



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

DIANGONG XUE

电 工 学

(第二版)

王 浩 主编

姚 伟 刘跃群 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Electric Power Technology



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

DIANGONGXUE
电 工 学
(第二版)

主 编 王 浩
副主编 姚 伟 刘跃群
编 写 朱继明 朱 琨
主 审 程隆贵 丁巧林



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）。

全书共十四章，主要内容包括电工基础、变压器、电机（含感应电动机、直流电动机、同步发电机等）、低压电动机的控制、安全用电、常用电工仪表、二极管及整流电路、三极管及放大电路、数字电路基础及不同类型的数字电路等。

本书可作为高职高专（含初中起点的五年制大专）院校非电类专业或相关专业的教材，亦可作为成人教育教材和相关工程技术人员参考书。

图书在版编目（CIP）数据

电工学/王浩主编. —2版. —北京：中国电力出版社，2009
普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5083-8210-4

I. 电… II. 王… III. 电工学—高等学校：技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 203462 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 1 月第一版

2009 年 1 月第二版 2009 年 1 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 422 千字

定价 28.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育)。

本书的内容包括电工基础、强电应用和电子技术的基本知识和实践应用知识。第一版分上、下册,为了方便使用和保管,第二版合为一册。

在广泛征求意见的基础上,编者对第一版主要作了如下修改:

(1) 调整了原有章节的框架结构。将附录中的复数知识融入正文中;将“磁路与变压器”一章分写成两章;将属于模拟电子技术的四章,合并、化简成两章;将数字电路基础一章变成四章。调整后的章节框架更加清晰,有利于灵活选用。

(2) 微调了教材内容。为满足少数专业(如发电厂集控专业)的需要,少量增补了电工基础方面的内容;删去了偏杂、偏多、偏难的内容;新增了实验内容。

(3) 简化了文字论述。对第一版保留的各节,大部分进行了重新编写,论述更加简明,文字更加简炼,更加适合高职高专学生的阅读水平。

《电工学》(第二版)的主要特点:

(1) 注意与高中《物理》中的电磁基本知识的衔接,不脱节,不重复。

(2) 体现了高职高专教育的特点,突出实用性和实践性。

(3) 选材的广度以必须、够用为度,以多数非电类专业的需要为主,兼顾发电厂非电类专业的需要;编写的深度以适应高职高专的层次和非电专业的需要为准。

(4) 把教材内容区分为基本内容和机动内容,以适应总学时数少,不同专业学时数相差又较大的实际情况。(这种区分是相对的,不同专业应结合实际需要进行调整)

目录中打*号的为机动的教学内容,打△号的为发电厂非电类专业应讲授的内容。

完成本书全部教学内容约需90~100学时,完成基本教学内容约需65~75学时。在教学过程中,应尽量安排一些实验、实训环节,以加强学生的实践技能。书后的实验供选用。

本书电子技术部分的章节框架初稿,是山西电力职业技术学院副教授王和平老师提供的,保定电力职业技术学院电子教研室对初稿进行了专题研讨。在此,表示衷心的感谢。

本书的编写分工是:山西电力职业技术学院副教授姚伟编写第一、八章;长沙电力职业技术学院副教授刘跃群编写第十章;保定电力职业技术学院副教授朱继明编写第三章;保定电力职业技术学院副教授朱琼编写第十一、十二、十三、十四章;其余各章、实验指导书、附录、部分习题参考答案由保定电力职业技术学院高级讲师王浩完成。全书由武汉电力职业技术学院副教授程隆贵、华北电力大学副教授丁巧林主审。

由于编者水平所限,书中难免有不妥和错误之处,恳请使用本书的老师 and 读者予以指正。

编者

2008年12月

目 录

前言

第一章 直流电路	1
第一节 电路及电路模型	1
第二节 电流、电压及电动势	1
第三节 电功率与电能	5
第四节 电阻元件及欧姆定律	6
第五节 电路的三种状态	7
第六节 基尔霍夫定律	8
第七节 电阻的串联与并联	11
第八节 两种电源模型及其等效互换	13
*第九节 节点电压法	15
第十节 叠加定理	17
第十一节 戴维南定理	18
小结	20
习题一	21
第二章 电容元件与电感元件	25
第一节 电容元件	25
第二节 电感元件	27
*第三节 RC 电路的过渡过程	29
小结	33
习题二	33
第三章 正弦交流电路	35
第一节 正弦交流电的基本概念	35
第二节 正弦量的相量表示	38
第三节 R 、 L 、 C 的正弦交流电路	42
第四节 相量形式的基尔霍夫定律	46
第五节 R 、 L 、 C 串联的正弦交流电路	47
*第六节 线路功率因数的提高	51
*第七节 电路的谐振	52
第八节 三相交流电源	55
第九节 三相负载的连接	58
第十节 三相电路的功率	62
小结	63
习题三	65

第四章 铁磁材料与磁路	69
第一节 铁磁材料的磁特性	69
第二节 磁路的基本知识	70
* 第三节 同名端的概念	72
小结	73
习题四	74
第五章 变压器	75
第一节 变压器的基本结构及工作原理	75
* 第二节 变压器的效率与外特性	78
*△ 第三节 三相电力变压器	79
*△ 第四节 特殊变压器	82
小结	84
习题五	84
第六章 电机	85
第一节 三相感应电动机的结构及铭牌	85
第二节 三相感应电动机的工作原理	87
第三节 三相感应电动机的电磁转矩与机械特性	90
第四节 三相感应电动机的起动与调速	93
* 第五节 三相感应电动机的反转与制动	96
* 第六节 单相感应电动机	97
* 第七节 直流电动机的结构及工作原理	99
* 第八节 直流电动机的使用	101
*△ 第九节 同步发电机的结构	103
*△ 第十节 同步发电机的工作原理	106
* 第十一节 控制微电机的简介	109
小结	111
习题六	112
第七章 发电厂厂用电及低压电动机的控制	115
*△ 第一节 发电厂厂用电的基本知识	115
第二节 常用的低压电器	117
第三节 低压三相感应电动机的常用控制电路	122
第四节 安全用电常识	125
第五节 触电急救	127
小结	127
习题七	128
第八章 常用电工仪表及使用	130
第一节 电工仪表的基本知识	130
第二节 直流电流表与电压表及使用	133
第三节 交流电流表与电压表及使用	135

第四节	万用表的使用	137
* 第五节	单臂电桥及使用	138
* 第六节	兆欧表及使用	140
小结		142
习题八		142
第九章	半导体二极管及整流电路	144
第一节	半导体的基本知识	144
第二节	半导体二极管	145
第三节	专用二极管	147
第四节	二极管整流电路	148
第五节	滤波电路	151
第六节	稳压电路	152
* 第七节	晶闸管	154
* 第八节	可控整流电路	155
小结		158
习题九		158
第十章	半导体三极管及放大电路	160
第一节	半导体三极管	160
第二节	单管电压放大电路	164
第三节	放大电路的分析方法	168
第四节	多级放大器	170
第五节	放大器的负反馈	171
第六节	功率放大器	176
第七节	集成运算放大器	179
第八节	集成运算放大器的应用	183
* 第九节	正弦波振荡器	188
* 第十节	场效应管及放大电路简介	190
小结		192
习题十		193
第十一章	数字电路基础	197
第一节	概述	197
第二节	数制和BCD码	197
第三节	基本逻辑门电路	200
第四节	集成逻辑门电路	203
* 第五节	逻辑代数与逻辑函数化简	207
小结		209
习题十一		210
第十二章	组合逻辑电路	211
第一节	组合逻辑电路的分析与设计	211

第二节 编码器	215
第三节 译码器与数字显示	216
小结	220
习题十二	220
第十三章 时序逻辑电路	222
第一节 触发器	222
第二节 寄存器和计数器	227
* 第三节 数字电路应用举例	230
小结	234
习题十三	234
第十四章 模/数转换器和数/模转换器	236
* 第一节 A/D 转换器	236
* 第二节 D/A 转换器	239
小结	241
习题十四	241
实验	243
附录	259
A 半导体器件型号命名和主要参数	259
B 集成器件型号命名和主要参数	264
C 部分习题参考答案	266
参考文献	270

第一章 直 流 电 路

第一节 电路及电路模型

一、电路

电流流经的路径称为电路。电路是由电源、负载、中间环节组成的。在电力电路中，电源是产生电能的设备，其作用是将其其他形式的能量转变为电能，如发电机、蓄电池、干电池等。负载是各种用电设备的总称，其作用是将电能转变为其他形式的能量，如电动机将电能转变成机械能，日光灯将电能转变成光能。中间环节是电路中除电源和负载之外其他部分的总称，其作用是在电路中传输、分配、控制电能，如连接导线、开关、控制电器等。

二、电路模型

为了对电路进行分析和计算，通常将实际电路器件近似化和理想化，把在一定条件下，忽略其次要电磁因素，仅考虑其主要电磁特性的理想电路元件称为电路元件。例如电阻器主要是消耗电能的，故可以用一个代表消耗电能的理想电阻元件来代替。

用国家标准规定的电路元件图形符号代替实际电路器件所绘制的电路称为电路模型，又叫原理电路图，简称电路图。图 1-1 (a) 所示为手电筒的实物电路图，图 1-1 (b) 所示为手电筒原理电路图。

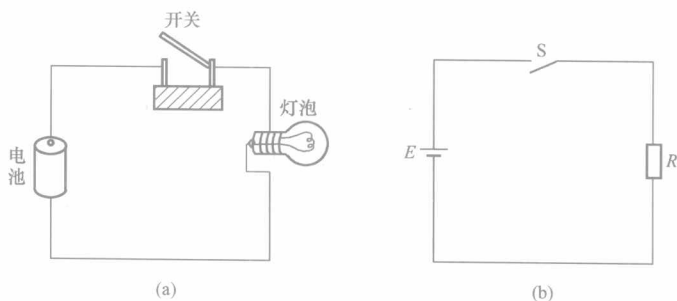


图 1-1 手电筒原理电路图

(a) 实物电路图；(b) 原理电路图

图 1-1 (b) 中， E 表示电源， S 表示开关， R 是代表灯泡的电阻元件。各元件之间用导线连接。本书如无特殊说明，电路均指电路模型，电路元件均指理想电路元件。

第二节 电流、电压及电动势

电流和电压是电路的基本物理量。

一、电流

电荷的定向运动称为电流。衡量电流大小的物理量是电流强度，单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流强度，简称电流，用 i 表示。若在 dt 时间内通过导体横截面的电荷

量为 dq , 则

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

规定: 正电荷运动的方向为电流的方向, 习惯称为电流的实际方向。

大小和方向不随时间变化的电流称为稳恒电流或直流电流, 用 I 表示。

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

式中: q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制 (简称 SI) 中, 电荷量的单位为库仑, 符号为 C; 时间的单位为秒, 符号为 s; 电流的单位为安培 (简称安), 符号为 A, 常用单位还有 kA (千安)、mA (毫安)、 μA (微安) 等, 换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

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

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

【例 1-1】如图 1-2 所示, 在 0.002s 内, 有负电荷 0.005C 从 a 向 b 通过截面 S, 同时有正电荷 0.005C 从 b 向 a 通过 S。确定通过截面 S 的电流的大小和方向。

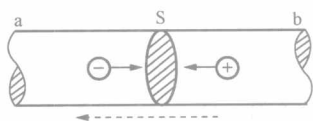


图 1-2 [例 1-1] 图

解 向相反方向运动的正、负电荷的效应相同, 这里相当于有 $0.005 + 0.005 = 0.01\text{C}$ 的正电荷由 b 向 a 通过 S, 所以通过截面 S 的电流大小为

$$\frac{0.01}{0.002} = 5 (\text{A})$$

电流方向如图中虚线箭头所示。

二、电压

在电场中, 电荷在电场力的作用下, 从一点移到另一点时, 它所具有的能量 (电势能) 的改变量 (即电场力所做的功) 只和两点的位置有关, 而与移动的路径无关。由此而引出电压这个物理量, 用来衡量电场力移动电荷做功能力的大小。在电场力的作用下, 单位电荷从一点移到另一点的能量改变量称为这两点间的电压, 用 u 表示。若 dq 电荷量从电场的 a 点移到 b 点时能量的改变量为 $d\omega$, 则 a、b 两点间的电压为

$$u = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-3)$$

规定: 电压的方向为正电荷运动其能量减少的方向, 习惯称为电压的实际方向。

大小和方向都不随时间变化的电压叫恒定电压, 又叫直流电压, 用 U 表示。

SI 中, 能量的单位为焦耳 (简称焦), 符号为 J; 电荷量的单位为库仑 (简称库), 符号为 C; 电压的单位为伏特 (简称伏), 符号为 V, 常用单位还有 kV (千伏)、mV (毫伏)、 μV (微伏) 等, 换算关系为

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

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

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

【例 1-2】0.5C 的正电荷在电场中从 a 点移到 b 点, 能量增加 10J, 试确定 a、b 两点间的电压的大小和方向。

解 a、b 间电压的大小为

$$\frac{10}{0.5} = 20(\text{V})$$

正电荷沿电压方向移动时其能量减少，显然，电压方向由 b 指向 a。

三、电流、电压的参考方向

电流、电压这两个物理量都有大小和方向。电路中具有两个端钮的器件，其电流（或电压）只可能有两个方向。为了便于分析计算，人们引入了参考方向，即对于一个元件，在电压（或电流）可能的两个方向中任选的一个方向称为参考方向。若电压（或电流）的方向与参考方向一致，就在它的大小前面加正号；若电压（或电流）的方向与参考方向相反，就在它的大小前面加负号。这样，一个电压（或电流）的大小和方向便由一个有正、负的数值（代数量）同时表达出来了。如图 1-3 所示，端钮 a、b 间电压大小为 2V，方向从 a 到 b，如虚线箭头所示。若选择参考方向从 a 到 b，如图 1-3 (a) 中实线箭头所示。这个电压的数值 $U=2\text{V}$ ，若选择参考方向由 b 到 a 如图 1-3 (b) 所示，则此电压 $U'=-2\text{V}$ 。

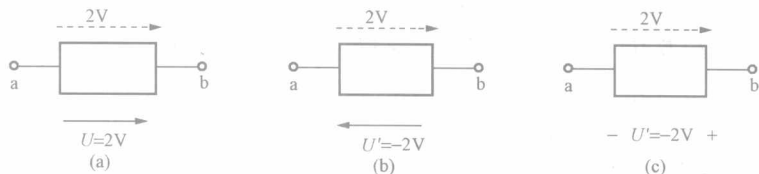


图 1-3 讨论参考方向的应用用图

在电路中，电流、电压的参考方向用实线箭头表示，需要时，用虚线箭头表示实际方向。另外，电压的参考方向还可用“+”、“-”参考极性表示，参考方向由“+”到“-”，如图 1-3 (c) 中的 $U'=-2\text{V}$ 。

电压、电流参考方向也可用电压、电流符号右下角的双字母表示。例如 U_{ab} 表示电压参考方向由 a 到 b， I_{cd} 表示电流参考方向由 c 到 d。

参考方向是电路理论中的一个基本概念，应注意以下几点：

- (1) 电流、电压的方向是客观存在的，参考方向是人为选择的。
- (2) 同一电流（或电压），参考方向的选择不同，其结果是：绝对值（即大小）相等而异号，即 $U_{ab}=-U_{ba}$ ， $I_{cd}=-I_{dc}$ 。
- (3) 本书中如无特殊说明，电流、电压都是对应于参考方向而言的有正、负的数值。不指明参考方向，而说某电流、电压的值为正或负，是没有意义的。参考方向一经选定，分析计算过程中不准随意变动。

对于某一段电路或某一元件，若选择电流、电压的参考方向一致，则称关联参考方向；若不一致，则称非关联参考方向。后文如不加说明，都按关联参考方向选择。这样，对于一段电路或一个元件，只需标出电流或电压一个参考方向即可。

四、电位

在电路中，任选一点作为参考点，则某一点对参考点的电压称为该点的电位（此处的电位就是物理学中的电势），常用文字符号 V 表示，其单位与电压的单位相同。如图 1-4 所示，若参考点为 O，则 a 点的电位为

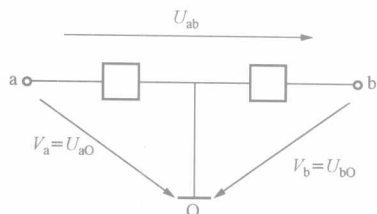


图 1-4 讨论电压与电位的关系用图

$$V_a = U_{aO} \quad (1-4)$$

显然, $V_O = 0$, 即参考点本身的电位等于零, 所以, 参考点又叫零电位点。

图 1-4 电路中, $V_a = U_{aO}$, $V_b = U_{bO}$, 根据电场力移动电荷做功与路径无关的性质, 有

$$U_{ab} = U_{aO} + U_{Ob} = U_{aO} - U_{bO} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

即两点间的电压等于这两点的电位差, 所以, 电压又叫电位差。显然, 电压的方向是从高电位到低电位的。

【例 1-3】 已知图 1-5 中, $U_{CD} = 2V$, $U_{CO} = 3V$, 试分别以 D、O 点为参考点, 求各点的电位及电压 U_{DO} 。

解 (1) 以 D 点为参考点, 即 $V_D = 0$, $V_C = U_{CD} = 2V$, 因为 $U_{CO} = V_C - V_O$, 所以有

$$V_O = V_C - U_{CO} = 2 - 3 = -1(V)$$

$$U_{DO} = V_D - V_O = 0 - (-1) = 1(V)$$

(2) 以 O 点为参考点, 即 $V_O = 0V$, $V_C = U_{CO} = 3V$, 因为 $U_{CD} = V_C - V_D$, 所以有

$$V_D = V_C - U_{CD} = 3 - 2 = 1(V)$$

$$U_{DO} = V_D - V_O = 1 - 0 = 1(V)$$

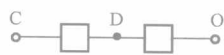


图 1-5 [例 1-3] 图

由 [例 1-3] 可见, 电路中各点的电位随参考点的不同而不同, 但两点之间的电压与参考点的选择无关, 是不变的。

在电路中, 参考点可以任意选择。在电力系统中, 常选大地为参考点, 符号为 “ $\perp$ ”, 在电子设备中, 常选机壳为参考点, 符号为 “ $\perp$ ”。

五、电动势

在电源内部, 同时存在着两种力, 即电源力和电场力。当电源接上负载后, 电源力克服电场力的阻力, 不断地把正电荷从负极移向正极, 在这个过程中, 电源把其他形式的能量转换成电能。为了衡量电源力做功的能力, 引出电动势这个物理量。电源力将单位正电荷从电源的负极移向正极所做的功称为电动势。并规定其方向由负极指向正极, 单位与电压相同。

电动势的大小和方向不随时间变化的电源称为直流电源, 其电动势用 E 表示。图 1-6 (a) 为电源的一般图形符号, 图 1-6 (b) 为电池类直流电源的图形符号。

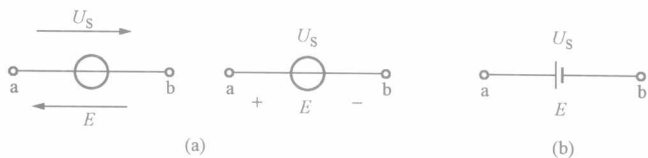


图 1-6 电源符号及参考方向

在电路分析中, 也引进电动势的参考方向, 如图 1-6 所示。当采用参考极性表示参考方向时, E 的参考方向由 “-” 指向 “+”, 电池符号的长线侧代表 “+” 参考极性。

电源的电动势与端电压的方向总是相反的, 当不考虑电源内阻时, 任何情况下两者的大小相等。一个直流电源, 若按图 1-6 所示, 选择电动势与端电压的参考方向相反时, 则

$$U_s = E \quad (1-6)$$

若选择电动势与端电压的参考方向相同时, 则

$$U_s = -E \quad (1-7)$$

第三节 电功率与电能

一、电功率

单位时间内电源力或电场力所做的功称为电功率，简称功率，用 p 表示。若在 dt 时间内，电源力或电场力所做的功为 $d\omega$ ，则

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-8)$$

SI 中， ω 、 t 单位分别为 J、s 时，功率的单位为瓦特（简称瓦），符号为 W。常用的单位还有 kW（千瓦）、mW（毫瓦）等。其单位换算关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

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

式 (1-8) 可写成

$$p = \frac{d\omega}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-9)$$

在直流电路中，功率用 P 表示

$$P = UI \quad (1-10)$$

电路中，对外只有两个端钮的一段电路称为二端网络，图形符号如图 1-7 所示。一个二端网络，若端口电压、电流方向相同，则该网络接受功率为负载；若端口电压、电流方向相反，则该网络发出功率为电源。

当如图 1-7 (a) 所示，选择二端网络的端口电压、电流为关联参考方向时，按式 $P = UI$ 计算。当如图 1-7 (b) 所示，选择二端网络的端口电压、电流为非关联参考方向时，按式 $P = -UI$ 计算。若 $P > 0$ ，表明网络接受功率；若 $P < 0$ ，表明网络发出功率。



图 1-7 二端网络图形符号及电压、电流参考方向

(a) 关联参考方向；(b) 非关联参考方向

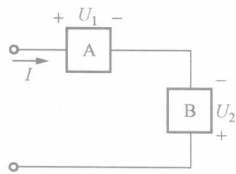


图 1-8 [例 1-4] 图

在此顺便指出，电路泛指“负载”有时是指用电设备，有时是指功率。

【例 1-4】 图 1-8 中，两个二端元件流过相同的电流 $I = 2\text{A}$ ，又已知 $U_1 = 1\text{V}$ ， $U_2 = 2\text{V}$ 。求各元件的功率，并指出是发出还是接受功率。

解 元件 A 的端口 U_1 与 I 为关联参考方向，则 $P_A = U_1 I = 1 \times 1 = 1 (\text{W}) > 0$ ，表明元件 A 接受功率；

元件 B 的端口 U_2 与 I 为非关联参考方向，则 $P_B = -U_2 I = -2 \times 1 = -2 (\text{W}) < 0$ ，表明元件 B 发出功率。

二、电能

在一段时间内电源力或电场力所做的功称为电能，用 W 表示（注意电能的文字符号与

功率的单位文字符号相同, 但为斜体)。在直流电路中, 一个二端网络所接受或发出的功率为 P , 则在 t 时间内该二端网络所接受或发出的电能为

$$W = Pt = UI t \quad (1-11)$$

SI 中, 当 U 、 I 、 t 的单位分别为 V、A、s 时, W 的单位为 J。实用中常用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·时) 作为电能单位。 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J}$ 。 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 习惯称为 1 度电。

由能量守恒定律可知, 一个电路中所有电源发出的功率, 必然等于所有负载接受的功率, 或者说, 整个电路功率的代数和为零 ($\sum P = 0$), 这一结论称为电路的功率平衡。

【例 1-5】 某礼堂有 100W 的灯泡 20 盏, 使用 5h, 共用多少电能? 若电费为 0.5 元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$, 应付多少电费?

解 全部电灯的总功率

$$P = 100 \times 20 = 2000 (\text{W}) = 2 (\text{kW})$$

使用 5h 共用电能

$$W = Pt = 2 \times 5 = 10 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

应付电费

$$0.5 \times 10 = 5 (\text{元})$$

第四节 电阻元件及欧姆定律

一、电阻元件

导体或半导体对电流的阻碍作用称为电阻。各种形式的电阻器件, 如白炽灯、电阻箱、电炉等, 它们的共同特点是流过电流便会发热、消耗电能。

若一个二端元件通过电流总是消耗电能, 则其电压、电流的方向总是一致的。为了模拟电阻器件及其他实际消耗电能器件的基本特性, 抽象出电阻元件。电阻元件是一个理想的二端元件, 其电压、电流方向总是一致的, 总是在不断地消耗电能的。

电压与电流的大小成正比的电阻元件称为线性电阻元件。元件的电压与电流关系称为伏安特性。在电压、电流关联参考方向下, 线性电阻元件的伏安特性为通过直角坐标原点的直线 (如图 1-9 所示), 否则称为非线性电阻元件。本书中如无特殊说明, 电阻元件皆指线性而言。

线性电阻元件的电压大小与电流大小的比值为

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-12)$$

其中, R 为一常数, 称为它的电阻。电阻的倒数为

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-13)$$

G 称为电导。

SI 中, 电阻的单位为欧姆 (简称欧), 符号为 Ω ; 电导的单位为西门子 (简称西), 符号为 S。电阻常用 $\text{k}\Omega$ (千欧)、 $\text{M}\Omega$ (兆欧) 等单位, 换算关系为

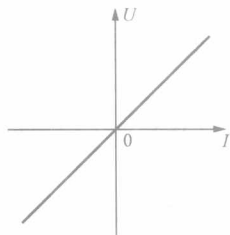


图 1-9 线性电阻元件的伏安特性

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega$$



图 1-10 电阻
元件的图形符号

电阻元件简称电阻，其图形符号如图 1-10 所示。图中注明的 R 是电阻元件的阻值。

由线性元件组成的电路称为线性电路。本书中如无特殊说明，皆指线性电路。

二、欧姆定律

任何情况下，电阻元件上的电压、电流方向总是一致的，对于线性电阻元件，若选择电压、电流为关联参考方向，如图 1-11 (a) 所示，则

$$U = RI \quad (1-14)$$



图 1-11 电阻元件的电压、电流
不同参考方向的选择

(a) 关联的；(b) 非关联的

若选择电压、电流为非关联参考方向，如图 1-11 (b) 所示，则

$$U = -RI \quad (1-15)$$

式 (1-14)、式 (1-15) 皆为欧姆定律式。注意式 (1-15) 中有负号。欧姆定律是分析计算线性电路的基本依据之一。

三、电阻元件的功率

电阻元件总是接受并消耗电能的，所以，称电阻元件是一个耗能元件。按电压、电流关联参考方向计，电阻元件接受的功率

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} > 0 \quad (1-16)$$

由于电阻器件总是把接受的电能转变成热能，利用这一特性可以制成各种电热设备，如电热水器、电烤箱等。电机、变压器等电气设备，由于其导电部分具有电阻，因而当通过电流时也要发热，发热程度与其通过的电流大小和时间长短有关。若长时间通过大电流，会引起设备过热，影响其使用寿命。

第五节 电路的三种状态

一、工作状态

图 1-12 所示电路中， R_0 、 U_0 分别是电源的内阻和端电压， R_L 是负载电阻。当开关 S 合向“1”时电源接上负载，电路中便有了电流，并有能量的转换和传输，电路处于工作状态。电气设备是由导体和绝缘物构成的，若所加电压过高，电流过大，可能引起设备过热，损坏绝缘，影响寿命。为了保证电路的正常工作，厂家对其生产的电气设备的工作电压、电流、功率等都规定了一个正常的使用值，称为电气设备的额定值。电气设备工作在额定值的状态称为额定工作状态，又称满载。此外，还有轻载和过载两种工作状态。

为了方便用户的使用，将电气设备的额定值标在铭牌上，因此额定值又称铭牌值。额定电压、电流、功率分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 表示。电阻类器件三个额定值与电阻 R 的关系是： $U_N = RI_N$ ， $P_N = U_N I_N = RI_N^2 = U_N^2 / R$ ，只

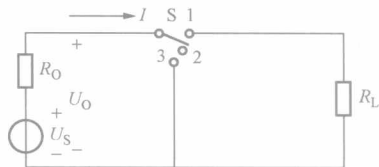


图 1-12 表明电路
三种状态用图

要知道其中的两个量,其他量便可求出。

【例 1-6】 有一“ 100Ω 、 $\frac{1}{4}\text{W}$ ”的碳膜电阻,问使用时电流不能超过多大值?此电阻能否接在 10V 的电源上使用?

解 由题意可知,该电阻 $R=100\Omega$, $P_N=\frac{1}{4}\text{W}$, 所以

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{4}}{100}} = \frac{1}{20}(\text{A}) = 50(\text{mA})$$

$$U_N = RI_N = 100 \times \frac{1}{20} = 5(\text{V})$$

即通过电阻的实际电流不能超过 50mA , 外加电压不能超过 5V 。若接到 10V 的电源上, 将因电流过大而烧坏, 故不能接到 10V 电源上。

二、电源开路

如图 1-12 所示电路中, 当开关 S 合向“2”时, 相当于负载电阻为无限大, $I=0$, $U_O=U_S$, 电源输出功率 $P=0$ 。

三、电源短路

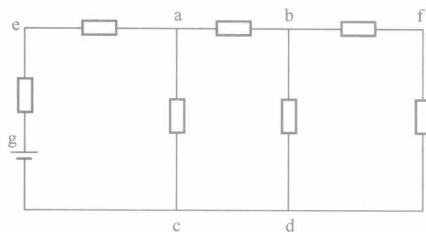
如图 1-12 所示电路中, 当开关 S 合向“3”时, 相当于负载电阻为零, $I=\frac{U_S}{R_O}$ 。因 R_O 一般很小, 所以, 短路电流很大。此时, 负载上的功率 $P_L=0$, 电源内阻上的功率 $P_S=I^2R_O$ 很大, 在内阻上产生大量的热量, 极易烧坏电源, 应尽量避免短路。在低压供电系统中, 广泛应用熔断器(俗称保险丝)作为电路的短路保护。

第六节 基尔霍夫定律

电路是由元件相互连接而成的, 基尔霍夫定律从电路连接方面阐明了电路的电流、电压所遵循的约束关系, 是分析和计算电路的又一基本依据之一, 基尔霍夫定律与元件性质无关, 适用于电路的任一瞬时。它包括基尔霍夫电流定律(又称基尔霍夫第一定律)和基尔霍夫电压定律(又称基尔霍夫第二定律)两个内容。

首先, 借助于图 1-13 介绍电路结构方面的几个名词。

(1) 支路——电路中具有两个端钮且通过同一电流, 由一个或几个元件串联而成的分支称为支路。图中有 $aegc$ 、 ac 等 5 条支路, 其中支路 $aegc$ 为含源支路, 其他为无源支路。 cd 不是支路, 因为中间没有元件。



(2) 节点——三条及以上支路的连接点称为节点。图中有 a 、 b 、 c 三个节点; c 、 d 两点等电位, 应看成一个节点。

(3) 回路——电路中任意闭合的路径称为回路。图中 $aegca$ 、 $acdba$ 、 $aegcdfba$ 等均是回路。

(4) 网孔——内部不含支路的回路称为网孔。图中只有 $aegca$ 、 $acdba$ 、 $bdfb$ 三个网孔。

图 1-13 讨论电路结构的有关名词用图

一、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law), 简称为 KCL。它研究的是电路中与节点相连的各支路电流间的约束关系。其表述为: 对于电路中的任意一个节点, 在任意瞬时, 流进的总电流等于流出的总电流。由实例可以验证 (略), 当各支路电流均采用参考方向时, 上述结论仍然成立。对于直流电路中的任意一个节点有

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1-17)$$

或

$$\sum I = 0 \quad (1-18)$$

由式 (1-18) 可知, KCL 又可表述为: 汇集于电路任意节点的各支路电流的代数和等于零。

应用式 (1-18) 列写 KCL 方程的方法是: 若流进电流取 “+” (或 “-”), 则流出电流取 “-” (或 “+”)。例如, 对图 1-14 中的节点 a 有

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 - I_3 + I_4 + I_5 &= 0 \\ -I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 &= 0 \end{aligned}$$

或

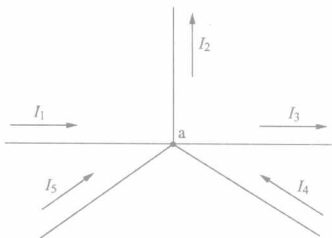


图 1-14 讨论列写 KCL 方程的方法用图

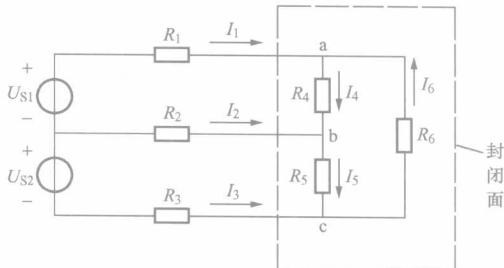


图 1-15 KCL 应用于假想的封闭面

KCL 不仅适用于电路的一个节点, 还适用于电路中的假想封闭面, 对于图 1-15 所示的电路, 可以把封闭面看成一个扩大的节点, 对于该 “节点” 列出的 KCL 方程为

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

(读者对上式验证, 只需对封闭面内三个节点列出 KCL 方程, 之后将它们相加即可。)

二、基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's Voltage Law) 简称为 KVL。它研究的是电路回路中各元件上电压间的约束关系。其表述为: 任一瞬时, 电路中任意回路内各元件电压的代数和等于零。对于直流电路, 则有

$$\sum U = 0 \quad (1-19)$$

应用式 (1-19) 时, 应首先选择回路的绕行方向, 凡回路内元件电压的参考方向与绕行方向一致的取 “+” (或 “-”) 号, 反之取 “-” (或 “+”) 号。例如图 1-16 所示的回路中, 选择顺时针绕行方向如图示, 按上述方法列出的 KVL 方程为

$$U_1 - U_2 - U_3 - U_{S3} + U_4 - U_{S1} = 0$$

对于回路中的电阻元件, 当直接给出电阻、电流时, 可以利用欧姆定律式, 用 $RI = U$ 替代电阻上的电压。但应注意, 当电流参考方向与绕行方向一致时 RI 取正, 反之取负。

对于图 1-16 所示回路, 直接列出包括电阻与电流相乘 (RI) 的 KVL 方程为

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 + R_3 I_3 + U_{S3} - R_4 I_4 - U_{S1} = 0$$