



“十三五”普通高等教育本科规划教材

DIANGONG JISHU JICHU

# 电工技术基础

丁巧林 主编

扫一扫



获取数字资源



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

DIANGONG JISHU JICHU

# 电工技术基础

主编 丁巧林

编写 谢庆 张建坡 高本锋 杨琳

主审 姚纓英



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 简 介

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。

本书共 9 部分,包括电路模型及其基本定律、直流电阻电路的分析、电路的暂态分析、正弦稳态电路的分析、三相电路、磁路与铁芯线圈电路、三相异步电动机以及基于 MatLab 软件的电路辅助分析方法、部分习题参考答案。本书配有数字资源,读者可通过扫描书中二维码获得。本书推荐的理论教学时长为 52 课时左右、实验时长为 12 课时左右,共 64 课时,对其中加“\*”的章节不做硬性要求。

本书适合作为普通高等院校理工科中弱电、非电专业学生“电工学”课程的学习用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础/丁巧林主编. —北京:中国电力出版社, 2019.5

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-2592-8

I. ①电… II. ①丁… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 255154 号

---

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:陈 硕(010-63412532)

责任校对:黄 蓓 太兴华

装帧设计:郝晓燕

责任印制:钱兴根

---

印 刷:三河市百盛印装有限公司

版 次:2019 年 5 月第一版

印 次:2019 年 5 月北京第一次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:14.25

字 数:366 千字

定 价:40.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

# 前 言

本书以教育部《关于进一步加强高等学校本科教学的若干意见》为指导依据，面向普通院校理工科中弱电、非电专业的学生的电工学课程用书而编写。

电工技术基础是高等院校弱电、非电专业的技术基础课程，开设本课程的主要目的是使学生掌握必备的专业基础知识和从事电工、电子行业的基础理论。为此，本书包括了电工技术领域中基本概念、基本理论、基本知识和基本分析方法，并通过例题讲授以加强学生对理论知识和分析方法的理解与应用。书中配有适量的思考题和课后习题，以便学生及时练习巩固。

本书为新编教材。全书内容较为全面而丰富，共 10 部分，包括电路模型及其基本定律、直流电阻电路的分析、电路的暂态分析、正弦稳态电路分析、三相电路、磁路与铁芯线圈电路、三相异步电动机以及基于 MatLab 软件的电路辅助分析方法、部分习题参考答案。

本书在编写时，注意了以下原则：

- (1) 理论与实际相结合的原则，以帮助学生培养分析和解决问题的能力。
- (2) 循序渐进、由浅及深的原则，对于难点和重点内容，尽量做出清晰阐述，层层引导，练习题设置由简到难，逐步深入。
- (3) 重视计算机工具使用，新增了附录 A 基于 MatLab 软件的电路辅助分析方法，形成了“理论研究+计算机仿真+动手实践”的完整教学链条，便于学生加深对理论知识的学习掌握，并培养学生初步具备利用计算机进行电路分析处理的能力。
- (4) 重视对学生人文品质的教育，新增了拓展知识：电工技术知名人物略记，将近代历史上为电工技术发展做出卓越贡献的部分知名人物进行了梳理，以激发读者兴趣，学习优秀科学家事迹，并鼓励读者投身伟大科学事业。该内容为数字资源，读者可通过扫描书中二维码获得。
- (5) 本书注意到跟其他课程及后续课程的配合与分工，避免了知识的脱节和赘述。但为了加强理论的系统性，重要的基本概念和定理仍被列入书中，起到温故而知新的作用，对于后续专业课程深入学习的内容，则点到为止。

本书按照 64 课时编写，其中理论教学 52 课时左右、实验 12 课时左右，教学实施过程中对加“\*”的章节可不作硬性要求。为照顾少学时教学计划，本书也可按照理论教学 40 课时左右、实验 8 课时左右实施，建议少学时教学实施中可对动态电路、磁路等内容适当降低要求，但务必确保学生对基本概念的理解及基本方法的掌握。

本书由华北电力大学丁巧林副教授主编并负责统稿。其中前言、第 1、2 章由谢庆编写，第 3 章由杨琳编写，第 4、5 章由丁巧林编写，第 6 章、附录 A 由张建坡编写，第 7 章由高本锋编写，附录 B 由李婷、谢庆共同编写。李婷、郭海潮参与了本书部分内容及习题整理工作。

本书是华北电力大学电工技术基础课程团队多年教学经验的积累与提炼，是课程团队及

所在教研室老师集体智慧的结晶。本书出版过程中参考了同行成果，也得到了诸多老师的指导与出版社的帮助，在此一并致谢。

本书承浙江大学姚缨英教授仔细审阅并提出诸多宝贵修改意见，在此表示衷心感谢。

限于编者能力及时间有限，书中不妥与疏漏在所难免，甚至出现错误之处。恳请广大读者，尤其是使用本书的教师、学生，批评指正，提出宝贵意见，以便修改完善。

编者

2018年12月

# 目 录

前言

<b>第 1 章 电路模型及其基本定律</b> .....	1
1.1 电路与电路模型 .....	1
1.2 电流和电压及其参考方向 .....	3
1.3 功率 .....	5
1.4 电阻元件与欧姆定律 .....	7
1.5 电压源和电流源 .....	9
1.6 基尔霍夫定律 .....	12
1.7 电位的概念及其计算 .....	15
习题 .....	17
<b>第 2 章 直流电阻电路的分析</b> .....	22
2.1 电阻的连接及其等效变换 .....	22
2.2 电源模型及其等效变换 .....	27
2.3 支路电流法 .....	30
2.4 节点电压法 .....	32
2.5 叠加定理 .....	35
2.6 等效电源定理 .....	38
* 2.7 含受控源的电路分析 .....	42
2.8 非线性电阻电路的分析 .....	48
习题 .....	51
<b>第 3 章 电路的暂态分析</b> .....	57
3.1 储能元件 .....	57
3.2 换路定则及初始值的确定 .....	61
3.3 一阶线性动态电路的零输入响应 .....	64
3.4 一阶线性动态电路的零状态响应 .....	68
3.5 一阶线性动态电路的全响应与三要素法 .....	71
3.6 微分电路与积分电路 .....	77
习题 .....	79
<b>第 4 章 正弦稳态电路的分析</b> .....	84
4.1 正弦量 .....	84
4.2 正弦量的相量表示 .....	87
4.3 基尔霍夫定律的相量形式 .....	90
4.4 单一元件伏安关系的相量形式 .....	93

4.5	正弦稳态电路的相量模型和相量分析法	98
4.6	阻抗的串并联等效化简	101
4.7	正弦稳态电路的功率	105
4.8	功率因数的提高	110
4.9	正弦稳态电路的频率特性	113
* 4.10	复杂正弦交流电路的分析与计算	117
4.11	非正弦周期信号线性电路的稳态分析	118
	习题	121
<b>第5章</b>	<b>三相电路</b>	<b>130</b>
5.1	对称三相电压	130
5.2	三相负载及其连接方法	133
5.3	简单三相电路的计算	136
5.4	三相电路的功率	140
	习题	142
<b>第6章</b>	<b>磁路与铁芯线圈电路</b>	<b>146</b>
6.1	磁路及其基本定律	146
6.2	交流铁芯线圈电路	153
6.3	变压器	157
6.4	电磁铁	169
	习题	171
<b>第7章</b>	<b>三相异步电动机</b>	<b>173</b>
7.1	三相异步电动机的结构	173
7.2	三相异步电动机的转动原理	175
7.3	三相异步电动机的电路分析	178
7.4	三相异步电动机的机械特性	181
7.5	三相异步电动机的起动	183
7.6	三相异步电动机的调速	186
7.7	三相异步电动机的制动	188
7.8	三相异步电动机的铭牌数据	189
7.9	三相异步电动机的选择	192
7.10	单相异步电动机	193
* 7.11	同步电动机	194
	习题	195
<b>附录A</b>	<b>基于MatLab软件的电路辅助分析方法</b>	<b>196</b>
A.1	MatLab简介	196
A.2	计算机辅助分析方法	196
A.3	直流电路仿真	199
A.4	交流电路仿真	202
A.5	动态电路仿真	205

A.6 三相电路电压电流仿真 .....	207
A.7 三相异步电动机仿真 .....	208
附录 B 部分习题参考答案 .....	211
参考文献 .....	217

## 第 1 章 电路模型及其基本定律

电路分析的任务是研究电路的基本规律，分析电路的计算方法。本章重点介绍电路模型，电流、电压的参考方向，理想电路元件及其伏安特性，基尔霍夫定律，电位的概念及其计算等内容。通过学习达到以下要求：

- (1) 理解电路模型的概念；
- (2) 理解电流和电压参考方向的概念；
- (3) 掌握功率的计算及意义；
- (4) 理解理想电路元件的概念，掌握其伏安特性；
- (5) 理解基尔霍夫定律，并能熟练应用；
- (6) 理解电路中电位的概念并掌握其计算方法。

### 1.1 电路与电路模型

#### 1.1.1 电路的组成与作用

实际电路是为了实现某种功能由电气设备或电器元件相互连接而构成的电流通路。常见的电气设备和电器元件有发电机、变压器、电动机、电热炉、二极管、三极管等。

实际电路形式多样、千差万别，功能和作用也各不相同，一类可以实现电能的传输和分配，一类可以实现信号的传递和处理。图 1-1 (a) 所示的电力系统，在发电厂内发电机可把热能、水能、核能等能量形式转换为电能，经变压器升压后由输电线路传输到用户侧，再经变压器降压后将电能分配给负荷（电动机、电热炉、家用电器等），最后把电能转化为机械能、热能或其他形式的能量。图 1-1 (b) 所示的扩音机电路，话筒将语言或音乐信号转化为相应的电压和电流信号，通过中间电路及放大器滤波、放大等处理后传递到扬声器，还原为语言或音乐信号。类似的例子还有电视机、收音机中的信号接收和放大电路；计算机中对采集的外部信号进行分析、计算、处理和储存等操作的电路；仪表中对电压和电流等信号进行测量的电路等，不胜枚举。

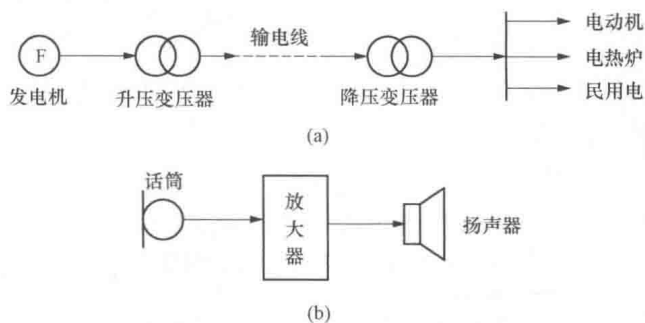


图 1-1 实际电路示意图

(a) 电力系统；(b) 扩音机电路

无论电路多么复杂,按照电路结构都可以将其划分为三部分:提供电能或电信号的电源部分,吸收电能或接收电信号的负载部分,连接电源和负载的中间环节部分,有时为了分析方便也可以将电路划分为电源和负载两部分,如图 1-2 所示。

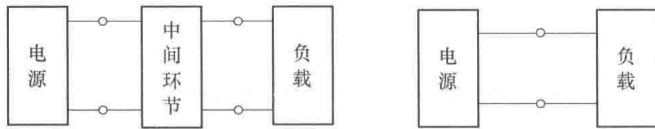


图 1-2 电路的划分

电路中的电压和电流是在电源的作用下产生的,电源又称为激励,由激励在电路中产生的电压和电流称为响应。有时根据激励和响应之间的因果关系,把激励称为输入、响应称为输出。

### 1.1.2 电路模型

实际电路的电磁特性非常复杂,不便于分析计算,通常采用模型分析法,即先对实际电路科学抽象,突出其主要电磁特性,获得其电路模型,再对电路模型进行分析计算,然后根据计算结果结合实际情况给出结论。电路模型是对实际电路进行科学抽象的结果,由理想电路元件和理想导线相互连接而成,简称电路。理想电路元件是理想化元件,具有特定的电磁特性和数学定义,可用相应的电路参数来表征,是构成电路模型的最小元素。如后面介绍的理想电阻元件、理想电感元件、理想电容元件、理想电压源、理想电流源及理想受控源等,这些元件统称为电路元件,简称元件。根据其与外接电路连接的端子数目又可分为二端元件和多端元件。

将一个实际电路抽象为电路模型的过程,也是突出电路主要电磁特性,忽略其次要因素的过程,又称建模过程,所建模型的准确性与实际电路工作条件及计算精度要求有关。如图 1-3 所示手电筒电路,其实际电路器件有干电池、电灯泡、开关和筒体,接线图如图 1-3 (a) 所示,电路模型如图 1-3 (b) 所示,其中,理想电阻元件  $R$  是电灯泡的电路模型,理想电压源  $E$  和理想电阻元件  $R_0$  的串联组合是干电池的电路模型,理想导线是筒体的电路模型(忽略筒体的电阻)。可见,实际电路的电路模型可由理想电路元件的串、并联组合及理想导线组成。

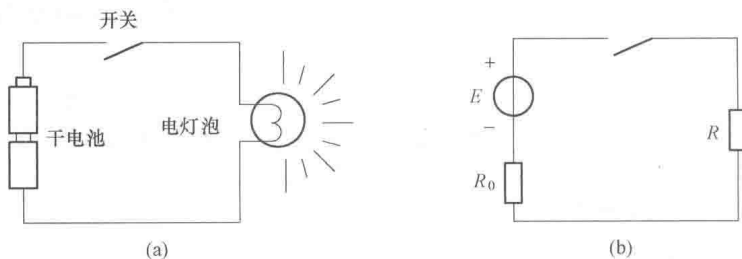


图 1-3 手电筒电路及其电路模型

(a) 手电筒接线图; (b) 电路模型

如图 1-3 (b) 所示的电路模型又称电路图。在电路图中,将理想电路元件用特定的电路符号表示,理想导线可以画成直线、折线或曲线,可以任意伸缩,其特点是处处等电位。

电路分析的对象是电路模型,其主要任务就是研究电路模型遵循的基本规律及其计算方

法，并用电压、电流、功率等物理量进行表征，一般不涉及内部发生的物理或化学过程。



## 练习与思考

1. 实际电路是怎样组成的，主要起什么作用？
2. 如何理解理想电路元件与实际电路器件的含义？它们的关系如何？
3. 电路模型与实际电路主要区别是什么？组成它们的基本元素一样吗？

## 1.2 电流和电压及其参考方向

在电路分析中涉及的物理量主要有电流、电压、电荷、磁链及功率和能量。这些物理量在物理学中都曾介绍过，本节仅对在本课程中常用的电流、电压、功率做简单复习，统一认识，重点介绍电流、电压的参考方向和功率的计算。

### 1.2.1 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流。把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，用以衡量电流的大小，通常简称为电流，用  $i(t)$  或  $i$  表示，即

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

大小和方向随时间周期性变化并且平均值为零的电流称为交变电流，用小写字母  $i$  表示。大小和方向都不随时间改变的电流，称为恒定电流或直流电流，用大写字母  $I$  表示。

在国际单位制中，电荷的单位是 C (库仑)，时间的单位是 s (秒)，电流的单位是 A (安培)。

电流的方向是客观存在的，习惯上把正电荷移动的方向或负电荷移动的相反方向规定为电流的方向，也称为电流的实际方向。

对结构比较复杂的直流电路，可能无法直接判断各支路电流的实际方向。在交流电路中，电流的大小和方向随时间时刻在变化，也无法准确得知其实际方向，这就给电流的计算带来不便。为此，在分析和计算电路时，可先任意选定某一方向作为电流的方向，并把这个方向称作电流的参考方向，在电路图中用箭头“→”或双下标表示，如图 1-4 所示。方框表示一个二端元件或是一部分电路，图 1-4 (a) 中的箭头方向和如图 1-4 (b) 所示字母“ $i_{ab}$ ”的下标均表示电流  $i$  的参考方向由 a 经过元件流向 b。

参考方向是人为任意选定的，可能与实际方向相同，也可能与实际方向相反，用电流的正、负值加以区别，规定当参考方向与实际方向相同时，电流取正值，即  $i > 0$ ；当参考方向与实际方向相反时，电流取负值，即  $i < 0$ 。或者按选定的参考方向对电路进行计算，当计算结果  $i > 0$  时，表示参考方向与实际方向相同； $i < 0$  时，表示参考方向与实际方向相反，如图 1-5 所示。

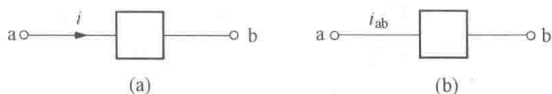


图 1-4 电流的参考方向

(a) 用箭头表示；(b) 用双下标表示

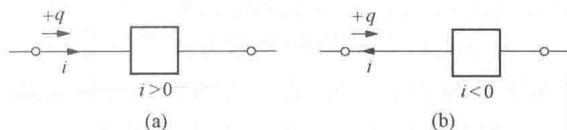


图 1-5 电流的参考方向与实际方向的关系

(a) 参考方向与实际方向相同；(b) 参考方向与实际方向相反

### 1.2.2 电压及其参考方向

电压是用来描述电场力对电荷做功能力的物理量。其大小等于电场力将单位正电荷从电场的高电位点  $a$  经过电路移动到低电位点  $b$  所做的功，即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

如果电压的大小或方向随时间周期性变化且平均值为零，称为交变电压，用小写字母  $u$  表示；如果电压的大小和方向都不随时间变化，则称为恒定电压或直流电压，用大写字母  $U$  表示。

在国际单位制中，功的单位是 J（焦耳）、电荷的单位是 C（库仑）、电压的单位是 V（伏特）。

习惯上将由高电位指向低电位的方向规定为电压的方向，并称作电压的实际方向或实际极性。

与电流一样，在分析计算电路时，要先给电压任意选定一个参考方向或参考极性。图 1-6 展示了电路图中电压参考方向的三种表示方法，图 1-6 (a) 中，用符号“+”表示参考高电位，用符号“-”表示参考低电位；图 1-6 (b) 中，用箭头“→”所指方向表示电压降落方向；图 1-6 (c) 中，用带双下标的字母表示，其中  $a$  点表示参考高电位， $b$  点表示参考低电位。规定当参考方向与实际方向相同时，电压取正值，即  $u > 0$ ；当参考方向与实际方向相反时，电压取负值，即  $u < 0$ ，如图 1-7 所示。

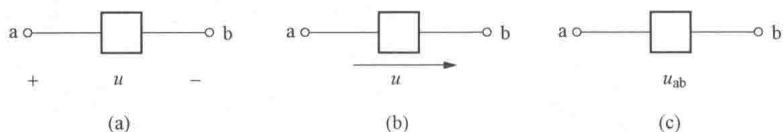


图 1-6 电压的参考方向

(a) 用符号“+”“-”表示；(b) 用箭头“→”表示；(c) 用带双下标的字母表示



图 1-7 电压参考方向与实际方向的关系

(a) 参考方向与实际方向相同；(b) 参考方向与实际方向相反

对电路进行计算时，应先确定电压或电流的参考方向，按照参考方向进行计算，结果有正有负，变成了代数量，其绝对值表示电压或电流的大小，正、负号表示方向，与参考方向结合起来可以确定电压或电流的实际方向。

由于电压和电流的参考方向是任意指定的，对于同一元件，电压与电流参考方向的关系有两种可能性：当电流参考方向从电压的参考“+”极性端流入，经过元件从电压的参考“-”极性端流出时，称电流与电压为关联参考方向；当电流参考方向从电压的参考“-”极性流入，经过元件从电压的参考“+”极性流出时，称电流与电压为非关联参考方向，如

图 1-8 所示。

实际电路中电压和电流的变化范围是很大的,可以采用辅助单位如 mV (毫伏)、kV (千伏) 及 mA (毫安)、 $\mu\text{A}$  (微安)、kA (千安)、MA (兆安) 等计量。

### 1.2.3 电动势

电动势是用来描述电源内部非电场力对电荷做功能力的物理量。其大小等于非电场力将单位正电荷从电源的低电位端 a 经过电源内部移动到电源高电位端 b 所做的功,即

$$e_{ab} = \frac{d\tau w}{dq} \quad (1-3)$$

如果电动势的大小和方向随时间周期性变化且平均值为零,则称为交变电动势,用  $e(t)$  或  $e$  表示;如果电动势的大小和方向不随时间变化,则称为恒定电动势或直流电动势,用大写字母  $E$  表示。

在国际单位制中,电动势的单位与电压的单位一样。

习惯上将由电源的低电位端经过电源指向高电位端的方向规定为电动势的方向。在电路计算中,电动势的方向通常是已知的。

**【例 1-1】** 已知某一直流电压源的电动势  $E=6\text{V}$ , 内阻忽略不计,如图 1-9 所示。求图中两种参考方向下的端电压  $U$ 。

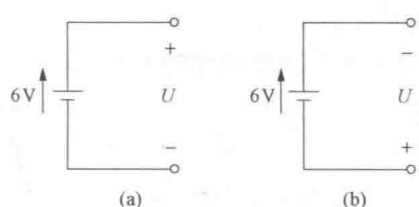


图 1-9 【例 1-1】的电路图

**解** 端电压的参考方向为高电位指向低电位,电动势的实际方向从低电位指向高电位。

图 1-9 (a) 中,端电压参考方向与电动势实际方向相同,因此

$$U = 6\text{V}$$

图 1-9 (b) 中,端电压参考方向与电动势实际方向相反,因此

$$U = -6\text{V}$$

可见,当端电压的参考方向与电动势的实际方向一致时,端电压就等于电动势。



### 练习与思考

- 图 1-4 (a) 所示电路中,如果  $i=2\text{A}$ ,则电流的实际大小和实际方向如何?
- 图 1-6 (c) 所示电路中,如果  $u_{ab}=6\text{V}$ ,则 a 端电位比 b 端电位高还是低? a、b 两端电位差是多少?

## 1.3 功 率

根据能量守恒定律可知,当电路中的某些元件消耗能量时,其他某些元件一定在提供能量。电路中某一段电路在单位时间内提供或消耗的能量称为该电路的电功率,简称功率,用

$p(t)$  或  $p$  表示, 即

$$p(t) = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

对于直流电路, 功率可表示为

$$P = UI \quad (1-5)$$

在国际单位制中, 当能量的单位为 J (焦耳), 时间的单位为 s (秒) 时, 功率的单位是 W (瓦特, 简称瓦)。

已知电压电流实际方向时, 根据式 (1-4) 可直接计算功率大小, 功率的物理意义可根据电流的流向判断。如图 1-10 (a) 所示电阻元件, 电流总是从电压的“+”极性端经过元件移动到“-”极性端, 这个过程中, 电场力对电荷做功, 电阻元件消耗能量或吸收功率; 图 1-10 (b) 所示电压源, 当电流从电压的“-”极性端经元件移动到“+”极性端时, 非电场力对电荷做功, 电压源提供能量或发出功率。

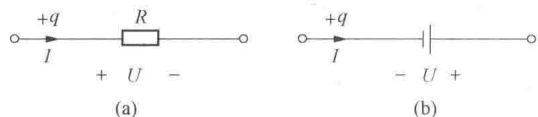


图 1-10 电阻和电压源的功率

(a) 电阻元件; (b) 电压源

综上所述可确定参考方向下功率的物理意义:

(1) 当电压和电流取关联参考方向时,  $p(t) = ui$  表示元件吸收功率。当  $p > 0$  时, 表示元件实际消耗功率; 当  $p < 0$  时, 则表示元件实际是在提供功率;

(2) 同理, 当电压和电流取非关联参考方向时,  $p(t) = ui$  表示元件提供功率。当  $p > 0$  时, 表示元件实际提供功率; 当  $p < 0$  时, 则表示元件实际是在消耗功率。

**【例 1-2】** 计算图 1-11 中各元件的功率, 并判断元件实际是提供功率还是吸收功率。

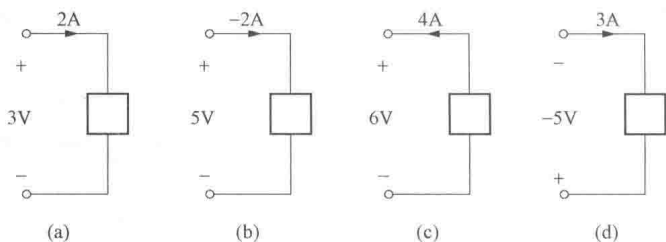


图 1-11 【例 1-2】的电路图

解

图 1-11 中, (a) 电压与电流为关联参考方向, 元件吸收的功率为

$$P = 3 \times 2 = 6(\text{W}) \quad \text{元件实际吸收功率 } 6\text{W}.$$

(b) 电压与电流为关联参考方向, 元件吸收的功率为

$$P = 5 \times (-2) = -10(\text{W}) \quad \text{元件实际提供功率 } 10\text{W}.$$

(c) 电压与电流为非关联参考方向, 元件提供的功率为

$$P = 6 \times 4 = 24(\text{W}) \quad \text{元件实际提供功率 } 24\text{W}.$$

(d) 电压与电流为非关联参考方向, 元件提供的功率为

$$P = (-5) \times 3 = -15(\text{W}) \quad \text{元件实际吸收功率 } 15\text{W}.$$

可见, 一个元件消耗的功率等于其提供功率的负值, 或者说提供的功率等于消耗功率的负值。



## 练习与思考

1. 当元件的电压与电流取关联参考方向时,  $p=ui$  表示元件消耗功率, 那么  $p=-ui$  的物理意义是什么?
2. 当元件的电压与电流取非关联参考方向时,  $p=ui$  表示元件提供功率, 那么  $p=-ui$  的物理意义是什么?
3. 计算图 1-12 所示各元件的功率, 并判断元件实际是提供功率还是吸收功率。

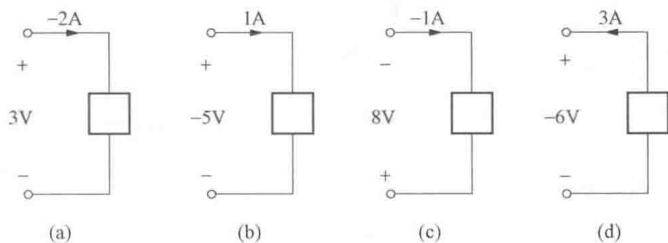


图 1-12 练习与思考 3 的电路图

## 1.4 电阻元件与欧姆定律

## 1.4.1 电路元件

电路元件是构成电路模型的最小单元, 每一个元件通过其端子与外部电路相连接, 元件的电磁特性可通过端电压与端电流的关系进行描述, 并把这种关系称为元件的端口电压电流关系 (VCR) 或伏安关系 (VAR)。

常见的电路元件有电阻元件、电压源、电流源、电感元件、电容元件和受控源元件。后续的学习中将陆续介绍这些元件。

## 1.4.2 线性电阻元件

电阻元件是反映电路耗能特性的元件, 二端线性电阻元件在任一瞬间其端电压和端电流的关系服从欧姆定律。电路符号如图 1-13 (a) 所示, 其中  $R$  是电阻的参数, 对于线性电阻元件,  $R$  是一个正实常数, 称作电阻, 国际单位是  $\Omega$  (欧姆),  $G$  称作电导, 单位是 S (西门子),  $G=\frac{1}{R}$ 。

当电压与电流取关联参考方向时, 如图 1-13 (b) 所示, 其 VAR 可表示为

$$u = Ri \quad \text{或} \quad i = Gu \quad (1-6)$$

当电压与电流取非关联参考方向时, 如图 1-13 (c) 所示, VAR 为

$$u = -Ri \quad \text{或} \quad i = -Gu \quad (1-7)$$

电阻元件的伏安特性还可以用  $u-i$  平面的曲线表示, 简称伏安特性曲线。对于线性电阻元件, 其伏安特性曲线是一条过原点的直线, 如图 1-13 (d) 所示 ( $R \geq 0$ )。

当电压与电流取关联参考方向时, 如图 1-13 (b) 所示, 电阻元件消耗的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-8)$$

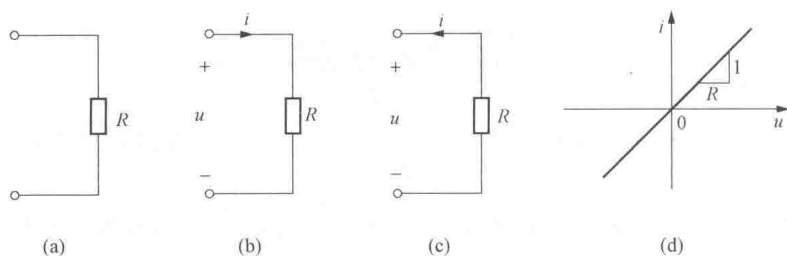


图 1-13 电阻元件及其伏安特性曲线

(a) 电路符号；(b) 关联参考方向；(c) 非关联参考方向；(d) 伏安特性曲线

当电压与电流取非关联参考方向时，如图 1-13 (c) 所示，电阻元件提供的功率为

$$p = ui = (-Ri)i = -Ri^2 \quad (1-9)$$

其消耗的功率等于提供功率的负值，即

$$p = -ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2$$

可见，当  $R$  和  $G$  都是正实常数时，电阻元件消耗的功率恒大于零。因此电阻元件是一种耗能元件。

以后为了叙述方便，把电阻元件简称为电阻， $R$  即表示电阻元件的参数，也表示一个电阻元件。

实际的用电设备有两类，在一定条件下都可以用线性电阻元件作为其电路模型。一类是在电子电路中常用的各种电阻元件及实验室用的各种标准电阻、滑线变阻器等；另一类是借电阻发热而达到其应用目的的用电设备，如白炽灯、电热炉、电烙铁等，其伏安特性曲线都可通过实验测得。其他电路器件及各种导线实际上都有一定的电阻，当它的存在对计算结果产生一定影响时，就要考虑在其电路模型中增加电阻元件。

**【例 1-3】** 已知条件如图 1-14 所示，其中图 (c)、(d) 中  $P$  均为吸收功率。求未知电压  $U$  或电流  $I$ 。

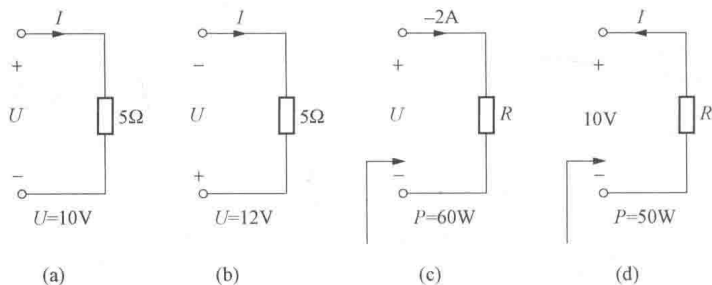


图 1-14 【例 1-3】的电路图

**解** 图 1-14 (a) 中  $U$  与  $I$  为关联参考方向，由式 (1-6) 可得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2(\text{A})$$

图 1-14 (b) 中  $U$  与  $I$  为非关联参考方向，由式 (1-7) 可得

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{12}{5} = -2.4(\text{A})$$

图 1-14 (c) 中  $U$  与  $I$  为关联参考方向, 由式 (1-8) 可得

$$U = \frac{P}{I} = \frac{60}{-2} = -30(\text{V})$$

图 1-14 (d) 中  $U$  与  $I$  为非关联参考方向, 元件提供功率为  $P=UI$ 。因为元件吸收的功率等于提供功率的负值, 所以吸收功率为  $P=-UI$ 。由吸收功率公式可得

$$I = -\frac{P}{U} = -\frac{50}{10} = -5(\text{A})$$

**【例 1-4】** 有一台额定值<sup>①</sup>为 220V/1500W 的电热炉, 接在 220V 的电源上, 求流过电热炉端线的电流及此时电热炉的电阻; 如果用电热炉加热 3h, 将消耗多少电能?

**解** 将电热炉看成是一个电阻元件, 则流过电热炉端线的电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1500}{220} = 6.82(\text{A})$$

此时电热炉的电阻为

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{1500} = 32.27(\Omega)$$

加热 3h, 将消耗电能

$$W = Pt = 1500 \times 3 = 4.5(\text{kW} \cdot \text{h})$$



## 练习与思考

1. 一个功率为 10W 的 20kΩ 电阻器, 求它的额定电压和额定电流是多少?
2. 有一个额定值为 60W、220V 的白炽灯, 分别将其接在 220、110、380V 的电源上, 求三种情况下流过电灯的电流及其电阻值。比较电灯的亮度, 说明会有什么后果?
3. 已知人体电阻的最小值为 800Ω, 当通过人体的电流超过 50mA 就会造成死亡。求安全工作电压的最大限值是多少?

## 1.5 电压源和电流源

### 1.5.1 理想电压源

理想电压源是实际电压源的理想化模型, 简称电压源, 电路符号如图 1-15 (a) 所示。理想电压源是一个二端元件, 电压  $u_s(t)$  随时间按一定规律变化, 其大小和极性与外接电路无关。当电压为恒定值时, 称为直流电压源或恒定电压源, 其参数可用大写字母  $U_s$  表示, 电路符号如图 1-15 (b) 所示。下面以直流电压源为例讨论其伏安特性和功率特性。

取电压源端电压、端电流参考方向如图 1-15 (c) 所示, 则

$$U = U_s \tag{1-10}$$

<sup>①</sup> 额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。大多数电气设备的寿命与绝缘材料的绝缘强度和耐热性能有关。当所加电压超过额定值过多时, 绝缘材料可能被击穿; 当电流超过额定值过多时, 由于发热过多, 将使绝缘加速老化, 使设备使用寿命受到影响。