

© 陈长兴 李敬社 编著

电路分析基础学习 指导及习题全解

Fundamentals of Circuit Analysis
Complete Solution to the Problem



國防工業出版社
National Defense Industry Press

电路分析基础

学习指导及习题全解

陈长兴 李敬社 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是以陈长兴等编著的《电路分析基础》为主讲教材而编写的教学参考书。全书共七章,每章内容分为重点内容与学习指导、典型例题解析、思考与练习解答及考研试题解析等四个部分。

本书可作为高等院校电子信息类专业本科生“电路分析基础”课程或“电路”课程教辅教材,也可供教师教学、考研人员考前复习及作为其它专业学生和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础学习指导及习题全解 / 陈长兴, 李敬
社编著. —北京: 国防工业出版社, 2017.3

ISBN 978 -7 -118 -11308 -2

I. ①电... II. ①陈...②李... III. ①电路分析 - 高
等学校 - 教学参考资料 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 070937 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 15 1/4 字数 300 千字

2017 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 34.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

“电路分析基础”是高等学校电子信息类专业一门重要的技术基础课程。它主要研究电路的基本理论和方法,是学习后续技术基础课程和专业课程的基础。

“电路分析基础”是一门理论性和实践性强的课程,其内容涉及的数学知识相对较多,并有广泛的实际工程应用背景。在进行这门课程的学习时只有注重学、练相结合,才能更好地掌握课程的基本概念、基本理论及基本分析方法。

要学好这门课,首先要对电路基本概念、基本定理及基本分析方法有较好的把握,它不仅需要较强的逻辑推理能力,深入思考,反复领会,更需要做大量的习题。解题的过程就是进一步领悟的过程,深入理解的过程。为配合本课程的学习,我们以陈长兴等编著的《电路分析基础》教材为基础编写了本书,希望本书能够帮助读者更好地掌握电路分析的基本概念、基本定理和基本分析方法,提高课程的学习水平,并能满足考研人员考前复习的需求。

本书具有以下特点:

(1) 每章给出章节的重点内容与学习指导,便于学生总体把握学习内容。典型例题解析为学生提供了范例。

(2) 习题的解析方法与教材中各章节讲述的内容密切配合,主要用当节所讲述的内容及已学内容作解,以方便读者深化和掌握该章节所讲授的基本概念和基本分析方法。

(3) 每题给出的解析方法力求概念清晰、数据准确、简洁明了、附图齐全。

(4) 所用公式及解题格式与教材基本保持一致。

愿本书对您学习电路分析基础有所裨益,在考研时能助您一臂之力。

本书的编写得到了全军电工电子基础课程教学协作联席会及空军工程大学理学院的支持与指导。在此对给予热情帮助的空军工程大学同事和国防工业出版社的大力支持表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请指正。

编著者

2017年3月

目 录

第1章 电路的基本概念和定律	1
1.1 重点内容 学习指导	1
一、集总假设,电路,电路模型	1
二、电路变量	1
三、参考方向,关联参考方向及功率	2
四、电路元件	2
五、电路的基本定律	3
1.2 典型例题解析	4
1.3 思考与练习解答	8
1.4 考研试题解析	18
第2章 电阻电路分析	21
2.1 重点内容 学习指导	21
一、电路的等效变换	21
二、电路方程法分析	23
三、电路的基本定理	24
2.2 典型例题解析	26
2.3 思考与练习解答	34
2.4 考研试题解析	64
第3章 动态电路分析	67
3.1 重点内容 学习指导	67
一、动态元件的特性	67
二、过渡过程	68
三、二阶电路	69
3.2 典型例题解析	70
3.3 思考与练习解答	82

3.4 考研试题分析	109
第4章 正弦稳态电路分析	112
4.1 重点内容 学习指导	112
一、正弦量的相量表示	112
二、相量模型	113
三、正弦稳态电路的功率	114
四、三相电路	116
4.2 典型例题解析	117
4.3 思考与练习解答	134
4.4 考研试题解析	154
第5章 耦合电感和理想变压器	158
5.1 重点内容 学习指导	158
5.1.1 耦合电感元件	158
5.1.2 空心变压器电路	159
5.1.3 理想变压器	160
5.2 典型例题解析	161
5.3 思考与练习答案	169
5.4 考研试题解析	185
第6章 线性电路的频率特性	188
6.1 重点内容 学习指导	188
6.1.1 网络函数	188
6.1.2 选频电路	188
6.1.3 对数频率特性曲线——波特图	189
6.2 典型例题解析	191
6.3 思考与练习答案	197
6.4 考研试题解析	212
第7章 双口网络	215
7.1 重点内容 学习指导	215
7.1.1 双口网络	215
7.1.2 具有端接的双口网络的分析	217
7.1.3 复合双口网络	218

7.2 典型例题解析	219
7.3 思考与练习答案	227
7.4 考研题解析	241

第 1 章 电路的基本概念和定律

1.1 重点内容 学习指导

一、集总假设,电路,电路模型

1. 集总参数元件

集总参数元件是指元件的外形尺寸相对其工作的频率波长很小(可忽略),则元件可用一点表示。并且在任意时刻从元件一端流入的电流恒等于流出的电流;端电压可准确测量。

2. 集总参数电路

由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路。

3. 电路

实际电路由电路器件和电路部件相互连接而形成的电流通路的装置。主要完成能量的传输、分配与转换,以及实现信息的传递与处理。

4. 电路模型

将实际电路中的各个电路器件用理想化的元件模型来表示而形成的电路称为电路模型。通常电路分析是针对电路模型进行的,即电路模型是我们分析、研究的对象。

二、电路变量

电路分析中的基本变量是电流和电压。

1. 电流

带电粒子的定向移动形成电流。定义单位时间通过导体横截面的电荷量为电流强度(简称电流),其大小为 $i(t) = \frac{dq}{dt}$,方向规定为正电荷移动的方向。

2. 电压

单位正电荷由 a 点移动到 b 点获得或失去的能量称为 a、b 两点间的电压,其大小为 $u(t) = \frac{dW}{dq}$;电位降的方向规定为电压的正方向。

三、参考方向,关联参考方向及功率

1. 参考方向

预先为电压、电流假定的正方向为参考方向。由正负表示方向。电压、电流计算值大于零,说明电压、电流的实际方向与参考方向相同;电压、电流计算值小于零,说明电压、电流的实际方向与参考方向相反。因此,只有标明电压、电流参考方向,计算结果才有意义。

2. 关联参考方向

电路中同一支路(或元件)上电流的参考方向与电压的参考方向一致(电流从电压“+”端流向“-”端),称为关联参考方向;反之为非关联参考方向。如图 1-1 所示电路对元件 A, u 、 i 为关联参考方向。

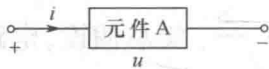


图 1-1

3. 功率

若二端网络(或一支路,或一元件)的电压电流为关联参考方向,则它(吸收)的功率为

$$p = ui$$

若 $p > 0$, 则表明该支路(或元件)吸收功率;若 $p < 0$, 则表明该支路(或元件)释放功率。

若电压、电流为非关联参考方向,则它吸收的功率为 $p = -ui$ 。

同一元件(或网络)吸收与释放的功率互为相反数,即 $p_{\text{吸收}} = -p_{\text{释放}}$ 。

四、电路元件

电阻、电压源、电流源和受控源都是理想元件。元件端口电压和电流之间的关系称为电压电流关系,简称为 VCR。在关联参考方向下,电阻、电压源、电流源及受控源的 VCR 分别表示为

1. 电阻

$u = Ri$, u 、 i 为关联参考方向,非关联时需加“-”号。

2. 电压源

$u = u_s$, i 取决于外电路。

3. 电流源

$i = i_s$, u 取决于外电路。

4. 受控源

$$\text{VCVS: } i_1 = 0, u_2 = \mu u_1$$

$$\text{VCCS: } i_1 = 0, i_2 = g u_1$$

$$\text{CCVS: } u_1 = 0, u_2 = ri_1$$

$$\text{CCCS: } u_1 = 0, i_2 = \alpha i_1$$

5. 运算放大器

理想变压器电路符号如图 1-2 所示,图 1-2(a)为旧符号,图 1-2(b)为目前国际新用符号。其特性主要有:

(1) 虚通: $u_+ = u_-$, 输入端电压为 0 可等效为短路,但实际未短路,故输入端虚通。

(2) 虚断: $i_+ = i_- = 0$, 输入电流为 0 可等效为开路,但实际未开路,故输入端虚断。

由于输出端电流 i 一般未知,所以不对输出端建立 KCL 方程。

(3) 应用: 运算放大器的基本应用可以分为线性应用和非线性应用两类。A 线性应用包括基本放大器、基本运算电路,如加法器、积分器、微分器等;常见的非线性应用电路有电压比较器和波形发生器等。

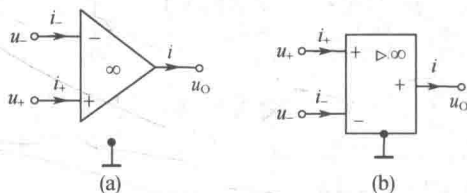


图 1-2

五、电路的基本定律

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

KCL 是给电路中与节点相连的各支路电流之间建立约束关系。其基本内容为:对于任意集总参数电路中的任一节点,在任一时刻流入(或流出)该节点的电流的代数和为零,即 $\sum i_k = 0$ 。

也可描述为:对于任意集总参数电路中的任一节点,在任一时刻流入该节点的电流之和等于流出该节点的电流之和,即 $\sum i_{\text{入}} = \sum i_{\text{出}}$ 。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

KVL 是给电路中与回路相关联的各支路电压之间建立约束关系。其基本内容为:对于任意集总参数电路中的任一回路,在任一时刻沿回路一周,回路中所有支路电压降的代数和为零,即 $\sum u_k = 0$ 。

说明:

(1) KCL 是电荷守恒的结果,可推出电流的连续性。

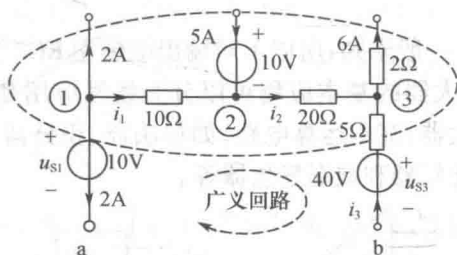
KVL 是能量守恒的结果,可推出电位的单值性。

(2) 基尔霍夫定律(KL)与元件的性质无关,只与电路的拓扑结构有关。

(3) KL 给电路中电压和电流建立了拓扑约束。元件的 VCR 给支路建立了电压电流约束关系。此两类约束关系是建立电路数学模型的依据。

1.2 典型例题解析

【例 1.1】例题图 1-1 为某电路中的一部分,试确定其中的 i_3 、 u_{ab} 。



例题图 1-1

解:根据 KCL 求 i_3 。

节点①: $i_1 = -(2+2) = -4A$

节点②: $i_2 = i_1 + 5 = -4 + 5 = 1A$

节点③: $i_3 = 6 - i_2 = 6 - 1 = 5A$

若取广义节点如例题图 1-1 中虚线所示,根据 KCL 直接可得

$$i_3 = 2 + 2 + 6 - 5 = 5A$$

求 u_{ab} ,可假想 a、b 间有一条虚拟支路,该支路两端的电压为 u_{ab} 。这样就形成一个广义闭合回路,应用 KVL 可得

$$-u_{S1} + 10i_1 + 20i_2 - 5i_3 + u_{S3} - u_{ab} = 0$$

所以 $u_{ab} = -30 + 10(-4) + 20 \times (1) - 5 \times (5) + 40 = -35V$

【例 1.2】例题图 1-2 所示为某电路的部分电路,求电流 I 、电压 U 、电阻 R 。

解:取广义节点如例题解图 1-2 中虚线所示,由 KCL 得

$$I = 5 + 1 - 4 = 2A$$

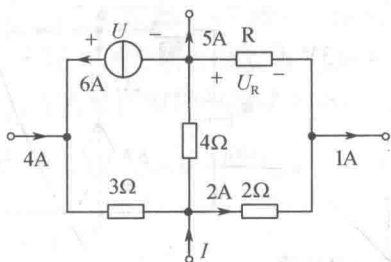
设 I_1 、 I_2 、 I_R 如例题解图 1-2 所示,则

节点①: $I_1 = 4 + 6 = 10A$

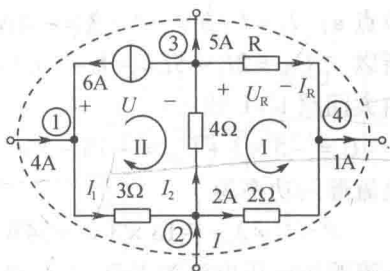
节点②: $I_2 = I_1 + I - 2 = 10 + 2 - 2 = 10A$

节点③: $I_R = 1 - 2 = -1A$

由回路 I 得: $U_R = -4I_2 + 2 \times 2 = -40 + 4 = -36V$



例题图 1-2



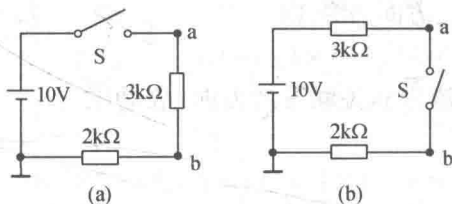
例题解图 1-2

所以 $R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{-36}{-1} = 36\Omega$ (电阻元件 VCR, 关联参考方向)

由回路 II 得

$$U = 3I_1 + 4I_2 = 3 \times 10 + 4 \times 10 = 70V$$

【例 1.3】计算例题图 1-3 所示电路, S 打开和闭合时的 U_a 、 U_b 、 U_{ab} 。



例题图 1-3

解: 本题主要是参考点与节点电位的计算方法。

(1) 图(a)中, 当 S 打开时, 电路中无回路, 故

$$U_a = U_b = 0V, U_{ab} = U_a - U_b = 0V$$

当 S 闭合时, 电路中电流 I_{ab} (方向 $a \rightarrow b$)

$$I_{ab} = \frac{10}{2+3} = 2(\text{mA})$$

$$U_a = 10V, U_b = 2I_{ab} = 2 \times 2 = 4V$$

$$U_{ab} = U_a - U_b = 10 - 4 = 6V \text{ 或 } U_{ab} = I_{ab} \times 3 = 2 \times 3 = 6V$$

(2) 图(b)中, 当 S 打开时, 电路中无回路, 故

$$U_a = 10V, U_b = 0V, U_{ab} = U_a - U_b = 10V$$

当 S 闭合时, 电路中电流 I_{ab} (方向 $a \rightarrow b$)

$$I_{ab} = \frac{10}{2+3} = 2(\text{mA}), U_a = U_b = 2 \times I_{ab} = 2 \times 2 = 4V, U_{ab} = 0$$

【例 1.4】例题图 1-4 中, 已知 $I = -1A$, 求电压 U_{ab} 、电流源的功率。

解: 如例题图 1-4 所示, 增加电流 I_1 和电流源两端电压 U 。

节点 a: $I_1 = I - 3 = -1 - 3 = -4\text{A}$

所以 $U_{ab} = 2I_1 - 5I = -8 - 5 \times (-1) = -3\text{V}$

由大回路 KVL 知

$$U = -5 \times 3 + U_{ab} = -15 - 3 = -18\text{V}$$

电流源的功率为

$$P = U \times 3 = -18 \times 3 = -54\text{W} < 0$$

电流源的电压电流为关联方向, $P < 0$, 所以电流源实际发出功率 54W。

【例 1.5】例题图 1-5 中, 已知 $U = 4\text{V}$, 求电流 I 、电压源的功率。

解: 由图中大回路 KVL 知

$$U = -2 + 1 + 5I$$

将 $U = 4\text{V}$ 代入得

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

增加电压源电流 I_1 , 方向如图, 则

$$I_1 = -2I - I = -3I = -3 \times 1 = -3\text{A}$$

电压源的电压、电流为非关联参考方向, 故电压源的吸收功率为

$$P = -1 \times I_1 = -1 \times (-3) = 3\text{W} > 0$$

电压源在此电路中吸收功率。

【例 1.6】例题图 1-6 所示电路, 设 $R_1 = 5\text{k}\Omega$, $R_2 = 40\text{k}\Omega$, $R_3 = 20\text{k}\Omega$ 。求输出电压 u_o 与输入电压 u_i 之比。当 $u_i = 1\text{V}$ 时, 求输出电流 i_o 。

解: 由于运算放大器的虚断特性知

$$i_- = 0$$

$$\text{故 } u_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_o = \frac{5}{5 + 40} u_o = \frac{1}{9} u_o$$

由运算放大器的虚通特性知

$$u_- = u_+, u_+ = u_i$$

因此

$$u_i = \frac{1}{9} u_o$$

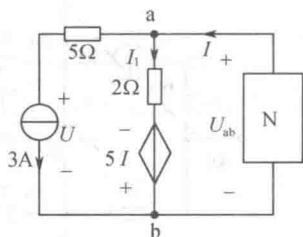
所以

$$\frac{u_o}{u_i} = 9$$

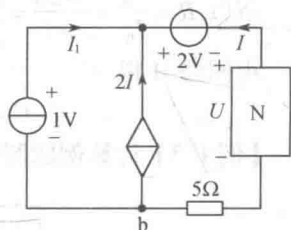
当 $u_i = 1\text{V}$ 时, $u_o = 9\text{V}$

由 KCL 知

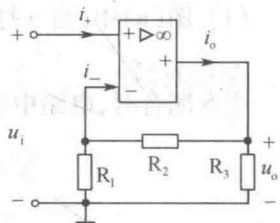
$$i_o = \frac{u_o - u_i}{R_2} + \frac{u_o}{R_3} = \frac{9 - 1}{40} + \frac{9}{20} = 0.65\text{mA}$$



例题图 1-4



例题图 1-5



例题图 1-6

【例 1.7】例题图 1-7 所示电路, 计算输出电压 u_o 。

解: 利用节点分析法建立方程。

利用虚断特性对同相端建立方程

$$\frac{u_- - u_{i2}}{R_1} + \frac{u_- - u_o}{R_2} = 0$$

由虚通特性知

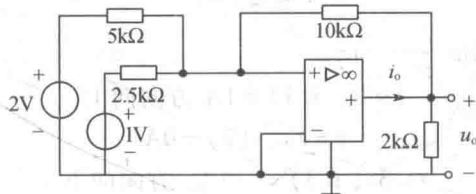
$$u_- = u_+ = u_{i1}$$

代入数据得 $\frac{4-6}{4} + \frac{4-u_o}{10} = 0$

解得

$$u_o = -1\text{V}$$

【例 1.8】计算例题图 1-8 所示电路中的 u_o 和 i_o 。



例题图 1-8

解: 根据理想运算放大器的虚通、虚断特性, 建立同相端的 KCL 方程

$$\frac{2-0}{5} + \frac{1-0}{2.5} + \frac{0-u_o}{10} = 0$$

解得

$$u_o = -8\text{V}$$

由输出端的 KCL 得

$$i_o = \frac{u_o}{2} + \frac{u_o - 0}{10} = \frac{-8}{2} + \frac{-8 - 0}{10} = -4.8\text{mA}$$

【例 1.9】例题图 1-9 所示同相电流放大器, 计算当 $R_1 = 8\text{k}\Omega$, $R_2 = 1\text{k}\Omega$ 时的电流增益 i_o/i_s 。

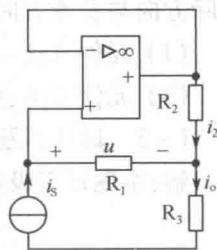
解: 由理想运算放大器虚通、虚断特性知

$$u = i_s R_1$$

R_2 两端的电压也为 u , 流过 R_2 的电流 $i_2 = \frac{u}{R_2}$

$$i_o = i_s + i_2 = i_s + \frac{i_s R_1}{R_2} = i_s + \frac{8i_s}{1} = 9i_s, \text{ 所以 } \frac{i_o}{i_s} = 9 \text{ (可视}$$

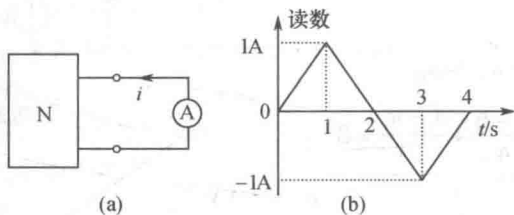
为 CCCS)



例题图 1-9

1.3 思考与练习解答

1-1 题图 1-1 所示电路中电流表 A 的读数随时间变化的情况如图中所示。试确定 $t=1\text{s}, 2\text{s}, 3\text{s}$ 时的电流 i , 并说明电流 i 的实际方向。



题图 1-1

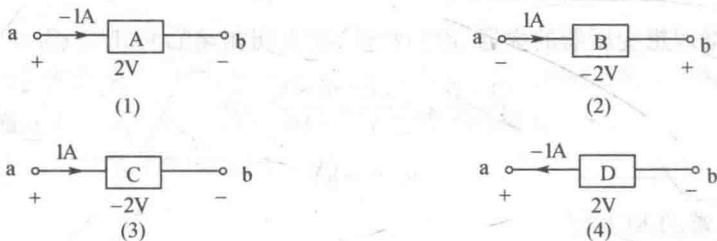
解:由题图 1-1 知

$$t=1\text{s}, i(1)=1\text{A} \text{ 方向向上}$$

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

$$t=3\text{s}, i(3)=-1\text{A}, \text{方向向下}$$

1-2 如题图 1-2 所示各元件,试确定各元件上电压、电流的实际方向。



题图 1-2

解:根据参考方向的定义可知:当 $U>0, I>0$ 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 实际方向如下:

$$(1) \text{ 元件 A: } U: a \rightarrow b, I: b \rightarrow a; \quad (2) \text{ 元件 B: } U: a \rightarrow b, I: a \rightarrow b$$

$$(3) \text{ 元件 C: } U: b \rightarrow a, I: a \rightarrow b; \quad (4) \text{ 元件 D: } U: a \rightarrow b, I: a \rightarrow b$$

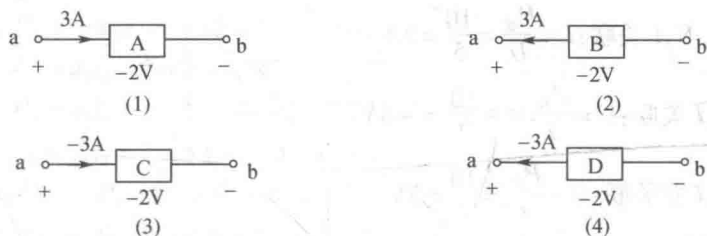
1-3 试计算题图 1-3 所示各元件的功率。

解:本题计算吸收的功率,其计算公式为

$$P_{\text{吸}} = UI \text{ (关联参考方向)}$$

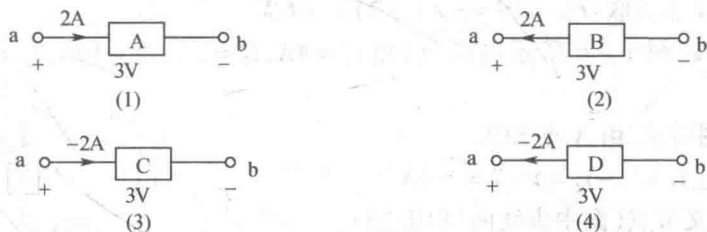
$$\text{故 } P_{A\text{吸}} = 3 \times (-2) = -6\text{W}; \quad P_{B\text{吸}} = -(-2) \times 3 = 6\text{W}$$

$$P_{C\text{吸}} = (-3) \times (-2) = 6\text{W}; \quad P_{D\text{吸}} = -(-3) \times (-2) = -6\text{W}$$



题图 1-3

1-4 试计算题图 1-4 所示各元件的产生功率。



题图 1-4

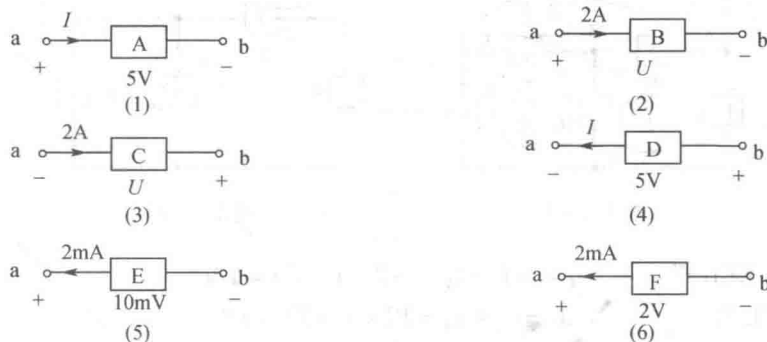
解: 本题计算发生功率, 其计算公式为

$$P_{\text{产}} = -P_{\text{吸}} = \begin{cases} -UI, & UI \text{ 关联参考方向} \\ UI, & UI \text{ 非关联参考方向} \end{cases}$$

故 $P_{A\text{产}} = -3 \times 2 = -6\text{W}$; $P_{B\text{产}} = 3 \times 2 = 6\text{W}$

$P_{C\text{产}} = -3 \times (-2) = 6\text{W}$; $P_{D\text{产}} = 3 \times (-2) = -6\text{W}$

1-5 如题图 1-5 所示电路: (1) 元件 A 吸收功率 10W , 求 I ; (2) 元件 B 吸收功率 -10W , 求 U ; (3) 元件 C 产生功率 10W , 求 U ; (4) 元件 D 产生功率 -10W , 求 I ; (5) 求元件 E 吸收的功率; (6) 求元件 F 产生的功率。



题图 1-5

解:(1) U 、 I 关联: $I = \frac{P_{\text{吸}}}{U} = \frac{10}{5} = 2\text{A}$

(2) U 、 I 关联: $U = \frac{P_{\text{吸}}}{I} = -\frac{10}{2} = -5\text{V}$

(3) U 、 I 非关联: $U = \frac{P_{\text{产}}}{I} = \frac{10}{2} = 5\text{V}$

(4) U 、 I 关联: $I = -\frac{P_{\text{产}}}{U} = -\frac{-10}{5} = 2\text{A}$

(5) U 、 I 非关联: $P_{\text{吸}} = -UI = -(10 \times 10^{-3}) \times (2 \times 10^{-3}) = -20 \times 10^{-6}\text{W}$

(6) U 、 I 非关联: $P_{\text{产}} = UI = 3 \times (-2) = -6\text{W}$

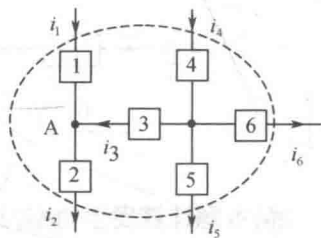
1-6 题图 1-6 所示电路, 已知 $i_1 = 4\text{A}$, $i_2 = 7\text{A}$, $i_3 = 10\text{A}$, $i_5 = -2\text{A}$ 。求 i_3, i_6 。

解: 如图所示, 由 A 点 KCL

$$i_3 = i_1 - i_2 = 4 - 7 = -3\text{A}$$

根据广义节点 (图中虚线内) KCL 知

$$\begin{aligned} i_6 &= i_1 + i_4 - i_2 - i_5 \\ &= 4 + 10 - 7 - (-2) = 9\text{A} \end{aligned}$$



题图 1-6

1-7 题图 1-7 所示电路, 已知 $u_2 = 10\text{V}$, $u_3 = 5\text{V}$, $u_3 = -4\text{V}$, 试确定其余各电压。

解: 由回路 I 得

$$u_1 = u_2 + u_3 = 10 + 5 = 15\text{V}$$

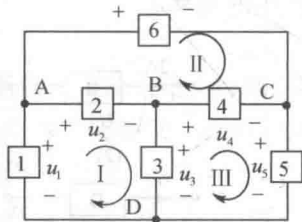
由回路 II 得

$$u_4 = -u_2 + u_6 = -10 + (-4) = -14\text{V}$$

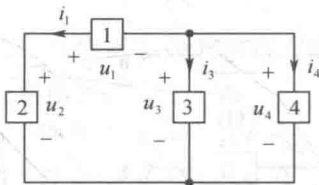
由回路 III 得

$$u_5 = -u_4 + u_3 = -(-14) + 5 = 19\text{V}$$

1-8 电路如题图 1-8 所示, 已知 $i_1 = 2\text{A}$, $i_3 = -3\text{A}$, $u_1 = 10\text{V}$, $u_4 = -5\text{V}$, 试计算各元件的功率。



题图 1-7



题图 1-8

解: 由 KCL 得

$$i_4 = -i_1 - i_3 = -2 - (-3) = 1\text{A}$$

由 KVL 得

$$u_2 = u_1 + u_4 = 10 + (-5) = 5\text{V}$$

$$u_3 = u_4 = -5\text{V}$$

所以各元件的吸收功率为