



北京邮电大学规划建设教材  
高等院校电子信息类规划教材

# 电路分析基础

DIANLU FENXI JICHU (中英文版)

主 编 张雪菲  
副主编 许晓东 范绍帅



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)



北京邮电大学规划建设教材  
高等院校电子信息类规划教材

# 电路分析基础

(中英文版)

主 编 张雪菲  
副主编 许晓东 范绍帅



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

## 内 容 简 介

本书是匹配北京邮电大学通信工程留学生“电路分析基础”课程教学大纲的新型中英文双语教材。本书一共分6章,有中、英文两个版本。第1章电路元件与电路变量(重点内容为理想基本电路元件与分类、电路变量);第2章电路基本分析方法(重点内容为基尔霍夫电流定律、基尔霍夫电压定律、电阻的串并联组合、 $2b$ 方法、节点电压法、网孔电流法);第3章电路基本理论(重点内容为叠加定理、电压源与电流源的等效变换、戴维南定理和诺顿定理、最大功率传输定理);第4章RC电路和RL电路(重点内容为动态元件特性、零输入响应与零状态响应、三要素法);第5章正弦稳态电路分析(重点内容为电路相量模型、基尔霍夫定律的相量形式、节点电压法和网孔电流法的相量形式、戴维南定理和诺顿定理的相量形式);第6章实验(重点内容为基本电路测量仪器介绍、实验实例)。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础 : 中英文版 / 张雪菲主编. -- 北京 : 北京邮电大学出版社, 2020. 10

ISBN 978-7-5635-6189-6

I. ①电… II. ①张… III. ①电路分析—高等学校—教材—汉、英 IV. ①TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第149975号

策划编辑: 刘纳新 姚 顺 责任编辑: 刘 颖 封面设计: 七星博纳

---

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 13.75

字 数: 339千字

版 次: 2020年10月第1版

印 次: 2020年10月第1次印刷

---

ISBN 978-7-5635-6189-6

定价: 38.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·



# 序言

本书主要面向初次接触电路知识的低年级本科生,旨在对电路课程中最基本的概念和分析方法进行讲解。本书为中、英文双语对照版本,适用于有出国留学打算的相关专业的学生和在华学习的留学生。通过对本书的学习,学生可以系统地学习基本的电子元件、电路分析原理和分析方法,特别是电路理论的一些基本定理和技术。此外,这本书还提供了4个与本书介绍知识相关的基础实验。希望通过对本书的学习,学生能够建立科学思维的意识 and 初步的工程评价能力,为后续电路课程(如电子电路基础和数字电路设计等)的学习打下良好的基础。

本书分为6章,分别从电路基本概念、电路基本分析方法、电路基本定理,以及不同类型元件、不同类型信号对电路性能的影响等方面进行了介绍。本书的内容为基础的电路知识,通过不断总结和横纵向对比,帮助读者更好地理解和学习较为抽象的电路知识。下面总结了本书所有章节的学习目标,帮助读者抓住学习的重点。

## 1. 第1章的学习目标:电路基本概念

- (1) 了解电荷、电压、电流、功率与能量的定义以及它们之间的关系;
- (2) 了解关联参考方向,并熟练掌握功率计算;
- (3) 了解电阻、电容、电感、独立电源以及受控源的基本概念;
- (4) 熟练掌握电阻、电容、电感的伏安特性关系(VCR)。

## 2. 第2章的学习目标:电路基本分析方法

- (1) 理解节点、路径、回路、支路和网孔的定义;
- (2) 理解电阻的串并联组合和等效方法;
- (3) 熟练掌握基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL);
- (4) 理解和掌握 $2b$ 方法;
- (5) 熟练掌握节点电压法;
- (6) 熟练掌握网孔电流法。

## 3. 第3章的学习目标:电路基本定理

- (1) 理解并掌握叠加定理;
- (2) 理解并掌握电压源电流源的等效变换;
- (3) 理解并掌握戴维南定理和诺顿定理;
- (4) 理解并掌握最大功率传输定理。

## 4. 第4章的学习目标:一阶动态电路

- (1) 熟练掌握电感和电容的特性、VCR和串并联等效;
- (2) 理解换路定则;

- (3) 理解一阶电路、零输入响应电路和零状态响应电路的定义；
- (4) 熟练掌握  $RL$  和  $RC$  电路的零输入响应的分析方法；
- (5) 熟练掌握  $RL$  和  $RC$  电路的零状态响应的分析方法；
- (6) 理解瞬时响应和稳态响应,熟练掌握完全响应的计算方法和三要素法。

**5. 第 5 章的学习目标:正弦稳态电路**

- (1) 理解正弦信号、正弦电源和正弦响应的基本概念；
- (2) 掌握正弦变量的相量表示方法；
- (3) 理解频域内阻抗和导纳的概念；
- (4) 理解并掌握频域上的电路基本分析方法和电路基本定理；
- (5) 理解复数功率,并掌握复数功率计算方法。

**6. 第 6 章的学习目标:针对本书前述知识,通过软件或硬件实验来验证在前面几章学到的电路分析方法和电路定律**

- (1) 学习使用基本的电路测量仪器；
- (2) 学习使用软件进行电路仿真；
- (3) 验证电路分析方法和电路定律。

下面,请大家思考一下,究竟电路分析需要达到什么目的,也就是为什么要进行电路分析?在研究电路理论时,通常把它分为两类,即电路分析和电路设计。如图 1 所示,电路分析与电路设计之间是有明显差异的。电路分析是指已知输入信号和电路拓扑结构和参数的情况下,求解电路中某些输出响应的过程;而电路设计是指已知输入信号和输出信号,设计电路拓扑结构和参数的过程。尽管电路分析的目标集中在定量地分析电路变量,但同时它仍可以为电路设计的改进提供建议。在本书中,主要关注电路分析中涉及的知识介绍和分析方法的讲解。

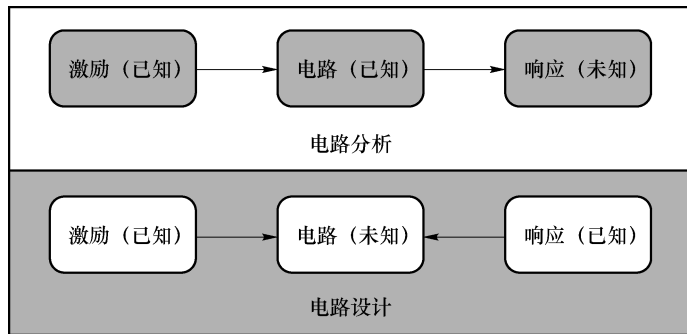


图 1 电路理论的范畴

电路分析是以数学理论为基础,预测电路模型及其理想电路元件的技术,它在电路设计中起着非常重要的作用。具体来说,这个技术是用数学模型为给定的电路建立方程,然后求解方程来确定电路中所需的电流和电压等。在建立方程时,主要根据拓扑约束和元件约束写出电路方程式。拓扑约束表示电路的拓扑关系(即连接形式),元件约束描述电路中元件的特性。

本书由北京邮电大学张雪菲主编。由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,敬请读者批评指正,编者邮箱为 zhangxuefei@bupt.edu.cn。在本书的编写过程中,北京邮电大学的刘宝玲教授和吴建伟高工提供了宝贵的建议,在此谨致衷心的感谢!



# 目 录

<b>第 1 章 电路元件和电路变量</b> .....	1
1.1 常见的电路变量 .....	1
1.1.1 电荷 .....	1
1.1.2 电压 .....	1
1.1.3 电流 .....	2
1.1.4 功率与能量 .....	2
1.2 基本电路元件 .....	4
1.2.1 电阻 .....	4
1.2.2 电容 .....	5
1.2.3 电感 .....	6
1.2.4 独立电压源与独立电流源 .....	8
1.2.5 受控源 .....	8
1.3 习题 .....	9
<b>第 2 章 电路基本分析方法</b> .....	12
2.1 节点、支路和网孔 .....	12
2.2 基尔霍夫电路定律.....	14
2.3 电阻的串并联组合.....	16
2.4 $2b$ 方法 .....	20
2.5 节点电压法.....	21
2.6 网孔电流法.....	24
2.7 习题.....	27
<b>第 3 章 电路基本理论</b> .....	33
3.1 叠加定理.....	33

3.2	电压源与电流源的等效变换	35
3.3	戴维南定理和诺顿定理	38
3.4	最大功率传输定理	41
3.5	习题	42
<b>第4章</b>	<b>RC 电路和 RL 电路</b>	<b>48</b>
4.1	电感	48
4.2	电容	50
4.3	换路定则	51
4.4	一阶电路	52
4.5	RL 和 RC 电路的零输入响应	53
4.5.1	RC 电路的零输入响应	53
4.5.2	RL 电路的零输入响应	54
4.6	RL 和 RC 电路的零状态响应	56
4.6.1	RL 电路的零状态响应	56
4.6.2	RC 电路的零状态响应	57
4.7	RL 电路和 RC 电路的全响应和三要素法	58
4.8	习题	60
<b>第5章</b>	<b>正弦稳态电路分析</b>	<b>66</b>
5.1	正弦函数	66
5.2	正弦响应	67
5.3	相量	68
5.3.1	相量变换	68
5.3.2	相量反变换	68
5.3.3	相量的基本运算	69
5.4	阻抗和导纳	70
5.5	电路元件 VCR 的相量表示	71
5.5.1	电阻 VCR 的相量形式	71
5.5.2	电容 VCR 的相量形式	71
5.5.3	电感 VCR 的相量形式	72
5.6	基尔霍夫定律的相量形式	72

5.6.1 KCL 的相量形式 .....	72
5.6.2 KVL 的相量形式 .....	73
5.7 电路简化方法的相量形式 .....	73
5.7.1 串联阻抗和并联阻抗 .....	73
5.7.2 电压源电流源的等效变换、戴维南定理和诺顿定理的相量形式 .....	74
5.8 电路基本分析方法的相量形式 .....	75
5.8.1 节点电压法的相量形式 .....	75
5.8.2 网孔电流法的相量形式 .....	76
5.9 功率计算 .....	77
5.10 最大功率传输定理的相量形式 .....	78
5.11 习题 .....	79
<b>第 6 章 实验 .....</b>	<b>84</b>
6.1 基本电路测量仪器介绍 .....	84
6.1.1 万用表 .....	84
6.1.2 直流电源 .....	85
6.1.3 电阻和滑动变阻器 .....	85
6.1.4 电容和电感 .....	86
6.1.5 示波器 .....	86
6.1.6 数字信号发生器 .....	86
6.2 电路仿真软件介绍 .....	87
6.3 实验实例 .....	87
6.3.1 电阻的直流特性 .....	87
6.3.2 验证基尔霍夫定律 .....	90
6.3.3 $RC$ 电路和 $RL$ 电路的测量 .....	92
6.3.4 验证戴维南定理的实验 .....	94
<b>Chapter 1 Circuit Elements and Circuit Variables .....</b>	<b>101</b>
1.1 Common Circuit Variables .....	101
1.1.1 Electric charge .....	101
1.1.2 Voltage .....	102
1.1.3 Current .....	102

1.1.4	Power and energy	103
1.2	Basic circuit element	105
1.2.1	Resistor	105
1.2.2	Capacitor	106
1.2.3	Inductor	107
1.2.4	Independent voltage source and independent current source	109
1.2.5	Dependent source	110
1.3	Exercises	111
<b>Chapter 2</b>	<b>Basic Circuit Analysis Method</b>	<b>114</b>
2.1	Node, branch and mesh	114
2.2	Kirchhoff's circuit law	116
2.3	Series-parallel combinations of resistors	119
2.4	<i>2b</i> -method	123
2.5	Node voltage method	125
2.6	Mesh current method	128
2.7	Exercises	131
<b>Chapter 3</b>	<b>Circuit Theorem</b>	<b>137</b>
3.1	Superposition theorem	137
3.2	Source transformations	139
3.3	Thevenin theorem and Norton theorem	143
3.4	Maximum power transfer theorem	145
3.5	Exercises	147
<b>Chapter 4</b>	<b>RC Circuit and RL Circuit</b>	<b>153</b>
4.1	First-order circuits	153
4.2	Capacitor	155
4.3	Switching rule	156
4.4	First-order circuit	157
4.5	Zero-input response of <i>RL</i> and <i>RC</i> circuit	158
4.5.1	Zero-input response of <i>RC</i> circuit	158

4.5.2	Zero-input response of $RL$ circuit	160
4.6	Zero-state response of $RL$ and $RC$ circuit	162
4.6.1	Zero-state response of $RL$ circuit	162
4.6.2	Zero-state response of $RC$ circuit	163
4.7	Complete response and three element method for $RL$ and $RC$ circuit	164
4.8	Exercises	167
<b>Chapter 5</b>	<b>Sinusoidal Steady-State Analysis</b>	<b>173</b>
5.1	Sinusoidal function	173
5.2	Sinusoidal response	174
5.3	The phasor	175
5.3.1	Phasor transformation	175
5.3.2	Inverse phasor transformation	176
5.3.3	Basic operations of phasors	176
5.4	Passive circuit elements in phasor	177
5.5	VCR of circuit element in phasor	179
5.5.1	VCR of resistor in phasor	179
5.5.2	VCR of capacitor in phasor	179
5.5.3	VCR of inductor in phasor	179
5.6	Kirchhoff's Law in phasor	180
5.6.1	KCL in phasor	180
5.6.2	KVL in phasor	181
5.7	Circuit simplifications in phasor	181
5.7.1	Impedances in series and parallel	181
5.7.2	Source transformations in phasor, Thevenin theorem in phasor and Norton theorem	182
5.8	Basic circuit analysis methods in phasor	183
5.8.1	Node voltage method in phasor	183
5.8.2	Mesh current method in phasor	184
5.9	Power calculation	185
5.10	Maximum power transfer theorem in phasor	187
5.11	Exercises	188

<b>Chapter 6 Experiment</b> .....	193
6.1 Basic electronic measuring devices .....	193
6.1.1 Multi-meter .....	193
6.1.2 DC power supply .....	194
6.1.3 Resistor and slide rheostat .....	194
6.1.4 Capacitor and inductor .....	195
6.1.5 Oscilloscope .....	195
6.1.6 Digital signal generator .....	195
6.2 The introduction of circuit simulation software .....	196
6.3 Experiment instances .....	196
6.3.1 DC characteristics of resistors .....	196
6.3.2 verification for Kirchhoff 's laws .....	199
6.3.3 <i>RC</i> circuit and <i>RL</i> circuit .....	201
6.3.4 Verification for Thevenin theorem .....	204

# 第 1 章

## 电路元件和电路变量

电路分析的学习可以被描述为对不同电路元件根据不同拓扑结构组成的电路进行电路变量定量分析的过程。因此,本章将介绍电路理论中最基本的知识,即电路变量和电路元件。

第 1 章的学习目标:电路基本概念

- (1) 了解电荷、电流、电压、功率和能量的定义以及它们之间的关系;
- (2) 了解关联参考方向,并熟练掌握功率计算;
- (3) 了解电阻、电容、电感、独立电源以及受控源的基本概念;
- (4) 熟练掌握电阻、电容、电感的伏安特性关系(VCR)。

### 1.1 常见的电路变量

本节介绍了电路学习中最常见和最基本的电路变量,主要包括电荷、电压、电流、功率与能量,以及它们的计算方法、它们之间的转化关系等。

#### 1.1.1 电荷

电荷的概念是描述所有电现象的基础。电荷是双极性的,根据电场作用力的方向性,电荷可分为正电荷与负电荷。在高中物理中,已经学习过正电荷和负电荷的划分,即规定用丝绸摩擦过的玻璃棒带的是正电荷,用毛皮摩擦过的橡胶棒带的是负电荷。

在物理学中,电荷的多少称为电荷量。在国际单位制里,电荷量的符号以  $Q$  为表示,单位是库仑(C)。库仑是单个电子所带的负电荷量( $1.602\ 189\ 2 \times 10^{-19}$  库仑)的整数倍,也就是说 1 库仑相当于  $6.241\ 46 \times 10^{18}$  个电子所带的电荷总量。

#### 1.1.2 电压

电压也被称为电势差或电位差,是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差的物理量。其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 A 点移动到 B 点所做的功,电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。电压的国际单位制为伏特(V,简称伏),常用的

单位还有毫伏(mV)、微伏( $\mu\text{V}$ )、千伏(kV)等。电压的定义可被记作

$$v = \frac{d\omega}{dq} \quad (1.1)$$

其中,  $v$  是以伏特(V)为单位表示的电压值,  $\omega$  是以焦耳(J)为单位表示的能量值, 而  $q$  是以库伦(C)为单位表示的电荷量。

如图 1.1 所示, A、B 两节点之间的电压差  $v_{AB}$  等于从 B 节点移动一个单位电荷到 A 节点所需要的能量。

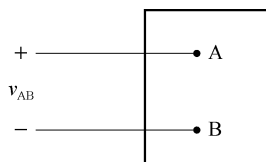


图 1.1 一个二端元件

任何电压的定义必须包括电压幅度值和代表极性(高电势和低电势)的正负号对。为了分析的简洁性, 本书定义电压的参考极性是由某个正负号对指定的任意极性。

### 1.1.3 电流

电流也被称为电流强度, 是衡量电荷流动的速度的物理量, 其大小是单位时间里通过导体任一横截面的电量。电流的方向规定为正电荷(质子)的运动方向, 但从宏观上很难知道正电荷的运动方向。所以, 定义了电流的参考方向, 它是由一个箭头指定的任意的方向。电流的国际单位制为安培(A, 简称安), 常用的单位还有毫安(mA)和微安( $\mu\text{A}$ )等。电流的定义可被记作

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2)$$

其中,  $i$  是以安培(A)为单位表示的电流值,  $q$  是以库伦(C)为单位表示的电荷量, 而  $t$  是以秒(s)为单位表示的时间。

任何电流的定义必须包括电流幅度值和电流方向。

**问题 1.1** 假设穿过某电子元件的电流为 2 A, 计算 1 min 内进入该元件的电荷量的大小。

**解:** 1 min 内进入该元件的电荷量大小为:  $2 \text{ A} \times 60 \text{ s} = 120 \text{ C}$ 。

### 1.1.4 功率与能量

功率是单位时间内消耗或吸收的能量, 可被记作

$$P = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.3)$$

其中,  $P$  是以瓦特(W)为单位表示的功率值,  $\omega$  是以焦耳(J)为单位表示的能量值, 而  $t$  是以秒(s)为单位表示的时间。

在进一步讨论之前,本书先介绍另外一个概念——**关联参考方向**,它对功率的计算很重要。在上述讨论电压和电流时,电压的参考极性和电流的参考方向都是可以任意设定的。但是一旦被规定,就必须在之后的分析中遵循这些规定。在这些符号约定之中,使用最广泛的是关联参考方向。

当电流的参考方向是沿着元件上电压参考极性的电势下降方向时,符合关联参考方向,则关于电压与电流关系的任何表达式中都使用正号;否则,使用负号。在本书的所有分析中都将遵循关联参考方向。

由电压和电流的定义,式(1.3)可重写为

$$P = \left(\frac{d\omega}{dq}\right) \left(\frac{dq}{dt}\right) = vi \quad (1.4)$$

请注意式(1.4)成立的前提是要遵循关联参考方向。如果不遵循,即电流的参考方向指向电压参考极性电势上升的方向,则功率表示为

$$P = -vi \quad (1.5)$$

当  $P > 0$  时,能量被该电子元件吸收,或者说能量被传递给电子元件;当  $P < 0$  时,该电子元件产生能量,或者说能量从该元件中释放出来。

能量是功率在时间上的累积,功率是单位时间内消耗或吸收的能量,其关系可表示为

$$\omega = \int_{-\infty}^t P dt \quad (1.6.a)$$

或者

$$P = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.6.b)$$

电路中基础变量的通用单位如表 1.1 所示。

表 1.1 电路中基础变量的通用单位

名称	通用单位
电压	伏特(V),毫伏( $mV=10^{-3} V$ ),微伏( $\mu V=10^{-6} V$ )
电流	安培(A),毫安( $mA=10^{-3} A$ ),微安( $\mu A=10^{-6} A$ )
功率	瓦特( $W=V \cdot A$ ),毫瓦( $mW=10^{-3} W$ )

**问题 1.2** 假设黑匣子内有某个未知电路,现针对其中的两个节点(即节点 1 和节点 2)进行分析。已知节点 2 与节点 1 之间的电压为 20 V,同时流入节点 2 的电流值为 4 A。

求:(1) 根据图 1.2 所示的参考极性,分别计算  $v$  和  $i$  的值。

(2) 请说明黑匣子内的电路是吸收能量还是产生能量?

**解:**(1) 在子图(a)中, $v = -20 V, i = -4 A$ ;在子图(b)中, $v = -20 V, i = 4 A$ ;在子图(c)中, $v = 20 V, i = -4 A$ ;在子图(d)中, $v = 20 V, i = 4 A$ 。

(2) 在子图(a)中, $P = vi = (-20 V)(-4 A) = 80 W > 0$ ,吸收能量;在子图(b)中, $P = -vi = -(-20 V)(4 A) = 80 W > 0$ ,吸收能量;在子图(c)中, $P = -vi = -(20 V)(-4 A) = 80 W > 0$ ,吸收能量;在子图(d)中, $P = vi = 20 V \cdot 4 A = 80 W > 0$ ,吸收能量。

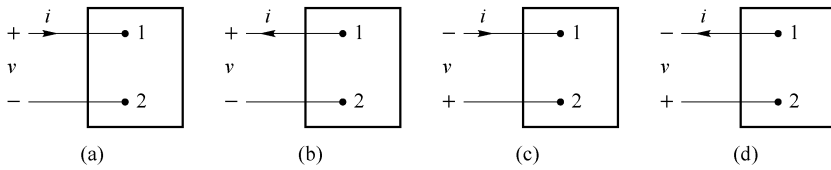


图 1.2 问题 1.2(1)的电路图

**问题 1.3** 分别计算图 1.3 中三个子图所示电路的功率。

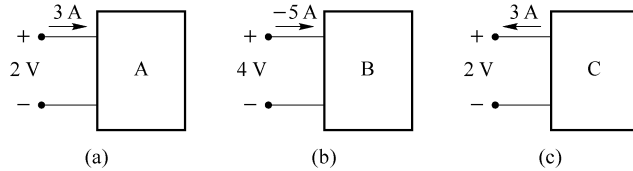


图 1.3 问题 1.3 中的电路图

**解:** (a) 服从关联参考方向,  $P = (2\text{ V})(3\text{ A}) = 6\text{ W}$ 。由于功率是正值,说明能量被 A 吸收或者说被传递给 A。

(b) 服从关联参考方向,  $P = (4\text{ V})(-5\text{ A}) = -20\text{ W}$ 。由于功率是负值,说明 B 产生能量或者说能量从 B 中释放出来。

(c) 不服从关联参考方向,  $P = -(2\text{ V})(3\text{ A}) = -6\text{ W}$ 。由于功率是负值,说明 C 产生能量或者说能量从 C 中释放出来。

## 1.2 基本电路元件

本节将介绍电路中的重要组成部分之一——电路元件。一个理想的基本二端电路元件具备以下三个属性:

- (1) 只有两个节点,且这两个节点是可以与其他电子元件相连的连接点;
- (2) 电路分析中,是以电流和(或)电压来描述其外部电气特性,而忽略了一些其他特性,如热特性、电磁影响等;
- (3) 最小元件单元,即它无法再被细分为其他的电路元件。

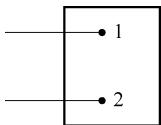


图 1.4 一个理想的基本电路元件

在这里,“基本”一词意味着这种电路元件无法被进一步简化或细分为其他电路元件;“理想”一词意味着这种电路元件在现实中往往是不存在的。但为了简化分析,在本书中所有的基本电路元件都可以被认为是理想的基本电路元件。图 1.4 是一个理想的基本电路元件的表示。

### 1.2.1 电阻

电阻是一种无源双端电路元件。在电路中,电阻主要用于减小电流、调整信号电压、分压,以及有源元件的偏压等。图 1.5 为电阻在电路中的符号和实际的电阻元件,在电路图中通常用字母  $R$  表示电阻元件。电阻的大小用电阻值表示。对于截面均匀的电阻,其电阻

值为

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1.7)$$

其中,  $R$  为以欧姆( $\Omega$ )为单位表示的电阻值,  $\rho$  为电阻材料的电阻率( $\Omega \cdot \text{cm}$ ),  $L$  为电阻体的长度( $\text{cm}$ ),  $A$  为电阻体的截面积( $\text{cm}^2$ )。

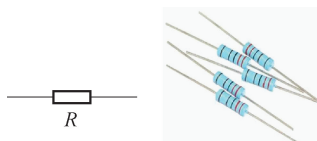


图 1.5 电阻的符号和实际的电阻元件

电阻的电压电流关系也被称为欧姆定律,即电阻两端的电压等于它的电阻值乘以流过它的电流,且电压电流需要服从关联参考方向。具体可表示为

$$v = iR \quad (1.8)$$

电阻的功率可表示为

$$P = vi = i^2 R = \frac{v^2}{R} \quad (1.9)$$

## 1.2.2 电容

电容是一种在电场中储存能量的无源双端电路元件,在调谐、旁路、耦合、滤波等电路中起着重要的作用。电容可用于构造动态数字存储器,制作高通或低通滤波器,或者用于通交流阻直流电流。图 1.6 为电容的符号及其实际的元件,在电路图中通常用字母  $C$  表示电容元件。

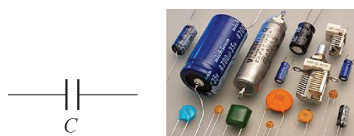


图 1.6 电容的符号及其实际的元件

当两个平行的相互靠近的金属极板,中间夹一层不导电的绝缘介质,就构成了电容器。当电容器的两个极板之间加上电压时,电容器就会储存电荷。电容器的电容量在数值上等于一个导电极板上的电荷量与两个极板之间的电压之比,具体可记为

$$C = \frac{Q}{v} \quad (1.10)$$

其中,  $C$  为以法拉(F)为单位表示的电容值,  $Q$  为电荷量[单位为库伦(C)];  $v$  为电压[单位为伏(V)]。

电容的电压电流关系为流过电容的电流等于它两端的电压的变化率乘以电容值,且电压电流需要服从关联参考方向。在此情况下,具体可表示为

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (1.11)$$

如果电压电流不服从关联参考方向,则式(1.11)需要添加负号。

**问题 1.4** 当  $t < 0$  时,容值为  $0.6 \mu\text{F}$  的电容两端的电压为零。当  $t \geq 0$  时,该电容两端的电压为  $40e^{-15000t} \sin 30000t \text{ V}$ 。

- (1) 求  $i(0)$ ;
- (2) 求  $t = \pi/80 \text{ ms}$  时,电容的功率值;
- (3) 求  $t = \pi/80 \text{ ms}$  时,电容存储的能量值。

**解:**

- (1)  $i = C \frac{dv}{dt} = (0.72 \cos 30000t - 0.36 \sin 30000t) e^{-15000t} \text{ A}, i(0) = 0.72 \text{ A};$
- (2)  $i(\pi/80 \text{ ms}) = -31.66 \text{ mA}, v(\pi/80 \text{ ms}) = 20.505 \text{ V}, p = vi = -649.23 \text{ mW};$
- (3)  $w = \int_{-\infty}^t p dt = \frac{1}{2} C v^2 = 126.13 \mu\text{J}.$

### 1.2.3 电感

电感器是能够把电能转化为磁能并存储起来的元件,电感器是一个用导线绕成的线圈。它的结构类似于变压器,但只有一个绕组。图 1.7 给出了电感器的符号及其实实际的元件,在电路图中通常用字母  $L$  表示电感元件,它的单位是亨利(H),常用的单位还有毫亨(mH)和微亨( $\mu\text{H}$ )。

电感的电压电流关系为电感两端的电压等于“流过”它的电流的变化值乘以电感值,且电压电流需要服从关联参考方向。具体可表示为

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (1.12)$$

**问题 1.5** 如图 1.8 所示电路,其中电流源在  $t < 0$  时产生的电流为零,在  $t > 0$  时产生电流为  $10te^{-5t} \text{ A}$ 。

- (1) 画出电流的波形图;
- (2) 写出  $100 \text{ mH}$  电感两端的电压;
- (3) 画出电压的波形图。

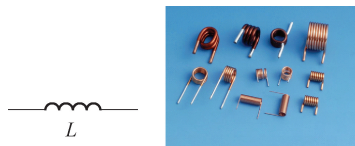


图 1.7 电感器的符号及其实实际的元件

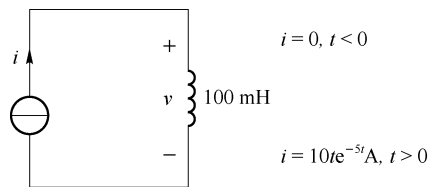


图 1.8 问题 1.5 中的电路

**解:**

- (1) 电流波形如图 1.9 所示。
- (2) 当  $t > 0$  时,  $v = L \frac{di}{dt} = e^{-5t} (1 - 5t) \text{ V}$ ; 当  $t < 0$  时,  $v = 0$ 。
- (3) 电压的波形如图 1.10 所示。