



# 电路分析基础

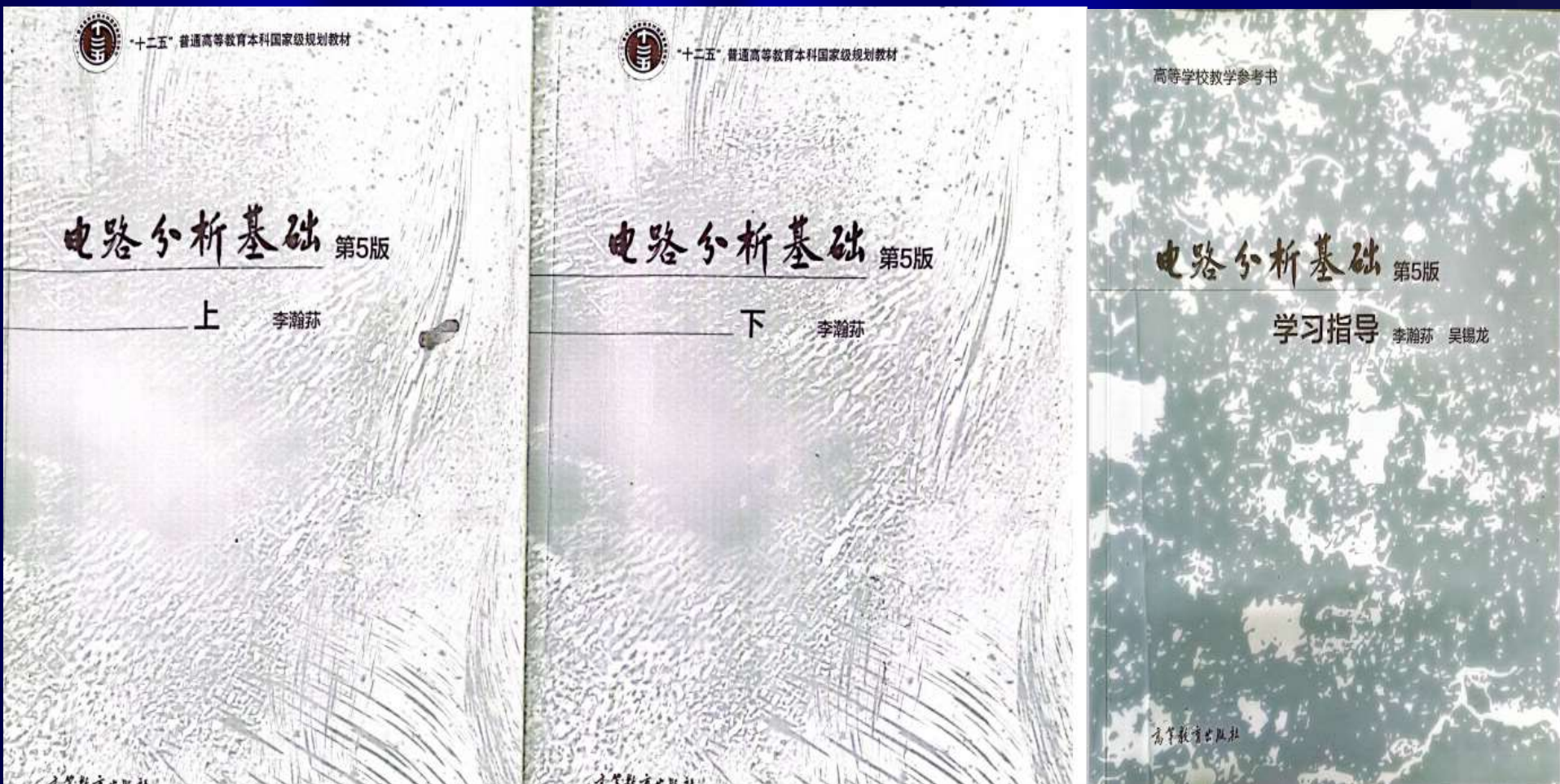
Fundamentals of Electric Circuits

多媒体教学课件

Email: [zhangym0726@163.com](mailto:zhangym0726@163.com)

教材：电路分析基础 第5版

参考书：电路分析基础学习指导，等



# 本课程学习的重要性

**非常重要的基础课程**

**课程成绩：** 期末考试  
平时作业、考勤（考核）  
实验

**实验说明：** 实验课程后续开始，本课堂讲授理论部分。

**难点：** 第二、第三部分

**要求：** 认真听课  
及时复习、按时完成作业  
多做题

# 作 业

作业按时交

每章统一交作业，乐学

# 答 疑

平时：

期末：集中答疑（时间、地点后续通知）

# 绪 论

本课程研究对象：电阻电路、动态电路

本课程内容：三部分（三篇）

第一篇：电阻电路的分析

第二篇：动态电路的时域分析

第三篇：动态电路的相量分析

} 动态电路

电阻电路：含电阻元件和电源元件的电路

动态电路：含动态元件的电路

区别

第二篇：动态电路的瞬态分析（时域分析）

--- 直流电源作用下的响应

第三篇：动态电路的正弦稳态分析(相量分析法)

---- 正弦电源作用下的响应

# 目 录

- 第一章 集总电路中电压、电流的约束关系
- 第二章 网孔分析和节点分析
- 第三章 叠加方法与网络函数
- 第四章 分解方法及单、双口网络
- 第五章 电容元件和电感元件
- 第六章 一阶电路
- 第七章 二阶电路
- 第八章 交流动态电路 相量法
- 第九章 正弦稳态功率和能量 三相电路
- 第十章 频率响应 多频正弦稳态电路
- 第十一章 耦合电感和理想变压器

**注意：从2023年起，课程大纲新增如下内容：**

**2-3小节**

**6-3小节的冲激响应**

**11-1~11-6小节**



## · 以下章节不做要求

§ 1-11

§ 2-5

§ 3-4    § 3-5

§ 4-9    § 4-10    § 4-11    § 4-12

§ 6-8

§ 9-6    § 9-8    § 9-9

§ 10-7

§ 11-7    § 11-8

第十二章    (整章)

第十三章    (整章)

# 第一章 作业

1-3 (1、5) 1-7 1-13(3、4) 1-16

1-20 1-25 1-36 1-39 1-41

# 第一章 练习

1-6 1-10 1-21 1-22 1-24

1-27 1-28 (2、3) 1-29 1-35

# 第一章

## 集总电路中电压、电流的约束关系

### 主要内容：

#### 1. 基本概念：

电路及电路模型、集总假设；

电路变量：电流、电压、电功率；

电流参考方向、电压参考极性、关联参考方向

#### 2. 电路元件：

电阻元件、独立电源（两种）、受控源（四种）

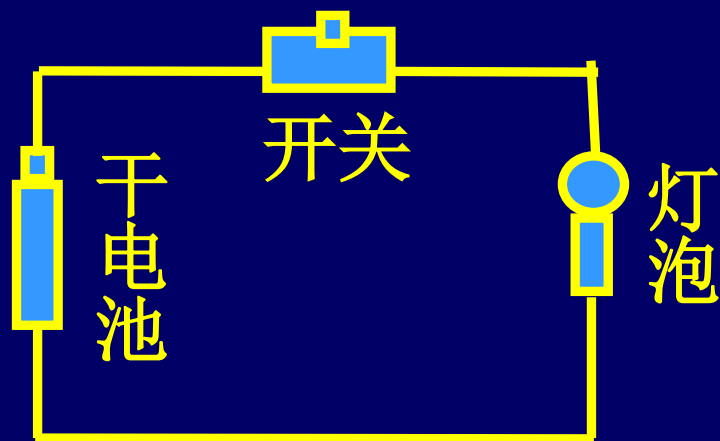
#### 3. 基本定律：基尔霍夫定律(KCL、KVL)、欧姆定律(VAR)

# § 1-1 电路及集总电路模型

## 一、电路

若干个电气设备或电子器件按照一定的方式连接起来构成电流的通路 叫作 电路

例如手电筒电路：



实际电路

## 二、集总假设、集总元件

实际中一些器件所反映的物理现象非常复杂，可以进行**理想化（集总假设）**处理，用足以表征其主要性能的**模型**表示，忽略其次要性能，以便于分析。

这种理想化不会对实际问题的求解带来多大影响。

### (1) 集总假设的概念：

器件的尺寸远小于正常工作频率所对应的波长时，可由几种**集总参数元件（元件）**构成实际器件的模型，每种元件只反应一种基本电磁现象。

如：电阻：只涉及消耗电能的现象

电容：只涉及与电场有关的现象

电感：只涉及与磁场有关的现象

电压源、电流源，等

集总电路不考虑电磁波的传播现象。

## (2) 工作频率 $f$ 与波长 $\lambda$ 的关系:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ 式中: } c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{设 } f = 50 \text{ Hz, 则: } \lambda = 6 \times 10^6 \text{ m}$$

$$\text{设 } f = 300 \text{ MHz, 则: } \lambda = 1 \text{ m}$$

总结:

当频率较低时, 满足集总假设条件;

频率较高时, 不能按集总电路处理 (分布参数电路);

此外, 频率低的远距离输电线, 也不能按集总电路处理

本课程范围内均满足集总假设条件。

### (3) 集总元件（理想元件）

**电阻元件：** 只表示消耗电能的元件

**电容元件：** 只表示储存电场能量的元件

**电感元件：** 只表示储存磁场能量的元件

**电源元件：** 电流源、电压源

**耦合元件：** 受控源、耦合电感、理想变压器

## (4) 集总元件分类

**二端元件：** 电阻元件、电感元件、电容元件、

独立源 →  $\left\{ \begin{array}{l} \text{电流源} \\ \text{电压源} \end{array} \right.$

**四端元件：** 耦合电感、理想变压器、

受控源 →  $\left\{ \begin{array}{l} \text{VCVS} \\ \text{VCCS} \\ \text{CCVS} \\ \text{CCCS} \end{array} \right.$



## **(5) 实际元件的模型:**

**一个实际元件在某种条件下都可以找到它的模型。**

**有些实际元件的模型比较简单，可以由一种理想元件构成；**

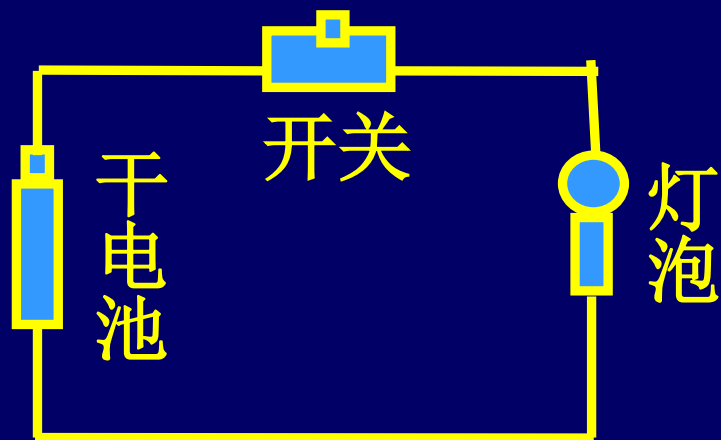
**有些实际元件的模型比较复杂，要用几种理想元件来构成。**

### 三. 电路模型——由集总元件构成的电路

忽略元件的次要特征，用足以表征其主要性能模型来表示（集总化），则实际电路  $\longrightarrow$  电路模型。

以后的分析中，只考虑电路模型，  
不研究实际电路！

## 例如手电筒电路：

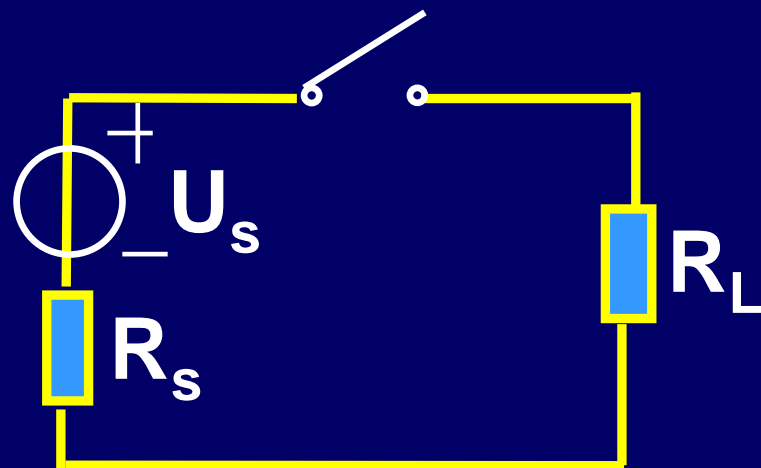


实际电路

用电阻  
表示灯泡

理想化

灯泡既表现电阻的性质，又有电感的性质，但主要表现为电阻的性质。



电路模型

# § 1-2 电路变量 电流、电压及功率

电路分析：给定电路结构及电路参数，求各部分的电压、电流叫电路分析。

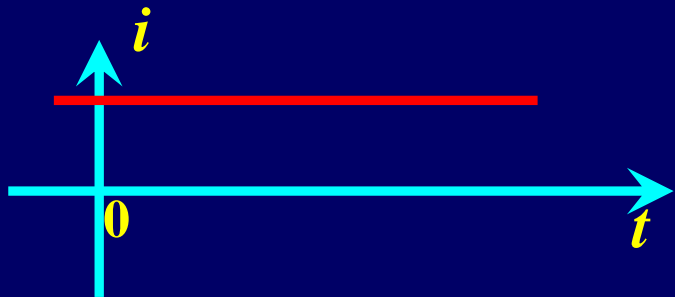
## 一、电流

### 1. 电流概念

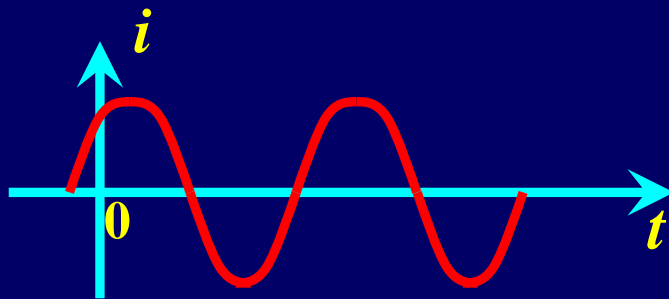
大小：  $i(t)=dq/dt$  电荷的变化率 单位： A

方向： 正电荷运动的方向

大小和方向都不随时间改变的电流叫直流。



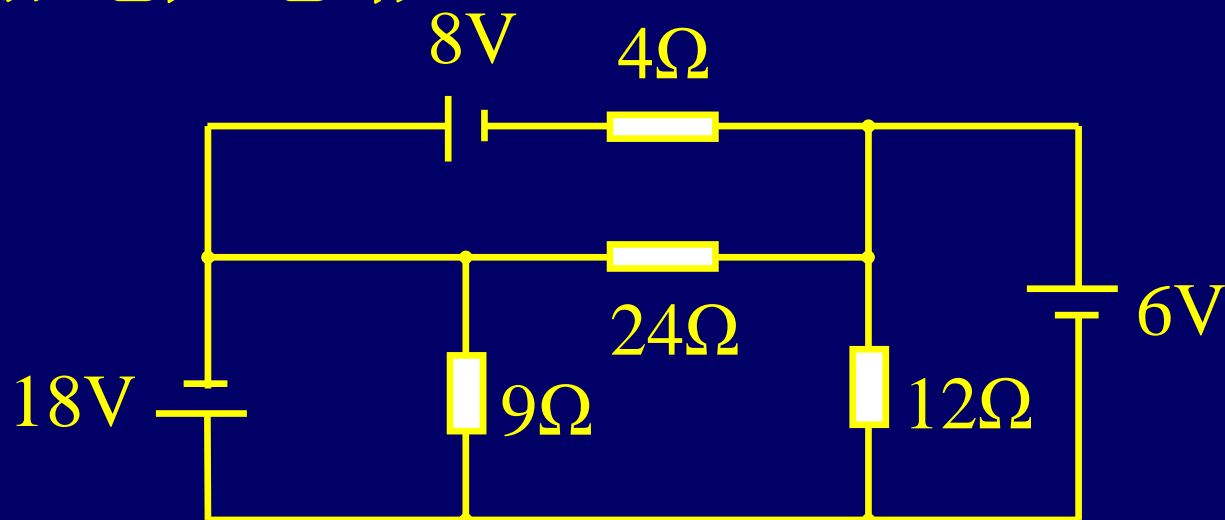
大小和方向随时间变化的电流叫交流——交变电流。



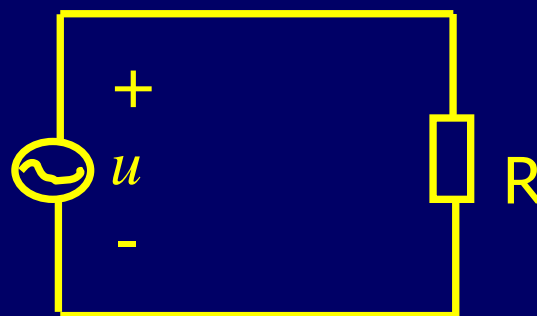
## 2. 电流的参考方向

问题的引入：求下面电路图中各支路的电流

### (1) 复杂的直流电阻电路



### (2) 简单的交流电路



对于交流电路和复杂的直流电路，无法在计算前确定某一支路电流的真实方向。

电流的真实方向常常无法事先知道，解决的办法？

⇒ 引入电流的参考方向

电流的参考方向：预先假定的方向，用箭头表示，也称正方向。不一定是真实方向。



根据所假设的方向进行计算

若求出  $i > 0$ ，则 真实方向与参考方向一致

若求出  $i < 0$ ，则 真实方向与参考方向相反

# 总结：

(1) 电路中标出的电流方向都是参考方向；

如果图中没有给出电流的参考方向，自己要假设一个参考方向，在图上标出；

按所标的电流参考方向进行计算。

(2) 计算结果的正负配合参考方向可以确定电流真实方向。

(3) 计算完毕后不必把参考方向改为真实方向。

(4) 若不设电流的参考方向，算出的结果没有意义。

**以后解题必须画图！**

(除非图已给出，并且不需进行任何标注。)

## 二 电压

1. **电压定义**：单位正电荷由a点移动到b点所获得或失去的能量，即为a, b两点间的电压。



电压大小： $u(t)=dw/dq$  单位：V

电位高低：获得能量，a点电位低，b点电位高。  
失去能量，a点电位高，b点电位低。

## 2. 电压参考极性：

与电流一样，电压也需要参考极性。  
是人为假设的极性。用+、-号表示。

“+”号表示假设的高电位，“-”表示假设的低电位。



如果求出  $u_{ab} > 0$ ，则 真实极性与参考极性一致。

如果求出  $u_{ab} < 0$ ，则 真实极性与参考极性相反。

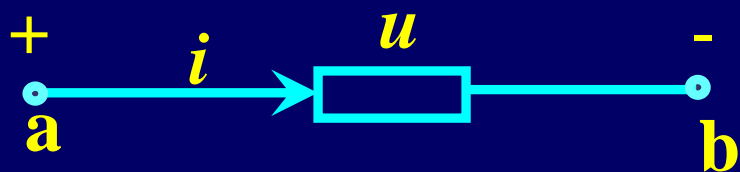
解题时，当题中给出电压参考极性时，按此参考极性进行计算，若没给出，则要求自己假设。

### 三 关联参考方向

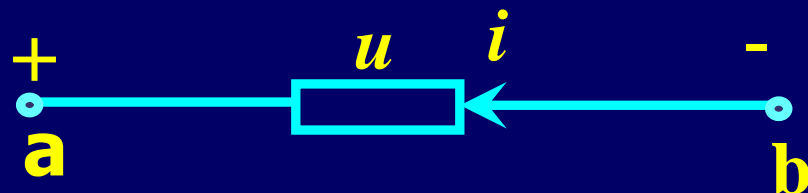
关联参考方向：电流参考方向与电压参考极性一致。

关联参考方向的规定：

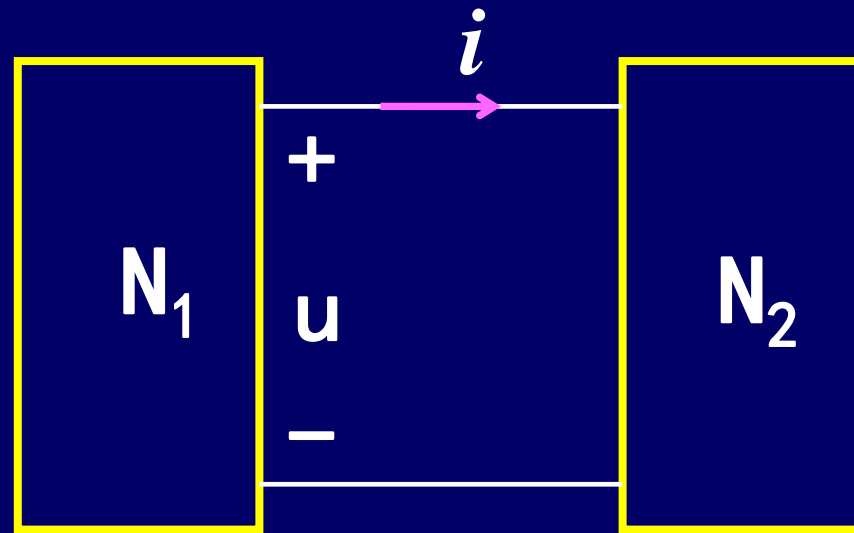
电流假设的方向由电压的假设高电位流向低电位。



关联参考方向



非关联参考方向



对于 $N_1$ 而言,  $u$ 、 $i$  是非关联参考方向

对于 $N_2$ 而言,  $u$ 、 $i$  是关联参考方向

## 四、电路M的功率-----

图中按照关联参考方向进行分析。也可按非关联方向加以研究。

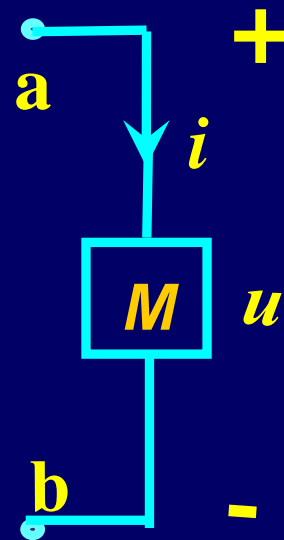
设在 $dt$ 时间内由 $a$ 点转移到 $b$ 点的正电荷为 $dq$  ( $i>0$ )，且由 $a$ 到 $b$ 为电压降 ( $u>0$ )，则  $dq$ 失去能量，也就是这段电路实际上吸收能量。

正电荷 $dq$ 失去的能量： $dw = u \times dq$

这段电路吸收的能量： $dw = u \times dq$

这段电路吸收的功率：

$$p = dw/dt = (udq) / dt = u (dq/dt) = ui$$



## 分析:

- (1) 此图中:  $i > 0$  ,  $u > 0$ , 计算出  $p > 0$   
说明:  $p > 0$  时, 电路实际吸收了功率。

通过各种情况的分析, 结论如下:

$p(t) > 0$  电路吸收功率

$p(t) < 0$  电路放出功率

- (2) 根据上述假设:

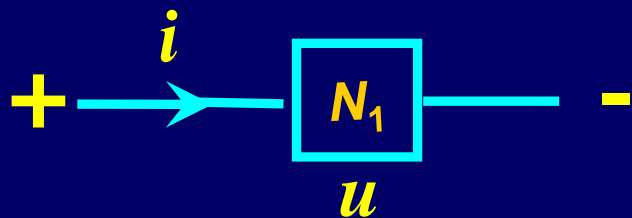
表达式  $p(t) = ui$  是在  $u$ 、 $i$  关联参考方向前提下推出的。

若  $u$ 、 $i$  非关联, 可以推导出:  $p(t) = -ui$

- (3) 该公式不仅适用一元件, 对任一部分电路也适用。



例题：求网络 $N_1$ 、 $N_2$ 的 $p(t)$

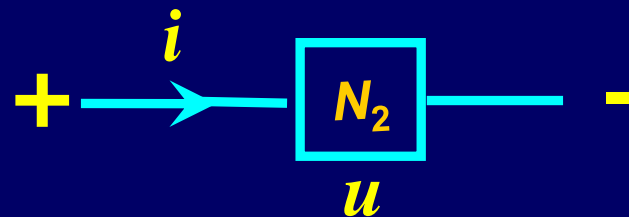


已知  $u = -1\text{V}$ ,  $i = 2\text{A}$

解：

$$p(t) = ui = (-1) \times 2 = -2\text{W} < 0$$

$N_1$  产生功率  $2\text{W}$



已知  $u = 2\text{V}$ ,  $i = 3\text{A}$

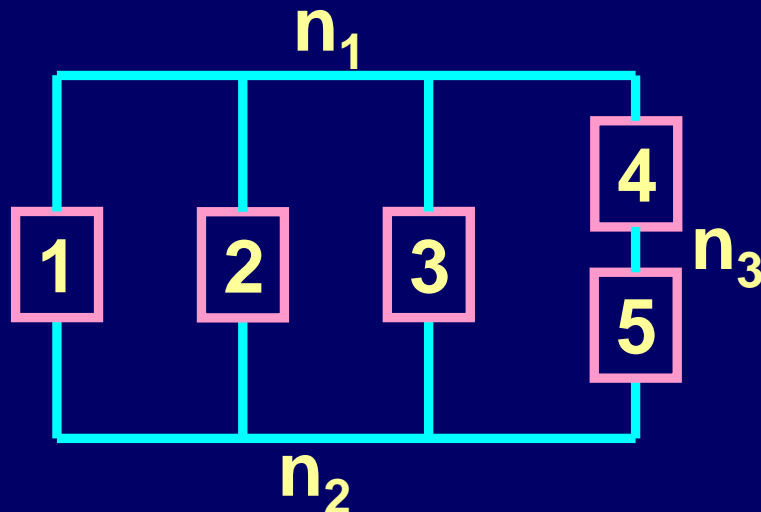
$$p(t) = ui = 2 \times 3 = 6\text{W} > 0$$

$N_2$  吸收功率  $6\text{W}$

## § 1-3 基尔霍夫定律

**基尔霍夫定律** 是集总电路中电流和电压分别遵循的基本规律，是分析集总电路的基本依据。

1. **支路**：任何一个二端元件称为一条支路
2. **节点**：两条或两条以上支路的连接点
3. **回路**：任何一个闭合的路径叫回路
4. **网孔**：在回路中不含有其它支路的回路称为网孔  
(针对平面电路)



5个支路  
3个节点  
6个回路  
3个网孔

# 一、基尔霍夫电流定律——KCL

对于任一集总电路中的任一节点，在任一时刻，流出（流入）该节点的电流的代数和为零。

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0$$

某节点的电流方程，k表示和该节点相连的支路

注意：公式中所有电流的方向均为参考方向。

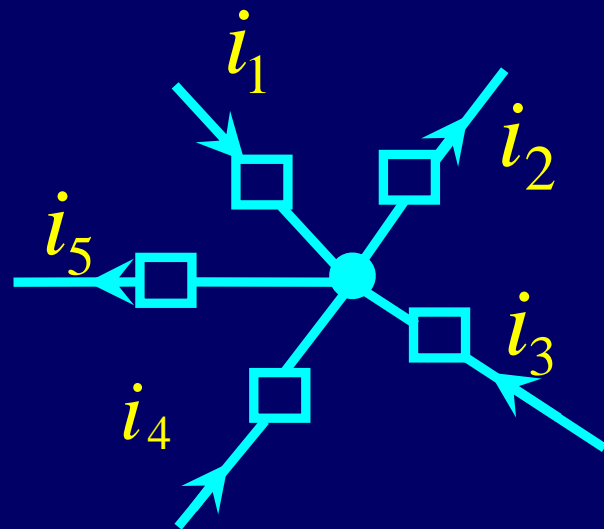


例如图示：

(1) KCL表示方法1：  
设流入为正

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

流入的电流代数和为0。



(2) KCL表示方法2：

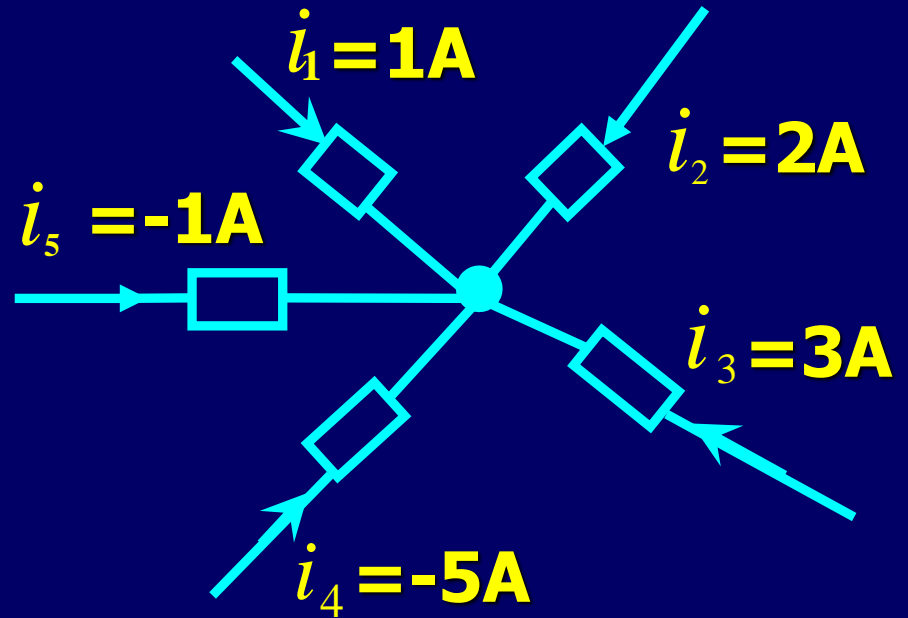
$$i_1 + i_3 + i_4 = i_2 + i_5 \quad \text{流入电流之和} = \text{流出电流之和}$$

KCL也可以表述为：

对于任一集总参数电路中的任一节点，  
在任一时刻，流入节点的电流的总和等于  
流出该节点的电流的总和。

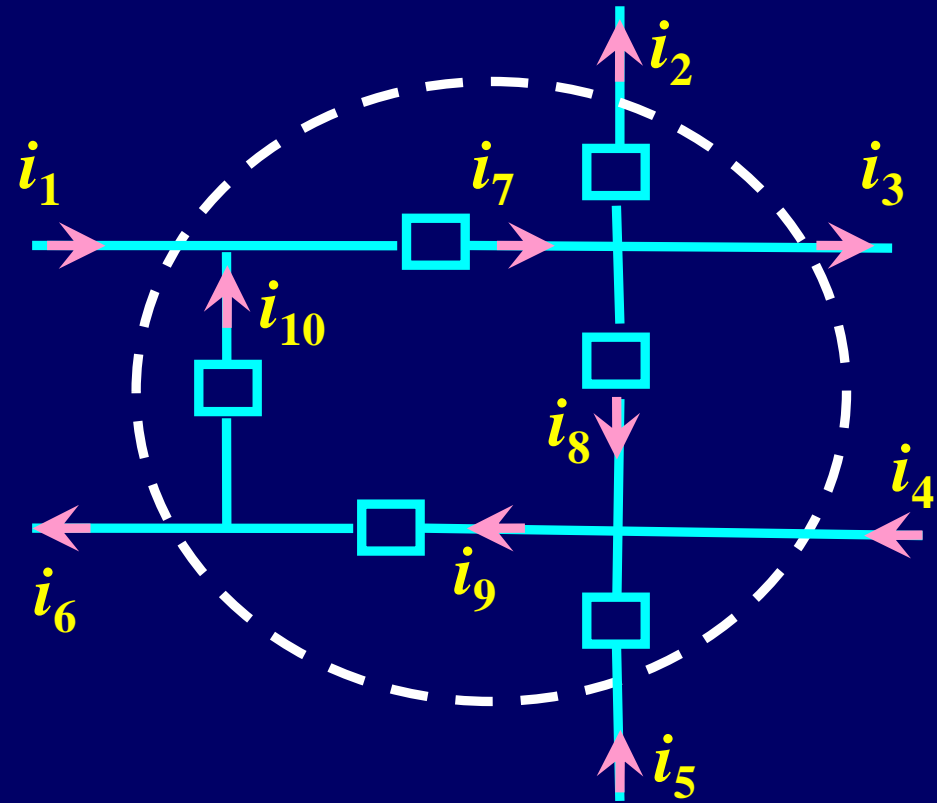
例如图示：

设流入为正



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

KCL也适用于任一闭合面。



$i_7$ 、 $i_8$ 、 $i_9$ 、 $i_{10}$  从一个节点流出，流入另一个节点。

设流入为正  $i_1 - i_2 - i_3 + i_4 + i_5 - i_6 = 0$

KCL方程中各支路电流线性相关。

K C L 总结:

<1>KCL是电流连续性的体现，集总参数电路中的节点不能聚集电荷，有多少电荷流入就必须有多少电荷流出。

<2>此定律与元件性质无关，是对支路电流所加的约束。

<3>KCL不仅适用于节点，也适用于任一闭合面，闭合面可以看成是一个广义节点。

例：若  $I_1 = 9\text{A}$     $I_2 = -2\text{A}$     $I_4 = 8\text{A}$

求：  $I_3$

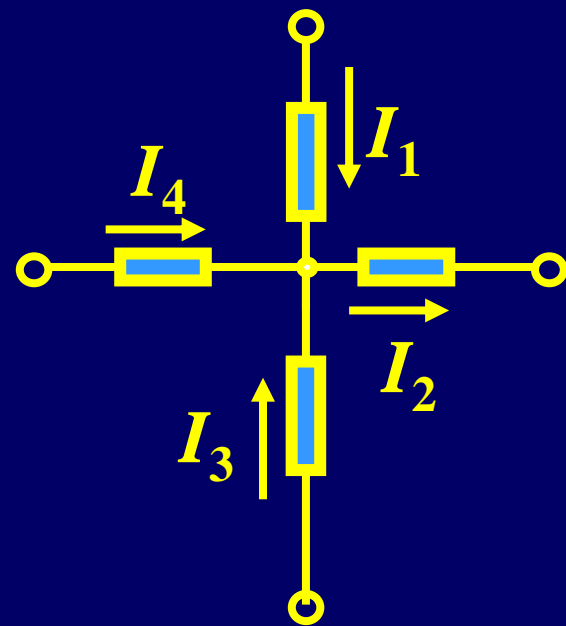
解：设流入为正

$$I_1 - I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

$$9 - (-2) + I_3 + 8 = 0$$

KCL

电流的参考方向  
与实际方向相反



得到：  $I_3 = -19\text{A}$

# 解后总结：

## <1> 注意两套符号：

括号前的符号取决于参考方向相对于节点的关系。若设流入为正，则流出为负，是列方程出现的符号。

括号里的符号是电流本身的符号，反映真实方向和参考方向的关系，正的相同，负的相反。

<2> 求出的值无论正负，都不要把参考方向改成真实方向。

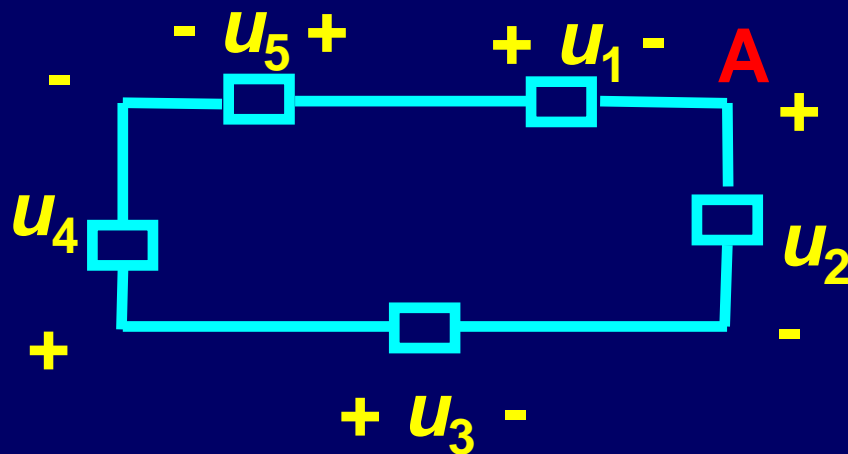


## 二. 基尔霍夫电压定律 — KVL

对于任一集总电路中的任一回路，在任一时刻，沿回路电压降的代数和等于零。

$$\sum_{k=1}^n u_k = 0$$

回路的电压方程，k表示支路



从A点出发，沿顺时针方向（也可相反），电压降取正，电压升取负。 $u_2 - u_3 + u_4 - u_5 + u_1 = 0$

这五个电压线性相关。如果只有一个未知电压，这个电压可求出。

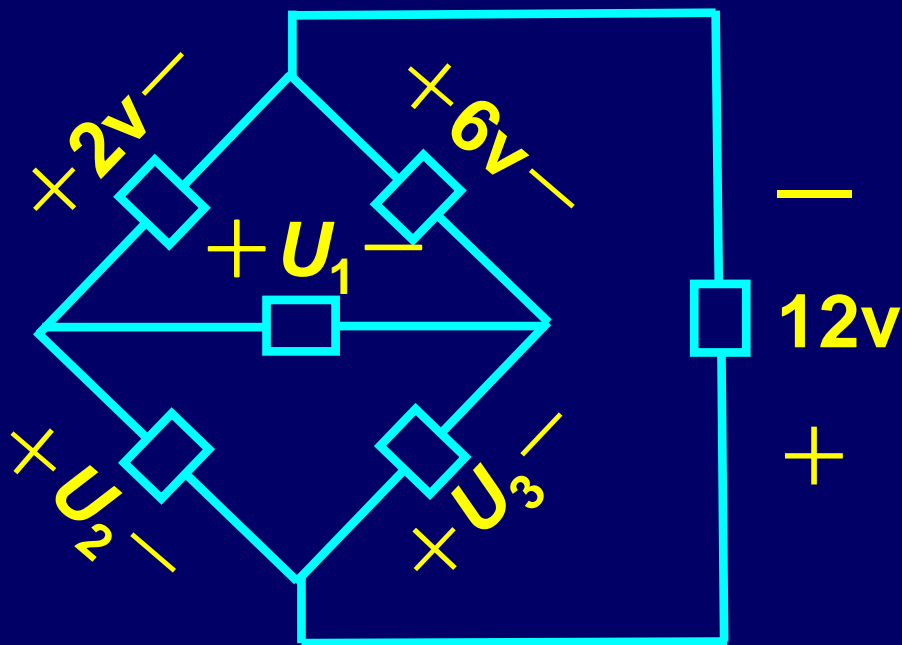
## KVL:

<1> 此定律反映了能量守恒原理，单位正电荷从A点出发绕行一周回到A点得到或失去的能量之和为零。

<2> KVL与元件性质无关，是对支路电压所加的约束。



例 求图示电路中的  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$



$$U_1 - 6 - 2 = 0$$

$$U_1 = 6 + 2 = 8\text{V}$$

$$U_3 - 6 - 12 = 0$$

$$U_3 = 6 + 12 = 18\text{V}$$

$$U_2 + U_3 - U_1 = 0$$

$$U_2 = -U_3 + U_1 = -18 + 8 = -10\text{ V}$$

## K V L 解题中需要注意的问题

### <1> 两套符号:

一是参考极性与绕行方向的关系，若设电压降为正，则电压升取负，即括号前的符号。

二是数值本身的符号，即括号里的符号，反映参考极性与真实极性的关系。

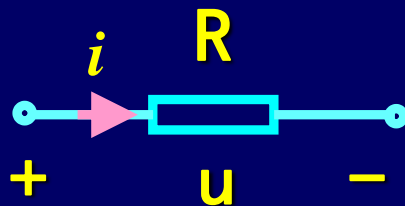
<2> 求出的值无论正负，都不要把参考极性改成真实极性。

<3> 任两点间的电压与计算时所选择的路径无关。

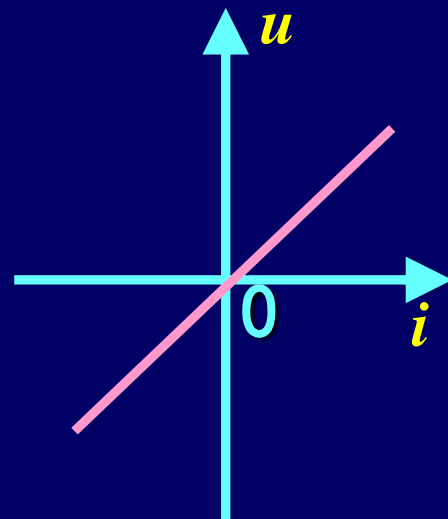
## § 1-4 电阻元件

### 一 电阻 $R$

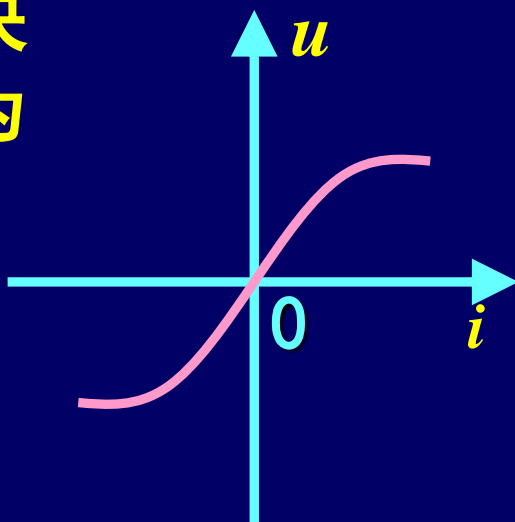
如果一个二端元件在任一瞬间其端电压和电流之间的关系可由  $u-i$  平面上的一条曲线所决定，则此二端元件称为电阻。单位： $\Omega$



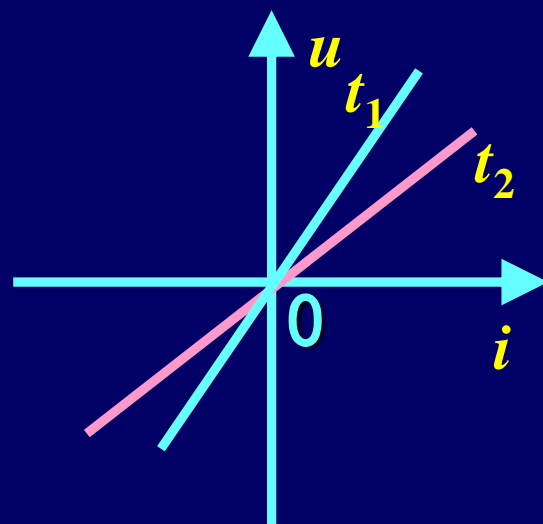
电阻符号



线性电阻



非线性电阻



线性时变电阻



请看右面图示电阻的  $i-u$  曲线

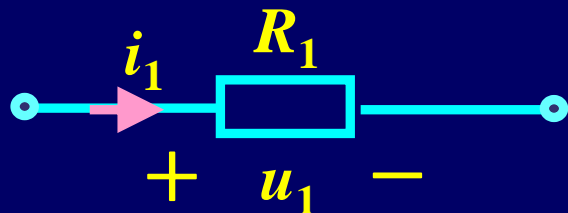
线性电阻： { 线性时变  
线性非时变（我们熟悉的电阻）

非线性电阻： { 非线性时变  
非线性非时变

## 二、 线性非时变电阻、欧姆定律

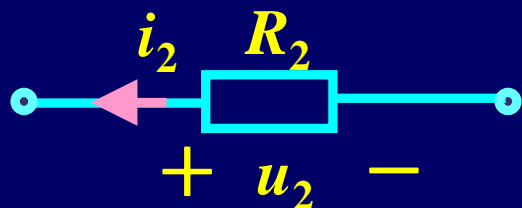
1、 线性非时变电阻：其伏安特性曲线是一条不随时间变化的且经过坐标原点的直线。

(1)



$u_1$ 、 $i_1$  关联参考方向：  $u_1=R_1i_1$  欧姆定律

(2)

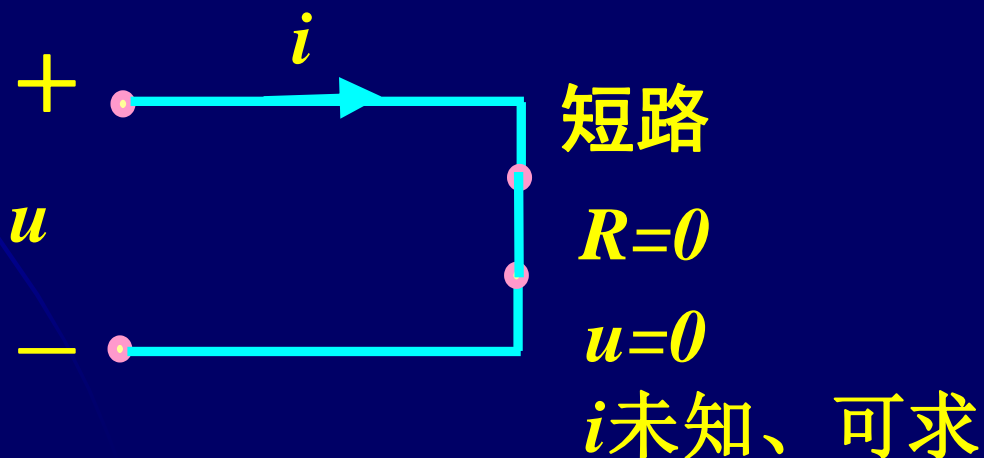
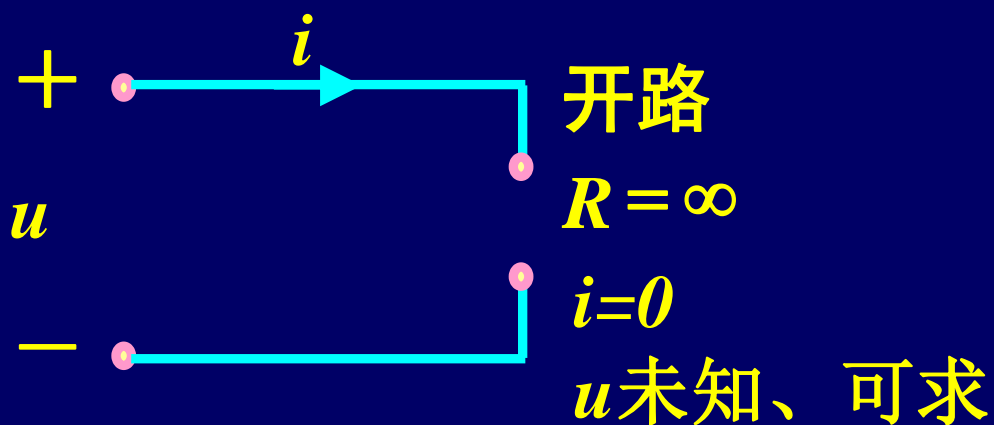


$u_2$ 、 $i_2$  非关联参考方向：  $u_2= - R_2i_2$

## 2、 $G=1/R$ 电导

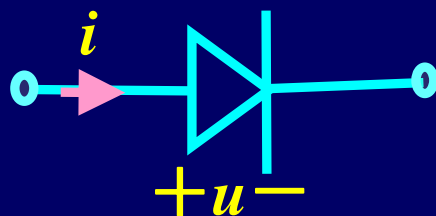
单位：S (西门子)

## 3、特殊情况：

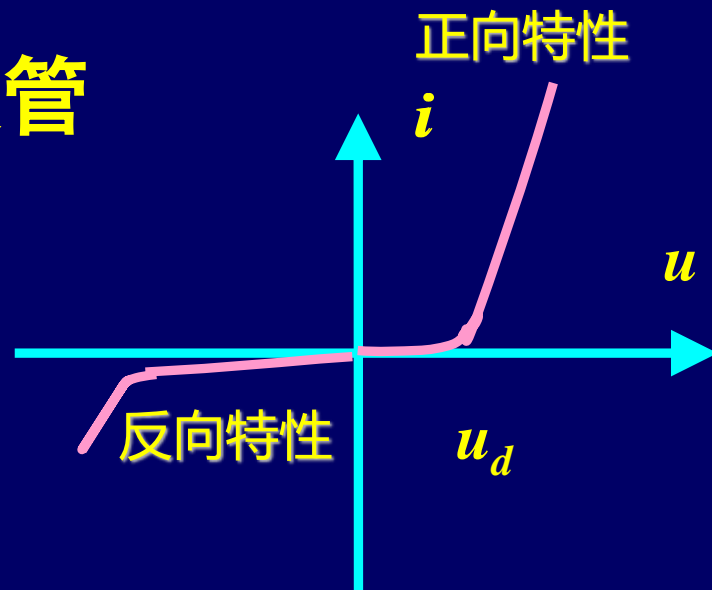


## 4、典型的非线性电阻—二极管

### 实际二极管



二极管符号



二极管特性曲线

**正向连接：**正向连接时二极管的电阻很小，而电流很大。

**反向连接：**加反向电压时，电流很小，电阻很大

### 三、电阻的功率

$$p = u \times i$$

$$p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R}$$



## 例 1-18: 求 $i_1$ 。

解: 利用超节点的KCL

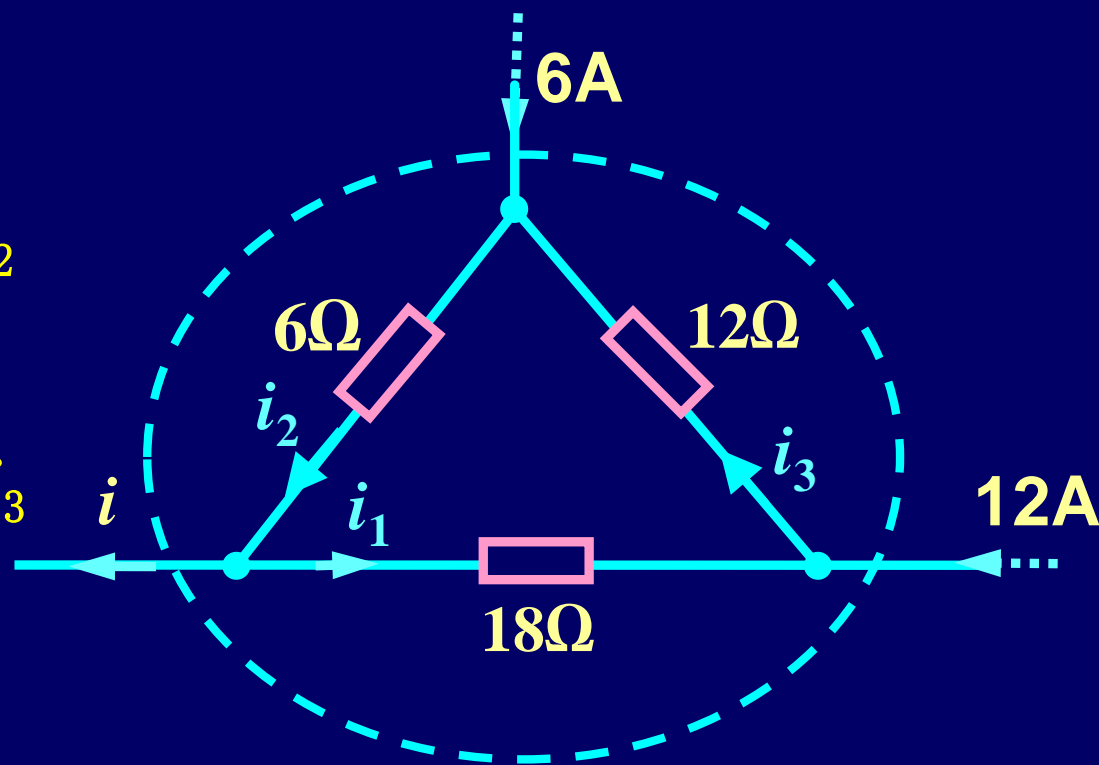
$$i = 6 + 12 = 18\text{A}$$

设 $6\ \Omega$ 上的电流为 $i_2$

$$i_2 = i + i_1 = 18 + i_1$$

设 $12\ \Omega$ 上的电流为 $i_3$

$$i_3 = 12 + i_1$$



利用KVL:

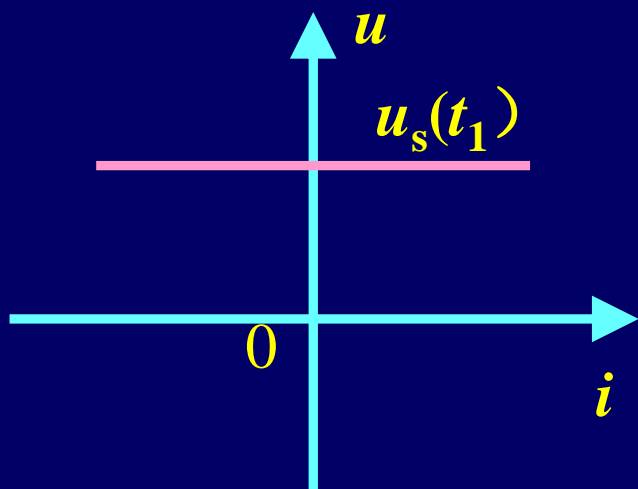
$$6i_2 + 18i_1 + 12i_3 = 0$$

$$6(18 + i_1) + 18i_1 + 12(12 + i_1) = 0$$

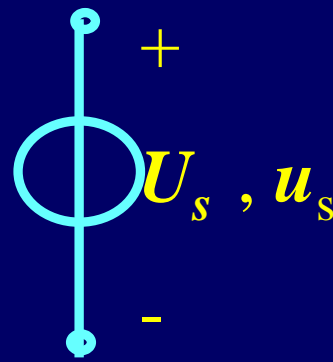
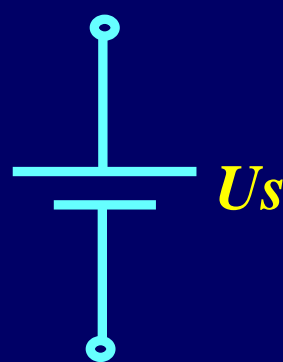
$$i_1 = -7\text{A}$$

## § 1-5 电压源

电压源其端电压为定值或一定的时间函数，与流过的电流无关，流过它的电流为不定值，其大小由外电路决定。



$t_1$ 时刻的伏安特性

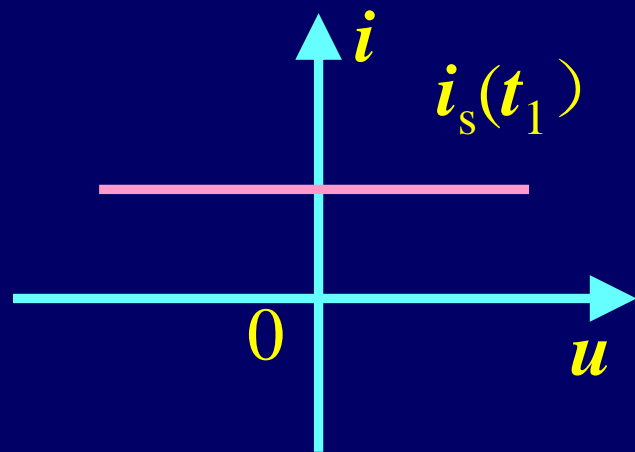


符号

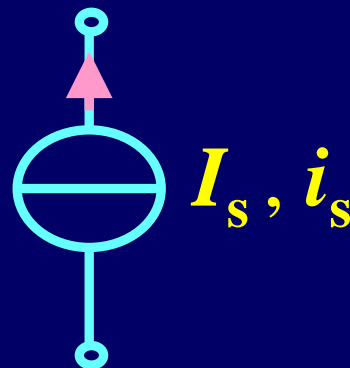
理想电压源和电阻元件的串联组合可以构成实际电压源的模型。

## § 1-6 电流源

电流源供出定值的电流或一定时间函数的电流，与端电压无关，端电压为不定值，由外电路决定。



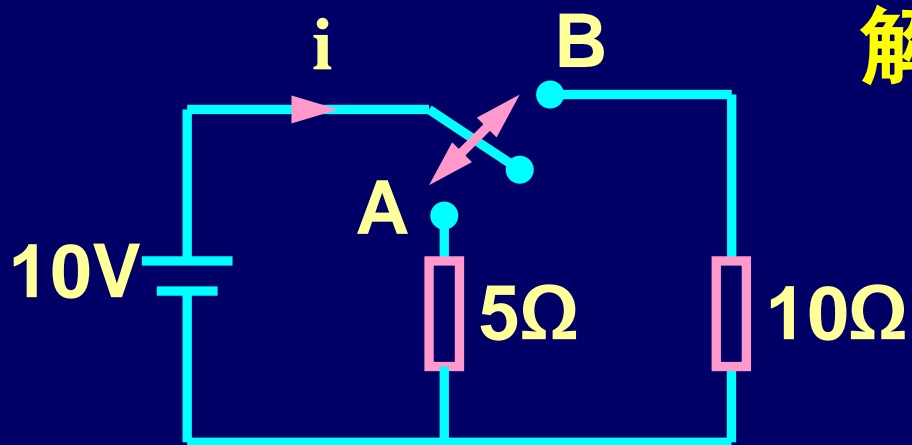
$t_1$ 时刻的伏安特性



符号

**电流源和电阻的并联可以构成实际电流源的模型。**

例1：求下图中开关在A或者B时电流  $i = ?$

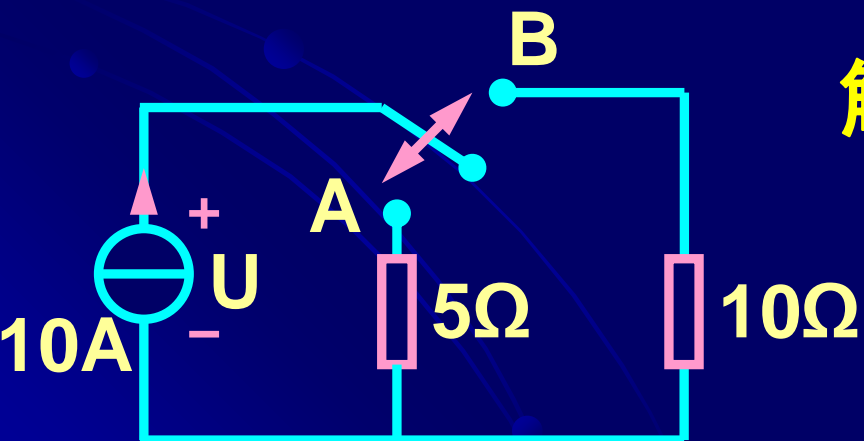


解：

开关在A时： $i = 2 \text{ A}$

开关在B时： $i = 1 \text{ A}$

例2：求下图中开关在A和B时的电压  $U$ 。

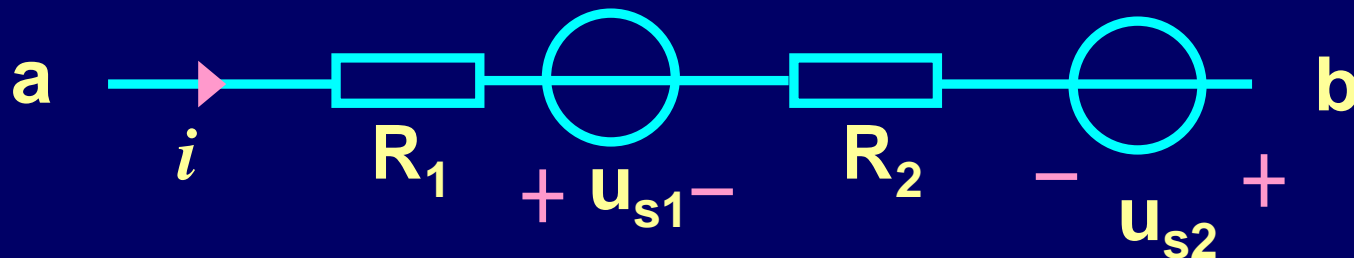


解：

开关在A时： $U = 50 \text{ V}$

开关在B时： $U = 100 \text{ V}$

例3：含源支路ab，已知 $u_{s1}=6V$ ， $u_{s2}=14V$ ，  
 $u_{ab}=5V$ ， $R_1=2\Omega$ ， $R_2=3\Omega$ ，求 $i$ 。

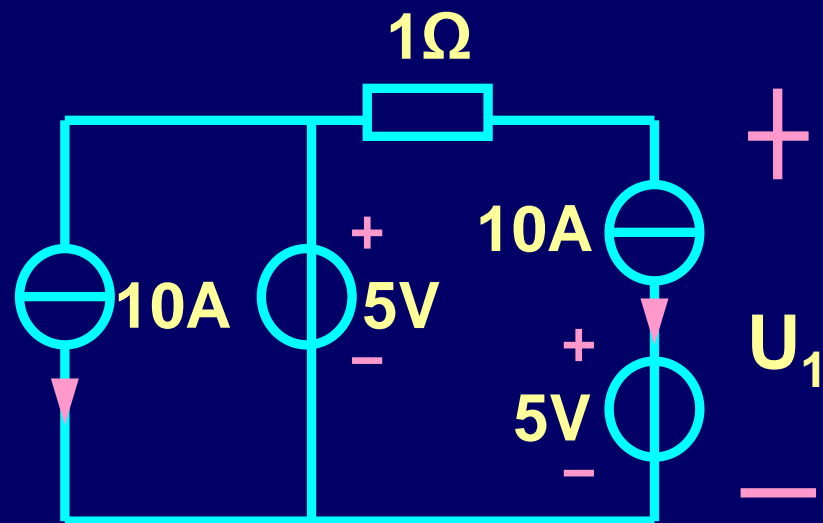


解：

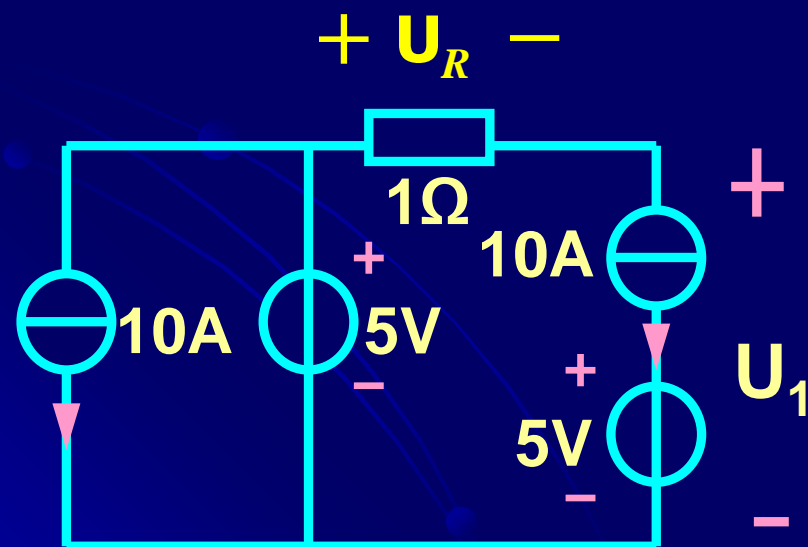
由  $u_{ab}=R_1i+u_{s1}+R_2i-u_{s2}$

得  $i=(u_{ab}-u_{s1}+u_{s2})\div(R_1+R_2)$   
 $= (5 - 6 + 14 ) \div (2 + 3)$   
 $= 2.6A$

## 例4:求 $U_1$



解:



欧姆定律:

$$U_R = 1 \times 10 = 10V$$

KVL:

$$U_R + U_1 - 5 = 0$$

$$U_1 = -5V$$

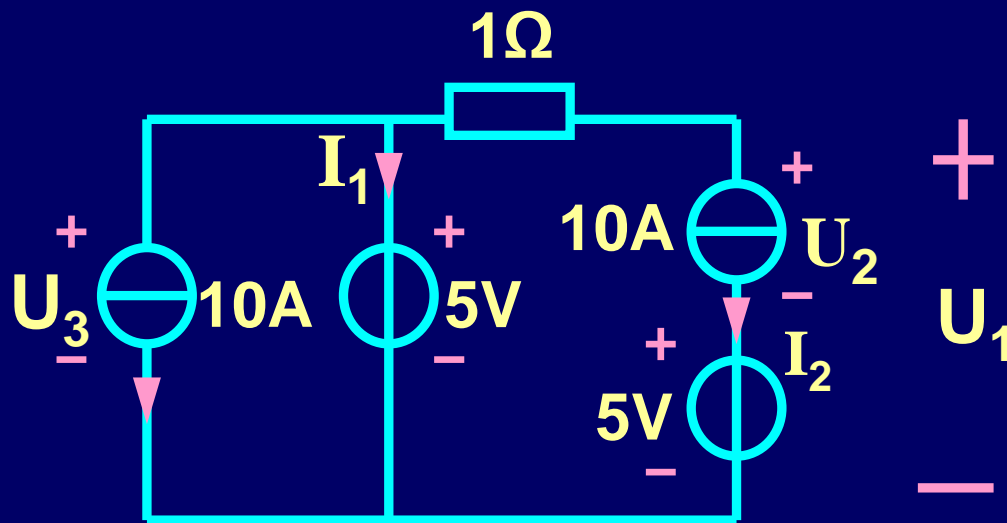
# 例5 求下图电路中各个电源的功率

解:

$$U_1 = -5V$$

$$U_2 = U_1 - 5 = -10V$$

求功率:



电源名称	左10A	右10A	左5V	右5V
电压值	$U_3 = 5V$	$U_2 = -10V$	5V	5V
电流值	10A	10A	$I_1 = -20A$	10A
功率值	50W	-100W	-100W	50W
功率性质	吸收	产生	产生	吸收



从上面例题中可以看出：

1. 电压源的电流不能由其本身确定，要由与之相连的外电路确定；  
电流源两端的电压不能由其本身确定，要由与之相连的外电路确定。
2. 电流源可以吸收功率，如左10A电流源；  
也可产生功率，如右10A电流源。  
  
电压源可以吸收功率，如右5V电压源；  
也可产生功率，如左5V电压源。

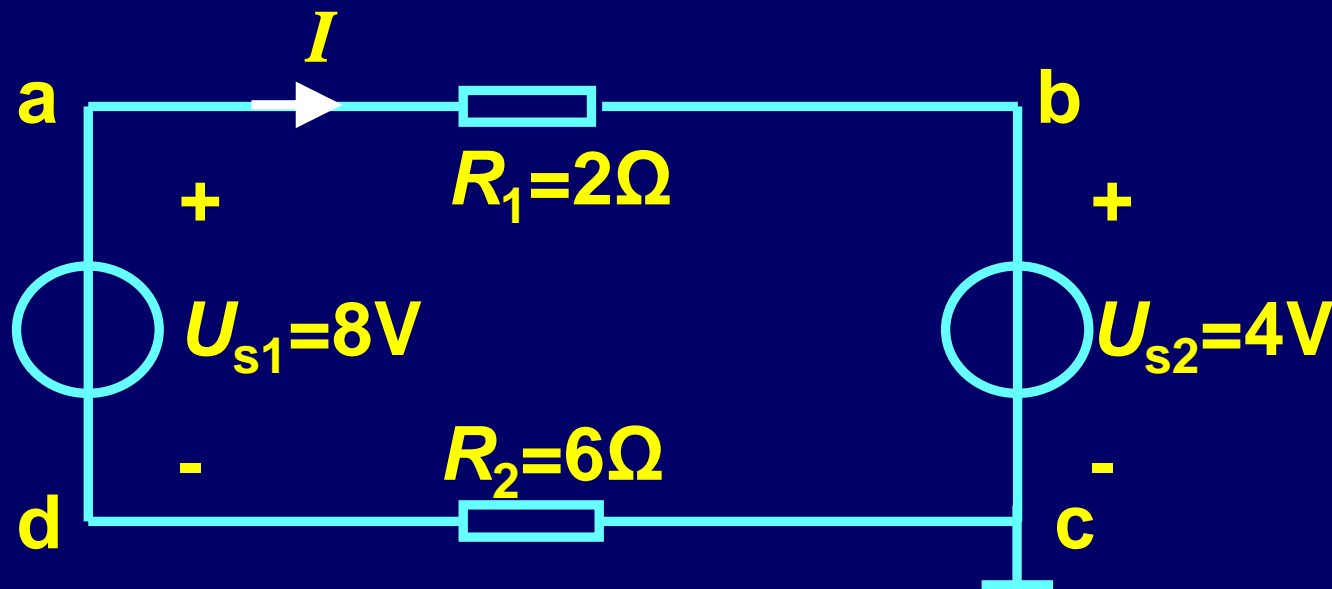


# § 1-8 分压电路和分流电路

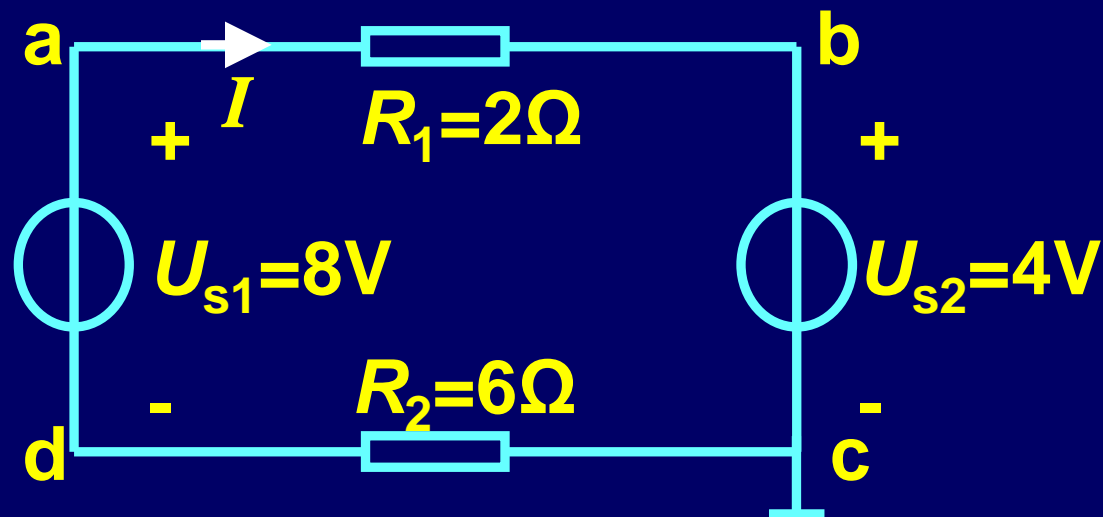
## 一、电位

在电路中任选一点作参考点（零电位点），某点到参考点的电压降叫该点的电位，如 $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$ ，等等。由于参考点是任意选择的，因此电位是一个相对的概念。

例题：求图示电路中的 $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 、 $U_d$ 、 $U_{bc}$ 。



解:



$$IR_1 + U_{s2} + IR_2 - U_{s1} = 0$$

$$I = (U_{s1} - U_{s2}) \div (R_1 + R_2) = (8 - 4) / 8 = 0.5 \text{ A}$$

$$U_a = U_{ac} = 2I + U_{s2} = 2 \times 0.5 + 4 = 5 \text{ V}$$

$$U_b = U_{s2} = 4 \text{ V}$$

$$U_c = 0$$

$$U_d = -6I = -6 \times 0.5 = -3 \text{ V}$$

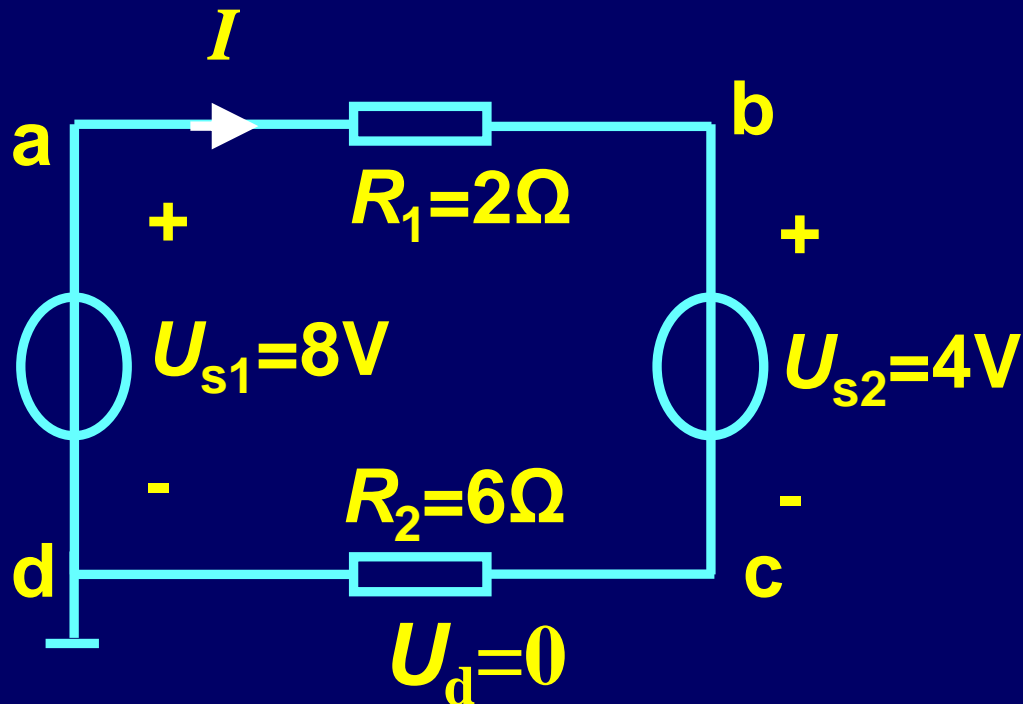
$$U_{bc} = U_{s2} = 4 \text{ V}$$

以D为参考点

$$I=0.5\text{A} \quad U_a=U_{S1}=8\text{V}$$

$$\begin{aligned} U_b &= U_{S2} + 6I \\ &= 4 + 6 \times 0.5 = 7\text{V} \end{aligned}$$

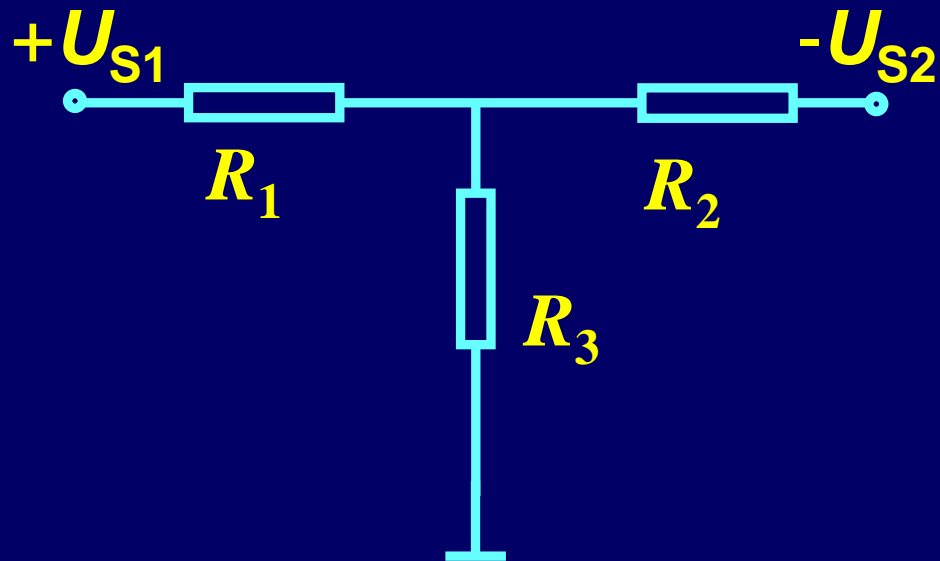
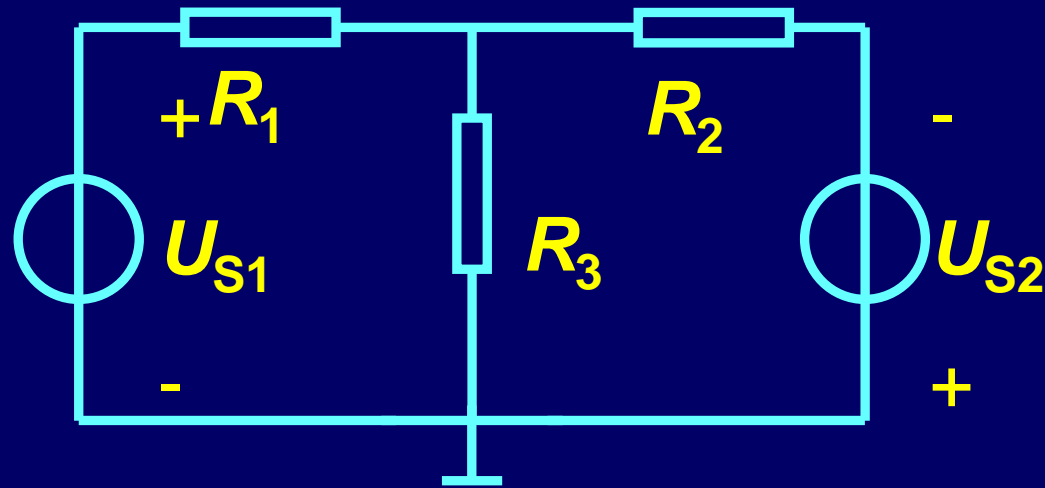
$$U_c = 6I = 6 \times 0.5 = 3\text{V}$$



$$U_{bc} = U_b - U_c = 7 - 3 = 4\text{V}$$

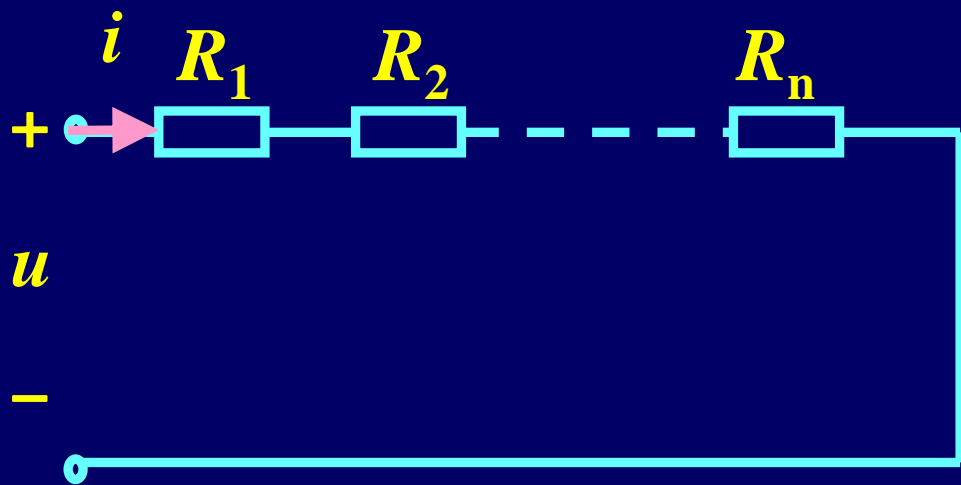
可见，参考点选的不同，电位不同，而两点之间的电压不随参考点的变化而变化！

# 电路的习惯画法：



## 二、电阻的串联、并联及分压分流.

**1.串联电阻：**若干个电阻流过同一个电流叫串联.这些电阻叫串联电阻，串联电阻的总电阻值等于各个电阻值相加。



$$\begin{aligned} U &= R_1 i_1 + R_2 i_2 + \dots + R_n i_n \\ &= (R_1 + R_2 + \dots + R_n) i = Ri \end{aligned}$$

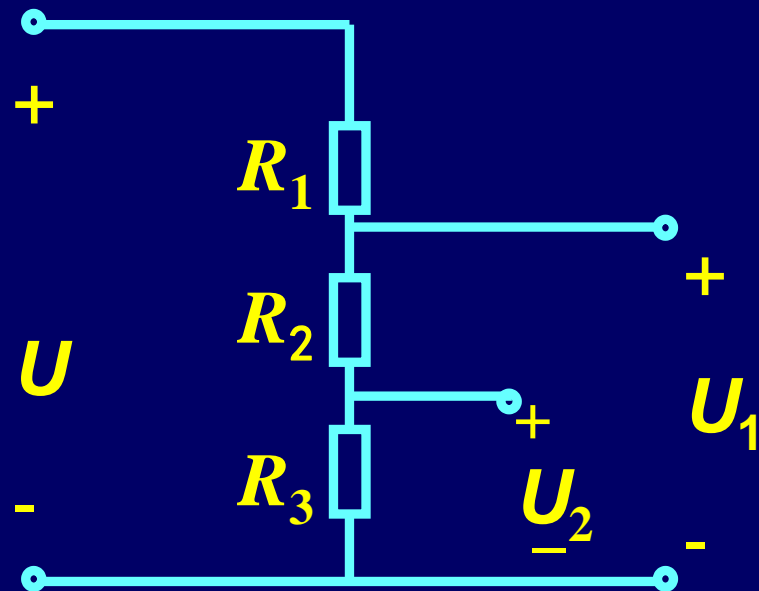
$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

2分压:

$$U_j = R_j \frac{U}{R} = \frac{R_j}{R} U$$

$$U_1 = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

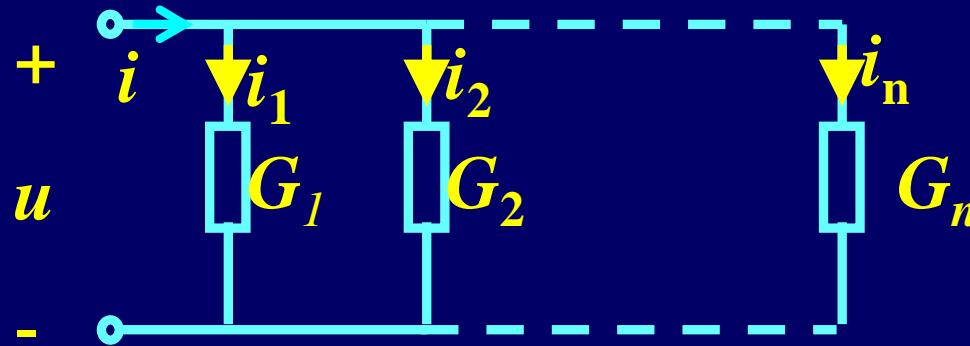
$$U_2 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U$$



分压电路

### 3.电阻的并联:

若干个承受同一个电压的电阻是并联电阻。  
并联电...的总电导等于各个电导相加.



$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

$$= G_1 u + G_2 u + \dots + G_n u$$

$$= (G_1 + G_2 + \dots + G_n) u = G u$$

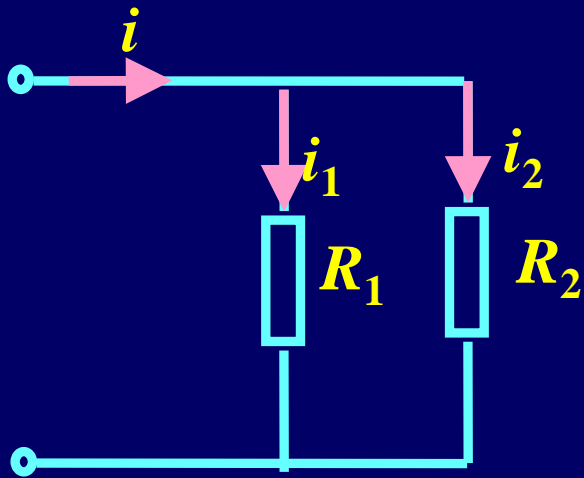
$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

## 4.分流

### 并联电导可作成分流电路

$$I_j = G_j U = G_j \frac{I}{G} = \frac{G_j}{G} I$$

两个电阻的并联:



$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$i_1 = i \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

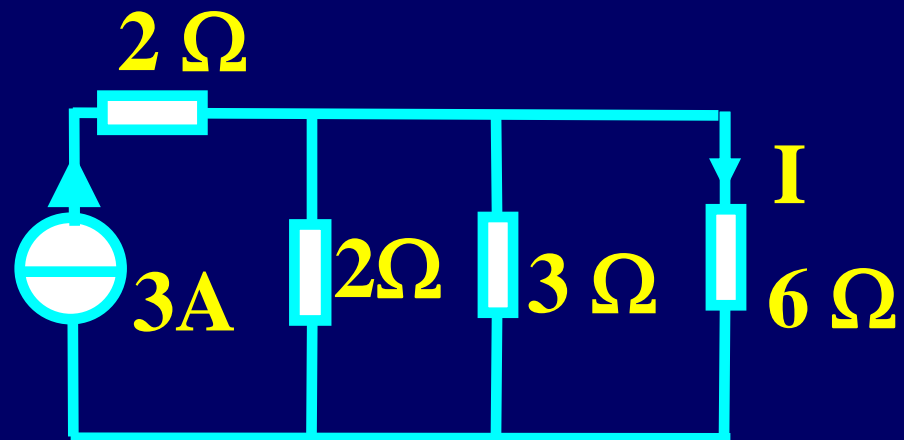
$$i_2 = i \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$





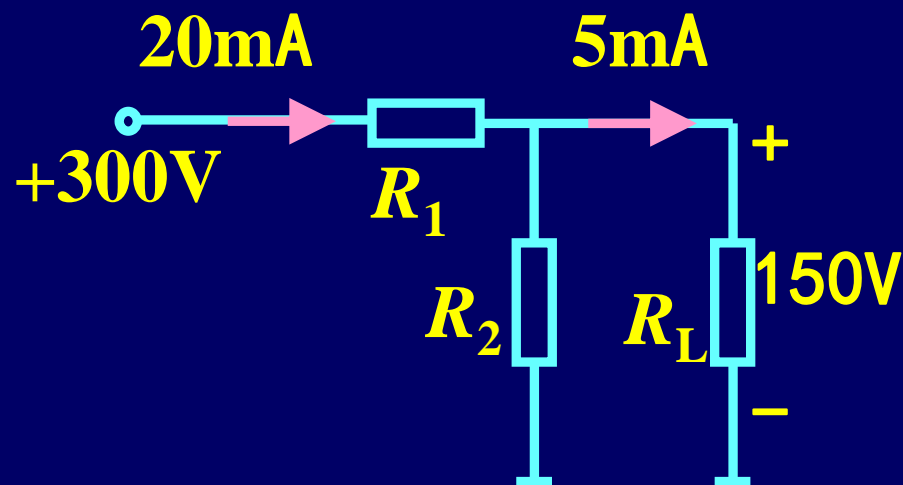
例1 电路中电流 $I$ =?

答:  $I=0.5\text{A}$



例2：求右下图示电路中的 $R_1$ 、 $R_2$ 。

解：

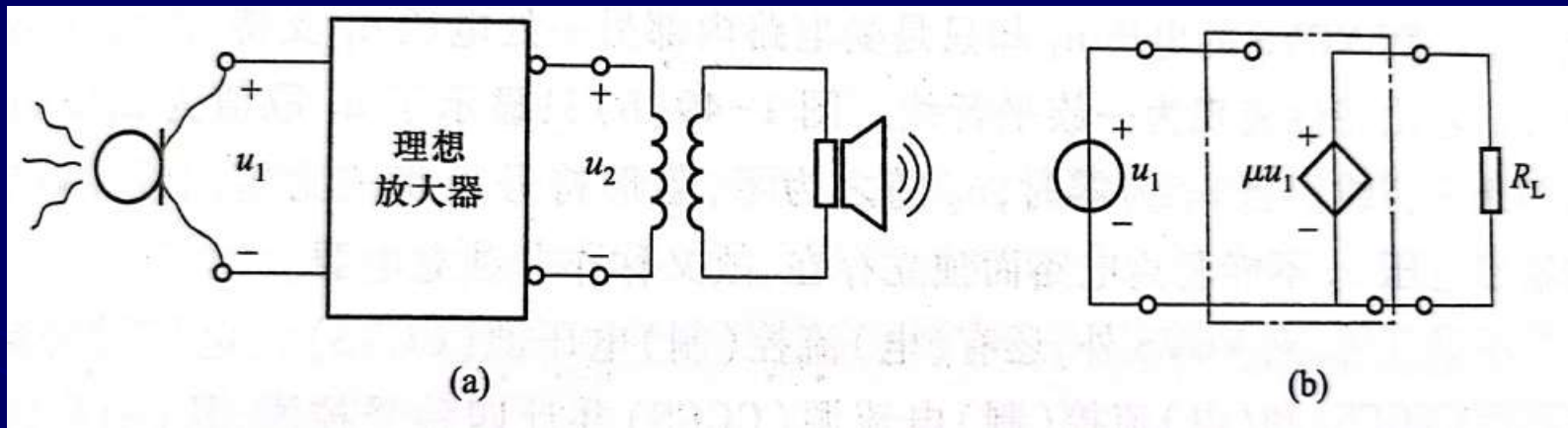


$$R_2 = 150 / [(20 - 5) \times 10^{-3}] = 10\text{K}\Omega$$

$$R_1 = (300 - 150) / (20 \times 10^{-3}) = 7.5\text{K}\Omega$$

## § 1-7 受控源

受控源是一种电路模型，晶体管、运算放大器等电特性可用含受控源的电路模型来模拟。

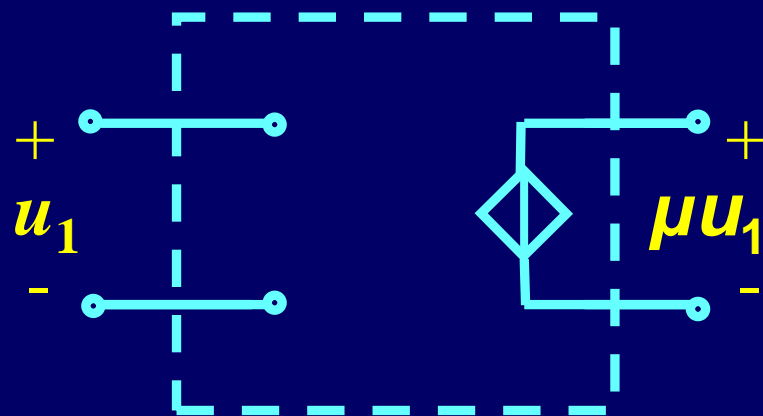
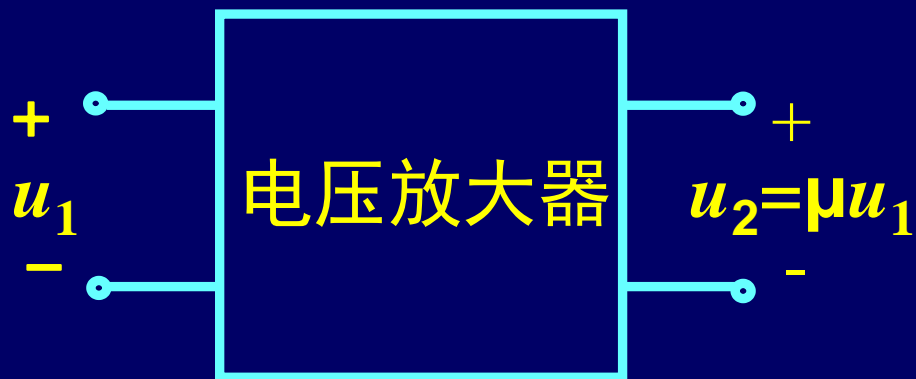


(a) 含理想放大器的扩音电路

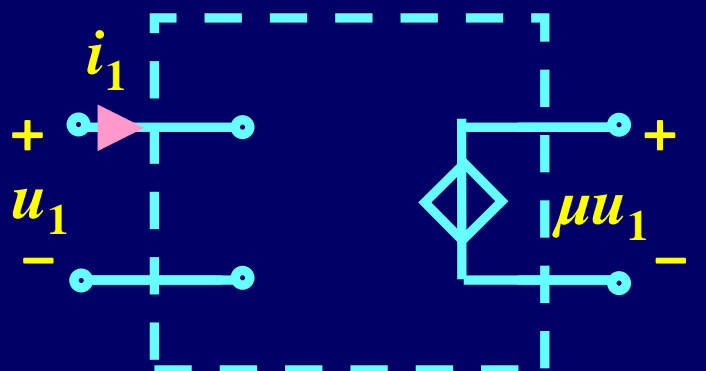
$$u_2 > u_1$$

(b) 电路模型  
电压控制电压源 (VCVS)

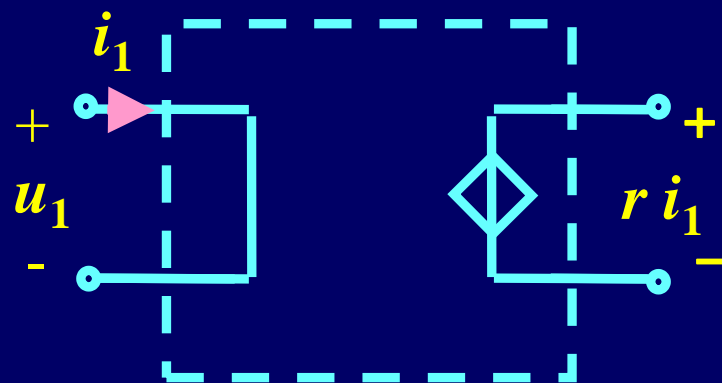
# 一、受控源：受电路中其它支路电压或电流控制的电压源或电流源——双口电阻元件



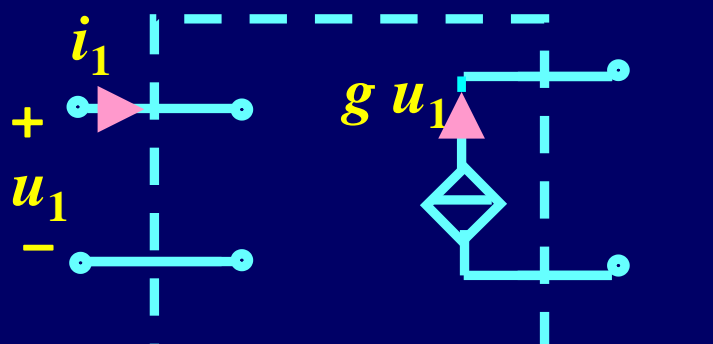
## 二、受控源的种类 理想情况



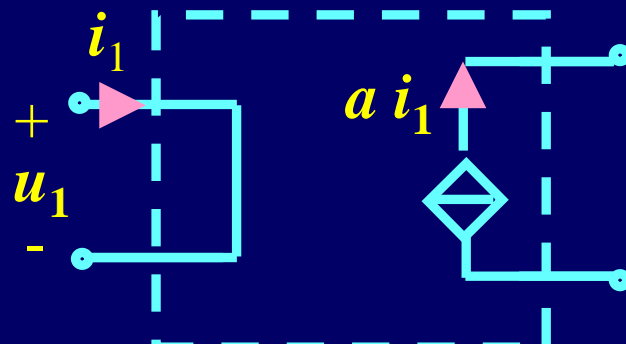
电压控制电压源 **VCVS**



电流控制电压源 **CCVS**



电压控制电流源 **VCCS**



电流控制电流源 **CCCS**

$\langle \mu, r, g, \alpha \text{ 都是常数} \rangle$

### 三、双口电阻元件的代数方程：

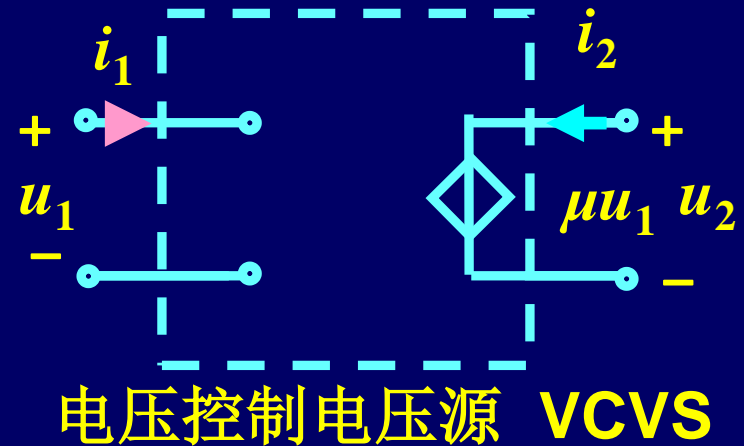
$$f_1(u_1, u_2, i_1, i_2) = 0$$

$$f_2(u_1, u_2, i_1, i_2) = 0$$

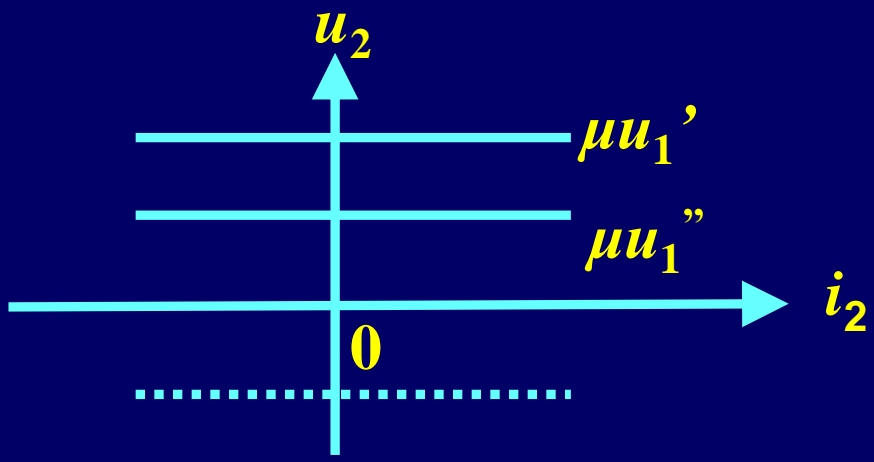
#### VCVS的代数方程：

$$f_1(u_1, u_2, i_1, i_2) = i_1 = 0$$

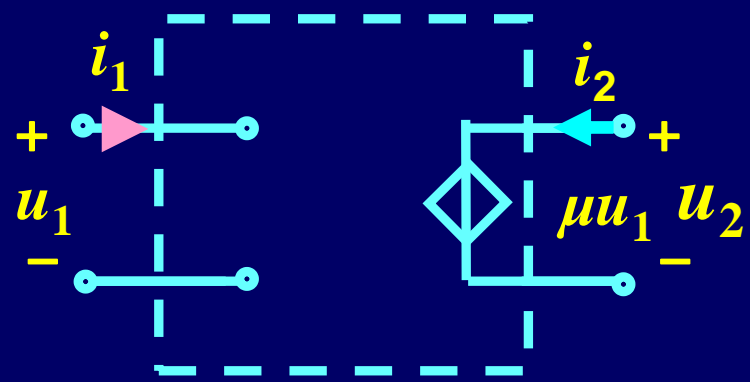
$$f_2(u_1, u_2, i_1, i_2) = u_2 - \mu u_1 = 0$$



四、受控源的输出特性——输出端口电压、电流的关系

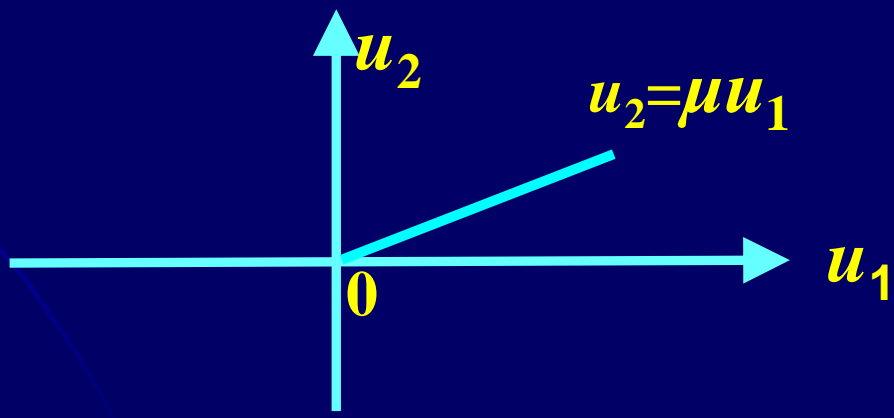


VCVS的输出特性



电压控制电压源 VCVS

五、受控源的转移特性——输出与输入的关系

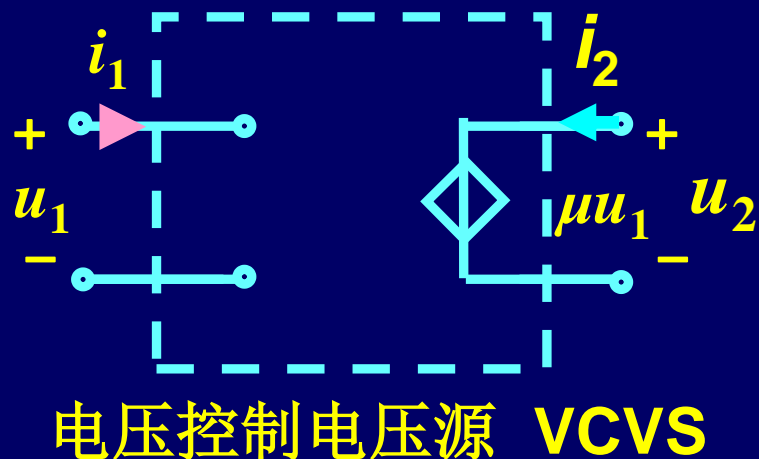


VCVS的转移特性

## 六、受控源功率

$$p(t) = u_1 i_1 + u_2 i_2 = u_2 i_2$$

( $u_1$ 、 $i_1$ 中有一个为零)



**注意：**以后受控源均指受控支路，  
不必画其理想模型。



# 七、独立源与受控源的区别

## 独立源

1. 电压源电压、电流源电流是定值，与外电路无关。

2. 在电路中作为电路的输入（激励），它在电路中产生的电压、电流叫响应。

3. 二端元件

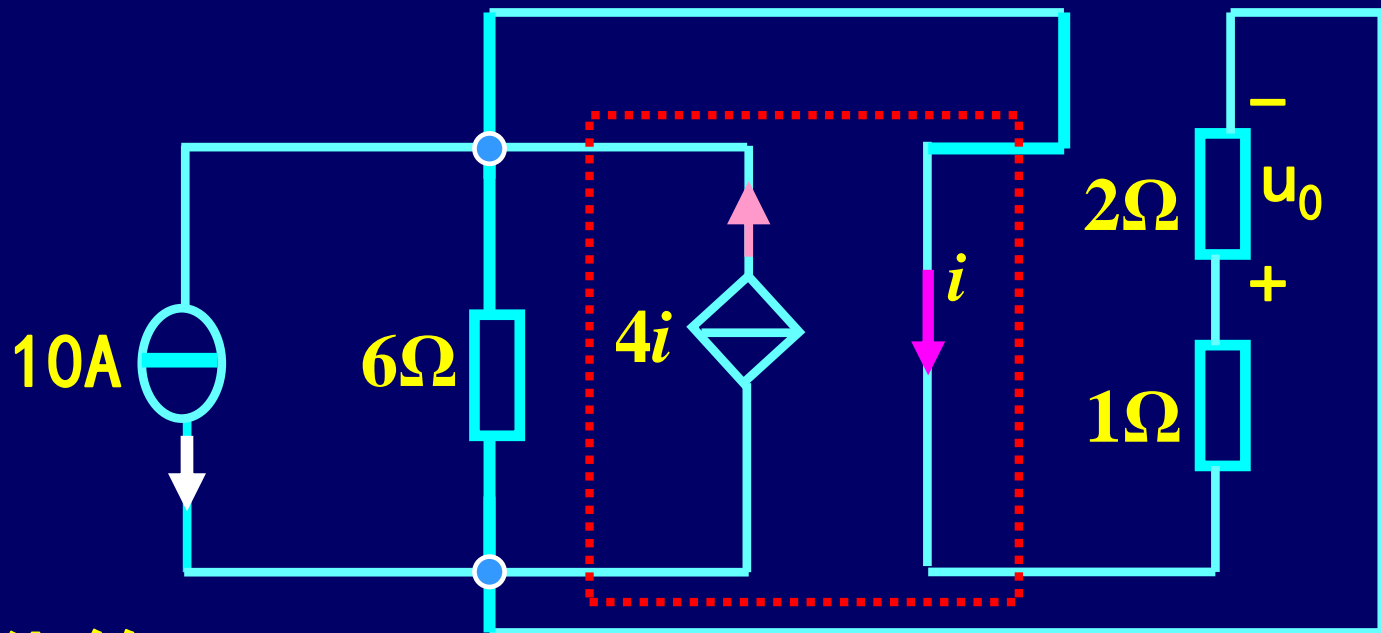
## 受控源

受控电流源电流、受控电压源端口电压不是定值，而是受其它支路电压或电流的控制。

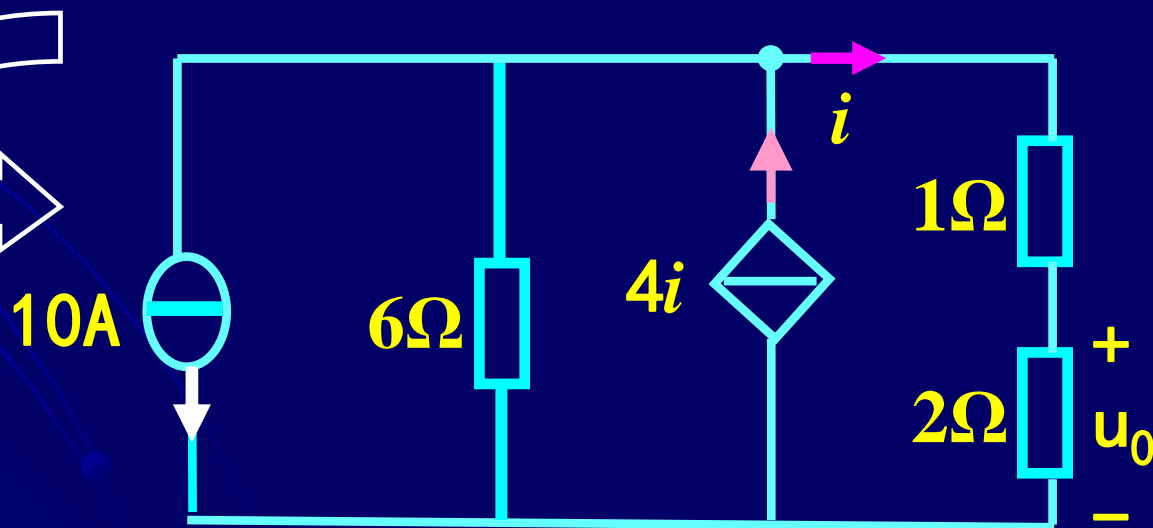
不能作为电路的输入，只不过是电子器件电路模型的组成部分。

四端耦合器件

例1-14. 试求图示电路中 $u_0$ 和流经受控源的电流



化简



解：设 $6\Omega$ 上电流为 $i_x$

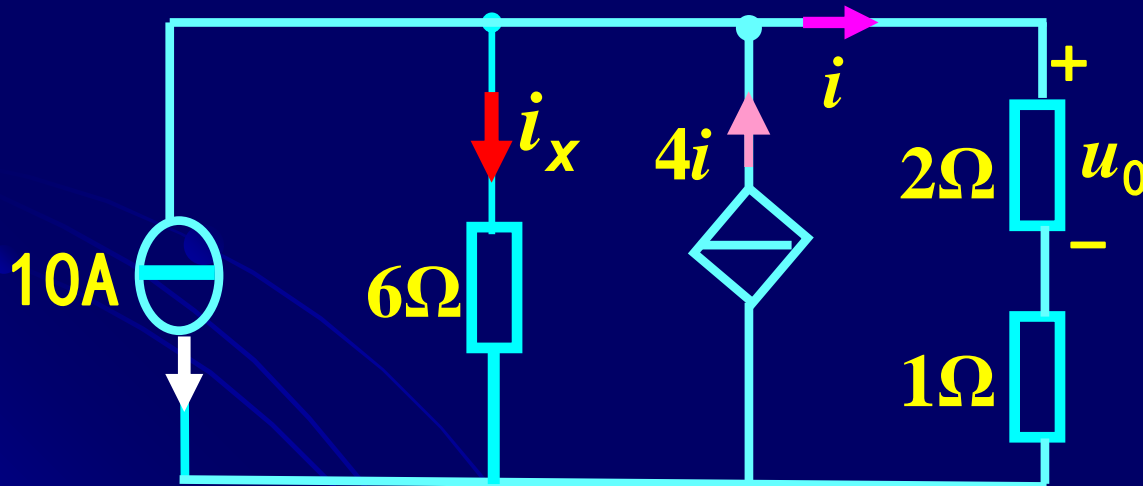
$$i_x + i + 10 = 4i$$

$$6i_x = 3i$$

$$\Rightarrow i = 4A$$

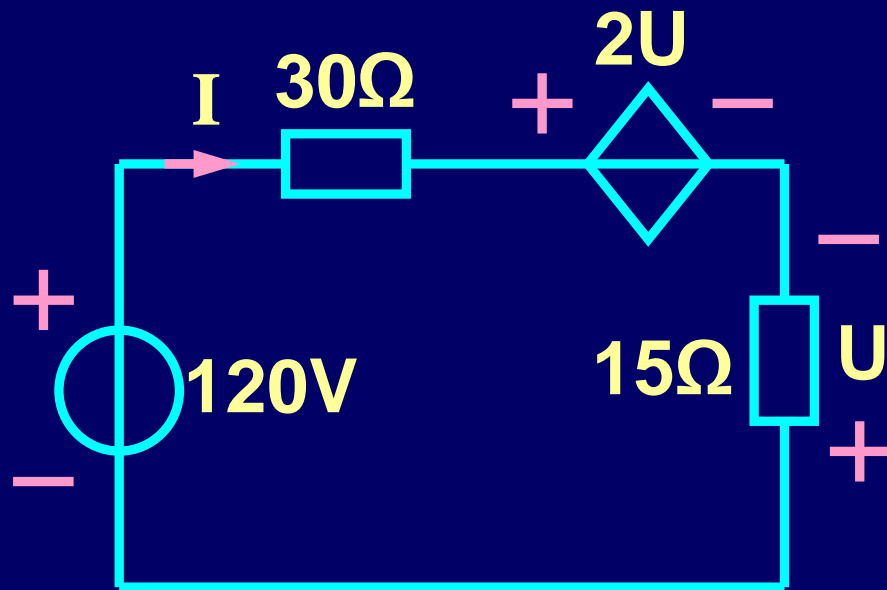
$$4i = 16A$$

$$u_0 = 2i = 8V$$



注：以后给出的电路是化简后的电路

补充例：求I及受控源的功率。



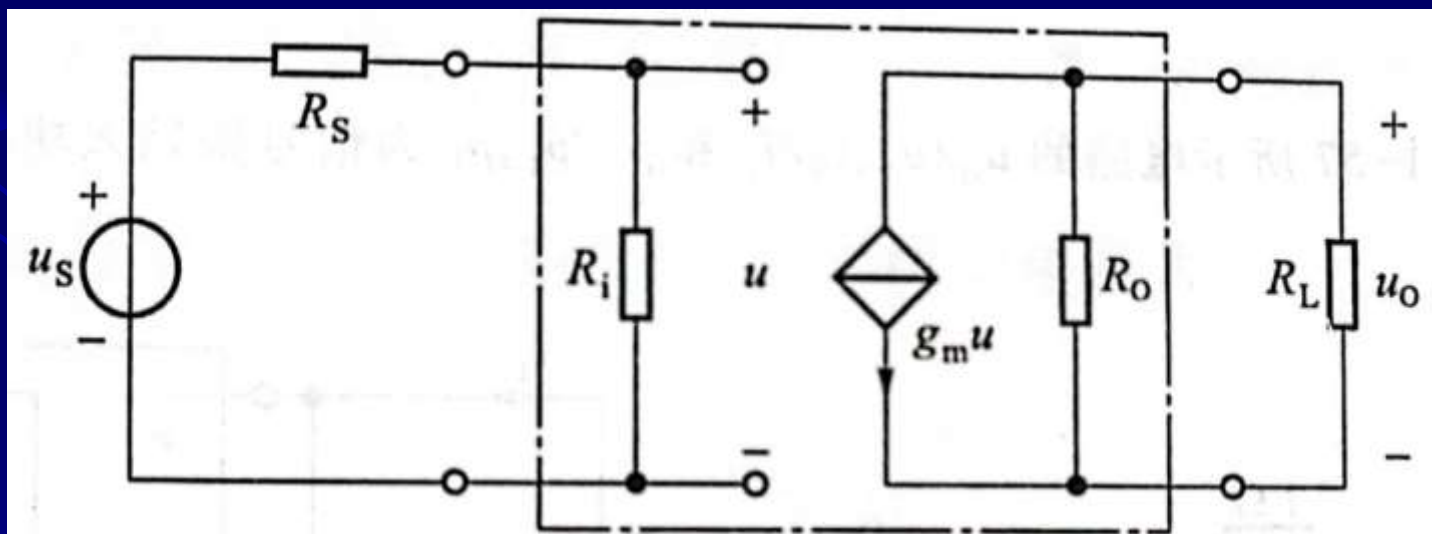
解：

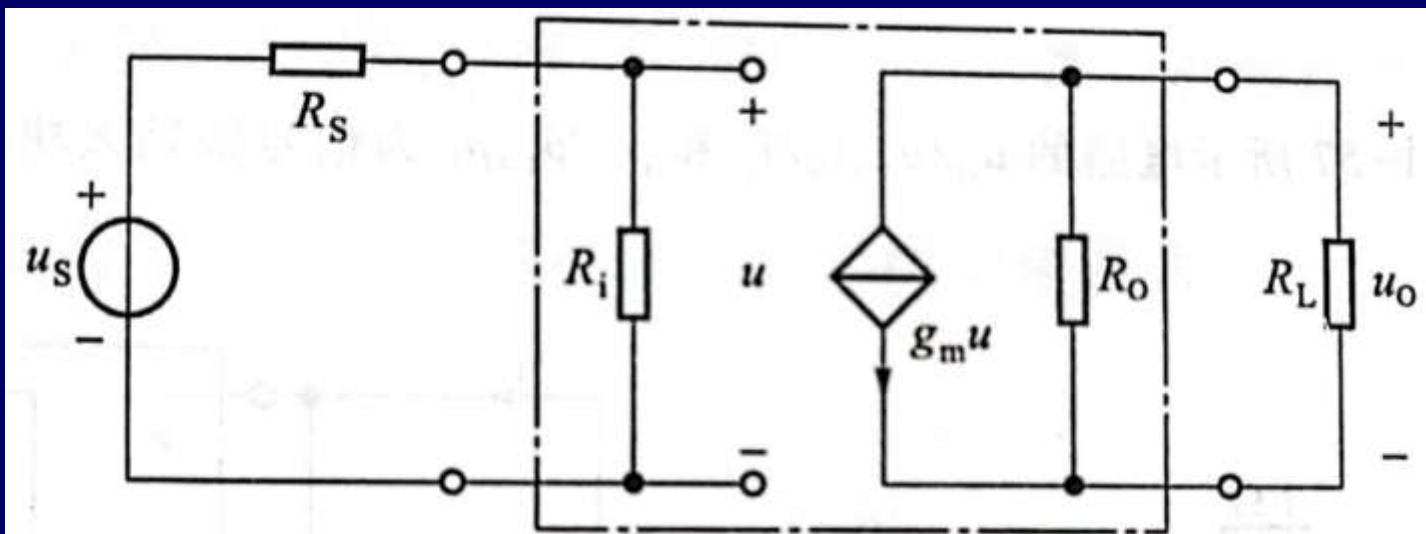
$$\begin{cases} 30I + 2U - U = 120 \\ U = -15I \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U = -120V \\ I = 8A \end{cases}$$

$$P_{\text{受}} = 2U \times I = -1920W$$

例1-15：音响前置放大电路模型如下：

核心部分为VCCS， $g_m=30\text{mA/V}$ ，放大器输入电阻 $R_i=2\text{K}\Omega$ ，输出电阻 $R_o=75\text{K}\Omega$ 。CD播放器部分由电压源 $u_s$ 和串联电阻 $R_s$ 组成。负载 $R_L$ 代表下一级。 $R_s=500\Omega$ ， $R_L=10\text{K}\Omega$ ，求  $u_o/u_s$ （转移电压比）。





解：

$$u_o = -g_m u (R_o // R_L)$$

$$u = [u_s / (R_s + R_i)] R_i$$

$$u_o / u_s = -211.76$$

负号：二者极性相反

# § 1-9 两类约束 KCL、KVL方程的独立性

## 一. 两类约束:

$$\begin{array}{ll} \text{KCL:} & \sum_{k=1}^n i_k = 0 \quad \text{节点电流方程} \\ \text{KVL:} & \sum_{k=1}^n u_k = 0 \quad \text{回路电压方程} \end{array} \quad \left. \vphantom{\sum_{k=1}^n} \right\} \text{拓扑关系}$$

VCR (元件的伏安特性) ————— 元件约束

根据两类约束可列方程求出所需的电压、电流。

## 二、 $2b$ 法

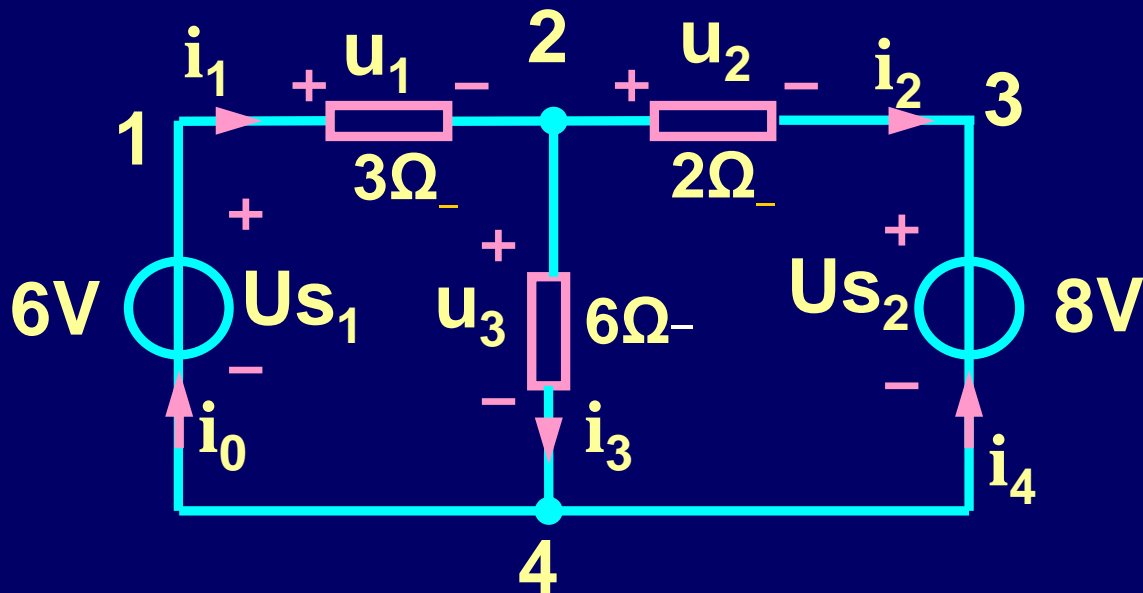
电路分析的目的：求解出电路中所有支路上的电压和电流。

若一个电路有 $b$ 条支路，每个支路上的电压和电流有2个未知数，所以全部未知数共 $2b$ 个，需要列 $2b$ 个方程进行求解—— $2b$ 法。



## 2b法过程讲解:

图示电路有 **$b=5$** 条支路， **$n=4$** 个节点， **$m=2$** 个网孔。



以支路电压、支路电流为变量，要列10个方程。

这10个方程由KCL、KVL、VCR构成。

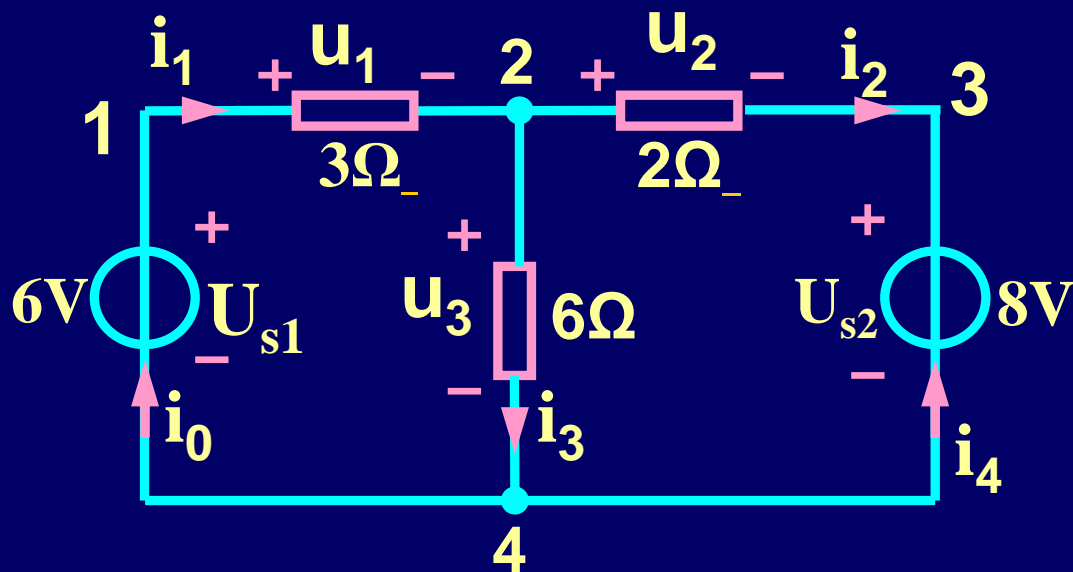
①列 KCL方程：设电流流出节点为正，流入为负

$$\text{KCL: } i_0 - i_1 = 0$$

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i_2 + i_4 = 0$$

$$-i_0 - i_4 + i_3 = 0$$



其中任一个方程都可由其它三个方程相加减得出。



任意去掉一个，得：

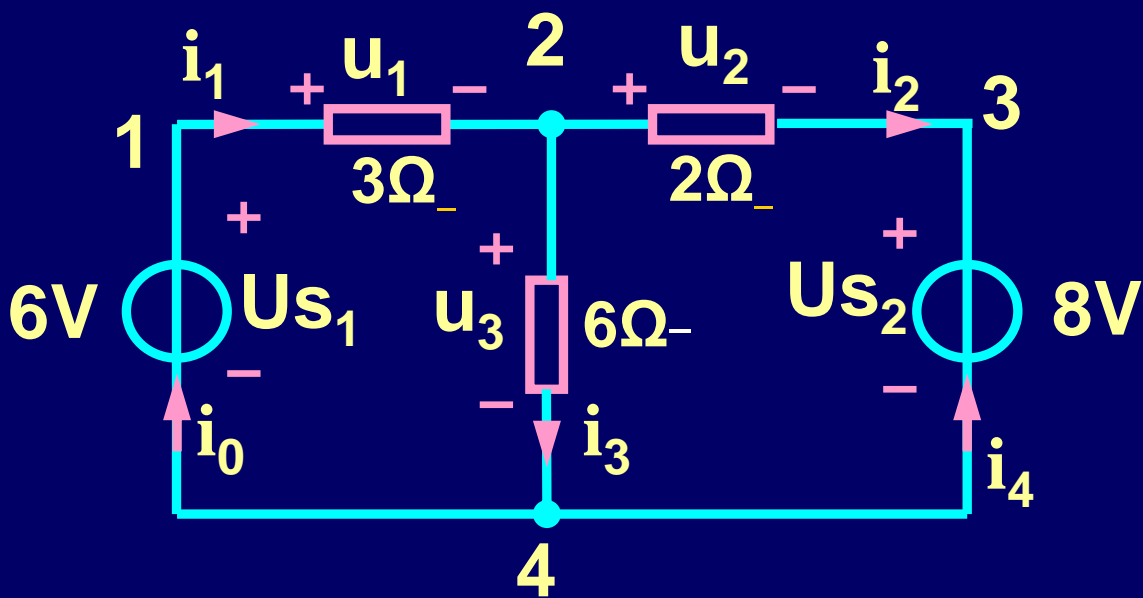
$(n-1) = 3$ 个独立的KCL方程。

## ②列 KVL方程

设电路中有 $m$ 个网孔，则可列出 $m$ 个独立的KVL方程。（这里 $m=2$ ）

$$u_1 + u_3 - 6 = 0$$

$$-u_3 + u_2 + 8 = 0$$



可以证明:  $m = b - (n - 1)$

根据KCL、KVL可列出:  $(n - 1) + m = b$  个方程。

上述图中，根据KCL、KVL列出5个独立方程。

### ③列 VAR方程

**b**个支路，列出**b**(=5)个VAR方程

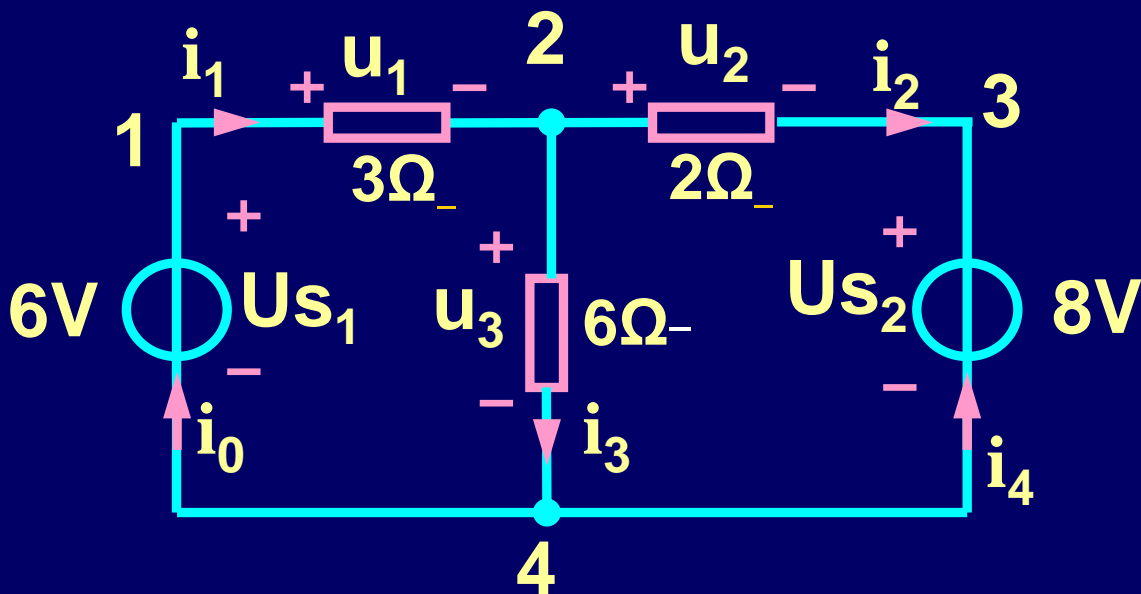
$$u_1 = 3i_1$$

$$u_2 = 2i_2$$

$$u_3 = 6i_3$$

$$u_{s1} = 6V \text{ 已知}$$

$$u_{s2} = 8V \text{ 已知}$$



可见：3个KCL方程，2个KVL方程，5个VAR

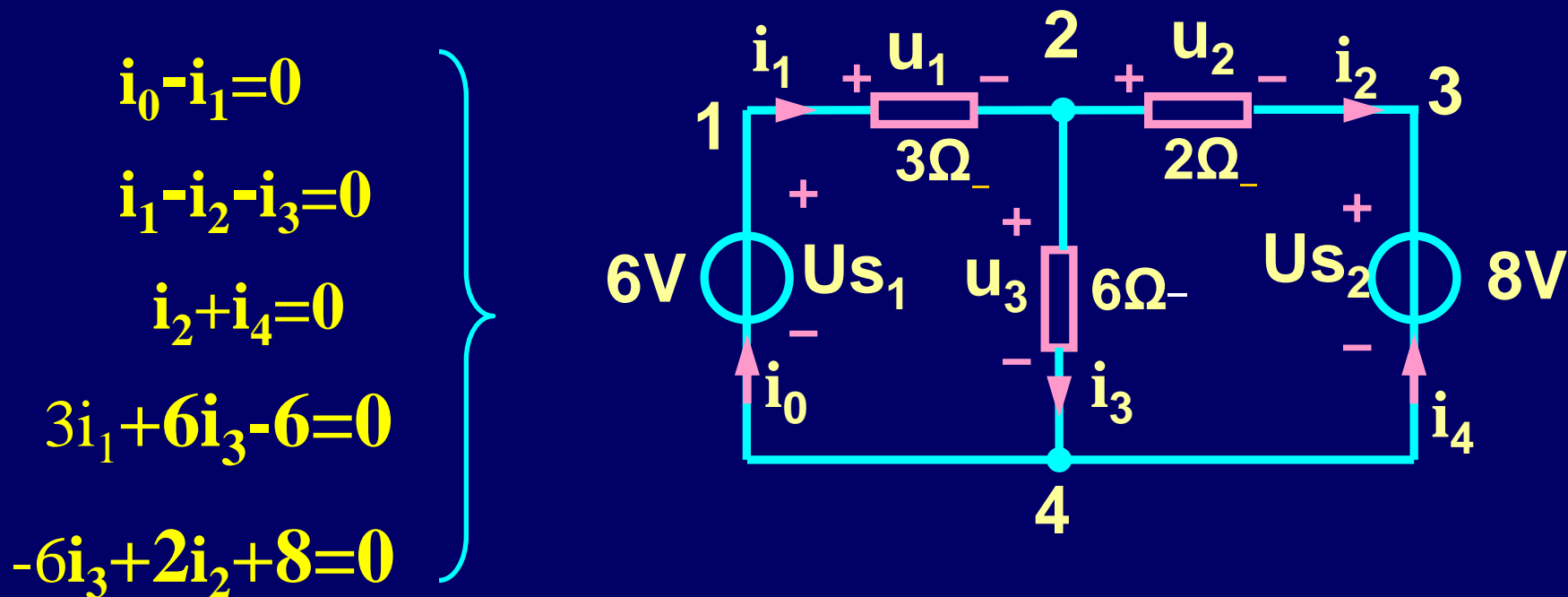
共10方程， $2b=10$

这种方法称为**2b**法。

## § 1-10 支路分析 (1b法)

### 1. 支路电流法

以支路电流为求解变量列方程组求解。  
方程数**b**个。



5个方程, 5个未知数:  $i_0$ 、 $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_3$ 、 $i_4$ 。

求出支路电流后, 进而求解支路电压。

## 2. 支路电压法

以支路电压为求解变量列方程组求解。  
方程数**b**个。

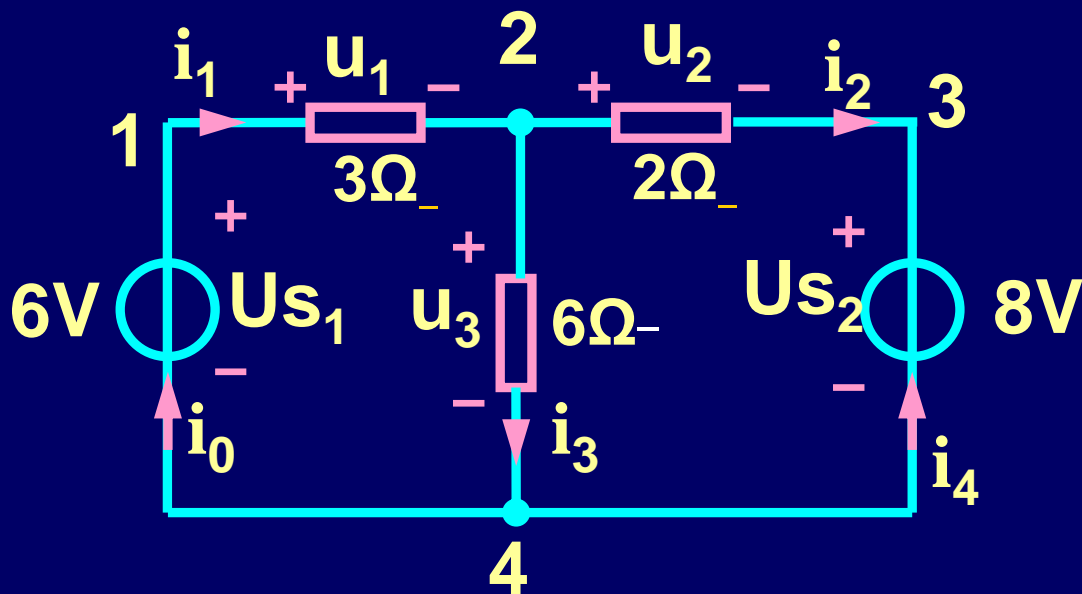
$$i_0 - u_1/3 = 0$$

$$u_1/3 - u_2/2 - u_3/6 = 0$$

$$u_2/2 + i_4 = 0$$

$$u_1 + u_3 - 6 = 0$$

$$-u_3 + u_2 + 8 = 0$$

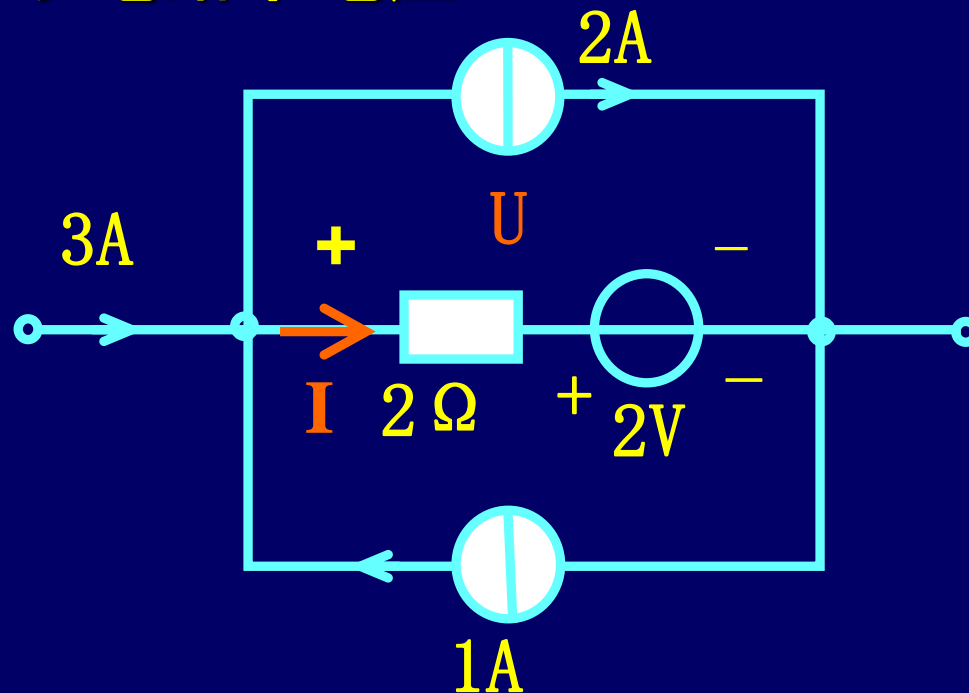


5个方程，5个未知数 $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $i_0$ 、 $i_4$ 。

解出支路电压后，进而求解支路电流。

# 第一章综合练习

## 补充题1：求电路中电压 $U$



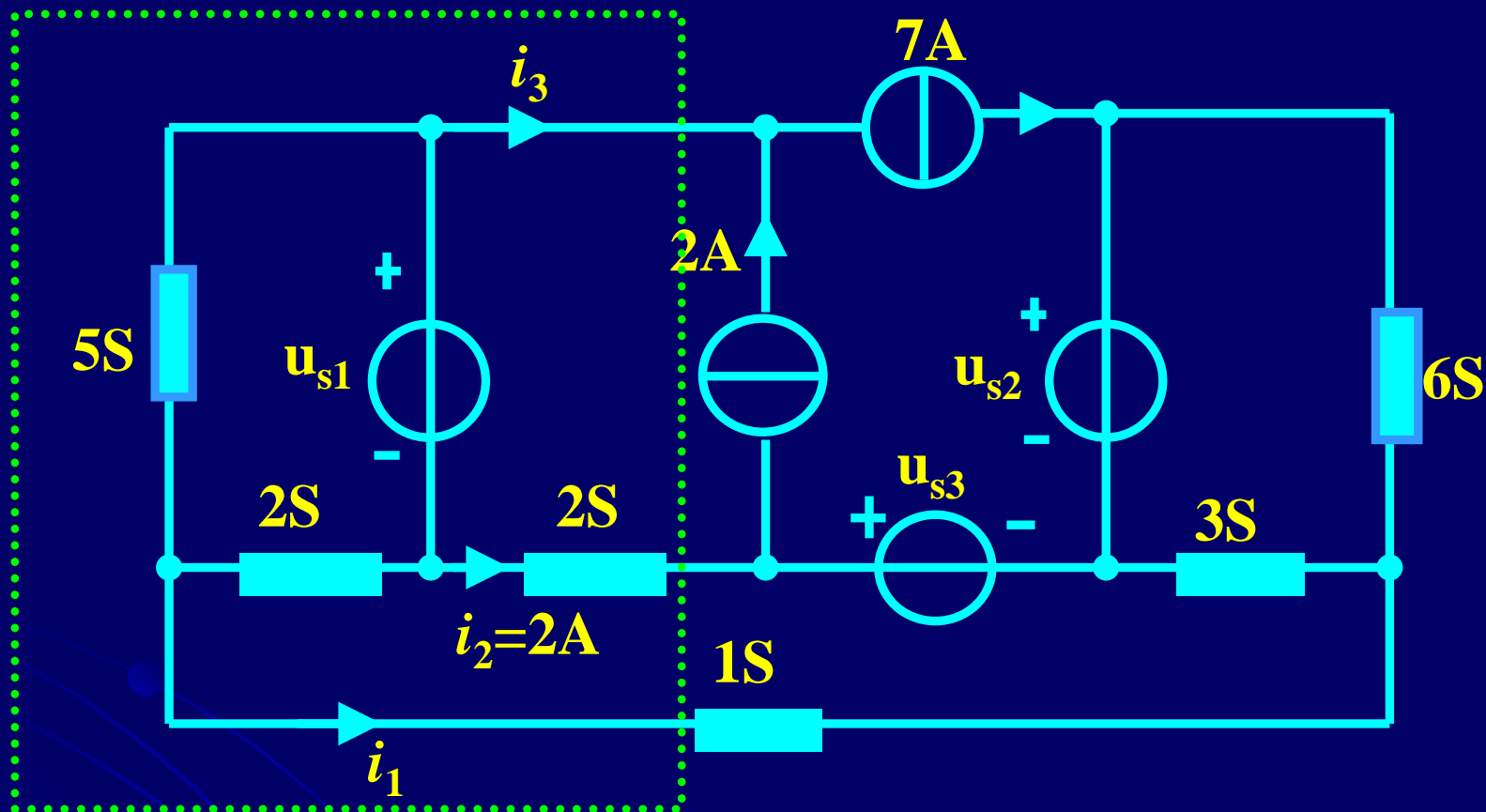
- 解：设电阻电流参考方向如图所示。
- 对左边节点列KCL方程可求电流 $I$ 。

$$I = -2 + 1 + 3 = 2A$$

$$U = 2I + 2 = 6V$$

## 补充题2 (简明电路分析: 习题1-40)

求电路中电流 $i_1$ 、 $i_3$ 。



解: 节点KCL:  $i_3 = 5A$

闭合面KCL:  $i_3 + 2 + i_1 = 0$

$i_1 = -7A$



### 补充题3：求电流I。

解：先求电流 $I_1$ 和 $I_2$ 。

$$I_1 = 0.2\text{A} \quad I_2 = 1.8\text{A}$$

$$I = I_1 - I_2 = -1.6\text{A}$$

