



“十三五”普通高等教育本科规划教材

DIANLU XUEXI YU KAOYAN ZHIDAO

电路学习与 考研指导

胡钊 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

电路学习与 考研指导

胡钊 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书凝练了电类专业《电路》课程的基本理论、基本原理和基本概念，并通过精心设计的典型例题帮助读者掌握解题技巧和方法以及重点概念和内容。

本书共分十七章，分别为电路的基本概念、基本元件和基本定律，电路的等效分析方法，电路的一般分析方法，电路定理，线性时不变动态电路暂态过程的时域分析，线性时不变动态电路的正弦稳态分析，线性时不变正弦稳态交流电路的频率响应，含耦合电感的电路，三相电路，非正弦周期激励作用下的线性时不变电路的稳态分析，线性时不变动态电路暂态过程的复频域分析，大规模电路的矩阵分析，双口网络，状态变量分析法，线性均匀传输线的正弦稳态分析，线性时不变无损均匀传输线的暂态分析和非线性电路。

本书可作为电类专业学生学习电路课程的辅导教材或参考书，也可作为报考电类专业研究生的复习用书以及相关专业师生和工程技术人员的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路学习与考研指导/胡钊编. —北京: 中国电力出版社, 2019.5

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-0636-1

I. ①电… II. ①胡… III. ①电路—研究生—入学考试—自学参考资料 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 070479 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 罗晓莉 (010-63412547) 盛兆亮

责任校对: 黄 蓓 闫秀英

装帧设计: 郝晓燕

责任印制: 钱兴根

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

版 次: 2019 年 5 月第一版

印 次: 2019 年 5 月北京第一次印刷

开 本: 880 毫米×1230 毫米 16 开本

印 张: 26.75

字 数: 855 千字

定 价: 66.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

前 言

电路理论是电气工程、自动化、电子信息工程、通信工程、仪器仪表、计算机等电类专业一门重要的技术基础课，它所涵盖的内容是后续多门专业基础课和专业课所需之先修的重要基础知识，其理论本身又蕴含丰富而又普遍适用的思维模式和方法。正因为如此，非常需要一本系统性强、重点突出、概念明晰的教学指导书，它既能帮助学生解决其在电路课程学习中遇到的普遍性问题，又能使们通过一些典型例题和习题的解析牢固掌握电路理论中的基本概念并能将其灵活地应用于求解高度复杂和多元综合的问题。本书正是编著者基于长期电路教学实践经验，本着上述原则所编写的。

本书共分十七章，系统涵盖了大学本科电路理论的全部内容。每章均以基本理论、典型例题和习题解答这三部分对电路课程的相关难点内容进行系统总结、深入剖析、释疑解惑，希望能切实提高正在考研复习以及学习该课程各类读者灵活运用基本理论和要点知识来分析解决综合问题的能力。

本书在编写过程中，得到了唐炬、徐箭、刘开培、查晓明、阮江军、陈洪坤、常湧等有关专家的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平，疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2019年1月

目 录

前言

第一章 电路的基本概念、基本元件和基本定律	1
第一节 基本理论	1
第二节 典型例题	5
第三节 习题解答	7
第二章 电路的等效分析方法	26
第一节 基本理论	26
第二节 典型例题	28
第三节 习题解答	31
第三章 电路的一般分析方法	46
第一节 基本理论	46
第二节 典型例题	49
第三节 习题解答	51
第四章 电路定理	67
第一节 基本理论	67
第二节 典型例题	70
第三节 习题解答	77
第五章 线性时不变动态电路暂态过程的时域分析	96
第一节 基本理论	96
第二节 典型例题	98
第三节 习题解答	105
第六章 线性时不变动态电路的正弦稳态分析	125
第一节 基本理论	125
第二节 典型例题	129
第三节 习题解答	137
第七章 线性时不变正弦稳态交流电路的频率响应	163
第一节 基本理论	163
第二节 典型例题	165
第三节 习题解答	167
第八章 含耦合电感的电路	182
第一节 基本理论	182
第二节 典型例题	185
第三节 习题解答	190
第九章 三相电路	205
第一节 基本理论	205
第二节 典型例题	209
第三节 习题解答	215
第十章 非正弦周期激励作用下的线性时不变电路的稳态分析	225
第一节 基本理论	225

第二节	典型例题	227
第三节	习题解答	232
第十一章	线性时不变动态电路暂态过程的复频域分析	245
第一节	基本理论	245
第二节	典型例题	249
第三节	习题解答	252
第十二章	大规模电路的矩阵分析	275
第一节	基本理论	275
第二节	典型例题	278
第三节	习题解答	283
第十三章	双口网络	302
第一节	基本理论	302
第二节	典型例题	304
第三节	习题解答	310
第十四章	状态变量分析法	329
第一节	基本理论	329
第二节	典型例题	331
第三节	习题解答	334
第十五章	线性均匀传输线的正弦稳态分析	352
第一节	基本理论	352
第二节	典型例题	355
第三节	习题解答	359
第十六章	线性时不变无损均匀传输线的暂态分析	371
第一节	基本理论	371
第二节	典型例题	372
第三节	习题解答	376
第十七章	非线性电路	387
第一节	基本理论	387
第二节	典型例题	390
第三节	习题解答	396

第一章 电路的基本概念、基本元件和基本定律

重点与难点

1. 电压电流的参考方向
2. 基本电路元件的特性
3. 基尔霍夫定律

第一节 基本理论

1. 实际电路和电路模型

实际电路：由电气设备和电气器件按预期目的连接构成的电流通路。

电路模型：反映实际电路部件的主要电磁性质的理想电路元件及其组合。

2. 电流、电压变量及其参考方向

说明	电 流	电 压
实际方向	正电荷流动的方向	由高电位（正极）指向低电位（负极）
参考方向	任意选定	任意选定
标记符号	①箭头；②双下标	①箭头；②双下标；③正、负极性
实际与参考方向的关系	$i > 0$ ，实际方向与参考方向相同； $i < 0$ ，实际方向与参考方向相反	$u > 0$ ，实际方向与参考方向相同； $u < 0$ ，实际方向与参考方向相反

注意

- (1) 分析电路前必须先选定电压和电流的参考方向，并在电路图中标示出来。
- (2) 电压、电流的参考方向虽然可以任意指定，但无论选择怎样的参考方向都不会改变电压、电流的实际方向。同时，在电路分析中，参考方向一经指定后就不能再改变了。
- (3) 根据参考方向列写方程，解方程求得结果（正或负），才可确定实际方向。
- (4) 关联参考方向：电流参考方向的箭头由电压参考方向的“+”极性端指向“-”极性端。
- (5) 非关联参考方向：电流参考方向的箭头由电压参考方向的“-”极性端指向“+”极性端。
- (6) 一个闭合回路中，一般只取一个电流参考方向。

3. 电功率和能量

在单位时间内二端元件（或电路）吸收的电能为电功率，简称功率（ P ）。

任意二端元件吸收的功率可写成：
$$P = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui$$

吸收功率与发出功率的判断：

u 、 i 的参考方向	元件的功率 $P = ui$	实际吸收功率与发出功率
关联参考方向	$P > 0$	吸 收
	$P < 0$	发 出
非关联参考方向	$P > 0$	发 出
	$P < 0$	吸 收

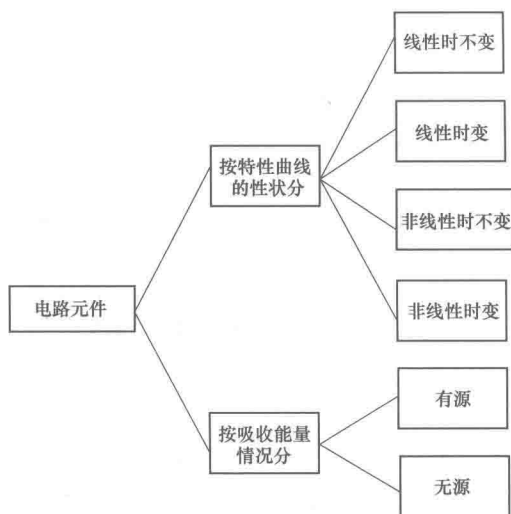
在二端元件上电流和电压取关联参考方向的前提下，在 $t_1 \sim t_2$ 的时段内该二端元件吸收的电能

为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} ui dt$$

4. 电路元件

(1) 电路元件的分类。



(2) 基本的无源元件。

说明	电阻	电感	电容
电路符号			
约束方程 (当 u 、 i 关联方向)	$u = Ri$	$\psi = Li, u = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt}$	$q = Cu, i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$
特性曲线	伏安特性	韦安特性	库伏特性
能量特性	耗能元件	储能元件	储能元件
储存能量	0	磁场能量 $W = \frac{1}{2} Li^2$	电场能量 $W = \frac{1}{2} Cu^2$
记忆特性	无记忆	记忆电压元件	记忆电流元件

注意

(1) 对于电感元件, 电感电压 u 的大小取决于电流 i 的变化率, 与 i 的大小无关, 即电感是动态元件; 同时 i 为常数 (直流) 时, $u=0$, 电感相当于短路; 电感电流不具有跃变性, 即必是一个连续函数。

(2) 对于电容元件, 电容电流 i 的大小取决于电压 u 的变化率, 与 u 的大小无关, 即电容也是动态元件; 同时 u 为常数 (直流) 时, $i=0$, 电容相当于开路; 电容电压也必是一个连续函数。

(3) 独立电源元件。

1) 理想电压源和实际电压源。

理想电压源的特点:

a. 理想电压源端电压的变化规律 (大小、变化趋势等) 完全由电压源本身所决定, 与外电路的变化无关。

b. 流经理想电压源的电流将随外电路的变化而变化。

实际电压源本身是不允许短路的; 电压源如不使用, 可将其开路; 实际电压源应考虑电源内电阻的影响 (通常在直流情况下用一个理想电压源串联一个电阻作为实际电压源的等效电路模型)。

2) 理想电流源和实际电流源。

理想电流源的特点:

a. 理想电流源电流的变化规律（大小、变化趋势等）完全由电流源本身所决定，与外电路的变化无关。

b. 理想电流源的端电压将随外电路的变化而变化。

实际电流源不能开路；电流源如不使用，可将其短路；实际电流源采用的是理想电流源和无源元件并联组合的形式。

(4) 基本的受控源元件。

受控源：电压、电流的大小和方向不是给定的时间函数，而是受电路中某个元件的电压（或电流）控制的电源（类似变压器）。

四种基本的线性受控源：电压控制电压源（VCVS）、电压控制电流源（VCCS）、电流控制电压源（CCVS）、电流控制电流源（CCCS）。

5. 基尔霍夫定律

基本概念：

(1) 节点：电路中三条或三条以上支路的连接点称为节点。

(2) 支路：电路中任何一个二端电路元件都可定义为一条支路。

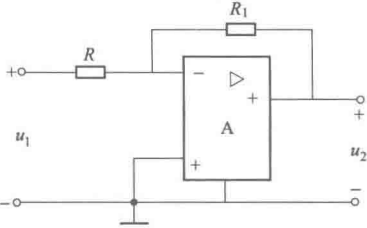
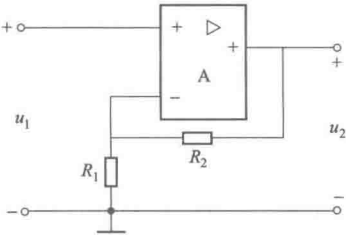
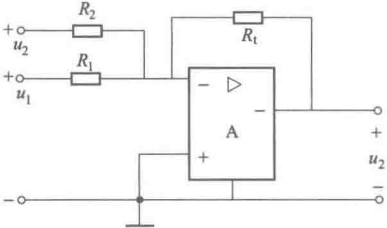
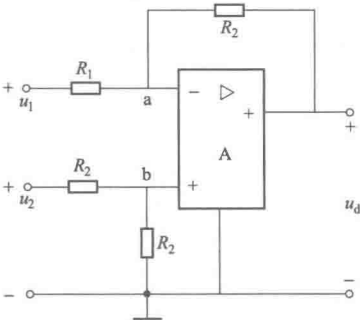
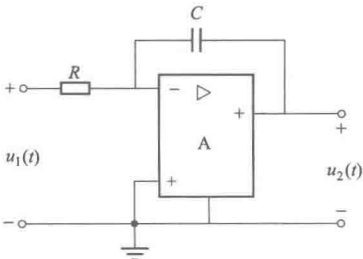
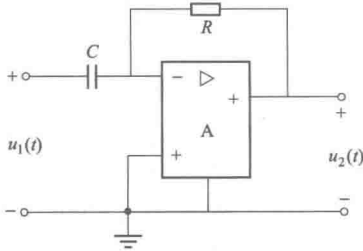
(3) 回路：电路中任何一个由不重复出现的支路所构成的闭合路径称为一个回路。

说明	基尔霍夫电流定律 (KCL)	基尔霍夫电压定律 (KVL)
定律内容	在集中参数电路中，任何时刻流入（或流出）任意节点的支路电流的代数和恒等于零	在集中参数电路中，任何时刻沿任意闭合回路的所有支路电压的代数和恒等于零
数学表达式	$\sum i = 0$ 或 $\sum i_{in} = \sum i_{out}$	$\sum u = 0$
广义形式	任何时刻流入（或流出）电路中的任一封闭面的支路电流的代数和恒等于零	任何时刻沿该广义回路的闭合路径的所有相邻节点间电压的代数和恒等于零
注意	根据电流的参考方向，当流出节点的电流取正时，则流入节点的电流取负	当支路电压的参考方向与回路绕线一致时，该电压取正，反之取负

6. 运算放大器的电路模型与分析方法

定义	既有放大功能又有加法、减法、比例、微分、积分等运算功能的多端电路元件，称为运算放大器
电路符号	
线性化电路模型	
理想化电路模型	
两个重要概念	虚断虚短
分析方法	多采用节点分析

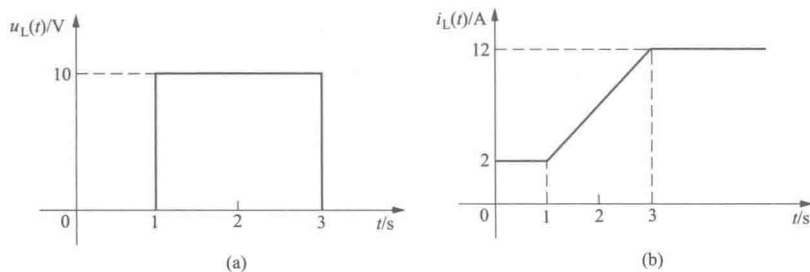
简单的运算电路

名称	运算电路	计算公式
反向比例运算电路		$\frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_1}{R} \frac{A}{1+A+(R_1/R)} \approx -\frac{R_1}{R}$
同向比例运算电路		$u_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_1$
加法运算电路		$u_0 = -R_1 \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} \right)$
减法运算电路		$u_d = \frac{R_2}{R_1} (u_2 - u_1)$
积分运算电路		$u_2(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_1(t) dt$
微分运算电路		$u_2(t) = -RC \frac{du_1}{dt}$

第二节 典型例题

1. 电感元件的电压电流特性

【例 1-1】 2H 电感的电压波形如例 1-1 图 (a) 所示, 若已知 $i_L(0) = 2\text{A}$, 试定性绘出电感电流波形。



例 1-1 图

解: 由例 1-1 图 (a) 可写出 $u_L(t)$ 的表达式为

$$u_L(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < 1\text{s} \\ 10(\text{V}) & 1\text{s} \leq t < 3\text{s} \\ 0 & t \geq 3\text{s} \end{cases}$$

(1) $0 \leq t < 1\text{s}$ 时

$$i_L(t) = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_L(t) dt = i_L(0) = 2(\text{A})$$

(2) $1\text{s} \leq t < 3\text{s}$ 时

$$i_L(t) = i_L(1) + \frac{1}{L} \int_1^t u_L(t) dt = 2 + \frac{1}{2} \int_1^t 10 dt = 2 + 5 \times (t - 1) = 5t - 3$$

$$i_L(t) \Big|_{t=3} = (5t - 3) \Big|_{t=3} = 12(\text{A})$$

(3) $t \geq 3\text{s}$ 时

$$i_L(t) = i_L(3) + \frac{1}{L} \int_3^t u_L(t) dt = 12 + \frac{1}{2} \int_3^t 0 dt = 12(\text{A})$$

则 $i_L(t)$ 的表达式为

$$i_L(t) = \begin{cases} 2(\text{A}) & 0 \leq t < 1\text{s} \\ 5t - 3(\text{A}) & 1\text{s} \leq t < 3\text{s} \\ 12(\text{A}) & t \geq 3\text{s} \end{cases}$$

$i_L(t)$ 的波形如例 1-1 图 (b) 所示。

2. 基本电路元件的连接

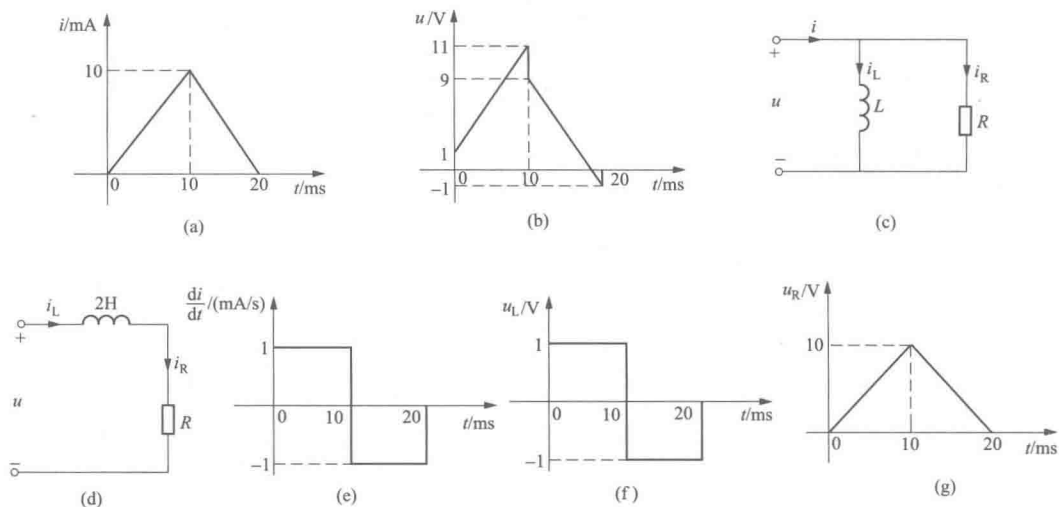
【例 1-2】 一条支路只含一个电阻和一个电感, 支路电流 $i(t)$ 和支路电压 $u(t)$ 取关联参考方向, 其波形分别如例 1-2 图 (a)、(b) 所示。试求:

(1) 试确定 R 与 L 的连接方式。

(2) 求 R 与 L 的值。

解: (1) R 和 L 的连接方式不是串联就是并联。如果 R 与 L 并联, 如例 1-2 图 (c) 所示, 则由 KCL 可知, $i(t) = i_L(t) + i_R(t)$, $i_R(t)$ 的波形和 $u(t)$ 的波形仅差一个比例系数 R , 而 $i_L(t)$ 的波形是对 $u(t)$ 取积分, 将是二次函数, 故 $i_R(t)$ 和 $i_L(t)$ 合成的波形不可能是所给 $i(t)$ 的三角波形。所以, R 与 L 不是并联连接, 而只能采用例 1-2 图 (d) 所示的串联连接。

(2) 由已知 $i(t)$ 的波形可得 $\frac{di}{dt}$ 的波形如例 1-2 图 (e) 所示。由例 1-2 图 (a) 得 $i(0) = 0$; 由例 1-2 图 (b) 可知 $u(0) = 1\text{V}$; 而 $\frac{di}{dt} \Big|_{t=0} = 1$, $u_L(t) = L \frac{di}{dt}$



例 1-2 图

所以

$$L = \frac{u_L(0)}{\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0}} = \frac{1}{1} = 1(\text{H})$$

因此可画出 $u_L(t)$ 的波形如例 1-2 图 (f) 所示。由 $u(t)$ 和 $u_L(t)$ 的波形可得 $u_R(t)$ 的波形，如例 1-2 图 (g) 所示。由例 1-2 图 (a) 和 (g) 易得 $R = 1(\text{k}\Omega)$ 。

3. 基尔霍夫定律

【例 1-3】 电路如例 1-3 图所示。试求电流 i 和电压 u 以及支路 X 吸收的功率 P 的值。

解： 由 KCL 和欧姆定律得

$$i = 4 + 5 - \frac{10}{10} = 8(\text{A})$$

$$i_1 = i + 2 = 8 + 2 = 10(\text{A})$$

$$i_2 = 2 - i_1 - 3 = 2 - 10 - 3 = -11(\text{A})$$

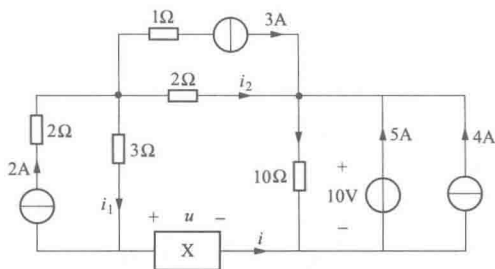
由 KVL 和欧姆定律得

$$u = -3i_1 + 2i_2 + 10 = -3 \times 10 + 2 \times (-11) + 10 = -42(\text{V})$$

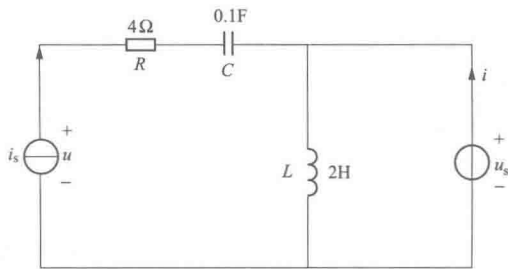
所以支路 X 吸收的功率为

$$P = ui = (-42) \times 8 = 336(\text{W})$$

【例 1-4】 例 1-4 图所示电路中， $i_s = 2e^{-2t}\epsilon(t)\text{A}$ ， $u_s = 10\sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right)\epsilon(t)\text{V}$ ，且已知 $u_C(0) = 0$ ， $i_L(0) = 0$ 。求电流源两端的电压 $u(t)$ 和电压源的电流 $i(t)$ 。



例 1-3 图



例 1-4 图

解： 考点：本题考查电路元件 R 、 L 、 C 电压、电流关系及基尔霍夫电压和电流定律

$$u_C = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi = \frac{1}{0.1} \int_0^t 2e^{-2\xi} d\xi$$

$$\begin{aligned}
 &= 10(1 - e^{-2t})(V) \\
 u(t) &= Ri_s + u_C + u_s \\
 &= 4 \times 2e^{-2t} + 10(1 - e^{-2t}) + 10\sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right) \\
 &= \left[10 - 2e^{-2t} + 10\sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right)\right]\epsilon(t)(A)
 \end{aligned}$$

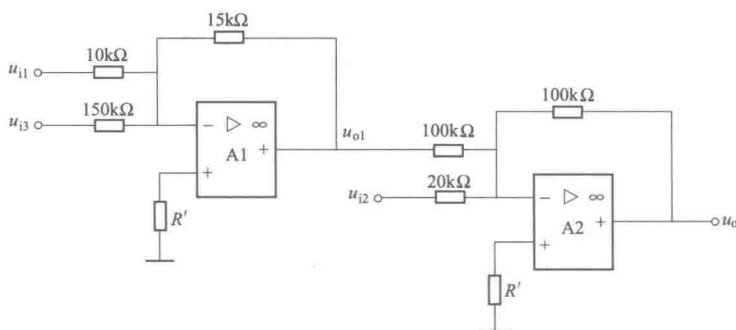
设电感中电流为 i_L ，则有

$$i_L(t) = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u(\xi) d\xi = \frac{1}{2} \int_0^t 10\sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right) d\xi = \left[1.25 - 2.5\cos\left(2t + \frac{\pi}{3}\right)\right](A)$$

$$i(t) = i_L - i_s = \left[1.25 - 2.5\cos\left(2t + \frac{\pi}{3}\right) - 2e^{-2t}\right]\epsilon(t)(A)$$

4. 运算放大器设计

【例 1-5】 设计实现输出电压为 $u_o = 1.5u_{i1} - 5u_{i2} + 0.1u_{i3}$ 的电路，且允许使用的最大电阻值为 $280k\Omega$ 。



例 1-5 图

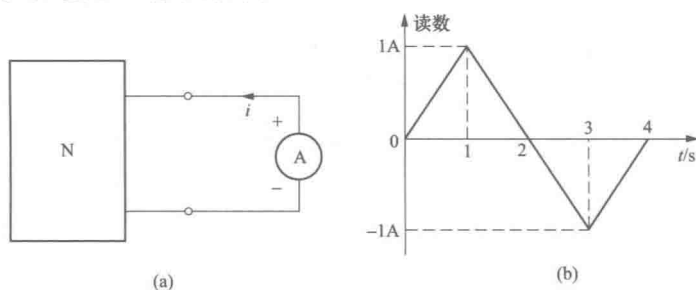
思路

本章重点内容之一就是学习模块电路，在复杂电路分析时，这些模块电路常常是构成复杂电路的基本单元，我们可以直接引用其输出电压与输入电压的关系。同样在电路设计中，也可以直接引用这样的模块单元完成基本功能，从而实现电路预定功能。

解：如例 1-5 图所示即为满足 $u_o = 1.5u_{i1} - 5u_{i2} + 0.1u_{i3}$ 功能的电路。其中，A1 为反相加法器， $u_{o1} = -1.5u_{i1} - 0.1u_{i3}$ 。A2 为反相加法器， $u_o = -u_{o1} - 5u_{i2} = 1.5u_{i1} - 5u_{i2} + 0.1u_{i3}$ 。

第三节 习题解答

1-1 题 1-1 图 (a) 电路中电流表 A 的读数随时间变化的情况如题 1-1 图 (b) 所示。试确定 $t=1$ 、2、3s 时的电流 i ，并说明电流 i 的实际方向。



题 1-1 图

解：由题 1-1 图 (b) 知

$t = 1\text{s}$ 时, $i(1) = -1\text{A}$, 方向从左至右。

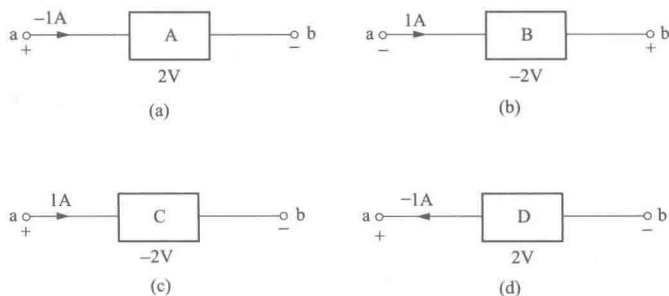
$t = 2\text{s}$ 时, $i(2) = 0\text{A}$ 。

$t = 3\text{s}$ 时, $i(3) = 1\text{A}$, 方向从右至左。

1-2 电流、电压的参考方向有何意义? 如在某支路中只说 $I = 5\text{A}$, 不给出参考方向, 行不行?

解：为确定某支路电流的实际方向, 必须知道参考方向和正负号, 例如的参考方向是从 A 至 B, 则知实际上电流为 5A , 方向从 A 流至 B, 参考方向相反时则反之, 故只说 $I = 5\text{A}$, 而不给参考方向是不行的。

1-3 如题 1-3 图所示各元件, 试确定各元件上电压、电流的实际方向。



题 1-3 图

解：根据参考方向的定义可知：当 $U > 0$, $I > 0$ 时, 实际方向与参考方向一致, 否则实际方向与参考方向相反。所以 U 、 I 的实际方向为：

(1) 元件 A: U : $a \rightarrow b$, I : $b \rightarrow a$;

(2) 元件 B: U : $a \rightarrow b$, I : $a \rightarrow b$;

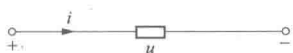
(3) 元件 C: U : $b \rightarrow a$, I : $a \rightarrow b$;

(4) 元件 D: U : $a \rightarrow b$, I : $a \rightarrow b$ 。

1-4 电阻 R 上 U 、 I 参考方向一致, $P = UI$ 为正值, 是消耗功率, 如果 U 、 I 参考方向不一致, 这些式子是否还成立?

解：当 U 、 I 参考方向不一致时, $P = UI = -GU^2$ 为负, 是消耗功率。

1-5 题 1-5 图是电路中的一条支路, 其电流、电压参考方向如题 1-5 图所示。



题 1-5 图

(1) 如 $i = 2\text{A}$, $u = 4\text{V}$, 求元件吸收的功率;

(2) 如 $i = 2\text{mA}$, $u = -5\text{mV}$, 求元件吸收的功率;

(3) 如 $i = 2.5\text{mA}$, 元件吸收的功率 $p = 10\text{mW}$, 求电压 u ;

(4) 如 $u = -200\text{V}$, 元件吸收的功率 $p = 12\text{kW}$, 求电流 i 。

解：题 1-5 图中, 元件电压、电流参考方向关联, 则元件吸收的功率为 $p = ui$ 。

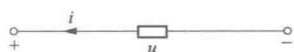
(1) $i = 2\text{A}$, $u = 4\text{V}$, $p = ui = 8\text{W}$, 即吸收的功率为 8W ;

(2) $i = 2\text{mA}$, $u = -5\text{mV}$, $p = ui = -10\mu\text{W}$, 即吸收的功率为 $-10\mu\text{W}$;

(3) $i = 2.5\text{mA}$, $p = 10\text{mW}$, $u = \frac{p}{i} = 4\text{V}$;

(4) $u = -200\text{V}$, $p = 12\text{kW}$, $i = \frac{p}{u} = -60\text{A}$ 。

1-6 题 1-6 图是电路中的一条支路, 其电流、电压参考方向如题 1-6 图所示。



题 1-6 图

(1) 如 $i = 2\text{A}$, $u = 3\text{V}$, 求元件发出的功率;

(2) 如 $i = 2\text{mA}$, $u = 5\text{V}$, 求元件发出的功率;

(3) 如 $i = -4\text{A}$, 元件发出的功率为 20W , 求电压 u ;

(4) 如 $u = 400\text{V}$, 元件发出的功率为 -8kW , 求电流 i 。

解：题 1-6 图中 u 、 i 参考方向非关联，则元件发出的功率为 $p' = ui$ 。

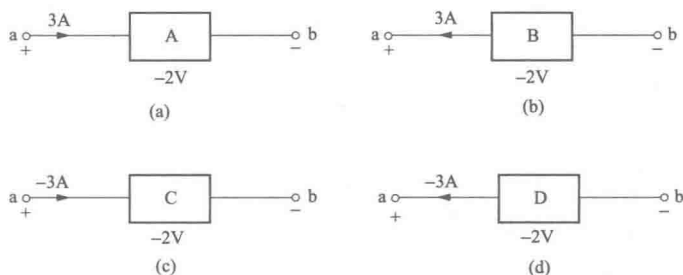
(1) $i = 2\text{A}$, $u = 3\text{V}$, $p' = ui = 6\text{W}$, 即发出的功率为 6W ;

(2) $i = 2\text{mA}$, $u = 5\text{V}$, $p' = ui = 10\text{mW}$, 即发出的功率为 10mW ;

(3) $i = -4\text{A}$, $p' = 20\text{W}$, $u = \frac{p'}{i} = -5\text{V}$;

(4) $u = 400\text{V}$, $p' = ui = -8\text{kW}$, $i = \frac{p'}{u} = -20\text{A}$ 。

1-7 试计算如题 1-7 图所示各元件的功率。



题 1-7 图

解：本题计算吸收的功率，其计算公式如下

$$P_A = 3 \times (-2) = -6(\text{W})$$

$$P_B = -(-2) \times 3 = 6(\text{W})$$

$$P_C = (-3) \times (-2) = 6(\text{W})$$

$$P_D = -(-3) \times (-2) = -6(\text{W})$$

1-8 如题 1-8 图所示的电路，若已知元件 C 发出功率 20W ，求元件 A 和 B 吸收的功率。

解：设电压 U_A 、电流 I 如题 1-8 图中所示，则有

$$P_C = 10I = -20(\text{W}) \text{ (吸收, 即发出 } 20\text{W)}$$

$$I = -2\text{A}$$

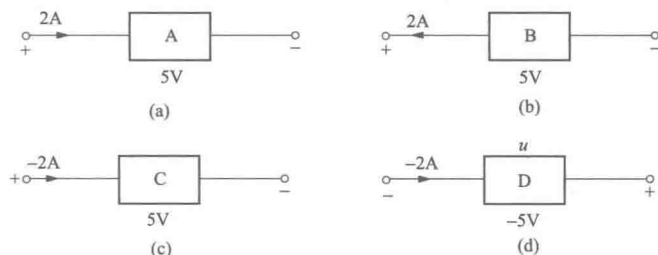
$$P_B = 6I = -12(\text{W})$$

$$U_A = 6 + 10 = 16\text{V}$$

$$P_A = -U_A I = -16 \times (-2) = 32(\text{W})$$

故元件 A 和 B 吸收的功率分别为 32W 和 -12W 。

1-9 分别求题 1-9 图所示各元件吸收和发出的功率。



题 1-9 图

解：本题计算吸收的功率，其计算结果如下

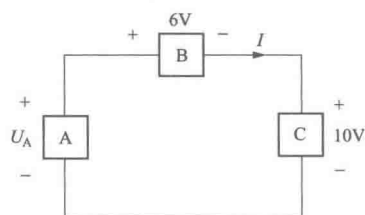
$$P_A = 2 \times 5 = 10(\text{W}), \text{ A 吸收功率为 } 10\text{W};$$

$$P_B = -2 \times 5 = -10(\text{W}), \text{ B 发出功率为 } 10\text{W};$$

$$P_C = -2 \times 5 = -10(\text{W}), \text{ C 发出功率为 } 10\text{W};$$

$$P_D = -(-2) \times (-5) = -10(\text{W}), \text{ D 发出功率为 } 10\text{W}.$$

1-10 某元件被定义在 u - i 平面上，若电压 u 和电流 i 为关联参考方向，试分别就下面该元件的



题 1-8 图

两种特性曲线方程说明元件特性是线性的还是非线性的，是时不变的还是时变的，是有源的还是无源的？

$$(1) u + 2e^{-t}i = 0 \quad (2) u = \sin i + 1$$

解：应注意，由于元件的特性曲线方程与电量一定的参考方向对应，故在题中首先说明元件电压、电流的参考方向。

(1) 元件的特性方程可写为

$$u = -2e^{-t}i$$

显然，由于特性曲线与时间 t 有关，表明特性曲线在特性平面上的位置随时间变化，故元件为时变的。对于任意时刻 t_k ，特性曲线为

$$u = Ai$$

式中： $A = -2e^{-t_k}$ 为一常数。可见在任一时刻 t_k ，特性曲线总是一条经过原点的直线，故元件是线性的。该元件是电流控制型的又是电压控制型的。

因 $A < 0$ ，则特性曲线位于特性平面坐标系的第二、四象限。由于 u 、 i 为关联正向，元件的功率 $p = ui < 0$ ，表明元件产生功率，故该元件是有源的。

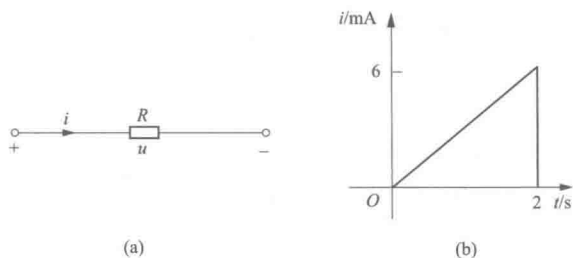
因此，由 $u + 2e^{-t}i = 0$ 定义的元件是线性时变的、有源的，既是电流控制型又是电压控制型的元件。

(2) 特性曲线 $u = \sin i + 1$ 不是一条经过原点的直线，且与时间 t 无关，故元件是非线性时不变的。由于 u 是 i 的单值函数，而 i 不是 u 的单值函数，故元件是电流控制型的，但不是电压控制型的。当 $i < 0$ 时，特性曲线位于第二象限，此时元件的功率 $P = ui < 0$ ，故元件是有源的。

因此由 $u = \sin i + 1$ 定义的元件是非线性时不变的、有源的、电流控制型的元件。

1-11 题 1-11 图中的电阻 $R = 5\text{k}\Omega$ ，其电流 i 如题 1-11 图 (b) 所示。

- (1) 写出电阻端电压表达式。
- (2) 求电阻吸收的功率，并画出波形。
- (3) 求该电阻吸收的总能量。



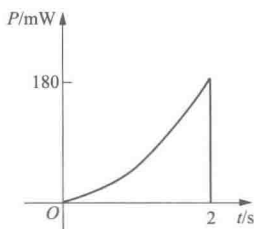
题 1-11 图

解：(1) 电阻电流的表达式为

$$i = \begin{cases} 3t \text{ (mA)} & 0 \leq t \leq 2\text{s} \\ 0 & t > 2\text{s} \end{cases}$$

$$u = iR = \begin{cases} 15t \text{ (V)} & 0 \leq t \leq 2\text{s} \\ 0 & t > 2\text{s} \end{cases}$$

$$(2) P = ui = \begin{cases} 45t^2 \text{ (mW)} & 0 \leq t \leq 2\text{s} \\ 0 & t > 2\text{s} \end{cases}$$



题 1-11 解图

据此画出该功率的波形如题 1-11 解图所示。

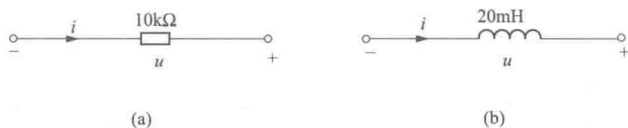
$$W = \int_0^2 P(\epsilon) d\epsilon = \int_0^2 45t^2 dt = 120 \text{ (mJ)}$$

1-12 在题 1-12 图指定的电压 u 和电流 i 参考方向下，写出各元件 u 和 i 的约束方程。

解：题 1-12 图 (a) 电路元件为电阻电路且电流电压为非关联参考方向，所以约束方程为 $u = -10^4 i$ 。

题 1-12 图 (b) 电路元件为电感电路且电流电压为非关联参考方向，所

以约束方程为 $u = -0.02 \frac{di}{dt}$ 。



题 1-12 图

1-13 一电感 $L = 0.2\text{H}$ ，其电流、电压为关联参考方向。如通过它的电流 $i = 5(1 - e^{-2t})\text{A}$ ， $t \geq 0$ ，求 $t \geq 0$ 时的端电压，并粗略画出其波形，电感的最大储能是多少？

解：根据电感元件的伏安关系，其电压为

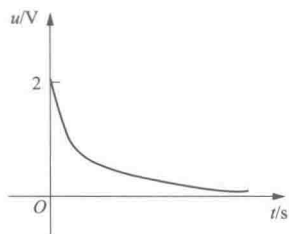
$$u = L \frac{di}{dt} = 0.2 \times 5 \times 2e^{-2t} = 2e^{-2t} (\text{V}), t \geq 0$$

据此描绘电压波形如题 1-13 解图所示。

当 $t \rightarrow \infty$ 时， $i_{\max} = i(\infty) = 5\text{A}$

电感的最大储能则为

$$W_{L\max} = \frac{1}{2} Li_{\max}^2 = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 5^2 = 2.5 (\text{J})$$



题 1-13 解图

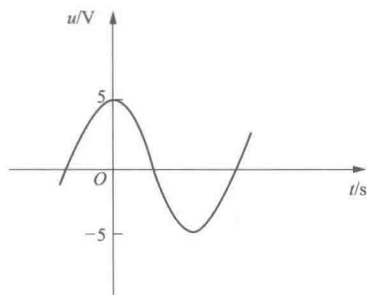
1-14 电感 $L = 0.5\text{H}$ ，其电流、电压为关联参考方向。如通过它的电流 $i = 2\sin 5t\text{A}$ ， $-\infty < t < \infty$ ，求端电压 u ，并粗略画出其波形。

解：根据电感元件的伏安关系，其电压为

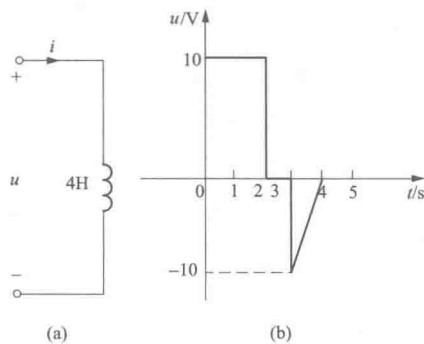
$$u = L \frac{di}{dt} = 0.5 \times 2 \times 5 \cos 5t = 5 \cos 5t (\text{V})$$

据此描绘电压波形如题 1-14 解图所示。

1-15 题 1-15 图 (a) 中 $L = 4\text{H}$ ，且 $i(0) = 0$ ，电压的波形如题 1-15 图 (b) 所示。试求当 $t = 1\text{s}$ ， $t = 2\text{s}$ ， $t = 3\text{s}$ 和 $t = 4\text{s}$ 时的电感电流 i 。



题 1-14 解图



题 1-15 图

解：电感元件 u ， i 关系的积分形式为

$$i(t) = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(\xi) d\xi$$

本题中电感电压的函数表示式为

$$u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 10(\text{V}) & 0 < t < 2\text{s} \\ 0 & 2\text{s} < t < 3\text{s} \\ 10t - 40(\text{V}) & 3\text{s} < t < 4\text{s} \\ 0 & t > 4\text{s} \end{cases}$$

应用 u ， i 积分关系式，有