



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

电工技术

赵莹 李艳娟 主编

电工知识内容丰富，注重教授理论技能
实用电路锦上添花，着重培养实践能力



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

电工技术

主 编 赵 莹 李艳娟
副主编 曲萍萍 杜艳丽
参 编 苑广军 胡冬梅
孙继元



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

全书共分 11 章, 分别是电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法、正弦交流稳态电路、三相电路、非正弦周期电流电路、电路的暂态分析、磁路和变压器、异步电动机、继电器接触器控制系统、可编程控制器及其应用和电工测量。每章设有学习目标、知识结构、引例、练习与思考以及习题, 内容丰富实用, 有利于培养学生的实际应用能力。

本书可作为高等院校非电类专业的本科教材, 也可作为高职高专教育、成人教育、电大等相关专业的教学用书, 同时可作为从事电工技术的相关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/赵莹, 李艳娟主编. —北京: 北京大学出版社, 2014. 6

(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-24181-3

I. ①电… II. ①赵…②李… 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(2014)第 081376 号

书 名: 电工技术

著作责任者: 赵 莹 李艳娟 主编

策 划 编 辑: 程志强

责 任 编 辑: 程志强

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-24181-3/TM • 0060

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

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博:@北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.75 印张 528 千字

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 46.00 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

电工学是高等院校非电类专业的一门重要的专业基础课程，对该课程知识的掌握情况直接影响到后续专业课的学习。本书在编写过程中，以创新型应用人才培养目标为依据，结合编者多年的教学和工作经验，并参考了大量国内外教材，旨在使学生通过该门课程的学习，获得电工技术方面必备的基本理论、基本知识和基本技能，掌握简单的电气设备、电子方面的知识，为学习后续课程以及今后从事相关工程技术工作打下坚实的基础。

本书具有以下特色。

(1) 每章设有学习目标、知识结构，并以生活中的常见实例引出每章内容，能够激发学生的学习兴趣。

(2) 教学内容丰富，篇幅紧凑，注重基本概念、基本定律和电路的基本分析、计算方法的讲解，主次分明，详略得当。

(3) 层次结构由浅入深，重点内容详细交代，过深内容点到为止。

(4) 力求做到简洁与易懂相结合，语言流畅，通俗易懂，易于学生学习和理解。

(5) 部分章节增加了实用电路介绍，以便提高学生的学习兴趣和实践能力。

本书由北华大学赵莹和东北林业大学李艳娟担任主编，北华大学曲萍萍和杜艳丽担任副主编，苑广军、胡冬梅和孙继元参编。本书具体编写分工为：第1章由李艳娟编写；第2~4章由赵莹编写；第5、6章由杜艳丽编写；第7章由苑广军编写；第8章由曲萍萍编写；第9、10章由胡冬梅编写；第11章由孙继元编写。

本书在编写过程中借鉴了许多参考资料，在此对参考资料的作者表示感谢！

限于编者经验和水平，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者
2014 年 2 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1	2.2 支路电流法	44
1.1 电路和电路模型	3	2.3 结点电压法	46
1.1.1 电路的作用与组成	3	2.4 叠加定理	50
1.1.2 电路模型	3	2.5 等效电源定理	53
1.2 电流、电压及其参考方向	4	2.5.1 戴维宁定理	54
1.2.1 电流及其参考方向	4	2.5.2 诺顿定理	55
1.2.2 电压及其参考方向	5	习题	57
1.3 功率的计算	7	第 3 章 正弦交流稳态电路	62
1.4 电阻元件与欧姆定律	9	3.1 正弦交流电的基本概念	64
1.5 理想电源和受控电源	11	3.1.1 周期、频率和角频率	64
1.5.1 理想电压源	11	3.1.2 幅值和有效值	65
1.5.2 理想电流源	12	3.1.3 初相位	66
1.5.3 实际电源的电路模型	13	3.2 正弦量的相量表示法	67
1.5.4 受控电源	13	3.2.1 复数	67
1.6 电源有载工作、开路与短路	15	3.2.2 正弦量的相量表示	68
1.6.1 电源有载工作	15	3.3 电阻、电感、电容单一元件的	
1.6.2 电源开路与电源短路	17	交流电路	71
1.7 基尔霍夫定律	19	3.3.1 电感元件和电容元件	72
1.7.1 电路结构术语	19	3.3.2 电阻元件的伏安特性	76
1.7.2 基尔霍夫电流定律	20	3.3.3 电感元件的伏安特性	77
1.7.3 基尔霍夫电压定律	21	3.3.4 电容元件的伏安特性	78
1.8 电位及其计算	24	3.4 RLC 串联的交流电路	80
1.9 电阻的串、并联及其等效变换	27	3.5 阻抗及其串并联等效化简	84
1.9.1 电阻的串联	27	3.5.1 阻抗的定义	84
1.9.2 电阻的并联	29	3.5.2 阻抗的串联	85
1.9.3 电阻的星形连接和三角形		3.5.3 阻抗的并联	87
连接	32	3.6 复杂正弦交流电路的计算	89
1.9.4 输入电阻	34	3.7 正弦交流稳态电路的功率	91
习题	36	3.7.1 瞬时功率	92
第 2 章 电路的基本分析方法	41	3.7.2 有功功率、无功功率和	
2.1 电压源与电流源及其等效变换	42	视在功率	92
2.1.1 电压源与电流源	42	3.7.3 功率因数的提高	93
2.1.2 电源的等效变换	42	3.7.4 电阻、电感、电容元件的	
		功率计算	96



3.7.5 功率守恒定律	96	第6章 电路的暂态分析	147
3.8 正弦交流稳态电路的频率特性	98	6.1 换路定则及初始值的确定	149
3.8.1 滤波电路	98	6.1.1 换路定则	149
3.8.2 谐振电路	103	6.1.2 初始值的确定	149
习题	109	6.2 RC电路的暂态分析	153
第4章 三相电路	115	6.2.1 RC电路的零输入响应	153
4.1 三相电源和三相负载	116	6.2.2 RC电路的零状态响应	156
4.1.1 对称三相电源及其连接 方法	116	6.2.3 RC电路的全响应	158
4.1.2 三相负载及其连接方式	119	6.3 RL电路的暂态分析	159
4.1.3 三相电路连接方式	119	6.3.1 RL电路的零输入响应	159
4.2 相电压(相电流)、线电压(线电流) 及其关系	120	6.3.2 RL电路的零状态响应	161
4.2.1 相电压、线电压及其 关系	120	6.3.3 RL电路的全响应	163
4.2.2 相电流、线电流及其 关系	122	6.4 一阶电路暂态分析的三要素法	165
4.3 三相电路的计算	124	6.5 微分电路与积分电路	169
4.3.1 负载星形连结的三相电路 计算	124	6.5.1 微分电路	170
4.3.2 负载三角形连结的三相 电路计算	127	6.5.2 积分电路	171
4.4 三相电路的功率计算	130	习题	172
习题	132	第7章 磁路和变压器	175
第5章 非正弦周期电流电路	134	7.1 磁路及其基本定律	177
5.1 非正弦周期电压和电流	135	7.1.1 磁路的基本物理量	177
5.2 非正弦周期量的分解	136	7.1.2 磁性材料的磁性能	178
5.3 非正弦周期量的有效值、平均值和 平均功率	138	7.1.3 磁路的基本定律	181
5.3.1 有效值	138	7.2 交流铁心线圈电路	185
5.3.2 平均值	139	7.2.1 电磁关系	185
5.3.3 平均功率	139	7.2.2 电压电流关系	186
5.3.4 非正弦周期电流与电压的 测量	140	7.2.3 功率损耗	187
5.4 非正弦周期电路的计算	141	7.3 变压器	189
习题	144	7.3.1 变压器的结构和分类	189
		7.3.2 变压器的工作原理	190
		7.3.3 变压器的外特性	195
		7.3.4 变压器的损耗与效率	196
		7.3.5 三相变压器	196
		7.3.6 变压器的铭牌与额定值	198
		7.3.7 特种变压器	200
		7.3.8 变压器绕组的同名端	202
		习题	203



第 8 章 异步电动机	206
8.1 三相异步电动机的构造	208
8.2 三相异步电动机的工作原理	210
8.2.1 旋转磁场的产生	211
8.2.2 旋转磁场的方向	212
8.2.3 三相异步电动机的极数与 转速	212
8.2.4 转差率 s	214
8.3 三相异步电动机的定、转子电路 分析	215
8.3.1 定子电路	215
8.3.2 转子电路	215
8.4 三相异步电动机的转矩与机械 特性	218
8.4.1 电磁转矩	218
8.4.2 机械特性曲线	219
8.5 三相异步电动机的启动	222
8.5.1 启动特点	222
8.5.2 启动方法	223
8.6 三相异步电动机的调速	228
8.6.1 变极调速	228
8.6.2 变频调速	229
8.6.3 变转差率调速	230
8.7 三相异步电动机的铭牌	230
8.8 单相异步电动机	236
8.8.1 单相电动机的脉动磁场	237
8.8.2 单相交流异步电动机的转矩 特点	238
8.8.3 电容式电动机	239
习题	242
第 9 章 继电器接触器控制系统	244
9.1 常用低压控制电器	245
9.1.1 电气设备的定义与分类	245
9.1.2 配电电器	246
9.1.3 受控电器	250
9.1.4 主控电器	257
9.2 三相异步电动机直接启动的控制 线路	260
9.2.1 电气原理图的绘制	260
9.2.2 三相异步电动机直接启动的 控制线路	261
9.3 实用电气控制系统举例	266
习题	269
第 10 章 可编程控制器及其应用	271
10.1 可编程控制器的结构和工作 原理	273
10.1.1 PLC 简介	273
10.1.2 PLC 的基本工作原理	279
10.2 PLC 基本指令和编程	281
10.2.1 概述	281
10.2.2 位逻辑指令	285
10.2.3 基本逻辑指令	286
10.2.4 置位和复位指令	288
10.2.5 跳变沿检测指令	289
10.2.6 定时器和计数器指令	290
10.2.7 传送指令	301
10.2.8 控制指令	302
10.3 可编程控制器控制系统的设计及 应用	305
10.3.1 PLC 应用系统的硬件 设计	305
10.3.2 PLC 应用系统的软件 设计	309
10.3.3 设计举例	311
习题	315
第 11 章 电工测量	317
11.1 电工测量仪表的分类	319
11.2 电工测量仪表的类型	321
11.2.1 磁电式仪表	322
11.2.2 电磁式仪表	323
11.2.3 电动式仪表	324
11.3 电流的测量	326
11.4 电压的测量	327



11.5 万用表	328	11.8.2 交流电桥	337
11.5.1 磁电式万用表	328	11.9 非电量的电测法	339
11.5.2 数字式万用表	331	11.9.1 应变电阻传感器	340
11.6 功率的测量	332	11.9.2 电感传感器	341
11.6.1 单相交流和直流功率的 测量	333	11.9.3 电容传感器	342
11.6.2 三相功率的测量	333	11.9.4 热电传感器	343
11.7 兆欧表	335	习题	346
11.8 电桥测量电阻、电容与电感	337	参考文献	349
11.8.1 直流电桥	337		



第1章

电路的基本概念和基本定律

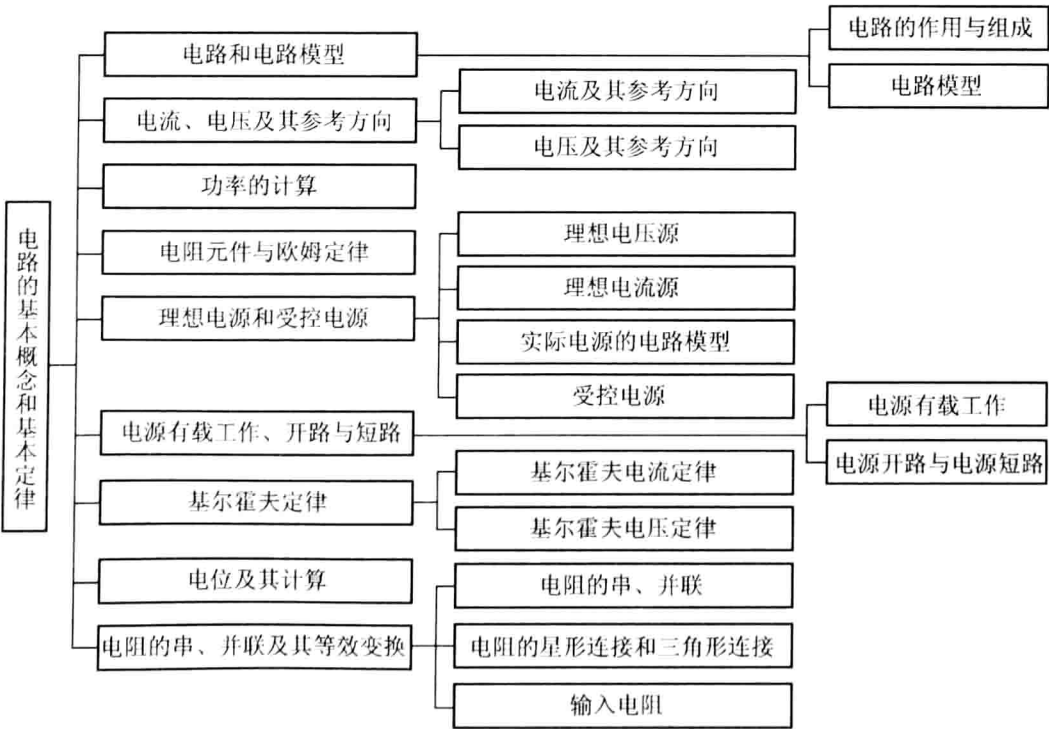


学习目标

- 了解实际电路与电路模型的区别
- 理解电压与电流参考方向的意义
- 掌握功率的计算公式
- 理解电阻元件、理想电源及受控源的定义和伏安特性
- 掌握基尔霍夫定律的内容及应用方法
- 熟悉电位的概念及计算方法
- 掌握电阻串并联等效化简及分压公式和分流公式



知识结构



引例

电路理论是当代电气工程和电子科学技术的重要理论之一，经过一个多世纪的发展，它已发展成为一门体系完整、逻辑严密、具有强大生命力的学科领域。电路理论在实际生产生活中应用非常广泛，如家用电器：微波炉、电饭煲、电冰箱、空调等，这些电器内部具有使其正常工作的交流电路。而常用的手电筒(图 1.1)内部是一个最简单的直流电路，电力系统、通信系统(图 1.2)内部则包含比较复杂的电路。



图 1.1 手电筒模型图

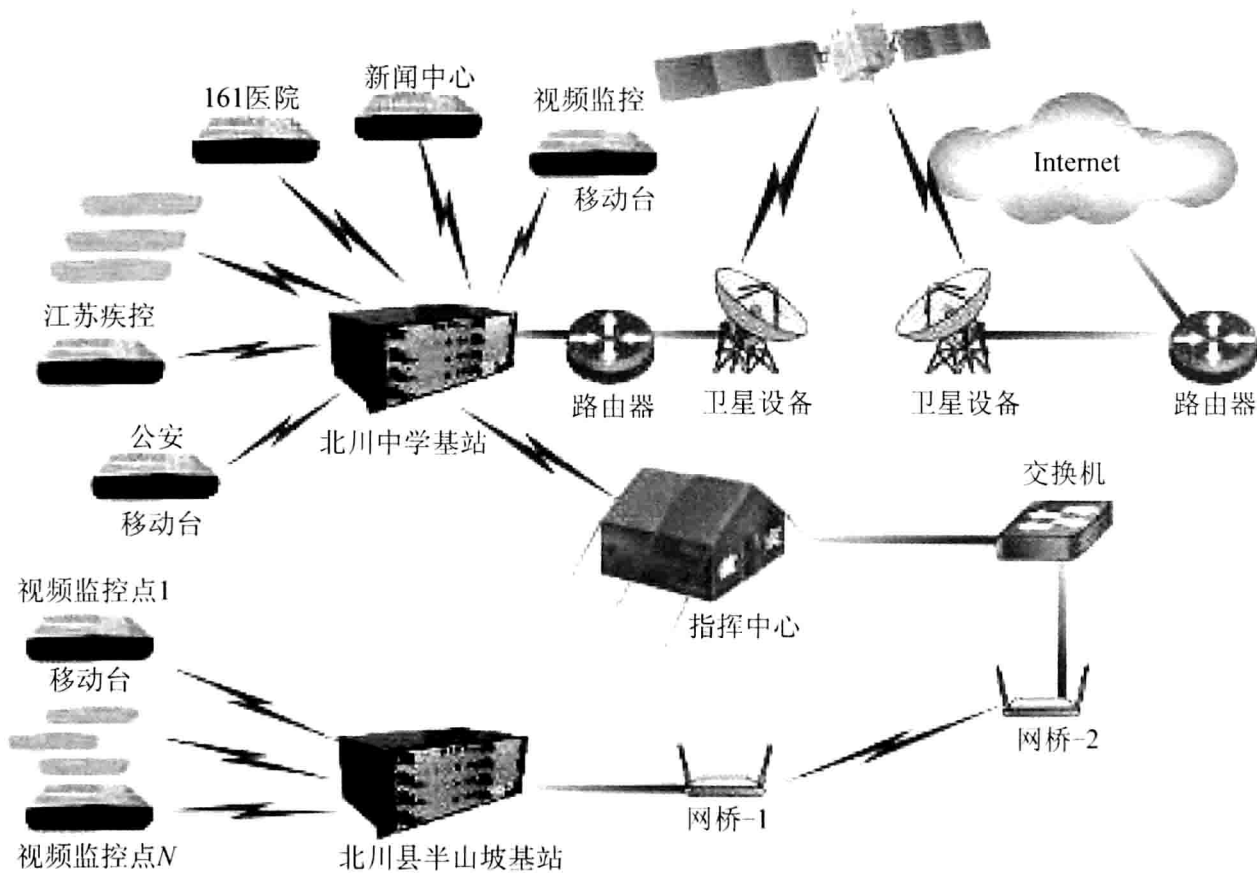


图 1.2 通信系统

电路的基本概念和基本定律是电路分析和计算的基础，也是电子电路、电机电路的基础。本章将介绍电路模型、电流和电压的参考方向、电源、基尔霍夫定律、电位计算和电阻的串并联以及星角形连接等问题。



1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的作用与组成

电路是电流的通路,是为了实现某种功能而由某些电气设备或元器件按一定方式组合起来的。常见的电气设备有发电机、变压器、电动机、电热炉等;常见的电子器件有二极管、三极管、晶闸管等。

电路的结构形式千差万别,所完成的功能各不相同。电路按其结构来分可分为3个部分,即提供电能和信号的电源部分、吸收电能或信号的负载部分、还有其他一些中间环节。如图1.3所示的电力系统电路,在发电厂内发电机将热能、水能、风能、核能等能量转换为电能,再经变压器升压后由输电线路完成电能的传输,建在用户端的变电站经变压器降压后将电能分配给负载,通过负载把电能转换为机械能、热能或其他形式的能量。在这个系统中,发电机是电源部分;电动机、电热炉、电灯等是负载,是取用电能的设备;变压器和输电线是中间环节,是连接电源和负载的部分,起传输和分配电能的作用。

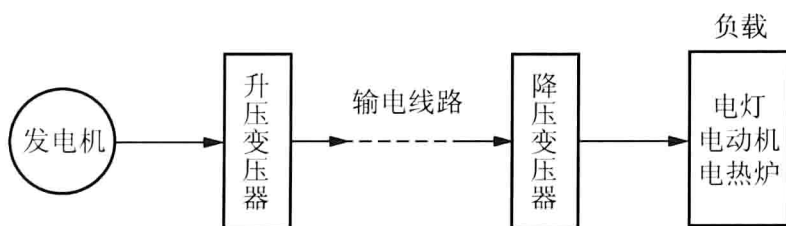


图 1.3 电力系统电路示意图

电路中的电压和电流是在电源和信号源的作用下产生的,因此电源和信号源称为激励,也称为输入;由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应,也称为输出。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元器件参数的情况下,研究电路的激励和响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

为了分析和研究电路,常采用模型化的方法(将实际元件理想化),即在一定的条件下突出其主要的电磁性质,忽略次要因素,用足以表示其特性的理想化模型来表示它。由一些理想电路元件所组成的电路——实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在理想电路元件中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源器件等。例如手电筒电路:其实际电路元件有干电池、开关和电珠等,连线图如图1.4(a)所示;电路模型如图1.4(b)所示,其中理想电阻元件 R 是电珠的电路模型,理想电压源 E 和电阻元件 R_0 的串联组合是干电池的电路模型,筒体起传输电流的作用,用理想导线表示,开

关用 S 表示。图 1.4(b) 所示的电路模型又称为电路图。在电路图中，将理想电路元件用特定的电路符号表示；理想导线可画成直线、折线和曲线，其特点是处处等电位。

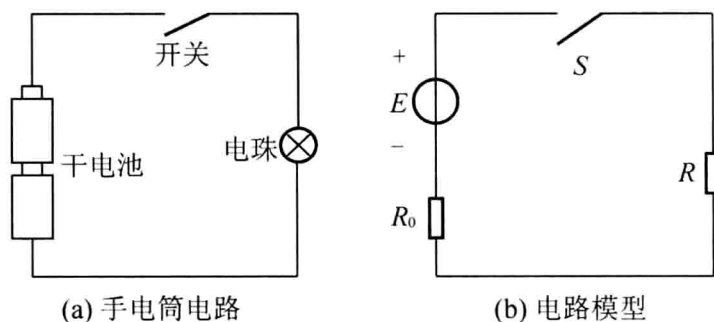


图 1.4 手电筒电路及其电路模型

电路理论所研究的主要对象就是电路模型，其主要任务是研究电路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示，通常不涉及元件内部发生的物理过程。

练习与思考

1. 电路按其结构来分，可分为哪几个部分？
2. 什么是模型化电路分析方法？
3. 电路理论所研究的主要对象是什么？其主要任务是什么？

1.2 电流、电压及其参考方向

电流和电压的方向，有实际方向和参考方向之分，分析电路时要加以区别。

1.2.1 电流及其参考方向

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

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

大小和方向随时间而变化的电流称为交变电流 (alternating current, 简称为 ac 或 AC)，一般用小写字母 $i(t)$ 表示。大小和方向都不随时间而改变的电流，称为恒定电流或直流电流 (direct current, 简称为 dc 或 DC)，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)，电流的单位是 A(安培)，计量微小的电流时，可以以 mA(毫安)和 μ A(微安)为单位。

习惯上规定正电荷的移动方向为电流的方向(实际方向)。电流的方向是客观存在的，

但在分析较复杂的直流电路时,往往难以事先判断电流的实际方向。对于交流电流,其方向随时间而变,在电路图上无法用一个箭头来表示它的实际方向。为此,在分析和计算电路时,可先任意选定某一个方向作为电流的方向,称为电流的参考方向或正方向。电流参考方向的表示法有两种:一种用箭头表示,如图 1.5(a)所示;一种用带双下标的字母表示,如图 1.5(b)所示, i_{ab} 表示 i 的参考方向由 a 指向 b。所选的电流的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参考方向一致时,电流为正值[图 1.6(a)];当电流的实际方向与参考方向相反时,电流为负值[图 1.6(b)]。因此,在参考方向选定之后,电流的值才有正负之分。

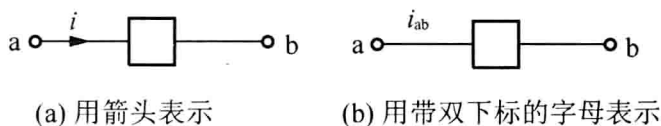


图 1.5 电流的参考方向

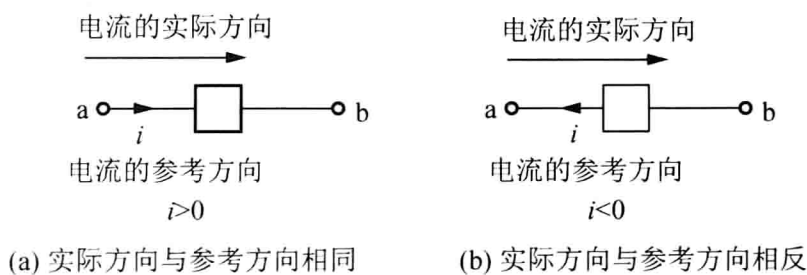


图 1.6 电流实际方向与参考方向的关系

例如,对图 1.7 所示的电路,电流 I 实际方向与参考方向相同, $I=1\text{A}$, 为正值;电流 I_1 实际方向与参考方向相反, $I_1=-1\text{A}$, 为负值, $I_1=-I$ 。

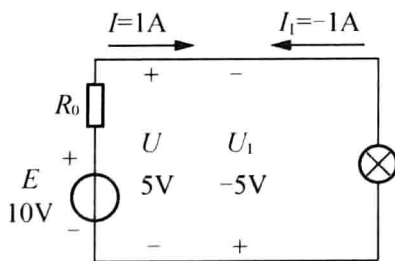


图 1.7 电流参考方向举例

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,如果电场力将单位正电荷 dq 从电场的高电位点 a 经过电路移动到低电位点 b 所做的功是 $d\omega$, 则 ab 两点之间的电压为

$$u = \frac{d\omega}{dq} \quad (1.1)$$



大小和方向随时间而变化的电压称为交流电压(alternating voltage), 用 $u(t)$ 表示。大小和方向都不随时间而改变的电压, 称为恒定电压或直流电压(direct voltage), 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), 计量微小的电压时, 则以 mV(毫伏)或 μV (微伏)为单位; 计量高电压时, 则以 kV(千伏)为单位。

电压是个标量, 为了表示电场力对电荷做功的方向, 习惯上将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, 在分析和计算电路以前, 要先给电压任意选定一个方向, 并把这个方向称作电压的参考方向。图 1.8 为电压参考方向的 3 种表示方法, 图 1.8(a)用符号 “+” 表示参考高电位, 用符号 “-” 表示参考低电位; 图 1.8(b)用箭头 “ $\rightarrow$ ” 表示电位降落方向; 图 1.8(c)用带双下标的字母表示, 其中 u_{ab} 表示 a 点是参考高电位, b 点是参考低电位。当实际方向与参考方向一致时, 电压为正值[图 1.9(a)]; 当电压的实际方向与参考方向相反时, 电压为负值[图 1.9(b)]。电动势的单位与电压相同。

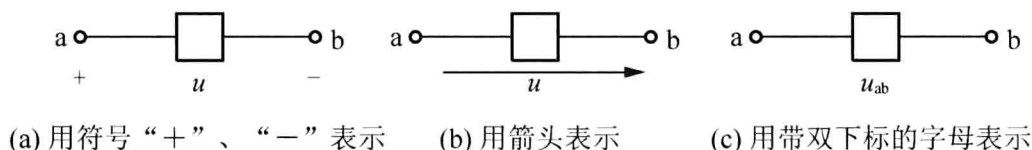


图 1.8 电压参考方向的表示方法

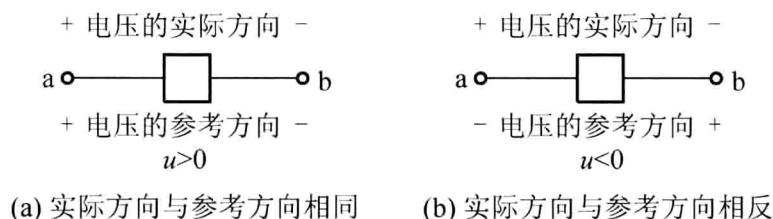


图 1.9 电压实际方向与参考方向的关系

当电流参考方向从电压的 “+” 极性端流入, 经过元件从电压的 “-” 极性端流出时, 称电流与电压为关联参考方向, 如图 1.10(a)所示; 反之称为非关联参考方向, 如图 1.10(b)所示。

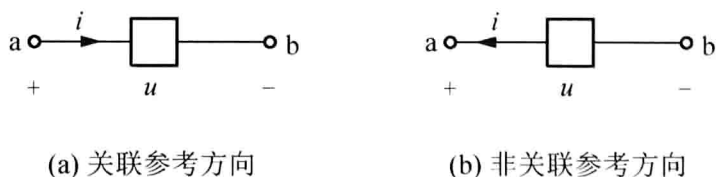


图 1.10 电压与电流参考方向的关系

例如, 对图 1.7 所示的电路, 电压 U 的实际方向与参考方向相同, $U=5\text{V}$, 为正值; 电压 U_1 实际方向与参考方向相反, $U_1=-5\text{V}$, 为负值, $U_1=-U$ 。

练习与思考

1. 在图 1.5(a)所示电路中, 如果 $i = -5\text{A}$, 则电流的实际方向如何?
2. 在图 1.5(b)所示电路中, 如果 $i_{ab} = -3\text{A}$, 则电流的实际方向如何?
3. 在图 1.8(a)所示电路中, 如果 $u = 10\text{V}$, 则 a 端和 b 端电位哪个高? 高多少? 如果 $u = -10\text{V}$, 则 a 端和 b 端电位哪个高? 高多少?
4. 在图 1.8(c)所示电路中, 如果 $u_{ab} = 8\text{V}$, 则 a 端和 b 端电位哪个高? 高多少? 如果 $u_{ab} = -8\text{V}$, 则 a 端和 b 端电位哪个高? 高多少?
5. 在图 1.11 中, $U_1 = -8\text{V}$, $U_2 = 3\text{V}$, 试求 U_{ab} 的电压值。
6. 电路如图 1.12 所示, 试回答哪些属于关联参考方向, 哪些属于非关联参考方向。

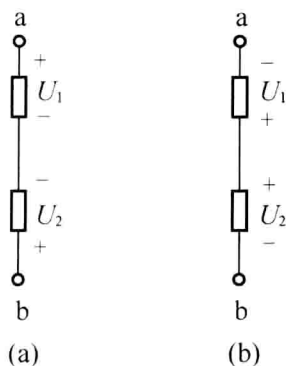


图 1.11 练习与思考 5 的图

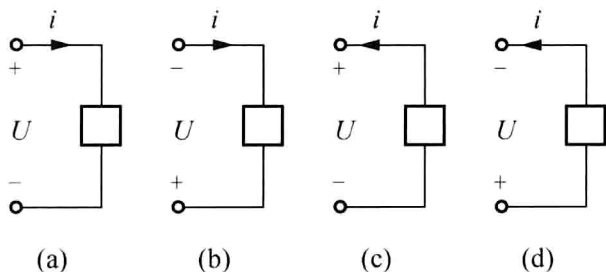


图 1.12 练习与思考 6 的图

1.3 功率的计算

将单位时间内某一个元件提供或消耗的能量称为该元件的电功率(electric power), 简称为功率, 用 $p(t)$ 或 p 表示, 可表示为

$$p(t) = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1.2)$$

对于直流电路, 功率表示为

$$P = UI$$

在国际单位制中, 能量 ω 的单位为 J(焦耳), 时间单位为 s(秒), 功率的单位为 W(瓦特, 简称瓦), 在实际使用中, 还有 mW 和 kW。

功率与电压、电流有密切关系。对于电阻元件, 当正电荷从电压的“+”极性端经过元件移动到电压的“-”极性端时, 电场力对电荷做功, 此时元件消耗能量或吸收功率(dissipate power); 对于电源, 当正电荷从电压的“-”极性端经元件移动到电压的“+”极性端时, 非电场力对电荷做功(电场力对电荷做负功), 此时元件提供能量或发出功率(supply power)。关于元件到底是吸收功率还是发出功率, 有以下两个重要结论。



(1) 当电压和电流取关联参考方向时,如图 1.10(a)所示,公式 $p(t) = ui$ 的物理意义表示元件吸收功率。但由于 u 、 i 在参考方向下都是代数量,所以功率的值可正可负,当 $p > 0$ 时,表示元件吸收功率;当 $p < 0$ 时,表示元件发出功率。

(2) 当电压和电流取非关联参考方向时,如图 1.10(b)所示,公式 $p(t) = ui$ 的物理意义表示元件发出功率。当 $p > 0$ 时,表示元件发出功率;当 $p < 0$ 时,表示元件吸收功率。

【例 1.1】 计算图 1.13 各元件的功率,并判断元件实际是发出功率还是吸收功率。

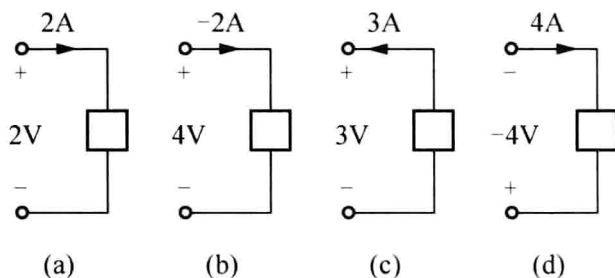


图 1.13 例 1.1 的图

解: 图 1.13(a)中,电压与电流为关联参考方向,元件吸收的功率为 $P = 2 \times 2 = 4(\text{W})$,即实际吸收功率为 4W。

图 1.13(b)中,电压与电流为关联参考方向,元件吸收的功率为 $P = 4 \times (-2) = -8(\text{W})$,即实际发出功率为 8W。

图 1.13(c)中,电压与电流为非关联参考方向,元件发出的功率为 $P = 3 \times 3 = 9(\text{W})$,即实际发出功率为 9W。

图 1.13(d)中,电压与电流为非关联参考方向,元件发出的功率为 $P = (-4) \times 4 = -16(\text{W})$,即实际吸收功率为 16W。

以上电路图中表示元件的方框,也可以是一部分电路,因此功率的计算方法同样适用于某一部分电路的功率计算。

练习与思考

1. 当电压和电流取关联参考方向时,公式 $p(t) = ui$ 的物理意义表示元件吸收功率。当 $p > 0$ 时,表示吸收功率还是发出功率?当 $p < 0$ 时,表示吸收功率还是发出功率?

2. 当电压和电流取非关联参考方向时,公式 $p(t) = ui$ 的物理意义表示元件发出功率。 $p(t) = -ui$ 表示什么物理意义?

3. 计算图 1.14 各元件的功率,并判断元件实际是发出功率还是吸收功率。

4. 已知如图 1.15 所示各元件的功率和电压或电流,求未知的电压和电流并说明参考方向与实际方向的关系。

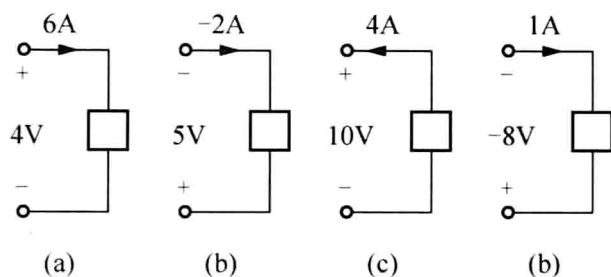


图 1.14 练习与思考 3 的图

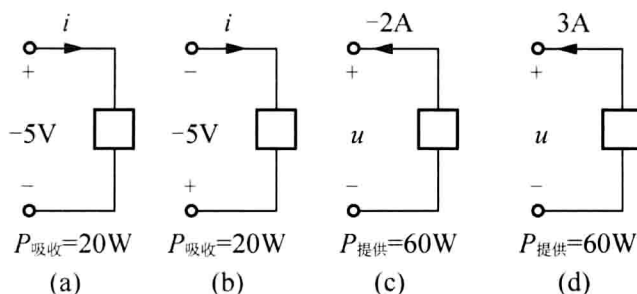


图 1.15 练习与思考 4 的图

1.4 电阻元件与欧姆定律

电阻元件(resistor)是对电阻器进行抽象而得到的理想模型,是反映电路耗能特性的元件,二端线性电阻元件的电路符号如图 1.16(a)所示。在任一瞬间其端电压和电流的关系服从欧姆定律(Ohm's law)。当电压与电流取关联参考方向时,如图 1.16(b)所示,其电压与电流的关系(伏安特性, voltage-current relation)可表示为

$$u = Ri \text{ (或 } i = Gu \text{)} \quad (1.3)$$

当电压与电流取非关联参考方向时,如图 1.16(c)所示,其伏安特性可表示为

$$u = -Ri \text{ (或 } i = -Gu \text{)} \quad (1.4)$$

式中,比例系数 R 是电阻元件的参数,对于线性电阻元件, R 是一个正实数。在国际单位制中,电阻的单位是 Ω (欧姆),计量高电阻时,则以 $k\Omega$ (千欧)和 $M\Omega$ (兆欧)为单位。 $G = \frac{1}{R}$,称为元件的电导(conductance),电导的单位是 S(西门子)。

电阻元件的伏安特性可以用 $u-i$ 平面的曲线表示,称为伏安特性曲线(voltage-ampere characteristic)。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 1.16(d)所示。

当电压与电流为关联参考方向,如图 1.16(b)所示,电阻元件吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1.5)$$