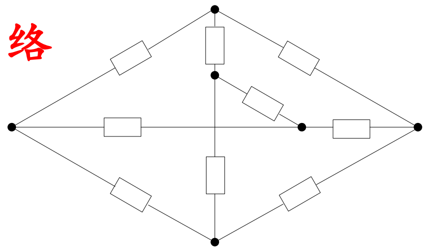
基尔霍夫定律

基尔霍夫定律概括了电路中电流和电压分别遵循的基本规律，是用以分析和计算电路的基本依据。

KCL适用于集中参数电路中的任一“结点”，

KVL适用于集中参数电路中的任一“回路”。

非平面网络



有关术语

（1）网络：含元件较多的电路

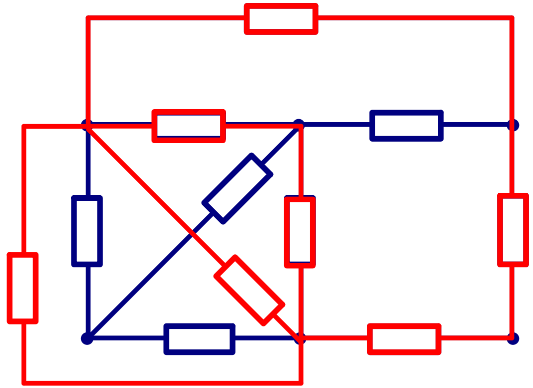
（2）支路：二端元件

（3）结点（节点）：元件的端点

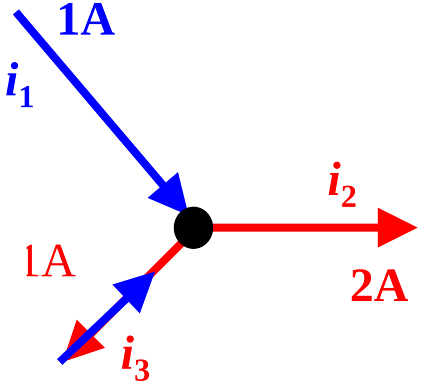
（4）回路：电路中任一闭合路径

（5）网孔：内部不含组成回路以外支路的回路

平面网络

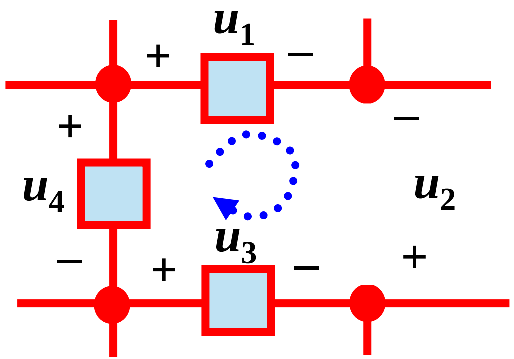


基尔霍夫第一定律KCL	基尔霍夫第二定律KVL
对于任一集中参数电路中的任一结点，在任一瞬间，流出（或流入）该结点的所有支路电流的代数和等于零。	对于任一集中参数电路中的任一回路，在任一瞬间，沿该回路的所有支路电压的代数和等于零。
KCL反映了电路中汇合到任一结点的各支路电流之间的相互约束关系	KVL反映了任一回路中各支路电压之间的相互约束关系



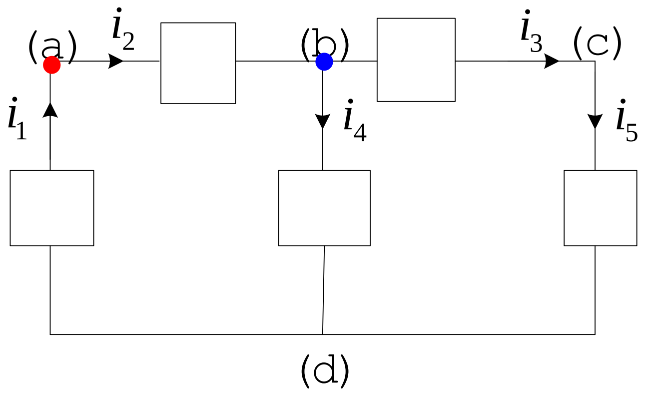
$$+i_1+i_2+i_3=0$$

$$i_2+i_3=i_1$$



$$u_1-u_2-u_3-u_4=0$$

对图示电路，取流出节点的支路电流为正，流入为负，则有：



节点(a)　$-i_1+i_2=0$

节点(b)　$-i_2+i_3+i_4=0$

节点(c)　$-i_3+i_5=0$

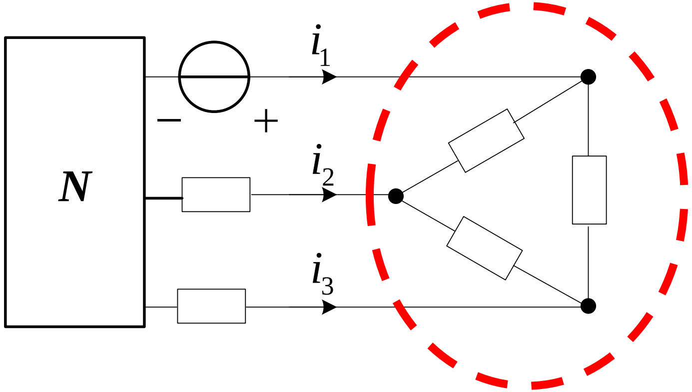
$-i_1+i_4+i_5=0$

节点(d)　$i_1-i_4-i_5=0$

KCL的实质是电流连续性原理在集中参数电路中的表现。所谓电流连续性：在任何一个无限小的时间间隔里，流入和流出同一节点的电流必然是相等的，或在节点上不可能有电荷的积累，即每个节点上电荷守恒。

n个节点电路只有n-1个KCL方程独立

- **KCL给支路电流加上了线性约束，构成（节点数-1）个独立的常系数线性齐次代数方程**
- **KCL仅适用于集中参数电路**
- **KCL与电路中元件的性质无关**
- **KCL也适用于广义节点，即一个闭合面**



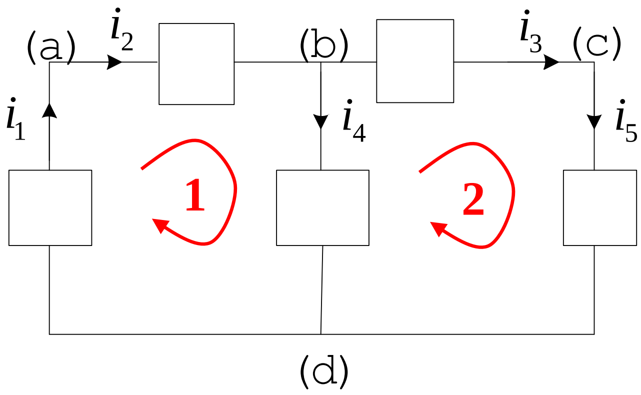
根据KCL，设流入节点的电流为负，则： $-i_1-i_2-i_3=0$

对图示电路，取支路电压与支路电流一致参考方向，则有

内网孔(1)　$u_1+u_2+u_4=0$

内网孔(2)　$-u_4+u_3+u_5=0$

外网孔　$u_1+u_2+u_3+u_5=0$

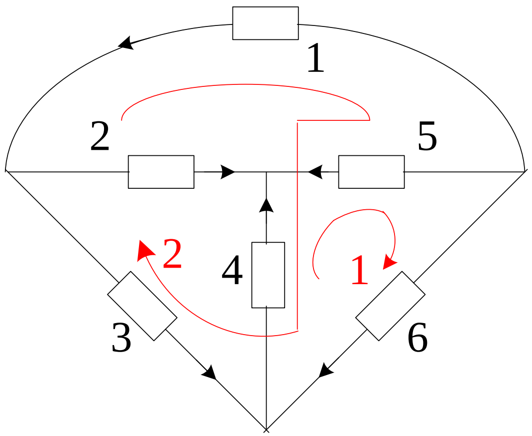


平面网络中独立的KVL方程数与内网孔数相同

对图示电路，取支路电压方向与回路方向一致时为正，否则为负，则有

回路① $u_4 - u_5 + u_6 = 0$

回路② $-u_1 + u_5 - u_4 - u_3 = 0$



KVL实质上是能量守恒定律在集中参数电路中的反映。单位正电荷在电场作用下，由任一点出发，沿任意路径绕行一周又回到原出发点，它获得的能量（即电位升）必然等于在同一过程中所失去的能量（即电位降）。

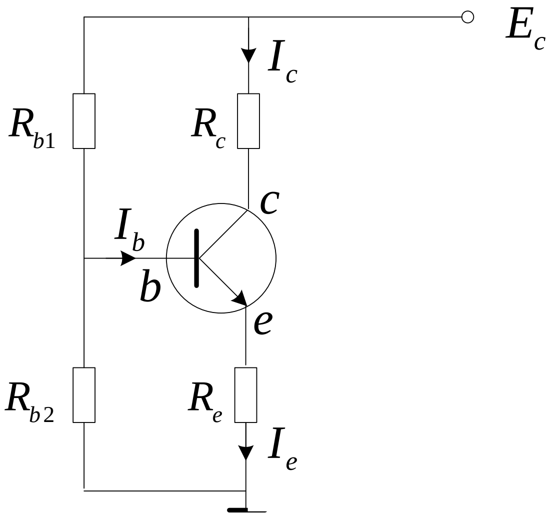
- KVL给一个回路中各个支路电压加上了线性约束，构成（独立回路数）个独立的常系数线性齐次代数方程

- KVL与回路中元件的性质无关，即任何两点间的电压是确定的，与所选的计算路径无关

- KVL适用于任何集中参数电路

KCL、KVL只对电路提出了各元件相互连接时的结构约束条件。因此，对电路只要画出线图即可得到方程。

例：图示电路中E_c=12V，R_c=5kΩ，R_e=1 kΩ，I_c=1mA，I_b=0.02mA，求：U_{ce}及c点、e点的电位。



解：

KCL：$I_e=I_b+I_c=0.02+1=1.02\text{mA}$

KVL：$R_cI_c+U_{ce}+R_eI_e-E_c=0$

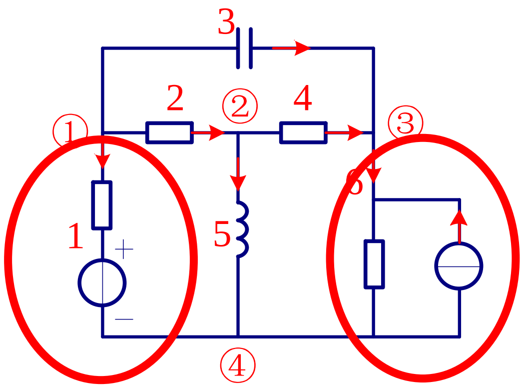
$U_{ce}=5.98\text{V}$

$V_c=E_c-R_cI_c=7\text{V}$　（或$V_c=U_{ce}+V_e=7\text{V}$）

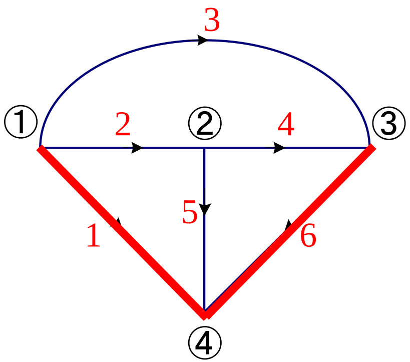
$V_e=R_eI_e=1.02\text{V}$

图论的基础知识与基本结论

结点→点，支路→线，　　网络 $\xrightarrow{\text{抽象}}$ 图

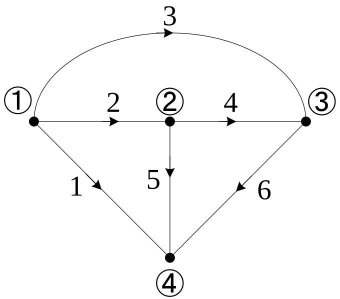


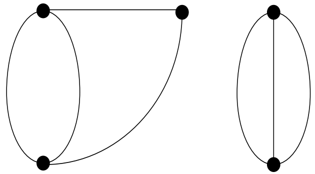
定向图



基本概念

1、连通图、非连通图

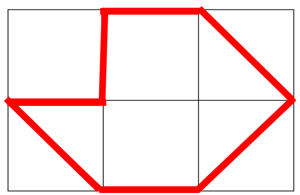


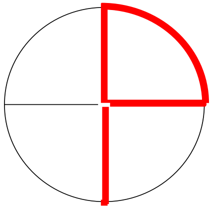


2、回路

①连通子图

②每个结点关联子图的两条支路

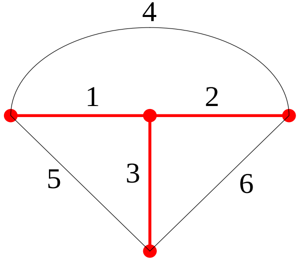


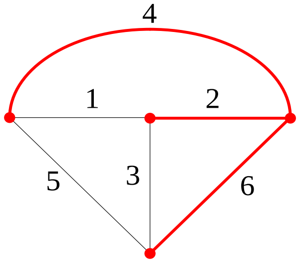


3、树

①不包含回路的连通子图

②包含原连通图的全部结点

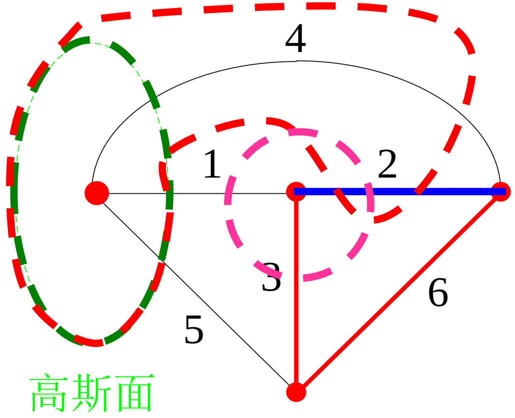


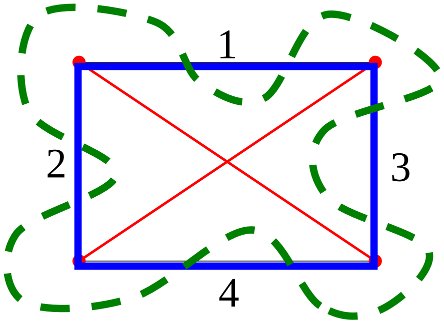


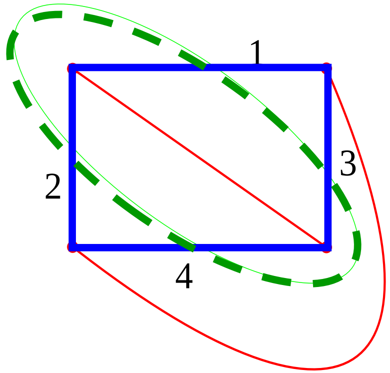
4、割集：连通图G的支路集

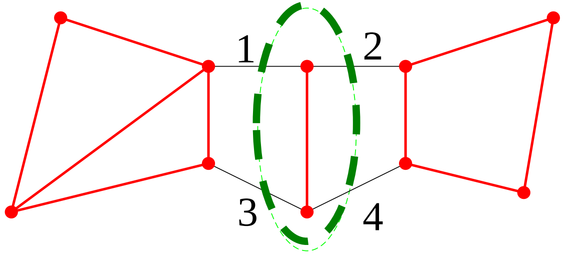
①移去该集中所有支路，G将分成两个独立的部分

②如果保留任一支路，则剩下的图仍然是连通的









基本结论

一个具有*n*个节点，*b*条支路的连通图G及G的一个树T

1、树支数：$n_t = n\text{-}1$

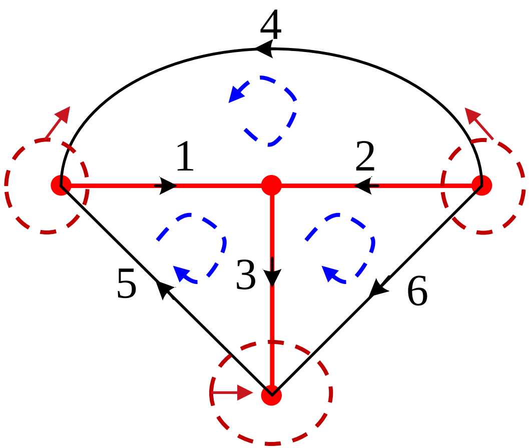
2、连支数：$n_l = b\text{-}n_t = b\text{-}n+1$

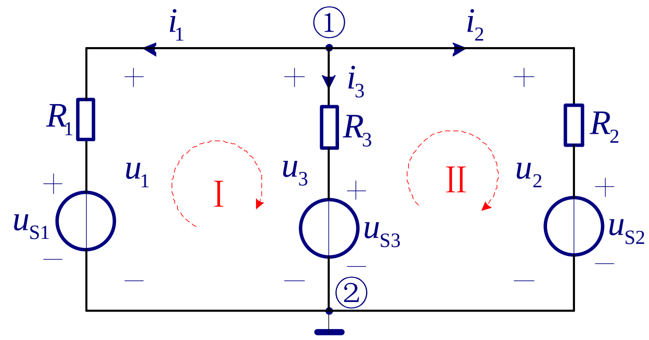
3、单连支回路（基本回路），$b\text{-}n+1$个 KVL

4、单树支割集（基本割集），$n\text{-}1$个 KCL

支路的端口特性，b个 VCR

2b





$$\begin{cases} i_1 + i_2 + i_3 = 0 \\ -u_1 + u_3 = 0 \\ -u_3 + u_2 = 0 \\ u_1 = R_1 i_1 + u_{s1} \\ u_2 = R_2 i_2 + u_{s2} \\ u_3 = R_3 i_3 + u_{s3} \end{cases}$$

2b法

结点2个，支路3条，可列：
2-1=1个独立的KCL方程
3-2+1=2个独立的KVL方程

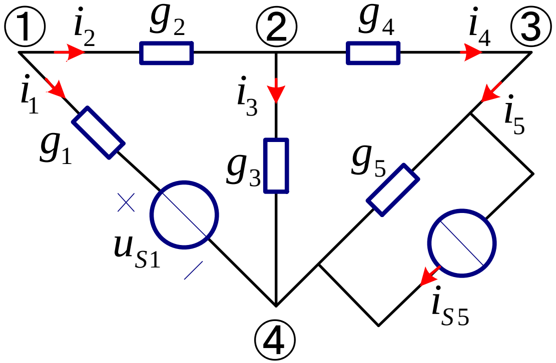
$$\begin{cases} i_1 + i_2 + i_3 = 0 \\ R_1 i_1 + u_{s1} = R_3 i_3 + u_{s3} \\ R_2 i_2 + u_{s2} = R_3 i_3 + u_{s3} \end{cases}$$

1b法

支路电流法

$$\begin{cases} \dfrac{u_1 - u_{s1}}{R_1} + \dfrac{u_2 - u_{s2}}{R_2} + \dfrac{u_3 - u_{s3}}{R_3} = 0 \\ -u_1 + u_3 = 0 \\ -u_3 + u_2 = 0 \end{cases}$$

支路电压法



$$1\cdot i_1+1\cdot i_2+0\cdot i_3+0\cdot i_4+0\cdot i_5=0$$
$$0\cdot i_1-1\cdot i_2+1\cdot i_3+1\cdot i_4+0\cdot i_5=0$$
$$0\cdot i_1+0\cdot i_2+0\cdot i_3-1\cdot i_4+1\cdot i_5=0$$
$$-1\cdot i_1+0\cdot i_2-1\cdot i_3+0\cdot i_4-1\cdot i_5=0$$

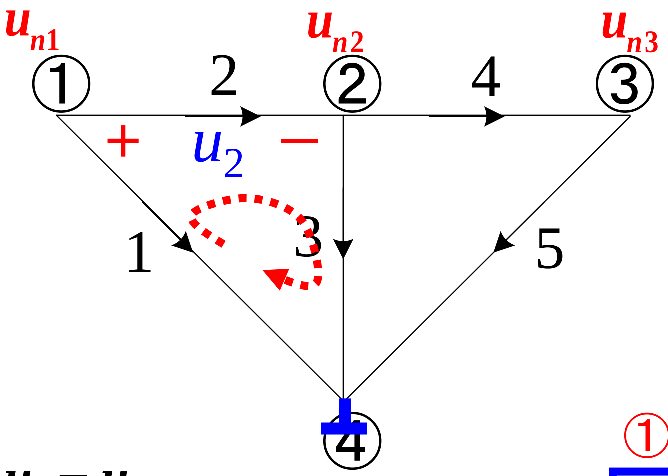
$$i_1+i_2=0$$
$$-i_2+i_3+i_4=0$$
$$-i_4+i_5=0$$
$$-i_1-i_3-i_5=0$$

线性无关的降阶关联矩阵A

$$\begin{array}{c} ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \end{array}\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ & & & & \end{pmatrix}\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

关联矩阵

$$A_a I_b = 0$$



设u_1、u_2、u_3、u_4、u_5为支路电压，则：

$$\begin{array}{c} \\ \text{①} \\ \text{②} \\ \text{③} \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \boxed{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}} \end{array}$$

$$u_1 = u_{n1}$$
$$u_2 = u_{n1} - u_{n2}$$
$$u_3 = u_{n2}$$
$$u_4 = u_{n2} - u_{n3}$$
$$u_5 = u_{n3}$$

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{pmatrix} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} \text{①} & \text{②} & \text{③} \end{array} \\ \boxed{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \end{array} \begin{pmatrix} u_{n1} \\ u_{n2} \\ u_{n3} \end{pmatrix}$$

$$u_{\mathrm{b}} = \mathrm{A}^{\mathrm{T}} u_n$$

探究：以下几种矩阵的构成与用途

支路

结点 A

支路

网孔 M

（先连支后树支）

支路

基本回路 B_f

支路

基本割集 Q_f