



高等教育“十二五”规划教材



■ 主编 王金明 李 光 冯爱华

# 电工与电子技术



北京交通大学出版社  
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等教育“十二五”规划教材

# 电工与电子技术

主编 王金明 李 光 冯爱华

图 10-1-1 在板壁上

1. 13103, 林垌出学大面交京北

ISBN 078-7-2151-1370-1

★ 藏书 ★

图书馆

(109) 平林洞遺 T10 剖面圖本館國中

多出版社

北京交通大学出版社

· 北京 ·

TM-43

192



北航

C1636693

785130310

## 内 容 简 介

本书以内容够用为度,注重联系实际,叙述深入浅出、通俗易懂。全书共分10章,内容包括电路分析的基础知识、正弦交流电路、三相正弦交流电路、变压器、三相异步电动机及其控制、道桥工程供电设计、安全用电、整流电路、晶体管放大电路、集成运算放大电路。

本书适合于普通高等学校工科非电类专业的本科教学,也可作为专科教学用教材或参考书。对相关的工程技术人员亦有参考价值。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/王金明,李光,冯爱华主编. —北京:北京交通大学出版社,2013.1  
(高等教育“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-5121-1370-1

I. ①电… II. ①王… ②李… ③冯… III. ①电工技术-高等学校-教材 ②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 020505 号

责任编辑:杨 硕 赵 娟

出版发行:北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

印刷者:北京瑞达方舟印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:11 字数:272千字

版 次:2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1370-1/TM·48

印 数:1~2000册 定价:28.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。  
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: [press@bjtu.edu.cn](mailto:press@bjtu.edu.cn)。

# 前 言

本书属非电专业“少学时”课程，目的是让学生初步了解电学方面的基础知识。至于“少”到什么程度，目前各有各的理解。一般认为：以知识够用为度，不必在乎教材的完整性和系统性。本教材结合土木工程、交通工程、建筑材料等专业培养要求而编写，旨在使学生掌握工程用电时遇到的电工与电子方面的基础知识和有关安全用电方面的常识，了解常用的电气设备及其使用方法，认识到“电”在工程施工中的重要性，以便于今后的工作。

本书由王金明、李光、冯爱华编写，在编写过程中结合多年的教学经验，以“学以致用”为原则，以掌握概念、学会运用为重点。全书文字简练，叙述深入浅出，通俗易懂。并编入一些工程应用实例及习题，针对性、应用性较强，以培养学生理论联系实际的能力。

本书在编写过程中参考了许多这方面的教材，借本书出版之际，对所参考教材的原作者表示感谢。

由于编者水平所限，书中难免出现错误和不妥之处，敬请读者指正。

编 者  
2012 年 8 月

# CONTENTS | 目录

|                      |    |
|----------------------|----|
| <b>第1章 电路分析的基础知识</b> | 1  |
| 1.1 电路和电路模型          | 1  |
| 1.1.1 电路             | 1  |
| 1.1.2 电路模型           | 1  |
| 1.2 电路的工作状态          | 2  |
| 1.2.1 开路状态(空载状态)     | 2  |
| 1.2.2 短路状态           | 2  |
| 1.2.3 负载状态(通路状态)     | 2  |
| 1.2.4 电功率和电能         | 3  |
| 1.3 电压源与电流源          | 4  |
| 1.3.1 理想电压源          | 4  |
| 1.3.2 理想电流源          | 5  |
| 1.3.3 实际电源的模型        | 5  |
| 1.4 基尔霍夫定律           | 7  |
| 1.4.1 几个相关的电路名词      | 8  |
| 1.4.2 基尔霍夫电流定律(KCL)  | 8  |
| 1.4.3 基尔霍夫电压定律(KVL)  | 9  |
| 1.4.4 支路电流法          | 11 |
| 1.5 叠加定理             | 11 |
| 1.6 戴维南定理            | 12 |
| 1.6.1 二端网络           | 13 |
| 1.6.2 戴维南定理及其应用      | 13 |
| 习题                   | 15 |
| <b>第2章 正弦交流电路</b>    | 18 |
| 2.1 正弦交流电路的基本概念      | 18 |
| 2.1.1 正弦电流及其三要素      | 18 |
| 2.1.2 相位差            | 19 |
| 2.1.3 有效值            | 20 |
| 2.2 正弦量的相量表示法        | 20 |
| 2.2.1 复数及其表示形式       | 20 |
| 2.2.2 复数运算           | 21 |
| 2.2.3 正弦量的相量表示法      | 22 |

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 2.3 单一参数正弦交流电路 .....              | 23        |
| 2.3.1 电阻元件 .....                  | 23        |
| 2.3.2 电感元件 .....                  | 25        |
| 2.3.3 电容元件 .....                  | 27        |
| 2.4 基尔霍夫定律的相量形式 .....             | 29        |
| 2.5 正弦交流电路的相量分析 .....             | 29        |
| 2.5.1 电阻、电感和电容串联电路及复阻抗 .....      | 29        |
| 2.5.2 电阻、电感和电容并联的电路及复导纳 .....     | 32        |
| 2.5.3 阻抗的连接 .....                 | 35        |
| 2.6 用相量法分析复杂交流电路 .....            | 38        |
| 2.7 正弦交流电路中的功率及功率因数的提高 .....      | 39        |
| 2.7.1 有功功率、无功功率、视在功率和功率因数 .....   | 39        |
| 2.7.2 功率因数的提高 .....               | 40        |
| 2.8* 正弦交流电路负载获得最大功率的条件 .....      | 42        |
| 习题 .....                          | 43        |
| <b>第3章 三相正弦交流电路</b> .....         | <b>47</b> |
| 3.1 三相电源 .....                    | 47        |
| 3.1.1 三相电动势的产生 .....              | 47        |
| 3.1.2 相序 .....                    | 48        |
| 3.2 三相电源的连接 .....                 | 48        |
| 3.2.1 三相电源的星形连接 .....             | 48        |
| 3.2.2 三相电源的三角形连接 .....            | 49        |
| 3.3 对称三相电路 .....                  | 50        |
| 3.3.1 负载Y连接的对称三相电路 .....          | 50        |
| 3.3.2 负载 $\Delta$ 连接的对称三相电路 ..... | 53        |
| 3.4 不对称三相电路 .....                 | 55        |
| 3.5 三相电路的功率 .....                 | 57        |
| 习题 .....                          | 58        |
| <b>第4章 变压器</b> .....              | <b>60</b> |
| 4.1 变压器的基本结构 .....                | 60        |
| 4.1.1 变压器的用途 .....                | 60        |
| 4.1.2 变压器的基本结构 .....              | 60        |
| 4.2 变压器基本原理 .....                 | 61        |
| 4.2.1 变压器空载运行及电压变换 .....          | 61        |
| 4.2.2 变压器负载运行及电流变换 .....          | 62        |
| 4.2.3 阻抗变换 .....                  | 64        |
| 4.3 变压器的外特性、功率和效率 .....           | 65        |
| 4.3.1 变压器的额定值 .....               | 65        |

|     |                        |            |
|-----|------------------------|------------|
| 101 | 4.3.2 变压器的外特性          | 65         |
| 101 | 4.3.3 变压器的功率           | 66         |
| 101 | 4.3.4 变压器的效率           | 66         |
| 101 | 4.4 变压器绕组的极性           | 67         |
| 101 | 4.5 三相变压器              | 68         |
| 101 | 4.5.1 三相变压器的磁路系统       | 68         |
| 101 | 4.5.2 三相变压器绕组的接法       | 69         |
| 101 | 4.6 其他用途变压器            | 69         |
| 101 | 4.6.1 自耦变压器            | 69         |
| 101 | 4.6.2 电焊变压器            | 70         |
| 101 | 习题                     | 71         |
|     | <b>第5章 三相异步电动机及其控制</b> | <b>72</b>  |
| 101 | 5.1 三相异步电动机的构造         | 72         |
| 111 | 5.2 旋转磁场               | 73         |
| 111 | 5.2.1 旋转磁场的产生          | 73         |
| 111 | 5.2.2 旋转磁场的转向          | 75         |
| 111 | 5.2.3 旋转磁场的极数          | 75         |
| 111 | 5.2.4 旋转磁场的转速          | 76         |
| 111 | 5.3 电动机的转动原理           | 76         |
| 111 | 5.3.1 三相异步电动机工作原理      | 76         |
| 111 | 5.3.2 转差率              | 76         |
| 111 | 5.4 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性  | 77         |
| 111 | 5.4.1 电磁转矩             | 77         |
| 111 | 5.4.2 机械特性             | 78         |
| 111 | 5.5 三相异步电动机的使用         | 79         |
| 111 | 5.5.1 铭牌数据             | 79         |
| 111 | 5.5.2 三相异步电动机的启动、调速和制动 | 81         |
| 111 | 5.5.3 三相异步电动机的选择       | 84         |
| 111 | 5.6 电气控制电路             | 85         |
| 111 | 5.6.1 几种常见的低压电器        | 86         |
| 111 | 5.6.2 电气控制原理图及基本控制环节   | 91         |
| 111 | 5.6.3 电动机的常用控制电路       | 94         |
| 111 | 习题                     | 98         |
|     | <b>第6章 道桥工程供电设计</b>    | <b>100</b> |
| 121 | 6.1 三相供电系统             | 100        |
| 121 | 6.1.1 发电               | 100        |
| 121 | 6.1.2 电能的输送和分配         | 100        |
| 121 | 6.1.3 配电               | 100        |



|            |                 |            |
|------------|-----------------|------------|
| 6.2        | 变压器的选择          | 101        |
| 6.2.1      | 变压器的选择原则        | 101        |
| 6.2.2      | 工程用电量的估算        | 101        |
| 6.2.3      | 变压器容量的选择        | 102        |
| 6.2.4      | 变压器安装位置的确定      | 102        |
| 6.3        | 配电导线的选择         | 102        |
| 6.3.1      | 选择导线截面的原则       | 102        |
| 6.3.2      | 选择导线截面积的方法      | 103        |
| 6.4        | 道桥施工工程供电设计      | 104        |
| 6.4.1      | 概述              | 104        |
| 6.4.2      | 绘制施工现场电力供应平面布置图 | 104        |
| 6.4.3      | 供电设计实例          | 108        |
|            | 习题              | 109        |
| <b>第7章</b> | <b>安全用电</b>     | <b>111</b> |
| 7.1        | 触电              | 111        |
| 7.2        | 保护接地和保护接零       | 112        |
| 7.2.1      | 保护接地            | 112        |
| 7.2.2      | 保护接零            | 112        |
| 7.2.3      | 三孔插座和三极插头       | 113        |
| 7.3        | 防止触电的措施         | 113        |
| 7.3.1      | 安全用电常识          | 113        |
| 7.3.2      | 安全技术措施          | 113        |
| 7.4        | 防雷保护            | 114        |
| 7.4.1      | 雷电的危险           | 114        |
| 7.4.2      | 防雷设备            | 115        |
| 7.4.3      | 防雷保护            | 116        |
| 7.4.4      | 防雷常识            | 117        |
|            | 习题              | 117        |
| <b>第8章</b> | <b>整流电路</b>     | <b>118</b> |
| 8.1        | 半导体基本知识         | 118        |
| 8.1.1      | 本征半导体           | 118        |
| 8.1.2      | 掺杂半导体           | 119        |
| 8.2        | PN结             | 119        |
| 8.2.1      | PN结的形成          | 119        |
| 8.2.2      | PN结的单向导电性       | 120        |
| 8.3        | 半导体二极管          | 121        |
| 8.3.1      | 二极管结构           | 121        |
| 8.3.2      | 二极管的伏安特性        | 121        |



|             |                 |            |
|-------------|-----------------|------------|
| 8.3.3       | 二极管的主要参数        | 121        |
| 8.4         | 整流电路            | 122        |
| 8.4.1       | 概述              | 122        |
| 8.4.2       | 单相半波整流电路        | 122        |
| 8.4.3       | 单相桥式整流电路        | 123        |
| 8.5         | 滤波与稳压电路         | 124        |
| 8.5.1       | 滤波电路            | 124        |
| 8.5.2       | 稳压电路            | 126        |
|             | 习题              | 129        |
| <b>第9章</b>  | <b>晶体管放大电路</b>  | <b>131</b> |
| 9.1         | 晶体管             | 131        |
| 9.1.1       | 基本结构            | 131        |
| 9.1.2       | 晶体管的电流放大作用      | 132        |
| 9.1.3       | 晶体管的特性曲线及三个工作区域 | 133        |
| 9.1.4       | 晶体管的主要参数        | 134        |
| 9.2         | 晶体管放大电路         | 135        |
| 9.2.1       | 概述              | 135        |
| 9.2.2       | 电路及各元件的作用       | 135        |
| 9.2.3       | 工作原理            | 136        |
| 9.3         | 放大电路的微变等效电路分析法  | 139        |
| 9.3.1       | 晶体管的微变等效电路      | 140        |
| 9.3.2       | 放大器性能指标分析       | 141        |
| 9.4         | 分压式偏置电路         | 142        |
| 9.5         | 射极输出器           | 144        |
| 9.5.1       | 电路的组成           | 144        |
| 9.5.2       | 电路分析            | 144        |
| 9.6         | 多级放大器           | 146        |
| 9.6.1       | 阻容耦合            | 147        |
| 9.6.2       | 变压器耦合           | 147        |
| 9.6.3       | 直接耦合            | 147        |
| 9.6.4       | 多级放大器的性能参数      | 147        |
|             | 习题              | 148        |
| <b>第10章</b> | <b>集成运算放大电路</b> | <b>151</b> |
| 10.1        | 集成运算放大器         | 151        |
| 10.1.1      | 运算放大器的基本结构      | 151        |
| 10.1.2      | 集成运算放大器的主要参数    | 152        |
| 10.1.3      | 运算放大器的3种输入方式    | 152        |
| 10.1.4      | 运算放大器的理想化模型     | 153        |

|        |                       |     |
|--------|-----------------------|-----|
| 10.2   | 运算放大器的输入方式 .....      | 154 |
| 10.2.1 | 反相输入放大电路 .....        | 154 |
| 10.2.2 | 同相输入放大器 .....         | 154 |
| 10.2.3 | 双端输入放大电路 .....        | 155 |
| 10.3   | 运算放大器的应用 .....        | 156 |
| 10.3.1 | 加法电路 .....            | 156 |
| 10.3.2 | 减法电路 .....            | 156 |
| 10.3.3 | 积分电路 .....            | 157 |
| 10.3.4 | 微分电路 .....            | 157 |
| 10.3.5 | 电压器比较器 .....          | 158 |
| 10.4   | 使用集成运放时应注意的几个问题 ..... | 159 |
|        | 习题 .....              | 161 |
|        | 参考文献 .....            | 163 |

# 第1章 电路分析的基础知识

## 本章要点

1. 了解电路的作用与组成部分。
2. 掌握基尔霍夫定律，会用支路电流法求解简单的电路。
3. 理解电压源、电流源概念，了解电压源、电流源的连接方法，并掌握其等效变换法。
4. 会用叠加定理、戴维南定理求解复杂电路中的电压、电流、功率等。

## 1.1 电路和电路模型

### 1.1.1 电路

电路就是电流所经过的路径，由各种元件按一定方式连接而成的。其特征是提供了电流流动的通道。电路元件通常是用规定的图形符号来表示实际的电路元件，并用连线表示它们之间的连接关系。

根据电源提供的电流不同，电路还可以分为直流电路和交流电路两种。

图1-1 手电筒电路就是一个最简单的实用直流电路，它由电源（干电池）、负载（小灯泡）、开关和连接导线4个部分组成。电源是提供电能和电信号的设备，它把其他形式的能量转换为电能；负载是消耗电能的设备，它把电能转换为其他形式的能量；电源与负载之间通过导线及开关相连接。一个完整的电路这4个基本组成部分缺一不可。

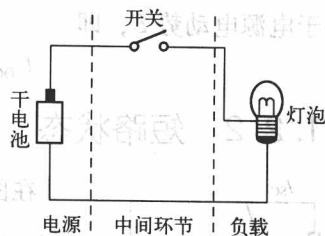


图1-1 手电筒电路

### 1.1.2 电路模型

一个实际电路是由电源、负载等各种电路元件所组成。对于每一个电路元件来说，其电磁性能都比较复杂，不是单一的。例如白炽灯这一负载，它在通电工作时能把电能转变为热能，消耗电能，但其电压和电流还会产生电场和磁场，也具有电容和电感的性质。在分析电路中，如果对一个电路元件要考虑所有的电磁性质，将是十分困难的。为此，对于组成电路的元件，可以忽略次要因素，只抓住主要电磁特性，即把元件理想化。这样用一个或几个具有单一电磁特性的理想电路元件所组成的电路，就是实际电路的电路模型。

如图1-2所示电路为图1-1手电筒电路的电路模型。图中  $U_s$  是干电池模型的电动势， $R_0$  是它的内阻， $R_L$  是灯泡的模型。本书所画的电路图都是电路模型，简称电路。

电路元件有线性和非线性之分，线性元件的参数是常数，与所施加的电压和电流无关。

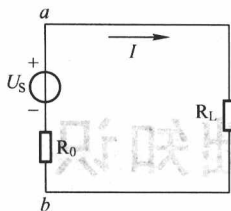


图 1-2 电路模型

由线性元件组成的电路就是线性电路，本书所研究的电路均为线性电路。

电路中电压的实际方向规定为电场力的方向，即  $a$  点指向  $b$  点。在元件或电路两点之间可以任意选定一个方向为电压的参考方向。当电压的实际方向与电压的参考方向一致时，电压值为正值 ( $U > 0$ )；反之，当电压的实际方向与其参考方向相反时，电压值为负 ( $U < 0$ )。电压参考方向用电压极性 “+” “-” 表示；也可用箭头

或双下标表示，如  $U_{ab}$  表示由  $a$  点指向  $b$  点， $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

对一段电路或一个电路元件，如果选定电流的参考方向与电压的参考方向一致，即电流就应该从标以电压 “+” 极性端流入，从标以 “-” 极性端流出，对于这种电流和电压的参考方向称为关联参考方向；反之，称为非关联参考方向。

## 1.2 电路的工作状态

电路在不同的工作条件下，会处于不同的状态，并具有不同的特点。电路的工作状态有 3 种：开路状态、短路状态和负载状态。

### 1.2.1 开路状态（空载状态）

在图 1-3 所示电路中，当开关  $K$  断开时，电源则处于开路状态。开路时，电路中电流为零，负载上没有电压， $U = 0$ ，电源不输出能量，电源两端的电压称为开路电压，用  $U_{oc}$  表示，其值等于电源电动势  $E$ ，即

$$U_{oc} = E \quad (1-1)$$

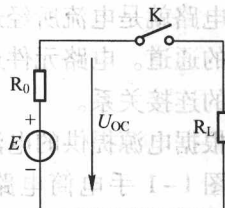


图 1-3 开路状态

### 1.2.2 短路状态

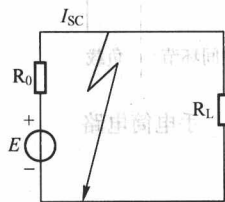


图 1-4 短路状态

在图 1-4 所示电路中，当电源两端由于某种原因短接在一起时，电源则被短路。短路电流  $I_{sc} = \frac{E}{R_0}$  因电源内阻  $R_0$  往往很小，所以电路电流很大，此时电源所产生的电能全被内阻  $R_0$  所消耗，负载  $R_L$  上没有电压，负载电流  $I_R = 0$ 。

短路通常是严重的事故，应尽量避免发生，在供电线路中，为了防止短路事故，通常在电路中接入熔断器或断路器，以便在发生短路时能迅速切断故障电路，使电源和供电线路得到保护。

### 1.2.3 负载状态（通路状态）

电源与一定大小的负载接通，称为负载状态。这时电路中流过的电流称为负载电流。如图 1-5 所示，其大小可用全电路欧姆定律计算，即  $I = \frac{E}{R_0 + R_L}$ 。可见，电流的数值与电路中的电动势成正比，与总的电阻成反比。电流的实际方向是从电源的高电位端（正极）流出，

经负载后进入电源的低电位端（负极）。

电路接通后负载上就有电压，其电压大小可根据一段电路欧姆定律求出，即  $U = IR_L$ ，电压的方向是从负载的高电位端指向低电位端。电源端电压与电流的关系为  $U = E - R_0 I$ 。

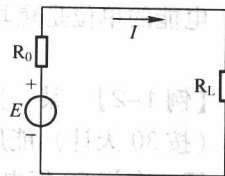


图 1-5 负载状态

为使电气设备正常运行，在电气设备上都标有额定值，额定值是生产厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的允许数值。一般常用的额定值有：额定电压、额定电流、额定功率，分别用  $U_N$ 、 $I_N$ 、 $P_N$  表示。按照额定值使用电气设备可以保证安全可靠。

需要指出，电气设备实际消耗的功率不一定等于额定功率。当实际消耗的功率  $P$  等于额定功率  $P_N$  时，称为满载运行；若  $P < P_N$ ，称为轻载运行；而当  $P > P_N$  时，称为过载运行。电气设备应尽量在接近额定值的状态下运行。

【例 1-1】有一电源，开路时，电压  $U_0 = 12\text{ V}$ ，当电流  $I = 2\text{ A}$  时，负载端电压  $U = 11.8\text{ V}$ 。

(1) 求电源的电动势；

(2) 求电源的内阻；

(3) 求短路时线路电流。

解：(1) 电源的电动势

不，短路时同和空余个一伏特阻中除路  $E = U_0 = 12\text{ V}$  求端内阻中除路中，路中除路

(2) 电源的内阻

(4-1)

$$R_L = \frac{E - U}{I} = \frac{12 - 11.8}{2} = 0.1\ \Omega$$

(3) 短路电流

$$I_{sc} = \frac{E}{R_0} = \frac{12}{0.1} = 120\text{ A}$$

可见，短路电流很大，为工作电流的 60 倍。

## 1.2.4 电功率和电能

### 1. 电功率

在电流通过电路时，电路中发生了能量的转换。在电源内，把非电能转换成电能。在外部电路中，把电能转换为其他形态的能量，即负载要消耗电能而做功。

负载在单位时间内消耗的电能称为电功率，简称功率，用  $P$  表示，单位为瓦 (W)、千瓦 (kW) 或毫瓦 (mW)。

根据欧姆定律，其计算公式为：

$$P = UI$$

(1-2)

或

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

### 2. 电能

负载在整个工作时间内消耗的电能与电路两端电压  $U$ 、通过的电流  $I$  及通电的时间成正比，用公式表示为：

$$W = UIt = Pt \quad (1-3)$$

电能的单位是焦耳 (J), 另一个单位是千瓦时 ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ ), 即人们常说的 1 度电, 写成

$$1 \text{ 度电} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

【例 1-2】某一生产车间有 100W、220V 的电烙铁 50 把, 每天使用 5 小时, 问一个月 (按 30 天计) 能用多少度电?

解: 车间 50 把电烙铁总计功率为:

$$50 \times 100 \text{ W} = 5000 \text{ W}$$

一个月用电量为:

$$5000 \times 5 \times 30 = 750 \text{ kW} \cdot \text{h} = 750 \text{ 度}$$

## 1.3 电压源与电流源

电源是将其他形式的能量 (如化学能、机械能、太阳能、风能等) 转换成电能后提供给电路的设备。一个实际电源含有电动势和内电阻, 当电源工作时, 可以用两种形式表示, 一种形式是电压源; 另一种是电流源。

### 1.3.1 理想电压源

理想电压源, 就是指电源的内阻为零, 电源两端的端电压值为一个给定时间的函数, 不随流过电压源的电流的大小而变化, 即

$$u(t) = u_s(t) \quad (1-4)$$

它的特点是电压的大小只取决于电压源本身的特性, 与流过的电流无关。流过电压源的电流大小与电压源外部电路有关, 由外部负载电阻决定。因此, 理想电压源又称为独立电压源。

当  $u(t) = u_s(t) = U_s$ ,  $U_s$  为恒定值时, 称为恒压源, 即直流电压源, 如图 1-6 所示。如果电压源的电压  $U_s = 0$ , 则此时电压源的伏安特性曲线, 就是横坐标, 也就是电压源相当于短路。电压为  $U_s$  的直流电压源的伏安特性曲线, 是一条平行于横坐标的直线, 如图 1-7 所示。

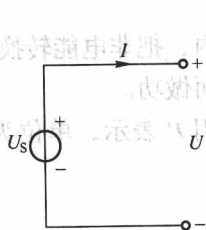


图 1-6 直流电压源

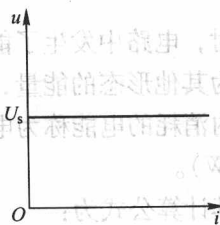


图 1-7 直流电压源的伏安特性曲线

从能量的观点而言, 理想电压源是一个具有无限能量的电源, 它能输出任意大小的电流而保持其端电压不变。显然, 这样的电源实际上是不存在的。但在实用中, 如干电池、蓄电池和直流稳压电源等, 在其内阻忽略不计时, 可视为理想电压源, 输出电压恒定。

### 1.3.2 理想电流源

理想电流源是指内阻为无限大, 输出电流为一个给定时间的函数, 不随它两端电压的变化而变化, 即

$$i(t) = i_s(t) \quad (1-5)$$

它的特点是电流的大小取决于电流源本身的特性, 与电源的端电压无关。端电压的大小与电流源外部电路有关, 由外部负载电阻决定。因此, 也称之为独立电流源。

当  $i(t) = i_s(t) = I_s$ ,  $I_s$  为恒定值时, 称为恒流源, 即直流电流源, 如图 1-8 所示。如果电流源短路, 流过短路线路的电流就是  $I_s$ , 而电流源的端电压为零。电流为  $I_s$  的直流电流源的伏安特性曲线, 是一条垂直于坐标轴的直线, 如图 1-9 所示。

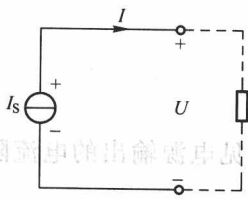


图 1-8 直流电流源

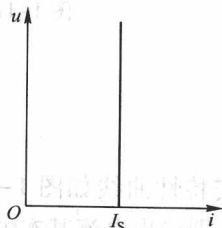


图 1-9 直流电流源的伏安特性曲线

理想电流源也是一个具有无限能量的电源, 实际上并不存在。但实际应用中光电池在一定的光线照射下所产生的电流几乎不变, 可视为理想电流源。

### 1.3.3 实际电源的模型

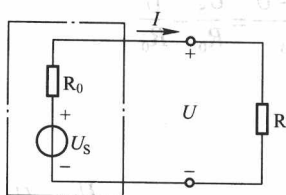
#### 1. 实际电压源

一个实际电源在工作时其内部损耗不可能等于零, 因为它有内阻存在, 其端电压会随电流增大而降落。为了便于分析电路, 常把实际电压源用一个理想电压源  $U_s$  与一个内阻  $R_0$  串联组合成一个电路来表示, 如图 1-10 (a) 所示。

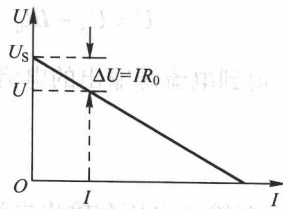
特征方程为:

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-6)$$

实际电压源的伏安特性曲线如图 1-10 (b) 所示, 可见电源输出的电压随负载电流的增加而下降。内阻越大, 端电压下降越多。当  $R_0 = 0$  时, 电压源的端电压恒定不变, 此时为理想电压源。



(a) 电压源模型与外电路的连接



(b) 伏安特性

图 1-10 实际电压源模型



## 2. 实际电流源

当实际电压的内部损耗不能忽略不计时, 此时实际电源可以用一个理想电流源  $I_s$  与一个内阻  $R_0$  并联来表示, 如图 1-11 (a) 所示。

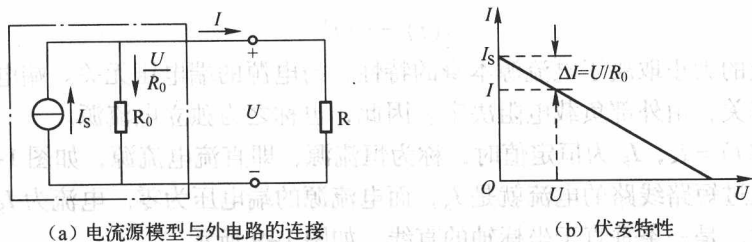


图 1-11 实际电流源模型

特征方程为:

$$I = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-7)$$

实际电流源的伏安特性曲线如图 1-11 (b) 所示, 可见电源输出的电流随负载增加, 越接近于短路电流  $I_s$ , 即输出电流基本恒定。

## 3. 两种实际电源的等效互换

如前所述, 一个实际电源可以模拟为电压源的形式, 也可以模拟为电流源的形式。这说明这个实际电源对外负载的作用是一样的, 即两种形式所反映的外特性是相同的, 因此这两种形式之间必然可以等效互换。所谓等效互换, 就是电压源的形式可以变换成电流源的形式。反之, 电流源的形式也可以变换为电压源的形式, 这些变换都不会影响外电路的电压和电流。如图 1-12 所示。

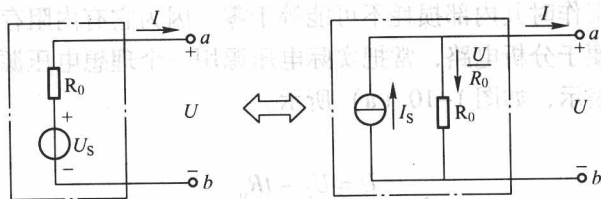


图 1-12 电压源模型与电流源模型的等效互换

当然两者互换也是在一定条件下进行的。在图 1-10 中的电压源输出的电压为:

$$U = U_s - IR_0 \quad \text{或} \quad I = \frac{U_s - U}{R_0} = \frac{U_s}{R_0} - \frac{U}{R_0} \quad (1-8)$$

由图 1-11 中得到电流源输出的电流为:

$$I = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-9)$$

当两种形式电源输出电压和输出电流相同时, 比较上述两式  $I = \frac{U_s}{R_0} - \frac{U}{R_0}$  与  $I = I_s - \frac{U}{R_0}$  即可

得出两者互换关系:

$$I_s = \frac{U_s}{R_0} \quad \text{或} \quad U_s = I_s R_0 \quad (1-10)$$

当已知电压源需转换为电流源时,  $U_s$  除以  $R_0$  即可得出  $I_s$  值, 反之当电流源转换为电压源时,  $I_s$  乘以内阻  $R_0$  即可得出  $U_s$  值。

实际上凡是理想电压源电压  $U_s$  与电阻串联的电路都可以和恒值的电流  $I_s$  与电阻并联的电路等效互换, 如图 1-12 所示。电路的等效互换有时也是分析电路的一种方法, 它可以使复杂电路变得简单。在进行电源等效互换中需要注意:

(1) 等效互换时, 对外电路的电压和电流的大小和方向都不变。即图 1-12 中  $a$  点是电压源的正极性, 变换后电流源正方向应指向  $a$  点。

(2) 理想电压源与理想电流源不能互换。因为理想电压源的输出电流由负载大小决定, 而理想电流源的电流是恒定的; 相反, 理想电流源的端电压也由负载大小决定, 而理想电压源的电压是恒定的, 故两者不能等效。

(3) 等效互换是对外电路而言, 对电源内部并不等效。

例如: 当外电路开路时, 电压源中无电流, 而电流源中仍有电流。

**【例 1-3】** 求图 1-13 中支路电流  $I_3$ 。

**解:** 本题可通过实际电源的等效互换简化电路, 变换过程如图 1-14 所示。

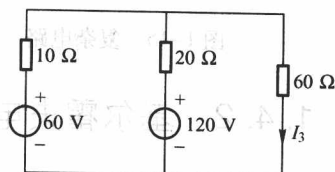


图 1-13 例 1-3 图

$$I_3 = \frac{80}{\frac{20}{3} + 60} = 1.2 \text{ A}$$

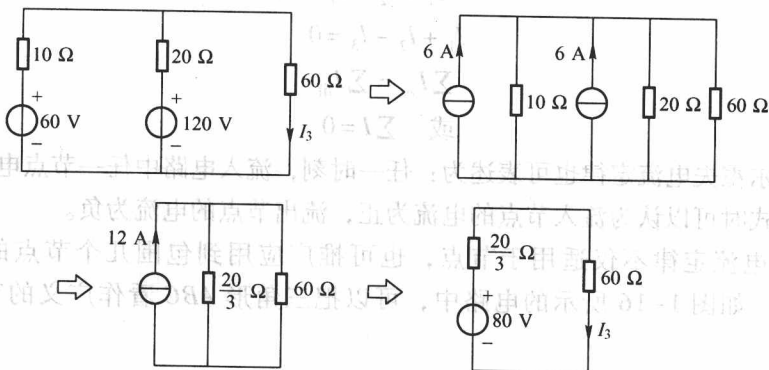


图 1-14 例 1-3 变换过程

## 1.4 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析电路的基本定律之一, 该定律说明了电路中各元件的电流和电压之间的关系。它特别适合用于求解复杂电路。