



普通高等教育“十三五”创新型规划教材

电气工程及其自动化系列

应用电工技术及技能实训

YINGYONG DIANGONG JISHU JI JINENG SHIXUN

文和先 易 明 主 编
廖向阳 阳军红 吴锦麟 副主编
邓 霞 主 审

- ◆小项目导入，注重基础
- ◆以实倒相辅，强调技能



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

创新型规划教材·电气工程及其自动化系列

应用电工技术及技能实训

主 编 文和先 易 明

副主编 廖向阳 阳军红 吴锦麟

主 审 邓 霞

哈尔滨工业大学出版社

内容简介

本书介绍了电工技术中的理论、应用知识及学员在电工方面的技能训练。包括交直流电路的理论、常用的电工材料、常用的电工仪表及其使用、变压器与电动机、电工常用工具及电动工具、常用机械电气控制电路、高压变配电与低压供电、照明装置、电工安全知识、电气综合实训等知识,并在最后以附件的形式,针对各章的重点和难点,设计了相应的实验和实训项目,结合不同的专业特点,做了较为详细的论述。本书是一本集电工理论知识及技能实训于一体的实用书籍。

本书的特点是图文并茂,通俗易懂,可供各类高职、高专院校作为电工技术的理论和实验实训教材,亦可作为电气安装技能上岗实训教材和职业资格考核认证的培训指南、实用电工培训用的教材,可帮助初学者尽快掌握电工实用技术。

图书在版编目(CIP)数据

应用电工技术及技能实训/文和先,易明主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2018.1

ISBN 978-7-5603-7192-4

I. ①应… II. ①文…②易… III. ①电工技术-
教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 328957 号

策划编辑 王桂芝 范业婷

责任编辑 范业婷 王桂芝

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 24.5 字数 595 千字

版 次 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-7192-4

定 价 49.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)



前言

随着科学技术的发展,特别是新技术、新产品、新工艺、新材料的不断问世,新型电子产品已被人们广泛应用。特别是家用电器、计算机外围设备、数码产品、手机及通信设备等产品,已成为人们生活、娱乐和工作中不可或缺的信息工具。电力在国民经济中的地位越来越重要,电气设备在国民经济的各个部门和人们生活中的应用也越来越广泛。各种电气设备不仅数量增多,而且功能也在不断变化。所以,要求家庭中的每个人都应了解有关电的知识和安全用电的基本技能,具备一定的电工应用技术知识。与此同时,电工队伍正在不断扩大,为了帮助电工队伍中的新成员尽快掌握电工实用技术,特别是高职类院校的学生普及电工应用方面的知识,特编写了本书。内容包括:交直流电路的理论、常用的电工材料、常用的电工仪表及其使用、变压器与电动机、电工常用工具及电动工具、常用机械电气控制电路、高压变配电与低压供电、照明装置、电工安全知识、电气综合实训等知识;并针对各章的重点和难点,设计了相应的实训项目。本书是一本集电工应用知识与技能实训于一体的实用书籍。

在本书的编写过程中,特别注意了以下几点:

一是零起点。从初学者的需求出发,从最基本的知识和最容易掌握的技术讲起,尽可能由浅入深地阐述,意在使读者越学越有信心。

二是知识和技能结合。一些重要设备,先简要介绍其结构和功能,再讲安装、接线的运行维护方法,使读者在了解相关电工知识的基础上,牢固地掌握基本操作技能。并结合高等职业院校实训场所的特点,每章都有相应的实训,可作为职业类院校电工实训及中级维修电工考证用教材。

三是图文相结合。书中要点和难点所在之处,一般都配有电路或示意图,读者可边读文字边看图,这种图文结合的方法,有利于读者深刻理解书中的要点和难点。

四是生产和安全相结合。在介绍各种设备的安装、接线、运行维护的同时,指出了错误的做法对设备和人身可能造成的危害,并列举了一些典型的事故,意在使读者在掌握操作技能的同时,树立安全意识,掌握安全技术。

本书在编写过程中,得到了周秀君、曾爱林、蔡泽凡、宋玉宏、瞿彩萍、邓霞、余志鹏、梁厚超、申伟等的大力支持,对他们付出的辛勤劳动,在此深表感谢。

限于作者水平,书中难免存在疏漏和不妥之处,读者在使用过程中如发现问题,可直接与作者联系(email:dzwenhx@sdpt.com.cn),诚望提出宝贵意见。

编者
2017年12月



目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电路的主要物理量	2
1.3 电路的三种状态	6
1.4 电压源和电流源及其等效变换	9
1.5 基尔霍夫定律	13
本章小结	15
思考题与习题	16
第2章 电路的分析方法	18
2.1 支路电流法	18
2.2 叠加定理	20
2.3 戴维宁定理	22
本章小结	25
思考题与习题	25
第3章 正弦交流电路	29
3.1 正弦交流电的基本概念	29
3.2 正弦量的相量表示法	32
3.3 单一参数电路元件的交流电路	34
3.4 电阻、电感、电容串联电路	40
3.5 正弦交流电路的一般分析方法	45
3.6 电路的谐振	47
3.7 功率因数的提高	51
本章小结	52
思考题与习题	53
第4章 三相交流电路	56
4.1 三相交流电源	56
4.2 负载的星形接法	58
4.3 负载的三角形连接	61
4.4 三相电路的功率	63
4.5 导线截面的选择	64

本章小结	66
思考题与习题	66
第5章 电路的过渡过程	68
5.1 过渡过程的产生和换路定律	68
5.2 RC 电路过渡过程及三要素法	70
5.3 RL 电路的过渡过程	77
5.4 RC 电路对矩形波的响应	81
本章小结	84
思考题与习题	84
第6章 电工材料	88
6.1 常用导电材料	88
6.2 常用绝缘材料	93
6.3 常用磁性材料	97
6.4 其他材料	97
知识拓展:绝缘导线的连接与绝缘恢复	100
实训 6.1 常用电工材料的识别	108
实训 6.2 导线连接与绝缘恢复	108
思考题	110
第7章 常用电工仪表及测量	111
7.1 电工测量的基本知识	111
7.2 电气参数的测量	113
实训 7.1 万用表的使用训练	130
实训 7.2 钳形电流表的使用训练	132
实训 7.3 兆欧表的使用训练	132
思考题	133
第8章 变压器与电动机	134
8.1 磁路	134
8.2 交流铁心线圈电路	137
8.3 变压器	138
8.4 交流电动机	159
8.5 直流电机	178
实训 8.1 变压器空载实验	186
实训 8.2 交流电动机的拆装	186
实训 8.3 交流多速电动机的拆装	186
思考题	187
第9章 常用电工工具及电动工具	189
9.1 常用电工工具	189

9.2 电钻	198
9.3 电动刮刀	201
9.4 电剪刀	202
9.5 电冲剪	203
9.6 电动曲线锯	204
9.7 电动锯管机	206
9.8 无齿锯	207
实训 9.1 常用电工工具的使用	208
实训 9.2 常用电动工具的使用	209
思考题	209
第 10 章 常用机械电气控制电路	210
10.1 电气控制电路图的识读	210
10.2 常用低压电器	213
10.3 电气控制电路基本环节	229
10.4 电气控制系统设计	234
10.5 电气控制电路的检修	240
实训 10.1 电气控制电路的安装和配线	244
实训 10.2 C620-1 型车床电气电路的安装与调试	245
实训 10.3 X62W 型万能铣床电气电路的安装与调试	248
思考题	260
第 11 章 高压变配电与低压供电	264
11.1 高、低压供配电系统	264
11.2 高压配电装置	265
11.3 继电保护装置	266
11.4 低压进户装置	267
11.5 低压电路	269
实训 11.1 低压架空电路安装的基本操作	271
实训 11.2 槽板敷设与线卡敷设	272
实训 11.3 线管加工	274
思考题	275
第 12 章 照明装置	276
12.1 照明常用电光源	276
12.2 常用照明附件及照明装置电气电路	283
12.3 照明电路及灯具的常见故障与检测	291
实训 12.1 白炽灯电路的安装	297
实训 12.2 日光灯电路的安装	298
思考题	299

第 13 章 电工安全知识	300
13.1 安全用电	300
13.2 预防触电事故的措施	306
13.3 防雷保护	309
13.4 安装漏电保护装置	310
13.5 采用安全电压	312
13.6 防止触电的注意事项	313
实训 13.1 触电急救	313
实训 13.2 常用灭火器的使用	314
思考题	314
第 14 章 电气综合实训	316
14.1 晶闸管整流元件的简易测试	316
14.2 电弧炉	329
14.3 B2012A 型龙门刨床电气控制设备	331
实训 14.1 电动机点动与连续运行控制电路装接	340
实训 14.2 正、反转接触器联锁控制电路装接	343
思考题	345
附录 1 《应用电工技术及技能实训》实验指导书	346
《应用电工技术及技能实训》实验概述	346
实验一 电工实验通用仪表和设备的使用	348
实验二 元件伏安特性的测定及其示波器观察	350
实验三 基尔霍夫定律实验验证	356
实验四 戴维宁定理和诺顿定理实验验证	358
实验五 叠加原理实验验证	361
实验六 一阶电路响应实验	362
实验七 串联谐振电路实验	365
实验八 改善功率因数实验	367
实验九 三相电路的研究	369
实验十 三相异步电动机	371
实验十一 电动机的基本控制电路	372
实验十二 电动机正、反转接触器联锁控制电路安装	373
实验十三 蓄电池技术参数的测试	375
实验十四 地网接地电阻的测量	377
附录 2 习题参考答案与提示	380
参考文献	384



第 1 章 电路的基本概念与基本定律

重点内容:

- ◆ 电路与电路模型
- ◆ 电路的主要物理量
- ◆ 电路的三种状态
- ◆ 电压源和电流源及其等效变换
- ◆ 基尔霍夫定律

1.1 电路与电路模型

电路是各种电气设备按一定方式连接起来的整体,它提供了电流流通的路径。电源、负载和中间环节是电路的基本组成部分。图 1.1 所示的电路是一个手电筒的最简单的直流电路,在电路中随着电流的流动,进行着不同形式能量之间的转换。其中电源是将非电能转换成电能的装置。例如:干电池和蓄电池将化学能转换成电能,而发电机将热能、水能、风能、原子能等转换成电能。电源是电路中能量的来源,是推动电流运动的源泉,在它的内部进行着由非电能到电能的转换。

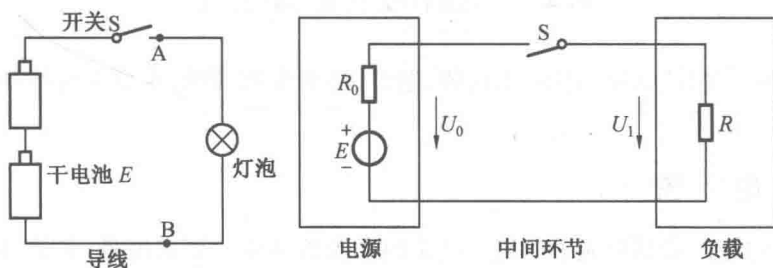


图 1.1 一个最简单的直流电路

而负载是将电能转换成非电能的装置。例如,电炉将电能转换成热能,电灯将电能转换成光能,电动机将电能转换成机械能等。负载是电路中的用电器,是取用电能的装置,在它的内部进行着由电能到非电能的转换。

至于中间环节是把电源与负载连接起来的部分,起传递和控制电能的作用。常用于电力及一般用电系统中的电路称为电力电路,它主要起电能的传输、转换和分配的作用。电力系统电路就是一个典型的例子:发电机组将其他形式的能量转换成电能,经变压器、输电线传输到各用电部门,在那里又把电能转换成光能、热能、机械能等其他形式的能量而加以利



用。对于这一类电路,一般要求在传输和转换过程中尽可能地减少能量损耗以提高效率。

另外还有一类在电子技术、电子计算机和非电量电测中广泛应用的信号电路,其主要目的是传递和处理信号(例如语言、音乐、文字、图像、温度、压力等)。例如,收音机和电视机中的电路,其功能是使电信号经过调谐、滤波、放大等环节的处理,而成为人们所需要的其他信号。

在这种电路中,虽然也有能量的传输和转换问题,但其数量很小,一般所关心的是信号传递的质量,如要求不失真、准确、灵敏、快速等。

由此可见,电路按其功能可以分为两类:一类是为了实现能量的传输和转换,这类电路称为电力电路;另一类是为了实现信号的传递和处理,这类电路称为信号电路。

实际的电路器件在工作时的电磁性质是比较复杂的,不是单一的。例如白炽灯、电炉,它在通电工作时能把电能转换成热能,消耗电能,具有电阻的性质,但其电压和电流还会产生电场和磁场,故也具有储存电场能量和磁场能量即电容和电感的性质。

在电路的分析和计算中,如果对一个器件要考虑所有的电磁性质,将是十分困难的。为此,对于组成实际电路的各种器件,我们忽略其次要因素,只抓住其主要电磁特性,使之理想化。例如,白炽灯可用只具有消耗电能的性质,而没有电场和磁场特性的理想电阻元件来近似表征;一个电感线圈可用只具有储存磁场能量性能,而没有电阻及电容特性的理想电感元件来表征。这种由一个或几个具有单一电磁特性的理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型,我们在进行理论分析时所指的电路就是这种电路模型。根据对电路模型的分析所得出的结论有着广泛而实际的指导意义。

理想电路元件简称电路元件,通常包括电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。前三种元件均不产生能量,称为无源元件;后两种元件是电路中提供能量的元件,称为有源元件。

1.2 电路的主要物理量

电路分析中常用到电流、电压、电动势、电位、功率等物理量,本节对这些物理量及其相关概念进行简要说明。

1.2.1 电 流

带电粒子的定向移动形成了电流。电流的强弱用电流强度来度量,数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。设在 dt 时间内通过导体某一横截面的电荷量为 dq ,则通过该截面的电流强度为

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

式(1.1)表明,在一般情况下,电流强度是随时间变化的。如果电流强度不随时间变化,即 $dq/dt = \text{常数}$,则称这种电流为恒定电流,简称直流。

于是式(1.1)可写为

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

电流强度在工程上常简称电流。这样,“电流”一词便具有双重含义,它既表示电荷定向运动的物理现象,同时又表示电流强度这样一个物理量。在我国法定计量单位中,电流(电流强度)的单位是安培,简称安(A)。在计量特大电流时,以千安(kA)为计量单位;计量微小电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为计量单位。

在分析电路时,不仅要计算电流的大小,还应了解电流的方向。我们习惯上规定以正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向作为电流的方向(实际方向)。对于比较复杂的直流电路,往往事先不能确定电流的实际方向;对于交流电,其电流的方向是随时间而交变的。为分析方便,需引入电流的参考方向这一概念。

参考方向是人们任意选定的一个方向,在电路图中用箭头表示。当然,所选的电流参考方向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一致时,电流为正值($i > 0$);当电流的参考方向与实际方向相反时,电流为负值($i < 0$)。这样,在选定的电流参考方向下,根据电流的正负,就可以确定电流的实际方向,如图 1.2 所示。

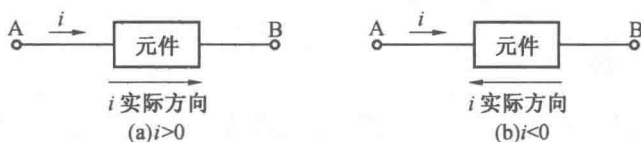


图 1.2 电流参考方向与实际方向的关系

在分析电路时,首先要假定电流的参考方向,并以此为标准去分析计算,最后从答案的正负值来确定电流的实际方向。本书电路图上所标出的电流方向都是指参考方向。

1.2.2 电 压

在图 1.3 中,两个极板 A、B 上分别带有正、负电荷,因而 A、B 两极板间形成电场,其方向由 A 指向 B。电荷在电路中运动,必然受到电场力的作用,也就是说,电场力对电荷做了功。为了衡量其做功的能力,引入“电压”这一物理量,并定义:电场力把单位正电荷从点 A 移动到点 B 所做的功称为 A 点到 B 点间的电压,用 u_{AB} 表示,即

$$u_{AB} = \frac{dw_{AB}}{dq} \quad (1.3)$$

式中,分子 dw_{AB} 表示电场力将 dq 的正电荷从点 A 移动到点 B 所做的功,单位为焦耳(J);电压单位为伏特,简称伏(V),有时还用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)等单位。

直流电路中,式(1.3)应写为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1.4)$$

电路中两点之间的电压也称为两点之间的电位差,即

$$U_{AB} = U_A - U_B \quad (1.5)$$

式中, U_A 为点 A 的电位, U_B 为点 B 的电位。

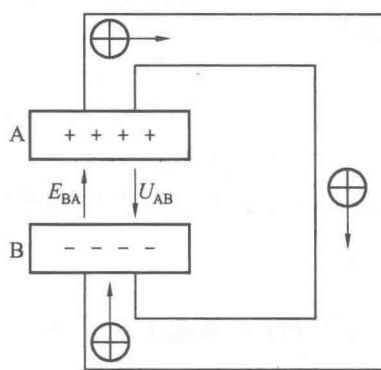


图 1.3 电压和电动势

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点,是电压降的方向。和电流一样,电路中两点间的电压也可任意选定一个参考方向,并由参考方向和电压的正负值来反映该电压的实际方向。当电压的参考方向与实际方向一致时,电压为正($U > 0$);相反时,电压为负($U < 0$)。电压的参考方向可用箭头表示,也可用正(+)、负(-)极性表示,如图 1.4 所示。

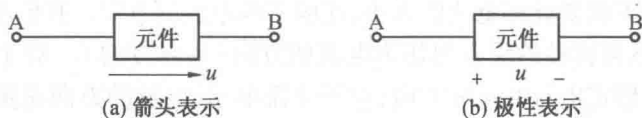


图 1.4 电压参考方向的表示

对于同一个元件或同一段电路上的电压和电流的参考方向的假定,原则上是任意的,但为了方便起见,习惯上常将电压和电流的参考方向设定为一致,称为关联参考方向。为简单起见,一般情况下只需标出电压或电流其中之一的参考方向,就意味着另一个选定的是与之相关联的参考方向。

1.2.3 电 位

为了分析电路方便,常指定电路中任意一点为参考点。我们定义:电场力把单位正电荷从电路中某点移到参考点所做的功称为该点的电位,用大写字母 V 表示。电路中某点的电位即该点与参考点之间的电压。

为了确定电路中各点的电位,必须在电路中选择一点为参考点。它们之间的关系如下:

(1) 参考点的电位为零,即 $U_0 = 0$,比该点高的电位为正,比该点低电位为负。如图 1.5(a) 所示的电路中,选取点 O 为参考电位点,则点 A 的电位为正,点 B 的电位为负。

(2) 其他各点的电位为该点与参考点之间的电位差。如图 1.5(a) 中 A 、 B 两点的电位分别为

$$U_A = U_A - U_O = U_{AO} = 1 \text{ V}$$

$$U_B = U_B - U_O = U_{BO} = -2 \text{ V}$$

(3) 参考点选取不同,电路中各点的电位也不同,但任意两点间的电位差(电压)不变。如选取点 B 为参考点,如图 1.5(b) 所示,则

$$U_B = 0$$

$$U_A = U_A - U_B = U_{AB} = 3 \text{ V}$$

但 A 、 B 两点间的电压不变,仍然为 3 V 。

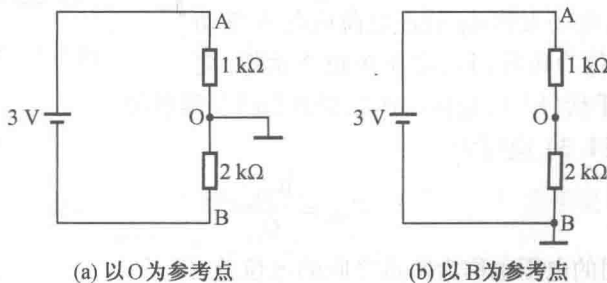


图 1.5 电位的计算示例

(4) 在研究同一电路系统时,只能选取一个电位参考点。电位概念的引入给电路分析带来了方便,因此,在电子线路中往往不再画出电源,而改用电位标出。图 1.6 是电路的一般画法与电子线路的习惯画法示例。

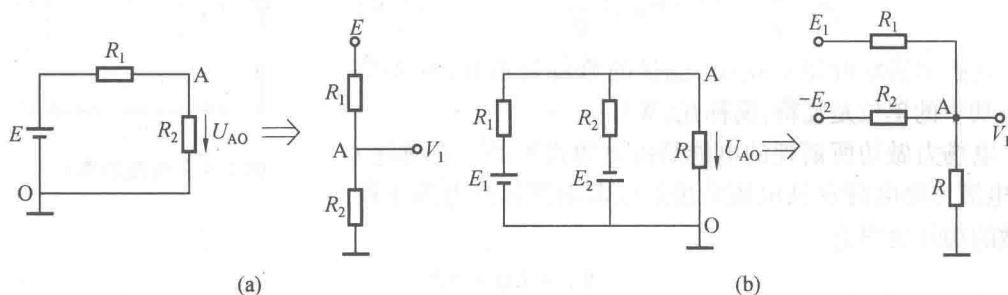


图 1.6 电路的一般画法与电子线路的习惯画法

1.2.4 电动势

图 1.3 所示的电路中,在电场力的作用下,正电荷不断地从 A 极板移动到 B 极板, A、B 两极板间的电场逐渐减弱,最后消失,导线中的电流也逐渐减小为零。为了维持持续不断的电流,就必须保持 A、B 极板间有一定的电位差,即保持一定的电场。这必然要借助于外力来克服电场力把正电荷不断地从 B 极板移到 A 极板去。这种外力是非电场力,我们称之为电源力,电源就是能产生这种力的装置。例如,在发电机中,当导体在磁场中运动时,磁场能转换为电源力;在电池中,化学能转换为电源力。电动势是用来衡量电源力大小的物理量。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极板移到正极板所做的功,用 E 表示。电动势的方向是电源力克服电场力移动正电荷的方向,从低电位到高电位。对于一个电源设备,若其电动势 E 与其端电压 U 的参考方向相反,如图 1.7(a) 所示,当电源内部没有其他能量转换(如不计内阻)时,根据能量守恒定律,应有 $U = E$;若参考方向相同,如图 1.7(b) 所示,则 $U = -E$ 。本书在以后论及电源时,一般用其端电压 U 来表示。

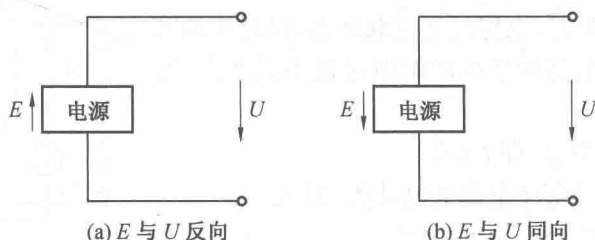


图 1.7 电源的电动势 E 与端电压 U

1.2.5 电能和电功率

图 1.8 所示的直流电路中, a、b 两点间的电压为 U , 在时间 t 内电荷 Q 受电场力作用, 从 a 点移动到 b 点, 电场力所做的功为

$$W = UQ = UIt \quad (1.6)$$

若负载为电阻元件, 则在时间 t 内所消耗的电能

$$W = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1.7)$$

单位时间内消耗的电能称为电功率(简称功率),即

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.8)$$

在我国法定计量单位中,能量的单位是焦耳,简称焦(J);功率的单位是瓦特,简称瓦(W)。

电场力做功所消耗的电能是由电源提供的。在时间 t 内,电源力将电荷 Q 从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功及功率为

$$W_E = EQ = EIt \quad (1.9)$$

$$P_E = EI \quad (1.10)$$

根据能量守恒的观点,在忽略电源内部能量损耗的条件下有

$$W = W_E$$

一段电路,在 u 和 i 取关联参考方向时,若 $P > 0$,说明这段电路上电压和电流的实际方向是一致的,电路吸收了功率,是负载性质;若 $P < 0$,则这段电路上电压和电流的实际方向不一致,电路发出功率,是电源性质。

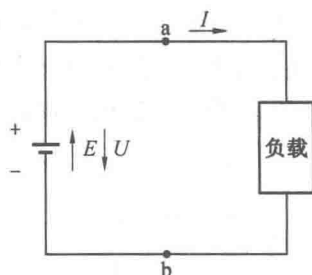


图 1.8 电路的功率

1.3 电路的三种状态

电源与负载相连接,根据所接负载的情况,电路有三种工作状态:空载、短路、有载。现以图 1.9 所示简单直流电路为例来分析电路的各种状态,图中电动势 E 和内阻 R_0 串联,组成电压源, U_1 是电源端电压, U_2 是负载端电压, R_L 是负载等效电阻。

1.3.1 空载状态

空载状态又称断路或开路状态,如图 1.9 所示,当开关 S 断开或连接导线折断时,电路处于空载状态,此时电源和负载未构成通路,外电路所呈现的电阻可视为无穷大,电路具有下列特征:

(1) 电路中电流为零,即 $I = 0$ 。

(2) 电源的端电压等于电源的电动势,即

$$U_1 = E - R_0 I = E$$

此电压称为空载电压或开路电压,用 U_0 表示。因此,要想测量电源电动势,只要用电压表测量电路的开路电压即可。

(3) 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零,即

$$P_1 = U_1 I = 0, \quad P_2 = U_2 I = 0$$

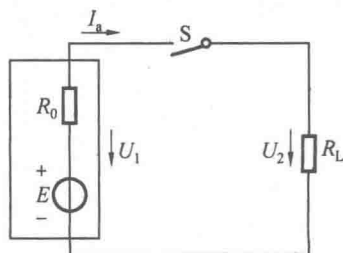


图 1.9 简单直流电路

1.3.2 短路状态

在图 1.9 所示电路中,当电源两端的导线由于某种事故而直接相连时,电源输出的电流

不经过负载,只经连接导线直接流回电源,这种状态称为短路状态,简称短路。短路时外电路所呈现的电阻可视为零,电路具有下列特征:

(1) 电路中的电流为

$$I_s = \frac{E}{R_0} \quad (1.11)$$

此电流称为短路电流。在一般供电系统中,电源的内电阻很小,故短路电流很大。但对外电路无输出电流,即 $I = 0$ 。

(2) 电源和负载的端电压均为零,即

$$U_1 = E - R_0 I_s = 0$$

$$U_2 = 0$$

$$E = R_0 I_s$$

上式表明电源的电动势全部落在电源的内阻上,因而无输出电压。

(3) 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零,这时电源电动势发出的功率全部消耗在内电阻上,即

$$P_1 = U_1 I, \quad P_2 = U_2 I$$

$$P_E = E I_s = \frac{E^2}{R_0} = I_s^2 R_0 \quad (1.12)$$

由于电源电动势发出的功率全部消耗在内电阻上,因而会使电源发热以致损坏。所以在实际工作中,应经常检查电气设备和线路的绝缘情况,以防电压源被短路事故的发生。此外,通常还在电路中接入熔断器等保护装置,以便在发生短路时能迅速切除故障,达到保护电源及电路器件的目的。

1.3.3 有载工作状态

当开关 S 闭合时,电路中有电流流过,电源输出功率,负载取用功率,这称为有载工作状态。此时电路有下列特征:

(1) 电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1.13)$$

当 E 和 R_0 一定时,电流由负载电阻 R_L 的大小决定。

(2) 电源的端电压为

$$U_1 = E - I R_0 \quad (1.14)$$

电源的端电压总是小于电源的电动势,这是因为电源的电动势 E 减去内阻压降 $I R_0$ 后才是电源的输出电压 U_1 。

若忽略线路上的压降,则负载的端电压等于电源的端电压,即

$$U_1 = U_2$$

(3) 电源的输出功率为

$$P_1 = U_1 I = (E - R_0 I) I = E I - R_0 I^2 \quad (1.15)$$

上式表明,电源电动势发出的功率 $E I$ 减去内阻上消耗的功率 $R_0 I^2$ 才是供给外电路的功率。若忽略连接导线上的电阻所消耗的功率,则负载所吸收的功率为

$$P_2 = U_2 I = U_1 I = P_1$$

电源内阻及负载电阻上所消耗的电能不能转换成热能散发出来,使电源设备和各种用电设备的温度升高。电流越大,温度越高。当电流过大时,设备的绝缘材料会因过热而加速老化,缩短使用寿命,甚至损坏。另外,当电压过高时,也可能使设备的绝缘被击穿而损坏。反之,电压过低将使设备不能正常工作,如电动机不能启动、电灯亮度低等。

为了保证电气设备和器件能安全、可靠、经济地工作,制造商规定了每种设备和器件在工作时所允许的最大电流、最高电压和最大功率,这称为电气设备和器件的额定值,常用下标符号“N”表示,如额定电流 I_N 、额定电压 U_N 和额定功率 P_N 。这些额定值常标记在设备的铭牌上,故又称铭牌值。

电气设备应尽量工作在额定状态,这种状态又称满载状态。电流和功率低于额定值的工作状态称为轻载;高于额定值的工作状态称为过载。在一般情况下,设备不应过载运行。在电路设备中常装设自动开关、热继电器等,用来在过载时自动切断电源,确保设备安全。

例 1.1 在图 1.10 所示的电路中,已知 $E = 36 \text{ V}$, $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 8 \text{ k}\Omega$, 试在下列 3 种情况下,分别求出电压 U_2 和电流 I_2 、 I_3 。

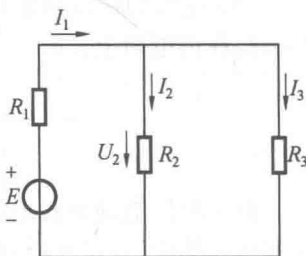


图 1.10 例 1.1 的电路

(1) $R_3 = 8 \text{ k}\Omega$;

(2) $R_3 \rightarrow \infty$ (即 R_3 处断开);

(3) $R_3 = 0$ (即 R_3 处短接)。

解 (1) 当 $R_3 = 8 \text{ k}\Omega$ 时,电路中的总电阻为

$$R/\text{k}\Omega = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 2 + \frac{8 \times 8}{8 + 8} = 6$$

$$I_1/\text{mA} = \frac{E}{R} = \frac{36}{6} = 6$$

$$I_2/\text{mA} = I_3 = \frac{1}{2} I_1 = 3$$

$$U_2/\text{V} = R_2 I_2 = 8 \times 3 = 24$$

(2) 当 $R_3 \rightarrow \infty$ 时,电路中的总电阻为

$$R/\text{k}\Omega = R_1 + R_2 = 2 + 8 = 10$$

故

$$I_2/\text{mA} = I_1 = \frac{E}{R} = \frac{36}{10} = 3.6$$

$$I_3/\text{mA} = 0$$

$$U_2/\text{V} = R_2 I_2 = 8 \times 3.6 = 28.8$$

(3) 当 $R_3 = 0$ 时, R_2 被短路,电路中的总电阻为

$$R = R_1 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$I_2/\text{mA} = 0$$

$$I_3/\text{mA} = I_1 = \frac{E}{R} = \frac{36}{2} = 18$$

$$U_2/\text{V} = 0$$

例 1.2 图 1.11 所示电路可用来测量电源的电动势 E 和内电阻 R_0 。若开关 S 闭合时电压表的读数为 6.8 V , 开关 S 打开时电压表的读数为 7 V , 负载电阻 $R = 10 \Omega$ 。试求电动势 E

和内阻 R_0 (设电压表的内阻为无穷大)。

解 设电压、电流的参考方向如图 1.11 所示,当开关 S 断开时,电路工作在空载状态,电源的端电压等于电动势,即

$$E = U = 7 \text{ V}$$

当开关 S 闭合时,电路工作在有载工作状态,此时电路中的电流为

$$I/\text{A} = \frac{U}{R} = \frac{6.8}{10} = 0.68$$

$$R_0/\Omega = \frac{E - U}{I} = \frac{7 - 6.8}{0.68} \approx 0.29$$

例 1.3 图 1.12 所示电路为蓄电池供电或充电的电路模型,其中 R 为限流电阻。

- (1) 试求端电压 U ;
- (2) 此支路是供电支路还是用电支路? 求出供电或用电的功率;
- (3) 求蓄电池发出或吸收的功率;
- (4) 求电阻所消耗的功率。

解 电路中电压和电流的参考方向如图 1.12 所示。设该支路供电或用电的功率为 P ; 蓄电池发出或吸收的功率为 P_E ; 电阻所消耗的功率为 P_R 。

- (1) 根据电路中电压和电流的参考方向可知端电压 U 的值为

$$U/\text{V} = E + RI = 30 + 35 \times 2 = 100$$

- (2) U 、 I 为关联方向,其电功率为

$$P/\text{W} = UI = 100 \times 2 = 200$$

P 为正值,可见该支路为用电支路,用电功率为 200 W。

- (3) 蓄电池正在充电,其吸收的功率为

$$P_E/\text{W} = EI = 30 \times 2 = 60$$

- (4) 电阻所消耗的功率为

$$P_R/\text{W} = I^2 R = 2^2 \times 35 = 140$$

根据以上分析,供电支路所提供的电能一部分提供给蓄电池,另一部分被电阻所消耗,整个电路遵守能量守恒定律。

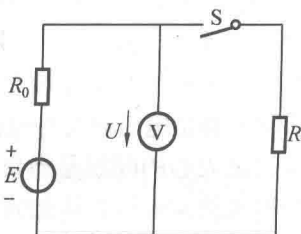


图 1.11 例 1.2 的电路

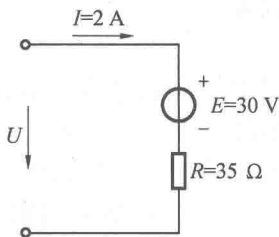


图 1.12 例 1.3 的电路

1.4 电压源和电流源及其等效变换

电源是能将其他形式的能量转换为电能的装置。任何一个实际的电源(或信号源)对外电路所呈现的特性(即电源端电压与输出电流之间的关系)可以用电压源模型或电流源模型来表示。