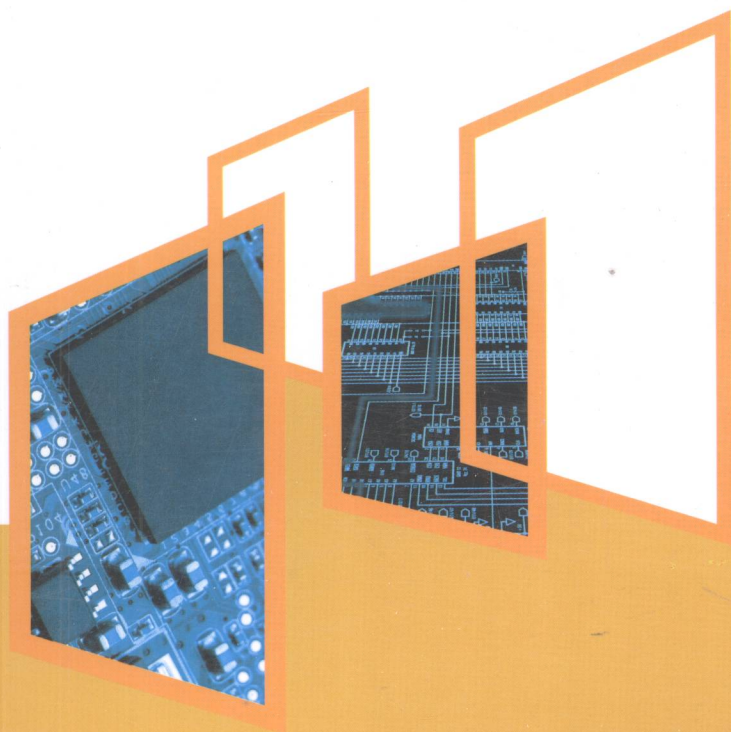




高等职业教育精品工程规划教材·电子信息类

工业和信息化部职业教育指导委员会“十二五”规划教材

电工电路分析与测试



张明金 主 编

范爱华 肖亚杰 王成琪 副主编

赵成民 主 审

- 
- ★ 以典型实践工程项目为案例
 - ★ 突出了核心能力的培养
 - ★ 项目化编写模式



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等职业教育精品工程规划教材·电子信息类
工业和信息化部职业教育教学指导委员会“十二五”规划教材
电类专业通用

电工电路分析与测试

张明金 主 编

范爱华 肖亚杰 王成琪 副主编

赵成民 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据高职高专培养人才的特点及培养目标,并考虑到目前多数高职高专院校采用项目化、理实一体化、任务驱动等教学方法的改革,以工作任务引领的方式将相关知识点融入完成工作任务所必需的工作项目中,使学生掌握必要的基本理论知识,并使学生的实践能力、职业技能、分析问题和解决问题的能力不断提高。

本书共 6 个项目:直流电路的分析与测试、正弦交流电路的分析与测试、线性电路的过渡过程分析与测试、非正弦周期电流电路的分析与测试、变压器的认识与使用、交流电动机的认知及电气控制线路的装配。

本书总学时为 60~70 学时。对于电气自动化技术、机电一体化技术专业,由于后续开设《电机与电气控制技术》课程,所以可以选学项目 1 到项目 4 及项目 5 的任务 1 等内容;对其他电类专业可根据专业人才培养方案中的课程设置情况选取适合的相关教学内容。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校的电类专业教材,也可供工程技术人员参考。

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

电工电路分析与测试/张明金主编. —北京:电子工业出版社, 2012.7

高等职业教育精品工程规划教材. 电子信息类

ISBN 978-7-121-17363-9

I. ①电… II. ①张… III. ①电路分析—高等职业教育—教材②电路测试—高等职业教育—教材
IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 125197 号

责任编辑:郭乃明

印 刷: 涿州市京南印刷厂
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: 787×1 092 1/16 印张: 15.5 字数: 381 千字

印 次: 2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 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 zltz@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

本书是根据高职高专人才培养的目标,并考虑到目前多数高职高专院校进行项目化、理实一体化、任务驱动等教学方法的改革,以“工学结合、项目引导、‘做中学,学中做,学做一体,边学边做’一体化”为原则编写的。以工作任务引领的方式将相关知识点融入到完成工作任务所必备的工作项目中,使学生掌握必要的基本理论知识,并使学生的实践能力、职业技能、分析问题和解决问题的能力不断提高。

本书是编者将多年的高职高专的教育教学经验,积累和收集的资料整理汇编,在电子工业出版社的组织和大力支持下,编写而成的。

本书在编写的过程中,本着“精选内容,打好基础,培养能力”的精神,力求讲清基本概念,精选有助于建立概念、掌握方法、联系实际应用的例题和习题。各项目分成若干个任务,各任务以任务内容、任务目标、任务实施(包含:现象观察或知识先导、知识链接、应用举例、实践操作、问题研讨)为主线而编写,每个项目附有项目小结和习题。

本书由徐州工业职业技术学院张明金担任主编,负责制定了编写大纲。扬州工业职业技术学院范爱华、徐州工业职业技术学院肖亚杰、徐州经贸高等职业学校王成琪担任副主编。其中项目1、2由张明金老师编写,项目3、4由肖亚杰老师编写,项目5由王成琪老师编写,项目6由范爱华老师编写。全书由张明金老师统稿。

本书由徐工轮胎集团有限公司赵成民高级工程师担任主审,他对本书的书稿进行了认真地审阅,提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

本书编写过程中,得到了编者所在学校的各级领导及同事们的大力支持与帮助,在此表示感谢。同时对书后所列参考文献的各位作者表示深深的谢意。

由于“项目式”课程是一种全新的教学形式,多数高职高专院校都处于不断实践、完善的过程中,加之编者水平所限,书中不妥之处在所难免,在取材新颖和实用性等方面定有不足,敬请各位读者提出宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

编 者

2012年4月

目 录

项目 1 直流电路分析与测试	(1)
任务 1.1 电路基本知识与直流电压、电流的测试	(2)
1.1.1 电路和电路模型	(2)
1.1.2 电路中的物理量及其测试	(4)
1.1.3 电路的三种工作状态	(10)
1.1.4 基尔霍夫定律及应用	(12)
任务 1.2 电路的基本元件及其检测	(15)
1.2.1 电阻元件及其检测	(15)
1.2.2 电容元件及其检测	(26)
1.2.3 电感元件及检测	(31)
1.2.4 电源元件	(34)
任务 1.3 复杂直流电路的分析与测试	(38)
1.3.1 支路电流法及应用	(39)
1.3.2 节点电压法及应用	(42)
1.3.3 叠加原理及应用	(45)
1.3.4 戴维南定理及应用	(48)
项目小结	(51)
习题	(52)
项目 2 正弦交流电路的分析与测试	(58)
任务 2.1 正弦交流电路的认识与测试	(59)
2.1.1 正交流电的基本知识及交流信号的测试	(59)
2.1.2 正弦交流的相量表示及测试	(64)
任务 2.2 单一参数正弦交流电路的分析与测试	(68)
2.2.1 纯电阻正弦交流电路的分析与测试	(68)
2.2.2 纯电感正弦交流电路的分析与测试	(71)
2.2.3 纯电容正弦交流电路的分析与测试	(73)
任务 2.3 多参数组合的正弦交流电路的分析与测试	(76)
2.3.1 RLC 串联正弦交流电路的分析与测试	(76)
2.3.2 感性负载与电容器并联电路的分析与测试	(85)
任务 2.4 三相正弦交流电路的分析与测试	(94)
2.4.1 三相电源的连接及测试	(94)
2.4.2 三相负载的连接	(97)

任务 2.5 安全用电与节约用电常识	(107)
2.5.1 安全用电常识	(107)
2.5.2 节约用电常识	(115)
项目小结	(118)
习题	(119)
项目 3 线性电路过渡过程分析与测试	(124)
任务 3.1 线性电路过渡过程的认识与测试	(124)
3.1.1 过渡过程的概念	(126)
3.1.2 换路定律	(126)
3.1.3 初始值的计算	(127)
任务 3.2 一阶线性电路过渡过程的分析与测试	(129)
3.2.1 一阶电路的零状态响应	(130)
3.2.2 一阶电路的零输入响应	(134)
3.2.3 一阶电路的全响应	(137)
项目小结	(141)
习题	(142)
项目 4 非正弦周期电流电路的分析与测试	(145)
任务 4.1 非正弦周期电流电路的认识与测试	(145)
4.1.1 非正弦周期电量的产生及分解	(146)
4.1.2 非正弦周期电流电路中的有效值、平均值和功率	(149)
任务 4.2 非正弦周期电流电路的分析计算与测试	(153)
项目小结	(158)
习题	(159)
项目 5 变压器的认识与使用	(161)
任务 5.1 磁路的认识与测试	(162)
5.1.1 磁路的基本知识	(162)
5.1.2 互感与互感电压	(169)
5.1.3 绕组的同极性端及测定	(171)
5.1.4 互感线圈连接	(172)
任务 5.2 变压器的认知与测试	(175)
5.2.1 单相变压器的认知	(176)
5.2.2 三相变压器的认知	(181)
5.2.3 其他用途变压器的认知	(182)
任务 5.3 变压器的常见故障及检修方法	(186)
5.3.1 变压器的常见故障及检修方法	(186)
5.3.2 变压器的正确使用	(188)
5.3.3 变压器的维护与检查	(189)

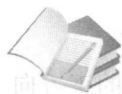
项目小结	(190)
习题	(191)
项目 6 交流电动机的认知及电气控制线路的装配	(193)
任务 6.1 三相异步电动机的工作原理及特性	(194)
6.1.1 三相异步电动机的结构	(195)
6.1.2 三相异步电动机的运转原理及额定值	(197)
6.1.3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	(201)
任务 6.2 三相异步电动机的使用与测试	(205)
6.2.1 三相异步电动机的启动与反转	(205)
6.2.2 三相异步电动机的调速	(209)
6.2.3 三相异步电动机的制动	(210)
任务 6.3 三相异步电动机基本控制线路的分析与装配	(213)
6.3.1 常用低压电器的认识	(214)
6.3.2 三相异步电动机单向直接启动控制线路的分析与装配	(220)
6.3.3 三相异步电动机正、反转控制线路的分析与装配	(224)
6.3.4 三相异步电动机 Y- Δ 换接降压启动控制线路的分析与装配	(227)
任务 6.4 单相异步电动机的认知与使用	(228)
6.4.1 单相异步电动机的工作原理	(229)
6.4.2 单相异步电动机的启动和反转	(229)
6.4.3 单相异步电动机的调速	(232)
项目小结	(234)
习题	(235)
参考文献	(238)

项目1 直流电路分析与测试



项目内容

1. 电路基本知识及直流电压、电流的测试;
2. 基尔霍夫定律及其验证;
3. 电路基本元件及其检测;
4. 电路分析方法及其运用;
5. 电路定理及其运用。



知识目标

1. 了解电路的组成与作用, 电路模型的概念。
2. 正确理解电路中的物理量的意义, 电流、电压的正方向和参考正方向的概念及电位概念; 掌握电路中电位、电功率的计算。
3. 掌握独立电源、电阻、电感、电容元件的伏安关系, 了解受控源的概念。
4. 熟练掌握电阻串联、并联、混联电路的等效变换。
5. 熟练掌握基尔霍夫定律及用支路电流法求解电路, 初步理解并会应用电源等效变换、电阻的“星形—三角形”等效变换法、节点电压法、叠加原理、戴维南定理求解复杂电路。



能力目标

1. 具有初步的电路图的识读能力及按电路原理图接线的能力;
2. 会正确使用直流电压表、电流表及万用表进行直流电压、电流测量;
3. 会识别、测试电阻、电感、电容等元件;
4. 会用万用表进行直流电路故障的检测。



情感目标

1. 熟悉实验室规则及安全操作知识, 加强学生思想品德教育, 逐步培养学生良好习惯与职业道德, 树立正确的价值观;
2. 加强学生逻辑思维能力的培养, 加强学生理论联系实际意识, 逐步培养学生分析问题的能力及主动动手的学习习惯;
3. 锻炼信息、资料搜集与查找的能力。

任务 1.1 电路基本知识及直流电压、电流的测试



任务描述

在人们的生活、生产实践及其他各类活动中，已普遍地使用电能，可以说人们已离不开电能的使用，电路是传输或转换电能不可缺少的“载体”。研究电路和学会分析电路是用电的最基本要求，也是为以后课程学习打下基础的基本要求。本任务学习电路的组成及作用、理想电路元件及电路模型，电路中的物理量，电路的三种工作状态，基尔霍夫定律，简单直流电路的连接与测试。



任务目标

了解电路的组成，电路模型的概念，理解电路中的物理量的意义，电流、电压的正方向和参考正方向的概念；掌握电路中电位、电功率的计算方法；掌握电路三种工作状态的特征；掌握基尔霍夫定律及运用；学会安装简单直流电路；学会使用稳压电源、直流电压表和电流表。



任务实施

1.1.1 电路和电路模型



知识先导 —— 认一认

观察手电筒电路的连接及组成，电路如图 1-1 所示。

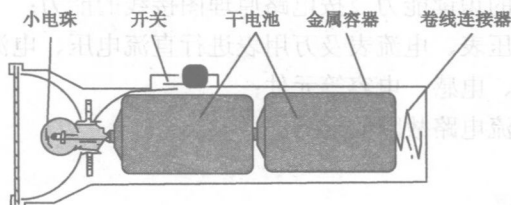


图 1-1 手电筒电路



知识链接 —— 学一学

1. 电路

电路是电流流通的路径，是为实现一定的目的将各种元器件（或电气设备）按一定方式

连接起来的整体。电路一般由电源、负载及中间环节组成。

(1) 电源

电源是产生电能和电信号的装置,如各种发电机、蓄电池、传感器、稳压电源、信号源等。

(2) 负载

负载是取用电能并将其转换为其他形式能量的装置,如电灯、电动机、扬声器等。

(3) 中间环节

中间环节是传输、分配和控制电能或信号的部分,如连接导线、控制电器、保护电器、放大器等。

电路的组成不同,其功能也就不同,电路的一种作用是实现电能的产生、传输、分配和转换,各类电力系统就是典型实例。图 1-2 (a) 所示是一种简单的实际电路,它由干电池、开关、灯泡和连接导线等组成。当开关闭合时,电路中有电流流通,灯泡发光,干电池向电路提供电能;灯泡是耗能元件,它把电能转化为热能和光能;开关和连接导线的作用是把干电池和灯泡连接起来,构成电流通路。

电路的另一种作用是实现信号的传递和处理,如电话线路、有线电视电路和网络,传递着人们需要的信息。收音机、电视机、计算机的内部电路起着接收和处理信号的重要作用。如图 1-2 (b) 所示,话筒将语音信号转换为电信号,经放大器进行放大处理传递给扬声器,以驱动扬声器发音。

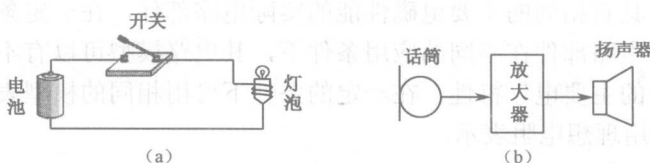


图 1-2 电路示意图

2. 理想电路元件及电路模型

组成实际电路的元件种类繁多,但实际的电路元件在电路中所表现的电磁性质可以归纳为几类,而每一个元件所反映的电磁性质又以某一特定项为主,其他性质在一定条件下可以忽略,这样就可以把实际的电路元件理想化,将电路实体中的各种电气设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的元件模型来代替,而对它的实际上的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。即用一个假定的二端元件来代替实际元件,二端元件的电和磁性质反映了实际电路元件的电和磁的性质,这个假定的二端理想电路元件,简称为电路元件,如电阻、电感、电容、电源等。

电阻:表示消耗电能的元件,如电阻器、灯泡、电炉等。可以用理想电阻来反映其在电路中消耗电能这一主要特征。

电感:表示产生磁场、储存磁场能量的器件,如各种电感线圈。可以用理想电感来反映其储存磁能的特征。

电容:表示产生电场、储存电场能量的器件,如各种电容器。可以用理想电容来反映其储存电能的特征。

电源:电源有两种表示方式,即电压源和电流源。表示能将其他形式的能量转换为电能

的元件。

理想电路元件特征：一是只有两个端子；二是可用电压或电流按数学方式描述；三是不能分解为其他元件。

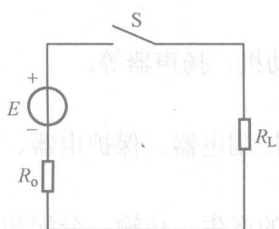


图 1-3 电路模型

实际电路是由一些电工设备、器件和电路元件所组成的。为了便于分析和计算，把实际元件和器件理想化并用国家统一的标准符号来表示，构成电路模型。即由理想电路元件组成的电路称为电路模型，也就是人们常说的电路图，如图 1-3 所示。

将实际的元件用基本电路符号代替，是一个将事物抽象成理想模型的过程。基本电路元件是抽象了的理想元件，如电阻、电容、电感等。但实际的元件在电路中发生的作用是复杂的，如日光灯电路，不能简单地把日光灯整套设备用电阻代替，日光灯的辅助器件——镇流器，不仅具有电感的性质，还具有电阻和电容的性质。但由于镇流器的电阻很小，电容所起作用也很小，所以在一般情况下可以忽略次要因素，突出其主要作用，即将镇流器用理想元件电感来表示，再和表示日光灯管灯丝电阻串联，但在分析要求较高的情况下，又要将镇流器用电感、电阻和电容三种元件相组合来代替。

本书所分析的电路，就是这种电路模型。在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示。

需要注意的是，具有相同的主要电磁性能的实际电路部件，在一定条件下可用同一电路模型表示；同一实际电路部件在不同的应用条件下，其电路模型可以有不同的形式。不同的实际器件只要有相同的主要电气特性，在一定的条件下可用相同的模型表示，如灯泡、电炉等在低频电路中都可用理想电阻表示。



实践操作 —— 做一做

图 1-4 所示为两个双联开关控制一盏灯电路的原理示意图，请在实验线路板上根据图示原理，利用直流电源、连接导线、双向开关及小灯泡模拟实现两地控制一盏灯电路。

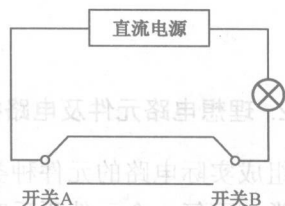


图 1-4 两地控制一盏灯原理示意图

1.1.2 电路中的物理量及其测试



知识链接 —— 学一学

1. 电流

电荷有规律的定向移动形成电流。金属导体中的自由电子带负电荷，在电场力的作用下，自由电子逆着电场方向定向运动就形成电流；同样，电解液中的正离子带正电荷，在电场力的作用下，正离子沿着电场方向定向移动也形成电流。

电流的强弱用电流强度来表示，简称为电流，“电流”一词不仅可以表示电流的概念，也用来表示电流的大小。电流的数值等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在极短时间

dt 内, 通过导体截面的电荷量为 dq , 则电流为:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

如果电流的大小和方向都不随时间变化, 这样的电流称稳恒直流电流, 用大写字母 I 表示, 则此时电流为:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2)$$

电流的大小与方向随时间变化, 这样的电流称为交流电流, 用 i 表示。

在国际单位制 (SI) 中, 电流的单位是安培 (A), 电荷的单位是库仑 (C), 时间的单位是秒 (s), 即

$$1\text{A}=1\text{C/s}$$

在实际使用中, 电流还经常用到较小的单位, 如毫安 (mA)、微安 (μA)。

注意: 直流电常用字母 “DC” 表示; 交流电常用字母 “AC” 表示。

人们习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流的正方向。

2. 电压

电压是反映电场能性质的物理量。电压的大小用电场力移动单位正电荷做功来定义, 电场力将单位正电荷从一点移动到另一点所做的功越多, 这两点间的电压就越大。

在电路中, 电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所作的功称为 a 、 b 两点间的电压, 直流电压用大写字母 U 表示, a 、 b 两点间的电压表示为 U_{ab} :

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1.3)$$

式中, U_{ab} 为 a 、 b 两点间的电压。

W_{ab} 为电场力将电荷 Q 从 a 点移动到 b 点所做的功。当 $W_{ab} > 0$ 时, 表示电场力做正功, 若移动的电荷为正电荷, 即 $Q > 0$, 则 $U_{ab} > 0$ 。反之, W_{ab} 和 Q 不同符号时, $U_{ab} < 0$ 。

在实际应用中, 电压的单位除伏特 (V) 以外, 还常用到千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等单位。

电压的实际方向规定为正电荷所受电场力的方向。

需要强调的是, 电压是对电路中两点而言的, 习惯中所说某点或某导体上的电压, 实际为该点的电位 (物理中所学习的电势) ——该点与零电位 (电势) 参考点之间的电压。

通常用带双下标的字母表示某两点的电压, 如 U_{ab} 表示 a 、 b 两点间电压。可以证明: $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

3. 电位

在电气设备的调试和维修中, 常要测量各点的电位, 在分析电子电路时, 通常要用电位的概念来讨论问题。电场中某一点的单位正电荷所具有的电位能, 称为该点的电位。电位用字母 V 表示, 如 a 点的电位表示为 V_a 。

在电路中选一参考点, 则其他点的电位就是由该点到参考点的电压。即, 如果参考点为 o , 则 a 点的电位为:

$$V_a = U_{ao} \quad (1.4)$$

电位的单位与电压的单位相同，为伏特（V）。

参考点的电位规定为 0V，所以，又叫零电位点。其他各点的电位，比参考点电位高的电位为正，比参考点电位低的为负。参考点在电路中通常用符号“⊥”表示。

在工程中常选大地作为电位参考点；在电子线路中，常选一条特定的公共点或机壳作为电位参考点。

要测量电路中某点的电位，只需用电压表测量某点到零电位参考点的电压。而计算电路中某点电位的方法是：首先确认电位参考点的位置；然后从被求点开始通过一定的路径绕到电位参考点，则该点的电位等于此路径上所有电压降的代数和。

4. 电动势

电源是将其他形式的能转化为电能的装置。例如，干电池将化学能转化为电能，具体地说，它是利用化学反应的力量将正电荷移动到电源正极、负电荷移动到电源负极，使电荷的电势能增加，从而使电源两端产生电压。

电源将其他形式的能转化为电能的能力越强，移动单位电荷时所做的功就越大，电源提供的电压也就越大。电动势是表征电源提供电能能力大小的物理量，电动势在数值上等于电源未接入电路时两端的电压。

电源把单位正电荷从电源“—”极搬运到“+”极，外力（非静电力）克服电场力所做的功，称为电源的电动势，用符号 E 表示。如果被移送的电荷量表示为 Q ，外力（非静电力）克服电场力所做的功为 $W_{\text{外}}$ ，则电动势 E 为：

$$E = \frac{W_{\text{外}}}{Q} \quad (1.5)$$

电动势的单位和电压的单位相同，为伏特（V）。电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极，即与电源两端电压的方向相反。

5. 电流、电压的参考方向

(1) 电流、电压的参考方向

在电路的分析计算中，流过某一段电路或某一元件的电流实际方向或两端电压的实际方向往往很难确定，为了进行分析和计算电路，需要先引入电压的参考方向以及电流的参考方向概念，即先假设电流的方向和电压的方向。

为了分析计算电路，人为地指定的电压、电流方向，称为电压、电流的参考方向。

对于电路的某个电流、某两点的电压而言，它们的实际方向只有两种可能，当任意指定了一个参考方向后，实际方向要么与参考方向一致，要么与参考方向相反，实际方向与参考方向一致时，取正值；实际方向与参考方向相反时，取负值，如图 1-5（a）、（b）所示，它反映电流的实际方向与参考方向的关系。



图 1-5 电流实际方向与参考方向的关系

关于电流和电压的参考方向，要注意以下两点：

- ① 电流、电压的参考方向可以任意选定。但一经选定，在电路分析计算过程中不能改变。
- ② 分析电路时，一般要先标出参考方向再进行计算，在电路中，所有标注的电流、电压方向均可认为是电流、电压的参考方向，而不是指实际方向。实际方向由计算结果确定。若计算结果为正，则实际方向与参考方向一致；若计算结果为负，则实际方向与参考方向相反。

(2) 电流、电压的关联参考方向

电流和电压参考方向可以任意选取，因此电流和电压参考方向可以选取为一致，也可以选取为相反方向，如图 1-6 所示。

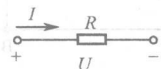
当电流和电压的参考方向一致时，称为关联参考方向，如图 1-6 (a) 所示。

在电流和电压选取关联参考方向时，功率为：

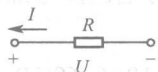
$$P=UI \quad (1.6)$$

$P=UI>0$ ，元件吸收功率； $P=UI<0$ ，元件发出功率。

当电压和电流参考方向相反时，称为非关联参考方向，如图 1-6 (b) 所示。



(a) 电压方向与电流方向一致



(b) 电压方向与电流方向相反

图 1-6 电流和电压参考方向的选择

在电流和电压选取非关联参考方向时，功率为

$$P=-UI \quad (1.7)$$

$P=-UI>0$ ，元件吸收功率； $P=-UI<0$ ，元件发出功率。

需要指出的是，一般在分析计算电路时，电流、电压都采取关联参考方向。

6. 电功率和电能

电功率是电路分析中常用到的一个物理量。传递转换电能的速率称为电功率，简称功率，用 p 或 P 表示。习惯上，都把发出或吸收电能说成发出或吸收功率。功率表示为：

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.8)$$

在 SI 中，功率的单位为瓦（特）（W），在实际应用中，还常用到千瓦（特）（kW），兆瓦（特）（MW）、毫瓦（特）（mW）等单位。

对图 1-7 所示的电路，电阻两端的电压是 U ，流过的电流是 I ，电压与电流的方向一致，则电阻吸收的功率为

$$P=UI \quad (1.9)$$

$P=UI>0$ ，元件吸收功率。

$P=UI<0$ ，元件发出功率。

电阻在 t 时间内所消耗的电能 W 为：

$$W=Pt \quad (1.10)$$

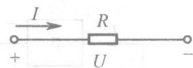


图 1-7 电路示意图

电能的 SI 单位是焦（耳）（J），它等于功率为 1 瓦的用电设备在 1 秒内所消耗的电能。在实际生活中还采用千瓦小时（kW·h）作为电能的单位，它等于功率为 1 千瓦的用电设备在 1

小时(3600 秒)内所消耗的电能,即通常所说的 1 度电。 $1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{ (J)}$



应用举例 —— 练一练

例 1.1 如图 1-8 所示电路,已知 $E_1=140\text{V}$, $E_2=90\text{V}$, $R_1=20\Omega$, $R_2=5\Omega$, $R_3=6\Omega$, $I_1=4\text{A}$, $I_2=6\text{A}$, $I_3=10\text{A}$, 试求分别以 A 点、B 点为电位参考点时,各点的电位 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 及电压 U_{CD} 。

解 以 A 点为电位参考点时有:

$$V_A=0\text{V}$$

$$V_B=-I_3R_3=-10 \times 6=-60(\text{V})$$

$$V_C=I_1R_1=4 \times 20=80(\text{V})$$

$$V_D=I_2R_2=6 \times 5=30(\text{V})$$

$$U_{CD}=V_C-V_D=80-30=50(\text{V})$$

以 B 点为电位参考点时有:

$$V_B=0\text{V}$$

$$V_A=I_3R_3=10 \times 6=60(\text{V})$$

$$V_C=E_1=140(\text{V})$$

$$V_D=E_2=90(\text{V})$$

$$U_{CD}=V_C-V_D=140-90=50(\text{V})$$

由此可见,电路中两点间的电压是绝对的,不随电位参考点的不同而发生变化,即电压值与电位参考点的选择无关;而电路中某一点的电位则是相对的,即电位参考点不同,该点电位值也将不同。

例 1.2 图 1-9 所示为某电路的部分电路,已知 $E=4\text{V}$, $R=1\Omega$, 求 (1) 当 $U_{ab}=6\text{V}$ 时, $I=?$ (2) 当 $U_{ab}=1\text{V}$ 时, $I=?$

解 (1) 设定电路中物理量的参考方向如图 1-9 所示,则

$$\begin{aligned} U_{ab} &= IR + E \\ I &= \frac{U_{ab} - E}{R} = \frac{6 - 4}{1} = 2 \text{ (A)} \end{aligned}$$

$I > 0$ 表明电流的实际方向与参考方向一致。

(2) 当 $U_{ab}=1\text{V}$ 时:

$$I = \frac{U_{ab} - E}{R} = \frac{1 - 4}{1} = -3 \text{ (A)}$$

$I < 0$ 表明电流的实际方向与参考方向相反。

必须注意,在计算电路的某一电流或电压时,不事先标明电压和电流的参考方向,所求得的电流和电压的符号是没有意义的。

例 1.3 在如图 1-10 所示的电路中,已知 $I=1\text{A}$, $U_1=12\text{V}$, $U_2=8\text{V}$, $U_3=4\text{V}$ 。求各元件功率,并分析电路的功率平衡关系。

解 元件 A: 电压 U_1 和电流 I 为非关联参考方向,则

$$P_1 = -U_1 I = -12 \times 1 = -12 \text{ (W)}$$

图 1-10 例 1.3 图

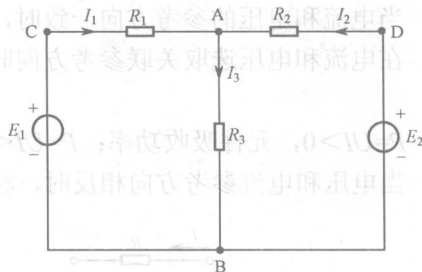


图 1-8 例 1.1 图

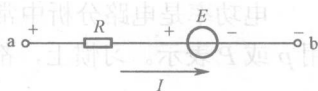
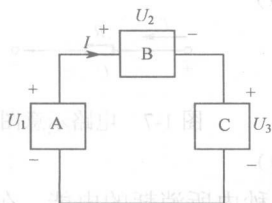


图 1-9 例 1.2 图



$P_1 < 0$, 说明元件产生 12W 功率, 元件 A 为电源。

元件 B: 电压 U_2 和电流 I 为关联参考方向, 则

$$P_2 = U_2 I = 8 \times 1 = 8 \text{ (W)}$$

$P_2 > 0$, 说明元件吸收 8W 功率, 元件 B 为负载。

元件 C: 电压 U_3 和电流 I 为关联参考方向, 则

$$P_3 = U_3 I = 4 \times 1 = 4 \text{ (W)}$$

$P_3 > 0$, 说明元件 C 吸收 10W 功率, 元件 C 为负载。

$P_1 + P_2 + P_3 = -12 + 8 + 4 = 0 \text{ W}$, 功率平衡。



实践操作 —— 做一做

在实验线路板上连接图 1-8 所示电路, 用万用表测量各元件的电流及电压, 在测量时应注意:

(1) 直流电流表的使用方法

直流电流表用于测量直流电路中的电流, 指针式直流电流表使用方法如下:

① 调零。直流电流表水平放置, 当指针不在零刻度时, 可以用螺钉旋具轻轻调仪表的指针机械调零螺钉, 使指针指在零刻度位置。

② 量程的选择。测量前要预先计算被测电流的数值, 选择合适的量程, 在未知电流大小时, 应将量程放置在最高挡位, 以免损坏仪表。测量时如指针偏转角太小, 为了提高读数的准确性, 再改用小量程进行测量。

③ 表头连接。测量时要把直流电流表串联到被测电路中, 使电流从电流表的“+”接线端钮流入, 从“-”接线端钮流出, 不要接错。

④ 读数。根据仪表指针最后停留的位置, 按指示刻度读出相对应的电流值。读数时要注意, 眼、指针、镜影针三点为一线, 这样读数的误差最小。

(2) 直流电压表的使用方法

直流电压表用于测量直流电路中的电压。直流电压表使用方法与直流电流表的使用方法基本相同, 不同之处在于表头的连接方法, 测量时应把直流电压表并联到被测量元件或被测电路的两端, “+”接线端钮接在被测电路的高电位端, “-”接线端钮接在被测电路的低电位端。



问题研讨 —— 想一想

根据上述测试结果, 请思考下列问题:

- (1) 与已知的电流、电压或计算的电位、电压进行比较, 分析产生误差的原因。
- (2) 如何通过测量结果求出各元件的功率及电路的总功率?
- (3) 如何判断两电源在电路中的作用?
- (4) 在分析电路时, 电压、电流的参考方向能否随意改变? 为什么?

1.1.3 电路的三种工作状态

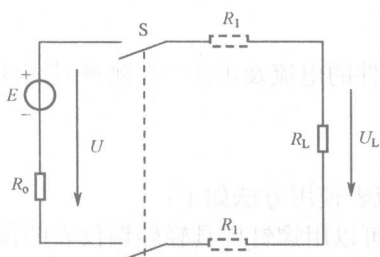


知识链接 —— 学一学

电路有三种可能的工作状态：通路、断路和短路。

1. 通路

通路就是电源与负载接成闭合回路，即图 1-11 所示电路中开关 S 合上时的工作状态。短距离输电导线的电阻很小，常忽略不计，于是负载的电压降 U_L 就等于端电压降 U



$$U = U_L = \frac{R_L}{R_0 + R_L} E \quad (1.11)$$

若输电导线较长，就应当考虑它的电阻。实际上为了简化电路计算，常用等值的集中电阻来代表实际导线的分布电阻，如图 1-11 中用虚线表示的电阻 R_1 。

输电导线的横截面积应根据线路上的容许电压损失（一般规定为额定电压的 5%）和最大工作电流适当选定，截面过细导线的电压损失太大，过粗则浪费材料。

图 1-11 电路通路示意图

2. 断路（开路）

断路就是电源与负载没有接通成闭合回路，也就是图 1-11 电路中开关 S 断开时的工作状态。断路状态相当于负载电阻等于无穷大，电路的电流等于零，即

$$R_L = \infty, I = 0$$

此时电源不向负载供给电功率，即

$$P_S = 0, P_L = 0$$

这种情况称为电源空载。电源空载时的端电压称为断路电压或开路电压。电源的开路电压 U_{OC} 就等于电源电动势 E ，即

$$U_{OC} = E \quad (1.12)$$

3. 短路

短路就是电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路，如图 1-12 所示。图中折线是指明短路点的符号。电源输出的电流就以短路点为回路而不流过负载。

若忽略输电线的电阻，短路时回路中只存在电源的内阻 R_0 。这时的电流为

$$I_{SC} = \frac{E}{R_0} \quad (1.13)$$

I_{SC} 称为短路电流。因为电源内阻 R_0 一般都比负载电阻小得多，所以短路电流 I_{SC} 总是很大的。

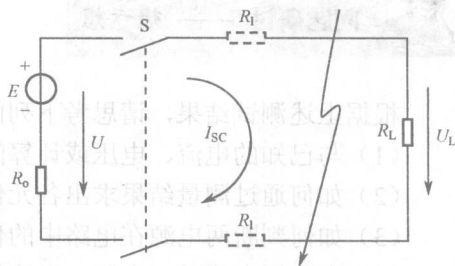


图 1-12 电路短路示意图