

- 项目导向
- 任务驱动
- 侧重技能
- 面向就业

高等职业教育电子信息类专业规划教材·项目导向系列

电工电子技术 项目教程

◎ 何 军 主编 王志军 王长江 副主编

◎ 朱永金 主审

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等职业教育电子信息类专业规划教材·项目导向系列

电工电子技术项目教程

何 军 主 编
王志军 王长江 副主编
朱永金 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要内容有：直流电路的原理分析、正弦交流电路的原理分析、电工基本技能、三相异步电动机电气控制、半导体器件认识及检测、基本放大电路测试、集成运算放大器的应用、直流稳压电源安装与调试、数字电路的基本数学工具、组合逻辑电路的应用、时序逻辑电路的应用、D/A 和 A/D 转换器的应用等内容。

本书采用项目驱动设计教学内容，电路基础知识、电路分析计算方法以够用为原则，突出基本能力和应用能力，并按技能要求设计了实训项目，教材内容图文并茂，可读性强。

为方便学生了解对所学知识、技能的掌握情况，教材在每项任务后都设计了自我评价标准及能力测试题目。通过测试，学生及时发现问题和解决问题，完成学习任务，提高学习质量。

本书可作为高职高专非电子类专业“电工电子技术”课程教材，也可供从事电气相关工作的工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术项目教程/何军主编.——北京:电子工业出版社,2010.8

高等职业教育电子信息类专业规划教材·项目导向系列

ISBN 978-7-121-11127-3

I. ①电… II. ①何… III. ①电工技术-高等学校:技术学校-教材 ②电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 113791 号

策划编辑：王昭松

责任编辑：毕军志

印 刷：北京市李史山胶印厂

装 订：

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：17.75 字数：451.2 千字

印 次：2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：29.00 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 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010)88258888

前 言

电工电子技术是非电子类专业重要的基础课程。本书是根据我国高等教育发展的新形势，依据教育部电子电气基础课程教学指导委员会“电工学课程教学基本要求”（草案），按照工作过程对知识和技能的要求，结合高职院校培养应用型高级技术人才的定位来组织编写的。

本书针对高等职业学校的教学特点，基于工作过程开发课程体系，以项目驱动为导向，在强调基础知识的同时，也注重基本能力培养和实践技能训练，突出了知识的实用性和够用性；各部分内容前后贯通，有机结合，既有基础理论，又有新技术、新方法，力求与时俱进。

本教材的主要特点：

- (1) 基础能力作为教材主线；
- (2) 项目驱动设计教学内容；
- (3) 技能训练彰显高职特点；
- (4) 能力训练保障实现目标；
- (5) 优质课件辅助学习平台；
- (6) 自我评价测评学习效果。

全书分 12 个项目，46 个任务，20 个技能训练，分别介绍了直流电路的原理分析、正弦交流电路的原理分析、电工基本技能、三相异步电动机电气控制、半导体器件认识及检测、基本放大电路测试、集成运算放大器的应用、直流稳压电源安装与调试、数字电路的基本数学工具、组合逻辑电路的应用、时序逻辑电路的应用、D/A 和 A/D 转换器的应用等内容。

本书由四川职业技术学院何军副教授担任主编，四川职业技术学院王长江、王志军副教授担任副主编。项目一、二由赵国华编写，项目三由谢大川编写，项目四由何军编写，项目五、六由刘力编写，项目七、八由王志军编写，项目九、十由王长江编写，项目十一、十二由官泳华编写。本书由四川职业技术学院朱永金副教授主审。

在编写过程中，四川职业技术学院电子电气工程系老师群策群力，提出了中肯的修改意见。在此，对为本书编写与出版付出辛勤劳动的全体同志深表感谢。

由于编者水平有限，书中错漏或不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者
2010 年 6 月

目 录

项目一 直流电路的原理分析	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	7
任务三：电阻电路的等效变换	10
任务四：支路电流法	16
任务五：戴维南定理	18
技能训练一：电工仪表的使用及电位、电压的测量	20
项目一自我评价标准	22
项目一能力测试	23
项目二 正弦交流电路的原理分析	26
任务六：正弦交流电路的基本概念及正弦量的相量表示.....	26
任务七：单一元件的正弦交流线路	31
任务八：交流电路的功率、功率因数.....	36
任务九：三相交流电源.....	39
任务十：三相电路中负载的连接	43
任务十一：三相交流电路的功率	45
技能训练二：三相交流电路电压、电流和功率的测量.....	47
项目二自我评价标准	49
项目二能力测试	50
项目三 电工基本技能	52
任务十二：常用电工工具和电工仪表的使用	52
技能训练三：电工工具的使用	60
任务十三：导线连接与绝缘恢复	61
技能训练四：导线的直线连接、“T”字连接及绝缘的恢复	63
任务十四：线路的安装方法	63
技能训练五：动力线路的安装	81
任务十五：电气设备绝缘测试	81
技能训练六：兆欧表的使用	83
任务十六：接地体的制作与接地电阻的测试	84
技能训练七：接地电阻测试	85
任务十七：安全用电	86
项目三自我评价标准	90
项目三能力测试	90
项目四 三相异步电动机电气控制	92
任务十八：常用低压电气设备使用分析.....	92

任务十九：三相异步电动机启动控制	102
技能训练八：三相异步电动机单向旋转控制线路安装	106
技能训练九：三相异步电动机正反转控制线路安装	106
任务二十：三相异步电动机调速控制	107
任务二十一：三相异步电动机电气制动控制	108
任务二十二：三相异步电动机条件控制	111
技能训练十：三相异步电动机顺序控制线路安装	113
项目四自我评价标准	113
项目四能力测试	114
项目五 半导体器件认识及检测	116
任务二十三：半导体二极管	116
任务二十四：半导体三极管	119
技能训练十一：常用分立电子元器件的测试	125
项目五自我评价标准	126
项目五能力测试	127
项目六 基本放大电路测试	128
任务二十五：放大电路性能指标及测试	128
任务二十六：共发射极放大电路及其应用	130
任务二十七：共集电极放大电路及其应用	136
任务二十八：多级放大电路及其应用	139
任务二十九：功率放大电路及其应用	141
技能训练十二：单管交流电压放大器的安装与性能指标测试	148
技能训练十三：功率放大电路的安装与性能指标测试	149
项目六自我评价标准	150
项目六能力测试	151
项目七 集成运算放大器的应用	153
任务三十：通用型集成运算放大器的组成及其基本特性	153
任务三十一：放大电路中的负反馈及其应用	158
任务三十二：集成运算放大器的线性应用	170
技能训练十四：集成运算放大器的线性应用电路测试	178
项目七自我评价标准	179
项目七能力测试	180
项目八 直流稳压电源安装与调试	182
任务三十三：整流滤波电路原理分析	182
任务三十四：稳压电路原理分析	188
技能训练十五：直流稳压电源安装与调试	194
项目八自我评价标准	195
项目八能力测试	196
项目九 数字电路的基本数学工具	197

任务三十五：数制与编码	197
任务三十六：逻辑代数及其应用	201
任务三十七：卡诺图及其应用	208
项目九自我评价标准	213
项目九能力测试	213
项目十 组合逻辑电路的应用	215
任务三十八：集成门电路及其应用	215
任务三十九：组合逻辑电路的分析和设计	221
任务四十：常用集成组合逻辑部件及其应用	224
技能训练十六：集成门电路的逻辑功能测试	237
技能训练十七：用译码器设计一火灾报警电路	238
项目十自我评价标准	238
项目十能力测试	239
项目十一 时序逻辑电路的应用	241
任务四十一：触发器及其应用	241
任务四十二：计数器及其应用	248
任务四十三：寄存器及其应用	253
任务四十四：555 定时器的应用	256
技能训练十八：计数、译码和显示电路	261
技能训练十九：555 定时器的应用	262
项目十一自我评价标准	263
项目十一能力测试	264
项目十二 D/A 和 A/D 转换器的应用	266
任务四十五：D/A 转换器的应用	266
任务四十六：A/D 转换器的应用	269
技能训练二十：D/A 与 A/D 转换器的应用	271
项目十二自我评价标准	272
项目十二能力测试	272
参考文献	274

项目一

直流电路的原理分析

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所组成的;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。

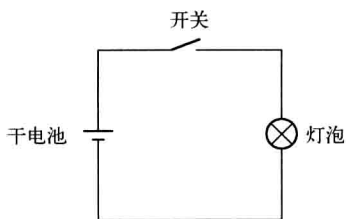


图 1-1 手电筒电路

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。1A 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)和 μA (微安)。它们之间的换算关系为：

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

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 μV (微伏)，各种单位之间的换算关系为：

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

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,此方向也叫正方向,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。在参考方向选定后,电流值才有正负之分。

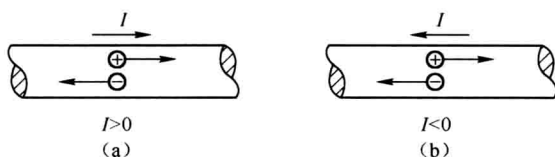


图 1-2 电流参考方向与实际方向的关系

在一些复杂电路中,遇到某两点间的电压实际方向难于确定的时候,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。

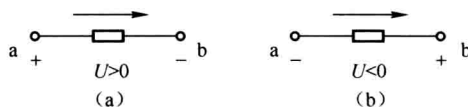


图 1-3 电压参考方向与实际方向的关系

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。

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该电量的实际方向相反。

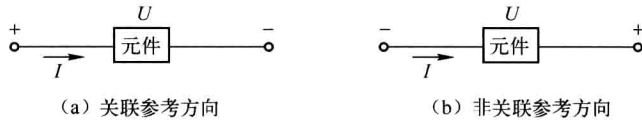


图 1-4 电流、电压参考方向

(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本领，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。

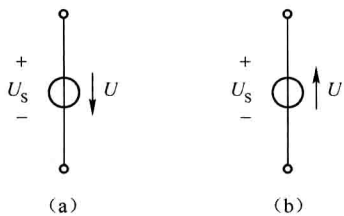


图 1-5 电压和电动势的参考方向

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，其作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 也叫 1 度电。

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

一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,耗费电能还是 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。 $1\text{W} = 1\text{V}\cdot 1\text{A}$ 。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时,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电特性的“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。

图中的电源的主要供电方式是向电路提供一定的电压,就是电压源,若主要供电方式是

向电路提供一定的电源,就称为电流源。

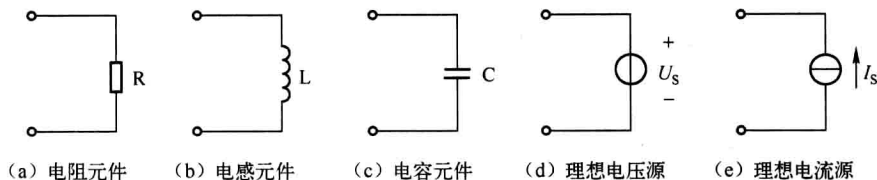


图 1-6 理想电路元件的电路模型

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。有时模型比较简单,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,给分析和计算电路也带来了极大的方便。

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明了。

今后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。

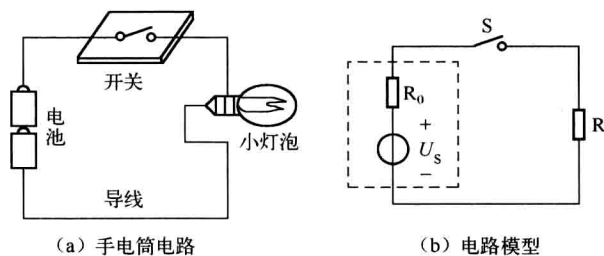


图 1-7 手电筒电路及其电路模型



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?
- (5) 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 。
- (6) 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



能力目标

- (1) 理解并掌握基尔霍夫定律的内容。
- (2) 熟练应用基尔霍夫定律。

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。

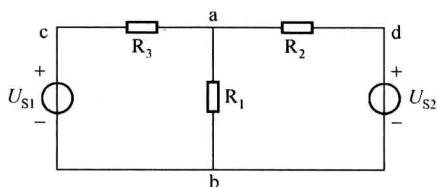


图 1-8 复杂电路

二、基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律也叫节点电流定律，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：

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

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。

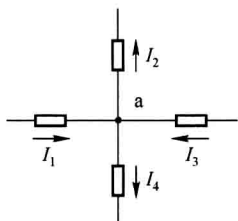


图 1-9 KCL 的应用

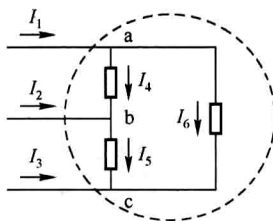
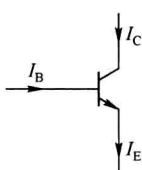
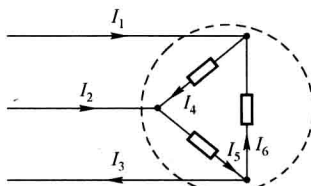


图 1-10 KCL 的推广应用

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

三、基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律也叫回路电压定律，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：

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

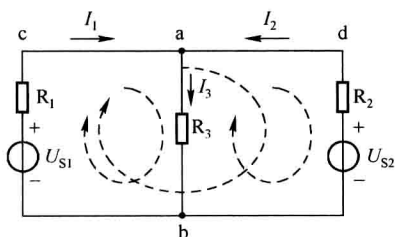


图 1-12 KVL 定律的应用

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 $U_{S1} = 12\text{V}$, $U_{S2} = 3\text{V}$, $R_1 = 3\text{k}\Omega$, $R_2 = 9\Omega$, $R_3 = 10\Omega$, 求 U_{ab} 。

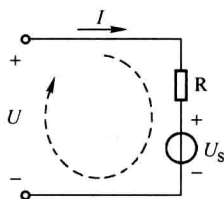


图 1-13 电路举例

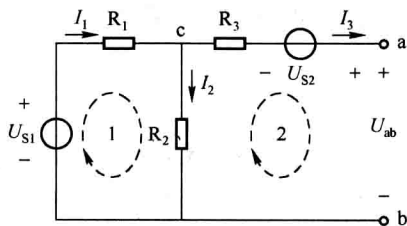


图 1-14 例 1-1 图

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:

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

对于回路 2, 由 KVL 可得:

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

所以

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



能力训练

- (1) 试说明什么是支路、回路、节点和网孔。
- (2) 在应用 KCL 定律解题时,为什么要首先约定流入、流出节点的结电流的正、负?计算结果电流为负值说明了什么问题?
- (3) 应用 KCL 和 KVL 定律解题时,为什么要在电路图上先标示出电流的参考方向及事先给出回路中的参考绕行方向?

任务三：电阻电路的等效变换



能力目标

- (1) 掌握电源模型之间的等效变换原理及分析方法。
- (2) 掌握电阻不同连接方式之间的等效变换方法。

一、电压源和电流源之间的等效变换

1. 电压源

(1) 理想电压源。实际电路设备中所用的电源，多数是需要输出较为稳定的电压，即设备对电源电压的要求是：当负载电流改变时，电源所输出的电压值尽量保持或接近不变。但实际电源总是存在内阻的，因此当负载增大时，电源的端电压总会有所下降。为了使设备能够稳定运行，工程应用中，我们希望电源的内阻越小越好，当电源内阻等于零时，就成为理想电压源。理想电压源是忽略内阻损耗的实际电源抽象得到的理想化二端电路元件，如图 1-15(a) 所示，其端电压在任意瞬间与通过它的电流无关， U_S 由电源本身确定，保持恒定不变或按一定规律随时间变化，如图 1-15(b) 所示。

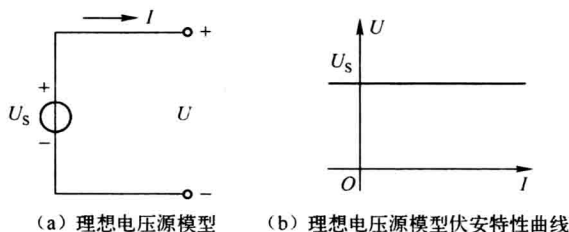


图 1-15 理想电压源及伏安特性曲线

理想电压源具有两个显著特点：

一是它对外供出的电压 U_S 是恒定值（或是一定的时间函数），与流过它的电流无关，即与接入电路的方式无关。

二是流过理想电压源的电流由它本身与外电路共同来决定，即与它相连接的外电路有关。

(2) 实际电压源。理想电压源实际上是不存在的，也就是说，实际电源总是存在内阻的，总存在内部的功率损耗，图 1-16 为实际电压源模型及伏安特性曲线。

2. 电流源

(1) 理想电流源。实际电路设备中所用的电源，并不是在所有情况下都要求电源的内阻越小越好。在某些特殊场合下，有时要求电源具有很大的内阻，因为高内阻的电源能够有一