

示范性职业教育“十四五”建设项目

电工电子技术（上） （智媒体版）

主 编◎陈舟勋 何旭东



西南交通大学出版社

示范性职业教育“十四五”建设项目

电工电子技术（上）

（智媒体版）

主 编 陈舟劭 何旭东
副主编 雷静静

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电工电子技术. 上: 智媒体版 / 陈舟劭, 何旭东主
编. —成都: 西南交通大学出版社, 2021.8
ISBN 978-7-5643-8185-1

I. ①电… II. ①陈… ②何… III. ①电工技术 - 高
等职业教育 - 教材②电子技术 - 高等职业教育 - 教材
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 164020 号

Diangong Dianzi Jishu (Shang)(Zhimeiti Ban)

电工电子技术 (上) (智媒体版)

主编 陈舟劭 何旭东

责任编辑 赵永铭

封面设计 吴 兵

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 成都勤德印务有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 8.25

字数 201 千

版次 2021 年 8 月第 1 版

印次 2021 年 8 月第 1 次

定价 28.00 元

书号 ISBN 978-7-5643-8185-1

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

贵阳职业技术学院教材建设 委员会

主 任：刘 雁

常务副主任：代 琼

副 主 任：陈开明 张正保 杨 鹏 陈 刚

委 员：熊光奎 马 骏 杨竹君 邓 涛 王德义

徐 敏 王絮飞 邓军琳 凌泽生 张书凤

吴 焱 郁盛梅 胡 然 余 萍 陈 健

彭再兴 刘裕红 童永坤 郑全才 董作君

吴仕萍 田小刚

前 言

高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分，承担着培养高素质技术技能人才服务经济建设的重任。近年来，随着产业结构的升级和社会岗位的更新变化，要求职业教育改革，要整合资源建设专业群对接产业链、人才链，更好服务经济社会的发展。“电工电子技术”是轨道交通专业群（省级重点专业群）的专业平台课。为了适应轨道交通职业教育发展的需要，本教材结合轨道交通专业群各专业的人才培养方案，以培养技术型、技能型人才为目标，突出高等职业教育的特点。本教材以项目教学为特色，内容循序渐进，融理论知识、实践技能为一体，以提高学生的职业技能和应用能力为培养目标，重点讲述高等职业教育电工电子相关课程的电工知识。

本教材主要有以下特点：

（1）针对轨道交通类专业，将电子技术与轨道交通相结合的方式，具有专业针对性。

（2）内容与轨道交通类专业的标准要求一致。

（3）在职教专家的指导下，教材采用标准化编写，在内容安排和组织形式上进行了新的尝试，为“做、学、教”一体化的教学奠定了基础。

（4）通过企业调研，邀请企业的工程师、高级技师等一线专家参与教材的编写。

本教材共4个大项目，7个任务，由贵阳职业技术学院陈舟勋等担任主编，编写了项目一和项目四，项目二由李慧、何旭东编写，项目三由雷静静、李慧编写。贵阳职业技术学院倪伟、唐瑶老师作为主审审核了全书的内容，并提出详细的修改意见，在此表示感谢。

限于编者水平，书中难免有不妥之处，希望使用本书的老师和学生批评指正。

编 者


2021年3月

数字资源目录

项目	任务	资源名称	资源类型	页码	
项目一 直流电路 分析与 应用	任务一 电位、电压、电流 的测试和电路电位图的绘制	欧姆定律	动画	008	
		基尔霍夫定律	动画	011	
	任务二 万用表的组装、调 试及应用	万用表的组 装、使用及应用	万用表的组装	微课	024
			万用表的使用		
			万用表测轨道 信号灯		
万用表在轨道 线路中的应用					
项目二 交流电路 分析与 应用	任务一 并联电容补偿装置 串联谐振的测试	串联谐振	动画	052	
	任务二 牵引降压所三相四 线制负载电压、电流的测量	三相交流电的产生	动画	064	
		三相负载的连接	动画	067	
项目三 磁路与变 压器分析 应用	任务一 单相变压器特性 的研究	磁场	动画	085	
		单相变压器的结构	动画	088	
	任务二 轨道变压器的参 数测试	轨道电路	动画	097	
项目四 电动机及 其控制电 路的认识 和应用	任务 三相异步电动机正 反转控制	三相交流电机模型	动画	103	
		三相交流电机动作原理	动画	105	
		三相交流电机控制电路	动画	119	

目 录

项目一 直流电路分析与应用	001
任务一 电位、电压、电流的测试和电路电位图的绘制	003
任务二 万用表的组装、调试及应用	017
项目二 交流电路分析与应用	029
任务一 并联电容补偿装置串联谐振的测试	031
任务二 牵引降压所三相四线制负载电压、电流的测量	063
项目三 磁路与变压器分析应用	083
任务一 单相变压器特性的研究	085
任务二 轨道变压器的参数测试	094
项目四 电动机及其控制电路的认识和应用	101
任务 三相异步电动机正反转控制	103
参考文献	122



项目一

直流电路分析与应用

项目目标

- (1) 掌握电路的基本物理量和组成。
- (2) 掌握电路的基本定律、电路的工作状态。
- (3) 掌握电压源、电流源的概念、特点和等效变换。
- (4) 掌握支路电流法、叠加原理和戴维南定理的分析方法。
- (5) 了解电位的概念和计算方法。
- (6) 掌握电路中各点电位和电路电压的测量方法，理解电位的相对性和电压的绝对性。

任务一

电位、电压、电流的测试和电路 电位图的绘制

【任务描述】

电路是电工技术和电子技术的基础，它为学习后面的电子电路、电机电路以及控制与测量电路奠定基础。在轨道交通整个行业，不同专业对电工电子技术都有着不同的应用，例如在铁路信号中信号机的点灯电路就是一种最简单的电路，而轨道电路的三种状态正好对应电路中的通路、断路、短路三种状态。本任务着重讲解电路的基本概念与定律，如电路模型、电压和电流的参考方向、电路的工作状态等。本任务通过对电路中电压、电位、电流的测量，帮助学生理解电位的相对性和电压的绝对性，同时对电流、电阻和电压三者的关系有一个充分的认识。

【知识储备】

一、电路基本概念

电路的作用之一是实现电能的传输和转换，各种电力系统就是典型实例。电路还能实现信号的传递和处理，收音机、电视机的调谐回路和放大电路就是这类实例。电路中提供电能或信号的器件，称为电源。电路中吸收电能或输出信号的器件，称为负载。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输控制器件。

图 1-1 (a) 所示的电路是手电筒的实际电路。它由干电池、灯泡、导线和开关组成。其中，干电池是电源，灯泡是负载，导线和开关是传输控制器件。图 1-1 (b) 所示为其等效电路。

二、电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流。电流的量值（大小）等于单位时间内穿过导体横截面的电荷量，用符号 i 表示，即

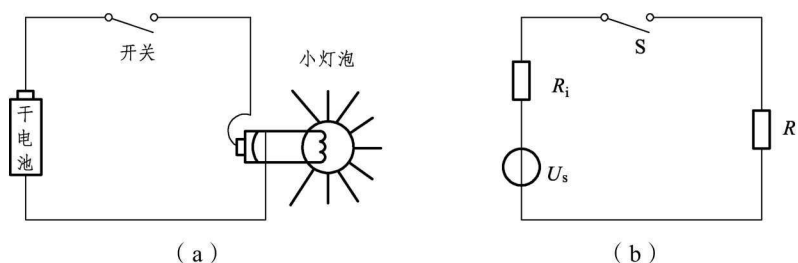


图 1-1 手电筒电路

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

式中, Δq 为极短时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量。

大小和方向随时间变化的电流称为交流电流, 用符号 i 表示。在许多电器装置上用符号“AC”或“~”表示交流。

大小和方向不随时间变化的电流称为直流电流, 用符号 I 表示。在许多电器装置上用符号“DC”或“-”表示直流。

在直流电路中, 式 (1-1) 可写成

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

在国际单位制中, 电流的单位是安[培], 符号为 A。常用的电流单位有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等, 它们之间的换算关系是

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A} = 10^{-3} \text{ kA}$$

在分析复杂电路时, 往往很难事先确定某一段电路中电流的实际方向, 若在交变电路中, 电流的实际方向则在不断变化, 很难在电路中标明电流的实际方向。为此, 在分析与计算电路时, 常可任意规定某一方向作为电流的参考方向或正方向, 并用箭头表示在电路图上。若电流的实际方向与参考方向一致[见图 1-2 (a)], 则电流为正值; 若两者相反[见图 1-2 (b)], 则电流为负值。这样就可以利用电流的参考方向和正、负值来判断电流的实际方向。应当注意, 在未规定参考方向的情况下, 电流的正、负号是没有意义的。

电流的参考方向可用箭头在电路图上表示, 还可用双下标表示, 如图 1-2 (c)、图 1-2 (d) 所示。



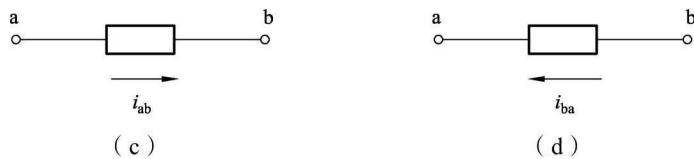


图 1-2 电流的参考方向

三、电压与电动势

1. 电压

电路中 A、B 两点间的电压定义为单位正电荷在电场力的作用下由 A 点移至 B 点电场力所做的功，即

$$u_{AB} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta q} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-3)$$

式中， Δq 为由 A 点移动到 B 点的电荷量； ΔW_{AB} 为移动过程中电场力所做的功。

大小和方向都不随时间变化的直流电压，用大写字母 U 表示。交流电压用小写字母 u 表示。对于直流，式 (1-3) 可写成

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

在国际单位制中，电压的单位是伏[特]，符号为 V。常用的电压单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

电场力对正电荷做功的方向，就是电位降低的方向，故规定电压的实际方向是由高电位指向低电位。

与电流方向的处理方法类似，可任选一方向为电压的参考方向。通常用三种方式表示：

(1) 采用正(+)、负(-)极性表示，称为参考极性，如图 1-3(a)所示。这时，从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向。

(2) 采用实线箭头表示，如图 1-3(b)所示。

(3) 采用双下标表示，如 u_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B。

若电压的实际方向与参考方向一致，则电压为正值；若两者相反，则电压为负值。这样就可以利用电压的参考方向和正、负值来判断电压的实际方向。

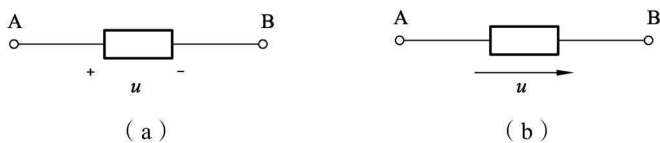


图 1-3 电压的参考方向

对一个元件，电流参考方向和电压参考方向可以相互独立地任意确定，但为了方便起见，常常将其取为一致，称关联方向，如图 1-4 所示；如不一致，称非关联方向。

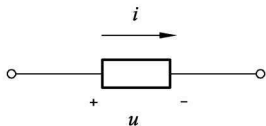


图 1-4 电流和电压的关联参考方向

2. 电动势

电动势是衡量电源内部非静电力做功本领的物理量。在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功。用公式表示为

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (1-5)$$

电动势的单位与电压一样，也为伏特（V）。

电动势的实际方向与电压实际方向相反，规定在电源内部由负极指向正极。

四、电位

分析电子电路时常用到电位这一物理量。在电路中任选一点作为参考点，则某点的电位就是由该点到参考点的电压。也就是说，如果参考点为 O，A 点的电位就是由该点到参考点 O 的电压。显然，参考点本身的电位为零，所以参考点又叫零电位点。则 A 点的电位为

$$V_A = U_{AO}$$

电路中 A、B 点两点间的电压等于 A、B 两点的电位差。如果已知 A、B 两点的电位各为 V_A 、 V_B ，则此两点间的电压

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-6)$$

即两点间的电压等于这两点的电位的差，所以电压又叫电位差。

参考点不同，同一点电位不同，但电压与参考点的选择无关。电子电路中常选各有关部分的公共线作为参考点，常用符号“⊥”表示。

五、电功率和电能

1. 电功率

传递转换电能的速率叫电功率，简称功率，用 p 或 P 表示。电功率是电路分析中常用到的一个物理量，习惯上，把发出或接收电能说成发出或接收功率。

因为 $i = \frac{dq}{dt}, u = \frac{dw}{dq}$

所以 $p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui$ (1-7)

如果电流、电压选用关联参考方向，则所得的 p 应看成支路接收的功率，计算所得功率为正值时，表示支路实际接收功率；计算所得功率为负值时，表示支路实际发出功率。

如果电流、电压选择非关联参考方向， p 应看成支路发出的功率，计算所得功率为正值时，表示支路实际发出功率；计算所得功率为负值时，表示支路接收功率。

在直流情况下

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

在国际单位制中，功率的单位为瓦[特]，简称瓦，符号为 W，常用的有千瓦(kW)、兆瓦(MW)和毫瓦(mW)等，它们之间的换算关系是

$$1 \text{ W} = 10^{-3} \text{ kW} = 10^{-6} \text{ MW} = 10^3 \text{ mW}$$

2. 电能

电能是衡量用电多少的物理量。从 t_0 到 t 时间内，电路吸收（消耗）的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-9)$$

直流时，有

$$W = P(t - t_0)$$

若 $t_0=0$ ，上式为

$$W = UI t \quad (1-10)$$

在国际单位制中，电能的单位是焦[耳]，符号为 J，在实际生活中还采用千瓦·时(kW·h)作为电能的单位，简称度。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

能量转换与守恒定律是自然界的基本规律之一，电路也遵守这一规律。一个电路中，每一瞬间接收电能的各元件功率的总和等于所有发出电能的各元件功率的总和。或者说，各元件接收的功率的代数和为零。这个结论叫作“电路的功率平衡”。

六、电阻元件

电阻元件是代表电路中消耗电能这一物理现象的理想二端元件（简称电阻），用符

号 R 表示。图 1-5 (a) 所示为电阻的图形符号。

电流和电压的大小成正比的电阻元件叫作线性电阻元件。

元件的电流与电压的关系曲线叫作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。在电流和电压的关联参考方向下，线性电阻元件的伏安特性如图 1-5 (b) 所示。欧姆定律的表达式为

$$u = iR$$

式中， R 是元件的电阻，它是一个反映电路中电能消耗的电路参数，是一个正实常数。国际单位制中，电阻的单位是欧[姆]，符号为 Ω 。电阻的其他常用单位有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 等。



欧姆定律

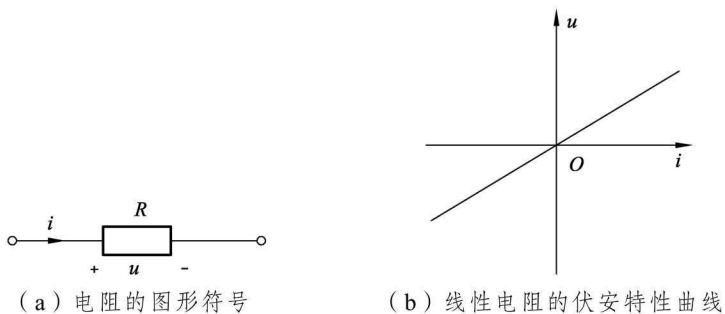


图 1-5 电阻元件

电流和电压的大小不成正比的电阻元件叫作非线性电阻元件，本书只讨论线性电阻电路。

令 $G = 1/R$ ，则式 (1-7) 变为

$$i = uG \tag{1-11}$$

式中， G 称为电阻元件的电导，单位是西[门子]，符号为 S。

电阻元件具有把电能转变为其他形式能量的特点，它是耗能元件。

如果线性电阻元件的电流和电压的参考方向不关联，则欧姆定律的表达式为

$$u = -iR$$

或

$$i = -Gu$$

在电流和电压关联参考方向下，任何瞬时线性电阻元件接受的电功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \tag{1-12}$$

由于电阻 R 和电导 G 都是正实数，功率 P 恒为非负值，所以线性电阻元件是耗能元件。

如果电阻元件把接收的电能转换成热能，则从 t_0 到 t 时间内。电阻元件吸收的热量 Q ，也就是这段时间内接收的电能 W 为

$$Q = W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t Ri^2 dt = \int_{t_0}^t \frac{u^2}{R} dt \quad (1-13)$$

若电流不随时间变化,

$$Q = W = P(t - t_0) = PT = RI^2T = \frac{U^2}{R} \cdot T \quad (1-14)$$

式中, $T=t-t_0$ 是电流通过电阻的总时间。以上两式称为焦耳定律。

线性电阻元件有两种特殊情况值得注意: 一种情况是电阻值 R 为无限大, 电压为任何有限值时, 其电流总是零, 这时把它称为“开路”; 另一种情况是电阻为零, 电流为任何有限值时, 其电压总是零, 这时把它称为“短路”。

七、电压源与电流源

实际电源有电池、信号源、发电机等, 根据电源的特点可以把电源分为电压源和电流源。电压源和电流源是两种有源元件。

1. 电压源

电压源是一个理想二端元件, 其图形符号如图 1-6 (a) 所示。电压源具有两个特点:

(1) 电压源对外提供的电压 $u(t)$ 是某种确定的时间函数, 如图 1-6 (b)、(c) 所示, 不会因所接的外电路不同而改变, 即 $u(t)=u_s(t)$ 。

(2) 通过电压源的电流 $i(t)$ 随外接电路不同而不同。

常见的电压源有直流电压源和正弦交流电压源。图 1-6 (b) 为直流电压源电压的波形曲线, 图 1-6 (c) 为正弦交流电压源电压的波形曲线。

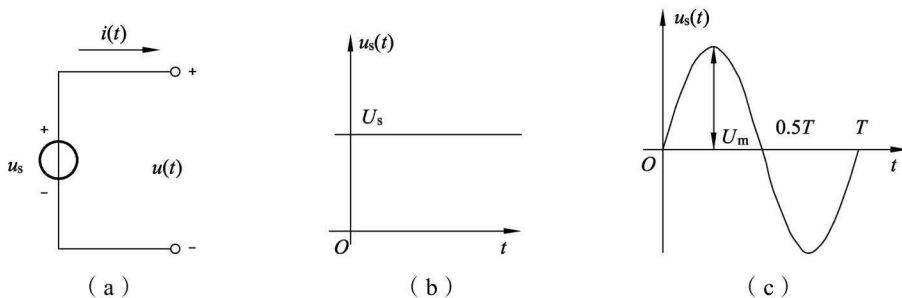


图 1-6 电压源图形符号及电压波形

直流电压源的伏安特性曲线如图 1-7 所示。

电压为零的电压源相当于短路。

由图 1-6 (a) 知, 电压源发出的功率为

$$p = u_s i$$

$p > 0$ 时, 电压源实际上是发出功率; $p < 0$ 时, 电压源实际上是接收功率。

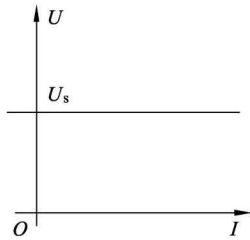


图 1-7 直流电压源的伏安特性

2. 电流源

电流源也是一个理想二端元件，图形符号如图 1-8 (a) 所示。电流源有以下两个特点：

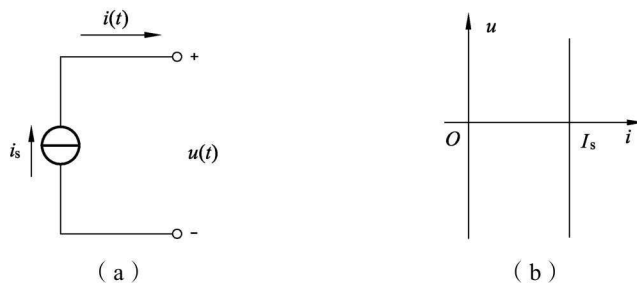


图 1-8 电流源图形符号和直流电流源的伏安特性

(1) 电流源向外电路提供的电流 $i(t)$ 是某种确定的时间函数，不会因外电路不同而改变，即 $i(t) = i_s$ ， i_s 是电流源的电流。

(2) 电流源的端电压 $u(t)$ 随外接的电路不同而不同。

如果电流源的电流 $i_s = I_s$ (I_s 是常数)，则为直流电流源。直流电流源的伏安特性曲线如图 1-8 (b) 所示。

电流为零的电流源相当于开路。

电流源发出的功率为

$$p = ui_s$$

$p > 0$ ，电流源实际是发出功率； $p < 0$ ，电流源实际是接收功率。

例 1-1 计算图 1-9 所示电路中电流源的端电压 U_1 ， $5\ \Omega$ 电阻两端的电压 U_2 和电流源、电阻、电压源的功率 P_1 ， P_2 ， P_3 。

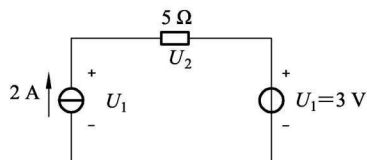


图 1-9 例 1-1 图