

以能力为主、应用为本
作为职业教育导向的内容
体系；遵循任务导向、案例
教学的组织结构；注重职业素养
培养，启发学生创新思维的内涵设计

高等职业教育“十三五”规划教材
高职高专课程改革项目研究成果

电工电子技术

谢宇 黄其祥 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育“十三五”规划教材
高职高专课程改革项目研究成果

电工电子技术

主 编 谢 宇 黄其祥
副主编 余 键 陈昌安

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材针对高等职业教育特点,以学生为主体,以职业教育能力培养为核心,以现代电工电子技术的基本知识、基本理论为主线,以应用为目的,以必须够用为度,在保证科学性的前提下,删繁就简,做到理论上讲清,将理论知识的讲授、课内讨论与技能训练有机结合,重点培养实践能力。

本教材主要包括两大部分,第一部分将本课程的知识点与技能点逐一进行梳理编排并有机结合,适合于“学中做”的教学,包括直流电路分析装调、正弦交流电的安装与测试、变压器的制作及应用、晶体管电路装调、集成运算放大器电路的装调、门电路和组合逻辑电路装调、触发器与时序逻辑应用电路的安装与调试和继电器控制电路装调等;第二部分为电工电子综合实训项目教学案例,设计了一个综合实训项目“儿童启蒙电话背景灯的装调”,覆盖了以上知识点与技能点并加以融合,适合于“做中学”的教学。

本教材编写体系有一定的创新,内容组织合理,注重工程实践训练和创新能力的培养,可作为高职高专院校的机械、机电、数控、电气自动化类专业的电工电子技术应用教材,也可作为工程技术人员的自学参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/谢宇,黄其祥主编. —北京:北京理工大学出版社,2019.2(2019.3重印)

ISBN 978-7-5682-6760-1

I. ①电… II. ①谢… ②黄… III. ①电工技术②电子技术 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第033667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/

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/18.25

字 数/423千字

版 次/2019年2月第1版 2019年3月第2次印刷

定 价/45.00元

责任编辑/张鑫星

文案编辑/张鑫星

责任校对/周瑞红

责任印制/施胜娟

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

总序

Foreward

教材是教师“教”和学生“学”的重要依据，教材建设是高职院校教学基本建设的重要内容之一，是进一步深化教学改革，巩固教学改革成果，提高教学质量，培养高素质技术技能型人才的重要保障。也是体现高职院校办学水平的重要标志。随着“校企合作、工学结合”人才培养模式的改革与实践不断深化，自2010年，温州职业技术学院开始实施“双层次多方向”人才培养方案，构建以能力为重的课程体系，实行“学中做、做中学”的教学模式。“学中做”完成技术知识的获得和单一技能的训练。高职院校“学中做”是指将专业课程的各个知识点和技能点，通过教学设计，将知识点和技能点融合起来组织教学，采用边学边做的教学模式来完成；“做中学”完成综合项目训练，综合项目是指每一门专业课程结束前，要设计一个综合性的实训项目，该项目要把该门课程的技能点和知识点串联起来，即“连点成线”，通常教师要把企业的真实项目经过教学化改造以后，设计成任务驱动的形式，让学生去练习。通过“做中学”的教学模式，学生在完成综合项目训练的过程中，既巩固了专业课程的知识点和技能点，又提高了学生的综合运用能力。

经过多年教学改革的实践探索和总结，我们积累了一些经验，为了进一步总结“学中做、做中学”教学改革的经验，提炼教学改革成果，把改革的思路和成果固化为教材。为此，我们编写了这套实践导向型高职教育系列教材。这套系列教材以培养学生实践操作的技术技能为目标，既注重一定的技术知识介绍和技能技术操作训练的内容，更注重技术知识和技术技能的融合，将二者内化成职业能力的内容，体现出高职教育专业特色、课程特色和校本特色，满足高职教育课堂教学“学中做、做中学”的需求。在教材编写过程中，一方面要求教师具备编写教材所必需的教学经验、实践能力和研究能力；另一方面鼓励行业企业专业技术人员参与，实现教材内容与生产实践对接。我院教师深入到企业中，研究具体的职业岗位能力要求，组织教材内容。企业专业技术人员把企业的诉求反馈给教师或者直接参与教材编写。

本系列教材每册均由两大部分构成：

第一部分：将本课程的知识点与技能点逐一进行梳理编排并有机结合，适合于“学中做”的教学。

第二部分：设计一个综合实训项目覆盖以上知识点与技能点并加以融合，适合于“做中学”的教学。

本系列教材每册主编和编写人员在各自的专业领域均有着深入的研究与丰富的实践经验，从而保证了教材的编写质量。

由于编者水平有限，本系列教材不足之处在所难免，敬请各位专家、学者、同人和同学多提宝贵意见，以便进一步修正和完善。

丁金昌

前言

Preface

本教材由温州职业技术学院机械制造及自动化教研室组织编写，从职业能力培养的角度出发，力求体现职业培训的规律。

本教材在编写过程中针对高等职业教育特点，以学生为主体，以职业教育能力培养为核心，以现代电工电子技术的基本知识、基本理论为主线，以应用为目的，在保证科学性的前提下，删繁就简，做到理论上讲清，将理论知识的讲授、课内讨论与技能训练有机结合，重点培养实践能力。

本教材采用模块化的编写方式，主要内容包括两大部分，第一部分将本课程的知识与技能点逐一进行梳理编排并有机结合，适合于“学中做”的教学，包括直流电路分析装调、正弦交流电的安装与测试、变压器的制作及应用、晶体管电路装调、集成运算放大器电路的装调、门电路和组合逻辑电路装调、触发器与时序逻辑应用电路的安装及调试、继电接触器控制电路装调等；第二部分为电工电子综合实训项目教学案例，设计了一个综合实训项目“儿童启蒙电话背景灯的装调”，覆盖了以上知识点与技能点并加以融合，适合于“做中学”的教学。

在教材编写上，编者从学生的实际出发，力求降低难度，减少定量计算，由浅入深，环环相扣，寓学于乐，电工电子技术模块借助 Multisim 软件设计多个教学案例实现教学仿真，在继电接触器控制电路装调模块，设计了电控部分安装和调试工作页与相应教学内容实现一一对应，便于学生进一步掌握相关技能与知识。本教材由谢宇、黄其祥任主编，余键、陈昌安任副主编。写作具体分工如下：第一章、第四章、第九章及电控部分安装与调试工作页由谢宇编写，第二章、第三章、第五~八章由黄其祥编写，第九章部分章节由陈昌安编写，第十章由余键编写。全书由谢宇负责统稿。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

Contents

| | |
|--------------------|-----|
| ▶ 第一章 电气认识 | 1 |
| 第一节 电的概述 | 1 |
| 第二节 电路基本元件 | 8 |
| ▶ 第二章 直流电路分析装调 | 17 |
| 第一节 手电筒电路装调 | 17 |
| 第二节 多量程直流电表电路装调 | 21 |
| ▶ 第三章 正弦交流电的安装与测试 | 23 |
| 第一节 日光灯电路安装与测试 | 23 |
| 第二节 三相交流电路的测量 | 39 |
| 第三节 三相异步电动机的测试 | 48 |
| ▶ 第四章 变压器的制作及应用 | 54 |
| 第一节 普通变压器的应用 | 54 |
| ▶ 第五章 晶体管电路装调 | 68 |
| 第一节 二极管基本电路的应用 | 68 |
| 第二节 三极管基本电路的应用 | 75 |
| ▶ 第六章 集成运算放大器电路的装调 | 87 |
| 第一节 简易光照度计电路的装调 | 87 |
| 第二节 简易电子秤电路的装调 | 94 |
| ▶ 第七章 门电路和组合逻辑电路装调 | 102 |
| 第一节 三人表决器电路装调 | 102 |
| 第二节 微控制器报警编码电路装调 | 113 |
| 第三节 数据分配器电路装调 | 119 |
| 第四节 译码显示电路装调 | 122 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| ▶ 第八章 触发器与时序逻辑应用电路的安装及调试····· | 128 |
| 第一节 数据寄存器功能测试····· | 128 |
| 第二节 A/D 转换功能测试····· | 136 |
| 第三节 A/D 转换功能测试····· | 141 |
| 第四节 用 555 时基电路制作变音门铃····· | 147 |
| ▶ 第九章 继电器控制电路装调····· | 155 |
| 第一节 电动机点动控制电路装调····· | 155 |
| 第二节 电动机单向连续运行控制电路装调····· | 170 |
| 第三节 电动机接触器互锁正反转控制电路装调····· | 177 |
| 第四节 工作台自动往返控制电路装调····· | 183 |
| 第五节 电动机顺序启动控制电路装调····· | 189 |
| 第六节 大功率电动机星三角降压启动电路装调····· | 195 |
| 第七节 电动机电气制动控制电路装调····· | 202 |
| ▶ 第十章 综合实训项目教学案例····· | 210 |
| ▶ 附录 a 安全用电····· | 221 |
| 第一节 触电的知识····· | 221 |
| 第二节 触电原因及保护措施····· | 227 |
| 第三节 触电急救处理····· | 229 |
| ▶ 附录 b 数字万用表的使用····· | 231 |
| 第一节 面板功能开关介绍····· | 231 |
| 第二节 数字万用表使用方法····· | 232 |
| ▶ 参考文献····· | 235 |

第一章

电气认识

学习目标

1. 掌握电路中电流、电压、电动势的实际方向和参考方向。
2. 掌握电阻 R 、电感 L 、电容 C 三种基本电路元件的特性。
3. 掌握电位的概念和计算。

第一节 电的概述

一、电的认识

电与我们的生活息息相关，电是怎么产生的呢？

早在公元前 600 年，古希腊科学家泰勒斯就发现：用毛皮或毛织物摩擦过的琥珀，能够吸引羽毛、头发等轻小的物品。后来人们把这种现象叫作“摩擦起电”。

摩擦起电的现象虽然发现很早，但是在长达两千多年的时间里，一直停留在观察琥珀的摩擦起电上。随着社会的进步，人们越来越想搞清楚琥珀为什么会有那种神奇的吸引力，也使人们发现金刚石、水晶、硫黄、玻璃等物质在用呢绒、毛皮或丝绸摩擦过后，也像琥珀那样有神奇的吸引力。这使人们领悟到：这种现象并不是琥珀特有的，可能一切物质中都蕴藏着一种看不见的流体，这种流体受到摩擦的时候会从物质中被挤出来，人们把这种看不见的特殊流体叫作“电”。从此，电就产生了。

琥珀的阿拉伯语为 *electrum*，就是英语中电气 *electricity* 的语源。

18 世纪中期，美国科学家富兰克林经过分析和研究，认为有两种性质不同的电，叫作正电和负电。物体因摩擦而带的电，不是正电就是负电。例如，用丝绸摩擦过的玻璃棒所带

的电为正电，用毛皮摩擦过的橡胶棒所带的电为负电。1752年，他提出了风筝实验（据传，没有实际证据证明富兰克林做过此类实验）。在实验中，富兰克林将系上钥匙的风筝用金属线放到云层中，被雨淋湿的金属线将空中的闪电引到手指与钥匙之间，证明了空中的闪电与地面上的电是同一回事。后来他根据这个原理，发明了避雷针。

电流现象的研究，对于人们深入研究电学和电磁现象有着重要的意义。最早开始电流研究的是意大利解剖学教授伽伐尼（1737—1798）。伽伐尼的发现源自1780年的一次极为普通的闪电现象。闪电使伽伐尼解剖室内桌子上与钳子和镊子连环接触的一只青蛙腿发生痉挛现象。严谨的科学态度，使他没有放弃对这个“偶然”的奇怪现象的研究。他花费了整整12年的时间，研究像青蛙腿这种肌肉运动中的电气作用。最后，他发现如果使神经和肌肉同两种不同的金属（如铜丝和铁丝）接触，青蛙腿就会发生痉挛。这种现象是在一种电流回路中产生的现象。但是，伽伐尼对这种电流现象的产生原因仍然未能回答，他认为青蛙腿的痉挛现象是“动物电”的表现，由金属丝构成的回路只是一个放电回路。

伽伐尼的看法在当时的科学界中引起了巨大的反响，但是，另一位意大利科学家伏特（1745—1827）不同意伽伐尼的看法，他认为电存在于金属之中，而不是存在于肌肉中，两种明显不同的意见引起了科学界的争论，并使科学界分成两大派。1799年，意大利科学家伏特以含食盐水的湿抹布，夹在银和锌的圆形板中间，堆积成圆柱状，制造出世界上最早的电池——伏特电池。1800年春季，伏特在英国皇家协会发表关于伏特电池的论文。

1821年，英国的法拉第完成了一项重大的电发明。在这两年之前，奥斯特已发现如果电路中有电流通过，它附近的普通罗盘的磁针就会发生偏移。法拉第从中得到启发，认为假如磁铁固定，线圈就可能会运动。根据这种设想，他成功地发明了一种简单的装置。在装置内，只要有电流通过线路，线路就会绕着一块磁铁不停地转动。事实上法拉第发明的是第一台电动机，是第一台使用电流将物体运动的装置。

1831年，法拉第制造出了世界上第一台发电机。他发现一块磁铁穿过一个闭合线路时，线路内就会有电流产生，这个效应叫作电磁感应。法拉第的电磁感应定律是一项伟大的贡献。

1866年，德国人西门子（Siemens）制成世界上第一台工业用发电机。

二、电路和电路模型

1. 电路的组成和作用

根据前面的分析，我们可以给电路下个定义，即由电路器件用导线连接成的，能完成某种特定功能的电流通路。如照明电路具备照明功能、电力系统电路为用户传送能量、通信线路可以传输信息、计算机电路可以存储和处理信息。

本文中我们以手电筒电路为例介绍直流电路。手电筒虽然是一个简单的电路，但是它具备组成电路的基本元素：电源，负载和中间环节（导线或电缆、开关、熔断器）三部分。

电源是将其他形式的能量转换为电能的装置，如发电机、干电池、蓄电池、太阳能电板等，它们分别将机械能、化学能、光能等转换成电能。

负载是取用电能的装置，通常也称用电器，即将电能转换成其他形式能量的装置，如白炽灯、电炉、电视机、电动机等。

中间环节是将电源与负载连接起来的部分，起到传输、控制、分配、保护等作用的装

置,如连接导线、变压器、开关、保护电器等,也可以是超大规模的集成电路或电力输送电路。

实际电路的结构形式多种多样,除了上面列举的照明电路外,还具有其他功能,各种电路的功能可以划分归结为两个方面,一是电能的传送、分配、转换。例如,电力电路,电场的发电机产生电能,经过变压器、输电线送到用电单位,并通过负载将电能转换为其他形式的能量,这就是复杂的供电系统。二是进行电信号的产生、传输、处理。例如,电子电路(弱电电路),日常生活中使用的扩音器、电视机、手机以及生产和科研中使用的电子自动控制设备、测量仪表、计算机等都是这类电路。

在现代电路中除了要用到电路的概念外,还经常用到网络的概念,这两个概念有时有一定的区别,有时又是可以通用的。通常网络更具有普遍的适用性,特别是在讨论普遍规律及复杂电路问题时,常把电路称为网络。而在讨论比较简单或是某一具体电路时,则比较多地使用电路这个名词,所以,可以认为网络是电路的泛称。

2. 电路模型

实际电路中的元器件种类繁多,有的元器件主要是消耗电能,如各种电阻器、电灯、电烙铁等;有的元器件主要是储存磁场能量,如各种电感线圈;有的元器件主要是储存电场能量,如各种类型电容器;有的元器件主要是提供电能,如电池、发电机等。

对某一个元器件而言,其电磁性能却并不是单一的。例如,实验室用的滑线电阻器,它由导线绕制而成,主要具有消耗电能的性质,即具有电阻的性质;其次由于电压和电流会产生电场与磁场,它又具有储存电场能量和磁场能量的性质,即具有电容和电感的性质。上述性质总是交织在一起的,当电压、电流的性质不同时,其表现程度也不一样。

为了便于对电路进行分析和计算,将实际元器件近似化、理想化,使每一种元器件只集中表现一种主要的电或磁的性能,这种理想化元器件就是实际元器件的模型。即根据实际电路所具备的电磁性质所假想的具有某一种特定电磁性质的元件,其 u 、 i 关系可以用简单的数学关系严格表示,这样的元件称为理想电路元件,简称电路元件。

电路中的一个实际设备可用一个或几个电路元件的组合来近似地表示。例如,上面提到的滑线电阻器可用电阻元件来表示;若考虑磁场的作用,则可用电阻元件和电感元件的组合来表示。同时,对电磁性能相近的元器件,也可用同一种电路元件近似地表示。例如,各种电阻器、电灯、电烙铁、电熨斗等,都可用电阻元件来近似地表示。

在实际电路中,电气设备和电气元件的电磁关系是非常复杂的,为了研究的方便,我们通常所说的电路是将实际电路中的电气设备和元件理想化后的结果,即用理想电路元件及其组合来代替实际电路中的电气设备和电气元件。

我们用理想元件及其组合构成的电路就是实际电路的电路模型,以后所研究的电路均为实际电路的电路模型。

基本的理想电路元件分为有源元件和无源元件两种。

电源元件有电压源和电流源两种,也称其为有源元件,用它表示将其他形式的能量转换为电能的元件。

电阻元件表示消耗电能的元件。

电感元件表示电感线圈储存电磁能量的元件。

电容元件表示电容器储存电场能量的元件。

理想电路元件的电路模型如图 1-1 所示。

把实际电路的器件或设备用理想电路元件代替，并用国标规定的图形符号及文字符号表示，就是该实际电路的电路模型。故手电筒的电路模型如图 1-2 所示。今后本书中未加特殊说明时，我们所研究的电路均为电路模型。

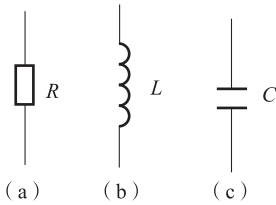


图 1-1 理想电路元件的电路模型
(a) 电阻；(b) 电感；(c) 电容

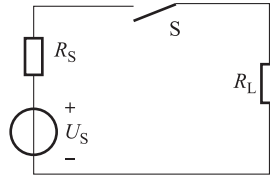


图 1-2 手电筒的电路模型

三、电路的基本物理量

电路中有许多物理量，其中电源电动势 E 和电路中电流 i 、电压 u 及电位是电路的基本物理量。

1. 电流及其参考方向

1) 电流的基本概念

在电场力的作用下，电荷做有规律的定向移动就形成了电流，规定以正电荷运动的方向作为电流的实际方向。

电流的大小用电流强度（简称“电流”）来表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过导线某一截面的电荷量，用 i 表示电流， q 表示电荷量， t 表示时间，则电流的计算公式为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

式中： i 为某个时刻的电流大小； dq 为某一时刻通过导体横截面的电荷量； dt 为某一时刻时长。

在国际单位制（SI）中，电流的单位是安培（简称“安”），用符号 A 表示；电荷量的单位为库仑（简称“库”），用符号 C 表示；时间的单位为秒，用符号 s 表示。当电流很小时，常用单位为毫安（mA）或微安（ μA ）；当电流很大时，常用单位为千安（kA）。它们之间的换算关系为

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}, 1 \text{ mA} = 10^3 \mu\text{A}, 1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

2) 电流的实际方向和参考方向

带电微粒的定向移动形成了电流，则电流是矢量（有方向的量）。通常规定正电荷运动的方向为电流正方向，负电荷运动的方向为电流负方向，当然，电流的方向也不是一成不变的，如在分析电路时，有时电流的实际方向难以确定，为了分析、计算的需要，引入了电流的参考方向，或称电流的正方向。

所谓的正方向，就是在一段电路里，从电流可能的两种实际方向中，人为地选择其中的一个方向为参考方向。当然，所选定的参考方向并不一定就是电流的实际方向。当电流的参考方向与实际方向相同时，电流为正值；反之，若电流的参考方向与实际方向相反，则电流为负值，如图 1-3 所示。

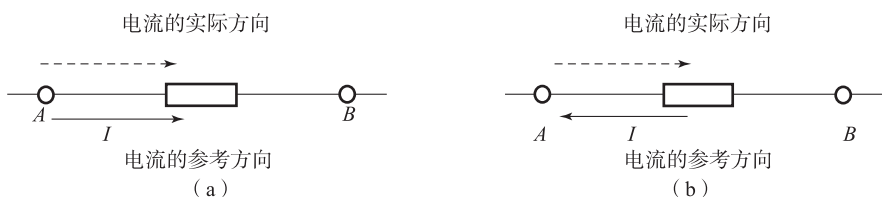


图 1-3 电流的实际方向和参考方向

(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

这样，电流的值就有正有负，它是一个代数量，其正负可以反映电流的实际方向与参考方向的关系。因此电流的正负，只有在选定了参考方向以后才有意义。或者说，电流的正方向是分析计算电路时事先假定的电流方向，它可以是任意设定的，当一个直流电路的元器件参数确定以后，电路中各部分的电流的实际方向也就确定了，它不受正方向的影响，正方向的改变只影响计算电流的正、负符号。

电流的参考方向一般用实线箭头表示，既可以画在线上，如图 1-4 (a) 表示；也可以画在线外，如图 1-4 (b) 所示；还可以用双下标表示，如图 1-4 (c) 所示。其中， I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点指向 b 点。

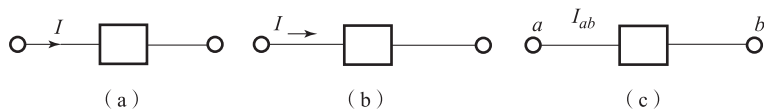


图 1-4 电流参考方向的标注法

(a) 箭头画在线上；(b) 箭头画在线外；(c) 用双下标表示

2. 电压及其参考方向

1) 电压的基本概念

电压是描述电场力对电荷做功的能力大小的物理量。在电场中，电场力将正电荷从 a 点移到 b 点所做的功与被移到电荷电量的比值称为 a 、 b 两点之间的电压。用 u_{ab} 表示，即

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq}$$

式中： dw 为电场力将正电荷 dq 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功，并规定电压的方向为电场力做功使正电荷移动的方向。

大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压，简称直流电压，采用大写字母 U 表示，如 a 、 b 两点间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q}$$

式中： W_{ab} 为电场力将正电荷 Q 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功。

电压的单位为伏特 (V)，常用的单位为千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}, 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}, 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

2) 电压的实际方向和参考方向

a 、 b 两点间的电压也叫 a 、 b 两点之间的电位差。电压的方向是从高电位指向低电位。与电流类似，分析、计算电路时，也要预先设定电压的参考方向。同样，所设定的参考方向

并不一定就是电压的实际方向。当电压的参考方向与实际方向相同时，电压为正值，当电压的参考方向与实际方向相反时，电压为负值。这样，电压的值有正有负，它也是一个代数量，其正负表示电压的实际方向与参考方向的关系，如图 1-5 所示。



图 1-5 电压的实际方向和参考方向

(a) $U_{ab} > 0$; (b) $U_{ab} < 0$

电压的参考方向既可以用实线箭头表示，如图 1-6 (a) 所示；也可以用正 (+)、负 (-) 极性表示，如图 1-6 (b) 所示，正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向；还可以用双下标表示，如图 1-6 (c) 所示，其中， U_{ab} 表示 a 、 b 两点间的电压参考方向由 a 指向 b 。这三种表示方法所代表的意义是相同的，可以互相通用，实际使用时任选其中的一种。

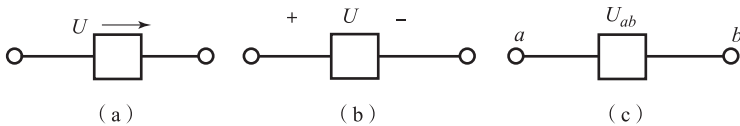


图 1-6 电压参考方向的标注

(a) 用实线箭头表示；(b) 用正负极性表示；(c) 用双下标表示

进行电路分析时，对于一个元件，我们既要对流过元件的电流选取参考方向，又要对元件两端的电压选取参考方向，两者是相互独立的，可以任意选取。也就是说，它们的参考方向可以一致，也可以不一致。如果电流的参考方向与电压的参考方向一致，则称为关联参考方向，如图 1-7 (a) 所示；如果电流的参考方向与电压的参考方向不一致，则称为非关联参考方向，如图 1-7 (b) 所示。

当选取电压、电流方向为关联参考方向时，电路图上只需标出电流的参考方向或电压的参考方向，如图 1-8 所示的是两种电路等效的表示方法。

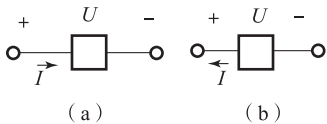


图 1-7 电压、电流参考方向

(a) 关联参考方向；(b) 非关联参考方向

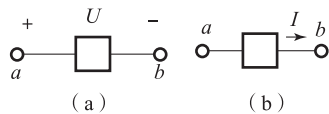


图 1-8 关联方向的简单标注

3. 电动势

1) 电动势的概念

电动势是描述电源性质的重要物理量，是反映电源力把正电荷由负极推向正极所做的功。电源的电动势符号用 E 表示，在数值上等于非静电力将单位正电荷从电源的低电位由电源内部移到高电位端所做的功，电动势单位和电压一样，也是伏特 (V)，电动势的计算公式为

$$E = \frac{W}{q}$$

式中： E 为电动势，V； W 为非静电力所做的功，J； q 为电荷量，C。

2) 电动势的实际方向和参考方向

电动势的作用是将正电荷从低电位点移动到高电位点，使正电荷的电势能增加，所以规定电动势的实际方向是由低电位指向高电位，即从电源的负极指向电源的正极。在电路中电源的极性和电动势的数值一般都是已知的，所以电动势的参考方向都取与实际方向相同的方向，即由电源的负极指向电源的正极。

4. 电位及其计算

1) 电位

电位是表示电路中某一点性质的物理量，是一个相对物理量。为了求得电路中各点的电位值，必须在电路中选择参考点，将该参考点的电位看作零，所求点的电位就算该点到参考点的电压。

参考点可以任意选择，但为了方便，如果电路中有接地端，尽量选择接地端作为参考点，或者在电子电路中常取若干导线的交汇点或机壳作为电位的参考点。

2) 电位的计算

使用电位能够使表示电路状态的电量大大减少，在调试、检修电气设备和电子电路时具有实用意义。

电位的计算步骤如下：

- (1) 任选电路中某一点为参考点（如果有接地端尽量选接地端），其电位为零。
- (2) 标出各电流参考方向并计算。
- (3) 计算各点至参考点间的电压即各点的电位。

在一个电路中，参考点一旦确定，电路中各点的电位就是唯一确定的数值。某点电位为正，说明该点电位比参考点高；某点电位为负，说明该点电位比参考点低。

例 1-1 电路如图 1-9 所示，其中 $R_1 = 6 \text{ k}\Omega$ ， $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$ ， R_p 最大为 $10 \text{ k}\Omega$ ，求：

- (1) 零电位参考点在哪里？画电路图表示出来。
- (2) 当电位器 R_p 的滑动触点处于 B 点时，A、B 两点的电位各是多少？A、B 两点的电压 U_{AB} 是多少？
- (3) 当电位器 R_p 的滑动触点向上滑动时，A、B 两点的电位是增高了还是降低了？
- (4) 如果参考点改为 C 点，A、B 两点的电位又各是多少？（ R_p 的滑动触点处于 A 点），A、B 两点的电压 U_{AB} 是多少？

解：(1) 零电位参考点为 +12 V 电源的“-”端与 -12 V 电源的“+”端的连接处。

(2) 当电位器 R_p 的滑动触点处于 B 点时， $R_p = 10 \text{ k}\Omega$ ，故电路中的电流为

$$I = \frac{E - (-E)}{R_1 + R_2 + R_p} = \frac{12 - (-12)}{(6 + 4 + 10) \times 10^3} = 1.2 (\text{mA})$$

$$V_A = -IR_1 + 12 = -1.2 \times 6 + 12 = 4.8 (\text{V})$$

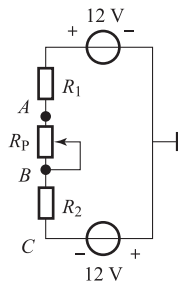


图 1-9 例 1-1 电路

$$V_B = IR_2 - 12 = 1.2 \times 4 - 12 = -7.2(\text{V})$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 4.8 - (-7.2) = 12(\text{V})$$

(3) 当电位器 R_p 的滑动触点向上滑动时，回路中电阻减小，电流 I 增加，所以 A 点电位降低、 B 点电位增高。

(4) 如果参考点改为 C 点，则

$$V_A = IR_p + IR_2 = 1.2 \times (10 + 4) = 16.8(\text{V})$$

$$V_B = IR_2 = 1.2 \times 4 = 4.8(\text{V})$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 16.8 - 4.8 = 12(\text{V})$$

根据定义及以上分析计算可见，电压和电位既有一定的联系又有一定的区别。

① 电位值是相对的，参考点选取的不同，电路中各点的电位也将随之改变。

② 电路中两点间的电压值是固定的，不会因参考点的不同而改变，即与零电位参考点的选取无关。

第二节 电路基本元件

一、电阻元件

电阻元件是代表消耗电能理想电路元件，它有阻碍电流流动的本能，沿电流流动的方向必然会产生电压降。国际制单位：欧姆 (Ω)。

电阻一般按照流经其电流和电压的关系可分为线性电阻与非线性电阻两种。

线性电阻：在一定条件下，流经一个电阻的电流与电阻两端的电压成正比，其电阻值为常数，且电阻、电流、电压之间符合欧姆定律。

非线性电阻：电阻两端的电压与通过它的电流不是线性关系，其电阻值不是常数。

一般常温下金属导体的电阻是线性电阻，在其额定功率内，其伏安特性曲线为直线。像热敏电阻、光敏电阻等，在不同的电压、电流情况下，电阻值不同，伏安特性曲线为非线性。

1. 电阻的分类、特点及用途

电阻的种类较多，按制作的材料不同，可分为绕线电阻和非绕线电阻两大类。非绕线电阻因制造材料的不同，有碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻、实心碳质电阻等。另外还有一类特殊用途的电阻，如热敏电阻、压敏电阻等。

热敏电阻的阻值是随着环境和电路工作温度变化而改变的。它有两种类型：一种是随着温度增加而阻值增加的正温度系数热敏电阻，另一种是随着温度增加而阻值减小的负温度系数热敏电阻。在电信设备和其他设备中作正或负温度补偿，或作测量和调节温度之用。

压敏电阻在各种自动化技术和保护电路的交直流及脉冲电路中，作过压保护、稳压、调幅、非线性补偿之用。特别是对各种电感性电路的熄灭火花和过压保护有良好作用。

常用电阻元件的外形、特点与应用如表 1-1 所示。

表 1-1 常用电阻元件的外形、特点与应用

| 名称及实物图 | 特点与应用 |
|---|--|
| <p>碳膜电阻</p>  | <p>碳膜电阻稳定性较高, 噪声比较小。一般在无线电通信设备和仪表中做限流、阻尼、分流、分压、降压、负载和匹配等用途</p> |
| <p>金属膜电阻</p>  | <p>金属膜/金属氧化膜电阻用途和碳膜电阻一样, 具有噪声小、耐高温、体积小、稳定性和精密度高等特点</p> |
| <p>实心碳质电阻</p>  | <p>实心碳质电阻的用途和碳膜电阻一样, 具有成本低、阻值范围广、容易制作等特点, 但阻值稳定性差, 噪声和温度系数大</p> |
| <p>绕线电阻</p>  | <p>绕线电阻有固定式和可调式两种。其特点是稳定、耐热性能好, 噪声小、误差范围小。一般在功率和电流较大的低频交流和直流电路中作降压、分压、负载等用途。额定功率大都在 1 W 以上</p> |
| <p>电位器</p>  | <p>(a) 绕线电位器阻值变化范围小, 功率较大; (b) 碳膜电位器稳定性较高, 噪声较小; (c) 推拉式带开关碳膜电位器使用寿命长, 调节方便; (d) 直滑式碳膜电位器节省安装位置, 调节方便</p> |

2. 电阻的类别和型号

随着电子工业的迅速发展, 电阻的种类也越来越多, 为了区别电阻的类别, 在电阻上可用字母符号来标明, 电阻的类别和型号标志如表 1-2 所示。

表 1-2 电阻的类别和型号标志

| | | |
|-------|------|---|
| 第一部分 | 主称 | R: 电阻 |
| | | R_p : 电位器 (也叫滑动变阻器) |
| 第二部分 | 导体材料 | T: 碳膜电阻 |
| | | J: 金属膜电阻 |
| | | Y: 金属氧化膜电阻 |
| | | X: 绕线电阻 |
| | | M: 压敏电阻 |
| | | G: 光敏电阻 |
| | | R: 热敏电阻 |
| 第三部分 | 形状性能 | X: 大小 |
| | | J: 精密 |
| | | L: 测量 |
| | | G: 高功率 |
| | | 1: 普通 |
| | | 2: 普通 |
| | | 3: 超高频 |
| | | 4: 高阻 |
| | | 5: 高温 |
| | | 8: 高压 |
| 9: 特殊 | | |
| 第四部分 | 序号 | 对主称、材料特征相同, 仅尺寸性能指标略有差别, 但基本上不影响互换的产品给同一序号, 若尺寸、性能指标的差别已明显影响互换, 则在序号后面用大写字母予以区别 |

3. 电阻的主要参数

电阻的主要参数是指电阻标称阻值、误差和额定功率。在实际应用中, 根据电路图的要求选用电阻时, 必须了解电阻的主要参数。

(1) 标称阻值和误差是指电阻元件外表面上标注的电阻值 (热敏电阻则指 25℃ 时的阻值)。使用电阻, 首先要考虑的是它的阻值是多少。为了满足不同的需要, 必须生产出各种不同大小阻值的电阻。为了便于大量生产, 同时也让使用者在一定的允许误差范围内选用电阻, 国家规定一系列的阻值作为产品的标准, 这一系列阻值叫作电阻的标称阻值。另外, 电