



电路分析基础

—院四教 张帆
15703565092



第二单元 电路的等效变换

第二单元

本章重点：

- 网络的伏安关系及等效概念
- 等效电阻的求法
- 实际电源的等效变换

第四章 分解方法及单双口网络

§ 4-1 分解的基本步骤

§ 4-2 单口网络的电压电流关系

§ 4-4 单口网络的等效电路

§ 4-5 一些简单的等效规律和公式

§4-1、§4-2

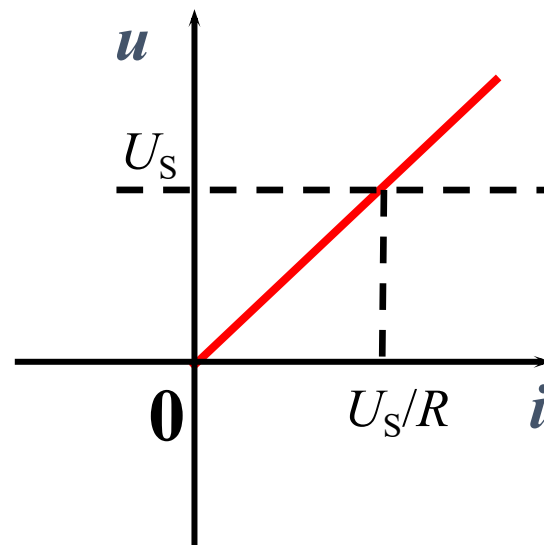
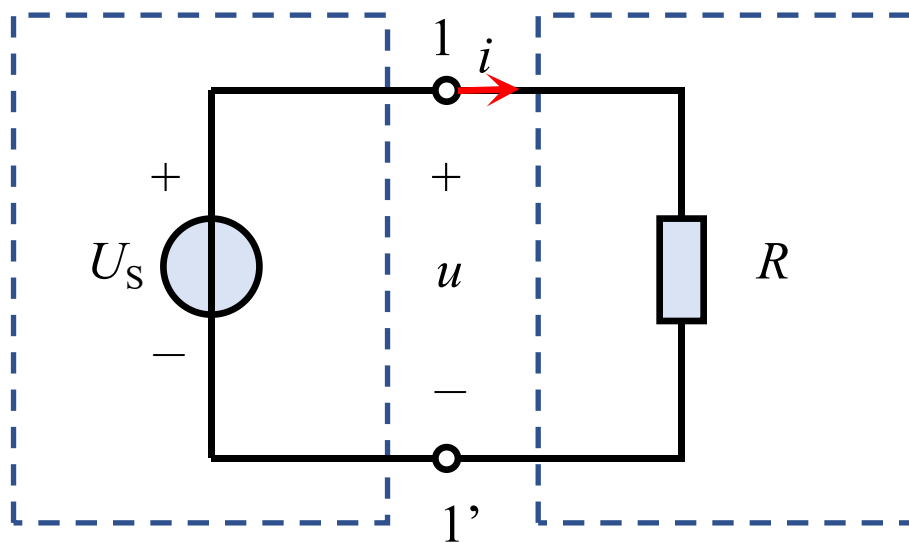
一、引入

二、单口网络的概念及描述方法

三、单口网络的伏安关系VCR及其求法

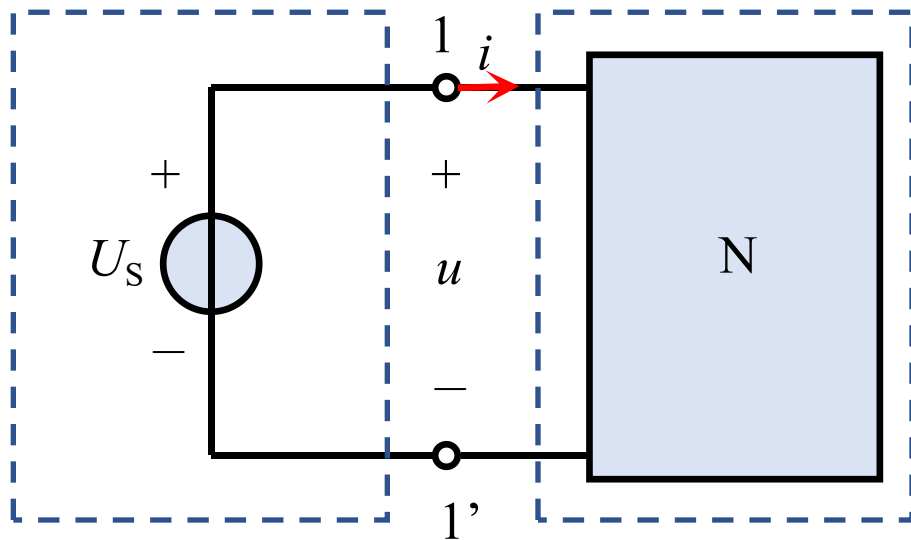
一、引入

电阻的伏安关系



用VCR来描述一个元件，元件的VCR是由这个元件本身决定的，与外电路无关。

一、引入



对于这个黑匣子N要怎么研究？

§4-1、§4-2

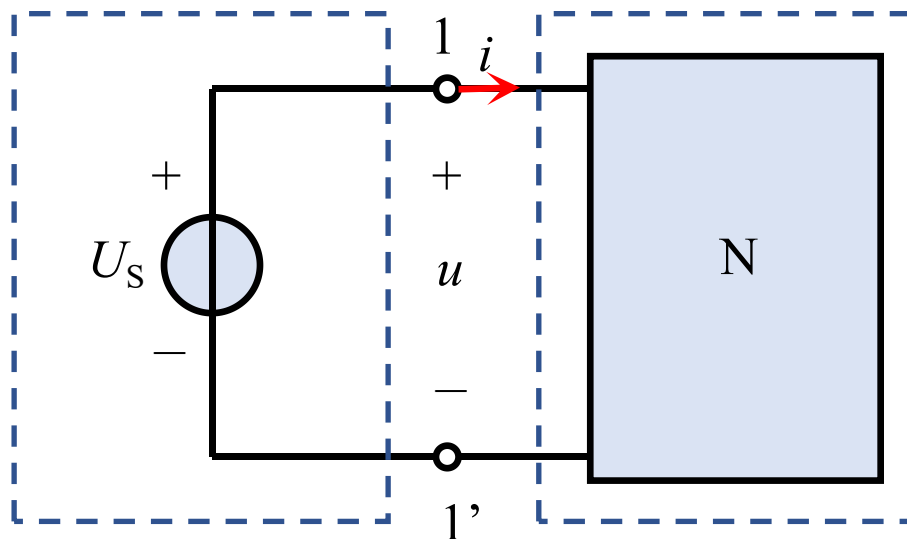
一、引入

二、单口网络的概念及描述方法

三、单口网络的伏安关系VCR及其求法

二、单口网络的概念及描述方法

定义： 对外只有两个端钮的网络，满足从一个端子流入的电流总等于从另一端子流出的电流，则该两端子称为一个端口，该网络称为二端网络或单口网络。



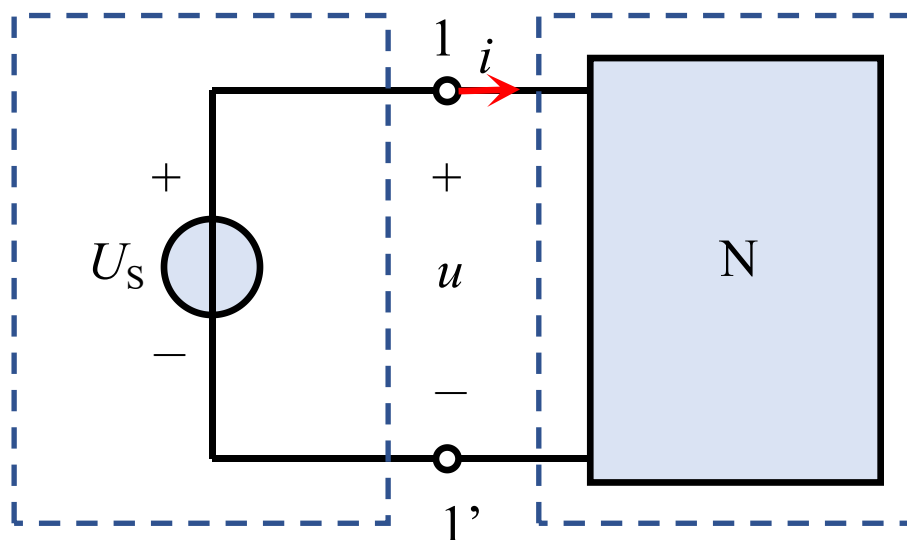
四端网络一定是双口网络吗？

- ☐ A 是
- ☐ B 不是

提交

二、单口网络的概念及描述方法

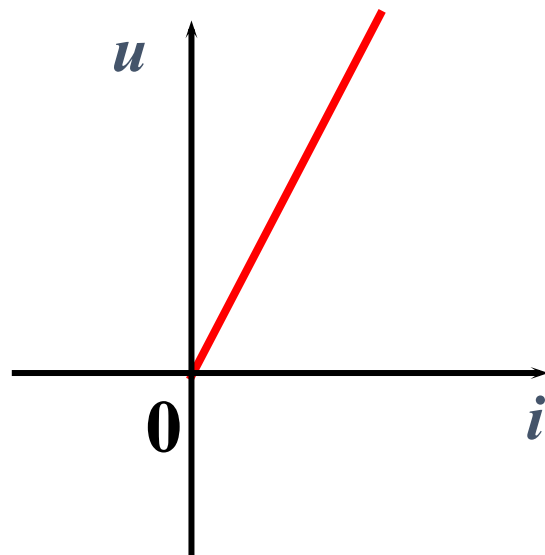
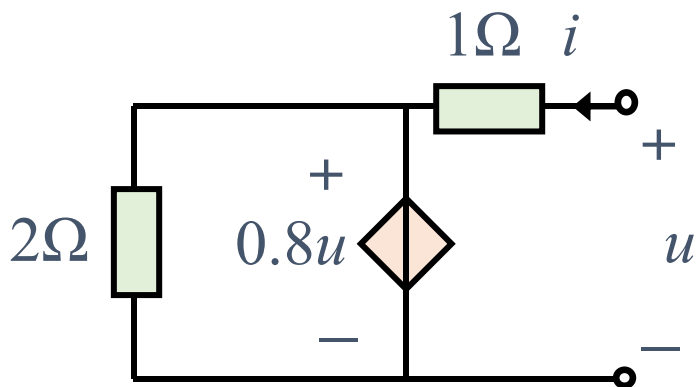
定义： 对外只有两个端钮的网络，满足从一个端子流入的电流总等于从另一端子流出的电流，则该两端子称为一个端口，该网络称为二端网络或单口网络。



二、单口网络的概念及描述方法

单口网络的描述方法：

- 详尽的电路模型
- 端口伏安关系（VCR）
- 等效电路



§4-1、§4-2

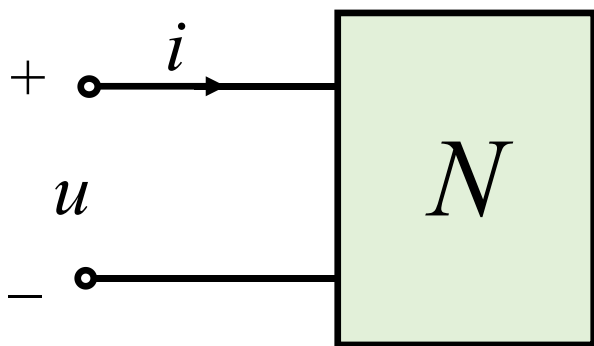
一、引入

二、单口网络的概念及描述方法

三、单口网络的伏安关系VCR及其求法

三、单口网络的伏安关系VCR及其求法

定义：单口网络端口上电压与电流的关系称为单口网络的伏安关系。



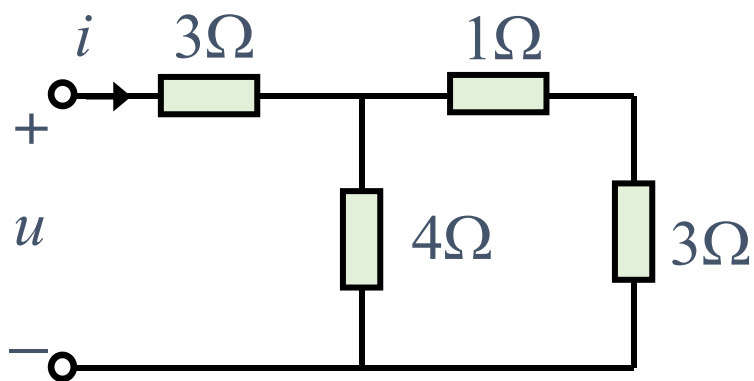
$$u = f(i) \quad \text{或} \quad i = g(u)$$

单口网络的VCR只取决于网络内部的结构和元件的参数，与外电路无关，是网络本身固有特性的反映。

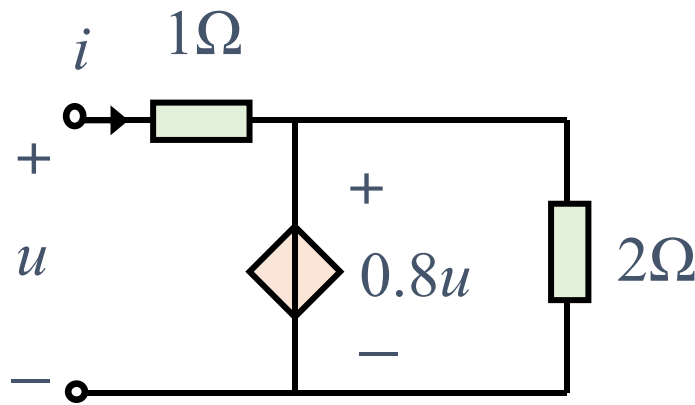
三、单口网络的伏安关系VCR及其求法

求法：用外加电源法，外加电压源求电流或外加电流源求电压。

例1：求下面电路的VCR

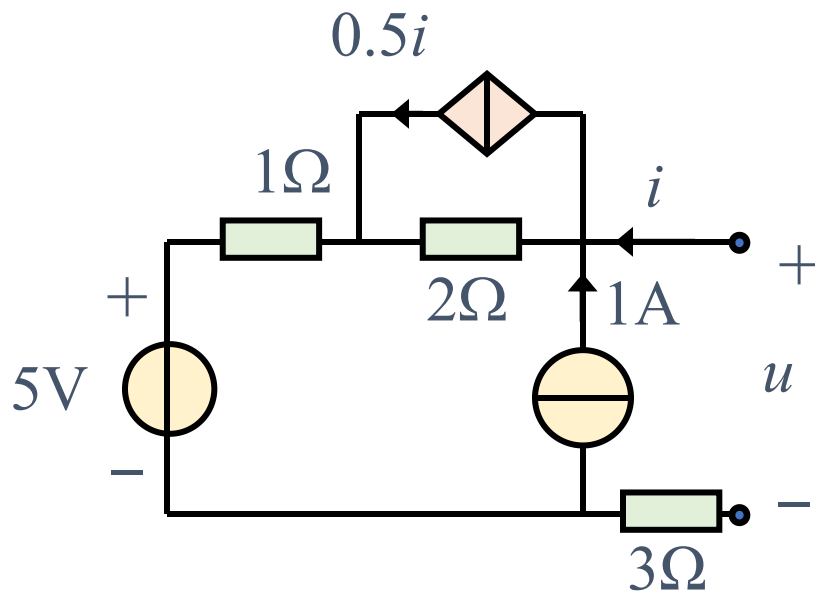


$$u = 5i$$



$$u = 5i$$

二、单口网络的伏安关系VCR及其求法



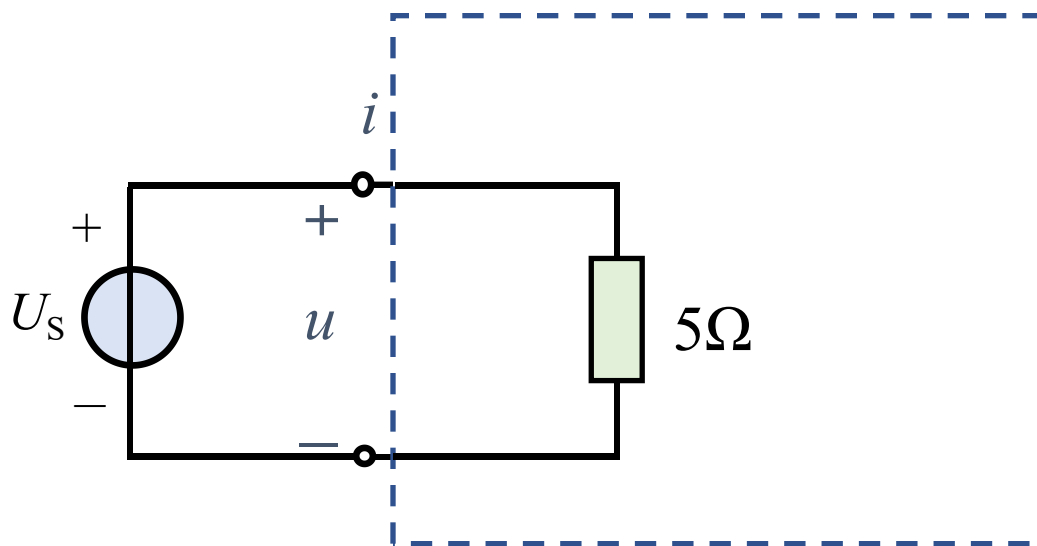
$$u = 5i + 8$$

总结:

- 不含独立源的单口网络（可含电阻和受控源）的VCR总可表示为 $u= Ri$ 的形式。
- 含独立源的单口网络的VCR可表示为 $u= Ri + u_{oc}$ 的形式。

思考题

如果一个单口网络 N 与另一个单口网络 N' 具有完全相同的VCR，在电路中是否可以用 N' 来完全取代 N 。



小结

◆ 元件约束——受控源

◆ 单口网络的定义、VCR及其求法

课后作业： 1-24, 4-1, 4-3

回顾

- 单口网络：

- 概念

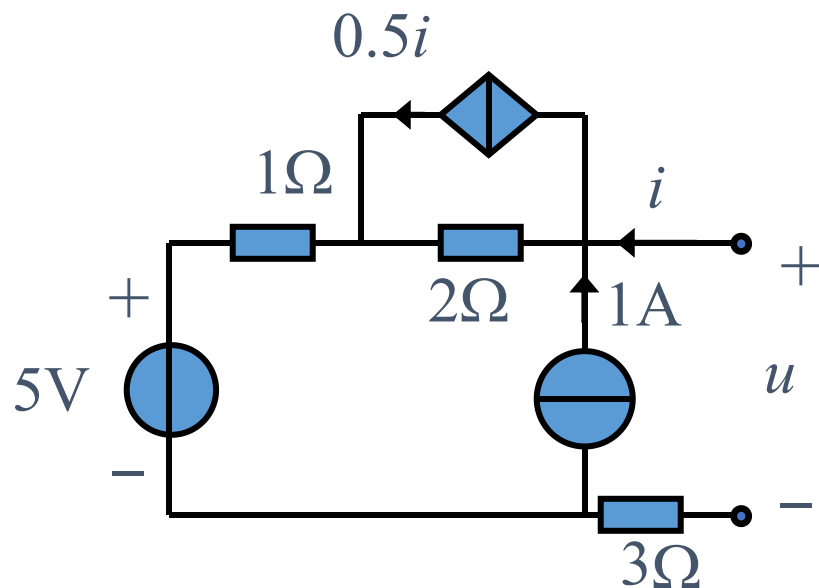
- 描述方法
 - 详尽的电路模型
 - 端口伏安关系VCR
 - 等效电路

- 端口VCR的求法：外加电源法

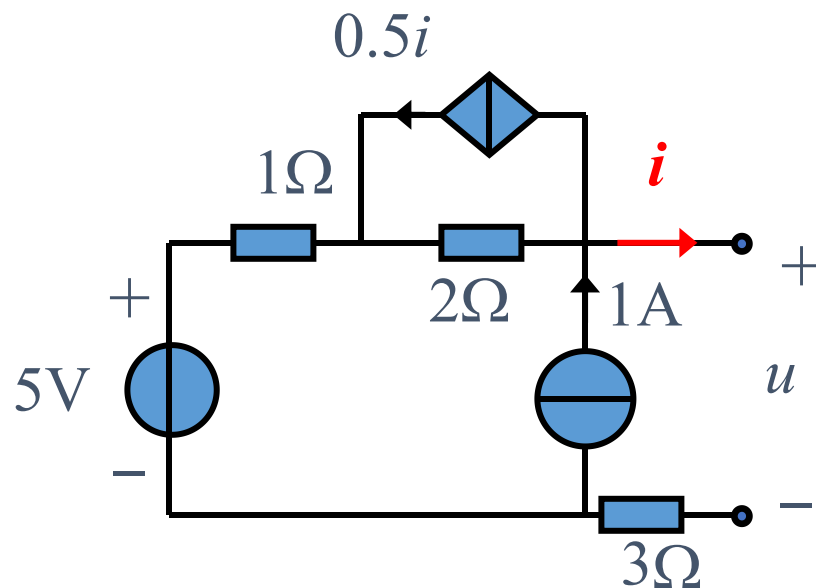
- 不含独立源： $u= Ri$ （可含电阻和受控源）

- 含独立源： $u= Ri + u_{oc}$

回顾



$$u = 5i + 8$$



$$u = -5i + 8$$

外加电源法求VCR时：对外电路，通常采用非关联参考方向。

第四章 分解方法及单双口网络

§ 4-1 分解的基本步骤

§ 4-2 单口网络的电压电流关系

§ 4-4 单口网络的等效电路

§ 4-5 一些简单的等效规律和公式

§4-4 单口网络的等效电路

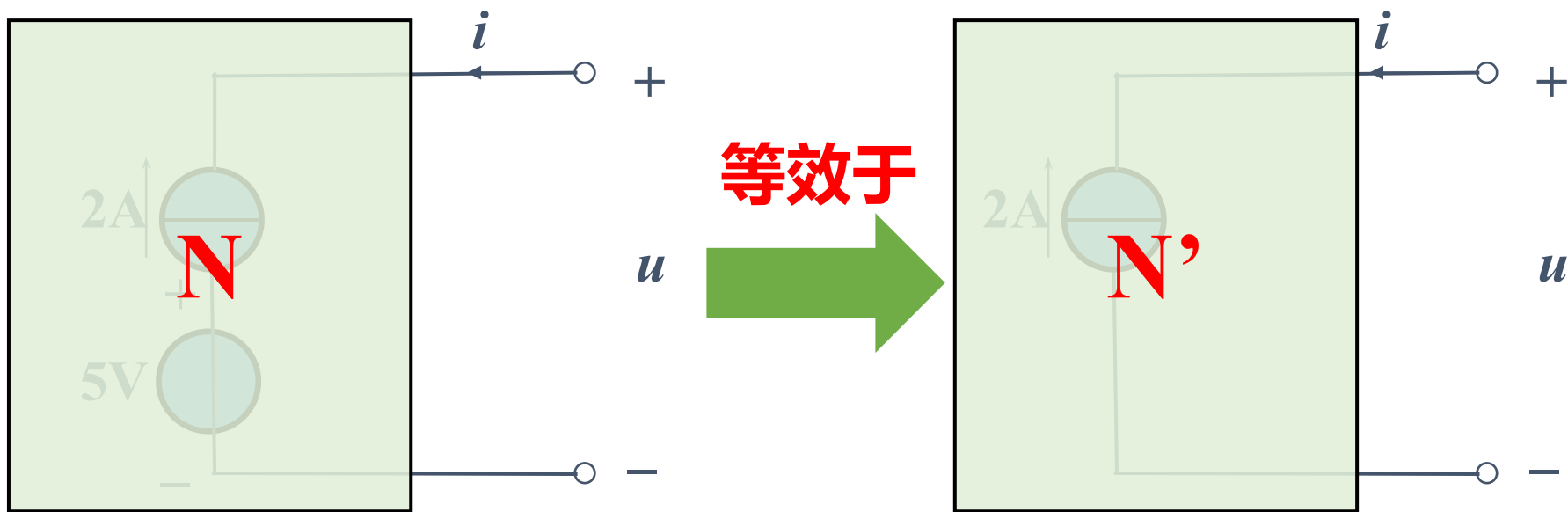
一、等效单口网络的定义

二、等效单口网络的求法

三、为什么要做等效

一、等效单口网络的定义

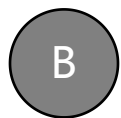
如果一个二端网络 N 与另一个二端网络 N' 具有完全相同的VCR，则 N 与 N' 是互为等效的二端网络。



二端网络的等效是对（ ）而言的。



外电路



内部电路

提交

等效可以用于求解内部电路吗？

- ☐ A 可以
- ☒ B 不可以

提交

§4-4 单口网络的等效电路

一、等效单口网络的定义

二、等效单口网络的求法

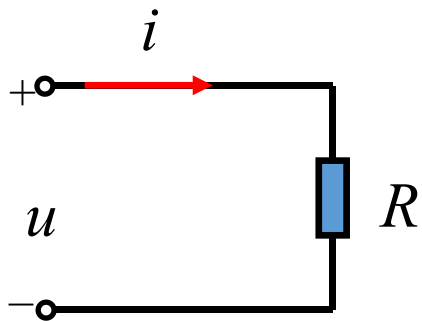
三、为什么要做等效

二、等效单口网络的求法

- ①求VCR得等效电路（主要方法），**关键在于求VCR（外加电源法）**。
- ②利用常用等效模型对N化简（简单电阻电路，不含受控源）
- ③用戴维南定理求等效电路

二、等效单口网络的求法

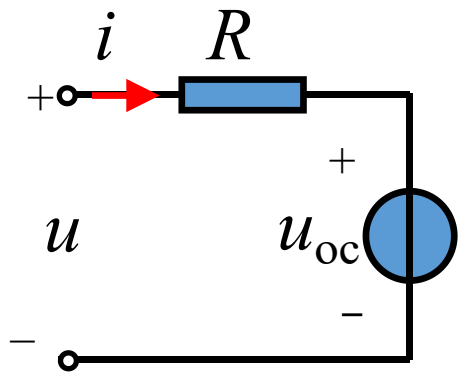
1、不含独立源的二端网络（可含电阻和受控源）的VCR总可表示为 $u= Ri$ 的形式，等效为：



含有受控源时等效电阻可能为负值。

二、等效单口网络的求法

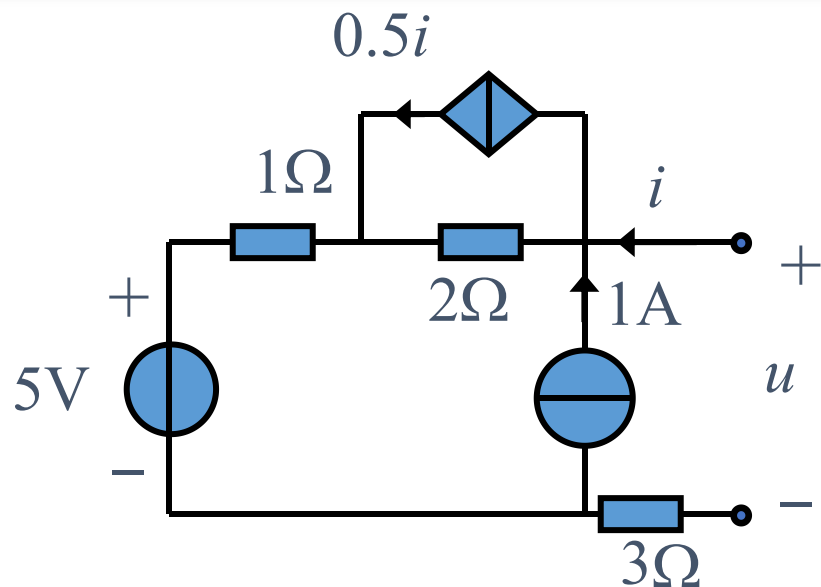
2、含独立源的二端网络的VCR可表示为 $u=Ri+u_{oc}$ 的形式，等效为：



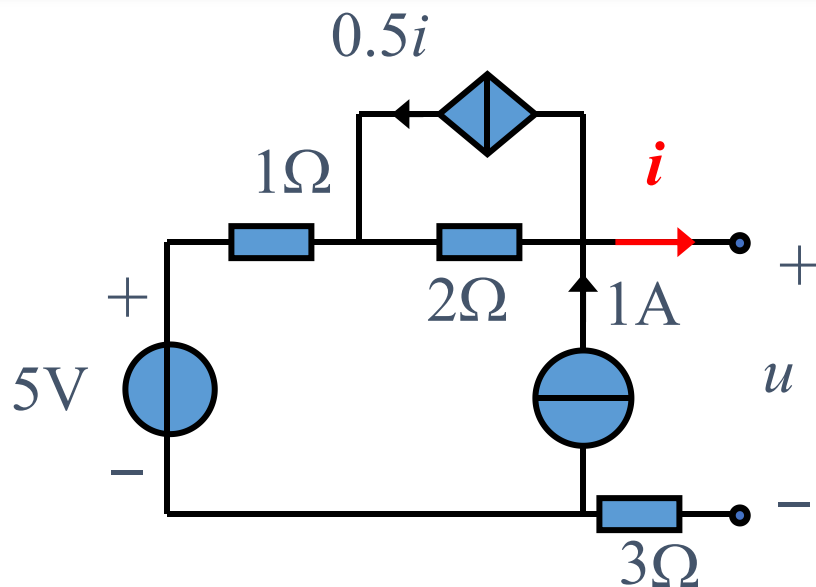
思考：

当端口电压（或电流）方向改变时，等效电路是否得到不一样的结果？

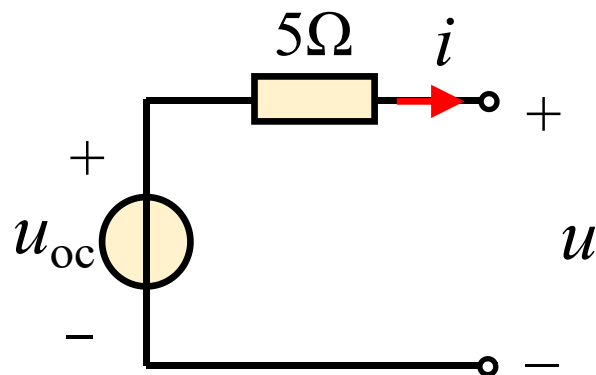
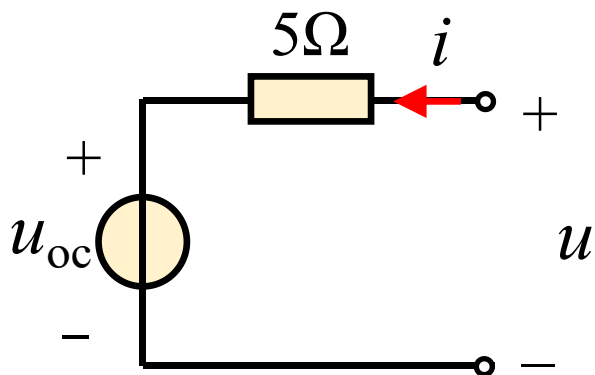
二、等效单口网络的求法



$$u = 5i + 8$$



$$u = -5i + 8$$



当端口电压（或电流）方向改变时，等效电路是否得到不一样的结果？

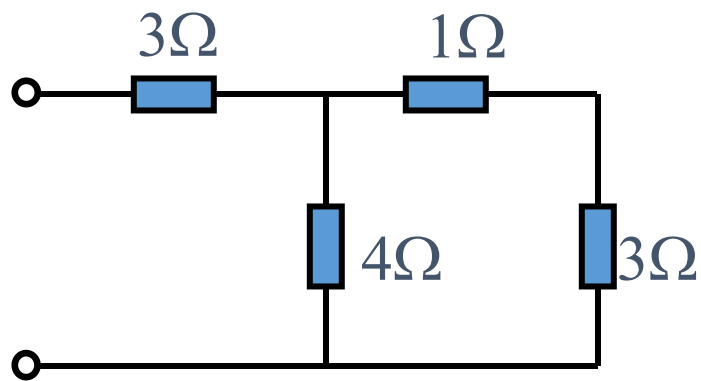
☐ A 是

☒ B 否

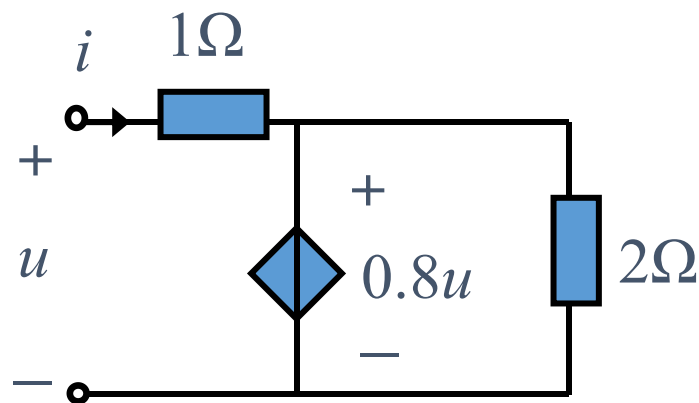
提交

二、等效单口网络的求法

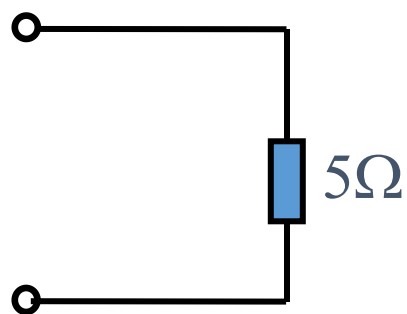
例：求下面电路的等效电路



$$u=5i$$



$$u=5i$$



说明： N与N' 互为等效网络，N、N' 内部可能不一样，但对外的作用一样，所以等效是对外电路而言，网络内部不等效。

总结

- 单口网络:



描述方法

详尽的电路模型

端口伏安关系VCR

等效电路

§4-4 单口网络的等效电路

一、等效单口网络的定义

二、等效单口网络的求法

三、为什么要做等效

三、为什么要做等效

- 等效可以将电路化繁为简；
- 无需了解电路内部结构，直接通过测量端口的电流电压得到VCR；
- 为工程实现奠定基础。

详尽的电路模型

端口伏安关系VCR

等效电路

作答

§4-5 一些简单的等效规律和公式

一、电阻的等效变换

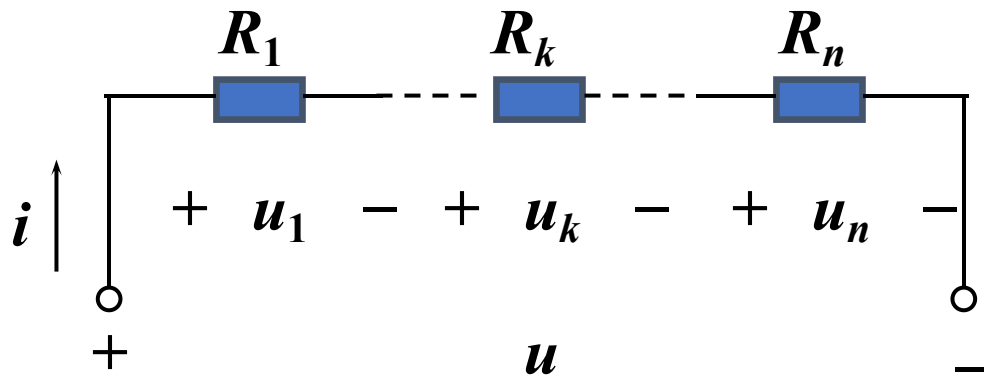
二、两种实际电源模型的等效变换

三、一些简单的等效规律

一、电阻的等效变换

1、电阻串联

(a) 电路特点：



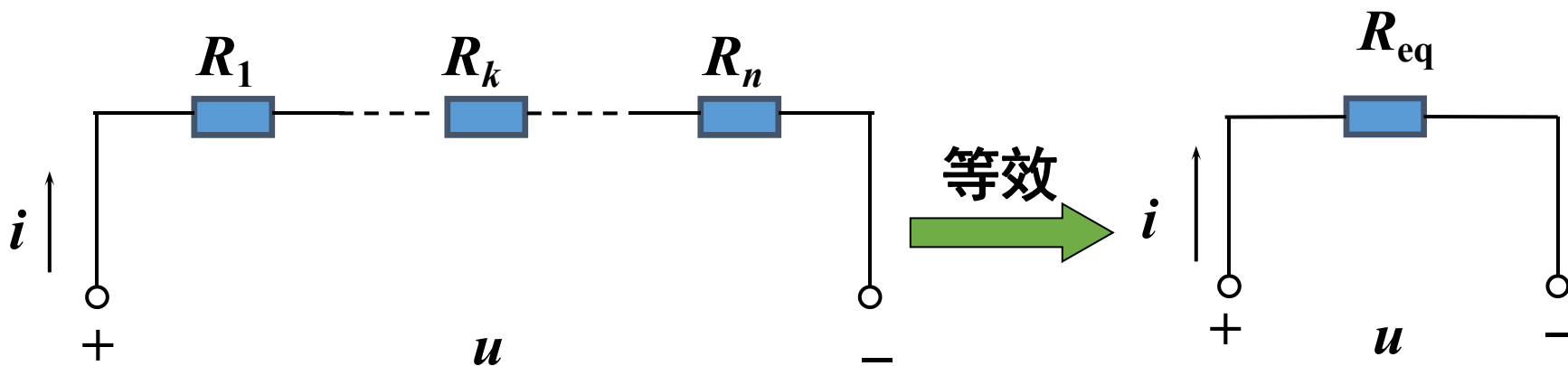
- (1) 各电阻顺序连接，流过同一电流（KCL）；
- (2) 总电压等于各串联电阻上的电压之和（KVL）：

$$u = u_1 + \cdots + u_k + \cdots + u_n$$

一、电阻的等效变换

1、电阻串联

(b) 等效电阻:

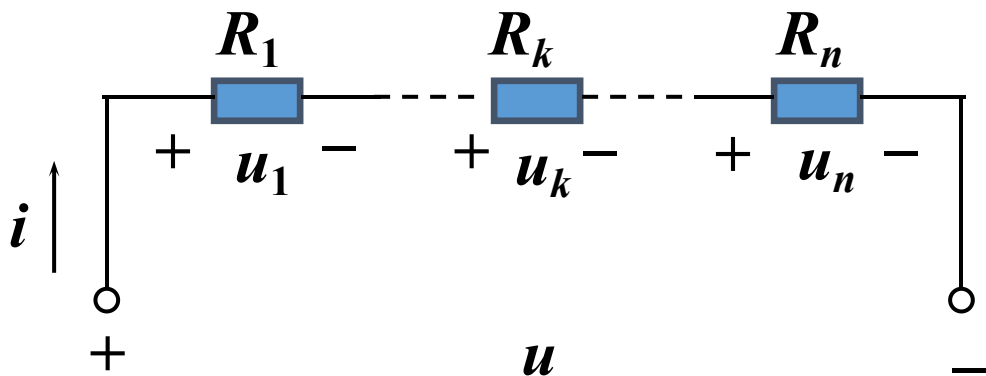


$$R_{eq} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) = \sum R_k$$

一、电阻的等效变换

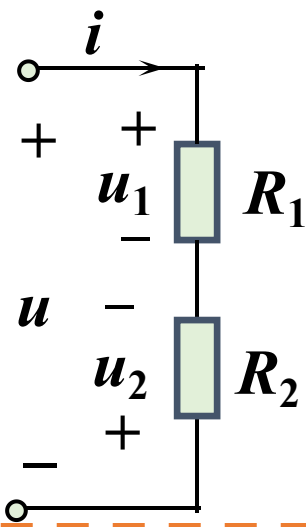
1、电阻串联

(c) 串联电阻上电压的分配



$$u_k = \frac{R_k}{R_{eq}} u$$

例 两个电阻分压，如右图所示。



$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u$$

$$u_2 = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} u$$

注意方向！

一、电阻的等效变换

1、电阻串联

(d) 功率关系

$$p_1 = R_1 i^2, \quad p_2 = R_2 i^2, \quad \cdots, \quad p_n = R_n i^2$$

$$p_1 : p_2 : \cdots : p_n = R_1 : R_2 : \cdots : R_n$$

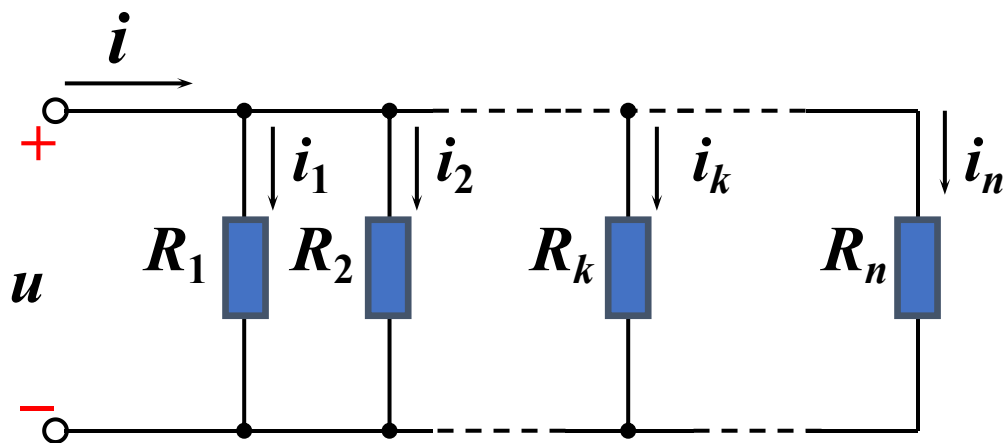
总功率

$$\begin{aligned} p &= R_{\text{eq}} i^2 = R_1 i^2 + R_2 i^2 + \cdots + R_n i^2 \\ &= p_1 + p_2 + \cdots + p_n \end{aligned}$$

一、电阻的等效变换

2、电阻并联

(a) 电路特点：



(a) 各电阻两端分别接在一起，端电压为同一电压（KVL）；

(b) 总电流等于流过各并联电阻的电流之和（KCL）：

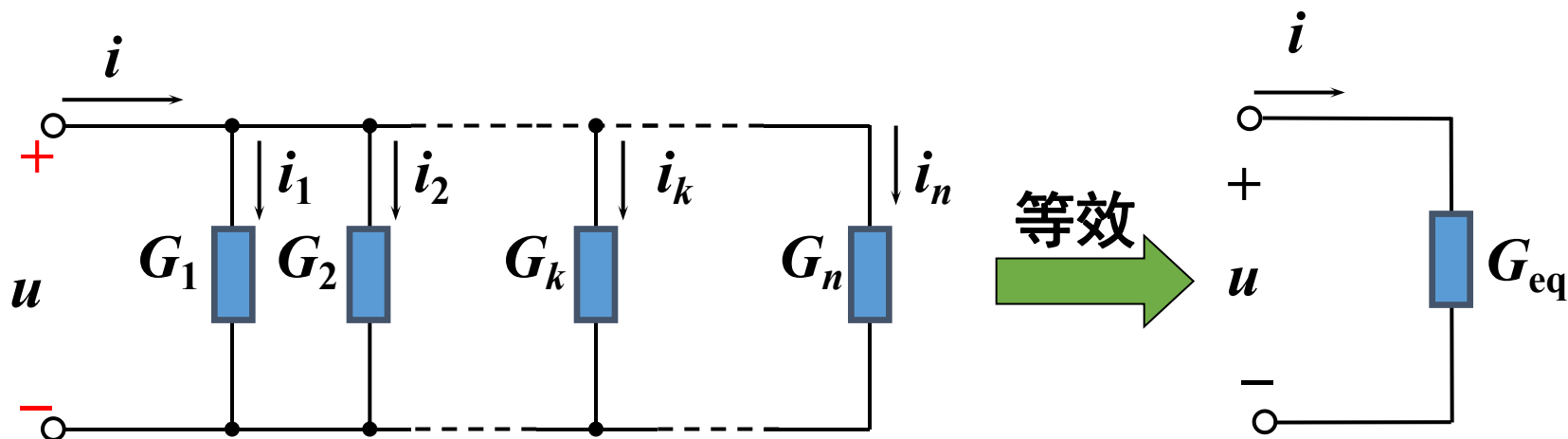
$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_k + \dots + i_n$$

一、电阻的等效变换

2、电阻并联

(b) 等效电导:

设 $G_k = 1 / R_k$ ($k = 1, 2, \dots, n$)



$$G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots + G_k + \dots + G_n = \sum G_k = \sum 1/R_k$$

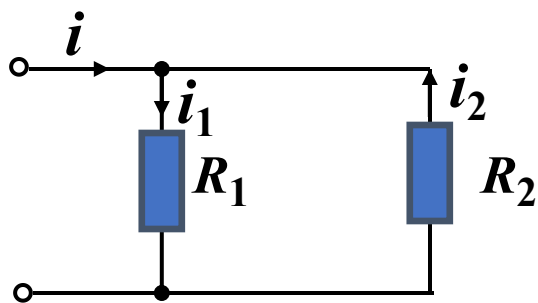
一、电阻的等效变换

2、电阻并联

(c) 并联电阻上的电流分配

$$i_k = \frac{G_k}{G_{eq}} i$$

例 两个电阻分流，如下图所示。



(注意方向!)

$$i_1 = \frac{1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2} i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i$$

$$i_2 = \frac{-1/R_2}{1/R_1 + 1/R_2} i = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$

一、电阻的等效变换

2、电阻并联

(d) 功率关系

$$p_1 = G_1 u^2, \quad p_2 = G_2 u^2, \quad \cdots, \quad p_n = G_n u^2$$

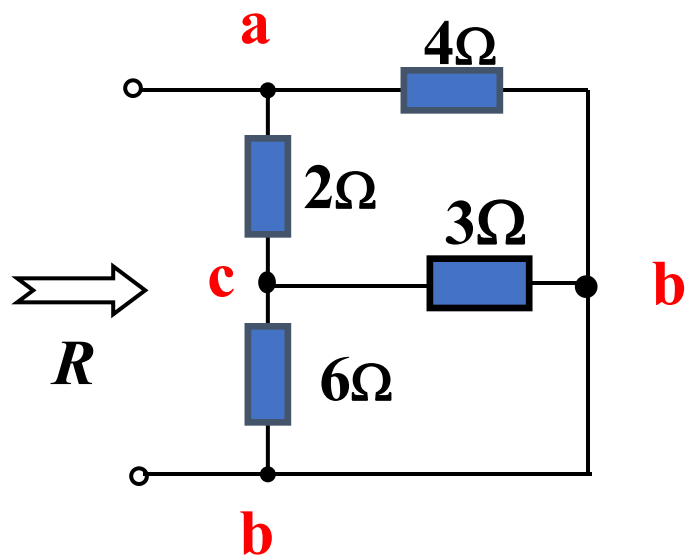
$$p_1 : p_2 : \cdots : p_n = G_1 : G_2 : \cdots : G_n$$

总功率
$$p = G_{\text{eq}} u^2 = G_1 u^2 + G_2 u^2 + \cdots + G_n u^2$$

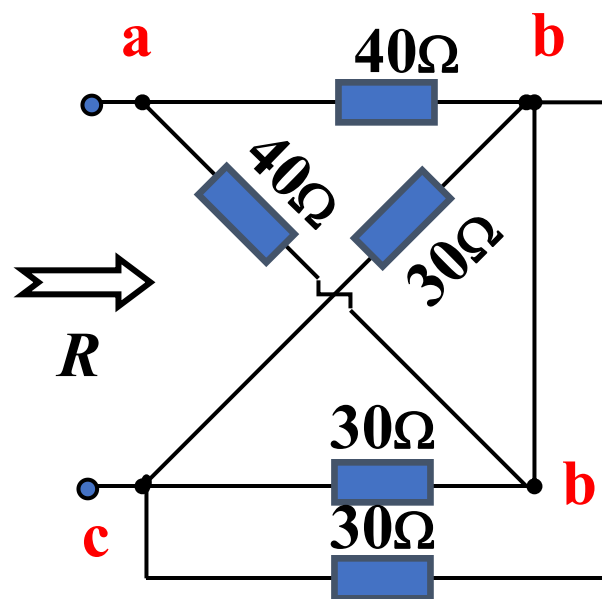
$$= p_1 + p_2 + \cdots + p_n$$

一、电阻的等效变换

3、电阻混联——标节点法



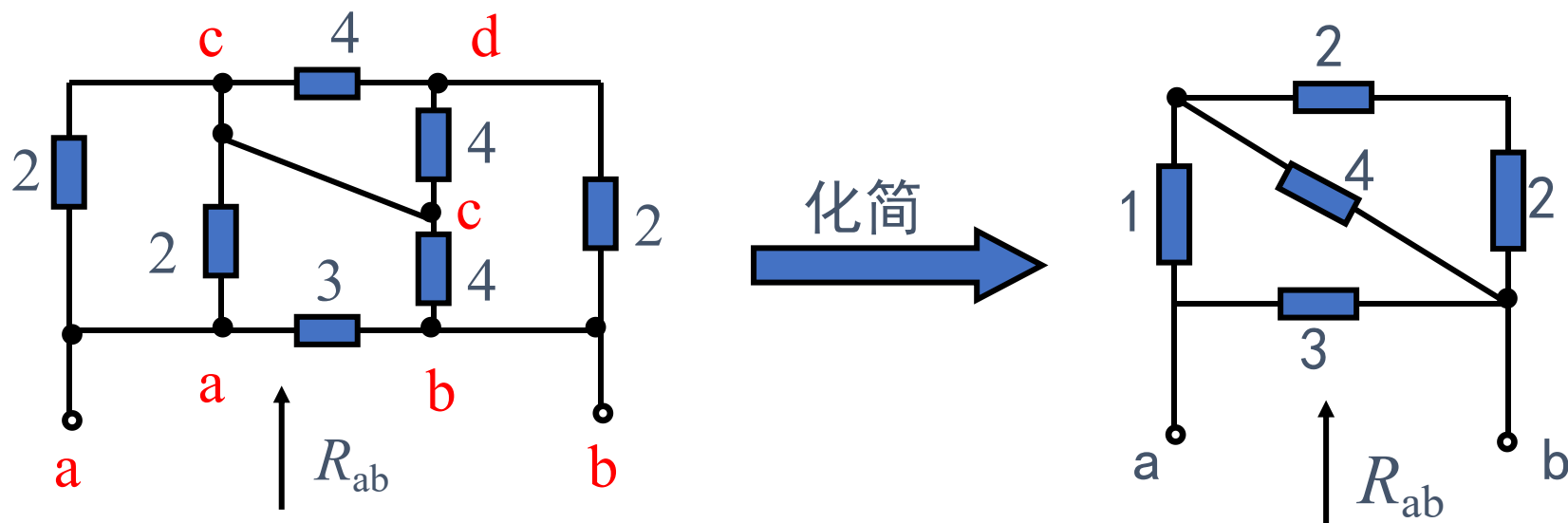
$$R = 4 \parallel (2 + (3 \parallel 6)) = 2 \Omega$$



$$R = (40 \parallel 40) + (30 \parallel 30 \parallel 30) = 30\Omega$$

一、电阻的等效变换

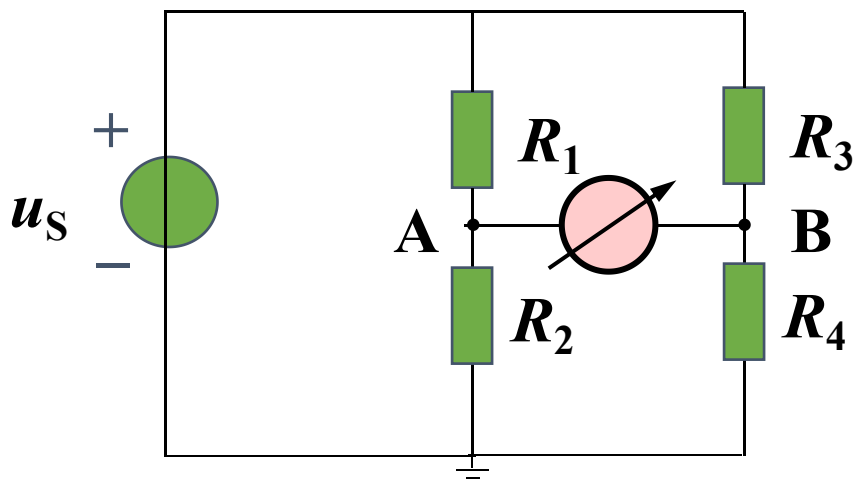
练习：求ab端的**等效电阻**（电阻单位为 Ω ）。



$$R_{ab} = 3 \parallel (1+2) = 1.5\Omega$$

一、电阻的等效变换

4、平衡电桥



$$u_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_S \quad u_B = \frac{R_4}{R_3 + R_4} u_S$$

$$u_A = u_B$$

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

等电位点

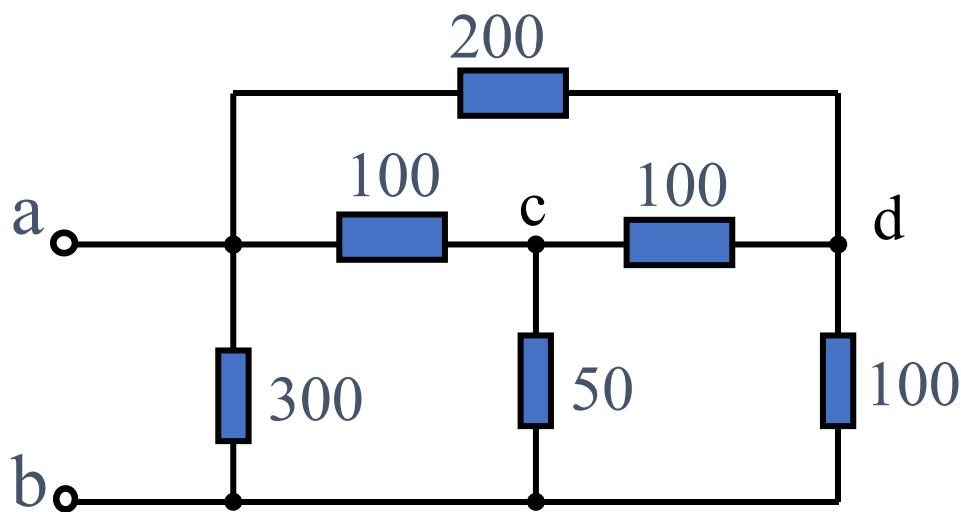
- (1) 已知电压为零的节点可以短接。
- (2) 已知电流为零的支路可以断开。

$$U_{AB}=0 \quad I_{AB}=0$$

等电位点之间开路或短路不影响电路的电压电流分布。

一、电阻的等效变换

例：求网络的等效电阻 R_{ab} （电阻的单位的 Ω ）



$$R_{ab} = (100 + 50) // (200 + 100) // 300 = 75\Omega$$

一、电阻的等效变换

5、输入（输出）电阻

不含独立源的二端网络可以用一电阻来等效。如果这个二端网络的端子是某个功能电路的输入端，则该电阻可称为**输入电阻**，如果这个二端网络的端子是某个功能电路的输出端，则该电阻可称为**输出电阻**。

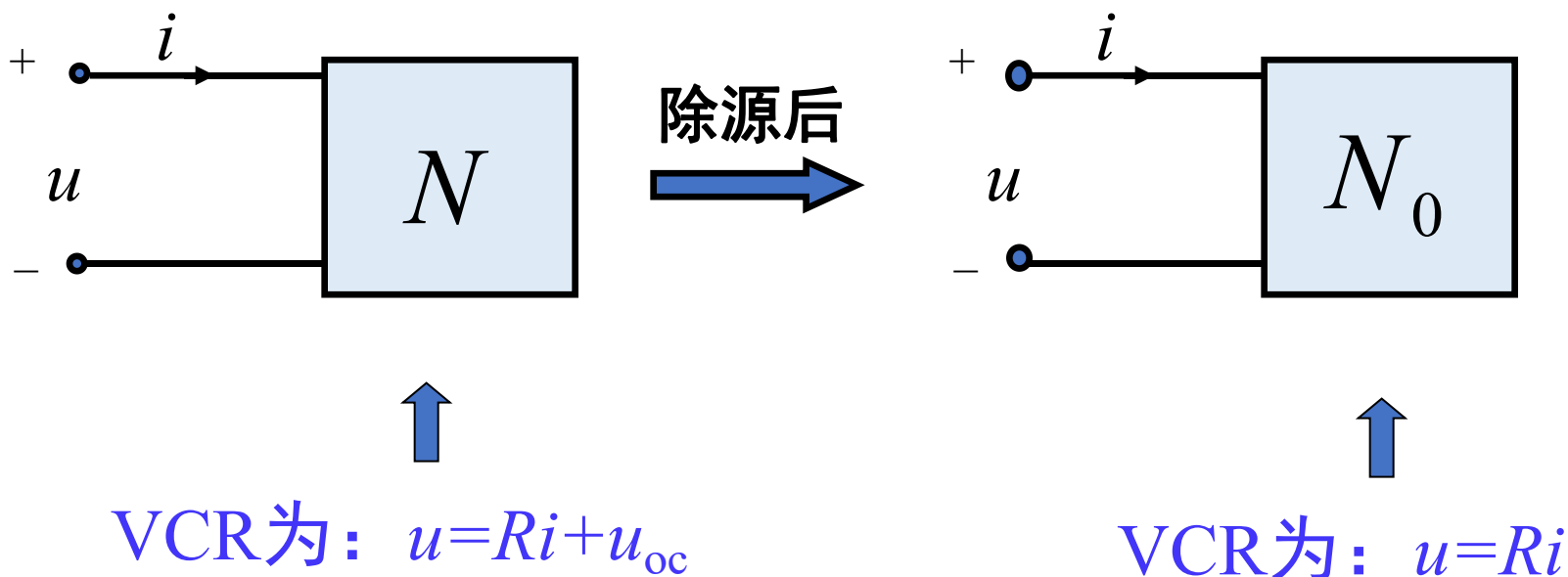
除源：指独立源置0，即

- 电压源用短路线代替
- 电流源用开路代替

（注意：受控源不能置零）

一、电阻的等效变换

5、输入（输出）电阻



R 为等效电阻:

$$R = u/i = \text{端口电压/端口电流}$$

一、电阻的等效变换

5、输入（输出）电阻

求法：

✓ ① 对 N_0 化简，即进行电阻串并联。

✓ ② 用外加电源法求VCR得 $u= Ri$,

则 $R = u/i = \text{端口电压} / \text{端口电流}$

第②种方法常用，用于复杂电路或含受控源电路。

一、电阻的等效变换

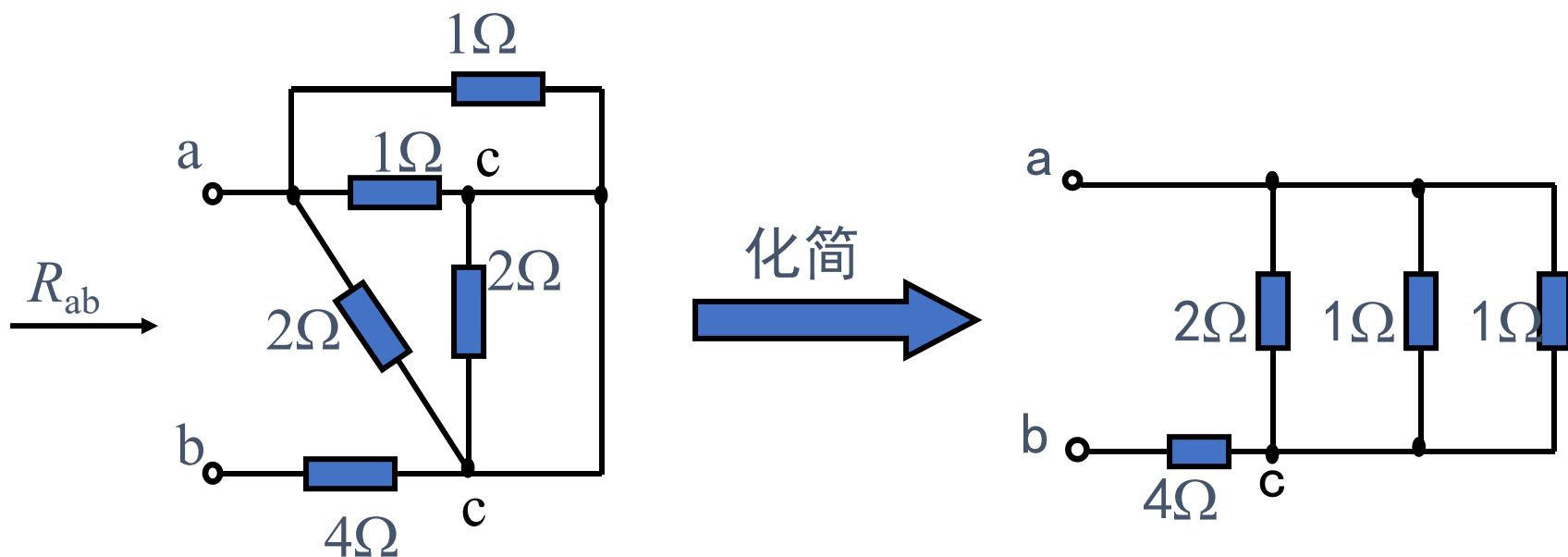
5、输入（输出）电阻

思考：

- 1.用外加电源法求等效电阻时，端口电压或电流方向改变，求得的电阻一样吗？
- 2.是不是任意二端网络都可用加压求流（或加流求压）的方法求等效电阻？

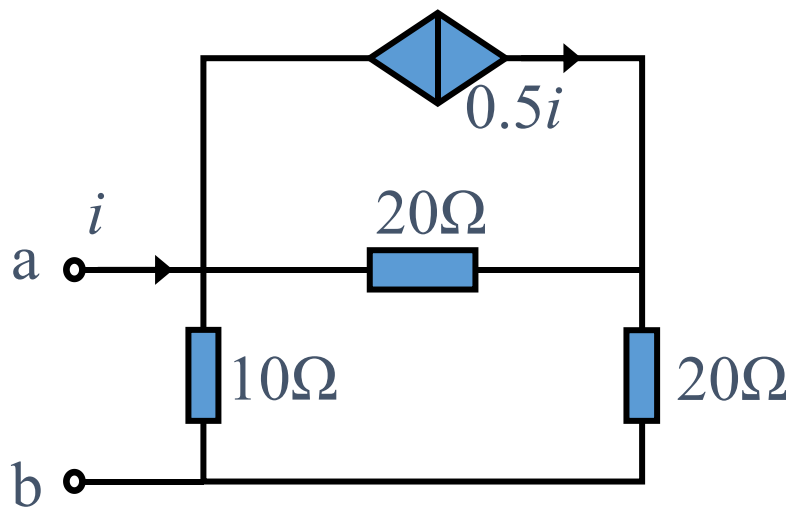
一、电阻的等效变换

例：求下面二端网络的输入电阻。



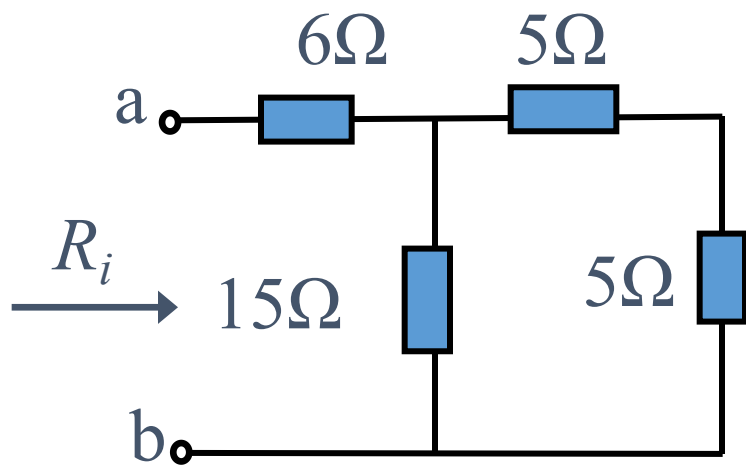
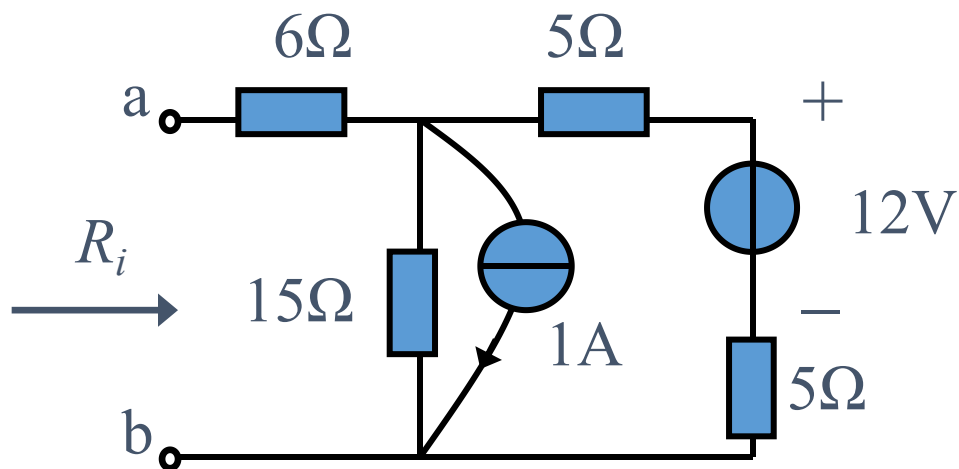
一、电阻的等效变换

例：求下面两个网络的等效电阻 R_i 。



求等效电阻时：

- 1、受控源不置零
- 2、独立源置零（电流源开路、电压源短路）



§4-5 一些简单的等效规律和公式

一、电阻的等效变换

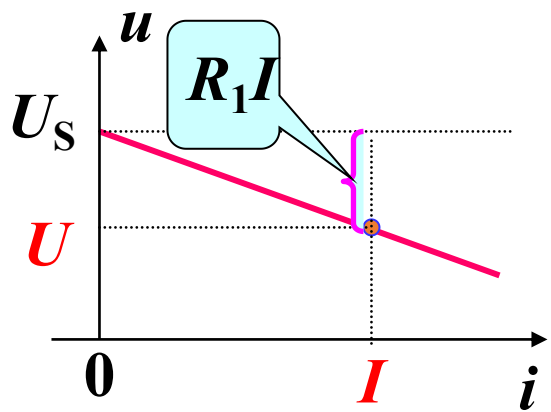
二、两种实际电源模型的等效变换

三、一些简单的等效规律

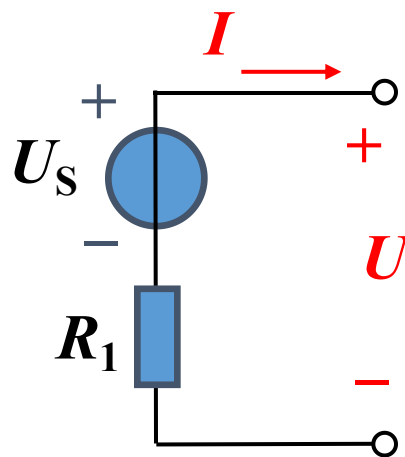
二、两种实际电源模型的等效变换

1、实际电压源

其外特性曲线如下：



戴维南等效电路



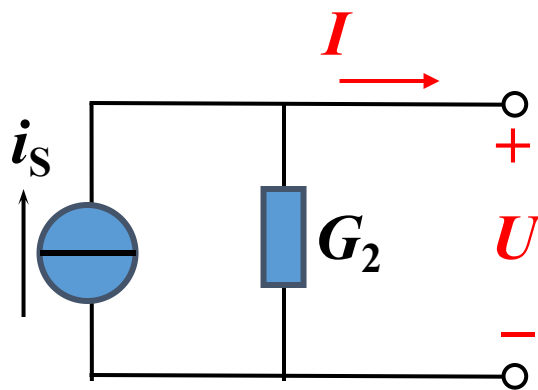
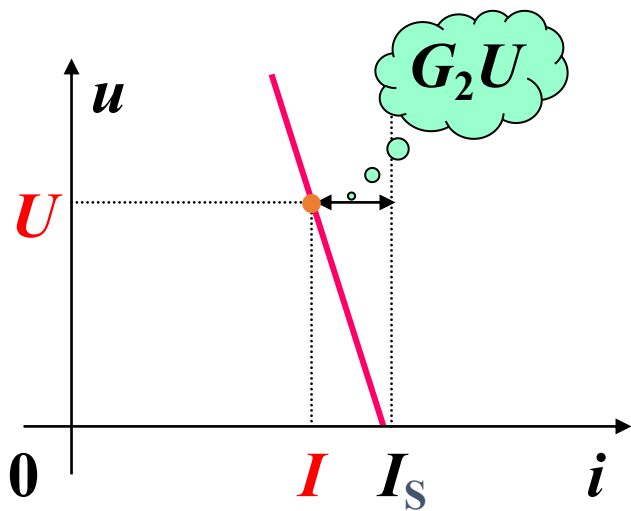
$$U = U_S - R_1 I$$

R_1 : 电源内阻, 一般很小。

二、两种实际电源模型的等效变换

2、实际电流源

其外特性曲线如下：



$$I = i_S - G_2 U$$

诺顿等效电路

G_2 : 电源内电导, 一般很小。

实际电压源开路时, _____ 电流流过 R_S ;

实际电压源短路时, _____ 电流流过 R_S ;

实际电流源开路时, _____ 电流流过 R_S ;

实际电流源短路时, _____ 电流流过 R_S 。

(A) 有

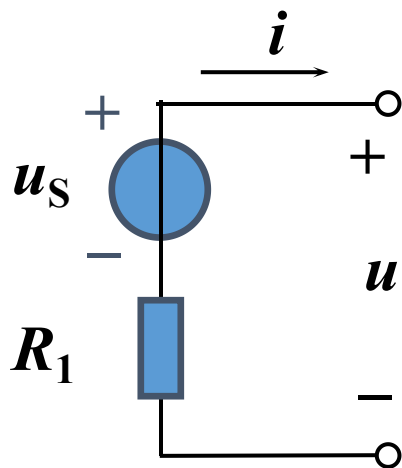
(B) 没有

作答

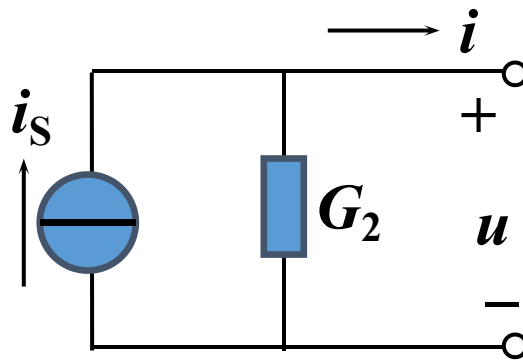
二、两种实际电源模型的等效变换

3、两种实际电源模型间的等效变换

等效是指对外部电路的作用等效，即端口的电压、电流伏安关系保持不变。



$$u = u_S - R_1 i$$



$$i = i_S - G_2 u$$

$$u = R_2 i_S - R_2 i$$

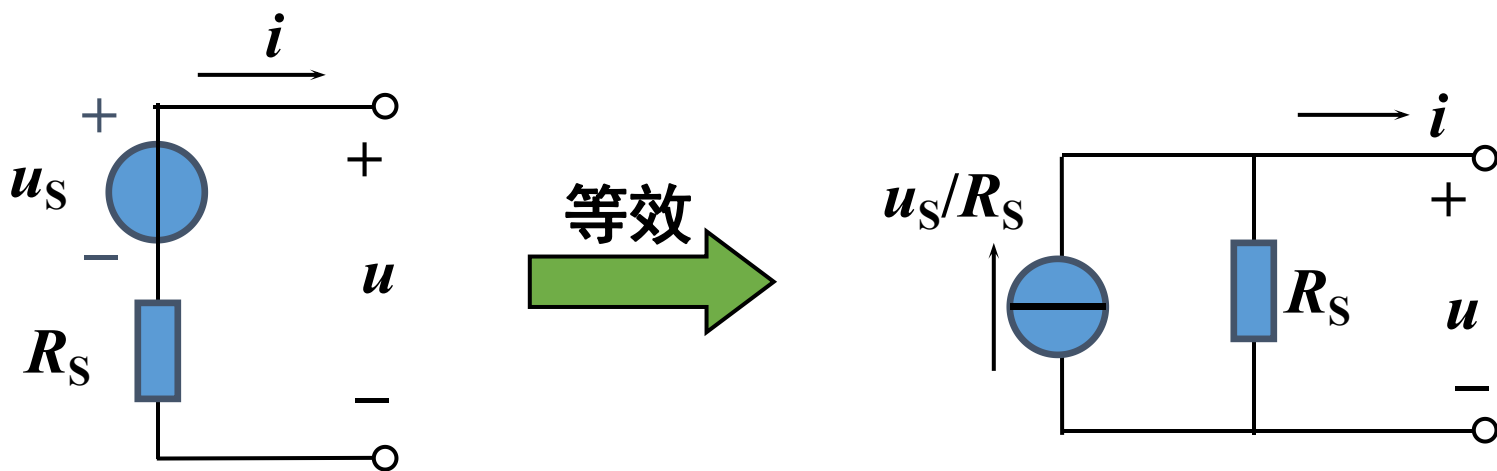
通过比较，得等效的条件：

$$R_1 = R_2 = R, \quad u_S = R i_S$$

二、两种实际电源模型的等效变换

3、两种实际电源模型间的等效变换

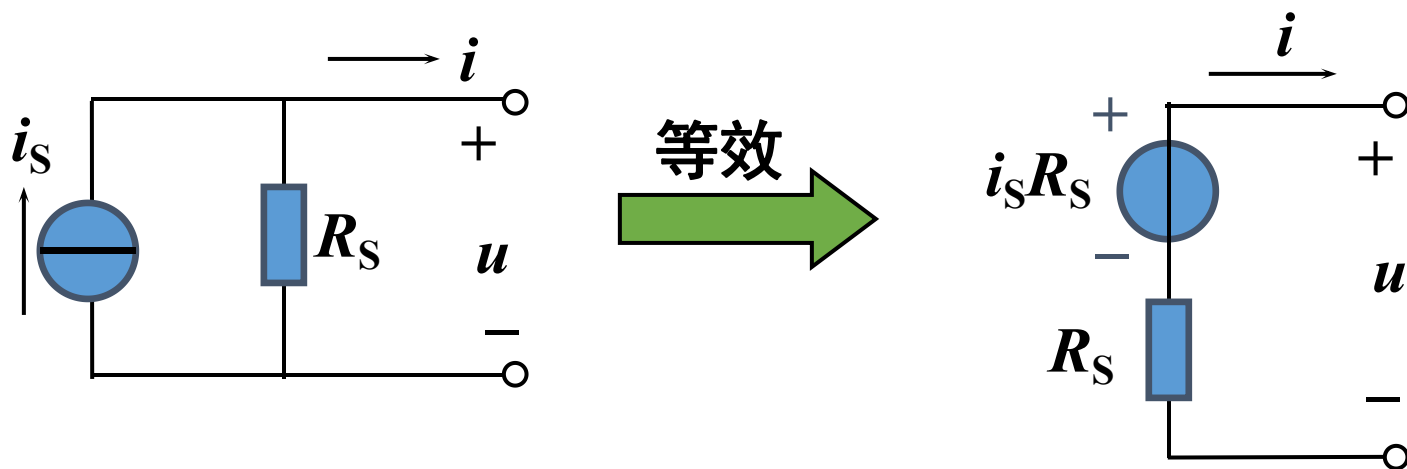
由电压源模型变换为电流源模型：



二、两种实际电源模型的等效变换

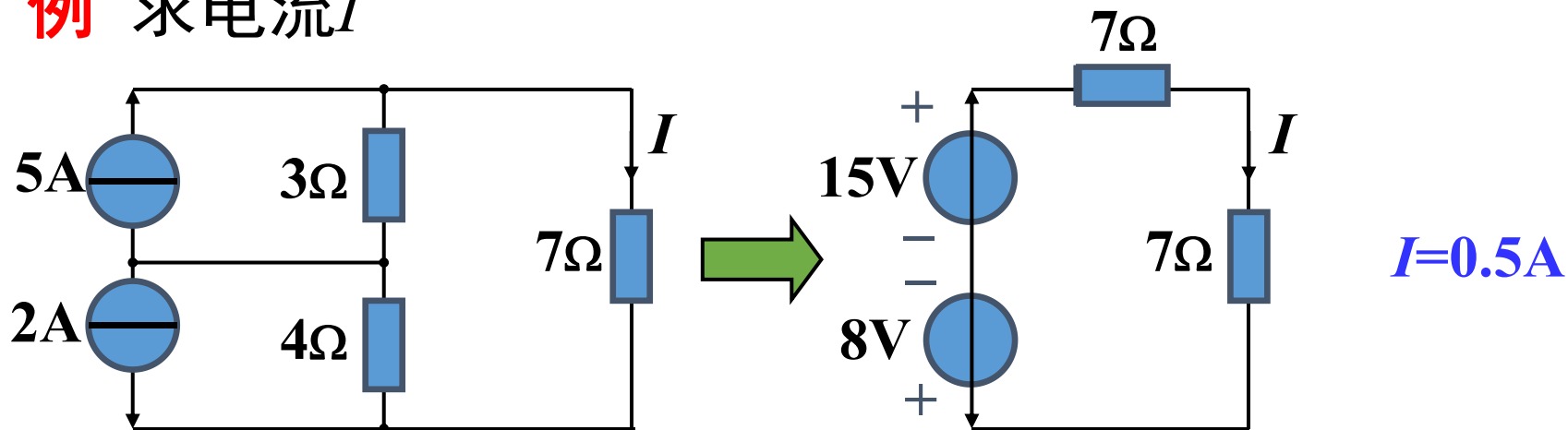
3、两种实际电源模型间的等效变换

由电流源模型变换为电压源模型：



三、一些简单的等效规律

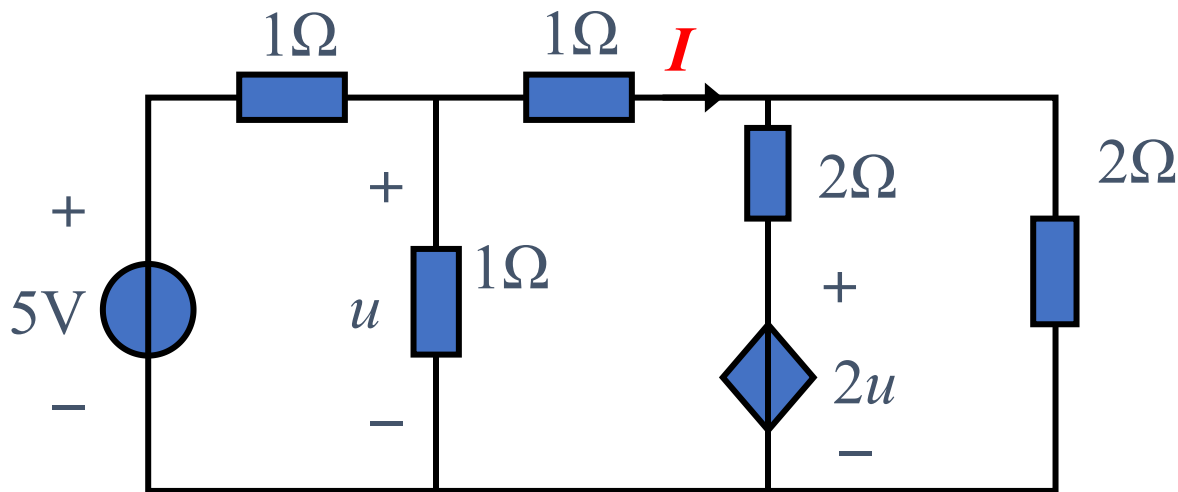
例 求电流 I



注意方向！

三、一些简单的等效规律

例 求电流 I



注记1： 受控源和独立源一样可以进行电源转换。

注记2： 在化简电路时，受控源的控制支路不能被化简掉。

二、两种实际电源模型的等效变换

3、两种实际电源模型间的等效变换

注意：

- (1) 理想电压源与理想电流源不能相互转换。
- (2) 受控源和独立源一样可以进行电源转换。

§4-5 一些简单的等效规律和公式

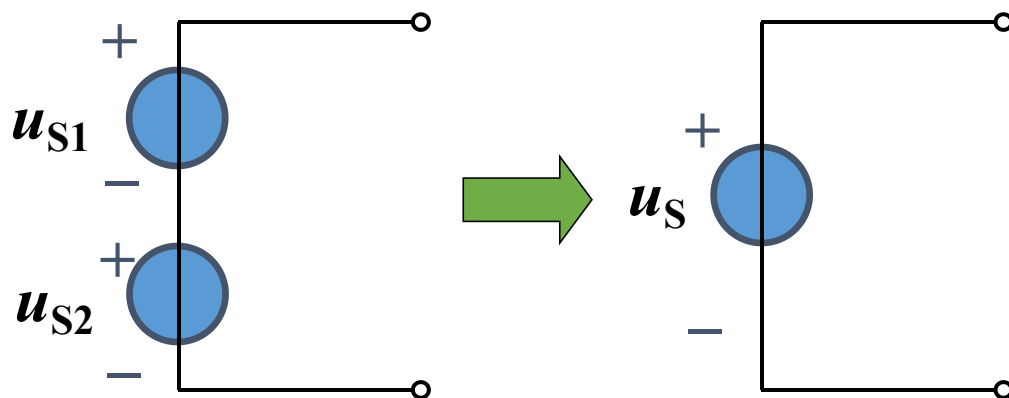
一、电阻的等效变换

二、两种实际电源模型的等效变换

三、一些简单的等效规律

三、一些简单的等效规律

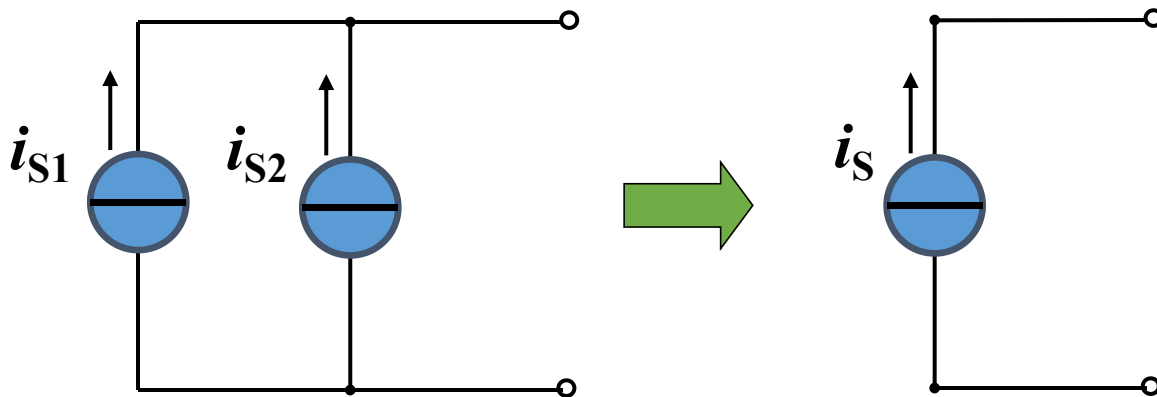
1、两个电压源串联



$$u_S = u_{S1} + u_{S2}$$

三、一些简单的等效规律

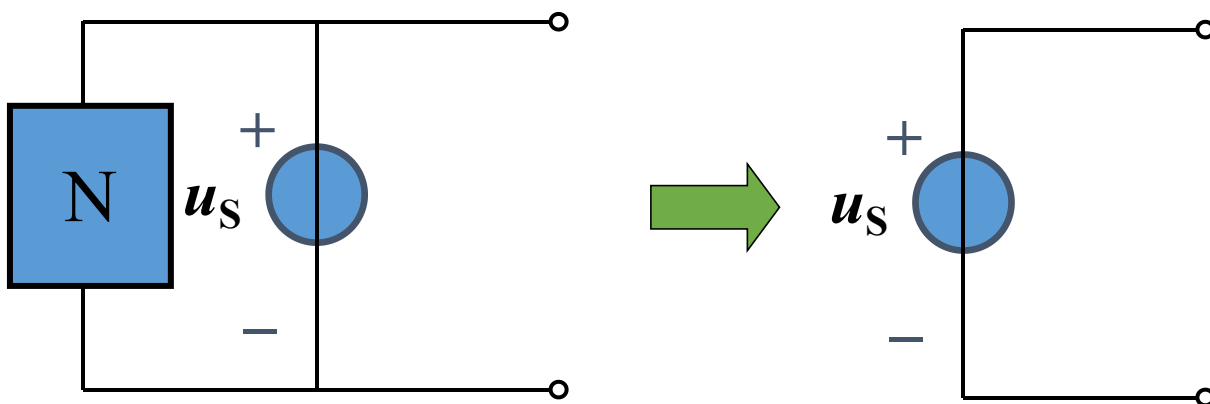
2、两个电流源并联



$$i_S = i_{S1} + i_{S2}$$

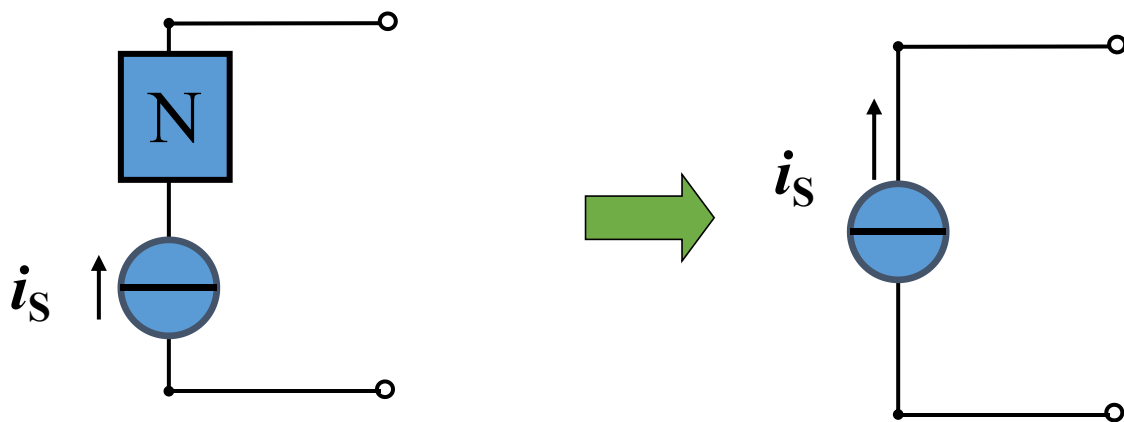
三、一些简单的等效规律

3、任一元件（或单口网络N）与理想电压源 u_S 并联



三、一些简单的等效规律

4、任一元件（或单口网络N）与理想电流源 i_s 串联



此题未设置答案，请点击右侧设置按钮

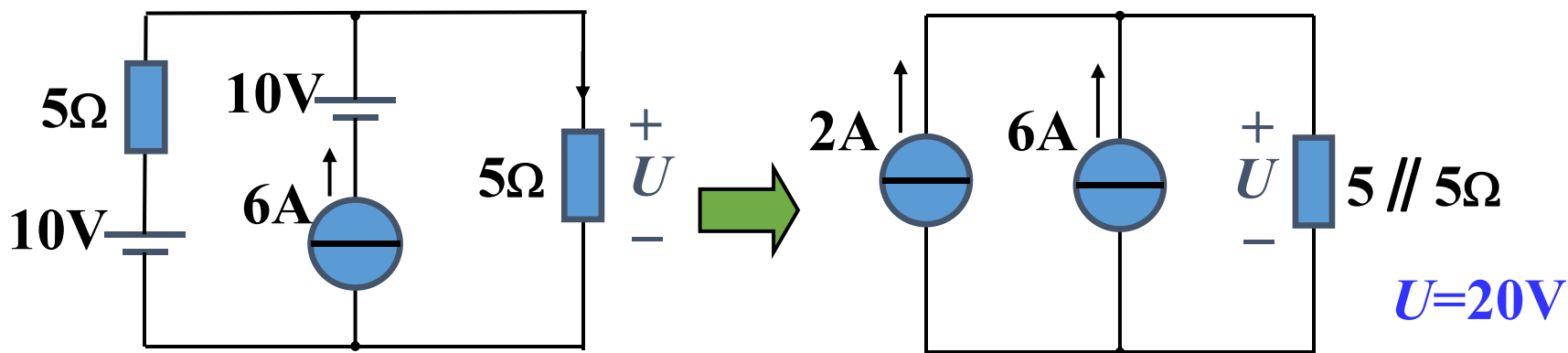
下面几个电路元件中，_____是等效的，_____是等效的？

- (A) $R=\infty$ 的电阻
- (B) 零值电阻
- (C) $U_S=0$ 的理想独立电压源
- (D) $I_S=0$ 的理想独立电流源
- (E) 开路
- (F) 短路

作答

三、一些简单的等效规律

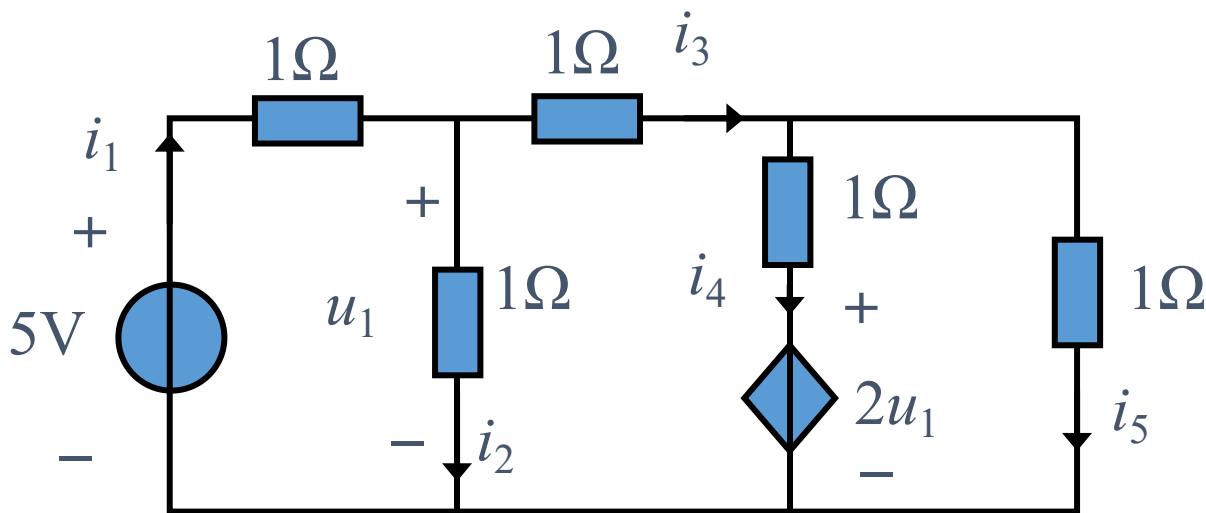
例 求电压 U



注记：在化简电路时，要在简化后的电路中找到被求量。

三、一些简单的等效规律

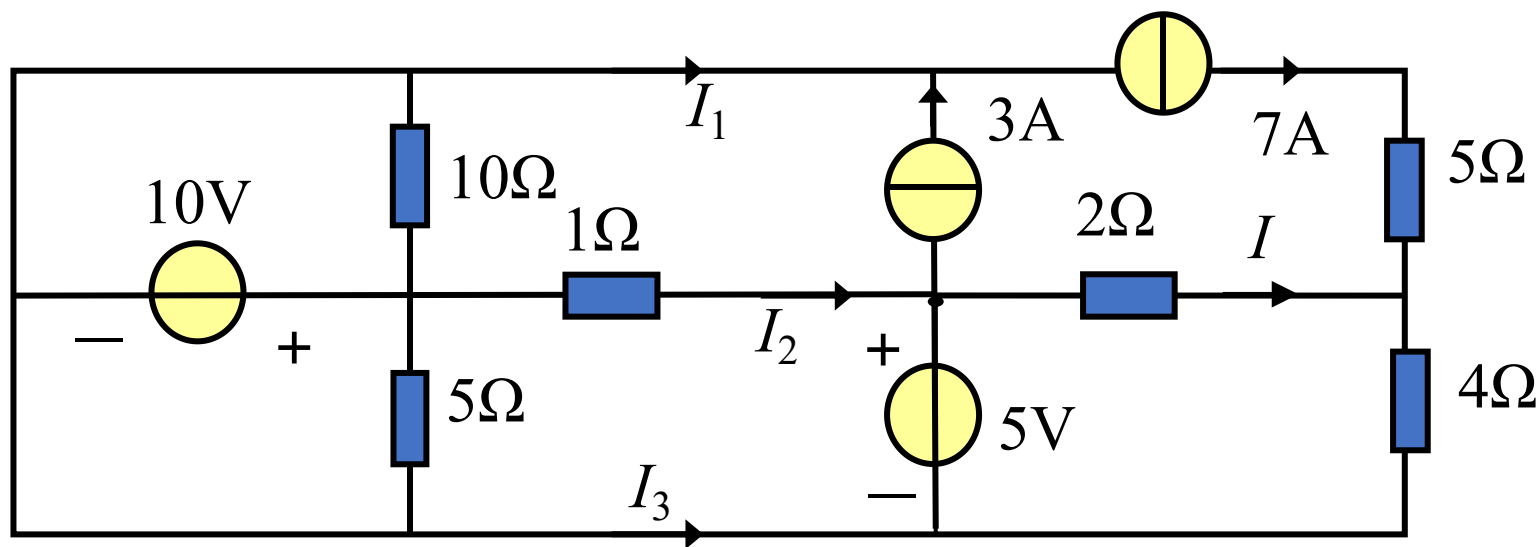
例：求各支路电流



注记：在化简电路时，受控源的控制支路不能被化简掉。

三、一些简单的等效规律

练习：求 I_1 、 I_2 、 I_3 及5V和10V电压源的功率。



$$I_1 = 4\text{A}$$

$$I_2 = 5\text{A}$$

$$I_3 = -9\text{A}$$

本章小结

单口网络

- ✓ 概念
- ✓ 描述方法
- ✓ VCR、等效电路的求法 ▲
- ✓ 常用网络的等效 ▲
 - 电阻的串、并联、混联、平衡电桥
 - 实际电源模型的等效变换
 - 一些简单的等效规律

独立源和受控源对比

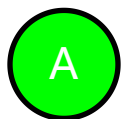
- ✓ 是否可以作为激励：
 - 独立源可以；
 - 受控源不可以。
- ✓ 含源单口网络的VCR：
 - 独立源： $u= Ri + u_{oc}$
 - 受控源： $u= Ri$
- ✓ 求输入输出电阻：
 - 独立源置零；
 - 受控源不置零。
- ✓ 实际电源模型之间的等效：
 - 受控源和独立源同等对待。

在求解输入（输出）电阻时，受控源是否置零？

- ☐ A 置零
- ☒ B 不置零

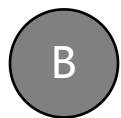
提交

受控电压源串联电阻（ ）等效为受控电流源并联电阻。



A

可以



B

不可以

提交

理想独立电压源与理想独立电流源（ ）相互转化。

- ☐ A 可以
- ☒ B 不可以

提交