

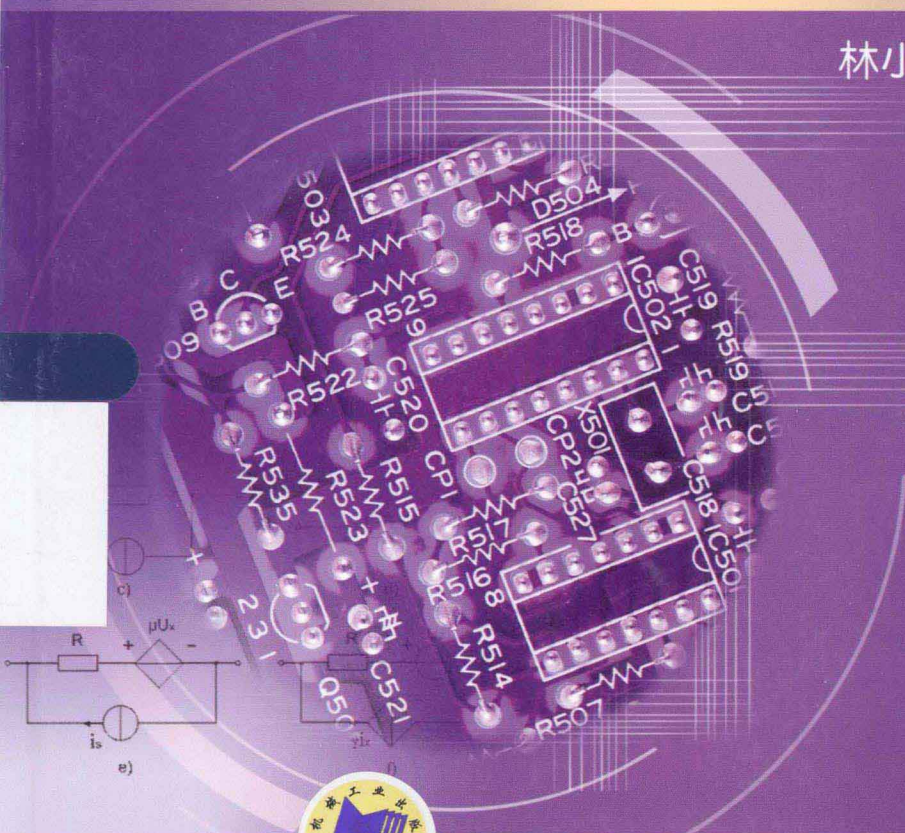


普通高等教育“十二五”电子电气基础课程规划教材

# 电工电子学

## 第2版

林小玲 郑敏 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”电子电气基础课程规划教材

# 电工电子学

第2版

林小玲 郑敏 宾江宏 胡涛 宋杨 朱明 李少纯 编著



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十二五”电子电气基础课程规划教材。本书是在《电工电子学》(第1版)的基础上,根据新教学大纲,适应科技发展的需要,集作者多年的教学经验,进行修订改写而成的。

本书的体系,仍然是将电路和电子技术、模拟电子技术和数字电子技术等内容适当交叉和结合,合并为一册出版。

本书的内容,包括电路和电路元器件、电路分析基础、基本放大电路、集成运算放大电路、数字集成电路、功率电子电路、变压器和交流电动机。

书中每章都有内容提要,以此来概括该章的知识体系结构、基本要求、重点与难点,并编写了一定数量的典型例题。全书内容深入浅出,便于自学,也可作为工程技术人员的自学参考教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工电子学/林小玲等编著. —2版. —北京:机械工业出版社,2013.5  
普通高等教育“十二五”电子电气基础课程规划教材  
ISBN 978-7-111-42062-0

I. ①电… II. ①林… III. ①电工学-高等学校-教材②电子学-高等学校-教材 IV. ①TM1②TN01

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第068919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:于苏华 责任编辑:于苏华

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:张静 责任印制:张楠

北京振兴源印务有限公司印刷

2013年8月第2版第1次印刷

184mm×260mm·23.5印张·579千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42062-0

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

## 第2版前言

《电工电子学》(第2版)是根据新教学大纲,适应科技发展的需要,集作者多年的教学经验,在第1版的基础上修订编写而成的。本书力求做到内容精选,重点突出,努力创新,适合教学。

本书基本保留了第1版的体系,仍将电路和电子技术、模拟电子技术和数字电子技术等内容进行适当交叉和结合,重点突出基本概念、基本理论、基本原理和基本分析方法,并尽量减少过于复杂的分析与计算,着重于定性分析。

在修订时,对各章内容作了一些删减和更新,例如,考虑到第1版第6章“波形的产生和变换”中“正弦波振荡电路”应用较少,将此内容删减,而将“脉冲信号的产生与整形”以“集成定时器”并入第5章;第4章增加了“集成运算放大器的分析方法”和“应用实例”;第5章对“集成触发器”作了较大修改,增加了“同步T和T'触发器”和“同步触发器的触发方式”等内容,还增加了“同步时序逻辑电路的分析方法”和“异步时序逻辑电路的分析方法”。另外,为了使学生能更好地理解 and 掌握电工电子学的主要内容,提高分析和解决问题的能力,我们增写了“部分习题参考答案”作为本书的附录内容。

参加本书编写的有林小玲、郑敏、宾江宏、胡涛、宋杨、朱明、李少纯。邓丽、喻英、杜大军和王小华等也为本书的编写做了很多工作。

由于水平有限,书中必然存在不少的缺点和疏漏,恳请广大读者批评指正。

编者

# 目 录

## 第 2 版前言

## 第 1 章 电路和电路元器件 ..... 1

### 1.1 电路和电路的基本物理量 ..... 1

#### 1.1.1 电路及电路组成 ..... 1

#### 1.1.2 理想电路元器件和电路模型 ..... 1

#### 1.1.3 元器件中的电流、电压及其 参考方向 ..... 3

#### 1.1.4 电路元器件的功率和能量 ..... 4

### 1.2 无源元件 ..... 6

#### 1.2.1 电阻元件 ..... 6

#### 1.2.2 电容元件 ..... 7

#### 1.2.3 电感元件 ..... 11

### 1.3 独立电源元件 ..... 13

#### 1.3.1 理想电压源 ..... 13

#### 1.3.2 理想电流源 ..... 14

#### 1.3.3 理想电压源和理想电流源的 串、并联 ..... 15

#### 1.3.4 电压源和电流源的等效变换 ..... 16

### 1.4 电子器件 ..... 18

#### 1.4.1 半导体的导电特性 ..... 18

#### 1.4.2 杂质半导体 ..... 19

#### 1.4.3 PN 结及其单向导电性 ..... 20

#### 1.4.4 半导体二极管 ..... 23

#### 1.4.5 双极型晶体管 ..... 29

#### 1.4.6 绝缘栅型场效应晶体管 ..... 35

#### 1.4.7 半导体光电器件 ..... 38

### 习题 ..... 41

## 第 2 章 电路分析基础 ..... 54

### 2.1 电路的基本定律 ..... 54

#### 2.1.1 电路的基本连接方式 ..... 54

#### 2.1.2 欧姆定律 ..... 55

#### 2.1.3 基尔霍夫定律 ..... 56

### 2.2 电路的分析方法 ..... 60

#### 2.2.1 支路电流法 ..... 60

#### 2.2.2 节点电压法 ..... 63

#### 2.2.3 电路定理 ..... 65

### 2.3 电路的暂态分析 ..... 70

#### 2.3.1 动态电路的方程及其初始条件 ..... 71

#### 2.3.2 一阶电路的零输入响应 ..... 74

#### 2.3.3 一阶电路的零状态响应 ..... 78

#### 2.3.4 一阶电路的全响应 ..... 80

#### 2.3.5 一阶电路的三要素法 ..... 81

#### 2.3.6 小结 ..... 82

### 2.4 正弦交流电路 ..... 83

#### 2.4.1 正弦量 ..... 83

#### 2.4.2 正弦量的相量表示法 ..... 86

#### 2.4.3 单一参数的正弦交流电路 ..... 89

#### 2.4.4 RLC 正弦交流电路 ..... 93

#### 2.4.5 功率因数的提高 ..... 99

#### 2.4.6 小结 ..... 100

### 2.5 三相正弦交流电路 ..... 102

#### 2.5.1 对称三相交流电源的产生 ..... 103

#### 2.5.2 三相电源的连接方式 ..... 104

#### 2.5.3 三相负载及其连接方式 ..... 105

#### 2.5.4 三相电路 ..... 105

#### 2.5.5 三相电路的功率 ..... 110

#### 2.5.6 小结 ..... 112

### 习题 ..... 112

## 第 3 章 基本放大电路 ..... 125

### 3.1 放大电路的基本概念和性能指标 ..... 125

#### 3.1.1 放大的概念 ..... 125

#### 3.1.2 放大电路的主要技术指标 ..... 125

#### 3.1.3 小结 ..... 127

### 3.2 放大电路的工作原理 ..... 127

#### 3.2.1 共射组态基本放大电路的组成 及各元器件的作用 ..... 127

#### 3.2.2 放大电路的基本工作原理 ..... 128

#### 3.2.3 小结 ..... 131

### 3.3 放大电路的分析方法 ..... 131

#### 3.3.1 放大电路的图解分析法 ..... 131

#### 3.3.2 放大电路静态工作点估算法 ..... 135

#### 3.3.3 放大电路微变等效电路分析法 ..... 136

3.3.4 小结 .....	139	5.1.2 数制 .....	199
3.4 静态工作点的稳定 .....	140	5.1.3 二进制码 .....	201
3.4.1 温度变化对静态工作点的影响 .....	140	5.1.4 逻辑代数基础 .....	202
3.4.2 采用分压式偏置的放大电路 .....	140	5.1.5 集成门电路 .....	211
3.5 放大电路的类型及特点 .....	143	5.2 组合逻辑电路 .....	218
3.5.1 共射放大电路 .....	143	5.2.1 组合逻辑电路的分析方法 .....	219
3.5.2 共集放大电路 .....	143	5.2.2 组合逻辑电路的设计 .....	221
3.5.3 差动放大电路 .....	145	5.2.3 集成组合逻辑电路 .....	223
3.5.4 互补对称功率放大电路 .....	147	5.2.4 小结 .....	232
习题 .....	148	5.3 集成触发器 .....	232
<b>第4章 集成运算放大电路</b> .....	<b>156</b>	5.3.1 集成触发器概述 .....	232
4.1 集成运算放大器概述 .....	156	5.3.2 触发器的基本电路结构及工作状态 .....	233
4.1.1 集成电路和集成运算放大器概述 .....	156	5.3.3 同步触发器 .....	234
4.1.2 简单集成运算放大器的工作原理 .....	158	5.3.4 维持阻塞 D 触发器 .....	240
4.1.3 集成运算放大器的分析方法 .....	158	5.3.5 主从型 JK 触发器 .....	241
4.1.4 集成运算放大器的技术指标 .....	160	5.4 时序逻辑电路 .....	243
4.1.5 小结 .....	161	5.4.1 时序逻辑电路的基本概念 .....	243
4.2 放大电路中的负反馈 .....	161	5.4.2 同步时序逻辑电路的分析方法 .....	245
4.2.1 反馈的基本概念 .....	162	5.4.3 异步时序逻辑电路的分析方法 .....	247
4.2.2 反馈放大器的判别方法 .....	165	5.4.4 典型的时序逻辑电路 .....	248
4.2.3 负反馈对放大电路性能的影响 .....	168	5.4.5 小结 .....	259
4.3 集成运算放大器的应用 .....	172	5.5 集成定时器 .....	260
4.3.1 集成运算放大器的线性应用 .....	172	5.5.1 555 集成定时器 .....	260
4.3.2 集成运算放大器的非线性应用 .....	180	5.5.2 施密特触发器 .....	262
4.3.3 集成运算放大器在波形产生方面的应用 .....	184	5.5.3 单稳态触发器 .....	265
4.4 应用实例 .....	187	5.5.4 多谐振荡器 .....	267
4.4.1 应用运算放大器实现过温度保护 .....	187	习题 .....	270
4.4.2 电压测量电路 .....	187	<b>第6章 功率电子电路</b> .....	<b>283</b>
4.4.3 电平抬高电路 .....	187	6.1 功率放大电路 .....	283
4.4.4 比较器组成的电子时间继电器 .....	188	6.1.1 功率放大电路的一般问题 .....	283
4.4.5 直流电压表电路 .....	188	6.1.2 乙类功率放大电路 .....	285
4.4.6 交流电压表电路 .....	189	6.1.3 甲乙类功率放大电路 .....	291
4.4.7 测量放大器 .....	189	6.1.4 小结 .....	292
习题 .....	190	6.2 直流稳压电源 .....	292
<b>第5章 数字集成电路</b> .....	<b>197</b>	6.2.1 直流稳压电源概述 .....	292
5.1 数字电路的基础知识 .....	197	6.2.2 整流电路 .....	293
5.1.1 数字信号和模拟信号 .....	197	6.2.3 滤波电路 .....	295
		6.2.4 稳压电路 .....	299
		6.2.5 小结 .....	304
		习题 .....	304
		<b>第7章 变压器和交流电动机</b> .....	<b>311</b>

7.1 磁路及磁路的基本定律 .....	311	7.2.6 电压互感器 .....	326
7.1.1 磁场的基本物理量 .....	311	7.2.7 电流互感器 .....	327
7.1.2 磁性材料的磁性能 .....	312	7.2.8 小结 .....	328
7.1.3 磁路分析的方法 .....	313	7.3 交流电动机 .....	328
7.1.4 交流铁心线圈电路 .....	317	7.3.1 三相异步电动机的基本结构 .....	329
7.1.5 小结 .....	319	7.3.2 三相异步电动机的转动原理 .....	330
7.2 变压器 .....	319	7.3.3 三相异步电动机的特性 .....	337
7.2.1 变压器的基本结构 .....	319	7.3.4 三相异步电动机的起动和调速 .....	341
7.2.2 变压器的工作原理 .....	321	7.3.5 三相异步电动机的制动 .....	347
7.2.3 变压器进行能量传递的原理 .....	322	习题 .....	349
7.2.4 变压器的运行性能及额定值 .....	323	<b>附录 部分习题参考答案</b> .....	356
7.2.5 自耦变压器 .....	325	<b>参考文献</b> .....	367

# 第1章 电路和电路元器件

## 内容提要：

本章主要学习电工和电子技术中应用的电路、电路的基本组成及常用的电路元器件，是学习其他各章节的基础。电路元器件包括电阻元件、电感元件、电容元件、独立电源元件、半导体二极管和晶体管，这里主要介绍它们的工作原理、特性曲线和参数。由于半导体二极管和晶体管的基础是PN结，为此书中对PN结的形成和电特性也给予了必要的介绍。

## 1.1 电路和电路的基本物理量

本节介绍电压、电流的物理概念，并介绍如何利用一些基本元器件构成一个基本电路的方法。本节的目标是：

- (1) 定义电压并论述其性质，了解电压单位。
- (2) 定义电流并论述其性质，了解电流单位。
- (3) 了解能量和功率的定义及单位。

### 1.1.1 电路及电路组成

电路是指某些电气设备、元器件、开关、导线等按一定方式连接后，为电流提供的流通过程的总称。电路的结构将依它所完成的任务不同而不同，可以简单到由几个元器件构成，也可以复杂到由上千个甚至数万个元器件构成。

根据电路的作用，大体上可以将电路分为两类，一类是用于实现电能的传输与转换的电力系统的电路，如图1-1所示；另一类是用于实现电信号的传递和处理的电路，如扩音机电路，如图1-2所示。



图 1-1 电力系统电路示意图

电路一般由电源、中间环节、负载三部分组成。

### 1.1.2 理想电路元器件和电路模型

用于构成电路的元器件或设备可以抽象为电路元器件，理想电路元器件是对实际元器件



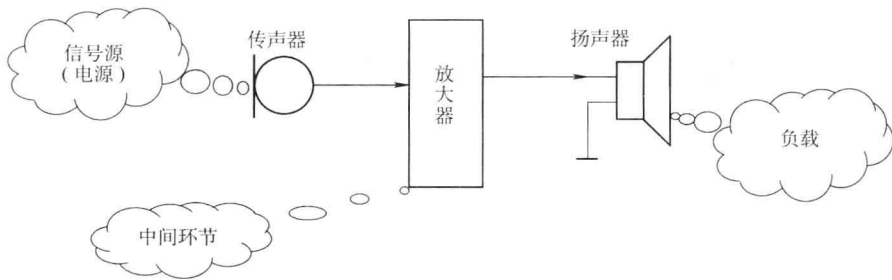


图 1-2 扩音机电路示意图

在一定条件下进行科学抽象而得到的，实际上是一种数学模型，是具有特定电磁性能的、假想的和理想化的电路元器件模型。理想电路元器件有以下三个特征：

- (1) 只有两个端子（端子是与其他电路元器件的连接点）。
- (2) 可以用电压或电流按数学方式描述。
- (3) 不能被分解为其他元器件。

它们具有规定的图形、符号和严格的数学定义。所以，在一定条件下，实际电路中元器件的特性，均可用一个理想电路元器件或多个理想电路元器件的拓扑组合来模拟，即用模型来模拟。电路模型是对实际电路电磁性能的科学抽象和概括，具有一般性。实际电路的电路模型如图 1-3 所示。电路模型的特点是：只见参数，不见设备。

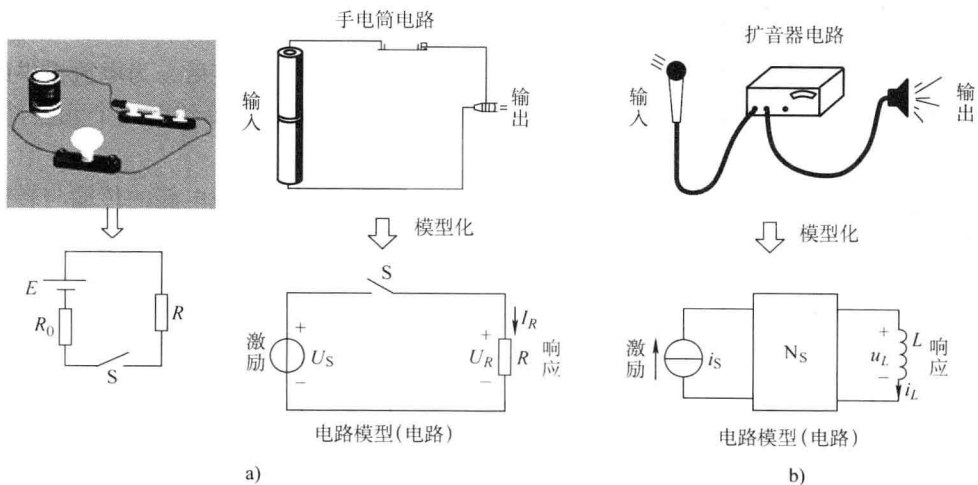


图 1-3 电路模型

常用理想电路元器件如下：

无源元件：电阻、电容、电感；

有源元件：电压源、电流源；

电子器件：二极管、晶体管、场效应晶体管。

### 1.1.3 元器件中的电流、电压及其参考方向

电路理论中涉及的物理量主要有电流  $I$ 、电压  $U$ 、电荷  $Q$ 、磁通  $\Phi$ 、电功率  $P$  和电磁能量  $W$ 。在电路分析中，人们主要关心的物理量是电流、电压和功率。

#### 1.1.3.1 电流及其参考方向

带电粒子有规则的定向运动形成电流。电流是指单位时间内通过导体横截面的电荷量，即电流表示为

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

在国际单位制中，时间  $t$  的单位为秒 (s)；电荷量  $q$  的单位是库仑 (C)；电流  $i$  的单位是安培 (A)。

#### 1. 电流的实际方向与电流的参考方向

规定正电荷的运动方向为电流的实际方向，而假定的正电荷的运动方向为电流的参考方向。

#### 2. 电流参考方向的表示方法

可以任意选定一个方向作为电流的参考方向。表示方法可以用箭头，即箭头的指向为电流的参考方向，如图 1-4 所示；也可以用双下标表示，如  $i_{ab}$  表示电流的参考方向由 a 指向 b。

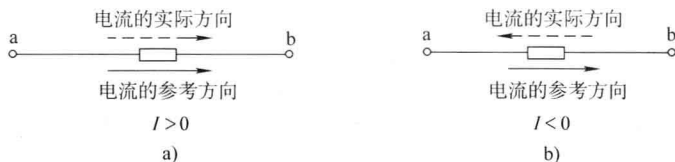


图 1-4 电流参考方向

若假定的电流参考方向与电流的实际方向一致，则电流为正值 ( $I > 0$ )，如图 1-4a 所示；反之，则电流为负值 ( $I < 0$ )，如图 1-4b 所示。

大小和方向均不随时间改变的电流称为恒定电流或直流电流，简称直流 (DC)，用符号  $I$  表示；大小和方向都随时间改变的电流则称为交流电流，简称交流 (AC)，用符号  $i$  表示。

#### 1.1.3.2 电压及其参考方向

电荷在电场力作用下形成电流，在这个过程中电场力推动电荷运动做功，当单位正电荷  $q$  从电路中一点移至参考点（一般设参考点为零）时电场力做功的大小称为电位，用  $\varphi$  表示，而单位正电荷  $q$  从电路中的某一点移至另一点时电场力做功的大小称为电压。电压定义为单位正电荷  $q$  从 a 点移至 b 点电场力所做的功  $W_{ab}$ ，即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \text{ 或 } U_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-2)$$

在国际单位制中，功的单位是焦耳 (J)；电压的单位是伏特 (V)。必须注意，电路中电位的值是相对的，参考点选择得不同，电路中各点的电位值将改变；而电路中电压值是固定的，不会因参考点的不同而变化，即电压与零电位参考点的选取无关。

### 1. 电压的实际方向与电压的参考方向

规定电路中真正电压降低的方向为电压的实际方向, 而假定的电位降低方向为电压的参考方向。

### 2. 电压参考方向的表示方法

电压参考方向有以下三种表示方法:

(1) 用箭头表示。箭头的指向为电压的参考方向, 如图 1-5a 所示。

(2) 用双下标表示。例如  $U_{ab}$ , 表示电压的参考方向由 a 指向 b, 如图 1-5b 所示。

(3) 用正负极性表示。表示电压的参考方向由 + 指向 -, 如图 1-5c 所示。

若假定的电压参考方向与电压的实际方向一致, 则电压为正值 ( $U > 0$ ), 如图 1-6a 所示; 反之, 则电压为负值 ( $U < 0$ ), 如图 1-6b 所示。

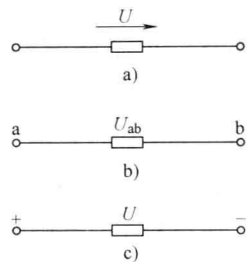


图 1-5 电压参考方向的表示方法

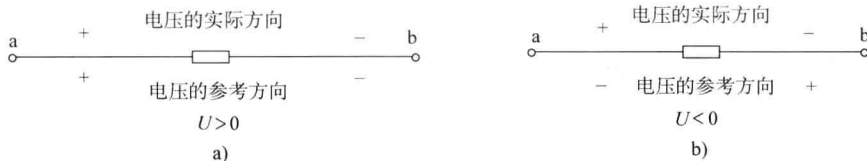


图 1-6 电压实际方向与电压参考方向的关系

### 3. 关联参考方向

分析电路元件的电压与电流的关系时, 需要将它们联系起来选择参考方向, 这样设定的参考方向称为关联参考方向或非关联参考方向。当指定流过元件的电流的参考方向是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端, 即两者采用相同的参考方向时, 称为关联参考方向, 当两者不一致时, 称为非关联参考方向, 如图 1-7a 与图 1-7b 所示。



图 1-7 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

## 1.1.4 电路元件的功率和能量

能量是做功的能力, 功率是能量作用的速率。由于电路在工作状态下总是伴随有电能与其他形式能量的相互交换, 而且, 电气设备、电路部件本身都有功率的限制, 因此在电路分析和计算中, 功率和能量的计算是十分重要的。

### 1.1.4.1 电功率

电功率为单位时间内电场力所做的功, 即

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw dq}{dq dt} = ui \quad (1-3)$$

式中  $p$ ——电功率，单位为 W；

$w$ ——能量，单位为 J。

电功率定义为：在 1s 内产生或消耗 1J 的能量，其功率为 1W。

对于一段电路而言，其功率的计算公式是  $P = UI$ 。因为电流和电压都可能正有负，所以功率的值也是有正有负的。可见，一段电路的功率的正负值是与电压和电流的正方向有关的。图 1-8 所示电路中，方框内可能是电源也可能是负载，当电压与电流正方向采用关联参考方向时，如果计算出  $P > 0$ ，则说明电流是在电场力的作用下从高电位流向低电位，电场力做功消耗功率；反之，如果  $P < 0$ ，则方框中包含有电源，是将其他形式的能量转换成电能，是向外电路发出功率。

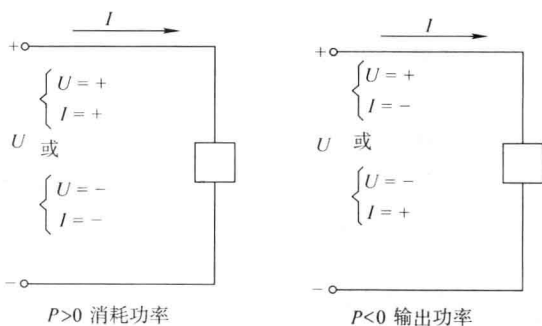


图 1-8 功率与电压及电流的关系

#### 1.1.4.2 电能

功率也可以定义为单位时间内所消耗（或产生）的电能，即

$$W = Pt \quad (1-4)$$

式中  $t$ ——时间，单位为 h；

$P$ ——功率，单位为 W；

$W$ ——电能，单位为 J。

通常，电能的单位用千瓦时（kW·h），工业上用“度”表示，有

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

#### 1.1.4.3 应用举例

【例 1.1.1】在图 1-9 所示电路中标出了各元件的电流、电压的参考方向。已知  $I_1 = 4\text{A}$ ， $I_2 = -5\text{A}$ ， $I_3 = -9\text{A}$ ， $U_1 = -6\text{V}$ ， $U_2 = 10\text{V}$ ， $U_4 = -4\text{V}$ 。试求：

- (1) 各个元件的功率大小，并判断其功率性质；
- (2) 该电路功率是否平衡？

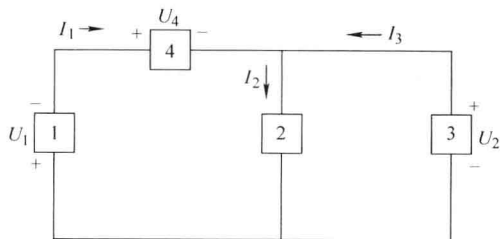


图 1-9 例 1.1.1 图

【解】(1) 计算并判断各元件功率:

$U_1$  和  $I_1$  为关联参考方向, 则  $P_1 = U_1 I_1 = (-6) \times 4 \text{ W} = -24 \text{ W}$  (元件 1 为电源);

$U_2$  和  $I_2$  为关联参考方向, 则  $P_2 = U_2 I_2 = 10 \times (-5) \text{ W} = -50 \text{ W}$  (元件 2 为电源);

$U_2$  和  $I_3$  为非关联参考方向, 则  $P_3 = U_2 I_3 = 10 \times (-9) \text{ W} = -90 \text{ W}$  (元件 3 为负载);

$U_4$  和  $I_1$  为关联参考方向, 则  $P_4 = U_4 I_1 = -4 \times 4 \text{ W} = -16 \text{ W}$  (元件 4 为电源)。

(2) 负载发出的功率

$$P = P_1 + P_2 + P_4 = 90 \text{ W}$$

电路消耗的功率

$$P_E = P_3 = 90 \text{ W}$$

该电路功率平衡。

## 1.2 无源元件

电路元件是电路中最基本的组成单元。电路元件的特性通过与端子有关的物理量描述。每一种电路元件反映某种确定的电磁性质。电路元件按是否给电路提供能量分为无源元件和有源元件。电路元件的参数不随端子上的电压或电流数值变化的, 称为线性元件; 否则, 称为非线性元件。

本节介绍无源元件, 即电阻、电容和电感的定义、基本结构和电路特性, 并讨论这些电路元件的工作方式和重要特性。本节的目标是:

- (1) 了解电阻元件的物理特性。
- (2) 了解电容元件的物理特性和基本工作特性。
- (3) 了解电感元件的物理特性和基本工作特性。

### 1.2.1 电阻元件

电阻元件是表征材料或器件对电流呈现的阻力, 是损耗能量的元件。它的图形符号如图 1-10 所示。一段导体的电阻与该导体的长度和该导体的电阻率成正比, 与它的截面积成反比, 即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中  $R$ ——电阻值, 单位为  $\Omega$ ;

$\rho$ ——电阻率, 单位为  $\Omega \cdot \text{m}$ ;

$l$ ——导体的长度, 单位为  $\text{m}$ ;

$S$ ——导体的横截面积, 单位为  $\text{m}^2$ 。

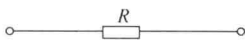


图 1-10 电阻元件的图形符号

常用的电阻单位有  $\Omega$ 、 $\text{k}\Omega$ 、 $\text{M}\Omega$ 。图 1-11 所示为典型的电阻实物。

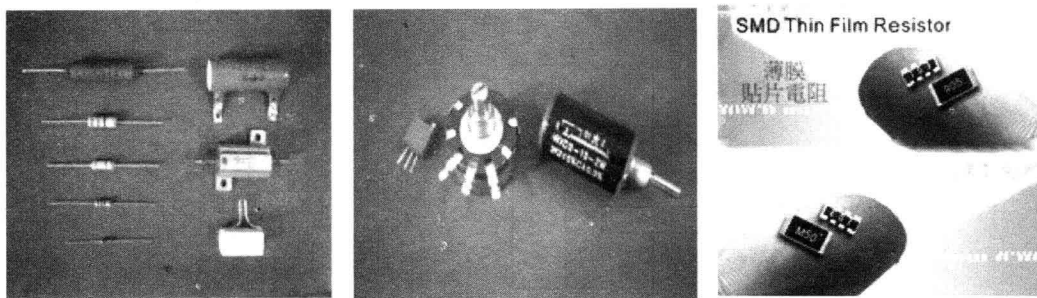


图 1-11 典型的电阻实物

### 1. 电阻元件的伏安特性

电阻元件上电压和电流之间的关系称伏安特性。线性电阻元件是这样的理想元件：在电压和电流取关联参考方向下，在任何时刻它两端的电压和电流关系遵循欧姆定律，即其端电压和流过的电流是正比关系， $U = RI$ 。如果电阻元件的阻值不为常数，则为非线性电阻元件，电阻元件的伏安特性可用  $u-i$  平面的一条曲线来描述它，如图 1-12 所示。

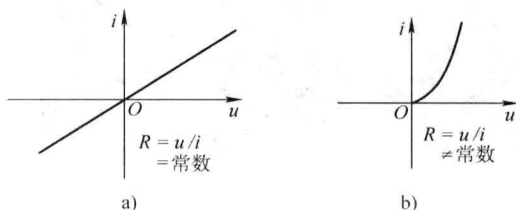


图 1-12 电阻元件的伏安特性

a) 线性电阻 b) 非线性电阻

### 2. 电阻元件的功率

电阻元件要消耗电能，是一个耗能元件，然而，许多电器却利用电阻发热的特点进行工作，如电炉、电烤箱、电熨斗等。电阻吸收的功率为

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

电阻元件的额定功率是不使其损坏的最大功率，额定功率与电阻元件的阻值无关，而是由其形状大小以及物理成分决定的。将电阻元件应用到电路中时，它的额定功率必须大于电路所要消耗的最大功率。

### 3. 电阻元件的开路与短路

(1) 开路。当一个线性电阻元件的端电压不论为何值，流过它的电流恒为零值时，就把它称为“开路”。开路的伏安特性在  $u-i$  平面上与电压轴重合。此时， $i = 0$ ， $R = \infty$ 。

(2) 短路。当流过一个线性电阻元件的电流不论为何值，它的端电压恒为零值时，就把它称为“短路”。短路的伏安特性在  $u-i$  平面上与电流轴重合。此时， $u = 0$ ， $R = 0$ 。

## 1.2.2 电容元件

电容元件是由两个平行的导体中间夹有绝缘物质（电介质）所构成。电容元件是表征产生电场、储存电场能量的电路元件。在外电源作用下，电容元件两极板上分别带上等量异号电荷，撤去电源，极板上电荷仍可长久地集聚下去。电容元件结构及图形符号如图1-13所示。电容实物如图 1-14 所示。电容元件的特性可用  $u-q$  平面上的一条曲线来描述，称为库

伏特性,如图 1-15 所示。

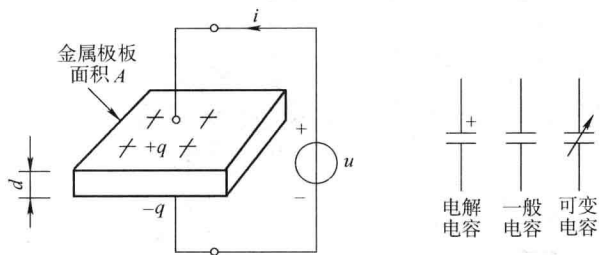


图 1-13 电容元件的结构及图形符号

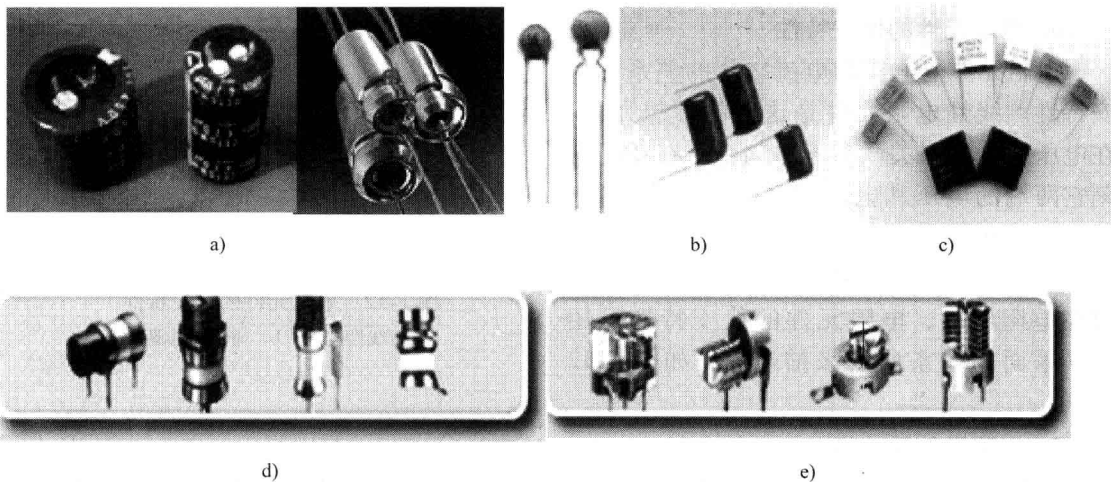


图 1-14 电容实物

- a) 电解电容
- b) 瓷质电容
- c) 聚丙烯薄膜电容
- d) 管式空气可调电容
- e) 片式空气可调电容

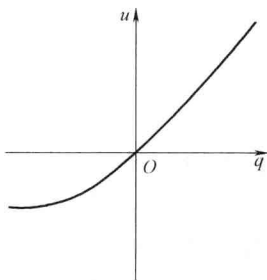


图 1-15 电容元件的库伏特性

### 1.2.2.1 线性电容元件

任何时刻,线性电容元件的极板上的电荷  $q$  与电压  $u$  成正比,  $q-u$  库伏特性是过原点的直线,其图形符号及库伏特性如图 1-16 所示。

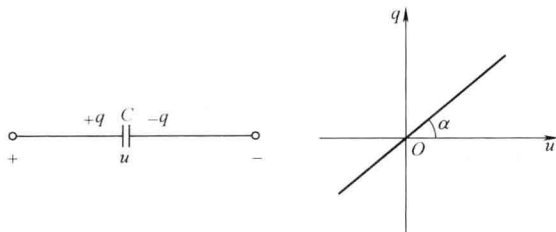


图 1-16 线性电容元件的图形符号及库伏特性

线性电容元件的特性方程为

$$q = Cu \quad (1-7)$$

式中  $C$ ——电容，单位为 F。

电容单位除法 (F) 外，还有微法 ( $\mu\text{F}$ )，皮法 (pF)，三者的关系为

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF} \quad (1-8)$$

电容的大小与电容元件的尺寸及介质的介电常数有关。平行板电容的电容值为

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1-9)$$

式中  $\epsilon$ ——介质的介电常数，单位为 F/m；

$S$ ——极板面积，单位为  $\text{m}^2$

$d$ ——极板间距离，单位为 m。

### 1.2.2.2 线性电容元件的电压、电流关系

若电容元件的端电压  $u$  和电流  $i$  取关联参考方向，则电容元件的电压与电流存在以下关系：

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-10)$$

式 (1-10) 表明，线性电容的端口电流并不取决于当前时刻电压，而与端口电压的时间变化率成正比，所以电容元件是一种动态元件。电容元件的电压与电流还具有以下几种重要特性。

(1)  $i$  的大小与  $u$  的变化率成正比，与  $u$  的大小无关；当  $u$  为常数时， $du/dt = 0 \rightarrow i = 0$ 。电容元件在直流电路中相当于开路，有隔离直流的作用。如果已知电容元件上的电流，则电容电压的表达式为

$$u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-11)$$

可见，电容电压在某一时刻的大小，不仅与充电的电流有关，而且与电容元件的初始电压有关。

(2) 电容元件是一种记忆元件。

(3) 当电流为有限值时，电容电压不能跃变。

### 1.2.2.3 线性电容元件中的功率与能量

当  $u$ 、 $i$  为关联参考方向时，电容元件的功率为

$$p = ui = uC \frac{du}{dt} \quad (1-12)$$



式 (1-12) 表明:

(1) 当电容充电时,  $u > 0$ ,  $du/dt < 0$ , 则  $i > 0$ , 电容极板上的电荷  $q$  增加,  $p > 0$ , 电容吸收功率。

(2) 当电容放电时,  $u > 0$ ,  $du/dt < 0$ , 则  $i < 0$ , 电容极板上的电荷  $q$  减小,  $p < 0$ , 电容发出功率。

可见, 电容元件能在一段时间内吸收外部供给的能量转化为电场能量储存起来, 在另一段时间内又把能量释放回电路。电容元件储存或释放的电场能量为

$$W = \int p dt = \int u i dt = \int C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-13)$$

由此可见, 电容元件储存或释放的电场能量与其两端的电压的二次方成正比。电容元件本身不能提供任何能量, 是无源元件。

综上所述, 电容元件是一种动态、记忆、储能、无源元件。

### 1.2.2.4 电容元件的应用

电容元件在电子领域的应用非常广泛, 主要用来存储电能, 为稳压电源滤波以及隔离直流、耦合交流等。

#### 1. 稳压电源

电子领域中的直流电源一般由整流器和滤波器组成的, 由于电容元件能够存储电荷, 所以它在直流稳压电源中可以作为滤波器使用, 如图 1-17 所示。

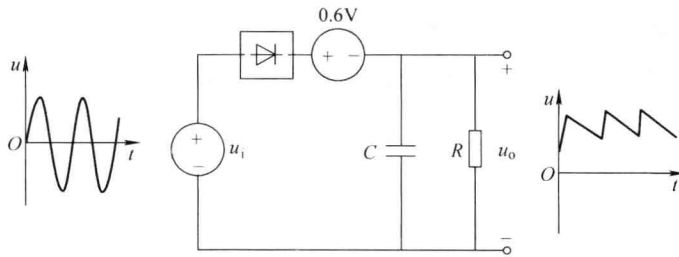


图 1-17 加上滤波电容的直流电源的工作原理

图 1-17 所示电路中, 利用电容元件的充放电来实现滤波功能。

#### 2. 隔离直流、耦合交流

电容元件通常用来隔离电路中的直流电压, 如图 1-18 所示。

在图 1-18 所示电路中, 电容元件对于直流电压看成开路, 对于交流电压看成短路。

#### 3. 信号滤波器

电容元件可以应用在滤波器的电路中, 在一系列不同频率的信号中选择某频率的信号。这种应用的常见例子是收音机或者电视机中选择所需传送信号的频率而过滤其他无用信号的频率, 调整收音机或电视机频道时, 实际上就是改变调频电路的电容值来实现的。

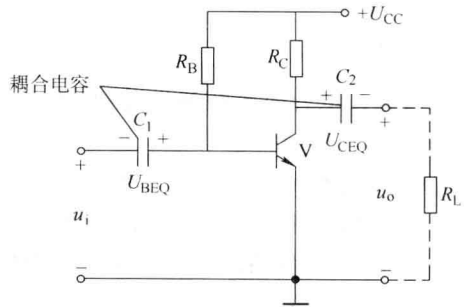


图 1-18 放大器中电容元件的作用