

第3章 网络分析方法和网络定理（复习）

• 知识点1：支路电流法

以支路电流为变量，根据KCL、KVL列写方程并求解的分析方法。

设给定的线性直流电路具有 b 条支路、 n 个节点，那么支路电流法就是以 b 个未知的支路电流作为待求量，对 $n-1$ 个独立节点列出KCL方程，再对 $b-(n-1)$ 个独立回路列出KVL方程，这 b 个方程联立便可解得 b 个支路电流。

独立节点：所有节点中，任意除去一个节点，其余节点为独立节点。

独立回路：满足如下条件的若干个回路构成独立回路组。

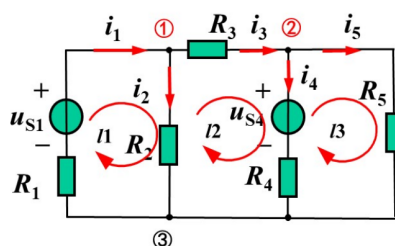
(1) 数目为 $b-(n-1)$

(2) 每个回路至少包含一条其它回路所没有的支路（独立性）

(3) 所有回路包含电路所有支路（全面性）

注意：若某些支路电流已知，可酌情删减方程。

列出图示电路的支路电流方程。



分析：图中共有5个支路电流，参考方向已标在图中。需列出5个独立方程。现有2个独立节点，对应2个KCL方程；3个网孔，对应3个KVL方程。

对 $n-1$ 个独立节点列KCL方程

节点①： $-i_1 + i_2 + i_3 = 0$

节点②： $-i_3 + i_4 + i_5 = 0$

对网孔列KVL方程，其中电阻电压用支路电流来表示

网孔11： $R_1 i_1 + R_2 i_2 = u_{S1}$

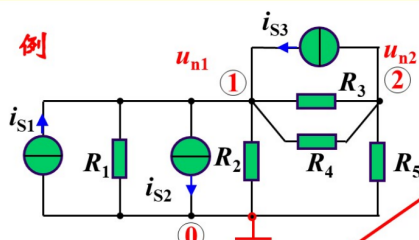
网孔12： $-R_2 i_2 + R_3 i_3 + R_4 i_4 = -u_{S4}$

网孔13： $-R_4 i_4 + R_5 i_5 = u_{S4}$

• 知识点2：节点电压法

以独立节点电压为未知变量列方程求解的分析方法。

例



节点1的自电导，等于接在节点1上所有支路的电导之和，为正。

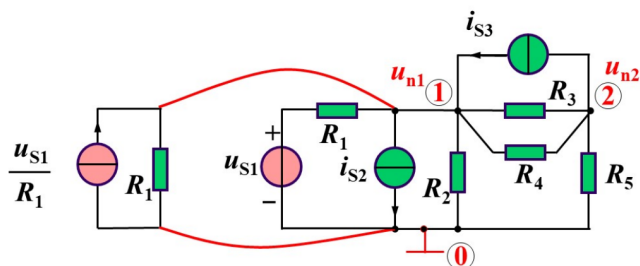
节点1与节点2之间的互电导，等于接在节点1与节点2之间的所有支路的电导之和，为负。

$\sum i_{\text{电导出}} = \sum i_{\text{电流入}}$

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) u_{n1} - \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) u_{n2} = i_{S1} - i_{S2} + i_{S3} \\ - \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) u_{n1} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) u_{n2} = -i_{S3} \end{cases}$$

流入节点1的电流源电流代数和在流入前面的符号为正。

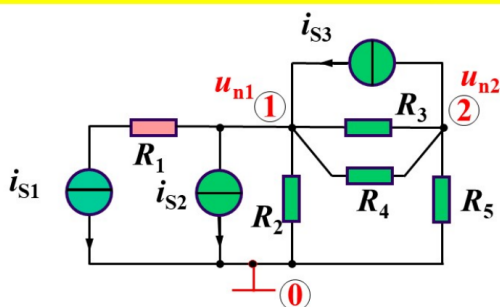
特殊情况1：电路中含电压源与电阻串联的支路。



$$\begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n1} - \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n2} = \frac{u_{S1}}{R_1} - i_{S2} + i_{S3} \\ -\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n1} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}\right)u_{n2} = -i_{S3} \end{cases}$$

等效电流源电流

特殊情况2：电路中含电流源与电阻串联的支路。



$$\begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n1} - \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n2} = -i_{S1} - i_{S2} + i_{S3} \\ \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n1} - \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n2} = -i_{S1} - i_{S2} + i_{S3} \\ -\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right)u_{n1} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}\right)u_{n2} = -i_{S3} \end{cases}$$



特殊情况3：电路中含无串联电阻的独立电压源支路。

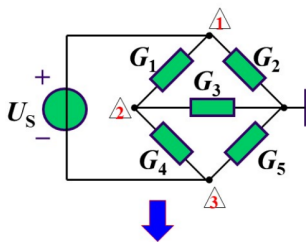
试列写下图含理想电压源电路的节点电压方程。

方法1：选择合适的参考点

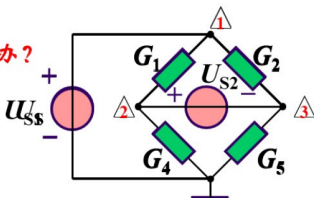
$$U_1 = U_S$$

$$-G_1 U_1 + (G_1 + G_3 + G_4) U_2 - G_3 U_3 = 0$$

$$-G_2 U_1 - G_3 U_2 + (G_2 + G_3 + G_5) U_3 = 0$$



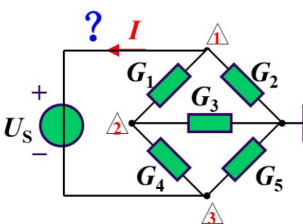
问题：如果存在两个电压源支路怎么办？



试列写下图含理想电压源电路的节点电压方程。

方法2 设电压源电流变量，列方程

$$\begin{cases} (G_1+G_2)U_1-G_1U_2=-I \\ -G_1U_1+(G_1+G_3+G_4)U_2-G_4U_3=0 \\ -G_4U_2+(G_4+G_5)U_3=I \end{cases}$$



增加节点电压与电压源电压间的关系

$$U_1-U_3=U_S$$

$$\sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}}$$

每增加一个变量，就要增加一个辅助方程。

电流

KVL

特殊情况4：电路中含受控电流源。

列写下图含VCCS电路的节点电压方程。

- (1) 把受控源当作独立源，
列方程

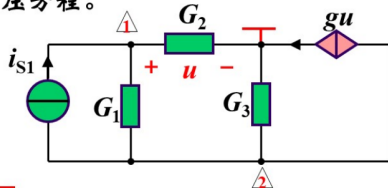
$$(G_1+G_2)u_{n1}-G_1u_{n2}=i_{S1}$$

$$-G_1u_{n1}+(G_1+G_3)u_{n2}=-gu+ i_{S1}$$

- (2) 用节点电压表示控制量。 $u=u_{n1}$

* 有一个控制量（电压或电流），就要增加一个控制量和节点电压的辅助方程。

- (3) 整理，得 $(G_1+G_2)u_{n1}-G_1u_{n2}=i_{S1}$
 $(g-G_1)u_{n1}+(G_1+G_3)u_{n2}=-i_{S1}$



● 知识点3：叠加定理

在线性电路中，电路某处的电流或电压（即响应）等于各独立源（即激励）分别单独作用时该处产生的电流或电压的代数和，可表示为

$$x = \sum_{j=1}^n k_j e_j$$

线性电路：电路中各元件为线性元件或工作在线性区

独立电源：独立电压源或独立电流源，受控源不能当独立电源

单独作用：唯一电源作用，其它电源不作用，电量置零。不作用的电压源电压为0相当于短路，不作用的电流源电流为0相当于开路。

分批作用：独立电源可分批作用，但每个电源只能作用一次。

代数和：在叠加时，以原电路响应参考方向为准，在单个电源作用时，分响应与原响应方向一致时，前面符号为正，相反为负。

● 知识点：齐性定理（叠加定理推论）

在线性电路中，当所有激励（独立电流源或电压源）都同时增大或减小若干倍时，响应（电流或电压）也将增大或缩小同样倍数。

$$x = \sum_{j=1}^n k_j e_j$$

$$x' = \sum_{j=1}^n k_j A e_j = A \sum_{j=1}^n k_j e_j = A x$$

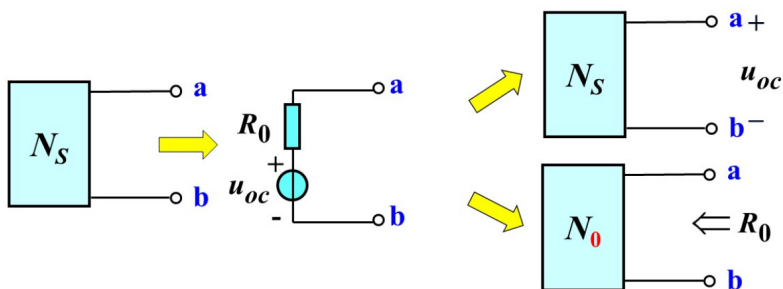
线性电路：线性电路是指完全由线性元件、独立源或线性受控源构成的电路。具有两个特点：满足叠加性和齐次性。

● 知识点4：戴维南定理和诺顿定理

戴维南定理

一个含有独立源的线性二端电阻网络，对外可以等效为一个独立电压源和一个电阻的相串联的电路。

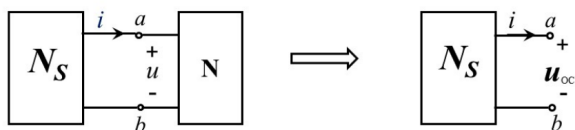
此电压源的电压等于二端网络端口的开路电压(u_{oc})；电阻等于该二端网络中所有独立源置零时的等效电阻(R_0)。



总结：戴维南定理求解

戴维南定理求解关键在于 u_{oc} 和 R_0 的确定

1. 将待等效的电路与外电路断开，然后求开路电压 u_{oc}



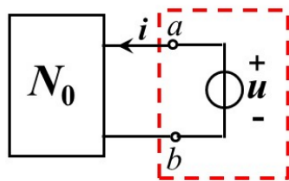
由a、b两点追溯到有源网络内部两点，求该两点之间电压。可采用KCL、KVL、电阻电路的等效变换、支路电流法、节点电压法、叠加定理、齐性定理等方法求取 u_{oc} 。

2. 求 R_0

(1) 直接化简法（不含有受控源）

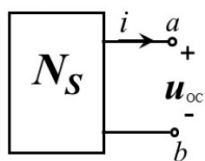


(2) 外加电源法 (电路中包含受控源)

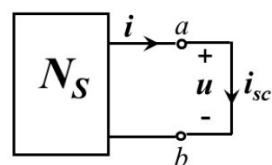


外加电压求电流, 则 $R_0 = \frac{u}{i}$

(3) 开短法

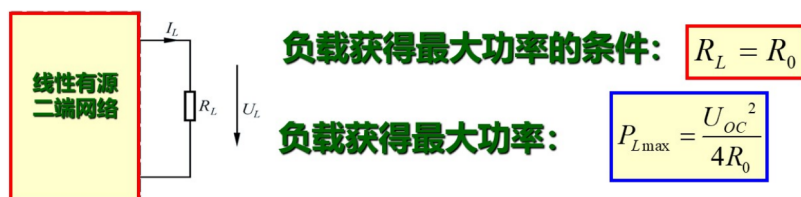


$$R_0 = \frac{u_{oc}}{i_{sc}} \quad i_{sc} \text{ 为短路电流}$$



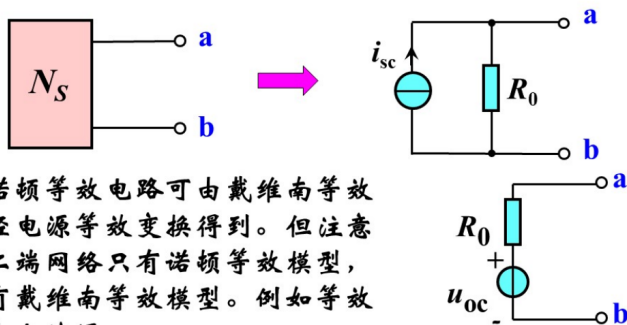
戴维南定理应用: 最大功率传输问题

一个线性有源二端网络, 在外接不同负载时, 负载上获得的功率大小也不同。负载在满足一定情况下, 可以得到最大功率。工程上称为功率匹配。



一个含独立源的线性二端电阻网络, 可以等效成一个电流源和一个电阻相并联的电路。

此电流源的电流等于该二端网络的短路电流 I_{sc} , 电阻等于该二端网络中全部独立电源置零时的等效电阻 R_0 。



一般诺顿等效电路可由戴维南等效电路经电源等效变换得到。但注意某些二端网络只有诺顿等效模型, 而没有戴维南等效模型。例如等效为一个电流源。