

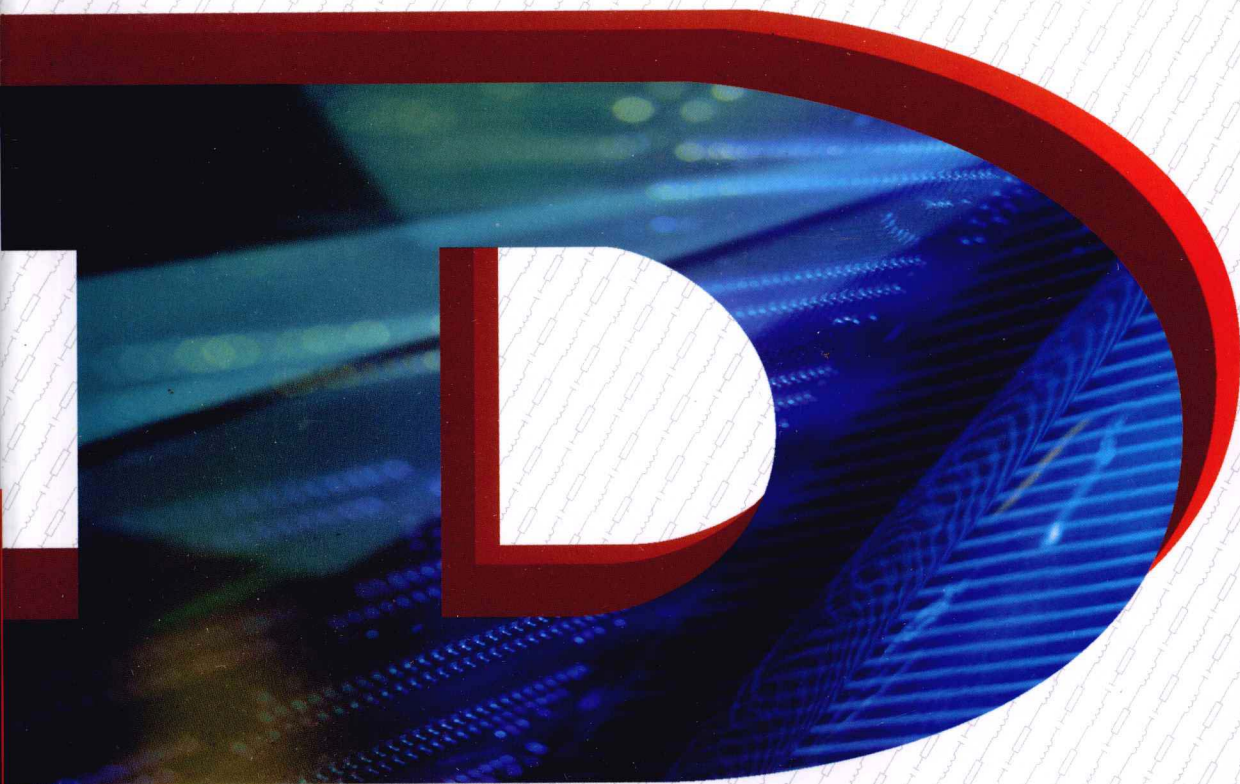
“十一五” 高职高专电气电子相关专业规划教材



DIANGONG JISHU

# 电工技术

● 郝文玲 主编



河南科学技术出版社



# 电工技术

第 2 版

机械工业出版社

“十一五”高职高专电气电子相关专业规划教材

# 电工技术

郝文玲 主编

河南科学技术出版社

·郑州·

## 内 容 提 要

本教材共9章,按内容分为三部分:第一部分为电路(第1章至第4章),内容有电路的基本定律与基本分析方法、正弦交流稳态电路、一阶电路暂态分析;第二部分为电机与控制(第5章至第7章),内容有变压器、异步电动机、继电—接触器控制系统;第三部分为电工测量与安全用电(第8章和第9章),内容有电工测量仪表、电工测量、安全用电。每章中穿插有典型的例题,章末配有小结和一定数量的思考与练习题,有利于学生巩固概念、加强训练,掌握理论知识与解题技巧。

本教材适用于高职高专机电、电子、通信等专业,并可作为成人教育、职工培训的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工技术/郝文玲主编. —郑州:河南科学技术出版社, 2009. 9  
(“十一五”高职高专电气电子相关专业规划教材)  
ISBN 978 - 7 - 5349 - 4296 - 9

I. 电… II. 郝… III. 电工技术 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 076566 号

---

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028 65788613

网址: [www. hnstp. cn](http://www.hnstp.cn)

策划编辑: 孙 彤

责任编辑: 张 恒

责任校对: 张 建

封面设计: 李 冉

版式设计: 栾亚平

责任印制: 朱 飞

印 刷: 河南新丰印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 12.75 字数: 309 千字

版 次: 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

---

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系并调换。

# 序

---

从20世纪90年代末开始,我国高等职业教育进入了快速发展时期。目前,我国高等职业教育的规模,无论是院校数量还是学生数量,都占据了高等教育总规模的半壁江山。高等职业教育是高等教育的一种新类型,承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式培养高综合素质、高技能人才的任务。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业对高综合素质、高技能专业人才的需求更为迫切。面对这一形势,高职高专院校的电气电子相关专业根据市场和社会需要,开展教学研究和改革,更新教学内容,改进教学方法,推进精品专业、精品课程和教材建设,取得了丰硕的成果。及时总结这些成果并以教材形式予以体现,推广至更多的院校,无疑是一件意义深远的事情。为了适应高职高专教学改革的需要,鼓励教师编写富有特色的教材,促进高职高专电气电子相关专业教学质量的不断提高,河南科学技术出版社根据共同参与、共同建设、共同发展的原则,组织编写了《“十一五”高职高专电气电子相关专业规划教材》。

本套教材涵盖了高职高专电气电子相关专业的专业基础课、主干专业课和实训课。本套教材按照高职教育“以服务为宗旨,以就业为导向”的指导思想和培养高综合素质、高技能人才的基本要求组织编写,对传统的课程体系和教学内容进行了整合和更新,精简了理论内容,突出了专业技能和理论知识应用能力的培养,缩短了学生专业技能与生产一线需求的距离,进一步体现了高职教育的人才培养特色。

参加本套教材编写的作者都是长期从事高职高专教学工作的教师,他们对高等职业技术人才的培养、对电气电子相关专业的课程体系和教学改革具有深刻的理解和思考,在教学实践中积累了丰富的经验。从某种意义上说,本套教材是有关高职高专院校电气电子相关专业多年教学改革成果的体现和凝练。相信这套教材将在高职高专教学工作中发挥积极的作用,并期待着她不断完善,成为高职高专教材中的精品体系。

刘宪林

2008年12月1日

## “十一五” 高职高专电气电子相关专业规划教材 编审委员会名单

主 任 刘宪林

副主任 (按姓氏笔画排序)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 王玉中 | 宁玉伟 | 祁和义 | 李新德 |
| 肖 珑 | 员 莹 | 宋海军 | 张惠敏 |
| 张新成 | 赵 军 | 赵章吉 | 耿长清 |
| 徐其兴 | 徐思成 | 高士忠 | 董作霖 |

委 员 (按姓氏笔画排序)

|      |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|
| 上官同英 | 付 涛 | 刘素芳 | 许春香 |
| 牟光臣  | 李 伟 | 李德明 | 杨志帮 |
| 张伟敏  | 张志军 | 张桂香 | 张湘洁 |
| 周 铜  | 郑文杰 | 赵新颖 | 郝文玲 |
| 姚 燕  | 梅 杨 | 雷万忠 | 蔡振伟 |

# 前 言

---

为更好地适应高等职业教育迅猛发展的需要,培养面向生产、管理第一线的高级应用型人才,我们遵循高职高专理论知识“必需、够用”的原则来编写本教材,力求做到在学生掌握基本知识的基础上,强化其操作技能和综合能力的培养,使学生既有看懂电路原理图的能力,又有正确选择合适的电路元器件的能力。

本教材与牟光臣老师主编的《电子技术》(河南科学技术出版社出版)相配套,为“电工学”教材,亦可作为《电工技术》教材单独使用。本教材参考学时为56~72学时,学时不够的可根据实际情况少讲些内容。

本教材分三部分,共9章。第一部分为电路,第1章至第4章,内容有电路的基本定律与基本分析方法、正弦交流稳态电路、一阶电路暂态分析。第二部分为电机与控制,第5章至第7章,内容有变压器、异步电动机、继电—接触器控制系统。第三部分为电工测量与安全用电,第8章和第9章,内容有电工测量仪表、电工测量、安全用电。

本教材每章末有小结,并有一定数量的思考题和练习题,有利于学生巩固概念、加强训练,掌握理论知识与解题技巧。

本教材由焦作大学郝文玲副教授担任主编,由济源职业技术学院张庆胜和河南质量工程学院魏波担任副主编。第1章和第8章由焦作大学郝文玲编写,第2章和第3章由济源职业技术学院张庆胜编写,第4章由焦作大学卢永芳编写,第5章和第9章由河南质量工程学院魏波编写,第6章由济源职业技术学院赵占全编写,第7章由河南工业贸易职业学院党霞编写。

由于编者水平有限,教材中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2009年4月

## 《电工技术》编写人员

主 编 郝文玲

副主编 张庆胜 魏 波

编 者 (按姓氏笔画排序)

卢永芳 张庆胜 赵占全 郝文玲

党 霞 魏 波

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第1章 电路的基本概念和基本定律 ..... | 1  |
| 1.1 电路与电路模型 .....      | 1  |
| 1.2 电路的基本物理量 .....     | 2  |
| 1.3 电路的状态 .....        | 7  |
| 1.4 电路的基本定律 .....      | 9  |
| 1.5 电路的等效 .....        | 14 |
| 1.6 电压源与电流源 .....      | 20 |
| 1.7 受控源 .....          | 24 |
| 1.8 支路电流法 .....        | 26 |
| 1.9 叠加定理 .....         | 28 |
| 1.10 截维南定理与诺顿定理 .....  | 30 |
| 小结 .....               | 33 |
| 思考与练习 .....            | 34 |
| 第2章 单相正弦交流电路 .....     | 38 |
| 2.1 正弦交流电的基本概念 .....   | 38 |
| 2.2 正弦量的相量表示法 .....    | 41 |
| 2.3 单一参数的正弦交流电路 .....  | 43 |
| 2.4 $RLC$ 串联交流电路 ..... | 49 |
| 2.5 并联交流电路 .....       | 54 |
| 小结 .....               | 60 |
| 思考与练习 .....            | 61 |
| 第3章 三相正弦交流电路 .....     | 64 |
| 3.1 三相正弦交流电源 .....     | 64 |
| 3.2 三相负载的连接 .....      | 67 |
| 3.3 三相电路的分析 .....      | 68 |
| 3.4 三相电路的功率 .....      | 72 |
| 小结 .....               | 73 |
| 思考与练习 .....            | 74 |
| 第4章 电路的暂态分析 .....      | 75 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 4.1 概述 .....                  | 75  |
| 4.2 换路定律与初始值的确定 .....         | 76  |
| 4.3 $RC$ 电路的暂态分析 .....        | 77  |
| 4.4 $RL$ 电路的暂态分析 .....        | 85  |
| 小结 .....                      | 87  |
| 思考与练习 .....                   | 88  |
| <b>第5章 磁路和变压器</b> .....       | 91  |
| 5.1 磁路 .....                  | 91  |
| 5.2 交流铁芯线圈电路 .....            | 97  |
| 5.3 电磁铁 .....                 | 98  |
| 5.4 变压器的基本结构与工作原理 .....       | 100 |
| 5.5 特殊变压器 .....               | 106 |
| 小结 .....                      | 108 |
| 思考与练习 .....                   | 108 |
| <b>第6章 电动机</b> .....          | 110 |
| 6.1 三相异步电动机的结构 .....          | 110 |
| 6.2 三相异步电动机的工作原理 .....        | 112 |
| 6.3 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性 .....   | 116 |
| 6.4 三相异步电动机的运行特性与额定值 .....    | 120 |
| 6.5 三相异步电动机的启动、反转、制动与调速 ..... | 122 |
| 6.6 单相异步电动机 .....             | 129 |
| 6.7 三相同步电机 .....              | 132 |
| 6.8 直流电动机 .....               | 135 |
| 6.9 电动机的选择 .....              | 140 |
| 6.10 微型电机 .....               | 141 |
| 小结 .....                      | 145 |
| 思考与练习 .....                   | 146 |
| <b>第7章 继电—接触器控制系统</b> .....   | 147 |
| 7.1 常用控制电器 .....              | 147 |
| 7.2 三相笼型异步电动机直接启动控制电路 .....   | 155 |
| 7.3 三相笼型异步电动机正反转控制电路 .....    | 157 |
| 7.4 顺序控制 .....                | 159 |
| 7.5 行程控制 .....                | 160 |
| 7.6 时间控制 .....                | 161 |
| 小结 .....                      | 161 |
| 思考与练习 .....                   | 162 |
| <b>第8章 电工测量</b> .....         | 163 |
| 8.1 概述 .....                  | 163 |
| 8.2 电工仪表的分类 .....             | 163 |

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| 8.3 测量误差 .....        | 164        |
| 8.4 常用电工仪表的工作原理 ..... | 165        |
| 8.5 常用电量的测量方法 .....   | 168        |
| 8.6 万用表 .....         | 171        |
| 8.7 电桥 .....          | 174        |
| 8.8 兆欧表 .....         | 176        |
| 小结 .....              | 178        |
| 思考与练习 .....           | 178        |
| <b>第9章 安全用电</b> ..... | <b>179</b> |
| 9.1 触电的方式 .....       | 179        |
| 9.2 触电保护与急救措施 .....   | 181        |
| 9.3 保护接地与保护接零 .....   | 183        |
| 9.4 静电的危害与防护 .....    | 184        |
| 9.5 雷电防护 .....        | 187        |
| 小结 .....              | 189        |
| 思考与练习 .....           | 189        |
| <b>参考文献</b> .....     | <b>191</b> |

# 第 1 章 电路的基本概念和基本定律

电路的基本概念与基本定律是分析与计算电路的基础；分析与计算电路的基本方法又是模拟电路、数字电路、机电控制与测量等的基础知识。

本章主要介绍电路模型，电压、电源的参考方向，电位的基本概念，基尔霍夫定律定理及各有关参考方向的规定。应重点掌握利用电压源、电流源的基本特性简化电路的方法，各种分析与计算电路方法的要点及适用范围。

## 1.1 电路与电路模型

### 1.1.1 电路

电路是由电源、中间环节和负载组成的。

电路按其功能可分为两大类：第一类是能量的产生、传输、分配电路，其典型例子是电力系统的输电线路。在电力电路中，发电厂将各种不同形式的能量（如热能、风能、光能等）转变成电能；负载将电能转变为机械能、光能、热能等；中间环节（如变压器、高低压输电线路）起控制、传输和分配电能以及保护电路中的电器设备的作用。

第二类是信息的传递与处理电路。在这类电路中，起电源作用的常称为信号源，又称为激励。这类电路的中间环节由电子设备组成，主要起信号的处理、放大、传输和控制等作用。起负载作用的是各种终端设备。在这类电路中，传递的是各种信息，而不特别强调传输系统中的能量大小，信息的传递与处理电路的输出信号称为响应。

### 1.1.2 电路模型

先看一个例子：图 1-1 是一个大家都熟悉的手电筒的实际电路结构示意图。图中，电池是产生电能的元件，它将化学能转变成电能，称为电源；灯泡是消耗电能的电路元件，它将电能转变成光能，称为负载；开关是控制电路的接通与断开的元件；导线起传输电能的作用。

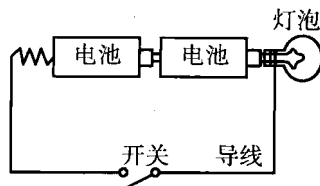


图 1-1 手电筒电路

不同电路中电路元器件的几何尺寸、结构都不相同。

为了对复杂的实际问题进行研究，在理论分析中常把工程实际中的各种设备和电路元器件用有限的几个理想化的电路元件来表示。例如，电阻只具有消耗电能的特性，我们便将具有这一特性的电灯等元器件都用电阻来代替。虽然这种替代会带来一定的误差，但在一定条件下可以忽略，在实际问题中需要更精确研究时，再考虑由这种替代所带来的误差。

由理想电路元器件构成的电路叫做电路模型，用规定的符号表示实际电路元器件连接



的图形叫做电路图。

一般的理想元件具有两个端钮称为二端元件。另外还有四端元件,如理想变压器等。没有说明具体性质的二端电路元件用方框符号表示,如图 1-2a 所示,它只表示抽象的一般二端电路元件,其具体性质可根据该元件上物理量的关系来确定。图 1-2b 所示符号表示电池,长线代表正极,短线代表负极(短线也可画粗些)。图 1-2c 所示为理想电压源的符号,其正、负极标在圆圈外面。图 1-2d 为表示理想电阻元件的一般符号,它在误差允许条件下可表示如电灯、电烙铁等有耗能的这类电路元件。

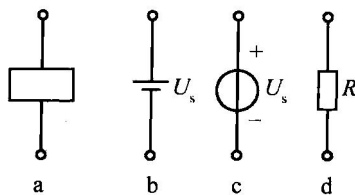


图 1-2 部分二端电路元件符号

图 1-3 是一个最简单的电路模型(也是图 1-1 的电路模型)。图中  $U_s$  是一个理想电压源,给电路提供电能; $R$  是理想电阻元件,只消耗电能; $S$  是开关元件,控制电路的接通与断开;连接这三个元件的细实线是理想导线,起传输电能的作用。

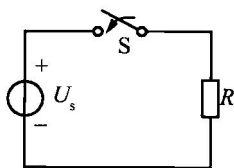


图 1-3 简单电路模型

需要说明的是,图 1-3 的电路模型描述的电路称为集总参数电路。这种电路模型中的各元件被认为没有几何尺寸概念,好比在一定条件下将某物体看做质点一样。

## 1.2 电路的基本物理量

在电路问题中,需要分析和研究的物理量很多,但主要的是电流、电压和电功率。其中,电流、电压是电路中的基本物理量。本节对这些物理量及其相关概念进行简要介绍。

### 1.2.1 电流

电荷的定向移动形成电流。电流的大小用在单位时间内通过导体某一横截面的电荷来度量。若在  $\Delta t$  时间内通过横截面  $S$  的电荷为  $\Delta q$ ,则通过该截面的电流为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1)$$

在极限情况下有

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-2)$$

式中, $q(t)$  表示  $q$  的大小随时间变化; $dq(t)$  表示  $dt$  时间内通过导体横截面的电荷; $i(t)$  表示电流的大小随时间变化。

式(1-2)表明,在一般情况下,电流是随时间变化的。如果电流不随时间变化,即  $dq/dt = \text{常数}$ ,则这种电流就称为恒定电流,简称直流。于是式(1-2)可写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-3)$$

原表示电流强弱的“电流强度”现已废弃,这样“电流”一词便具有双重含义,既表示电荷定向运动的物理现象,又表示电流的强弱。在我国法定计量单位中,电流的单位是安培(A),简称安。在计量大电流时,以千安(kA)为单位;计量微小电流时,以毫安(mA)或微安( $\mu\text{A}$ )为单位。

电流的方向规定为正电荷运动的方向,这一方向称为真实方向。在简单电路中,电流的真实方向是显而易见的,即从电源的正极流出,从电源的负极流入。但是,在一些复杂的电路中,电流的真实方向不易确定,如图1-4中电阻 $R_6$ 上的电流,其真实方向可能会出现三种情况:从A流向B,从B流向A,电流为零。

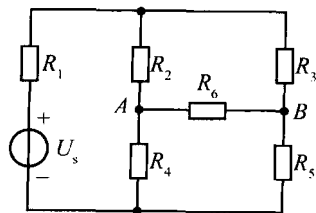


图1-4 电路举例

因此,电流可以用代数量描述,用箭头标定正方向,即假定正电荷的运动方向(称为参考方向)。若真实方向与参考方向一致,则电流为正值;若真实方向与参考方向相反,则电流为负值。本教材中电路图所示的电流方向都是选定的电流参考方向。由式(1-1)和式(1-3)可知,电流的单位安培(A)、电荷的单位库仑(C)和时间的单位秒(s)之间的关系为

$$\text{安(A)} = \frac{\text{库(C)}}{\text{秒(s)}} \quad (1-4)$$

式(1-4)表明,若1s内通过导体横截面的电荷为1C,则电流为1A。

电流可能随时间以不同的规律变化或无规律变化,图1-5给出了一些例子。

图1-5a是按正弦规律变化的电流;图1-5b是无规律变化的电流;图1-5c是恒定不变的电流。

图1-5a所示的有正负变化的电流称为交流电流,简称交流(Alternating Current, AC),用小写字母*i*或*i(t)*表示;图1-5c所示的大小恒定不变的电流称为直流电流,简称直流(Direct Current, DC),用大写字母*I*表示。

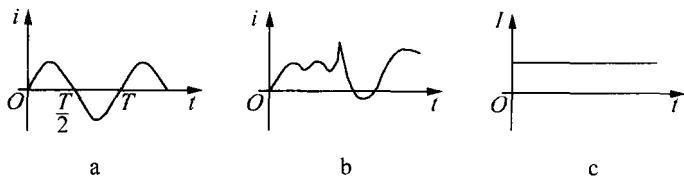


图1-5 几种不同的电流变化

### 1.2.2 电压、电位、电动势

1. 电压 在电源的外部电路中要使电荷运动形成电流,电荷上必须有电场力的作用。如图1-6所示,电源的A极板带正电荷,B极板带负电荷,因而两极板间形成电场,其方向由A指向B。当用导线将负载与电源的正、负极板连接成一个闭合电路时,正电荷将在电场力作用下由正极板A经导线和负载向负极板B(实际上是自由电子由负极板B经导线和负载向正极板A)运动而形成电流,这时电场力对正电荷做功,电场力做功的大小用电压来衡量。

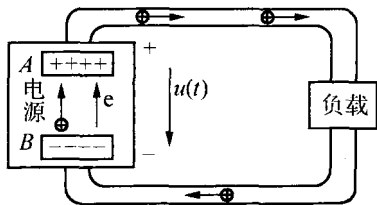


图1-6 电压与电动势

A、B两点间的电压用 $u(t)$ 或 $u_{AB}$ 表示,在数值上等于单位正电荷在电场力的作用下,由A点经外电路移动到B点电场力所做的功。若电场力移动的电荷为 $dq(t)$ ,所做的功为 $dw(t)$ ,则A、B两点间的电压 $u(t)$ 为

$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1-5)$$

在国际单位制中, 电压的单位为伏特 (V)。它与功、电荷单位的关系为

$$\text{伏(V)} = \frac{\text{焦(J)}}{\text{库(C)}} \quad (1-6)$$

式 (1-6) 表明, 1 C 的正电荷在电场力的作用下从 A 运动到 B 做 1 J 的功, 则 A、B 间的电压为 1 V。在理论计算和工程实际中, 较大的电压用千伏 (kV) 作单位, 较小的电压用毫伏 (mV) 或微伏 ( $\mu\text{V}$ ) 作单位。对于外电路, 电压的真实方向规定为正电荷运动的方向。如图 1-6 所示, 正电荷经负载由 A 向 B 运动, 若用箭头表示 A、B 间的电压方向, 则箭头由 A 指向 B; 若用 “+”、“-” 表示, 则 A 处为 “+”, B 处为 “-”。

如果两点间的电压随时间发生变化, 则称为交流电压, 用  $u(t)$  表示。如果两点间的电压不随时间变化, 则称为直流电压, 用大写字母  $U$  表示, 这种电压也称恒定电压。

2. 电位 电位是衡量电路中各点所具有的电位能大小的物理量。通常将电路中的某点选为电位参考点, 并设该点电位为零, 则电路中的任一点与参考点之间的电位差称为该点的电位。电位的数值等于电场力将单位正电荷从给定点移动到参考点 (又称零电位点或接地点) 所做的功。在电路分析中用小写字母  $v$  或  $v(t)$  表示变化的电位, 用大写字母  $V$  表示恒定电位。

电位与电压有着内在的联系, 如图 1-7b 所示, 若以 B 点为参考点 (即  $v_B = 0$ ), A 点电位为  $v_A$ , A、B 间的电压为  $u(t)$ , 根据电压和电位的定义, 则有

$$u(t) = v_A - v_B = v_A - 0 = v_A \quad (1-7)$$

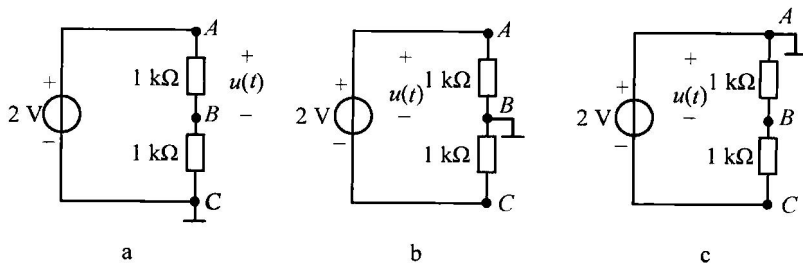


图 1-7 电路中的电位与电压

若以 A 为参考点 (即  $v_A = 0$ ), 如图 1-7c 所示, 设 B 点电位为  $v_B$ , 则

$$u(t) = v_A - v_B = 0 - v_B = -v_B \quad (1-8)$$

在图 1-7 中, 以符号 “⊥” 表示参考点。图 1-7a 中, 以 C 为参考点,  $v_A = 2\text{ V}$ ,  $v_B = 1\text{ V}$ ,  $v_C = 0\text{ V}$ ; 图 b 中, 以 B 为参考点,  $v_A = 1\text{ V}$ ,  $v_B = 0\text{ V}$ ,  $v_C = -1\text{ V}$ ; 图 c 中, 以 A 为参考点,  $v_A = 0\text{ V}$ ,  $v_B = -1\text{ V}$ ,  $v_C = -2\text{ V}$ 。由此可见, 电位的数值与参考点有关。

但是, 任一确定的电路, 无论参考点如何变化, 任意两点间的电压数值均不变化。如图 1-7a 中, A、C 间的电压为

$$u(t) = v_A - v_C = 2 - 0 = 2\text{ (V)}$$

而在图 1-7b 中, A、C 间的电压为

$$u(t) = v_A - v_C = 1 - (-1) = 2\text{ (V)}$$

电路分析中, 常用  $u_{AB}$  表示  $A$ 、 $B$  两点间的电压, 其下标字母如  $A$ 、 $B$ ,  $A$  表示电压的正极性,  $B$  表示电压的负极性。由式 (1-8) 可知, 两点间的电压等于两点间的电位差 (无论参考点如何选择), 即电压的数值与参考点无关, 因此电压也称电位差。由于电压与电位都是以电场力移动正电荷做功来定义的, 故电位的单位与电压的单位相同, 也为伏特 (V)。

3. 电动势 在图 1-6 所示电路中, 在电场力的作用下, 正电荷不断地从  $A$  移动到  $B$ ,  $A$ 、 $B$  两极板间的电场逐渐减弱, 最后消失, 导线中的电流也逐渐减小为零。为了维持持续不断的电流, 就必须保持  $A$ 、 $B$  间有一定的电位差, 即保持一定的电场。这必然要借助于外力来克服电场力把正电荷不断地从  $B$  极板移到  $A$  极板。这种外力是非电场力, 称为电源力, 电源就是产生这种力的装置。例如: 在发电机中, 当导体在磁场中运动时, 磁场能转换为电源力; 在电池中, 化学能转换为电源力。在这个过程中, 电源力克服电场力做功, 电源力的大小用电动势来衡量。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极板移到正极板所做的功。电动势定义为非电场力把单位正电荷从电源内部低电位 ( $B$  极板) 移动到高电位 ( $A$  极板) 所做的功。电动势用  $e$  或  $e(t)$  表示, 即

$$e(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1-9)$$

式 (1-9) 与式 (1-5) 在形式上相同, 但一定要区分清楚:  $e(t)$  是对电源内部而言的,  $u(t)$  是对电源以外的电路而言的。

电动势的单位与电压相同, 也用伏特 (V) 表示。电动势的极性和实际方向是客观存在的。它的极性是电源开路时它所引起的电压的实际极性, 而它的实际方向是从低电位指向高电位。

### 1.2.3 功率与电能

1. 功率 单位时间内做功的大小称作功率, 或者说做功的速率称为功率。在电路中的功率, 即电功率, 是电场力做功的速率, 用符号  $P(t)$  表示。其定义式为

$$P(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad (1-10)$$

式中,  $dw$  为  $dt$  时间内电场力所做的功;  $P(t)$  为电功率, 单位为瓦特 (W)。1 W 的功率就是 1 s 做功 1 J, 即  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ 。

根据电流和电压的定义, 则有

$$P(t) = u(t)i(t) \quad (1-11)$$

对直流电流和直流电压而言, 功率记为  $P$ , 则

$$P = UI \quad (1-12)$$

功率的单位、电压的单位和电流的单位之间的关系为

$$\begin{aligned} \text{瓦(W)} &= \text{伏(V)} \cdot \text{安(A)} \\ &= \frac{\text{焦(J)}}{\text{库(C)}} \cdot \frac{\text{库(C)}}{\text{秒(s)}} \\ &= \frac{\text{焦(J)}}{\text{秒(s)}} \end{aligned} \quad (1-13)$$

式 (1-12) 表明, 当电路中流过的电流为 1 A, 电路两端的电压为 1 V 时, 该电路的



电功率为 1 W。

对大功率,采用千瓦(kW)或兆瓦(MW)作单位;对小功率,采用毫瓦(mW)或微瓦( $\mu\text{W}$ )作单位。

一段电路,在  $u$  和  $i$  取关联参考方向时,若  $P > 0$ ,则说明这段电路上电压和电流的实际方向是一致的,电路吸收了功率,是负载性质;若  $P < 0$ ,则说明这段电路上电压和电流的实际方向不一致,电路提供功率,是电源性质。

2. 电能 在时间  $dt$  内,电场力移动正电荷所做的功  $dw$  称为电场能,简称电能。电能与功率的关系为

$$dw = P(t)dt \quad (1-14)$$

电能的单位为焦耳(J),即

$$\text{焦(J)} = \text{瓦(W)} \cdot \text{秒(s)} \quad (1-15)$$

若负载为电阻元件,则在时间  $t$  内所消耗的电能为

$$W = UI = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-16)$$

日常生活中,人们常用“度”来衡量使用电能的多少。度是千瓦时的旧称,现已废止。

#### 1.2.4 参考方向

利用各元件上的电流与电压的关系(大小与方向),可计算出元件上的电流或电压,从而计算其他物理量。但是,在实际电路中,电流和电压的真实方向往往难以在图中标出。在分析复杂电路(图1-4)时,有些元件上的电流或电压的真实方向很难判定,只有通过计算才能知道。因此,在分析计算之前,可以人为规定电路中电压和电流的假想正方向,这个方向可以任意规定,在电路中用箭头来表示,这个方向称为参考方向。在参考方向下,通过计算,若计算值大于零,则真实方向与参考方向相同;若计算值小于零,则真实方向与参考方向相反。

如图1-8a所示,若假设电流  $i$  的参考方向由  $a$  流向  $b$ ,又假设电压  $u$  的参考方向如  $a$  为“+”极性端、 $b$  为“-”极性端,则称这段电路上电流、电压参考方向关联。否则,如图1-8b所示,电流、电压参考方向为非关联的参考方向。因此,判断电路中的电流、电压参考方向是否关联是非常重要的。

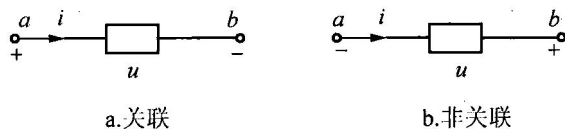


图 1-8 电流、电压参考方向的关系

**例 1-1** 图1-9所示电路中,设负载上电流、电压参考方向关联,根据给定的电流、电压、电动势的参考方向,标出其他量的参考方向。

**解** 图1-9a给出了电流参考方向,其各元件的电压、电动势参考方向如图1-10a所示。图1-9b给出了电压和电动势的参考方向,其各元件的电流参考方向如图1-10b所示。