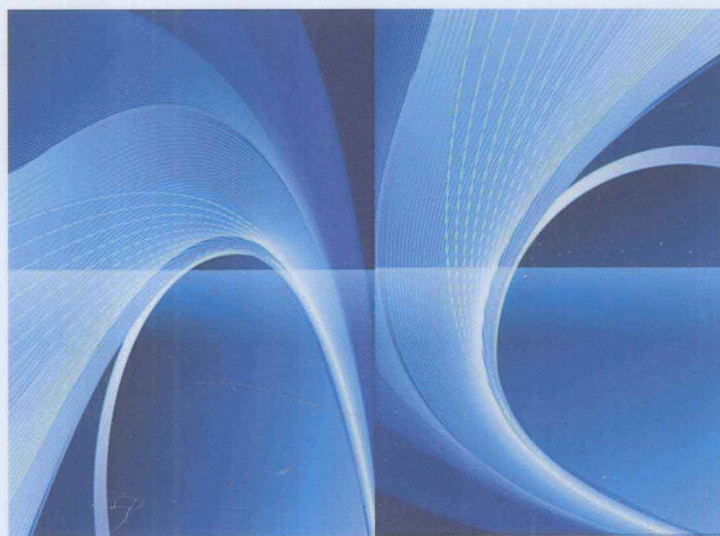


通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 电路分析基础 简明教程

刘志刚 张宏翔 主编



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

# 电路分析基础简明教程

刘志刚 张宏翔 主编

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2012

## 内 容 提 要

本书共分 11 章, 包括电路模型和电路定律、电阻电路的等效变换、电阻电路的一般分析、电路定理、一阶电路、相量、正弦稳态电路的分析、二端口网络、含有运算放大器的电阻电路、含有耦合电感的电路、非正弦周期电流电路和信号的频谱等。

本书深入浅出, 重点明确, 实例丰富, 可作为高校电子、通信、光电、计算机、电气及自动化等专业的专业基础课教材, 也可供从事电子技术工作的工程技术人员使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础简明教程/刘志刚, 张宏翔主编. —北京:  
冶金工业出版社, 2012. 5  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5024-5939-0

I. ①电… II. ①刘… ②张… III. ①电路分析—  
高等学校—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 084405 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 张 晶 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 禹 蕊 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5939-0

三河市双峰印刷装订有限公司印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012 年 5 月第 1 版, 2012 年 5 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13 印张; 315 千字; 198 页

29.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

多年以来，在“电路分析”课程的教学中，先后使用过多种教材和讲义。为了适应电子技术和电路基础理论的迅速发展，根据教育部颁布的《电路分析基础课程教学基本要求》和目前多所学校的《电路基础教学大纲》，在教学实践中，对教材内容不断地进行调整、提炼和更新，逐步形成了有一定特色的讲稿，经多所高校试用修改后，编写了这本教材，同时本教材得到了各参编高校校级及省级精品课程建设的支持。

本书在编写中，充分考虑本教材的教学适用性。在内容安排上，既遵循电路理论本身的系统和结构，也注意了适应学生的认识规律，并合理、有序地组织教材内容，使各章、节的中心明确，层次清楚、概念准确、论述简明，对概念、定理、方法等不仅正确地表述其内容，更阐明其具体应用条件、场合以及在不同情况下如何变通处理。书中配有较多例题，用以加深对概念的理解和说明如何灵活运用基本概念和方法分析具体的电路问题，此外，还介绍了一些实用电路知识和实际知识。

本书由刘志刚、张宏翔任主编。参加编写人员的具体分工如下：第1、3、4、7章由张宏翔编写，第2章由禹玥昀编写，第5、8章由刘志刚编写，第6章由徐全元编写，第9、10章由伍坪编写，第11章由黄正华编写。全书由刘志刚负责统稿，由武汉大学熊年禄教授审稿，在编写的过程中得到了岳晓光博士和高珍冉硕士的热情帮助。本书教学参考学时约64学时。

在本书的编写过程中，也得到了华中农业大学、武汉理工大学、南昌大学、郑州大学、湖北工业大学、西南林业大学、福建三明学院、武汉长江工商学院和中国地质大学江城学院等院校领导和教师的大力支持，在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请使用本书的读者指出。另外，编者可提供与本书相配套的教学ppt和授课录像，联系邮箱：724104439@qq.com。

编 者  
2012年3月

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1 电路模型和电路定律 .....         | 1  |
| 1.1 电路和电路模型 .....         | 1  |
| 1.1.1 实际电路 .....          | 1  |
| 1.1.2 电路模型 .....          | 1  |
| 1.2 电流和电压的参考方向 .....      | 2  |
| 1.2.1 电压和电流的实际方向 .....    | 2  |
| 1.2.2 电压和电流的参考方向 .....    | 2  |
| 1.3 电功率和能量 .....          | 3  |
| 1.3.1 功率的定义 .....         | 4  |
| 1.3.2 功率的计算 .....         | 4  |
| 1.4 电路元件 .....            | 5  |
| 1.4.1 电阻元件 .....          | 5  |
| 1.4.2 电容元件 .....          | 6  |
| 1.4.3 电感元件 .....          | 9  |
| 1.5 电压源和电流源 .....         | 11 |
| 1.5.1 电压源的伏安特性 .....      | 12 |
| 1.5.2 电流源的伏安特性 .....      | 12 |
| 1.6 受控电源 .....            | 13 |
| 1.7 基尔霍夫定律 .....          | 14 |
| 1.7.1 基尔霍夫电流定律(KCL) ..... | 15 |
| 1.7.2 基尔霍夫电压定律(KVL) ..... | 16 |
| 1.8 常用电阻元件 .....          | 17 |
| 1.8.1 电阻的分类 .....         | 17 |
| 1.8.2 电阻的主要参数 .....       | 18 |
| 1.8.3 电阻选用常识 .....        | 19 |
| 习题 .....                  | 20 |
| 2 电阻电路的等效变换 .....         | 23 |
| 2.1 引言 .....              | 23 |
| 2.1.1 线性电路 .....          | 23 |
| 2.1.2 直流电路 .....          | 23 |
| 2.2 电路的等效变换 .....         | 23 |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 2.3 电阻的串联和并联 .....                   | 24        |
| 2.3.1 电阻的串联 .....                    | 24        |
| 2.3.2 电阻的并联 .....                    | 25        |
| 2.4 电阻的Y形连接和 $\Delta$ 形连接的等效变换 ..... | 26        |
| 2.4.1 电阻的Y形连接与 $\Delta$ 形连接 .....    | 26        |
| 2.4.2 Y- $\Delta$ 连接的等效变换 .....      | 27        |
| 2.5 电压源、电流源的串联和并联 .....              | 29        |
| 2.5.1 电压源的串并联 .....                  | 29        |
| 2.5.2 电流源的串并联 .....                  | 29        |
| 2.6 实际电源的两种模型及其等效变换 .....            | 30        |
| 2.6.1 实际电压源 .....                    | 30        |
| 2.6.2 实际电流源 .....                    | 30        |
| 2.6.3 电源的等效变换 .....                  | 30        |
| 2.7 输入电阻 .....                       | 33        |
| 2.8 应用实例 .....                       | 33        |
| 2.8.1 用电安全与人体模型 .....                | 33        |
| 2.8.2 电压表和电流表量程扩展 .....              | 34        |
| 习题 .....                             | 36        |
| <b>3 电阻电路的一般分析 .....</b>             | <b>39</b> |
| 3.1 图论初步 .....                       | 39        |
| 3.1.1 “图”的初步概念 .....                 | 39        |
| 3.1.2 利用图确定独立回路 .....                | 40        |
| 3.2 “树”的概念 .....                     | 41        |
| 3.2.1 “树”和“枝” .....                  | 41        |
| 3.2.2 图的平面图和网孔 .....                 | 43        |
| 3.3 支路电流法 .....                      | 44        |
| 3.4 网孔电流法 .....                      | 46        |
| 3.5 回路电流法 .....                      | 48        |
| 3.6 结点电压法 .....                      | 50        |
| 3.7 电阻电路的故障诊断与设计 .....               | 53        |
| 习题 .....                             | 55        |
| <b>4 电路定理 .....</b>                  | <b>58</b> |
| 4.1 叠加定理与齐次定理 .....                  | 58        |
| 4.1.1 叠加定理 .....                     | 58        |
| 4.1.2 齐次定理 .....                     | 61        |
| 4.2 替代定理 .....                       | 63        |
| 4.3 戴维南与诺顿定理 .....                   | 66        |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| 4.3.1 戴维南定理 .....         | 66        |
| 4.3.2 诺顿定理 .....          | 67        |
| 4.4 应用实例 .....            | 68        |
| 习题 .....                  | 70        |
| <b>5 一阶电路 .....</b>       | <b>72</b> |
| 5.1 动态电路的方程及其初始条件 .....   | 72        |
| 5.1.1 过渡过程 .....          | 72        |
| 5.1.2 换路定律 .....          | 72        |
| 5.1.3 初始值的确定 .....        | 73        |
| 5.2 一阶电路的零输入响应 .....      | 76        |
| 5.2.1 RC 串联电路的零输入响应 ..... | 76        |
| 5.2.2 RL 串联电路的零输入响应 ..... | 77        |
| 5.3 一阶电路的零状态响应 .....      | 79        |
| 5.3.1 RC 串联电路的零状态响应 ..... | 79        |
| 5.3.2 RL 串联电路的零状态响应 ..... | 79        |
| 5.4 一阶电路的全响应 .....        | 81        |
| 5.4.1 全响应的两种分解方式 .....    | 81        |
| 5.4.2 三要素法 .....          | 82        |
| 5.5 一阶电路的阶跃响应 .....       | 84        |
| 5.5.1 单位阶跃函数 .....        | 84        |
| 5.5.2 单位阶跃响应 .....        | 84        |
| 5.6 一阶电路的冲激响应 .....       | 86        |
| 5.6.1 单位冲激函数 .....        | 86        |
| 5.6.2 单位冲激响应 .....        | 86        |
| 5.7 应用实例 .....            | 89        |
| 5.7.1 电梯接近开关 .....        | 89        |
| 5.7.2 闪光灯电路 .....         | 90        |
| 5.7.3 汽车自动点火电路分析 .....    | 90        |
| 5.7.4 继电器电路 .....         | 91        |
| 习题 .....                  | 92        |
| <b>6 相量 .....</b>         | <b>94</b> |
| 6.1 复数 .....              | 94        |
| 6.1.1 复数的基本概念 .....       | 94        |
| 6.1.2 复数的直角坐标和极坐标表示 ..... | 96        |
| 6.2 正弦量 .....             | 96        |
| 6.2.1 正弦函数与正弦量 .....      | 96        |
| 6.2.2 正弦量的有效值和相位差 .....   | 97        |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 6.3 相量法基础 .....                         | 98  |
| 6.3.1 相量 .....                          | 98  |
| 6.3.2 同频正弦量的相量运算 .....                  | 99  |
| 6.4 电路定律的相量形式 .....                     | 101 |
| 6.4.1 基尔霍夫定律的相量形式 .....                 | 101 |
| 6.4.2 基本元件 VAR 的相量形式 .....              | 102 |
| 6.5 应用实例 .....                          | 106 |
| 习题 .....                                | 106 |
| 7 正弦稳态电路的分析 .....                       | 108 |
| 7.1 阻抗和导纳 .....                         | 108 |
| 7.1.1 阻抗 .....                          | 108 |
| 7.1.2 导纳 .....                          | 109 |
| 7.2 阻抗(导纳)的串联和并联 .....                  | 110 |
| 7.3 电路的相量图 .....                        | 112 |
| 7.4 正弦稳态电路的分析 .....                     | 113 |
| 7.5 正弦稳态电路的功率 .....                     | 115 |
| 7.5.1 瞬时功率 .....                        | 115 |
| 7.5.2 有功功率和无功功率 .....                   | 115 |
| 7.5.3 视在功率 .....                        | 115 |
| 7.6 复功率 .....                           | 117 |
| 7.7 最大功率传输 .....                        | 119 |
| 7.8 串联电路的谐振 .....                       | 120 |
| 7.8.1 串联谐振电路的谐振特性 .....                 | 121 |
| 7.8.2 串联谐振电路的功率 .....                   | 122 |
| 7.8.3 串联谐振电路的频率特性 .....                 | 122 |
| 7.9 并联谐振电路 .....                        | 123 |
| 7.10 应用实例与电路设计 .....                    | 125 |
| 7.10.1 功率因数(pf)校正及用电费用 .....            | 125 |
| 7.10.2 无线电接收机的调谐电路 .....                | 128 |
| 习题 .....                                | 130 |
| 8 二端口网络 .....                           | 133 |
| 8.1 $z$ 参数与 $y$ 参数网络 .....              | 133 |
| 8.1.1 $z$ 参数网络 .....                    | 134 |
| 8.1.2 $y$ 参数网络 .....                    | 136 |
| 8.2 混合参数( $h$ 参数)网络 .....               | 140 |
| 8.2.1 二端网络的混合型 VAR .....                | 140 |
| 8.2.2 双口网络混合 I 型 VAR 和 $h$ 参数等效电路 ..... | 142 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 8.3 二端口网络的传输 I 型和 II 型矩阵 .....  | 144        |
| 8.3.1 二端口网络的传输 I 型矩阵 .....      | 144        |
| 8.3.2 二端口网络的传输 II 型矩阵 .....     | 145        |
| 8.4 互易双口和互易定理 .....             | 146        |
| 8.5 各参数组间的关系 .....              | 148        |
| 8.6 具有端接的二端口网络 .....            | 150        |
| 8.7 电路设计 .....                  | 152        |
| 8.7.1 阻抗匹配电路设计 .....            | 152        |
| 8.7.2 衰减器电路设计 .....             | 153        |
| 习题 .....                        | 154        |
| <b>9 含有运算放大器的电阻电路 .....</b>     | <b>155</b> |
| 9.1 运算放大器 .....                 | 155        |
| 9.1.1 运算放大器的组成及作用 .....         | 155        |
| 9.1.2 运算放大器的电气特性 .....          | 155        |
| 9.1.3 运算放大器的电路模型 .....          | 156        |
| 9.2 含有运算放大器的电阻电路的分析 .....       | 156        |
| 9.2.1 反相比例器 .....               | 157        |
| 9.2.2 同相比例器 .....               | 157        |
| 9.2.3 加法器 .....                 | 157        |
| 习题 .....                        | 158        |
| <b>10 含有耦合电感的电路 .....</b>       | <b>160</b> |
| 10.1 耦合电感 .....                 | 160        |
| 10.1.1 耦合电感的基本概念 .....          | 160        |
| 10.1.2 耦合电感的伏安关系 .....          | 161        |
| 10.2 耦合电感线圈的串联和并联 .....         | 162        |
| 10.2.1 耦合电感的串联 .....            | 162        |
| 10.2.2 耦合电感的并联 .....            | 163        |
| 10.3 变压器原理 .....                | 164        |
| 10.4 理想变压器 .....                | 166        |
| 习题 .....                        | 168        |
| <b>11 非正弦周期电流电路和信号的频谱 .....</b> | <b>171</b> |
| 11.1 非正弦周期信号 .....              | 171        |
| 11.2 周期函数分解为傅里叶级数 .....         | 172        |
| 11.3 有效值、平均值和平均功率 .....         | 175        |
| 11.3.1 三角函数的性质 .....            | 175        |
| 11.3.2 非正弦周期函数的有效值 .....        | 175        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 11.3.3 非正弦周期函数的平均值 .....    | 176 |
| 11.3.4 非正弦周期交流电路的平均功率 ..... | 176 |
| 11.4 非正弦周期交流电路的计算 .....     | 177 |
| 11.5 信号的频谱 .....            | 182 |
| 11.5.1 信号频谱的由来 .....        | 182 |
| 11.5.2 确知信号的频谱 .....        | 183 |
| 11.5.3 随机信号的频谱 .....        | 188 |
| 11.5.4 信号频谱的应用 .....        | 188 |
| 习题 .....                    | 188 |
| 习题参考答案 .....                | 191 |
| 参考文献 .....                  | 198 |

# 1 电路模型和电路定律

---

## 本章导读

学习“电路分析基础”课程的目的是掌握分析电路的基本规律和基本分析方法。本章从建立电路模型、认识电路变量等基本问题出发，重点讨论理想电源、欧姆定律、基尔霍夫定律等重要概念。

---

## 1.1 电路和电路模型

### 1.1.1 实际电路

为了实现电能的产生、传输及使用，将所需电路元件按一定方式连接，即可构成电路。电路提供了电流流通的路径，电路的功能有：

- (1) 实现电能的产生、传输、分配和转化。例如高电压、大电流的电力电路等。
- (2) 实现电信号的产生、传输、变换和处理。例如低电压、小电流的电子电路及计算机电路、控制电路等。

一个完整的电路包括3个基本组成部分，即：

(1) 电源 (Source)：产生电能或信号的设备，是电路中的信号或能量的来源。利用特殊设备可将其他形式的能量变为电能，如发电机、干电池、光电池等。电源有时又称为“激励”。

(2) 负载 (Load)：消耗电能的器部件，也称用电设备。它能将电能变为其他形式的能量，如电动机、电阻器等。

(3) 电源与负载之间的连接部分：除导线外，还需有控制、保护电源用的开关、熔断器、变压器等。

由激励而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。

为了实现电路的功能，人们将所需的实际元器件或设备按一定的方式连接而构成的电路称为实际电路，如图1-1a所示即为最简单的实际手电筒电路。它由4个部分组成：干电池（电源）、导线（传输线）、开关S（起控制作用）、灯泡（用电器，也称负载）。

### 1.1.2 电路模型

将实际电路加以科学抽象和理想化后得到的电路，称为理想化电路，也称电路模型。实际的电器元件和设备的种类是很多的，如各种电源、电阻器、电感器、电容器、变压

器、晶体管、固体组件等，它们中发生的物理现象是很复杂的。因此，为了便于对实际电路进行分析和数学描述，进一步研究电路的特性和功能，就必须进行科学的抽象，用一些模型代替实际电器元件和设备的外部特性和功能，这种模型即为电路模型，构成电路模型的元件称为模型元件，也称理想电路元件。理想电路元件只是实际电器元件和设备在一定条件下的理想化模型，它能反映实际电器元件和设备在一定条件下的主要电磁性能，并用规定的模型元件符号来表示。如图 1-1a 所示的实际手电筒电路，即可用图 1-1b 所示的电路模型代替。其中电压  $U_s$  和电阻  $R_s$  的串联组合即为干电池的模型，S 为开关的模型，电阻  $R_L$  为电灯的模式。

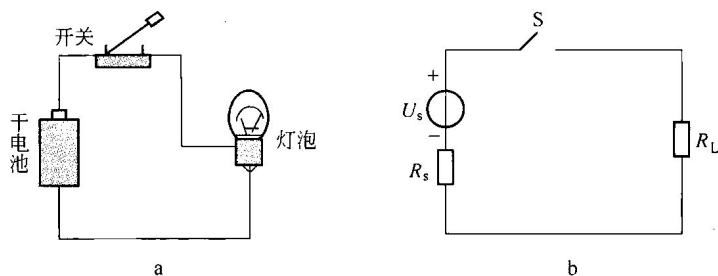


图 1-1 实际电路与电路模型

a—实际电路；b—电路模型

本书此后章节所说的电路一般均指由理想元件构成的抽象电路或电路模型，而非实际电路。

## 1.2 电流和电压的参考方向

电路中涉及的基本物理量有电荷、电流、电位、电压等。它们的定义、计量单位在物理学中已经叙述，这里只讨论电流和电压的方向问题。

### 1.2.1 电压和电流的实际方向

#### 1.2.1.1 电流的实际方向

电流定义为：电荷（包括正电荷与负电荷）的定向移动。习惯上，规定正电荷定向移动的方向为电流的实际方向（或者负电荷定向移动的反方向为电流的实际方向）。

#### 1.2.1.2 电压的实际方向

电压定义为：电场中  $a$ 、 $b$  两点之间的电位差称为  $a$ 、 $b$  两点之间的电压。人们已经取得共识，把实际电位高的点标为“+”极，把实际电位低的点标为“-”极，“+”极指向“-”极的方向就是电压的实际方向。

### 1.2.2 电压和电流的参考方向

#### 1.2.2.1 电流的参考方向

电流的参考正方向简称参考方向。电路中电流的实际方向在人们对电路未进行分析计

算之前是不知道的, 因此为了方便对电路进行分析计算和列写电路方程, 就需要对电流设定一个参考正方向, 简称参考方向, 如图 1-2 所示, 电路中电流  $i(t)$  的方向就是参考方向 (不一定就是电流  $i$  的实际方向)。若所求得的  $i(t) > 0$ , 就说明电流  $i(t)$  的实际方向与参考方向一致; 若所求得的  $i(t) < 0$ , 就说明  $i(t)$  的实际方向与参考方向相反。可见, 电流  $i(t)$  是一个标量。电路中电流的参考方向是任意规定的。

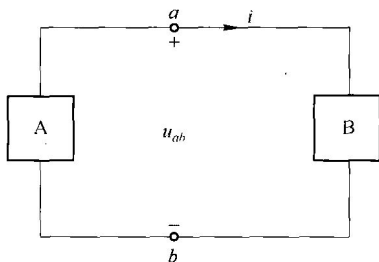


图 1-2 电流的参考方向和电压的参考方向

#### 1.2.2.2 电压的参考方向

电压的参考“+”、“-”极性简称为电压的参考极性, 两点之间的电压参考方向可以用“+”、“-”表示, “+”极指向“-”极的方向就是电压的参考方向。电路中电压的实际“+”、“-”极性, 在人们对电路未进行分析计算之前是未知的, 同样为了方便对电路进行分析计算和列写电路方程, 也要对电压设定一个参考“+”、“-”极性。如图 1-2 所示电路中电压  $u_{ab}$  的“+”、“-”极性就是参考极性 (不一定就是电压  $u_{ab}$  的实际“+”、“-”极性)。若所求得的  $a$ 、 $b$  两点间电压  $u_{ab} > 0$ , 就说明  $a$  点的实际电位高于  $b$  点的实际电位; 若  $u_{ab} < 0$ , 就说明  $a$  点的实际电位低于  $b$  点的实际电位; 若  $u_{ab} = 0$ , 则说明  $a$ 、 $b$  两点的实际电位相等。电压的参考极性也是任意设定的。

如前所述, 支路电流的参考方向与支路电压的参考方向是可以任意选定的, 元件上电压、电流参考方向设定的不同, 会影响到计算结果的正负号。但为了分析上的便利, 常常将同一支路的电流与电压的参考方向选为一致, 例如可选电流的参考方向为由电压参考极性的“+”端指向“-”端, 电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向; 当两者不一致时, 称为非关联参考方向。这个概念非常重要, 在大多数情况下, 支路的电流与电压是否为关联参考方向将影响到支路的伏安特性, 这一点以后会逐步介绍。当电压与电流为关联参考方向时, 可以只标出一个变量的参考方向, 如图 1-3a 所示, 非关联参考方向时必须全部标出, 如图 1-3b 所示。

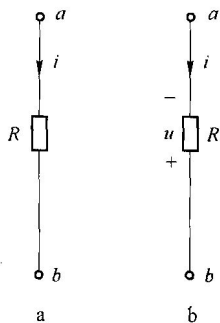


图 1-3 电压与电流  
关联参考方向

### 1.3 电功率和能量

在电路的分析与计算中, 研究能量的分配和交换是很重要内容之一, 特别是功率, 它

可以直接反映出支路的能量变化情况。用  $w$  表示能量，用  $p$  表示功率。

### 1.3.1 功率的定义

单位时间内电路所吸收的电能，称作这部分电路吸收的功率。

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-1)$$

式 (1-1) 可理解为功率是能量对时间的变化率，若随着时间的变化能量是增加的，则功率是正的，表示电路吸收（或消耗）能量，例如电阻支路；若随着时间的变化能量是减少的，则功率是负的，表示电路供出（或产生）能量，例如电源支路。

### 1.3.2 功率的计算

由定义式 (1-1) 可知：

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i \quad (1-2)$$

从式 (1-2) 可知，功率可以用电流与电压的乘积来计算，即当支路的电流与电压的参考方向为关联参考方向时，电流与电压的乘积就是此支路吸收的功率。计算结果为正时，说明支路吸收功率；计算结果为负时，说明支路发出功率。这种讨论方式完全符合功率的定义，并且便于理解和记忆。需要说明的是，有的书上有不同的讨论方式，但其实质是一样的。当支路的电流与电压为非关联参考方向时，计算公式要加负号。

$$p = -ui \quad (1-3)$$

利用式 (1-3) 计算功率时，结果为正时，则表示吸收功率；结果为负时，表示发出功率。在国际单位制中，电压的单位为伏 (V)，电流的单位为安 (A)，功率的单位为瓦特，简称瓦 (W)。

【例 1-1】(1) 在图 1-4 中，若电流均为 2A，且均由  $a$  流向  $b$ ，已知  $u_1 = 1V$ ， $u_2 = -1V$ ，求该元件的吸收或发出功率。

(2) 在图 1-4b 中，若元件发出的功率为 4W， $u_2 = -1V$ ，求电流。

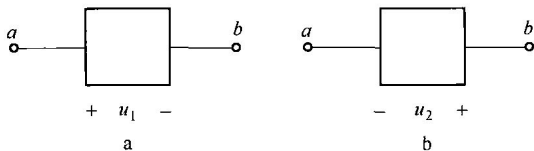


图 1-4 例 1-1 的图

解：(1) 设电流  $i$  的参考方向由  $a$  指向  $b$ ，则：

$$i = 2A$$

对图 1-4a 所示元件来说，电压、电流为关联参考方向，故：

$$p = u_1 i = 1 \times 2 = 2W$$

即吸收功率为 2W。

对图 1-4b 所示元件来说，电压、电流为非关联参考方向，故：

$$p = -u_2 i = -(-1) \times 2 = 2W$$

即吸收功率为 2W。

(2) 设电流的参考方向由  $a$  指向  $b$ ，则：

$$p = -u_2 i = -4\text{W}$$

因发出功率为 4W，故  $p$  为 -4W，由此可得：

$$i = \frac{4}{u_2} = \frac{4}{-1} = -4\text{A}$$

负号表明电流的实际方向是由  $b$  指向  $a$ 。

## 1.4 电路元件

电路元件是电路中基本的组成单元，电路元件通过其端子与外部相连接，元件的特性则通过与端子有关的物理量描述。

### 1.4.1 电阻元件

#### 1.4.1.1 电阻的伏安特性

电阻元件（简称电阻）是从实际电阻器抽象出来的模型。线性电阻的电路符号如图 1-5a 所示，在电阻中的电流与其两端的电压的真实方向总是一致的，在电压、电流为关联参考方向条件下，其伏安关系用欧姆定律来描述，即：

$$R = \frac{u}{i} \text{ 或 } u = R \cdot i \quad (1-4)$$

式中，电阻值  $R$  为一正常数，与流经本身的电流及两端电压无关。伏安关系可由图 1-5b 表示，在伏安平面上是通过坐标原点的一条直线，并位于第一、三象限。或者说满足式 (1-4) 欧姆定律关系的电阻元件称为线性电阻。

线性电阻也可以用另一个电路参数“电导”来表示，其符号为  $G$ 。 $G$  与  $R$  呈倒数关系，如式 (1-5) 所示，线性电导也是一常数。

$$G = \frac{i}{u} = \frac{1}{R} \quad (1-5)$$

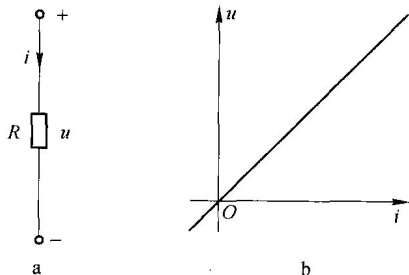


图 1-5 线性电阻的电路符号和伏安关系

a—电路符号；b—伏安关系

#### 1.4.1.2 电阻的单位

在国际单位制中，电压的单位为伏（V），电流的单位为安（A），电阻的单位为欧

姆, 用符号  $\Omega$  表示。

$$1\Omega = 1\text{V/A}$$

电导  $G$  的单位为西门子, 用符号  $S$  表示。

#### 1.4.1.3 电阻的功率

电阻是消耗能量的, 式 (1-4) 说明: 当电压一定时, 电阻越大电流越小, 电阻体现了对电流的阻力。既然电阻对电流有阻力, 电流通过电阻时就要消耗能量, 线性电阻的功率为:

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-6)$$

在式 (1-6) 中,  $i^2$  (或  $u^2$ ) 总为正, 电阻元件的阻值是正的常量, 所以电阻吸收的功率总为正值, 说明电阻总是消耗电能, 电阻是一种耗能元件, 这是电阻的重要特性。利用电阻消耗电能并转化成热能的性能可制作成各种电热器。换句话说, 电阻表征了电路部件消耗电能的特性, 除了实际电阻以外, 它可以是电灯、烙铁、电动机等部件的理想电路模型。

#### 1.4.1.4 电阻的即时性

电阻元件的另一个重要特性是在任一时刻电阻两端的电压是由此时电阻中的电流所决定的, 而与过去的电流值无关; 反之, 电阻中的电流是由此时电阻两端电压所决定的, 而与过去的电压值无关。从这个意义上讲, 电阻是一种无记忆元件, 就是说电阻不能记忆过去的电流 (或电压) 在历史上所起的作用。

#### 1.4.1.5 非线性电阻

实际上电阻元件也是某些电子器件的理想电路模型, 例如半导体二极管, 它的伏安关系就不再是通过坐标原点的直线, 而是曲线, 称此器件为非线性电阻。非线性电阻的阻值不是常量, 而是随着电压或电流的大小、方向而改变, 所以不能再用一个常数来表示, 也不能用式 (1-4) 的欧姆定律来定义它。

本书主要讨论线性电路的知识, 为了叙述方便, 简称线性电阻元件为电阻。

#### 1.4.1.6 电阻的一般性定义

基于电阻的以上特性, 给电阻元件定义如下: 如果一个二端元件在任一瞬间  $t$ , 其电压  $u(t)$  和电流  $i(t)$  两者之间的关系由  $u-i$  平面 (或  $i-u$  平面) 上一条曲线所决定, 则此二端元件称为电阻元件。此曲线就是电阻的伏安特性曲线。

### 1.4.2 电容元件

两块金属极板中间放入介质就构成一个简单的电容器。当接通电源后两块极板上聚集了数量相等、符号相反的电荷, 在极板之间就形成了电场。所以电容器是一种能储存电荷的器件, 它具有储存电场能量的性能, 这是它主要的物理特性。如果不考虑电容器的热效应和磁场效应, 则它就抽象为电容元件。电容元件是实际电容的理想电路模型, 或者说电容元件是用来表征储存电场能量的电路模型。

#### 1.4.2.1 电容元件的定义

一个电容元件, 其电路符号如图 1-6a 所示, 如果其特性曲线为  $q-u$  平面上经过坐

标原点且在第一、三象限的一条直线，其斜率不随电荷或电压而变，如图 1-6b 所示，则称该电容元件为线性电容，即：

$$C = \frac{q}{u} \text{ 或 } q = Cu \quad (1-7)$$

式中， $C$  为正常数，称电容量（简称电容），习惯上称电容元件为电容。

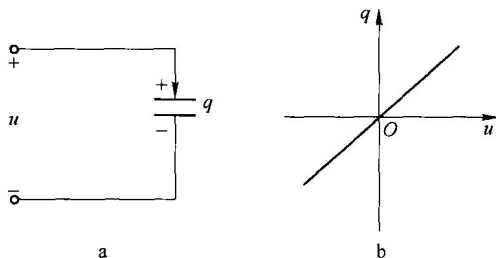


图 1-6 线性电容的电路符号及特性曲线

a—电路符号；b—特性曲线

#### 1.4.2.2 电容的单位

在国际单位制中，电容  $C$  的单位为法拉（简称法，用符号 F 表示）。此时电荷的单位为库仑（Q），电压的单位为伏特（V），即：

$$1 \text{ 法拉 (F)} = \frac{1 \text{ 库仑 (Q)}}{1 \text{ 伏特 (V)}}$$

但法拉这个单位对于实际电容太大了，常用的单位是微法（ $\mu\text{F}$ ）和皮法（pF）：

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

#### 1.4.2.3 电容的伏安特性

虽然电容是根据  $q-u$  关系定义的，但在电路中常用的变量是电压和电流，即我们感兴趣的是电容元件的伏安关系，由电流定义  $i = dq/dt$  和电容的定义  $C = q/u$  可推出电容元件的伏安关系：

$$i_c = \frac{dq}{dt} = \frac{dCu_c}{dt} = C \frac{du_c}{dt} \quad (1-8)$$

图 1-6a 中，因为当  $i_c > 0$  时，正电荷被输送到上面极板，称为电容被充电，电压是增加的，所以当电压与电流为关联参考方向时，电容的伏安关系如式（1-8）所示。若电压与电流为非关联方向时，电容的伏安关系要加一个负号。即：

$$i_c = -C \frac{du_c}{dt} \quad (1-9)$$

电容的伏安关系表明通过电容的电流与其两端电压的变化率成正比，若电压稳定不变，其电流必为零。例如当电容充电结束后，电容电压虽然达到某定值  $U_0$ ，但其电流却为零。这和电阻元件有本质的不同，电阻两端只要有电压存在，电阻中的电流就一定不为零。电容的伏安关系还表明，在任何时刻如果通过电容的电流为有限值，那么电容上电压就不能突变；反之，如果电容上电压发生突变，则通过电容的电流将为无限大。