# 上篇： 电工技术

## 第一章：电路分析基础

### 1.1：电路的基本概念、定律、分析方法

1.1.1:基本要求

（1）正确理解电压、电流正方向的意义。

（2）在正确理解电位意义的基础上，求解电路各点电位。

（3）加强电压源的概念，建立电流源的概念。

（4）了解电路有载工作、开路与短路的状态，强化额定值概念。

（5）熟悉电路基本定律并能正确应用之。

（6）学会分析、计算电路的基本方法

1.1.2：基本内容

1.1.2.1 基本概念

1 电压、电流的正方向

在分析计算电路之前，首先在电路图上标注各元件的未知电流和电压的正方向(这些假设的方向，又名参考方向)，如图 1-1-1 所示。

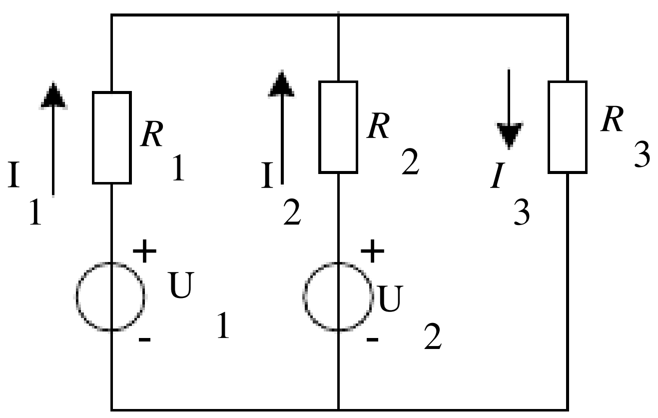



图 1-1-1

根据这些正方向，应用电路的定理、定律列写方程（方程组），求解后若为正值，说明假设的方向与实际的方向相同；求解后若为负值，说明假设的方向与实际方向相反。

对于电路中的某个（些）已知的方向，有两种可能，其一是实际的方向，其二也是正方向，这要看题目本身的说明。

2 电路中的电位计算

求解电路某点的电位，必须首先确定参考点，令该点电位为零，记为“⊥”，电路其余各点与之比较，高者为正（电位），低者为负（电位），如图 1-1-2 所示：

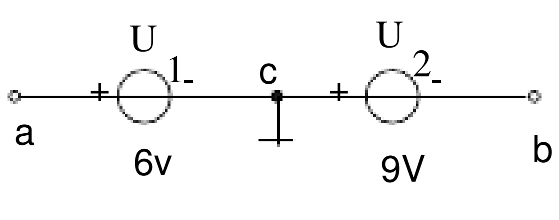



图 1-1-2

设 C 为参考点，则：

c 点的电位： $V_c=0(V)$

a 点的电位： $V_a= +6\ (V)$

b 点的电位： $V_b =-9\ (V)$

ab 两点间的电压：$U_{ab} = V_a - V_b = (+6)-(-9) =15(V)$

注・电位具有单值性（参考点一旦设定，某点的电位是唯一的）。

・电位具有相对性（参考点选择不同，某点的电位也不同）。

・任意两点间的电位差叫电压，例如 $U_{ab} = V_a - V_b$，显然电压具有单值性和绝对性（与参

考点选择无关）
1.1.2.2 基本定律
1 欧姆定律
(1)一段无源支路（元件）的欧姆定律。
在图 1-1-3 中，$U_{ab}=R\cdot I$（取关联正方向）。
(2)一段有源支路（元件）的欧姆定律，实际上是电压降准则，如图 1-1-4 所示。

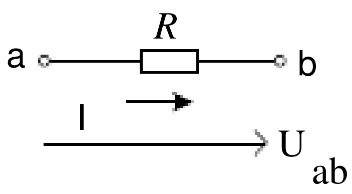


图 1-1-3

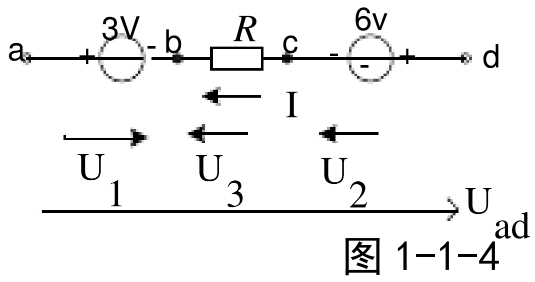


图 1-1-4

① 总电压降等于各分段电压降的代数和。
② 标出各分段电压降的正方向。
・电源电压降方向从正极指向负极（$U_1$、$U_2$）。
・电阻电压降方向与电流方向相同（$U_3$）。
③与总方向一致的分电压降取“+”号，不一致的取“-”号。在图 1-1-4 中，
$U_{ad}=U_{ab}+U_{bc}+U_{cd}=3+(-RI)+(-6)=(-IR-3)V$
2．克希荷夫定律：
(1) 克希荷夫电流定律（KCL）
① 内容：任一时刻、任一结点，流入电流之和等于流出电流之和。记为 $\sum I_{入}=\sum I_{出}$
上式移项：$\sum I_{入}-\sum I_{出}=0$，记为$\sum I=0$，就是说：
任一时刻，流入任一结点的电流的代数和等于零，（流入为正，流出为负），这是 KCL 的另一种表达形式。
② 实质：KCL 反映了电流连续性原理，即结点上不能积累电荷。
③ 注：KCL 还适用广义结点。
(2) 克希荷夫电压定律（KVL）
① 内容：任一时刻，沿任一回路绕行一周，电压降的代数和等于零，记为$\sum U=0$
・回路的绕行方向可以任意假设，假设后的方向就是总电压降的方向，定出各分段电压降的方向后，即可列回路电压方程。
・$\sum U=\sum RI$ 或$\sum$电位升$=\sum$电位降 ，是 KVL 的另外表达式。
② 实质：KVL 反映了电位单值性原理，即在闭合回路中，电位上升之和必然等于电位下降之和。
③注：KVL 还适用于开口电路（虚拟回路）。在图 1-1-5 中，选定绕行方向，根据$\sum U=0$，$U_{ab}+(-U_1)+(-RI)=0$，移项处理得$U_{ab}=U_1+RI$，这与电压降准则列写的方程是一致的。

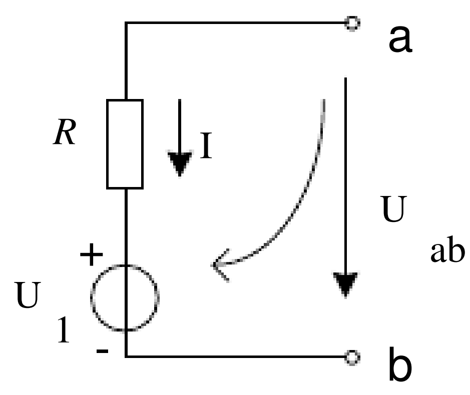



图 1-1-5

1.1.2.3 基本方法

1.支路电流法

以支路电流为未知量，应用 KCL、KVL 列写电路方程组，联立求解，可得各支路电流。解题步骤如下：

(1) 在电路图上标注未知电流和电压的正方向，并设支路电流为未知数，显然未知数个数就是方程的个数。

(2) 若电路结点为 n，应用 KCL 列写（n-1）个独立的电流方程。

(3) 若支路数为 b，应用 KVL 列写 b-(n-1)个独立的电压方程。

☆ 2．结点电压法

书本中没有讲到结点电压法，但对于两个结点的电路，先求两结点间电压，再求支路电流，有时很方便，为此，介绍一下该方法。在图 1-1-6 中，a、b 为两结点，结点间电压 $U_{ab}$的正方向及各支路电流的正方向如图 1-1-6 中所标注。

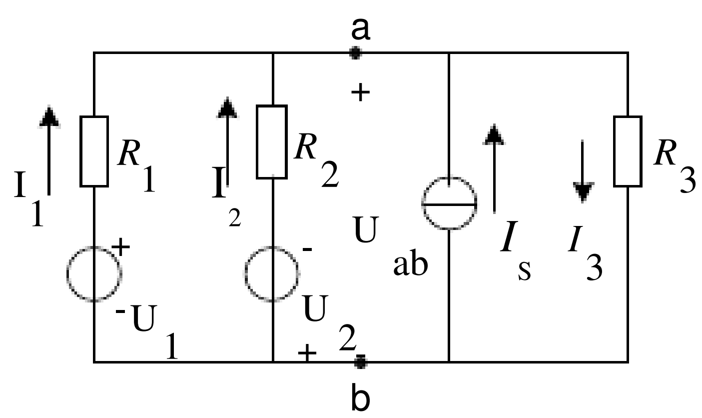



图 1-1-6

由 a 点的 KCL 知：

$$I_1 + I_2 + I_s = I_3 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(1)}$$

根据电压降准则，列写相关支路的电压方程如下：

$$U_{ab} = -RI_1 + U_1 \quad : \qquad I_1 = \frac{U_1 - U_{ab}}{R_1} \cdots\cdots\cdots \text{(2)}$$

$$U_{ab} = -RI_2 + (-U_2) \quad : \qquad I_2 = \frac{-U_2 - U_{ab}}{R_2} \cdots\cdots\cdots \text{(3)}$$

$$U_{ab} = RI_3 \ : \qquad I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(4)}$$

(2)、(3)、(4)代入(1)式得：

$$\frac{U_1-U_{ab}}{R_1}+\frac{(-U_2-U_{ab})}{R_2}+I_s=\frac{U_{ab}}{R_3}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

（5） 式化简整理得：

$$U_{ab}=\frac{\frac{U_1}{R_1}+(-\frac{U_2}{R_2})+I_s}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}}=\frac{\sum\frac{U}{R}+I_s}{\sum\frac{1}{R}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

已知数据代入(6)式，求出$U_{ab}$值。

**注：**①使独立结点 a 的电位升高的电压源取正号，反之为负号；使结点 a 的电位升高的电流源取正号，反之为负号。

②直接运用公式，无须推导。

$U_{ab}$求出后，代入(2)、(3)、(4)式，$I_1$、$I_2$、$I_3$便知。

3.叠加原理（法）

在多个电源（至少两个）作用的线性电路中，任一元件（支路）的电流（或电压），是由各个源单独作用时所产生的电流（或电压）的代数和。

**注：**① 单独作用是指一个源作用时，其余的电源使之为零，又各除源，**除源准则**是：电压源视为短接，电流源视为开路。

② 与电压源串接的电阻以及与电流源并接的电阻都视为内阻，必须保留。

解题步骤如下（三步法）：

(1) 在电路图上标出待求电流（电压）的正方向（已知不变)。

(2) 画出每个源单独作用的分图，在分图上求解待求电流（电压）分量的大小并标出实际方向。

(3) 求叠加后的总电流（电压)；与总电流（电压）正方向相同的分量取正号，反之为负号。

**注：**叠加原理只适用于求线性电路的电流或电压，而不能用于非线性电路中，更不能对功率进行叠加。

4．电源变换法

（1）实际的电压源是由理想的电压源与内阻$R_0$串联组成，实际的电流源是由理想的电流源与内阻$R_i$并接组成，见图 1-1-7。在保证电源外特性一致的条件下，两者可以进行等效互换，互换条件：

$$\begin{cases}R_i=R_o\\ I_s=\dfrac{U_s}{R_o}\end{cases}$$

**注：**①电流源的方向与电压源电位升的方向一致。

②理想的电压源（$R_0$=0）与理想的电流源（$R_i$=∞）之间不能转换。

③等效变换是对外电路等效，对电源内部并不等效。

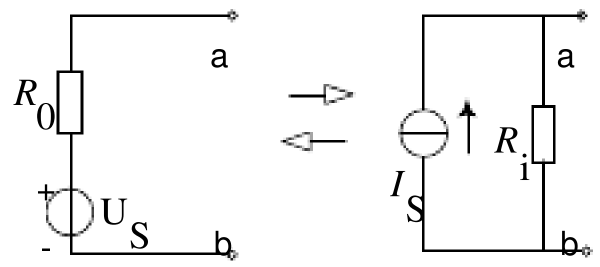



图 1-1-7

**（2）关于化简准则：**

① 与理想电压源串联的以及与理想电流源并联的所有电阻均可看作是电源的内阻。

② 多条有源支路并联时，可将其都变为等效电流源，然后可以合并。而多条有源支路串联时，可将其都变为等效电压源，然后可以合并。

③ 和理想电压源并联的电阻，不影响电压源的端电压，对外而言，是多余的元件，故可开路；和理想电流源串联的电阻，不影响电流源输出电流，对外而言，也是多余的元件，故可短接。

④ 理想电压源与理想电流源并联时，对外而言，电压源起作用；理想电流源与理想电压源串联时，对外而言，电流源起作用（可用叠加原理证明，作为推论直接使用。

5 等效电源法

在复杂电路中，欲求一条支路的电流，可将其余部分看作一个有源二端网络。利用戴维南定理将此有源二端网络等效（化简）为一个实际的电压源模型，问题的处理就大大简化。等效电源法（戴维南定理法）解题步骤如下：

（1） 将待求支路从电路中除掉，产生 a、b 两点，余者为有源二端网络。

（2） 求有源二端网络的开路电压 $U_{ab}$（标定 $U_{ab}$ 正方向）；求有源二端网络所有电源取零（除源）后的入端等效电阻 $R_{ab}$。根据 $U_{ab}=U_S$，$R_{ab}=R_0$ 画出电压源模型。

（3） 在电压源模型上，接进待求支路（元件），应用欧姆定律，求取待求电流。

**注：** ①待求支路可以是一条支路，也可以是一个元件（电阻或电源）。

②若 $U_{ab}$ 为负值，则 $U_S$ 极性相反。

1.1.3 重点与难点

上述概念定律及方法不但适用于直流电路的分析与计算，同样适用于交流电路、电子电路的分析与计算。

1.1.3.1 重点

(1) 内容部份

① 两个参考（参考点，参考方向）。

②两个定律（欧姆定律，克希霍夫定律）。

③四个准则[电压降准则，除源准则，电源负载判别准则（见例题1-6)，化简准则]。

④四种方法[支路电流法，电源互换法，叠加原理法，等效电源法,(结点电压法除外）]。

⑤电位的计算（参考点画出，参考点未画出两种情况）。

(2) 解题思路

① 两个不能忘：已知条件不能忘，两个基本定律不能忘。

② 能化简先化简，化简后确定最佳求解方法（宏观）。

③ 找出第一问题与已知条件及两个定律的直接或间接关系。

④把求出的第一问题的数值标在原图（未化简前）上，有利于求解第二、第三问题。

1.1.3.2 难点

(1) 关于方向：

① 流过电路各元件（支路）的电流都有自己的方向，同样电路各元件（支路）两端都有

自己的电压降方向，这些方向又有正方向和实际方向之别。

② 两个不变：电流源的流向不变，电压源的端电压方向不变。

(2) 关于两个“最佳”的选择

① 最佳解题方法的选择：

题目一般有三种情况，有的题目只有一种解法；有的题目第一问规定方法，第二问、第三问不限方法；有的题目可以用多种方法求解，因而就有“最佳”的问题。“最佳”有主观“最佳”和客观“最佳”，主观“最佳”是指自己掌握最熟的方法，客观“最佳”是真正的“最佳”。

在图 1-1-8 (a)中，已知电路及参数，

求：通过 R 的电流 I 及电流源端电压 $U_S$。

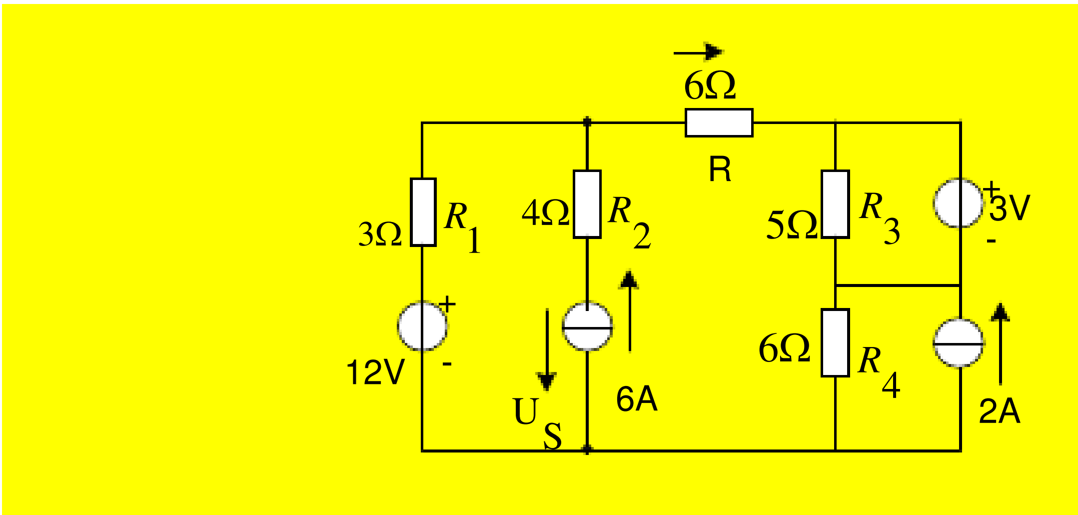



图 1-1-8 (a)

分析如下：

题目不限定方法，第一问的求解是关键，宏观上必有最佳的方法。

如果选用支路法，因为支路多，方程个数多，求解必定太烦，况且只要求一条支路的电流，显然不是最佳。

如果选用叠加原理法，因为有四个电源，要画四个分图，分别求出 $I'$、$I''$、$I'''$ 及 $I''''$ 的大小及方向，最后叠加也太烦。

如果选用等效电源法，按三步法思路进行，第一步除待求 R 产生 a、b 两点，第二步把余者的二端网络用实际的电压源模型等效，首先要求二端网络的开路电压 $U_{ab}$，也并非易求。

根据能化简先化简的解题思路，$R_2$ 短接，$R_3$ 开路，1-1-8 (a)电路变为图 1-1-8 (b)电路，对图 1-1-8 (b)电路再进行分块化简。

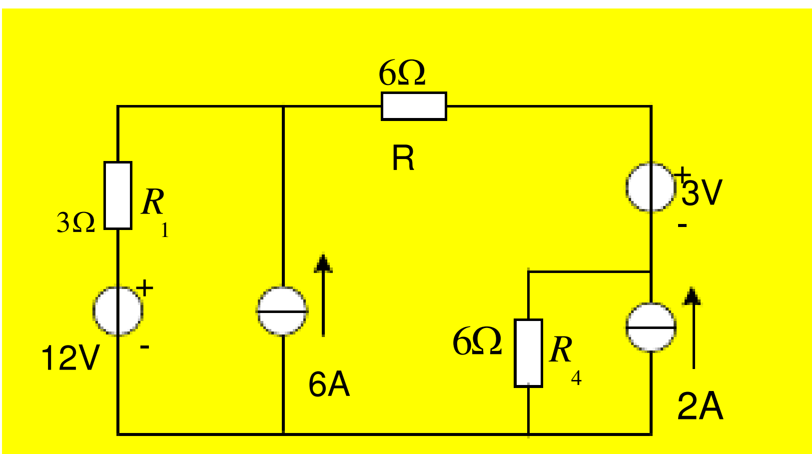



图 1-1-8 (b)

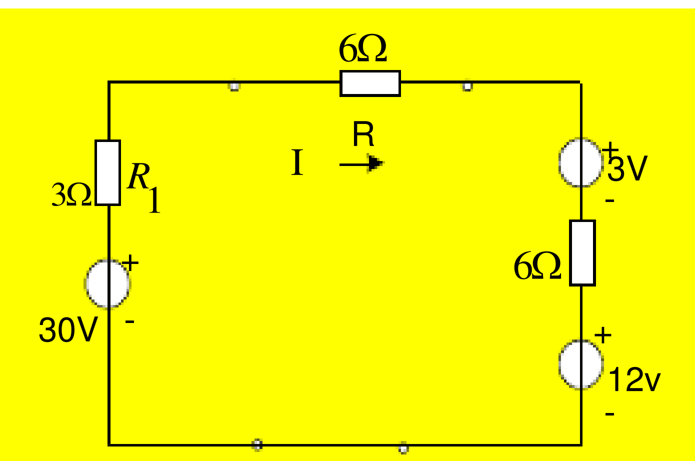



图 1-1-8 (c)

R 以左为一块：利用电源互换把 12V、3Ω化为电流源，再利用电流源的合并，化为一个电流源，最后再用电源互换，把电流源化为电压源，如图 1-1-8 (c)所示。

R 以右为一块：利用电源互换把 2A、6Ω化为电压源，如图 1-1-8 (c)所示。

这样一来，图 1-1-8（b）就化简为图 1-1-8（c），图 1-1-8（c）已经变为简单电路，显然 $I=\dfrac{30-(3+12)}{3+6+6}=\dfrac{15}{15}=1$（A）。

注：把求出的第一问结果，标注在原图上，如图 1-1-8（d）所示，在图 1-1-8（d）中，由 m 点的 KCL 知：$I_1$=6-I=6-1=5（A）。

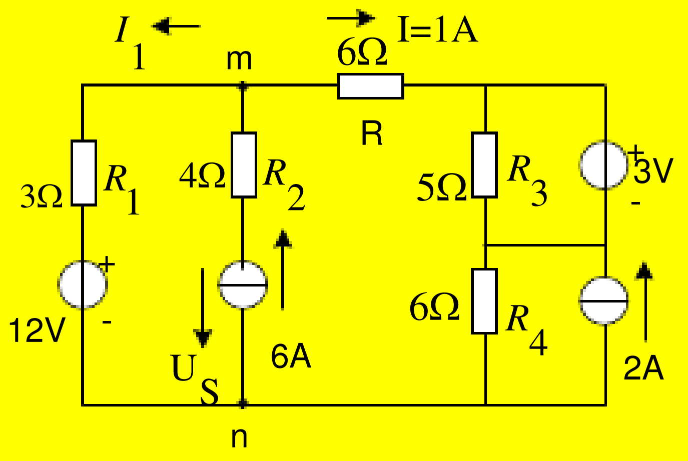



图 1-1-8d

根据电压降准则，列写两条支路的方程。

$$U_{mn}=R_1I_1+12=R_2\cdot(-6)+U_s$$

$$\mathbf{U_{mn}=5\times3+12=-24+U_s}$$

$$U_S=27+24=51(V)$$

注：当然在 $R_1$、12V、6A、$R_2$ 回路中，利用 ΣU=0 也可求取 $U_S$。

② 最佳参考点的选择

在等效电源法求 $U_{ab}$ 时，可以用叠加原理法求 $U_{ab}$，也可以把 $U_{ab}$ 分解为 $U_{ao}$、$U_{bo}$，这样就要设参考点，就存在最佳点的选择。

一般说来，设诸多元件的公共交点为参考点较为恰当，如习题1-20 中，设 10V、10V、10Ω、10Ω的公共交点为参考点。但有时要看情况而定，在习题 1-19 中，设 6Ω与 10V 的公共交点为参考点较为恰当。也有特殊情况，一个题目中，根据不同需求，设两次参考点，求解更为方便，在图 1-1-9（a）中

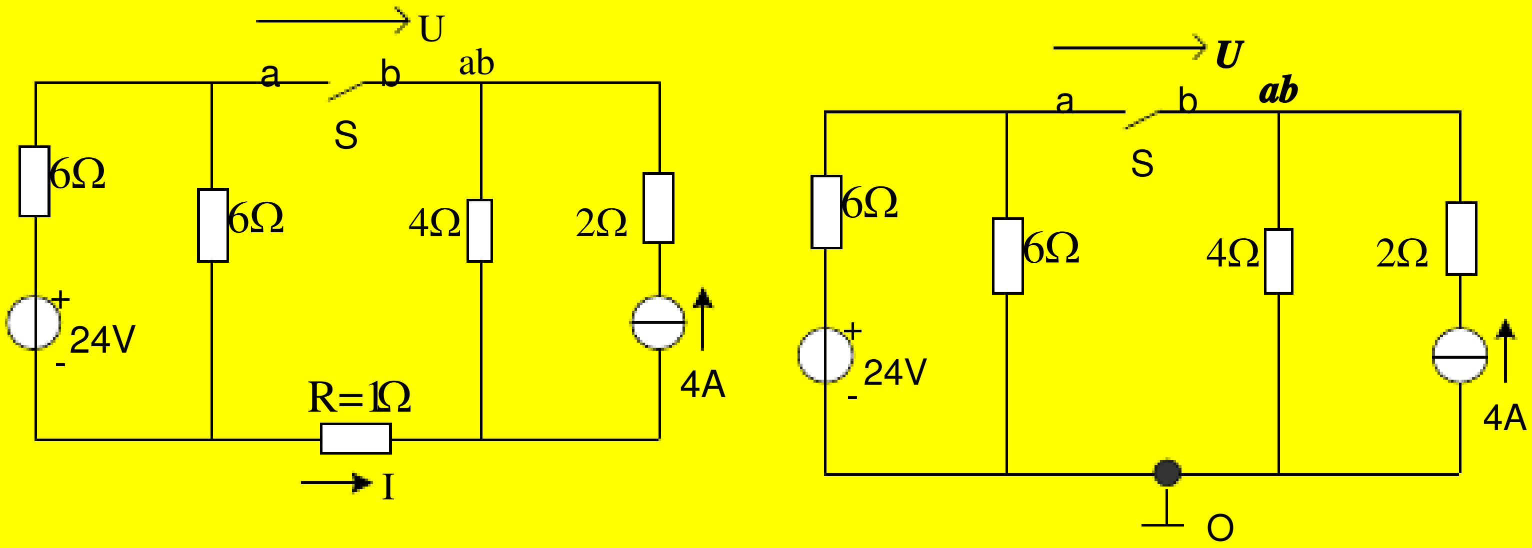



图 1-1-9(a) 图 1-1-9(b)

已知电路及参数，S 断开求 $U_{ab}$，S 闭合求 I。

分析如下：

S 断开时，R 中无电流流过，R 上无电压降（压降为 0），相当于导线，设下部为参考点，如图 1-1-9（b）所示，分别求出 $U_{ao}$ 及 $U_{bo}$，则 $U_{ab}=U_{ao}-U_{bo}$。（具体求解略）

S 闭合时，求电流 I，因为不限定方法，支路法，叠加原理法都较烦，若选用等效电源法，求解较快。

第一步：除待求电阻 R，产生 x、y 两点，余者为有源二端网络，如图 1-1-9(C)，

第二步：把有源二端网络等效为电压源，首先求开路电压$U_{xy}$，为求$U_{XY}$，把$U_{XY}$分解为$U_{XO}$、$U_{YO}$，这样就涉及到参考点的设定。设上方为参考点，则$U_{xo}$=-12V，$U_{Yo}$=-16V，$U_{xy}$=(-12)-（-16）=4（V）。

$R_{XY}$=（6//6）+4=7(Ω)，由$U_S$=$U_{xy}$，$R_0$=$R_{xy}$ 画出电压源模型，如图 1-1-9(d)所示，

第三步：接进待求支路，求出电流： $I=\dfrac{4}{7+1}=0.5(A)$

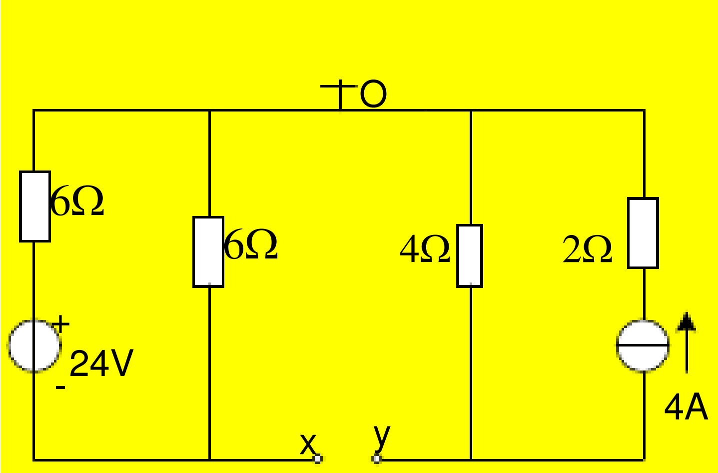



图 1-1-9（C）

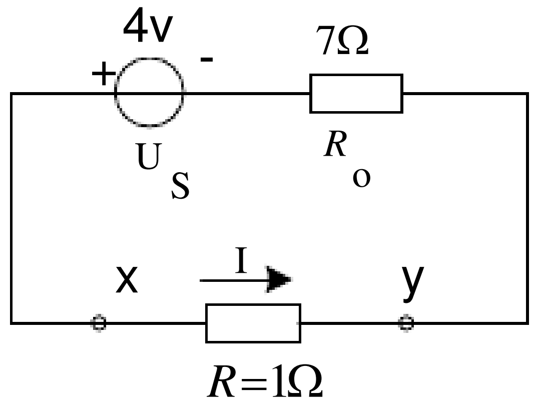



图 1-1-9（d）

1.1.4 例题与习题解答

1.1.4.1 例题：

1. 一个电源作用下的简单电路

当已知总电压（总电流）时，求解各分电流（分电压），或者已知分电流（分电压）时，求解总电压（总电流），要注意以下两点：

（1） 分析电路结构时，先抓全局，后抓局部，逐层解析。

（2） 要求入端电阻，必要时将电路变形，若用数学表达式反应连接关系时，并联用“//”表示，串联用“+”表示，一条支路组合用括号表示。

例 1-1：在图 1-1-10 中，已知$U_{ae}$=30V，求$U_{be}$、$U_{ce}$及$U_{de}$

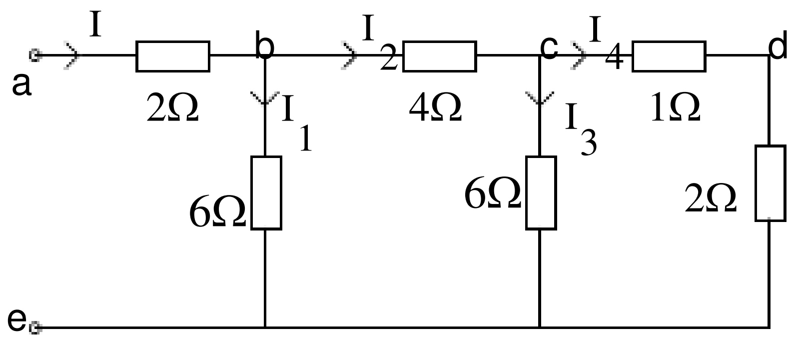



图 1-1-10

解：本题属于已知总（电压）求分（电压）类型，处理这类题型时，常按如下思路：

①利用串并联求电路总电阻 R。

②利用欧姆定律求电路总电流 I。

③利用分流公式求各分电流（$I_1$、$I_2$、$I_3$、$I_4$）。

④利用欧姆定律求相关元件的电压（$U_{be}$、$U_{ce}$、$U_{de}$）。

R=2+6//$\left[4+6//(1+2)\right]=5$（Ω）

$I = 30/5 = 6(A)$

$I_1 = I\dfrac{4+6//(1+2)}{6+[4+6//(1+2)]} = 6\times\dfrac{6}{12} = 3(A)$

$I_2 = I - I_1 = 6-3 = 3(A)$ （或者再用一次分流公式）

$I_3 = 3\times\dfrac{3}{6+3} = 1(A)$

$I_4 = I_2 - I_3 = 2(A)$ （或者再用一次分流公式）

$U_{be} = I_1\times 6 = 3\times 6 = 18(V)$

$U_{ce} = I_3\times 6 = 1\times 6 = 6(V)$

$U_{de} = I_4\times 2 = 2\times 2 = 4(V)$

例 1-2：在图 1-1-11 中，已知 $I_{ab}$=3A，求 $U_{cd}$。

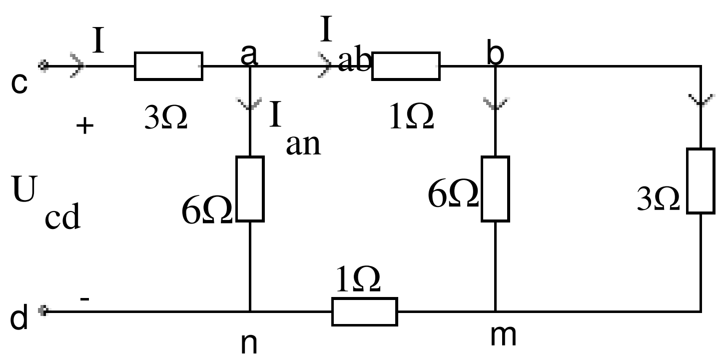



图 1-1-11

本题属于已知分（电流）求总（电压）类型，处理这类题型时，常按如下思路：

① 利用总电压等于各分段电压之和求 $U_{an}$。 $U_{an}=1\times I_{ab}+6//3\times I_{ab}+1\times I_{ab}=12(V)$

② 利用欧姆定律求 $I_{an}$。 $I_{an}=\dfrac{12}{6}=2(A)$

③ 利用 KCL 求 I。 $I=I_{ab}+I_{an}=3+2=5(A)$

④ 利用总电压等于各分段电压之和求 $U_{cd}$。 $U_{cd}=3\times I+U_{an}=15+12=27(V)$

2. 电位的计算

电位的概念在电工技术特别是电子技术中常用，在计算电位时应注意以下三点：

（1） 电路中某点的电位是指该点与参考点之间的电位差，又称电压，根据这一规律，求电位可以转变为求两点间的电压。

（2）求电压首先想到前面已述的电压降准则，某分段的电压也有可能与通过该段的电流有关，求电流又和相关回路及相关电压发生联系。

（3）有的题目参考点给出，有的题目参考点隐含（实际存在）这就要改画电路，画出参考点。

例 1-3：在图 1-1-12 中，已知电路及参数，求 $V_A$、$V_B$ 及 $U_{AB}$。

解：此题参考点已画出，根据前述思路，先求回路电流，后求 $V_A$、$V_B$ 及 $U_{AB}$。R 无电流流过，电压降为零。

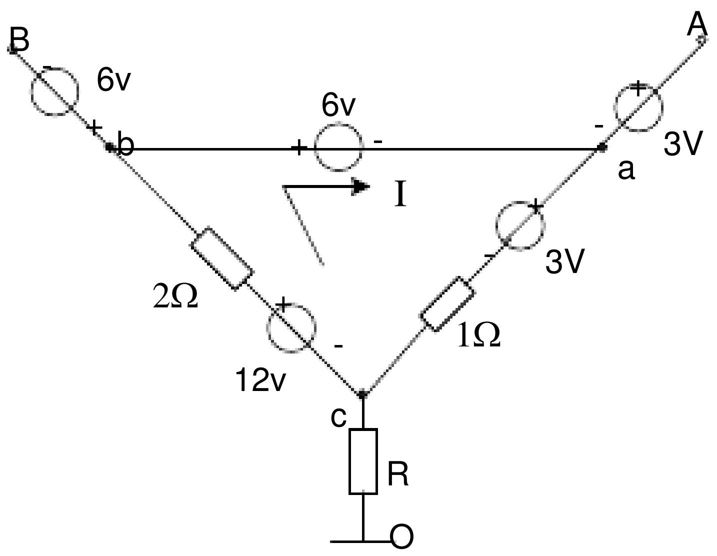



图 1-1-12

$$I=\frac{12-(6+3)}{2+1}=\frac{3}{3}=1(A)$$
$$V_A=U_{AO}=3+3+(1\times I)+0=3+3+1=7(V)$$
$$V_B=U_{BO}=(-6)+(+12)+(2\times(-I)=(-6)+12-2=4(V)$$
$$U_{AB}=V_A-V_B=7-4=3(V)$$

或 $U_{AB}=3+(-6)+6=3(V)$（电压降准则）

例 1-4：求图 1-1-13(a)中 B 点的电位 $V_B$（$R'=R''$）

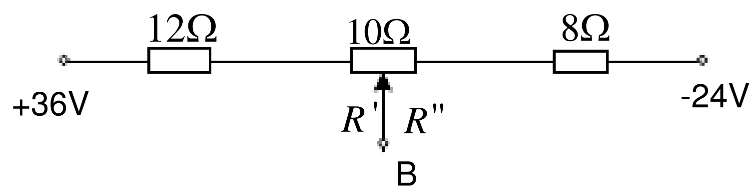



图 1-1-13(a)

解：此题参考点隐含，实际存在，改画成普通电路，如图1-1-13(b)所示，先求回路电流，然后根据电压降准则求 $U_{BO}$（$V_B$）

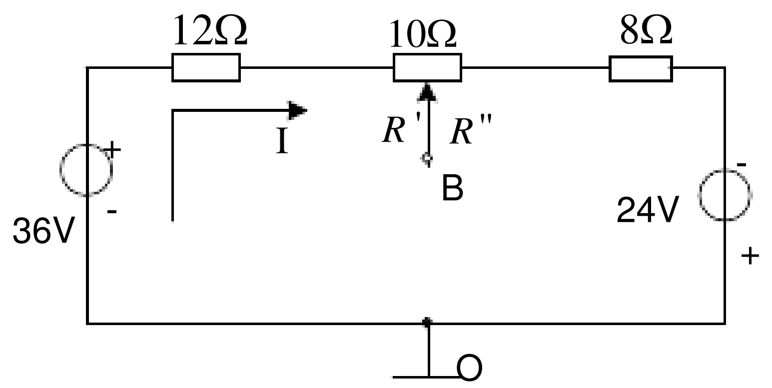



图 1-1-13(b)

$$I=\frac{36+24}{12+10+8}=\frac{60}{30}=2(A)$$
$$V_B=U_{BO}=R''\times I+8\times I+(-24)=5\times 2+8\times 2-24=2(V)$$

**或者** $V_B=U_{BO}=R'\times(-I)+12\times(-I)+36=5\times(-2)+12\times(-2)+36=2(V)$

3. 多电源作用的电路

多电源作用的电路种类繁多，一般说来，能化简先化简，化简之后定方法，大致有下面几种情况：

（1）利用单一方法（如支路电流法）求之。

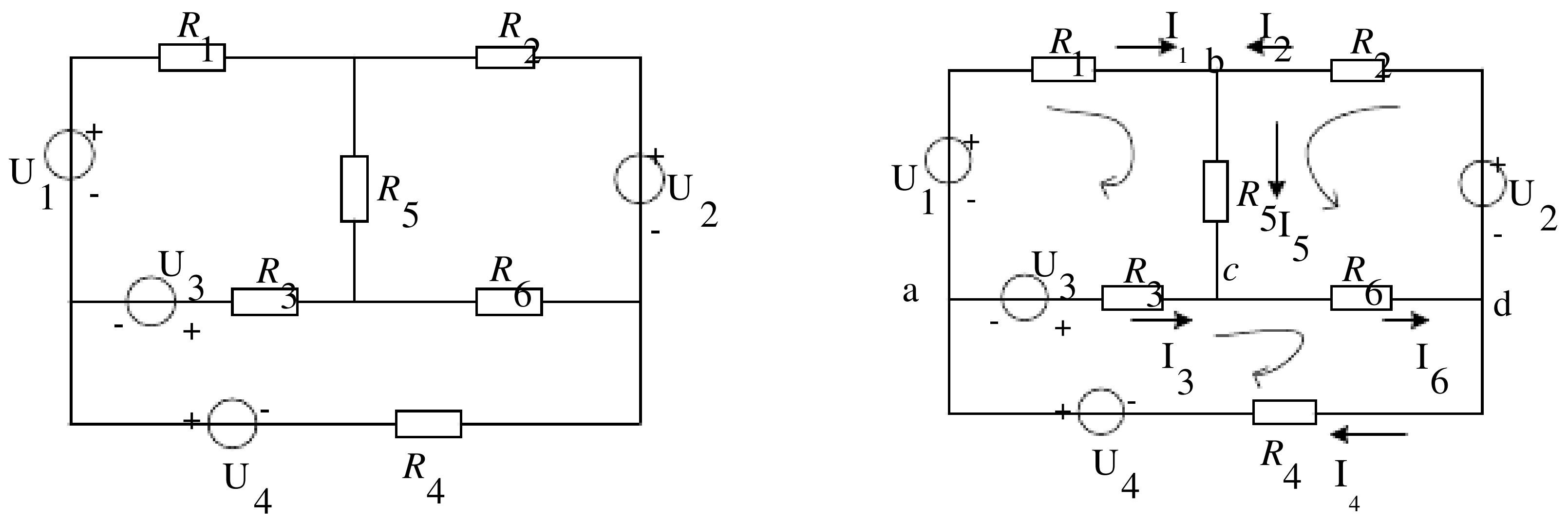
（2）宏观上用某种方法，如等效电源法，而微观上求开路电压 $U_{ab}$ 时，又有可能用到叠

加法、电源转换法等。

（3）电路结构比较复杂，必要时分块化简，最后便一目了然。

（4）若题目可用几种方法求解，要选择最佳方法。

例 1-5：图 1-1-14(a)电路中，有多少条支路，多少个结点，多少回路，多少网孔？列出支路电流法解题方程。




（a）　　　　　　　　　　　（b）

图 1-1-14

解：① 有 6 条支路（b=6），4 个结点（n=4），6 个回路，3 个网孔（m=3）。

② 各支路电流的正方向如图 1-1-14(b)所示，因为有 6 个未知电流，故要列 6 个方程，KCL 列（n-1）3 个方程，KVL 列（6-3）3 个方程（m=3）。

③ 对结点 a：$I_4 - I_1 - I_3 = 0$ ……………………………………(1)

对结点 b：$I_1 + I_2 - I_5 = 0$ ……………………………………(2)

对结点 c：$I_3 + I_5 - I_6 = 0$ ……………………………………(3)

选定三个回路（网孔）的绕行方向，根据 $\sum U = 0$ 列 KVL 方程

对 abca 回路：$(-U_1) + R_1 I_1 + R_5 I_5 + R_3(-I_3) + U_3 = 0$ ….…(4)

对 bcdb 回路：$(R_5 I_5) + (R_6 I_6) + (-U_2) + (R_2 I_2) = 0$ …………(5)

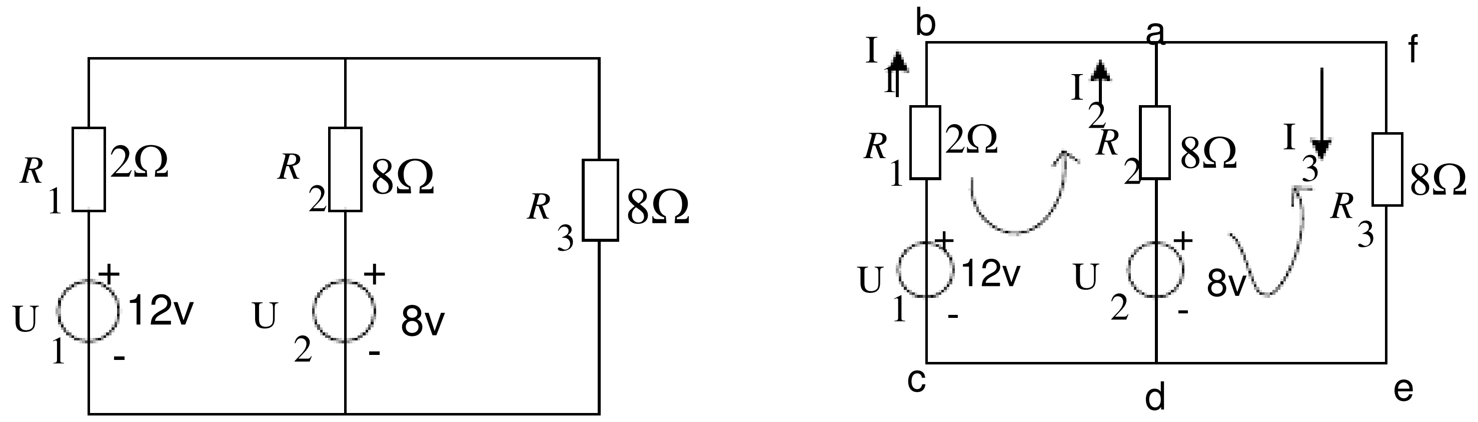
对 acda 回路：$(-U_3) + R_3 I_3 + R_6 I_6 + R_4 I_4 + (-U_4) = 0$ …(6)

例 1-6 在图 1-1-15(a)中，

① 求各支路电流；

② 确定各元件是电源还是负载；

③ 讨论这个电路模型的实用意义。




（a）　　　　　　　　　　　（b）

图 1-1-15

解：(1)设各支路电流的正方向如图 1-1-15(b)所示

a 结点 KCL：$I_1+I_2-I_3=0$ ……………………………(1)

abcda 回路 KVL：$R_1(-I_1)+U_1+(-U_2)+R_2I_2=0$ ……(2)

adefa 回路 KVL：$(-I_2R_2)+U_2+(-I_3R_3)=0$ …………(3)

代入 $R_1$，$R_2$，$R_3$ 及 $U_1$，$U_2$ 数据，联立求解(1)(2)(3)得：

$I_1=1\frac{1}{3}A$，说明假设的方向与实际方向相同。

$I_2=-\frac{1}{6}A$，说明假设的方向与实际方向相反（实际向下流）。

$I_3=1\frac{1}{6}A$，说明假设的方向与实际方向相同。

(2) 要确定电路中某元件是电源还是负载应按照如下准则判别：

① 元件两端实际电压降方向与电流实际流向相同，P>0（吸收功率）为负载。

② 元件两端实际电压降方向与电流实际流向相反，P<0（发出功率）为电源。

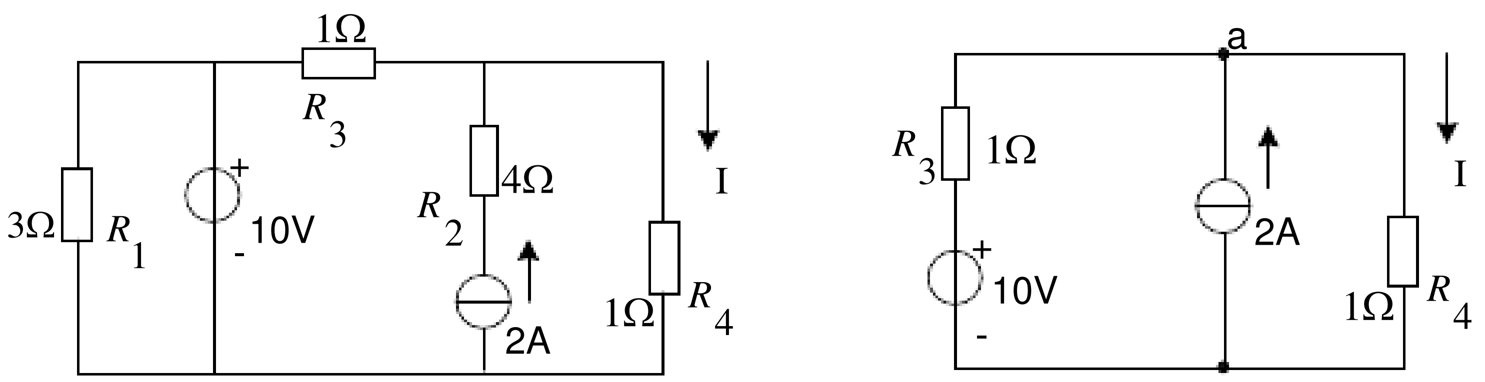
所以：$U_1$ 的电压降与电流实际流向相反，为电源。

$U_2$ 的电压降与电流实际流向相同，为负载。

$R_1$、$R_2$、$R_3$ 的实际电压降与电流实际流向都相同，因而都为负载。

（1） 这个电路模型在日常生活中常见，$U_1$ 看作充电电源的电压，$R_1$ 是 $U_1$ 的电阻；$U_2$ 看作被充电的干电池组，$R_2$ 是干电池组的内阻；$R_3$ 是耗电负载（如收音机等）。

例 1-7：求图 1-1-16(a)中的电流 I。




（a） （b）

图 1-1-16

解：对外电路（待求支路）而言，与理想电压源并接的3Ω电阻可以移去，故开路之；与理想的电流源串接的 4Ω电阻可以移去，故短接之。原电路 1-1-16(a)简化为 1-1-16(b)的电路，求电流 I 的方法就有很多了。

解法 1. 结点电压法

图 1-1-16（b）中，a 为独立结点， ab 之间电压记为 $U_{ab}$。

$$U_{ab}=\frac{\sum\frac{U}{R}+\sum I_s}{\frac{1}{R}}=\frac{\frac{10}{1}+2}{\frac{1}{1}+\frac{1}{1}}=6(V)$$

$$I=\frac{U_{ab}}{R_4}=\frac{6}{1}=6(A)$$

解法 2. 电源互换法

把 10V 电源及 1Ω电阻（$R_3$）化为电流源，如图1-1-16(c)所示。把 10A、2A 电流源合并处理，如图 1-1-16(d) 所示。在图 1-1-16(d) 中，根据分流公式：

$I = 12\frac{R_3}{R_3 + R_4} = 12 \times \frac{1}{2} = 6(A)$。

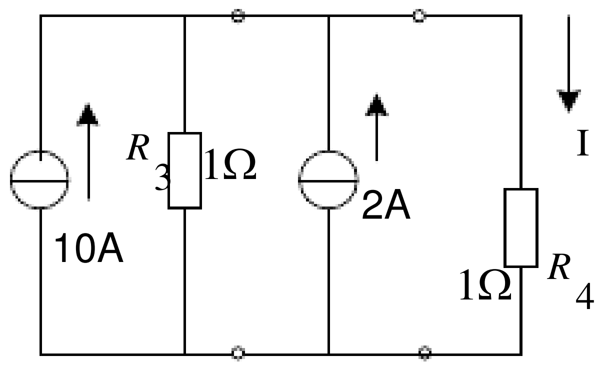



图 1-1-16(c)

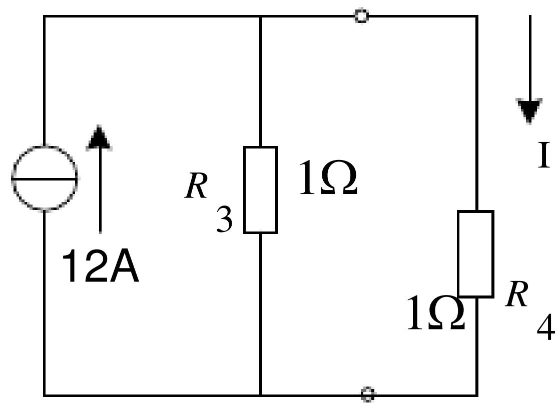



图 1-1-16(d)

解法 3.叠加原理法

(1) 画出 10V、2A 单独作用的分图，在分图上标出通过 $R_4$ 的分电流的实际流向，并求出 $I'$ 及 $I''$ 大小，如图 1-1-16(f)及图 1-1-16(g)所示。

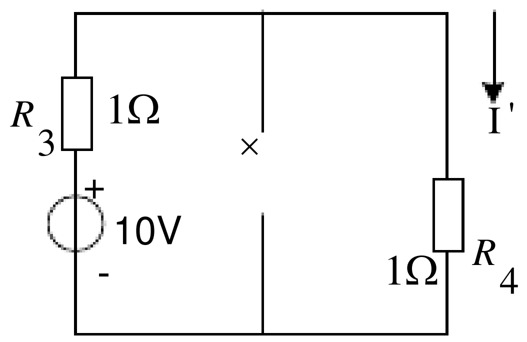



图 1-1-16(f)

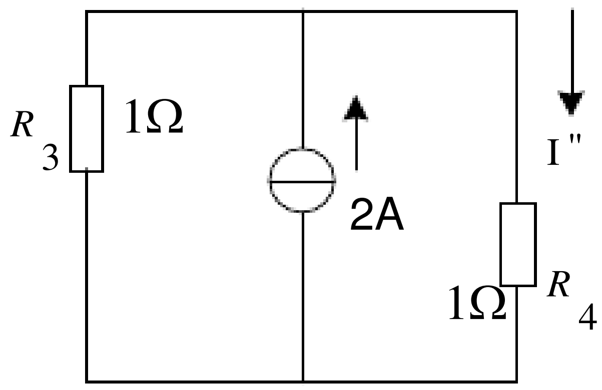



图 1-1-16(g)

$$I' = \frac{10}{2} = 5(A)$$

$$I'' = 2 \times \frac{1}{1+1} = 1(A)$$

(2) 叠加：$I = I' + I'' = 5 + 1 = 6(A)$

解法 4.等效电源法

(1) 移去待求支路（元件）$R_4$，产生 a、b 两点，余者为有源二端网络，图 1-1-16(h)

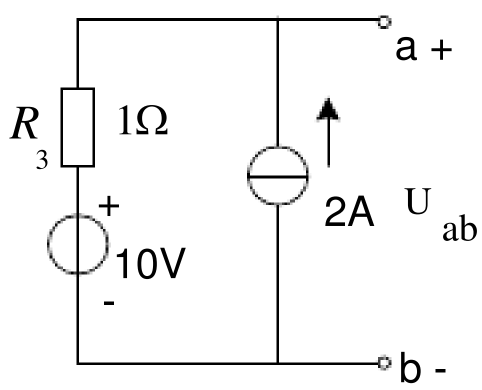



图 1-1-16(h)

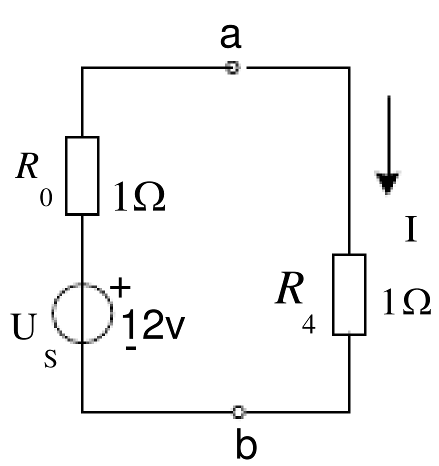



图 1-1-16(m)

(2)把有源二端网络等效为电压源模型 $[U_s = U_{ab}; R_0 = R_{ab}]$

① 求 $U_{ab}$（$U_s$）：

欲求 $U_{ab}$，选用叠加法（也可以用电源互换法及回路电压方程直接求之）。

10V 作用，2A 除源：$U'_{ab}=10(V)$

2A 作用，10V 除源：$U''_{ab}=2(V)$

故 $U_{ab}=U'_{ab}+U''_{ab}=10+2=12(V)$。

② 求 $R_{ab}$（$R_0$）。

$R_{ab}=R_3=1$（ ）

根据 $U_s=U_{ab}=12V, R_0=R_{ab}=1\Omega$，画出实际电压源模型，如图 1-1-16(m)所示。

③接进待求去路，求出电流 I：$I=\dfrac{12}{R_0+R_4}=\dfrac{12}{2}=6(A)$

例 1-8 在图 1-1-17(a)中，

(1) 求电流 $I_1$(等效电源法)

(2) 求电流 $I_2$。

(3) 求电流源两端的端电压 $U_s$

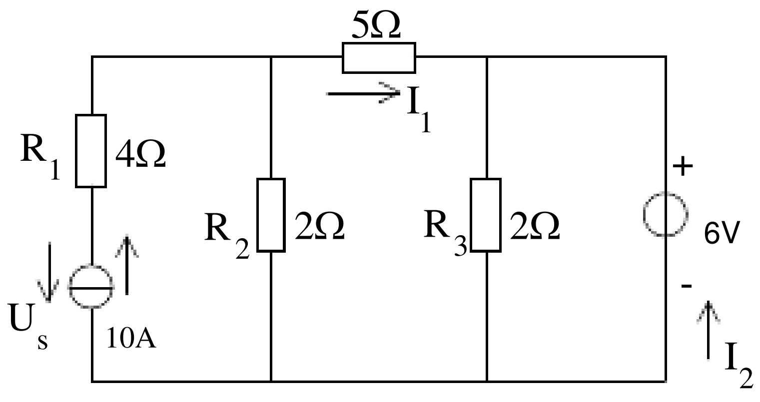


图1-1-17(a)

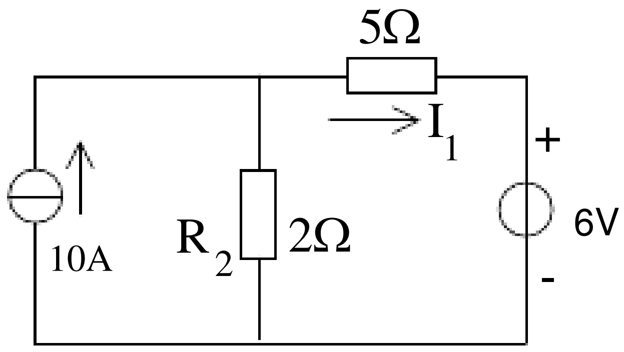


图1-1-17(b)

解 1：本题已限定方法，必须按照等效电源三步法解题思路进行。但是，根据能化简先化简的准则，图中 $R_1$ 短接，$R_3$ 开路，图 1-1-17(a)的电路就变为图 1-1-17(b)电路。

第一步：除待求 $5\Omega$，产生 ab 两点，余者为有源二端网络，如图 1-1-17(c)所示：

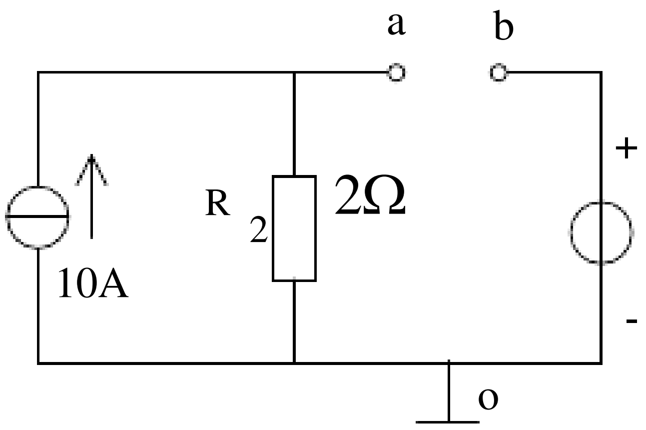


图1-1-17(c)

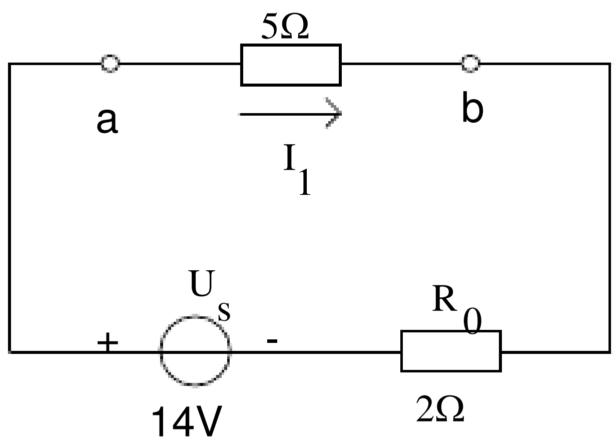


图1-1-17(d)

第二步：把有源二端网络等效为电压源[$U_{ab}$（$U_S$），$R_{ab}$（$R_0$）]

设参考点 o

则 $U_{ao}=10\times2=20(V)$

$U_{bo}=6(V)$

$U_{ab}=U_{ao}-U_{bo}=20-6=14(V)$

$R_{ab}=2(\Omega)$

画出电压源模型，如图 1-1-17（d）所示：

第三步：接进待求电阻 $5\Omega$，求出电流 I：

$$I_1=\frac{U_s}{R_0+5}=\frac{14}{7}=2(A)$$

解 2： 为了求解(2)，把 $I_1 = 2A$ 标注在原图上，如图 1-1-17(e)所示：

$$I_3 = \frac{6}{R_3} = \frac{6}{2} = 3(A)$$

由 P 点 KCL 知：

$$I_1 + I_2 = I_3$$
$$I_2 = I_3 - I_1 = 3 - 2 = 1(A)$$

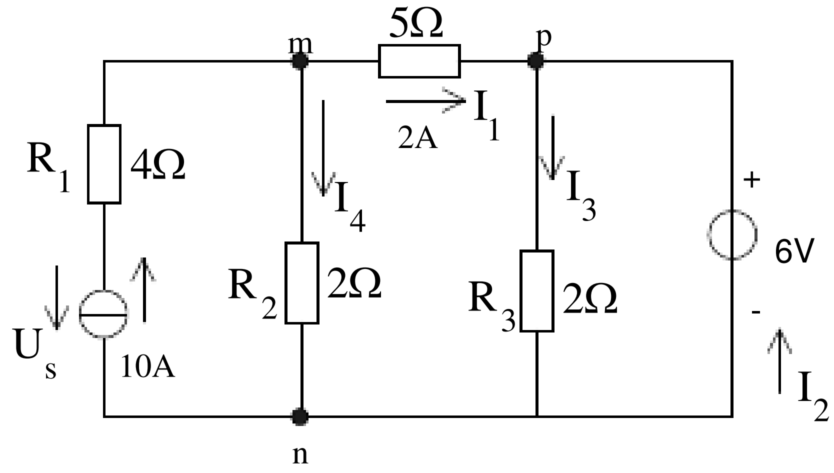



图 1-1-17(e)

解 3：由 m 点的 KCL 知：

$$10 = I_1 + I_4$$
$$I_4 = 10 - 2 = 8(A)$$
$$U_{mn} = 2 \times I_4 = 2 \times 8 = 16(V)$$

根据电压降准则：

$$U_{mn} = 4 \times (-10) + U_s$$
$$U_s = 16 + 40 = 56(V)$$

1.1.4.2 习题解答：

1-1 题～1-5 题，根据题意，画出电路，通过求解，进一步增强电源、负载、额定值的概念。

1-6：在图 1-63 中，d 点为参考点，即其电位 $V_d$=0，求 a、b、c 三点的电位 $V_a$、$V_b$、$V_c$。

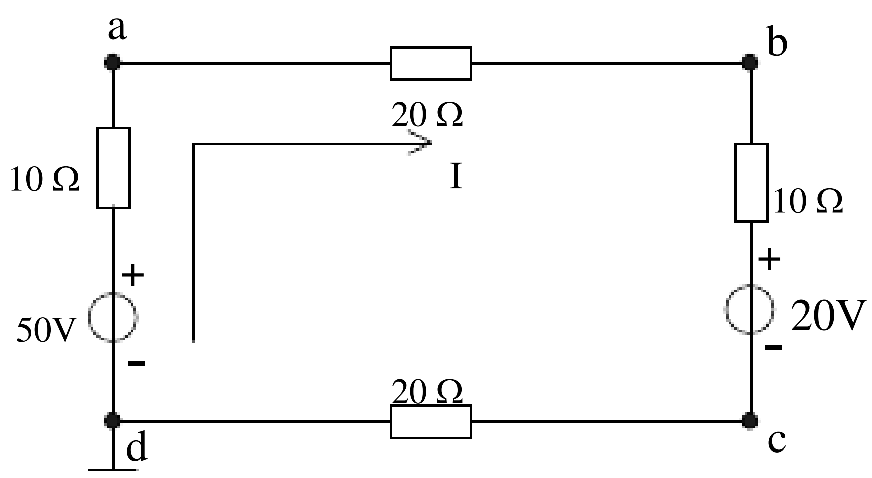



图 1-63 题1-6

解：根据电位与电压的关系：$V_a = U_{ad}, V_b = U_{bd}, V_c = U_{cd}$

要求电压：需求电流：$I = \frac{50-20}{10+20+10+20} = \frac{30}{60} = 0.5(A)$。

根据电压降准则：

$$V_a = U_{ad} = 10 \times (-I) + 50 = 10 \times (-0.5) + 50 = 45(V)$$
$$V_b = U_{bd} = 20 \times (-I) + 10 \times (-I) + 50 = 30 \times (-0.5) + 50 = 35(V)$$
$$V_c = U_{cd} = 20 \times I = 20 \times 0.5 = 10(V)$$

1-7：在图 1-64 中，已知 $R_1$= $R_2$=5 ，求电位 $V_a$、$V_b$、$V_c$。

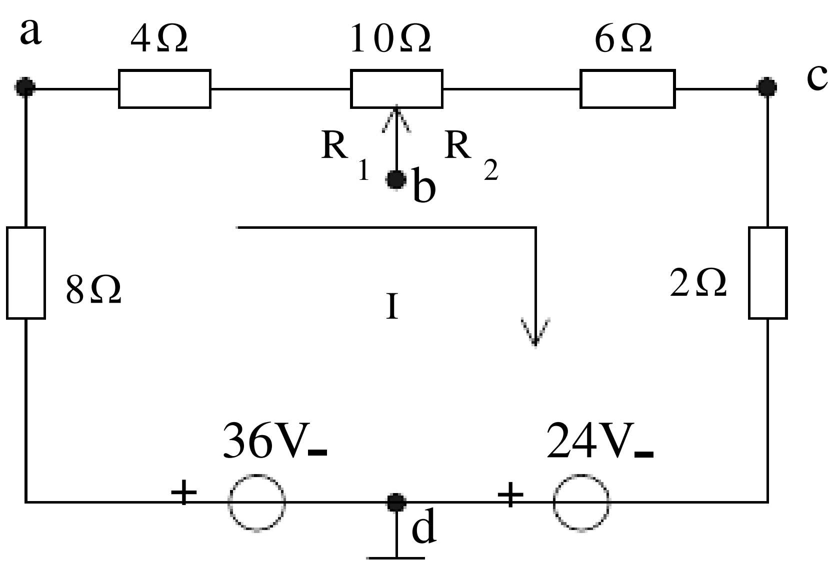


图 1-64 题1-7

解：根据电位与电压的关系：$V_a=U_{ao}$，$V_b=U_{bo}$，$V_c=U_{co}$，求电压需求电流：

$$I=\frac{36+24}{8+4+10+6+2}=\frac{60}{30}=2(A)$$ 。

根据电压降准则：

$$V_a=U_{ao}=(-I\times 8)+36=(-2\times 8)+36=20(V)。$$
$$V_b=U_{bo}=\left[-I\times(8+4+5)\right]+36=(-34)+36=2(V)。$$
$$V_c=U_{co}=(I\times 2)+(-24)=4-24=-20(V)。$$

1-8：在图 1-64 中，b 为电位器移动触点的引出端。试问 $R_1$ 和 $R_2$ 为何值时，b 点电位等于零？

解：

$$V_b=U_{bo}=0=I\times(R_2+6+2)+(-24)$$
$$R_2=(24-16)/2=4(\Omega)$$
$$R_1=10-R_2=10-4=6(\Omega)$$

1-9：求图 1-65 中的电压 $U_{ab}$

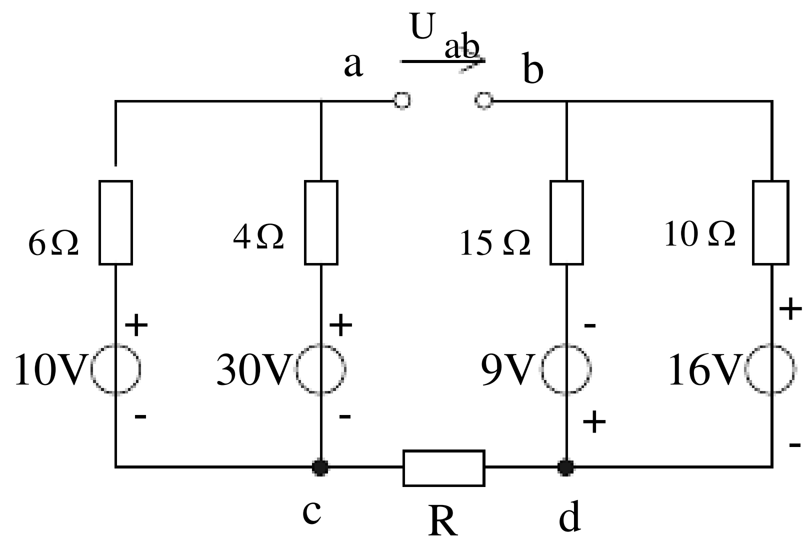


图1-65　题1-9

解：本题不限方法，首先进行化简。R 中无电流，电压降为零，图1-65 化简为图 1-65-1，设参考点 0，$U_{ab}=U_{ao}-U_{bo}$，求 $U_{ao}$。可用多种方法：

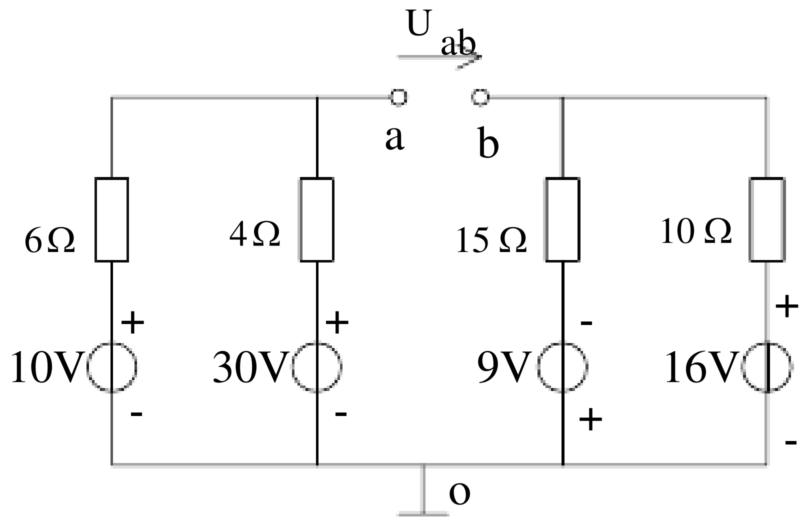



图1-65-1

(1) 叠加法求 $U_{ao}$，除源求 $R_{ao}$；

(2) 结点法求 $U_{ao}$，除源求 $R_{ao}$；

(3) 把电压源转换为电流源，电流源合并，最后把电流源再转换为电压源，如图1-65-2 所示。

(4) 用 KVL 求回路电流，再用电压降准则求出 $U_{ao}$，除源求 $R_{ao}$。

同样，用上面的思路求 $U_{bo}$，图 1-65-2 已经是简单电路了，$U_{ab}$ 不难求出。

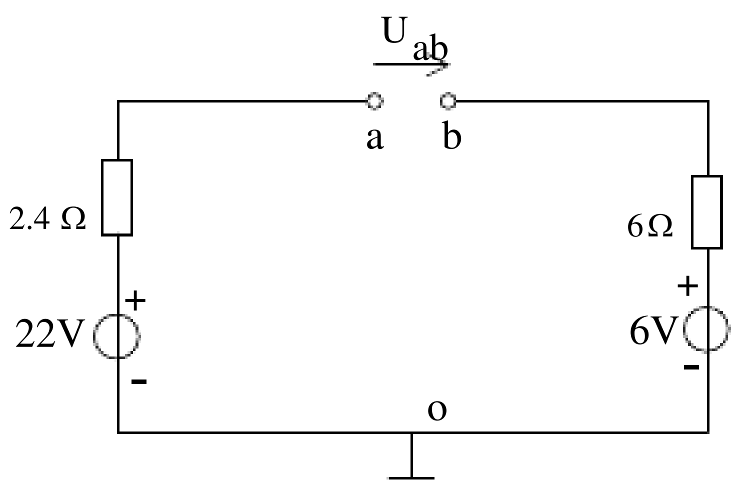



图 1-65-2

1-10：求图1-66 中的电压 $U_{cd}$。在图1-66 的 4Ω 与 6V 的连结处插入点 m，根据电压降准则：

解：

$$U_{cd} = U_{ca} + U_{am} + U_{mb} + U_{bd}$$

$$U_{ca} = 3V; U_{mb} = 6V; U_{bd} = -12V$$

$$U_{am} = 4\times I$$

$$\text{在amba回路中 } I = \frac{12-6}{8+4} = \frac{6}{12} = 0.5(A)$$

$$U_{cd} = 3+0.5\times 4+6+(-12) = \ -1(V)$$

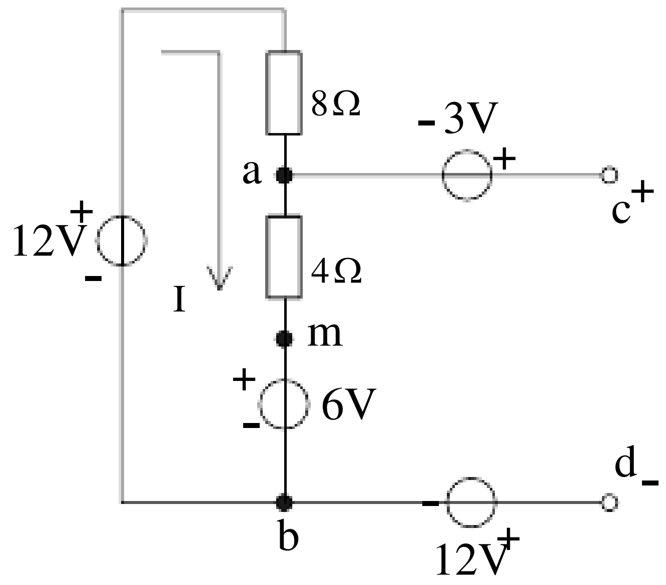



图 1-66 题1-10

1-11：求图 1-67 中两个电源的电流以及导线 ab 的电流。

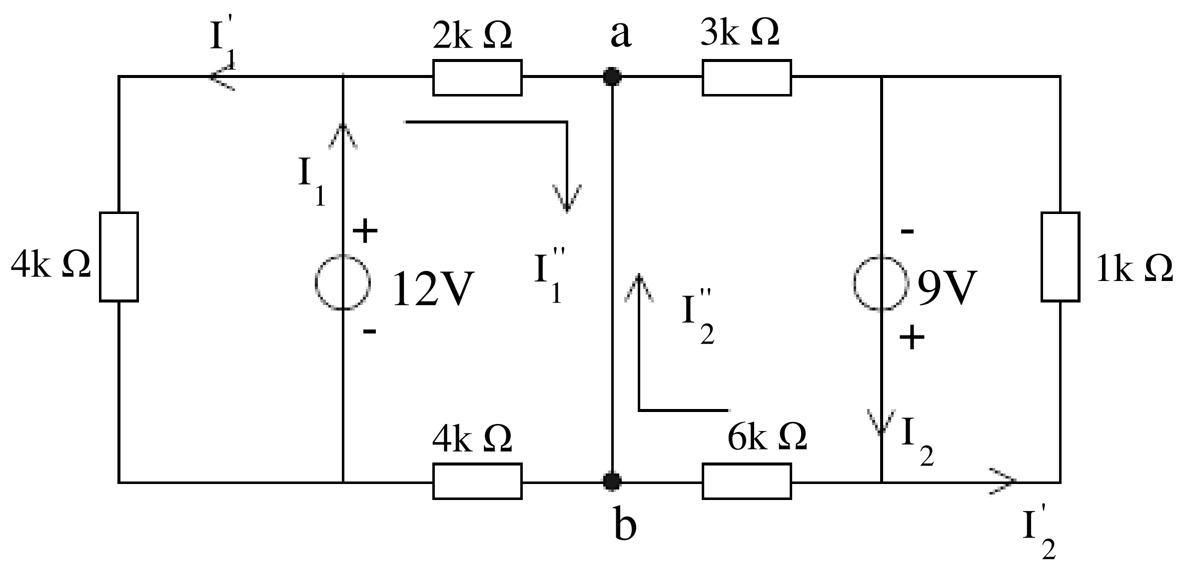



图1-67 题1-11

解：此题主要为了练习 KCL、及 KVL。$I_{ab}$的正方向是从 a 流向 b。

画出各支路电流的实际方向。

$$I'_1 = \frac{12}{4} = 3(\mathrm{mA})$$

$$I''_1 = \frac{12}{2+4} = 2(\mathrm{mA})$$

$$I_1 = I'_1 + I''_1 = 5(\mathrm{mA})$$

$$I''_2 = \frac{9}{6+3} = 1(\mathrm{mA})$$

$$I'_2 = \frac{9}{1} = 9(\mathrm{mA})$$

$$I_2 = I''_2 + I'_2 = 1 + 9 = 10(\mathrm{mA})$$

$$I_{ab} = I''_1 + I''_2 = 2 + (-1) = 1(\mathrm{mA})$$

1-12：用支路电流法求图 1-68 各支路中的电流。

解：在图上标注各支路电流正方向，插入a、b、c、d 四点，选定两个回路（两个网孔），标注回路绕行方向。

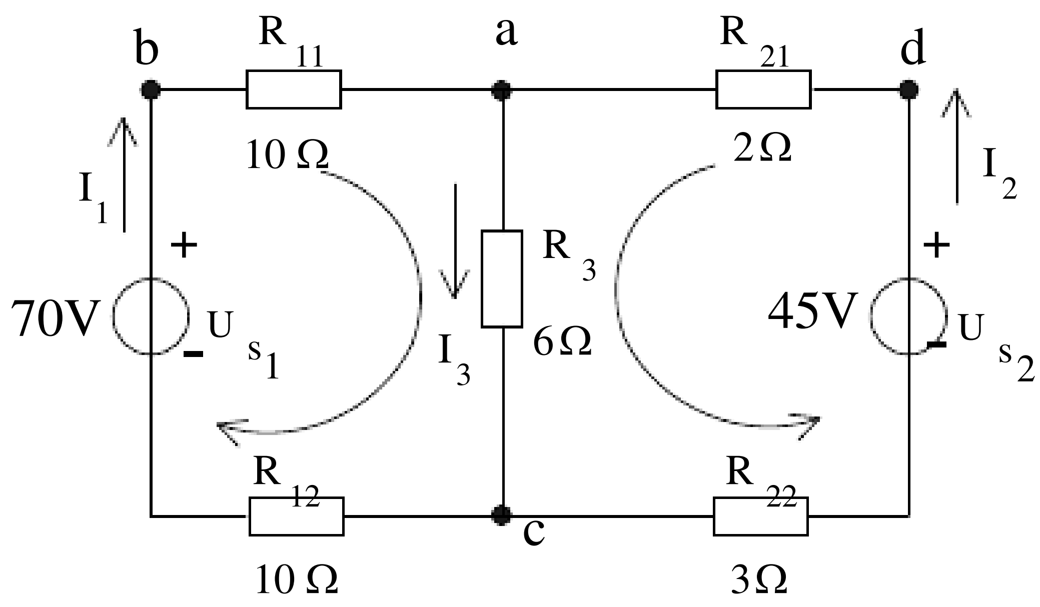



图 1-68 题1-12

列 a 结点的 KCL：$I_1 + I_2 = I_3$ ………………………………(1)

在 acba 回路：$(I_3R_3) + (I_1R_{12}) + (-U_{s1}) + (I_1R_{11}) = 0$……(2)

在 acda 回路：$(I_3R_3) + (I_2R_{22}) + (-U_{s2}) + (I_2R_{21}) = 0$……(3)

代入各电阻、电源数值。联立求解(1)(2)(3)方程得：

$I_1 = 2A,\quad I_2 = 3A\,,\quad I_3 = 5A$ 。

1-13：求图 1-69 中开关断开和闭合时的电压 $U_{ab}$。

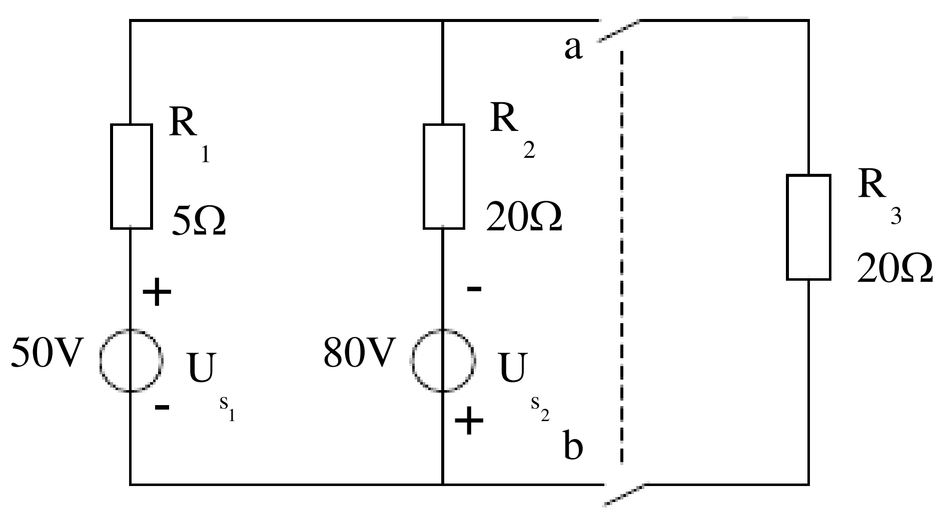



图1-69 题1-13

该题若用结点电压法求解很方便，若用其他方法求解都比结点电压法烦，比较如下：

结点法求解：

开关断开时：$U_{ab} = \dfrac{\dfrac{U_{s1}}{R_1} + \left(\dfrac{-U_{s2}}{R_2}\right)}{\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}} = \dfrac{\dfrac{50}{5} + \left(-\dfrac{80}{20}\right)}{\dfrac{1}{5} + \dfrac{1}{20}} = 24(\mathrm{V})$

开关接通时：

$$U_{ab} = \frac{\dfrac{U_{s1}}{R_1} + \left(\dfrac{-U_{s2}}{R_2}\right)}{\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3}} = \frac{\dfrac{50}{5} + \left(-\dfrac{80}{20}\right)}{\dfrac{1}{5} + \dfrac{1}{20} + \dfrac{1}{20}} = 20(\mathrm{V})$$

其他方法求解：

开关断开时： $U_{ab}=U'_{ab}+U''_{ab}$

$U_{s1}$作用，$U_{s2}$除源， $U'_{ab}=\dfrac{50}{5+20}\times 20=40(\mathrm{V})$ （方向↓）

$U_{s2}$作用，$U_{s1}$除源， $U''_{ab}=\dfrac{80}{20+5}\times 5=16(\mathrm{V})$ （方向↑）

故 $U_{ab}=40+(-16)=24(\mathrm{V})$

开关闭合时：图1-69 改画为图1-69-1

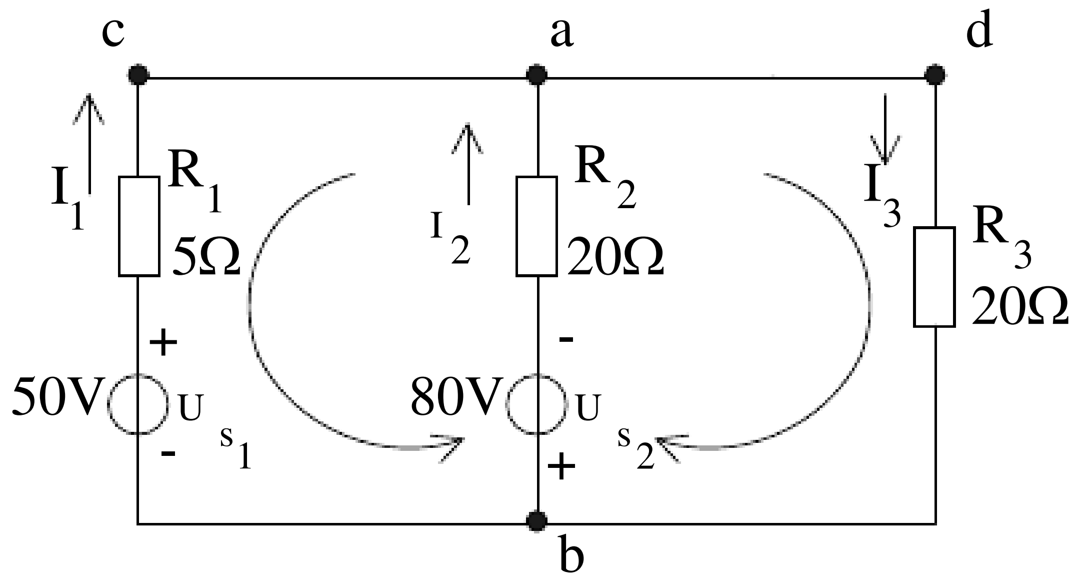



图1-69-1

在图1-69-1上标注各电流正方向并插入c、d两点。选定两个回路（两个网孔），标注回路绕行方向。

列a结点的KCL：$I_1+I_2=I_3$ ……………………………………(1)

在cbac回路中：$(\text{-}R_1)I_1+U_{s1}+U_{s2}+R_2I_2=0$ ……………(2)

在dbad回路中；$R_3I_3+U_{s2}+R_2I_2=0$ …………………(3)

代入各电阻、电源数值，联立求解(1)(2)(3)方程得：

$I_1=6\mathrm{A}$，$I_2=-5\mathrm{A}$，$I_3=1\mathrm{A}$

故：$U_{ab}=R_3I_3=1\times 20=20(\mathrm{V})$

1-14：用叠加原理求图1-68中各支路电流。

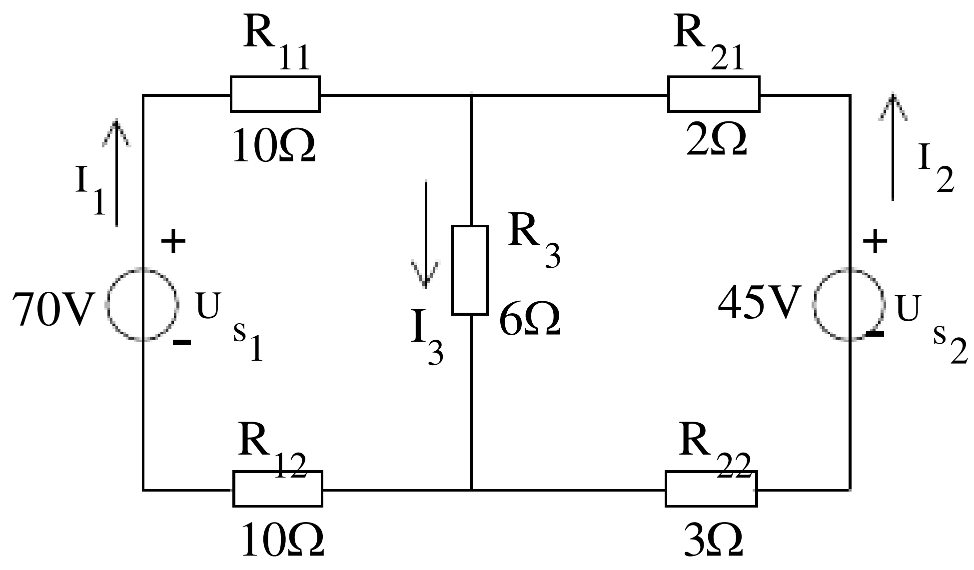



图 1-68 题1-14

解：方法已限定，只能按照叠加原理三步法进行。

第一步：在图 1-68 中，标注各支路电流的正方向：

第二步：画出两个源单独作用的分图：

$U_{s1}$作用，$U_{s2}$除源分图为 1-68-1，在分图 1-68-1 上求各分电流大小及确定各分电流实际流向。

$U_{s2}$作用，$U_{s1}$除源分图为 1-68-2，在分图 1-68-2 上求各分电流大小及确定各分电流实际流向。

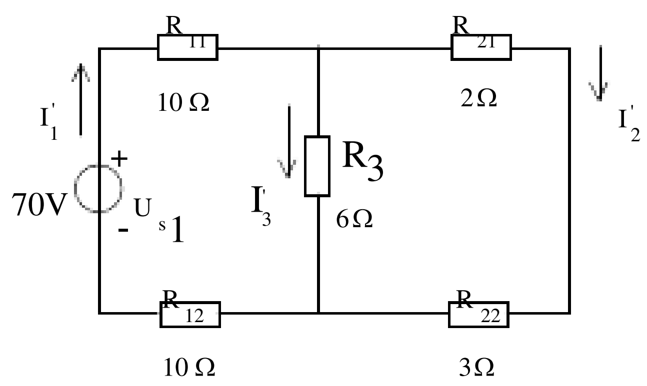



图 1-68-1

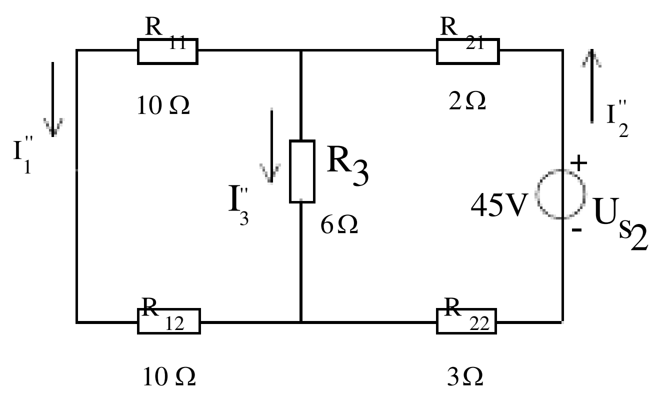



图 1-68-2

$$I'_1=\frac{70}{10+(6//5)+10}=3.08(A)。$$

$$I'_3=3.08\frac{5}{6+5}=1.4(A)。$$

$$I'_2=3.08\frac{6}{6+5}=1.68(A)。$$

$$I''_2=\frac{45}{2+(6//20)+3}=4.678。$$

$$I''_3=4.678\frac{20}{20+6}=3.6。$$

$$I'_1=4.678\frac{6}{20+6}=1.08。$$

第三步：叠加：$\boldsymbol{I_1=I'_1(\uparrow)+I''_1(\downarrow)=3.08+(-1.08)=2(A)}$

$$I_2 = I_2'(\downarrow) + I_2''(\uparrow) = (-1.68) + 4.68 = 3(A)$$

$$I_3 = I_3'(\downarrow) + I_3''(\downarrow) = 1.4 + 3.6 = 5(A)$$

1-15：此题与 1-14 基本相同，方法已限定，只能按照叠加原理三步法进行。

第一步：待求电流的正方向已经给出，无须假设。

第二步：画出两个源单独作用的分图，在各分图上，求各分电流的大小及确定各分电流实际流向

30V 作用，90V 除源：$\mathbf{I'} = \mathbf{1A}\ (\rightarrow)$

90V 作用，30V 除源：$\mathbf{I''} = \mathbf{3A}\ (\leftarrow)$

第三步：叠加 $I = I' + I'' = 1 + (-3) = -2(A)$

1-16：用电源变换法求图 1-71 中的电流 I。

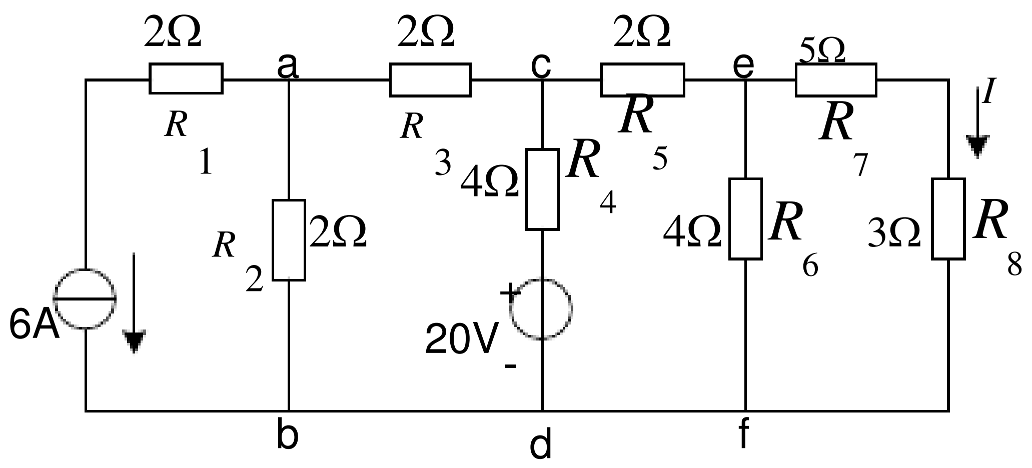



图 1-71 题 1-16

解：此题方法已限，尽管元件多，支路多，但可以逐步化简，化简准则见前述。

为了说明方便，在图 1-71 上标注电阻代号。

（1）$R_1$ 对 6A 而言可短接之，6A 与 $R_2$ 的并接可变换为电压源。如图 1-71-1 所示。

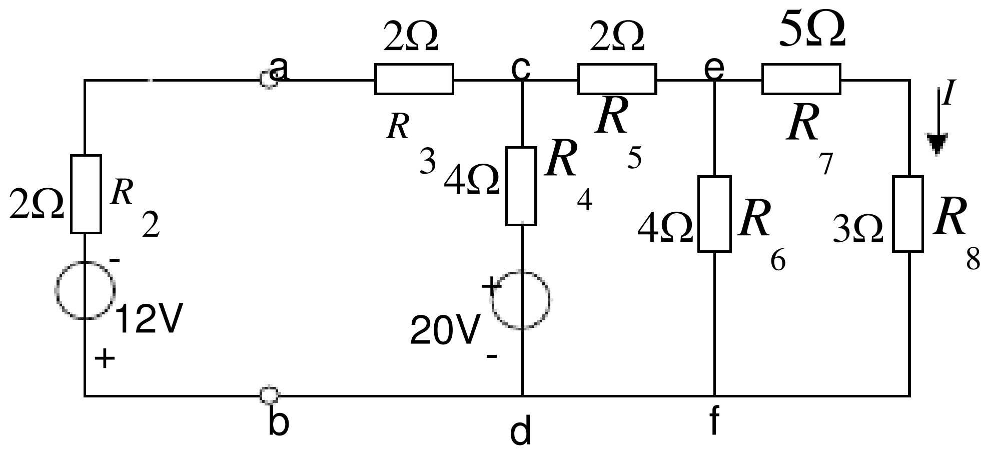



图 1-71-1

（2）$R_2$ 与 $R_3$ 相加，把电压源用电流源换之，$R_4$ 与 20V 也用电流源换之，如图 1-71-2 所示：

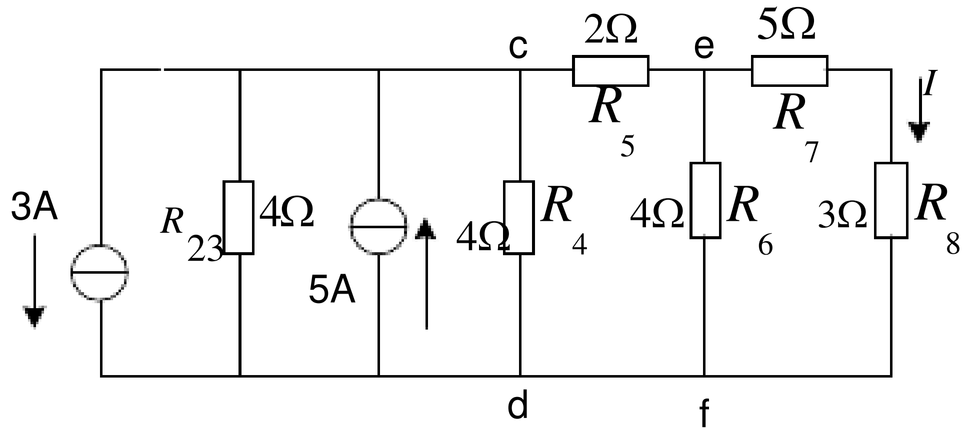



图 1-71-2

（3）电流源代数相加，$R_{23}$ 与 $R_4$ 并联，如图 1-71-3 所示：

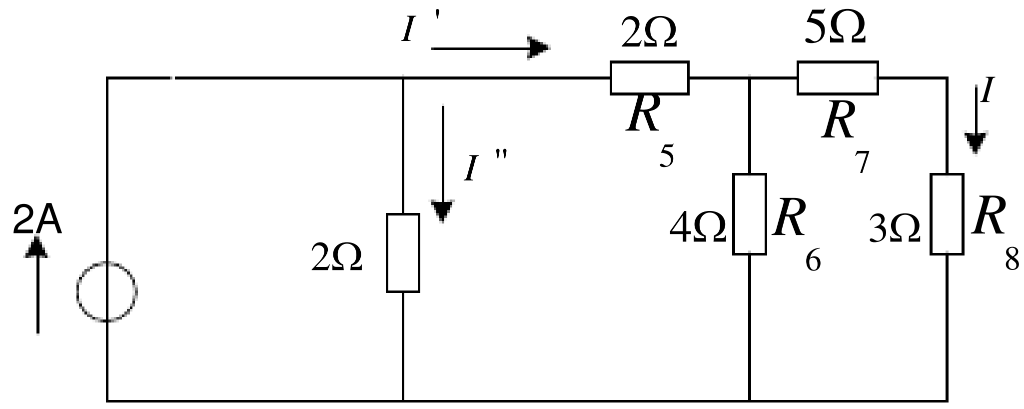



图 1-71-3

利用分流公式求出 $I'$：$I'=2\dfrac{2}{2+\left[2+4//(5+3)\right]}=0.6$（A）

再利用一次分流公式求出 I： $I=I'\dfrac{4}{4+8}=0.6\dfrac{4}{12}=0.2$（A）

1-17 用电源变换法求图 1-72 中的电压 $U_{cd}$

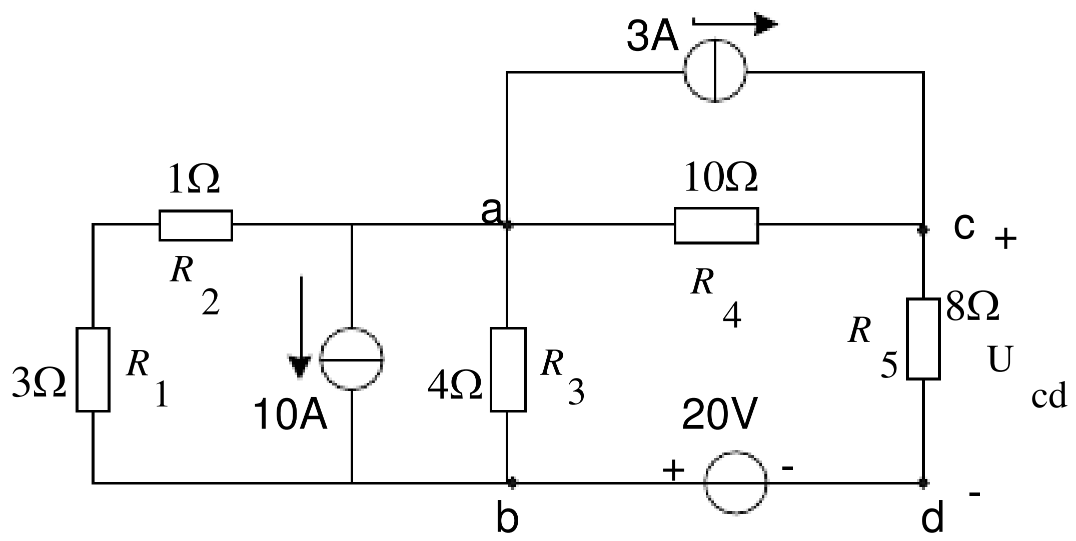



图 1-72 题 1-17

解：此题与 1-16 题相似，方法限定，元件多，支路多，使用化简准则逐步化简。为说明方便，在图上标注元件代号。

（1）处理 $R_1$、$R_2$ 及 $R_3$：$R'=(R_1+R_2)//R_3=2\Omega$

图 1-72 变为图 1-72-1；

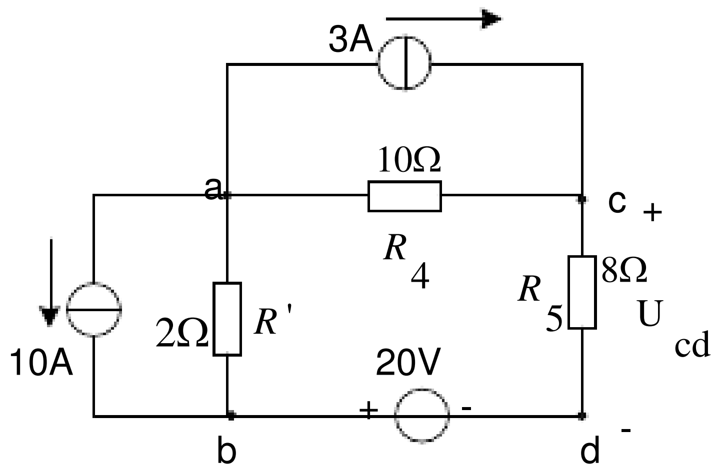



图 1-72-1

（2）把 10A、2Ω及 3A、10Ω 两个电流源转换为电压源，如图 1-72-2 所示：

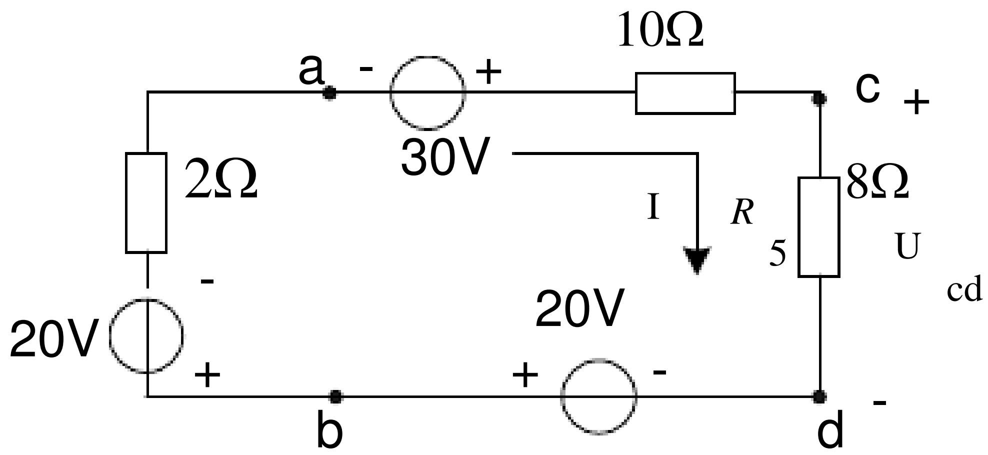



图 1-72-2

（3）图 1-72-2 电路，已经变为简单电路，根据 KVL：

$$I=\frac{30+20-20}{10+2+8}=\frac{30}{20}=1.5\ (A)$$

（4）求 $U_{cd}$： $U_{cd}=R_5 I=1.5\times 8=12$ （V）

1-18 用戴维宁定理求图 1-73 中电流 $I_0$

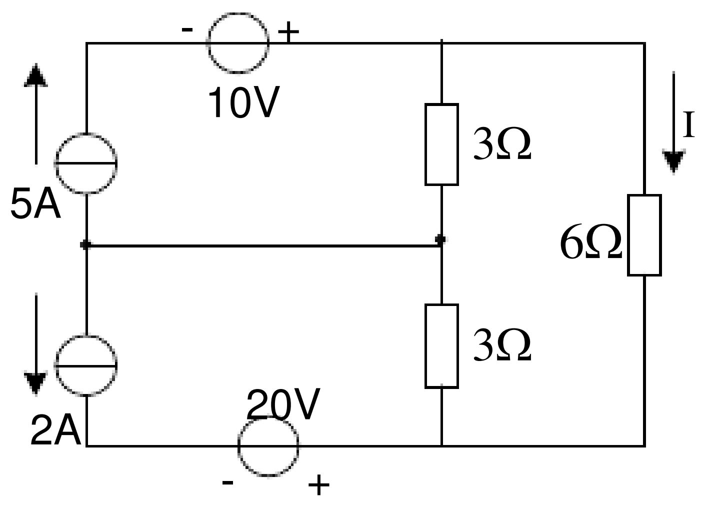



图 1-73 题 1-18

解：按照等效电源解题三步法：

第一步：除待求支路（6Ω）产生 a，b 两点，余者为有源二端网络如图 1-73-1 所示。

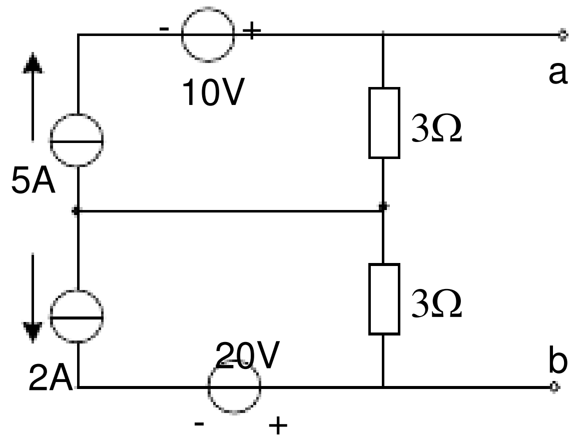



图 1-73-1

第二步：把有源二端网络等效为电压源［$U_S=U_{ab}$；$R_o=R_{ab}$］，根据化简准则④（电压源除之），图 1-73-1 变为图 1-73-2，把（5A、3 ）、（2A、3 ）分别化为电压源，合并后如图 1-73-3 所示。

在图 1-73-3 中，$U_{ab}$=15−6=9（V），$R_{ab}$=3+3=6（ ），画出电压源的模型，如图 1-73-4 所示。

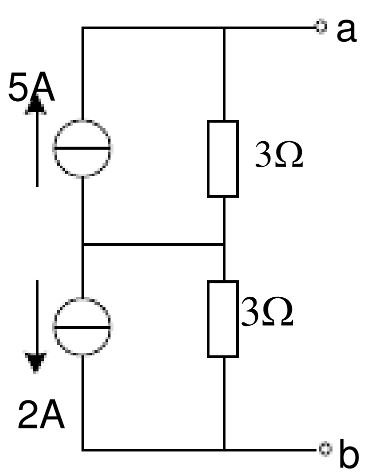



图1-73-2

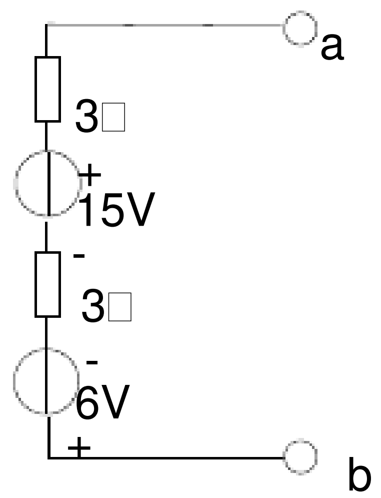



图1-73-3

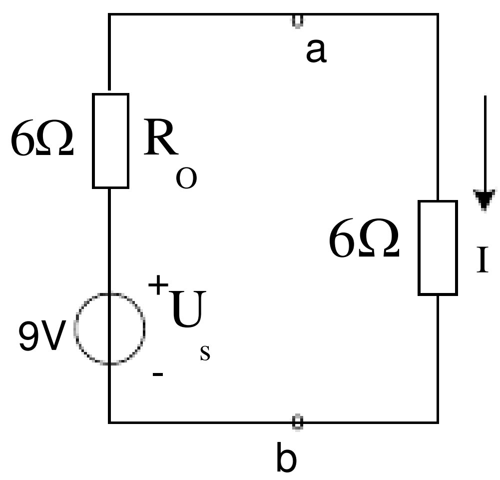



图1-73-4

第三步：接进待求支路（6Ω），求出电流 I：

$$I=\frac{9}{6+6}=0.75(A)$$

注：也可以用叠加原理求 $U_{ab}$：

$$U_{ab}=U_{ab}'+U_{ab}''+U_{ab}'''+U_{ab}''''$$

1-19：用戴维南定理求图 1-74 中电流 I 。

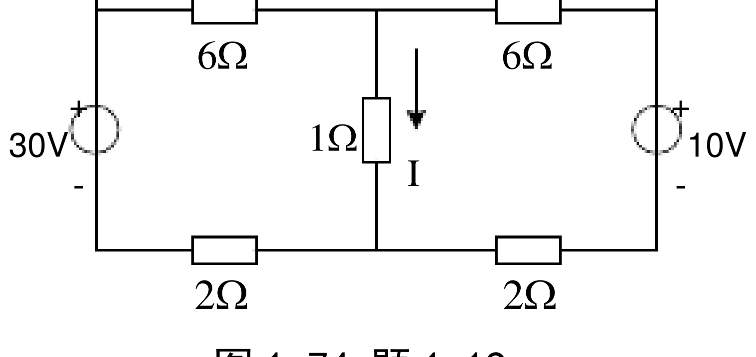



图 1-74 题 1-19

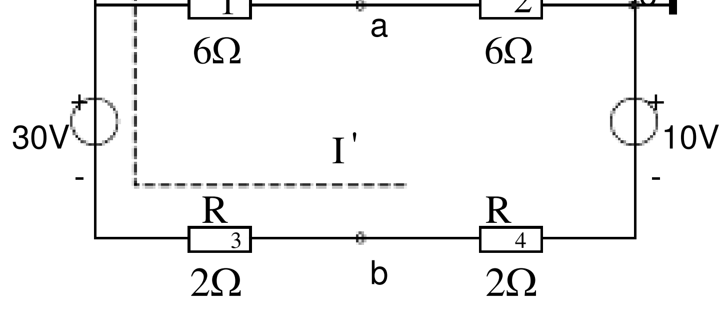



图 1-74-1

解：按照等效电源解题三步法求解如下：

第一步：移去待求支路（1Ω），产生 a，b 两点，余者为有源二端网络如图 1-74-1 所示。
第二步：把有源二端网络等效为电压源模型 [$U_{ab}=U_s$；$R_{ab}=R_0$]。为方便说明，在图 1-74-1 上标注电阻代号。
（1）$U_{ab}=U_{ao}-U_{bo}$，欲求 $U_{ao}$、$U_{bo}$，关键是合理选择参考点位置，设 0 点为参考。

$$U_{ao}=\frac{12}{R_1+R_2}\times R_2=\frac{12}{6+6}\times 6=6(V)$$

要求 $U_{bo}$，必求通过 $R_4$ 的电流 I′，求电流需找回路，在 bob 回路中。

$$I'=\frac{30-10-12}{R_3+R_4}=\frac{8}{4}=2(A)$$

$U_{bo}$= -I′ $R_5$-10= -14（V） （电压降准则）
故：$U_{ab}$= $U_{ao}$—$U_{bo}$=6—(-14)=20（V）
（2）除源求 $R_{ab}$ $R_{ab}=(R_1//R_2)+(R_3//R_4)$=（6//6）+(2//2)=4（Ω）
画出实际电压源模型 [$U_{ab}=U_s$；$R_{ab}=R_0$]，如图 1-74-2 所示：

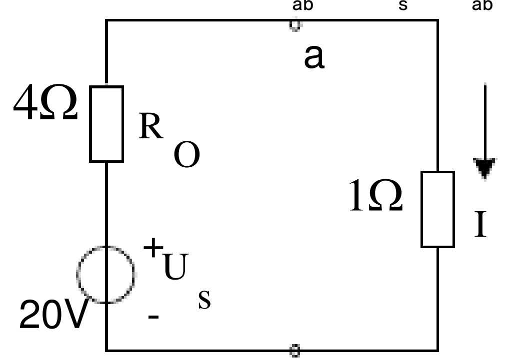



图 1-74-2

第三步：接进待求（1 ），求出电流 I ： $I=\frac{20}{4+1}=4$（A）

1-20：在图 1-75 中，已知 I=1A，用戴维南定理求电阻 R 。

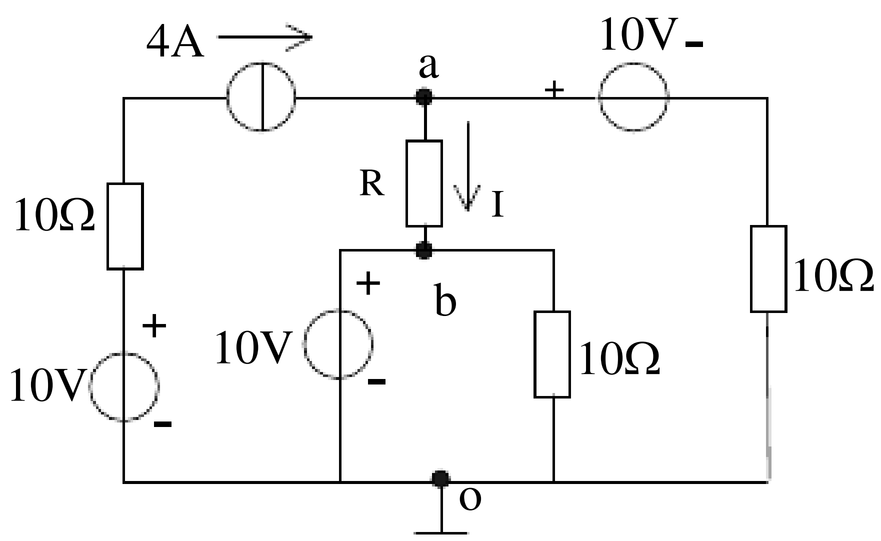



图 1-75 题 1-20

解：按照等效电源，解题三步法：
第一步：移去待求支路 R，产生 a，b 两点，余者为有源网络，如图 1-75-1 所示：
第二步：把有源二端网络等效为电压源[$U_S=U_{ab}$，$R_0=R_{ab}$]。
（1）$U_{ab}=U_{ao}-U_{bo}$，欲求 $U_{ao}$、$U_{bo}$，关键是合理选择参考点位置，设 0 点为参考。

$$\mathbf{U_{ao}=10+4\times10=50(V)}$$
$$\mathbf{U_{bo}=10(V)}$$
$$\mathbf{U_{ab}=U_{ao}-U_{bo}=50-10=40(V)}$$

（2）除源求 $R_{ab}$ ；$R_{ab}$=10（ ）

画出电压源模型[$U_S=U_{ab}$，$R_0=R_{ab}$]，如图 1-75-2 所示：

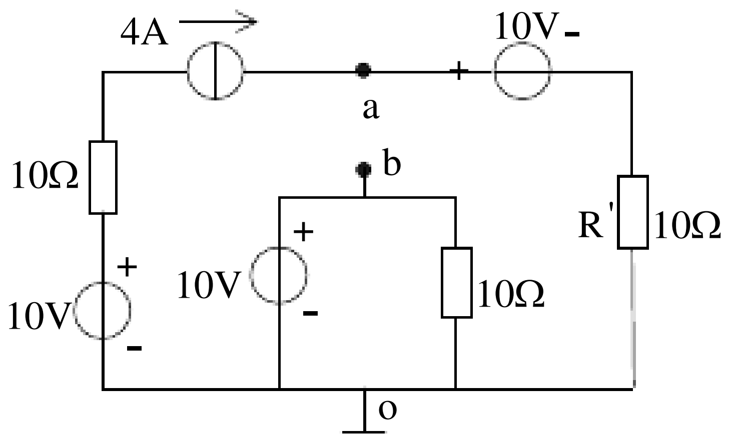



图 1-75-1

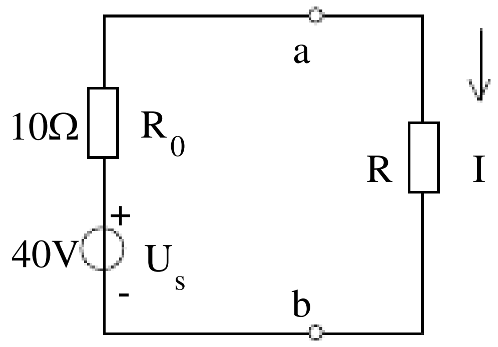



图1-75-2

第三步：接进待求支路 R，由已知电流求出电阻 R 值：

$$I=\frac{40}{R_0+R}=1(A) \qquad 故：R=40-10=30（\quad）$$

## 1.2 电路的暂态分析

1.2.1 基本要求

（1） 了解经典法分析一阶电路暂态过程的方法。

（2） 掌握三要素的含义，并用之分析 $R_C$、$R_L$ 电路暂态过程中电压、电流的变化规律。

（3） 了解微分电路和积分电路。

1.2.2 基本内容

1.2.2.1 基本概念

1. 稳态与暂态

（1） 稳态。电路当前的状态经过相当长的时间（理想为无穷时间）这种状态叫稳态。

（2） 暂态。电路由一种稳态转换到另一种稳态的中间过程叫暂态过程（过渡过程）。

暂态过程引起的原因：

① 电路中存在储能元件 L、C 是**内因**$\left[\omega_L=\frac{1}{2}L i_L^2 、\omega_C=\frac{1}{2}C u_C^2\right]$：

② 电路的结构、元件参数、电源强度、电路通断突然变化统称换路，换路是**外因**。

说明： 换路瞬间记为 t=0，
换路前瞬间记为 t=($0_-$)，
换路后瞬间记为 t=($0_+$)。

2. 初始值、稳态值（终了值）

（1） 初始值：换路后瞬间（t=($0_+$)）各元件上的电压、电流值。

（2） 稳态值：换路后，经 t=∞时间各元件上的电压、电流值。

3. 一阶电路

仅含一个储能元件和若干电阻组成的电路，其数学模型是一阶线性微分方程。

1.2.2.2 换路定律

在换路瞬间（t=0），电感器中的电流和电容器上的电压均不能突变，其数学表达式为：

$$U_C(0_+)=U_C(0_-)\ ; \qquad i_L(0_+)=i_L(0_-)$$

注：（1）$U_C(0_+)$，$i_L(0_+)$是换路后瞬间电容器上的电压、电感器中的电流之值。
$U_C(0_-)$，$i_L(0_-)$是换路前瞬间电容器上的电压、电感器中的电流之值。

（2）换路前若 L、C 上无储能，则 $U_C(0_-)=0$，$i_L(0_-)=0$ 称为零状态。零状态下，电源作用所产生的结果，从零值开始，按指数规律变化，最后到达稳态值。

$U_C(0_-)=0$，视电容为短路：$i_L(0_-)=0$，视电感为开路。

（3）换路前若 L、C 上已储能，则 $U_C(0_-)\neq0$，$i_L(0_-)\neq0$，称为非零状态。非零状态下，电源作用所产生的结果，依然按指数规律变化，然而，不是从零开始，而是从换路前 $U_C(0_-)$；$i_L(0_-)$ 开始，按指数规律变化，最后到达稳态。

1.2.2.3 电路分析基本方法

1. 经典法分析暂态过程的步骤

（1）按换路后的电路列出微分方程式：

（2）求微分方程的特性，即稳态分量：

（3）求微分方程的补函数，即暂态分量：

（4）按照换路定律确定暂态过程的初始值，从而定出积分常数。

2. 三要素法分析暂态过程的步骤

三要素法公式：$f(t)=f(\infty)+\left[f(0_+)-f(\infty)\right]e^{-\frac{t}{\tau}}$。

**注：**（1）求初始值 $f(0_+)$：

① $f(0_+)$ 是换路后瞬间 $t=(0_+)$ 时的电路电压、电流值。

② 由换路定律知 $u_c(0_+)=u_c(0_-)$，$i_L(0_+)=i_L(0_-)$，利用换路前的电路求出 $u_c(0_-)$、$i_L(0_-)$，便知 $u_c(0_+)$、$i_L(0_+)$。

（2）求稳态值 $f(\infty)$：

① $f(\infty)$ 是换路后电路到达新的稳定状态时的电压、电流值。

②在稳态为直流的电路中，处理的方法是：将电容开路,电感短路；用求稳态电路的方法求出电容的开路电压即为 $u_C(\infty)$，求出电感的短路电流即为 $i_L(\infty)$。

（3）求时间常数 τ

① τ 是用来表征暂态过程进行快慢的参数 τ 愈小，暂态过程进行得愈快。当 t=(3~5) τ 时，即认为暂态过程结束。

②电容电阻电路：τ=R·C=欧姆·法拉=秒。

电感电阻电路：$\tau=\dfrac{L}{R}=\dfrac{H}{\Omega}=t(秒)$。

1.2.3 **重点与难点**

1.2.3.1 **重点**

（1）理解掌握电路暂态分析的基本概念。

（2）理解掌握换路定律的内容及用途。

（3）理解掌握三要素法分析求解 RC、RL 一阶电路的电压、电流变化规律。如何确定不同电路、不同状态下的 $f(\infty)$、$f(0_+)$ 及 τ 是关键问题。

（4）理解掌握时间常数 τ 的物理意义及求解。

（5）能够用前面讲过的定律、准则、方法处理暂态过程分析、计算中遇到的问题。

1.2.3.2 **难点**

（1）非标准电路的时间常数 τ 中的 R 是从电容 C（电感 L）两端看进去的除源后的电阻

（2）R 不是储能元件，但求暂态电路中的 $i_R(t)$ 时，依然要从求 $u_C(t)$、$i_L(t)$ 出发，借助 KVL 定律，便可求之。

（3）双电源电路的分析计算

（4）双开关电路的分析计算

（5）电感中电流不突变，有时可用电流源模型代之，电容电压不突变，有时可用电压源模型代之，便于分析求解。

1.2.4 例题与习题解答

1.2.4.1 例题：

例 1-10：在图 1-18（a）中，已知电路及参数，并已处稳态，t=0 时开关 S 闭合，求 t>0 的 $u_c(t)$、$i_2(t)$、$i_3(t)$，并绘出相应的曲线。

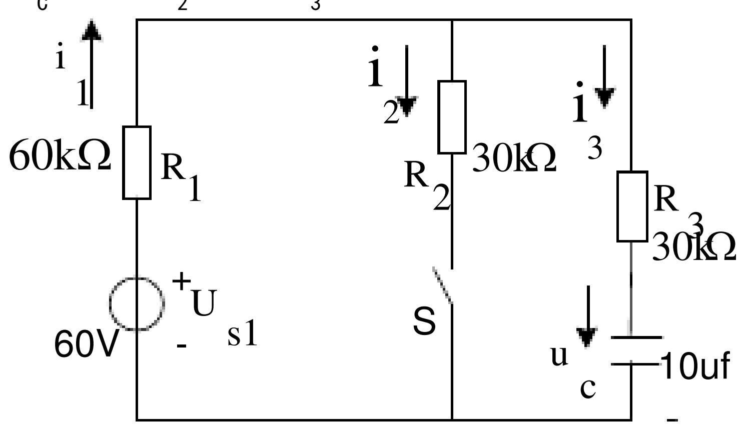


图 1-18（a）

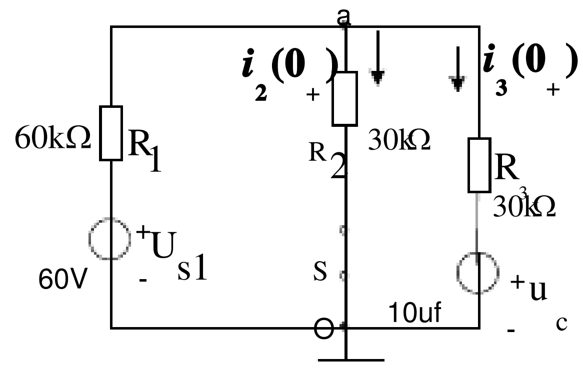


图 1-18（b）t=（$0_+$）的等效电路

解：因为 $f(t)=f(\infty)+[f(0_+)-f(\infty)]e^{-t/\tau}$中，只要分别求出 $f(\infty)$、$f(0_+)$、τ 三个要素，代入公式，不难求出 f(t) 。

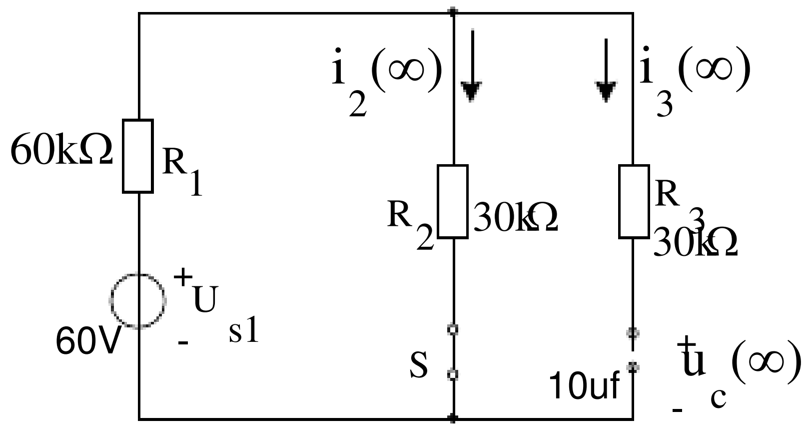


图 1-18（c）：t=∞的等效电路

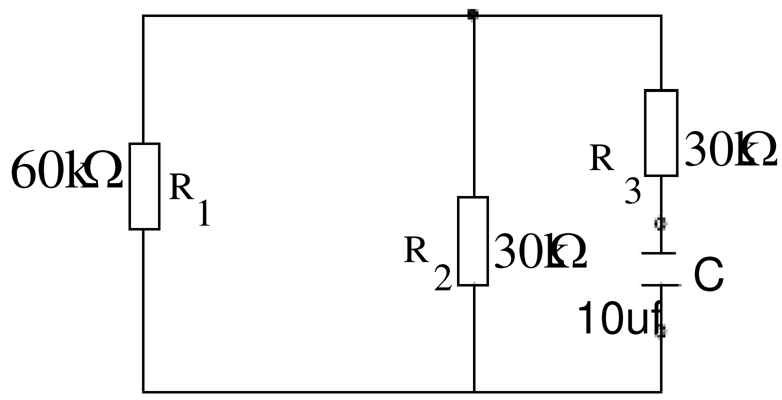


图 1-18（d）：除源后的电路

因为开关 S 未闭合前，电容充电完毕，故 $u_c(0_-)= U_{s1}$=60（V）[见图 1-18（a）]

（1）求 $u_c(0_+)$、$i_2(0_+)$、$i_3(0_+)$

由换路定律知：$u_c(0_+)= u_c(0_-)$=60V；

画出 t=（$0_+$）的等效电路，如图 1-18（b）所示；

应用结点电压法可以求出：

$$u_{ao}(0_+)=\frac{\frac{U_{s1}}{R_1}+\frac{U_{C(0+)}}{R_3}}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}}=\frac{\frac{60}{60}+\frac{60}{30}}{\frac{1}{60}+\frac{1}{30}+\frac{1}{30}}=36\text{（V）}$$

$$\text{则 } i_2(0_+)=\frac{u_{ao}}{R_2}=\frac{36}{30}=1.2\text{（mA）}$$

$$i_3(0_+)=\frac{u_{ao}-u_{C(0_+)}}{R_3}=\frac{36-60}{30}=\frac{-24}{30}=-0.8(mA)$$

（2）求 $u_c(\infty)$、$i_2(\infty)$、$i_3(\infty)$

t=∞，新稳态等效电路如图 1-18（c）所示：

$$u_c(\infty)= =\frac{U_{s1}}{R_1+R_2}\times R_2=\frac{60}{60+30}\times 30=20\text{（V）}$$

$i_2(\infty)=\dfrac{U_{s1}}{R_1+R_2}=\dfrac{60}{60+30}$=0.66（mA）

$i_3(\infty)$=0（mA）

（3）求换路后的时间常数τ

τ=R·C，其中R是除源后从电容C的两端看进去的电阻，如图1-18（d）所示：

$\tau=[(R_1/\!/R_2)+R_3]\cdot C=[20+30]\times10^3\times10\times10^{-6}=0.05$（S）

(4)把$f(0_+)$、$f(\infty)$及τ代入三要素公式，即：

$u_C(t)=u_C(\infty)+[u_C(0_+)-u_C(\infty)]e^{-t/\tau}=20+[60-20]e^{-t/0.05}=20+40e^{-t/0.05}$（V）

$i_2(t)=i_2(\infty)+[i_2(0_+)-i_2(\infty)]e^{-t/\tau}=0.66+[1.2-0.66]e^{-t/0.05}=0.66+0.54e^{-t/0.05}$（mA）

$i_3(t)=i_3(\infty)+[i_3(0_+)-i_3(\infty)]e^{-t/\tau}=0+[-0.8-0]e^{-t/0.05}=-0.8e^{-t/0.05}$（mA）

（5）画出$u_C(t)$、$i_2(t)$及$i_3(t)$曲线，如图1-18（e）所示。

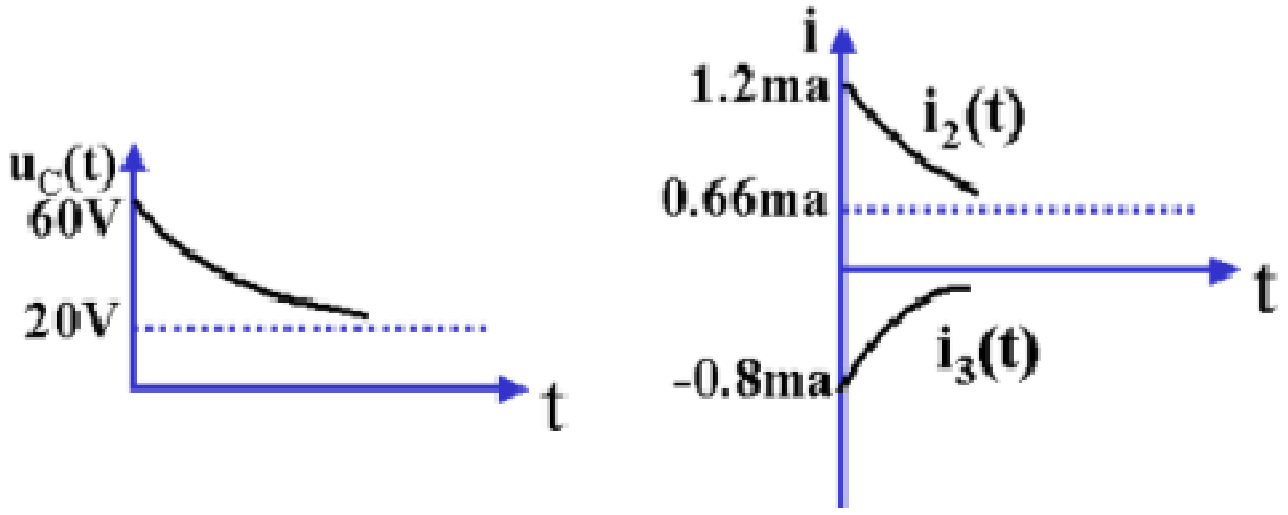



图1-18（e）

例1-11 已知电路及参数如图1-19(a)，t=0时$S_1$闭合，t=0.1秒时$S_2$也闭合，求$S_2$闭合后的电压$u_R(t)$，设$u_C(0_-)$=0。

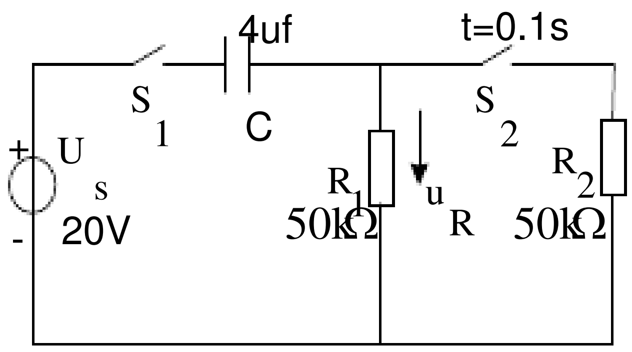



图1-19（a）

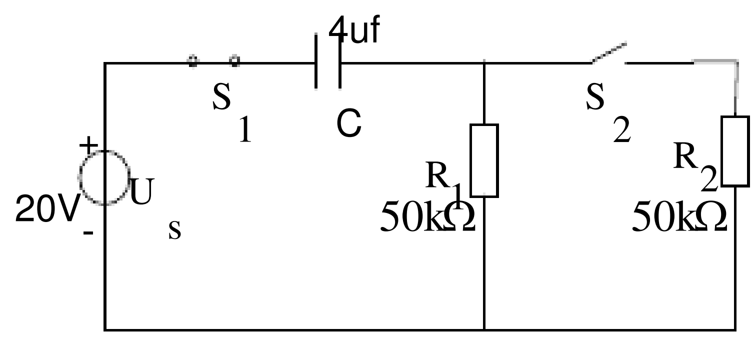



图1-19（b）

解：本题是双开关类型题目，用三要素法求解如下：

（1）当$S_1$闭合$S_2$分开时，电路如图1-19（b）。

$u'_c$的初始值为：$u'_c(0_+)=u_c(0_-)$=0

$u'_c$的稳态值为：$u'_c(\infty)$=20（V）

时间常数τ′为：$\tau'=R\cdot C=50\times10^3\times4\times10^{-6}=0.2$（s）

故$u'_c(t)=u'_c(\infty)+[u'_c(0_+)-u'_c(\infty)]e^{-t/\tau'}=20+[0-20]e^{-\frac{t}{0.2}}=20(1-e^{-5t})$（V）

当$t_1$=0.1秒时，$u'_c$的值为：$u'_c(0.1)=20(1-e^{-5\times0.1})$=7.87（V）

（2）当 $S_1$ 闭合 0.1 秒后，$S_2$ 也闭合时电路如图 1-19（c）：

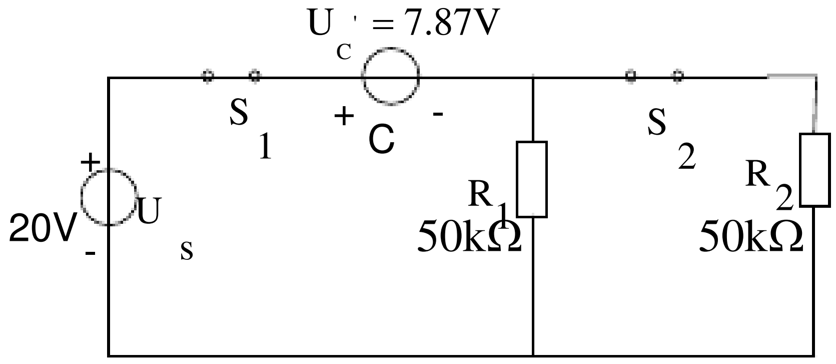



图 1-19-（C）

为了求 $u_R(t)$，首先求 $u''_c(t)$

$u''_c$ 的初始值为：$u''_c(0_+)=u'_c(0.1)=7.87$（V）

$u''_c$ 的稳态值为：$u''_c(\infty)=20$（V）

时间常数为：$\tau''=(R/\!/R)\cdot C=25\times10^3\times4\times10^{-6}=0.1$（S）

若令 $t'=t-t_1$，则 $t=t_1$ 换路时刻即认为 $t'=0$

$u''_c(t)=u''_c(\infty)+[u''_c(0_+)-u''_c(\infty)]e^{-t'/\tau''}=20+(7.87-20)e^{-\frac{t-0.1}{0.1}}=20-12.13e^{-10(t-0.1)}$（V）

则 $u_R(t)=U-u''_c(t)=20-(20-12.13e^{-10(t-0.1)})=12.13e^{-10(t-0.1)}$（V）

注：也可以用三要素法直接求 $u_R(t)$。

$u_R(0_+)=i_R(0_+)R=\dfrac{20-7.87}{50/\!/50}\times\dfrac{50\times50}{50+50}=12.13$（V）

$u_R(\infty)=i_R(\infty)\cdot R=0\times50=0$（V）

$\tau=(R/\!/R)\cdot C=0.1$（S）

则 $u_R(t)=12.13e^{-10(t-0.1)}$（V）

例 1-12：已知电路及参数，$u_C(0_-)=0$，如图 1-20 所示：

（1）求 S 切向 A 的 $u_C(t)$ 表达式。

（2）求经过 0.1s 再切向 B 的 $i(t)$ 表达式。

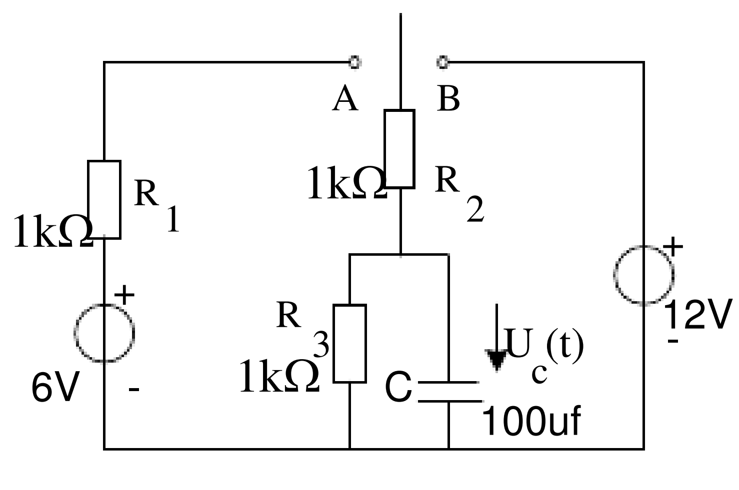



图 1-20

本题是双电源类型题目，用三要素法求解如下：

解（1）：S 切向 A 时的 $u_C(t)$ 表达式：

$u_c$ 的初始值为：$u_c(0_+)=u_c(0_-)=0$

$u_c$的稳态值为：$u_c(\infty)=\dfrac{6}{R_1+R_2+R_3}\times R_3=\dfrac{6}{1+1+1}\times 1=2$（V）

时间常数为：$\tau_1=[R_3 /\!/ (R_1+R_2)]\times 10^3\times 100\times 10^{-6}=\dfrac{2}{3}\times 10^{-1}$（S）

故：$u_c(t)=u_c(\infty)+[u_c(0_+)-u_c(\infty)]e^{-t/\tau_1}=2(1-e^{-15\times t})$ v　（$0\leqslant t<0.1$）（S）

解（2）：S 切向 B 时的 i(t)表达式，根据换路定律：

$U_C(0_+)=U_C(0_-)=u_C(0.1)=2(1-e^{-15\times 0.1})=1.55$（V）

$i(t_{1+})=\dfrac{12-1.55}{R_2}=\dfrac{12-1.55}{1}=10.45$（mA）

$i(\infty)=\dfrac{12}{R_2+R_3}=\dfrac{12}{2}=6$（mA）

$\tau_2=(R_3 /\!/ R_2)\cdot C=(1 /\!/ 1)\times 10^3\times 100\times 10^{-6}=0.5\times 10^{-1}$（S）

故 $i(t')=i(\infty)+\left[i(t_{1+})-i(\infty)\right]e^{-\frac{t'}{\tau_2}}=6+4.45\,e^{-20(t-0.1)}(mA)(t\geq 0.1s)$

例 1-13：在图 1-21(a)中，已知电路及元件参数，t<0 时，电路已处于稳定状态，t=0 时，开关闭合，求 $i_L(0_+)$，$i_C(0_+)$，$u_C(0_+)$，$u_L(0_+)$。

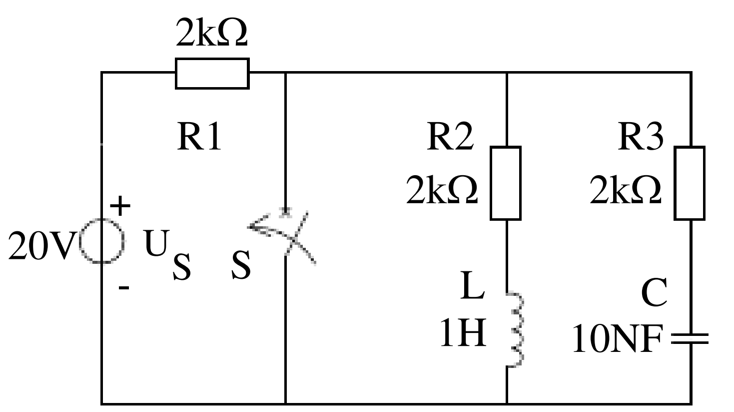



图1-21(a)

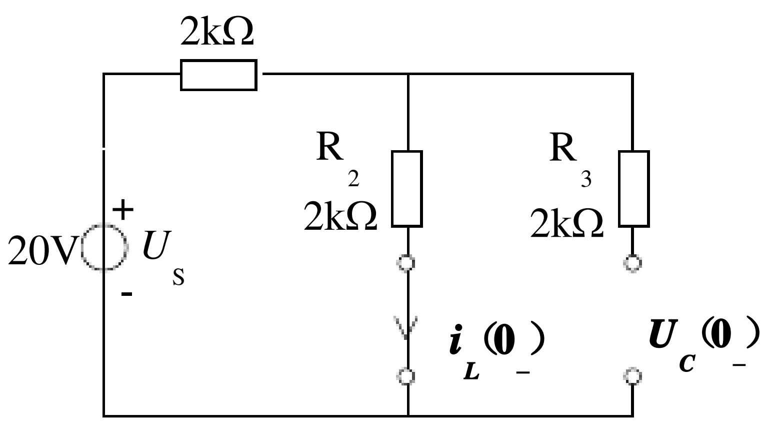



图1-21(b)

解;(1) 题目中所求的四个量是换路后的，根据换路定律，要求换路后的必知换路前的。根据题意，换路前电路已处稳态，这个稳态是旧稳态。既然是旧稳态，L 视为短接，C 视为开路。等效电路如图 1-21(b)所示。

**注：**这时的 $i_L$ 值就是换路前的 $i_L(0_-)$，这时的 $u_C$ 值就是换路前的 $u_C(0_-)$。

由图 1-21(b) 可知：

$$i_L(0_-)=\frac{U_s}{R_1+R_2}=\frac{20}{4}=5(\text{mA}),$$

$$u_C(0_-)=\frac{U_s}{R_1+R_2}\times R_2=\frac{20}{2+2}\times 2=10(\text{V})$$

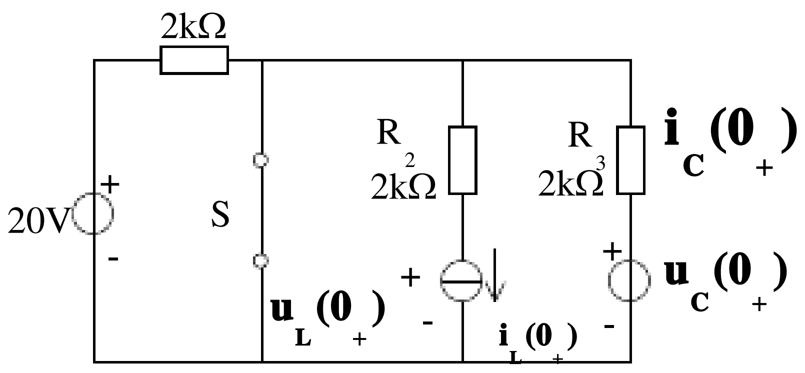



图1-21(c)

(2) t=0 时，开关闭合，发生换路，根据换路定律：$u_c(0_-) = u_c(0_+)$，画出换路后的等效电路[用恒压源替代 $u_c(0_+)$，用恒流源替代 $i_L(0_+)$]，如图 1-21 (c)所示。

由图 1-21(c)可知：

$i_L(0_-) = i_L(0_+) = 5$（mA）

$u_c(0_-) = u_c(0_+) = 10$（V）

$$i_C(0_+) = -\frac{u_c(0_+)}{R_3} = -\frac{10}{2} = -5(\mathrm{mA})$$ （C 放电经 S 构成回路）

$$u_L(0_+) = R_2[-i_L(0_+)] = -10(\mathrm{v})$$ （L 放电经 S 构成回路）

1.2.4.2 习题解答

题 1-21 在图 1-74 中，已知，$U_S = 12V$，$R_0 = 2\Omega$，$R_1 = 3\Omega$，$R_2 = R_3 = 5\Omega$，开关 S 闭合前处于稳态。求开关闭合瞬间电流 $i_1$，$i_2$ 和电压 $u_{L2}$，$u_{L3}$ 得初始值。

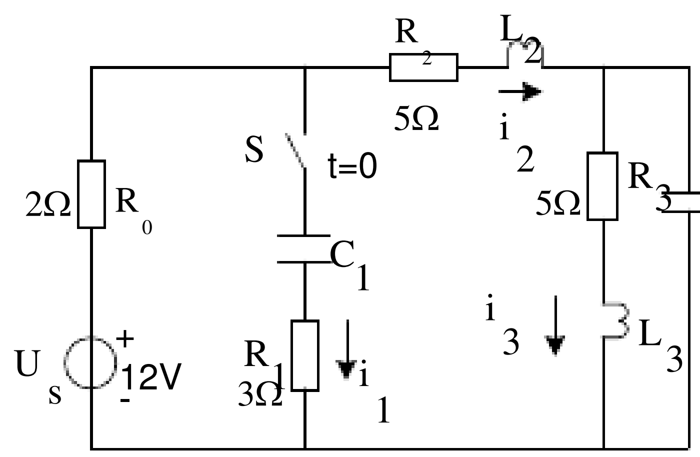



图 1-76：题 1-21

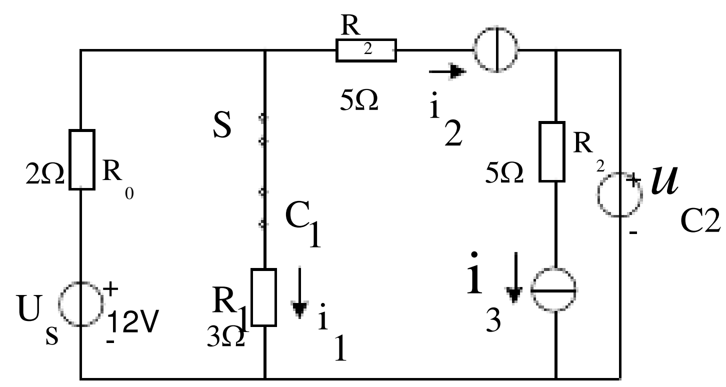



图 1-76-1

解：(1) 为了说明方便，在图1-76 上标注流经 $L_3$ 的电流 $i_3$ 的方向。开关闭合前，电路已处稳态，故 $L_2$、$L_3$ 短接，电容 $C_2$ 充电完毕，相当于开路状态，这时，$i_2 = i_3$。

$$i_2 = \frac{U_s}{R_0 + R_2 + R_3} = \frac{12}{2+5+5} = 1(\mathrm{A})$$

$$u_{c2} = R_3 i_3 = 5\times 1 = 5(\mathrm{v})$$

开关闭合瞬间，电路换路，根据换路定律：

电容上的电压 $u_c$ 不突变，电感中的电流 $i_L$ 不突变；

电容 $C_1$：$u_{C1}(0_+) = u_{C1}(0_-) = 0(\mathrm{V})$（相当于短接）

电容 $c_2$：$u_{C2(0_+)} = u_{C2(0_-)} = R_3 i_3 = 5\times 1 = 5(\mathrm{V})$（相当于电压源）

电感 $L_2$：$i_2$=1（A）（相当于电流源）。
电感 $L_3$：$i_3$=1（A）（相当于电流源）。
这时的等效电路如图 1-76-1 所示：

根据叠加原理：$i_1 = i_1' + i_1'' + i_1''' + i_1''''$

$u_s$ 作用，其余除源（$i_2$ 开路，$i_3$ 开路，$u_{C2}$ 短接）：$i_1' = \frac{u_s}{R_0 + R_1} = \frac{12}{2+3} = 2.4(A)(\downarrow)$

$i_2$ 作用，其余除源（$u_s$ 短接，$i_3$ 开路，$u_{C2}$ 短接）：$i_1'' = i_2 \frac{R_0}{R_1 + R_0} = 1 \times \frac{2}{3+2} = 0.4(A)(\uparrow)$

$i_3$ 作用，其余除源（$u_s$ 短接，$i_2$ 开路，$u_{C2}$ 短接）：$i_1''' = 0(A)$

$u_{c2}$ 作用，其余除源（$u_s$ 短接，$i_2$ 开路，$i_3$ 开路）：$i_1'''' = 0(A)$

故 $i_1 = i_1' + i_1'' + i_1''' + i'''' = 2.4+(-0.4)+0+0=2(A)$

解（2）$i_2 = 1(A)$（电感中电流不突变）

解（3）为了求 $u_{L2}$，把图 1-76-1 改画为图 1-76-2。

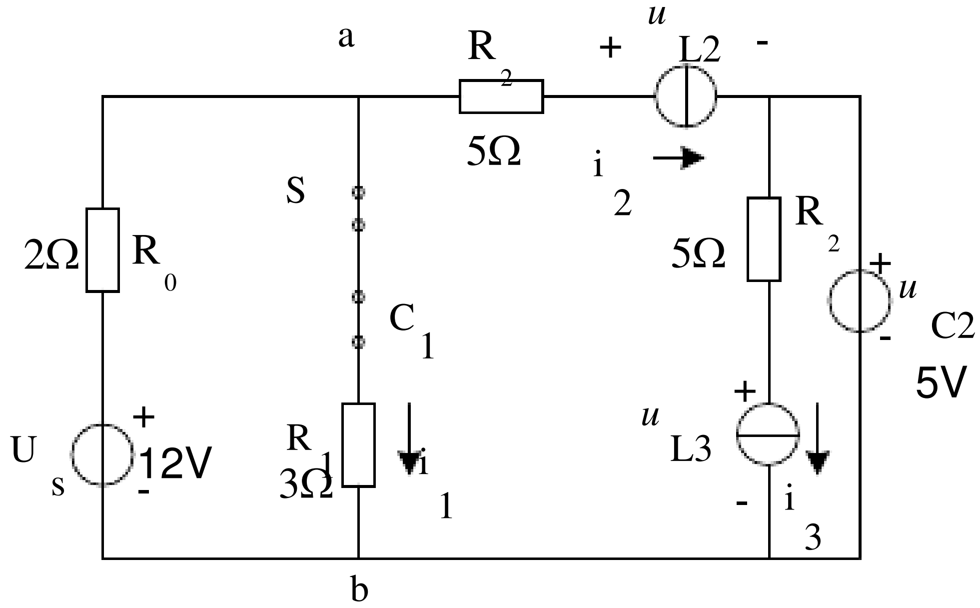



图 1-76-2

根据欧姆定理（电压降准则）：$(u_{ab})R_1 i_1 = R_2 i_2 + u_{L2} + u_{C2}$ ，

$$3\times2=5\times1+u_{L2}+5$$
$$u_{L2}= 6-10= -4（V）$$

解（4）在图 1-76-2 中： $u_{C2}=R_3 i_3+u_{L3}$ ，  $u_{L3}=5-5 \times 1=0$ （V）

1-22：在图 1-77 中，已知 $U_S$=10V，$R_1$=2 ，$R_2$=8 ，开关 S 闭合前电路处于稳态。求开关闭合瞬间各元件中的电流及电压。

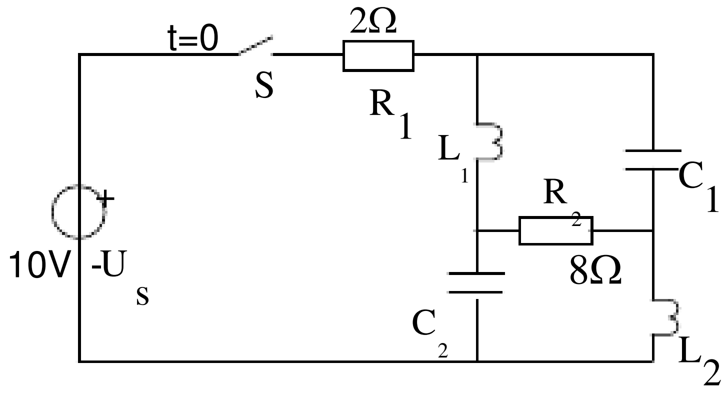



图 1-77　题 1-22

解：开关闭合前，各元件中的电流及端电压都是 0V。开关闭合瞬间（换路），根据换路定律，电容器上的电压不会突变，电感器中的电流不会突变。

电容 $c_1$：$u_{C1}(0_+) = u_{C1}(0_-) = 0(V)$，相当于短接。

电容 $c_2$：$u_{c2} = u_{c2} = 0$，相当短接。

电感 $L_1$：$i_{L1}(0_+) = i_{L1}(0_-)=0$，相当开路。

电感 $L_2$：$i_{L2}(0_+) = i_{L2}(0_-)=0$，相当开路。

画出等效电路，如图 1-77-1 所示，电流瞬间路径如图中所示标注。

$$i=\frac{U_s}{R_1+R_2}=\frac{10}{2+8}=1(A)$$

故：$\begin{cases} i_{R1}=1(A) \\ u_{R1}=i_{R1}\times R_1=1\times 2=2(V) \end{cases}$

$\begin{cases} i_{R2}=1(A) \\ u_{R2}=i_{R2}\times R_2=1\times 8=8(V) \end{cases}$

$\begin{cases} i_{C1}=1(A) \\ u_{C1}=0(V) \end{cases}$

$\begin{cases} i_{C2}=1(A) \\ u_{C2}=0(V) \end{cases}$

$\begin{cases} i_{L1}=0(A) \\ u_{L1}=u_{R2}=8(V) \end{cases}$

$\begin{cases} i_{L2}=0(A) \\ u_{L2}=u_{R2}=8(V) \end{cases}$

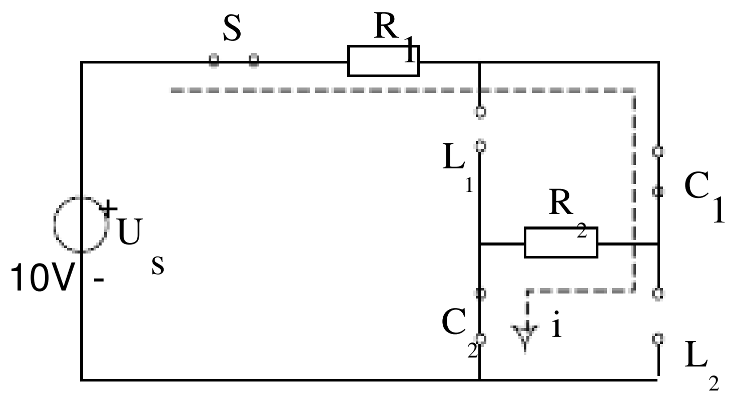



图 1-77-1

1-23：在上题中，求开关 S 闭合后到达稳态时电路各元件的电流及电压。

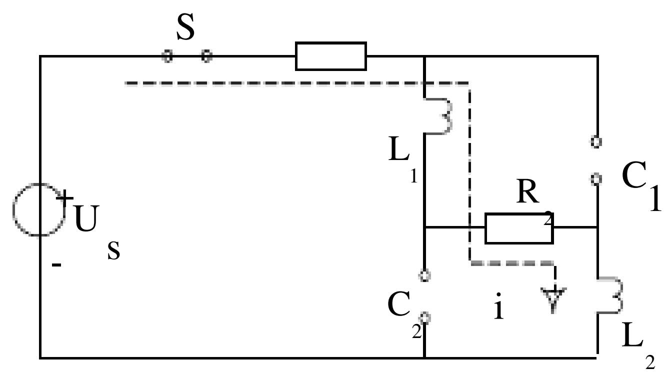



图 1-77-2

解：S 闭合到达稳态时，电容 $c_1$，$c_2$ 充电完毕，充电电流为 0，电流经 $R_1$，$L_1$，$R_2$ 及 $L_2$ 构成回路，如图 1-77-2 所示：

$$i=\frac{U_s}{R_1+R_2}=\frac{10}{2+8}=1(A)$$

故：$\begin{cases} i_{R1}=1(A) \\ u_{R1}=Ri_{1\,R1}=1\times 2=2(V) \end{cases}$

$$\begin{cases} i_{R2}=i=1(A) \\ u_{R2}=Ri_{2\,R2}=1\times 8=8(V) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{C1}=0(A) \\ u_{C1}=8(V) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{C2}=0(A) \\ u_{C2}=8(V) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{L1}=i=1(A) \\ u_{L1}=0(V) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{L2}=i=1(A) \\ u_{L2}=0(V) \end{cases}$$

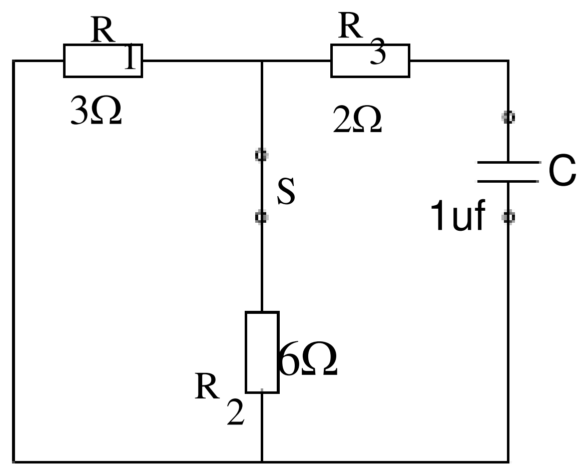
1-24：在图 1-78 种，已知 $R_1=3$ ，$R_2=6$ ，$R_3=2$ ，C=1uf，L=1H，求各电路时间常数。


（a）　　　　（b）

图 1-78　　题 1-24

解：（1）在图 1-78（a）中，当 S 闭合（换路）时：从 c 两端看进去除源后的等效电路，如图 1-78-1 所示。

$\tau = RC=[R_3+(R_1//R_2)]\times C=[2\times 2]\times 1\times 10^{-6}=4\times 10^{-6}s$



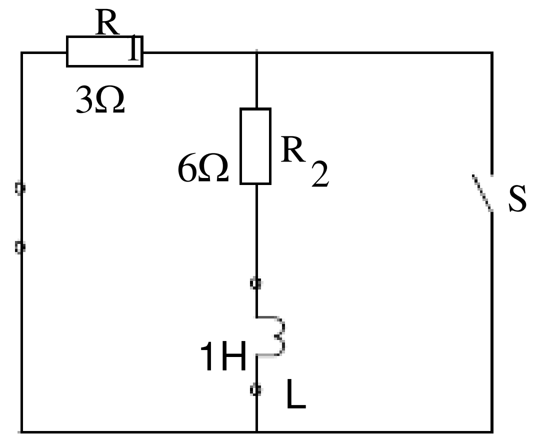




图 1-78-1　　　　　　　　　　　　　　图 1-78-2

（2）在图 1-78（b）中，当 S 断开（换路）时：从 L 两端看进去除源后的等效电路，如图 1-78-2 所示：$\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{1}{6+3} = \dfrac{1}{9}$（s）

1-25：已知图 1-79 中电流 $I_S = 10A$，$R_1 = 10\Omega$，$R_2 = 4\Omega$，$R_3 = 6\Omega$，L=3H，开关 S 断开前电路处于稳态，求 S 在 t=0 断开后电流 $i_3$。

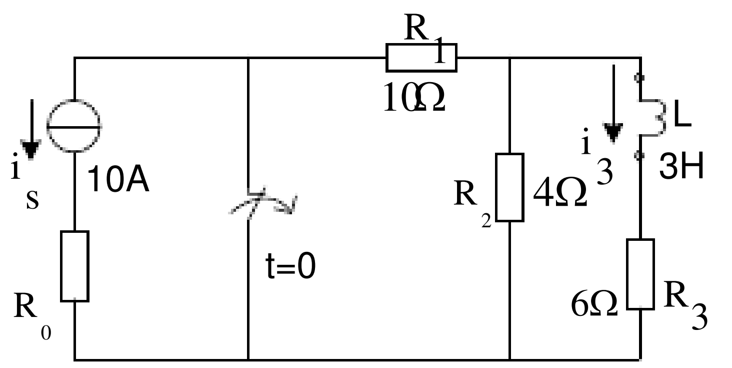



图 1-79　　题 1-25

解：根据化简准则。将 $R_0$ 短接，以三要素法求解如下：

由分流公式知：　$i_3(\infty) = I_S \dfrac{R_2}{R_2+R_3} = 10\dfrac{4}{4+6} = 4$（A）

由已知条件知：　$i_3(0_-)=0$（A），

由换路定律知：　$i_3(0_-) = i_3(0_+) = 0$（A）

除源求时间常数：$\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{3}{R_2+R_3} = \dfrac{3}{10} = 0.3$（s）

$$i_3(t) = i_3(\infty) + [i_3(0_+) - i_3(\infty)]e^{\frac{-t}{0.3}} = 4 + [0-4]e^{\frac{-t}{0.3}} = 4(1-e^{-3.33t})A$$

1-26：在图 1-80 中，已知电压源 $U_s$=6V，$R_1 = 10k\Omega$，$R_2 = 20k\Omega$，$C=10^3 pf$，开关 S 闭合前电路处于稳态。求 S 闭合后电容电压的变化规律。

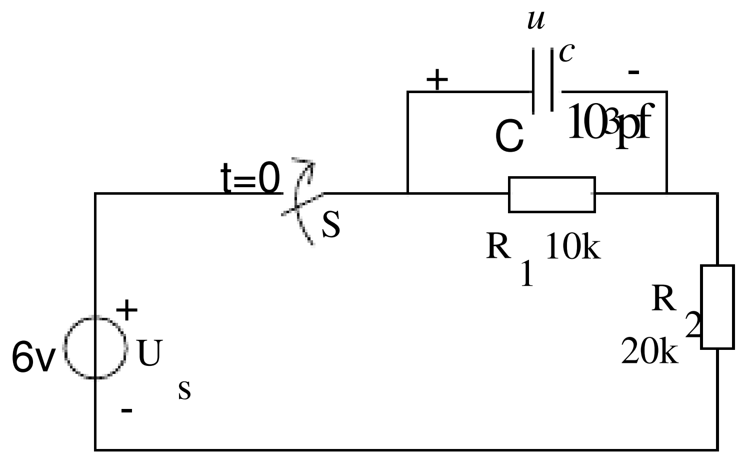



图 1-80

解：以三要素法求解如下：

S 闭合瞬间，由换路定律知： $u_C(0_+) = u_C(0_-) = 0$（v）

S 闭合无穷时间，电容充电完毕：$u_C(\infty) = \dfrac{U_s}{R_1+R_2} \times R_1 = \dfrac{6}{10+20} \times 10 = 2$（v）

除源后求时间常数：$\tau = RC = (R_1 // R_2)C = (10//20) \times 10^3 \times 10^3 \times 10^{-12} = 6.67 \times 10^{-6}$(s)

$u_C(t) = u_C(\infty) + [u_C(0_+) - u_C(\infty)]e^{\frac{-t}{\tau}} = 2 + [0-2]e^{\frac{-t}{\tau}} = 2(1 - e^{-1.5\times10^5 t})$(v)

1-27 题与 1-28 题的求解：根据题意，画出电路，借助电路图，求解便容易。这两题的意图都是为了强化额定值的概念。

1-29：一个 $20\text{k}\Omega$ 的电阻器接在内阻为 $10\text{k}\Omega$ 的直流电源上，已知电阻器的电压也 200v，但当用电压表测量电阻器电压时，读数只有 180v，求电压表内阻。

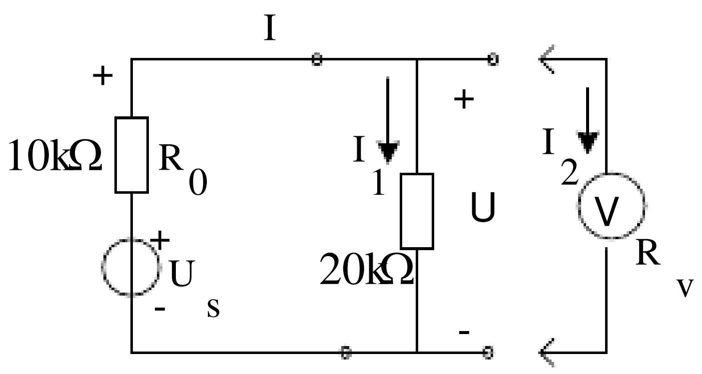



图 1-29（a）

解：根据题意画出电路图 1-29（a），

电压表没并接之前，$I = I_1 = \dfrac{200}{20} = 10(\text{mA})$

电源电压 $U_s = (10+20) \cdot I = 30 \times 10 = 300(\text{V})$

电压表并接后总电流 $I' = \dfrac{U_s - 180}{R_0} = \dfrac{120}{10} = 12(\text{mA})$

电压表并接后 $I_1$ 电流变成 $I_1' = \dfrac{180}{20} = 9(\text{mA})$

通过电压表内阻 $R_v$ 的电流 $I_2 = 12 - 9 = 3(\text{mA})$

电压表内阻$R_v = \frac{180}{3} = 60(k\Omega)$

1-30 在图 1-81 中，已知 a 点对地电压为 30v，求 b，c，d 点对地电压。见例 1-1 的分析求解。

1-31 题与 1-32 题的求解：根据题意，画出电路图，求解便容易。这两题的意图为了复习，巩固，强化分压公式，分流公式的来由。

1-33 在图 1-84 中，求电位器的滑动触点移动时电压 U 的最大值和最小值。

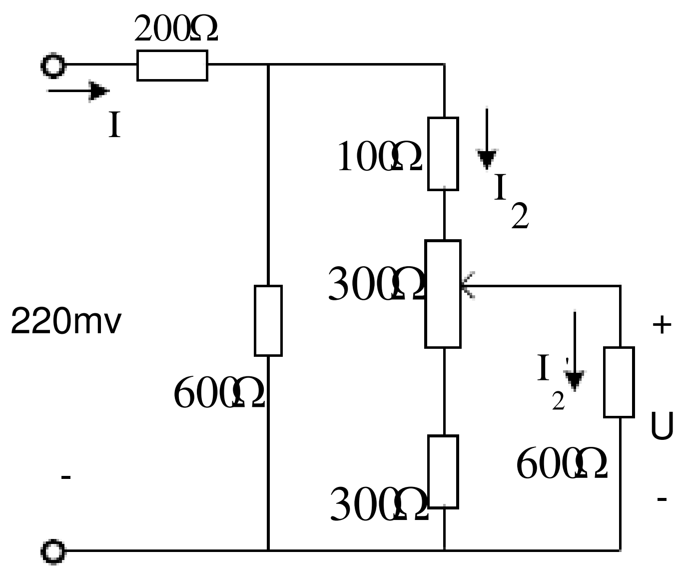



图 1-84 题 1-33

解：（1）当尖头滑到最上端时：

总电流$I=\frac{220}{200+\{600//[100+(300+300)//600]\}} = 0.5(mA)$

$$I_2 = I\{\frac{600}{600+[100+(300+300)//600]}\} = 0.5\times\frac{6}{10} = 0.3(mA)$$

$$I_2' = I\frac{600}{(300+300)+600} = 0.3\times\frac{6}{12} = 0.15(mA)$$

$$U=I_2'\times 600=0.15\times 600=90(mV)$$

（2）当尖头滑到最下端时：

总电流$I=\frac{220}{200+\{600//[(100+300)+(300//600)]\}} = \frac{22}{50}(mA)$

$$I_2 = I\{\frac{600}{600+[(100+300)+(300//600)]}\} = \frac{22}{50}\times 0.5 = 0.22(mA)$$

$$I_2' = I_2\frac{300}{300+600} = 0.22\times\frac{1}{3} = \frac{22}{300}(mA)$$

$$U=I_2'\times 600=\frac{22}{300}\times 600=44(mV)$$

1-34：在图 1-85 中，已知$I_{ab} = 3A$，求$U_{cd}$。

解：见例 1-2 的分析求解。

1-35：在图 1-86 中，已知$R=5\Omega$，求 R 的电压及其极性。

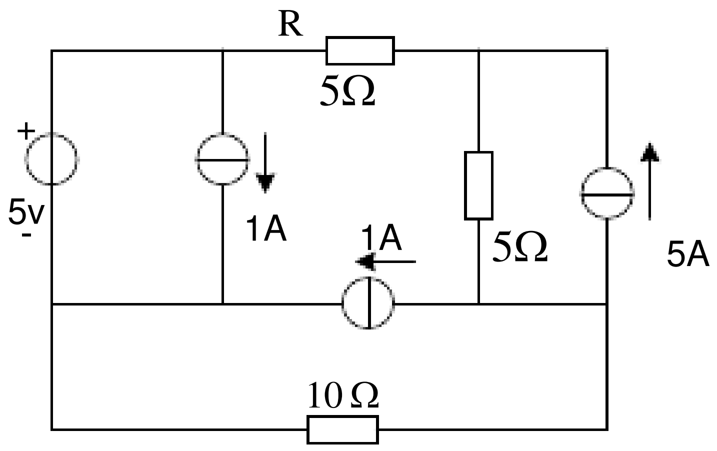



图 1-86 题 1-35

解：求 R 上的电压，需求通过 R 上的电流。R 是外电路，对外而言，余者都可以先化简。

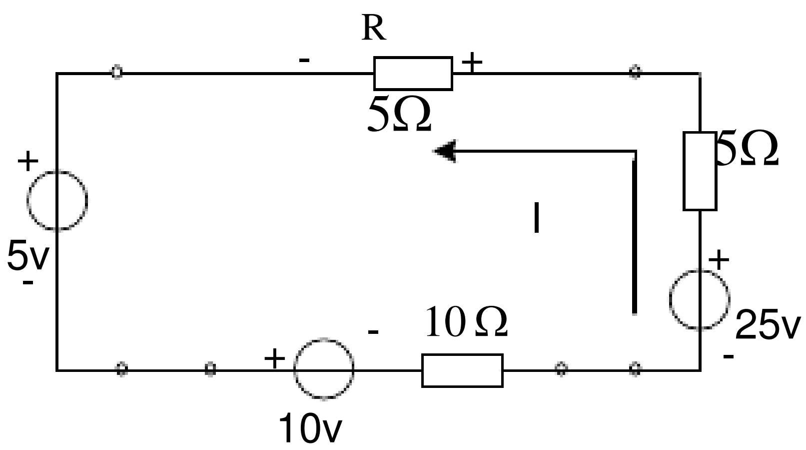



图 1-86-1

并联的 5V，1A 为一块，根据化简准则，电压源 5V 起作用。如图 1-86-1 所示。

1A，10　为一块，根据电源互换，转换成电压源，如图 1-86-1 所示。

5　，5A 为一块，根据电源互换，转换成电压源，如图 1-86-1 所示。

由图 1-86-1 可见，已经变成简单电路。

$$I=\frac{25-(5+10)}{5+5+10}=\frac{10}{20}=0.5(A)$$

R 上电压 U=R·I=5×0.5=2.5（V）

U 的极性如图标注。（与电流关联）

1-36：求图 1-87 中电流 I

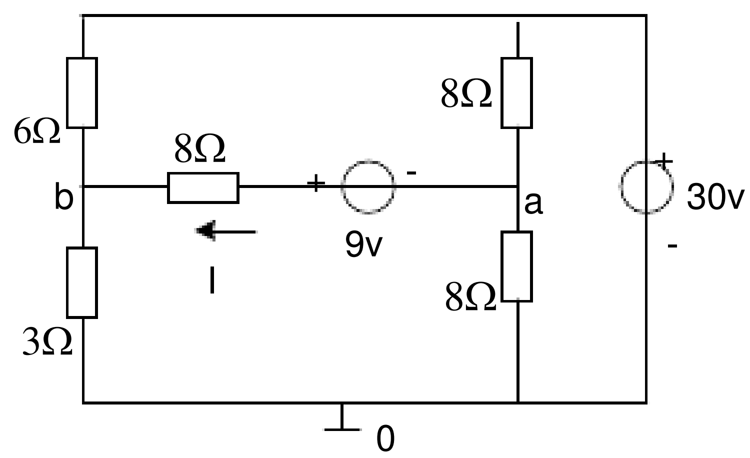



图 1-87 题 1-37

解：因为只求一个元件（或一条支路）的电流，选用等效电源法较为合适。根据等效电源解题三步法求解如下：

第一步：除待求支路（8　与 9V），产生 a，b 两点，余者为有源二端网络。

第二步：把有源二端网络等效为电压源[$U_{ab}=U_s$，$R_{ab}=R_0$]，

（1）　为求$U_{ab}$，设 0 为参考点。

$$U_{ab}=U_{ao}-U_{bo}=(\frac{30}{8+8}\times 8)-(\frac{30}{6+3}\times 3)=15-10=5(V)$$

（2）除源求$R_{ab}$：　$R_{ab}=(6//3)+(8//8)=2+4=6(\Omega)$

根据$U_{ab}$和$R_{ab}$画出电压源模型，如图 1-87-1 所示。

第三步：接进待求支路，求出电流 I：　$I=\frac{9+5}{6+8}=\frac{14}{14}=1(A)$

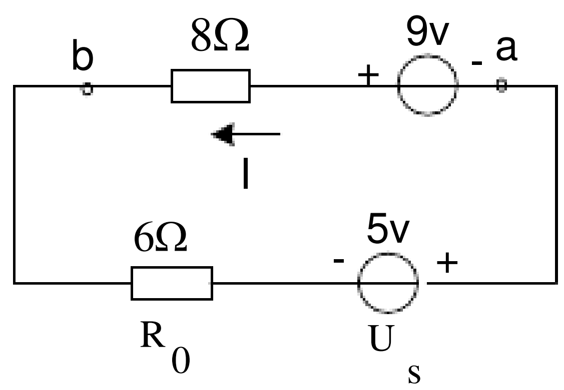



图 1-87-1

1-37：求图 1-88 中电源 $U_{S1}$ 支路的电流。若将图中 $U_{S1}$ 极性反接，再求该处电流。

解：因为只求一条支路的电流，选用等效电源法较为恰当。

（1）根据等效电源解题三步法。

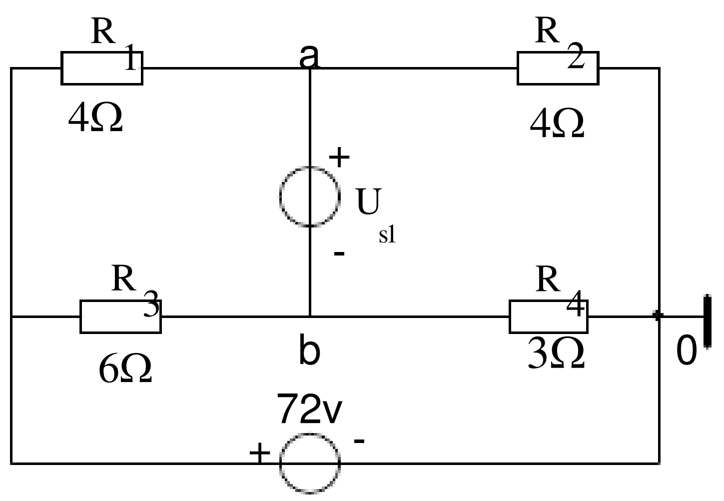



图 1-88 题 1-37

第一步：除待求支路 $U_{S1}$，产生 a，b 两点，余者为有源二端网络。

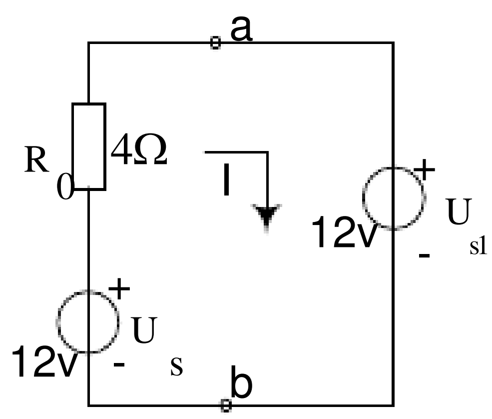
第二步：把有源而短网络等效为电压源模型 [$U_{ab}=U_s$，$R_{ab}=R_0$]，根据$U_{ab}$，$R_{ab}$画出电源模型。

（1）为求$U_{ab}$，设 o 为参考点，

$$U_{ab}=V_a-V_b=(\frac{72}{R_1+R_2}\times R_2)-(\frac{72}{R_3+R_4})=(\frac{72}{4+4}\times 4)-(\frac{72}{6+3}\times 3)=12(V)$$

（2）除源求 $R_{ab}$：$R_{ab}=(R_1//R_2)+(6//3)=2+2=4(\Omega)$

画出电压模型，如图 1-88-1 所示：



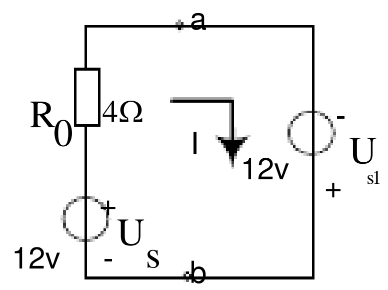




图 1-88-1　　　　　　　　　　　　图 1-88-2

第三步：接进待求支路，求出电流

$$I=\frac{U_s-U_{s1}}{R_0}=\frac{0}{4}=0(A)$$

（2）若将 $U_{S1}$ 极性反接，如图 1-88-2 所示，再求电流 I：

$$I=\frac{U_s+U_{s1}}{R_0}=\frac{24}{4}=6(A)$$

1-38：求解 1-89 中电阻 R 的电流。

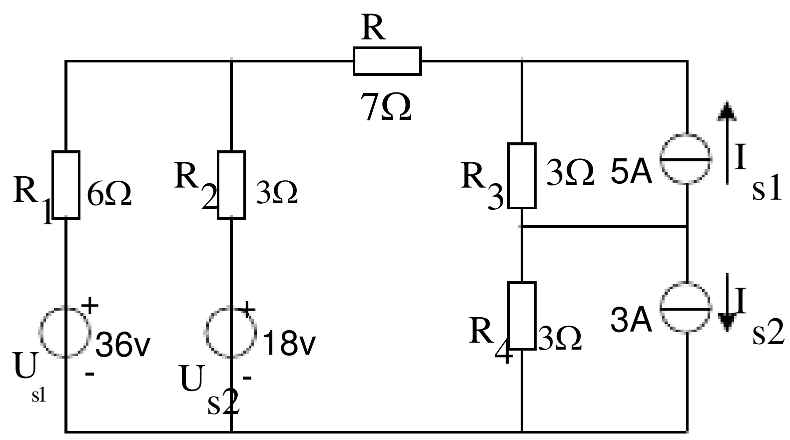



图 1-89 题 1-38

解：因为支路多，电源多，结点多，不适宜用支路法、叠加法、结点法求解。根据能化简先化简的原则，采用分块化简处理。

R 以左为一块：电压源都转换为电流源，电流源合并，最后再转换为一个电压源，如图 1-89-1 所示

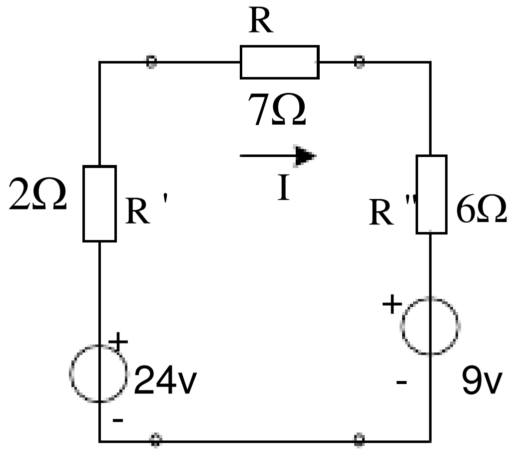



图 1-89-1

R 以右为一块：两个电流源都转换为电压源，电压源再合并，最后变成一个电压源，如图 1-89-1 所示，左右化简完毕，求解方法一目了然。

$$I=\frac{24-9}{R^{'}+R+R^{''}}=\frac{15}{2+7+6}=1(A)$$