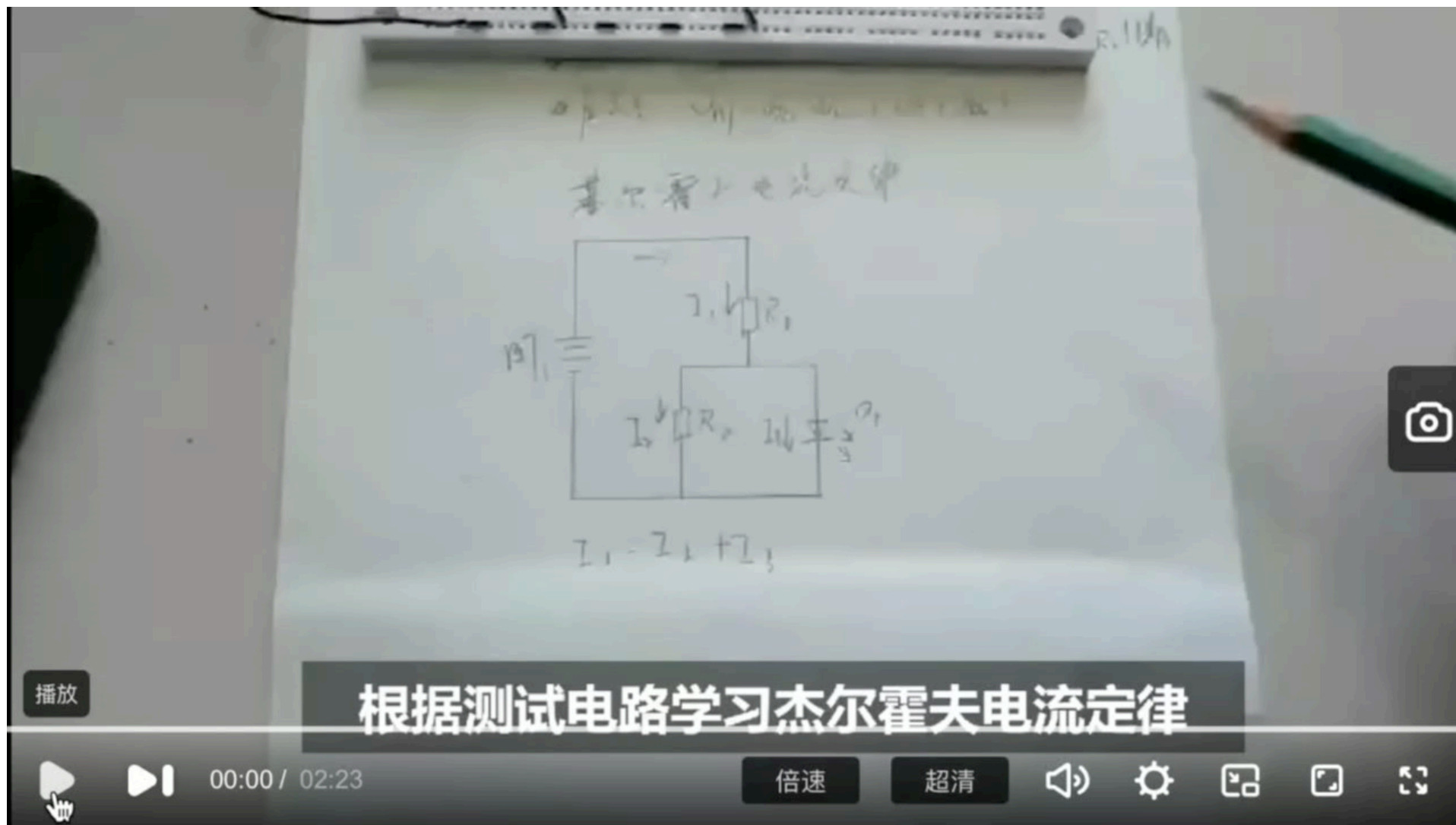


基尔霍夫定律

秒dǒng百科

世界如此简单

基尔霍夫定律实验验证



第3讲 基尔霍夫定律 与电路分析方法

- 一、基尔霍夫定律
- 二、电路分析基本方法
- 三、受控源
- 四、等效变换

基尔霍夫定律

- 内容

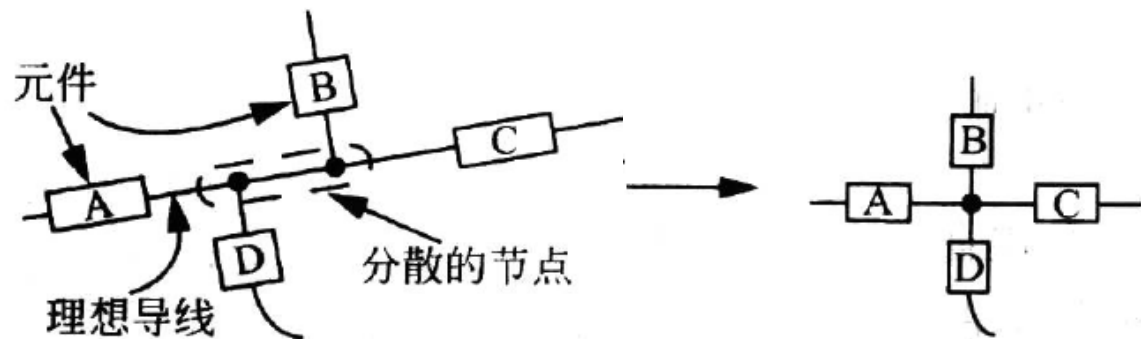
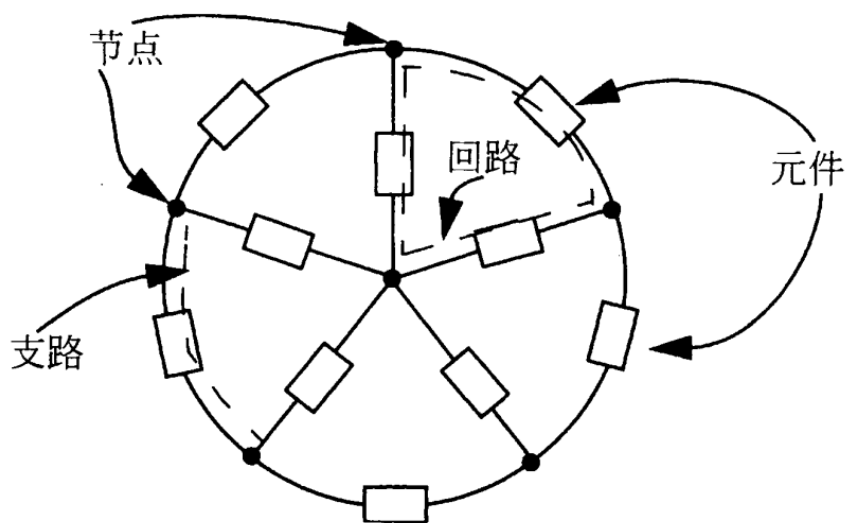
基尔霍夫电压定律、电流定律

- 目标

说出基尔霍夫定律成立的理由，并根据基尔霍夫定律，列出电路节点电流方程和回路电压方程。

基尔霍夫定律 (1/4)

- 集总元件：电压源、电流源、电阻、电容、电感
- 节点(n)：两个或更多元件之间的连线点
- 支路(b)：节点之间的连接（边）
- 回路(l)：由若干支路构成的闭合路径
- 网孔(m)：内部不含有支路的回路

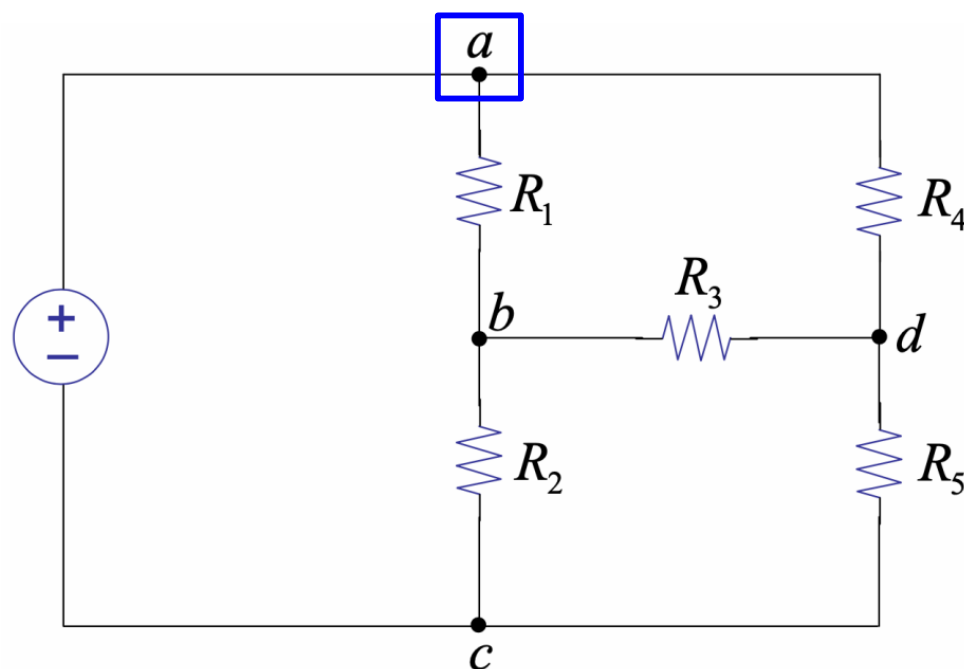
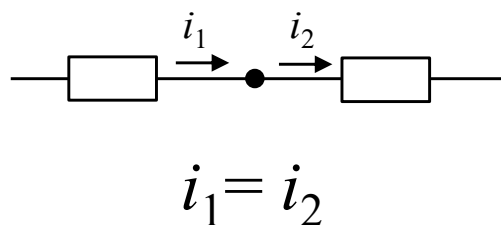


基尔霍夫定律 (2/4)

- KCL: 流入任意节点的支路电流的代数和为零, 即

$$\sum_j i_j = 0$$

- 推论: 流经两个串联连接元件中的电流相等



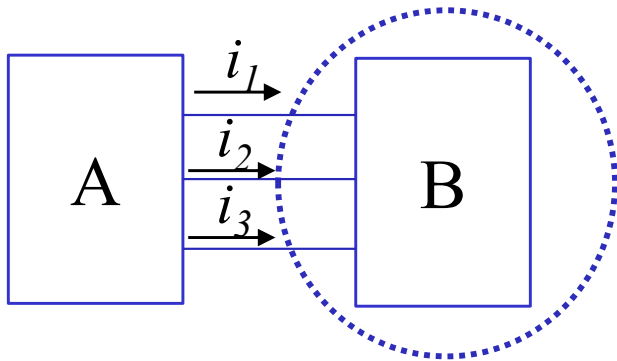
$$i_{ca} + i_{ba} + i_{da} = 0$$

?

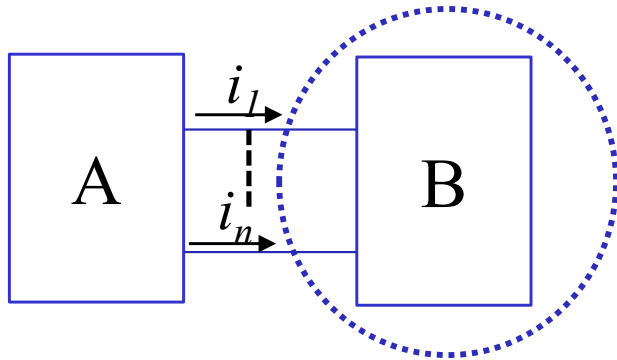
$$\oint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = -\frac{\partial q}{\partial t} = 0$$

基尔霍夫电流定律 (3/4)

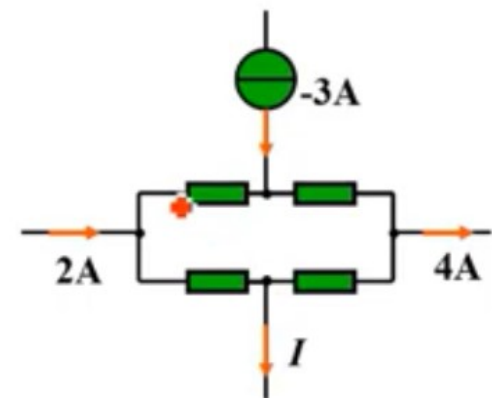
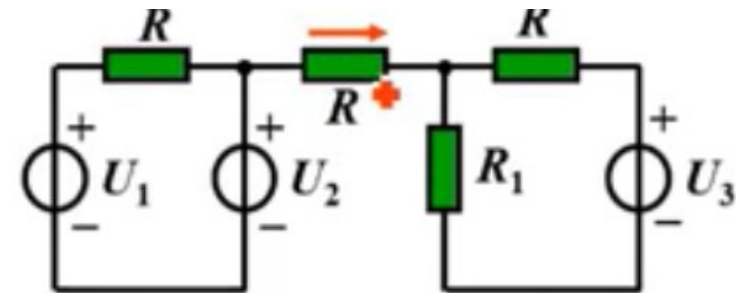
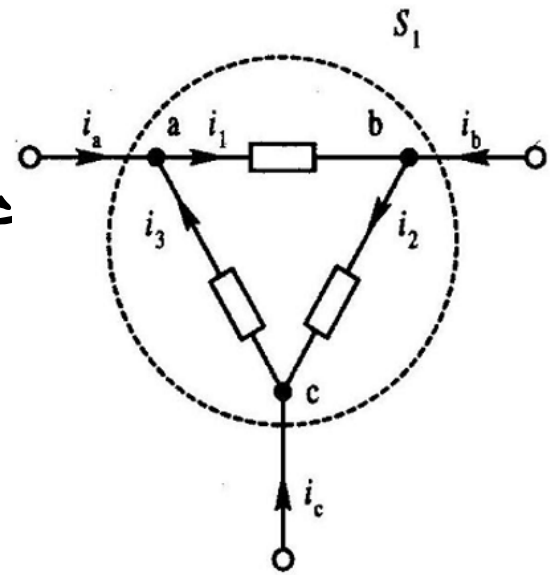
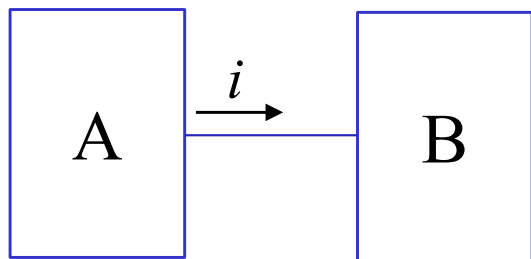
- 广义KCL-适用于电路的封闭曲面 (广



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$



$$i_1 + \dots + i_n = 0$$



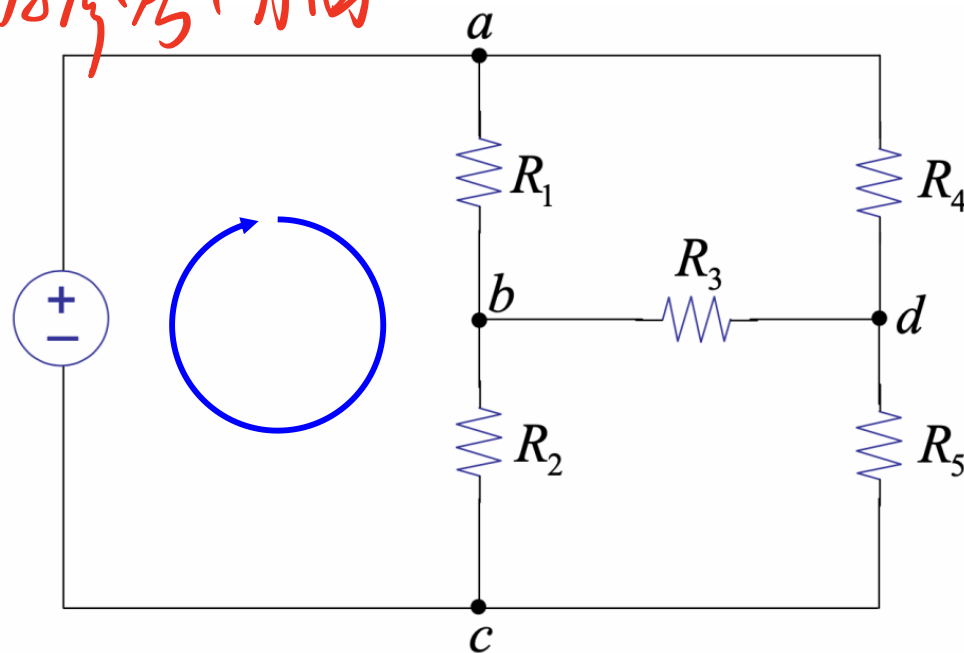
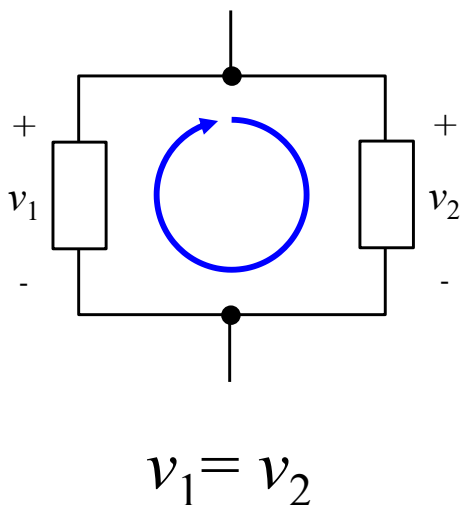
基尔霍夫定律 (4/4)

- KVL: 任何闭合路径上支路电压的代数和为零, 即

$$\sum_j v_j = 0$$

圆圈的方向为参考+方向

- 推论: 两个并联连接元件上的电压相等



$$v_{ca} + v_{ab} + v_{bc} = 0$$

?

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} = 0$$

电路分析基本方法

- 内容

电路基本分析方法

- 目标

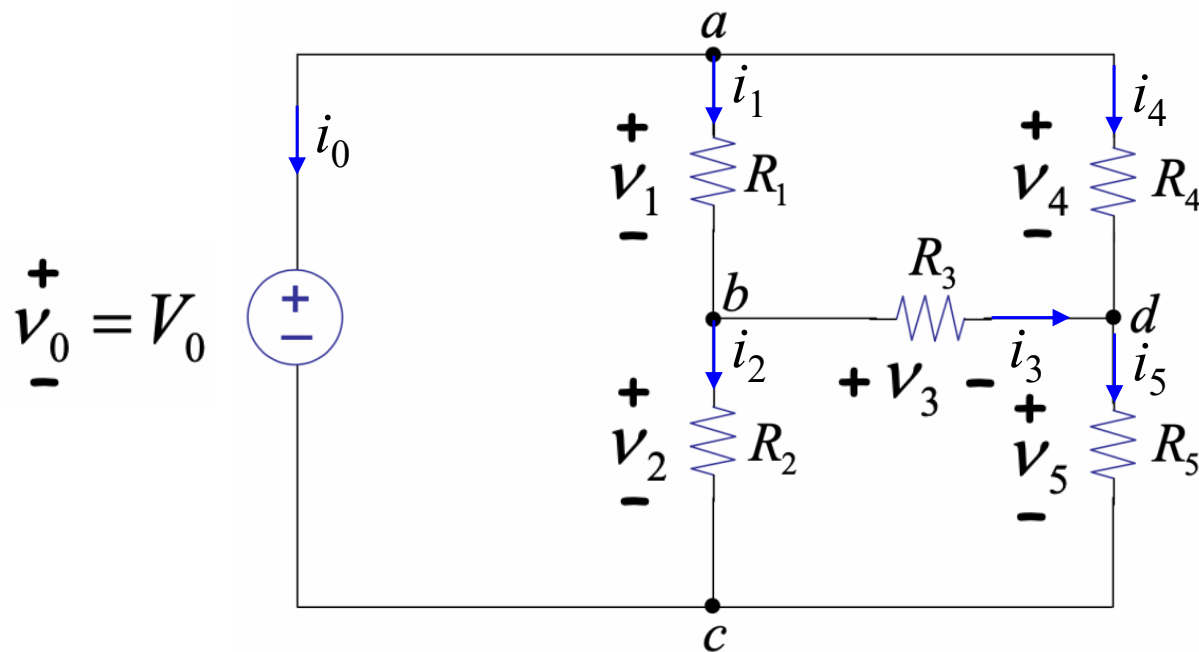
用基尔霍夫定律对电路变量进行分析
计算。

电路分析基本方法 (1/2)

● 基本方法步骤

1. 用**关联方式**定义支路电流和电压
2. 写出元件定律
3. 根据KCL和KVL列出方程
4. 解方程组

例3.1



电路分析基本方法 (2/2)

● 写出元件定律

$$v_0 = V_0, \quad v_3 = i_3 R_3$$

$$v_1 = i_1 R_1, \quad v_4 = i_4 R_4$$

$$v_2 = i_2 R_2, \quad v_5 = i_5 R_5$$

● 写出节点电流方程

$$a: -i_0 - i_1 - i_4 = 0$$

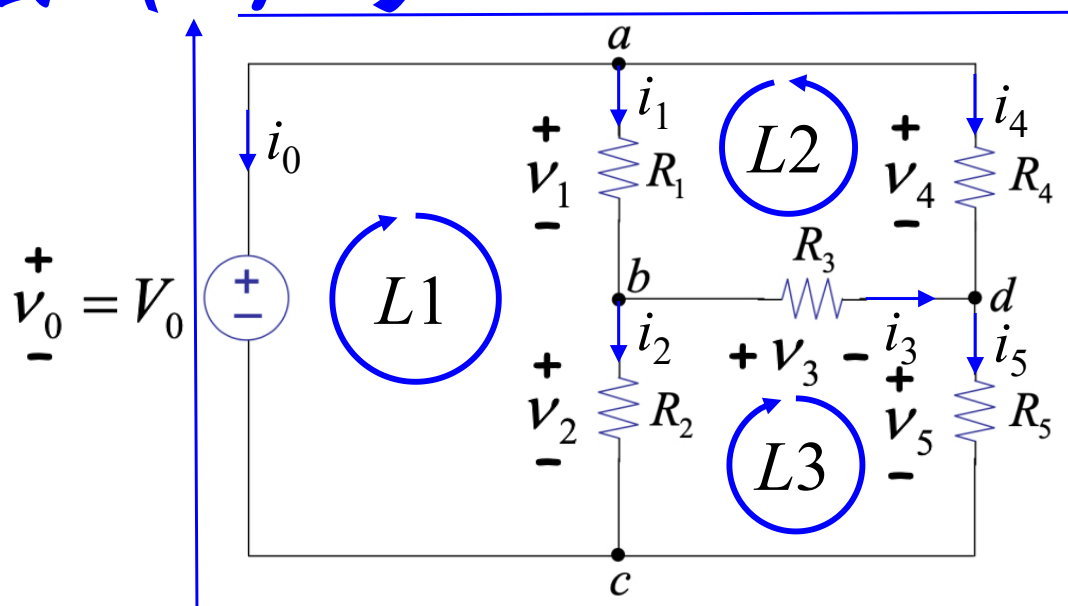
$$b: i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$d: i_3 + i_4 - i_5 = 0$$

$$c: i_0 + i_2 + i_5 = 0 \quad (\text{多余的})$$

● 独立方程数 $(n-1, b-n+1)$

● 解方程组: 12个变量, 12个方程, 可得唯一解。



● 写出回路电压方程

$$L1: -v_0 + v_1 + v_2 = 0$$

$$L2: v_1 + v_3 - v_4 = 0$$

$$L3: -v_2 + v_3 + v_5 = 0$$

$$L4: -v_0 + v_4 + v_5 = 0 \quad (\text{多余的})$$

L4

受控源

- 内容

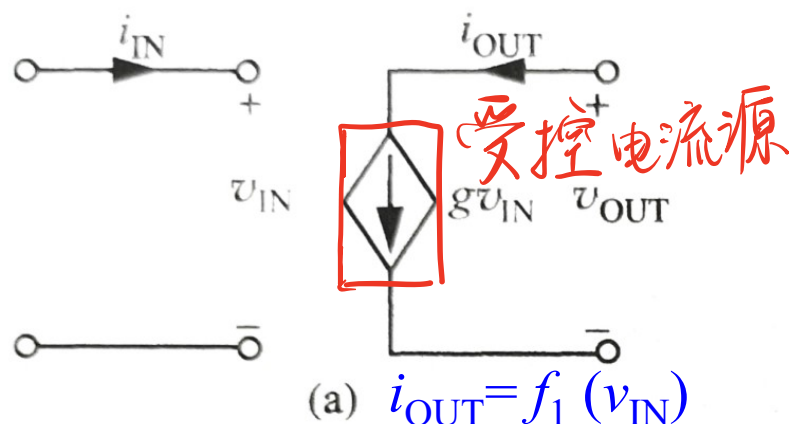
受控电压源，受控电流源

- 目标

能对含有受控源的电路进行分析。

受控电源 (1/3)

- 受控电源：电源的电压或电流由电路其它部分的电压或电流控制



$i_{out} = g v_{in}$ $g (C \cdot \Omega^{-1}, S)$
(b) $i_{OUT} = f_2(i_{IN})$

$$v_{OUT} = f_3(v_{IN})$$

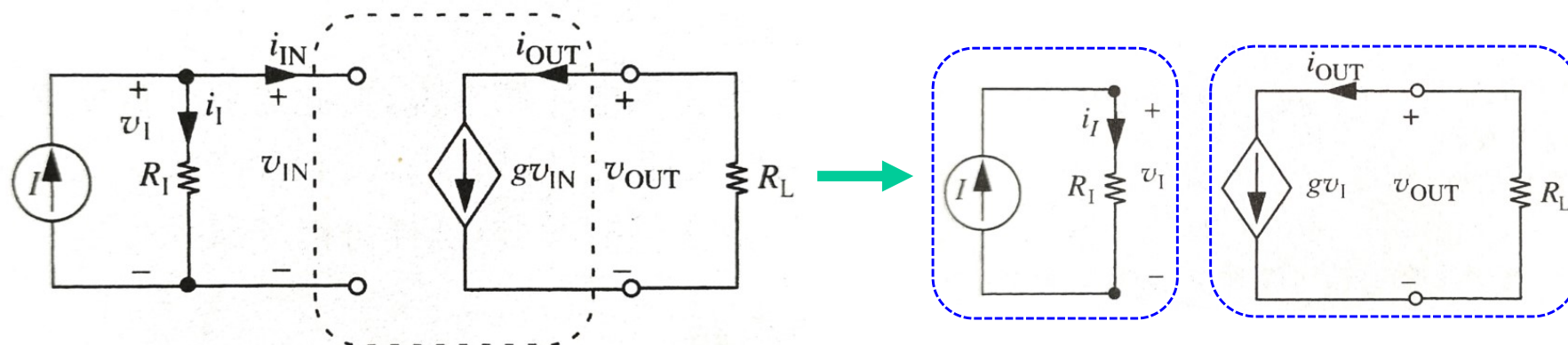
$$v_{OUT} = f_4(i_{IN})$$

四种类型的受控源

受控电源 (2/3)

例3.2 求解一个包含压控电流源的电路

- 分为控制侧和输出侧两个独立部分（没有耦合）
- 先计算控制侧，后计算受控侧（输出侧）



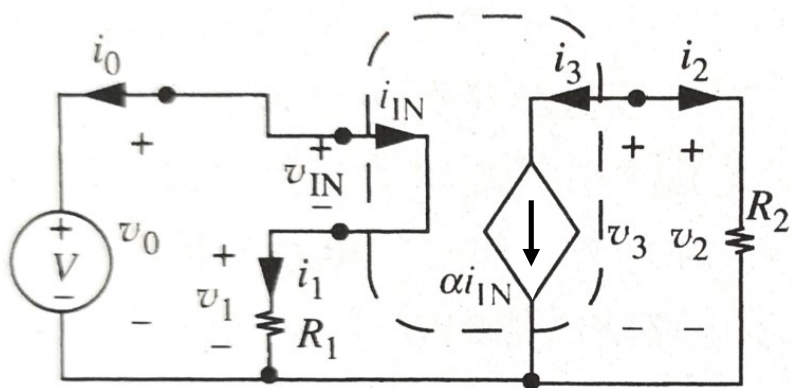
$$v_1 = i_1 R_1 = I R_1$$

$$v_{out} = -i_{out} R_L = -g v_1 R_L = -g I R_1 R_L$$

受控电源 (3/3)

例3.3 求解一个包含流控电流源的电路

- 分为控制侧和输出侧两个独立部分（没有耦合）
- 先计算控制侧，后计算受控侧（输出侧）



$$i_1 = v_1/R_1 = v_0/R_1 = V/R_1$$

$$v_2 = i_2 R_2 = -i_3 R_2 = -a i_1 R_2 = -a V R_2 / R_1$$

- 能量守恒：电源发出的功率等于电阻消耗的功率

电路等效变换

- 内容

等效变换，串联、并联，电桥，Y- Δ 变换

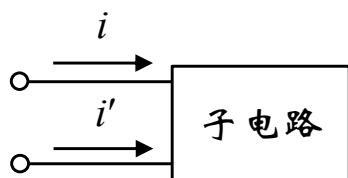
- 目标

能够进行上述等效变换。

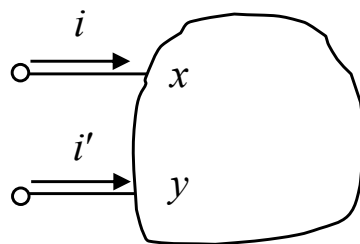
电路等效变换 (1/6)

● 端口

- 端子：电路元件与电路其它部分的连接点
- 端口：如下图所示有 $i = -i'$ ，则两个端子构成一个端口
- 元件通过端口表现自己，如电阻、电源等
- 是对元件、（子）电路、（子）系统的一种封装
- 两端元件（一端口元件）：电阻、电容、独立电源
- 两端口、多端口元件：受控电源、放大器



端口定义



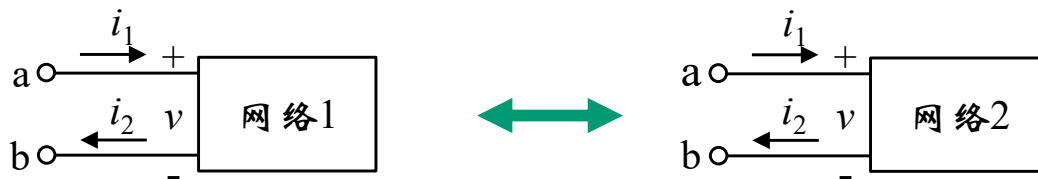
封装子电路、子系统



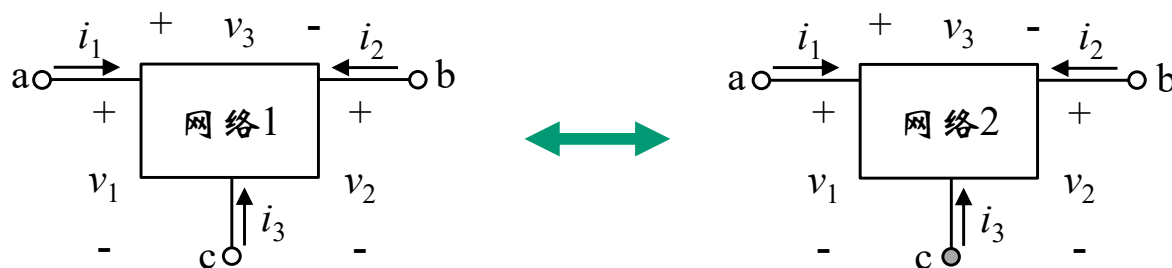
两端口元件

电路等效变换 (2/6)

- 等效变换：两个不同网络在对应端子上的电压和电流关系相同

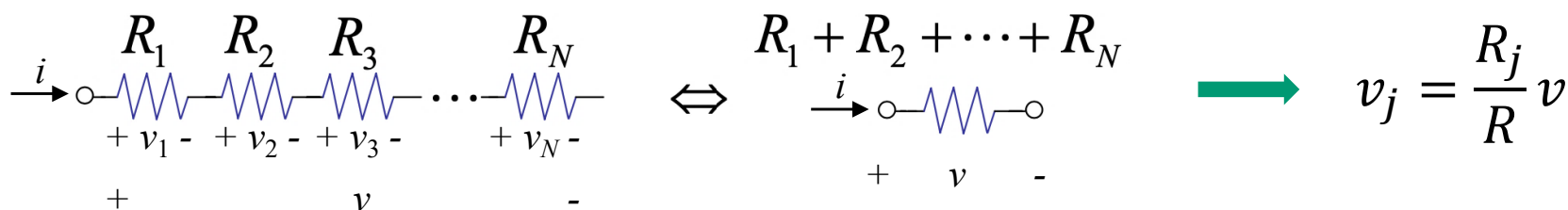


两端网络等效



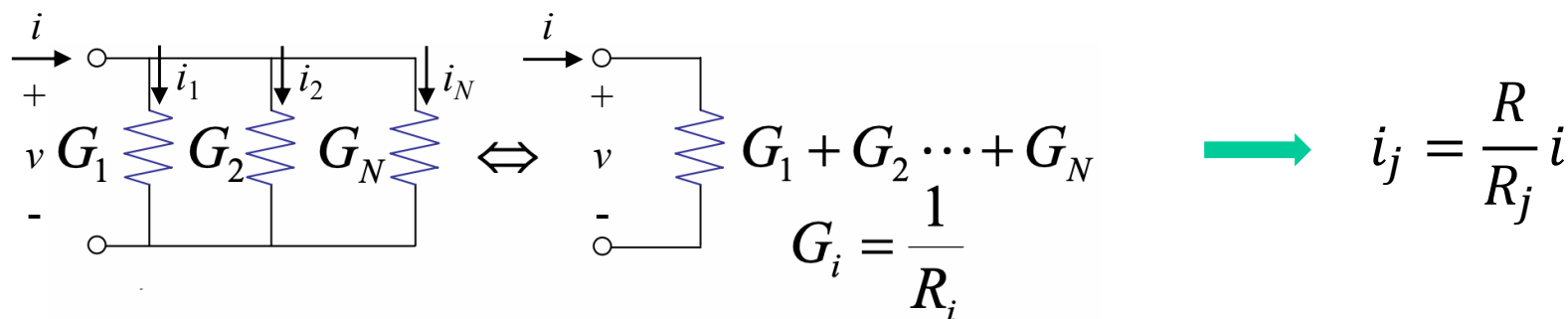
三端网络等效

- 电阻元件串联 (分压)

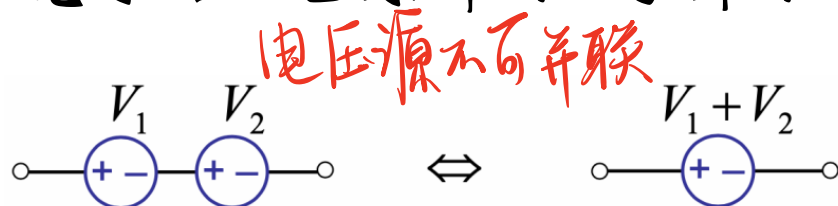


电路等效变换 (3/6)

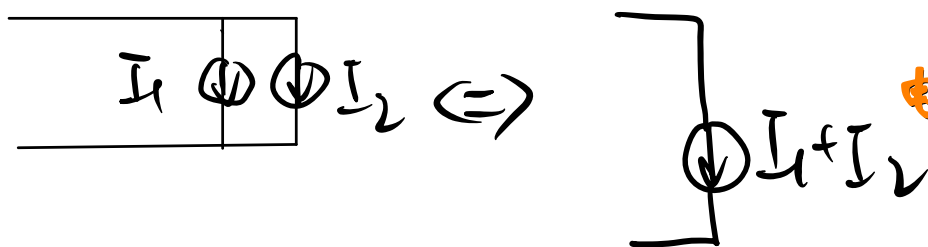
● 电阻元件并联 (分流)



● 理想独立电源串联与并联



电压源电压相等方可并联



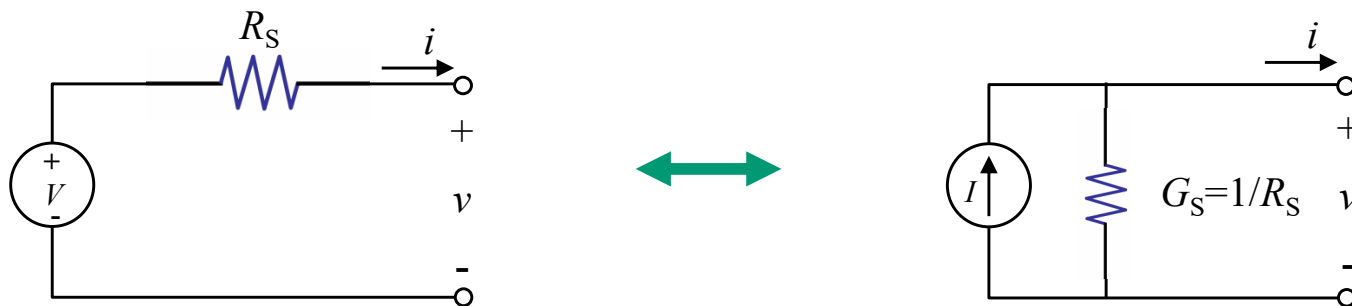
电流源电流相等方可串联

电流源串联电压源 \Leftrightarrow 电压源

电压源并联电流源 \Leftrightarrow 电流源

电路等效变换 (4/6)

● 实际独立电源等效变换



$$v = V - iR_S$$

$$i = I - vG_S$$

已知右边，求得左边：

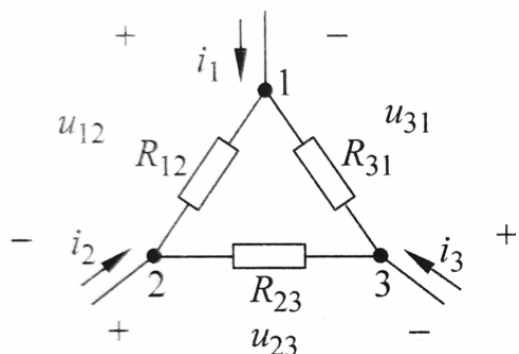
$$\begin{cases} V = I/G_S \\ R_S = 1/G_S \end{cases}$$

已知左边，求得右边：

$$\begin{cases} I = V/R_S \\ G_S = 1/R_S \end{cases}$$

电路等效变换 (5/6)

● Y- Δ 等效变换



(a) Δ 接电阻

$$i_1 = u_{12}/R_{12} - u_{31}/R_{31}$$

$$i_2 = u_{23}/R_{23} - u_{12}/R_{12}$$

$$i_3 = u_{31}/R_{31} - u_{23}/R_{23}$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$u_{12} + u_{23} + u_{31} = 0$$

左右两边相同电流与
电压变量的值相等，
则两边电路等效。

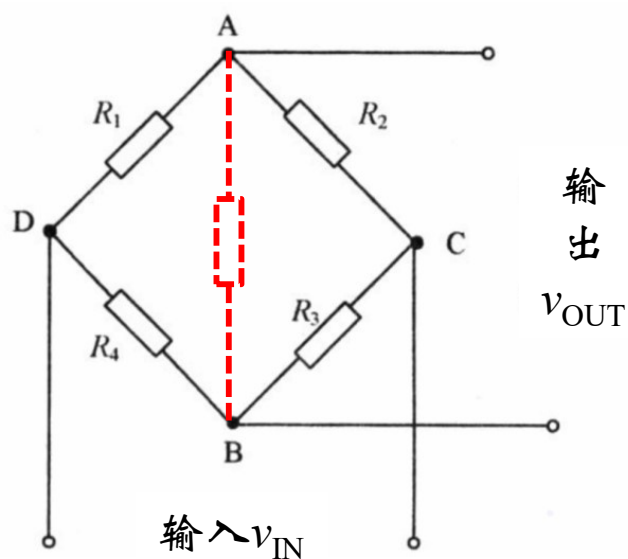
如果 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R$ ，则有 $R_1 = R_2 = R_3 = R/3$

三角形是星形的3倍

电路等效变换 (6/6)

● 电桥

- 由4个元件构成的棱形电路
- 一对对角线端子为输入，另一对为输出
- 电桥平衡：A、B两点电位相等时
- 平衡时A、B两点可以以任何方式连接



小结

● 基尔霍夫定律

- KCL: 流入任意节点的支路电流的代数和为零
- KVL: 任何闭合路径上支路电压的代数和为零

● 电路分析基本方法

1. 用关联方式定义支路电流和电压;
2. 写出元件定律 (方程);
3. 列出支路电流和电压方程;
4. 解方程组。

● 受控源

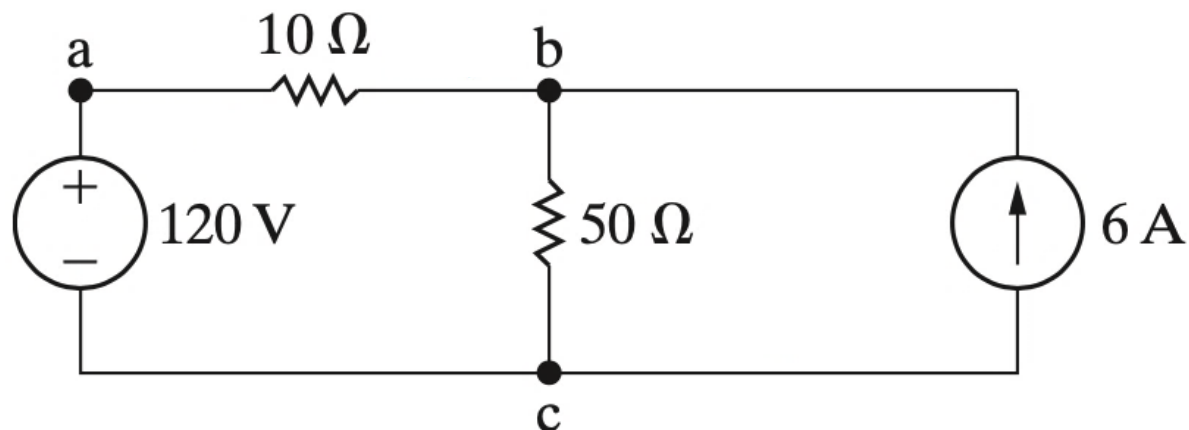
- 分为控制侧和输出侧两个没有耦合的独立部分
- 先计算控制侧, 后计算输出侧

● 等效变换

- 对应端子上的电压与电流关系相同, 为方便分析
- 串联、并联、独立电路互变、星形三角形电路互变、电桥

课堂测试

1、用电路基本分析方法分析下图所示电路。



2、求以下电路中的电压 v_o ，并验证功率平衡。

