

基础电路与电子学

主讲：陈开志

办公室：学院2号楼304

Email: ckz@fzu.edu.cn

QQ群：812010686

第1章 直流电路

1.1 电路与电路模型

1.2 电流,电压,电位

1.3 电功率

1.4 电阻元件

1.5 电压源与电流源

1.6 基尔霍夫定律

1.7 简单的电阻电路

1.8 支路电流分析法

1.9 节点电位分析法

1.10 叠加原理

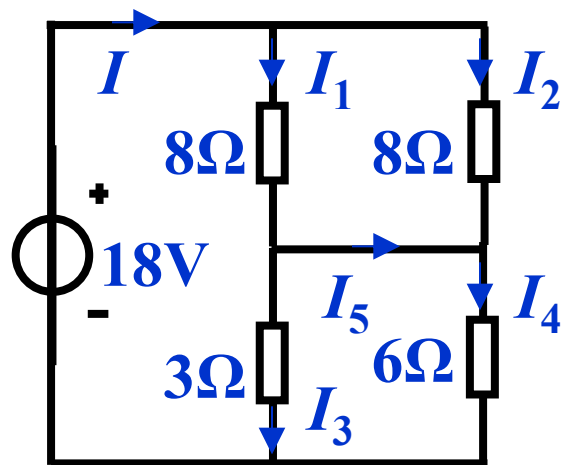
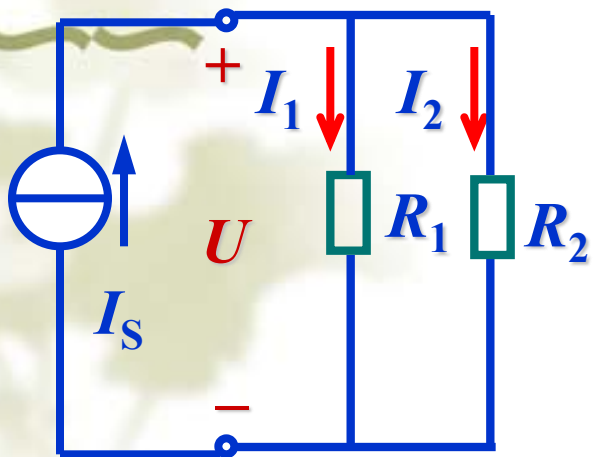
1.11 等效电源定理

1.12 含受控电源的电阻电路

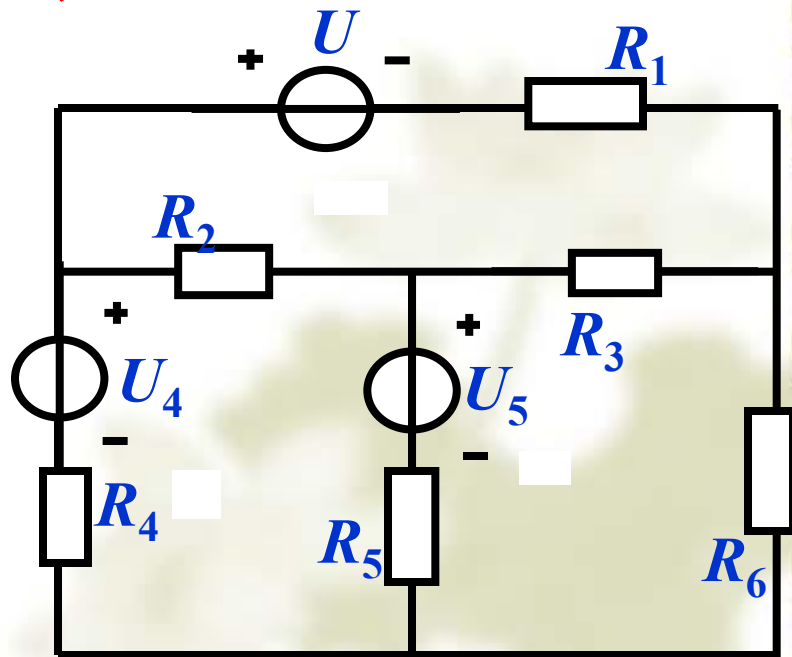
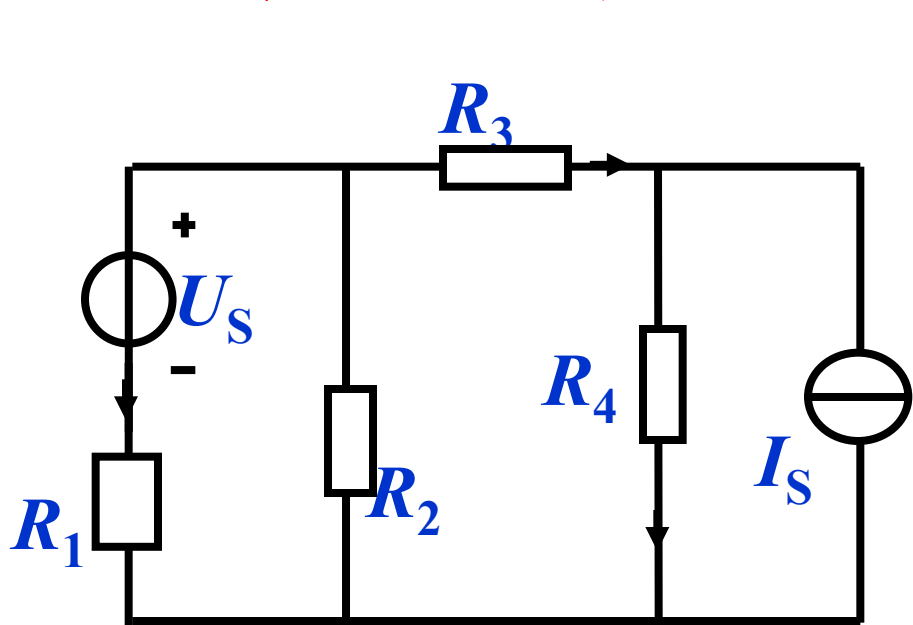
电路的基本概念

电路分析基础定律

“万能分析方法”



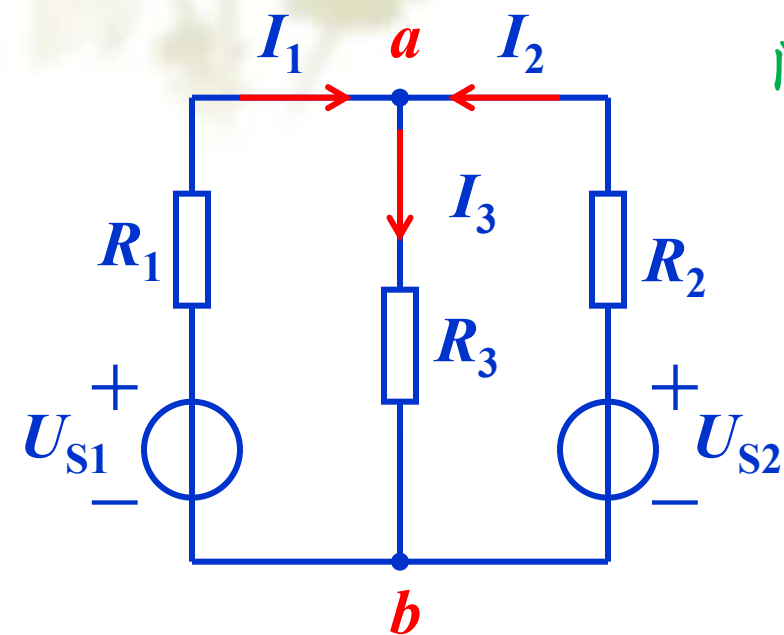
简单的电路分析（通过电阻等效，电源等效变换可计算）



复杂电路，如何分析？

1.8 支路电流法

概念支路电流法是以电路中的**所有支路电流**为未知量，利用**基尔霍夫定律**列出方程组，然后联立方程组进行求解的方法。



问题：已知 U_{S1} 、 U_{S2} 、 R_1 、 R_2 、 R_3

利用支路电流法求解所有支路电流

分析步骤：

- 1、设定所有支路电流的**参考方向**；
- 2、利用KCL对电路中的节点列出
电流方程；

$$\text{节点 } a: \quad I_1 + I_2 = I_3$$

=

$$\text{节点 } b: \quad I_3 = I_1 + I_2$$

结论：对于具有 n 个节点的电路而言，
应用KCL，只能得到 $n-1$ 个独立方程。

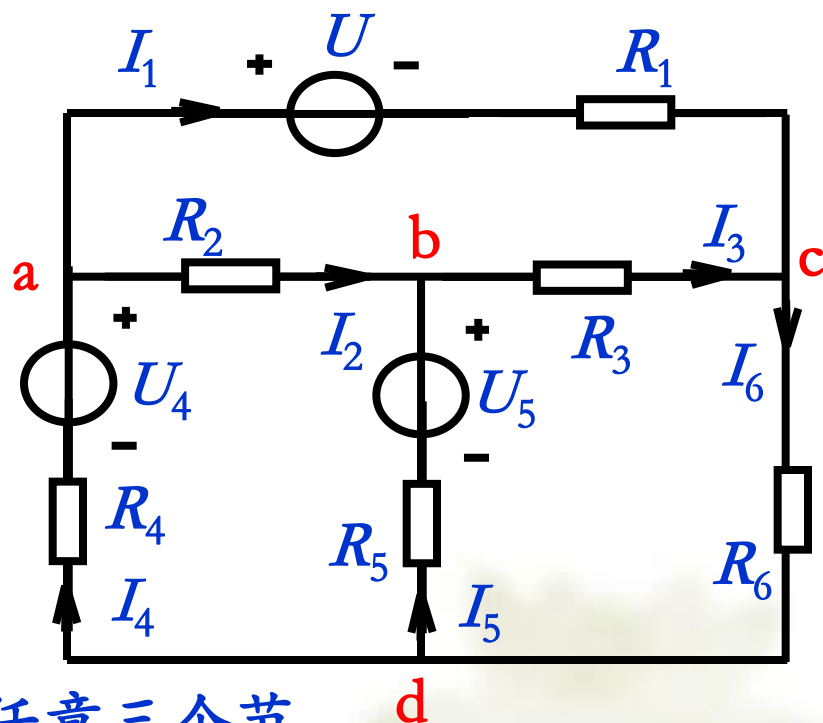
例题：

节点a $I_1 + I_2 - I_4 = 0$

节点b $-I_2 + I_3 - I_5 = 0$

节点c $-I_1 - I_3 + I_6 = 0$

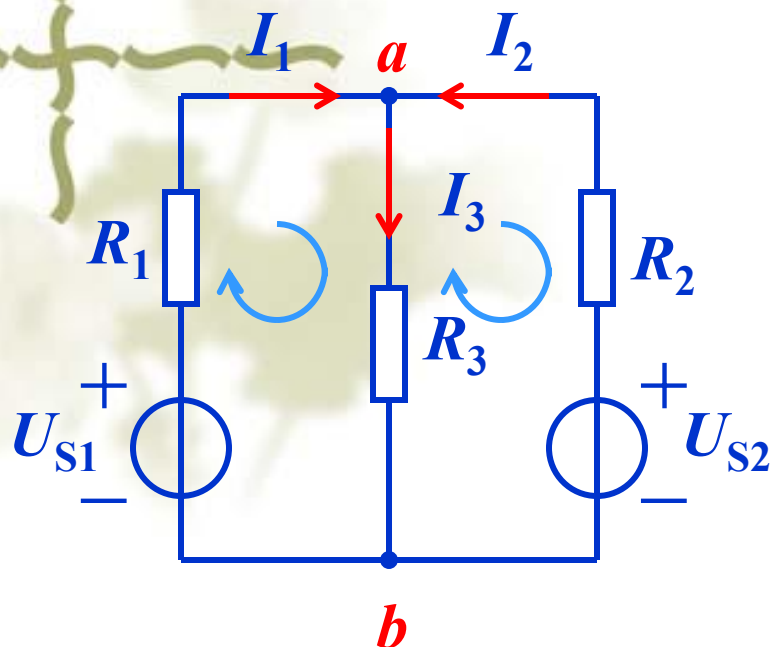
节点d $I_4 + I_5 - I_6 = 0$



4个节点列出的KCL方程，任意三个节点相加得到的方程式和余下一个节点的方程一样，说明方程不是独立的。

结论：电路中具有4个节点，应用KCL，只能得到3个独立方程。

6个支路有6个未知量，只得到3个独立方程，还不能求解，还需要3个独立方程，怎么获得？



已知： U_{S1} 、 U_{S2} 、 R_1 、 R_2 、 R_3

求解：电路中的所有支路电流

分析步骤：

- 1、设定所有支路电流的参考方向；
- 2、利用KCL对电路中的 $n-1$ 个节点列出电流方程；
- 3、利用KVL列出回路电压方程；
通常选择网孔以保证方程的独立性
- 4、联立方程组求解各支路电流；

节点 a ： $I_1 + I_2 = I_3$ ①

$I_3 R_3 - U_{S1} + I_1 R_1 = 0$ ②

$-I_2 R_2 + U_{S2} - I_3 R_3 = 0$ ③

思考：需要列多少个回路电压方程？

∴ 如果电路有 m 条支路，就有 m 个未知量，需要列 m 个方程；

如果电路有 n 个节点，利用KCL，可以得到 $n-1$ 个方程；

利用KVL ← $m - (n - 1)$ 个方程；

例题：

① 设定所有支路电流的参考方向

② 利用KCL列出电流方程

节点a $I_1 + I_2 - I_4 = 0$

节点b $-I_2 + I_3 - I_5 = 0$

节点c $-I_1 - I_3 + I_6 = 0$

③ 利用KVL列出电压方程

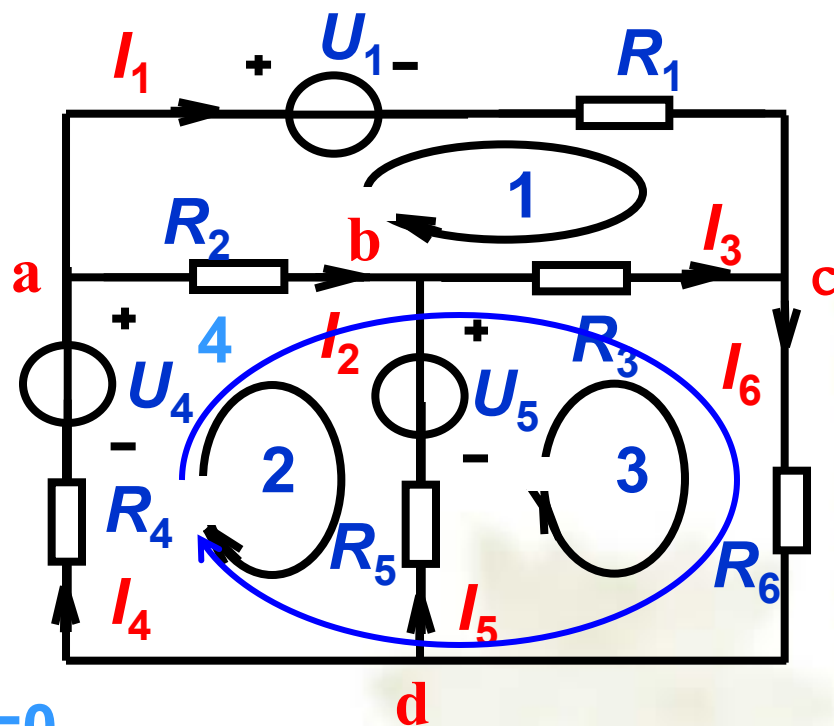
按图中所示选取回路

回路1: $U_1 + R_1 I_1 - R_3 I_3 - R_2 I_2 = 0$

回路2: $R_2 I_2 + U_5 - R_5 I_5 + R_4 I_4 - U_4 = 0$

回路3: $R_3 I_3 + R_6 I_6 + R_5 I_5 - U_5 = 0$

④ 联立方程组进行求解



可不可以选取回路2,3,4? 回路4: $R_2 I_2 + R_4 I_4 - U_4 + R_3 I_3 + R_6 I_6 = 0$

回路2+回路3=回路4, 因此回路2,3,4不是独立回路。

独立回路选取原则：

选取一回路应包含前面回路中没使用过的支路

已知： $U_S = 24V$, $I_S = 2A$, $R_2 = R_3 = 6\Omega$, $R_1 = 3\Omega$

求：利用支路电流法求各支路电流

解题步骤：

① 设定所有支路电流的参考方向

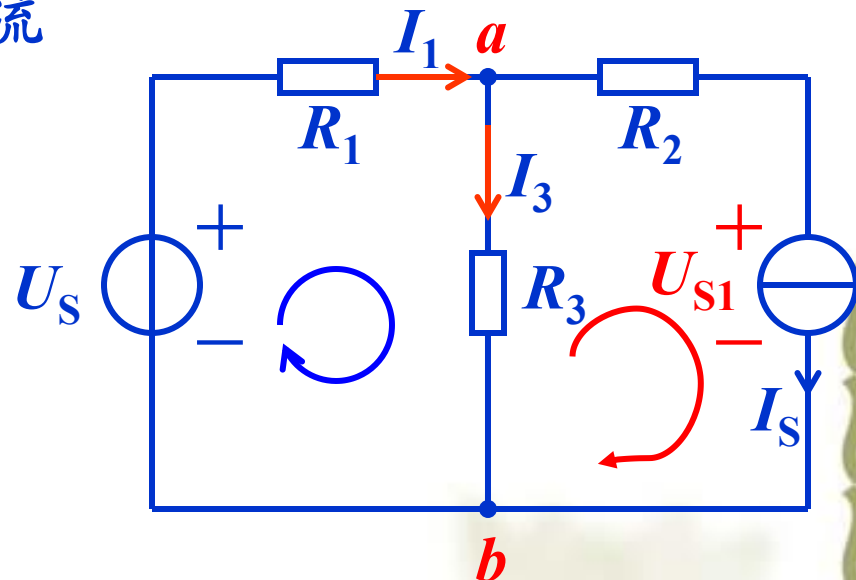
② 利用**KCL**列出电流方程

节点 a : $I_1 = I_S + I_3$

③ 利用**KVL**列出电压方程

$$I_3 R_3 - U_S + I_1 R_1 = 0$$

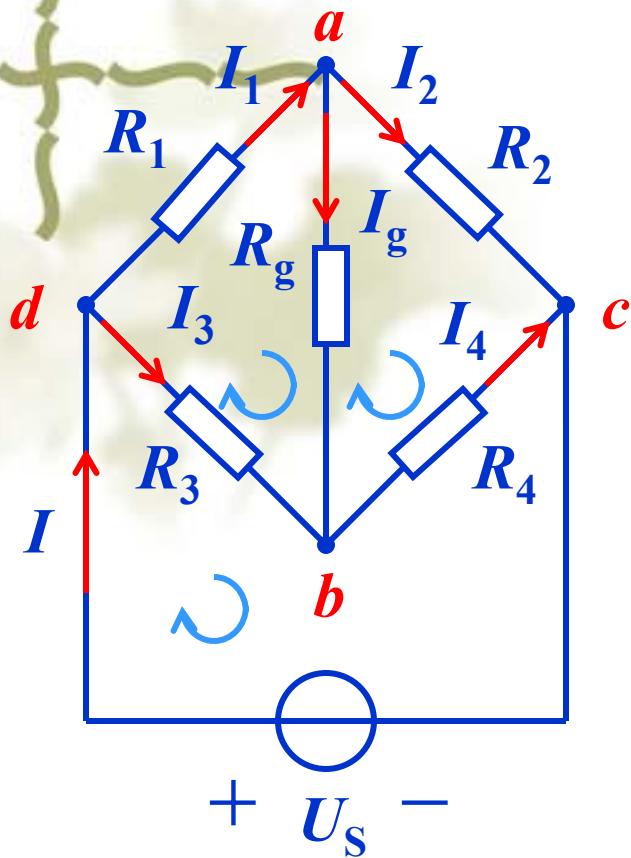
④ 联立方程组进行求解 $\longrightarrow I_1 = 4A \quad I_3 = 2A$



问题：只列回路2的KVL方程行不行，能否求解？

$$-I_3 R_3 + U_{S1} + I_S R_2 = 0$$

注意：恒流源电压未知，应尽量避免开恒流源回路



已知： $U_S = 12\text{V}$, $R_1 = R_2 = R_4 = 5\Omega$
 $R_3 = R_g = 10\Omega$

求：利用支路电流法求解 $I_g = ?$

解：支路数 $m = 6$, 节点数 $n = 4$

1、设定所有支路电流的参考方向；

2、利用KCL对 $n-1$ 个节点列出电流方程；

节点 a : $I_1 = I_2 + I_g$ 节点 b : $I_3 + I_g = I_4$

节点 c : $I_2 + I_4 = I$

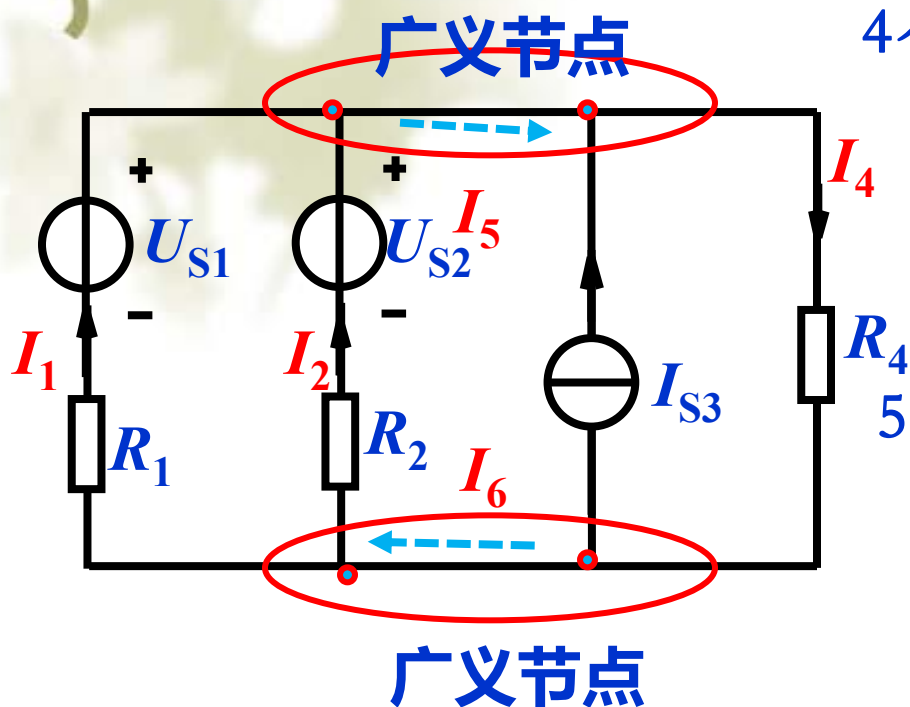
3、利用KVL, 选择网孔, 列出回路电压方程；

abda: $I_g R_g - I_3 R_3 + I_1 R_1 = 0$ acba: $I_2 R_2 - I_4 R_4 - I_g R_g = 0$

dbcd: $I_3 R_3 + I_4 R_4 - U_S = 0$

4、联立方程组进行求解, 求得各支路电流；

利用支路电流法求各支路电流，列KCL方程。



4个节点，列3个独立KCL方程：

$$I_1 + I_2 = I_5$$

$$I_4 - I_{S3} = I_5$$

$$I_4 - I_{S3} = I_6$$

5个未知量，还需要补2个KVL方程

利用广义节点，就只有两个节点，
列一个独立KCL方程：

$$I_1 + I_2 + I_{S3} = I_4$$

3个未知量，还需要补2个KVL方程

注意：纯导线支路连接的两端的节点电位相等，可看成一个节点（广义节点），可减小未知支路电流数量，则减少方程需求数量。

支路电流法

原理：以电路中的所有支路电流为未知量，利用基尔霍夫定律，列出方程组，联立方程组进行求解。

优点：原理简单，适用于任何电路

缺点：支路数较多时，所需方程较多，计算复杂

支路电流法的**解题步骤：**

- 1、首先在电路图上设定所有支路电流的**参考方向**；
- 2、利用KCL，对电路中的 **$n-1$** 个节点列出电流方程；
- 3、利用KVL，**选择网孔**，列出 **$m-(n-1)$** 个回路电压方程；
- 4、联立方程组进行求解，求得各支路电流；

第1章 直流电路

1.1 电路与电路模型

1.2 电流,电压,电位

1.3 电功率

1.4 电阻元件

1.5 电压源与电流源

1.6 基尔霍夫定律

1.7 简单的电阻电路

1.8 支路电流分析法

1.9 节点电位分析法

} “万能分析方法”

1.10 叠加原理

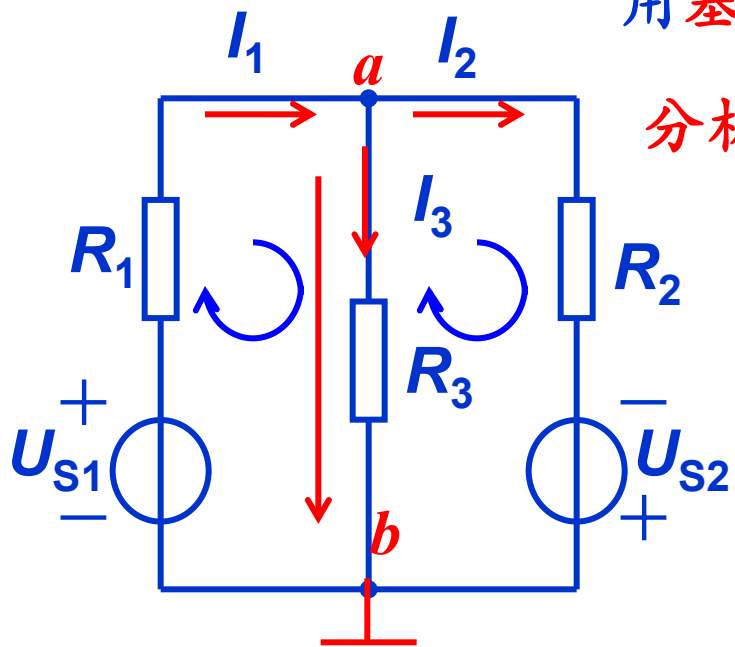
1.11 等效电源定理

1.12 含受控电源的电阻电路

1.9 节点电位法

支路电流法的原理：以电路中的所有支路电流为未知量，利用基尔霍夫定律，列出方程组，进行求解。

节点电压法的原理：以电路中的所有节点的电位为未知量，利用基尔霍夫定律，列出方程组，进行求解。



分析步骤：

- 1、在电路中任选一个节点做为参考点，用“ \perp ”表示， $V_{\text{参}}=0$ 。
- 2、利用基尔霍夫定律求出电路中其它节点对参考点的电位。

[例1-9] 图中 $U_{S1}=78\text{V}$, $U_{S2}=130\text{V}$, $R_1=2\Omega$,
 $R_2=10\Omega$, $R_3=30\Omega$ 。求节点电位 V_a 。

解：

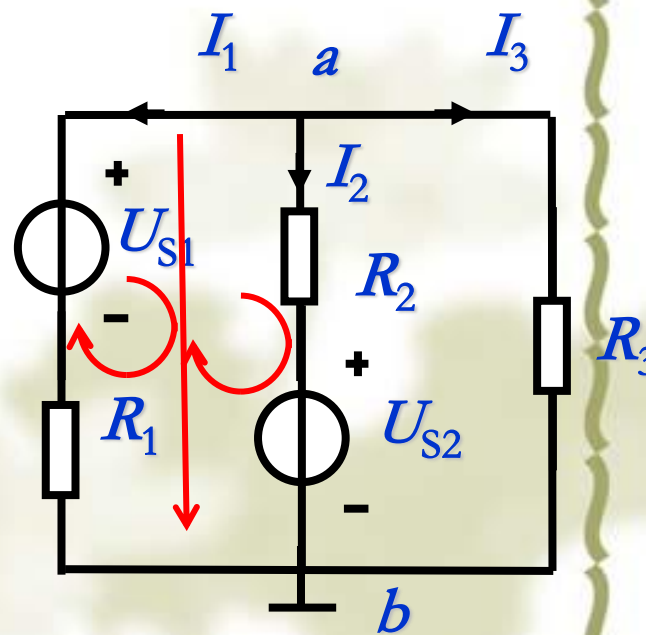
- 1、设置参考节点和独立节点
- 2、设定所有支路电流的参考方向，对各独立节点利用KCL定律列节点方程；
节点a: $I_1+I_2+I_3=0$
- 3、用节点电位表示出各支路电流；

用KVL求开口电压 U_{ab} 的方法

$$V_a - U_{S1} - I_1 R_1 = 0 \longrightarrow I_1 = \frac{V_a - U_{S1}}{R_1}$$

$$I_2 R_2 + U_{S2} - V_a = 0 \longrightarrow I_2 = \frac{V_a - U_{S2}}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_a}{R_3}$$



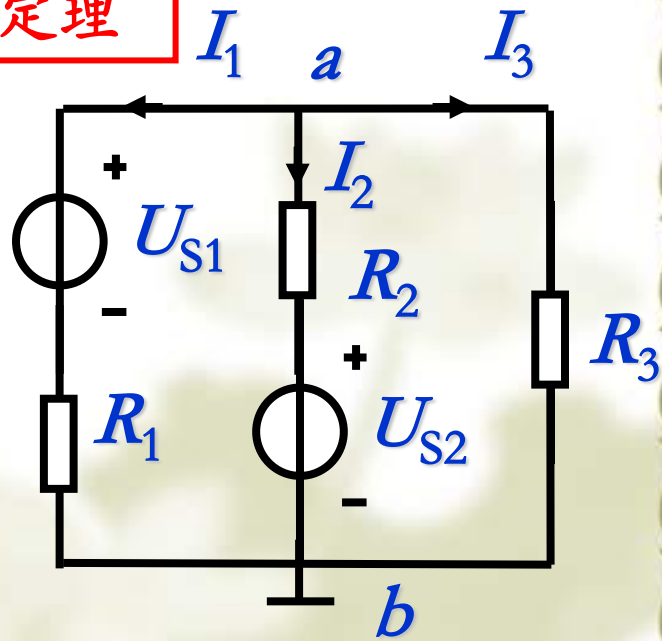
4、将支路电流式代入这节点方程中并整理，得到

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)V_a = \frac{U_{S1}}{R_1} + \frac{U_{S2}}{R_2}$$

解得

$$\begin{aligned} V_a &= \frac{\frac{U_{S1}}{R_1} + \frac{U_{S2}}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \\ &= \frac{\frac{72}{2} + \frac{130}{10}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20}} = 80(\text{V}) \end{aligned}$$

两节点方程，
弥尔曼定理



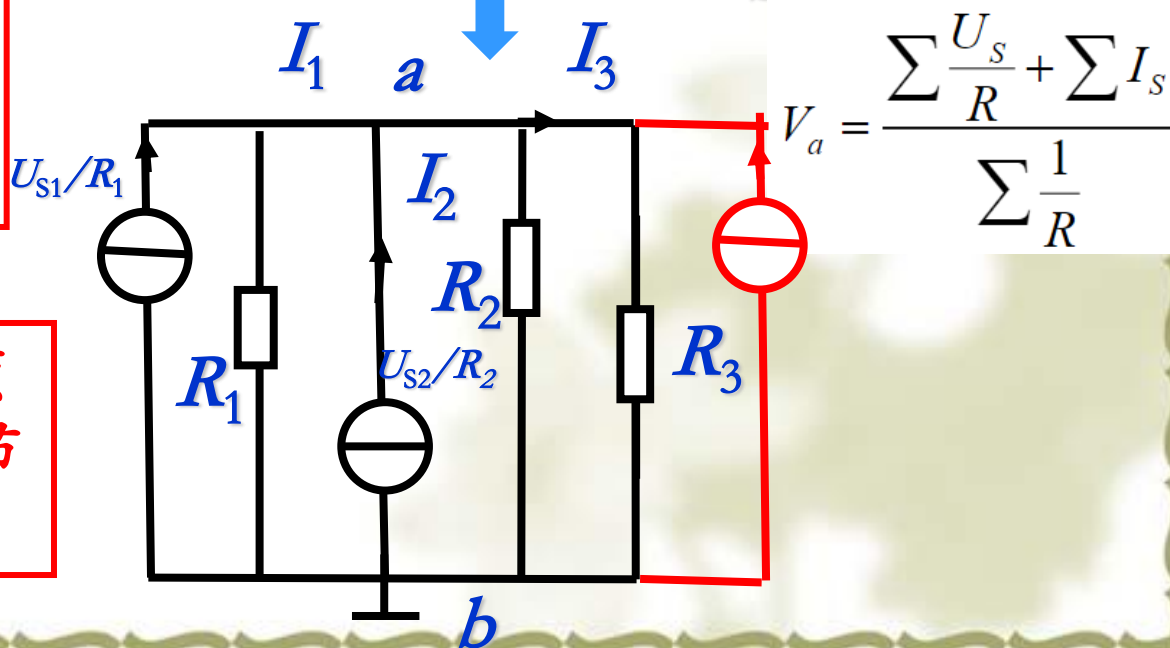
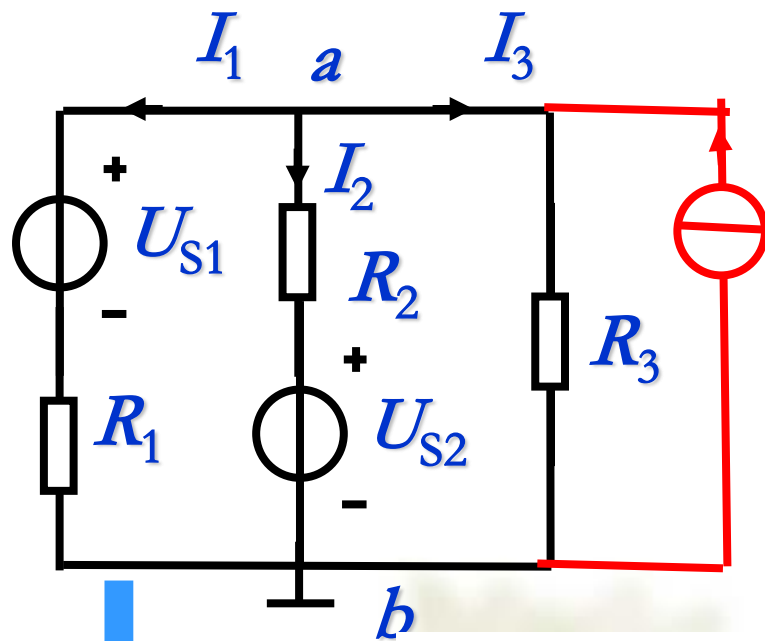
代入上式即可求各支路电流

总结两节点方程

$$V_a = \frac{\frac{U_{S1}}{R_1} + \frac{U_{S2}}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\sum \frac{U_S}{R}}{\sum \frac{1}{R}}$$

思考1物理意义：
每个支路进行电
源变换看看，都
变成实际电流源。

思考2：有并联额
外电流源时，两节
点公式怎么写



总结两节点方程

思考3：电压源，电流源方向有变化时，公式如何变化。

U_S 和 V_a 的参考方向
相同取“+”
相反取“-”

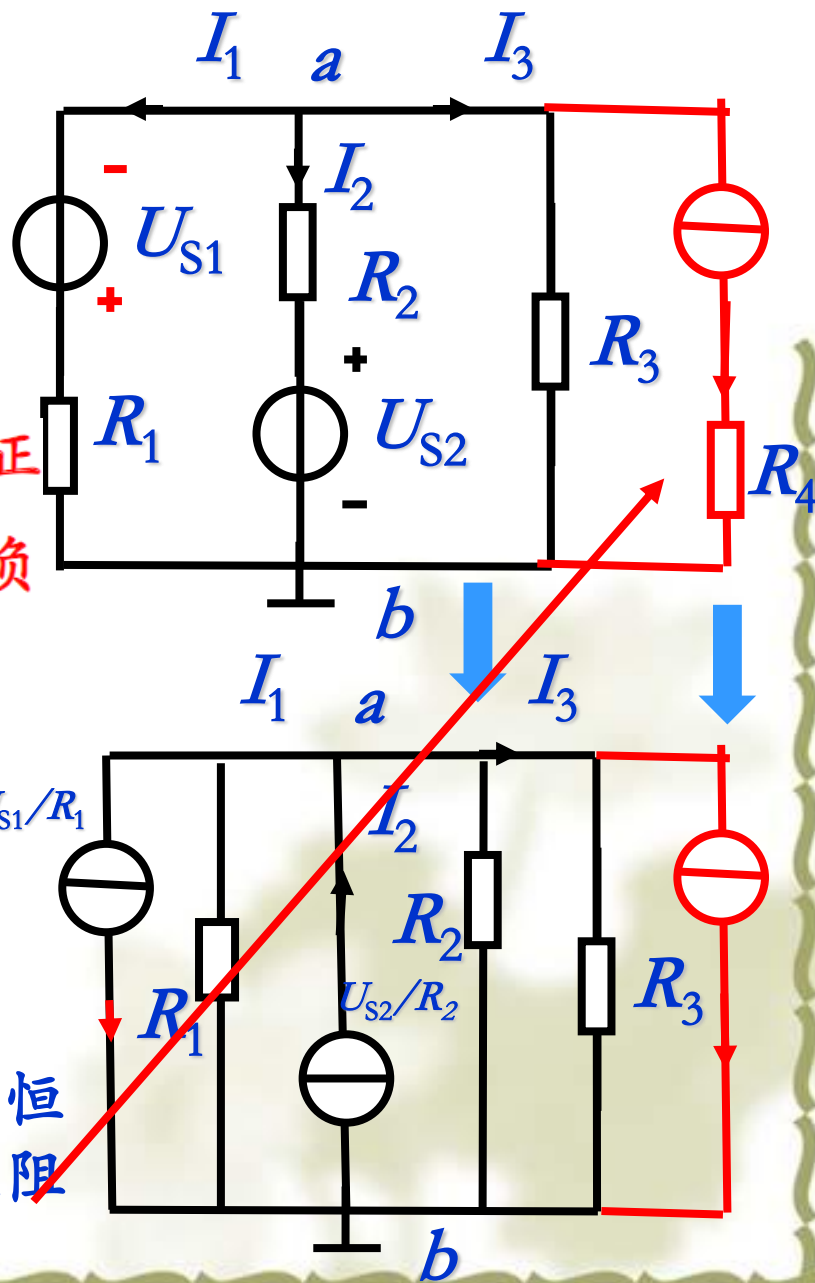
若 I_S 流入节点a，取正

若 I_S 流出节点a，取负

$$V_a = \frac{\sum \frac{U_S}{R} + \sum I_S}{\sum \frac{1}{R}}$$

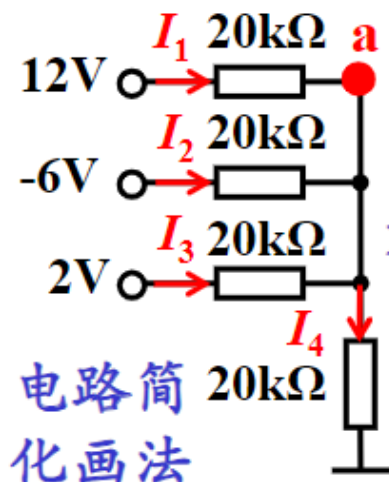
$$= \frac{-\frac{U_{S1}}{R_1} + \frac{U_{S2}}{R_2} - I_S}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

分母不能把与恒流源串联的电阻 R_4 计算在内



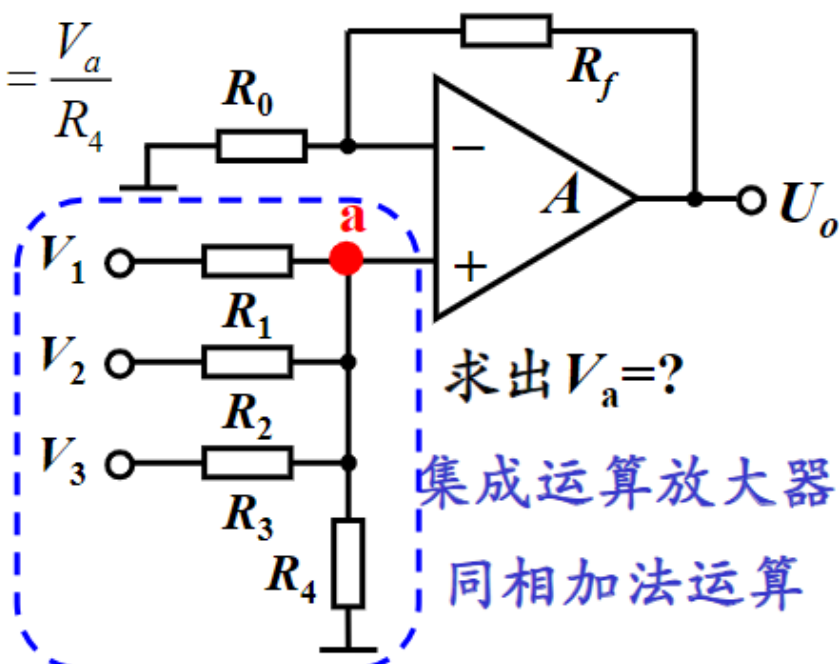
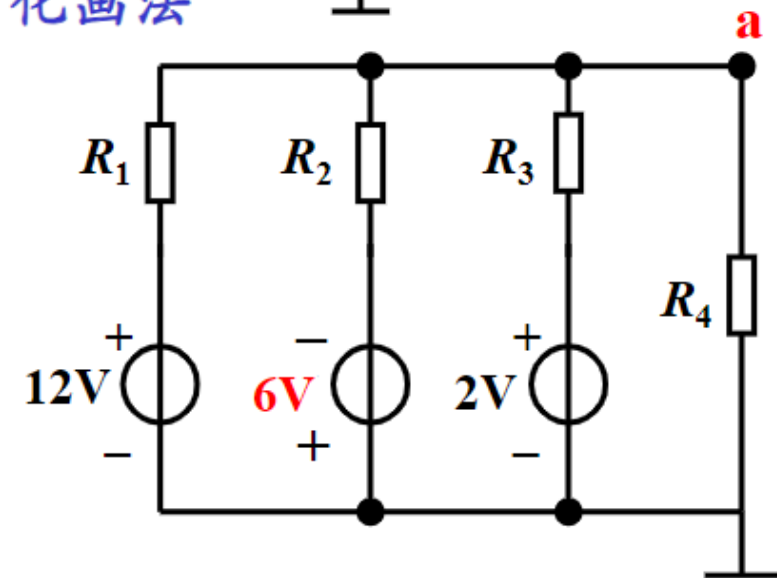
两节点电压公式的**后续应用**：用于求解同相加法器的**输入信号**

$$\text{求出 } V_a = ? \quad \frac{12 - V_a}{R_1} + \frac{(-6) - V_a}{R_2} + \frac{2 - V_a}{R_3} = \frac{V_a}{R_4}$$



方法1: 基尔霍夫定律

方法2: 直接使用
两节点电压公式



求出 $V_a = ?$

集成运算放大器
同相加法运算

$$V_a = \frac{\sum \frac{U_s}{R}}{\sum \frac{1}{R}} = \frac{\frac{12}{R_1} + \frac{-6}{R_2} + \frac{2}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = 2V$$

非两节点电路不能使用该公式
使用基尔霍夫定律列出方程组

已知： U_S 、 I_S 、 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4

求解： 利用节点电压法求电路中的所有支路电流

分析步骤：

1、 在电路中任选一个节点做为参考点，用 “ \perp ” 表示， $V_{\text{参}}=0$ ；

三个节点a、 b、 c， 节点c作为参考节点， a、 b作为独立节点， 则节点电位 V_a 和 V_b 作为未知量

2、 设定所有支路电流的参考方向， 用节点电位表示出各支路电流；

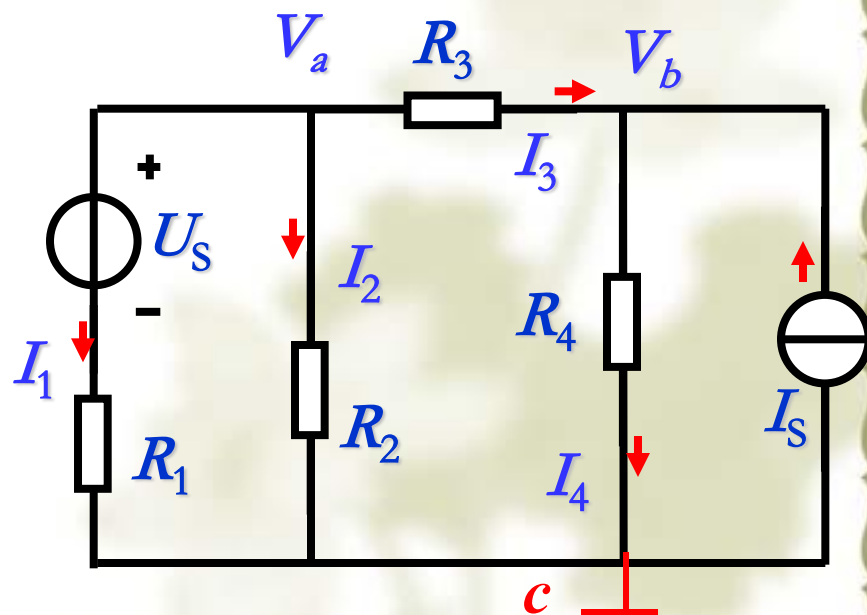
$$I_1 R_1 = V_a - V_S \quad I_2 R_2 = V_a$$

$$I_3 R_3 = V_a - V_b \quad I_4 R_4 = V_b$$

3、 对各独立节点利用KCL定律列节点方程：

$$\text{节点a: } I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$\text{节点b: } -I_3 + I_4 - I_S = 0$$



分析步骤:

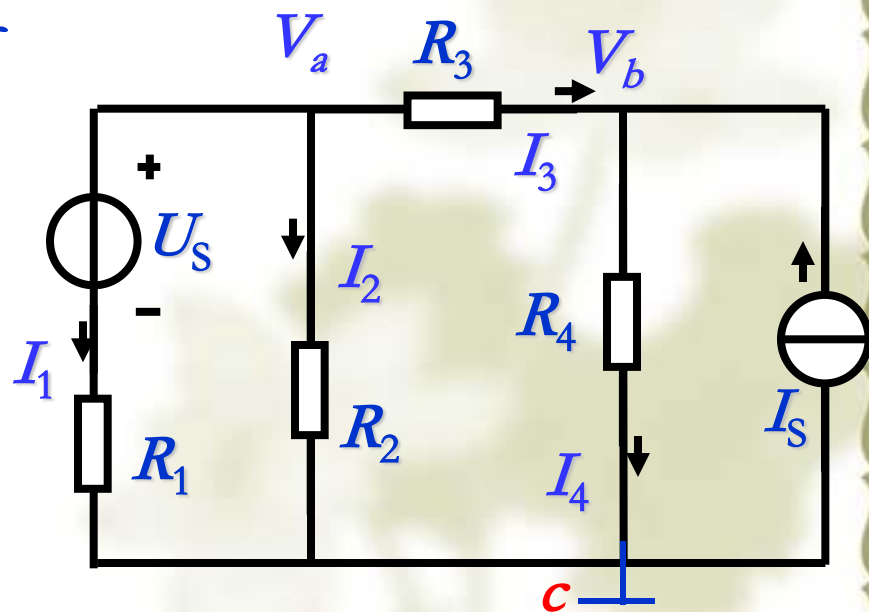
4、将支路电流式代入这节点方程中并整理, 得到

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) V_a - \frac{1}{R_3} V_b &= \frac{1}{R_1} U_S \\ -\frac{1}{R_3} V_a + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) V_b &= I_S \end{aligned}$$

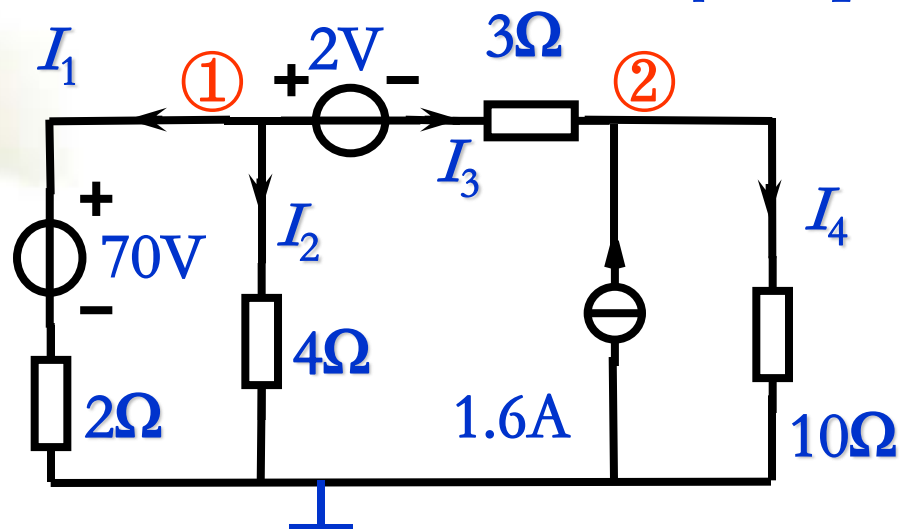
由这 2 个方程解出节点电位 V_a 和 V_b 。

5、由电位 V_a 和 V_b 利用步骤2的式子
求出各支路电流。

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{V_a - V_S}{R_1} & I_2 &= \frac{V_a}{R_2} \\ I_3 &= \frac{V_a - V_b}{R_3} & I_4 &= \frac{V_b}{R_4} \end{aligned}$$



[例1-10] 计算图中电路的节点电位 V_1 和 V_2 。



解： 用节点电位表示出各支路电流；

$$I_1 = \frac{V_1 - 70}{2} = \frac{1}{2}V_1 - 35,$$

$$I_2 = \frac{V_1}{4} = \frac{1}{4}V_1$$

$$I_3 = \frac{V_1 - 2 - V_2}{3} = \frac{1}{3}V_1 - \frac{1}{3}V_2 - \frac{2}{3},$$

$$I_4 = \frac{V_2}{10} = \frac{1}{10}V_2$$

3、对各独立节点利用KCL定律列方程：

节点1: $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

节点2: $-I_3 - 1.6 + I_4 = 0$

4、将支路电流式代入这节点方程中并整理，得到

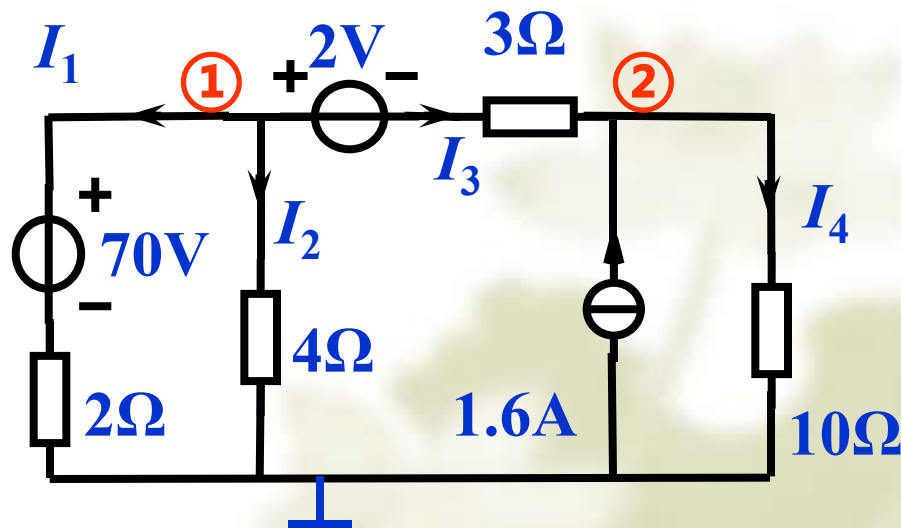
$$13V_1 - 4V_2 = 428$$

$$-10V_1 + 13V_2 = 28$$

解得

$$V_1 = 44(\text{V})$$

$$V_2 = 36(\text{V})$$



思考：能使用两节点方程吗？

节点电压法

原理：以电路中**所有节点的电位**为未知量，利用基尔霍夫定律，

列出方程组，联立方程组进行求解

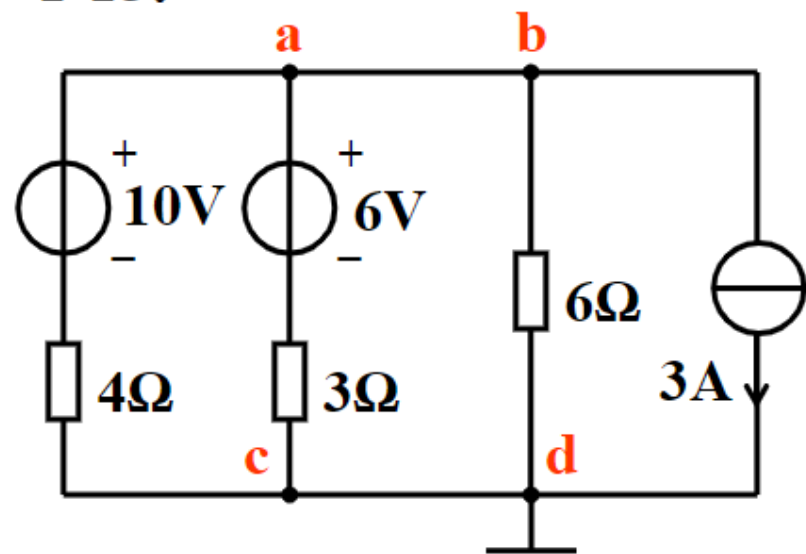
优点：原理简单，适用于任何电路

缺点：对于非两节点电路，所需方程仍较多，计算复杂

节点电压法的**解题步骤**：

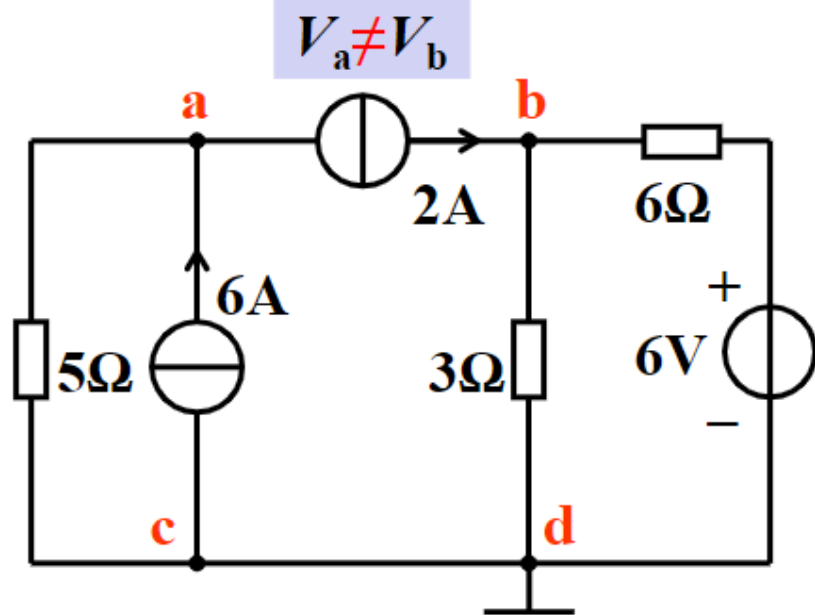
- 1、在电路中选一个节点做为参考点，其它节点作为独立节点，节点电位作为未知量；
- 2、设定所有支路电流的**参考方向**，用节点电位表示出各支路电流；
- 3、利用KCL，对电路中的各独立节点列出节点电流方程；
- 4、将支路电流代入节点方程并整理计算，求得各节点电位；

今晚作业：P28 1-13（要求用电源等效变换定理）、1-14、1-15
1-15:



对于广义两节点电路，可直接使用两节点电压公式

方法二：思考如何利用ab之间恒流源的恒流特性来间接使用两节点电压公式？



注意：恒流源两端存在电压(未知)
不可以直接使用两节点电压公式

方法一：使用基尔霍夫定律

- ① 对a和b列出两个电流方程
- ② 利用KVL或欧姆定律找出电流和电位的关系

分析方法三：节点电位法

原理：以电路中**所有节点的电位**为未知量，利用**基尔霍夫定律**列出方程组求解

优点：对于**广义两节点电路**，可以使用

两节点电压公式。只包含**两个不同电位值**节点的电路

当其中一个点为参考点时，

只需求出另一个点的电位

$$V_a = \frac{\sum \frac{U_S}{R} + \sum I_S}{\sum \frac{1}{R}}$$

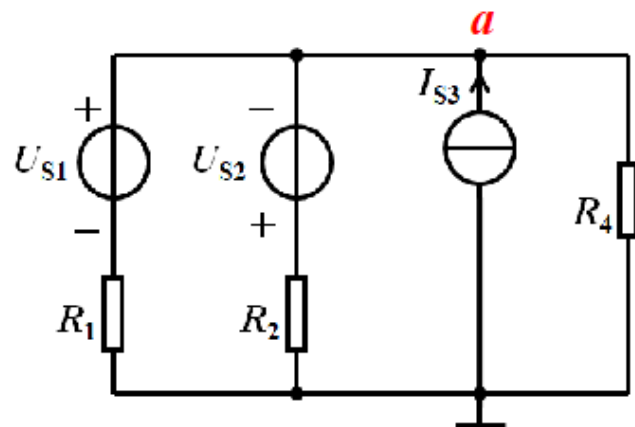
流入a为+
流出a为-

注意：① 分子部分关于**代数和**的定义；

② 与**恒流源串联**的所有元件都**不影响** V_a 相同取+，相反取-
的求解，因此展开公式时，这些元件**均不能出现在**的表达式中。

建议：求 V_a 时，展开公式前可先擦去与恒流源串联的所有元件

缺点：对于非两节点电路，不可使用该公式，只能利用**基尔霍夫定律**列出方程组后再求解（可观看辅助视频的例题）。





习题解答

1-1 (1) 开关S断开时, 求 U 、 I =?

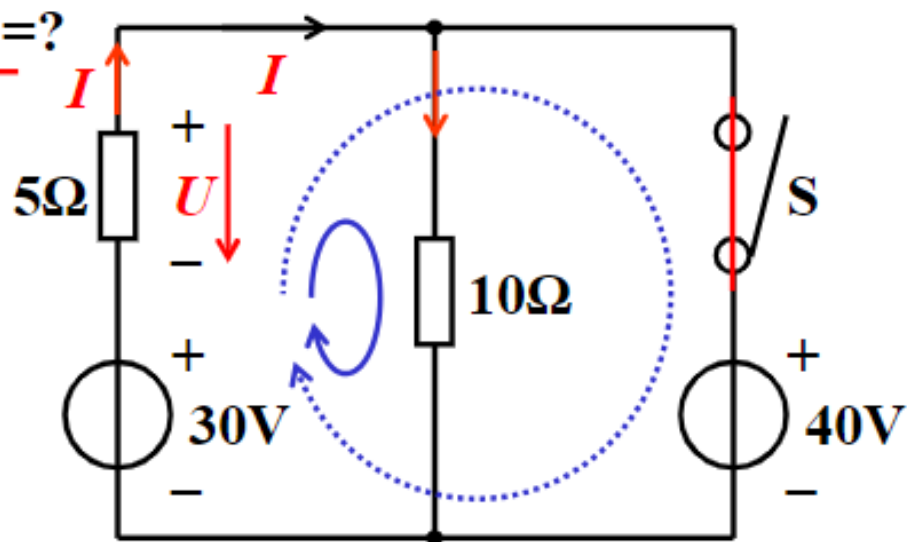
方法一: 先求 I 两者异号

$$\text{KVL: } 10 \times I - 30 + 5 \times I = 0$$

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

$\therefore U$ 、 I 的参考方向相反

$$\therefore U = -I \times 5 = -10\text{V}$$



方法二: 先求 $U \rightarrow$ 分压公式: 需要判断单个电阻的电压与总电阻侧的电压方向是否相同?

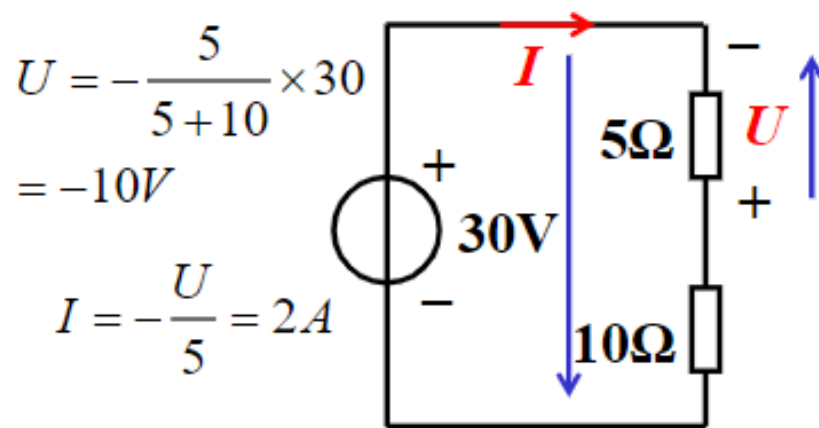
(2) 开关S闭合时, 求 U 、 I =?

$$\text{方法一: } 40 = U + 30 \rightarrow U = 10\text{V}$$

$$I = -U/5 = -2\text{A}$$

$$\text{方法二: KVL: } 40 - 30 + 5I = 0$$

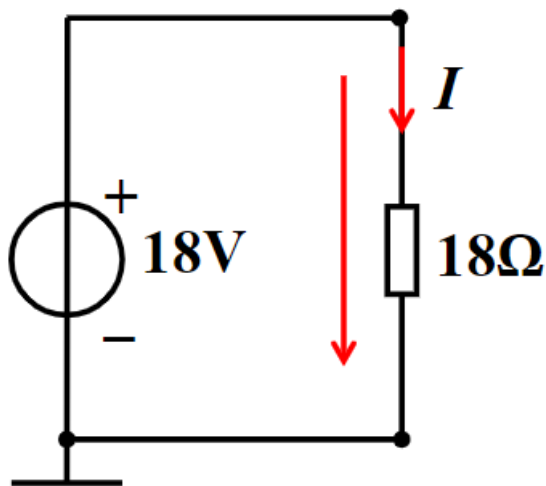
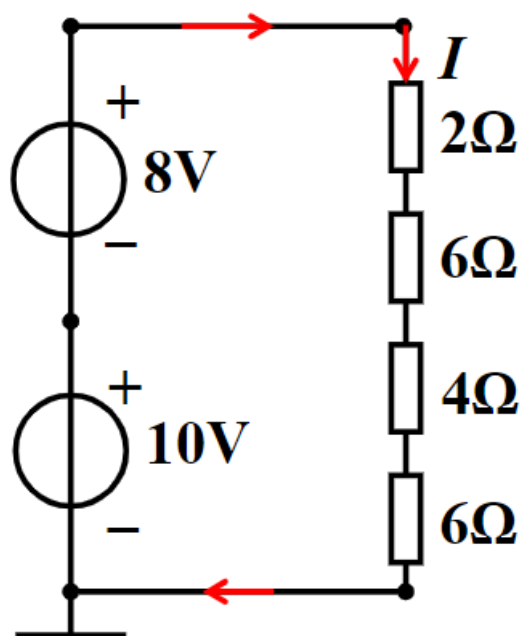
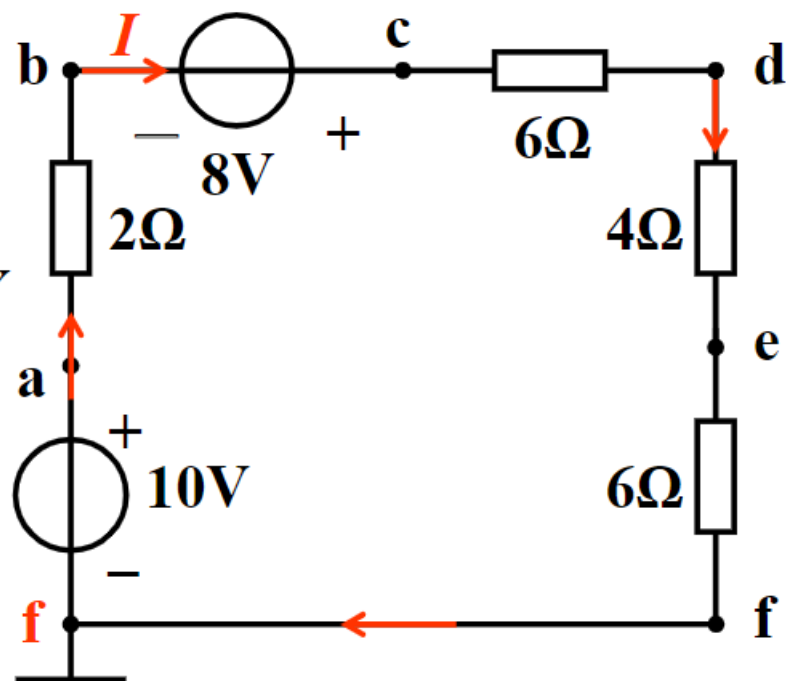
$$\rightarrow I = -2\text{A} \quad U = -I \times 5 = 10\text{V}$$



1-2 求 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 、 V_e = ?

解答过程: $V_f = 0V$ $V_a = U_{af} = 10V$

求 V_b 必须先求 I $\xrightarrow{\text{欧姆定律}}$ $\xrightarrow{\text{KVL(推荐)}}$
 设定参考方向



$$I = \frac{18V}{18\Omega} = 1A$$

1-2 求 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 、 V_e = ?

解答过程: $V_f = 0V$ $V_a = U_{af} = 10V$

求 V_b 必须先求 I $\xrightarrow{\text{欧姆定律}}$ KVL(推荐)

$$\text{KVL: } -8 + 6I + 4I + 6I - 10 + 2I = 0$$

$$\rightarrow I = 1A$$

$$V_b = U_{bf} = U_{ba} + V_a = -2I + 10 = 8V = U_{bc} + 6I + 4I + 6I = -8 + 16 = 8V$$

$$V_c = U_{cf} = U_{cb} + V_b = 8 + 8 = 16V = 6I + 4I + 6I = 16V$$

$$V_d = U_{df} = 4I + 6I = 10V = U_{dc} + V_c = -6I + 16 = 10V$$

$$V_e = U_{ef} = 6I = 6V = U_{ed} + V_d = -4I + 10 = 6V$$

可用其他路径检查

建议求回路电流最好用KVL; 建议假设 I 顺时针流过回路

