

# 电工学

## 学习辅导

苗松池 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



# 电工学

## 学习辅导

编著 苗松池  
主审 张文生



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书是依据作者多年教授电工学课程的经验编写而成,可作为唐介主编的《电工学(少学时)》(3版,高等教育出版社,2009)一书的教学参考书。本书共分14章,主要辅导内容有直流电路、电路的瞬态分析、交流电路、三相电路、变压器、电动机、电气自动控制、直流稳压电源、基本放大电路、集成运算放大器、电力电子技术、组合逻辑电路、时序逻辑电路、模拟信号与数字信号的相互转换。书中明确指出了各章节的重点和难点内容;例题不仅有解题步骤,还有解题思路 and 关键点分析。随书附赠光盘,内容是作者专门为本书配套录制的教学录像,学生可利用计算机、手机、MP4等播放和学习。本书内容与教学录像相对应,便于预习和复习使用。

本书可供高等院校相关专业的师生和参加函授课程的学员使用,也可供相关工程技术人员参考阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工学学习辅导/苗松池编著. —北京:中国电力出版社, 2010.9

ISBN 978-7-5123-0595-3

I. ①电… II. ①苗… III. ①电工学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第119657号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2010年9月第一版 2010年9月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13.25印张 318千字

定价 24.00元(含1DVD)

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



# 前言

走进信息时代，人们手中的电子产品越来越多，计算机、手机和 MP4 等在学生中也较为常见，作者希望能充分利用这些电子产品来提高学生的学习效率，特编写了本书。本书通过教案加教学录像的模式把教学课堂搬到计算机、手机和 MP4 等播放工具中。对电工学课程某处概念或公式等记忆不清或有疑问时，可随时打开身边的计算机或手机等翻阅教学录像，如同身临课堂，如同老师就在身边答疑解惑，可以加深对问题的认识。本书中带星号“\*”的内容属于选学内容，未作介绍的部分请参阅唐介主编的《电工学（少学时）》（3 版，高等教育出版社，2009）一书相关内容。

本书承蒙东北电力大学电气工程学院张文生教授认真、仔细地审阅，并提出修改意见，在此表示衷心感谢！

作者花费了大量时间来编写本书和录制教学录像，力求做到尽善尽美，但由于能力和水平有限，书中和光盘中的疏漏和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

**编者**

2010 年 9 月于山东建筑大学



## 目 录

## 前言

|                    |    |
|--------------------|----|
| <b>第1章 直流电路</b>    | 1  |
| 1.1 电路的作用和组成       | 1  |
| 1.2 电路的基本物理量       | 1  |
| 1.3 电路的状态          | 5  |
| 1.4 电路中的参考方向       | 5  |
| 1.5 理想电路元件         | 6  |
| 1.6 基尔霍夫定律         | 9  |
| 1.7 支路电流法          | 11 |
| 1.8 叠加原理           | 12 |
| 1.9 等效电源定理         | 15 |
| <b>第2章 电路的瞬态分析</b> | 20 |
| 2.1 瞬态分析的基本概念      | 20 |
| 2.2 储能元件           | 21 |
| 2.3 换路定律           | 22 |
| 2.4 RC 电路的瞬态分析     | 24 |
| 2.5 RL 电路的瞬态分析     | 28 |
| 2.6 一阶电路的三要素法      | 32 |
| <b>第3章 交流电路</b>    | 33 |
| 3.1 正弦交流电的基本概念     | 33 |
| 3.2 正弦交流电的相量表示法    | 35 |
| 3.3 单一参数交流电路       | 37 |
| 3.4 串联交流电路         | 43 |
| 3.5 阻抗并联交流电路       | 46 |
| 3.6 交流电路的功率        | 47 |
| 3.7 电路的功率因数        | 49 |
| * 3.8 电路中的谐振       | 51 |
| <b>第4章 三相电路</b>    | 55 |
| 4.1 三相电源           | 55 |
| 4.2 三相负载           | 58 |
| 4.3 三相功率           | 60 |
| * 4.4 电力系统         | 62 |
| 4.5 触电事故           | 62 |
| 4.6 触电防护           | 63 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| <b>第 5 章 变压器</b>    | 66  |
| 5.1 磁路              | 66  |
| 5.2 电磁铁             | 68  |
| 5.3 变压器的工作原理        | 71  |
| 5.4 变压器的基本结构        | 74  |
| 5.5 三相变压器           | 75  |
| <b>第 6 章 电动机</b>    | 76  |
| 6.1 电机概述            | 76  |
| 6.2 三相异步电动机的工作原理    | 76  |
| 6.3 三相异步电动机的基本结构    | 81  |
| 6.4 三相异步电动机的铭牌数据    | 82  |
| 6.5 三相异步电动机的机械特性    | 84  |
| 6.6 三相异步电动机的起动      | 87  |
| 6.7 三相异步电动机的调速      | 91  |
| <b>第 7 章 电气自动控制</b> | 92  |
| 7.1 手动控制            | 92  |
| 7.2 起停自动控制          | 93  |
| 7.3 正反转控制           | 97  |
| 7.4 顺序联锁控制          | 98  |
| 7.5 行程控制            | 99  |
| 7.6 时间控制            | 101 |
| <b>第 8 章 直流稳压电源</b> | 103 |
| 8.1 半导体的基础知识        | 103 |
| 8.2 半导体二极管          | 105 |
| 8.3 直流稳压电源的组成       | 107 |
| 8.4 整流电路            | 108 |
| 8.5 滤波电路            | 111 |
| 8.6 稳压电路            | 114 |
| <b>第 9 章 基本放大电路</b> | 118 |
| 9.1 双极型晶体管          | 118 |
| 9.2 放大电路的工作原理       | 123 |
| 9.3 放大电路的静态分析       | 125 |
| 9.4 放大电路的动态分析       | 129 |
| 9.5 双极型晶体管基本放大电路    | 134 |
| 9.6 场效晶体管           | 140 |
| * 9.7 场效晶体管基本放大电路   | 142 |
| 9.8 多级放大电路          | 142 |
| 9.9 差分放大电路          | 144 |
| 9.10 功率放大电路         | 146 |



|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第 10 章 集成运算放大器</b>        | 150 |
| 10.1 集成电路                    | 150 |
| 10.2 集成运算放大器概述               | 150 |
| 10.3 反馈的基本概念                 | 152 |
| 10.4 理想运算放大器                 | 156 |
| 10.5 基本运算电路                  | 156 |
| 10.6 电压比较器                   | 162 |
| <b>第 11 章 电力电子技术</b>         | 163 |
| 11.1 晶闸管                     | 163 |
| 11.2 可控整流电路                  | 164 |
| <b>第 12 章 组合逻辑电路</b>         | 168 |
| 12.1 集成基本门电路                 | 168 |
| 12.2 复合门电路                   | 170 |
| 12.3 组合逻辑电路分析                | 174 |
| 12.4 组合逻辑电路的设计               | 177 |
| 12.5 编码器                     | 179 |
| 12.6 译码器                     | 181 |
| <b>第 13 章 时序逻辑电路</b>         | 184 |
| 13.1 基本双稳态触发器                | 184 |
| 13.2 钟控双稳态触发器                | 186 |
| 13.3 寄存器                     | 191 |
| 13.4 计数器                     | 194 |
| <b>第 14 章 模拟信号与数字信号的相互转换</b> | 198 |
| 14.1 数模转换器                   | 198 |
| 14.2 模数转换器                   | 200 |
| <b>参考文献</b>                  | 203 |

# 直 流 电 路

**本章导学：**本章首先复习物理学中学过的关于电路的基本知识，然后介绍电路的基本定理、基本分析计算方法。本章是电工学课程的基础，必须很好地掌握。

## 1.1 电路的作用和组成

(1) 电路的定义。电路是电流的流通过径。

(2) 电路的作用。电路的作用主要有两个：①能量的输送与转换，例如电力系统；②信号的传递与处理，例如通信系统。

(3) 电路的组成。电路由电源、导线、负载等组成。

(4) 网络。对电路的另一种称呼，可以指简单的电路，也可以指复杂的电路。

1) 二端网络：电路有两个端钮与外部连接。

2) 三端网络：电路有三个端钮与外部连接。

3) 有源网络：网络内部含有电源。

4) 无源网络：网络内部不含有电源。

(5) 系统。指一个完整电路。

(6) 子系统。指一个具有某种功能的电路。

## 1.2 电路的基本物理量

**本节导学：**本节的主要内容是复习电流、电压、电动势、电位、功率、功等基本物理量。学习时应注意这些物理量的标示方法。本节的难点是电位的概念和电源的简化画法。

### 一、电流

(1) 定义：电流的大小，等于单位时间内通过某一横截面的电荷量。

(2) 表达式

$$i = \frac{dq}{dt}$$

在直流电路中表达式为



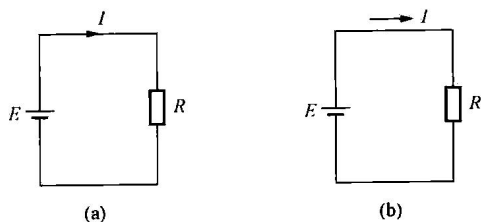


图 1-1 电流的标示法

(a) 电流的标示法; (b) 电流的旧标示法

$$I = \frac{Q}{t}$$

符号规定: 直流电流用大写字母  $I$  表示, 交流电流用小写字母  $i$  表示。

(3) 电流的单位: A (安培)。

(4) 电流在电路中的标示方法: 画在电路中, 如图 1-1 所示。

(5) 电流的方向: 规定为正电荷运动的方向。

## 二、电压

(1) 定义: 把单位正电荷从某一点移动到另一点, 电场力所做的功, 称为两点之间的电压。

电压用字母  $u$ 、 $U$  来表示。

(2) 表达式

$$u = \frac{dw}{dq}$$

在直流电路中表达式为

$$U = \frac{W}{Q}$$

(3) 电压的单位: V (伏特)。

(4) 电压在电路中的标示方法: 用正号 “+” 负号 “-” 标示, 如图 1-2 所示。

(5) 电压的方向: 从高电位指向低电位。

## 三、电动势

(1) 定义: 把单位正电荷从电源的负极移动到正极, 外力克服电场力所做的功, 称为电源的电动势。电动势用字母  $E$  表示。

(2) 电动势的标示方法: 用箭头标示, 如图 1-3 所示。图 1-3 (a) 中电源的符号可用于表示直流电源, 也可用于表示电池。图 1-3 (b) 中电源的符号是一般直流电源的符号。

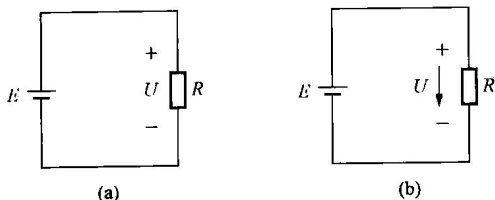


图 1-2 电压的标示法

(a) 电压的标示法; (b) 电压的旧标示法

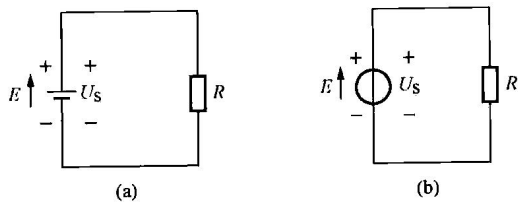


图 1-3 电动势的标示法

(3) 电动势的方向: 从电源的负极指向正极。

(4) 电动势的单位: 电动势的单位也是 V (伏特)。

(5) 直流电源的简化标示法, 如图 1-4 所示。

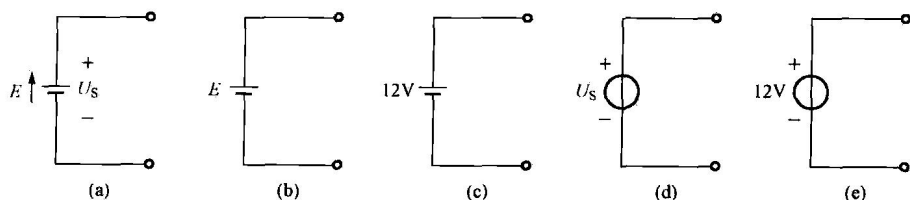


图 1-4 直流电压源的简化标示法

#### 四、电位

##### 1. 定义

电路中某点的电位等于该点与参考点之间的电压。电位用字母  $V$  表示。

**例 1.2.1** 电路如图 1-5 所示，按定义求电位。

**解** 设  $d$  点为参考点，参考点的电位等于零， $V_d = 0$ 。

$$V_a = U_{ad} = 140\text{V}$$

$$V_b = U_{bd} = R_3 I_3 = 6 \times 10 = 60(\text{V})$$

$$V_c = U_{cd} = 90\text{V}$$

##### 2. 电压与电位的关系

两点间的电压等于两点的电位差。例 1.2.1 中  $a$ 、 $b$  两点间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b = 140\text{V} - 60\text{V} = 80\text{V}$$

##### 3. 某点电位高低与参考点的选择有关

例 1.2.1 中若选  $b$  点为参考点（见图 1-6），则各点的电位为

$$V_b = 0(\text{V})$$

$$V_a = U_{ab} = R_1 I_1 = 20 \times 4 = 80(\text{V})$$

$$V_c = U_{cb} = R_2 I_2 = 5 \times 6 = 30(\text{V})$$

$$V_d = U_{db} = -R_3 I_3 = -6 \times 10 = -60(\text{V})$$

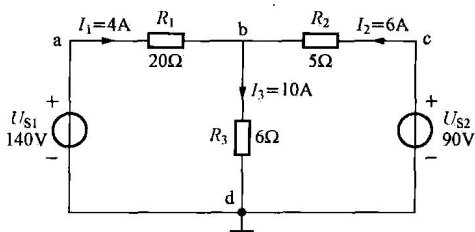


图 1-5 例 1.2.1 的电路

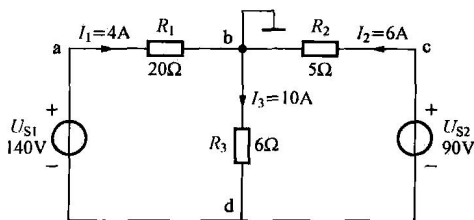


图 1-6 电位的求法

##### 4. 接地的概念

电力系统中的保护接地是通过接地体直接接大地。电子设备中的接地符号表示电路的公共端，或  $0\text{V}$  的参考点，不一定接大地。接地符号如图 1-7 所示。

##### 5. 电源的简化画法

在电子电路中经常只标出电源电压的大小和正负，不画出电源的符号，即用电位表示。图 1-8 (a) 可采用图 1-8 (b)、图 1-8 (c)



图 1-7 接地符号

(a) 电力系统的接地符号；  
(b) 电子设备中的接地符号

和图 1-8 (d) 所示的简化画法。

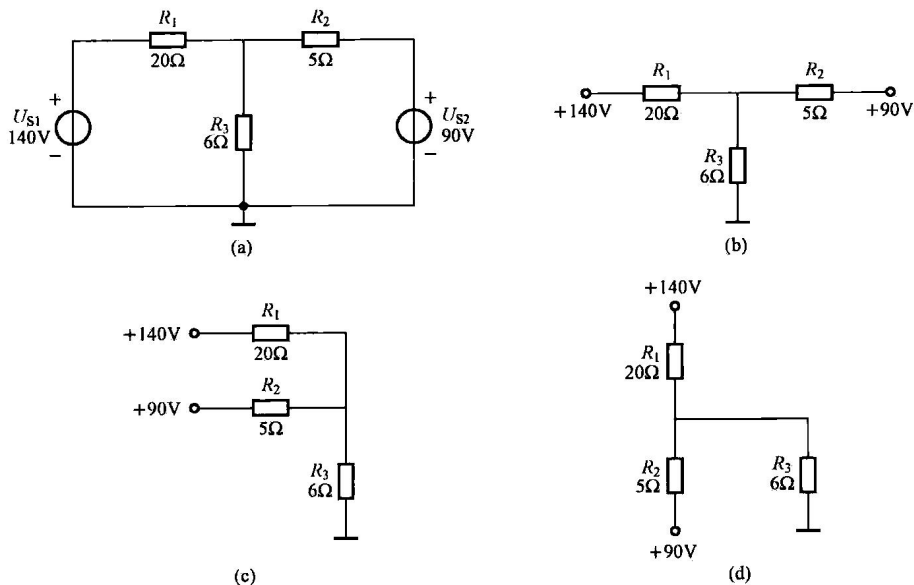


图 1-8 电源的简化画法

## 五、功率

(1) 定义：把单位时间内电场力所做的功称为电功率。

(2) 表达式

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui$$

在直流电路中表达式为

$$P = UI$$

(3) 功率的单位：W（瓦特）。

(4) 功率平衡：指电源产生的功率等于负载消耗的功率、线路损耗的功率和电源内电阻上消耗的功率。有多个电源工作时，所有电源发出功率之和等于所有负载消耗的功率之和。

## 六、电能

(1) 定义：电能就等于电场力所做的功。

(2) 表达式

$$W = Pt$$

(3) 单位：电能的单位是 J（焦耳）。在电工技术中，常用 kW·h（千瓦·时）作单位。  
1 度电 = 1kW·h = 3.6 × 10<sup>6</sup> J

## 七、国际单位制

国际单位制中的基本单位是：A（安培）、V（伏特）、Ω（欧姆）、W（瓦特）、s（秒）、m（米）等。国际单位制中的辅助单位是在基本单位的基础上加词头组成，例如 mA（毫安）、μA（微安）等。部分国际单位制中的词头及意义见表 1-1。

表 1-1 部分国际单位制中的词头及意义

| 词头原文(法) | 中文名称 | 符号 | 含义        | 词头原文(法) | 中文名称 | 符号    | 含义         |
|---------|------|----|-----------|---------|------|-------|------------|
| giga    | 吉    | G  | $10^9$    | micro   | 微    | $\mu$ | $10^{-6}$  |
| mega    | 兆    | M  | $10^6$    | nano    | 纳    | n     | $10^{-9}$  |
| kilo    | 千    | k  | $10^3$    | pico    | 皮    | p     | $10^{-12}$ |
| milli   | 毫    | m  | $10^{-3}$ |         |      |       |            |

在解题时应注意,公式中各物理量都采用基本单位时,得到的结果也是基本单位。例如式  $U=RI$  中,  $10\text{V}=5\Omega\times 2\text{A}$ 。式  $\tau=RC$  中,  $10\text{s}=5\Omega\times 2\text{F}$ 。

### 1.3 电路的状态

**本节导学:** 电路的三种工作状态是通路、开路和短路。电路的三种工作状态很简单,但理论联系实际较难。

(1) 通路: 是电源与负载接通的状态。通路时,电源向负载输出功率。电气设备额定值用于表示该设备的工作条件和工作能力,若实际值超出额定值会造成电气设备的损坏,若实际值低于额定值也会造成某些电气设备的损坏。

(2) 开路: 也叫断路状态,开路处电流为零,电压不为零。

(3) 短路: 短路处电压为零,电流不为零。电源短路是一种严重故障状态,会因电流过大,线路和设备过热引发火灾。

**例 1.3.1** 电路如图 1-9 所示,试判断电路的工作状态。

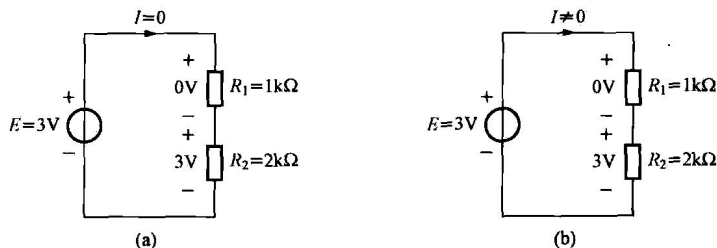


图 1-9 开路与短路的判别

**解** 图 1-9 (a) 中  $R_2$  开路,图 1-9 (b) 中  $R_1$  短路。

图 1-9 中的两个电路对于分析二极管和晶体三极管的应用电路很有帮助,必须熟练掌握。

**[分析与思考]** 负载的大小与负载电阻和电流的关系。

**答** 负载电阻增大时,称负载减小;负载电阻减小时,称负载增大。负载电流增大时,称负载增大;负载电流减小时,称负载减小。

### 1.4 电路中的参考方向

**本节导学:** 为了分析计算复杂电路引入了电压、电流的参考方向的概念。引入参考方向后,电压、电流、功率就有了正负之分,电压与电流还有关联参考方向的问题。



### 1. 参考方向的意义

参考方向是为进行电路计算而假设的电压或电流的正方向。

### 2. 负载上电压与电流的参考方向

负载上电压与电流的参考方向一致（称关联参考方向）时，电流从高电位端流向低电位端，如图 1-10 (a) 所示。这时，欧姆定律形式为  $U=RI$ ，功率的计算公式是  $P=UI$ 。

负载上电压与电流的参考方向不一致（称非关联参考方向）时，电流从低电位端流向高电位端，如图 1-10 (b) 所示。这时，欧姆定律的形式是  $U=-RI$ ，功率的计算公式是  $P=-UI$ 。

### 3. 电源上电压与电流的参考方向

电源上电压与电流的参考方向一致（称关联参考方向）时，电流从低电位端流向高电位端，如图 1-11 (a) 所示。电源输出的功率为  $P=UI$ 。若功率  $P=UI>0$ ，电源输出功率；若功率  $P=UI<0$ ，电源取用功率。

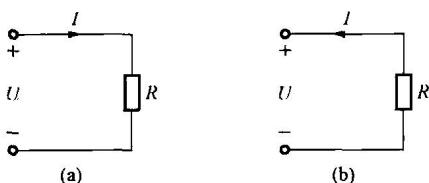


图 1-10 负载上电压与电流的参考方向

(a) 参考方向一致；(b) 参考方向不一致

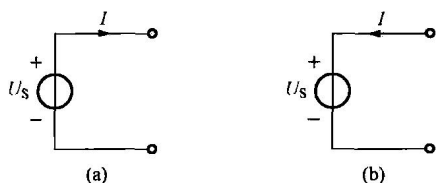


图 1-11 电源上电压与电流的参考方向

(a) 参考方向一致；(b) 参考方向不一致

电源上电压与电流的参考方向不一致（称非关联参考方向）时，电流从高电位端流向低电位端，如图 1-11 (b) 所示。电源输出的功率为  $P=-UI$ 。若功率  $P=-UI>0$ ，电源输出功率；若功率  $P=-UI<0$ ，电源取用功率。

## 1.5 理想电路元件

**本节导学：**本节介绍了理想电压源、理想电流源、实际电压源与实际电流源的特点，以及它们之间相互串联、并联时的特点。

- (1) 理想电路元件：指具有某一物理性质的电路元件。
- (2) 实际电路元件：都具有几种物理性质，分主要和次要性质。
- (3) 电路模型：指由理想电路元件构成的电路。
- (4) 有源元件：指内部含有电源的电路元件，例如电压源和电流源。
- (5) 无源元件：指内部不含有电源的电路元件，例如电阻、电感、电容。

### 一、理想电压源

- (1) 图形符号如图 1-12 (a) 所示。
- (2) 伏安特性曲线如图 1-12 (b) 所示，公式如下

$$U = U_s$$

- (3) 特点：不论负载大小，输出电压不变，输出电流随负载变化，输出功率可达无限大。
- (4) 理想电压源不允许短路。

## 二、理想电流源

(1) 图形符号如图 1-13 (a) 所示。

(2) 伏安特性曲线如图 1-13 (b) 所示, 公式如下

$$I = I_S$$

(3) 特点: 不论负载大小, 输出电流不变, 输出电压随负载变化, 输出功率可达无限大。

(4) 理想电流源不允许开路。

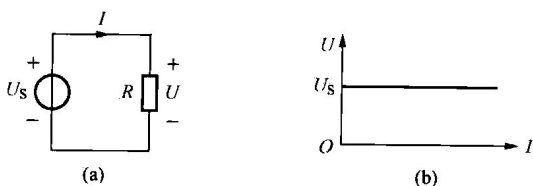


图 1-12 理想电压源

(a) 电路图; (b) 伏安特性曲线

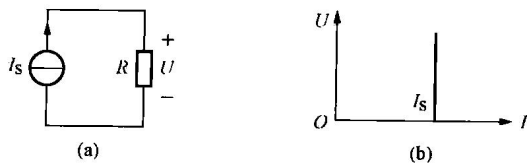


图 1-13 理想电流源

(a) 电路图; (b) 伏安特性曲线

## 三、实际电压源

(1) 组成: 由理想电压源和内电阻串联组成, 如图 1-14 (a) 所示。

(2) 伏安特性曲线如图 1-14 (b) 所示, 公式如下

$$U = U_S - R_0 I$$

实际电压源的开路电压  $U_{OC} = U_S$ , 短路电流为  $I_{SC} = \frac{U_S}{R_0}$ 。

## 四、实际电流源

(1) 组成: 由理想电流源和内电阻并联组成, 如图 1-15 (a) 所示。

(2) 伏安特性曲线如图 1-15 (b) 所示, 公式如下

$$I = I_S - \frac{U}{R_0}$$

实际电流源的短路电流  $I_{SC} = I_S$ , 开路电压  $U_{OC} = R_0 I_S$ 。

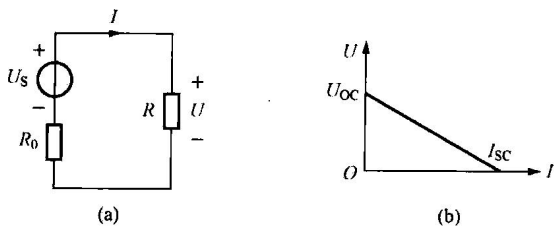


图 1-14 实际电压源

(a) 电路图; (b) 伏安特性曲线

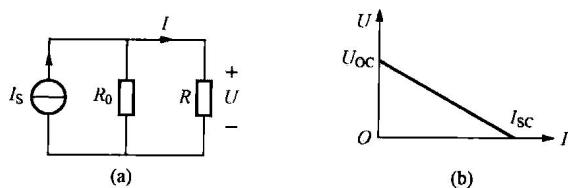


图 1-15 实际电流源

(a) 电路图; (b) 伏安特性曲线

## 五、理想电压源与理想电流源的串、并联

### 1. 电压源与电流源串联

电压源与电流源串联时, 电压源和电流源通过的电流都等于电流源的电流。电压源两端的电压不变, 电流源两端的电压由外部电路决定。在图 1-16 所示的电路中

$$I_{U_S} = -I_S = -2(\text{A})$$

$$U_{I_S} = U_S + R_2 I_S = 3 + 2 \times 2 = 7(\text{V})$$

## 2. 电压源与电流源并联

电压源与电流源并联时，电压源和电流源两端的电压都等于电压源的电压。电流源的电流不变，电压源通过的电流由外部电路决定，在图 1-17 所示的电路中

$$U_{I_S} = U_S = 3(\text{V})$$

$$I_{U_S} = I_1 - I_S = \frac{U_S}{R_1} - I_S = \frac{3}{1} - 2 = 1(\text{A})$$

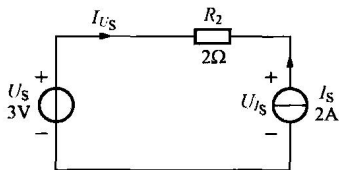


图 1-16 电压源与电流源的串联

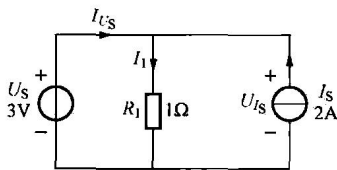


图 1-17 电压源与电流源的并联

## 六、理想电压源、理想电流源与电阻的串并联

下面通过例子来说明理想电压源、理想电流源与电阻串并联电路的特点。

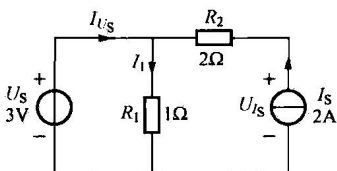


图 1-18 电压源、电流源  
与电阻串并联

**例 1.5.1** 电压源、电流源与电阻串并联的电路如图 1-18 所示。求：(1) 电压源通过的电流  $I_{U_S}$ ；(2) 电流源上的电压  $U_{I_S}$ ；(3) 各元件发出或消耗的功率。

**解** (1) 电压源通过的电流

$$I_{U_S} = I_1 - I_S = \frac{U_S}{R_1} - I_S = \frac{3}{1} - 2 = 1(\text{A})$$

理想电流源与电阻串联时，可将与电流源串联的电阻去掉（短路），不影响对电路中其他部分的计算。计算电压源上通过的电流时，可将电阻  $R_2$  去掉（短路），将图 1-18 变为图 1-17。

(2) 电流源上的电压

$$U_{I_S} = U_S + R_2 I_S = 3 + 2 \times 2 = 7(\text{V})$$

理想电压源与电阻并联时，可将与电压源并联的电阻去掉（断开），不影响对电路中其他部分的计算。计算电流源两端的电压时，可将电阻  $R_1$  去掉（断开），将图 1-18 变为图 1-16。

(3) 各元件发出或消耗的功率。

电流源发出的功率

$$P_{I_S} = U_{I_S} I_S = 7 \times 2 = 14(\text{W})$$

电压源发出的功率

$$P_{U_S} = U_S I_{U_S} = 3 \times 1 = 3(\text{W})$$

电阻  $R_1$  消耗的功率

$$P_1 = I_1^2 R_1 = 3^2 \times 1 = 9(\text{W})$$

电阻  $R_2$  消耗的功率

$$P_2 = I_S^2 R_2 = 2^2 \times 2 = 8(\text{W})$$

功率平衡，则有

$$P_{I_S} + P_{U_S} = P_1 + P_2$$

$$14 + 3 = 9 + 8 = 17(\text{W})$$

### 七、理想无源元件

理想无源元件包括电阻、电感、电容三种，其中，电阻是用于表征消耗电能的理想元件，电容是表征储存电场能量的理想元件，电感是表征储存磁场能量的理想元件。实际的电阻、电感、电容等无源电路元件都不是理想元件。

### 八、电阻元件

(1) 分类方法：按材料可分为碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻等；按阻值是否可调分为固定电阻、可变电阻和微调电阻；按阻值是否变化可分为线性电阻（阻值固定）和非线性电阻。

(2) 电阻器的主要参数：包括标称阻值、允许偏差、额定功率等。

(3) 电阻器的标示法：包括直标法、色环标示法、文字符号法等。

## 1.6 基尔霍夫定律

**本节导学：**基尔霍夫定律是电路的基本定律，简单易学，关键是要学会正确使用该定律。

### 一、基本概念

(1) 支路：指电路的一个分支。

(2) 结点（节点）：指三条或三条以上支路的交点。

(3) 回路：指由支路组成的闭合路径。

(4) 网孔：指未被其他支路分割的单孔回路。

**例 1.6.1** 确定图 1-19 所示电路的支路、结点、回路、网孔的数目。

**答** 支路 3 条，结点 2 个，回路 3 个，网孔 2 个。

**例 1.6.2** 确定图 1-20 (a) 所示电路的支路、结点、回路、网孔的数目。

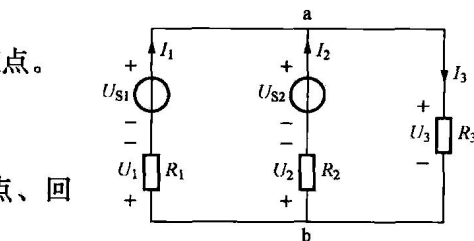
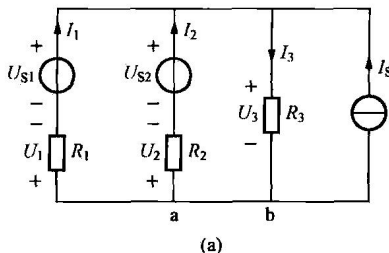


图 1-19 例 1.6.1 的电路

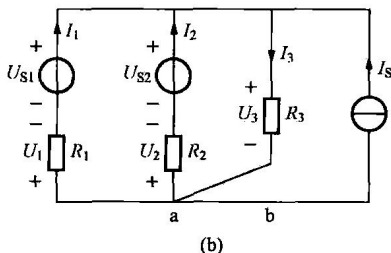


图 1-20 例 1.6.2 的电路

**答** 支路 4 条，结点 2 个，回路 6 个，网孔 3 个。

图 1-20 (a) 中 a 点和 b 点的电位相同，是同一个结点，改变画法会看得更清楚，如图 1-20 (b) 所示。

## 二、基尔霍夫电流定律

(1) 表达方式一：流入某个结点的电流之和等于流出该结点的电流之和，用公式表示为

$$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}}$$

对图 1-19 中的结点 a,  $I_1 + I_2 = I_3$ 。

(2) 表达方式二：流入某个结点的电流的代数和为零，用公式表示为

$$\sum I = 0$$

在公式中规定流入的电流取正号，流出的电流取负号。对图 1-19 中的结点 a,  $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ 。

(3) 基尔霍夫电流定律可推广到一个闭合面（也称为广义结点）。对于一个闭合面基尔霍夫电流定律仍然成立。在图 1-21 (a) 中的晶体三极管构成一个广义结点，其三个电极上的电流之和为零，即  $I_B + I_C - I_E = 0$ 。

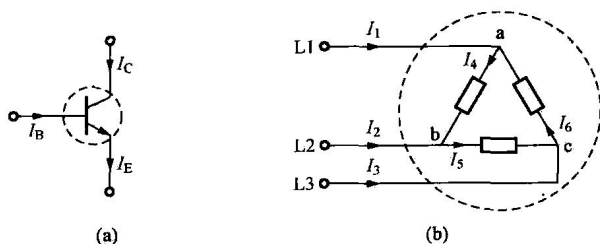


图 1-21 基尔霍夫电流定律推广到一个闭合面

(a) 晶体三极管；(b) 电阻的三角形连接

**例 1.6.3** 图 1-21 (b) 中电阻作三角形连接，构成一个广义结点。已知  $I_1 = 3\text{A}$ ,  $I_4 = -5\text{A}$ ,  $I_5 = 8\text{A}$ ，试求  $I_2$ ,  $I_3$  和  $I_6$ 。

**解**

$$I_6 = I_4 - I_1 = -5 - 3 = -8(\text{A})$$

$$I_2 = I_5 - I_4 = 8 - (-5) = 13(\text{A})$$

$$I_3 = I_6 - I_5 = -8 - 8 = -16(\text{A})$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 3 + 13 - 16 = 0(\text{A})$$

## 三、基尔霍夫电压定律

(1) 表达方式一：沿任一闭合路径，电压的降等于电压的升，用公式表示为

$$\sum U_{\text{down}} = \sum U_{\text{up}}$$

在图 1-22 (a) 中，对网孔 1 有  $U_1 + U_{S2} = U_2 + U_{S1}$ 。

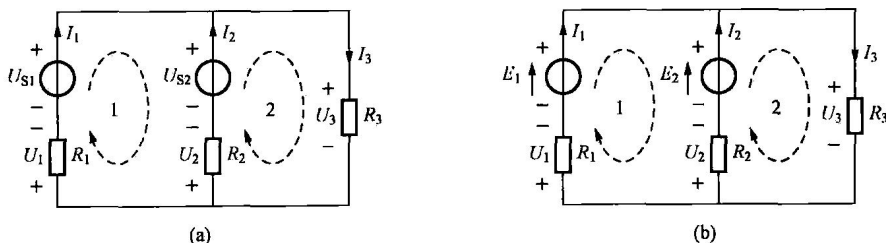


图 1-22 基尔霍夫电压定律

(2) 表达方式二：沿任一闭合路径，电压的代数和为零，用公式表示为

$$\sum U = 0$$

在公式中规定与回路绕行方向相同的电压（降）取正号，与回路绕行方向相反的电压（升）取负号。在图 1-22 (a) 中，对网孔 1 有  $U_1 - U_2 - U_{S1} + U_{S2} = 0$ 。

(3) 表达方式三：沿任一闭合路径，电阻上的电压降之和等于电源的电动势之和，用公式表示为

$$\sum RI = \sum E$$

在公式中规定与回路绕行方向相同的电流取正号，与回路绕行方向相同的电动势取正号。在