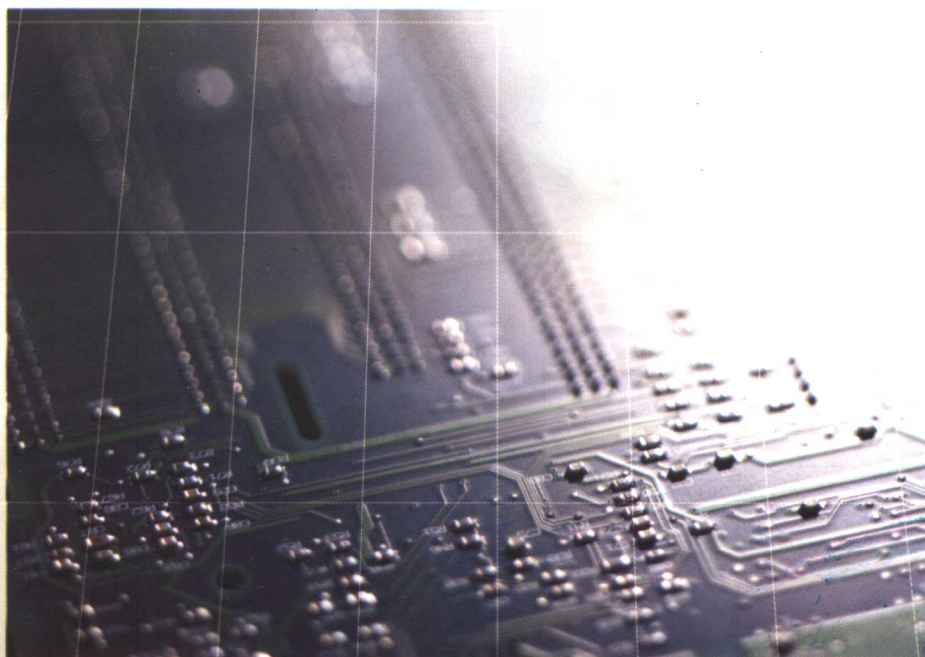


电工与电子技术

李丹娜 刘 智 李春茂 编著



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

电工与电子技术

(少学时)

李丹娜 刘 智 李春茂 编著

西南交通大学出版社

• 成都 •

内 容 提 要

本书主要讲述了直流电路和单相、三相正弦交流电路以及变压器、三相异步电动机、继电器接触器控制系统、电工测量技术、运算放大电路、直流稳压电源、数字电路、A/D 与 D/A 转换器等。

本书可作为高职高专、成人教育相关专业的教材,也可作为职工培训教材及相关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术 /李丹娜,刘智,李春茂编著. —成都:西南交通大学出版社, 2006. 7
ISBN 7-81104-351-3

I. 电... II. ①李...②刘...③李... III. ①电路理论 高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材
IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 063798 号

Diangong Yu Dianzi Jishu

电工与电子技术

李丹娜 刘 智 李春茂 编著

*

责任编辑 张华敏 张晓燕

封面设计 水木时代

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

安徽省蚌埠市广达印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 13

字数: 322 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-351-3

定价: 22.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书作为一本面向 21 世纪的教科书,结合了高等职业技术教育的特点,在教学学时和本书编写篇幅有限的基础上,以力求知识覆盖面大、理论深度够用、强化功能应用为原则精选内容,并结合编者多年来的教学经验,使本书做到了基本概念叙述严谨、分析过程条理清晰、讲述内容通俗易懂;本书强调设备及元件的外部特性而淡化内部工作过程,更注重实际应用。

本书的参考学时为 70 学时左右,读者可根据实际学时及专业要求进行适当的删减。

本书由沈阳职业技术学院李丹娜、长春理工大学刘智、华南理工大学李春茂编著,锦州高等师范专科学校李丹实同志参编。其中绪论、第 1~3 章由李春茂编写,第 4、5 章由刘智编写,第 6、7 章由李丹实编写,第 8~13 章及附录由李丹娜编写。全书由李丹娜整理、修改及统稿。

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,书中有不当和错误之处在所难免,在此衷心希望能得到同行和广大读者的批评指正。

编 者

2006 年 7 月

目 录

绪 论	(1)
第1章 直流电路	(3)
1.1 电路的基本概念	(3)
1.2 电功率、电能与电流的热效应	(7)
1.3 电路的工作状态	(9)
1.4 电路基本定律	(11)
1.5 电路中各点电位的计算	(13)
1.6 电压源和电流源及其等效变换	(14)
1.7 电路的基本分析方法	(16)
* 1.8 受控电源简介	(22)
习 题	(23)
第2章 单相正弦交流电路	(28)
2.1 正弦交流电的基本概念	(28)
2.2 正弦交流量的相量表示法	(31)
2.3 单一参数的正弦交流电路	(34)
2.4 RLC 串联交流电路	(41)
2.5 RLC 并联交流电路	(43)
2.6 阻抗的串联和并联	(45)
2.7 正弦交流电路的功率	(46)
2.8 功率因数的提高	(49)
习 题	(52)
第3章 三相正弦交流电路	(54)
3.1 三相正弦交流电源及其连结	(54)
3.2 三相负载的连结	(58)
3.3 三相电功率	(62)
习 题	(64)
第4章 磁路与变压器	(65)
4.1 铁磁性物质的磁性能和用途	(65)
4.2 磁路的基本定律及其简单计算	(67)
4.3 交流铁心线圈电路	(68)
4.4 电磁铁	(70)
4.5 变压器	(72)
4.6 特殊用途变压器	(78)

习 题	(81)
第 5 章 三相异步电动机	(82)
5.1 三相异步电动机的结构及铭牌	(82)
5.2 三相异步电动机的工作原理	(85)
5.3 三相异步电动机的转矩和机械特性	(90)
5.4 三相异步电动机的使用	(93)
5.5 安全用电	(99)
习 题	(102)
第 6 章 继电接触器控制系统	(104)
6.1 常用控制电器	(104)
6.2 鼠笼式异步电动机直接启动的控制线路	(110)
6.3 鼠笼式异步电动机正反转控制线路	(111)
6.4 行程控制	(112)
6.5 时间控制	(114)
习 题	(118)
* 第 7 章 电工测量技术	(120)
7.1 电工仪表	(120)
7.2 电工测量技术	(128)
习 题	(132)
第 8 章 常用半导体器件	(133)
8.1 半导体二极管	(133)
8.2 半导体三极管	(134)
习 题	(137)
第 9 章 放大电路	(139)
9.1 基本放大电路	(139)
9.2 射极输出器	(142)
9.3 多级放大电路简介	(143)
9.4 放大电路中的负反馈	(144)
9.5 差动放大电路的组成及工作原理	(146)
习 题	(149)
第 10 章 运算放大器	(151)
10.1 集成运算放大器	(151)
10.2 理想集成运放的分析依据	(154)
10.3 运放的主要应用	(154)
10.4 运放使用中的注意事项	(161)
习 题	(162)
第 11 章 直流稳压电源	(164)
11.1 整流电路	(164)
11.2 滤波电路	(167)
11.3 稳压电路	(170)

习 题	(173)
第 12 章 数字电路基础	(174)
12.1 数字电路概述	(174)
12.2 基本逻辑门电路	(177)
12.3 触发器	(181)
12.4 计数器、译码与数码显示器	(184)
习 题	(188)
第 13 章 A/D 与 D/A 转换器	(189)
13.1 D/A 转换器	(189)
13.2 A/D 转换器	(191)
附录 A 半导体器件命名方法	(194)
附录 B 常用半导体器件的参数	(195)
附录 C 半导体集成电路型号命名法	(198)
参考文献	(199)

绪 论

一、电路与电子技术的应用及其发展

当今世界电能的应用十分广泛,无论是工业、农业、国防建设和科学技术各个领域,还是人们的衣、食、住、行以及文化生活,无不与电有着密切的关系。工业上的各种生产机械(如水泵、鼓风机、起重机、轧钢机、切削机床和锻压设备等)都用电动机来拖动,许多制造工艺(如电解、电镀、电焊、高频淬火、电炉冶炼、电蚀加工、超声波加工、电子束和离子束加工等)都要靠电来完成,生产过程中的一些物理量(如温度、流量、速度、压力等)都可以用电的方法来测量和控制,产品的辅助设计和企业的管理工作可由电子计算机来实现;农业上广泛采用电力拖动排灌设备及粮食和饲料加工装置等;另外,现代物质文化生活中的电灯、电话、电影、电视、无线电广播及医学上用的B超、X射线透视、照相等病理检测也都离不开电。

电能得到如此广泛的应用,主要是因为电能与其他形态的能量相比具有下列几个方面的优越性:

(1)电能是最容易转换的中间形态的能量。它可以很方便地由原子能、水位能、热能、光能、化学能等转换而来,相反也可以将电能转换为其他所需要的能量形态(如机械能、光能、热能、声能等)。

(2)电能可以方便地进行远距离输送。电能输送设备简单,效率很高,从而使工业建设的布局问题得到了合理的解决。我们可以在储藏有大量动力资源的地方(如煤矿的坑口和河川的附近)兴建火力发电厂和水力发电厂,近年来考虑到环境问题又大力发展核电技术。而需要电能供应的生产加工厂的厂址往往选在尽量靠近原材料产地的地方,因此发电厂和生产加工厂在地理位置上存在着矛盾,而电能的远距离输送则解决了这一矛盾,从而提高了社会生产的整体效益。

(3)利用电能便于控制的特点可以实现高度自动化。例如,电能可以控制生产过程或设备,实现程序控制、数字控制或最佳状态控制;电能以及某些电学量(如电压或电流)可以用来代表信息,以有线或无线的方式高速而精确地进行传递、控制和处理,为远程通信和生产自动化提供了可靠的技术基础。

电能的广泛应用对劳动生产率的提高和社会生产力的发展起着巨大的作用,同时又进一步促进了电路与电子技术的发展,进而推动科学技术发生飞跃。进入21世纪,随着生产自动化的发展和社会劳动生产力素质的不断提高,电路与电子技术将发挥着越来越重要的作用。

二、如何学好“电路与电子技术”

“电路与电子技术”是一门承先启后的专业基础课程,它以数学、物理为基础,又是后续课程(如电子技术、传感技术、测试技术、变流技术、计算机应用技术、控制技术、通信技术等的)的课前必修课。因此,必须学好“电路与电子技术”这门课。

如前所述,“电路与电子技术”是一门理论性和实践性都很强的技术基础课,正确地运用其基本概念和计算方法及其基本技能解决实际问题,是学习这门课程的目的。而要学好这门课程必须认真地做实验和求解习题,具体地说,在学习“电路与电子技术”过程中应遵循以下几点要求。

1. 掌握正确的学习方法

学习任何一门课程,课前预习与课后复习是非常重要的一个环节,“电路与电子技术”也不例外。这就需要读者尤其是在校学生统筹安排,合理分配时间,及时预习和复习,不可拖延。在预习的基础上,可以有有的放矢、带着问题听课,以便于突出重点;另外,及时复习有利于巩固和加深理解课堂所学的内容,便于应用。有些同学听完课后不是抓紧时间复习,而是忙于应付次日所学课程的“预习”,等回过头再来“复习”所学内容,则由于某些问题没有得到及时解决而花费了更多的时间,因此事倍功半,得不偿失。这是学习方法上的大忌。

在复习好书中的有关内容,搞清基本概念,熟记基本公式的基础上,认真解题是学好“电路与电子技术”的一个重要环节。

2. 解题时应遵循的基本原则

- (1) 审明题意,找出已知量、已知条件及待求量。
- (2) 迅速判断出要运用的概念、定理、定律和公式,将已知量和待求量正确地联系起来。
- (3) 利用切合题意的最简捷的解法,写出正确公式,代入已知量进行求解,并注意所用电气量的单位是否符合要求。
- (4) 验证答案的准确性:
 - ① 检查所用公式及公式的使用范围;
 - ② 检查公式中各物理量的单位和计算结果的单位;
 - ③ 检查答数是否正确,是否符合实际;
 - ④ 若问题中有正、负号时,要检查符号是否正确,有无遗漏;
 - ⑤ 若需要画相量图时,应检查相量图的作法是否正确。

3. 对解题的基本要求

(1) 正确使用“+”、“-”号。电路与电子技术中某些物理量的正、负具有明显的物理意义,如电荷 Q 的正、负表示电荷的性质;电压 U 和电流 I 的正、负表示参考极性(或参考方向)与实际极性(或实际方向)是否一致,等等。另外必须注意,在某些问题中,有时还需考虑两套“+”、“-”号,不能弄错。

(2) 正确使用单位制,本书采用国际单位制。

(3) 计算结果如果是近似值时,应取三位有效数字,第四位数字四舍五入。这是因为对于大多数的工程问题来说,三位有效数字可以满足精度要求。

(4) 作图要用圆规、直尺等绘图工具,按比例正确作出,图面要清楚、整洁、美观,图中坐标的符号、刻度及单位应仔细标明,不能遗漏。

4. 做好实验

除了遵循上述解题原则和要求之外,充分准备、认真做好每一个电路与电子技术实验也是非常重要的。因为通过实验课这一必不可少的实践环节,可以进一步验证课堂所学的基本理论,加深对有关内容的认识,并能提高基本操作技能。另外,应特别注意用电安全!

第1章 直流电路

【本章要点】

电路的基本概念与基本定律是分析和计算电路的基础。本章在详细介绍电路的基本概念及基本定律的基础上,以电阻电路为例,讨论几种常用的电路分析方法,如电源等效变换法、支路电流法、结点电压法、叠加原理及戴维宁定理等。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的基本组成及其作用

1. 电路的组成

电路就是电流的通路。任何电路都是由电源、负载和中间环节三个部分组成的。为了分析电路方便,我们都采用电路模型来表示实际电路。所谓电路模型,就是将实际元件理想化后,由理想电路元件构成的电路。最简单的电路模型如图 1-1 所示。

在图 1-1 中,干电池(或发电机)是电源,它把其他形式的能量转变为电能,供给用电设备使用;电炉(或电灯、电动机)是负载,它取用电能,分别把电能转变为光能、机械能、热能等其他形式的能量;输电线、开关(也可以是其他控制设备)等是中间环节,是连接电源和负载的部分,它们起传输、分配和控制电能的作用。

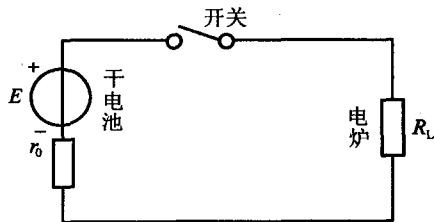


图 1-1 简单的电路模型

2. 电路的作用

从电路的组成上,很容易看出电路的作用。

首先,利用电路可以实现能量的传输、分配和转换。例如,在电力系统中,发电机组把热能、水能、原子能转换成电能,通过变压器、输电线路与开关输送和分配到用户,然后用户根据实际需要又把电能转换成机械能、光能和热能等。

此外,电路的另一重要作用是传递和处理信号。通过电路元件,可以将信号源施加的信号变换或加工成所需要的输出信号。例如,电子设备中放大器的作用是把微弱的输入信号加以放大,成为满足工作需要的输出强信号。

无论是电能的传输、分配和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压(电流)称为激励,它驱动电路工作;在激励作用下,电路中某一元件上的电压或通过元件的电流称为响应。激励表示电源供给电路的能量,响应表示在电路中某一元件上消耗的能量。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

电流是由带电粒子(简称电荷)有规则的定向运动形成的,在数值上它等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

设在极短时间 dt 内通过某一导体横截面 S 的微小电荷量为 dq ,则电流为

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

如果 $dq/dt = \text{常数}$,即电流不随时间而变化,则这种电流称为稳恒电流(简称直流),常用大写字母 I 表示,即

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

式中 Q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量;电流的单位是安培(简称安),用符号 A 表示。如果每秒钟有 1 库仑(C) 的电量通过导体某一横截面,则这时的电流就是 1 A。电流的较小单位是毫安(mA) 和微安(μA),电流的较大单位是千安(kA)。它们相互之间的关系是

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

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流的实际方向;对于交流电路而言,其方向随时间变化,在电路图上无法用一个箭标来表示它的实际方向。因此,在电路分析中,常常任意选定某一方向作为电流的参考方向。

这里应该注意的是,任意选定的电流参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值;反之,当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值。

本书中电路图上所标的电流方向均为参考方向。电流的参考方向除用箭标表示外,还可用双下标表示。如 I_{ab} 表示电流的参考方向由 a 向 b 。如果参考方向选定为由 b 向 a ,则为 I_{ba} ,二者之间相差一个负号。

如图 1-2 所示,从中可以看出电流的参考方向与实际方向之间的关系。

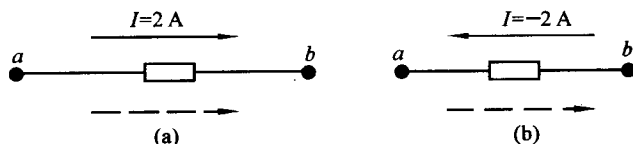


图 1-2 电流的参考方向

在图 1-2 所示的电路中,选取电流 I 的参考方向从 a 到 b ,若计算结果 $I > 0$,则表示电流的实际方向与参考方向相同,如图 1-2(a) 所示;若计算结果 $I < 0$,则表示电流的实际方向与参考方向相反,如图 1-2(b) 所示。

综上所述,参考方向是电路中一个非常重要的概念,在学习中应注意以下几点:

(1) 电流的实际方向是客观存在的,而参考方向则是根据分析计算的需要任意选取的,参考方向一经选定后,在全部分析计算过程中就必须依此为依据,不能随意变动。

(2) 同一电流,若参考方向选择不同,其结果是:数值相等而符号相反,即 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。因此,电流值的正负只有在选定参考方向下才有意义。

(3) 电路中的基本公式和结论,都是在一定的参考方向下得出来的。因此,在应用这些公式和结论时,必须注意参考方向的选择。

2. 电压

在电场中,如果电场力使电荷移动一段距离,则电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力,我们引入电压这一物理量,用字母 U 或 u 表示。电压的定义是:如果电场力把正电荷 Q 从 A 点移到 B 点所做的功为 W ,则电场中 A 点到 B 点的电压为

$$U_{AB} = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

简而言之,电场力把单位正电荷从 A 点移至 B 点所做的功即为 A 、 B 两点间的电压 U_{AB} 。

理论分析和实验均已证明:电场力移动电荷所做的功与路径无关,而只与始末位置有关。所以电场中两点间的电压只与这两点的位置有关。电压的单位是伏特。我们规定:电场力把 1 库仑(C)的电量从 A 点移到 B 点,如果所做的功为 1 焦耳(J),那么 A 、 B 两点间的电压就是 1 伏特,简称伏,用字母 V 表示。

对于较高或较低的电压,工程上还常用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μV)做单位。它们的关系是

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

图 1-3 表明了电场强度与电压的实际极性。

同理,电压也有正、负之分,这是因为如果单位正电荷从 A 点移到 B 点是电场力做功,那么单位正电荷从 B 点移到 A 点必定是外力克服电场力做功,或者说电场力做了负功。这两部分功相差了一个负号。电场力移动单位正电荷做功如图 1-3 所示。电场强度方向由 A 指向 B ,电场力(移动单位正电荷做正功)的方向由 A 指向 B ,所以 A 、 B 两点间电压的实际极性为 A 正 B 负,用双下标记为 U_{AB} 。由前面分析可知

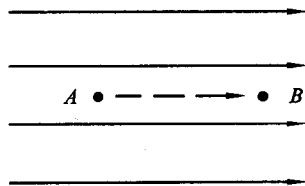


图 1-3 场强与电压的实际极性

$$U_{AB} = -U_{BA} \quad (1-4)$$

因为电路及其周围空间存在着电场,所以电路中任何两点间都有或大或小(甚至可以为零)的电压作用。在进行电路分析时,电压的实际极性往往事先无法知道。为了计算和研究问题的方便,同样应选定一个参考极性,并且规定:当电压的实际极性与所选参考极性一致时,其值为正;反之,当电压的实际极性与所选参考极性相反时,其值为负。在选定的电压参考极性下,电压值的正、负可以反映出其实际极性。电压的极性习惯上有两种表示方法:

(1) 用图 1-4 中 U 表示,“+”、“-”号表示极性。“+”极对应高电位端,“-”极对应低电位端。

(2) 用双下标表示。图 1-4 中 U_{ab} ,前标 a 表示高电位端,后标 b 表示低电位端。

上面两种表示方法含义相同,可以通用,实际使用时可任选一种。这里强调指出,在未标出电压参考极性的情况下,其正、负值是毫无意义的。

此外,在分析电路时,如果某一元件或某一段电路上的电流参考方向一经选定,则其电压的参考极性通常与电流的参考方向选为关联方向(电源端电压除外),即电流从电压正极端流入,从负极端流出,如图 1-5 所示。

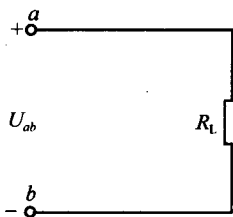


图 1-4 电压参考方向的表示

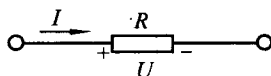


图 1-5 电流与电压为关联方向

3. 电位

由于电压是对电路中某两点而言的，因此，在分析较复杂的电路特别是电子电路时，常常利用电位进行分析，用起来更为方便。

若在电路中任选一点作为参考点，则电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压，数值上就等于电场力把单位正电荷从电路中该点移到参考点所做的功。电位常用符号 V 表示，例如， A 点的电位记作 V_A 。参考点即为“零”电位点，所以 A 点的电位为

$$V_A = U_{A0} \quad (1-5)$$

电位的单位与电压相同，也是伏特(V)。

电路中，电位参考点可以任意选定，但在电力工程中，常取大地作为参考点，并设其电位为零。因此，凡是外壳接地的电气设备，其机壳都是零电位。有些不接地的设备，在分析问题，常选许多元件汇集的公共点作为零电位点，并用符号“ $\perp$ ”表示。

由分析可知，同一电路中，参考点选得不同，各点的电位值也会不同。电路中任何两点 A 、 B 间的电压等于 A 、 B 两点的电位差，即

$$U_{AB} = U_{A0} - U_{B0} = V_A - V_B \quad (1-6)$$

这说明，参考点不同时，电路中各点电位虽然不同，但任意两点间的电压(电位差)却保持不变。也就是说，电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。

【例 1-1】 在图 1-6 所示电路中，若分别以 B 点和 C 点为参考点，试求各点的电位。

解 因为电压与参考点的选择无关，所以可先确定电路中每两点间的电压分别为

$$U_{AB} = 1.5 \text{ V}, \quad U_{BC} = 1.5 \text{ V}$$

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = 3 \text{ V}, \quad U_{CA} = -U_{AC} = -3 \text{ V}$$

以 B 点为参考点时，各点电位为

$$V_B = U_{BB} = 0 \text{ V}, \quad V_A = U_{AB} = 1.5 \text{ V}$$

$$V_C = U_{CB} = -U_{BC} = -1.5 \text{ V}$$

以 C 点为参考点时，各点的电位为

$$V_C = U_{CC} = 0 \text{ V}, \quad V_A = U_{AC} = 3 \text{ V}, \quad V_B = U_{BC} = 1.5 \text{ V}$$

同理可求得以 A 点为参考点时各点的电位。计算结果表明，参考点选择得不同，各点的电位也不同。

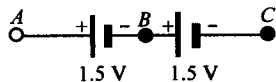


图 1-6 例 1-1 图

4. 电动势

由上述讨论可知，在电场力的作用下，正电荷总是从高电位向低电位移动，在外电路中从正极

移向负极。在图 1-7 所示的电路中, a, b 两个电极板分别带有等量异号电荷, 因此 a, b 之间就存在着电场, 其方向由 a 指向 b 。假若我们用导线经过一个灯泡将两个电极连接起来, 则在电场力的作用下, 正电荷就要从 a 极(高电位) 经过灯泡移到 b 极(低电位), 从而形成电流。要想维持电流流动, 必须有一种外力把正电荷源源不断地从低电位处移到高电位处, 即从负极 b 移回正极 a , 这个任务是由电源来完成的。在电源内部, 存在一种非电场力, 称为电源力。正电荷在电源力的作用下, 从低电位移向高电位(不同的电源中, 电源力的来源有所不同), 在此过程中, 电源力将克服电源内的电场力做功。电动势就是描述电源力克服电场力做功这一特征的物理量, 其定义为: 把单位正电荷从电源负极移到正极的电源力所做的功。电动势的单位也是伏特(V)。

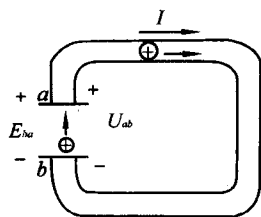


图 1-7 电动势

应该强调的是, 在外电路中, 在电场力的作用下, 电流从高电位的 a 端(正极) 经负载流向低电位的 b 端(负极); 在电源内部, 电流是在电源力的作用下从低电位的 b 端流向高电位的 a 端。因此, 在整个闭合电路中形成了连续的电流。还要特别指出, 电流、电压、电位、电动势都是代数量, 是标量而不是矢量。

1.2 电功率、电能与电流的热效应

电能产生于电源, 当用电设备接到电源上, 电场力就移动电荷形成电流并且做功, 用电设备将电荷从电源获得的能量转换为其他形式的能量。

1.2.1 电功率

在图 1-8 所示的电路中, a, b 两点间的电压 U_{ab} 就是电场力把单位正电荷从 a 点经负载移到 b 点所做的功 A , 即

$$U_{ab} = \frac{A}{q} \quad (1-7)$$

电功率是衡量电流做功的快慢程度, 即能量转换的快慢程度的物理量, 定义为: 单位时间内电流所做的功, 即

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Uq}{t} = UI \quad (1-8)$$

可见, 电功率大小等于电压和电流的乘积。

当负载两端电压、电流为非关联方向时, 则

$$P = -UI \quad (1-9)$$

对于电阻负载来说, 根据欧姆定律, 可以得出

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-10)$$

式(1-10)说明, 当通过电阻 R 的电流 I 一定时, 消耗在电阻上的功率与其电阻值成正比; 当电阻上电压一定时, 消耗在电阻上的功率与其电阻值成反比, 负载电阻越小, 它所消耗的功率就越大。因此, 平常说“负载大”是指负载元件在电路中消耗的功率大, 并非指“负载电阻大”, 即“负载大”就是指“负载电流大”。

计算功率时应注意 U 和 I 的参考方向。当 U 和 I 为关联方向时, 按式(1-8)计算; 当 U 和 I 为非关联方向时, 按式(1-9)计算。分析计算结果可知: 若 $P > 0$ 表示元件吸收功率, 说明此元件起负载

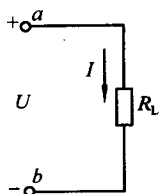


图 1-8 电功率

作用;而 $P < 0$ 表示元件产生功率,说明此元件起电源作用。功率的单位为瓦特,简称瓦(W)。

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$$

工程上,较大的功率常用千瓦(kW)和兆瓦(MW)作单位,较小的电功率常用毫瓦(mW)或微瓦(μW)作单位。转换关系为

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

【例 1-2】 计算图 1-9 所示电源的功率,说明它是吸收功率还是产生功率。

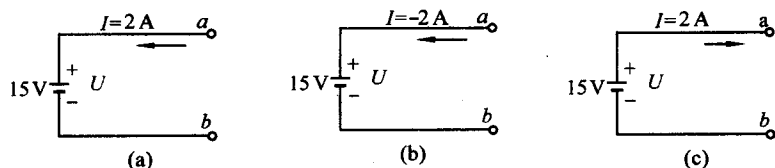


图 1-9 例 1-2 图

解 图 1-9(a) 中, $U = 15 \text{ V}$, $I = 2 \text{ A}$, 且 U 与 I 为关联方向, 故

$$P = UI = 15 \times 2 = 30 \text{ (W)} > 0$$

为吸收功率,此时电源处于充电状态(相当于负载)。

图 1-9(b) 中, U 与 I 也为关联方向, 故

$$P = UI = 15 \times (-2) = -30 \text{ (W)} < 0$$

为产生功率,电源处于对外供电状态。

图 1-9(c) 中, U 与 I 为非关联方向, 故

$$P = -UI = -(15 \times 2) = -30 \text{ (W)} < 0$$

电源产生功率。

1.2.2 电 能

功率是指单位时间内电流所做的功,电能则是指一段时间内电流所做的功。如果某用电设备的功率为 P ,使用时间为 t ,则其消耗的电能 W 为

$$W = Pt = UIt \quad (1-11)$$

式中,若 P 的单位为瓦(W), t 的单位为秒(s),则电能 W 的单位为焦耳(J)。若 U 与 I 为非关联方向,则

$$W = -UIt \quad (1-12)$$

电能的单位是千瓦·小时($\text{kW} \cdot \text{h}$),也称为度,换算关系为

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

1.2.3 电流的热效应

电流通过金属导体时,导体会发热,这种现象称为电流的热效应。这是因为电流通过导体时,克服导体电阻的阻碍作用,对电阻做了功,电能转换成了热能。在导体中,若电能完全转化成热能,则在一段时间内,导体所发出的热量就等于同一时间内它所耗用的电能,故有

$$Q = Pt = UIt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t \quad (1-13)$$

式中, Q 的单位也为焦耳(J), 习惯上使用“卡”, 换算关系为

$$1 \text{ 卡} = 4.187 \text{ 焦耳(J)}$$

【例 1-3】 用电热壶烧开水, 若其功率为 2 kW, 壶中盛水 6 kg, 假定壶中电热器发出的热量全部变成水的热能, 那么将 20 °C 的水加热到 100 °C 需要多长时间?

解 水的比热 $c = 1 \text{ 卡/克} \cdot \text{度} = 4.187 \text{ J/g} \cdot \text{°C}$ 。由 20 °C 加热到 100 °C 所需热量为

$$Q = cm(t_2 - t_1) = 4.187 \times 6\,000 \times (100 - 20) = 2\,009\,760 \text{ (J)}$$

加热时间

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{2\,009\,760 \text{ J}}{2\,000 \text{ W}} = 1\,005 \text{ s} = 16.7 \text{ min}$$

电流的热效应在日常生活和现代工业生产中都有很广泛的应用。例如, 电阻炉、各种电热器、电焊、电烙铁等, 都是利用电流的热效应来为生活和生产服务的。然而, 任何事物都有其相反的一面。同样, 电流的热效应也有不利的一面, 因为各种电气设备中的导线等都有一定的电阻, 通电时, 电气设备的温度会升高。温度过高时, 就会损坏绝缘, 甚至烧坏设备。因此电气设备能产生的最大功率, 在很大程度上受到电流热效应的限制。

1.3 电路的工作状态

由前面分析可知, 在电源电压一定的情况下, 电路的电流和功率都决定于负载。负载不同, 电路将处于不同的工作状态。

1.3.1 有载工作状态及电源的外特性

如图 1-10(a) 所示, 电路中的开关闭合后, 由电源和负载构成的闭合回路就是电路的有载工作状态。电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_L + r_0} \quad (1-14)$$

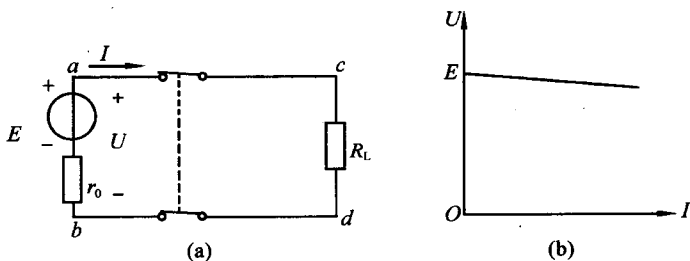


图 1-10 电路的有载工作状态和电源的外特性

一般电源的电动势 E 和内电阻 r_0 的值是一定的, 由式(1-14) 可见, 负载电阻 R_L 越小, 则电路中的电流越大。在负载工作状态下, 负载电流的变化将引起端电压的变化。负载电阻两端的电压为

$$U = IR_L = E - Ir_0 \quad (1-15)$$

由式(1-15) 不难看出, 当电源电动势 E 和内阻 r_0 不变时, 随着负载电流 I 的增加, 端电压 U 将减小。我们可以把这种端电压随着负载电流变化的情况绘成 $U = f(I)$ 曲线, 称为电源的外特性曲线, 如图 1-10(b) 所示, 其斜率与电源内阻 r_0 有关。将式(1-15) 各项乘以电流 I , 则有功率平衡式

$$UI = EI - I^2 r_0$$

$$\text{或} \quad P = P_E - \Delta P \quad (1-16)$$

式中, $P_E = EI$, 是电源产生的功率; $\Delta P = I^2 r_0$, 是电源内阻上损耗的功率; $P = UI$, 是电源供给负载的功率。

【例 1-4】 在图 1-10 所示的电路中, 已知电源的电动势 $E = 125 \text{ V}$, 端电压 $U = 115 \text{ V}$, 电流 $I = 4 \text{ A}$, 求 $P_E, P, \Delta P$ 和电源内阻 r_0 及其压降 U_{r_0} 。

解 由式(1-16)得

$$P_E = EI = 125 \times 4 = 500 \text{ (W)}$$

$$P = UI = 115 \times 4 = 460 \text{ (W)}$$

$$\Delta P = P_E - P = 500 - 460 = 40 \text{ (W)}$$

$$U_{r_0} = E - U = 125 - 115 = 10 \text{ (V)}$$

$$r_0 = \frac{U_{r_0}}{I} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ (}\Omega\text{)}$$

1.3.2 开 路

当电路某点断开或开关断开(或保险丝熔断)时, 电路处于“开路”状态, 如图 1-11 所示。电源开路时, 外电路的电阻为无穷大, 电路中没有电流, 电源的端电压等于电动势, 电源对外不输出电能。

开路时, 电路的特征为

$$E = U = U_0, \quad R_L = \infty, \quad I = 0, \quad P = UI = 0 \quad (1-17)$$

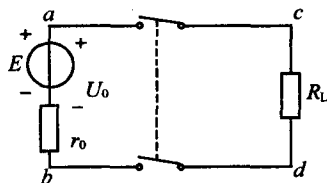


图 1-11 开路电路

1.3.3 短 路

短路就是负载或电源两端被电阻近于零的导体直接接通。短路可能发生在电路的任意处, 但最严重的是电源短路, 如图 1-12 所示。在电源两端发生短路时, 电流不经负载, 而直接从电源的正极经短路线流向负极。由于电源内阻 r_0 很小, 因此, 电流很大, $I_s = E/r_0$ 称为短路电流。短路时, 电源所产生的电动势全部消耗在内阻上, 又由于外电路的电阻为零, 所以电源的端电压也为零。短路时, 电路的特征为

$$R_L = 0, \quad U = 0, \quad I_s = E/r_0$$

$$P = UI = 0, \quad P_E = \Delta P = I_s^2 r_0 \quad (1-18)$$

短路时, 电源中有极大的电流通过, 这将使电源过热, 从而使其烧毁。因此, 在工作中必须尽力防止发生短路事故。

【例 1-5】 如图 1-12 所示, 已知 $E = 120 \text{ V}$, $r_0 = 0.3 \Omega$, 导线电阻 $r_L = 0.4 \Omega$, 负载电阻 $R_L = 8.9 \Omega$, 求:

- (1) 电路在正常工作情况下的电流 I ;
- (2) 当负载两端发生短路时, 电源中通过的电流 I_s' ;
- (3) 当电源两端发生短路时, 电源中通过的电流 I_s'' 。

解 (1) 正常工作时的电流为

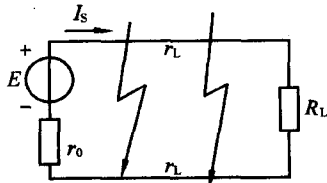


图 1-12 短路电路