

电路学习指导

李先祥 王方连 许舒勤 编

华南理工大学出版社

电路学习指导

李先祥 王方连 许舒勤 编

华南理工大学出版社

·广州·

内容简介

本书为“电路”课程的学习指导书。书中内容分为两大部分,其一为各章的主要内容,其二为各章典型习题的详解,并在解题过程中注重阐述分析问题和解决问题的方法。

本书可作为电类各专业以及夜大、函大的学生学习电路理论的辅助教材,也可作为有关专业研究生报考人员的复习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路学习指导/李先祥,王方连,许舒勤编. —广州:华南理工大学出版社, 2002. 11

ISBN 7-5623-1899-9

I. 电… II ①李… ②王… ③许… III. 电路理论-高等学校-教学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 076348 号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

发行部电话:020-87113487 87111048(传真)

责任编辑:黄丽谊 吴兆强

印刷者:广东农垦印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:13.125 字数:320 千

版次:2002 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1~3000 册

定价:20.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

“电路”是电类各专业的一门重要的技术基础课。为配合西安交通大学邱光源教授主编的《电路》第四版教材的使用和满足学生在学习技术基础课阶段的相应要求,我们编写了这本《电路学习指导》。

本书主要有两方面内容,其一为各章主要内容,其二为各章典型习题的详解。在编写过程中,力求重点、难点突出,简明扼要,逻辑性强。各章典型习题的解析方法与各章主要内容密切配合,以便读者掌握和深化该章节所述的基本概念和基本分析方法。在解题过程中力求做到概念清晰、步骤完整,注重阐述分析问题和解决问题的方法。

本书能帮助学习者更好地掌握课程的重点和难点,提高课程的学习水平以及拓展解题的思路和技巧。

参加本书编写工作的同志有:王方连(第1章至第5章),许舒勤(第8章至第11章),李先祥(第6、7章,第12章至第16章)。本书承陈广义教授仔细审阅,并提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平和能力有限,书中如有缺点、错误和不全面之处,恳请广大读者谅解和指正。

编 者
2002年8月

目 录

1	电路模型和电路定律	(1)
2	电阻电路的等效变换	(12)
3	电阻电路的一般分析方法	(23)
4	电路定理	(34)
5	含有运算放大器的电阻电路	(49)
6	一阶动态电路	(54)
7	二阶动态电路	(73)
8	相量法	(82)
9	正弦稳态电路的分析	(92)
10	含有耦合电感的电路	(129)
11	三相电路	(139)
12	非正弦周期电流电路	(152)
13	拉普拉斯变换	(158)
14	网络函数	(171)
15	二端口网络	(179)
16	非线性电路	(197)

1 电路模型与电路定律

1.1 主要内容

1.1.1 电路和电路模型

1.1.1.1 电路的概念

电流所通过的路径叫做电路。

1.1.1.2 电路的作用

- (1)进行能量的转换,并对电能实现传输和分配。
- (2)进行信息的处理,将输入的信号“加工”成人们所需要的信号。

1.1.1.3 电路的组成

- (1)电源 向电路提供电能的设备,具有将其他形式的能量转换成电能的功能。
- (2)传输导线 将电源的电能传输给负载,同时又起着分配电能和传递信号的作用。
- (3)控制电路 控制电路的通断和保护主要设备。
- (4)负载 所有用电设备的总称。其作用是将电能转换成人们所需要的各种形式的能。

1.1.1.4 电路模型

用理想元件的相互连接来模拟实际电路。

1.1.2 电流电压的参考方向、功率和能量

1.1.2.1 电流的参考方向——可以任意假定

如图 1-1,假定电流 I 的参考方向从 a 到 b,用箭头表示,或写成 I_{ab} 。如 $I = 5\text{ A}$,表示实际电流 5 A 从 a 流至 b;又如 $I = -5\text{ A}$,则表示实际电流 5 A 从 b 流至 a。

1.1.2.2 电压的参考方向——可以任意假定

如图 1-1,假定电压 U 的正方向从 a 到 b,用箭头表示,或写成 U_{ab} 。如 $U = 2\text{ V}$,表示 a 点电位比 b 点电位高出 2 V;如 $U = -2\text{ V}$,则表示 a 点电位比 b 点电位低 2 V。

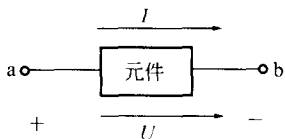


图 1-1

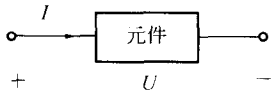


图 1-2

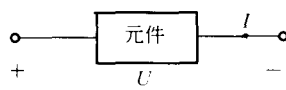


图 1-3

1.1.2.3 关联参考方向与非关联参考方向

如果指定流过元件的电流参考方向是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端,即两者的参考方向一致,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向(如图 1-2);当两者的参考方向不一致时,称为非关联参考方向(如图 1-3)。

1.1.2.4 功率和能量

(1)功率

若元件上某一时刻 t 的电流为 $i(t)$,电压为 $u(t)$,则

当 i 和 u 为关联参考方向时, $p(t) = i(t) \cdot u(t)$ 代表元件在 t 时刻吸收的功率。若 $p > 0$,表示元件确实吸收功率;若 $p < 0$,则表示元件实际发出功率。

当 i 和 u 为非关联参考方向时, $p(t) = i(t) \cdot u(t)$ 代表元件发出的功率。若 $p > 0$,表示元件确实发出功率;若 $p < 0$,则表示元件实际吸收功率。

(2)能量

若从 t_0 到 t 的时间内,元件上的电压为 $u(t)$,流过它的电流为 $i(t)$,则

当 i 和 u 为关联参考方向时, $W = \int_{t_0}^t u(\zeta) i(\zeta) d\zeta$ 代表元件吸收的电能量。若 $W > 0$,表示元件确实吸收电能;若 $W < 0$,表示元件实际发出电能。

当 i 和 u 为非关联参考方向时, $W = \int_{t_0}^t u(\zeta) i(\zeta) d\zeta$ 代表元件发出的电能。若 $W > 0$,表示元件确实发出电能;若 $W < 0$,表示元件实际吸收电能。

1.1.3 电路元件

1.1.3.1 线性电阻元件 R

(1)约束方程

当 u 和 i 为关联参考方向时, $u = Ri$;

当 u 和 i 为非关联参考方向时, $u = -Ri$ 。

(2)功率

在 u 、 i 为关联参考方向时,线性电阻元件吸收的功率为

$$p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R}$$

(3)能量

在 u 、 i 为关联参考方向时,线性电阻元件从 t_1 到 t_2 时间内吸收的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} ui dt = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt = \frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} u^2 dt$$

1.1.3.2 线性电容元件 C

(1)约束方程

当 u 、 i 为关联参考方向时, $i = C \frac{du}{dt}$;

当 u 、 i 为非关联参考方向时, $i = -C \frac{du}{dt}$ 。

(2)功率

在 u 、 i 为关联参考方向时,线性电容元件吸收的功率为

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt}$$

(3)能量

在 u 、 i 为关联参考方向时,线性电容从 t_1 到 t_2 时间内吸收的能量为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt = C \int_{t_1}^{t_2} u du = \frac{1}{2} Cu^2(t_2) - \frac{1}{2} Cu^2(t_1)$$

1.1.3.3 线性电感元件 L

(1)约束方程

当 u 、 i 为关联参考方向时, $u = L \frac{di}{dt}$;

当 u 、 i 为非关联参考方向时, $u = -L \frac{di}{dt}$ 。

(2)功率

在 u 、 i 为关联参考方向时,线性电感元件吸收的功率为

$$p = ui = Li \frac{di}{dt}$$

(3)能量

在 u 、 i 为关联参考方向时,线性电感元件从 t_1 到 t_2 时间内吸收的能量为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt = L \int_{t_1}^{t_2} i di = \frac{1}{2} Li^2(t_2) - \frac{1}{2} Li^2(t_1)$$

1.1.3.4 独立电源

(1)独立电压源

独立电压源可提供确定的电压,其上的电流与外电路有关。注意:独立电压源不可短路!

(2)独立电流源

独立电流源可提供确定的电流,其上的电压与外电路有关。注意:独立电流源不可开路!

1.1.3.5 受控电源

受其他支路的电流或电压控制的电源称为受控电源。受控电源可分为 4 种: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)。其图形符号如图 1-4。

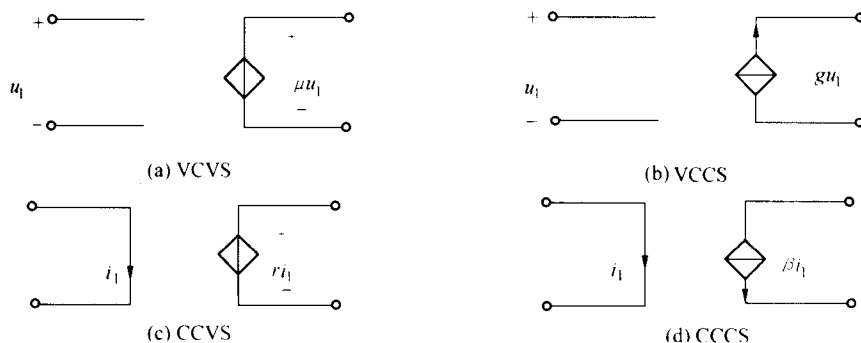


图 1-4 受控电源

在求解有受控电源的电路时,可把受控电源作为独立电源来处理。

1.1.4 基尔霍夫定律

1.1.4.1 重要概念

- (1)支路 流过同一电流的一条串联电路。
- (2)节点 三条或三条以上支路的汇聚点。
- (3)回路 由支路构成的闭合路径。
- (4)网孔 内部不含支路的回路。

1.1.4.2 基尔霍夫电流定律(KCL)

流入(或流出)任一节点的电流的代数和为零,可写成 $\sum I = 0$ 。

若从节点流出的电流取正,则流入节点的电流取负。

注意:节点可推广到一个闭合面。

1.1.4.3 基尔霍夫电压定律(KVL)

环绕回路的电压的代数和为零,可写成 $\sum U = 0$ 。

各项电压的正负号由支路电压和回路的回绕方向决定。方向一致时取正,不一致时取负。

1.2 解题示例

1-1 若某元件上的电流和电压取关联参考方向,且 $u = 100\sin(2\pi ft)$ V, $i = 5\cos(2\pi ft)$ A。求:(1)该元件吸收功率的最大值;(2)该元件发出功率的最大值。

解 因元件上的电流电压取关联参考方向,所以,它吸收的功率为

$$p = ui = 100\sin(2\pi ft) \cdot 5\cos(2\pi ft) = 250\sin(4\pi ft) \quad (\text{W})$$
$$-250(\text{W}) \leq p \leq 250(\text{W})$$

当 $p > 0$ 时,表示该元件实际吸收功率;当 $p < 0$ 时,表示该元件吸收负功率,实际是发出功率。因此得

(1)该元件吸收功率的最大值为 $p_{\max} = 250 \text{ W}$ 。

(2)该元件发出功率的最大值为 $p_{\max} = 250 \text{ W}$ 。

1-2 图 1-5 所示电路,试求电压源 3 V 中的电流和电流源 4 A 上的电压。

解

$$I_1 = \frac{3}{1} = 3(\text{A})$$
$$I_2 = I_1 - 4 = 3 - 4 = -1(\text{A})$$
$$U_{ab} = U_{ac} + 3 = 2 \times 4 + 3 = 11(\text{V})$$

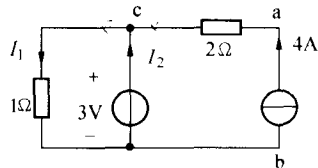


图 1-5

1-3 在上题中,求电压源和电流源的功率,是吸收还是发出? 试验证功率平衡。

解 利用上例结果, $U_{cb} = 3 \text{ V}$, $I_2 = -1 \text{ A}$, 且 U_{cb} 和 I_2 为非关联参考方向
所以电压源发出的功率为 $U_{cb} \cdot I_2 = 3 \times (-1) = -3(\text{W})$ 发出负功
所以电压源实际吸收功率 3 W;

又 $U_{ab} = 11 \text{ V}$, $I_{ba} = 4 \text{ A}$, 且 U_{ab} 和 I_{ba} 为非关联参考方向
故电源发出的功率为 $U_{ab} \cdot I_{ba} = 11 \times 4 = 44 (\text{W}) > 0$

表示电流源实际发出功率为 44 W ;

电阻 1Ω 吸收的功率为 $I_1^2 \times 1 = 3^2 \times 1 = 9 (\text{W})$

电阻 2Ω 吸收的功率为 $I_{ba}^2 \times 2 = 4^2 \times 2 = 32 (\text{W})$

功率平衡 $44 \text{ W} = 3 \text{ W} + 9 \text{ W} + 32 \text{ W}$

1-4 列写图 1-6 电路的 U 、 I 关系式。

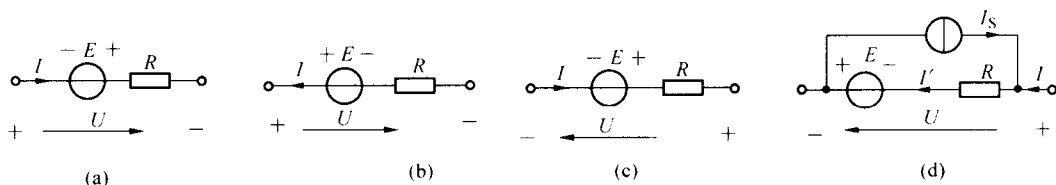


图 1-6

解 图 1-6a $U = -E + RI$ 图 1-6b $U = E - RI$

图 1-6c $U = -RI + E$ 图 1-6d $U = RI' - E = R(I_s + I) - E$

1-5 图 1-7, 求电流 I_{cd} 和两电压源的功率。

解 (1) 为了求 I_{cd} , 要先求出 I_{ac} , I_{bc} , I_{ce} 。

对于节点 a, 有

$$I_{ac} = 2 - 1 = 1 (\text{A}), I_{bc} = \frac{3}{1} = 3 (\text{A}), I_{ce} = \frac{4}{1} = 4 (\text{A})$$

所以 $I_{cd} = I_{ac} + I_{bc} + I_{ce} = 1 + 3 + 4 = 8 (\text{A})$

(2) 为了求电压源的功率, 要先求出其中的电流 I_{db} 和 I_{de} 。

对于节点 b: 有 $I_{db} = I_{ba} + I_{bc} = -1 + 3 = 2 (\text{A})$;

对于节点 e: 有 $I_{de} = I_{ca} + I_{ce} = 2 + 4 = 6 (\text{A})$ 。

由于 I_{db} 和 3 V 电压源的电压是非关联参考方向, 所

以 3 V 电压源发出的功率为 $U_{bd} I_{db} = 3 \times 2 = 6 (\text{W})$ 。

同理, 4 V 电压源发出的功率为 $U_{ed} I_{de} = 4 \times 6 = 24 (\text{W})$ 。

1-6 求图 1-8 所示电路中的 I_2 。

解 对图 1-8 中的右边网孔列 KVL 方程为 $3I_1 + 6I_1 = 0$, 解得 $I_1 = 0$, 所以 $I_2 = \frac{9}{6} = 1.5 (\text{A})$ 。

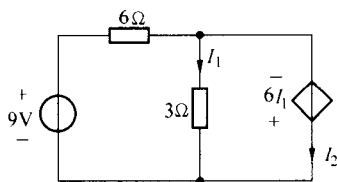


图 1-8

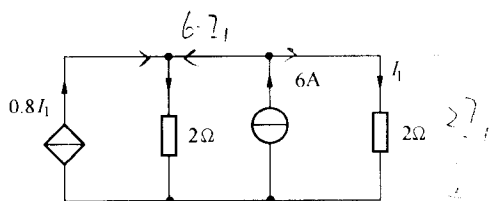


图 1-9

1-7 求图 1-9 中受控源提供的功率。

解 列 KCL 方程

$$0.8I_1 - \frac{2I_1}{2} + 6 - I_1 = 0$$

解得 $I_1 = 5 \text{ A}$, 所以受控源提供(发出)的功率为

$$P = (2I_1) \times (0.8I_1) = 40(\text{W})$$

1-8 求图 1-10 中的电流 i 。已知 $i_1 = 1 \text{ A}$ 。

解 对图 1-10 的右边回路列 KVL 方程

$$-5i_1 + 2i - 10 = 0$$

$$i = \frac{10 + 5i_1}{2} = \frac{10 + 5 \times 1}{2} = 7.5(\text{A})$$

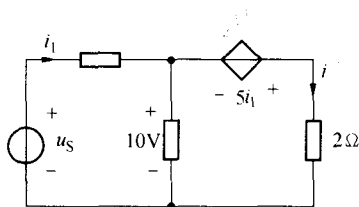


图 1-10

1-9 如图 1-11 所示的直流电路中, 已知 $I_1 = 1 \text{ A}$, 求 E, I, U, U_{bc}

解 因为是直流电路, 稳态时电感视为短路, 电容视为开路, 按基尔霍夫定律直接求出

$$E = (3 + 3)I_1 = 6(\text{V})$$

$$I = I_1 - 0.5I_1 = 0.5I_1 = 0.5(\text{A})$$

$$U = E + 0.5I_1 \times 1 = 6 + 0.5 \times 1 \times 1 = 6.5(\text{V})$$

$$U_{\text{bc}} = -3I_1 = -3(\text{V})$$

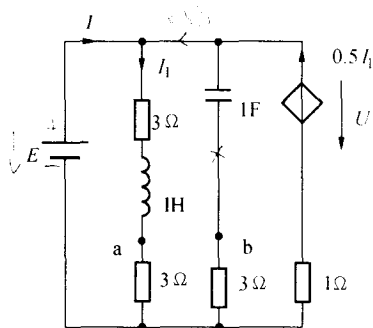


图 1-11

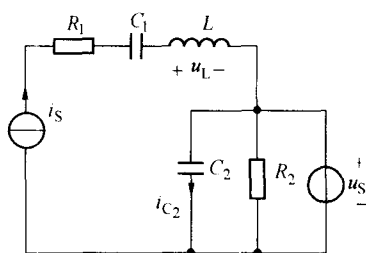


图 1-12

1-10 如图 1-12 所示的电路, 设 $i_s(t) = Ie^{-\beta t}$, $u_s(t) = U\sin\omega t$, 试求 $u_L(t)$ 和 $i_{C_2}(t)$ 。

解 电容 C_2 两端的电压即为 $u_s(t)$, 电感 L 上流过的电流即为 $i_s(t)$, 且两元件的电流电压为关联参考方向, 根据元件的约束方程有

$$u_L(t) = L \frac{di_s}{dt} = L \frac{d(Ie^{-\beta t})}{dt} = -\beta LIe^{-\beta t}$$

$$i_{C_2}(t) = C_2 \frac{du_s}{dt} = C_2 U\omega \cos\omega t$$

1-11 如图 1-13 所示电路, 在以下两种情况下, 尽可能多地确定其他各电阻中的未

知电流。(1) R_1, R_2, R_3 不定; (2) $R_1 = R_2 = R_3$ 。

解 (1) R_1, R_2, R_3 不定时, i_1, i_2, i_3 无法确定。为了求 i_4 , 可将节点推广到闭合面, 该闭合面将整个△形包围, 然后运用节点电流定律, 有

$$3 + 4 - 5 - i_4 = 0$$

解得 $i_4 = 2 \text{ A}$

对节点 d 列 KCL 方程

$$i_4 + 8 - i_5 - (-2) = 0$$

解得 $i_5 = 12 \text{ A}$

(2) 当 $R_1 = R_2 = R_3$ 时, 可求出 i_1, i_2, i_3 。

对节点 a、b 列 KCL 方程

$$3 - i_1 - i_3 = 0 \quad ①$$

$$4 + i_1 - i_2 = 0 \quad ②$$

对△形列 KVL 方程

$$R_1 i_1 + R_2 i_2 - R_3 i_3 = 0 \quad ③$$

由于 $R_1 = R_2 = R_3$, 则式③变为

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0 \quad ④$$

联立式①、②、④求解得 $i_1 = -\frac{1}{3} \text{ A}, i_2 = \frac{11}{3} \text{ A}, i_3 = \frac{10}{3} \text{ A}$

1-12 在图 1-14 中, 已知 $i_1 = 5 \text{ A}, i_2 = 10\sin(20t) \text{ A}, u_C = 5\cos(20t) \text{ V}$ 。求 i_L, u_{bd} 。

解 由基尔霍夫定律有

$$i_L = i_1 - i_2 + C \frac{du_C}{dt} = 5 - 10\sin(20t) + [-200\sin(20t)] = 5 - 210\sin(20t) \text{ (A)}$$

$$u_{\text{bd}} = u_C + L \frac{di_L}{dt} = -16795\cos(20t) \text{ V}$$

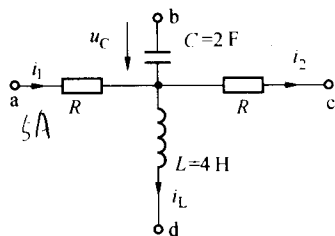


图 1-14

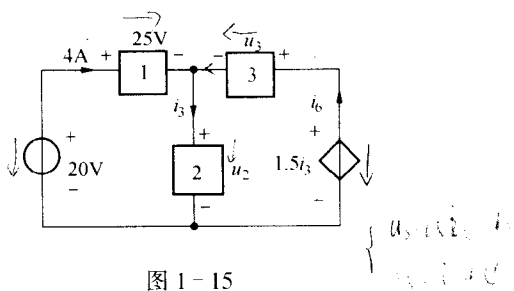


图 1-15

1-13 求图 1-15 中元件 1、2、3 吸收的总功率的最小值。

解

$$u_2 = -25 + 20 = -5 \text{ (V)}$$

$$u_3 = 1.5i_3 - u_2$$

$$i_6 = i_3 - 4$$

$$\text{总功率 } p = p_1 + p_2 + p_3 = 4 \times 25 + i_3 u_2 + i_6 u_3 = 1.5 i_3^2 - 6 i_3 + 80$$

令 $\frac{dp}{di_3} = 0$, 解得 $i_3 = 2 \text{ A}$, 此时 p 为最小值。

$$p_{\min} = 1.5 \times 2^2 - 6 \times 2 + 80 = 74 (\text{W})$$

1-14 图 1-16 电路中, 已知 $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$, $R_4 = 40 \Omega$, $R_5 = 50 \Omega$, $I_S = 3 \text{ A}$, $u_S = 2 \text{ V}$, 求 R_3 、 R_6 中的电流和 R_2 上的电压。

解 R_2 上的电压 $u_2 = R_2 I_2 = R_2 I_S = 20 \times 3 = 60 (\text{V})$

在节点 a 上, $I_6 = I_2 - I_S = 0$, R_6 中无电流, 相当于开路。

$$I_5 = \frac{u_S}{R_5 + R_3 // R_4} = 0.0387 \text{ A}$$

$$I_3 = I_5 \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 0.0121 \text{ A}$$

注意, I_6 的求法也可这样: 作闭合面 S , 如图 1-16 所示, 从闭合面 S 流出的电流只有 I_6 , 由 KCL 方程知, $I_6 = 0$ 。

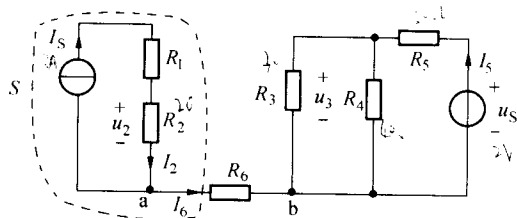


图 1-16

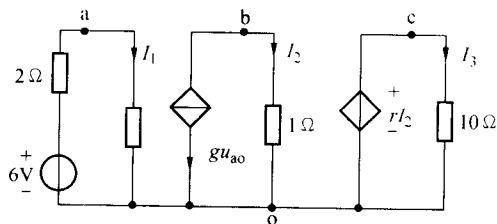


图 1-17

1-15 在图 1-17 电路中, $I_1 = 2 \text{ A}$, $g = 4 \text{ S}$, $r = 0.5 \Omega$, 求电流 I_3 和电压 U_{ab} 、 U_{ac} 。

解 要求 I_3 , 得先求受控源 rI_2 , 而 I_2 又是受控源 gu_{ao} 的负值, u_{ao} 可从最左边回路求得。

$$u_{ao} = -2I_1 + 6 = -2 \times 2 + 6 = 2 (\text{V})$$

$$gu_{ao} = 4 \times 2 = 8 (\text{A})$$

$$I_2 = -gu_{ao} = -8 \text{ A}$$

$$rI_2 = 0.5 \times (-8) = -4 (\text{V})$$

所以

$$I_3 = \frac{rI_2}{10} = -0.4 (\text{A})$$

$$U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = 2 + gu_{ao} \times 1 = 2 + 8 = 10 (\text{V})$$

$$\begin{aligned} U_{ac} &= U_{ao} + U_{oc} = 2 - 10I_3 \\ &= 2 - 10 \times (-0.4) = 6 (\text{V}) \end{aligned}$$

1-16 求图 1-18 电路中的 I_x 。

解 列大回路的 KVL 方程

$$2I_x + 1(3 + I_x) + 2I_x - 10 = 0$$

解方程得

$$I_x = 1.4 \text{ A}$$

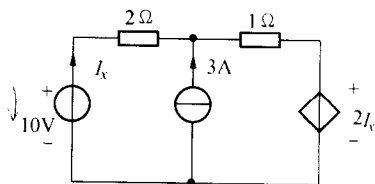


图 1-18

1-17 求图 1-19 电路中的 I_1 及 U_0 。

解 对节点 a, 列 KCL 方程

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$\text{而 } I_3 = \frac{U_0}{1000} \text{ A, } I_2 = \frac{U_0 - 8I_1}{500}$$

$$\text{所以 } I_1 - \frac{U_0 - 8I_1}{500} - \frac{U_0}{1000} = 0 \quad (1)$$

$$\text{又因为 } I_1 = \frac{20 - U_0}{1000} \quad (2)$$

联立式①、②解得 $I_1 = 14.94 \text{ mA}$, $U_0 = 5.06 \text{ V}$

1-18 求图 1-20 电路中的 u_1 及 u 。

解 回路电流为

$$i = \frac{2 - 10u_1}{1 + 10}$$

$$\text{又 } u_1 = 10i + 10u_1 = 10 \times \frac{2 - 10u_1}{1 + 10} + 10u_1$$

解得 $u_1 = 20 \text{ V}$, $u = 10u_1 = 200 \text{ V}$

1-19 图 1-21 所示的电路, 若 1 A 电流源输出的电功率为 50 W , 求 I_0 的值。

解 设 U 、 I_1 的参考方向如图所示, 1 A 电流源的端电压为

$$U = \frac{50}{1} = 50 (\text{V})$$

$$\text{又 } I_1 = \frac{U}{5} = 10 (\text{A})$$

所以 $I_0 = 1 - I_1 - (-2) = -7 (\text{A})$

1-20 如图 1-22 中, 欲使 I 为零, $R = ?$

解 当 $I = 0$ 时, $U_{ab} = 3 \text{ V}$, 且 3 V 电压源支路相当于开路, 此时 3 A 电流在两并联支路中分流,

$$I_1 = 3 \times \frac{3 + 1}{(2 + R) + (3 + 1)} = \frac{12}{6 + R}$$

$$I_2 = 3 \times \frac{2 + R}{(2 + R) + (3 + 1)} = \frac{6 + 3R}{6 + R}$$

于是 $U_{ab} = U_{ad} + U_{db} = RI_1 - 1 \times I_2$

$$= \frac{12R}{6 + R} - \frac{6 + 3R}{6 + R} = 3$$

解得 $R = 4 \Omega$

1-21 图 1-23 是某电路的一部分, 已知 $\beta = 0.4$, $r = 4 \Omega$, $U_{cb} = 3 \text{ V}$, 求总电压 U_{ad} 。

$$\text{解 } U_{cb} = 6 - 6I_2 = 3$$

解得 $I_2 = 0.5 \text{ A}$

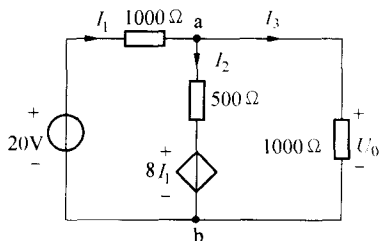


图 1-19

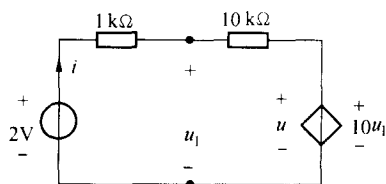


图 1-20

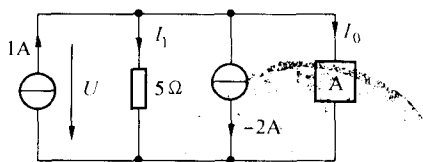


图 1-21

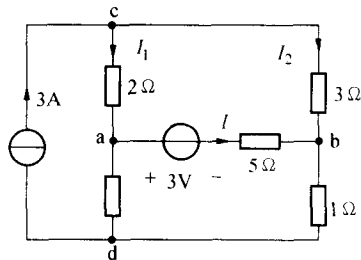


图 1-22

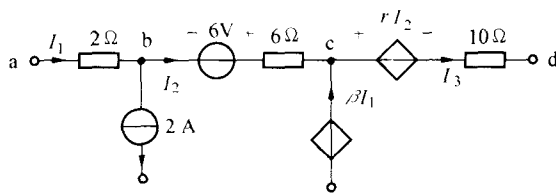


图 1-23

$$I_1 = I_2 + 2 = 2.5(\text{A})$$

$$I_3 = I_2 + \beta I_1 = 0.5 + 0.4 \times 2.5 = 1.5(\text{A})$$

$$U_{cd} = rI_2 + 10I_3 = 4 \times 0.5 + 10 \times 1.5 = 17(\text{V})$$

所以 $U_{ad} = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = 2I_1 + (-u_{cb}) + 17 = 2 \times 2.5 - 3 + 17 = 19(\text{V})$

1-22 电路如图 1-24 所示,其中 $i_s = 4\text{A}$, $u_s = 15\text{V}$ 。(1)求 4 A 电流源和 15 V 电压源的功率;(2)若要使 4 A 的电流源的功率为零,则应在 ab 间串联何种元件? 分析此时各元件的功率;(3)若要使 15 V 的电压源的功率为零,则应在 bc 间并联何种元件? 分析此时各元件的功率。

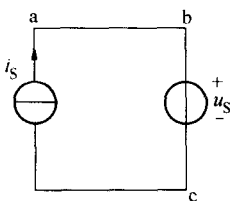


图 1-24

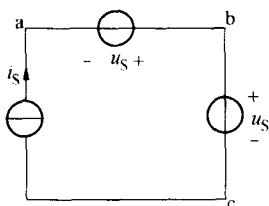


图 1-25

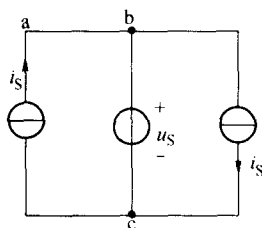


图 1-26

解 (1) 4 A 电流源的功率 $= 15 \times 4 = 60(\text{W})$ (发出)

15 V 电压源的功率 $= 15 \times 4 = 60(\text{W})$ (吸收)

(2) 要使 4 A 电流源的功率为零,就要使得电流源的端电压为零,在 ab 间应串联一电压等于 u_s 的电压源,如图 1-25 所示。此时电流源的功率为零;ab 间的电压源发出功率为 60 W;bc 间电压源吸收功率为 60 W。

(3) 要使 15 V 电压源的功率为零,就要使得流经其上的电流为零,为此应在 bc 间并联一电流等于 i_s 的电流源,如图 1-26 所示。此时,原电压源的功率为零,原电流源发出功率为 60 W, bc 间的电流源吸收 60 W 的功率。

注意:判断元件是发出功率还是吸收功率,要看电压和电流的关联参考方向及功率的正负值。

1-23 求图 1-27 所示电路中的电流 i 。

解 设电容端电压 u_c 的参考方向如图所示,由基尔霍夫定律求得

$$u_c = -u_s + L \frac{di_L}{dt} = -e' + (-e') = -2e'$$

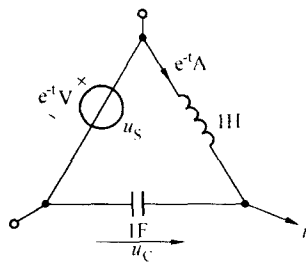


图 1-27

$$i = i_L + i_C = e' + C \frac{du_C}{dt} = e' + 2e' = 3e' \text{ A}$$

1-24 图 1-28 所示电路中, 已知 $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $C = 1 \mu\text{F}$, $i_C(t) = 2e^{-0.25 \times 10^6 t} \text{ A}$, 求 R_1 支路中的电流 i_1 。

解 列 KCL 方程

$$i_1 + \frac{1}{4}i_1 + i_C = 10$$

解得 $i_1 = (8 - 1.6e^{-0.25 \times 10^6 t}) \text{ A}$

注意: 不要被给出的已知条件所迷惑。

1-25 求图 1-29 电路中的 I_3 。

解 $U_{ab} = 3I_3$

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{1} = 3I_3, \quad I_9 = \frac{U_{ab}}{9} = \frac{1}{3}I_3$$

列 KCL 方程

$$6 - I_3 - I_1 + 0.9I_3 - I_9 - 2 = 0$$

$$6 - I_3 - 3I_3 + 0.9I_3 - \frac{1}{3}I_3 - 2 = 0$$

解得 $I_3 = \frac{120}{103} \text{ A}$

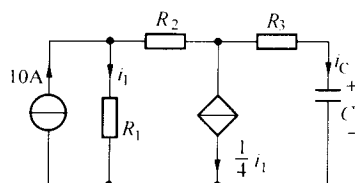


图 1-28

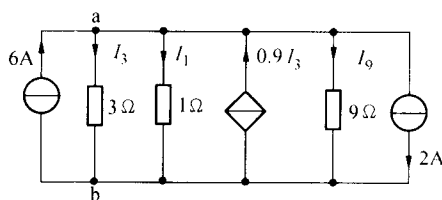


图 1-29

2 电阻电路的等效变换

2.1 主要内容

2.1.1 重要概念

- (1)电阻电路 由电源和电阻组成的电路。
- (2)等效 若某电路 N_1 和另一电路 N_2 的外特性完全相同,则称 N_1 和 N_2 等效。
- (3)等效变换 将复杂电路进行等效简化的一种方法。

2.1.2 电阻的串联、并联和混联

2.1.2.1 电阻的串联

首尾相连无分支,各电阻流过同一电流。若有 n 个电阻 $R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n$ 串联,则

等效的总电阻 $R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$ 。

2.1.2.2 电阻的并联

首首相接,尾尾相连,各电阻上施加同一电压。若有 n 个电阻 $R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n$ 并

联,则等效的总电阻 $R_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}$ 。

2.1.2.3 电阻的混联

既有串联,又有并联。先按串、并联等效简化,然后将混联电路简化为一分支电路进行计算。

2.1.3 电阻的 Y— Δ 等效变换

电阻的 Y 形连接及 Δ 形连接,如图 2-1。

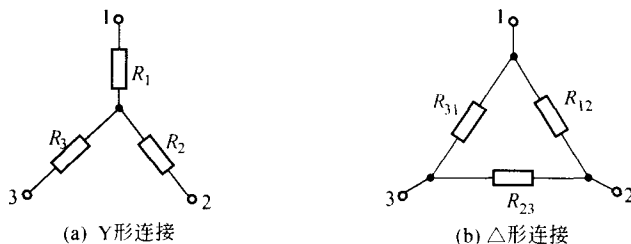


图 2-1