

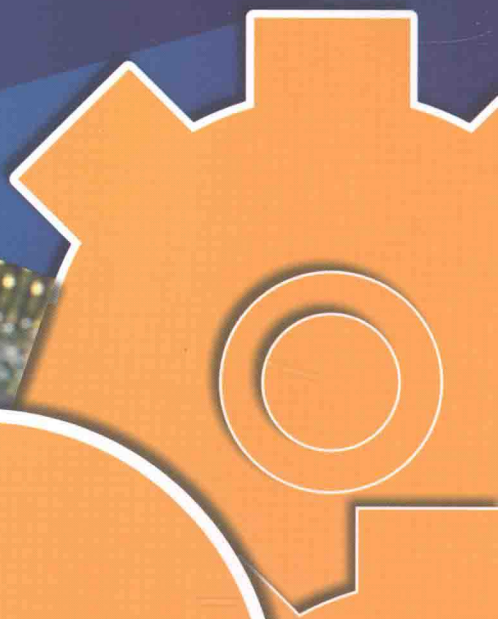
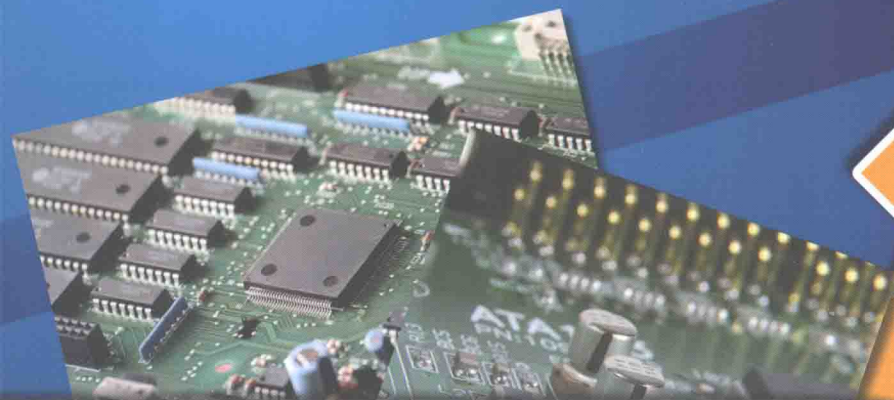


普通高等教育“十二五”规划教材
全国高职高专规划教材·机械设计制造系列

电工基础

DIANGONG JICHU

张君薇 孙 清 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材
全国高职高专规划教材·机械设计制造系列

电工基础

主 编 张君薇 孙 清
副主编 林 喆 吴 琳 张明月 刘 力
参 编 霍 焱
主 审 智海素



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书紧扣高职教育“注重实践, 强调应用”的指导思想, 以技能训练为主线, 理论与实践有机结合, 按照项目化教学组织方式进行编写。本书涵盖7个项目: 汽车信号灯电路的分析及设计, 电路的分析方法及测试, 照明电路的安装及测试, 三相交流电路的制作及测试, 安全用电, 变压器电路的检测及调试, 延时照明电路的设计、安装及调试。

本书内容深浅适度, 通俗易懂, 配有大量的例题及详解, 具有较强的实用性, 可作为高职自动化类、机电类、电子信息类等专业的教材, 也可供其他专业师生、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础 / 张君薇, 孙清主编. —北京: 北京大学出版社, 2012. 9
(全国高职高专规划教材·机械设计制造系列)
ISBN 978-7-301-21290-5

I. ①电… II. ①张…②孙… III. ①电工学—高等职业教育—教材
IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 223383 号

书 名: 电工基础

著作责任者: 张君薇 孙 清 主编

策 划 编 辑: 温丹丹

责 任 编 辑: 温丹丹

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-21290-5/TM · 0050

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电 子 信 箱: zyjy@pup.cn

印 刷 者: 三河市北燕印装有限公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 283 千字

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

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

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

“电工基础”是高等职业院校电类专业的技术基础课程，也是一门主干课程。本书力争完成以下任务：使学生掌握电类专业必备的电工通用技术基础知识、基本方法和基本技能，具有分析和处理生产与生活中一般电工问题的基本能力，具备继续学习后续专业技能课程的基本学习能力，为获得相应的职业资格证书打下基础。同时培养学生的职业道德与职业意识，提高学生的综合素质与职业能力，增强学生适应职业变化的能力，为学生职业生涯的发展奠定基础。

本书具有以下鲜明特点。

1. 以高职高专培养目标和要求为指导思想，以学生就业为导向，岗位职业能力为依据，遵循学生认知规律，紧密结合职业资格证书中的电工技能要求，确定本课程的项目模块和教材内容。

2. 充分体现项目教学、任务引领、理论与实践一体的课程思想。在项目的选取和典型任务的确定上充分考虑了技能的通用性、针对性、实用性及职业资格证书的相关考核要求。所选取的工作任务能使学生的知识、技能、素养全面发展，使学生形成自主性、研究性学习的能力。

3. 以项目来组织内容，下设若干任务。彻底打破了学科课程的设计思想，紧紧围绕工作任务完成的需求来选择和组织课程内容，突出工作任务与知识的联系，让学生在职业实践的基础上掌握知识，为学生自主学习搭建理想的平台，使学生在“真实”的情境中，通过自主学习构建自己的“知识与技能”。

4. 理论与实践相结合，把电工电路设计、制作、测试与调试等能力作为基本目标，倡导通过仿真实验、实验与技能训练进行研究性学习，提倡评价方式的多元化，通过素养、技能、知识、创新与思想方法、团队合作等几个方面培养学生的创新能力、自主研究性的学习方法及集体主义精神等。

本书在编写中突出了新技术、新知识、新工艺和新标准的学习与应用。

本书由张君薇担任主编，具体编写分工如下：张君薇负责项目一、项目三的编写，孙清负责项目二的编写，林喆、吴琳、刘力共同负责项目四、项目五和项目七的编写，张明月负责项目六的编写，霍焱负责项目中所有综合技能实训的编写。

在编写的过程中，编者参考和查阅了众多文献资料，在此，谨向参考文献的作者致以诚挚的谢意。

限于编者的学术水平和教学经验，错误和不恰当之处在所难免，恳切希望使用本书的读者批评指正。

编 者
2012年8月

目 录

项目一 汽车信号灯电路的分析及设计	1
任务一 感知、认知直流电路	1
知识链接一 电路的组成和作用	1
知识链接二 电路的基本物理量	2
知识链接三 常用的电器元件	8
知识链接四 电路的工作状态	11
技能训练 直流电流、电压的测量	13
任务二 电阻电路的分析	14
知识链接一 串联电阻电路	14
知识链接二 并联电阻电路	16
知识链接三 电阻混联电路	17
知识拓展 电阻 Δ 形和Y形联结的等效变换	18
任务三 基尔霍夫定律	21
知识链接 基尔霍夫定律	21
知识拓展 电路中电位的计算与测量	24
技能训练 复杂电路中的电流、电压及电位的测量	26
综合技能训练 汽车信号灯电路的分析与测试	28
学生工作页	30
项目二 电路的分析方法及测试	34
任务一 电路的一般分析方法与仿真测试	34
知识链接一 支路电流法	34
知识链接二 节点电压法	35
技能训练 电路的仿真测试	38
任务二 电源电路的分析与测量	40
知识链接一 电压源及其电路模型	40
知识链接二 电流源及其电路模型	43
知识链接三 电源模型的等效变换	45
知识拓展 受控源	49
任务三 电路基本定理及其测试	51
知识链接一 叠加定理及其应用	51
知识链接二 戴维南定理及其应用	54

项目一 汽车信号灯电路的分析及设计



项目教学目标

职业知识目标

- 理解电路的基本物理量的意义、单位、符号及方向问题
- 了解电阻、电感、电容元器件的特性及识别方法
- 掌握电能及功率的测量方法
- 了解电路不同工作状态的特性
- 掌握电阻串联、并联电路的特点

职业技能目标

- 会检测和识别电阻、电容、电感和直流电源等元器件及设备
- 能用万用表测量电路中的电流、电压等基本物理量
- 能对简单的直流电路分析并装接

职业道德与情感目标

- 培养学生良好的职业道德
- 培养学生的自主性、研究性学习方法与思想
- 培养严谨、认真的学习态度
- 初步培养学生的团队合作精神，形成产品意识、质量意识、安全意识

任务一 感知、认知直流电路

知识链接一 电路的组成和作用

1. 电路的组成

电路是由若干电气设备或元器件按一定方式用导线连接而成的电流通路，它通常由电源、负载及中间环节三部分组成，如图 1-1 所示电路为简单照明电路。

(1) 电源：将其他形式的能量转换为电能的装置，如发电机、干电池、蓄电池等。

(2) 负载：取用电能的装置，通常也称为用电器，如白炽灯、电炉、电视机、电动机等。

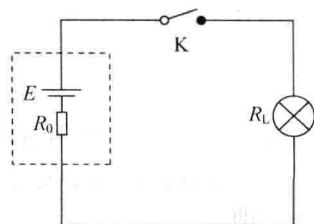


图 1-1 简单照明电路

(3) 中间环节：传输、控制电能的装置，如连接导线、变压器、开关、保护电器等。

2. 电路的作用

(1) 实现电能的传输和转换

以电力系统为例来说明如何实现电能的传输和转换，如图 1-2 所示。

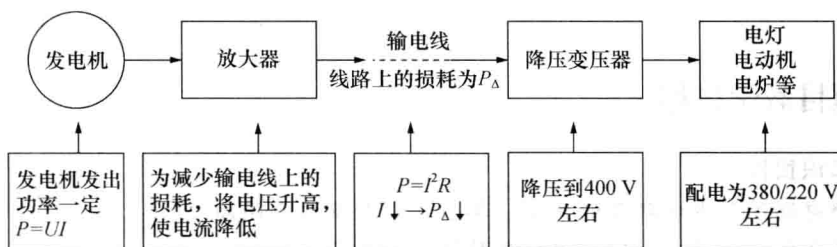


图 1-2 电力系统

(2) 实现信号的传递和处理

以扬声器为例来说明如何实现信号的传递和处理，如图 1-3 所示。

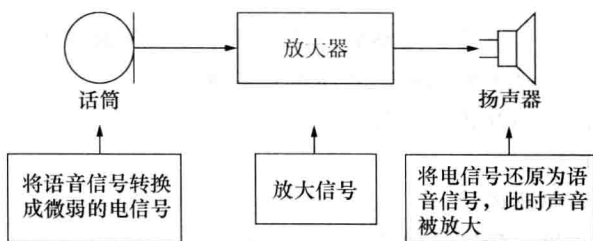


图 1-3 扬声器

知识链接二 电路的基本物理量

1. 电流

(1) 客观存在

电流是一种物理现象，即电荷有规则的定向移动。电流的实际方向规定为正电荷移动的方向。

(2) 电流的大小

电流的大小用电流强度（简称电流）来表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过导线某一截面的电荷量，用符号 i 表示，即：

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

式中， dq 为时间 dt 内通过导线某一截面的电荷量。

大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流，简称直流电流，采用大写字母 I 表示，即

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

在国际单位制中, 电流的基本单位是安培 (A), 简称安, $1\text{ A} = 10^3\text{ mA}$ 。

(3) 电流的实际方向和参考方向 (正方向)

在分析、计算复杂电路时, 很难预先判断出电流的实际方向, 为了分析、计算的需要, 常常先任意假定某一方向为电流的实际方向, 这个方向就叫做参考方向 (也叫做正方向), 如图 1-4 所示, 得到结论如下。

① 如果在参考方向下算出某条支路的电流大于零, 则电流的实际方向与参考方向相同; 反之, 电流的实际方向与参考方向相反。

② 如果电流的参考方向与实际方向相同, 则在参考方向下算出的电流一定大于零; 反之, 电流一定小于零。

③ 无特殊说明, 本书图中的电流方向均为参考方向。

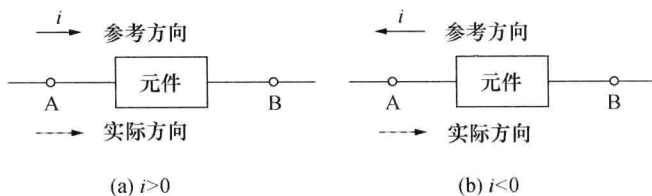


图 1-4 电流的参考方向与实际方向的关系

2. 电压

电荷在电路中运动, 必定受到力的作用, 也就是说力对电荷做了功, 这个功叫做电压。

(1) 电压的大小

当电流流过某一段电路时, 电路中的电阻对电流起阻碍作用, 产生电压。

电压的单位为伏特 (V), 常用的单位为千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

电路中 A 点到 B 点的电压等于 A 点电位与 B 点电位的差, 因此, 电压又叫电位差。

(2) 电压的实际方向和参考方向

同电流一样, 电压也有实际方向和参考方向, 电压的实际方向是由高电位指向低电位, 电压的参考方向与实际方向之间的关系, 如图 1-5 所示, 得到的结论如下。

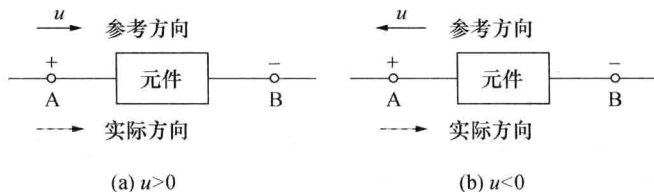


图 1-5 电压的参考方向与实际方向的关系

① 如果在参考方向下算出某元件的电压大于零, 则电压的实际方向与参考方向相同; 反之, 电压的实际方向与参考方向相反。

② 如果电压的参考方向与实际方向相同, 则在参考方向下算出的电压一定大于零; 反之, 电压一定小于零。

③ 无特殊说明,本书图中的电压方向均为参考方向。

④ 电压的参考方向的表示方法有3种。可以用箭头表示;也可以用“+”、“-”表示,如图1-6所示;还可以用 U_{AB} 表示,它们表示由A指向B的电压。

(3) 关于电流与电压之间的参考方向(关联方向)问题

进行电路分析时,对于一个元件,我们既要对流过元件的电流选取参考方向,又要对元件两端的电压选取参考方向,两者是相互独立的,可以任意选取。也就是说,它们的参考方向可以一致,也可以不一致。

如果电流的参考方向与电压的参考方向一致,则称之为关联参考方向,如图1-6(a)所示。

如果电流的参考方向与电压的参考方向不一致,则称之为非关联参考方向,如图1-6(b)所示。

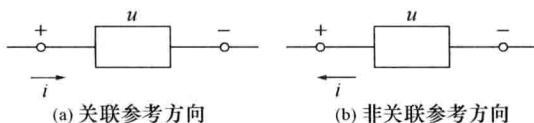


图1-6 电压和电流的关联方向

3. 电位

(1) 零电位点

选定电路中任意一点为参考点,其他各点相对于该参考点的电压降,称为各点相对于参考点的电位。

选定的参考点电位为零,故又称之为零电位点。电路中的零电位点往往按照以下方法进行选择。

- ① 在工程中通常选大地作为参考电位点。
- ② 在电子线路中,常选公共端或机壳作为参考电位点。
- ③ 电路分析中通常选择电源的两极之一,最常见的是选择负极。

(2) 电位与电压的关系

在电路中任选一点O点为参考点,则该电路某点A到参考点的电压就叫做A点的电位,用 V_A 表示。

$$V_A = U_{AO} \quad (1-3)$$

电路中除参考点外的其他各点的电位可能是正值,也可能是负值,如果某点电位比参考点高,则该点电位就是正值;反之,为负值。

电路中各点的电位值是相对的,与参考点的选择有关;但电路中任意两点之间的电压(电位差)是唯一的,与参考点、路径的选择无关。

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

电位分析方法的优点如下。

- ① 相对于电压,电位的表示简洁方便。
- ② 测量方便,工程中用万用表电压挡即可测定某点电位。

电位实质上就是电压,其单位也是伏特(V)。

在电路中不指明参考点而谈某点的电位是没有意义的。在一个电路系统中只能选一个

参考点,至于选哪点为参考点,要根据分析问题的方便而定。在电子电路中常选一条特定的公共线作为参考点,这条公共线常是很多元件的汇集处且与机壳相连接,因此,在电子电路中参考点用接机壳符号“ $\perp$ ”表示。

【例 1-1】如图 1-7 所示为部分电路,已知 $V_a = 50\text{ V}$, $V_b = 30\text{ V}$, $V_c = -40\text{ V}$ 。求 U_{ba} 、 U_{ac} 。

解:

$$U_{ba} = V_b - V_a = 30 - 50 = -20\text{ (V)}$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = 50 - (-40) = 90\text{ (V)}$$

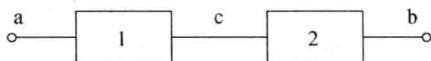


图 1-7 例 1-1 电路图

4. 电动势

(1) 电动势的性质

电动势是电源内部特有的物理量,用 E 或 U_S 表示,如图 1-8 所示。

(2) 电动势的方向

电动势的实际方向:低电位指向高电位,也就是电源的负极指向电源的正极。电动势的实际方向与电压的实际方向正好相反。电动势的单位同电压。

(3) 电压与电动势的关系

由于电压与电动势的实际方向相反,因此,当它们的参考方向相反时,电动势与电压相等;反之,互为相反数,如图 1-9 所示。

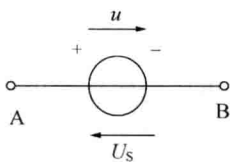


图 1-8 电动势

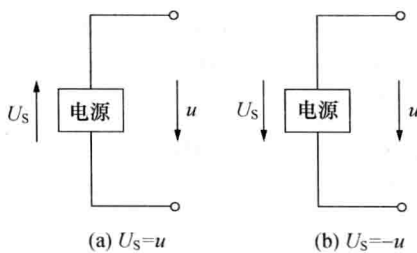


图 1-9 电源的电动势与端电压的关系

电动势与电压是两个不同的概念,但是,它们都可以用来表示电源正、负极之间的电位差,由于电动势不便测量,故在电路中很少用到电动势的概念。

【例 1-2】如图 1-10 所示的电路中,方框表示电源或电阻,各元件的电压和电流的参考方向如图 1-10 (a) 所示。现通过测量可知: $I_1 = 1\text{ A}$, $I_2 = 2\text{ A}$, $I_3 = -1\text{ A}$, $U_1 = 4\text{ V}$, $U_2 = -4\text{ V}$, $U_3 = 7\text{ V}$, $U_4 = -3\text{ V}$ 。试标出各电流和电压的实际方向。

解:电流和电压为正值者,其实际方向和参考方向一致;为负值者,其实际方向和参考方向相反。按照上述原则,得到各电流和电压的实际方向如图 1-10 (b) 所示。

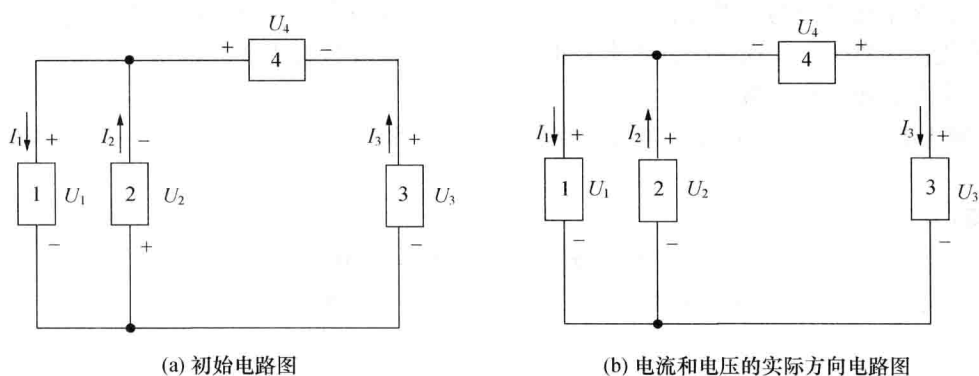


图 1-10 例 1-2 电路图

5. 电功率

电路在工作状况下伴随有电能与其他形式能量的相互交换, 另外, 电气设备、电路部件本身都有功率的限制, 在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值, 过载会使设备或部件损坏, 或是不能正常工作, 所以计算电路的功率和能量是非常必要的。

(1) 电功率的定义

单位时间内电场力所做的功称为电功率, 简称为功率。它是描述传送电能速率的一个物理量, 以符号 p 表示, 电路的功率等于该段电路的电压与电流的乘积, 即:

$$p = ui \quad (1-5)$$

直流时:

$$P = UI \quad (1-6)$$

(2) 判断电路中的元件是电源还是负载的方法

电路中既有电源还有负载, 根据能量守恒原理, 电源要发出功率, 负载要吸收功率, 两者应该相等, 整个电路的功率是平衡的。

电路中的电阻元件是消耗能量的元件, 是负载; 当电路有多个电源时, 有的电源也可能作为负载, 吸收功率。

方法 1: 根据电源和负载的特性判断 (用实际方向判断)

如图 1-11 所示的手电筒的电路, 可以看出电源的电流和电压的实际方向相反, 负载的电流和电压的实际方向相同。我们可以根据元件电流和电压的实际方向是否相同, 判断电源和负载。

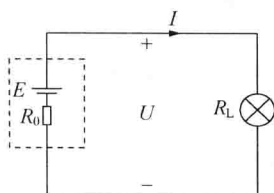


图 1-11 手电筒电路模型

方法 2: 通过计算元件的功率判断 (用参考方向判断)

当元件的电压和电流处于关联参考方向时:

$$P = UI \begin{cases} > 0 & \text{吸收功率} & \text{是负载} \\ < 0 & \text{发出功率} & \text{是电源} \end{cases}$$

当元件的电压和电流处于非关联参考方向时:

$$P = -UI \begin{cases} > 0 & \text{吸收功率} & \text{是负载} \\ < 0 & \text{发出功率} & \text{是电源} \end{cases}$$

【例 1-3】图 1-12 中, 用方框代某一电路元件, 其电压、电流如图中所示, 求图中各元件吸收的功率, 并说明该元件实际上是电源还是负载?

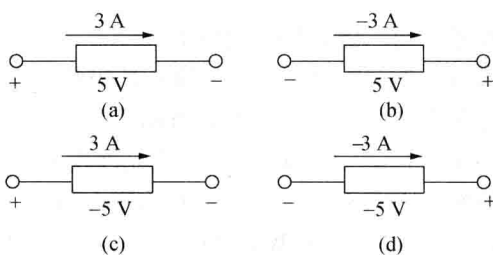


图 1-12 例 1-3 电路图

解: (1) 图 1-12 (a) 中电压、电流的参考方向处于关联方向

$$P = UI = 5 \times 3 = 15 \text{ (W)} > 0$$

元件实际上是吸收功率, 是负载。

(2) 图 1-12 (b) 中电压、电流的参考方向处于非关联方向

$$P = -UI = -5 \times (-3) = 15 \text{ (W)} > 0$$

元件实际上是吸收功率, 是负载。

(3) 图 1-12 (c) 中电压、电流的参考方向处于关联方向

$$P = UI = (-5) \times 3 = -15 \text{ (W)} < 0$$

元件实际上是发出功率, 是电源。

(4) 图 1-12 (d) 中电压、电流的参考方向处于非关联方向

$$P = -UI = -(-5) \times (-3) = -15 \text{ (W)} < 0$$

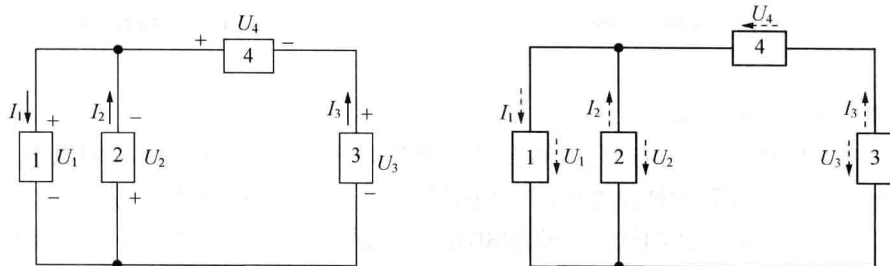
元件实际上是发出功率, 是电源。

【例 1-4】 在图 1-13 所示电路中, 方框表示电源或电阻, 各元件的电压和电流的参考方向如图 1-13 (a) 所示。通过测量得知: $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = 1\text{A}$, $I_3 = 1\text{A}$, $U_1 = 4\text{V}$, $U_2 = -4\text{V}$, $U_3 = 7\text{V}$, $U_4 = -3\text{V}$ 。

(1) 试标出各电流和电压的实际方向。

(2) 试求每个元件的功率, 并判断其是电源还是负载。

解: (1) 当电流或电压为正值, 其实际方向与参考方向一致; 当电流或电压为负值, 其实际方向和参考方向相反。按照上述原则, 各电流和电压的实际方向 (用虚线表示) 如图 1-13 (b) 所示。



(a) 初始电路图

(b) 电流和电压的实际方向电路图

图 1-13 例 1-4 电路图

(2) 计算各元件的功率

元件 1 电压和电流参考方向一致, 处于关联方向

$$P_1 = U_1 I_1 = 4 \times 2 = 8 \text{ (W)} > 0, \text{ 该元件吸收功率, 为负载。}$$

元件 2 电压和电流参考方向一致, 处于关联方向

$$P_2 = U_2 I_2 = -4 \times 1 = -4 \text{ (W)} < 0, \text{ 该元件发出功率, 为电源。}$$

元件 3 电压和电流的参考方向不一致, 处于非关联方向

$$P_3 = -U_3 I_3 = -7 \times 1 = -7 \text{ (W)} < 0, \text{ 该元件发出功率, 为电源。}$$

元件 4 电压和电流的参考方向不一致, 处于非关联方向

$$P_4 = -U_4 I_3 = -(-3) \times 1 = 3 \text{ (W)} > 0, \text{ 该元件吸收功率, 为负载。}$$

知识链接三 常用的电器元件

1. 电阻元件

(1) 电阻的种类

电阻的种类如图 1-14 所示, 电阻的符号如图 1-15 所示。

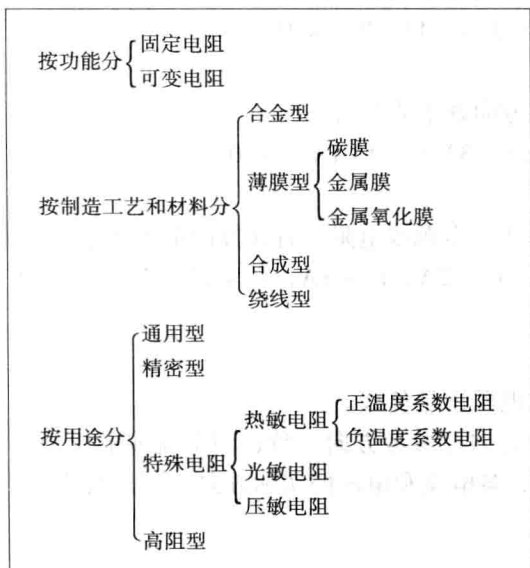


图 1-14 电阻的种类

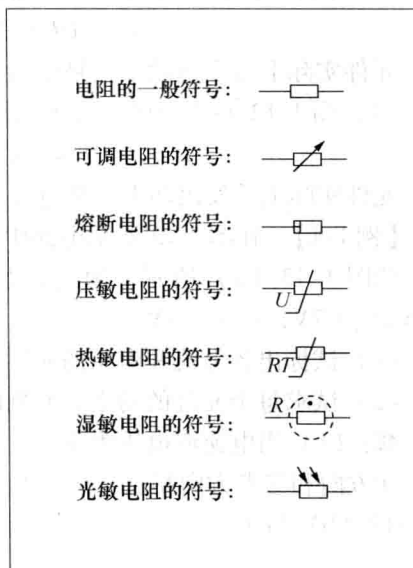


图 1-15 电阻的符号

(2) 电阻元件的伏安特性

如果伏安特性曲线是一条过原点的直线, 如图 1-16 (b) 所示, 这样的电阻元件称为线性电阻元件, 线性电阻元件在电路图中用图 1-16 (a) 所示的图形符号表示。如果电阻的伏安特性是一条过原点的曲线, 这样的电阻为非线性电阻, 如图 1-16 (c) 所示。

今后本书中所有的电阻元件, 除非特别指明, 都指的是线性电阻元件。

电阻元件的倒数称为电导, 用字母 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R}$$

(1-7)

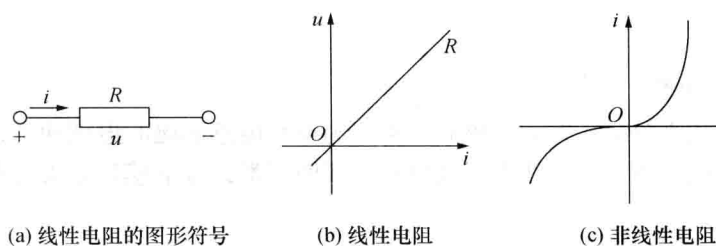


图 1-16 电阻元件的伏安特性

电导的物理意义是表示元件对电流的促进作用。

(3) 欧姆定律

欧姆定律是电路分析中的重要定律之一，它说明流过线性电阻的电流与该电阻两端电压成正比的关系，反映了电阻元件的特性。

当电压与电流为关联参考方向，欧姆定律可用式 (1-8) 表示：

$$u = iR \quad (1-8)$$

直流电路：

$$U = IR \quad (1-9)$$

当选定电压与电流为非关联方向时，则欧姆定律可用式 (1-10) 表示：

$$u = -iR \quad (1-10)$$

直流电路：

$$U = -IR \quad (1-11)$$

无论电压、电流为关联参考方向还是非关联参考方向，电阻元件功率为：

$$P = I_R^2 R = \frac{U_R^2}{R} \quad (1-12)$$

式 (1-12) 表明，电阻元件吸收的功率恒为正值，而与电压、电流的参考方向无关。因此，电阻元件又称为耗能元件。

【例 1-5】如图 1-17 所示，应用欧姆定律求各电压或电流。

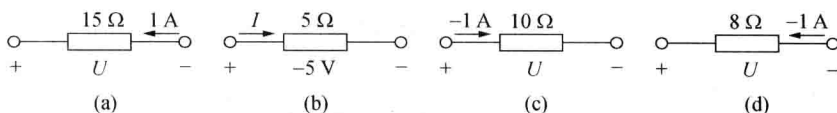


图 1-17 例 1-5 电路图

解：(1) 在图 1-17 (a) 中，由于电压与电流处于非关联方向

因此：

$$U = -IR = -1 \times 15 = -15 \text{ (V)}$$

(2) 在图 1-17 (b) 中，由于电压与电流处于关联方向

因此：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{-5}{5} = -1 \text{ (A)}$$

(3) 在图 1-17 (c) 中，由于电压与电流处于关联方向

因此：

$$U = IR = -1 \times 10 = -10 \text{ (V)}$$

(4) 在图 1-17 (d) 中，由于电压与电流处于非关联方向

因此：

$$U = -IR = -(-1) \times 8 = 8 \text{ (V)}$$

2. 电感元件

(1) 电感器的种类

根据元件的结构来分类：按有无磁心，可分为空心电感和磁心电感两类；按绕组的绕制方式，可分为单层线圈、多层线圈以及蜂房式线圈三类；按电感量是否可调，可分为固定电感与可调电感两类。

(2) 电感元件与电感量

磁链与电流的比值称为线圈的自感系数或电感量，简称电感，用符号 L 表示。即：

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1-13)$$

电感元件的特性曲线如图 1-18 所示。

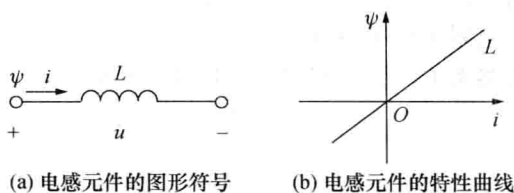


图 1-18 电感元件的特性曲线

电感单位为亨利 (H)，且 $1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$ ， $1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$

(3) 理想电感元件的电压和电流的关系

理想电感元件是指不计线圈直流电阻的线性电感元件。关联参考方向下，理想电感元件的伏安特性为：

$$u_L = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-14)$$

(4) 电感元件的储能

$$w_L(t) = \frac{1}{2} Li'^2(t) \quad (1-15)$$

(5) 电感元件的连接

实际的电感器，常采用一个理想电感元件与电阻的串联模型进行等效。

① 电感元件的串联，电路如图 1-19 (a) 所示。

在串联电感电路中，总电感等于各串联电感相加。

$$L = L_1 + L_2 \quad (1-16)$$

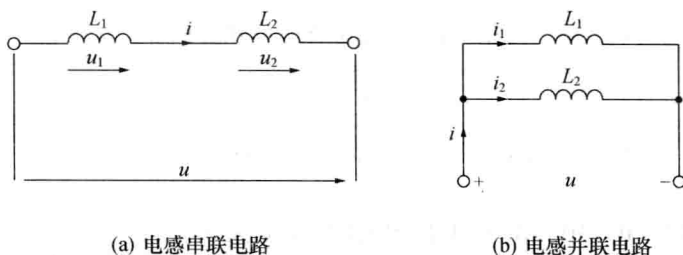


图 1-19 实际电感的连接

② 电感元件的并联, 电路如图 1-19 (b) 所示。

在并联电感电路中, 总电感的倒数等于各并联电感的倒数和。

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \quad (1-17)$$

3. 电容元件

(1) 电容器的种类

电容器按其电容量是否可以调节, 可分为固定电容器和可变电容器, 可变电容器还包括半可变电容器 (又称微调电容器)。

(2) 电容元件与电容量

电荷量与电压的比值称为电容器的电容量, 简称电容, 用符号 C 表示。即:

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-18)$$

(3) 理想电容元件的电压和电流的关系

在关联参考方向下, 电容元件的伏安特性表达式为:

$$i_c = C \frac{du}{dt} \quad (1-19)$$

(4) 电容元件的储能

$$w(t) = \frac{1}{2} Cu^2(t) \quad (1-20)$$

(5) 电容元件的连接

① 电容元件的串联

串联电容电路如图 1-20 (a) 所示, 总电容的倒数等于各串联电容的倒数和。即:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (1-21)$$

② 电容元件的并联

并联电容电路如图 1-20 (b) 所示, 总电容等于各并联电容的和。即:

$$C = C_1 + C_2 \quad (1-22)$$

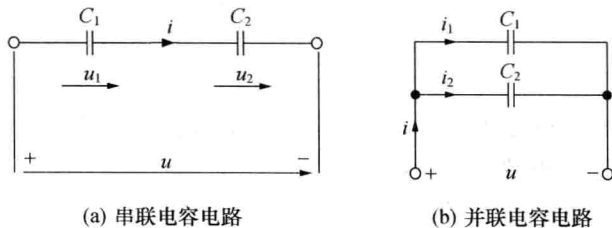


图 1-20 电容元件的连接

知识链接四 电路的工作状态

在实际用电过程中, 根据不同的需要和不同的负载情况, 电路可能处在开路 (断路)、短路、有载工作的不同状态。

需要注意的是, 有些电路状态不是正常的工作状态, 而是事故状态, 是应该尽量避免

和消除的。因此，了解并掌握电路不同状态的特点和性质是非常重要的，是正确及安全用电的前提和保障。

1. 开路（断路）

电路如图 1-21（a）所示，开关打开，此时电源与外电路之间没有接通，电路处于断开状态。电路的开路状态可能是电源未闭合，这是正常开路；如果是线路上某个地方接触不良、导线已断或者熔断器熔断所造成的，这些情况就属于事故开路了。

电路开路的特征为如下。

- 电路中的电流： $I=0$ 。
- 电源输出电压： $U_0=U_S$ 。
- 负载电压： $U=0$ 。
- 电源发出功率： $P_E=0$ 。
- 负载吸收功率： $P=0$ 。

2. 短路

电路如图 1-21（b）所示，电源两端导线由于某种事故而直接搭接在一起，称为电源短路。此时，电源输出的电流没有经过负载，直接通过导线流回电源。此时，电源中流过极大的短路电流 I_S ，电源产生的电能全部被电源内部所消耗。

电源短路时的特征如下。

- 电路中的电流： $I=I_S=\frac{U_S}{R_0}$ 。
- 电源输出电压： $U_0=0$ 。
- 负载电压： $U=0$ 。
- 电源发出功率由电源内阻消耗： $P_E=I_S^2 \times R_0$ 。
- 负载吸收功率： $P=0$ 。

应该注意的是：电源短路是危险的，是一种严重的事故，应该尽量避免和消除。一种最简单的措施就是在电源开关后面安装熔断器。一旦发生短路事故，大电流立即会将熔断器烧断，迅速切断事故电路，电气设备从而得到保护。

3. 有载工作

电路如图 1-21（c）所示，当合上开关 S 时，电流流过负载电阻，电路处于负载工作状态。处于负载工作状态时电路的特征如下。

- 电源输出电压： $U_0=U_S-IR_0=U$ 。
- 负载电压： $U=IR$ 。
- 负载吸收功率： $P=UI$ 。
- 电源发出功率由电源内阻消耗： $P_E=U_S \times I=P+I^2 R_0$ 。

对于实际的电气设备，为了让其取得最好的技术及经济效能，制造厂家对其性能、使用条件等都有一些技术数据加以规定，这些规定的技术数据称为电气设备的额定值，例如，额定电压、额定电流、额定功率等。电气设备不一定非得在额定值下工作，可以在其数据的一定范围内工作，但电气设备越接近额定值工作，设备运行状态就越可靠、越安