)
7.7.3 转差离合器的特点	(179)
7.8 三相异步电动机的反转与制动	(180)
7.8.1 三相异步电动机的反转	(180)
7.8.2 三相异步电动机的制动	(180)
第8章 直流电动机	(185)
8.1 直流电动机的结构和工作原理	(185)
8.1.1 直流电动机的结构	(185)
8.1.2 直流电动机的工作原理	(189)
8.2 直流电动机的电枢反应及换向	(190)
8.2.1 直流电动机的磁场	(190)
8.2.2 电枢反应	(191)
8.2.3 直流电动机的换向	(192)
8.3 直流电动机的功率、电动势和转矩平衡方程式	(194)
8.3.1 直流电动机的功率	(194)
8.3.2 电动势平衡方程式	(194)
8.3.3 转矩平衡方程式	(195)
8.4 直流电动机的机械特性	(196)
8.4.1 他励和并励电动机的机械特性	(196)
8.4.2 串励电动机的机械特性	(197)
8.5 直流电动机的启动	(199)

8.5.1	降压启动	(199)
8.5.2	电枢回路串电阻启动	(200)
8.6	直流电动机的调速	(201)
8.6.1	改变电枢电压调速	(201)
8.6.2	改变电枢回路电阻调速	(201)
8.6.3	改变励磁回路电阻调速	(202)
8.7	直流电动机的反转与制动	(203)
8.7.1	直流电动机的反转	(203)
8.7.2	直流电动机的制动	(203)
第9章 继电-接触器控制系统		(206)
9.1	常用控制电器	(206)
9.1.1	组合开关	(206)
9.1.2	按钮	(208)
9.1.3	交流接触器	(209)
9.1.4	中间继电器	(211)
9.1.5	热继电器	(211)
9.1.6	熔断器	(215)
9.1.7	自动空气断路器	(220)
9.2	鼠笼式电动机正反转的控制电路	(223)
9.3	行程控制	(225)
9.4	联锁控制	(231)
第10章 可编程控制器及其应用		(234)
10.1	可编程控制器的结构和工作原理	(235)
10.1.1	可编程控制器的结构及各自作用	(235)
10.1.2	可编程控制器的工作原理	(237)
10.1.3	可编程控制器的主要性能指标	(240)
10.1.4	可编程控制器的特点	(240)
10.2	可编程控制器的程序编制	(242)
10.2.1	可编程控制器的编程语言	(242)
10.2.2	可编程控制器的编程原则和方法	(243)
10.2.3	可编程控制器的指令系统	(245)
10.3	可编程控制器的应用	(245)
第11章 工业企业供电与安全用电		(247)
11.1	发电与输电的概念	(247)
11.2	工业企业配电	(248)
11.3	安全用电	(250)

11.3.1	电流对人体的作用	(250)
11.3.2	触电方式	(250)
11.3.3	接地和接零	(251)
11.4	节约用电	(254)
第12章 电工测量		(256)
12.1	电工测量仪表的分类	(256)
12.2	电工测量仪表型式	(258)
12.2.1	磁电式仪表	(258)
12.2.2	电磁式仪表	(260)
12.2.3	电动式仪表	(261)
12.3	电流和电压的测量	(262)
12.3.1	电流的测量	(262)
12.3.2	电压的测量	(263)
12.4	万用表	(263)
12.4.1	指针式万用表	(263)
12.4.2	数字式万用表	(265)
12.5	功率的测量	(267)
12.5.1	单相交流和直流功率的测量	(267)
12.5.2	三相功率的测量	(267)
12.6	兆欧表	(269)
12.7	用电桥测量电阻、电容与电感	(270)
12.7.1	直流电桥	(270)
12.7.2	交流电桥	(271)
12.8	非电量的电测法	(272)
12.8.1	应变电阻传感器	(273)
12.8.2	电感传感器	(274)
12.8.3	电容传感器	(275)
12.8.4	热电传感器	(276)

第1章 电路的基本概念和基本定律

电路是电工技术和电子技术的基础,它是为学习后面的电子电路、电机电路及控制电路与测量电路打基础的。本章主要讨论电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电源的工作状态以及电路中电位的概念及计算等,这些内容都是分析与计算电路的基础。有些内容虽然已在物理中讲过,但是为了加强理论的系统性和满足电工技术的需要,仍列入本章中,以便使读者对这些内容的理解能进一步巩固和加深,并能充分地应用和扩展这些内容。

1.1 电路的作用与组成部分

电路是电流的通路,它是为了某种需要由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1.1(a) 所示。它的作用是实现电能的传输和转换,其中包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

发电机是电源,是供应电能的设备。在发电厂内可把热能、水能或核能转换为电能。除发电机外,电池也是常用的电源。

电灯、电动机、电炉等都是负载,是取用电能的设备,它们分别把电能转换为光能、机械能、热能等。

变压器和输电线是中间环节,是联接电源和负载的部分,它起传输和分配电能的作用。

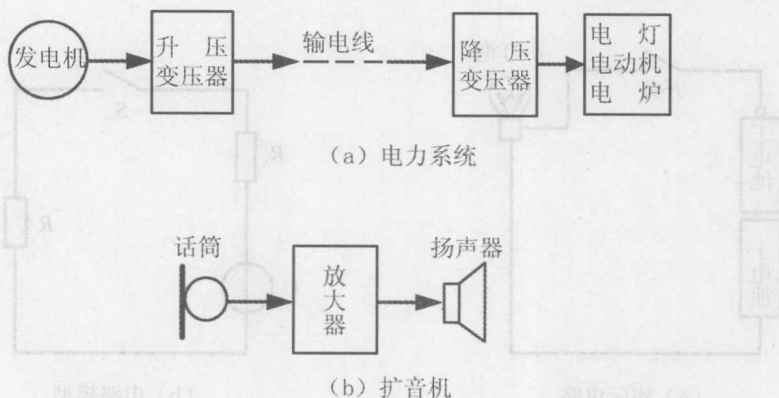


图 1.1 电路示意图

电路的另一作用是传递和处理信号,常见的例子如扩音机,其电路示意图如图 1.1(b) 所示。先由话筒把语言或音乐(通常为信息)转换为相应的电压或电流,它们就是电信号。然后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于由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 1.1(b) 中,话筒是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池这种电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律取决于所加的信息。扬声器

是接受和转换信号的设备,也就是负载。

信号传递和处理的例子是很多的,如收音机和电视机,它们的接收天线(信号源)把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,而后通过电路把信号传递和处理(调谐、变频、检波、放大等),送到扬声器和显像管(负载),还原为原始信息。

不论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;由于激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析:就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

1.2 电路模型

在一定条件下,把实际元件加以近似化、理想化,忽略其次要性质,用足以表示其主要特征的“模型”来表示,我们把这种元件称为理想元件。例如,电阻器、电烙铁等,当电流通过时,在它内部把电能转换为热能,这样在电源频率不是很高的情况下,可以把它们看成是消耗电能的“电阻元件”。对于电感线圈,若其内阻较小可忽略不计时,在一定条件下可以把它们看成是存储磁场能的“电感元件”。对于各种电容器,在一定条件下可以把它们看成是存储电场能的“电容元件”。对于电池、直流稳压电源、发电机等,在一定条件下可以把它们看成是向外提供电能的“电源元件”。

由理想电路元件构成的电路称为实际电路的“电路模型”。如图 1.2 所示,图(a)为手电筒的实际电路,若把小灯泡看成是电阻元件,用 R 表示,考虑到电池内部自身消耗的电能,把电池看成是电阻元件 R_s 和电压源 U_s 串联,连接导线看成理想导线(其内阻为零)。这样,手电筒的实际电路就可以用电路模型来表示,如图 1.2(b)所示。

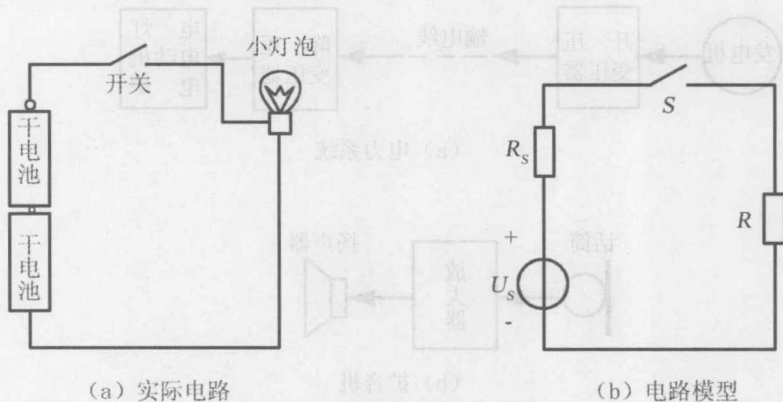


图 1.2 实际电路与电路模型

值得注意的是,用理想电路元件或它们的组合模拟实际元件的过程,就是建立其模型的过程,简称建模。建模时必须考虑工作条件,并按不同精确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象及功能反映出来。例如在直流情况下,一个线圈的模型可以是一个电阻元件;在较低频率下,可用电阻元件和电感元件的串联组合来模拟;在较高频率下,还应考虑导体表面的电荷作用,即电容效应,所以其模型需要包含电容元件。可见在不同的条件下,同一实际元器件可能采用不同的模型。模型取得恰当,电路的分析和计算结果就与实际情况接近;模型取得不恰

当,则会造成很大误差,有时甚至导致自相矛盾的结果。如果模型取得太复杂就会造成分析的困难;反之,如果取得太简单,就不足以反映所需求解的真实情况。

今后所分析的都是指电路模型,简称电路。在电路图中,各种电路元件用规定的图形符号表示。

【思考与练习】

1. 电路有哪几部分组成?各部分在电路中起什么作用?

2. 实际电路和电路模型有什么关系?

1.3 电路中的基本物理量

在电路理论中,电路的基本物理量分为两类:基本变量和复合量。电路的基本变量有四个:电流、电压、电荷和磁通,其中最常用的有两个,即电流和电压。电路的基本复合量有两个:电功率和电能。

1.3.1 电流

在物理课中我们已经学过电荷的定向移动形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向,电流的大小常用电流强度来表示。电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上简称为电流。电流主要分为两类:一类为大小和方向均不随时间改变的电流,称为恒定电流,简称直流,常简写作 dc 或 DC,其强度用符号 I 或 i 表示;另一类为大小和方向都随时间改变的电流,称为变动电流,其强度用符号 i 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交流,常简写作 ac 或 AC,其强度也用符号 i 表示。

图 1.3 给出了几种常见电流,(a)为直流,(b)、(c)均为交流。

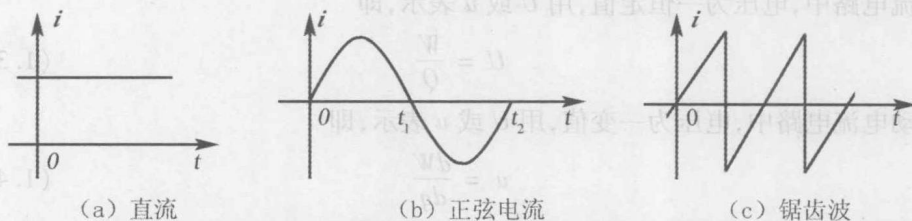


图 1.3 几种常见电流

对于直流,单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的,其电流强度为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

对于变动电流(含交流),若假设在一很小的时间间隔 dt 内,通过导体横截面的电量为 dq ,则该瞬间的电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2)$$

电流的单位是安培,ST 符号为 A。它表示 1 秒(s)内通过导体横截面的电荷为 1 库仑(C)。有时也用到千安(kA)、毫安(mA)或微安(μ A)等,其关系如下:

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A}$$

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

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

在分析电路时,对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向很难立即判断出来,有时电流的实际方向还会不断改变,因此在电路中很难标明电流的实际方向。为分析方便,在这里,我们引入电流的“参考方向”这一概念。

在某一电路或某一电路元件中事先选定一个电流方向作为电流的参考方向。我们用虚线箭头表示电流的实际方向,用箭头直接标在电路上表示电流的参考方向,也可用双下标表示,如 i_{ab} 表示其参考方向由 a 到 b 。参考方向是任意选定的,而电流的实际方向是客观存在的。因此,所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。当选定电流的参考方向与实际方向一致时, $i > 0$; 当选定电流的参考方向与实际方向相反时, $i < 0$ 。因此,在参考方向选定之后,电流的值才有正、负之分。电流的参考方向 and 实际方向如图 1.4 所示。

电流的实际方向是客观存在的,它不因其参考方向选择的不同而改变,即存在 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。本书中不加特殊说明时,电路中的公式和定律都是建立在参考方向的基础上的。

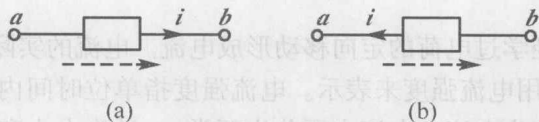


图 1.4 电流的参考方向与实际方向

1.3.2 电压

在物理课中我们已学过,电路中 a 、 b 两点间电压的大小等于电场力把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。电压的实际方向就是正电荷在电场中受电场力作用移动的方向,用虚线表示。

在直流电路中,电压为一恒定值,用 U 或 u 表示,即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1.3)$$

在变动电流电路中,电压为一变值,用 U 或 u 表示,即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.4)$$

电压的单位是伏特,简称伏,用符号 V 表示,即电场力将 1 库仑(C)正电荷由 a 点移到 b 点所做的功为 1 焦耳(J)时, a 、 b 两点间的电压为 $1V$ 。有时也需用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μV)作单位。

像需要为电流指定参考方向一样,在电路分析中也需要为电压指定参考方向。在元件或电路中两点间可以任意选定一个方向作为电压的参考方向。在电路图中,电压的参考方向一般用实箭头表示,如图 1.5 所示,也可用下标 u_{ab} (电压参考方向由 a 点指到 b 点)或“+”、“-”极性表示(电压参考方向由“+”极性指向“-”极性)。

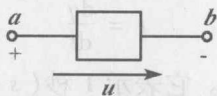


图 1.5 电压的参考方向表示方法

当电压的参考方向与实际方向一致时,电压值为正,即 $u > 0$;当电压的参考方向与实际方向相反时,电压值为负,即 $u < 0$ 。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1.6 所示。

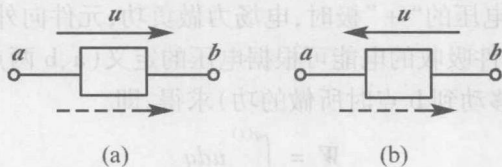


图 1.6 电压的参考方向与实际方向

电压的实际方向也是客观存在的,它不因其参考方向选择的不同而改变。由此可知: $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

一个元件的电流或电压的参考方向可以独立地任意指定。如果指定流过元件的电流的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,则我们把电流和电压的这种参考方向的关系称为关联参考方向,简称关联方向,如图 1.7(a)所示;当两者不一致时,称为非关联参考方向,简称非关联方向。在图 1.7(b)中, N 表示电路的一个部分,它有两个端子与外电路连接,电流的参考方向自电压的正极性端流入,从负极性端流出,两者的参考方向一致,所以是关联方向;图 1.7(c)中所示的电流和电压的参考方向则是非关联的。

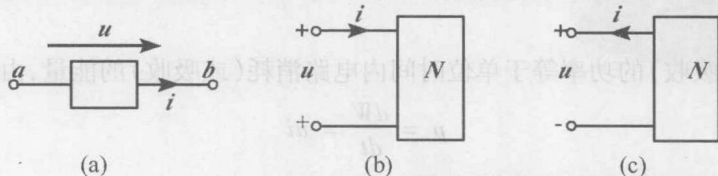


图 1.7 关联方向与非关联方向

1.3.3 电位

在复杂电路中,经常用到电位的概念来分析电路。所谓电位是指在电路中任选一点作为参考点,某点到参考点的电压就叫做该点的电位。电位用 V 表示,电路中 a 点的电位可表示为 V_a ,如图 1.8 所示,其参考方向规定为 a 点为参考正极性,参考点 O 为参考负极。电位的单位和电压的单位一样,用伏特(V)表示。

需要说明的是,电路中参考点是任意的,通常可把用电设备的接地点或电路的公共连线作为参考点。参考点的电位为零。

图 1.8 中,已知 a 、 b 两点的电位分别为 V_a 、 V_b ,则此两点间的电压为

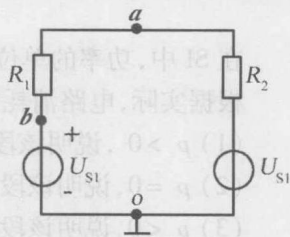


图 1.8 电位的表示

$$U_{ab} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b$$

$$\text{即 } U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.5)$$

由此可以看出,参考点选得不同,电路中各点的电位值随着改变,但是任意两点间的电压值是不变的,所以各点电位的高低是相对的,而两点间的电压是绝对的。

1.3.4 功率和能量

在电路的分析和计算中,能量和功率的计算是十分重要的。因为:一方面,电路在工作时总伴随着有其他形式的能量的相互交换;另一方面,电气设备和电路部件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值,过载会使设备或部件损坏或不能正常工作。

电功率与电压与电流密切相关。当正电荷从元件上电压的“+”极经过元件移动到电压的“-”极时,与此电压相应的电场力要对电荷做功,这时元件吸收能量;反之,正电荷从电压的“-”极经过元件移动到电压的“+”极时,电场力做负功,元件向外释放电能。

从 t_0 到 t 的时间内,元件吸收的电能可根据电压的定义(a、b 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功)求得,即

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq \quad (1.6)$$

由于 $i = \frac{dq}{dt}$, 因此

$$W = \int_{t_0}^t u(t) i(t) dt \quad (1.6)$$

在直流电路中,电流、电压均为恒值,在 $0 \sim t$ 段时间内电路消耗的电能

$$W = UIt \quad (1.7)$$

注意:上述两公式在使用时要求电压和电流为关联参考方向。计算的能量为元件或电路消耗的能量。

在 SI 中,能量的单位为焦耳,简称焦,SI 符号为 J。此外,能量还有一个常用的单位为度,1 度 = 1 千瓦时。

电路消耗(或吸收)的功率等于单位时间内电路消耗(或吸收)的能量,由此可定义

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1.8)$$

在直流电路中,电流、电压均为常量,故

$$P = UI \quad (1.9)$$

以上两式中,电流和电压为关联参考方向,计算的功率为电路消耗(或吸收)的功率。若电流和电压为非关联参考方向,电路消耗(或吸收)的功率为

$$p = -ui \quad (1.10)$$

在 SI 中,功率的单位为瓦特,简称瓦,SI 符号为 W。根据实际,电路消耗的功率有以下几种情况:

- (1) $p > 0$, 说明该段电路吸收功率为 p ;
- (2) $p = 0$, 说明该段电路不消耗功率;
- (3) $p < 0$, 说明该段电路释放功率为 p 。

例 1.1 试求图 1.9 中元件的功率。

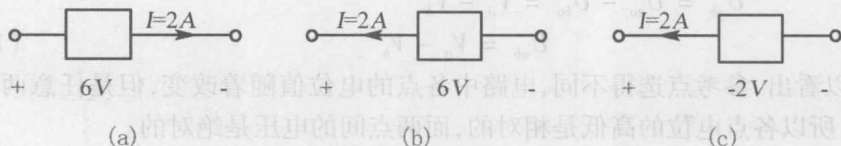


图 1.9 例 1.1 图

解:(a) 电流和电压为关联参考方向,元件的功率为

$$P = UI = 6 \times 2 = 12 \text{ W} > 0, \text{ 元件实际上是吸收功率。}$$

(b) 电流和电压为非关联参考方向,元件的功率为

$P = -UI = -6 \times 2 = -12\text{W} < 0$, 元件实际上是释放功率。

(c) $P = -UI = -(-2) \times 2 = 4\text{W} > 0$, 元件实际上是吸收功率。

【思考与练习】

1. 在图 1.10 中, 请用虚线箭头表示电流的实际方向, 同时确定 i 是大于零还是小于零。

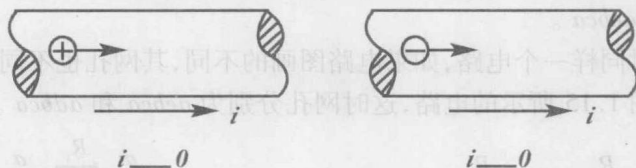


图 1.10 题 1 图

2. 如图 1.11 所示, 当 $U = -150\text{V}$ 时, 试写出 U_{AB} 和 U_{BA} 各为多少伏。

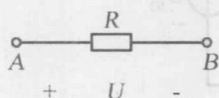


图 1.11 题 2 图

3. 如图 1.12 所示, 已知 $U_{AB} = 10\text{V}$, $U_{CB} = 20\text{V}$, $U_{AD} = 15\text{V}$, 以 A 为参考点, 试求 A、B、C、D 四点电位 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 。若以 C 点为参考点, 上述各点电位又是多少?

4. 如图 1.13 所示, 已知元件的吸收功率 $P = 30\text{W}$, 求元件的端电压。若元件的释放功率为 $P = 30\text{W}$, 元件的端电压又是多少?

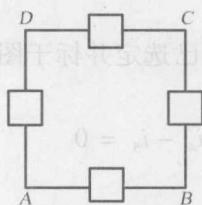


图 1.12 题 3 图

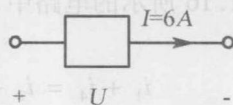


图 1.13 题 4 图

1.4 基尔霍夫定律

电路元件的伏安特性反映了元件本身电压与电流的关系, 称为电路的元件约束。电路是由各种电路元件组成的, 这些元件组成电路后, 各支路电压之间和各支路电流之间也存在约束关系, 这类约束由基尔霍夫定律体现。基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)。

1.4.1 电路中常用的名词

1. 支路: 一般来说, 电路中的每一个二端元件可视为一条支路。但是为了分析和计算方