

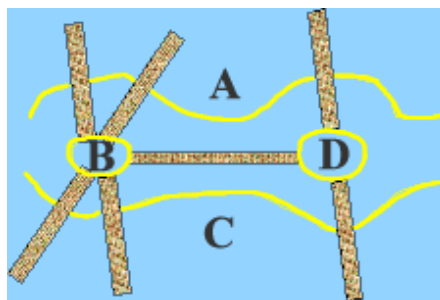
# 第三章 电阻电路的一般分析

---

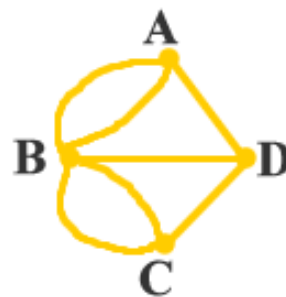
- § 3-1 电路的图
- § 3-2 KCL和KVL的独立方程数
- § 3-3 支路电流法
- § 3-4 网孔电流法
- § 3-5 回路电流法
- § 3-6 结点电压法
- § 3-7 本章小结

## § 3—1 电路的图

### 一、网络图论



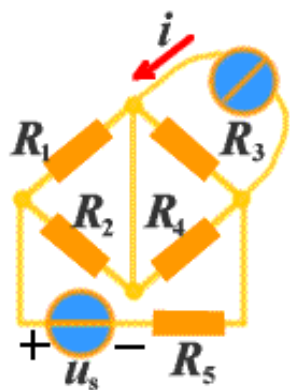
图a 哥尼斯堡七桥



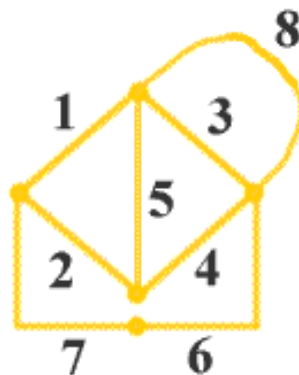
b 对应的图

## § 3—1 电路的图

### 二、电路的图

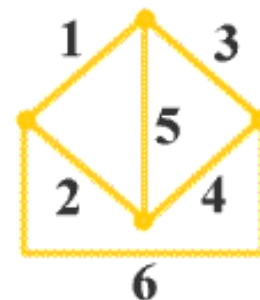


**a** 电路图



**b** 电路的图

(一个元件作为一条支路)



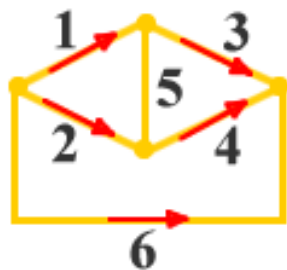
**c** 电路的图

(采用复合支路)

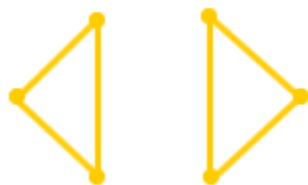
## § 3—1 电路的图

1、有向图：标定了支路方向（电流的方向）的图为有向图。

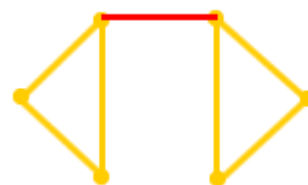
2、连通图：图**G**的任意两节点间至少有一条路经时称为连通图，非连通图至少存在两个分离部分。



有向图



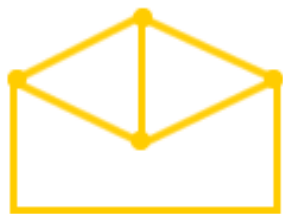
非连通图



连通图

## § 3—1 电路的图

**3、子图：**若图**G1**中所有支路和结点都是图**G**中的支路和结点，则称**G1**是图**G**的子图。



电路的图 (**G**)



**G**图的子图



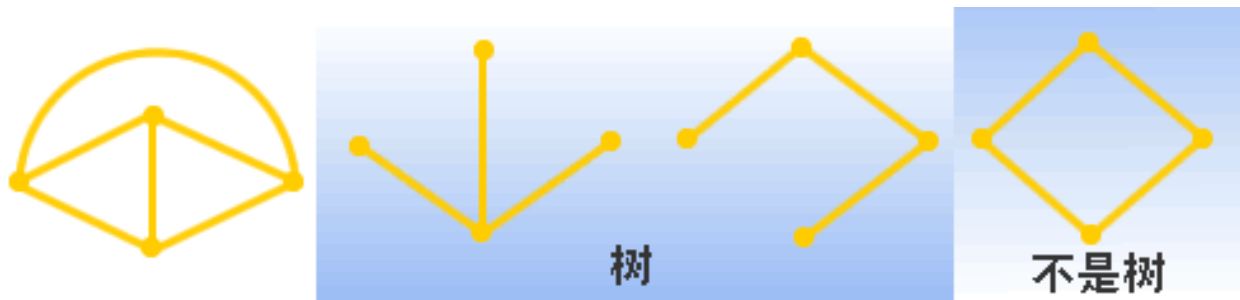
**G**图的子图

## § 3—1 电路的图

4、树（**T**）：树（**T**）是连通图**G**的一个子图，且满足下列条件：

- (1) 连通
- (2) 包含图**G**中所有结点
- (3) 不含闭合路径

{ 树支：成树的支路称树支；  
连支：属于图**G**而不属于树（**T**）的支路称连支

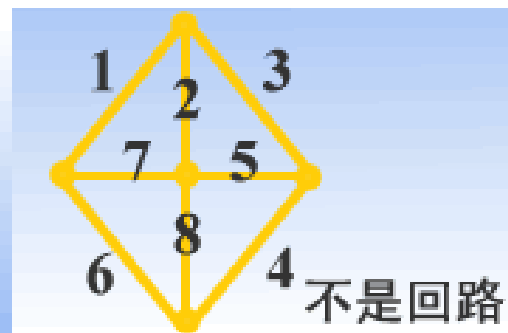
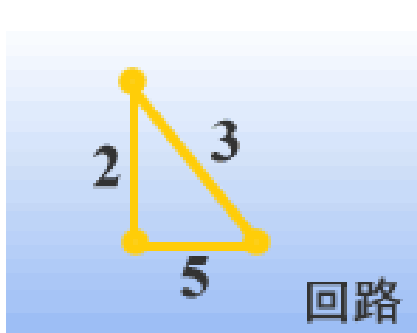
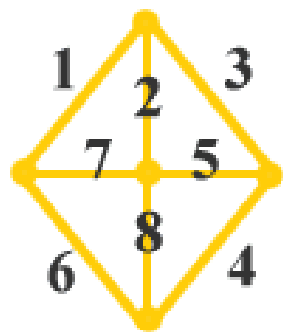


## § 3—1 电路的图

**5、回路：**回路**L**是连通图**G**的一个子图，构成一条闭合路径，并满足条件：

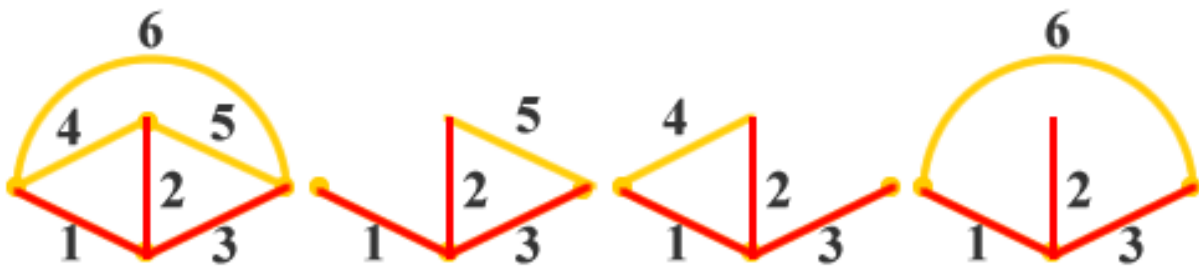
**(1)**连通；

**(2)**每个节点关联**2**条支路。



## § 3—1 电路的图

**6、基本回路(单连支回路)：**基本回路具有独占的一条连支，即基本回路具有别的回路所没有的一条支路。



结论：电路中结点、支路和基本回路关系为：

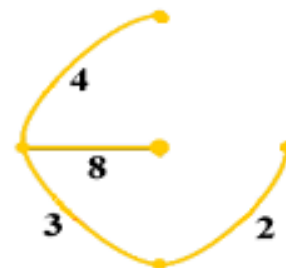
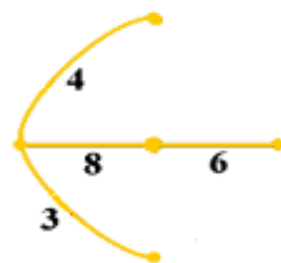
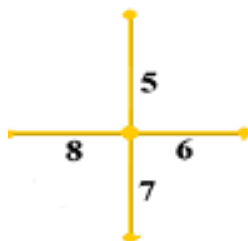
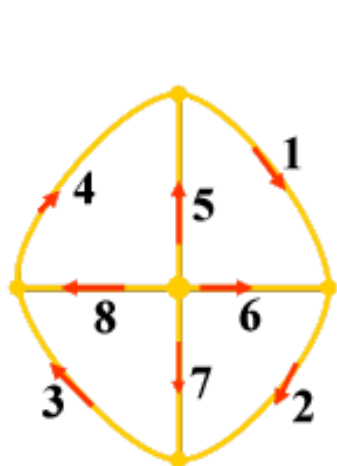
支路数 = 树支数 + 连支数 = 结点数 - 1 + 基本回路数

$$b = n - 1 + l$$

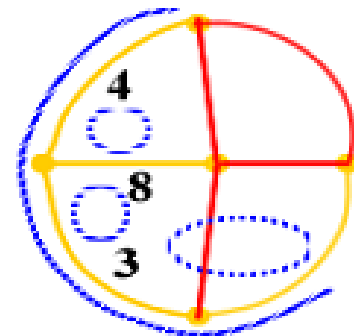
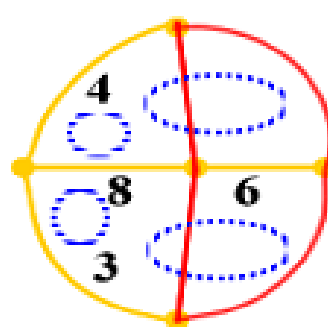
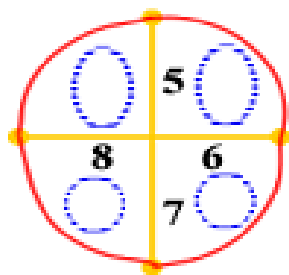


## § 3—1 电路的图

例、图示为电路的图，画出三种可能的树及其对应的基本回路。



对应例图的三个树



对应三个树的基本回路

## § 3—2 KCL和KVL的独立方程数

### 一、KCL的独立方程数

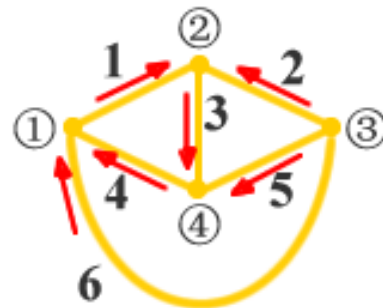
对图中所示电路的图列出4个结点上的KCL方程（设流出结点的电流为正，流入为负）：

$$\text{结点①} \quad i_1 - i_4 - i_6 = 0$$

$$\text{结点②} \quad -i_1 - i_2 + i_3 = 0$$

$$\text{结点③} \quad i_2 + i_5 + i_6 = 0$$

$$\text{结点④} \quad -i_3 + i_4 - i_5 = 0$$



把以上4个方程相加，满足：①+②+③+④=0

结论：n个结点的电路，独立的KCL方程为n-1个，即在求解电路问题时，只需选取n-1个结点来列出KCL方程。

## § 3—2 KCL和KVL的独立方程数

---

### 二、KVL的独立方程数

根据基本回路的概念，可以证明**KVL**的独立方程数=基本回路数= **$b-(n-1)$**

结论：

**$n$** 个结点、 **$b$** 条支路的电路，独立的**KCL**和**KVL**方程数为：

$$(n-1) + b-(n-1)=b$$

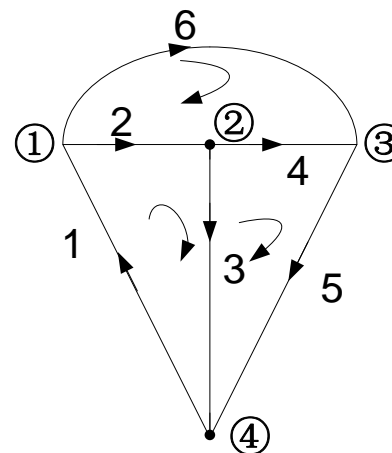
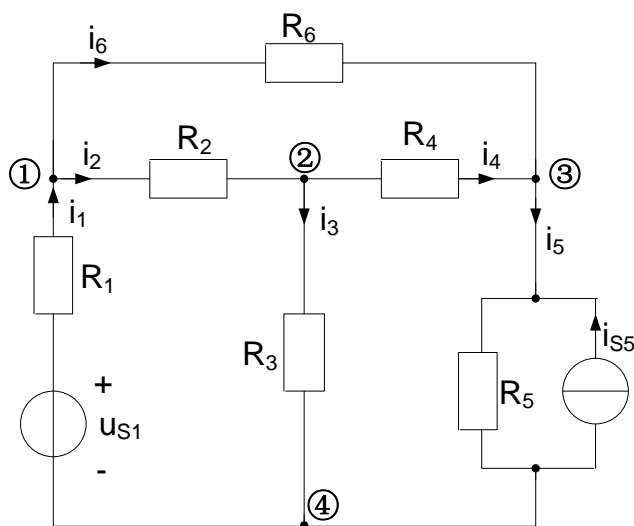
## § 3—3 支路电流法

---

### 一、支路电流法

$$\begin{cases} kcl : n - 1 \\ kcl : b - n + 1 \\ vcr : b \end{cases} \Rightarrow \mathbf{2b} \text{个方程}$$

## § 3—3 支路电流法



**VCR**

$$\begin{cases} u_1 = -u_{S1} + R_1 i_1 \\ u_2 = R_2 i_2 \\ u_3 = R_3 i_3 \\ u_4 = R_4 i_4 \\ u_5 = R_5 i_5 + R_5 i_{S5} \\ u_6 = R_6 i_6 \end{cases}$$

**KVL**

$$\begin{cases} u_1 + u_2 + u_3 = 0 \\ -u_3 + u_4 + u_5 = 0 \\ -u_2 - u_4 + u_6 = 0 \end{cases}$$

## § 3—3 支路电流法

将**VCR**方程代入**KVL**方程得：

$$\begin{cases} -u_{s1} + R_1 i_1 + R_2 i_2 + R_3 i_3 = 0 \\ -R_3 i_3 + R_4 i_4 + R_5 i_5 + R_5 i_{s5} = 0 \\ -R_2 i_2 - R_4 i_4 + R_6 i_6 = 0 \end{cases}$$

将上式中的电源项移到方程的右边，与在独立结点①、②、③处列出的**KCL**方程联立，就组成了支路电流法的全部方程。

$$\begin{cases} -i_1 + i_2 + i_6 = 0 \\ -i_2 + i_3 + i_4 = 0 \\ -i_4 + i_5 - i_6 = 0 \\ R_1 i_1 + R_2 i_2 + R_3 i_3 = u_{s1} \\ -R_3 i_3 + R_4 i_4 + R_5 i_5 = -R_5 i_{s5} \\ -R_2 i_2 - R_4 i_4 + R_6 i_6 = 0 \end{cases}$$

## § 3—3 支路电流法

---

上式中**KVL**方程可归纳为

$$\sum R_k i_k = \sum u_{sk}$$

式中 $\mathbf{R}_k \mathbf{i}_k$ 是回路中第 $\mathbf{k}$ 个支路中电阻上的电压，当 $\mathbf{i}_k$ 的参考方向与回路的参考方向一致时，该项在和式中取“+”号；不一致时则取“-”号；式中右方 $\mathbf{u}_{sk}$ 是回路中第 $\mathbf{k}$ 个支路上的电源电压，电源电压包括电压源的激励电压，也包括由电流源引起的电压。在取代数和时，当 $\mathbf{u}_{sk}$ 与回路方向一致时前面取“-”号（移到等号另一侧），反之取“+”号。

## § 3—3 支路电流法

---

### 二、支路电流方程的列写步骤

- (1) 标定各支路电流（电压）的参考方向；
- (2) 从电路的 $n$ 个结点中任意选择 $n-1$ 个结点列写**KCL**方程
- (3) 选择基本回路，结合元件的特性方程列写 $b-(n-1)$ 个**KVL**方程
- (4) 求解上述方程，得到 $b$ 个支路电流；
- (5) 进一步计算支路电压和进行其它分析。



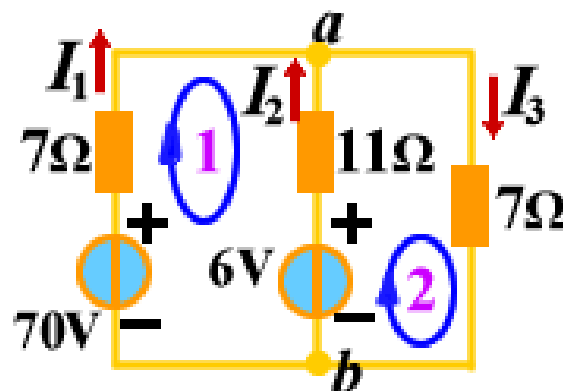
## § 3—3 支路电流法

例1、求图示电路的各支路电流及电压源各自发出的功率。

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

$$7I_1 - 11I_2 = 70 - 6$$

$$11I_2 + 7I_3 = 6$$



$$I_1 = 6\text{A} \quad I_2 = -2\text{A} \quad I_3 = 4\text{A}$$

$$P_{70} = 6 \times 70 = 420\text{W}$$

$$P_6 = -2 \times 6 = -12\text{W}$$

## § 3—3 支路电流法

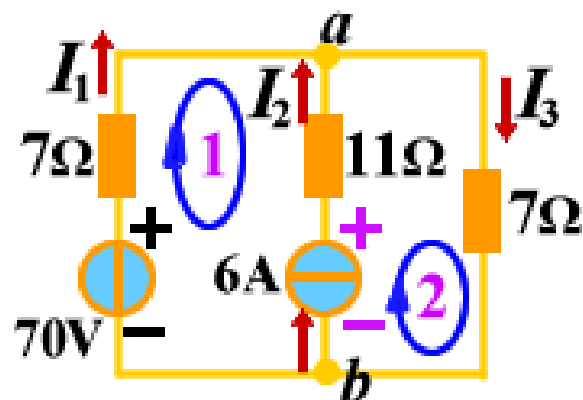
例2、列写图示电路的支路电流方程( 电路中含有理想电流源)

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

$$7I_1 - 11I_2 = 70 - U$$

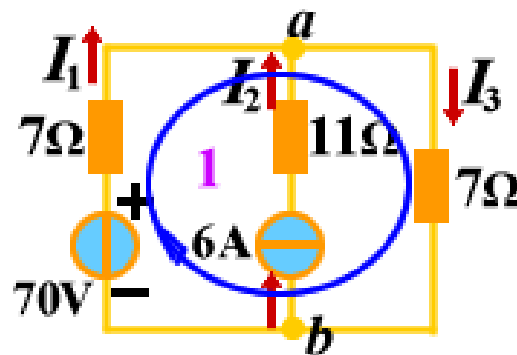
$$11I_2 + 7I_3 = U$$

$$I_2 = 6\text{A}$$



$$-I_1 - 6 + I_3 = 0$$

$$7I_1 + 7I_3 = 70$$



## § 3—3 支路电流法

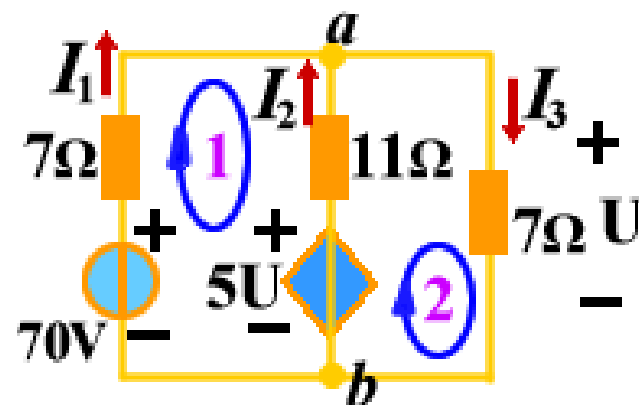
例3、列写图示电路的支路电流方程( 电路中含有受控源)

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

$$7I_1 - 11I_2 = 70 - 5U$$

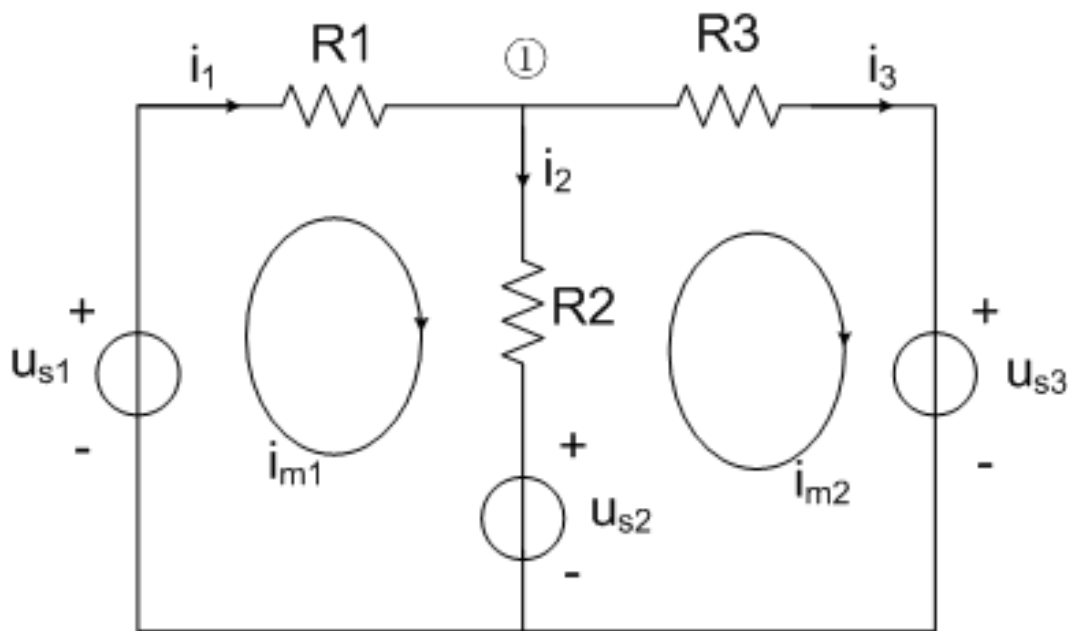
$$11I_2 + 7I_3 = 5U$$

$$U = 7I_3$$



## § 3—4 网孔电流法

网孔电流法只适用于平面电路，是以网孔电流作为电路的独立变量，列**KVL**方程。



## § 3-4 网孔电流

$$-i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

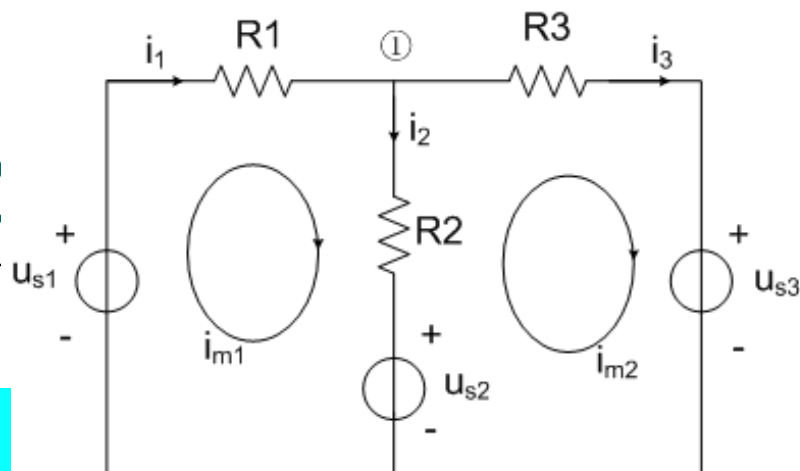
$$i_2 = i_1 - i_3$$

$$i_2 = i_{m1} - i_{m2} = i_1 - i_3$$

$$\begin{cases} u_1 + u_2 = 0 \\ -u_2 + u_3 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = -u_{s1} + R_1 i_1 = -u_{s1} + R_1 i_{m1} \\ u_2 = R_2 i_2 + u_{s2} = R_2 (i_{m1} - i_{m2}) + u_{s2} \\ u_3 = R_3 i_3 + u_{s3} = R_3 i_{m2} + u_{s3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} (R_1 + R_2) i_{m1} - R_2 i_{m2} = u_{s1} - u_{s2} \\ -R_2 i_{m1} + (R_2 + R_3) i_{m2} = u_{s2} - u_{s3} \end{cases}$$



$$\text{自阻} \quad \begin{cases} R_{11} = R_1 + R_2 \\ R_{22} = R_2 + R_3 \end{cases}$$

$$\text{互阻} \quad R_{12} = R_{21} = -R_2$$

$$\begin{cases} R_{11} i_{m1} + R_{12} i_{m2} = u_{s11} \\ R_{21} i_{m1} + R_{22} i_{m2} = u_{s22} \end{cases}$$

## § 3—4 网孔电流法

对具有**m**个网孔的平面电路，网孔电流方程的一般形式为：

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{11} i_{m1} + R_{12} i_{m2} + R_{13} i_{m3} + \dots + R_{1m} i_{mm} = u_{s11} \\ R_{21} i_{m1} + R_{22} i_{m2} + R_{23} i_{m3} + \dots + R_{2m} i_{mm} = u_{s22} \\ \dots\dots\dots \\ R_{m1} i_{m1} + R_{m2} i_{m2} + R_{m3} i_{m3} + \dots + R_{mm} i_{mm} = u_{smm} \end{array} \right.$$

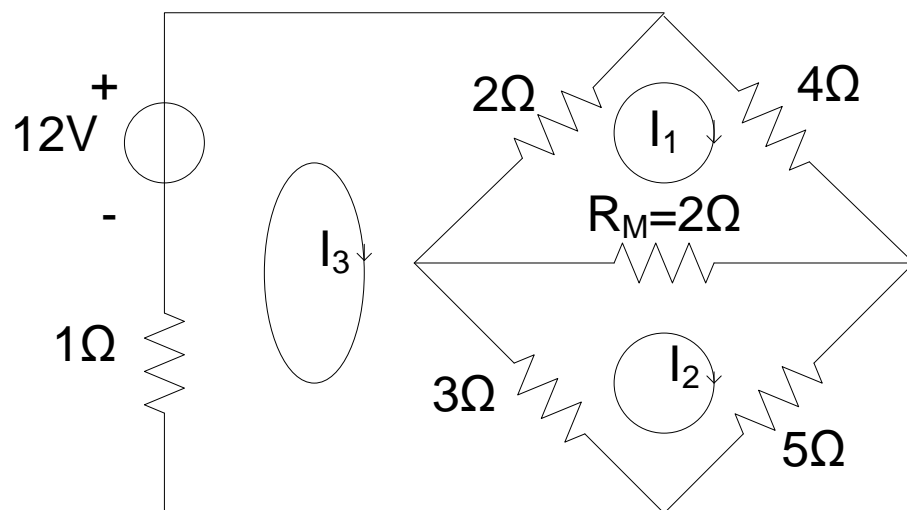
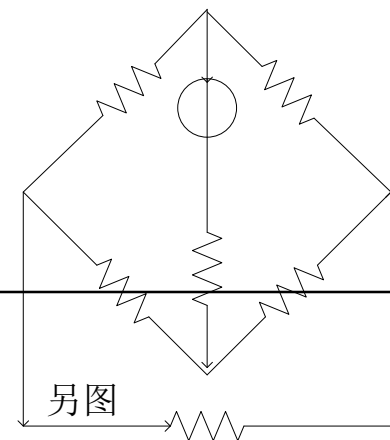
相同下标电阻 $R_{11}$ 、 $R_{22}$ 、 $R_{33}$ 等是各网孔的自阻;——总为正

不同下标电阻 $R_{12}$ 、 $R_{13}$ 、 $R_{23}$ 等是网孔间的互阻；——正负视网孔电流在共有支路上参考方向是否相同而定

$u_{s11}$ 、 $u_{s22}$ 、 $u_{s33}$  等是各网孔电压源电压的代数和；——与网孔电流方向一致时取“—”，反之为“+”。

## § 3-4 网孔电流法

例：求图中所示电路的  $I_{RM}$  = ?



$$\begin{cases} 8I_1 - 2I_2 - 2I_3 = 0 \\ -2I_1 + 10I_2 - 3I_3 = 0 \\ -2I_1 - 3I_2 + 6I_3 = 12 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 = 39/40 \\ I_2 = 21/20 \end{cases}$$

$$I_{RM} = I_2 - I_1 = 3/40$$

## § 3—5 回路电流法

对于具有 $l=b-(n-1)$ 个基本回路的电路，回路（网孔）电流方程的标准形式：

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{11}i_{l1} + R_{12}i_{l2} + R_{13}i_{l3} + \dots\dots\dots + R_{1l}i_{ll} = u_{s11} \\ R_{21}i_{l1} + R_{22}i_{l2} + R_{23}i_{l3} + \dots\dots\dots + R_{2l}i_{ll} = u_{s22} \\ \dots\dots\dots \\ R_{l1}i_{l1} + R_{l2}i_{l2} + R_{l3}i_{l3} + \dots\dots\dots + R_{ll}i_{ll} = u_{sll} \end{array} \right.$$

其中：自电阻 $R_{kk}$ 为正；

互电阻  $R_{jk}=R_{kj}$  可正可负，当流过互电阻的两回路电流方向相同时为正，反之为负；

等效电压源  $u_{S_{kk}}$  分别为各回路中所有电压源的代数和，电压源电压方向与该回路电流方向一致时，取负号；反之取正号。



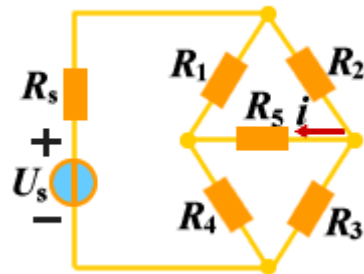
## § 3—5 回路电流法

---

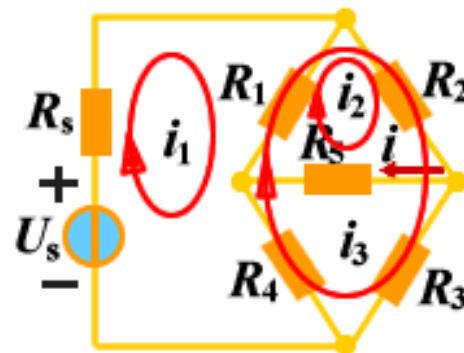
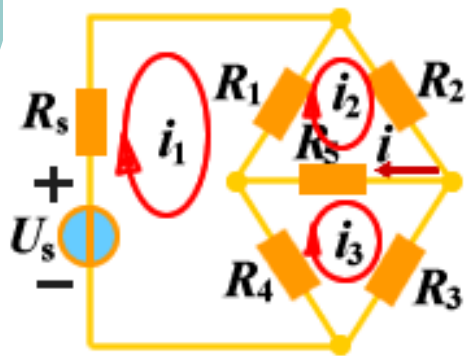
回路法的一般步骤：

- (1) 选定 $l=b-(n-1)$ 个基本回路，并确定其绕行方向；
- (2) 对 $l$ 个基本回路，以回路电流为未知量，列写 KVL 方程；
- (3) 求解上述方程，得到 $l$ 个回路电流；
- (4) 求各支路电流(用回路电流表示)；
- (5) 其它分析。

## § 3—5 回路电流法



例1、列写如下电路的回路电流方程，说明如何求解电流  $i$ 。



$$(R_s + R_1 + R_4)i_1 - R_1i_2 - R_4i_3 = U_s$$

$$-R_1i_1 + (R_2 + R_1 + R_5)i_2 - R_5i_3 = 0$$

$$-R_4i_1 - R_5i_2 + (R_3 + R_4 + R_5)i_3 = 0$$

$$i = i_2$$

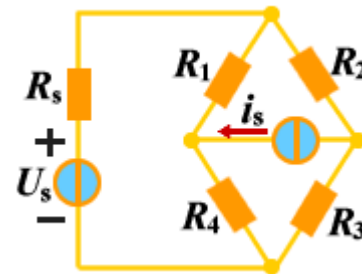
$$i = i_2 - i_3$$

$$(R_s + R_1 + R_4)i_1 - R_1i_2 - (R_1 + R_4)i_3 = U_s$$

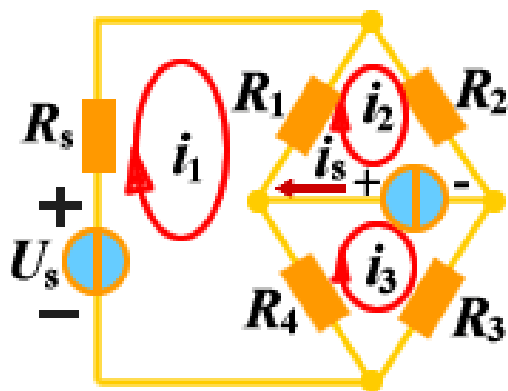
$$-R_1i_1 + (R_2 + R_1 + R_5)i_2 + (R_1 + R_2)i_3 = 0$$

$$-(R_1 + R_4)i_1 + (R_1 + R_2)i_2 + (R_2 + R_1 + R_3 + R_4)i_3 = 0$$

## § 3—5 回路电流法



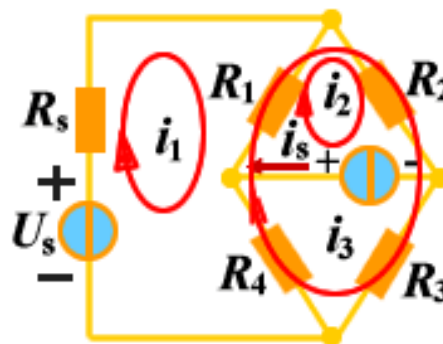
例2、列写图中所示电路的回路电流方程(电路中含有无伴理想电流源)。



$$\begin{aligned} (R_s + R_1 + R_4) i_1 - R_1 i_2 - R_4 i_3 &= U_s \\ -R_1 i_1 + (R_2 + R_1) i_2 &= U \\ -R_4 i_1 + (R_3 + R_4) i_3 &= -U \end{aligned}$$

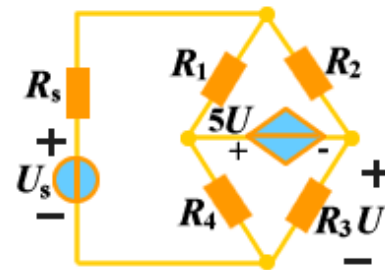
增补一个方程

$$i_s = i_2 - i_3$$



$$\begin{aligned} (R_s + R_1 + R_4) i_1 - R_1 i_2 - (R_1 + R_4) i_3 &= U_s \\ i_s &= i_2 \\ -(R_1 + R_4) i_1 + (R_1 + R_2) i_2 + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) i_3 &= 0 \end{aligned}$$

## § 3—5 回路电流法



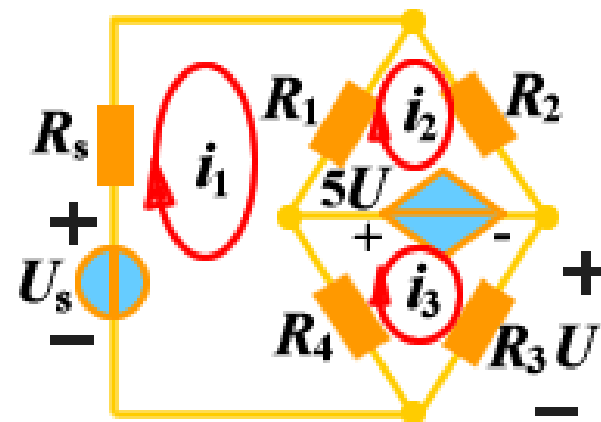
例3、列写图示电路的回路电流方程( 电路中含有受控源)。

$$(R_s + R_1 + R_4) i_1 - R_1 i_2 - R_4 i_3 = U_s$$

$$-R_1 i_1 + (R_2 + R_1) i_2 = 5U$$

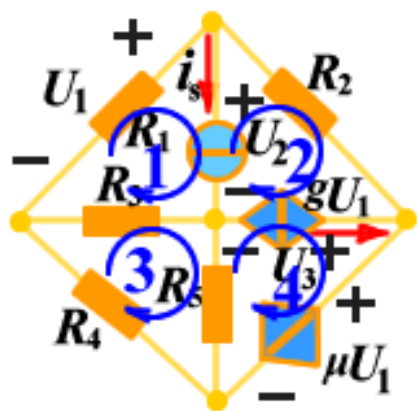
$$-R_4 i_1 + (R_3 + R_4) i_3 = -5U$$

$$U = R_3 i_3$$



## § 3—5 回路电流法

例4、列写图示电路的回路电流方程



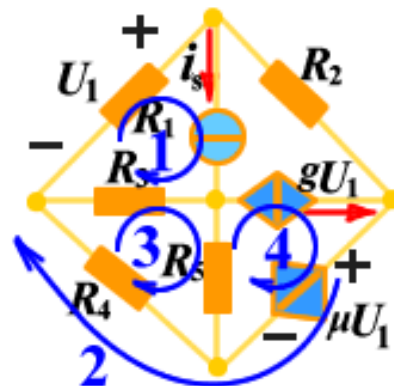
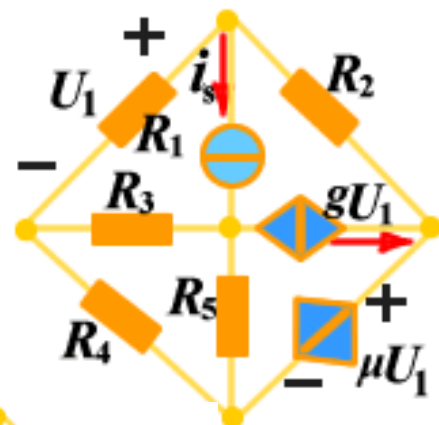
$$(R_1 + R_3) i_1 - R_3 i_3 = -U_2$$

$$R_2 i_2 = U_2 - U_3$$

$$-R_3 i_1 + (R_3 + R_4 + R_5) i_3 - R_5 i_4 = 0$$

$$-R_5 i_3 + R_5 i_4 = U_3 - \mu U_1$$

$$i_s = i_1 - i_2 \quad -R_1 i_1 = U_1 \quad i_4 - i_2 = gU_1$$



$$i_s = i_1$$

$$R_1 i_1 + (R_1 + R_4 + R_2) i_2 + R_4 i_3 = -\mu U_1$$

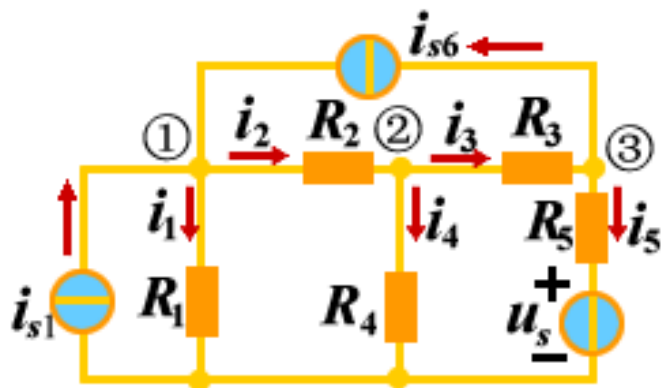
$$-R_3 i_1 + R_4 i_2 + (R_3 + R_4 + R_5) i_3 - R_5 i_4 = 0$$

$$i_4 = gU_1$$

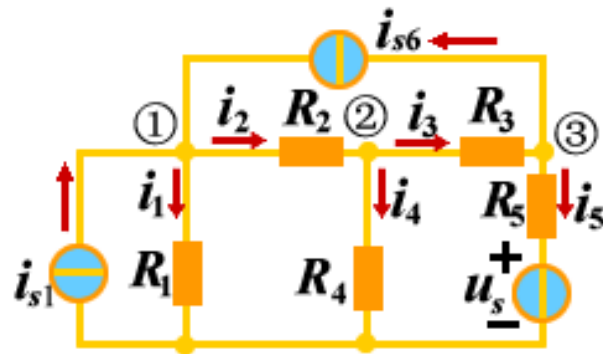
$$\text{增补方程: } -R_1 (i_1 + i_2) = U_1$$

## § 3—6 结点电压法

在电路中任选一结点作参考点，其余各结点与参考点之间的电压差称为相应各结点的电压(位)，方向为从独立结点指向参考结点。如下图所示电路，选下部结点为参考结点，设结点**1**、**2**、**3**的电位分别为 $u_{n1}$ ， $u_{n2}$ ， $u_{n3}$ 。则支路**1**的电压为结点**1**的电压 $u_{n1}$ ，支路**2**的电压为结点**1**和结点**2**的电压差，依此类推，任一支路电压都可以用结点电压表示。



## § 3—6 结点电压法



各支路电压:

$$u_1 = u_{n1}$$

$$u_2 = u_{n1} - u_{n2}$$

$$u_3 = u_{n2} - u_{n3}$$

$$u_4 = u_{n2}$$

$$u_5 = u_{n3}$$

$$u_6 = u_{n3} - u_{n1}$$

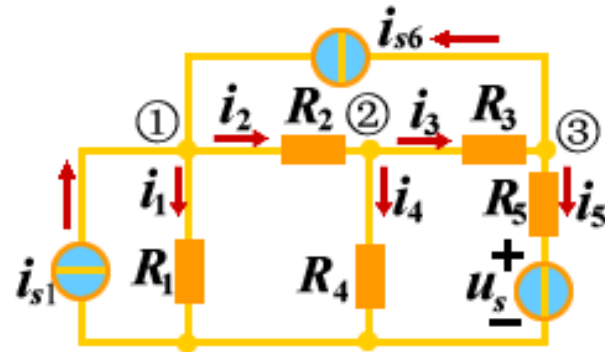
支路电流:

$$i_1 = \frac{u_{n1}}{R_1} = G_1 u_{n1}$$

$$i_2 = \frac{u_{n1} - u_{n2}}{R_2} = G_2 (u_{n1} - u_{n2})$$

KVL自动满足:  $-u_{n1} + (u_{n1} - u_{n2}) + u_{n2} = 0$

## § 3—6 结点电压法



**KCL:**

结点 ①  $i_1 + i_2 = i_{s1} + i_{s6}$

结点 ②  $-i_2 + i_3 + i_4 = 0$

结点 ③  $-i_3 + i_5 = -i_{s6}$

$$\frac{u_{n1}}{R_1} + \frac{u_{n1} - u_{n2}}{R_2} = i_{s1} + i_{s6}$$

$$-\frac{u_{n1} - u_{n2}}{R_2} + \frac{u_{n2} - u_{n3}}{R_3} + \frac{u_{n2}}{R_4} = 0$$

$$-\frac{u_{n2} - u_{n3}}{R_3} + \frac{u_{n3} - u_s}{R_5} = -i_{s6}$$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)u_{n1} - \left(\frac{1}{R_2}\right)u_{n2} = i_{s1} + i_{s6}$$

$$-\frac{1}{R_2}u_{n1} + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n2} - \frac{1}{R_3}u_{n3} = 0$$

$$-\left(\frac{1}{R_3}\right)u_{n2} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5}\right)u_{n3} = -i_{s6} + \frac{u_s}{R_5}$$



## § 3—6 结点电压法

结论：对于具有 $n$ 个结点的电路，结点电压方程的标准形式：

$$G_{11} u_{n1} + G_{12} u_{n2} + G_{13} u_{n3} + \cdots + G_{1(n-1)} u_{n(n-1)} = i_{S11}$$

$$G_{21} u_{n1} + G_{22} u_{n2} + G_{23} u_{n3} + \cdots + G_{2(n-1)} u_{n(n-1)} = i_{S22}$$

.....

$$G_{(n-1)1} u_{n1} + G_{(n-1)2} u_{n2} + G_{(n-1)3} u_{n3} + \cdots + G_{(n-1)(n-1)} u_{n(n-1)} = i_{S(n-1)(n-1)}$$

其中：

$G_{ii}$ —自电导，等于接在结点 $i$ 上所有支路电导之和(包括电压源与电阻串联支路)。

总为正。

$G_{ij}=G_{ji}$ —互电导，等于接在结点 $i$ 与结点 $j$ 之间的所支路的电导之和，总为负。

$i_{Sii}$ —流入结点 $i$ 的电流源电流的代数和(包括由电压源与电阻串联支路等效的电流源)

## § 3—6 结点电压法

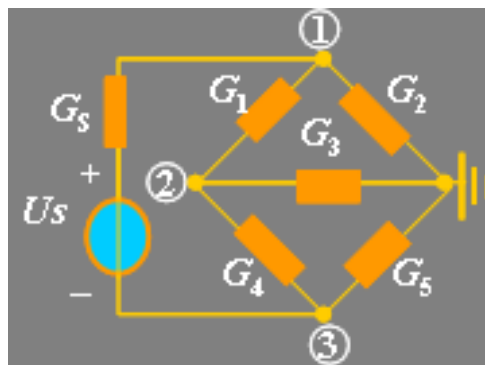
---

结点法的一般步骤：

- (1) 选定参考结点，标定其余 $n-1$ 个独立结点；
- (2) 对 $n-1$ 个独立结点，以结点电压为未知量，列写其**KCL**方程；
- (3) 求解上述方程，得到 $n-1$ 个结点电压；
- (4) 求各支路电流(用结点电压表示)；
- (5) 其它分析。

## § 3—6 结点电压法

例1、列写图示电路的节点电压方程。



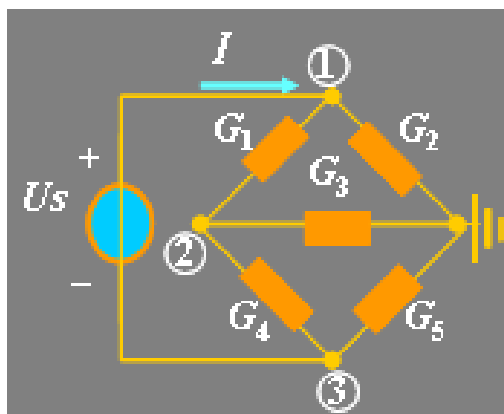
结点1  $(G_1 + G_2 + G_S)U_{n1} - G_1U_{n2} - G_SU_{n3} = G_SU_S$

结点2  $-G_1U_{n1} + (G_1 + G_3 + G_4)U_{n2} - G_4U_{n3} = 0$

结点3  $-G_SU_{n1} - G_4U_{n2} + (G_4 + G_5 + G_S)U_{n3} = -G_SU_S$

## § 3—6 结点电压法

例2、试列写图示电路的节点电压方程（图中含有无伴电压源支路）

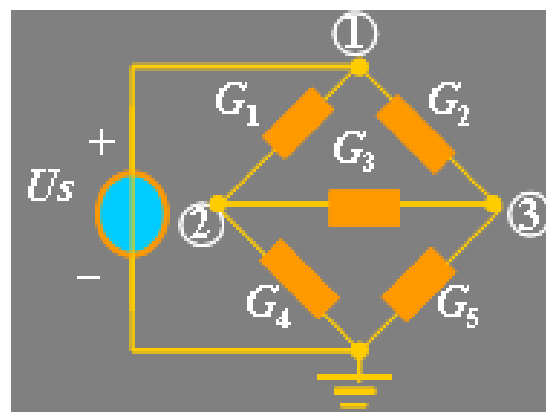


$$(G_1 + G_2)U_{n1} - G_1U_{n2} = I$$

$$-G_1U_{n1} + (G_1 + G_3 + G_4)U_{n2} - G_4U_{n3} = 0$$

$$-G_4U_{n2} + (G_4 + G_5)U_{n3} = -I$$

$$U_{n1} - U_{n3} = U_s$$



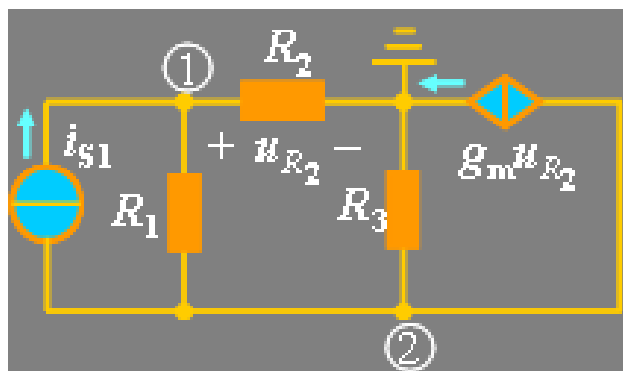
$$U_{n1} = U_s$$

$$-G_1U_{n1} + (G_1 + G_3 + G_4)U_{n2} - G_3U_{n3} = 0$$

$$-G_2U_{n1} - G_3U_{n2} + (G_2 + G_5 + G_3)U_{n3} = 0$$

## § 3—6 结点电压法

例3、列写图示电路的结点电压方程（图中含有受控源）。



$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)u_{n1} - \frac{1}{R_1}u_{n2} = i_{S1}$$

$$-\frac{1}{R_1}u_{n1} + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}\right)u_{n2} = -i_{S1} - g_m u_{R2}$$

$$u_{R2} = u_{n1}$$

## § 3—6 结点电压法

例4、列写图示电路的结点电压方程。

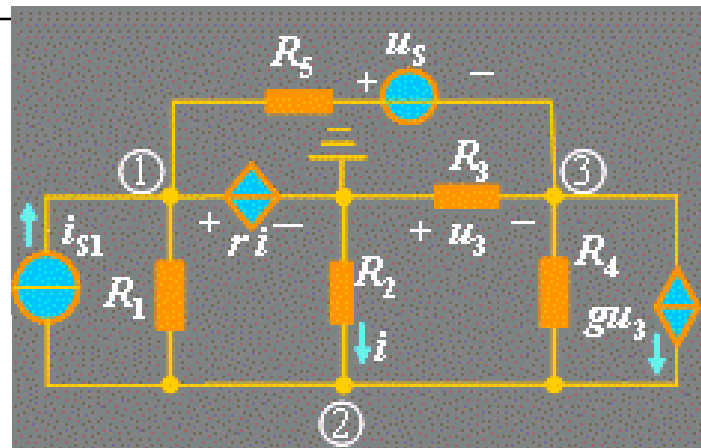
$$u_{n1} = ri$$

$$-\frac{1}{R_1}u_{n1} + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n2} - \frac{1}{R_4}u_{n3} = -i_{s1} + gu_3$$

$$-\frac{1}{R_5}u_{n1} - \frac{1}{R_4}u_{n2} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}\right)u_{n3} = -gu_3 - \frac{u_s}{R_5}$$

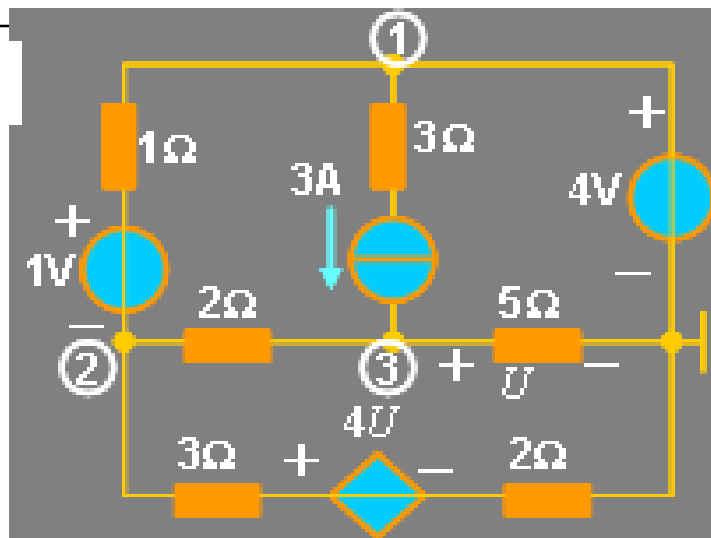
$$u_3 = -u_{n3}$$

$$i = -u_{n2}/R_2$$



## § 3—6 结点电压法

例5、列写图示电路的结点电压方程。



$$u_{n1} = 4V$$

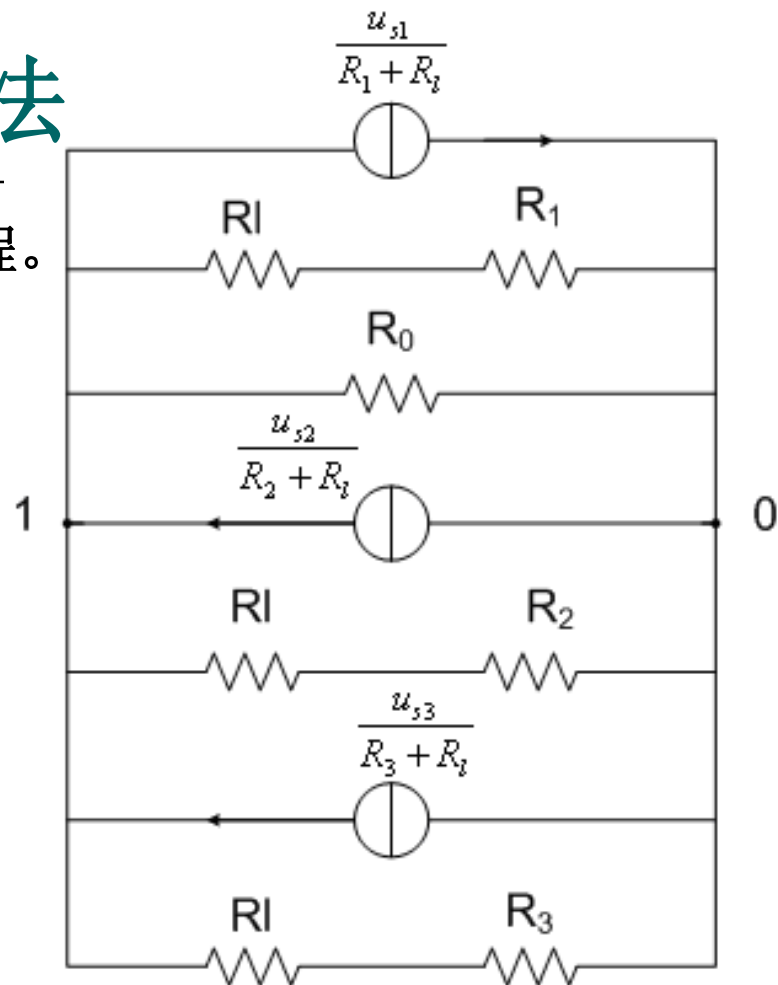
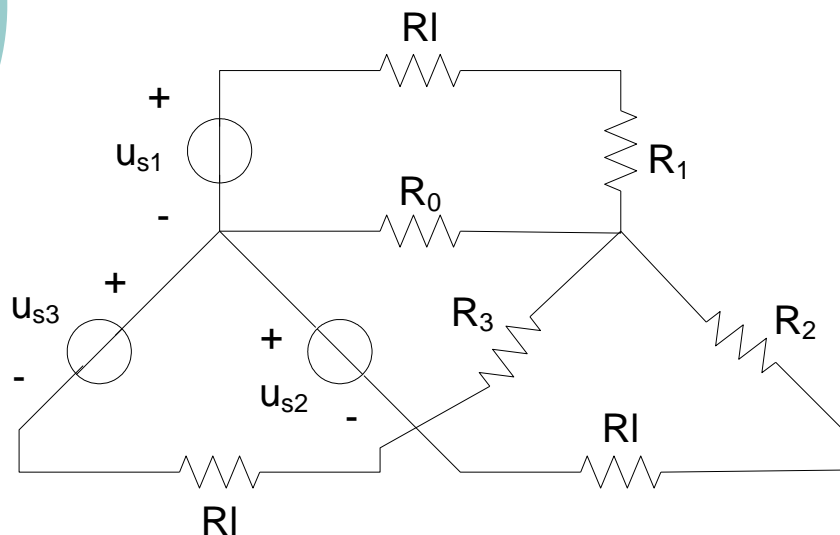
$$-u_{n1} + \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2+3}\right) u_{n2} - \frac{1}{2} u_{n3} = -1 + \frac{4U}{5}$$

$$-\frac{1}{2} u_{n2} + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{5}\right) u_{n3} = 3$$

$$U = u_{n3}$$

## § 3—6 结点电压法

例6、列写图示电路的结点电压方程。



$$\left( \frac{1}{R_l + R_1} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_l + R_2} + \frac{1}{R_l + R_3} \right) u_{n1} = \frac{-u_{s1}}{R_l + R_1} + \frac{u_{s2}}{R_l + R_2} + \frac{u_{s3}}{R_l + R_3}$$



## § 3—7 本章小结

---

### 一、方程法分析

2b法：以支路电流和支路电压为变量，共 $2b$ 个方程

1. 支路电流法：以支路电流为主要变量，共 $b$ 个方程
2. 网孔分析法：以网孔电流为主要变量，共 $b-n+1$ 个方程
3. 回路分析法：以回路电流为主要变量，共 $b-n+1$ 个方程
3. 节点电压法：以节点电压为主要变量，共 $n-1$ 个方程

## § 3—7 本章小结

---

### 二、方程通式

#### 1. 网孔方程通式

$$\begin{cases} R_{11}i_{m1} + R_{12}i_{m2} + R_{13}i_{m3} = u_{s11} \\ R_{21}i_{m1} + R_{22}i_{m2} + R_{23}i_{m3} = u_{s22} \\ R_{31}i_{m1} + R_{32}i_{m2} + R_{33}i_{m3} = u_{s33} \end{cases}$$

#### 2. 回路方程通式

$$\begin{cases} R_{11}i_{l1} + R_{12}i_{l2} + R_{13}i_{l3} = u_{s11} \\ R_{21}i_{l1} + R_{22}i_{l2} + R_{23}i_{l3} = u_{s22} \\ R_{31}i_{l1} + R_{32}i_{l2} + R_{33}i_{l3} = u_{s33} \end{cases}$$

## § 3—7 本章小结

---

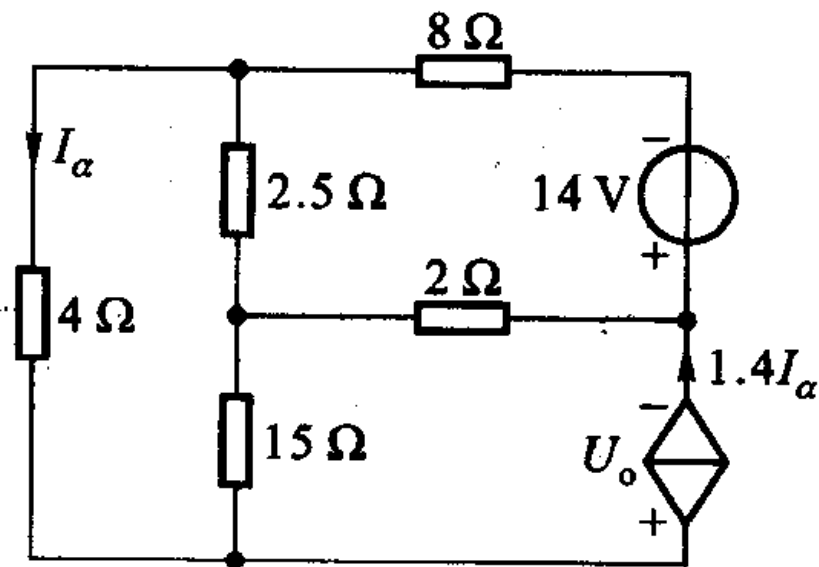
### 3. 节点方程通式

$$\begin{cases} G_{11}u_{n1} + G_{12}u_{n2} + G_{13}u_{n3} = i_{s11} \\ G_{21}u_{n1} + G_{22}u_{n2} + G_{23}u_{n3} = i_{s22} \\ G_{31}u_{n1} + G_{32}u_{n2} + G_{33}u_{n3} = i_{s33} \end{cases}$$

## § 3-7 本章小结

3-12

用回路电流法求解题 3-12 图所示电路中电流  $I_a$  及电压  $U_o$ 。

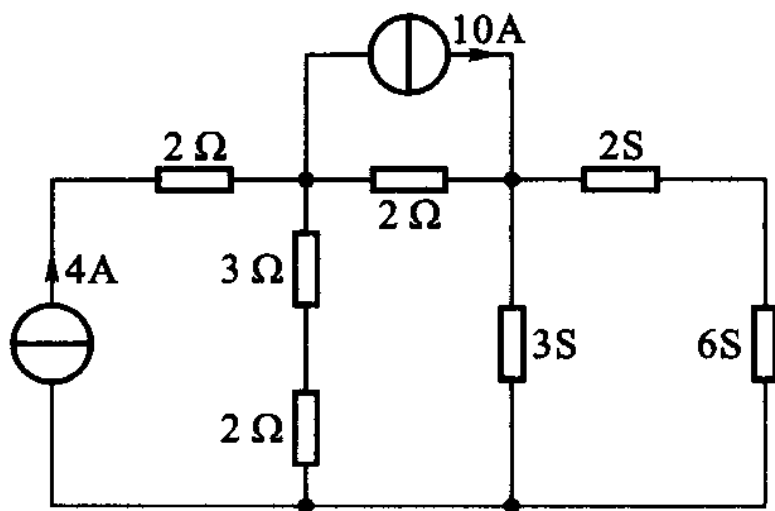


题 3-12 图

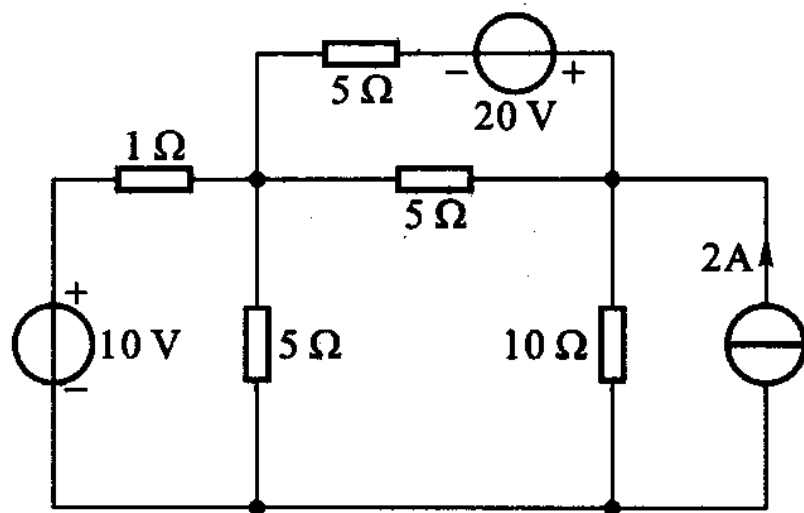
## § 3-7 本章小结

3-16

列出题 3-16 图(a)、(b)所示电路的结点电压方程。



(a)

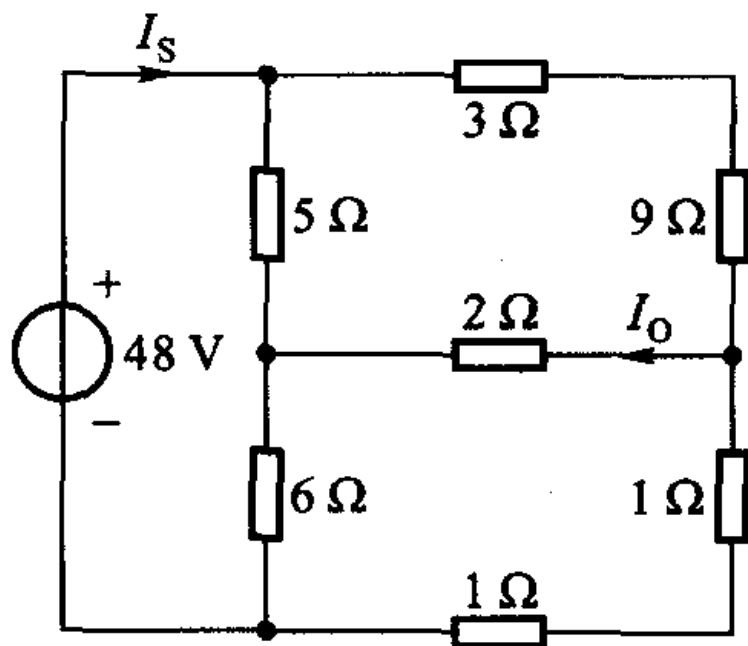


(b)

## § 3-7 本章小结

3-20

题 3-20 图所示电路中电源为无伴电压源,用结点电压法求解电流  $I_S$  和  $I_O$ 。



题 3-20 图