



高职高专“十二五”规划教材

电工基础 (第二版)

赵红顺 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



高职高专“十二五”规划教材

电工基础 (第二版)

主编 赵红顺

编写 颜云华 苏伯贤

马仕麟 刘承赫

主审 杨利军



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为高职高专“十二五”规划教材。

全书共分为九章,包括电路的基本概念和基本定律、电路的等效变换、直流电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、互感电路、非正弦周期电流电路、线性电路过渡过程的暂态分析、磁路等内容。本书还配套有相应的习题集。

本书可作为高职高专院校自动化类专业及相关专业的电工基础课程教材,也可作为中等职业院校教材,同时可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/赵红顺主编. —2版. —北京:中国电力出版社, 2014.7

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-6042-6

I. ①电… II. ①赵… III. ①电工学—高等职业教育—教材
IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第130759号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年1月第一版

2014年7月第二版 2014年7月北京第四次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12.5印张 297千字

定价 25.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书自 2010 年第一版出版以来，作为电气自动化技术专业及相关机电类专业高职高专学生的《电工基础》课程的教材用书，使用过程中，受到了许多高职院校同行们的认可。

作为普通高等职业院校自动化类及相关专业的规划教材，为使教学内容和课程体系能更好地适应高职高专的教学特点及培养目标，本书在第一版的基础上进行修订。对部分内容进行了改写，使教材内容叙述更加清楚，通俗易懂。本次修订，除了对原教材进行一些必要的文字修改外，还在保证基本内容，基本原理和基本分析方法的前提下，增加了具有实际工程应用能力案例的例题，突出了基本思路与基本方法的介绍，在习题的内容及要求上作了精选，删去了一些过分强调技巧或较繁琐的题目，力求能使读者更好掌握基础概念和基本方法。修订本在附录中提供了各章节后习题的参考答案，便于教师课堂教学和课后学生复习及自学。

修订后的教材延续了原教材的体系，考虑到本课程的基本要求及与相邻学科间的联系，并考虑到拓宽相近专业的要求，基本保持了各章的独立性和相对完整性，便于在使用过程中根据不同层次、不同专业的需求及不同学时等具体情况进行内容的选择或调整。

参加本书修订工作的有常州机电职业技术学院的赵红顺（第二、三、四、五、八章）；颜云华（第一章、第六章）；苏伯贤（第七章）；马仕麟（第九章），附录中各章习题答案由赵红顺和刘承赫完成。全书由主编赵红顺负责统稿工作。本书由湖南铁道职业技术学院杨利军教授主审。

在此，谨向他们以及多年来使用本书的同行与读者表示真诚的谢意，感谢同行们的支持以及读者的厚爱。同时敬请使用本书的同行与读者继续批评指正。

编 者

2014 年 05 月

第一版前言

本教材是根据教育部最新制定的“高职、高专电工基础课程基本要求”编写的,可供高等职业技术学院电气类专业及相关专业的教学使用。在编写过程中贯穿能力培养和分层教学的思路,以满足不同学习者的不同要求。全书建议安排教学时数为 100 学时左右。

本教材是在第 1 版教材使用了五年的基础上根据近几年的教学改革情况以及教材应用中发现的具体问题重新修订的。修订过程中结合高职高专教育培养应用型人才的需要,对教材内容重新优化,本着循序渐进、由浅入深的原则,把重点放在加强理论知识的运用,减少烦琐、冗长的理论推导。在内容上以适量、实用为度,不贪多求难。在编写中力求叙述简练,概念清晰,通俗易懂,便于自学。对于电路的分析求解,做到步骤清楚,举例结合实际并具有典型性,例题、习题安排合理。

本教材有配套的《电工基础习题集》(赵红顺主编),安排有各章节内容小结和自测题。其中本章内容小结着重介绍本章学习的重点内容,针对性强,自测题题型设置多样,层次性强,便于教师组织教学测验以及学生学完各章内容后的自测。

本教材由常州机电职业技术学院赵红顺老师担任主编并编写了教材的第二章、第三章、第四章、第五章。参加本教材编写工作的还有常州机电职业技术学院的颜云华老师(第一章、第六章)、苏伯贤老师(第七章)、马仕麟老师(第八章、第九章)。全书由赵红顺老师负责统稿工作。本书由湖南铁道职业技术学院杨利军老师主审。

编写本教材时,我们查阅和参考了众多文献资料,从中得到了许多教益和启发,在此向参考文献的作者致以诚挚的谢意。统稿过程中,有关学院的领导和教研室同事给予了很多支持和帮助,编者在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平,教材中缺点与不足之处在所难免,恳请专家和读者提出宝贵意见,以便今后修订。

编 者

2014 年 05 月

目 录

前言	
第一版前言	
第一章 电路的基本概念和基本定律	1
第一节 电路的组成和模型	1
第二节 电路的基本物理量	3
第三节 欧姆定律	8
第四节 电路的工作状态	11
第五节 基尔霍夫定律	14
小结	17
思考题	18
习题	19
第二章 电路的等效变换	21
第一节 电阻的串并联及其等效变换	21
第二节 电阻的Y— Δ 连接及其等效变换	25
第三节 实际电源模型及其等效变换	28
第四节 受控源及其等效变换	35
小结	37
思考题	38
习题	39
第三章 直流电路的分析方法	43
第一节 支路电流法	43
第二节 节点电压法	45
第三节 叠加定理和齐次定理	49
第四节 戴维南定理	53
小结	56
思考题	56
习题	57
第四章 单相正弦交流电路	60
第一节 正弦交流电的基本概念	60
第二节 正弦量的相量表示法	64
第三节 单一元件接通正弦交流电	68
第四节 电阻、电感串联电路	77
第五节 电阻、电感、电容串联电路	78

第六节	电阻、电感、电容并联电路及复导纳	81
第七节	正弦交流电路的功率	84
第八节	功率因数的提高及有功功率的测量	86
第九节	电路中的谐振	90
小结	.....	95
思考题	.....	97
习题	.....	98
第五章	三相正弦交流电路	102
第一节	三相电源.....	102
第二节	三相电源的连接.....	104
第三节	三相负载的连接.....	106
第四节	三相对称电路的分析.....	108
第五节	不对称电路的分析.....	112
第六节	三相交流电路的功率及其测量.....	115
小结	.....	118
思考题	.....	119
习题	.....	120
第六章	互感电路	122
第一节	基本概念.....	122
第二节	互感线圈的同名端.....	123
第三节	互感线圈的串并联.....	126
第四节	空心变压器.....	129
小结	.....	131
思考题	.....	131
习题	.....	132
第七章	非正弦周期电流电路	134
第一节	非正弦周期量的产生.....	134
第二节	非正弦周期信号的分解形式.....	135
第三节	非正弦周期量的有效值和平均功率.....	138
第四节	非正弦周期电流电路的分析计算.....	140
小结	.....	142
思考题	.....	143
习题	.....	144
第八章	线性电路过渡过程的暂态分析	145
第一节	换路定律和电压电流初始值的确定.....	145
第二节	一阶电路的零输入响应.....	147
第三节	一阶电路的零状态响应.....	151
第四节	一阶电路的全响应及三要素法.....	155
小结	.....	158

思考题	158
习题	159
第九章 磁路	162
第一节 磁场的基本物理量	162
第二节 磁性材料的磁性能	164
第三节 磁路及其基本定律	166
第四节 交流铁芯线圈电路	170
第五节 变压器	172
第六节 电磁铁	176
小结	177
思考题	179
习题	180
附录 1 常用铁磁材料磁化数据表	182
附录 2 各章节课后习题参考答案	184
参考文献	189

第一章 电路的基本概念和基本定律

本章提要 本章主要介绍电路中的基本概念，电流、电压及其参考方向、电位和功率；电路的基本元件，电阻元件、电压源、电流源；电路的基本状态，空载、负载和短路；电路的基本定律，欧姆定律和基尔霍夫电压电流定律。

第一节 电路的组成和模型

一、电路的组成

电路是指由一些电气设备或器件组成，并提供电流流通途径的通路。复杂的电路呈网状，又称网络。电路和网络这两个术语是通用的。

随着电工技术的发展，电路的形式和功能多种多样，有的还十分复杂，但总的来说，它们具有下述共同点：

(1) 电路的组成一般包括电源（或信号源）、负载和中间环节（在复杂电路中，连接导线可以扩展成连接电源和负载的中间环节）三个部分。

(2) 电路的作用主要有传输和分配电能与传递和处理电信号两个方面。

图 1-1 所示的手电筒电路是一个简单的实际电路，它由干电池、灯泡、开关及连接部分构成。干电池是电源，提供电能，灯泡是负载，消耗电能。它们由两根导线及开关连接成闭合电路，工作时，电流（实际是电子沿相反方向流动）从电源的正极流出，经过负载，流回到电源的负极，电流的方向固定，数值基本不变。这类电路的作用主要是传输电能和分配电能。在这类电路中，人们关注的是减少传输和转换过程中能量的损耗，以提高效率。

图 1-2 所示的扩音机电路，左边的话筒虽然能将声能转变为电能，但数量很微小，不能作为电源，但所产生的感应电动势可以作为反映声音大小的信号，即电信号，因此是一种信号源，而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放大。这类电路的作用主要是传递和处理信号。在这类电路中，虽然也有传输和转换过程中能量损耗的问题，但人们更关注信号传递和处理的质量，即准确性、及时性和不失真等。

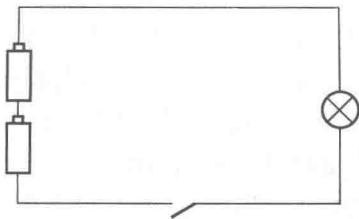


图 1-1 手电筒电路

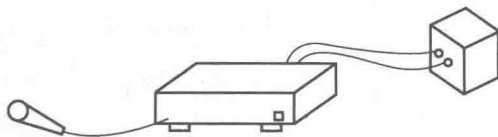


图 1-2 扩音机电路

如果在工作时，电路中电流的大小和方向不随时间变化，就称为直流电路。反之，电路

中电流大小和方向按一定规律呈周期性变化、且在一个周期内其平均值为零,就称为交流电路。

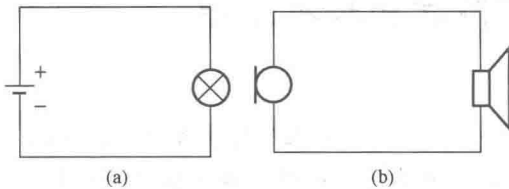


图 1-3 用电路符号绘制的电路图

(a) 图 1-1 的工程图; (b) 图 1-2 的工程图

二、电路的模型和电路图

在工程上,通常按国家统一规定的各种电气设备和器件的符号绘制电路图。例如:图 1-1 和图 1-2 可分别用图 1-3 的 (a) 和 (b) 表示,图中符号分别表示电池、灯泡、话筒、扬声器,这叫做工程图。

在电路理论中,为了表征电路部件的主要性质,以便进行定量分析,通常将电路部件的实体用它的模型来代替。电路部件的模型由一些具有单一物理性质的理想电路元件构成。基本理想电路元件有五种,即:电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。它们通过两个连接端子与电路相接,因此称为二端元件,它们的电路符号分别如图 1-4 所示,它由图形符号和文字符号组成。

前三种理想电路元件中,电阻元件消耗电能;电感元件以磁场形式储存能量;电容元件以电场形式储存能量。它们的性质可分别用叫做电路参数的物理量表示,电阻元件遵循欧姆定律,其端电压和流过的电流成正比,比例常数称为电阻(符号为 R),它既是这种元件的名称,又是表示其物理性质的电路参数,单位为欧姆(符号为 Ω)。电感元件和电容元件的性质及其参数电感 L 和电容 C 的含义将在以后的交流电路中讨论。应当指出:实际的电路元件同理想电路元件有区别,例如在高频时,一个实际的电阻器除具有电阻的作用外,还具有电感的作用。上述白炽灯主要起耗能作用,它的模型可以只由电阻元件构成。

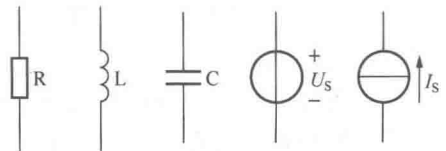


图 1-4 理想电路元件符号

后两种理想电路元件中,理想电压源和理想电流源是分别能够提供一定电压和电流,而无内部电能损耗的理想化电源,直流电压源内部有恒定的电动势 E ,直流电流源内部有恒定的电流 I_s 。上述蓄电池内部既有由化学作用形成的电动势,又在供电时有较小的能耗,它的模型可以由理想电压源和代表内阻的电阻元件串联构成。

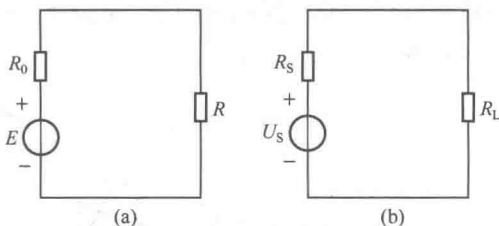


图 1-5 用理想电路元件绘制的电路图

(a) 图 1-3 (a) 的电路原理图;

(b) 图 1-3 (b) 的电路原理图

按照模型代替实体的原则,各种实际电路都可以近似地看作是由理想电路元件组成的理想化电路,这就是所谓的电路模型。可以通过分析电路模型来揭示实际电路的性能。在从工作原理上讨论电路问题时,所画电路图一般都是电路模型图,也叫电路原理图。例如图 1-3 所示的两个电路可以分别用图 1-5 所示的两个电路原理图表示,图 1-5 (a) 中 E 和 R_0 为蓄电池的电动势和内阻, R 为白炽灯的电阻,图 1-5 (b) 中 U_s 和 R_s 为话筒产生的感应电动势和话筒内阻, R_L 为扬声器的阻抗。

第二节 电路的基本物理量

电路的基本物理量主要有电流、电压、电位、电动势、电功率、电能等。

无论是传送电能的电路（习惯上又称为电力电路或强电电路），还是传递信号的电路（习惯上又称为电信电路或弱电电路），其作用都是通过电路中的电动势、电压和电流等有关物理量来实现的，所遵循的基本规律和分析电路的方法也是相同的。

一、电流及电流的参考方向

电荷有规则的定向移动形成电流。把每单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度，用以衡量电流的强弱。电流强度常简称为电流，用符号 $i(t)$ 表示，即

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

在国际单位制（SI）中，电流强度的单位为安培，简称安（A）。常用单位还有毫安（mA）、微安（ μA ）、千安（kA）等。本书的计算公式，如无特殊说明，均使用国际单位。

如果电流的大小恒定和方向不变，称为恒定电流，或直流电流（DC），用 I 表示。如果电流的大小和方向均随时间变化，称为交流电流（AC），用 i 表示。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。

电路理论中也规定正电荷运动的方向为电流的实际方向，但实际问题中电流的真实方向有时难以判定。对交流电路，电流的实际方向还随时间在变化。这时可引入参考方向这一概念，电流参考方向可以任意选定，电路图中用箭头表示，如图 1-6 所示。

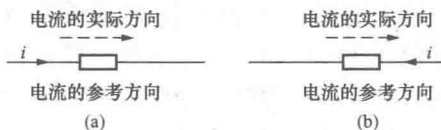


图 1-6 电流参考方向 and 实际方向的关系
(a) $i > 0$; (b) $i < 0$

规定：如果电流的实际方向与参考方向一致，电流取正值；如果两者相反，电流取负值。在分析电路时，可以任意假定电流的参考方向，并以此为准去进行分析、计算，从求得答案的正、负值来确定电流的实际方向。显然，在未假定参考方向的情况下，电流的正负是无任何实际意义的。对直流电路，电路结构和参数一旦确定，电流的实际方向就确定，不受参考方向的影响。

今后，电路图中所标的电流方向箭头都是参考方向，不一定是电流的实际方向。在任一时刻从任一元件一端流入的电流等于从它另一端流出的电流，流经元件的电流是一个可确定的量。具体使用中要结合电流的参考方向和具体数值，判断某一支路上电流的大小和方向。

【例 1-1】 图 1-7 (a) 所示的方框泛指元件。设 2A 的电流由 a 向 b 流过图中元件，试问该电流应如何表示？

解 (1) 用图 1-7 (b) 所示的 i_1 表示，而 i_1 应表示为 $i_1 = 2\text{A}$ 。

(2) 用图 1-7 (c) 所示的 i_2 表示，而 i_2 应表示为 $i_2 = -2\text{A}$ 。

对于简单电路，电流的实际方向根据电源极性很容易判断，当然可以直接标注实际方向，电流 I 自然是正值。然而实际电路往往比较复杂，各支路电流的实际方向在分析计算前不能预先知道，所以必须采用上述参考方向的表示方法，才能列出代数方程求解。因此一般

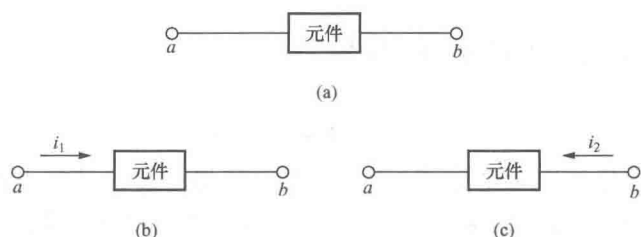


图 1-7 [例 1-1] 图

(a) 方框泛指元件; (b) $i_1 = 2\text{A}$; (c) $i_2 = -2\text{A}$

来说, 电路图中标注的电流方向都是参考方向, 不是实际方向。参考方向可以任意规定, 电流的实际方向可结合参考方向下的代数量 I 的正负来说明。

二、电压及电压参考方向

电荷在电场中, 必定要受到电场力的作用, 也就是说力对电荷做了功, 为了衡量其做功的能力, 引入“电压”这一物理量, 并定义为: 在电场中, 电场力把单位正电荷从电路的 A 点移到 B 点所做的功称为 AB 间的电压, 用 u_{AB} 表示, 即

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-2)$$

电压的国际单位为伏特, 简称伏 (V), 常用单位还有毫伏 (mV)、微伏 (μV)、千伏 (kV) 等。

如果电压的大小和极性都不随时间而变化, 这样的电压称为恒定电压或直流电压, 用 U 表示。如果电压的大小和极性都随时间变化, 则称其为交变电压或交流电压, 用 u 表示。

习惯上把电场力移动正电荷的方向规定为电压的实际方向。

但在实际电路中, 与电流一样, 也常需要设电压的参考方向, 且规定当其参考方向与电压的实际方向一致时, 电压值为正; 当参考方向与电压的实际方向相反时, 电压值为负。

在电路中表示电压的方向有三种: ①第一种方法是参考极性法, 即“+”、“-”号法, 常以“+”号表示电压的参考正极, 以“-”号表示电压的参考负极, 由“+”指向“-”的方向即为电压的参考方向, 如图 1-8 (a) 所示; ②第二种方法是箭头法, 其中箭头所指的方向表示电压的参考方向, 如图 1-8 (b) 所示; ③第三种方法是双下标法, 第一个下标为电压的参考正极, 第二个下标为电压的参考负极, 如图 1-8 (c) 所示。这三种表示方法实际上是等效的。在分析电路时, 只需任选一种标出即可。

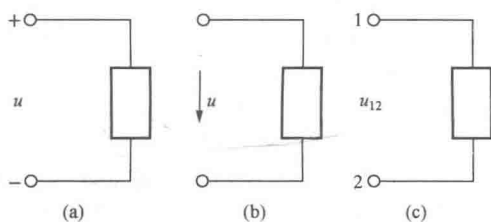


图 1-8 电压的参考方向表示方法

(a) 参考极性法; (b) 箭头法; (c) 双下标法

对同一电路, 当改变电压的参考方向后, 电压的绝对值不变, 但正、负号相反, 即 $U_{12} = -U_{21}$ 。

在以后的电路分析中, 完全不必考虑各电流、电压的实际方向究竟如何, 而应首先在电路图中标定它们的参考方向, 然后根据参考方向列写有关电路方程, 计算结果的正负值与标定的参考方向就反映了它们的实际方向, 图中也就不需再标出实际方向。参考方向一经选定, 在分析电路的过程中就不再变动。

对于同一个元件或同一段电路上的电压和电流的参考方向彼此原是可以独立无关地任意选定的, 但为方便起见, 习惯上常将电压和电流的参考方向选的一致称其为关联参考方向。为简单明了, 一般情况下, 只需标出电压或电流中的某一个的参考方向, 这就是意味着另一

个选定的是与之相关联的参考方向。

参考方向并不是一个抽象的概念,在用磁电系电流表测量电路中的电流时,该表带有“+”、“-”标记的两个端钮,事实上就已为被测电流选定了从“+”指向“-”的参考方向,见图 1-9。当电流的实际方向是由“+”端流入,“-”端流出,则指针正偏,电流为正值,如图 1-9 (a) 所示;若电流的实际方向是由“-”端流入“+”端流出,则指针反偏,电流为负值,如图 1-9 (b) 所示。

同样,磁电系电压表的“+”、“-”两端钮也为被测电压选定了参考极性。

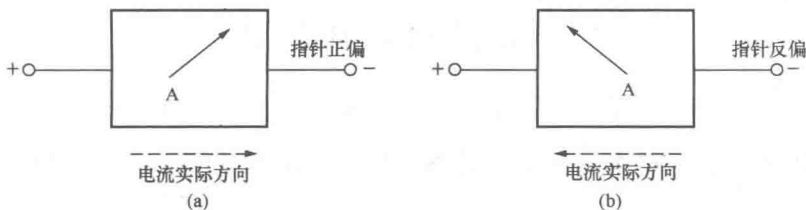


图 1-9 磁电系电流表与电流的方向

(a) 指针正偏, 电流为正值; (b) 指针反偏, 电流为负值

【例 1-2】 如图 1-10 (a) 所示元件两端电压为 1V, 已知正电荷由元件的 b 端移向 a 端且获得能量, 试标出电压的真实极性。试为该电压选择参考极性, 并写出相应的电压表示式。

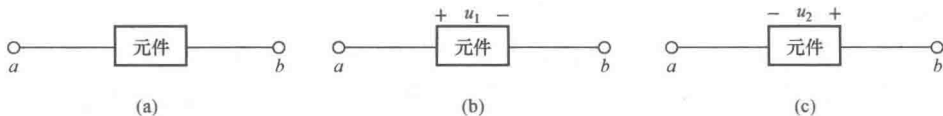


图 1-10 [例 1-2] 图

(a) 元件两端电压为 1V; (b) 电压参考极性为 a 端为+, b 端为-;

(c) 电压参考极性为 a 端为-, b 端为+

解 正电荷由 b 端转移到 a 端获得能量, 电压的真实极性是 a 端为+、 b 端为一。

因参考极性可以任意选取, 所以有两种结果:

(1) 当电压参考极性如图 1-10 (b) 所示, $u_1=1\text{V}$ 。

(2) 当电压参考极性如图 1-10 (c) 所示, $u_2=-1\text{V}$ 。

三、电位与电动势

1. 电位

在电路中任选一点 O 为参考点, 电场力把单位正电荷从电路中某点 (如 A 点) 移到参考点 O 所做的功, 称为该点 (A 点) 的电位, 用 V_A 表示。由定义, 有

$$V_A = U_{AO} \quad (1-3)$$

电路中某点的电位用注有该点字母的“单下标”的电位符号表示, 例如 A 点电位就用 V_A 表示。

电位实质上就是电压, 其单位也是伏特 (V)。

电路参考点本身的电位为零, 即 $V_O=0$, 所以参考点也称零电位点。电工技术中, 电路

如为了安全而接地的,常以大地为零电位体,接地点就是零电位点,是确定电路中其他各点电位的参考点。

电路中除参考点外的其他各点的电位可能是正值,也可能是负值。某点的电位比参考点高,则该点电位就是正值,反之则为负值。

以电路中的 O 点为参考点,则另两点 A 、 B 点的电位分别为 $V_A = U_{AO}$, $V_B = U_{BO}$, 它们分别表示电场力把单位正电荷从 A 点或 B 点移到 O 点所做的功,那么电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功即 U_{AB} , 就应该等于电场力把单位正电荷从 A 点移到 O 点,再从 O 点移到 B 点所做的功的和,即

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO}$$

即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

式 (1-4) 说明: 电路中 A 点到 B 点的电压等于 A 点电位与 B 点电位的差, 因此, 电压又叫电位差。

参考点是可以任意选定的, 一经选定, 电路中其他各点的电位也就确定了, 参考点选择得不同, 电路中同一点的电位会随之而变, 但任意两点的电位差即电压是不变的。

在电路中不指明参考点而谈某点的电位是没有意义的。在一个电路系统中只能选一个参考点。至于选哪点为参考点, 要根据分析问题的方便而定。在电子电路中常选一条特定的公共线作为参考点, 这条公共线常是很多元件的汇集处且与机壳相联, 因此在电子电路中参考点用接机壳的符号 “ $\perp$ ” 表示。

电位的几点说明:

(1) 电场力做正功时, 电位要降低, 因此电压的方向是从高电位端指向低电位端, 即电位降的方向。由于电位差等于电压, 因此电路中任一点的电位就等于该点到参考点的电压。

(2) 在电子电路中, 为了简化电路, 常对有一端接地的电源不再画出电源符号, 而是用电位值来表示电压的大小和极性。图 1-11 (b) 就是图 1-11 (a) 的习惯画法。

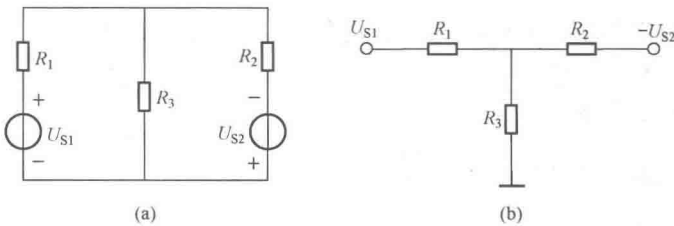


图 1-11 电路图的不同表示方法

(a) 电路图; (b) 电路图的习惯画法

(3) 如电路不接地, 又需要分析一些点的电位, 可以在电路中任选一点作为参考点。

2. 电动势

在前述的手电筒电路 (见图 1-1) 中, 干电池要向电路中的用电器件提供能量, 它所提供的电能实质是由其内部的化学能转换而来的。

在化学能的作用下把正电荷从负极经电源内部搬回到正极, 使电路中的电流能周而复始地流动。

电动势是单位正电荷从负极经电源内部转移到正极非电场力所做的功。实质上电路中的电动势概念与电压密切相关, 如设某一元件的电压为 u , 元件的电动势为 e , 则 $u = -e$ 。电动势的参考方向规定为由负极经电源内部指向正极。恒定 (直流) 电动势用字母 E 表示, 其单位也是伏特 (V)。

四、电功率

1. 功率的定义

电功率（简称功率）是表征电路元件中能量变换的速度，其值等于单位时间（秒）内元件所发出或接受的电能，用 p 表示，即

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

在直流电路中，功率可用式（1-6）计算，即

$$P = UI \quad (1-6)$$

功率的单位为瓦特（W），常用单位还有千瓦（kW）、毫瓦（mW）等。

2. 功率的计算

众所周知：电流通过电炉时将电能转换成热能。如果电流通过一个电路元件时，它将电能转换为其他形式的能量，表明这个元件是吸收电能的。在这种情况下，功率用正值表示，习惯上称该元件是吸收功率的。当电池向小灯泡供电时，电池内部的化学变化形成了电动势，它将化学能转换成电能。显然，电流通过电池时，电池是产生电能的，在电路元件中，如果有其他形式的能量转换为电能，即电路元件可以向其外部提供电能，这种情况下的功率用负值来表示，并称该元件是发出功率的。

当电压和电流是关联参考方向，可按式（1-6）计算元件的功率。

当 U 、 I 是非关联参考方向，应按式（1-7）计算元件的功率，即

$$P = -UI \quad (1-7)$$

由于电压与电流均为代数量，这样无论按式（1-6）或按式（1-7）计算出的结果 P 可正可负。当功率 $P > 0$ 时，表示元件实际消耗或吸收电能；当 $P < 0$ 时，表示元件实际发出或释放电能。式（1-7）中的“—”号只是说明 U 、 I 是非关联参考方向。

不论电压电流的参考方向是否相同，电阻元件上的功率永远为正值，计算公式为

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-8)$$

【例 1-3】 在图 1-12 (a) 和图 1-12 (b) 中，若电流均为 2A，且均由 a 流向 b ，求该两电路元件吸收或产生的功率。

解 设电流 i 的方向由 a 端指向 b 端，则 $i = 2A$ 。对图 1-12 (a) 所示元件来说，电压、电流是关联参考方向，故 $p = ui = 1 \times 2 = 2$ (W) (吸收功率)。

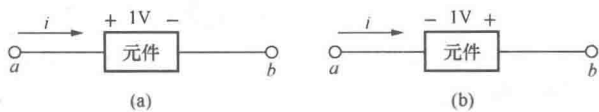


图 1-12 [例 1-3] 图

(a) u 、 i 关联参考方向；(b) u 、 i 非关联参考方向

对图 1-12 (b) 所示元件来说，电压、电流是非关联参考方向，故 $p = -ui = -1 \times 2 = -2$ (W) (产生功率)。

【例 1-4】 图 1-13 所示的两个元件均为电动势 $E = 10V$ 的电源，在各自标定的参考方向下，电流 $I = 2A$ ，试分别计算它们的功率。

解 计算电源的功率时应该注意，电动势与电压的实际方向相反。因此，当计算电源的功率时，只需考虑电源电压的实际方向（从“+”指向“—”）与流过电源的电流参考方向是否一致。若两者方向一致，则选用式（1-6）计算功率；反之，则选用式（1-7）计算。

图 1-13 (a) 中 $P_E = -UI = -10 \times 2 = -20$ (W) < 0 (发出电能)

图 1-13 (b) 中 $P_E = UI = 10 \times 2 = 20 \text{ (W)} > 0$ (消耗电能)

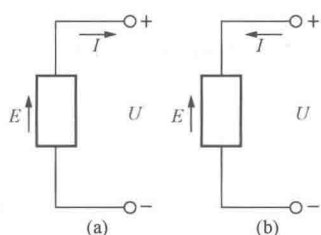


图 1-13 [例 1-4] 图

(a) 发出电能; (b) 消耗电能

由此可见, 当 E 与 I 的实际方向相同时, 电源处于供电状态, 图 1-13 (a) 便是这种情形。在多数情况下, 电源是发出功率的; 当电源的 E 与 I 的实际方向相反时, 电能被转换为其他形式的能量, 电源处于充电状态。当电源被充电时, 就说这个电动势为反电动势。例如, 蓄电池在电路中处于充电状态时, 其电动势就成为反电动势, 图 1-13 (b) 反映的就是这种状态。

五、电气设备的额定值

电气设备不仅规定了“额定电流” I_N 值, 还根据绝缘材料的击穿电压和使用条件规定了“额定电压” U_N 值和“额定功率” P_N 值。

例如, 白炽灯 (电灯)、电炉、电烙铁等, 通常给出额定电压 U_N 及额定功率 P_N , 如 220V、40W 的灯泡, 220V、45W 的电烙铁, 110V、2kW 的电炉等。

又如, 变阻器通常标明额定电流 I_N 和额定电阻 R_N (如 300Ω 、0.5A); 而电子电路中常用的金属膜电阻与线绕电阻都标明额定电阻及额定功率 (如 $10k\Omega$ 、1W, 500Ω 、5W 等)。

再如, 电容器, 除了给定其他数据外, 还要根据击穿电压进行选择。

虽然上述各种电器所标额定值的形式不同, 但实质上完全一样。因为在四个额定值 U_N 、 I_N 、 P_N 、 R_N 中, 只要任意给定两个, 其余两个就可以推算出来。

不过, 有一点是需要说明的, 即电器的额定值是指在“一定条件”下安全运行的限额; 但是, 如果条件变了, 或者采取了一定的措施, 那么, 这些限额是可以突破的, 不能把问题看死。

例如, 在制造电机时, 采取了各种散热的措施, 降低其温度, 这样, 在同样的允许温度下, 就可以流过更大的电流, 从而提高电机的使用功率。

第三节 欧 姆 定 律

一、欧姆定律

电阻元件是一个二端元件, 它的电流和电压的方向总保持一致, 它的电流和电压的大小成代数关系。电流和电压的大小成正比的电阻元件叫线性电阻元件。元件的电流与电压的关系曲线叫做元件的伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性为通过坐标原点的直线, 这个关系称为欧姆定律。即:

当 U 、 I 的参考方向一致时, 如图 1-14 (a) 所示, 欧姆定律可表示为

$$U = IR \quad (1-9)$$

当 U 、 I 的参考方向相反时, 如图 1-14 (b) 所示, 欧姆定律可表示为

$$U = -IR \quad (1-10)$$

这里应注意, 一个式子中有两套正负号, 公式中的正负号是根据电压和电流的参考方向得出的。此外, 电压和电流本身还有正值和负值之分。

R 为导体两端电压 U 与导体中的电流 I 的比值, 叫做导体的电阻, 即

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-11)$$

电阻的单位为欧姆 (Ω), 常用单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 等。电阻反映了导体对电流的阻碍作用。式 (1-11) 还可写为

$$I = \frac{U}{R} = GU \quad (1-12)$$

其中: G 为导体的电导, 它反映导体对电流的导通作用, 单位为西门子 (简称为 S)。如果导体两端的电压为 1V, 通过的电流为 1A, 则该导体的电导为 1S, 或其电阻为 1Ω 。电阻表示导体对电流的阻碍作用, 电导则说明导体的导电能力, 分别反映了导体特性的两个方面。显然, 同一导体的电阻与电导互为倒数, 即

$$G = \frac{1}{R} \text{ 或 } R = \frac{1}{G} \quad (1-13)$$

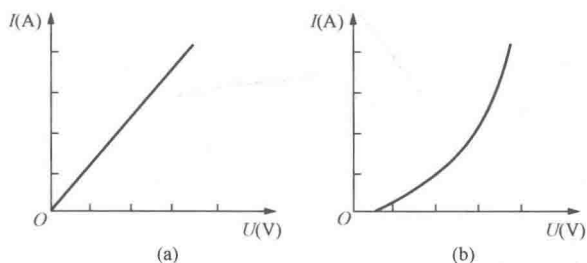


图 1-15 伏安特性曲线
(a) 线性电阻; (b) 非线性电阻

非线性电阻元件中的电流和端电压不是直线关系, 不遵守欧姆定律, 因此不能应用式 (1-9) ~ 式 (1-12) 来计算, 通常表示成 $I = f(U)$ 的形式, 图 1-15 (b) 所示曲线就是半导体二极管加正向电压时的伏安特性曲线 (半导体二极管可认为是非线性电阻元件)。

【例 1-5】 计算如图 1-16 所示电路的 U_{ao} 、 U_{bo} 、 U_{co} , 已知 $I_1 = 2A$ 、 $I_2 = -4A$ 、 $I_3 = -1A$; $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 2\Omega$ 。

解 R_1 、 R_2 的电压电流是关联参考方向, 故用式 (1-9) 计算电压

$$U_{ao} = I_1 R_1 = 2 \times 3 = 6(V),$$

$$U_{bo} = I_2 R_2 = -4 \times 3 = -12(V)$$

R_3 的电压电流是非关联参考方向, 故用式 (1-10) 计算电压

$$U_{co} = -I_3 R_3 = -(-1) \times 2 = 2(V)$$

二、一段有源支路的欧姆定律

一段有源支路的欧姆定律实质上就是求电路中两点 (如 A、B 点) 间的电压。电路中任意两点间 (如 A、B 点) 电压的求取, 可按“走路法”列写 U_{AB} 表达式。其步骤总结如下:

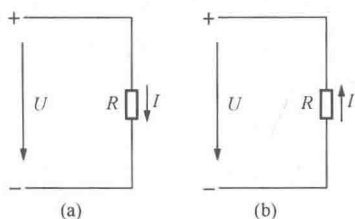


图 1-14 电阻元件的欧姆定律

(a) U 、 I 的参考方向一致;

(b) U 、 I 的参考方向相反

多数金属的电阻值是不随电流、电压而变的 (电阻为定值), 用这类金属材料制成的电阻元件叫做线性电阻元件。线性电阻元件中电流与其端电压的关系, 如图 1-15 (a) 所示, 是直线关系, 称为伏安特性曲线。还有一类电阻元件, 叫做非线性电阻元件, 当流过不同的电流或加上不同的电压时, 它们就有不同的电阻值 (电阻不为定值)。

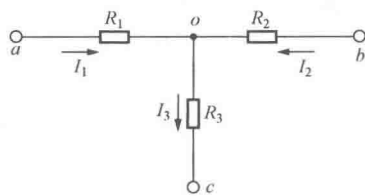


图 1-16 [例 1-5] 图