



JINGJIA CIRCUIT

# 电路基础

空间科学与技术学院  
贾 静

[jjia@mail.xidian.edu.cn](mailto:jjia@mail.xidian.edu.cn)

办公地点：南校区G楼234东



JINGJIA CIRCUIT



## 1.9 独立电源的等效

➤ 教学内容：独立电压源的串并联等效

独立电流源的串并联等效

实际电源的模型及其相互等效

➤ 教学要求：掌握独立源的等效

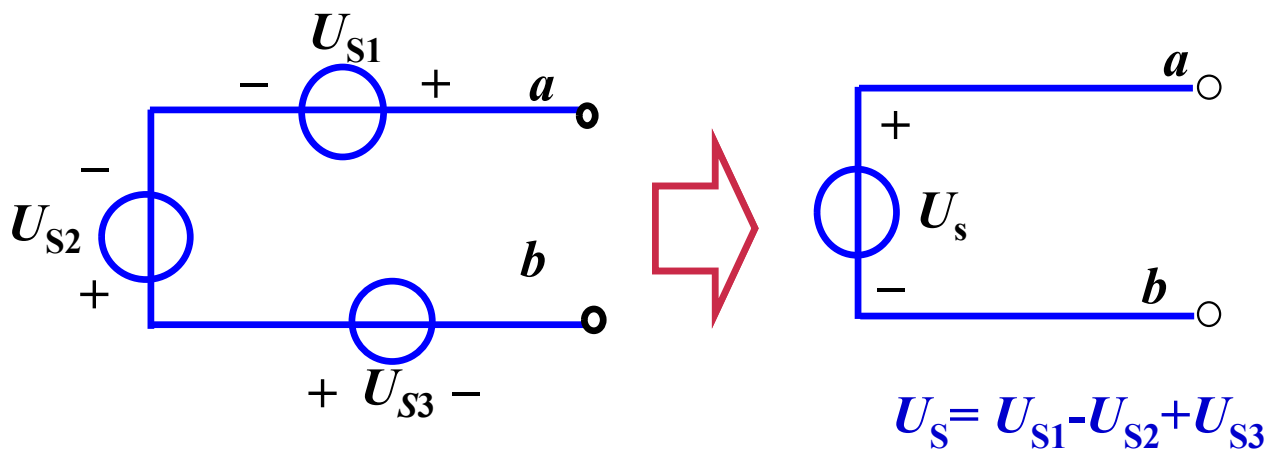
掌握实际电源两种模型的等效变换



## 1.9.1 独立源的串并联等效

### 一、电压源的串联等效

若干个电压源相串联的二端电路,可等效成一个电压源,其值为几个电压源电压值的代数和。

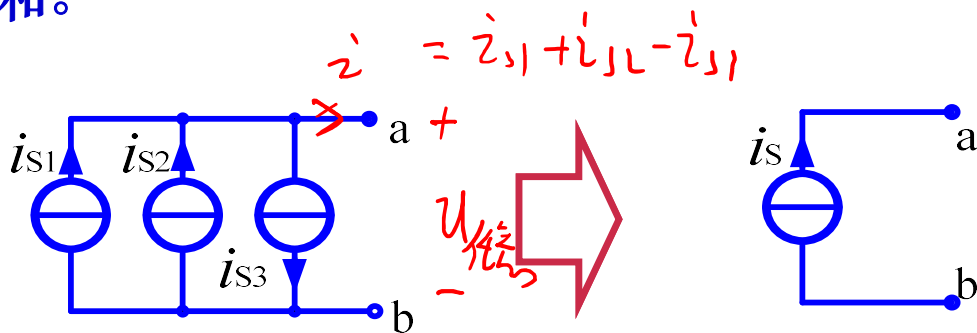


注意：只有电压值相等且方向一致的电压源才允许并联。否则违背KVL。



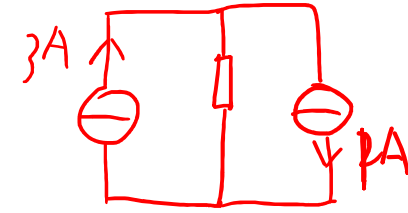
## 二、电流源的并联等效

若干个电流源并联，可以等效为一个电流源，其值为各电流源电流值的代数和。

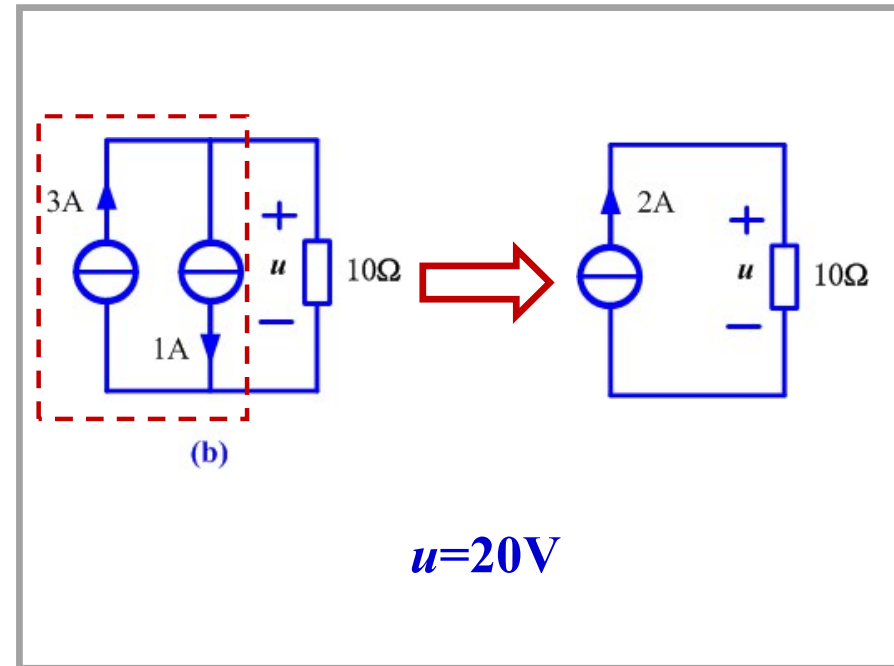
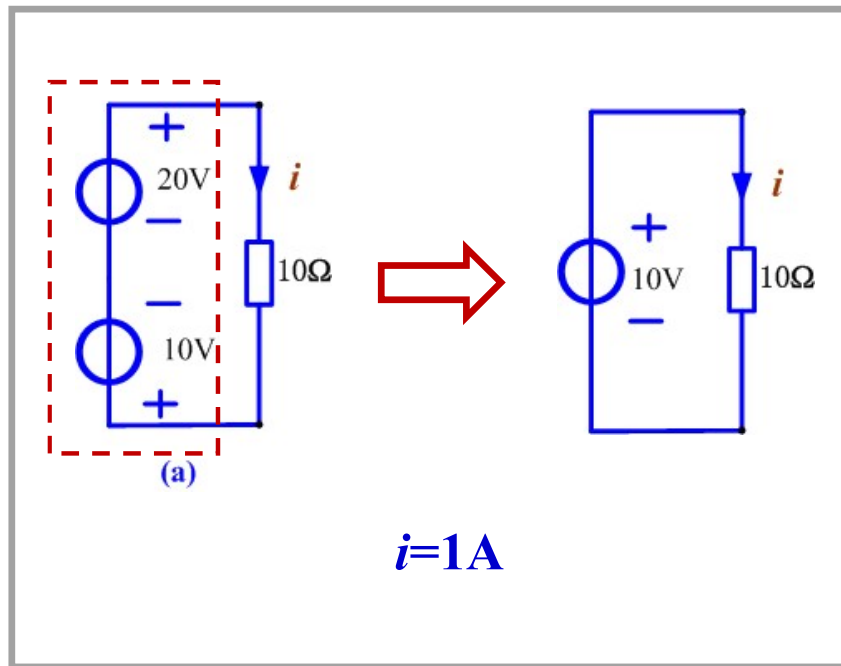


$$i_S = i_{S1} + i_{S2} - i_{S3}$$

注意：只有电流值相等且方向一致的电流源才允许串联。否则违背KCL。

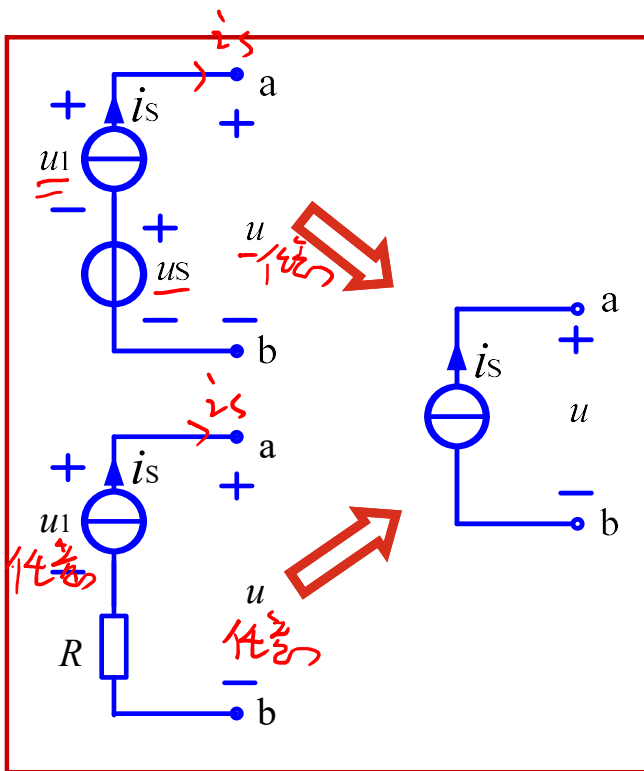


例 1 如图(a)和图(b), 分别求电流  $i$  和电压  $u$ 。



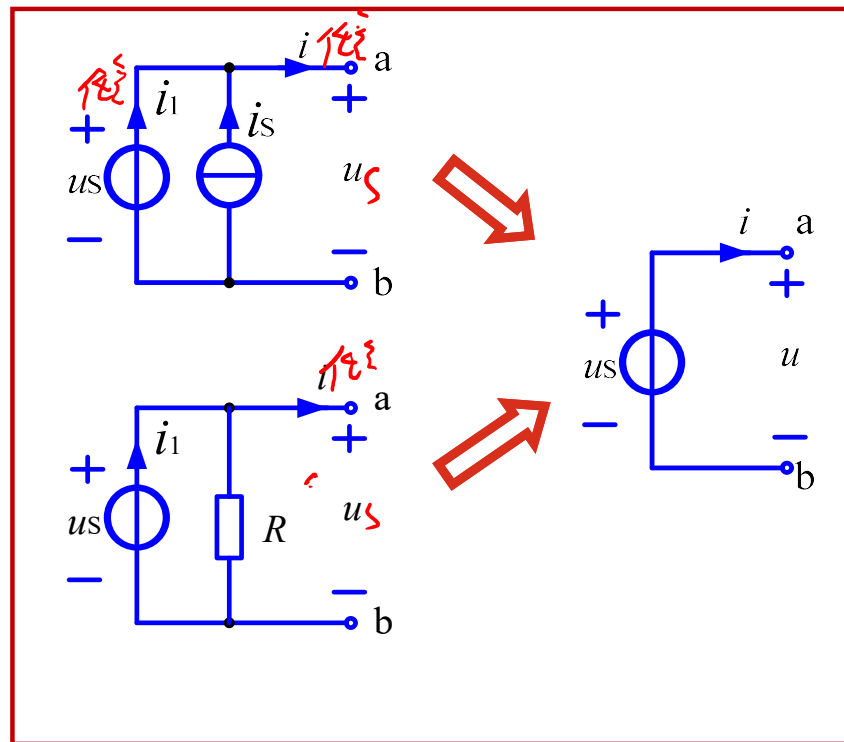
### 三 其他

#### 1) 电流源与电压源或电阻串联



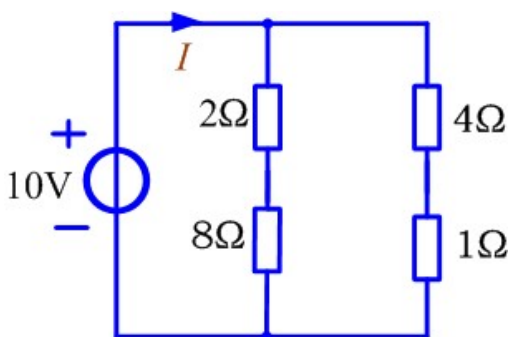
对外等效为电流源!

#### 2) 电压源与电流源或电阻并联



对外等效为电压源!

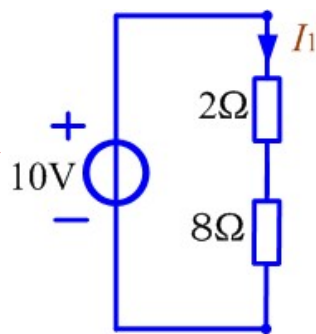
例 2 如图(a)所示电路，求电流  $I$ 。



(a)

$$I = I_1 + I_2 = 3\text{A}$$

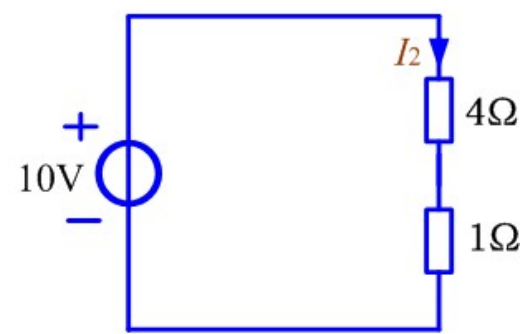
等效分解



(b)

$$I_1 = 1\text{A}$$

+



(c)

$$I_2 = 2\text{A}$$

KCL



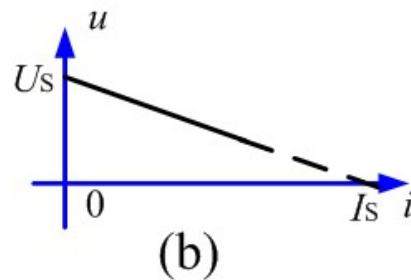
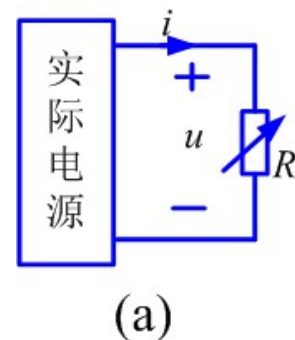


## 1.9.2 实际电源的模型及等效互换

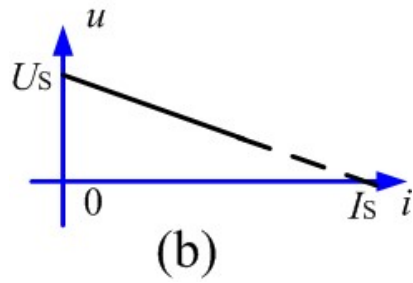
当实际电源接入负载(load)后，其端口上的电压电流通常与负载的变化有关，这是因为实际电源存在内阻。

### 一、实际电源的模型

- 对于实际的直流电源（比如电池），外接一个可变电阻，可以测试其端口的 $u$ - $i$ 关系（也称为外特性），电路如图(a)。
- 每改变一次负载 $R$ 的阻值，就可以测得端口上的一对电压值 $u$ 和电流值 $i$ 。
- 实际电源外特性曲线近似为一条直线，如图(b)所示。
- 可以看出：实际电源的端电压在一定范围内随着输出电流的增大而逐渐下降（斜率为负的直线）。







$$R_S = U_S / I_S$$

$$u = U_S - R_S i$$

$$i = I_S - u / R_S$$

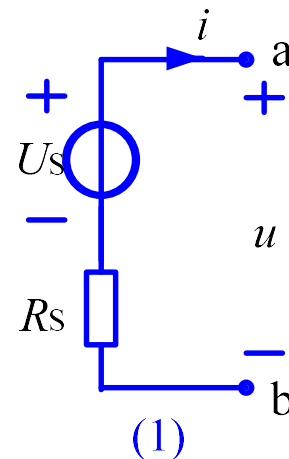




可见，实际电源的外特性为直线，令  $U_S/I_S = R_S$ ，则其解析表达式(即直线方程)为

$$u = U_S - R_S i \quad (1)$$

其中  $U_S$  为端口的开路电压。画出的电路模型如图(1)所示。

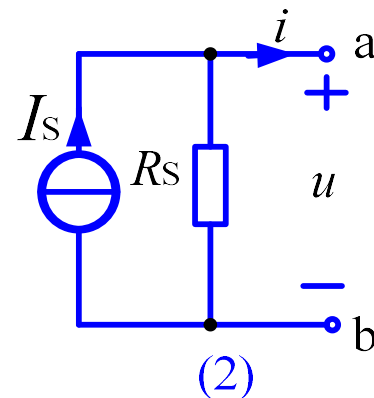


这就得到**实际电源的电压源模型**，它用电压为  $U_S$  的理想电压源串联一个线性电阻  $R_S$  来表示。

若将式(1)写成下列由  $u$  表示  $i$  的形式

$$i = I_S - u / R_S \quad (2)$$

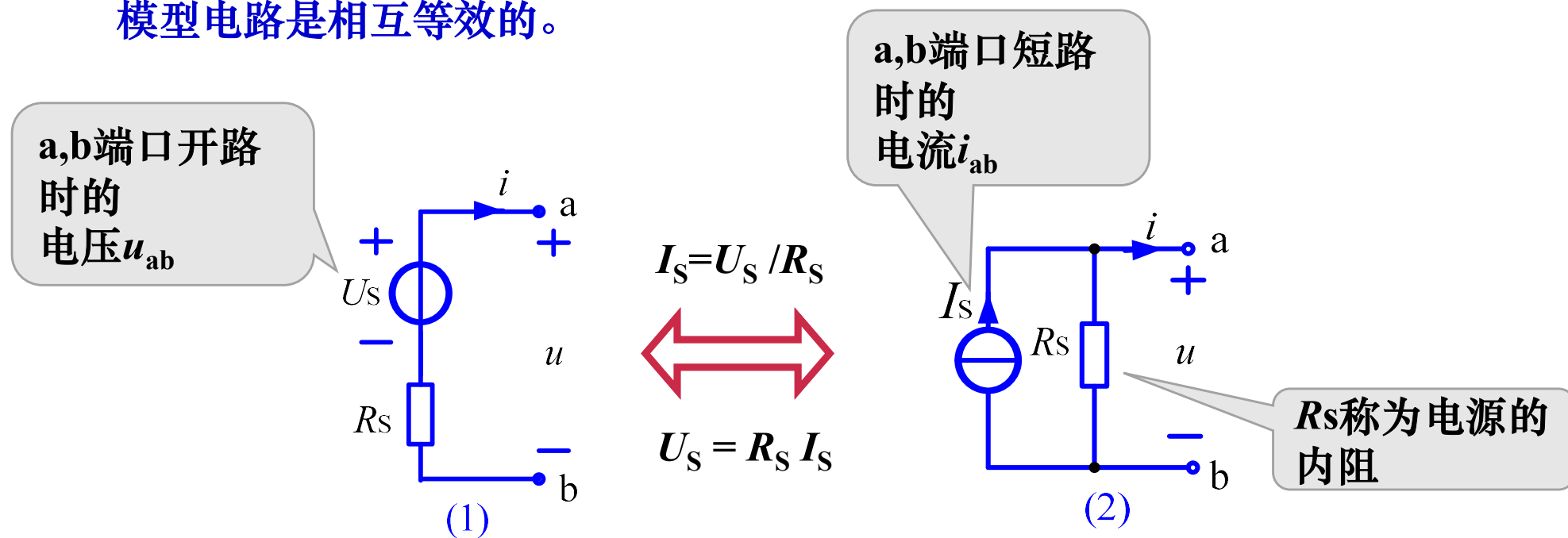
画出相应的电路模型如图(2)所示。



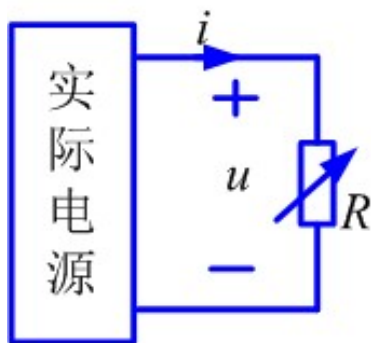
这就是**实际电源的电流源模型**，它用电流为  $I_S$  的理想电流源并联一个线性电阻  $R_S$  来表示。

## 二、电压源模型与电流源模型的等效

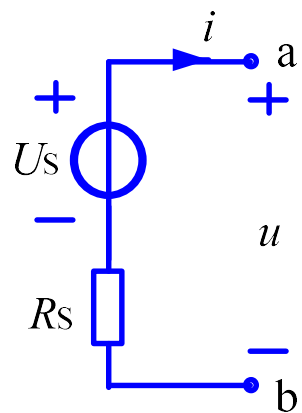
由于电压源模型与电流源模型具有相同VCR，所以实际电源的这两种模型电路是相互等效的。



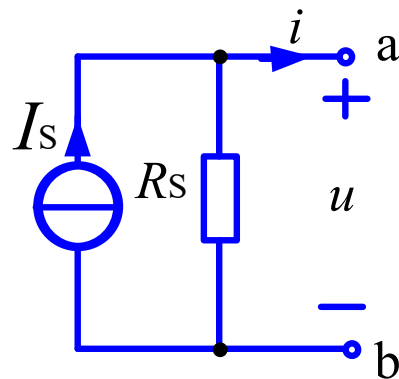
**注意：**互换时电压源 $U_S$ 的极性与电流源 $I_S$ 的方向之间的关系。



(a)



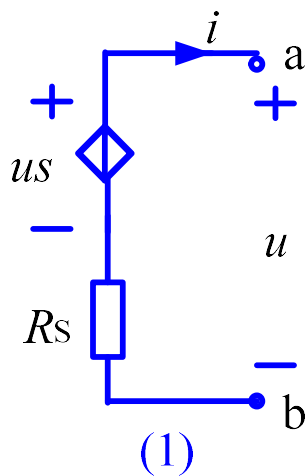
$$U_S = R_S I_S$$



$$I_S = U_S / R_S$$



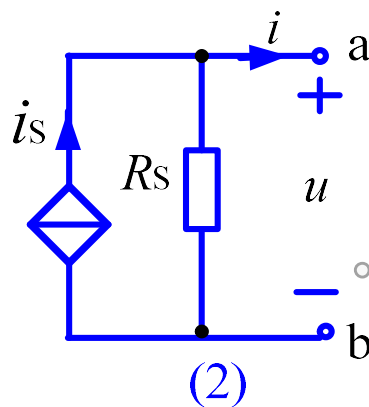
### 三. 电源互换等效的推广应用



$$i_S = u_S / R_S$$



$$u_S = R_S i_S$$

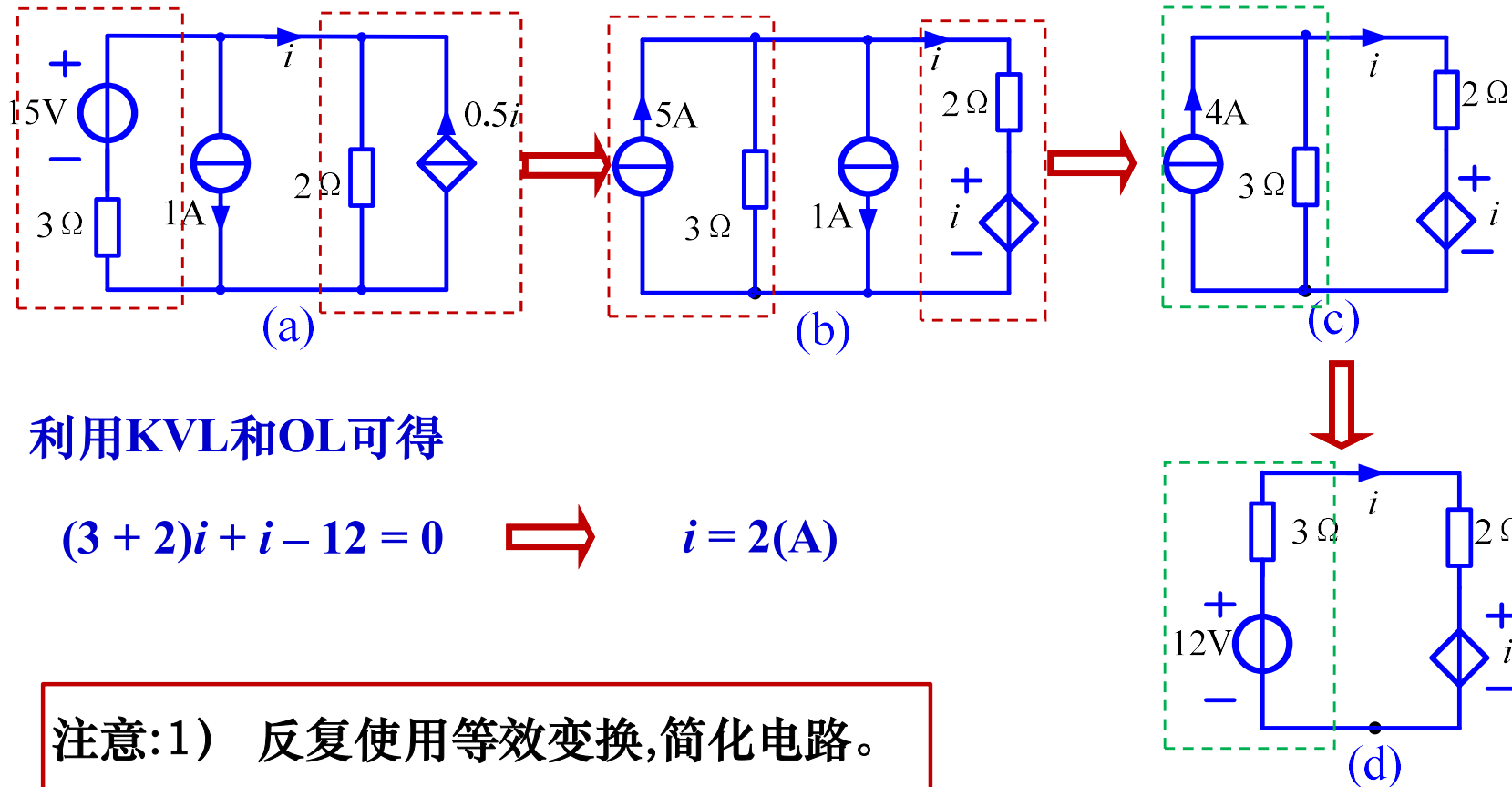


对受控源也  
同样适用!

在电路分析中，如果有一个理想电压源与一个电阻串联，也可以等效成一个理想电流源和该电阻的并联，反之亦然。

## 四. 举例

例1 求图中电流  $i$ 。



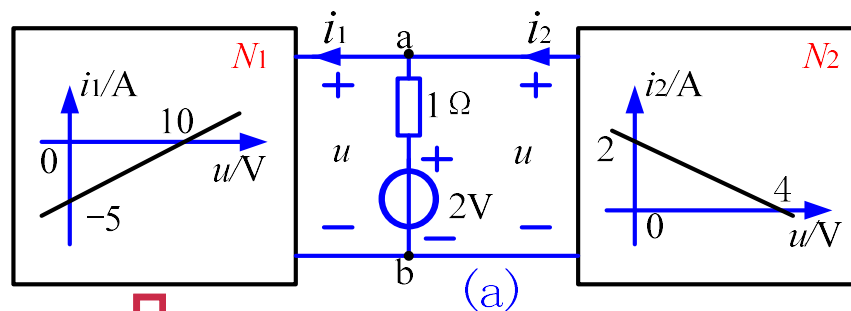
利用KVL和OL可得

$$(3 + 2)i + i - 12 = 0 \quad \Rightarrow \quad i = 2(\text{A})$$

注意: 1) 反复使用等效变换, 简化电路。  
 2) 受控源与电阻并联的等效变换。



**例2** 设二端电路 $N_1$ 和 $N_2$ 的VCR特性(外特性)如图(a)所示, 求电压 $u$ 。

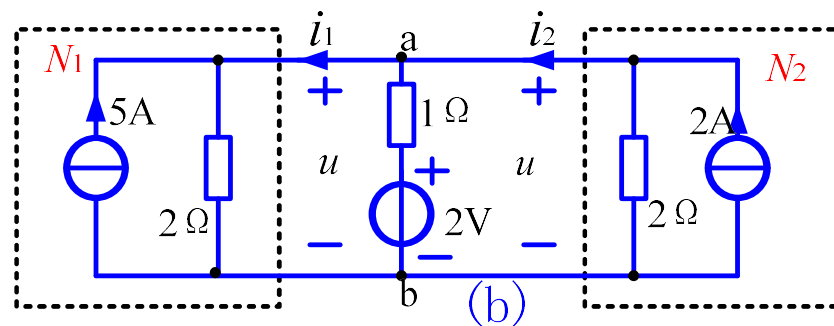


**解 (1)** 由图得外特性曲线:

$$i_1 = -5 + 0.5 u$$

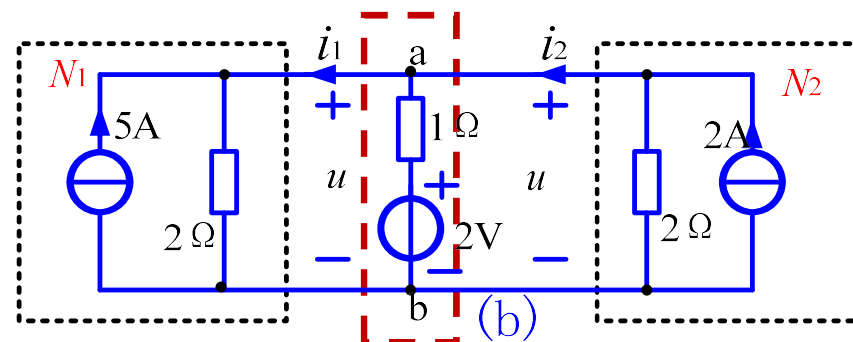
$$i_2 = 2 - 0.5 u$$

画出 $N_1$ 、 $N_2$ 的等效电路见图(b)。



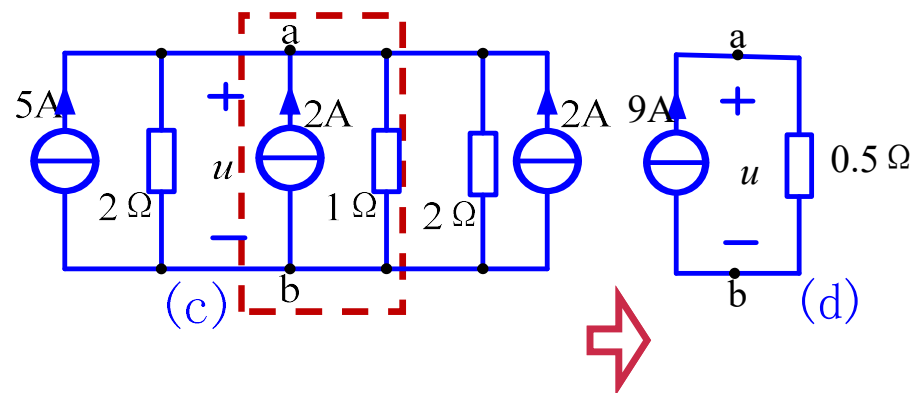


(2) 将2V电压源的串联模型等效  
为电流源与电阻并联，见图(c)。



(3) 再等效得图(d)。

故 $u = 4.5V$



重点： 已知VCR画等效电路。





## 5. 说明

① 一个实际电源可以有两种不同结构的电路模型—电压源模型与电流源模型。

② 实际电源的两种模型互相等效，它们之间的关系是：

$$\left. \begin{aligned} i_S &= \frac{u_S}{R_S} \\ u_S &= R_S i_S \end{aligned} \right\}$$

③ 电路等效变换过程中，电路结构将发生变化，应随时注意电路中的哪些部分（支路、节点……）已经改变，哪些部分未发生变化。

④ 受控电压源与电阻的串联组合和受控电流源与电阻的并联组合也可进行等效变换，不过要特别注意，在变换过程中，控制量必须保留。





### 三、思考

为什么实际电源的电压源模型是串联内阻，而电流源模型是并联内阻？

与电源串并联的内阻应具有怎样的性质(数值大小),可使得实际电源在接线端上更像理想的电源 $U_s/I_s$ ?

电压源什么情况下不能并联？电流源什么情况下不能串联？

电源等效后的外特性是否改变？





## 1.10 电源的等效转移

➤ 教学内容：电压源的等效转移

电流源的等效转移

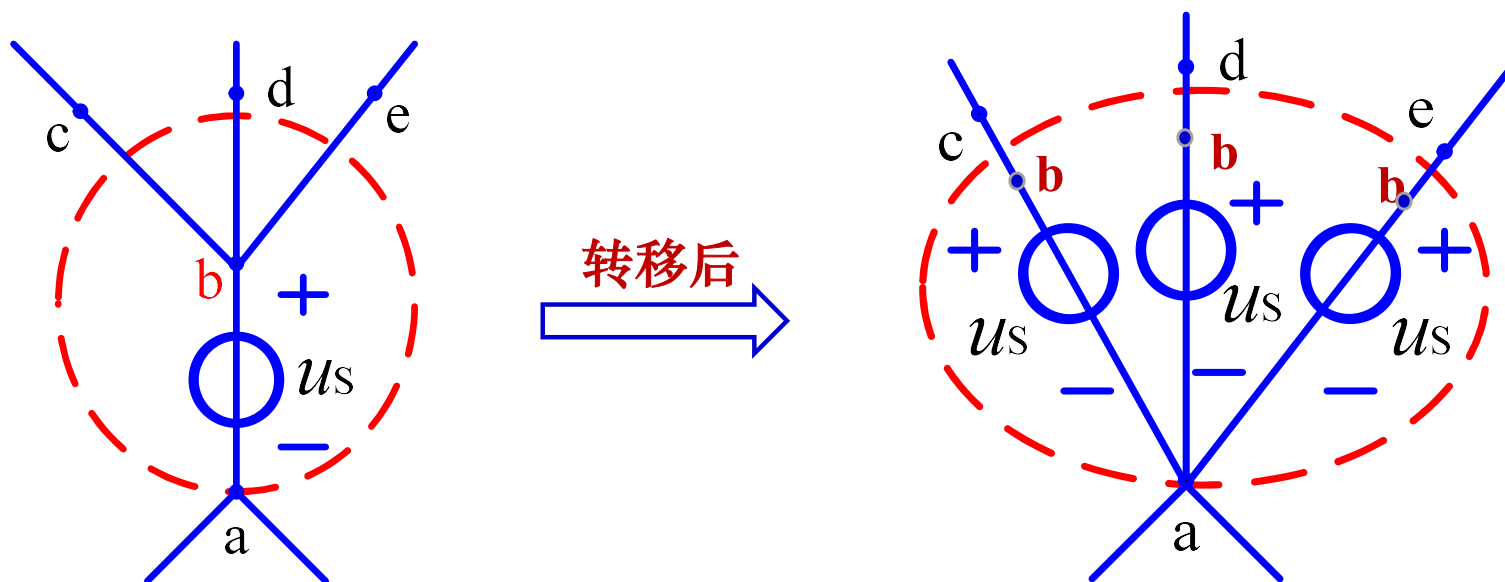
工程案例

➤ 教学要求：理解电源等效转移的方法



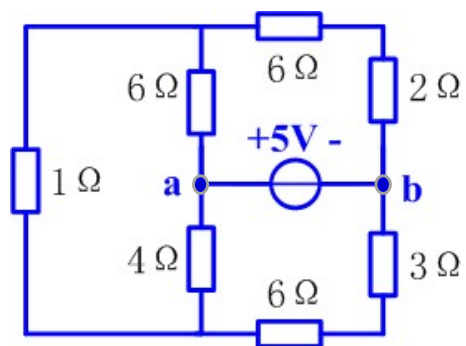


## 1.10.1 电压源转移等效—等效变换法

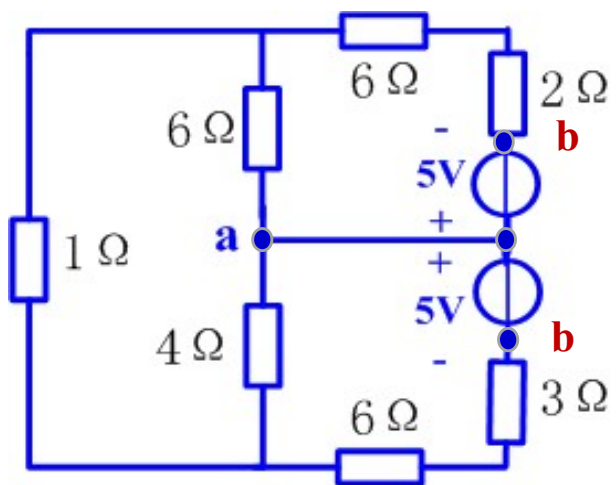


注意：

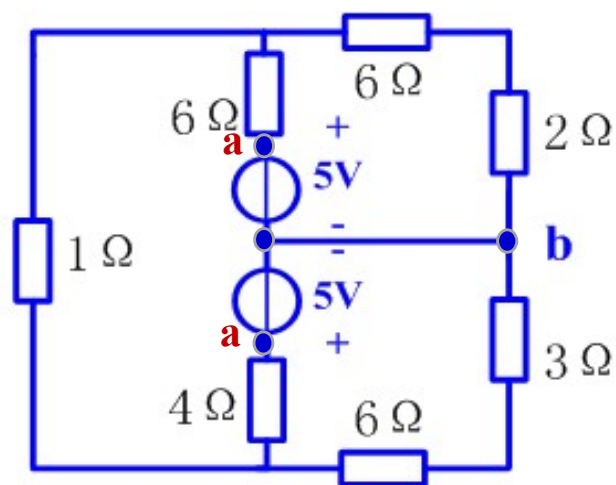
- 1) c、d、e、b同电位点，电压源分别向其它同电位点转移
- 2) 转移后各回路的KVL方程保持不变。



图(1)



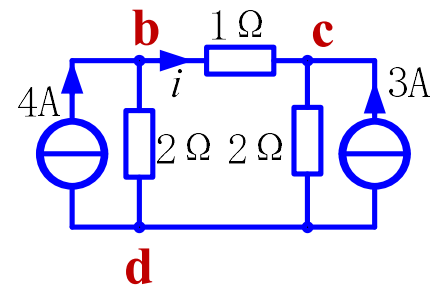
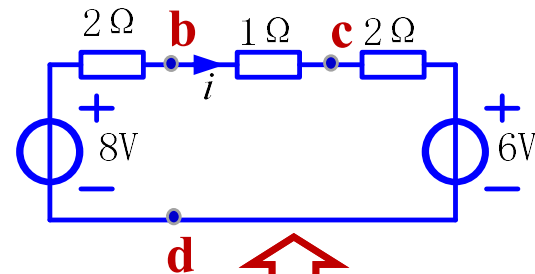
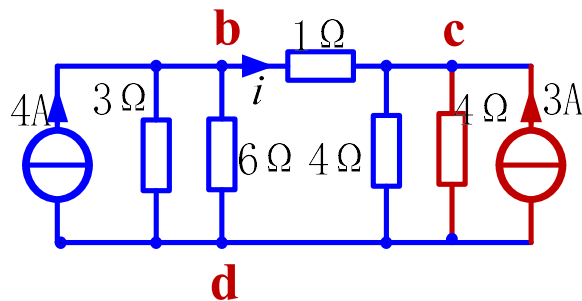
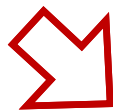
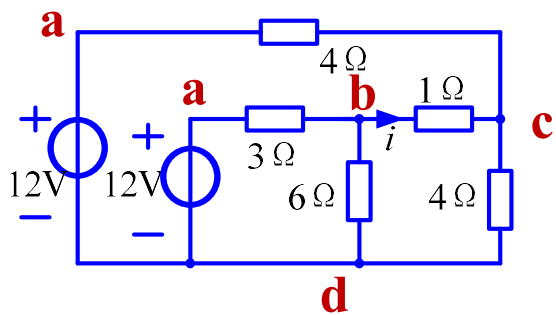
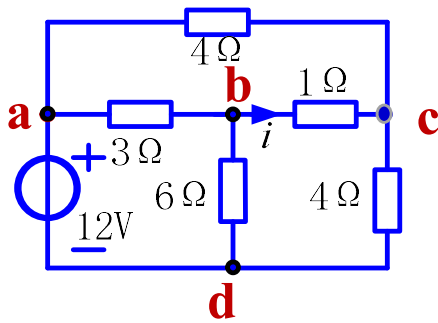
图(2)



图(3)

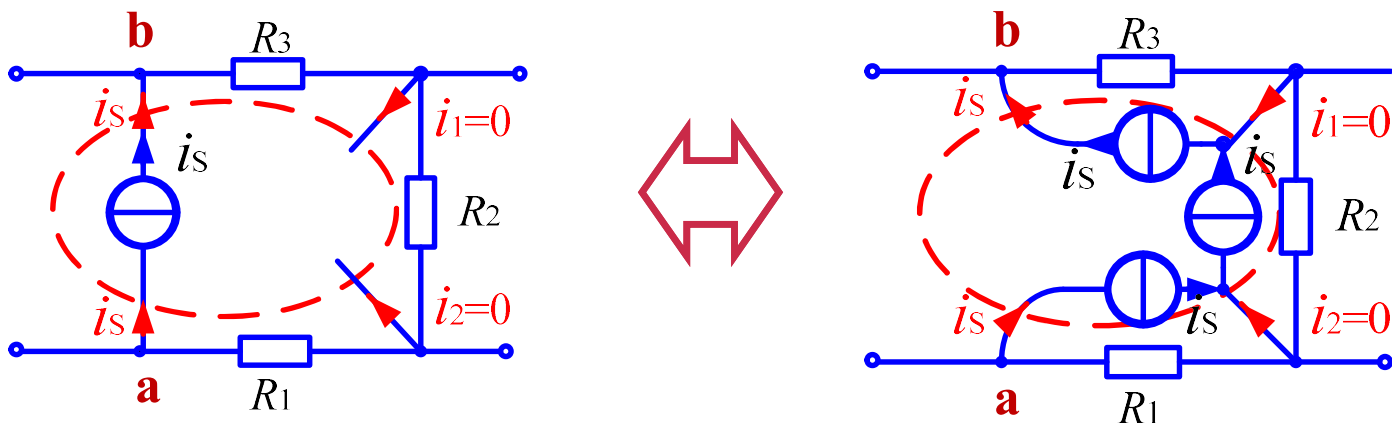
**例1 求支路电流 $i$ 。**

**$i = 0.4\text{A}$**





## 1.10.2 电流源转移等效



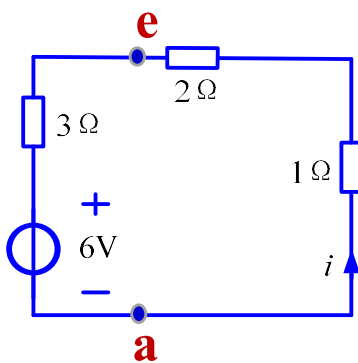
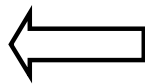
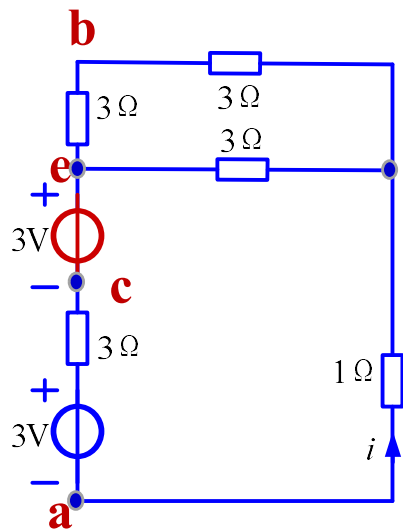
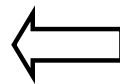
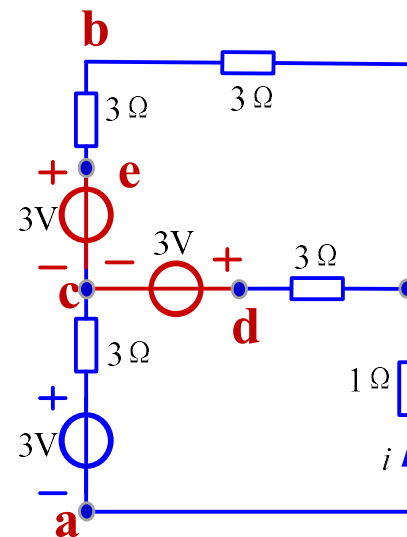
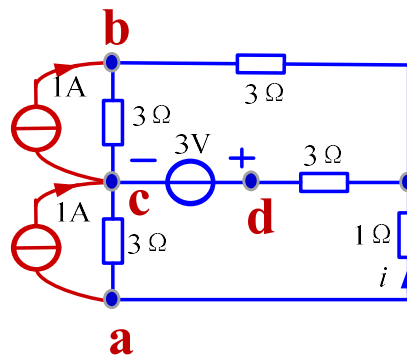
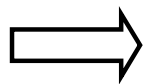
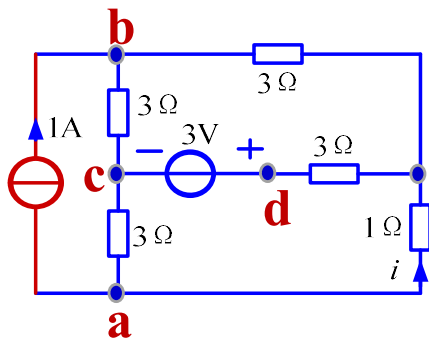
方法：从起点开始选择一回路到终点，每条支路转移并联。

原则：电流源转移前后，应保证各节点的KCL方程保持不变。

注意：电源的转移法也适用于受控源。

$$i = -1\text{A}$$

例2 如图电路，求电流*i*。





如图所示电路，则电压  $U = \underline{\hspace{2cm}}$  V

A

B

C

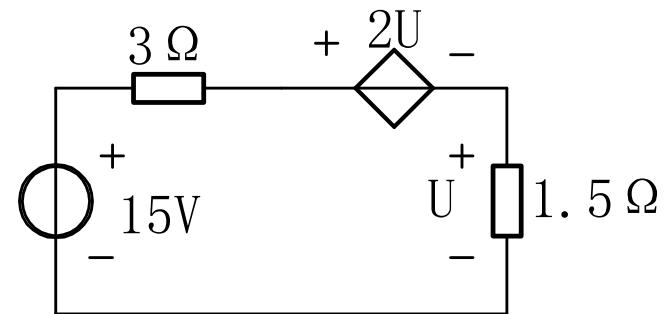
D

1

2

3

4



提交

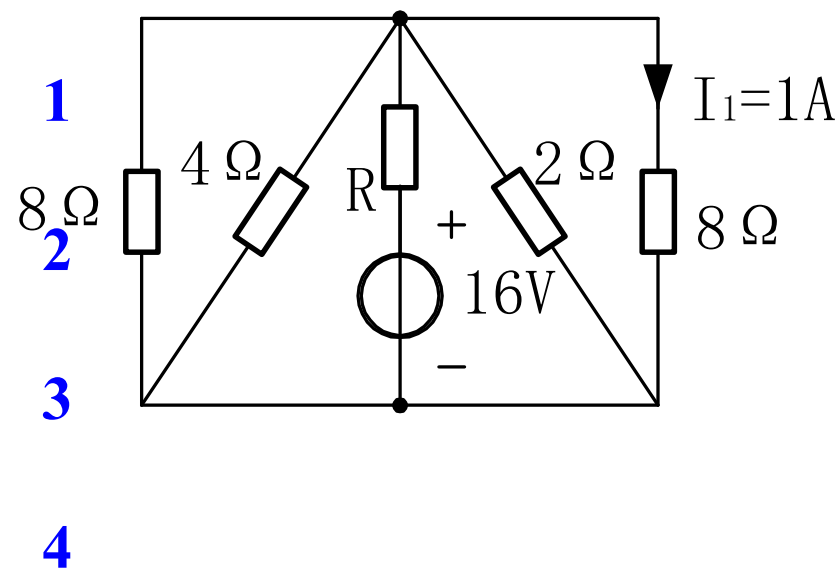
如图所示电路，则电阻  $R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

A

B

C

D



提交

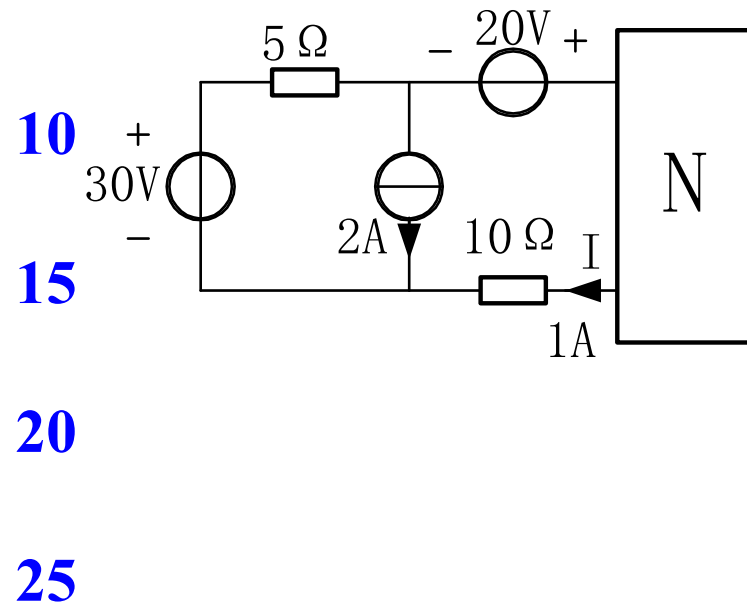
如图所示电路，则网络N吸收的功率  $P_N = \underline{\hspace{2cm}}$  W

A

B

C

D



提交



### 三、思考

利用平衡电桥除了可以  
测量电阻的阻值外，还  
可以测量什么量？

平衡电桥具有怎  
样的特性？

如何应用电桥平衡  
分析、化简电路？

电压源转移遵循  
的原则是什么？

电流源转移遵循  
的原则是什么？

