



全国高等专科教育自动化类专业规划教材

# 电工电子技术

赵军 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



全国高等专科学校教育自动化类专业规划教材

# 电工电子技术

主 编 赵 军  
副主编 柳明丽  
参 编 刘永波 于宝奇  
主 审 高建新



机械工业出版社

本书是为适应高职高专院校机电一体化、机械制造、冶金、测量等非电类专业的教学需要而编写的,其内容编排以贴近工程实际所需的电工电子技术的基础知识和基本技能为主线,从电路分析基础、电气控制技术、模拟电子技术和数字电子技术4方面组织材料,尽量做到以“必需、够用”为原则,以指导实践应用为目的,强调结论以及结论在实际中的应用,不强调公式的推导和理论的论证。

本书共分14章,内容包括:电路的基本定律和基本分析方法,正弦交流电路,三相电路,电路的暂态分析,变压器、三相异步电动机及其控制,半导体器件,基本放大电路,集成运算放大器及其应用,放大电路中的负反馈,直流稳压电源,门电路和组合逻辑电路,时序逻辑电路,存储器和可编程逻辑器件,模拟量和数字量的相互转换。为了使读者更好地掌握和理解课程内容,书中设计了丰富,且贴近实际的例题、思考题和习题,并在本书的最后还附有部分习题参考答案、电工电子技术常用中英文名词对照表等内容。

为方便教学,本书配有免费电子教案,凡选用本书作为授课用书的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379758。

本书简明扼要,深入浅出,便于自学,既可以作为高职高专及应用型本科院校相关专业的教材,也可以作为从事电工电子技术专业的工程技术人员参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/赵军主编. —北京:机械工业出版社,  
2006.12

全国高等专科教育自动化类专业规划教材  
ISBN 978-7-111-20522-7

I. 电... II. 赵... III. ①电工技术—高等学校—  
教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第150557号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 高倩 责任编辑:高倩 版式设计:冉晓华

责任校对:刘志文 封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.5印张·454千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-20522-7

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379758

封面防伪标均为盗版

# 前 言

高等职业教育在我国高等教育中承担着重要角色，尤其工科的高等职业教育，更是担负着为我国工业、农业和国防的现代化建设培养应用型工程技术人材的重任。为了适应电气自动化技术在工、农业生产中的广泛应用，各高职、高专院校都开设了“电工电子技术”这门课程，并作为专业必修课引入教学。

本书是根据教育部最新制定的《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》，结合高等职业院校机电一体化、机械制造、冶金、测量等非电类专业的要求编写而成的专业基础课教材。本书在内容编排上重视理论教学，更重视实践环节，主要任务是通过各个教学环节，使学生在电路、电气控制技术及电子技术方面获得知识和技能，并为以后学习各专业课程和接受更高层次的职业技能培训打下良好的基础。

本书共分14章，内容包括：电路的基本定律和基本分析方法，正弦交流电路，三相电路，电路的暂态分析，变压器、三相异步电动机及其控制，半导体器件，基本放大电路，集成运算放大器及其应用，放大电路中的负反馈，直流稳压电源，门电路和组合逻辑电路，时序逻辑电路，存储器和可编程逻辑器件，模拟量和数字量的相互转换。为了使读者更好地掌握和理解课程内容，书中配有丰富，且贴近实际的例题、思考题和习题；在本书的最后附有部分习题参考答案、电工电子技术常用中英文名词对照表等内容。

本书的建议学时为80~100学时。书中注有“\*”号的部分为选讲内容，教师可根据学时数或专业需要自行裁减。

本书由辽宁科技学院赵军担任主编，负责全书内容的组织和定稿，辽宁科技学院柳明丽担任副主编，辽宁科技学院刘永波、于宝奇参与编写。第1~5章由刘永波编写；第6~9章由赵军编写；第10章由于宝奇编写；第11~14章由柳明丽编写。

辽宁科技学院高建新审阅了全书，并对全书的内容和形式提出了许多宝贵意见。此外，本书在编写过程中得到了辽宁科技学院许多同志的支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请使用本教材的师生和读者给予批评指正，并将意见及时反馈给我们，以便帮助我们不断改进。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 电路的基本定律和基本

### 分析方法 ..... 1

1.1 电路的基本概念 ..... 1

1.2 电路的基本定律 ..... 9

1.3 电路的基本分析方法 ..... 12

本章小结 ..... 22

习题 1 ..... 24

## 第 2 章 正弦交流电路 ..... 28

2.1 正弦交流电的基本概念 ..... 28

2.2 含单一参数电路元件的交流电路 ..... 34

2.3 正弦交流电路的分析 ..... 37

2.4 电路的谐振 ..... 43

本章小结 ..... 45

习题 2 ..... 46

## 第 3 章 三相电路 ..... 50

3.1 三相电源 ..... 50

3.2 三相电路中负载的连接形式 ..... 52

3.3 三相电路的功率与测量 ..... 56

3.4 安全用电 ..... 60

本章小结 ..... 63

习题 3 ..... 64

## 第 4 章 电路的暂态分析 ..... 66

4.1 换路规则及暂态过程初始值的确定 ..... 66

4.2 一阶电路的暂态响应 ..... 68

4.3 一阶电路暂态分析的三要素法 ..... 74

本章小结 ..... 75

习题 4 ..... 76

## 第 5 章 变压器、三相异步电动机

### 及其控制 ..... 79

5.1 磁路概述 ..... 79

5.2 变压器 ..... 82

5.3 三相异步电动机 ..... 86

5.4 继电-接触器控制系统 ..... 98

本章小结 ..... 108

习题 5 ..... 110

## 第 6 章 半导体器件 ..... 112

6.1 半导体基础知识 ..... 112

6.2 半导体二极管 ..... 115

6.3 稳压管 ..... 118

6.4 双极型晶体管 ..... 119

6.5 场效应晶体管 ..... 124

6.6 光敏器件 ..... 129

本章小结 ..... 130

习题 6 ..... 131

## 第 7 章 基本放大电路 ..... 134

7.1 基本放大电路的工作原理 ..... 134

7.2 基本放大电路的分析方法 ..... 136

7.3 静态工作点的稳定 ..... 146

7.4 共集电极放大电路 ..... 147

7.5 多级放大电路 ..... 150

本章小结 ..... 152

习题 7 ..... 153

## 第 8 章 集成运算放大器及其应用 ..... 157

8.1 集成运算放大器 ..... 157

8.2 集成运放在信号运算方面的应用 ..... 162

8.3 集成运放在信号处理方面的应用 ..... 166

8.4 集成运放使用时的

几个注意事项 ..... 167

本章小结 ..... 168

习题 8 ..... 169

## 第 9 章 放大电路中的负反馈 ..... 172

9.1 反馈的基本概念 .....	172	12.5 中规模集成计数器组件及其应用 .....	237
9.2 反馈的类型及其判断方法 .....	173	本章小结 .....	244
9.3 负反馈对交流放大电路工作性能的影响 .....	176	习题 12 .....	244
本章小结 .....	178	<b>第 13 章 存储器 and 可编程逻辑器件</b> .....	247
习题 9 .....	179	13.1 概述 .....	247
<b>第 10 章 直流稳压电源</b> .....	181	13.2 只读存储器 .....	247
10.1 直流稳压电源的组成 .....	181	13.3 随机存储器 .....	248
10.2 整流电路 .....	181	13.4 可编程逻辑器件 .....	250
10.3 滤波电路 .....	186	本章小结 .....	255
10.4 稳压电路 .....	189	习题 13 .....	256
本章小结 .....	192	<b>第 14 章 模拟量和数字量的相互转换</b> .....	257
习题 10 .....	193	14.1 概述 .....	257
<b>第 11 章 门电路和组合逻辑电路</b> .....	195	14.2 D/A 转换器 .....	257
11.1 概述 .....	195	14.3 A/D 转换器 .....	260
11.2 逻辑代数基础 .....	198	本章小结 .....	263
11.3 逻辑门电路 .....	207	习题 14 .....	263
11.4 组合逻辑电路的分析和设计方法 .....	211	<b>附录</b> .....	265
11.5 常用组合逻辑电路 .....	213	附录 A 部分习题答案 .....	265
本章小结 .....	222	附录 B 电工电子技术常用中英名词对照 .....	271
习题 11 .....	223	附录 C 半导体分立器件型号命名方法 .....	281
<b>第 12 章 时序逻辑电路</b> .....	226	附录 D 常用半导体器件参数 .....	282
12.1 概述 .....	226	附录 E 集成电路型号命名方法 .....	287
12.2 双稳态触发器 .....	226	<b>参考文献</b> .....	288
12.3 寄存器 .....	231		
12.4 计数器 .....	232		

# 第1章 电路的基本定律和基本分析方法

本章的内容是学习后面章节内容的基础。首先较详尽地介绍了电路的基本概念，其中主要包括电路的主要物理量、电路的基本定律、电路的工作状态、电流和电压的参考方向及电路中电位的计算；然后介绍了两个电路定律，即欧姆定律和基尔霍夫定律；最后介绍了电路的分析方法，其中主要介绍了几种常用的电路分析方法，如电阻的串并联等效互换、电源等效变换法、支路电流法、节点电压法、叠加原理以及等效电源定理。

## 1.1 电路的基本概念

### 1.1.1 电路的组成及作用

电路是电流的通路。一个完整的电路是由电源、负载、中间环节三个部分按一定方式组成的。下面以图 1-1 所示的简单照明电路为例，来说明电路的基本组成。这个电路是由电池、灯泡、连接导线和开关构成的。当开关闭合后，闭合电路中有电流流动，于是灯泡就会发光。在电路中，电池是电源，作为电路中电能的来源，是把非电能转化为电能的装置；灯泡是负载，作为消耗电能的用电设备，其作用是将电能转换为其他形式的能量——热能和光能，为人们所利用；导线和开关为中间环节，是连接电源和负载的部分，起传递、分配和控制电能的作用。一般常把负载和中间环节组成的电路称为外电路，而把电源内部的电流通路称为内电路。

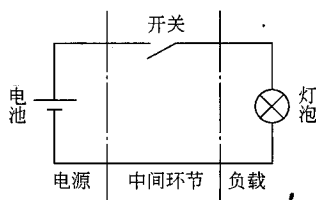


图 1-1 简单照明电路

电路按其功能可分为两类：一类是为了实现电能的传输、分配和转换，这类电路称为电力电路；另一类是为了实现信号的传递和处理，这类电路称为信号电路。

### 1.1.2 电路的基本物理量及其参考方向

#### 1. 电流

带电粒子的有规则定向运动就形成了电流。

(1) 电流强度 单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度。电流强度用于衡量电流的强弱，电流强度简称为电流，用字母  $i$  (或  $I$ ) 表示。

设在  $dt$  时间内通过导体横截面的电荷量的代数和为  $dq$ ，则通过该截面的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式(1-1)说明电流强度是随时间而变化的，是时间的函数。

若电流不随时间而变，即  $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ，则电流用大写字母  $I$  表示。式(1-1)则可改写为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

式(1-2)中,  $q$  为在时间  $t$  内通过导体横截面的电荷量, 这种电流称为恒定直流, 简称直流。若电流的大小和方向都随时间而变化, 则称之为交流, 用字母  $i$  表示。

在国际单位制(SI)中, 电流强度的单位是安培, 简称安, 用符号 A 表示。计量微小的电流时, 还可以毫安(mA)、微安( $\mu$ A)为单位。它们之间的换算关系是,  $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

(2) 电流的方向 习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向, 称其为电流的实际方向, 在电路中用实线箭头表示。电流的方向是客观存在的, 在简单电路中, 人们很容易判断出电流的实际方向。但在分析较为复杂的直流电路和交流电路时, 往往难于事先判断或知道某条支路中电流的实际方向。为此, 在对电路进行分析与计算时, 常任意选定某一方向作为电流的参考方向, 也称为正方向, 在电路中用虚线箭头表示。若电流的参考方向与实际方向一致, 则电流值为正值, 即  $I$  (或  $i$ )  $> 0$ ; 若电流的实际方向与其参考方向相反, 则电流值为负值即  $I$  (或  $i$ )  $< 0$ 。这样, 在选定了参考方向之后, 电流值的正负就可以反映出电流的实际方向。电流的实际方向与其参考方向的关系如图 1-2 所示, 图中方框表示一个二端元件。

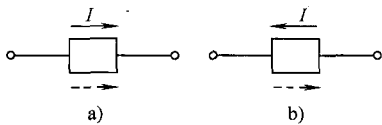


图 1-2 电流的参考方向与实际方向  
a)  $I > 0$  b)  $I < 0$

本教材中电路图上所标出的电流方向均为参考方向。

## 2. 电压

电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所作的功称为 a、b 间的电压, 用  $u_{ab}$  (或  $U_{ab}$ ) 表示, 即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

在 SI 中, 电压的单位为伏特, 简称伏, 用字母 V 表示。 $1\text{kV}$  (千伏)  $= 10^3\text{V}$ ;  $1\text{V} = 10^3\text{mV}$  (毫伏)  $= 10^6\mu\text{V}$  (微伏)。

电压的实际方向为电位降低的方向, 在电路中仍用实线箭头表示; 也可以用极性“(+)”、“(-)”表示,“(+)”表示高电位,“(-)”表示低电位。参考方向既可以用虚线箭头表示; 也可用极性“+”、“-”表示,“+”表示高电位,“-”表示低电位; 还可用双下标表示, 如  $U_{AB}$  就表示 A 点和 B 点之间电压的参考方向是由 A 指向 B。同样, 当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正值  $U$  (或  $u$ )  $> 0$ ; 当电压的参考方向和它的实际方向相反时, 电压为负值  $U$  (或  $u$ )  $< 0$ 。电压的实际方向和其参考方向的关系如图 1-3 所示。

当然, 在对电路进行分析和计算时, 原则上电压和电流参考方向的指定是任意的, 但为了方便, 一般都应将元件上的电压和电流的参考方向取为一致, 这种参考方向称为关联参考方向。否则为非关联参考方向, 如图 1-4 所示。

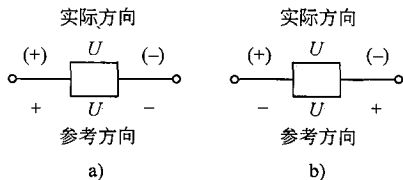


图 1-3 电压的参考方向与实际方向  
a)  $U > 0$  b)  $U < 0$

## 3. 电动势

非电场力把单位正电荷在电源内部由低电位端移到



高电位端所做的功称为电动势，用字母  $e$  (或  $E$ ) 表示。

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

电动势的实际方向在电源内部由低电位指向高电位，即电位上升的方向。其单位与电压的单位相同。在图 1-5 所示电路中，电压  $U_{ab}$  是电场力把单位正电荷由外电路从  $a$  点移到  $b$  点所做的功，其方向为由高电位指向低电位。电动势  $E_{ba}$  是非电场力在电源内部把单位正电荷从  $b$  点移到  $a$  点克服电场力所做的功，其方向是由低电位指向高电位。

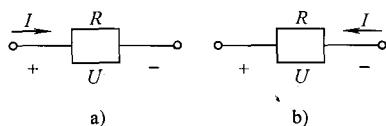


图 1-4 关联参考方向与  
非关联参考方向

a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

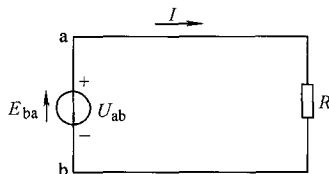


图 1-5 电压与电动势

#### 4. 电功率

电能量对时间的变化率，也就是电场力在单位时间内所做的功，称为功率，用字母  $p$  表示。

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-5)$$

对于直流电路，电源功率  $P_s$  表示电源将非电能转换为电能的速率，即电源在单位时间内输出的电能。

$$P_s = \frac{W_s}{t} = \frac{Eq}{t} = EI \quad (1-6)$$

可见，电源功率等于电源电动势与通过电源电流的乘积。

对于直流电路，负载的功率  $P$  代表负载中电能转换为非电能的速率，即负载在单位时间内消耗的电能。

$$P = \frac{W}{t} = U \frac{q}{t} = UI \quad (1-7)$$

可见，负载功率等于负载上的电压降与通过负载的电流的乘积。

在一个电路中，电源产生的功率与负载、导线以及电源内阻上消耗的功率总是平衡的，遵守能量守恒定律。

在 SI 中，功率的单位是瓦特，简称瓦，用字母  $W$  表示。

$$1\text{kW}(\text{千瓦}) = 10^3\text{W}; 1\text{W} = 10^3\text{mW}(\text{毫瓦})$$

电流在一段时间内所做的功，称为电能。电能等于功率与时间的乘积，即

$$W = Pt \quad (1-8)$$

电能的单位是焦耳，用  $J$  表示。  $1J = 1W \times 1s = 1W \cdot s$

在日常生活中所说的 1 度电就是功率为  $1\text{kW}$  的负载，在 1 小时内消耗的电能，即  $1\text{kW} \cdot \text{h}$  (1 千瓦·时)。

在电路分析中，不仅需要计算元件(或某部分电路)功率的大小，有时还要判断功率的性质，即该元件(或某部分电路)是产生功率还是消耗功率。根据电压和电流的实际方向可以确定电路元件的功率性质：当  $U$  和  $I$  的实际方向相同，即电流从“+”端流入；从“-”端流出，则该元件(或某部分电路)是消耗(取用)功率的，属负载性质；当  $U$  和  $I$  的实际方向相反，即电流从“+”端流出，从“-”端流入，则该元件(或某部分电路)是输出(提供)功率，属电源性质。

在引用了参考方向的概念后，式(1-7)应作修正，即若电压、电流的参考方向一致，即关联参考方向时有

$$P = UI \tag{1-9}$$

若电压、电流的参考方向相反，即非关联参考方向时有

$$P = -UI \tag{1-10}$$

因此，若  $P > 0$ ，说明该元件(或某部分电路)消耗功率，作用为负载；若  $P < 0$ ，说明该元件输出功率，作为电源。

**【例 1-1】** 在图 1-6 所示电路中，电压、电流的参考方向已标出，已知  $I_1 = -4\text{A}$ ， $I_2 = -6\text{A}$ ， $I_3 = 10\text{A}$ ， $U_1 = 60\text{V}$ ， $U_2 = -60\text{V}$ ， $U_3 = 60\text{V}$ 。试求：各元件的功率，并判断是输出功率还是消耗功率，验证功率是否平衡。

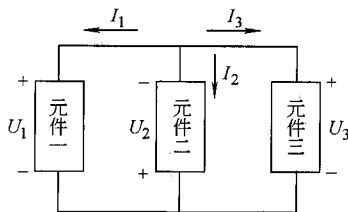


图 1-6 例 1-1 电路

解 元件一： $P_1 = U_1 I_1 = 60 \times (-4)\text{W} = -240\text{W}$ ，元件输出功率；

元件二： $P_2 = -U_2 I_2 = -(-60) \times (-6)\text{W} = -360\text{W}$ ，元件输出功率；

元件三： $P_3 = U_3 I_3 = 60 \times 10\text{W} = 600\text{W}$ ，元件消耗功率。

$P_1 + P_2 + P_3 = [(-240) + (-360) + 600]\text{W} = 0\text{W}$ ，说明功率平衡。

### 1.1.3 电路模型及理想电路元件

实际电路都是由一些具体的电路元件或器件，比如发电机、变压器、电池、晶体管等组成。在电路分析中为了简化分析和计算，通常在一定条件下，突出其主要的电磁性质，忽略其次要的因素，用某些足以表征其主要特性的单一理想电路元件或其组合来代替。常用的理想电路元件只有几个，它们可以用来表征千万种实际元器件。

由理想电路元件构成的电路称为电路模型，图 1-1 所示的简单照明电路的电路模型如图 1-7 所示。本教材所分析的“电路”都是指电路模型，简称为电路图。

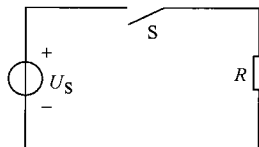


图 1-7 电路模型

在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示。基本的理想电路元件有理想电阻元件、理想电感元件、理想电容元件、理想电压源和理想电流源五种，它们分别简称为电阻元件、电感元件、电容元件、电压源和电流源。电阻元件、电感元件、电容元件，具有负载性质。电压源的特点是具有恒定的电动势，能输出恒定的电压，其端电压不随输出电流而变化；电流源的特点是输出恒定的电流，即输出电流不随输出电压而变化。给出理想电源的目的是为了建立实际电源的电路模型。

## 1. 电阻元件

电阻元件一般用来表示实际电路中的耗能元件,如电灯、电炉等。图形符号如图 1-8a 所示。元件端电压和流过它的电流之间的关系,称为元件的伏安特性。在关联参考方向下,电阻元件的伏安特性为

$$u = Ri \quad (1-11)$$

式(1-11)表示电阻元件的端电压和流过它的电流成正比。比例系数  $R$  称为电阻。其伏安特性曲线如图 1-8b 所示,它是一条过原点的直线。通常把伏安特性为直线的电阻称为线性电阻。

在 SI 中,电阻的单位是欧姆,简称欧,用  $\Omega$  表示。当电路两端的电压为 1V,通过的电流为 1A 时,则该段电路的电阻为  $1\Omega$ 。 $1\text{k}\Omega$ (千欧) =  $10^3\Omega$ ;  $1\text{M}\Omega$ (兆欧) =  $10^6\Omega$ 。

电阻元件消耗的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-12)$$

显然,不论  $u$ 、 $i$  是正值还是负值,  $p$  总是大于零的,故电阻是耗能元件。

## 2. 电感元件

电感元件是从实际电感线圈抽象出来的理想化模型,图形符号如图 1-9 所示。当电感线圈中通过电流后,将产生磁通,在其内部及周围建立磁场,储存能量。当忽略线圈电阻及线圈匝与匝之间的电容时,可将其抽象为只具有储存磁场能性质的电感元件。根据电磁感应定律,当电压  $u$ 、电流  $i$ 、自感电动势  $e_L$  的参考方向如图 1-9 中所示时,则有

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-13)$$

从式(1-13)可以看出,电感元件两端的电压,与它的电流对时间的变化率成正比,比率系数  $L$  称为自感(系数)或电感。

当电感元件中流过稳定的直流电流时,因  $di/dt = 0$ ,故  $u = 0$ ,这时电感元件相当于短路。

在 SI 中,电感的单位是亨利,简称亨,用 H 表示。当电感线圈中通过的电流变化率为 1A/s,产生 1V 的感应电动势时,则该电感线圈的电感为 1H。

电感元件中储存的磁场能量为

$$W_L = \int_0^i uidi = \int_0^i Lidi = \frac{1}{2}Li^2 \quad (1-14)$$

从时间  $t_1$  到时间  $t_2$  内,电感元件中吸收的磁场能量为

$$W_L = \int_{i(t_1)}^{i(t_2)} Lidi = \frac{1}{2}Li^2(t_2) - \frac{1}{2}Li^2(t_1) = W_L(t_2) - W_L(t_1)$$

电流  $|i|$  增加时,  $W_L > 0$ ,元件吸收能量;当  $|i|$  减少时,  $W_L < 0$ ,元件释放能量。由此可见,电感元件并不消耗能量,而是以磁场能的形式储存能量,所以电感元件是一种储能元件。

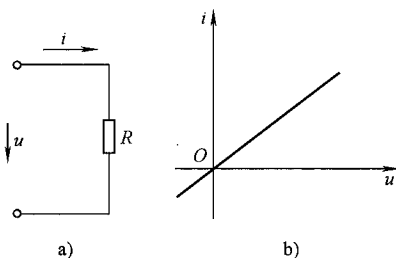


图 1-8 电阻元件

a) 图形符号 b) 伏安特性

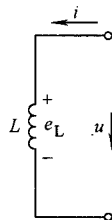


图 1-9 电感元件

### 3. 电容元件

电容元件是从实际电容器中抽象出来的理想化模型。当忽略电容器的漏电阻和电感时，可将其抽象为只具有储存电场能量的电容元件，其电路图形符号如图 1-10 所示。

电容器极板上储存的电量  $q$  与两端的电压  $u$  之间有以下关系：

$$q = Cu \quad (1-15)$$

式(1-15)中比例系数  $C$  是电容元件的参数，称为电容。

在 SI 中，电容的单位是法拉，简称法，用 F 表示。当将电容器充上 1V 的电压时，极板上若储存了 1C(库)的电量，则该电容器的电容就是 1F。由于法拉的单位太大，工程上一般经常采用  $\mu\text{F}$ (微法)或  $\text{pF}$ (皮法)， $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$ 。

当电压、电流的参考方向为关联参考方向时，则有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-16)$$

式(1-16)表明电容元件上通过的电流与其两端电压的变化率成正比。当电压为直流电压时，因电流  $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = 0$ ，所以电容相当于开路。

电容元件极板间储存的电场能量为

$$W_c = \int_0^t u i dt = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-17)$$

$$W_c = \int_{u(t_1)}^{u(t_2)} C u du = \frac{1}{2} C u^2(t_2) - \frac{1}{2} C u^2(t_1) = W_c(t_2) - W_c(t_1)$$

电容元件充电时， $|u(t_2)| > |u(t_1)|$ ， $W_c > 0$ ，元件吸收能量；电容元件放电时， $|u(t_2)| < |u(t_1)|$ ， $W_c < 0$ ，元件释放吸收的能量。由此可见，电容元件并不消耗能量，而是以电场能的形式储存能量，所以电容元件也是一种储能元件。

### 4. 理想电压源

无论流过多大电流，都能提供恒定电压的电路元件称为理想电压源，简称电压源。其相

相当于一个只产生电压  $U_s$ ，而没有内部能量损耗的电源，其符号和伏安特性曲线分别如图 1-11 a、b 所示。图中  $U_s$  为电压源的电压，流过电压源的电流  $I$  是任意的，是由与之相连接的外电路决定的。直流电压源也可用图 1-11c 中的符号表示，长线表示正极(高电位)，短线表示负极(低电位)。

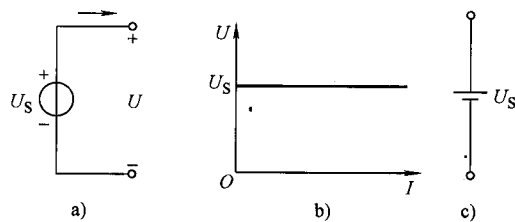


图 1-11 理想电压源

理想电压源实际上是并不存在的，但如果电压源的内阻远小于负载电阻，则其端电压基本恒定，就可忽略内阻的影响，认为是一个理想电压源。通常，稳压电源和新干电池都可以近似地认为是理想电压源。

若电流流过电压源时，是从低电位流向高电位，则电压源向外提供电能；若电流流过电压源时，从高电位流向低电位，则电压源吸收电能，作负载来用，如电池被充电。

### 5. 理想电流源

在电路中, 无论其端电压是多少, 都能提供恒定电流的电路元件称为理想电流源, 简称电流源。至于它的端电压  $U$ , 则由与之相连接的外电路决定。电流源的符号和伏安特性曲线如图 1-12a、b 所示,  $I_s$  为电流源的电流。

同样, 理想电流源实际上也是不存在的, 但如果电流源的内阻远大于负载电阻, 则其电流基本恒定, 就可认为是理想电流源。电流源既可以对外电路提供能量, 也可以从外电路接受能量, 视其端电压的极性而定。

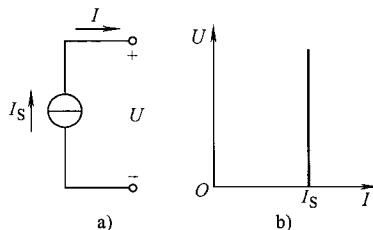


图 1-12 理想电流源

### 1.1.4 电路的工作状态

电路有有载、开路和短路三种基本工作状态。下面分别讨论电路在不同的状态下, 电流、电压和功率方面所具有的不同特征。

#### 1. 有载工作状态

在实际电路中, 电源可看作是由一个双态电压源与一个电阻串联而成。在图 1-13 所示电路中, 当开关 S 闭合后, 电源与负载接通, 有电流流过负载  $R_L$ , 这种状态称为电路的有载工作状态, 或称之为负载状态。这时电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L}$$

负载电阻  $R_L$  两端的电压与电源端电压相等, 为

$$U = IR = U_s - IR_0$$

负载电阻  $R_L$  消耗的功率为

$$P = UI = I^2 R$$

#### 2. 开路状态

开路状态又称断路状态或空载状态。在如图 1-13a 所示电路中, 当开关 S 打开时, 电路处于开路状态, 如图 1-13b 所示开路时外电路的电阻对电源来说等于无穷大, 电路中的电流等于零, 即

$$I = 0$$

这时电源的端电压称为开路电压或空载电压, 在数值上等于电源的电压, 用  $U_{oc}$  表示, 即

$$U_{oc} = U_s$$

由于电路的电流  $I = 0$ , 故电路不输出功率, 即

$$P = 0$$

#### 3. 短路状态

如果由于某种原因使电源的两端直接连接在一起, 如图 1-14 所示, 则称电源被短路。电源被短路时, 电流有捷径可走, 不再流过负载, 此电流称为短路电流, 用  $I_{sc}$  表示

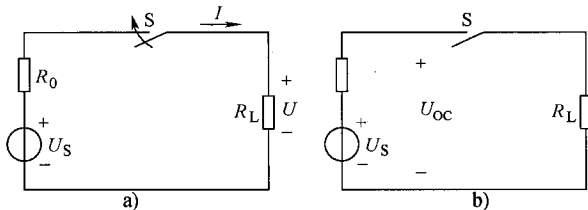


图 1-13

a) 电路的有载工作状态 b) 电路的空载状态

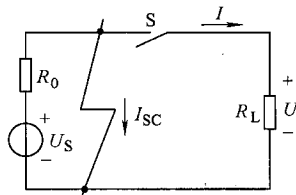


图 1-14 电路的短路状态

$$I_{sc} = \frac{U_s}{R_0}$$

因为在电流的回路中仅有很小的电源内阻  $R_0$  (电压源为非理想电源) 存在, 所以这时的电流很大。

电源短路时, 外电路的电阻可视为零, 所以电源的端电压也为零, 这时电源的电动势全部降在内阻上, 即

$$U = 0$$

$$U_s = R_0 I_{sc}$$

电源对外输出的功率和负载所吸收的功率均为零, 电源产生的功率全部消耗在内阻上, 即

$$P_s = U_s I_{sc} = R I_{sc}^2$$

短路通常是一种严重的事故状态, 应该尽力预防和避免。产生短路的原因一般是由于电路中的绝缘材料损坏或错误的接线造成的。由于短路电流很大, 如果不迅速排除, 则很可能会烧毁电源及其他电气设备, 甚至引起火灾; 或由于短路电流产生强大的电磁力而造成机械上的损坏。为了避免短路事故引起的严重后果, 通常在电路中接入熔断器或自动断路器, 以便在发生短路时能迅速地将故障电路自动切断。但是, 有时由于某种需要, 也可以人为地将电路中的某一部分短路, 这种有用的短路通常称为“短接”。

### 1.1.5 电位的概念与计算

在进行电路分析和计算时, 特别是对电子线路的分析和计算, 经常要研究电路中各点电位的高低。例如在讨论晶体管的工作状态时, 要分析各个极的电位值, 求出各极间的电位差, 从而确定晶体管的工作状态。

电位是度量电路中各点所具有的电位能的大小的物理量, 是一个相对的概念, 它必须是相对于某个特定的参考点而言的。电位在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移到参考点所做的功。参考点的电位值一般设为零, 因此也称为零电位点。

对照电位与电压的定义, 不难理解电路中任意一点的电位, 就是该点与参考点之间的电压, 而电路中任意两点之间的电压, 则等于这两点的电位之差。

如何选取参考点, 从理论上讲, 是把无穷远处作为零电位参考点; 在工程上, 是把大地作为零电位参考点; 在电子技术上, 以机壳或导线汇交点作为零电位参考点。实际上, 零电位参考点可以任意选定, 它只是作为一个电位比较标准。在电路图中用“ $\perp$ ”符号表示。

以如图 1-15 所示的电路为例, 来讨论电路中各点的电位。

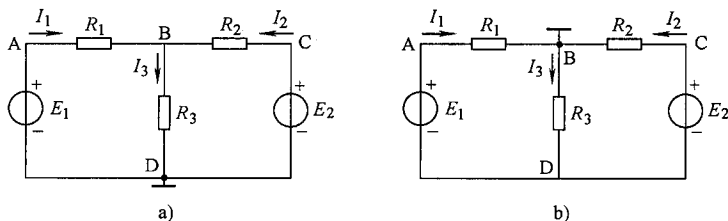


图 1-15 电路中各点的电位

设  $E_1 = 30V$ ,  $E_2 = 40V$ ,  $R_1 = 10\Omega$ ,  $R_2 = 20\Omega$ ,  $R_3 = 10\Omega$ ,  $I_1 = 1A$ ,  $I_2 = 1A$ ,  $I_3 = 2A$ 。

若将 D 点设为参考点, 如图 1-15a 所示, 则各点的电位值

$$V_D = 0V, V_A = E_1 = 30V, V_B = I_3 R_3 = 20V, V_C = E_2 = 40V$$

若将 B 点作为参考点, 如图 1-15b 所示, 则各点的电位值

$$V_B = 0V, V_A = I_1 R_1 = 10V, V_C = I_2 R_2 = 20V, V_D = -I_3 R_3 = -20V$$

从上讨论可以看出, 选择的参考点不同, 各点的电位值不同, 但任意两点间的电压是不变的。如 C、B 点之间的电压始终为

$$U_{CB} = V_C - V_B = I_2 R_2 = 20V$$

综上所述, 可得出如下两点结论:

- ① 电路中任一点的电位等于该点与参考点(零电位点)之间的电压。
- ② 参考点选得不同, 电路中各点的电位值不同, 但是任意两点间的电压是不变的。所以各点电位的高低是相对的, 而两点间的电压是绝对的。

有时在画电路图时, 特别在画电子电路图时, 常省掉电源, 各端标以电位值, 因此图 1-15 所示的电路可简化为如图 1-16 所示电路。

【例 1-2】 计算图 1-17 所示电路中 B 点的电位。

解 
$$I = \frac{V_A - V_C}{R_1 + R_2} = 0.1A$$

$$V_B = V_A - U_{AB} = V_A - IR_1 = -4V$$

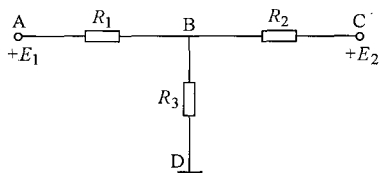


图 1-16 图 1-15 的简化电路

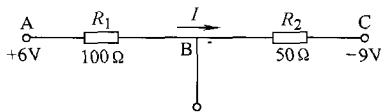


图 1-17 例 1-2 电路

### 【思考题】

- 1-1-1 为什么要引入电压、电流的参考方向? 参考方向与实际方向有何区别和联系?
- 1-1-2 何谓关联参考方向?
- 1-1-3 何谓电位? 如何计算?
- 1-1-4 电路中用导线连接的各点电位是相等的, 如果把导线断开, 对其他部分有没有影响?

## 1.2 电路的基本定律

### 1.2.1 欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这就是欧姆定律, 它是电路的基本定律之一。在引入了参考方向的概念后, 利用欧姆定律来写电压与电流之间的关系式时, 就要考虑电压与电流的参考方向的关系。

当电压和电流为关联参考方向时, 如图 1-18a 所示, 电路的欧姆定律表达式为

$$U = IR \quad (1-18)$$

当电压和电流为非关联参考方向时, 如图 1-18b 所示, 电路的欧

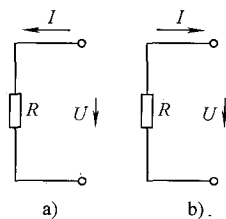


图 1-18 欧姆定律

姆定律表达式为

$$U = -IR \quad (1-19)$$

### 1.2.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包含有两条定律：一条是研究电路中相关支路电流之间关系的基尔霍夫电流定律(KCL)，另一条是研究电路中各支路电压之间关系的基尔霍夫电压定律(KVL)。

在讨论基尔霍夫定律之前，先以如图 1-19 所示电路为例介绍几个名词。

**支路：**电路中的每一分支称为支路，一条支路流过同一个电流。在如图 1-19 所示电路中共有三条支路，即 adc、ac 和 abc。

**节点：**电路中三条或三条以上的支路连接点称为节点。在如图 1-19 所示电路中共有两个节点，即 a 和 c。

**回路：**由一条或多条支路所组成的闭合路径称为回路。在如图 1-19 所示电路中共有三个回路，即 abca、acda 和 abcd。

**网孔：**未被其他支路分割的回路称为网孔。在如图 1-19 所示电路中共有两个网孔，即 abca、acda。

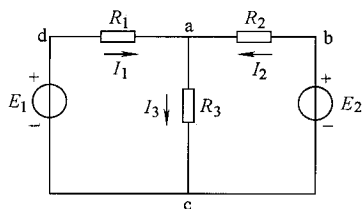


图 1-19 电路举例

#### 1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律是确定连接在同一个节点上的各支路的电流之间关系的基本定律。该定律指出：在电路中，由于电流的连续性，在任一瞬时，对于任一节点，流入节点的电流之和必定等于流出该节点的电流之和，即

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1-20)$$

式(1-20)中  $I_i$  为流入节点的电流， $I_o$  为流出节点的电流。

例如，对图 1-19 所示电路中的节点 a 可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3$$

上式又可改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

这也就是说，基尔霍夫电流定律又可表述为：在任一瞬时，流入任意一个节点电流的代数和恒等于零，即

$$\sum I = 0 \quad (1-21)$$

式(1-21)中流入节点的电流取“+”，流出节点的电流取“-”。

对于节点 c 也可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3$$

显然，此方程式与节点 a 完全相同，因此，在对该电路进行分析计算时，只需对其中的一个节点列电流方程，这个节点即为独立节点。可以证明，若电路具有  $n$  个节点，则有  $n-1$  个节点是独立节点。

基尔霍夫电流定律通常应用于节点，但也可以推广应用于电路中任何一个假定的闭合面。例如在如图 1-20 所示电路中，对于封闭面 S，可以将它看作一个大节点，即广义节点，同样有

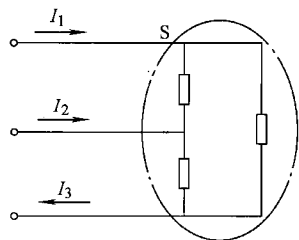


图 1-20 基尔霍夫电流定律的推广应用



$$I_1 + I_2 = I_3$$

或

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

也可以说, 在任一瞬间, 通过任一闭合面的电流的代数和也恒等于零。

基尔霍夫电流定律是电流连续性的体现。

## 2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律是用来确定回路中各支路的电压之间关系的基本定律。在电路中任何时刻, 沿任一回路循行一周, 所有支路的电压降的代数和等于零, 即

$$\sum \dot{U}_k = 0 \quad (1-22)$$

式(1-22)中  $U_k$  为组成该回路的各支路的电压,  $k=1, 2, \dots, n$  (设有  $n$  条支路组成该回路)。

在电路的某一回路中应用 KVL 时, 必须首先假定各支路的电压参考方向, 并指定该回路的循行方向(顺时针或逆时针), 若支路电压与回路的循行方向一致时取“+”号, 相反时则取“-”号。

在如图 1-21 所示电路中, 假定回路循行方向为顺时针, 则有

$$-U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} + U_1 - U_2 = 0$$

如果用电阻  $R$  与电流  $I$  的乘积表示电阻元件两端的电压, 则上式可写为

$$R_1 I + R_2 I + R_3 I + U_1 - U_2 = 0$$

整理得

$$U_2 - U_1 = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

即

$$\sum RI = \sum U_s \quad (1-23)$$

式(1-23)是基尔霍夫电压定律的另一种表达形式: 任一瞬时, 沿电路中的任一回路循行一周, 电阻上的电压降的代数和等于电源电压的代数和。若电流的方向与回路循行方向一致, 则  $RI$  取“+”号, 否则取“-”号; 若电源电压的方向与回路循行方向一致, 则其取“-”号, 否取则“+”号。

基尔霍夫电压定律不但适用于闭合回路, 对于开口电路也同样适用, 但需要在开口处假设电压。在列电压方程时, 要注意开口处电压方向。

**【例 1-3】** 试求: 图 1-22 所示电路的开口电压  $U_{ab}$ 。

解 在回路 cdef 中, 根据 KVL, 有

$$6 + 3I + 3I - 12 = 0$$

$$I = 1 \text{ A}$$

在回路 abdefca 中, 根据 KVL, 有

$$2 + U_{ab} + 3I - 12 = 0$$

将  $I = 1 \text{ A}$  代入, 得

$$2 + U_{ab} + 3 \times 1 - 12 = 0$$

$$U_{ab} = 7 \text{ V}$$

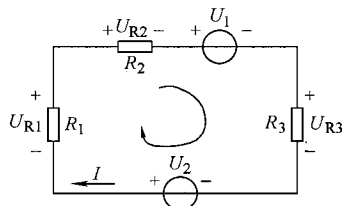


图 1-21 基尔霍夫电压定律

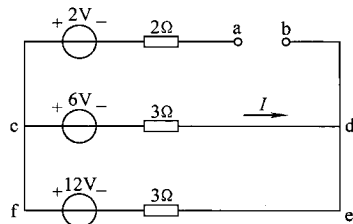


图 1-22 例 1-3 电路

注意: 在对电路的分析和计算时, 一般要对独立回路列电压方程, 一般来说网孔即是独立回路。在电路中, 若有  $b$  条支路,  $n$  个节点, 则独立回路(或网孔)数为  $b - (n - 1)$  个。

基尔霍夫电压定律规定了任一回路中各支路的电压必须服从的约束, 它与各支路的元件