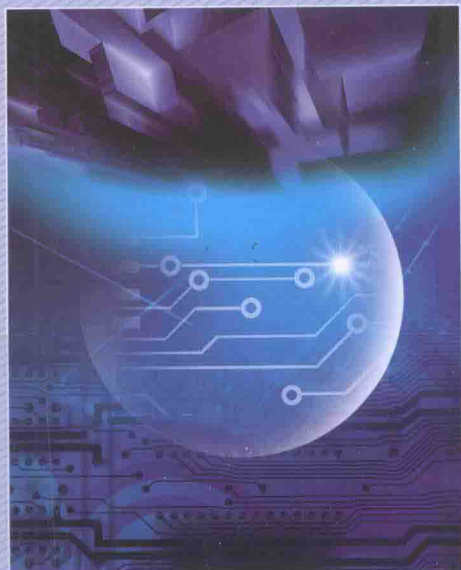


电工技术项目化教程

DIANGONG JISHU XIANGMUHUA JIAOCHENG

■ 贾玉凤 主编



电工技术项目化教程

主 编 贾玉凤

副主编 王红英 赵新丽 田治礼

参 编 王文杰 刘冬华 翟元园

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术项目化教程/贾玉凤主编. —北京:北京理工大学出版社, 2015. 8

ISBN 978 - 7 - 5682 - 1009 - 6

I. ①电… II. ①贾… III. ①电工技术 - 教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 179154 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 18.5

字 数 / 434 千字

版 次 / 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 48.00 元

责任编辑 / 李志敏

文案编辑 / 李志敏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

前言

Preface

《电工技术项目化教程》由多年从事教学、培训及科研的一线教师合作编写而成。依据工科专业人才培养目标，课程教学团队与行业企业专家共同对企业实际生产过程进行分解，根据职业岗位要求确定教学目标，根据工作任务整合教学内容，本教材注重真实工作场景与过程，重点突出基本技能，力求做到“实践性、综合性、可操作性”。本教材完成以下任务：使学生掌握电类专业必备的电工通用技术基础知识、基本方法和基本技能，具备分析和处理生产与生活中一般电工问题的基本能力，具备继续学习后续专业技能课程的基本学习能力，为获得相应的职业资格证书打下基础。同时，培养学生的职业道德与职业意识，提高学生的综合素质和职业能力，为学生职业生涯的发展奠定基础。

并且以维修电工相关知识点为主线，突出了新技术、新知识的学习与应用。

《电工技术项目化教程》明确了真实任务下学习的目标、任务等，依托真实的项目，注重学生的职业能力的训练和个性培养。坚持学生知识、能力、素质协调发展，适合作为高等学校以及高级技工院校电工类相关专业的教材，也特别适合作为从事电工生产和维修工作人员的参考用书。

本教材在内容取材及安排力求简明实用、通俗易懂。具有以下特点：

1. 以学生就业为导向、岗位职业能力为依据，遵循学生认知规律，紧密结合职业资格证书中的电工技能要求，确定本书的项目设计和教学内容。
2. 书中带“※”的内容，教师可根据实际情况需要取舍。
3. 本着“必需、够用”的原则，本书进一步适当降低理论深度，精简内容。在叙述上尽量避免烦琐的数学推导和论证，注重从实际的例子引出结论。
4. 理论与实践相结合，把电工电路设计、制作、测试与调试等能力作为基本目标，倡导通过仿真电路、技能训练的教学方法培养学生的自主学习能力和创新能力。

本书由贾玉凤担任主编，王红英、赵新丽、田治礼担任副主编。本教材共七个项目，具体编写分工如下：贾玉凤编写项目一、项目三、项目四；王红英编写项目二、项目五；赵新丽编写项目六；田治礼编写项目七；全书由贾玉凤负责统稿，王文杰、刘冬华、翟元园也参与了本书的部分编写。

在编写的过程中，编者参考和查阅了众多文献资料。在此，谨向参考文献的作者致以诚挚的谢意。

尽管编者为本书付出了很多，但毕竟时间仓促，限于编者的学术水平和教学经验，错误和不当之处在所难免，恳切希望使用本书的读者批评指正。

编者

2015年8月1日

目 录

Contents

▶项目一 电路基本定理及常用元器件的认识	1
1.1 电路和电路模型	2
1.1.1 电路及其功能	2
1.1.2 电路模型	3
1.2 电路的基本物理量	4
1.2.1 电流	4
1.2.2 电压	6
1.2.3 电功率、电能	8
1.3 电路的基本元件	10
1.3.1 电子元件	11
1.3.2 电源元件	30
1.4 电路的三种状态及电气设备的额定值	35
1.4.1 电路的三种状态	35
1.4.2 电气设备的额定值	37
1.5 基尔霍夫定律	38
1.5.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	39
1.5.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	40
项目小结	50
项目测试	51
▶项目二 直流电路的分析及测量	56
2.1 电阻的连接	57
2.1.1 等效网络	57
2.1.2 电阻的串联	57
2.1.3 电阻的并联	59
2.1.4 电阻的混联	61
2.1.5 电阻三角形与星形连接的等效变换	63
2.2 电压源与电流源的等效变换	67
2.3 支路电流法	69
2.3.1 支路电流法	70
2.3.2 支路电流法应用	71

※2.4 网孔电流法	73
2.4.1 网孔电流	73
2.4.2 网孔电流方程	73
2.4.3 网孔电流法应用	74
※2.5 节点电压法	76
2.5.1 节点电压	77
2.5.2 节点电压方程	77
2.5.3 节点电压法应用	78
2.5.4 弥尔曼定理	79
2.6 叠加定理	81
2.6.1 叠加定理	81
2.6.2 叠加定理应用	82
2.7 戴维南定理	84
2.7.1 戴维南定理	85
2.7.2 戴维南定理应用	86
2.7.3 最大功率传输	87
※2.8 受控源	89
2.8.1 受控源	89
2.8.2 含受控源的计算	89
项目小结	98
项目测试	100
▶项目三 日光灯电路的组成及分析	107
3.1 日光灯照明电路电源	108
3.1.1 正弦交流电的三要素	109
3.1.2 正弦交流量的相量表示	118
3.1.3 非正弦周期信号测试分析	122
3.2 基本电路元件测试分析	128
3.2.1 日光灯管——交流电路中纯电阻元件 R	128
3.2.2 镇流器——交流电路纯电感元件 L	129
3.2.3 交流电路中纯电容元件 C	132
3.3 正弦交流电路分析	134
3.3.1 RLC 串联电路分析	134
3.3.2 正弦交流电路的相量分析计算	139
3.4 正弦交流电路功率和功率因数提高测试分析	141
3.4.1 正弦交流电路功率	141
3.4.2 正弦交流电路功率因数提高	145
3.5 谐振电路测试分析	148
3.5.1 串联谐振	148

※3.5.2 并联谐振	152
项目小结	157
项目测试	158
▶项目四 三相正弦交流电路的连接及测试	160
4.1 三相交流电源	162
4.1.1 三相交流电源的产生	162
4.1.2 三相电源的连接	164
4.2 三相负载的星形 (Y) 连接	169
4.2.1 电路结构	169
4.2.2 电压、电流的基本关系	170
4.2.3 三相负载星形 (Y) 连接的电路计算	173
4.3 三相负载的三角形 (Δ) 连接	182
4.3.1 电路结构	182
4.3.2 电压、电流的关系	183
4.3.3 三相负载三角形 (Δ) 连接的电路计算	184
4.4 三相电路的功率	188
4.4.1 三相功率的一般关系	188
4.4.2 对称三相电路的功率关系	188
4.4.3 三相电路的功率因数	190
4.4.4 对称三相电路的瞬时功率	190
项目小结	198
项目测试	199
▶项目五 电磁铁和变压器电路组成及分析	201
5.1 磁场的基本物理量	202
5.1.1 磁场的基本物理量	202
5.1.2 磁通连续性原理和全电流定律	204
5.2 铁磁材料	207
5.2.1 铁磁材料的磁化	207
5.2.2 磁化曲线	207
5.2.3 磁滞回线	209
5.2.4 铁磁材料的磁性能	209
5.2.5 铁磁性材料的分类及其应用	210
5.3 磁路及磁路基本定律	211
5.3.1 磁路的概念	211
5.3.2 磁路欧姆定律	212
5.3.3 磁路基尔霍夫定律	213
5.3.4 简单磁路的分析计算	214

5.4 电磁铁	217
5.4.1 交流铁芯线圈	217
5.4.2 直流电磁铁	218
5.4.3 交流电磁铁	219
5.4.4 铁芯中的功率损耗	220
5.5 互感电路	223
5.5.1 互感电压	223
5.5.2 互感线圈同名端	225
5.5.3 互感线圈电路	227
5.6 变压器	230
※5.6.1 空心变压器	231
5.6.2 理想变压器	233
5.6.3 实际变压器的铭牌和技术数据	237
项目小结	242
项目测试	243
▶项目六 延时照明电路的设计及仿真调试	246
6.1 过渡过程和换路定律	247
6.1.1 过渡过程	247
6.1.2 换路定律	248
6.1.3 初始值的计算	249
6.2 一阶电路的响应	251
6.2.1 一阶 RC 电路响应的分析	251
6.2.2 一阶 RL 电路响应的分析	256
6.3 一阶电路的三要素法	259
项目小结	263
项目测试	265
▶项目七 电工基础综合应用——MF47 型万用表的安装与调试	267
7.1 万用表的结构与工作原理	268
7.1.1 万用表的种类	268
7.1.2 MF47 型指针式万用表	268
7.1.3 MF47 型万用表的结构特征	268
7.1.4 MF47 型指针式万用表的组成	269
7.2 万用表的安装与调试	270
7.2.1 MF47 型万用表的安装步骤	270
7.2.2 清点材料	270
7.2.3 焊接	273
7.3 故障的排除	276

7.3.1 表头没有任何反应	276
7.3.2 电压指针反偏	276
7.3.3 测电压示值不准	276
7.4 万用表的使用	276
7.4.1 MF47 型万用表的认识	276
7.4.2 读数	277
7.4.3 测量直流电压	277
7.4.4 测量交流电压	277
7.4.5 测量直流电流	277
7.4.6 测量电阻	277
7.4.7 使用万用表的注意事项	277
7.5 万用表装配	278
7.5.1 万用表装配时的要求	278
7.5.2 装配合格标准	278
▶项目测试答案	279
项目一 测试答案	279
项目二 测试答案	280
项目三 测试答案	280
项目四 测试答案	281
项目五 测试答案	282
项目六 测试答案	282
▶参考文献	283

项目一

电路基本定理及常用元器件的认识



【项目描述】

电路理论是电子科学技术的重要基础，它的一系列研究成果是电子科学技术赖以发展的理论支柱；它是一种重要工具，被广泛应用于电工技术和无线技术中。

在电路理论形成以前，它是物理学、电磁学的一个分支。随着电力和通信工程的发展，电路理论作为一门研究电路基本规律和分析方法的学科，目前已具有丰富的内容。它的理论和方法在许多领域中都得到了广泛应用。

本项目以日常汽车仪表盘的照明电路为例，如图 1-1、图 1-2 所示，介绍了电路和电路模型，电路的主要物理量，电流、电压参考方向的概念，着重阐述了电阻元件、电压源、电流源的元件特性及反映元器件连接特性的基本定律——基尔霍夫定律。

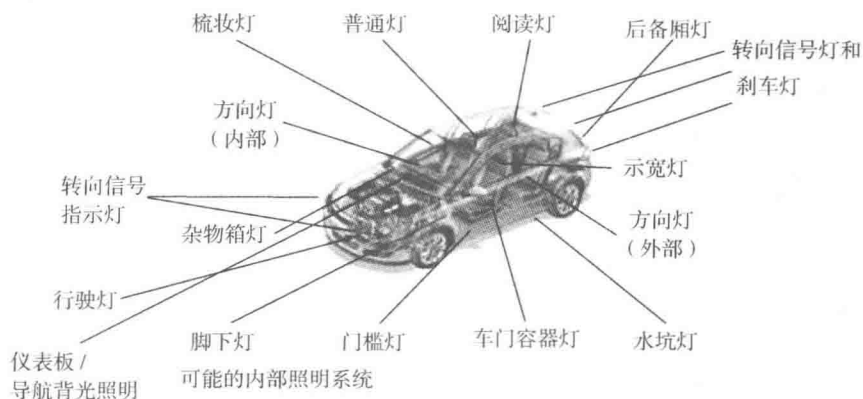


图 1-1 常见汽车的外部灯具

图 1-2 所示为简单的直流电路：电路断电器为联动开关，开关打至“Off”位置时，车

辆所有灯光关闭；打至“Park”位置时，车辆的小灯、尾灯和牌照灯亮，其余灯不亮；打至“Head”位置时，车辆仪表盘灯、小灯、尾灯和牌照灯亮，同时变光开关接通。当变光开关打至“Lo”位置时，车辆前灯左、右近光灯亮；当变光开关打至“Hi”位置时，仪表盘远光指示灯亮，同时车辆的左、右远光灯亮。

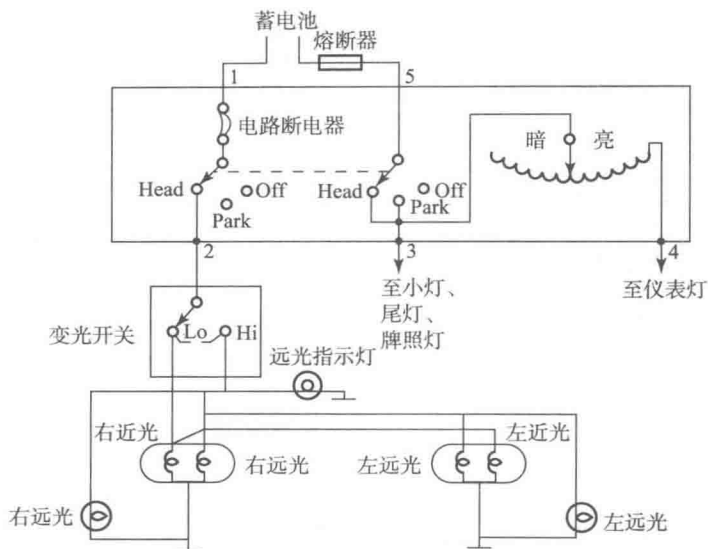


图 1-2 前照灯电路

【知识目标】

1. 掌握电路和电路模型的概念。
2. 掌握电流、电压、电位、电功率、电能等基本物理量。
3. 掌握电压、电流的参考方向和电路元件的伏安特性。
4. 掌握欧姆定律和基尔霍夫定律。

【技能目标】

1. 能够识别色环电阻的参数，正确使用万用表测量电阻的阻值，判断电阻器的质量。
2. 熟练使用万用表测量电压、电位及电流。
3. 正确读出各种数据，分析数据，判断电路的工作情况。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路及其功能

电在日常生活、生产和科研工作中的应用非常广泛。在收音机、音响设备、计算机、通信系统和电力网络中可以看到各种各样的电路，这些电路的特性和作用各不相同。电路通俗

地讲就是电流的路径，是各种电气元件按一定方式连接起来组成的总体。

按工作任务划分，电路的主要功能有两种：

(1) 进行能量的传输、分配和转换。例如，电力网络将电能从各发电厂输送到各工厂、农村和千家万户，供各种电气设备使用，如图 1-3 所示。在这些电路中，将其他能量转变为电能的设备称为电源；将电能转变为其他能量的设备称为负载；电源和负载之间的输电线、变压器、控制电器等是进行传输和分配的器件，统称为中间环节。



图 1-3 电能传输

(2) 进行信息的传递和处理。例如，电视接收天线将含有声音和图像信息的高频电视信号通过高频传输线送到电视机，这些信号经过选择、变频、放大和检波等处理后，恢复出原来的声音和图像信息，在扬声器中发出声音并在显像管屏幕上呈现出图像，如图 1-4 所示。

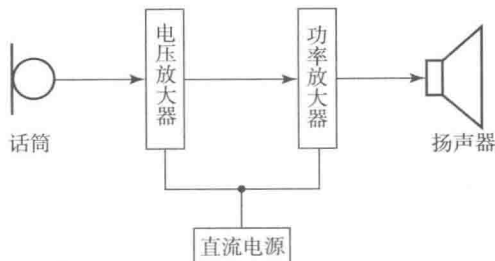


图 1-4 信号传输

1.1.2 电路模型

实际电路由各种作用不同的电路元件或器件组成，电路元件种类繁多、电磁性质复杂。为了便于对实际复杂问题进行研究，常常采用一种“理想化”的抽象方法，即把实际元件看作电阻、电感、电容、电源等几种理想的电路元件。例如，一个线圈在直流时就只需要考虑能耗；低频时只考虑其中的磁场和能耗，甚至有时只考虑磁场就可以了；但在高频时则应考虑电场的影响，考虑它的分布电容。因此，在建立电路模型时应指明它们的工作条件。

常见理想元件的名称和符号，如表 1-1 所示。

表 1-1 常见理想元件的名称和符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
导线	——	传声器	○	电阻器	—□—
连接的导线	—+—	扬声器	◁	可变电阻器	—□/—
接地	≡	二极管	— —	电容器	— —

续表

名称	符号	名称	符号	名称	符号
接机壳		稳压二极管		线圈、绕组	
开关		隧道二极管		变压器	
熔断器		晶体管		铁芯变压器	
灯		运算放大器		直流发电机	
电压表		电池		直流电动机	

用理想电路元件构成的电路叫作电路模型，电路模型将使电路的研究大大简化；用特定的符号代表元件连接成的图形叫作电路图。图 1-5 所示为照明电路的电路模型和电路图。

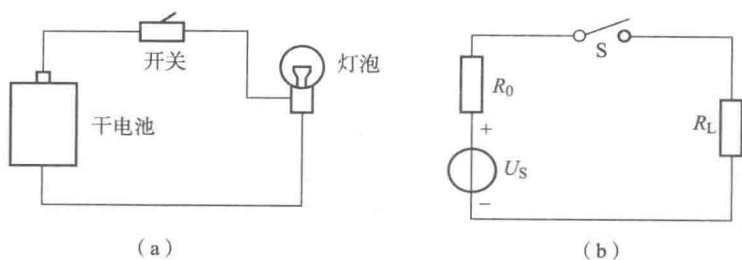


图 1-5 照明电路的电路模型和电路图

(a) 电路模型；(b) 电路图



思考题

- (1) 电路的主要功能有哪些？
- (2) 什么是电路模型？建立电路模型时应注意哪些问题？

1.2 电路的基本物理量

电路特性是由电流、电压和电功率等物理量描述的。电路分析的基本任务是计算电路中的电流、电压和电功率。

1.2.1 电流

电荷的定向移动形成电流，习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。表征电流

强弱的物理量叫作电流强度，简称电流，在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，设在 dt 时间内通过导体横截面的电荷为 dq ，则通过该截面的电流为

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

在一般情况下电流是随时间而变的，如果电流不随时间改变，即 $dq/dt = \text{常量}$ ，则这种电流称为恒定电流或直流电流，简称直流（DC），用大写字母 I 表示，它所通过的路径就是直流电路。在直流电路中，式（1-1）可写成

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

式中 Q ——时间 t 内通过导体截面的电荷量。

电流的 SI 单位是安 [培] (A)。除安培外，常用的电流单位还有 kA（千安）、mA（毫安）和 μA （微安），它们之间的换算关系是：

$$1 \text{ A} = 1 \times 10^3 \text{ mA} = 1 \times 10^6 \mu\text{A} \quad (1-3)$$

各种物理量的十进制倍数单位和分数单位都是在原单位前冠以词头构成，常用的倍数及分数单位的词头见表 1-2。

表 1-2 部分国际单位制词头

因数	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	吉	兆	千	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	m	μ	n	p

电流在导线或一个电路元件中流动的实际方向只有两种可能，如图 1-6 所示。当有正电荷的净流量从 A 端流入并从 B 端流出时，习惯上就认为电流是从 A 端流向 B 端；反之，则认为电流是从 B 端流向 A 端。电路分析中，有时对于某一段电路中电流实际流动方向很难立即判断出来，有时电流的实际方向还在不断地改变，因此很难在电路中标明电流的实际方向。由于这些原因，引入了电流“参考方向”的概念。



图 1-6 电流方向

在图 1-7 中先选定其中某一个方向作为电流的方向，则这个方向叫作电流的参考方向。电流的参考方向是任意指定的，在电路中一般用实线箭头表示；也可用双下标表示，如 I_{ab} ，其参考方向是由 a 指向 b。若需要标出电流的实际方向，则用虚线箭头表示。当然，所选的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。把电流看成代数量，若电流的参考方向与它的实际方向一致，则电流为正值 ($I > 0$)；反之，若电流的参考方向与它的实际方向相反，则电流为负值 ($I < 0$)。如图 1-7 所示。指定电流参考方向后，通过电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。因此，在参考方向选定之后，电流值才有正负之分，若未选定参考方向，则电流的正负值是毫无意义的。

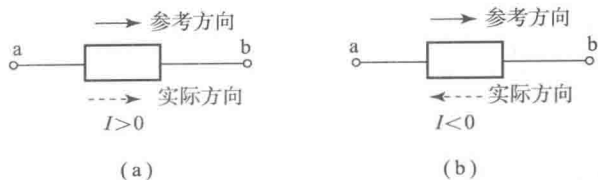


图 1-7 电流参考方向
(a) 电流为正值; (b) 电流为负值

1.2.2 电压

1. 电压

如图 1-8 所示, 电源的两个极板 a 和 b 上分别带有正、负电荷, 即这两个极板间存在一个电场, 其方向是由 a 指向 b。当用导线和负载将电源的正、负极连接成一个闭合电路时, 正电荷在电场力的作用下由正极 a 经导线和负载流向负极 b (实际上是自由电子由负极经负载流向正极), 从而形成电流。电压是衡量电场力做功能力的物理量。定义: a 至 b 间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷由 a 经外电路移到 b 所做的功。

电荷的单位为 C (库仑), 功的单位为 J (焦耳), 电压的单位为 V (伏特)。在工程中还可使用 kV (千伏)、mV (毫伏) 和 μV (微伏) 作为电压的计量单位。

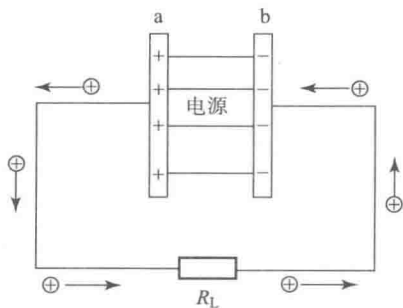


图 1-8 电场力对电荷做功

电压的实际方向为正电荷在电场中受电场力作用 (电场力做正功时) 而移动的方向, 用虚线箭头表示。与电流一样, 电压也有自己的参考方向, 也是任意指定的, 可以用实线箭头表示; 也可以用正 (+)、负 (-) 极性来表示, 正极指向负极的方向就是电压的参考方向; 还可以用双下标表示, 如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间电压的参考方向由 A 指向 B (见图 1-9)。显然, $U_{AB} = -U_{BA}$ 。同样, 在指定的电压参考方向下计算出的电压值的正和负, 就可以反映出电压的实际方向。

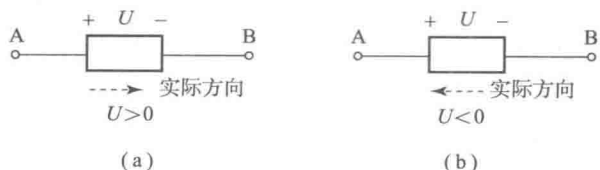


图 1-9 电压的参考方向
(a) 电压为正值; (b) 电压为负值

“参考方向”在电路分析中起着十分重要的作用。

对一段电路或一个元件上电压的参考方向和电流的参考方向可以独立且任意指定。如果指定电流从电压“+”极性的一端流入，并从标以“-”极性的另一端流出，即电流的参考方向与电压的参考方向一致，则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向。反之，则为非关联参考方向。

2. 电动势

如图 1-8 所示，当电源与负载电阻 R_L 接通时，正电荷从电源的正极经外电路负载电阻 R_L 移向电源的负极形成电流，电场力对正电荷做功。这时，如果不把移至电源负极的正电荷再搬回正极，则两极的电荷将逐渐减少，两极间的电场逐渐减弱，电压也越来越低。最终，当两极的电荷减少到零时，电源两端电压也等于零，外电路中也就不再有电流通过了。要维持电路中的电流，电源内部必须有一种非静电力，以克服电荷间的静电力做功，不断把正电荷从负极分离出来并搬回正极。电动势即是用来衡量电源内部非静电力做功本领大小的物理量，用字母 E 表示。

电动势的单位与电压的单位相同，也是伏（V）。电动势的真实方向与电源工作时其内部电流的真实方向（正电荷移动的方向）相同，即由负极指向正极。

3. 电位

电位是电路分析中经常用到的一个概念。尤其是在电子线路中，常用电位的概念来分析电路的工作状态。另外，应用电位的概念还可以简化电路图的画法，使我们分析起来更加清晰、方便。

在分析复杂电路（特别是电子线路）中的电压时，如果对电路中的每一个电压，都要指明是哪两点的电压会显得很烦琐。如果选择电路中的某一点作为所有电压的公共参考负极，即电路中所有电压的参考负极都指这一点，这样就可以大大简化对电压的分析。这个作为“公共参考负极”的点称为参考点，参考点一般用符号“ \perp ”表示。

在电路中任选一点为参考点，则某点到参考点的电压就叫作该点（相对于参考负极）的电位。因参考点在电路中的电位为零，故参考点又称为零电位点，如图 1-10 所示。电位用字母 V 表示，A 点电位记作 V_A 。

如当选择 O 点为参考点时，则

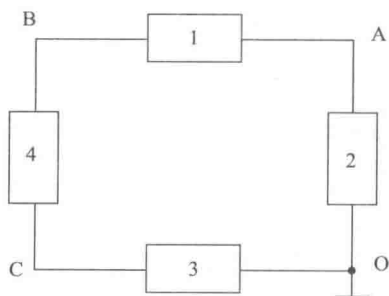


图 1-10 电位

$$\begin{cases} V_A = U_{AO} \\ V_B = U_{BO} \\ V_C = U_{CO} \end{cases} \quad (1-4)$$

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

即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-5)$$

所以，两点间的电压就是该两点电位之差，电压的实际方向是由高电位点指向低电位点，有时也将电压称为电压降。如果 $V_A > V_B$ ，A 点电位高于 B 点电位，则 $U_{AB} > 0$ ；如果 $V_A < V_B$ ，A 点电位低于 B 点电位，则 $U_{AB} < 0$ 。同样的道理，若一点的电位高于参考点，则该点电位为正；若一点的电位低于参考点，则该点电位为负。

电路中如果两个点电位相等，就把这两点叫作等电位点。两个等电位点之间的电压为零。

【特别提示】

电路中各点的电位值与参考点的选择有关，当所选的参考点变动时，各点的电位值将随之变动，但电压与参考点的选择无关。因此，参考点一经选定，则在电路分析和计算过程中不能随意更改。

1.2.3 电功率、电能

在讨论一个电路系统的输入和输出时，经常会涉及电功率和电能，同时，任何一个电子元器件在使用时都有功率大小的限制。因此，电功率和电能也是电路的基本物理量。

电子元器件与电源一起连接形成回路，当电流通过电子元器件时，电源释放或发出电能，而电子元器件吸收或消耗电能。把单位时间内电路吸收或释放的电能定义为电路的电功率，简称功率，用字母 P 表示。习惯上，把发出或吸收电能说成发出或吸收功率。

如果选择一段电路的电压和电流的参考方向是关联参考方向，那么这段电路吸收的电功率按下式计算

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

功率的国际制单位是瓦特，简称瓦 (W)。工程中还会用到千瓦 (kW) 及毫瓦 (mW) 等。它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kW} = 1 \times 10^3 \text{ W} = 1 \times 10^6 \text{ mW} \quad (1-7)$$

由于电压和电流都是代数量，因此功率也是代数量。因为计算的是电路吸收的功率，所以如果功率 $P > 0$ ，自然表明这段电路是吸收功率；如果 $P < 0$ （即吸收的功率为负），则表明该段电路实际上是发出功率。

如果选择这段电路的电压和电流的参考方向是非关联参考方向，那么这段电路吸收的电功率就该按下式计算

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

所以，在计算功率时，应特别注意要根据电压、电流参考方向是否关联来选用相应的功率计算公式。

【特别提示】

根据能量守恒定律，一个电路中，一部分元件发出的电能一定等于其他部分元件吸收的电能。因此，在一个电路中，每一瞬间发出功率的各元件的功率总和等于吸收功率的各元件的功率总和，一正一负，电路总功率为零，这一结论称为功率平衡。功率平衡是用来检验电路计算结果是否正确的重要标准。