

中国电子教育学会高教分会推荐  
普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

# 电路分析基础

主编 王艳红



教学资源



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

中国电子教育学会高教分会推荐  
普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

# 电路分析基础

主 编 王艳红

副主编 黄 琳 原 帅 张 静

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书共分为 10 章,包括电路的元件及电路定律、电路分析的基本方法、电路分析中的常用定理、正弦稳态交流电路相量模型及分析、正弦稳态交流电路的功率、电路的频率特性与谐振、耦合电感和理想变压器、三相电路、双口网络和动态电路的时域分析等内容。

书中每章都有内容提要及要求、重点和难点及相对应的视频讲解(扫二维码可观看),还有丰富的例题和习题,便于学生掌握电路分析的知识。

本书力求概念准确、层次清晰、重点突出、语言流畅、难易适中,书中所附七十多个二维码资源,包括视频、文本、例题及习题解答、计算机仿真电路分析等,便于教师进行教学改革,便于学生自学和牢固掌握电路分析的方法和知识。此外,本书各章的习题答案已放至出版社网站,读者可登录后获取。

本书可作为高等学校非电类专业学生的教科书,也可作为相关工程技术人员的自学参考教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/王艳红主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2018.2  
ISBN 978-7-5606-4812-5

I. ①电… II. ①王… III. ①电路分析 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 024415 号

策 划 毛红兵

责任编辑 阎 彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 17

字 数 399 千字

印 数 1~3000 册

定 价 40.00 元

ISBN 978-7-5606-4812-5/TM

**XDUP 5114001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

# 中国电子教育学会高教分会

## 教材建设指导委员会名单

主任	李建东	西安电子科技大学副校长
副主任	裘松良	浙江理工大学校长
	韩焱	中北大学副校长
	颜晓红	南京邮电大学副校长
	胡华	杭州电子科技大学副校长
	欧阳缮	桂林电子科技大学副校长
	柯亨玉	武汉大学电子信息学院院长
	胡方明	西安电子科技大学出版社社长
委员	(按姓氏笔画排列)	
	于凤芹	江南大学物联网工程学院系主任
	王泉	西安电子科技大学计算机学院院长
	朱智林	山东工商学院信息与电子工程学院院长
	何苏勤	北京化工大学信息科学与技术学院副院长
	宋鹏	北方工业大学信息工程学院电子工程系主任
	陈鹤鸣	南京邮电大学贝尔英才学院院长
	尚宇	西安工业大学电子信息工程学院副院长
	金炜东	西南交通大学电气工程学院系主任
	罗新民	西安交通大学电子信息与工程学院副院长
	段哲民	西北工业大学电子信息学院副院长
	郭庆	桂林电子科技大学教务处处长
	郭宝龙	西安电子科技大学教务处处长
	徐江荣	杭州电子科技大学教务处处长
	蒋宁	电子科技大学教务处处长
	蒋乐天	上海交通大学电子工程系
	曾孝平	重庆大学通信工程学院院长
	樊相宇	西安邮电大学教务处处长
秘书长	吕抗美	中国电子教育学会高教分会秘书长
	毛红兵	西安电子科技大学出版社社长助理

# 前 言

电路分析基础是高等学校工科电子、通信及信息等专业设置的一门重要专业基础课。随着电子信息技术的飞速发展，高校培养学生的目标、任务、方法及模式也发生了变化。为了适应这种变化，进一步提高学生的综合能力，本书在编写时注重突出以下特点：

(1) 以学生为中心，注重引导学生。每章都有内容提要及要求、重点和难点及相对应的视频讲解，方便学生掌握重点内容；在保证概念、定理和分析方法正确的前提下，既注重内容全面又注重结构清晰，内容由浅入深，叙述简明扼要，重点定理、知识点和公式均加黑或加框，便于教与学。

(2) 为了满足创新人才的培养需求，书中增加了七十多个数字资源。这些资源包括各章知识点、实际应用图文、例题不同解法的视频和 PDF、PPT 文档，难点微课视频及习题解答视频，计算机仿真电路分析视频等。这些资源适应了当前信息技术和学生的特点，扩展了学生的知识面，使其能更好地掌握电路知识，也为“翻转课堂”“对分教学”等不同形式的教学改革提供了素材，体现了本书内容的先进性和实用性。

(3) 突出应用，注重能力的培养。为了提高学生的学习兴趣和综合能力，本书重点章节由应用实例来讲述相关理论在实际上中的应用，突出实用性和工程应用性，使学生能更好地了解 and 掌握电路分析的应用。

(4) 为提高学生科学的思维能力和分析计算能力，本书给出了丰富的例题，有的例题还给出了不同解法。每章章末的习题不仅题型多样，而且包含了工程应用中的实际问题，对于提高学生分析和解决实际问题的能力有所帮助。

本书是按照教育部高等学校电子电气基础课教学指导分委员会的《电子电气基础课程教学基本要求》编写的。全书包括电路的元件及电路定律、电路分析的基本方法、电路分析中的常用定理、正弦稳态交流电路相量模型及分析、正弦稳态交流电路的功率、电路的频率特性与谐振、耦合电感和理想变压器、三相电路、双口网络和动态电路的时域分析等内容。教师可以根据专业情况和课程学时选择不同的章节进行讲授。

本书编写分工为：王艳红编写第 1 章、第 2 章、第 4 章和第 5 章，黄琳编写第 3 章和第 9 章，原帅编写第 6 章和第 10 章，张静编写第 7 章和第 8 章。全书由王艳红负责编写提纲和统稿。书中的数字资源大部分由负责编写各章的老师整理和录制。烟台大学光电信息技术学院的学生张雯涛、戴振蓉及王榆钦在电路仿真及视频编辑中做了许多工作，在此表示感谢。在编写本书、制作数字资源时，编者查阅和参考了众多文献和网上资料，获得了不少教益和启发，也得到许多老师的帮助，在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限，书中的疏漏和不妥之处在所难免，恳请使用本书的读者提出宝贵意见，以便修改。

编 者

2017 年 10 月

# 目 录

<b>第 1 章 电路的元件及电路定律</b> .....	1
1.1 电路与电路模型 .....	1
1.2 电路的基本物理量 .....	3
1.3 电路分析的基本元件 .....	7
1.4 电源 .....	12
1.5 基尔霍夫定律 .....	15
1.6 计算机辅助电路分析 .....	19
1.7 应用实例 .....	21
1.8 本章小结 .....	23
习题 1 .....	24
<b>第 2 章 电路分析的基本方法</b> .....	28
2.1 电路的等效变换分析法 .....	28
2.2 支路电流法 .....	36
2.3 网孔电流法 .....	38
2.4 节点电压法 .....	43
2.5 含有运算放大器的电路分析 .....	47
2.6 应用举例 .....	50
2.7 计算机辅助电路分析 .....	51
2.8 本章小结 .....	52
习题 2 .....	54
<b>第 3 章 电路分析中的常用定理</b> .....	62
3.1 叠加定理和齐次性定理 .....	62
3.2 替代定理 .....	66
3.3 戴维南定理和诺顿定理 .....	67
3.4 最大功率传输定理 .....	74
3.5 特勒根定理 .....	76
3.6 互易定理 .....	78
3.7 计算机辅助电路分析 .....	80
3.8 本章小结 .....	82
习题 3 .....	83

<b>第 4 章 正弦稳态交流电路相量模型及分析</b> .....	90
4.1 正弦交流电的基本概念 .....	90
4.2 正弦交流电的相量表示法 .....	93
4.3 两类约束的相量形式 .....	95
4.4 相量模型、阻抗和导纳 .....	102
4.5 正弦稳态电路的相量分析法 .....	107
4.6 实际应用 .....	110
4.7 计算机辅助电路分析 .....	112
4.8 本章小结 .....	113
习题 4 .....	115
<b>第 5 章 正弦稳态交流电路的功率</b> .....	121
5.1 正弦稳态单口网络的功率 .....	121
5.2 应用——功率因数的提高 .....	127
5.3 正弦稳态电路最大功率传输定理 .....	129
5.4 计算机辅助电路分析 .....	134
5.5 本章小结 .....	136
习题 5 .....	137
<b>第 6 章 电路的频率特性与谐振</b> .....	143
6.1 电路的频率特性与网络函数 .....	143
6.2 多频正弦稳态电路 .....	146
6.3 电路的谐振 .....	149
6.4 应用 .....	156
6.5 计算机辅助电路分析 .....	158
6.6 本章小结 .....	159
习题 6 .....	160
<b>第 7 章 耦合电感和理想变压器</b> .....	163
7.1 耦合电感的伏安关系 .....	163
7.2 耦合电感的去耦等效 .....	167
7.3 空芯变压器的分析 .....	172
7.4 理想变压器 .....	176
7.5 实际变压器及应用 .....	181
7.6 计算机辅助电路分析 .....	184
7.7 本章小结 .....	185
习题 7 .....	186
<b>第 8 章 三相电路</b> .....	193
8.1 三相电源的基本概念 .....	193
8.2 三相负载的星形连接 .....	196
8.3 三相负载的三角形连接 .....	199
8.4 三相电路的功率 .....	201

8.5	安全用电 .....	203
8.6	计算机辅助电路分析 .....	204
8.7	本章小结 .....	206
	习题 8 .....	207
<b>第 9 章</b>	<b>双口网络</b> .....	<b>210</b>
9.1	双口网络概述 .....	210
9.2	双口网络的 $Z$ 参数与 $Y$ 参数 .....	211
9.3	双口网络的 $H$ 参数 .....	217
9.4	双口网络的 $T$ 参数 .....	218
9.5	双口网络的参数转换及连接 .....	220
9.6	应用实例和电路设计 .....	222
9.7	本章小结 .....	224
	习题 9 .....	226
<b>第 10 章</b>	<b>动态电路的时域分析</b> .....	<b>230</b>
10.1	换路定律和初始条件的计算 .....	230
10.2	一阶动态电路的零输入响应 .....	233
10.3	一阶动态电路的零状态响应 .....	238
10.4	一阶动态电路的全响应及三要素 .....	241
10.5	一阶动态电路的阶跃响应与冲激响应 .....	247
10.6	微分电路和积分电路 .....	249
10.7	二阶动态电路的暂态响应 .....	250
10.8	应用 .....	254
10.9	计算机辅助电路分析 .....	255
10.10	本章小结 .....	256
	习题 10 .....	258



# 第1章 电路的元件及电路定律



第1章的知识点.wmv

**【内容提要及要求】** 介绍电路模型及电路的基本变量：电流、电压和功率，提出了参考方向及关联参考方向；介绍电路中的理想元件电阻、电感和电容及其伏安关系；讨论电压源、电流源和受控源的特性；重点论述电路的基尔霍夫定律；简单介绍计算机电路分析软件 Multisim。

掌握参考方向及关联参考方向；掌握电阻、电感和电容的伏安关系；掌握电压源、电流源和受控源的特性；熟练运用基尔霍夫电压和电流定律进行电路变量的计算；掌握并利用两类约束列写电路方程并求解电路变量或电路元件参数。

**【重点】** 电流、电压的参考方向及关联参考方向；元件的伏安特性；确定元件是提供还是吸收功率；受控源的分类及特性；基尔霍夫定律。

**【难点】** 电流、电压的参考方向与实际方向的差别；独立电源与受控电源的联系与区别；基尔霍夫定律及应用。

## 1.1 电路与电路模型

电路在日常生活、工农业生产、科研和国防等许多方面都有着十分广泛的应用。功能不同，实际电路千差万别。电路分析，分析的是与实际电路相对应的电路模型。本节主要介绍电路的分类、组成及电路模型。

### 1.1.1 电路的分类和组成

#### 1. 电路的分类

电路(electric circuit)是电子元器件按一定方式连接构成的电流通路。实际电路按其作用和功能可分为两大类。

(1) 进行能量的产生、传输、转换的电路。

如电力系统的发电机组将其他形式的能量转换成电能，经变压器、输电线传输到各用电部门，在那里又把电能转换成光能、热能、机械能等其他形式的能量而加以利用，完成能量转换的功能。

(2) 实现信号的传递与处理的电路。

如电视机电路将接收到的电信号经过调谐、滤波、放大等环节的处理，使其成为人们所需要的图像和声音，完成电信号的处理、变换等功能。电信号的传递与处理作用在自动

控制、通信、计算机技术等方面应用广泛。

## 2. 电路的组成

有些实际电路十分庞大，如电力系统及通信系统等；有的电路局限在几平方毫米以内，例如集成电路芯片可能比指甲盖还小，但上面却有成千上万个晶体管相互连接的电路系统。超大规模集成电路的集成度越来越高，可容纳的元器件数目越来越多。

有些电路非常简单，手电筒就是很简单的电路，如图 1.1 所示。

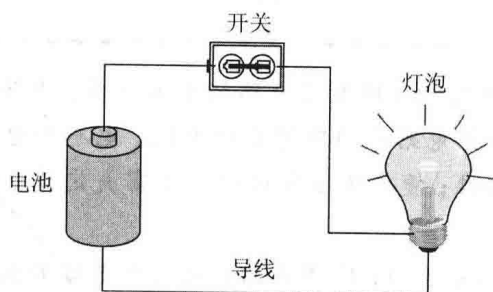


图 1.1 手电筒实际电路

该电路的组成主要有：提供电能的电池，简称电源(electric source)，也被称为激励；小灯泡，将电能转变为光能，称为负载(load)；连接电源与负载的导线；开关，是控制元件，控制电路的接通与断开。

无论是复杂还是简单的电路，其组成一般分为三部分：电源、负载及中间环节。

### 1.1.2 电路模型

实际电路中的组成部分往往具有多重电磁性能，若研究电路时考虑其全部性能，一定很繁琐。在分析实际电路时，在一定条件下，即当实际电路的尺寸远小于其工作时的最高工作信号所对应的波长时，实际电路器件可忽略其次要性能，用其主要的电磁性能来模型化、理想化，此时的器件称为理想元件或集总参数元件。

用理想电路元件构成的电路称为电路模型(circuit model)或集总参数元件电路。

图 1.2 是手电筒电路的电路模型图。图中  $U_s$  是一个理想电压源，代替电池； $R$  是理想电阻元件，只消耗电能，代替灯泡； $S$  是开关元件；连接三个元件的细实线是理想导线。

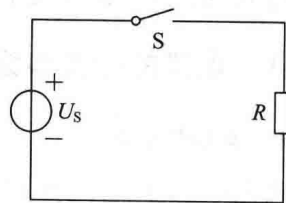


图 1.2 手电筒的电路模型

可见，电路模型是由复杂的电路等效而来的，其理想电路元件不完全等同于电路器件，而一个电路器件在不同条件下的电路模型也可能不同。例如电炉主要是将电能转变为热能，一般用电阻元件表示；但若电路电源频率增大，则电路内的电阻丝产生的磁场能量就不能忽略，其模型就不能只用一个电阻元件表示，还需要包含电感。

电路分析的对象为理想电路元件组成的电路模型，而非实际电路，主要是研究电路的电磁现象，用电流、电压等物理量描述其中的物理过程。电路分析的任务是根据已知的电路结构和元件参数，在一定的外加电源(激励)下，求解电路中的电压、电流(也称为电路的“响应”)。电路设计是研究如何构造一个电路，使其满足给定的性能指标。学习电路分析是

为电路设计打基础的。

本书的主要内容是介绍电路的基本定律和定理，并讨论电路的各种计算分析方法，为学习电子信息技术、电气技术、自动化和计算机技术等打下必要的理论基础。

## 1.2 电路的基本物理量

电路分析常常需要计算电路中的最基本物理量：电流、电压和功率。

大小、方向不随时间而变化的电流、电压称为恒定直流量(DC)，一般用大写字母  $I$ 、 $U$  表示。方向随时间变化的电流、电压称为交流量(AC)，其瞬时值分别用小写字母  $i$ 、 $u$  表示。电路中电压、电流一般用数字万用表测得，功率一般用功率表测得。图 1.3 所示为常用的测量仪表。

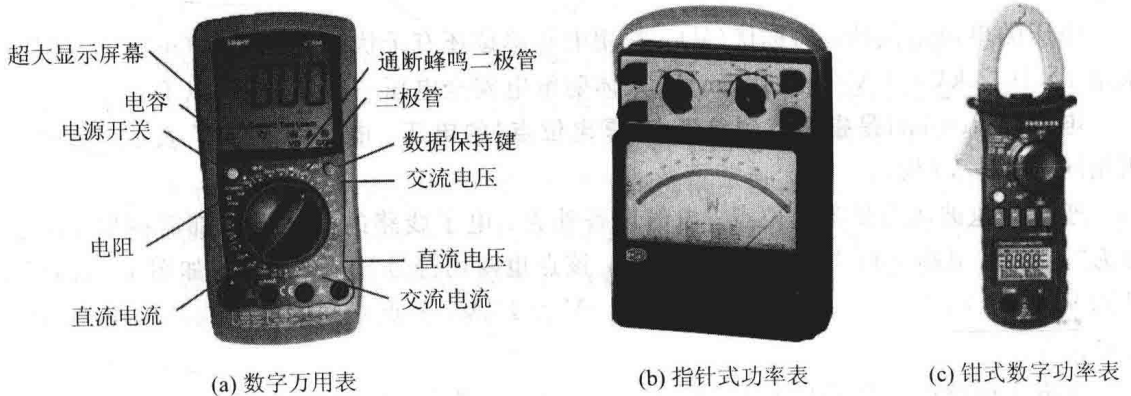


图 1.3 测量用仪表

### 1.2.1 电流

带电粒子的定向运动形成电流。一般把单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流 (electric current)，用符号  $i$  或  $I$  表示。

按照国际单位制(SI)，电流的单位为安培(A)，在通信和计算机技术中常用毫安(mA)、微安( $\mu\text{A}$ )作为电流单位。 $1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A}$ 。人体防触电安全电流限制在 30 mA 以下。

电流是一个有方向的物理量，习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。但是对于一个给定的电路，如交流电路中电流的真实方向经常在改变，另外在复杂的直流电路中，也难以判断某一元件上电流的真实方向。为了便于分析，常常在电路图中预先假设一个电流方向。这个预先假设的电流方向叫做参考方向(reference direction)。参考方向一般用箭头表示，如图 1.4 所示，也可以用双下标表示，例如  $i_{ab}$  表示参考方向是由 a 到 b。

电流的参考方向可以任意指定，但一经指定，就不再改变。经过计算若求得  $i > 0$ ，表示电流的实际方向和参考方向一致；若  $i < 0$ ，则表示电流的实际方向和参考方向相反。

如图 1.4(a)所示，当  $i = 5\text{ A}$  时，表示电流实际方向和参考方向都是从  $a \rightarrow b$ ；当  $i = -5\text{ A}$  时，表示电流的实际方向从  $b \rightarrow a$ ，如图 1.4(b)所示。

在进行电路分析时，必须先标出电流的参考方向，方能正确进行方程的列写和求解。

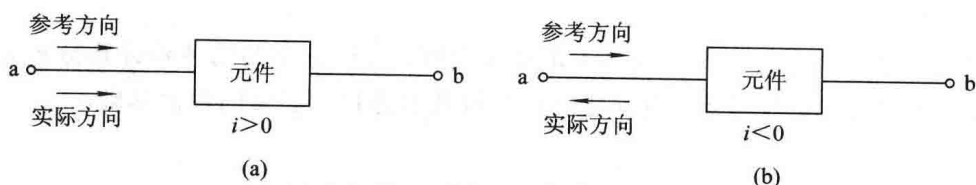


图 1.4 电流的参考方向

题目中给出的电流方向均是参考方向。只有规定了参考方向，电流的正负才有意义。

## 1.2.2 电压与电位

### 1. 电压与电位的定义

**电压 (voltage)**，是电场力将单位正电荷由某点移到另一点时所做的功，用符号  $u$  或  $U$  表示。

电压的单位是伏特，简称伏 (V)。常用电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)。它们的关系是  $1 \times 10^{-3} \text{ kV} = 1 \text{ V} = 1 \times 10^3 \text{ mV}$ 。人体防触电安全电压一般在 36 V 以下。

**电位 (potential)**是指某点到参考点 (零电位点) 的电压。电位用  $v$  或  $V$  表示，单位与电压相同，也是 V (伏)。

通常大地被认为是零电位点，电气设备外壳、电子线路的公共点等都需接地，接地符号为“⊥”；在电路分析中，需要选参考点，该点也常用符号“⊥”来表示，如图 1.5(a) 所示。已知  $V_a = 50 \text{ V}$ ,  $V_b = 35 \text{ V}$ ，则有  $U_{ab} = V_a - V_b = 15 \text{ V}$ ，两点之间的电压就是 a、b 两点之间的电位差。

在电子电路中，为了电路的简练、醒目，对于一端接地 (参考点) 的电压源常不画出电源的符号，而只在电源的非接地的一端标出其极性 & 电压值。例如图 1.5(a) 的简化电路图如图 1.5(b) 所示。

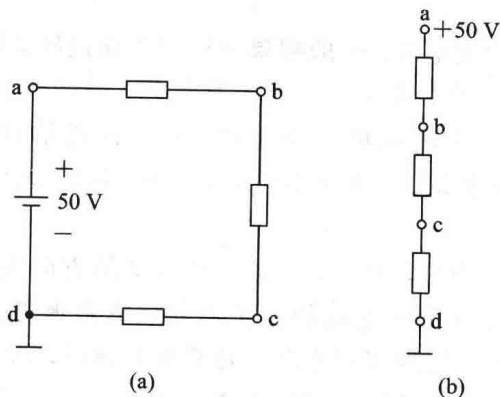


图 1.5 电路与简化电路

### 2. 电压的参考方向

在进行电路分析时首先需对电压标定参考方向 (也称为参考极性)。如图 1.6 所示，电压的参考方向是在元件或电路的两端用“+”、“-”符号来表示的。“+”号表示高电位，“-”号表示低电位。

如图 1.6(a)所示, 经过计算求得  $u > 0$ , 则表示电压的实际方向和参考方向一致; 如图 1.6(b)所示,  $u < 0$  (如  $u = -3 \text{ V}$ ), 则表示电压的实际方向和参考方向相反。还可以用双下标表示电压方向, 例如,  $u_{ab}$  表示 a、b 两点间电压的参考方向是从 a 指向 b 的。电压的参考方向可以任意选定, 但一经选定, 就不再改变。

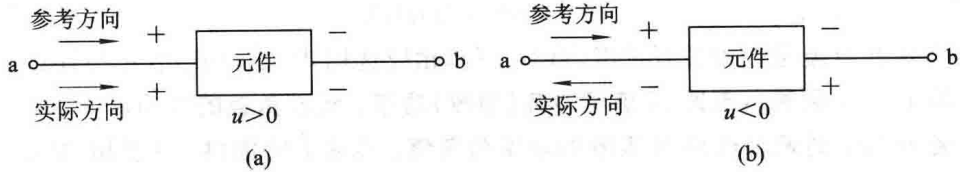


图 1.6 电压的参考方向

### 3. 关联参考方向

在以后的电路分析中, 完全不必先考虑各电流、电压的实际方向究竟如何, 而应首先在电路中标定它们的参考方向, 然后按参考方向进行计算, 由计算结果的正负值与标定的参考方向确定它们的实际方向, 图中不需标出实际方向。参考方向可以任意选定, 在图中相应位置标注(包括方向和符号), 但一经选定, 在分析电路的过程中就不再改变。

为了便于分析电路, 常将电压和电流的参考方向选得一致, 称其为关联参考方向。

**关联参考方向 (associated reference direction):** 如果指定流过元件的电流参考方向是从标以电压“+”极流向“-”极的一端, 即两者的参考方向一致, 则称电压、电流的这种参考方向为关联参考方向; 否则称为非关联参考方向。如图 1.7(a)所示为关联参考方向, 图 1.7(b)所示为非关联参考方向。

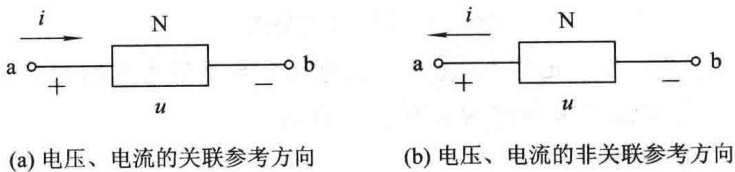


图 1.7 电压、电流的关联参考方向与非关联参考方向

## 1.2.3 功率

### 1. 功率的定义

电功率是电流在单位时间内做的功, 是用来表示消耗电能的快慢的物理量, 用  $p$  或  $P$  表示。

功率的国际单位是瓦[特](W), 功率特别大时, 可采用千瓦(kW)或兆瓦(MW); 功率小时, 采用毫瓦(mW)或微瓦( $\mu\text{W}$ )。  $1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW} = 10^6 \text{ W}$ ,  $1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW} = 10^6 \mu\text{W}$ 。 电器上常常标注的功率是额定功率, 为该电器工作时需要消耗的电功率。该电器工作时不能低于或高于额定功率, 否则, 该电器不能正常工作, 甚至发生灾害事故。额定功率也给用户设计布线的线径、开关、保险的容量提供计算依据。

### 2. 功率的计算

如果电路元件的电压  $u$  和电流  $i$  取关联参考方向, 如图 1.7(a)所示, 则电路消耗的功

率为

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1.1)$$

如果电路元件的  $u$  和  $i$  取非关联参考方向,如图 1.7(b)所示,可将电压或电流视为关联参考方向的负值,此时功率计算公式应该写为

$$p(t) = -u(t)i(t) \quad (1.2)$$

根据电压和电流是否为关联参考方向,可以相应选用式(1.1)或式(1.2)计算功率  $p$ 。

(1) 若  $p > 0$ ,则表示电路 N 确实消耗(吸收)功率,起着负载的作用。

(2) 若  $p < 0$ ,则表示电路 N 吸收的功率为负值,实质上它提供(或发出)功率,起着电源的作用。

[例 1.1] 电路如图 1.8 所示,小矩形框代表电源或电阻,各电压、电流的参考方向均已设定。已知  $I_1 = 6 \text{ A}$ 、 $I_3 = 5 \text{ A}$ 、 $I_4 = 1 \text{ A}$ 、 $U_1 = 40 \text{ V}$ 、 $U_2 = 30 \text{ V}$ 、 $U_3 = 10 \text{ V}$ 、 $U_4 = -10 \text{ V}$ 。试:(1)判断各元件电压、电流的参考方向是否为关联参考方向;(2)计算各元件消耗或向外提供的功率,判断哪个元件起电源作用,并验证是否满足功率守恒。

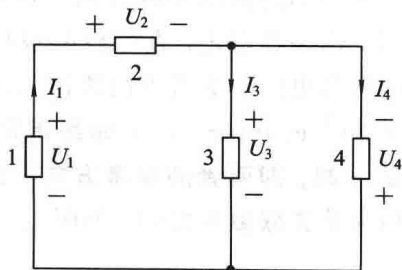


图 1.8 例 1.1 电路图

解 (1) 由图 1.8 可知,元件 1、元件 4 的电压、电流参考方向为非关联参考方向,元件 2、元件 3 的电压与电流参考方向为关联参考方向。

(2) 计算各元件的功率。

元件 1:

$$P_1 = -U_1 I_1 = -40 \times 6 = -240 \text{ W} < 0 \quad (\text{提供功率,起电源作用})$$

元件 2:

$$P_2 = U_2 I_2 = 30 \times 6 = 180 \text{ W} > 0 \quad (\text{消耗功率,为负载})$$

元件 3:

$$P_3 = U_3 I_3 = 10 \times 5 = 50 \text{ W} > 0 \quad (\text{消耗功率,为负载})$$

元件 4:

$$P_4 = -U_4 I_4 = -(-10) \times 1 = 10 \text{ W} > 0 \quad (\text{消耗功率,为负载})$$

元件 1 提供功率,起着电源作用。

求得功率的和为

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0$$

在电路中,所有的元件功率的代数和为零,也就是说在任何时刻元件发出的功率等于吸收的功率,称为功率守恒。

注意:计算功率时必须注意电压  $u$  和  $i$  的参考方向,还需注意公式中各数值的正负号

的含义。

## 1.3 电路分析的基本元件

电路的基本元素是元件，元件按其于外电路连接端数目分为二端元件、三端元件和四端元件等。

在电路中能提供电能的元件如电池等称为电源元件；不能提供电能的元件称为无源元件。本节介绍电路分析的基本理想元件：理想电阻、理想电容、理想电感。需掌握这些理想元件的电磁特性，特别是元件的电压、电流关系，即伏安特性或伏安关系(Voltage Current Relation, VCR)。

### 1.3.1 电阻元件

#### 1. 电阻元件及其伏安关系

电阻元件(resistor)是电能耗能的理想元件。电阻有线性电阻和非线性电阻之分，这里讨论理想线性电阻。

理想电阻的伏安关系(Voltage Current Relation, VCR 或称 VAR)，在任意时刻都是通过  $u-i$  平面坐标原点的一条直线，如图 1.9(b)所示，则称该电阻为线性时不变电阻元件，其电阻值为常量，用  $R$  表示，单位为欧姆，简称“欧”，符号为  $\Omega$ 。电阻符号如图 1.9(a)所示，部分常用电阻外形图如图 1.9(c)所示。

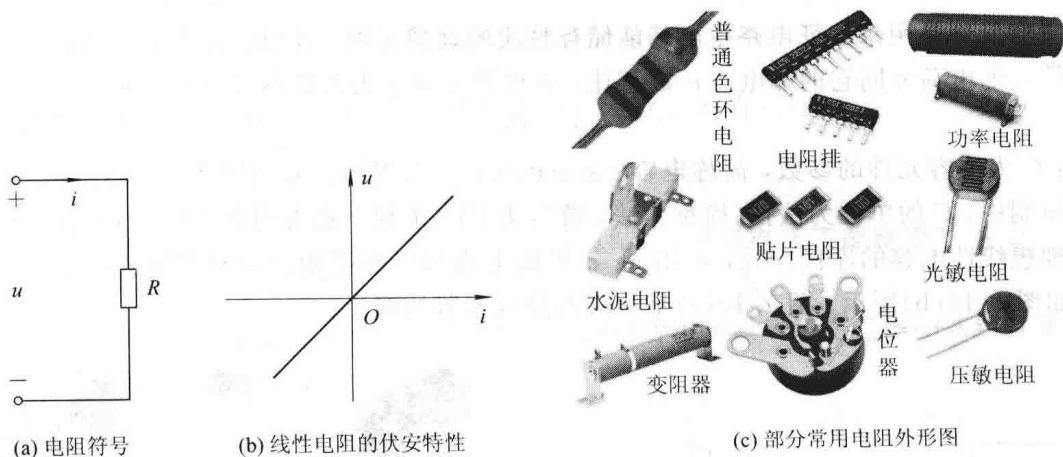


图 1.9 电阻元件

线性电阻的电压、电流关系满足欧姆定律：

$$u = Ri \quad (u \text{ 和 } i \text{ 为关联参考方向}) \quad (1.3)$$

$$u = -Ri \quad (u \text{ 和 } i \text{ 为非关联参考方向}) \quad (1.4)$$

式中， $u$  为电阻两端电压， $i$  为流过电阻的电流。

电导(conductance)：电阻的倒数定义为电导，以符号  $G$  表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.5)$$



第 1 章部分电阻  
介绍.docx

电导的 SI(国际)单位为西门子(S)。用电导表征电阻时,欧姆定律为:  $i(t) = \pm G u(t)$ 。

## 2. 电阻元件的功率

当电阻元件的电压和电流为关联参考方向时,其消耗的功率为

$$p = ui = i^2 R = u^2 / R \quad (1.6)$$

显然若  $R \geq 0$ , 则  $p \geq 0$ , 为耗能元件,也是无源元件(passive element)。

最后说一下实际电子元件的额定值问题。**额定值**(rated value)就是为了保证安全,制造厂家所给出的电压、电流或功率的限制数值。电气设备的额定值通常在铭牌上标出,也可以在产品目录中找到,使用时必须遵守规定。如果过载时间过长,不仅会大大缩短电源或电气设备的使用寿命,严重时还会导致火灾事故等。在实际电路中,要注意防止过载情况发生。

**[例 1.2]** 求一只额定功率为 100 W、额定电压为 220 V 的灯泡的额定电流及电阻值。若每天使用 4 小时,每月(30 天)用电多少?

解 
$$P = UI = \frac{U^2}{R}$$

得

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.455 \text{ A}, R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega$$

$$W = Pt = 100 \times 10^{-3} \times (4 \times 30) = 12 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

## 1.3.2 电容元件

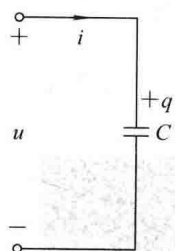
### 1. 电容元件及其伏安关系

电容元件是用来表征电路中电场能储存性质的理想元件。理想线性电容元件的特性是它所储存的电荷  $q$  同它的端电压  $u$  成正比。这里设  $u$  和  $q$  为关联参考方向,则

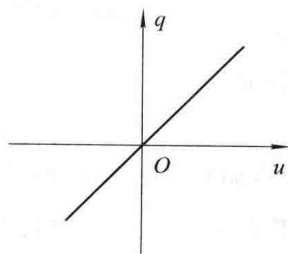
$$q = Cu \quad (1.7)$$

式中:  $C$  为电容元件的参数,简称**电容**(capacitance)。其图形符号如图 1.10(a)所示。在国际单位制中,  $C$  的单位为法拉(简称为法,符号为 F),工程上也常用微法( $\mu\text{F}$ )或皮法(pF)。

理想线性电容的库伏特性,可用  $u-q$  平面上直角坐标系中一条通过原点的直线来表示,如图 1.10(b)所示。图 1.10(c)是常用部分电容器的图片。



(a) 电容符号



(b) 线性电容的库伏特性



(c) 部分电容器外形图

图 1.10 电容元件



当电容上的电荷量  $q$  或电压  $u$  发生变化时, 在电路中要引起电流的流动。

由  $i(t) = \frac{dq}{dt}$  及  $q = Cu$  可推得:

$$i(t) = \frac{dCu}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1.8)$$



第 1 章部分电容  
介绍.docx

式(1.8)是电容的伏安关系, 它是在电容元件的电压  $u$  和电流  $i$  的参考方向是关联情况下的表达式, 若  $u$  和  $i$  的参考方向为非关联参考方向, 则要加上负号。

### 2. 电容元件的作用和性质

式(1.8)表明: 某一时刻电容的电流正比于该时刻电容电压的变化率。如果电容两端加直流电压, 那么  $\frac{du}{dt}$  为零, 虽有电压, 但电流为零, 电容相当于开路。因此, 电容有隔断直流的作用。电容电压变化越快, 即  $\frac{du}{dt}$  越大, 则电流也就越大。

将式(1.8)两边积分, 可得电容上的电压与电流的关系式, 即

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) d\xi = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i(\xi) d\xi + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi = u_0 + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi \quad (1.9)$$

式中,  $u_0$  是  $t=0$  时电容两端的电压值, 称为电压的初始值。因此, 电容电压与电流的“全部过去历史”有关, 即电容电压具有记忆电流的作用。

设想若有任意时刻为  $t_0$ , 将其前一瞬间记为  $t_{0-}$ , 后一瞬间记为  $t_{0+}$ , 则可得  $t=t_{0+}$  时刻的电容电压为

$$u(t_{0+}) = u(t_{0-}) + \frac{1}{C} \int_{t_{0-}}^{t_{0+}} i(\xi) d\xi$$

在实际电路中, 通过电容的电流总为有限值, 因此, 该有限的电流在无穷小的区间  $[t_{0-}, t_{0+}]$  内的积分等于零, 所以有

$$u(t_{0+}) = u(t_{0-}) \quad (1.10)$$

式(1.10)表明, 电容电压具有连续性质, 也常被总结为“电容电压不能跃变”, 在动态电路分析问题中常常用到这一结论。

上述分析表明电容电压具有两个重要性质, 即电容电压具有记忆性质和连续性质。

### 3. 电容元件的功率与储能

当电容的电压、电流为关联参考方向时, 任一瞬间电容吸收的瞬时功率为

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1.11)$$

若  $p > 0$ , 则电容元件吸收功率, 为充电状态; 若  $p < 0$ , 则电容元件释放功率, 为放电状态。

由于 
$$p = \frac{dw}{dt}$$

因此

$$w_C(t) = \int_0^t p dt = \int_0^t Cu \frac{du}{dt} dt = \int_0^t Cu du = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1.12)$$

式(1.12)表明, 电容储能与该时刻电压的平方成正比, 为非负值, 说明电容是一种储