高等学校“十一五”规划教材

电工与电子技术之电工技术

Diangong Yu Dianzi Jishu

Diangong Jishu

主编　康润生

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TM/140
:2
2007

高等学校“十一五”规划教材

电工与电子技术

之

电工技术

主　编　康润生
副主编　张宇华　钟南岳

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书是高等学校“十一五”规划教材《电工与电子技术》的《电工技术》部分，在讲述电路的基本概念、基本定律和基本分析方法的基础上，较为详细地讲述了磁路与变压器、电机与控制、电工仪表及测量等的基本原理和基本应用，并就安全用电方面的知识进行了简要叙述。

本书可作为普通高等学校非电专业“电工与电子技术”课程教材，也可作为非电专业工程技术人员学习电工与电子技术知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术之电工技术/康润生主编. —徐州：中国矿业大学出版社，2007.6

ISBN 978-7-81107-555-7

Ⅰ.电… Ⅱ.康… Ⅲ.①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—材料 Ⅳ.TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 085008 号

书　　名　电工与电子技术之电工技术
主　　编　康润生
责任编辑　何　戈
责任校对　杜锦芝
出版发行　中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内　邮编 221008)
网　　址　http://www.cumtp.com　**E-mail**　cumtpvip@cumtp.com
排　　版　中国矿业大学出版社排版中心
印　　刷　徐州中矿大印发科技有限公司
经　　销　新华书店
开　　本　787×1092　1/16　**本册印张** 19　**本册字数** 472 千字
版次印次　2007 年 6 月第 1 版　2007 年 6 月第 1 次印刷
总 定 价　45.00 元(共两册)
(图书出现印装质量问题，本社负责调换)

前　言

电工技术与电子技术已经渗透到各个技术领域，并且发挥着越来越重要的作用。因此，“电工与电子技术”是高等学校工科非电专业必不可少的一门技术基础课程。为了满足教学的需要，我们组织编写了本教材。

本教材编写的指导思想是针对工科非电专业对本课程的要求，重视基础，加强应用，即理论教学应为实际工作奠定必要的基础，以够用为度；实践教学加强培养学生的应用能力，以便用所学知识为本专业服务。例题和习题尽量选择与专业有关的、适用的、常见的实际工程技术问题，并且具有先进性和代表性。通过习题加强训练，提高学生分析和解决实际工程问题的能力，并且将电工技术与电子技术引入本专业技术领域，以达到本课程的教学目的。本教材的内容力求从工程技术应用的角度出发阐述基本理论和基本分析计算方法，加强工程实践方面的知识、方法和应用。在例题和习题中以工程实践为主题，力求引导和培养非电专业的学生将电工技术与电子技术应用到本专业和开拓本专业。

本教材分为《电工技术》与《电子技术》两册出版。全书的编写是由河南理工大学电气工程与自动化学院电工电子教研室全体教师完成。《电工技术》的第一章、第二章和第四章由康润生编写；第三章由张伟和韩素敏编写；第五章和第六章由王芳编写；第七章由陈滟涛编写；第八章由谢东垒编写；第九章、第十章、第十一章和第十二章由钟南岳编写；第十三章和附录由唐恒娟编写。《电子技术》的第一章由谢贝贝编写；第二章和附录由张景颖编写；第三章、第六章和第九章由张宇华编写；第四章和第五章由郭宇编写；第七章由李端编写；第八章由李端和张宇华共同编写。

本教材的编写得到河南理工大学电气工程与自动化学院领导的大力支持，并借鉴国内院校同行的宝贵经验和他们所编写教材的精华，在此向他们表示衷心感谢。特别感谢中国矿业大学有关教师和我院的董爱华、艾永乐和高岩的帮助。

由于编者的水平有限，本书的不当之处在所难免，恳请读者和同行在百忙之中提出批评和改进意见，我们将不胜感激。

编　者

2006 年 8 月 6 日

目　录

第一章　电路的基本概念和基本定律 …… 1
第一节　实际电路与电路模型 …… 1
第二节　电路分析与电路设计 …… 4
第三节　电路的基本物理量及其参考方向 …… 5
第四节　电功率与电能量的计算 …… 9
第五节　理想电路元件 …… 11
第六节　基尔霍夫定律 …… 20
本章小结 …… 25
习题一 …… 26

第二章　电阻电路的分析 …… 28
第一节　引言 …… 28
第二节　电阻的串联与并联 …… 28
第三节　电阻的 Y 形连接与△形连接 …… 31
第四节　实际电源的电路模型 …… 34
第五节　支路电流法 …… 41
第六节　结点电压法 …… 44
第七节　叠加定理 …… 51
第八节　戴维宁定理与诺顿定理 …… 53
第九节　含有受控源电路的分析 …… 58
第十节　非线性电阻电路的分析 …… 61
本章小结 …… 64
习题二 …… 64

第三章　正弦交流电路的稳态分析 …… 70
第一节　正弦量的三要素 …… 70
第二节　正弦量的相量表示法 …… 76
第三节　电路基本定律的相量形式 …… 80
第四节　电阻、电感、电容元件串联的正弦交流电路 …… 86
第五节　*RL* 支路与 *RC* 支路并联的正弦交流电路 …… 93
第六节　复杂正弦交流电路的相量分析法 …… 95
第七节　正弦交流电路的功率 …… 102
第八节　功率因数的提高 …… 106

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

第九节 电路的谐振…… 110
本章小结…… 118
习题三…… 118

第四章 三相电路的分析…… 125
第一节 三相电源和三相负载…… 125
第二节 三相电路的分析计算…… 130
第三节 三相电路的功率…… 137
本章小结…… 139
习题四…… 139

第五章 非正弦周期电流电路…… 142
第一节 非正弦周期电压和电流…… 142
第二节 周期信号的谐波分析…… 143
第三节 非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率 …… 145
第四节 非正弦周期电流电路的分析计算…… 149
本章小结…… 151
习题五…… 151

第六章 动态电路的暂态分析…… 154
第一节 换路定律与电路的初始值…… 154
第二节 一阶 *RC* 电路的暂态分析…… 158
第三节 一阶 *RL* 电路的暂态分析 …… 170
本章小结…… 175
习题六…… 175

第七章 变压器…… 178
第一节 磁路…… 178
第二节 变压器的工作原理…… 183
第三节 变压器的性能指标与绕组极性测定…… 188
第四节 特殊变压器…… 193
本章小结…… 196
习题七…… 196

第八章 交流电动机…… 199
第一节 三相异步电动机的结构…… 199
第二节 三相异步电动机的工作原理…… 202
第三节 三相异步电动机的电路分析…… 206
第四节 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性…… 208

第五节　三相异步电动机的启动……212
第六节　三相异步电动机的调速……216
第七节　三相异步电动机的制动……217
第八节　三相异步电动机的铭牌和技术数据……219
第九节　同步电动机简介……220
本章小结……221
习题八……221

第九章　直流电动机……223
第一节　直流电机的结构和分类……223
第二节　直流电机的工作原理……226
第三节　他励和并励直流电动机……228
第四节　串励直流电动机……232
本章小结……235
习题九……235

第十章　控制电机……237
第一节　伺服电动机……237
第二节　测速发电机……239
第三节　步进电动机……241
本章小结……244
习题十……245

第十一章　继电接触控制……246
第一节　常用低压控制电器……246
第二节　基本控制环节……253
第三节　电动机的保护环节……258
第四节　应用举例……260
本章小结……262
习题十一……262

第十二章　工业企业供电与安全用电……264
第一节　工业企业供电……264
第二节　安全用电……268
本章小结……274
习题十二……274

第十三章　常用电工仪表及测量……275
第一节　电工测量仪表概述……275

第二节 电流的测量…… 281
第三节 电压的测量…… 282
第四节 万用表…… 282
第五节 功率的测量…… 285
第六节 兆欧表…… 287
第七节 测量电桥…… 288
本章小结…… 290
习题十三…… 290

附录…… 292
附录一 三相异步电动机的型号及用途…… 292
附录二 直流电机的型号及用途…… 292
附录三 YR 系列三相绕线式异步电动机的功率与转速…… 292
附录四 CJ10 系列交流接触器的技术数据…… 293
附录五 JR15 系列热继电器的技术数据…… 293
附录六 电工系统常用电器、电机符号…… 294

第一章　电路的基本概念和基本定律

【本章重点】 电流、电压参考方向的使用；各种元件、电路的电能量和电功率的计算，并判断它们是吸收还是释放电能量；电阻元件、电感元件和电容元件电压与电流的关系式；独立电源和受控源的特性；基尔霍夫定律的应用。

【本章难点】 电流、电压参考方向的理解及应用；受控源的概念及特性。

本章在物理学的基础上，从应用的角度出发，着重阐述电路的基本概念、基本物理量和基本定律，目的是为了对电路进行分析计算。本章主要介绍了实际电路的电路模型，电路分析的基本物理量——电流、电压及其参考方向，电功率和电能量的计算，并介绍了基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是电路所遵循的基本规律。务必理解本章的内容并掌握基尔霍夫定律，为后续章节的学习奠定必要的基础。

第一节　实际电路与电路模型

一、实际电路的组成及作用

实际电路是将电气器件、电气设备用导线相互连接而构成的电流通路。例如照明电路是由日光灯或白炽灯、开关、导线和电源等组成；动力电路主要是由电动机、控制与保护设备、电源等组成；信号检测电路、自动控制电路等主要是由晶体管、集成电路器件、电阻器、电容器、电感线圈、单片机和电源等组成。

实际电路一般有三个基本组成部分，即电源（或信号源）、负载和中间环节，各部分的功能为：

(1) 电源是产生并提供电能的设备，它将动能、化学能、光能等非电能量转换成电能量，是电路中能量的来源，常见的电源有发电厂（热电厂、水电站、核电站等）的发电机、蓄电池和干电池等。信号源是产生电信号的发生器，它将非电信号转换成电信号。

(2) 负载是用电设备或器件，它将电能转换成热能、光能、动能等。负载在电路中吸收电能或消耗电能。常见的负载有照明灯、电炉、电动机、扬声器和显像管等。

(3) 中间环节是连接电源（或信号源）与负载的部分，在电路中起着传输电能、控制与保护、传送信号和处理信号等作用，它由导线和各种电气器件组成。

电源或信号源输出的电流或电压称为激励源（或输入信号），激励在电路中产生的电流和电压称为响应（或输出信号）。

实际电路多种多样，功能各异。有的很复杂，如计算机电路；有的很简单，如手电筒电路；有的几何尺寸很大，如电力系统电路，其范围覆盖几十甚至几百千米；有的很小，如集成电路，其面积只有指甲大小。但是不论电路具有何种形式，归纳起来电路的基本作用如下：

(1) 进行电能的传输和能量的转换。例如电力系统电路，发电厂的发电机将热能、风

能、原子能或动能转换成为电能，通过变压器、输电线路等传输到用电单位，用电单位的负载再将电能转换成其他形式的能量，如热能、光能和动能等。手电筒电路将干电池的电能通过导体、开关传输给小灯泡，小灯泡将电能转换成光能。

(2) 进行信号的传递和信号的处理。例如小信号放大电路将信号源的微弱小信号通过放大电路进行不失真放大处理，然后传送给负载。滤波电路将输入信号进行加工处理，即将输入信号中不需要的频率分量滤除，仅将所需要的频率分量传送给负载。

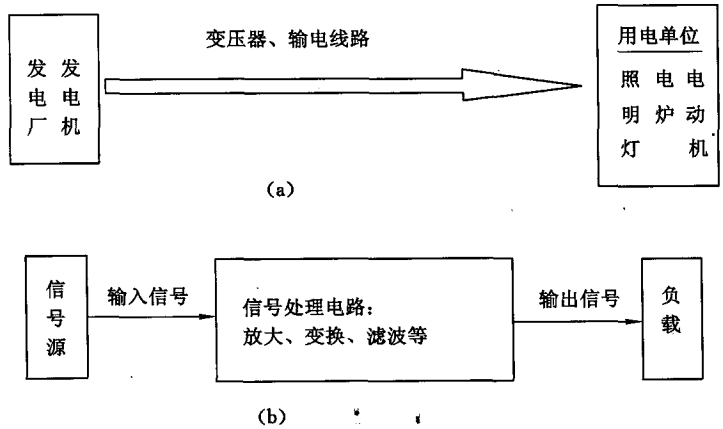

图 1-1 实际电路的作用

(a) 电力系统；(b) 信号的传递与处理

二、电路模型

对于实际电路需要进行定量分析计算。由于实际电路中的电气器件的电磁性质一般都比较复杂，不便于建立数学关系，这将给定量分析计算带来一定的困难。因此，必须采取一种工程方法(或近似手段)，将实际的电气器件理想化，即在一定的条件下，突出它们的主要电磁性质，忽略次要电磁性质，用理想电路元件作为它们的模型。

电炉的主要工作部件是电阻丝，当电炉的电阻丝通以电流时，电炉将消耗电能，并将电能转换成热能，这是其主要电磁性质，称为电阻性。其次，流过电阻丝的电流还将在电阻丝的周围产生磁场，也就是说电炉还具有电感性。比较而言，电炉的电阻性较强，电感性较弱，所以可以忽略电炉的电感性，用理想电阻元件作为电炉的模型。在电路的分析计算中，经常用理想电阻元件作为电炉、白炽灯、电烙铁和各种电阻器的模型，这是一种近似描述，但足以反映它们的主要电磁性质。

电容器的电磁性质是存储电场能量的电容性、消耗电能的电阻性和微弱的电感性，它在电路中工作时主要表现出电容性，所以一般用理想电容元件作为它的模型。

电感线圈是由铜丝绕制而成的，当它通过电流时具有三种电磁性质，即存储磁场能量的电感性、消耗电能的电阻性、匝与匝之间存储电场能量的电容性。但是在不同的工作条件下，电感线圈的电磁性质表现也不同，因此其模型有以下几种形式：

(1) 在直流电路中突出其消耗电能的电阻性，即用理想电阻元件作为它的模型。

(2) 在低频电路中突出其存储磁场能量和消耗电能的电磁性，即用理想电感元件和理想电阻元件的串联组合作为它的模型。

(3) 在高频电路中则需要全面考虑其电磁性质，即用理想电感元件、理想电阻元件和理想电容元件的组合作为它的模型。

由上可见，在不同的工作条件下，一个实际电气器件的模型也不相同。

实际电气器件种类繁多，电磁性质各异，在对它们进行分析计算时均可用理想电路元件的一种或几种组合作为它们的模型，这给电路分析计算带来了极大的方便。

图 1-2(a)所示是一个最简单的实际电路，它由干电池(电源)、小灯泡(负载)和导线、开关(中间环节)连接而成。在对它进行定量分析计算时，用理想电阻元件 R 作为灯泡的模型，R 描述灯泡消耗电能并将电能转换成光能的电磁性质；用理想电压源 U_s 和理想电阻元件 R_s 的串联组合作为干电池的模型，U_s 描述电池对外输出的电压，R_s 描述电池的内部能量损耗(常称为电源的内阻)；用理想导线(无能量损耗导线)作为实际导线的模型，即忽略导线的电能损耗。将实际电路中的电气器件理想化之后，即用理想电路元件代替实际器件之后得到实际电路的电路模型如图 1-2(b) 所示。

图 1-2　实际电路与电路模型

(a) 实际电路；(b) 电路模型

由图 1-2 可以看出，实际电路的电路模型是由理想电路元件组成的。在工程中，为了直观、方便地表达实际电路的电路模型，用规定的图形符号表示理想电路元件。为了规范化，我国统一规定了理想电路元件的图形符号(请参见最新国家标准)。用图形符号画出的图，称为电路模型图，简称电路图。世界各国的电路符号基本一样，略有差异。

大量实践已充分证实，对于一个实际电路，只要电路模型选择恰当，按照电路图分析计算不但非常方便，且与实际测量结果基本一致，这可以在实验室进行验证。相反，如果电路模型选择不合理，或过于复杂或过于简单，这时分析计算的结果就没有意义。

电路分析的任务是对给定的电路模型(电路图)进行分析计算，所以今后我们所说的电路一般是指由理想电路元件所构成的抽象电路——电路模型。

理想电路元件又称为集总参数元件，简称集总元件。由集总元件所构成的电路模型又称为集总参数电路，简称集总电路。

用集总元件作为实际电气器件的模型是有条件的，该条件称为电路的集总化条件或集总参数电路假设，是由电磁场理论给出的。电路的集总化条件是：实际电路的尺寸 d 应远小于其工作频率(电压或电流变化的频率)所对应的波长 λ，即

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

$$d \ll \lambda$$

当实际电路满足集总化条件时，实际电路的尺寸可以忽略，即电路的大小和形状不影响电路的特性。在这种条件下，实际电气器件可以用理想电路元件，即集总元件作为其模型，这时实际电路可以用由理想电路元件构成的集总电路作为它的电路模型。

集总参数元件的含义类似于在力学中把刚体看成质点，即不考虑刚体的尺寸大小，把质量集中在质点上。集总参数元件不考虑实际器件的尺寸大小，把电磁性质集中在理想电路元件中考虑。例如 100 Ω 的实际电阻器，不论其尺寸大小，可以抽象为一个具有集中参数电阻值 $R=100\ \Omega$ 的理想电阻元件。

实际电路都具有一定的尺寸，所以用集总参数电路作为实际电路的模型只是一种近似描述，是一种理想化模型。

如果实际电路不满足集总化条件，就不能用集总参数电路作为它的模型，应该用分布参数电路的概念和理论对其进行分析。例如电力系统电路，工作电压和电流的频率为 50 Hz，对应波长 $\lambda=6\ 000$ km，一般的市内照明电路以及工厂的动力电路的几何尺寸在几千米至几十千米，远小于波长 λ，可以用集总电路描述。但如果是远距离输电线路长达 1 500 km 时，就不满足集总化条件，这时应将电路看成是分布参数电路。

本教材仅介绍集总参数电路的分析计算，不讨论分布参数电路的内容。

第二节 电路分析与电路设计

电路理论是一门基础工程学科，即它是为工程技术服务的一门技术基础性学科，传统的研究领域包括两个方面。

(1) 电路分析(网络分析)：探讨电路的基本定律和定理，研究分析计算的方法；对给定的电路模型，在已知激励的情况下，进行分析计算，求得电路响应，或研究响应与激励之间的关系。

(2) 电路综合或设计(网络综合或设计)：在特定的激励下，根据预期目标和给出的工程技术指标，设计出能够完成工程技术任务的电路模型(即设计出电路图)，由电路图制造实际电路，即制造电气设备或装置，再进行调试和运行。

电路分析是电路理论的基础，只有学习和掌握了电路分析的基本原理，才可能进行电路的综合或设计。本教材仅介绍电路分析的内容。

分析计算(研究)实际电路的方法：首先将实际电路理想化，建立它的电路模型，即画出它的电路图，再根据电路理论和数学工具对电路模型进行定量分析计算。主要计算描述电路工作状态的电压、电流和电功率，分析这些电路变量随时间变化的规律等。电气工程人员根据理论分析计算的结果，可以了解实际电路的作用或功能，并改进电路的性能甚至设计出性能更好的电路。

随着科学技术的发展，电路理论由经典理论发展到现代(近代)理论，电路分析方法也由经典分析法发展到现代的系统化方法。计算机技术的迅速发展，使现代电路分析与设计过程中大量采用计算机软件进行辅助分析、设计和仿真成为可能，解决了大规模电路、复杂电路以及非线性电路的工程设计问题。

第三节　电路的基本物理量及其参考方向

电路的工作状态可以用电路中的电流 i、电压 u、电荷量 q、磁通链 ψ(或磁通 Φ)以及电功率 P 和电能量 W 等物理量描述。

电路分析计算的主要任务是计算电路中某一元件或某一部分电路的电流和电压，因为已知电流和电压就可以求得其他物理量，所以电流和电压是电路的基本物理量。这两个待求的基本物理量也称为电路的基本变量，简称电路变量。

电流和电压的定义及其单位与物理学中完全相同，在此不详细论述。本节主要说明电流和电压的参考方向。电流和电压的参考方向在电路分析中具有重要的作用。

一、电流和电压的实际方向

(一) 电流的实际方向

电流的定义：单位时间内通过导体横截面的电荷量，即

$$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} \tag{1-1}$$

电流的单位：安培(简称安)，用字母 A 表示。在电路分析中，所有的物理量均采用国际单位制(SI 制)。

一般用小写字母 i 表示随时间变化的电流。若电流是常数，称为直流电流(或恒定电流)，用大写字母 I 表示。

电流的实际方向：习惯上规定正电荷移动的方向作为电流的实际方向。图 1-3 中的小方框代表一个理想电路元件，虚线箭头即为元件电流的实际方向。

电流的实际方向只有两种可能，从 A 流向 B 或从 B 流向 A。

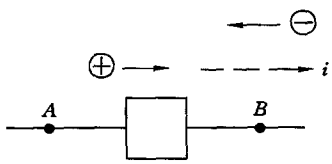

图 1-3　电流的实际方向

(二) 电压的实际方向

电压的定义：A、B 两点的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功，或等于两点之间的电位之差，即

$$u_{AB} = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}q} = u_A - u_B \tag{1-2}$$

电压的单位：伏特(简称伏)，用字母 V 表示。

一般用小写字母 u 表示随时间变化的电压。若电压是常数，称为直流电压(或恒定电压)，用大写字母 U 表示。

电压的实际极性：规定高电位为正极性⊕，低电位为负极性⊖。例如在图 1-4 中，若 A 点是高电位，B 点是低电位，则电压的实际极性如图 1-4(a)所示。

电压的实际方向：规定由高电位⊕经过元件指向低电位⊖的方向作为电压的实际方向，即电位降的方向，如图 1-4(b) 中虚线箭头所示。也可将正电荷在电场力作用下运动的方向作为电压的实际方向。

电压的实际方向也只有两种可能，即从 A 指向 B 或从 B 指向 A。

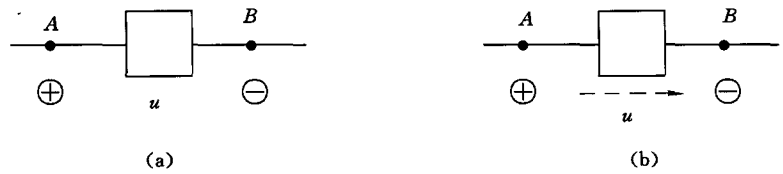

图 1-4 电压的实际方向

(a) 电压的实际极性；(b) 电压的实际方向

二、电流和电压的参考方向

(一) 引入参考方向的原因

电流和电压既有大小又有方向。

由于实际的直流电路大多都很复杂，在对电路进行分析计算时，事先很难判断出元件电流和电压的实际方向。而且除直流电路外，电路中的电流和电压随时间变化，不但大小变化，方向也可能变化，如正弦交流电路。这将难以在电路中标明电流和电压的实际方向。为了分析计算方便引入了电流和电压的参考方向。参考方向是电路分析中的一个重要概念，也是学习中的一个难点。

(二) 电流的参考方向

对于一个元件，任意指定一个方向，如图 1-5(a)的实线箭头所示，假设这个方向就是电流的方向，这个假设的方向称为电流的参考方向。当然所选的这个参考方向并不一定是电流的实际方向，当按照指定的参考方向进行计算时，可以证明：

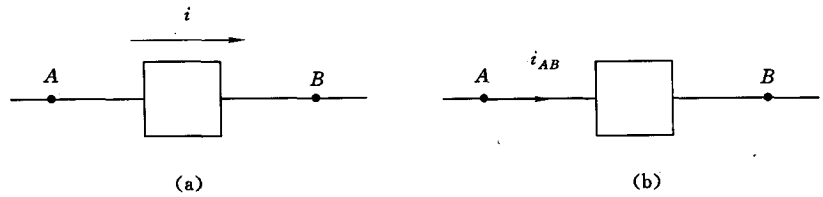

图 1-5 电流参考方向的表示方法

(a) 用实线箭头表示；(b) 用双下标表示

(1) 如果电流 $i>0$(正值)，电流的实际方向与参考方向一致。

(2) 如果电流 $i<0$(负值)，电流的实际方向与参考方向相反。

由于引入了参考方向，电流 i 是一代数量，其值可正可负，正负反映了电流的实际方向。

电流参考方向的表示方法有：

(1) 用实线箭头表示，如图 1-5(a)所示。

(2) 用双下标表示，如图 1-5(b) 所示，电流 i_{AB} 表示电流的参考方向由 A 指向 B。

(三) 电压的参考方向(参考极性)

同理，对于一个元件，任意指定一个方向，如图 1-6(a)的实线箭头所示，假设这个方向就是电压的方向，这个假设的方向称为电压的参考方向。按照指定的参考方向进行计算，可

以证明：

(1) 如果电压 $u>0$(正值)，电压的实际方向与参考方向一致。

(2) 如果电压 $u<0$(负值)，电压的实际方向与参考方向相反。

由于引入了参考方向，电压 u 也是一代数量，其值的正负同样反映了电压的实际方向(或实际极性)。

电压参考方向的表示方法有：

(1) 用实线箭头表示，如图 1-6(a)所示。

(2) 用双下标表示，如图 1-6(b)所示，电压 u_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B。

(3) 用"+"、"−"极性表示，如图 1-6(c)所示，电压参考方向从"+"极性指向"−"极性，也可称为参考极性。在电路图中常用这种表示方法。

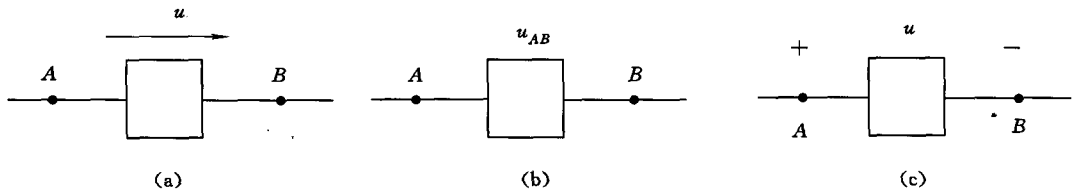

图 1-6　电压参考方向的表示方法

(a) 用实线箭头表示；(b) 用双下标表示；(c) 用"+"、"−"极性表示

在学习中要注意区分参考方向与实际方向，不要混淆，在此提醒：

(1) 实际方向是客观存在的，不能随意选择；参考方向是人为假设的，是为了方便电路的分析计算而采用的一种方法。

(2) 实际方向是由电路的结构和参数决定的，与参考方向的选取无关。当参考方向确定之后，电流和电压是代数量。

在本教材中，除特别声明外，电路图中一般标出的是电流、电压的参考方向。

三、电压与电流的关联参考方向

一个元件的电流和电压的参考方向的选择是任意的、独立的，可根据需要或方便选定。有两种选择：

(1) 电压 u 与电流 i 的参考方向选得一致，称为 u 与 i 取关联参考方向，如图 1-7(a)、(c) 所示。

(2) 电压 u 与电流 i 的参考方向选得相反，称为 u 与 i 取非关联参考方向，如图 1-7(b)、(d) 所示。

图 1-7 中小方框代表理想电路元件，大方框代表一部分电路。

为了分析计算方便，通常选取 u 与 i 关联参考方向，即电压 u 的参考方向与电流 i 的参考方向一致。

四、参考方向的重要性

实际电路中的电流和电压多数是随时间变化的。引入电流和电压的参考方向之后，i 与 u 是代数量，这使得电流和电压的实际方向以数学形式表现，极大地方便了电路的分析计

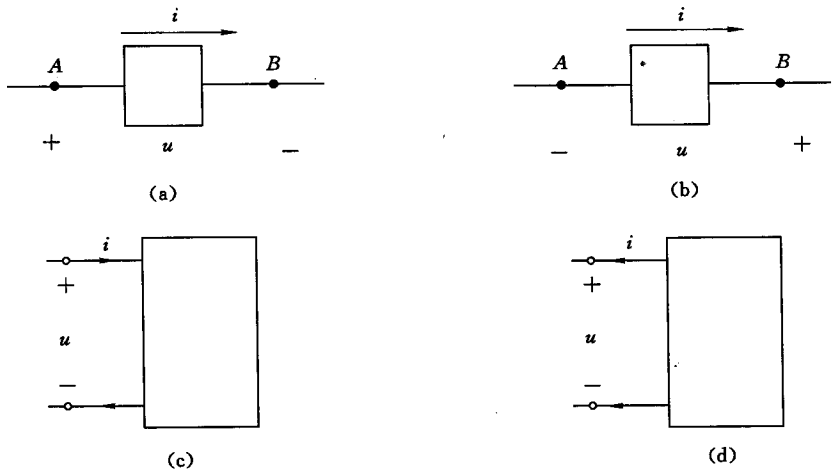

图 1-7 电压与电流的关联参考方向

(a) u 与 i 关联参考方向；(b) u 与 i 非关联参考方向；

(c) u 与 i 关联参考方向；(d) u 与 i 非关联参考方向

算，而且当电流、电压随时间变化时，还可以用时间函数 $i(t)$ 和 $u(t)$ 表示电流、电压随时间 t 变化的规律。$i(t)$ 和 $u(t)$ 的绝对值表示它们的大小，正负号描述了它们的实际方向。

为了书写方便，经常简写为 $i(t)=i$，$u(t)=u$，恒定电流和电压（即直流电流和电压）用大写字母 I、U 表示。

今后对任何电路进行分析计算之前，应首先指定各元件电流和电压的参考方向。

【练习与思考】

(1) 元件的电流和电压的参考方向如图 1-8 所示，如果 $i=3$ A，试问 $i'=$？如果 $u=5$ V，试问 $u'=$？

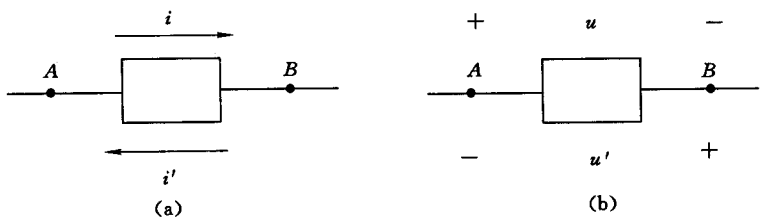

图 1-8

(2) 按图 1-9 所示电流参考方向计算，若 $i=+3$ A，指出电流的实际方向。

(3) 按图 1-10 所示电压参考方向计算，若 $u=-5$ V，指出电压的实际方向。

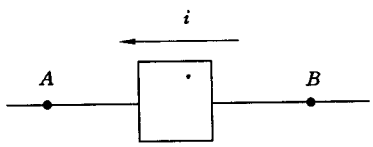

图 1-9

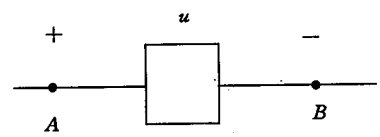

图 1-10

*第四节　电功率与电能量的计算

在电路的分析计算中，主要计算电路的电流、电压、电功率和电能量，因为：

(1) 电流和电压反映电路的工作状态。

(2) 电能量描述元件(或电路)吸收还是释放的电能量，定量地反映了电路工作时电能与其他形式能量的相互转换，例如电能与热能、动能或光能的转换，电容器充放电时它存储的电场能量与电源电能的相互转换等。

(3) 电功率反映元件或电路的工作能力，例如 100 W 的灯泡比 40 W 的灯泡亮。每个器件、设备都有额定功率，工作时不允许超过额定值，否则极易损坏器件、设备，或使电路不能正常工作。

本节主要介绍计算元件或电路的电功率和电能量的方法。

一、元件吸收或释放的电能量

依据物理学，当正电荷从元件的高电位移动到低电位时，电场力对电荷做功，这时元件吸收电能量。如果正电荷从元件的低电位移动到高电位，是非电场力对电荷做功，这时元件向外释放电能量。

设在极短的时间 $\mathrm{d}t$ 内，有 $\mathrm{d}q$ 的电荷量从 A 端(B 端)移动到 B 端(A 端)，则在时间 $\mathrm{d}t$ 内，元件吸收(或释放)的电能量为 $\mathrm{d}W$，$\mathrm{d}W$ 可根据电压的定义 $u=\dfrac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}q}$ 和电流的定义 $i=\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ 得出，即

$$\mathrm{d}W = u\mathrm{d}q = ui\,\mathrm{d}t$$

在 $t_0 \sim t$ 这段时间内，元件吸收或释放的电能量为

$$W(t) = \int \mathrm{d}W = \int_{t_0}^{t} ui\,\mathrm{d}t = \int_{t_0}^{t} u(t)i(t)\,\mathrm{d}t = \int_{t_0}^{t} u(\xi)i(\xi)\,\mathrm{d}\xi \tag{1-3}$$

式中，t_0 是起始时刻，t 是任意时刻。若已知元件的电压 u 和电流 i，即可用式(1-3)计算元件在 $t_0 \sim t$ 这段时间内吸收或释放的电能量。

需要注意，如果元件的 u、i 是时间的函数，式(1-3)是积分运算，这时电能量也是时间的函数即 $W(t)$，当 t_0 和 t 都确定时，W 也就确定了。如果是直流电路，电路中的电流和电压是恒定的，这时可以用下式计算电能量，即

$$W = \int_{t_0}^{t} UI\,\mathrm{d}t = UI(t-t_0) = UI \cdot \Delta t \tag{1-4}$$

式中，U 是元件的电压，I 是元件的电流。

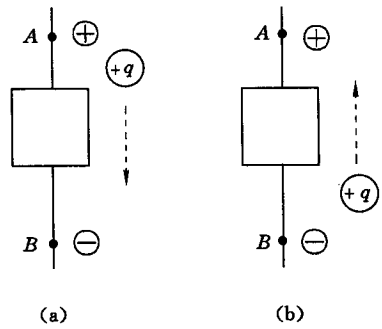

图 1-11　元件吸收或释放电能量

(a) 元件吸收电能量；(b) 元件释放电能量

电能量的单位：焦耳(简称焦)，用字母 J 表示。

判断元件是吸收电能量还是释放电能量的方法：

(1) 根据元件的电流和电压的实际方向判断。如果元件的电流与电压的实际方向一致，则该元件吸收电能量，它在电路中是负载，如图 1-11(a)所示。如果元件的电流与电压的实际方向相反，则该元件释放电能量，它在电路中是电

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com