



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

高等职业教育应用型人才培
养规划教材



- 按**能力培养**规划**学习项目**
- 按**任务驱动**优化**教材内容**

- 以**学中做、做中学**培养**学生能力**
- 以**自评表**测评**学习效果**

第2版

电工电子技术项目教程

◎何军 主编 王长江 王志军 副主编 蒋从元 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
高等职业教育应用型人才培
养规划教材

电工电子技术项目教程

(第2版)

何 军 主 编
王长江 王志军 副主编
蒋从元 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书经过多个专业的使用,在第1版的基础上修订而成。修订时注重结合高职教育的办学定位、岗位需求、校企合作共育人才要求,强调“学中做,做中学”。

本书按“能力培养”规划了10个学习项目,包括直流电路基本知识、正弦交流电路基本知识、三相异步电动机电气控制、基本放大电路、集成运算放大器的应用、直流稳压电源安装与调试、逻辑代数基础、组合逻辑电路的应用、时序逻辑电路的应用、D/A和A/D转换器的应用,按“技能要求”设计了14个技能训练项目,以“自评表”关注学习过程,测评学习效果。理论以“必需、够用”为度,强化应用技能、专业素养的培养。

本书可作为高职高专院校非电类专业的教材或参考书,也可供相关专业工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术项目教程/何军主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2014.10

高等职业教育应用型人才培养规划教材

ISBN 978-7-121-24438-4

I. ①电… II. ①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. ①TM
②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第225291号

策划编辑:王昭松

责任编辑:王昭松

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:403.2千字

版 次:2010年8月第1版

2014年10月第2版

印 次:2014年10月第1次印刷

印 数:3000册 定价:35.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888

第2版前言

本书是编者在第1版的基础上,根据高等职业教育多年教学改革与实践经验,听取众多使用本教材的师生提出的宝贵意见和建议,在“必需、够用”的原则下,结合现代职教理论、“学生为中心,能力培养为本位”职教思想、“学中做、做中学”教学理念及本学院非电类专业校企合作办学经验,进行了适当的修订,并有幸成为教育部“十二五”职业教育国家规划教材。修订后的教材具有如下特色:

(1) 按“能力培养”规划学习项目。

依据非电类专业职业岗位对电工电子技术的“基础能力”要求,贯彻“以服务为宗旨,以能力为导向”的职教理念,围绕电工电子基本能力培养,重构教材的知识结构和能力结构体系,按“能力培养为目标”规划学习项目,体现了教学的职业性、针对性和普适性。教材内容全面,图文并茂,前后贯通,有机结合,和谐统一。

(2) 按“任务驱动”优化教材内容。

以职业岗位能力需要优化学习任务,将电工电子技术的内容逐步融入到每个学习任务中,内容选择充分考虑了非电类专业对电工电子技术知识和技能的要求。内容选取符合岗位技术特点,贴近生产实际,既利于激发学生的求知欲,调动学生主动学习,也利于培养学生创新精神和实践能力。层次清晰,语言表述尽量浅显易懂,具有很强的可读性,符合职业能力的培养规律。

(3) 以“学中做、做中学”培养学生能力。

特别注重“教、学、做”一体化,在强化理论基础知识学习的同时,通过“技能训练”注重学生职业技能的培养,教材更具实践性和指引性,充分彰显职业素养培养,充分体现知识、技能、职业素养的有机融合。

(4) 以“自评表”测评学习效果。

实施项目自评,关注每个学生的学习过程,自己找差距、找问题、找措施,有助于提高学习的自觉性和目标性,营造任务型学习动力和压力,培养自主学习和掌握知识、技能的热情,充分保证学习效果和质量。

本书由四川职业技术学院何军副教授担任主编,四川职业技术学院部分老

师参与编写工作，其中，何军、赵国华编写项目一、二，何军、谢大川编写项目三，官泳华、刘力编写项目四、十，王志军编写项目五、六，王长江编写项目七、八、九，蒋从元副教授审阅了全书。

书中标有“*”号的内容作为选学内容，教师可以根据需要取舍。

本书配有丰富的教学资源，读者可登录四川职业技术学院终身学习服务平台 <http://125.67.64.234:6611> 学习查看更多内容。

在本书的修订过程中得到了四川职业技术学院电子电气工程系同行的大力支持和帮助，在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错漏与不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者
2014年9月

目 录

项目一 直流电路基本知识	1
任务一：电路基本概念及电路元件	1
任务二：基尔霍夫定律及应用	7
任务三：电阻电路的等效变换	11
*任务四：戴维南定理	17
技能训练一：万用表的使用	20
自评表	24
能力测试	25
项目二 正弦交流电路基本知识	28
任务五：正弦交流电路的基本概念及正弦量的相量表示	28
任务六：单一元件的正弦交流电路	33
任务七：交流电路的功率、功率因数	38
任务八：三相交流电源	41
任务九：三相负载连接	44
任务十：三相电路功率	47
技能训练二：三相交流电路电压、电流和功率的测量	48
自评表	51
能力测试	51
项目三 三相异步电动机电气控制	54
任务十一：常用低压电气设备	54
任务十二：三相交流异步电动机	64
任务十三：三相异步电动机启动控制	69
技能训练三：三相异步电动机单向旋转控制线路安装	73
*技能训练四：三相异步电动机正反转控制线路安装	73
任务十四：三相异步电动机调速控制	76
任务十五：三相异步电动机制动控制	78
任务十六：三相异步电动机条件控制	81
技能训练五：三相异步电动机顺序控制线路安装	82
自评表	84
能力测试	85
项目四 基本放大电路	87

任务十七：半导体器件·····	87
任务十八：放大电路性能指标及测试·····	98
任务十九：共发射极放大电路及其应用·····	100
*任务二十：共集电极放大电路及其应用·····	106
*任务二十一：多级放大电路及其应用·····	109
任务二十二：功率放大电路及其应用·····	110
技能训练六：常用分立电子元器件的测试·····	117
技能训练七：单管交流电压放大器的安装与性能测试·····	119
自评表·····	120
能力测试·····	121
项目五 集成运算放大器的应用 ·····	124
任务二十三：集成运算放大器·····	124
任务二十四：放大电路中的负反馈及其应用·····	129
任务二十五：集成运算放大器的线性应用·····	141
技能训练八：集成运算放大器的线性应用电路测试·····	149
自评表·····	150
能力测试·····	151
项目六 直流稳压电源安装与调试 ·····	153
任务二十六：整流滤波电路·····	153
任务二十七：稳压电路·····	159
技能训练九：直流稳压电源安装与调试·····	163
自评表·····	164
能力测试·····	165
项目七 逻辑代数基础 ·····	166
任务二十八：数制与编码·····	166
任务二十九：逻辑代数及其应用·····	170
任务三十：卡诺图及其应用·····	177
自评表·····	182
能力测试·····	182
项目八 组合逻辑电路的应用 ·····	184
任务三十一：集成门电路及其应用·····	184
*任务三十二：组合逻辑电路的分析和设计·····	190
任务三十三：常用集成组合逻辑器件及其应用·····	193
技能训练十：集成门电路的逻辑功能测试·····	206
*技能训练十一：译码器设计火灾报警电路·····	207

自评表	207
能力测试	208
项目九 时序逻辑电路的应用	210
任务三十四: 触发器及其应用	210
任务三十五: 计数器及其应用	217
任务三十六: 寄存器及其应用	222
任务三十七: 集成 555 定时器及其应用	225
技能训练十二: 计数、译码和显示电路	230
技能训练十三: 555 定时器的应用	231
自评表	232
能力测试	233
*项目十 D/A 和 A/D 转换器的应用	235
任务三十八: D/A 转换器的应用	235
任务三十九: A/D 转换器的应用	238
技能训练十四: D/A 与 A/D 转换器的应用	240
自评表	241
能力测试	241
参考文献	243

直流电路基本知识

项目描述：随着科学技术的飞速发展，现代电工电子设备种类日益繁多，规模和结构更是日新月异，在实际工作中，很多设备都需要电力进行拖动，设备控制也越来越自动化、小型化，但无论怎样设计和制造，这些设备绝大多数仍是由各式各样的电路组成的；电路的结构不论多么复杂，它们和最简单的电路之间还具有许多基本的共性，遵循着相同的规律。在电气控制中，离不开对电路的研究，因此学习电路分析的基本方法，就成为必备的基础理论。

项目任务：了解电路的基本共性及其遵循的基本规律。

学习内容：电路基本概念和电路元件；欧姆定律及其扩展应用；基尔霍夫定律及其应用；电路分析计算方法；等效电路；常用电工仪器、仪表的使用。

任务一：电路基本概念及电路元件



能力目标

- (1) 了解和熟悉电路的组成及其功能。
- (2) 理解电路的基本物理量(电流、电压、电位、电动势、功率、电功)的概念及其单位。
- (3) 掌握理想电路元件与实际电路元件在电特性上的不同。

一、电路的基本概念

1. 电路的组成及功能

电流通过的路径称为电路，它是为了满足某种需要由电工设备或电路元件按一定方式组合而成的。在研究电路的工作原理时，通常是用一些规定的图形符号来代表实际的电路元件，并用连线表示它们之间的连接关系，画成原理电路图进行分析。原理电路图简称电路图。如图 1-1 所示的电路是一个最简单的手电筒电路。

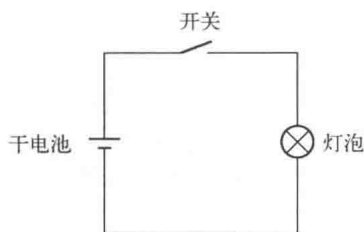


图 1-1 手电筒电路

不论手电筒电路、单个照明灯电路等这些在实际应用中的较为简单的电路,还是类似电动机电路、计算机电路、电视机电路等较为复杂的电路,构成这些电路的基本组成部分都包括三个基本环节:电源、负载和中间环节。

电源:向电路提供电能的装置。它可以将其其他形式的能量,如化学能、热能、机械能、原子能等转换为电能。在电路中,电源是激励,是激发和产生电流的因素。

负载:通常人们熟悉的各种用电器,是取用电能的装置,它把电能转换为其他形式的能量。例如,电灯把电能转换为光能和热能,电动机把电能转换为机械能。

中间环节:电源和负载连通离不开传输导线,电路的通、断离不开控制开关,实际电路为了长期安全工作,还需要一些保护设备(如熔断器、热继电器、空气开关等),它们在电路中起着传输和分配能量、控制和保护电气设备的作用。

按照功能的不同,可以把工程应用中的实际电路分为两类。

- (1) 电力系统中的电路:实现对发电厂发出的电能进行传输、分配和转换。
- (2) 电子技术中的电路:实现对电信号的传递、变换、储存和处理。

2. 电路的基本物理量

(1) 电流。电荷有规则的定向移动形成电流。在稳恒直流电路中,电流的大小和方向不随时间变化;在正弦交流电路中,电流的大小和电荷移动的方向按正弦规律变化。

电流的大小是用单位时间内通过导体横截面的电量进行衡量的,称为电流强度,即:

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

稳恒直流电路中,电流的大小及方向都不随时间变化时,其电流强度可表示为:

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

电流的单位是安培,简称安,用符号 A 表示。1 A 电流为 1 秒(s)内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑(C)。电流的单位除安外,常用的单位还有 kA(千安)、mA(毫安)、 μ A(微安)和 nA(纳安),它们之间的换算关系为:

$$1 \text{ A} = 10^{-3} \text{ kA} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A} = 10^9 \text{ nA}$$

习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的正方向。

(2) 电压。电压就是将单位正电荷从电路中一点移至电路中另一点电场力所做的功,用数学式可表达为

$$U_{ab} = \frac{W_a - W_b}{q} \quad (1-3)$$

电压的单位用伏特表示,简称伏,用符号 V 表示。电压的单位除伏外,常用的单位还有 kV(千伏)、mV(毫伏)和 μ V(微伏),它们之间的换算关系为:

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

由欧姆定律可知,如果把一个电压加在电阻两端,电阻中就会有电流通过。实际电路中

的情况也是如此,当我们在负载两端加上一个电压时,负载中同样会有电流通过,而电流通过负载时必定会在负载两端产生电压降,从而发生能量转换的过程,即电压是电路中产生电流的根本原因(与水路中产生水流的原因是水位差的道理一致)。

一般规定:电压的正方向是由高电位“+”指向低电位“-”,因此通常把电压称为电压降。

比较简单的直流电路,电压、电流的实际方向很容易看出来,可是对于复杂的直流电路,有时电路中电流(或电压)的实际方向很难预先判断出来;在交流电路中,由于电流(或电压)的实际方向在不断地变化,所以也无法在电路图中正确标出电流(或电压)某一瞬间的实际方向。

在分析和计算电路的过程中,在电路图上标出电压、电流的参考方向,这样会为我们的分析带来方便。

我们可以任意选定一个方向作为流过某段电路或一个电路元件电流的参考方向,此方向也称正方向,用箭头表示在电路图上,且以此参考方向作为电路计算的依据,如果求解出的电流为正值($I > 0$)时,表明电流的实际方向与参考方向一致,如图 1-2(a)所示。若电流为负值($I < 0$)时,表明电流的实际方向与参考方向相反,如图 1-2(b)所示。需要注意的是:只有在参考方向选定后,电流值才有正负之分。

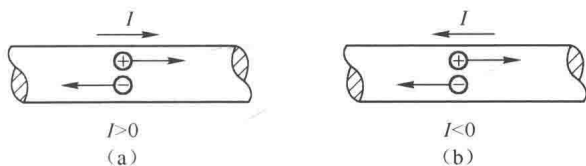


图 1-2 电流参考方向与实际方向的关系

在一些复杂电路中,遇到某两点间的电压实际方向难以确定的时候,也可先任意假定电压的参考方向,并以此方向作为计算依据,求解出的电压为正值($U > 0$)时,表明电压的实际方向与参考方向相同,如图 1-3(a)所示;若电压为负值($U < 0$)时,表明电压的实际方向与参考方向相反,如图 1-3(b)所示。

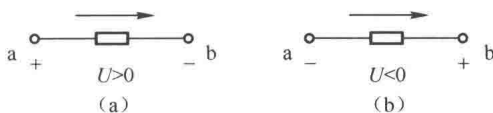


图 1-3 电压参考方向与实际方向的关系

同一段电路或一个元件的电流和电压的参考方向可以独立地任意指定。但为了方便起见,如果选定流过元件的电流的参考方向是从标以电压正极性端指向负极性端,即两者的参考方向一致时,则把电流和电压这种参考方向称为关联参考方向,如图 1-4(a)所示。其余的为非关联参考方向,如图 1-4(b)所示。

在运用参考方向时有两个问题要注意:

① 参考方向是列写方程式的需要,所以当分析电路时,先要标出电流和电压的参考方向后再计算,参考方向可以任意选定。在电路图中,所有标注的方向都可以认为是电流、电压的参考方向,并非实际方向。

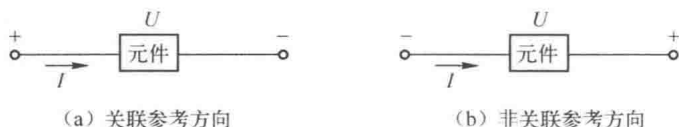


图 1-4 电流、电压参考方向

② 电压的实际方向是客观存在的,它不会因电压的参考方向的不同选择而改变,因此 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

③ 分析和计算电路的最后结果。若某一所求电压或电流得正值,说明它在电路图上的参考方向与实际方向相同;若某一所求电压或电流得负值,则说明它在电路图上所标定的参考方向与实际方向相反。

(3) 电位。电路中各点位置上单位正电荷所具有的势能称为电位。电路中的电位具有相对性,只有先明确了电位的参考点,电路中各点的电位才有意义。

电位的高低正负都是相对于参考点而言的。电位参考点的电位取零值,其他各点的电位值和参考点相比,高于参考点的电位是正电位,低于参考点的电位是负电位。只要电位参考点确定之后,电路中各点的电位数就唯一确定。实际上,电路中某点电位的数值等于该点到参考点之间的电压。在电力系统中,常选择大地为参考点;在电子设备中,一般以外壳或接地点作为参考点。

电位与电压的单位均是伏特[V]。电压和电位的关系为:

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

即电路中任意两点间电压,在数值上等于这两点电位之差。由式(1-4)也可以看出,电压是绝对的量,电路中任意两点间的电压大小,仅取决于这两点电位的差值,与参考点无关。

(4) 电动势。电动势反映了电源内部能够将非电能转换为电能的能力,用符号“ E ”表示。从电的角度上看,电动势代表了电源力将电源内部的正电荷从电源负极移到电源正极所做的功,是电能累积的过程。电动势与电压、电位的单位相同,都是伏特[V]。

电路中的持续电流需要靠电源的电动势来维持,这就类似于水泵维持连续的水流一样,由于水泵具有将低水位的水抽向高水位的能力,从而保证水路中的水位差,高处的水就能连续不断地流向低处。电源之所以能够持续不断地向电路提供电流,也是由于电源内部存在电动势的缘故。

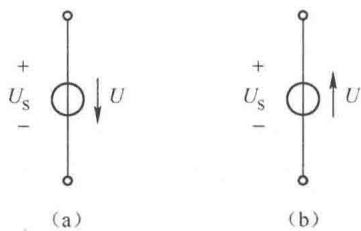


图 1-5 电压和电动势的参考方向

在电路分析中,电动势的方向规定由电源负极指向电源正极,即电位升高的方向。电动势只存在于电源内部,而电压不仅存在于电源两端,而且还存在于电源外部。由于电动势两端的电压值为恒定值,所以用一恒压源 U_S 的电路模型来代替电动势 E 。若电压的参考方向与电源的极性一致时, $U = U_S$, 如图 1-5(a) 所示;相反时, $U = -U_S$, 如图 1-5(b) 所示。

(5) 电功。电流能使电灯发光,电炉发热,电动机转动,说明电流具有做功的本领。电流所做的功称为电功。电流做功的同时伴随着能量的转换,其做功的大小用能量进行度量,即:

$$W = UIt \quad (1-5)$$

电能的单位是焦耳,简称焦,用符号 J 表示。在实际工作和生活中,还常常用千瓦时 [kW·h] 来表示电功(或电能)的单位,俗称“度”,1 kW·h 也称 1 度电。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

1 度电的概念可用下述例子解释:100W 的灯泡使用 10h 耗费的电能是 1 度;1000W 的电炉加热 1h 耗费的电能也是 1 度。

(6) 电功率。单位时间内电流做的功称为电功率。电功率用 P 表示,即:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-6)$$

电功率的单位是瓦特,简称瓦,用符号 W 表示。1W = 1V·1A。除瓦外,功率常用的单位还有 MW(兆瓦)、kW(千瓦)和 mW(毫瓦),它们之间的换算关系为:

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

若计算所得 $P > 0$, 则电路实际吸收功率,若 $P < 0$, 则电路吸收负功率,即实际发出功率。

用电器铭牌上的电功率表示它的额定功率,是用电设备能量转换本领的量度,例如,“220V, 100W”的白炽灯,说明当给该灯施加 220V 电压时,它能在 1s 内将 100J 的电能转换成光能和热能。需要注意的是:用电器实际消耗的电功率只有实际加在用电器两端的电压等于它铭牌数据上的额定电压时,才与它铭牌上的额定功率相等。

二、电路模型和电路元件

在电路理论中,为了便于对实际电路的分析和计算,我们通常在工程实际允许的条件下对实际电路进行模型化处理。例如,电阻器、灯泡、电炉等,这些电气设备除了具有耗能的电特性,还有其他一些电磁特性,但是在研究和分析问题,我们只考虑这些电气设备的耗能特性。因此,我们就可以用只具有耗能特性的“电阻元件”作为它们的电路模型。

工程实际中的电感器,通常是在一个骨架上用漆包线绕制而成的。在直流电路中,电感器表现的电磁特性主要是耗能,因此直流下可用一个“电阻元件”来作为这个实际电感器的电路模型;电感器在工频电路中,主要电磁特性不仅有耗能的因素,还具有储存磁场能量的重要因素,这时我们可用一个理想化的电阻元件和一个只具有储存磁能性质的“电感元件”相串联作为它的电路模型;同一个电感器若应用在较高频率的电路时,不仅要考虑上述两种因素,同时还要考虑导体表面的电容效应,因此其电路模型应是电阻元件和电感元件相串联后再与一个只具有储存电能性质的“电容元件”相并联的组合。

由此可知,同一实体电路部件,其电磁特性是复杂和多元的,并且在不同的外部条件下,它们呈现的电磁特性也会各不相同。

为了便于问题的分析和计算,在电路分析中,我们通常考虑主要电磁特性,抽象出实际电路器件的“电路模型”。理想电路元件的“电路模型”如图 1-6 所示。

图 1-6 中的电阻元件、电感元件和电容元件,通常简称为电路元件。电路元件是实际电路器件的理想抽象,其电磁特性单一而确切。

若电源的主要供电方式是向电路提供一定的电压,则称为电压源,如图 1-6(d) 所示。

若主要供电方式是向电路提供一定的电流,则称为电流源,如图1-6(e)所示。

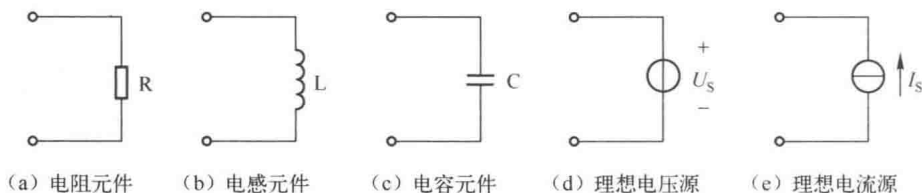


图1-6 理想电路元件的“电路模型”

对实际元器件的模型化处理,使得不同的实体电路部件只要具有相同的电磁性能,在一定条件下就可以用同一个电路模型来表示,显然降低了实际电路的绘图难度。而且,同一个实体电路部件,处在不同的应用条件和环境下,其电路模型可具有不同的形式。有的模型比较简单,仅由一种元件构成;有的比较复杂,可用几种理想元件的不同组合构成。显然,实际电路元器件的理想化处理给分析和计算电路带来了极大的方便。

例如,图1-7所示是一个最简单的手电筒电路及其电路模型。从图中可以看出简化抽象出来的手电筒电路模型,清晰且明了。

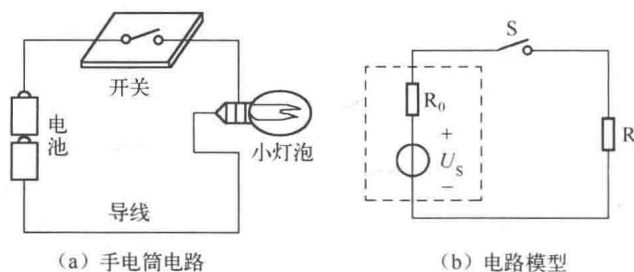


图1-7 手电筒电路及其电路模型

本书所说电路一般均指由理想电路元件构成的抽象电路或电路模型,而非实际电路。在电路图中,各种电路元件都用规定的图形符号来表示。



能力训练

- (1) 电路由哪几部分组成,各部分的作用是什么?
- (2) 何谓理想电路元件?如何理解“理想”二字在实际电路中的含义?何谓电路模型?
- (3) 电压、电位、电动势有何异同?
- (4) 如图1-4(a)所示,若已知元件吸收功率为 -20W ,电压 $U = 5\text{V}$,求电流 I 。
- (5) 如图1-4(b)所示,若已知元件中通过的电流 $I = -100\text{A}$,元件两端电压 $U = 10\text{V}$,求电功率 P ,并说明该元件是吸收功率还是输出功率。

任务二：基尔霍夫定律及应用



能力目标

1. 掌握基尔霍夫定律的内容。
2. 熟练掌握基尔霍夫定律的应用——支路电流法。

对于任意一段电路，电流与该段电路两端的电压成正比，与该段电路中的电阻成反比，称为欧姆定律。当电压与电流为关联参考方向时，欧姆定律可表示为：

$$I = \frac{U}{R}$$

上式仅适用于线性电路，它体现了线性电路元件上的电压、电流约束关系，表明了元件特性只取决于元件本身，在分析和计算如图 1-8 所示的复杂电路时，要依据基尔霍夫定律。基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律。为了说明此定律，有必要介绍有关电路结构的常用名词。

一、常用的电路名词

(1) 支路。一个或几个元件首尾相串联后，连接于电路的两个节点之间，使通过电路中的电流值相同，这种连接方式称为支路。图 1-8 所示的电路中共有三条支路，即 acb、ab、adb 支路。其中含有电源的支路称为有源支路，如 acb 支路和 adb 支路；不含电源的支路称为无源支路，如 ab 支路。

(2) 节点。电路中三条或三条以上支路的交点称为节点。图 1-8 所示电路中共有 a 和 b 两个节点。

(3) 回路。电路中任意一条闭合路径称为回路。图 1-8 所示电路中共有三个回路，即 abca、adba 和 acbda。

(4) 网孔。电路中间不再包含其他支路的单一闭合回路称为网孔。图 1-8 所示电路中共有两个网孔 abca 和 abda。网孔是最简单的回路，网孔中不包含回路，但回路中可能包含有网孔。

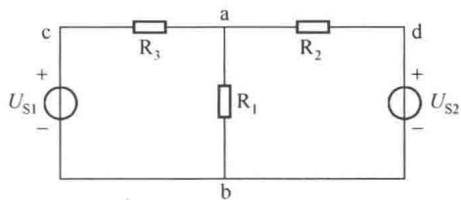


图 1-8 复杂电路

二、基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律也称节点电流定律，简称为 KCL。表述为：在集总参数电路中，任一时刻，流入任一节点的电流之和必定等于从该节点流出的电流之和。数学表达式为：

$$\sum I_{\lambda} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-7)$$

对图 1-9 所示的节点 a 列出 KCL 方程：

$$I_3 + I_1 = I_2 + I_4 \quad (1-8)$$

或

$$I_3 + I_1 - I_2 - I_4 = 0 \quad (1-9)$$

即:
$$\sum I = 0 \quad (1-10)$$

上式说明,若规定流入节点的电流为正,流出节点的电流为负,那么,基尔霍夫电流定律的内容又可以表述为:对于任一集总参数电路,在任一时刻,流出(或流入)任一节点的电流代数数和等于零。如图 1-10 所示为 KCL 的推广应用。

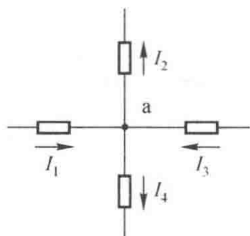


图 1-9 KCL 的应用

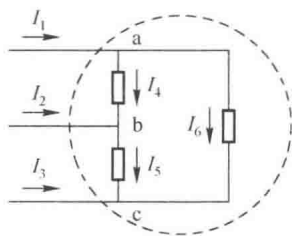
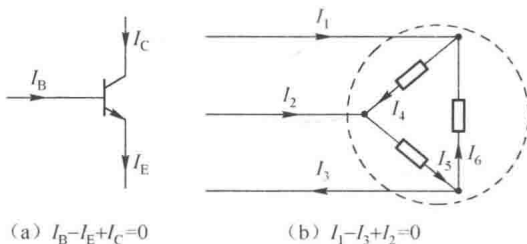


图 1-10 KCL 的推广应用

KCL 虽然是对电路中任一节点而言的,根据电流的连续性原理,它可推广应用于电路中的任一假想封闭曲面,如图 1-11 所示。



(a) $I_B - I_E + I_C = 0$

(b) $I_1 - I_3 + I_2 = 0$

图 1-11 KCL 定律的推广应用

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律也称回路电压定律,简称为 KVL。表述为:在集总参数电路中,任一时刻,对任一回路,按一定绕行方向,回路中各段电压的代数和恒等于零。数学表达式为:

$$\sum U = 0 \quad (1-11)$$

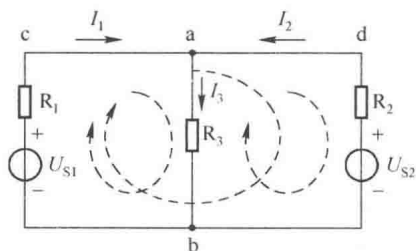


图 1-12 KVL 定律的应用

如果约定沿回路绕行方向,电压降低的参考方向与绕行方向一致时电压取正号,电压升高的参考方向与绕行方向一致时电压取负号。对图 1-12 所示的电路,根据 KVL 可对电路中三个回路分别列出 KVL 方程式如下:

对 abca 回路 $I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_{S1} = 0$

对 adba 回路 $-I_2 R_2 - I_3 R_3 + U_{S2} = 0$

对 adbca 回路 $I_1 R_1 - I_2 R_2 + U_{S2} - U_{S1} = 0$

对 adbca 回路的方程整理可得

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = U_{S1} - U_{S2}$$

即:

$$\sum IR = \sum U_S \quad (1-12)$$

因此,基尔霍夫电压定律的内容又可叙述为:在电路的任一回路中,电阻上电压降的代数和等于电动势的代数和。

KVL 不仅应用于电路中的任意闭合回路,同时也可推广应用于回路的部分电路。以图 1-13 所示电路为例,应用 KVL 定律可列出方程:

$$\sum U = IR + U_S - U = 0 \quad \text{或} \quad U = IR + U_S$$

[例 1-1] 如图 1-14 所示的电路,已知 $U_{S1} = 12\text{V}$, $U_{S2} = 3\text{V}$, $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 9\Omega$, $R_3 = 10\Omega$, 求 U_{ab} 。

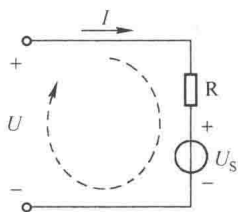


图 1-13 电路举例

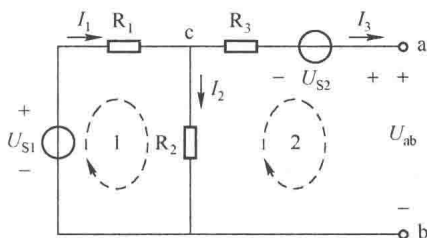


图 1-14 例 1-1 图

解: $I_3 = 0$

对于节点 c, 由 KCL 可得:

$$I_1 = I_2$$

对于回路 1, 由 KVL 可得:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = U_{S1}$$

解得:

$$I_1 = I_2 = \frac{U_{S1}}{R_1 + R_2} = \frac{12}{3 + 9} = 1\text{A}$$

对于回路 2, 由 KVL 可得:

$$U_{ab} - I_2 R_2 + I_3 R_3 - U_{S2} = 0$$

所以

$$\begin{aligned} U_{ab} &= I_2 R_2 - I_3 R_3 + U_{S2} \\ &= 1 \times 9 - 0 \times 10 + 3 \\ &= 12\text{V} \end{aligned}$$

三、基尔霍夫定律的应用——支路电流法

1. 支路电流法

支路电流法是以支路电流为待求变量,利用元件 VCR 将各支路电压用支路电流表示,再列写 KCL、KVL 独立方程,从而求解电路的方法。