

电路学习辅导与题解

李培芳 孙 盾 李玉玲 李 军 编著

清华大学出版社

电路学习辅导与题解

李培芳 孙 盾 李玉玲 李 军 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分 11 章,主要包括:直流电路基础,网络的基本计算方法和定理,正弦交流电路,谐振、互感、三相电路,双口网络,电路矩阵理论,非正弦电路,电路过渡过程的经典解法,电路过渡过程的拉普拉斯变换解法,非线性电路以及分布参数电路。

本书每章分为学习要点、思考题及分析、范例及详解、习题及解答、作业及答案五部分,包含各种类型的例题和习题,可作为高等学校电路原理课程学习的辅导教材,也可作为研究生入学考试的复习参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电路学习辅导与题解/李培芳等编著. —北京:清华大学出版社, 2006.1

ISBN 7-302-11628-8

I. 电… II. 李… III. 电路—高等学校—教学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094173 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:陈国新

特邀编辑:陈 力

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:21.5 字数:504 千字

版 次:2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-11628-8/TM·65

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

本书是为满足高等学校电路原理课程教学需要而编写的辅导教材，内容符合教育部电路、电磁场、信号系统课程指导小组制定的电路原理课程教学大纲的要求。

本书每章都分为五部分：

- (1) 学习要点：讲述每章的重点内容。
- (2) 思考题及分析：提出一些基本概念及重点和难点的问题加以分析。
- (3) 范例及详解：详细分析并求解典型例题。
- (4) 习题及解答：作为自测习题，并给出解答以利自学。
- (5) 作业及答案：作为阶段性的复习作业，附有答案。

本书力求做到选材适当，论述清晰，并遵循由易到难，从简到繁，循序渐进的原则。本书适应多层次的需要，可作为高校电类本科（或专科）学生的电路原理课程的自学指导和教师的习题课辅导材料，也可作为研究生入学考试的复习参考书，还可作为其他相关专业工程技术人员的学习参考用书。

本书由李培芳主编并负责统稿，孙盾编写第1、7、8、9章，李玉玲编写第4、5、6、10、11章，李军编写第2、3章。

鉴于编写者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

2005年4月于浙江大学

第 1 章 直流电路基础	1
1.1 学习要点	1
1.2 思考题及分析	4
1.3 范例及详解	5
1.4 习题及解答.....	10
1.5 作业及答案.....	16
第 2 章 网络的基本计算方法和定理	20
2.1 学习要点.....	20
2.2 思考题及分析.....	23
2.3 范例及详解.....	26
2.4 习题及解答.....	45
2.5 作业及答案.....	55
第 3 章 正弦交流电路	59
3.1 学习要点.....	59
3.2 思考题及分析.....	62
3.3 范例及详解.....	64
3.4 习题及解答.....	76
3.5 作业及答案.....	95
第 4 章 谐振、互感、三相电路	99
4.1 学习要点.....	99
4.2 思考题及分析	103
4.3 范例及详解	106
4.4 习题及解答	116
4.5 作业及答案	128
第 5 章 双口网络	131
5.1 学习要点	131

5.2	思考题及分析	133
5.3	范例及详解	135
5.4	习题及解答	145
5.5	作业及答案	154
第 6 章	电路矩阵理论	157
6.1	学习要点	157
6.2	思考题及分析	159
6.3	范例及详解	161
6.4	习题及解答	170
6.5	作业及答案	175
第 7 章	非正弦电路	178
7.1	学习要点	178
7.2	思考题及分析	180
7.3	范例及详解	183
7.4	习题及解答	197
7.5	作业及答案	207
第 8 章	电路过渡过程的经典解法	211
8.1	学习要点	211
8.2	思考题及分析	213
8.3	范例及详解	214
8.4	习题及解答	228
8.5	作业及答案	243
第 9 章	电路过渡过程的拉普拉斯变换解法	249
9.1	学习要点	249
9.2	思考题及分析	251
9.3	范例及详解	254
9.4	习题及解答	266
9.5	作业及答案	282
第 10 章	非线性电路	286
10.1	学习要点	286
10.2	思考题及分析	288
10.3	范例及详解	290
10.4	习题及解答	297

10.5 作业及答案.....	310
第 11 章 分布参数电路	313
11.1 学习要点.....	313
11.2 思考题及分析.....	316
11.3 范例及详解.....	318
11.4 习题及解答.....	326
11.5 作业及答案.....	332
参考文献.....	334

1.1 学习要点

1. 电阻元件和电源元件

(1) 在线性电阻 R 上, 取其电压 U 和电流 I 的参考方向一致(又称关联参考方向), 则 $U=RI$ 或 $I=GU$, G 表示电导。如果 U, I 的参考方向取得不一致, 则 $U=-RI$ 。

R 中消耗功率为 $P=UI=RI^2=GU^2$ 。此时, 若 U, I 的参考方向一致, 则 U, I 的乘积必为正; 若 U, I 的参考方向不一致, 则 U, I 的乘积必为负。

(2) 独立电源中有独立电压源和独立电流源(图 1.1.1)。在独立电压源 E_s 上(图 1.1.1(a)), $U_{ab}=E_s$, 其中电压与外接电路有关。在独立电流源 I_s 中(图 1.1.1(b)), $I_{ba}=I_s$, 其中电压与外接电路有关。

短路线相当于零电压源, 开路线相当于零电流源。

(3) 四种受控源包括: 电压控制电流源 VCCS, 电压控制电压源 VCVS, 电流控制电压源 CCVS 和电流控制电流源 CCCS (分别如图 1.1.2(a)、(b)、(c)和(d)所示)。

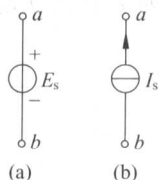


图 1.1.1

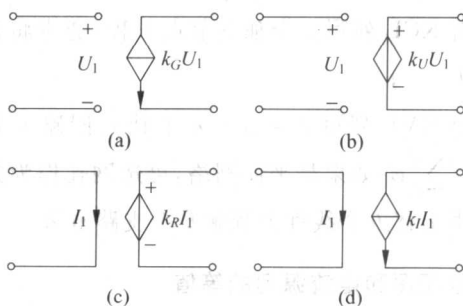


图 1.1.2

2. 电流、电压的参考方向, 功率

(1) 为确定电流、电压的实际方向, 必须知道其参考方向和正负号。例如, 图 1.1.3 中, $I=-1A$, 参考方向由 a 至 c , 于是实际电流方向由 c 至 a ; 又 $U_{ba}=2I-4=-6(V)$, 于是电压实际上从 a 降落至 b , 即 a 点比 b 点电位高。

(2) 为确定某电路部分吸收功率还是发出功率, 必须知道其电压 U 和电流 I 的参考

方向以及乘积 UI 的正负号。例如,图 1.1.3 中, $U_{ba} I = (-6) \times (-1) = 6(\text{W})$, 且 U_{ba} 与 I 参考方向一致, 于是由 4V , 2Ω 组成的电路吸收功率, 其中 4V 电压源吸收 4W , 2Ω 电阻吸收 2W 。

(3) 在一段有源支路的欧姆定律的表达式中, 某段电压如为电位降低取正号。例如图 1.1.3 中, 支路 cd 的电压 $U_{cd} = 9 + 3I$, 从 c 至 e 电位降低 9V (与电流无关), 故取正, 从 e 至 d 降落 $3I(\text{V})$, 与 I 有关, 也取正。

(4) 负载从电源获得的最大功率的条件是: 电源内阻 R_0 等于负载电阻 R , 此时负载吸收功率为 $P_{\max} = E_0^2 / 4R_0$, E_0 为电源电势, 此时的效率为 50% 。

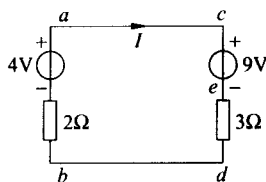


图 1.1.3

3. 基尔霍夫定律、支路电流法

(1) 基尔霍夫第一定律(KCL): 从某节点流出(或流入)的电流代数和为零, 写成 $\sum I = 0$, 从节点流出的电流取正, 流入节点的电流取负。

(2) 基尔霍夫第二定律(KVL): 环绕某回路的电压代数和为零, 写成 $\sum U = 0$, 各项正负号由支路电压和回路绕向决定, 方向一致时取正, 相反取负。

在线性非时变电路中, KVL 又可表示为: 沿任一回路的电阻压降代数和等于电压源电势的代数和, 写成 $\sum RI = \sum E$, 其正、负号按这些电阻压降和电势与回路绕向比较而定, 一致者取正, 相反者取负。

(3) 支路电流法: 设网络中有 n 个独立节点, b 个支路, 取支路电流作为未知量, 列方程步骤如下。

① 由 KCL 列写 n 个独立节点方程(通常将汇集支路最多的那个节点当作非独立节点), $\sum I = 0$;

② 由 KVL 列写 $l = b - n$ 个独立回路方程: 可按基本回路列 l 个独立电压方程 $\sum RI = \sum E$; 如果是平面网络, 可选网孔作为独立回路;

③ 由上述 b 个线性方程解 b 个支路电流。

4. 电压源和电流源间的等值

图 1.1.4(a) 为 E, R 串联电路, 与图 1.1.4(b) 的 I_s, R 并联电路等值, $I_s = E / R$ 。这

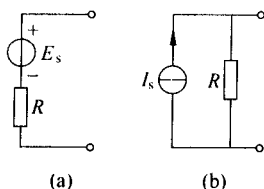


图 1.1.4

种电源间的互换在证明节点电压法时有用, 在电路计算中有时也有用。

5. 无源一端口的化简

求无源一端口等值电阻的方法有三种。

(1) 串并联: 由于公式简单, 是首选的方法。

(2) Δ -Y 变换, 如图 1.1.5 所示, 等效变换公式如下。

从 Δ 到 Y

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{12}R_{13}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}, & R_2 &= \frac{R_{21}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}, \\ R_3 &= \frac{R_{31}R_{32}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \end{aligned} \quad (1.1.1)$$

从 Y 到 Δ

$$\begin{aligned} R_{12} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3}, & R_{23} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1}, \\ R_{31} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_2} \end{aligned} \quad (1.1.2)$$

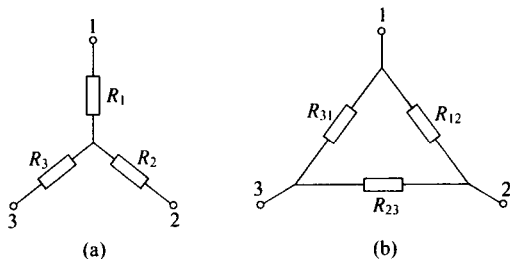


图 1.1.5

利用 Δ - Y 变换,常可将复杂网络变换为简单的串、并联网络。

(3) 在端口上施加电压求电流,或在端口上施加电流求电压,再求电压与电流的比值。这种方法在化简含受控源一端口网络时特别有效。

化简网络时请注意:某支路无电流时可开断;两节点间电压为零时,可将这两个节点合并为一个节点。

6. 网络图论的概念

(1) 拓扑图:(简称线图)是一组点和边的集合(点相当于节点,边相当于支路)。图只反映电路的拓扑信息,不考虑元件。

(2) 子图:图的一部分,其节点和支路都是原图节点和支路的子集。

(3) 连通图:图中任意两节点间至少有一条通路。

(4) 树 T :是连通图 G 的一个子图,满足如下三个条件。

- ① T 是连通的;
- ② 包含 G 的全部节点;
- ③ 不包含回路。

(5) 树枝:组成树 T 的各支路。

连支:不在树上的其他支路。

树枝数 n =独立节点数 n =节点数 $n_i - 1$

连支数 l =支路数 b -树枝数 $n=b - n_i + 1$

(6) 割集:连通图中支路的子集,满足如下条件。

① 移去该子集, 连通图分为两个独立部分;

② 少移去其中任一支路, 图仍保持连通。

(7) 单树支割集: 又称基本割集, 只含一条树支的割集。单连支回路: 又称基本回路, 只含一条连支的回路。

在割集上可列写 KCL 方程, 在回路上可列写 KVL 方程。

1.2 思考题及分析

1. 思考题

1.2.1 电阻 R 上 U 、 I 参考方向一致, $P=UI=RI^2=GU^2$ 为正值, 是消耗功率, 如果 U 、 I 参考方向不一致时, 这些式子是否还成立?

1.2.2 电流、电压的参考方向有何意义? 如在某支路中只说 $I=5A$, 不给出参考方向, 行不行?

1.2.3 为什么内阻远大于负载电阻的实际电压源可以看作电流源?

1.2.4 在某些情况下, 受控源发出功率, 另一些情况下, 受控源吸收功率, 各举例说明(仅讨论 VCCS)。

1.2.5 列 KCL 方程时, 通常假定流出节点的电流为正, 如假定流入节点的电流为正, 对所列方程有何影响? 列 KVL 方程时, 如改变回路绕向, 对所列方程有何影响?

1.2.6 基尔霍夫定律能否用于时变或非线性电路?

1.2.7 在支路电流法(支路法)中, 如何列写独立的 KCL 和 KVL 方程, 各有几个方程, 遇到电流源如何处理?

1.2.8 无源一端口网络化简有几种方法? 怎样化简含受控源(无独立源)的一端口网络?

1.2.9 惠斯登电桥平衡时, 对角线的电阻可否看作开路或短路?

1.2.10 何谓单连支回路(基本回路)和单树支割集(基本割集)? 对于选定的一棵树, 共有多少基本回路和基本割集?

2. 思考题分析

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

1.2.2 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 I 的参考方向是从 A 至 B , $I=-5A$, 则知实际上电流为 $5A$, 从 B 流至 A , 故只说 $I=5A$, 而不给参考方向是不行的。

1.2.3 按电压源、电流源互换公式, 电压源 E_s 与内阻 R_i 串联可等效为电流源 $I_s=E_s/R_i$ 与内阻 R_i 并联, 又因 $R_i \gg R$ (负载电阻), 故 R_i 中的电流可忽略。

1.2.4 图 1.2.1 中, 设 $U=1V$, 图 1.2.1

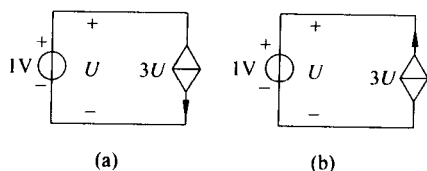


图 1.2.1

(a)的 VCCS 吸收功率 3W, 图 1.2.1(b)的 VCCS 发出功率 3W。

1.2.5 KCL 方程中全部电流改变符号; KVL 方程全部电压改变符号。

1.2.6 KCL、KVL 能用于时变或非线性电路, 因它们只与网络的拓扑结构有关, 与元件无关。

1.2.7 列 KCL 方程时, 选一个节点作为参考节点, 列其他节点的 $\sum I = 0$, 共 $n_i - 1$ 个方程, 其中 n_i 为节点数; 列 KVL 时, 尽量选小网孔作为回路(肯定独立), 如遇电流源在电路内部时, 则需选树并列单连支回路方程(电流源取为连支), 共 $l = b - (n_i - 1)$ 个方程, 其中 b 为支路数, l 为独立回路数(或小网孔数)。

1.2.8 无源一端口化简方法有三种: 即串、并联法, Δ -Y 变换法, 施加电压(或电流)求电流(或电压)法(此法特别适用于化简含受控源的网络)。注意当某支路无电流时则开断之, 当两节点无电压时则短接之。

1.2.9 电桥平衡, 对角线电阻既可开断又可短接。

1.2.10 对于选定的一棵树, 单连支回路中只有一条支路是连支, 其他支路都是树支, 单连支回路共有 $l = b - (n_i - 1)$ 个; 单树支割集中只有一条支路是树支, 其他支路是连支, 单树支割集共有 $n_i - 1$ 个。

1.3 范例及详解

1.3.1 图 1.3.1 所示电路, 已知 $E_s = 2V$, $I_s = 3A$, 求: (1) E_s 中电流和 I_s 中电压; (2) E_s 和 I_s 中功率, 发出还是吸收; (3) 验证功率平衡。

解 (1) 2Ω 上的电压为 E_s , 则 $I_2 = E_s / 2 = 1A$ 。又因为在节点 b 上有 $I_1 = I_2 + I_s = 1 + 3 = 4(A)$ 。由于 1Ω 中电流为 I_s , 故 $U_{ac} = I_s \times 1 = 3(V)$ 。利用 KVL 知 $U_{ab} = U_{ac} + U_{cb} = 3 - E_s = 1(V)$ 。以上复习了欧姆定律和 KCL, KVL。

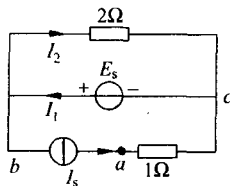


图 1.3.1

(2) E_s 中功率 $P_1 = U_{bc} \times I_1 = 2 \times 4 = 8(W)$, 因为电压与电流参考方向相反, 而乘积为正, 所以发出功率。 I_s 中功率 $P_2 = U_{ab} I_s = 1 \times 3 = 3(W)$, 因为 U_{ab} 与 I_s 参考方向相反, 而乘积为正, 所以发出功率。注意如何判别功率发出或吸收。

(3) 验证功率平衡: 1Ω 中消耗功率为 $1 \times 3^2 = 9(W)$, 2Ω 中消耗功率为 $2 \times 1^2 = 2(W)$, 于是 $9 + 2 = 8 + 3$, 功率平衡。

1.3.2 图 1.3.2 所示电路中, 开关 K 打开, 求: (1) 列写左方支路中 U_{ab} 和 I_1 的关系; (2) 列写中间支路 U_{ab} 和 I_2 的关系; (3) 求 I_1 , I_2 和 U_{ab} 。又将开关 K 闭合, 在 ab 端并接一个 $2V$ 的电压源 E , 求: (4) 求 E 发出功率; (5) 如将 $2V$ 电压源 E 改为 $10V$, 正极仍接 a , 定性地说 E 中有无电流(电阻单位为 Ω , 电压单位为 V)。

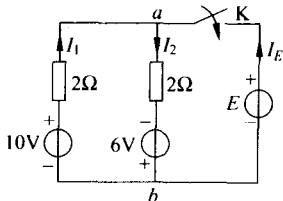


图 1.3.2

解 K 打开时

(1) 左方支路中

$$U_{ab} = -2I_1 + 10 \quad (1)$$

(2) 中间支路中

$$U_{ab} = 2I_2 - 6 \quad (2)$$

(3) 显然 $I_1 = I_2$, 联解式(1), (2)得 $I_1 = I_2 = 4\text{A}$, 将 I_1 代入式(1)得 $U_{ab} = -2 \times 4 + 10 = 2(\text{V})$ 。

K 闭合后

(4) 左方支路中 $U_{ab} = -2I_1 + 10 = 2(\text{V})$, 则

$I_1 = 4\text{A}$; 中间支路中 $U_{ab} = 2I_2 - 6 = 2(\text{V})$, 则 $I_2 = 4\text{A}$;

在节点 a 上, 有 $I_E = I_2 - I_1 = 0$, 即 E 中电流为零, 功率也为零。

(5) 将 2V 的 E 改为 10V , 此时 $I_1 = 0$, $I_E = 8\text{A}$ 。

1.3.3 图 1.3.3 电路中, 有两个独立电压源和两个独立电流源, 已知电阻已在图中注明, 方框代表未知电阻, 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_{ec} 。

$$I_{ac} = 2 - 1 = 1(\text{A}), \quad I_{bc} = 3 / 1 = 3(\text{A})$$

$$I_{ec} = 4 / 1 = 4(\text{A})$$

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

(2) 为了求电压源 (3V 和 4V) 的功率, 要先求其中的电流 I_{db} 和 I_{de} 。

在节点 b 上

$$I_{db} = I_{ba} + I_{bc} = -1 + 3 = 2(\text{A})$$

在节点 e 上

$$I_{de} = I_{ea} + I_{ec} = 2 + 4 = 6(\text{A})$$

故 3V 电压源的功率 $= U_{bd} I_{db} = 3 \times 2 = 6(\text{W})$, 此时电压与电流的参考方向不一致, 功率为正值, 所以是发出功率。 4V 电压源的功率为 $U_{ed} I_{de} = 4 \times 6 = 24(\text{W})$ (发出)。

1.3.4 图 1.3.4 所示电路中, $I_1 = 2\text{A}$, $g = 4\text{S}$, $r = 0.5\Omega$, 求电流 I_3 和电压 U_{ab} , U_{ac} 。

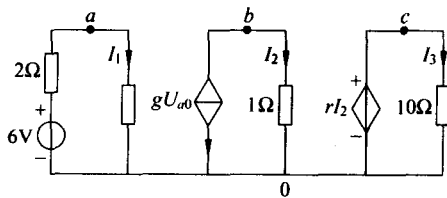


图 1.3.4

解 (1) 欲求 I_3 , 要知道受控源 rI_2 , 而电流 I_2 是受控源 gU_{a0} 的负值, U_{a0} 又可从最左方支路中求得。

$$U_{a0} = -2I_1 + 6 = -2 \times 2 + 6 = 2(\text{V})$$

$$gU_{a0} = 4 \times 2 = 8(\text{A}), \quad I_2 = -8\text{A}$$

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

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

$$(2) U_{ab} = U_{a0} + U_{0b} = 2 + gU_{a0} \times 1 = 2 + 8 = 10(\text{V})$$

$$U_{ac} = U_{a0} + U_{0c} = 2 - rI_2 = 2 - (-4) = 6(\text{V})$$

1.3.5 在图 1.3.5 电路中已标出各元件值,求(1)各支路电流;(2)6V 电压源输出功率。

解 (1) 在 I_1 支路中, $I_1 = 3 / 2 = 1.5(\text{A})$ 。

在 I_2 支路中, $U_{ba} = 6 = 3 - 6 I_2$, 故 $I_2 = -0.5(\text{A})$ 。

又 $U_{ca} = U_{cb} + U_{ba} = -3 + 6 = 3(\text{V})$, 所以 $I_3 = U_{ca} / 3 = 1(\text{A})$, $I_4 = U_{ca} / 1 = 3(\text{A})$ 。

在节点 d

$$I_5 = I_1 - I_3 = 1.5 - 1 = 0.5(\text{A})$$

在节点 c

$$I_6 = I_4 - I_5 = 3 - 0.5 = 2.5(\text{A})$$

在节点 a

$$I_7 = -I_2 + I_3 + I_4 + 1 = 0.5 + 1 + 3 + 1 = 5.5(\text{A})$$

(2) 6V 电压源输出功率为 $E_7 I_7 = 6 \times 5.5 = 33(\text{W})$ (电势方向与电流方向相同, 乘积为正, 输出功率)。

1.3.6 试设计一个 T 型衰减器, 以决定图 1.3.6 中虚线方框内的 R_1, R_2 的值。已知负载电阻 $R = 2\Omega$, 要求: (1) 从输入端 ab 看进去的电阻也是 R ; (2) 电压 $U_{ab} = 5 U_{cb}$ 。

解 由要求(1)知, 入端电阻 $R_{ab} = R_1 + [R_2 // (R_1 + R)] = R$, 即

$$R_1 + \frac{R_2(R_1 + 2)}{R_2 + (R_1 + 2)} = 2 \quad (1)$$

在 ab 端加 1A 电流源(流入节点 a), 则 $U_{ab} = R_{ab} \times 1 = R$, 利用分流公式, 得

$$U_{cb} = \left[1 \times \frac{R_2}{R_2 + (R_1 + 2)} \right] \times R$$

由要求(2)知

$$R = 5 \times \frac{R_2 R}{R_2 + (R_1 + R)} \quad (2)$$

$$\text{即} \quad 2 = 5 \times \frac{R_2 \times 2}{R_2 + (R_1 + R)}$$

因此, $R_1 = 4R_2 - 2$, 代入式(1)得

$$4R_2 - 2 + \frac{R_2 \times (4R_2)}{R_2 + (4R_2)} = 2$$

解得 $R_2 = 5 / 6(\Omega)$, $R_1 = 4 / 3(\Omega)$ 。

1.3.7 如图 1.3.7 电路, 已知 $I_{s1} = 1\text{A}$, $U_2 = 3\text{V}$, $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 18\Omega$, $R_4 = 2\Omega$, $E_{s3} = 6\text{V}$, 求电阻 $R_6 = ?$

解 按照图中注明的各节点编号和各支路电流的参考方向, 利用基尔霍夫和欧姆定律可解本题。

因 $U_2 = 3\text{V}$, 则受控源 $5U_2 = 15\text{V}$, 由 KVL 得

$$U_{ab} = -U_2 + 5U_2 = 12(\text{V})$$

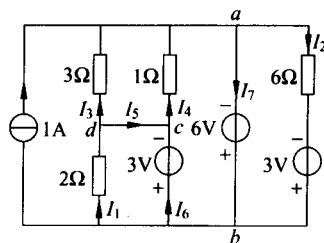


图 1.3.5

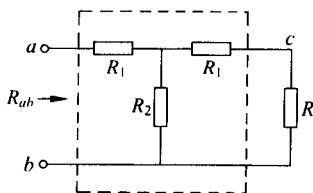


图 1.3.6

由欧姆定律得

$$I_3 = \frac{U_{ab} + E_{s3}}{R_3} = \frac{12 + 6}{18} = 1(\text{A})$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{3}{2} = 1.5(\text{A})$$

由 KCL 得

$$I_1 = I_2 - I_3 = 1.5 - 1 = 0.5(\text{A})$$

$$I_{R1} = I_{s1} - I_1 = 1 - 0.5 = 0.5(\text{A})$$

$$U_{da} = R_1 I_{R1} = 4 \times 0.5 = 2(\text{V})$$

$$U_{dc} = U_{da} - U_2 = 2 - 3 = -1(\text{V})$$

$$U_{bd} = -5U_2 + U_{cd} = -15 + 1 = -14(\text{V})$$

$$I_4 = \frac{U_{dc}}{R_4} = \frac{-1}{2} = -0.5(\text{A})$$

在节点 d 上,有

$$I_6 = -I_{s1} + I_{R1} + I_4 = -1 + 0.5 - 0.5 = -1(\text{A})$$

最后得

$$R_6 = \frac{U_{bd}}{I_6} = \frac{-14}{-1} = 14(\Omega)$$

1.3.8 在图 1.3.8 所示电路中,欲使 I 为零,试决定 R 的值。

解 $I=0$, 则 $U_{ab}=3\text{V}$, 且 $3\text{V}, 3\Omega$ 支路相当于开断, 此时 3A 在两并联支路中分流, 利用分流公式, 有

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

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

于是

$$\begin{aligned} U_{ab} &= U_{ad} - U_{bd} = RI_1 - 1 \times I_2 \\ &= \frac{12R}{6+R} - \frac{6+3R}{6+R} = 3(\text{V}) \end{aligned}$$

解得 $R=4(\Omega)$ 。

1.3.9 图 1.3.9 电路中, 已知 $I_1=1\text{A}, I_2=2\text{A}, I_3=3\text{A}, I_4=4\text{A}, I_5=5\text{A}, I_6=6\text{A}$, 求 I_7, I_8, I_9, I_{10} 。又若 $R_7=R_8=R_9=R_{10}=1\Omega$, 求 $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6$ (U_1 是第一电压支路电压, 与 I_1 方向一致; 同理, $U_2=U_{ac}$ ……)。

解 利用 KCL 求各未知电流。

在 a 节点上

$$I_{10} = -I_2 - I_4 + I_6 = -2 - 4 + 6 = 0(\text{A})$$

在 b 节点上

$$I_7 = -I_1 + I_5 + I_6 = -1 + 5 + 6 = 10(\text{A})$$

在 c 节点上

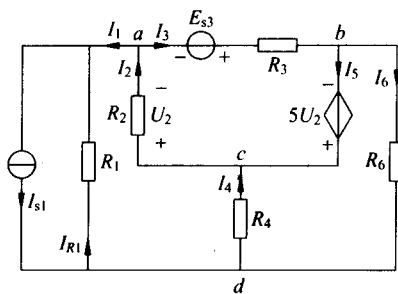


图 1.3.7

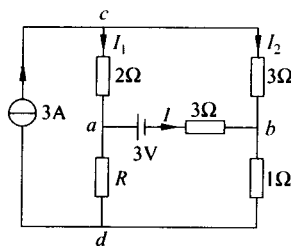


图 1.3.8

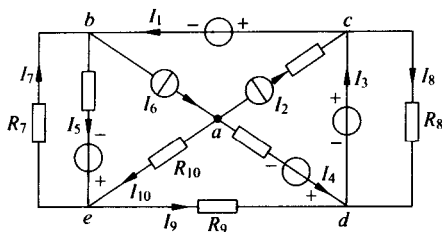


图 1.3.9

$$I_8 = -I_1 + I_2 + I_3 = -1 + 2 + 3 = 4(\text{A})$$

在 d 节点上

$$I_9 = I_3 - I_4 - I_8 = 3 - 4 - 4 = -5(\text{A})$$

显然,由欧姆定律可得

$$U_7 = 10\text{V}, U_8 = 4\text{V}, U_9 = -5\text{V}, U_{10} = 0\text{V}$$

利用 KVL 求其余电压。

在 $bcdeb$ 回路上

$$U_1 = U_8 - U_9 + U_7 = 4 - (-5) + 10 = 19(\text{V})$$

在 $acdea$ 回路上

$$U_2 = U_{10} + U_9 - U_8 = 0 + (-5) - 4 = -9(\text{V})$$

在 cdc 回路上

$$U_3 = -U_8 = -4(\text{V})$$

在 $adea$ 回路上

$$U_4 = U_{10} + U_9 = 0 + (-5) = -5(\text{V})$$

在 beb 回路上

$$U_5 = -U_7 = -10(\text{V})$$

在 $baeb$ 回路上

$$U_6 = -U_7 - U_{10} = -10(\text{V})$$

1.3.10 利用电压源与电流源的等效变换求图 1.1.3 电路中的 U_{ab} 。

解 先将 $4\text{V}, 2\Omega$ 串联电路化为 $I_{s1}, 2\Omega$ 并联的等值电路,其中 $I_{s1} = 4 / 2 = 2\text{A}$;再将 $9\text{V}, 3\Omega$ 串联电路化为 $I_{s2}, 3\Omega$ 并联的等值电路,其中 $I_{s2} = 9 / 3 = 3\text{A}$,见图 1.3.10,于是

$$U_{ab} = (2 // 3) \times (I_{s1} + I_{s2}) = \frac{2 \times 3}{2 + 3} \times (2 + 3) = 6(\text{V})$$

1.3.11 图 1.3.11(a)电路中 $E=40\text{V}, R_0=1\Omega$,求电流 I ? 电阻的单位为 Ω 。

解 将图 1.3.11(a)右上方 Δ 形化为 Y 形,如图 1.3.11(b)所示,得

$$R_1 = \frac{40 \times 50}{40 + 50 + 10} = 20(\Omega), \quad R_2 = \frac{40 \times 10}{100} = 4(\Omega), \quad R_3 = \frac{50 \times 10}{100} = 5(\Omega)$$

利用串并联化简,得节点 2,4 间的电阻 R_{24} 为

$$R_{24} = R_2 + \frac{(R_1 + 10)(R_3 + 25)}{(R_1 + 10) + (R_3 + 25)} = 4 + \frac{30 \times 30}{30 + 30} = 19(\Omega)$$

于是

$$I = \frac{E}{R_0 + 19} = \frac{40}{1 + 19} = 2(\text{A})$$

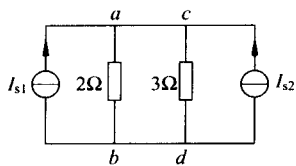


图 1.3.10

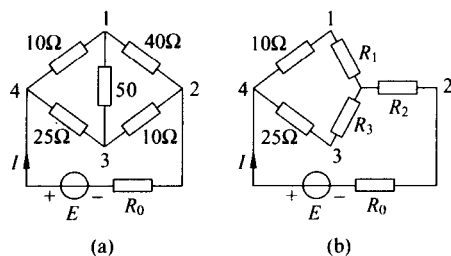


图 1.3.11

1.3.12 六角形各边从中心到各顶点的连线 (图 1.3.12(a)) 都是由电阻线做成, 电阻都是 R , 求 $A0$ 间等值电阻?

解 设想 1A 电流从点 A 流进, 从点 0 流出, 由于对称, 点 C, D 和 E, F 分别为等位点, 可以合并, 电路简化为图 1.3.12(b)。其中, R_{A0} 和 R_{B0} 仍是 R , 其余各支路电阻成为 $R/2$, 于是 R_{0B} 与 R_{BF} 串联后再与 R_{0F} 并联, 而后再与 R_{DF} 串联, 与 R_{0D} 并联, 最后与 R_{AD} 串联, 与 R_{A0} 并联, 化为一个总电阻 R_T , 则

$$R_T = (((((R + R/2) // R/2) + R/2) // R/2) + R/2) // R = 9/20R$$

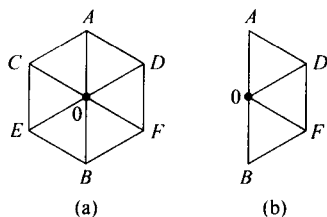


图 1.3.12

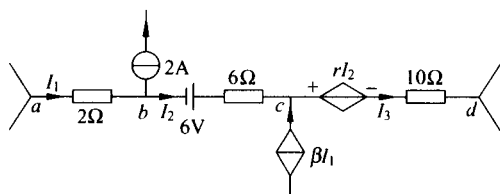


图 1.3.13

1.3.13 图 1.3.13 是一部分电路, 已知 $\beta=0.4$, $r=4\Omega$, $U_{cb}=3\text{V}$, 求总电压 U_{ad} 。

解 由 $U_{cb}=3=6-6I_2$ 得 $I_2=0.5(\text{A})$; 而 $I_1=I_2+2=2.5(\text{A})$, 故 $\beta I_1=0.4 \times 2.5=1(\text{A})$, $I_3=I_2+\beta I_1=0.5+1=1.5(\text{A})$;

又因为 $rI_2=4 \times 0.5=2(\text{V})$, 故 $U_{cd}=rI_2+10I_3=2+10 \times 1.5=17(\text{V})$, $U_{ab}=2I_1=5(\text{V})$, 最后得

$$U_{ad} = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = 5 - 3 + 17 = 19(\text{V})$$

1.4 习题及解答

1. 习题

1.4.1 图 1.4.1 电路中, 求电压 U , 电流 I ?

1.4.2 图 1.4.1 电路中, 求电阻中消耗功率, 电压源、电流源的功率, 是吸收还是发