

第一章 电路及其分析方法

电路的基本概念及其分析方法是电工技术和电子技术的基础。

本章首先讨论电路的基本概念和基本定律，如电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电源的工作状态以及电路中电位的计算等。这些内容是分析与计算电路的基础。

然后介绍几种常用的电路分析方法，有支路电流法、叠加定理和戴维宁定理。

最后讨论电路的暂态分析。介绍用经典法和三要素法分析暂态过程。

第一章 电路及其分析方法

1.1 电路的作用与组成

1.2 电路模型

1.3 电压和电流的参考方向

1.4 电源有载工作、开路与短路

1.5 基尔霍夫定律

1.6 电阻的串联和并联

1.7 支路电流法

1.8 叠加原理

1.10 戴维宁定理

1.11 电路中电位的计算

11.12 电路的暂态分析

1.1 电路的作用与组成

1. 电路

由电气器件相互联接而构成的电流通路

2. 电路的作用

实现电能的传输、分配与转换。

实现信号的传递、变换与处理。

例如：

电能的传
输、分配
与转换



升压
变压器

输电线

降压
变压器

电灯
电动机
电炉
...

信号的传
递与处理

话筒



放大
器

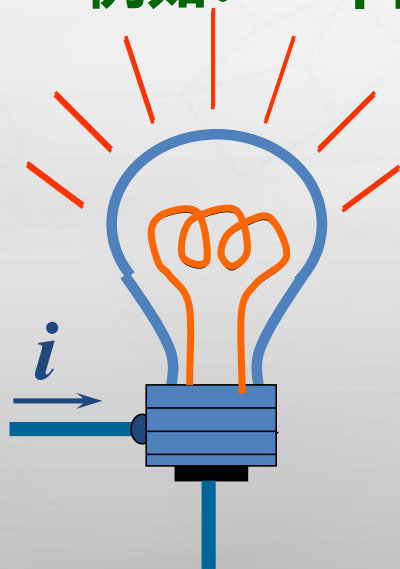
扬声器



1.2 电路模型

为了便于分析与计算实际电路，在一定条件下常忽略实际部件的次要因素而突出其主要电磁性质，把它看成理想电路元件。

例如：一个白炽灯在有电流通过时



消耗电能
(电阻性)

产生磁场
储存磁场能量
(电感性)



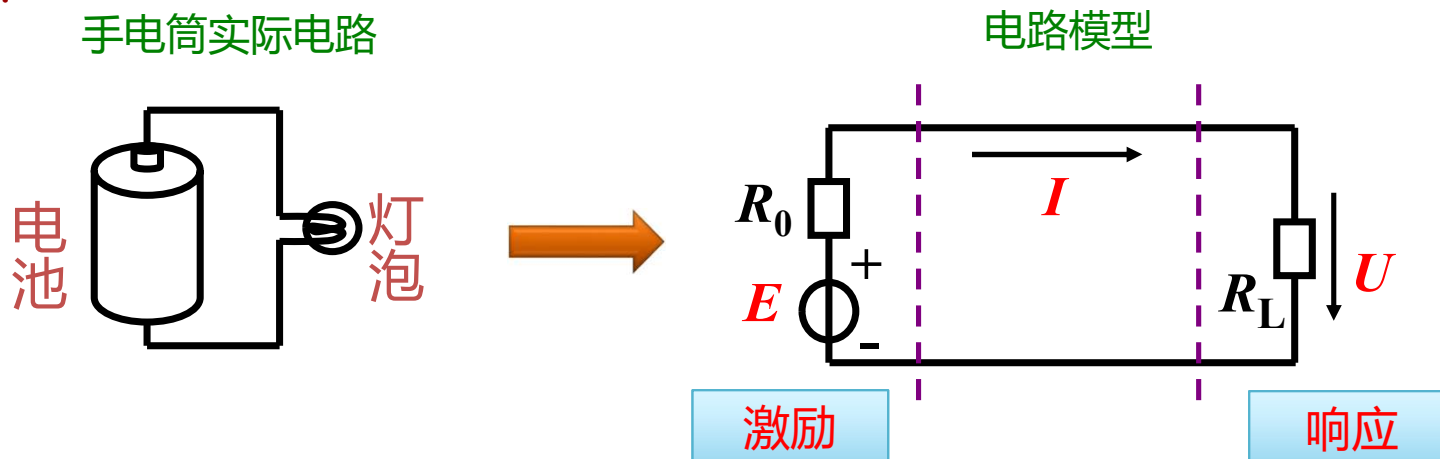
忽略 L



1.2 电路模型

电路模型：由一个或多个理想元件代替实际电气器件，由此组成的电路叫电路模型,电路是根据电路模型来进行分析的。

例如：



电路分析是在已知电路结构和参数的条件下，讨论

激励 与 **响应** 的关系。

1.2 电路模型

常见的理想电路元件



电阻



电感



电容



电压源



电流源

1.2 电路模型

常见的理想元件

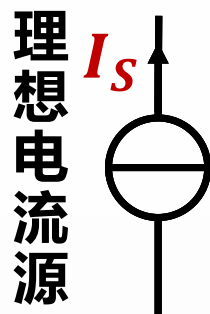
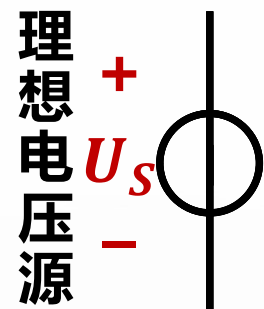
电阻 R



电感 L



电容 C



电气设备（电气元件）一般用多种基本理想元件的**组合**来描述。

由理想电路元件所组成的电路，即为**电路模型**。

1.3 电压和电流的参考方向

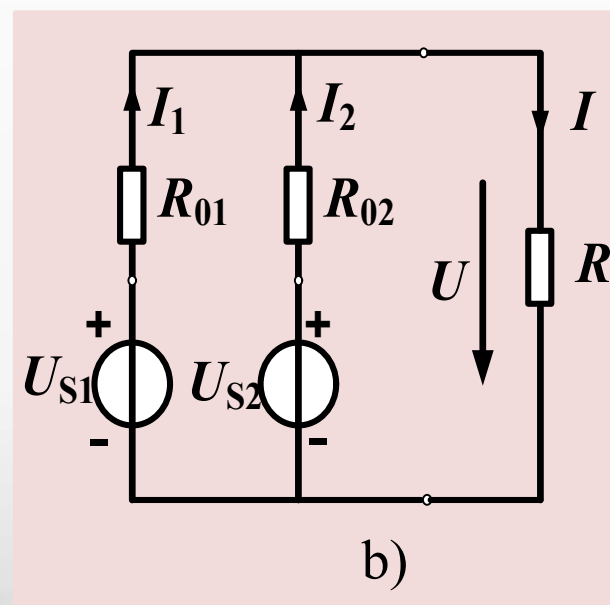
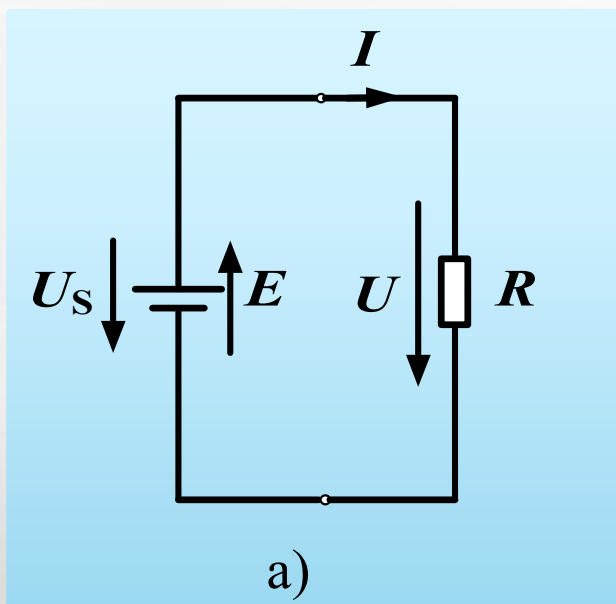
1. 电路基本物理量的实际方向

物理学中对基本物理量的方向的规定

物理量	实际方向	单位
电流 I	正电荷运动的方向	kA、A、mA、 μ A
电压 U	高电位 \rightarrow 低电位 (电位降低的方向)	kV、V、mV、 μ V
电动势 E	低电位 \rightarrow 高电位 (电位升高的方向)	kV、V、mV、 μ V

1.3 电压和电流的参考方向

2. 电流、电压的参考方向



U 、 I 、 E 的实际方向与参考方向图

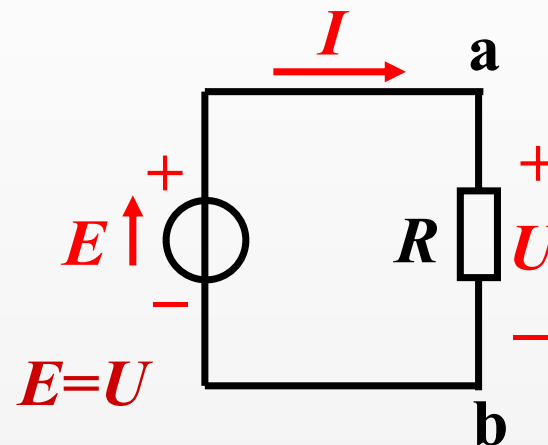
图a中电流、电压、电动势的方向可根据物理学中的定义直接标出。而在图b中则不能确定电流是否从电源的正极流出，必须做具体的计算。

1.3 电压和电流的参考方向

2. 电流、电压的参考方向

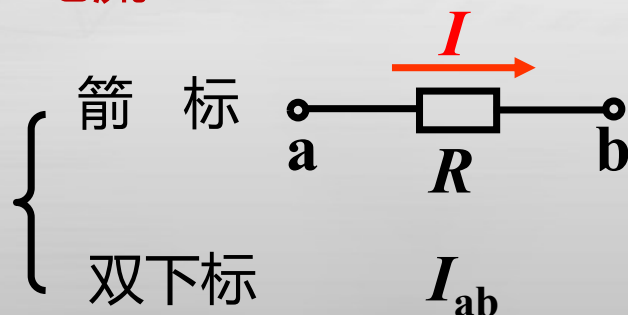
(1) 参考方向

在分析与计算电路时，对电量任意假定的方向。

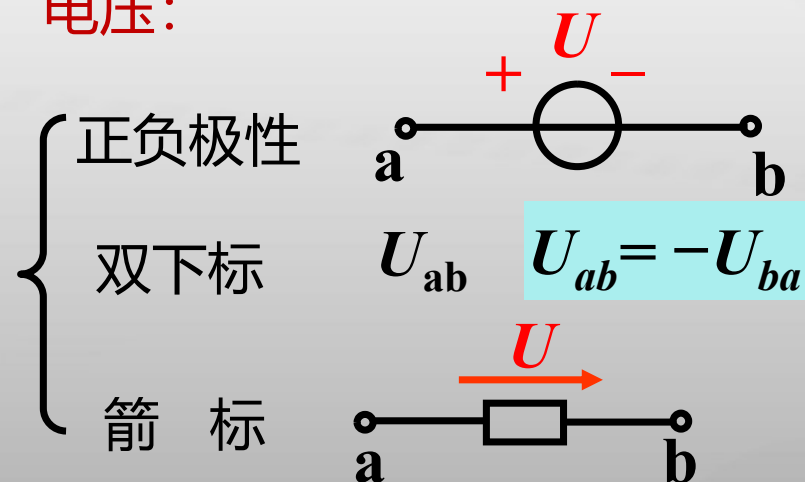


(2) 参考方向的表示方法

电流：



电压：



1.3 电压和电流的参考方向

3. 实际方向与参考方向的关系

1) 在解题前先设定一个正方向，作为参考方向，再列方程计算。

2) 根据计算结果确定实际方向：

若计算结果为正，则实际方向与参考方向一致；

若计算结果为负，则实际方向与参考方向相反。

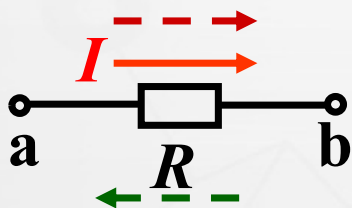
3) 实际方向是物理中规定的，而参考正方向则是在进行电路分析计算时，任意假设的。

注意：在参考方向选定后，电流(或电压)值才有正负之分。

1.3 电压和电流的参考方向

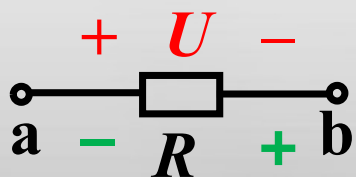
3. 实际方向与参考方向的关系

例：



若 $I = 5\text{A}$ ，则电流的实际方向 从 a 流向 b；

若 $I = -5\text{A}$ ，则电流的实际方向 从 b 流向 a。



若 $U = 5\text{V}$ ，则电压的实际方向为

a 端电位高，b 端电位低；

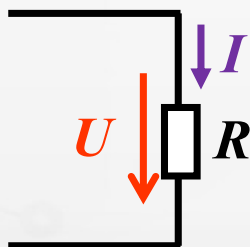
若 $U = -5\text{V}$ ，则电压的实际方向为

b 端电位高，a 端电位低。

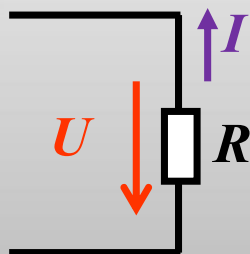
1.3 电压和电流的参考方向

4、关联方向

1) 若把 U 与 I 的参考方向按相同方向假设, 则称为关联方向



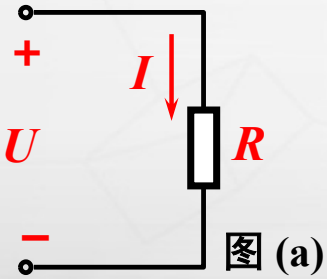
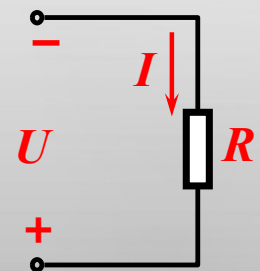
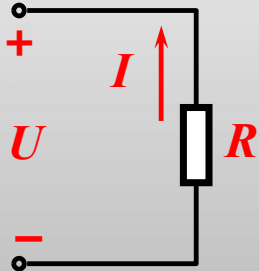
2) 若把 U 与 I 的参考方向按相反方向假设, 则称为非关联方向



1.3 电压和电流的参考方向

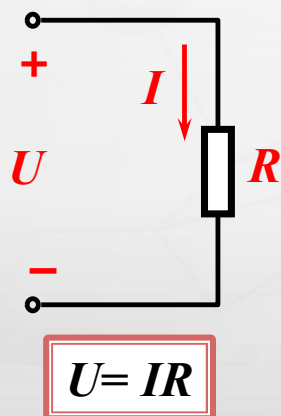
5、欧姆定律

欧姆定律：通过电阻的电流与电压成正比。

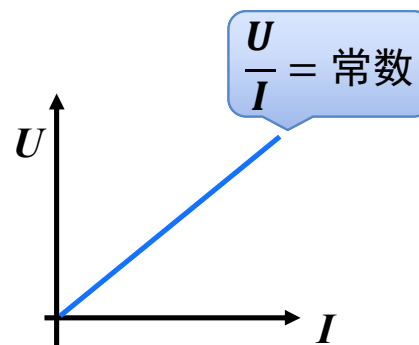
关联参考方向	 图 (a)	$U、I$ 参考方向相同	欧姆定理 $U = IR$	电阻消耗(吸收)的电功率: $P = UI$ $= I^2 R$
非关联参考方向	 图 (b) 或  图 (c)	$U、I$ 参 考方向相反	$U = -IR$	$P = -UI$ $= I^2 R$

1.3 电压和电流的参考方向

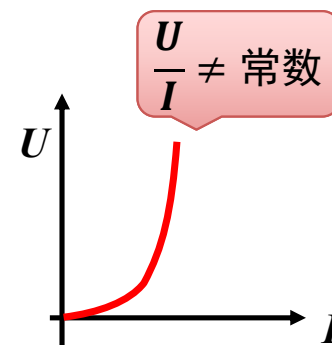
5、欧姆定律



伏安特性: U 、 I 的关系曲线



R 为线性电阻

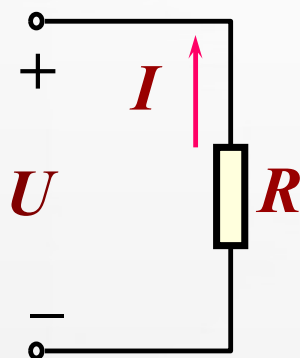


R 为非线性电阻

1.3 电压和电流的参考方向

5、欧姆定律

[例]



上图中若 $I = -2 \text{ A}$, $R = 3 \Omega$, 求 U ?

解: U 、 I 参考方向**相反** 所以: $U = -RI$

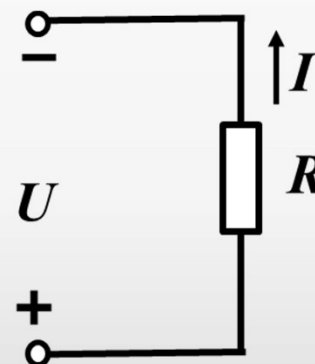
$$U = -3 \times (-2) = 6 \text{ V}$$

电压与电流参考方向相反

电流的参考方向与实际方向相反

1、在图示电路中，已知 $U = -8\text{ V}$ ，电流 $I = -2\text{ A}$ ，则电阻 R 的值为()。

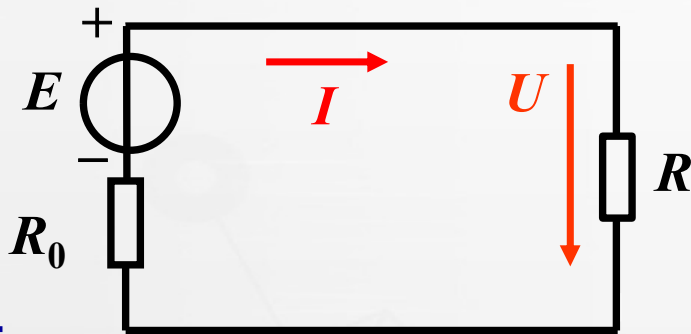
- ☒ A $4\ \Omega$
- ☐ B $-4\ \Omega$
- ☐ C $2\ \Omega$



提交

1.4 电源有载工作、开路与短路

1、电源有载工作状态



特征:

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

负载电流

$$U = E - IR_0$$

负载端电压

$$P = P_E - \Delta P$$

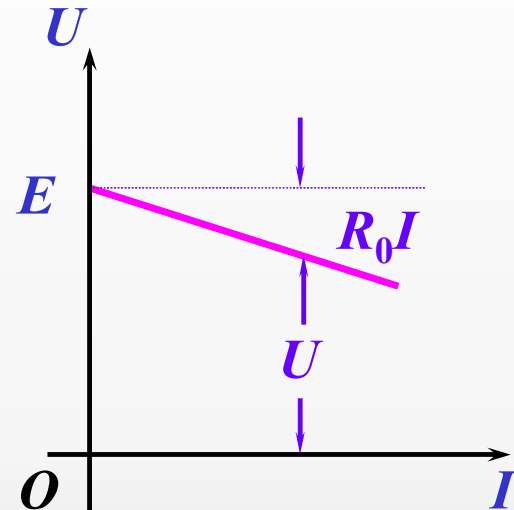
功率平衡方程

$$(UI = EI - I^2 R_0)$$

负载吸收
的功率

电动势产
生的功率

电源内部
消耗的功率



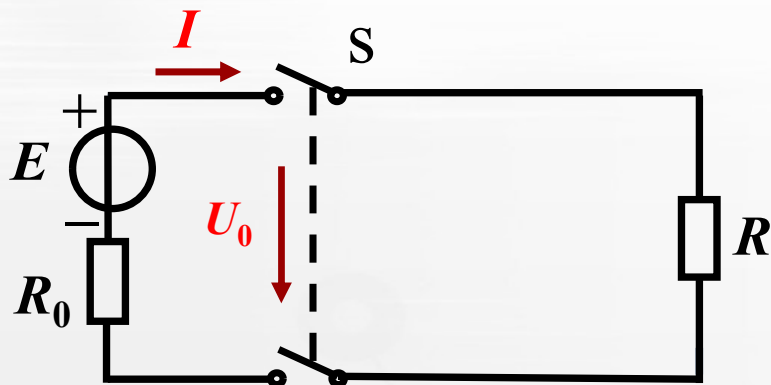
电源的外特性曲线

当 $R_0 \ll R$ 时, 则 $U \approx E$

说明电源带负载能力强

功率的单位: W

2. 开路状态



特征:

电流

$$I = 0$$

电源端电压

$$U = U_0 = E$$

(开路电压)
等于电动势

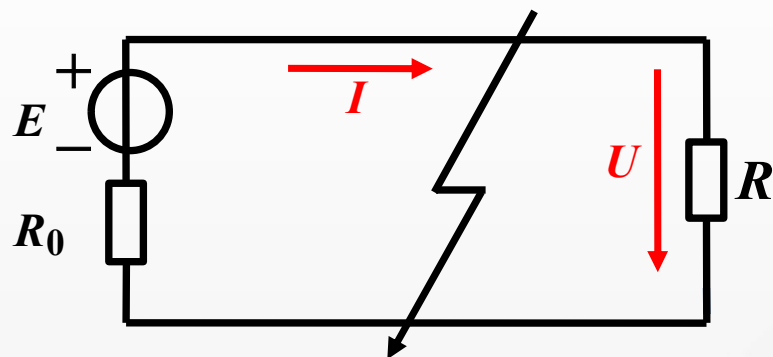
负载功率

$$P = 0$$

电源功率

$$P_E = 0$$

3. 短路状态



特征:

电流

$$I = I_S = \frac{E}{R_0} \quad \text{短路电流}$$

电源端电压

$$U = 0$$

负载功率

$$P = 0$$

电源功率

$$P_E = I_S^2 R_0$$

内阻的一种求法: $R_0 = E / I_S = U_0 / I_S$

开路电压除短路电流

1.4 电源有载工作、开路与短路

• 4. 电源与负载的判别

1). 根据电压、电流的**实际方向**判别, 若

U 和 I 的实际方向**相反**, 则是**电源**, **发出功率**;

U 和 I 的实际方向**相同**, 则是**负载**, **取用功率**。

2). 根据 U 、 I 的**参考方向**判别:

U 、 I 参考方向相同, $P = \begin{cases} UI > 0, & \text{负载 (消耗功率)} \\ UI < 0, & \text{电源 (提供功率)} \end{cases}$

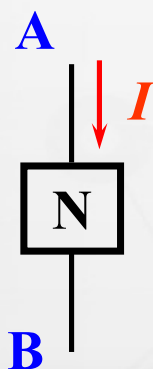
U 、 I 参考方向不同, $P = \begin{cases} -UI > 0, & \text{负载 (消耗功率)} \\ -UI < 0, & \text{电源 (提供功率)} \end{cases}$

常用方法

1.4 电源有载工作、开路与短路

• 4. 电源与负载的判别

[例]



已知：图中 $U_{AB} = 3 \text{ V}$, $I = -2 \text{ A}$

求：N 的功率，并说明它是电源还是负载。

[解] 电压、电流的参考方向相同

$$\text{所以： } P = UI = (-2) \times 3 = -6 \text{ W}$$

P 为负值，所以 N 发出功率，是电源，提供的功率是 6W。



想一想，若根据电压电流的实际方向应如何分析？

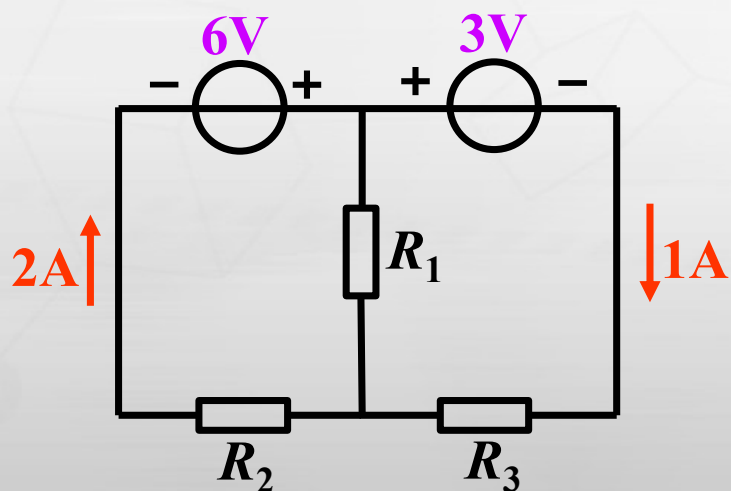
1.4 电源有载工作、开路与短路

• 5. 电路中的功率平衡

在一个电路中，电源产生的功率和负载消耗的功率是平衡的

$$\text{即： } P_{\text{电源}} = P_{\text{负载}}$$

[例] 求下图所示电路中，三个电阻消耗的功率



[解] 6V电压源的功率：
 $P = -UI = -2 \times 6 = -12 \text{ W} < 0$; 电源

6V电压源提供的功率是12W

3V电压源的功率：
 $P = UI = 3 \times 1 = 3 \text{ W} > 0$; 负载

3V电压源消耗功率是3W

根据功率平衡，三个电阻消耗的功率是9W

1.4 电源有载工作、开路与短路

6. 额定值: - - 电器设备的安全使用值

额定电压 U_N

额定电流 I_N

额定功率 P_N

如一个灯泡额定值为: $U_N = 220V$ $P_N = 60W$

$$\because P_N = U_N I_N$$

$$\therefore I_N = \frac{P_N}{U_N} = 0.27A$$

实际值: - 电器设备实际运行时的电压、电流和功率值

电器设备的三种运行状态			
欠载 (轻载) :	$I < I_N$	$P < P_N$	(不经济)
过载 (超载) :	$I > I_N$	$P > P_N$	(设备易损坏)
额定工作状态:	$I = I_N$	$P = P_N$	(经济安全可靠)

1.5 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)。它反映了电路中所有支路电压和电流所遵循的基本规律，是分析电路的基本定律。基尔霍夫定律与元件特性构成了电路分析的基础。

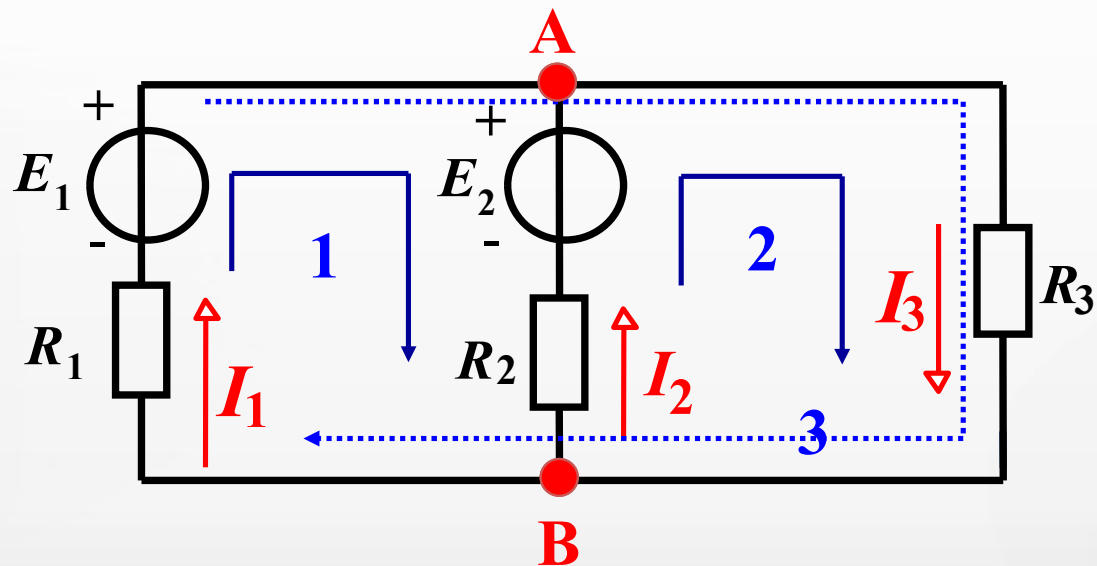
1.5 基尔霍夫定律

术语

支路： 电路中的每一个分支。
(流同一电流)

节点： 三条或三条以上支路的
联结点 **A B**

回路： 由支路组成的闭合路径



回路绕行方向： 人为规定的回路的绕向

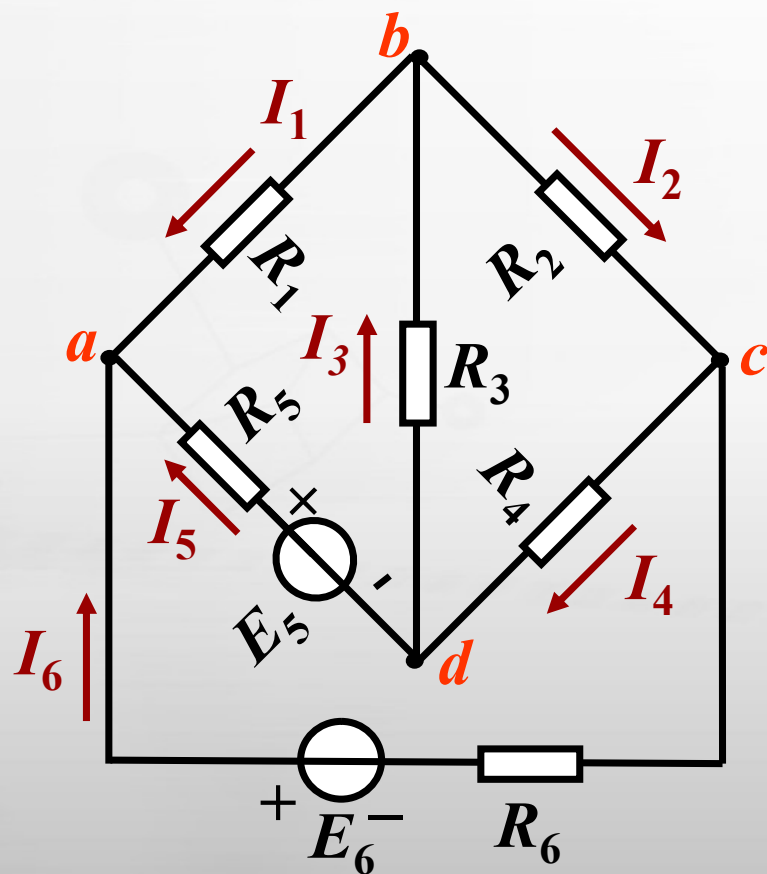
独立回路及选取方法： 至少有一条其他回路没有包含的支路。

网孔： 内部不含支路的回路。

网孔是回路的一个子集，网孔选定的回路都是独立的。

1.5 基尔霍夫定律

术语举例：



支路： 6条

节点： 4个

回路： 7条

网孔： 3个

1.5.1 基尔霍夫电流定律（第一定律）（KCL）

1. KCL定律：

在任一瞬间，流向任一节点的电流等于流出该节点的电流。

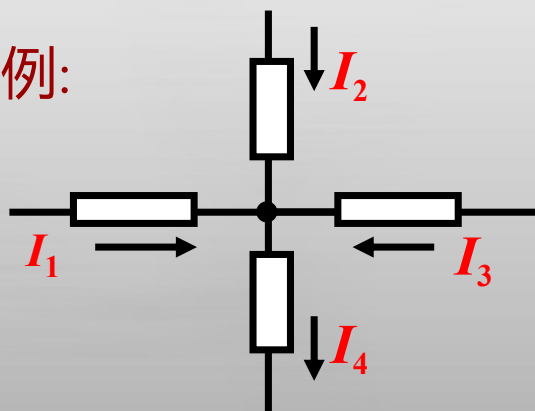
(原理：节点上不能存储电荷 - - 电流的连续性)

$$\text{即： } \sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

或：在任一瞬间，任一节点的电流代数和恒等于零。

即： $\sum I = 0$ (流入节点取正号，流出如节点取负号)

举例：



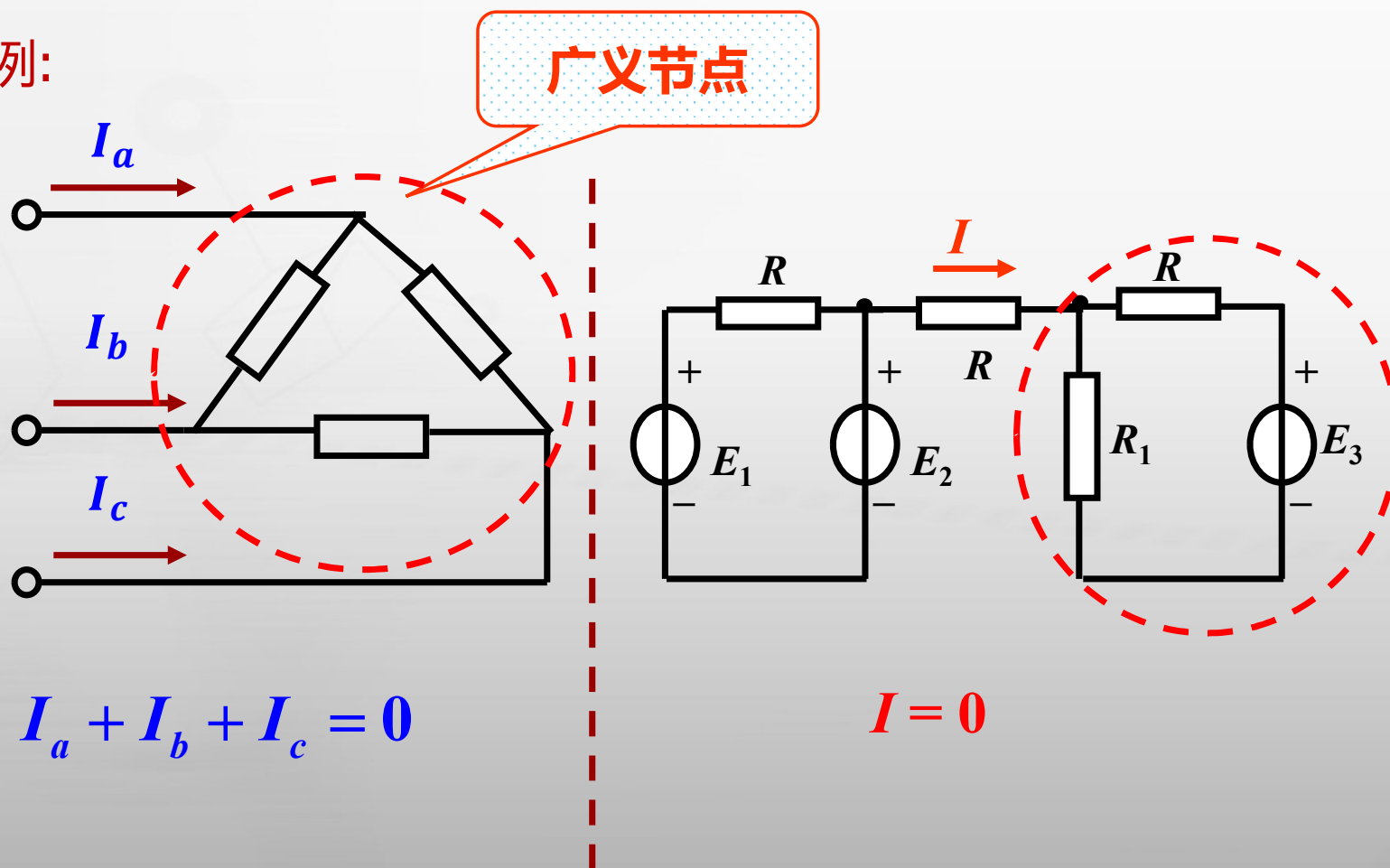
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4$$

$$\text{或： } I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

2. KCL的推广

电流定律可以扩展到电路的任意封闭面（**广义节点**）。

例:



1.5 基尔霍夫定律

1.5.2 基尔霍夫电压定律（第二定律）（KVL）

1、KVL定理

基尔霍夫电压定律用来确定回路中各段电压之间的关系。

由于电路中任意一点的瞬时电位具有单值性，故有

在任一瞬间，沿任一回路绕行方向(顺时针或逆时针)，
回路中各段电压的代数和恒等于零。

$$\text{即 } \sum U = 0$$

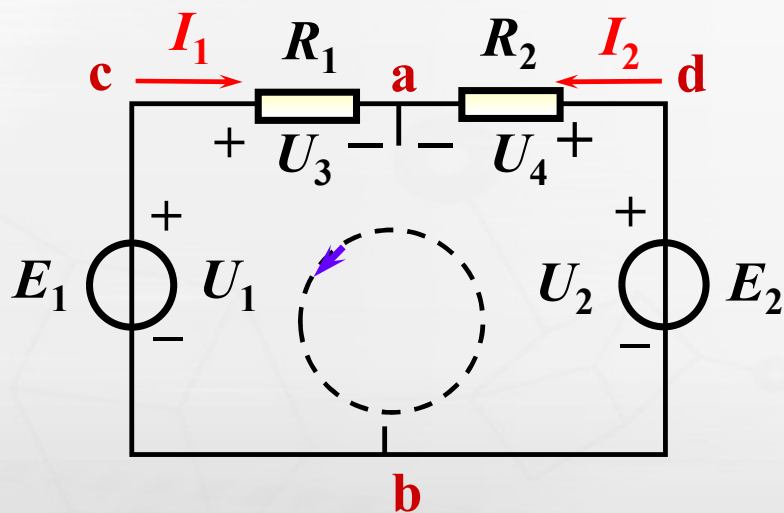
U 符号规定:

当 U 方向与回路方向一致时取“+”号,相反时取“-”号

$$\text{或 } \sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$$

1.5 基尔霍夫定律

1.5.2 基尔霍夫电压定律（第二定律）（KVL）



左图中，各电压参考方向均已标出，沿虚线所示循行方向，列出回路 **c b d a c** **KVL** 方程式。

根据电压参考方向，回路 **c b d a c**

KVL 方程式为

$$U_1 - U_2 + U_4 - U_3 = 0$$

或 $\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$

$$U_2 + U_3 = U_1 + U_4$$

$$E_2 + I_1 R_1 = E_1 + I_2 R_2$$

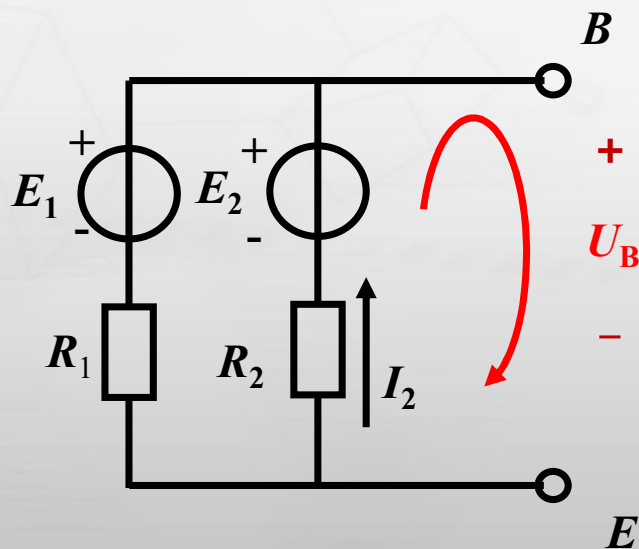
$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2$$

1.5 基尔霍夫定律

1.5.2 基尔霍夫电压定律（第二定律）（KVL）

2、KVL推广

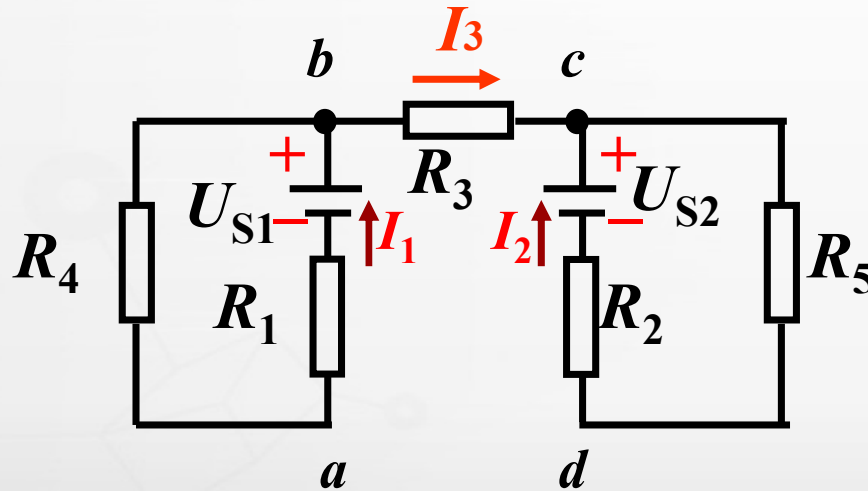
- 开口电压可构成假想回路，满足KVL



$$E_2 = U_{BE} + I_2 R_2$$

2、KVL推广

- 开口电压可构成假想回路，满足KVL



- 任一闭合节点序列，前后结点之间的电压可构成假想回路，满足KVL。

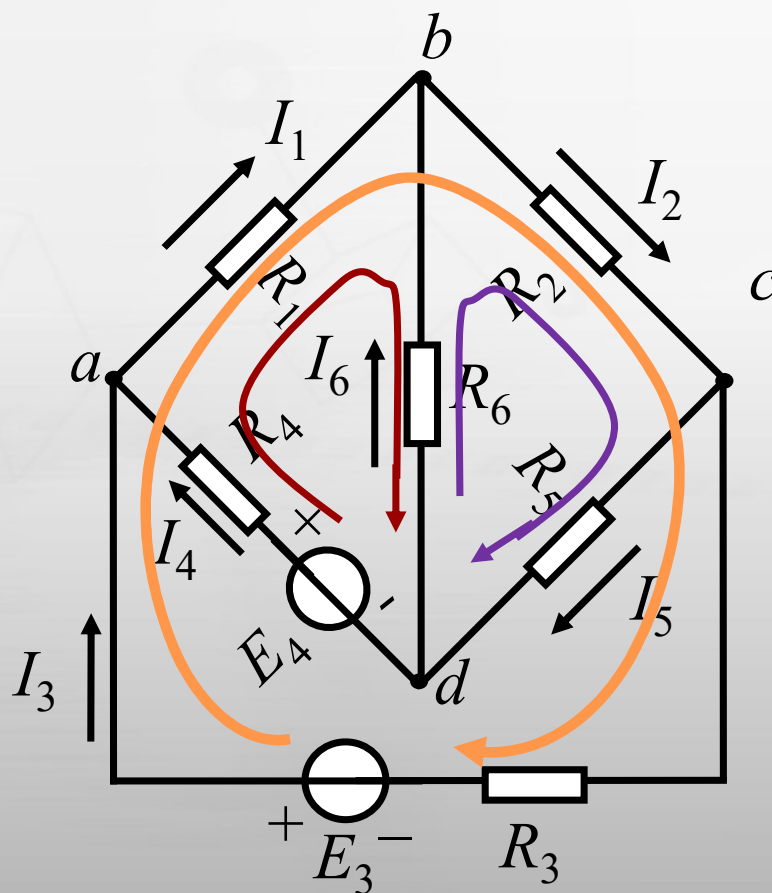
例：a、b、c、d 四个节点，假想为一个回路。

$$\text{则： } U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = 0$$

1.5 基尔霍夫定律

1.5.2 基尔霍夫电压定律（第二定律）（KVL）

3、KVL举例：



回路1：

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_3$$

回路2：

$$I_4 R_4 + I_1 R_1 - I_6 R_6 = E_4$$

回路3：

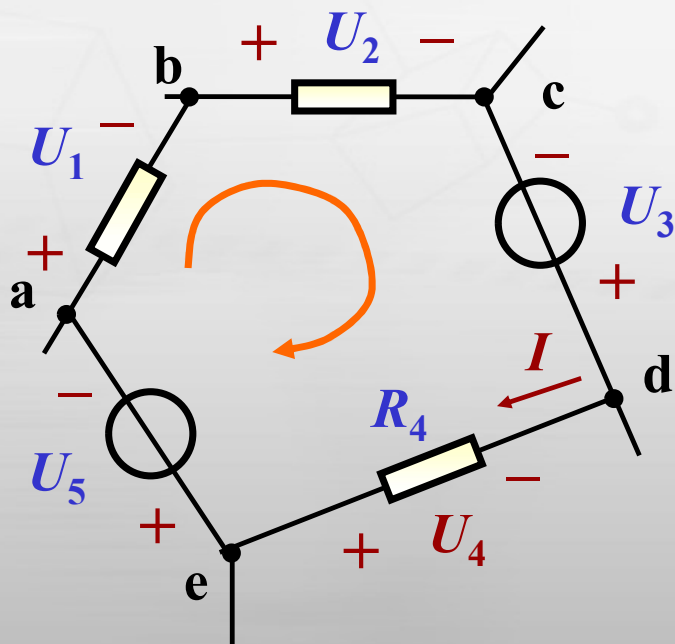
$$I_2 R_2 + I_5 R_5 + I_6 R_6 = 0$$

[illegible]
$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$
$$\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$$

基尔霍夫定律
具有普适性，
除直流外，也
适用于变化的
电压和电流。

[例] 图中若 $U_1 = -2\text{ V}$, $U_2 = 8\text{ V}$, $U_3 = 5\text{ V}$, $U_5 = -3\text{ V}$, $R_4 = 2\ \Omega$, 求电阻 R_4 两端的电压及流过它的电流。

[解] 设电阻 R_4 两端电压的极性及流过它的电流 I 的参考方向如图所示。



沿顺时针方向列写回路的 KVL 方程式, 有

$$U_1 + U_2 - U_3 - U_4 + U_5 = 0$$

代入数据, 有

$$(-2) + 8 - 5 - U_4 + (-3) = 0$$

$$U_4 = -2\text{ V}$$

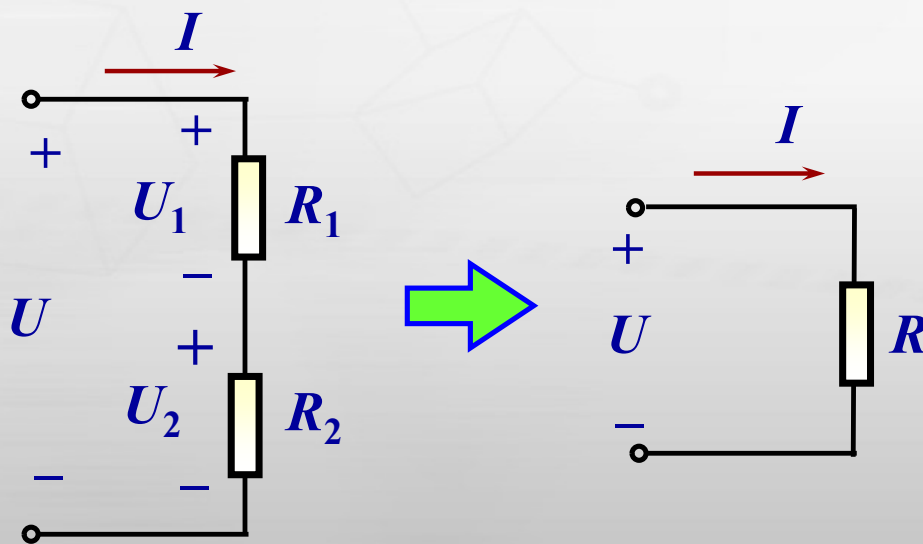
$$U_4 = -IR_4$$

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

1.6 电阻的串联和并联

1. 电阻的串联

电路中两个或更多个电阻一个接一个地顺序相连，并且在这些电阻中通过同一电流，则这样的连接方法称为电阻的串联。



等效电阻

$$R = R_1 + R_2$$

分压公式

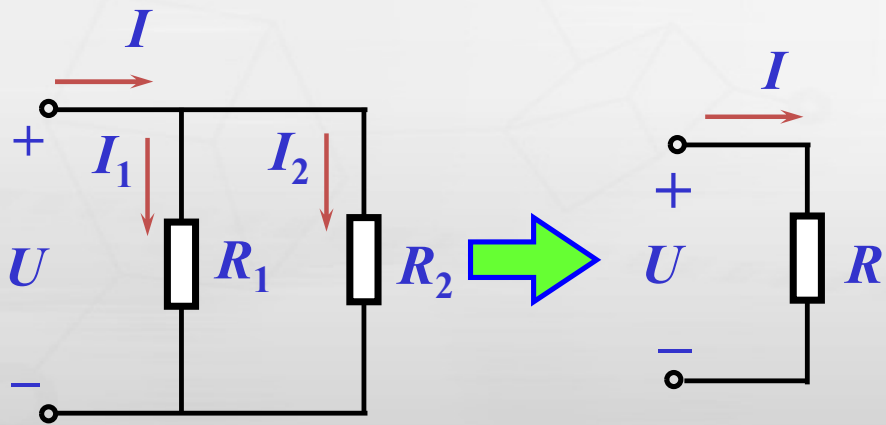
$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

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

1.6 电阻的串联和并联

2. 电阻的并联

电路中两个或更多个电阻连接在两个公共的结点之间，则这样的连接法称为电阻的并联。在各个并联支路(电阻)上受到同一电压。



等效电阻

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

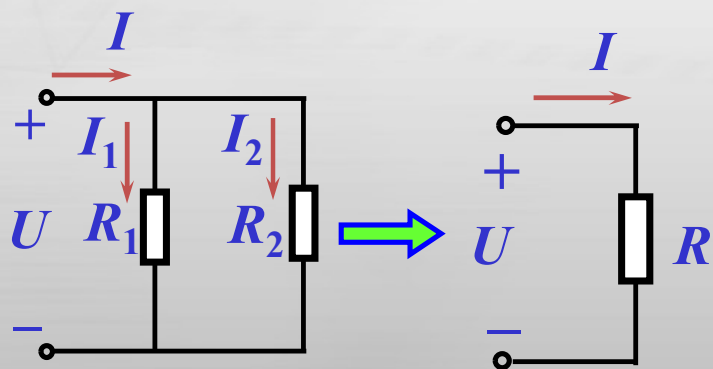
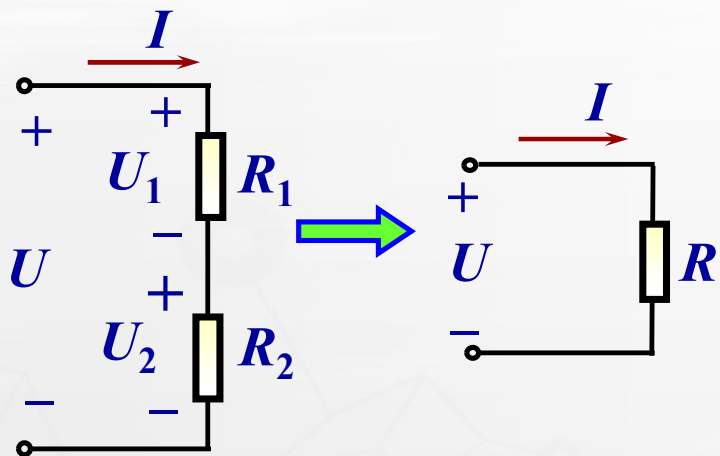
$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

分流公式

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

1.6 电阻的串联和并联



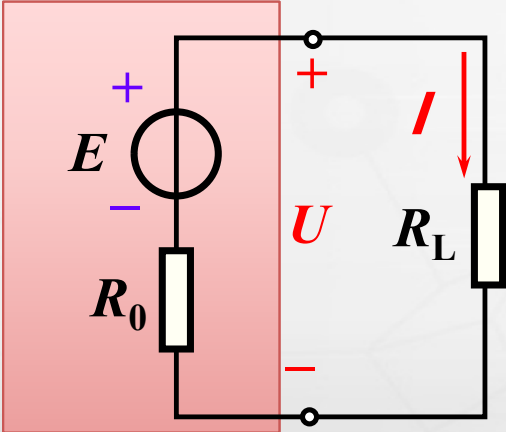
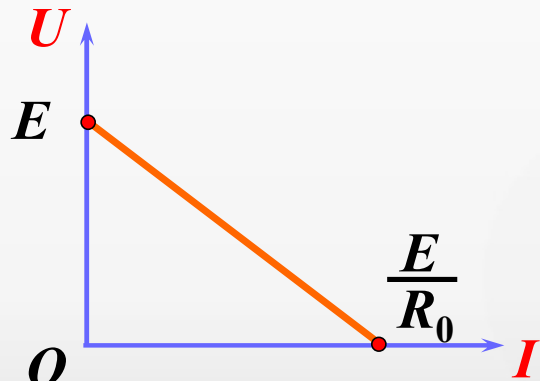
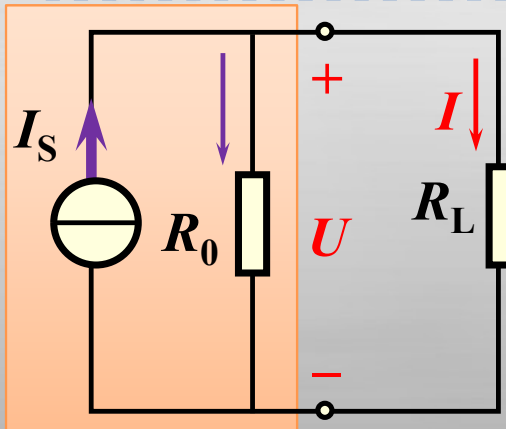
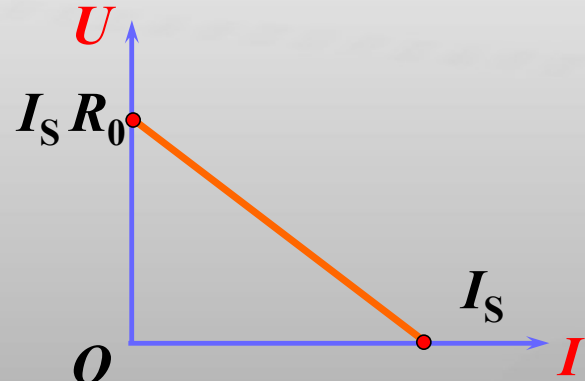
注意:

对于相同的电源电压电流越大负载越大

- 电阻串联, 电阻增大, 负载减小
- 电阻并联, 电阻减小, 负载增大

电源的两种模型

电源可以用两种模型来表示，电压源/电流源。

模 型	特性方程	外特性曲线
<p>电压源</p> 	$U = E - IR_0$	
<p>电流源</p> 	$U = (I_S - I)R_0$ $U = I_S R_0 - IR_0$	

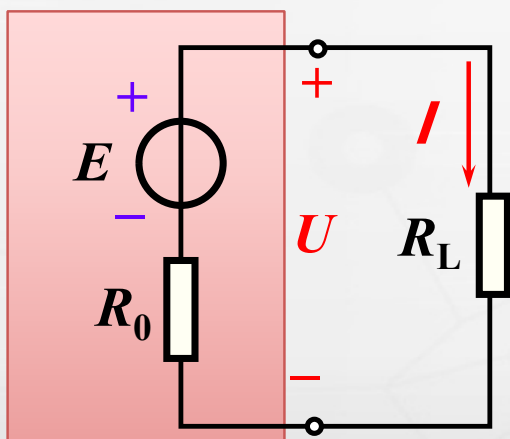
电源的两种模型

模 型

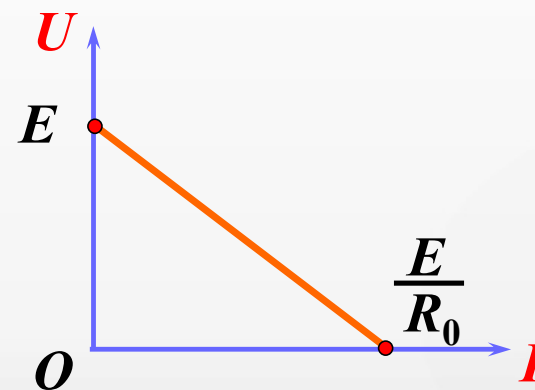
特性方程

外特性曲线

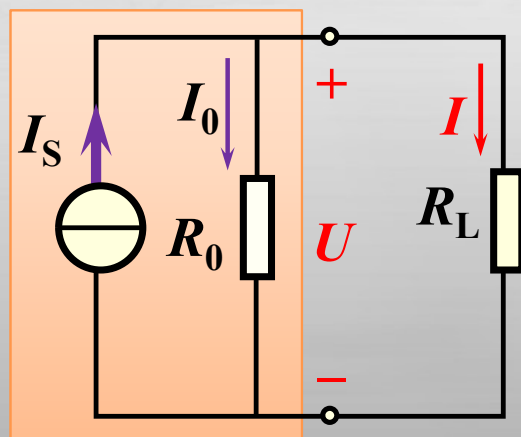
电压源



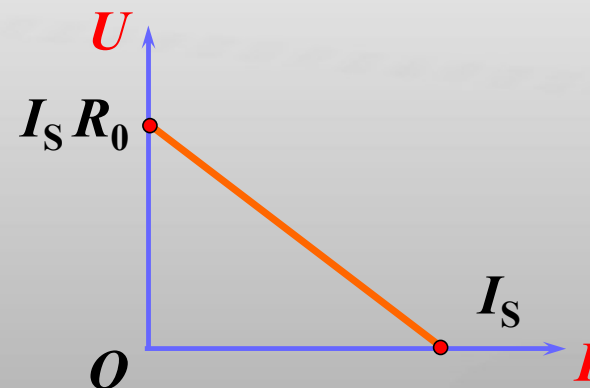
$$R_0 = 0$$



电流源

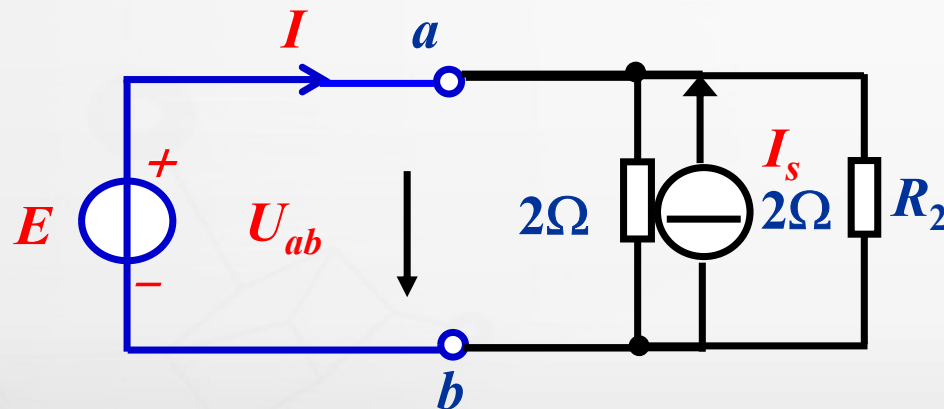


$$R_0 = \infty$$



理想电压源特征：电压恒定，电流随负载变化。

例：设： $E=10\text{V}$ ，求外电路改变时的电流 I 和电压 U_{ab} 。



当 R_1 接入时：

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

当 R_1 R_2 同时接入时：

$$I=10\text{A}$$

当 $I_s=1\text{A}$ 的电流源接入时：

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

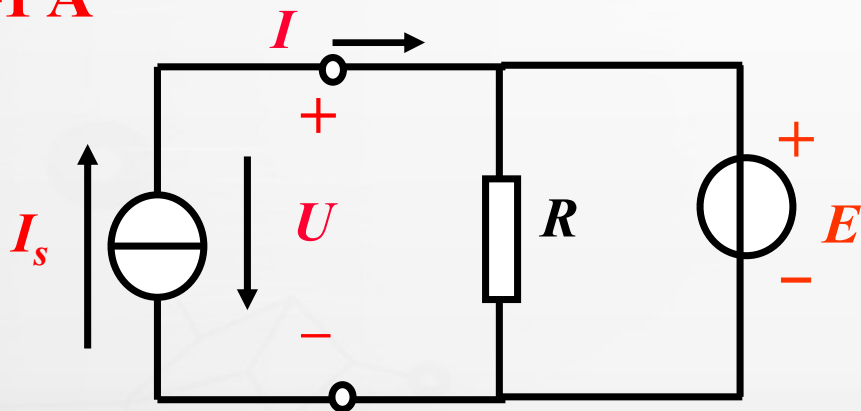
电压

$$U_{ab} \equiv E$$

不变

理想电流源特征： 电流恒定，电压随负载变化。

例： 设： $I_s=1\text{ A}$



当 $R=1\ \Omega$ 时, $U=1\text{ V}$

$R=10\ \Omega$ 时, $U=10\text{ V}$

当又有 $E=5\text{ V}$ 的电压源接入时, $U=E=5\text{ V}$

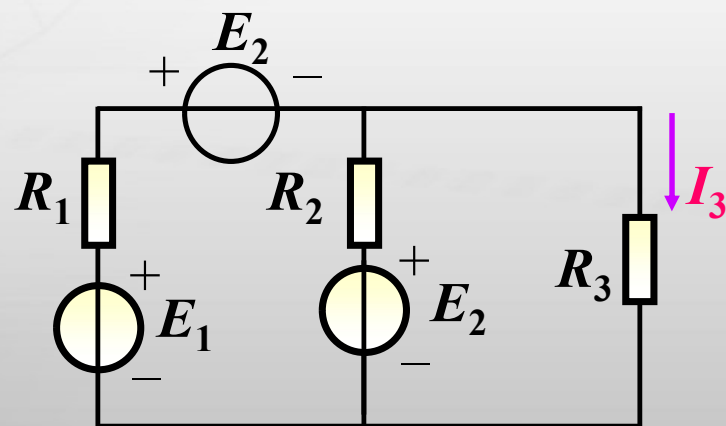
电流

$I=I_s$

不变

复杂电路求法

复杂电路:不能用电阻串并联等效化简的电路。



复杂电路求法

复杂电路求法：

电压源电流源互换

支路电流法

结点电压法

叠加原理

戴维宁定理/诺顿定理

1.7 支路电流法

支路电流法是以支路电流(电压)为求解对象,应用 KCL 和 KVL 分别对结点和回路列出所需方程组,而后解出各支路电流(电压)。它是计算复杂电路最基本的方法。

支路电流法的解题步骤 (b 条支路, n 个节点) :

1. 在图中标出各支路电流的参考方向,对选定的回路标出回路循行方向(绕行方向)。
2. 应用 KCL 对结点列出 $(n - 1)$ 个独立的结点电流方程。
3. 应用 KVL 对回路列出 $b - (n - 1)$ 个独立的回路电压方程(通常可取网孔列出)。
4. 联立求解 b 个方程,求出各支路电流。

1.7 支路电流法

求解步骤:

①确定支路数 b , 假定各支路电流的参考方向

②应用 KCL列 $(n-1)$ 结点电流方程

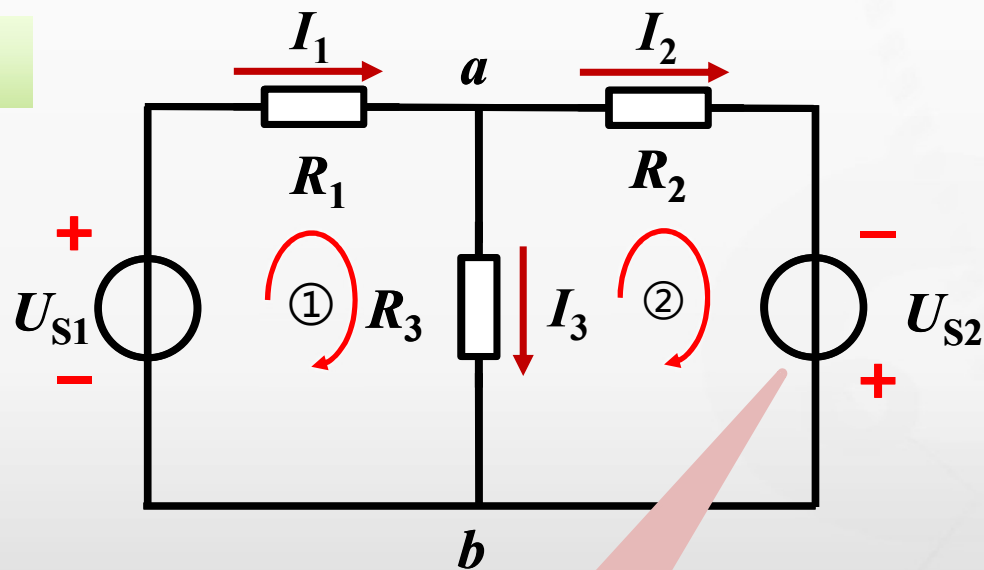
对结点 a : $I_1 - I_2 - I_3 = 0$

③指明回路绕行方向, 应用 KVL 列出余下的 $b - (n - 1)$ 方程

① $I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_{S1} = 0$

② $I_1 R_1 - U_{S2} - I_3 R_3 = 0$

④解方程组, 求出各支路电流



若将 U_{S2} 换成电流源, 如何列方程更方便?

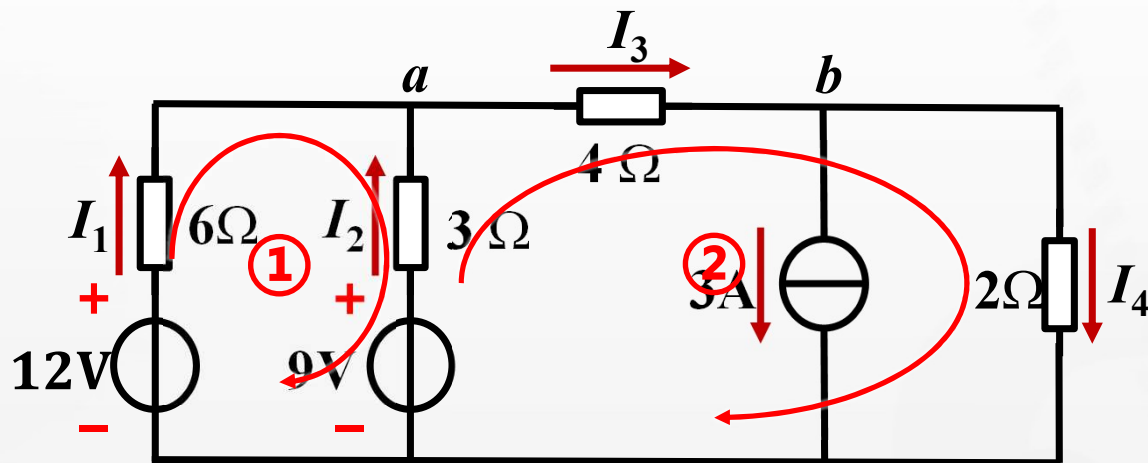
1.7 支路电流法

确定支路数 并假定各支路电流的参考方向

5条支路
6个回路
3个结点

对结点 a : $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ (1)

对结点 b : $I_3 - I_4 - 3 = 0$ (2)



选择回路并确定绕行方向

回路① $6I_1 - 3I_2 + 9 - 12 = 0$ (3)

回路② $4I_3 + 2I_4 - 9 + 3I_2 = 0$ (4)

避开电流源
所在回路

解得:

$$I_1 = 1A$$

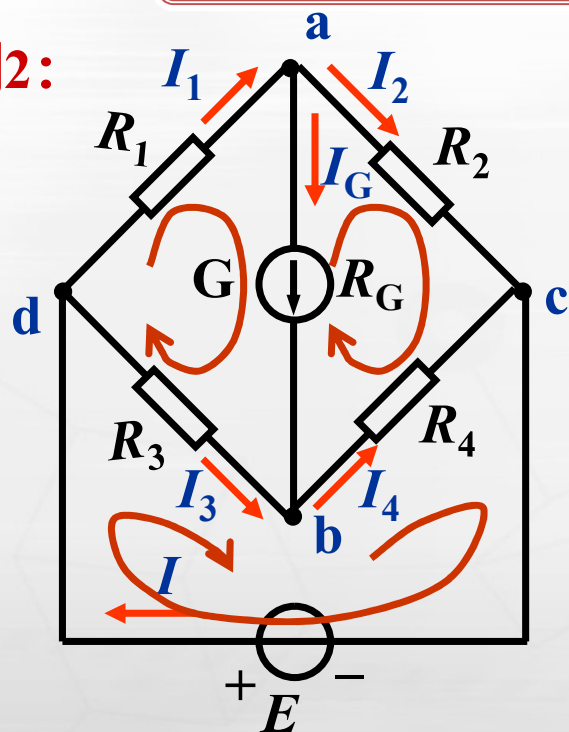
$$I_2 = 1A$$

$$I_3 = 2A$$

$$I_4 = -1A$$

1.7 支路电流法

例2:



试求检流计中的电流 I_G 。

因支路数 $b=6$,
所以要列6个方程。

(1) 应用KCL列 $(n-1)$ 个结点电流方程

对结点 **a**: $I_1 - I_2 - I_G = 0$

对结点 **b**: $I_3 - I_4 + I_G = 0$

对结点 **c**: $I_2 + I_4 - I = 0$

(2) 应用KVL选网孔列回路电压方程

对网孔 **abda**: $I_G R_G - I_3 R_3 + I_1 R_1 = 0$

对网孔 **acba**: $I_2 R_2 - I_4 R_4 - I_G R_G = 0$

对网孔 **bcdcb**: $I_4 R_4 + I_3 R_3 = E$

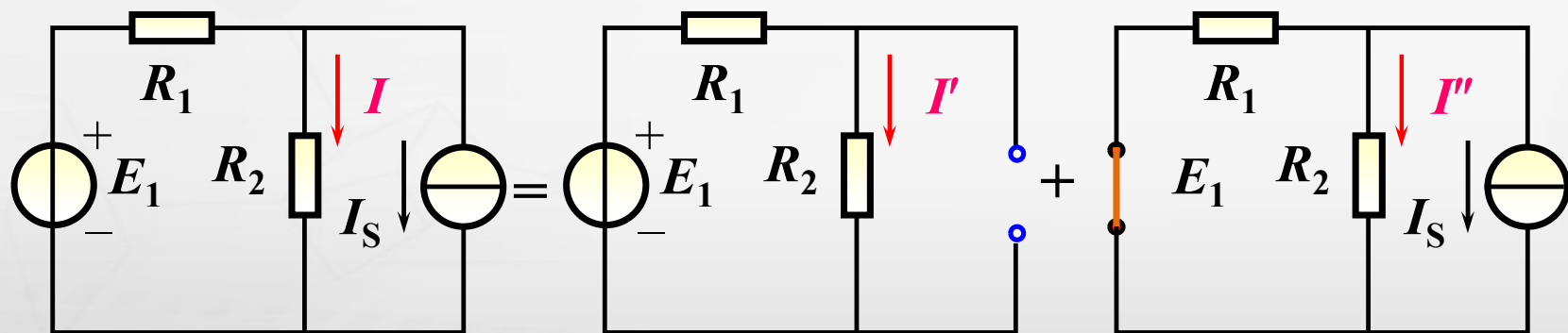
(3) 联立解出 I_G

支路电流法是电路分析中最基本的方法之一，但当支路数较多时，所需方程的个数较多，求解不方便。

1.8 叠加定理

在**线性**电路:

多个**电源共同作用**结果 (电压/电流) = 每个**电源单独作用**结果的**代数和**。



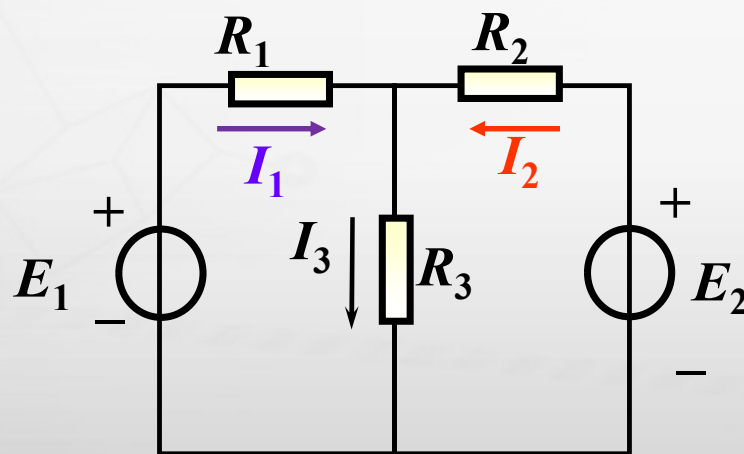
$$I = I' + I''$$

当**电压源**不作用时应视其**短路**，而**电流源**不作用时则应视其**开路**。

计算功率时**不能**应用叠加定理。为什么？

1.8 叠加定理

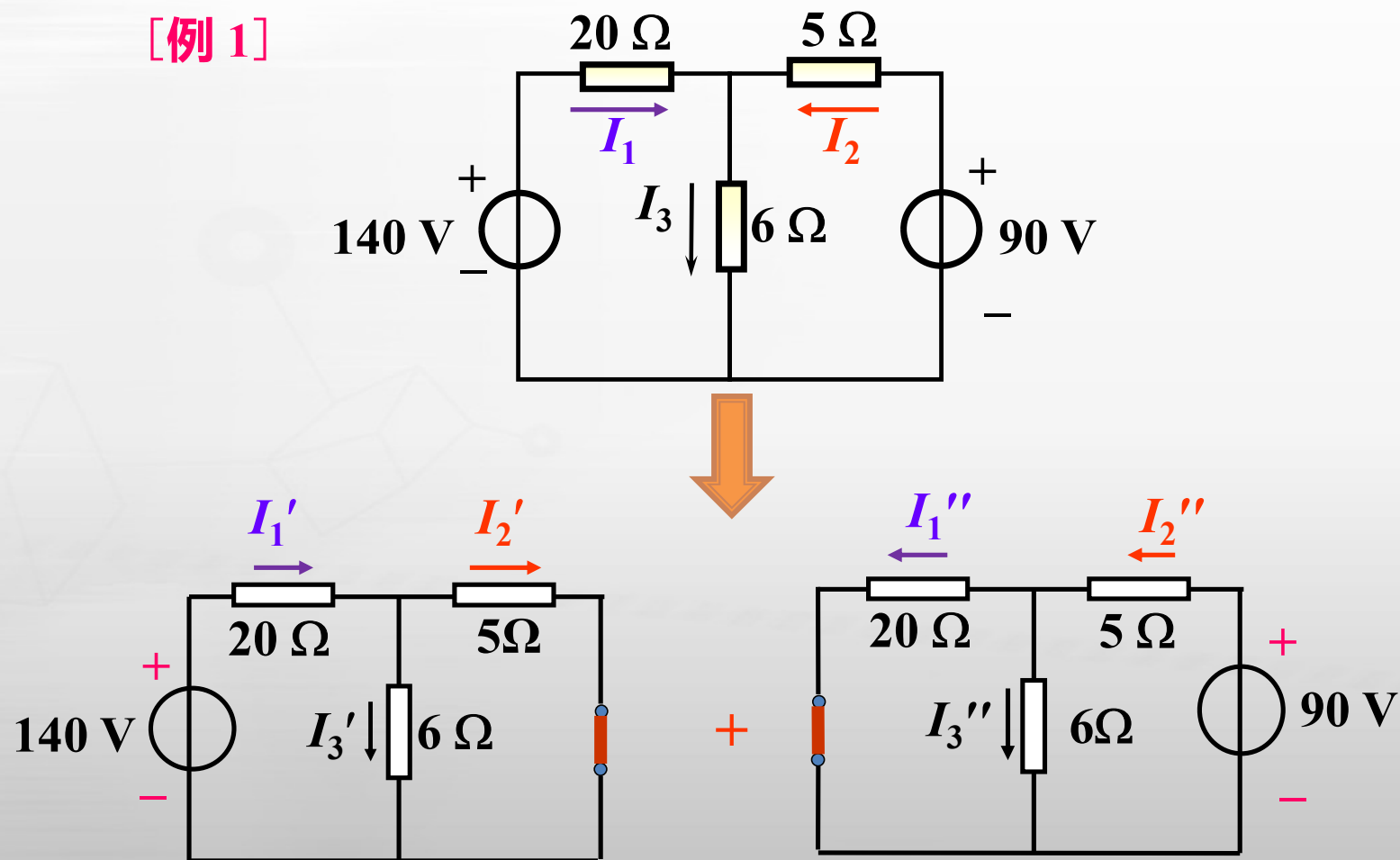
[例 1] 用叠加定理计算下图中的各个电流。其中 $E_1 = 140\text{V}$, $E_2 = 90\text{V}$, $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 6\Omega$ 。



[解] 把原图拆分成由 140V 和 90V 电压源单独作用两个电路。

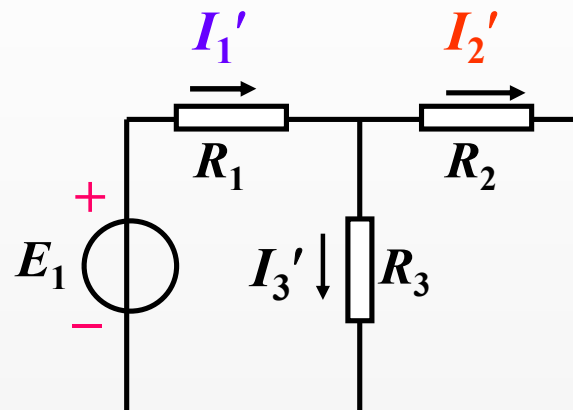
1.8 叠加定理

[例 1]



1.8 叠加定理

(1) 计算140V电压源单独作用下各电流



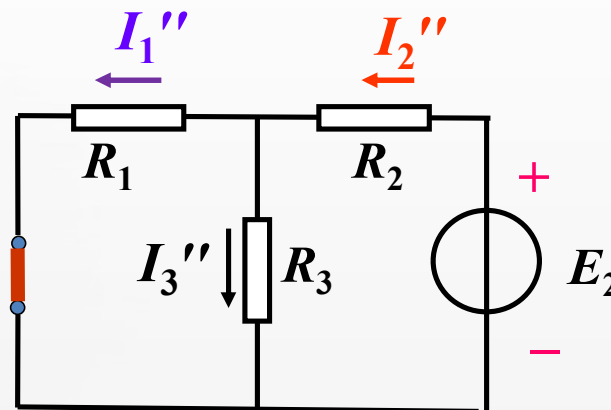
$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{140}{20 + \frac{5 \times 6}{5 + 6}} \text{ A} = 6.16 \text{ A}$$

$$I_2' = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I_1' = \frac{6}{5 + 6} \times 6.16 \text{ A} = 3.36 \text{ A}$$

$$I_3' = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I_1' = \frac{5}{5 + 6} \times 6.16 \text{ A} = 2.80 \text{ A}$$

1.8 叠加定理

(2) 计算90V电压源单独作用下各电流

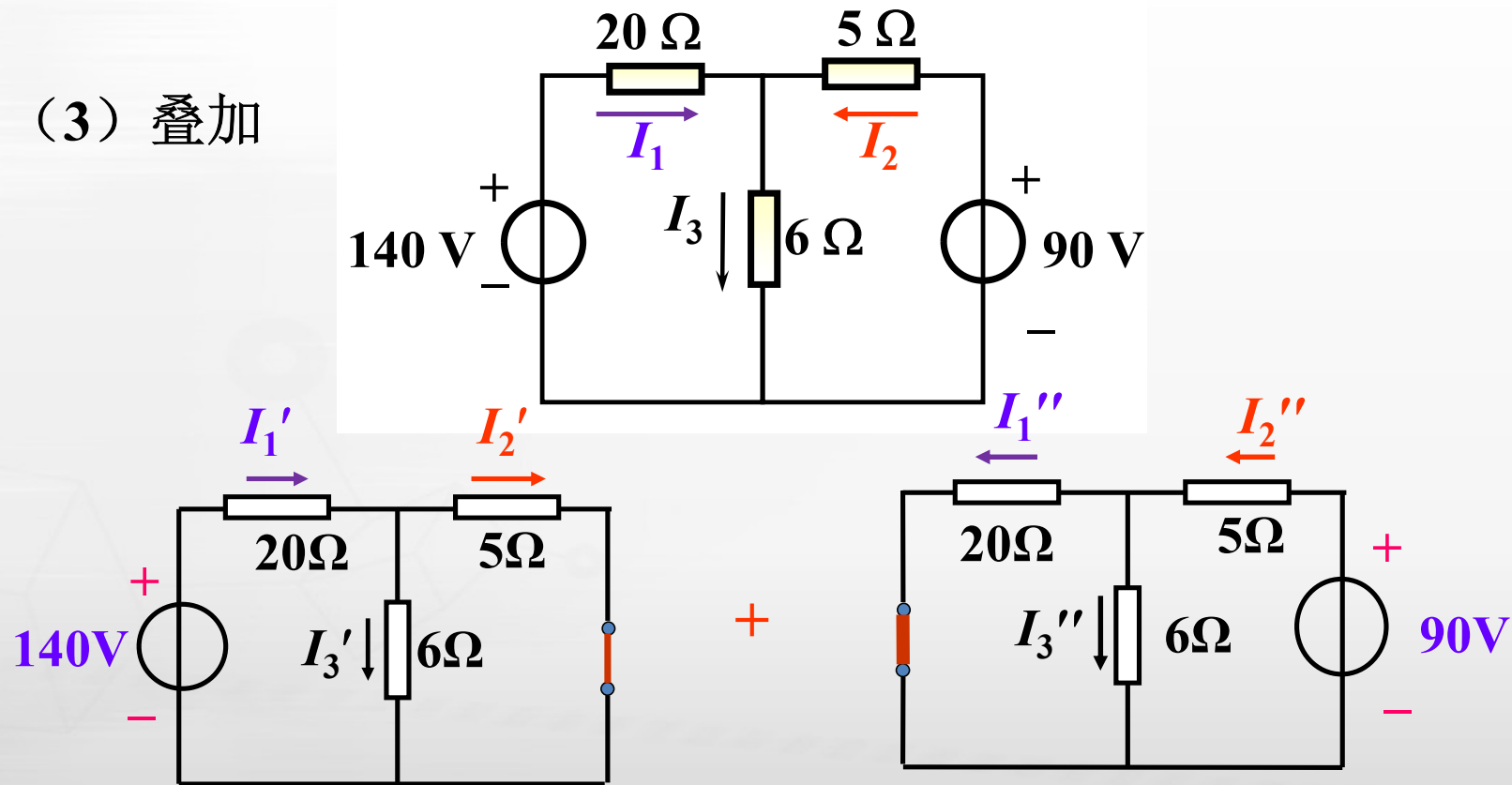


$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{90}{5 + \frac{20 \times 6}{20 + 6}} \text{ A} = 9.36 \text{ A}$$

$$I_1'' = \frac{R_3}{R_1 + R_3} I_2'' = \frac{6}{20 + 6} \times 9.36 \text{ A} = 2.16 \text{ A}$$

$$I_3'' = \frac{R_1}{R_1 + R_3} I_2'' = \frac{20}{20 + 6} \times 9.36 \text{ A} = 7.21 \text{ A}$$

(3) 叠加



所以

$$I_1 = I_1' - I_1'' = (6.16 - 2.16) \text{ A} = 4.0 \text{ A}$$

$$I_2 = I_2'' - I_2' = (9.36 - 3.36) \text{ A} = 6.0 \text{ A}$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = (2.80 + 7.20) \text{ A} = 10.0 \text{ A}$$

1.8 叠加定理

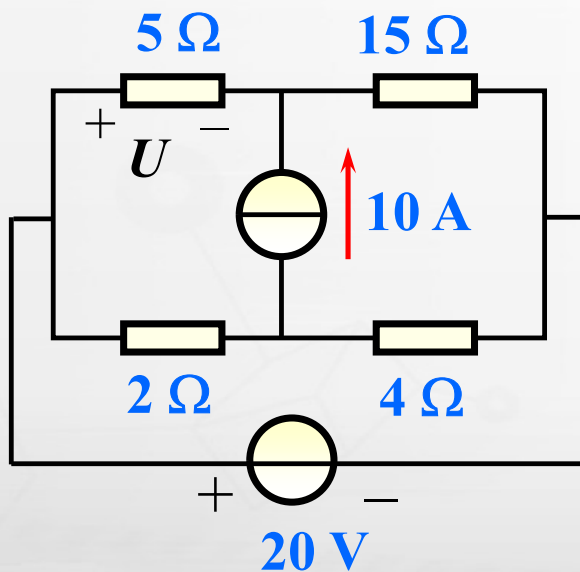
注意事项:

- ① 叠加原理只适用于线性电路。
- ② 线性电路的电流或电压均可用叠加原理计算，
但功率 P 不能用叠加原理计算。例：

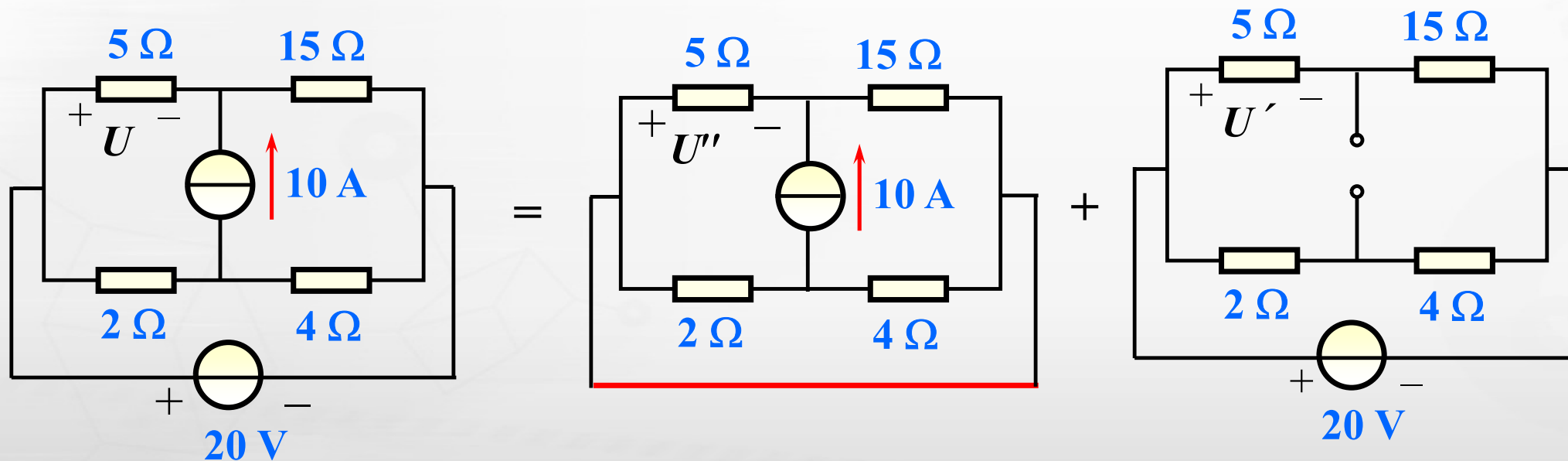
$$P_1 = I_1^2 R_1 = (I_1' + I_1'')^2 R_1 \neq I_1'^2 R_1 + I_1''^2 R_1$$

- ③ 除去电源作用（除源）的处理：
除去电压源： $E = 0$ ，即将 E 短路；
除去电流源： $I_s = 0$ ，即将 I_s 开路。
- ④ 解题时要标明各支路电流、电压的参考方向。
若分电流、分电压与原电路中电流、电压的参考方向相反时，叠加时相应项前要带负号。

[例] 求图示电路中 $5\ \Omega$ 电阻的电压 U 及功率 P 。



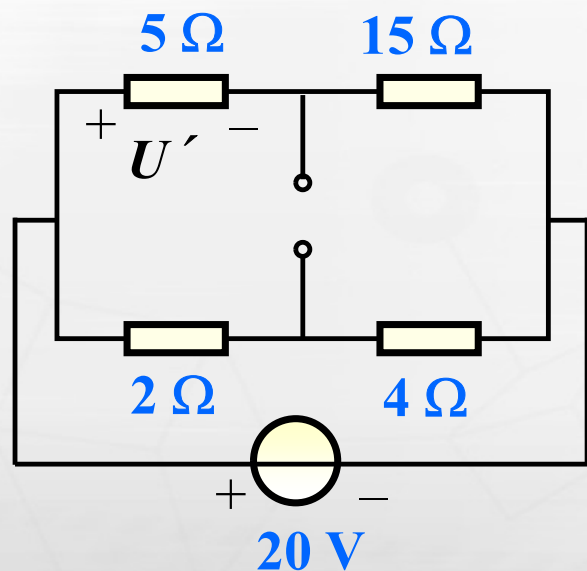
[例] 求图示电路中 $5\ \Omega$ 电阻的电压 U 及功率 P 。



电流源单独作用

电压源单独作用

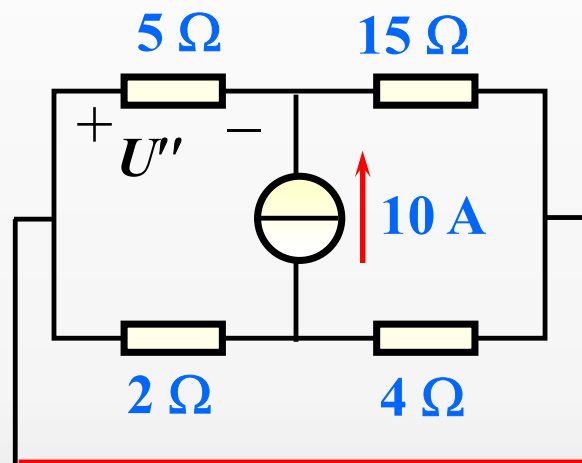
[例] 求图示电路中 $5\ \Omega$ 电阻的电压 U 及功率 P 。



电压
源单
独作
用

[解] ① 计算 20 V 电压源单独作用在 $5\ \Omega$ 电阻上所产生的电压 U' 。

$$U' = 20 \times \frac{5}{5 + 15} = 5\text{ V}$$

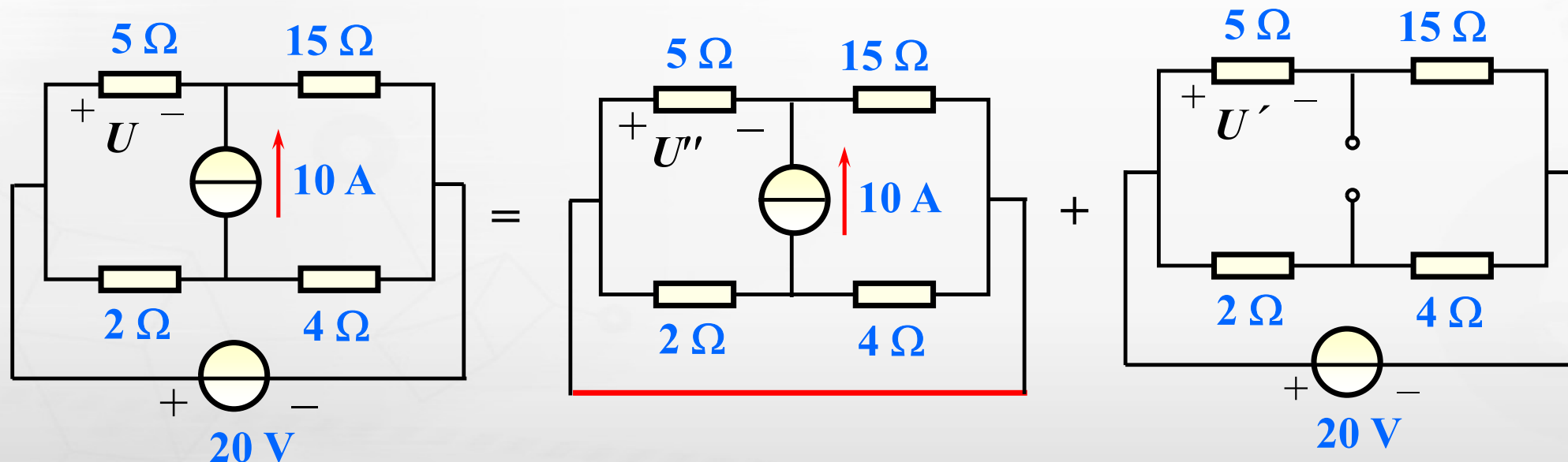


电流
源单
独作
用

② 计算 10 A 电流源单独作用在 $5\ \Omega$ 电阻上所产生的电压 U'' 。

$$U'' = -10 \times \frac{15}{5 + 15} \times 5 = -37.5\text{ V}$$

[例] 求图示电路中 $5\ \Omega$ 电阻的电压 U 及功率 P 。



③根据叠加原理， $5\ \Omega$ 电阻上所产生的电压为

$$U = U' + U'' = 5 - 37.5 = -32.5\ \text{V}$$

$5\ \Omega$ 电阻的功率为

$$P = \frac{(-32.5)^2}{5}\ \text{W} = 211.25\ \text{W}$$

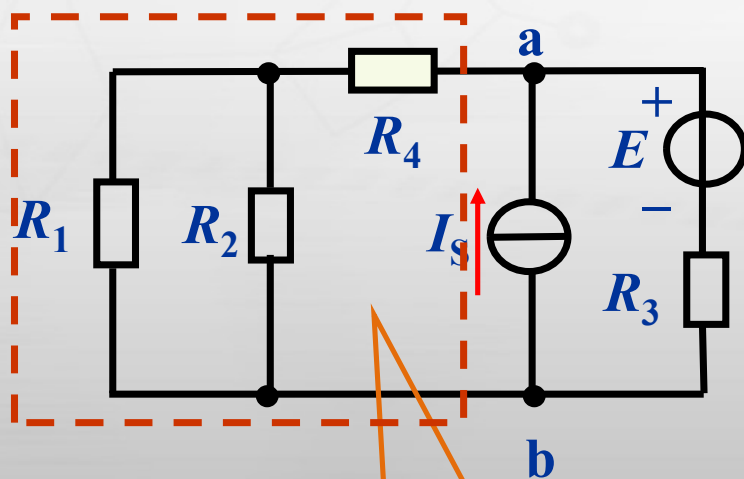
1.10 戴维宁定理

1. 二端网络的概念

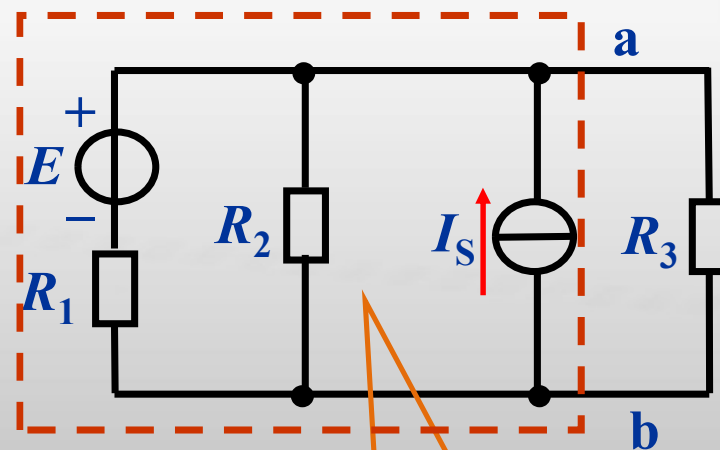
二端网络：具有两个出线端的部分电路。

无源二端网络：二端网络中没有电源。

有源二端网络：二端网络中含有电源。

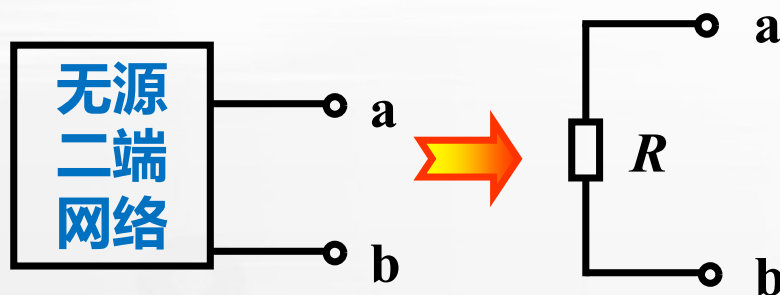


无源二端网络

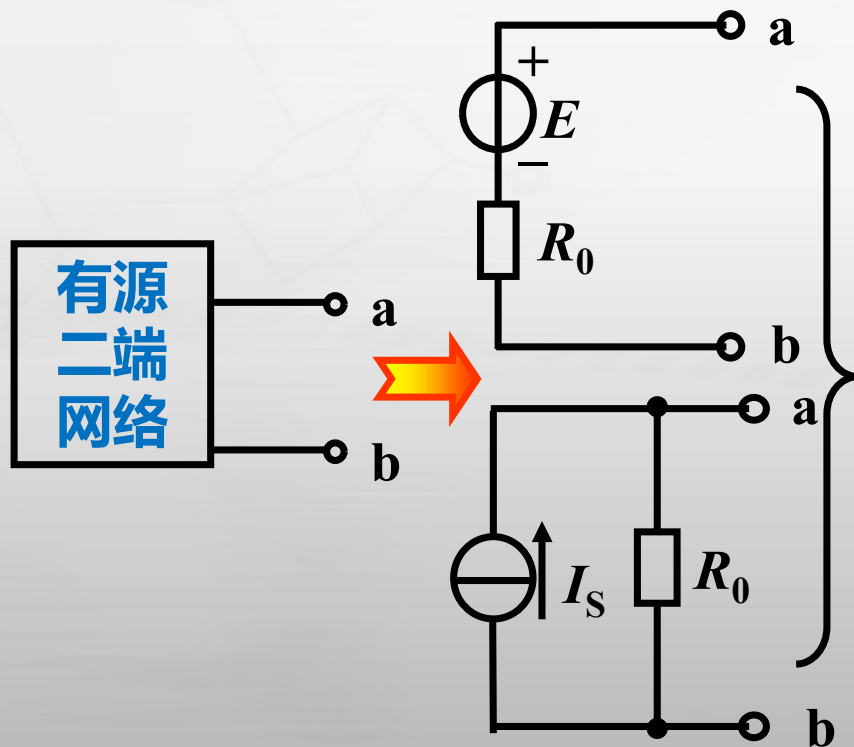


有源二端网络

1. 二端网络的概念



无源二端网络可化简为一个电阻



电压源
(戴维宁定理)

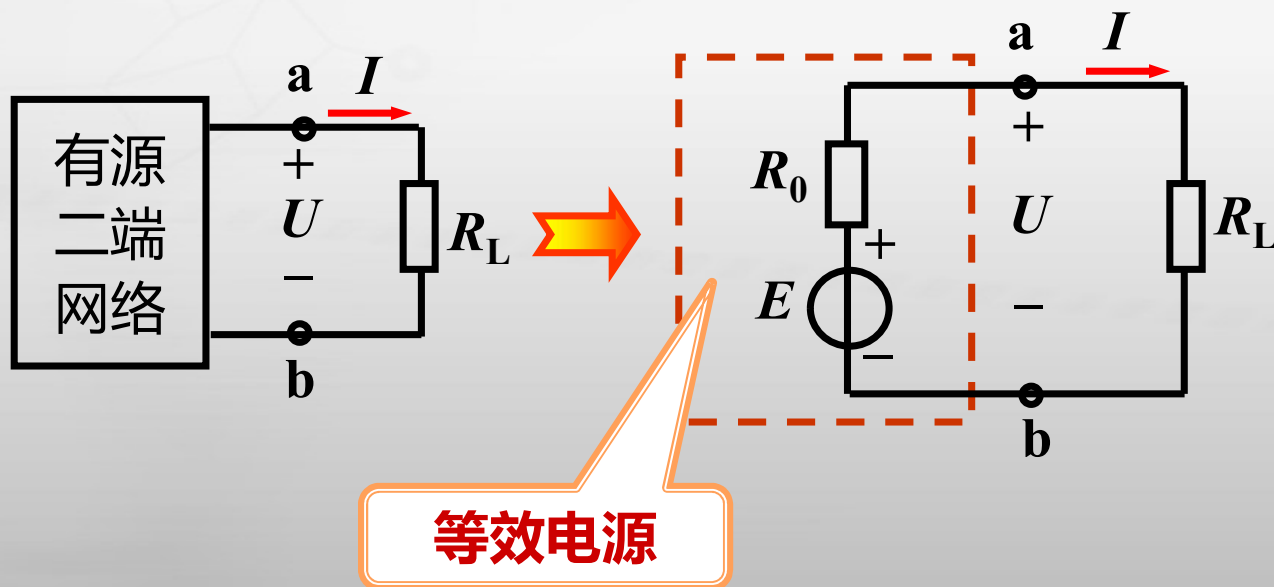
有源二端网络可化简为一个电源

电流源
(诺顿定理)

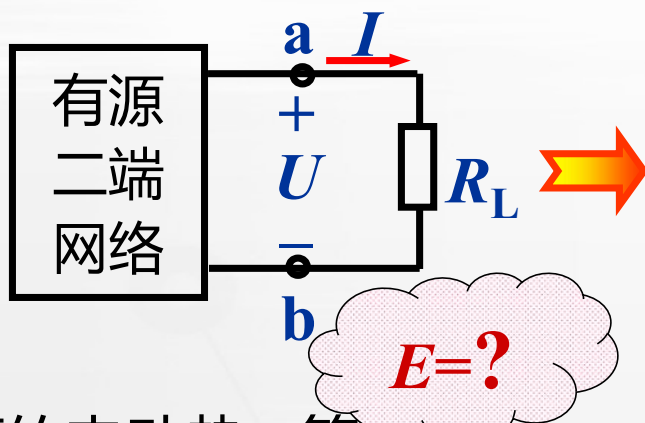
1.10 戴维宁定理

2. 戴维宁定理

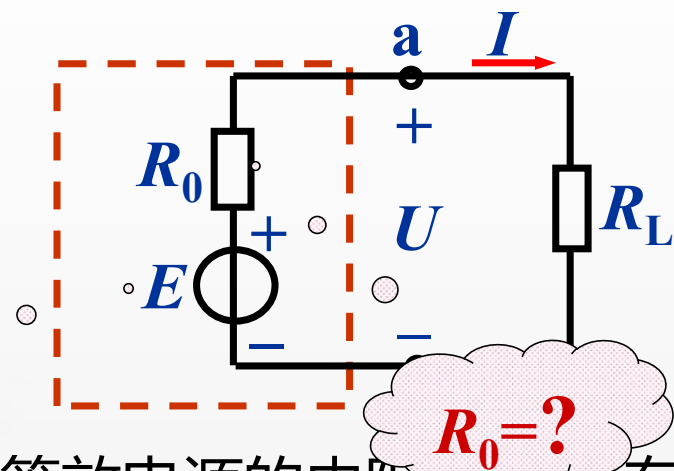
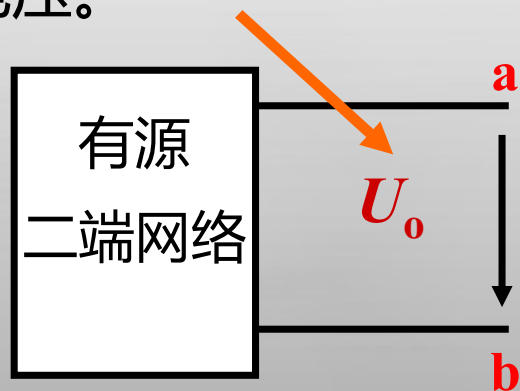
任何一个有源二端线性网络都可以用一个电动势为 E 的理想电压源和内阻 R_0 串联的电源来等效代替。



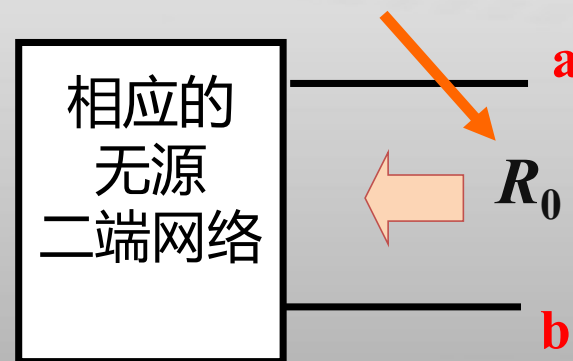
3. 等效参数求法



等效电源的电动势 E 等于有源二端网络的开路电压 U_0 。
即将负载断开后 a 、 b 两端之间的电压。

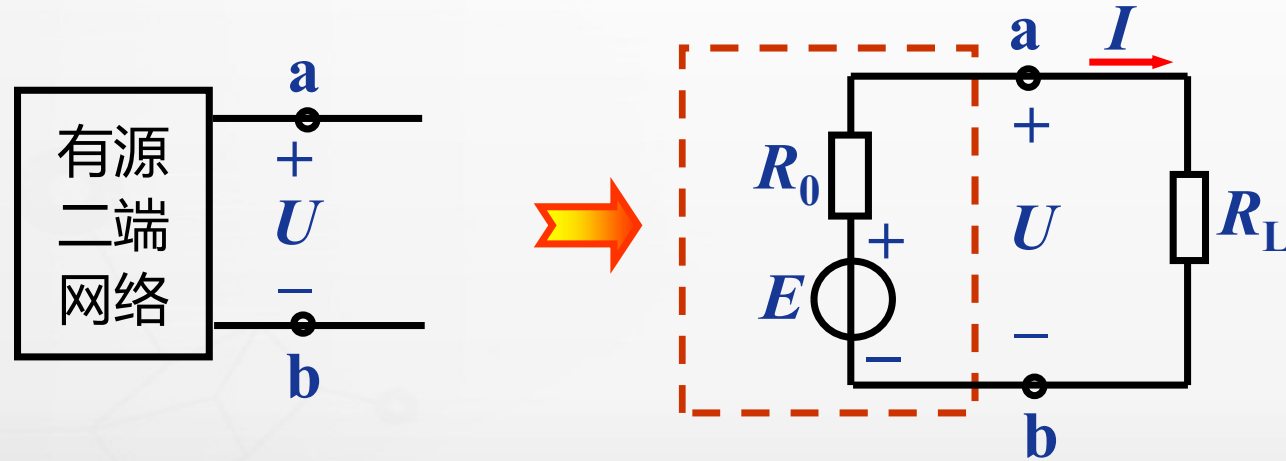


等效电源的内阻 R_0 等于有源二端网络中所有电源均除去（理想电压源短路，理想电流源开路）后的无源二端网络的输入电阻。



3. 等效参数求法

开路电压 U_0



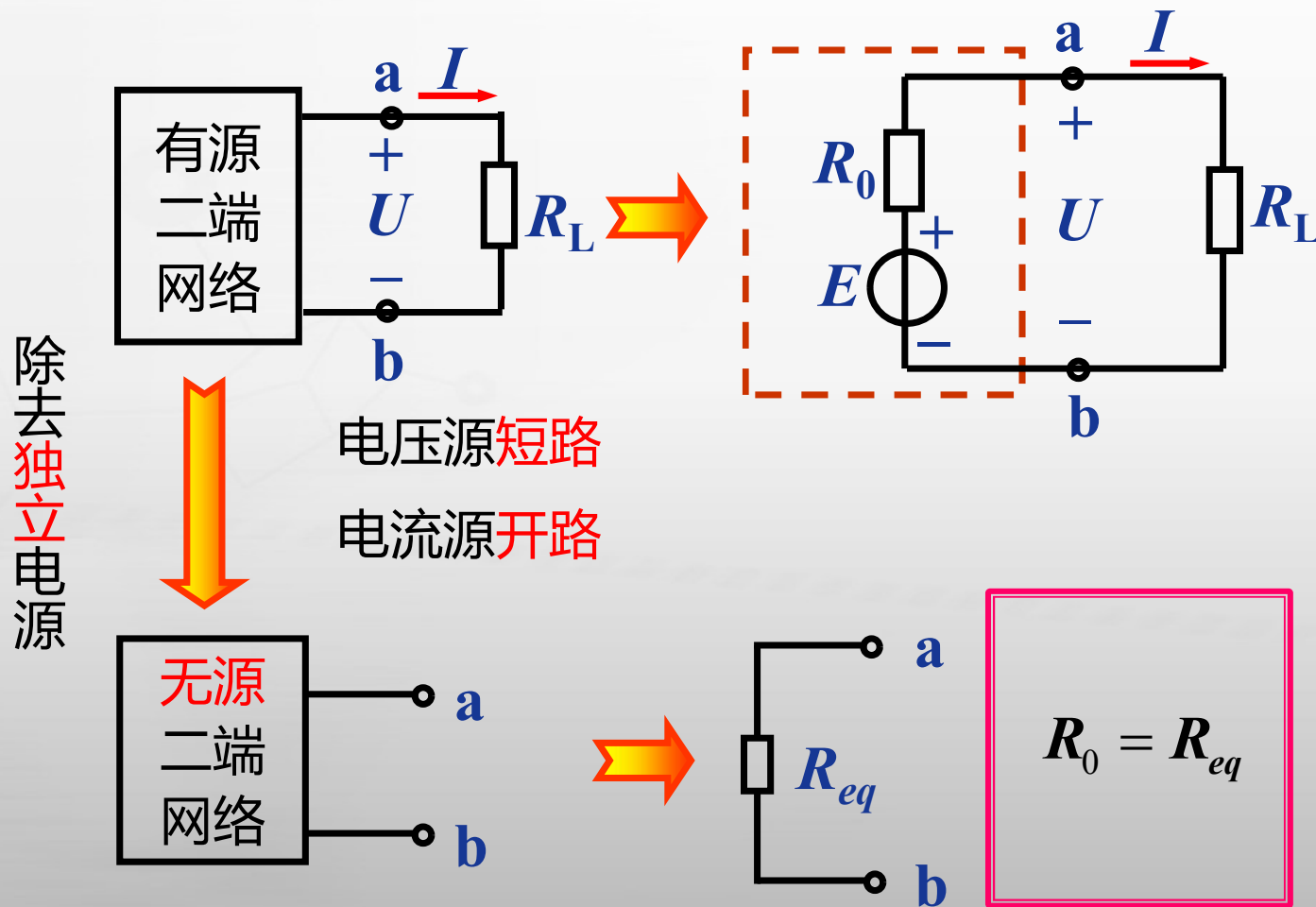
$$E = U_0$$

E : 等效电源的电动势

U_0 : 有源二端网络的开路电压 U_0

3. 等效参数求法

等效电源的内阻 R_0



1.10 戴维宁定理

注意：

1: “等效”是指对端口外等效

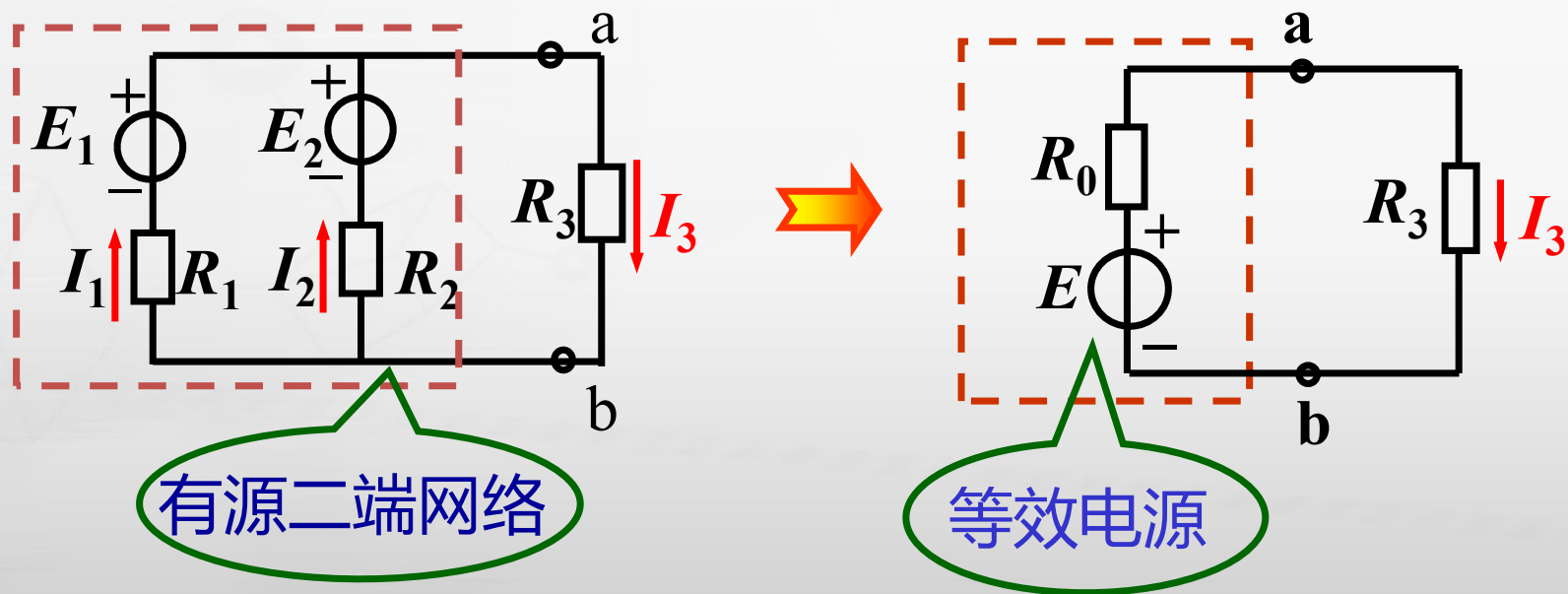
即：用等效电源替代原来的二端网络后，二端网络外各支路的电压、电流不变。

2: 有源二端网络变无源二端网络的原则是：

将有源二端网络恒压源短路、恒流源断路。

4. 举例分析

例： 电路如图，已知 $E_1=40\text{V}$ ， $E_2=20\text{V}$ ， $R_1=R_2=4\Omega$ ， $R_3=13\Omega$ ，试用戴维宁定理求电流 I_3 。

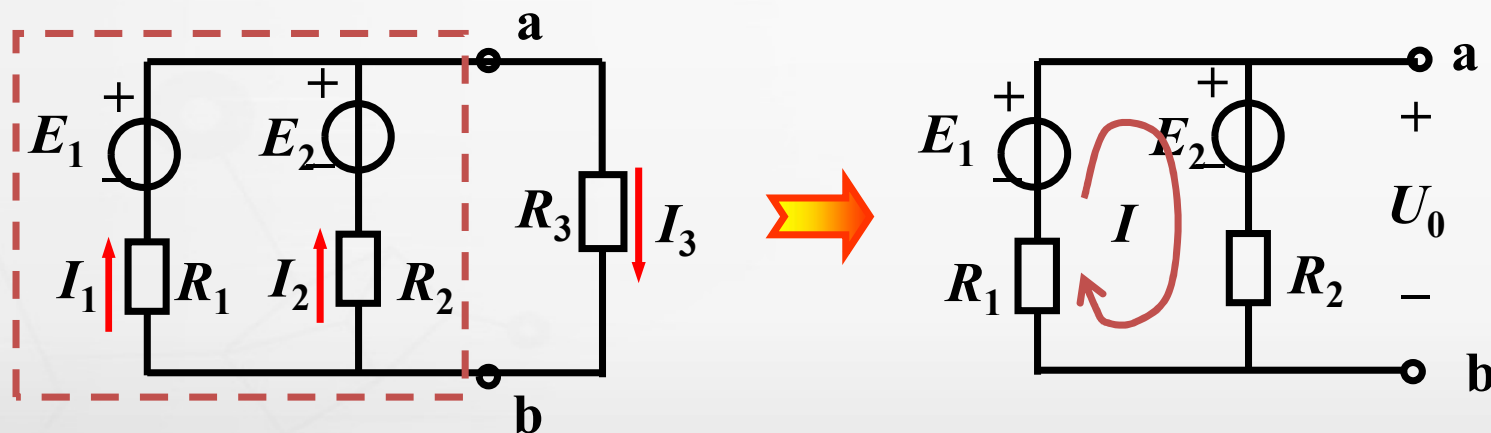


注意： “等效” 是指对端口外等效

即用等效电源替代原来的二端网络后，待求支路的电压、电流不变。

4. 举例分析

例： 电路如图，已知 $E_1=40\text{V}$ ， $E_2=20\text{V}$ ， $R_1=R_2=4\Omega$ ， $R_3=13\Omega$ ，试用戴维宁定理求电流 I_3 。



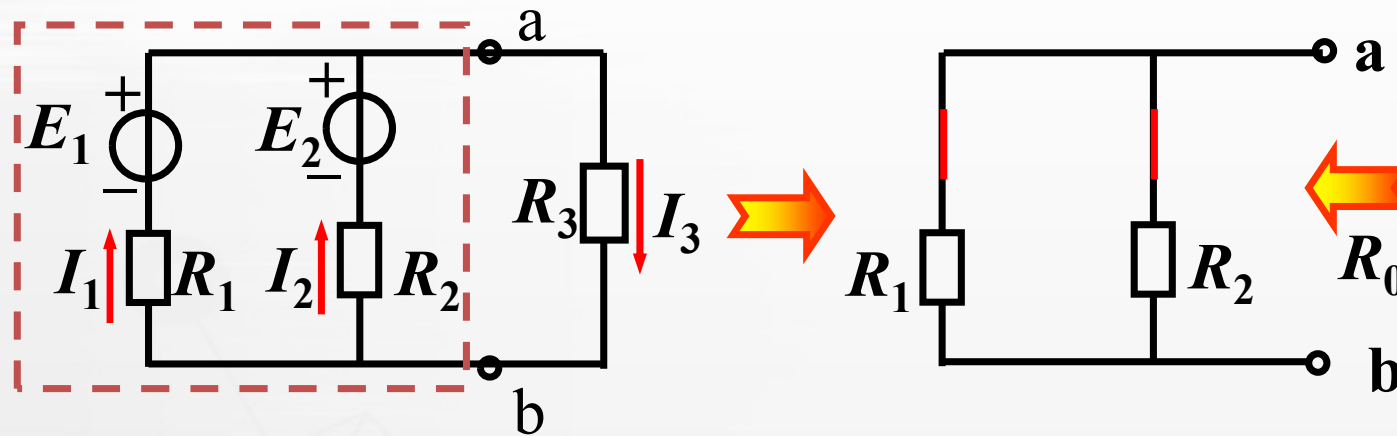
解：(1) 断开待求支路求等效电源的电动势 E (开路电压 U_0)

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{40 - 20}{4 + 4} \text{ A} = 2.5 \text{ A}$$

$$U_0 = E_2 + I R_2 = 20\text{V} + 2.5 \times 4 \text{ V} = 30\text{V}$$

$$\text{或： } U_0 = E_1 - I R_1 = 40\text{V} - 2.5 \times 4 \text{ V} = 30\text{V}$$

4. 举例分析



解：(2) 求等效电源的内阻 R_0

除去所有电源（理想电压源短路，理想电流源开路）

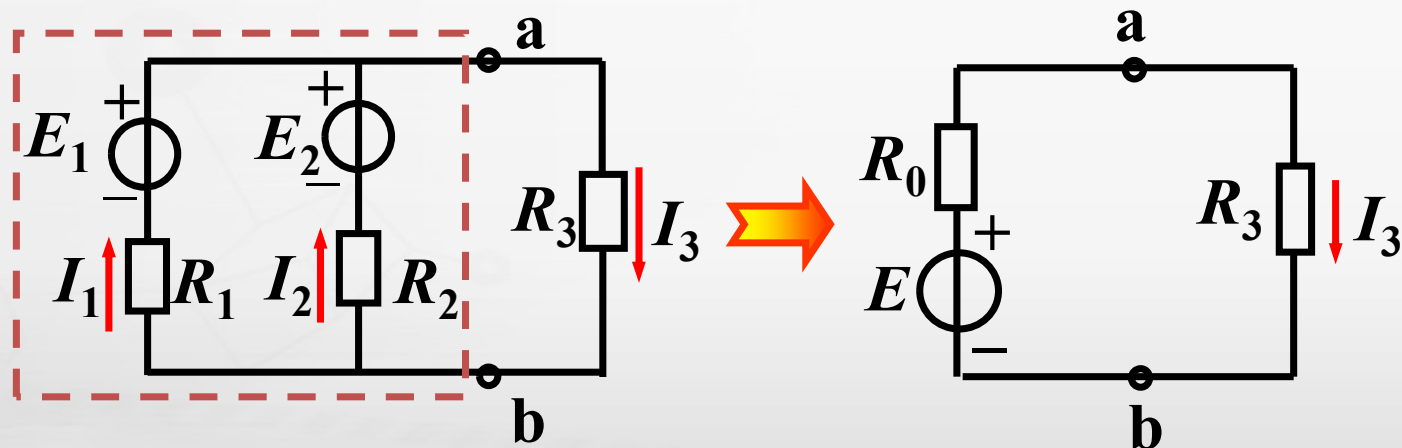
从 a 、 b 两端看进去， R_1 和 R_2 并联

$$\text{所以, } R_0 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = 2\Omega$$

求内阻 R_0 时，关键要弄清从 a 、 b 两端看进去时各电阻之间的串并联关系。

4. 举例分析

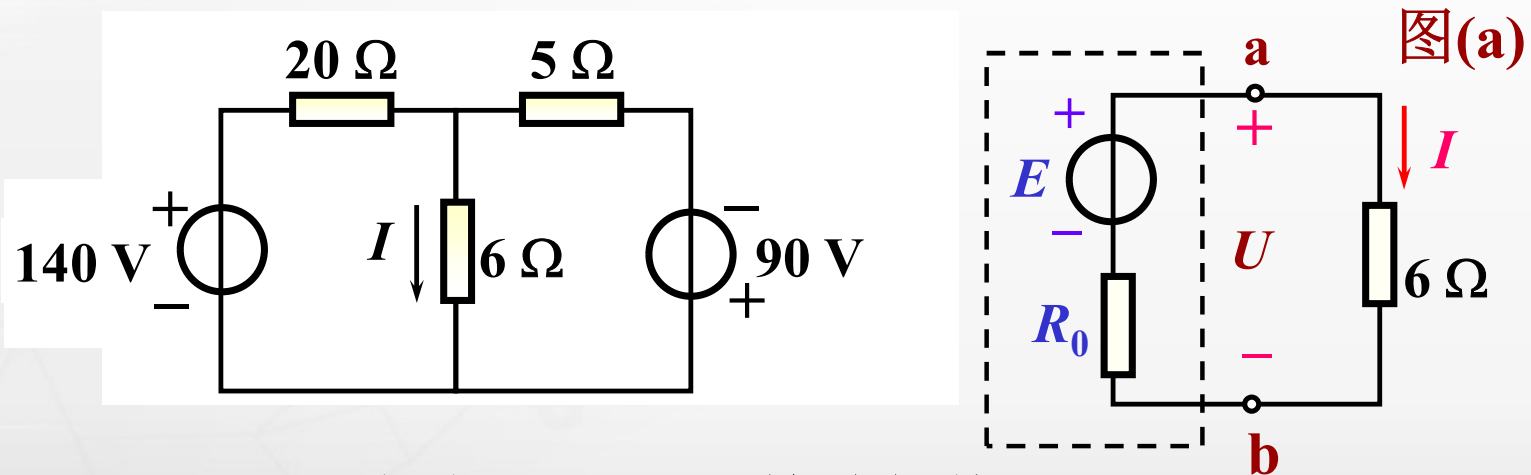
例1：电路如图，已知 $E_1=40\text{V}$ ， $E_2=20\text{V}$ ， $R_1=R_2=4\Omega$ ， $R_3=13\Omega$ ，试用戴维宁定理求电流 I_3 。



解：(3) 画出等效电路求电流 I_3

$$I_3 = \frac{E}{R_0 + R_3} = \frac{30}{2 + 13} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

[例 2] 用戴维宁定理求图示电路中电流 I 。



[解] 已知电路可用图(a)等效代替
 E 为除 6Ω 支路外有源二端网络的开路电压，见图(b)

$$E = U_{ab} = \frac{140 + 90}{20 + 5} \times 5 - 90 = -44 \text{ V}$$





$$R_0 = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = 4 \Omega$$

$$I = \frac{-44}{4 + 6} = -4.4 \text{ A}$$

1.10 戴维宁定理

你想到了吗？

利用戴维宁定理解题步骤：

- 1、把电路分为待求支路和有源二端网络两部分  分离①
- 2、把待求支路移开，求出有源二端网络的开路电压 U_0
- 3、将网络内各源除去，仅保留电源内阻，求出网络两端的等效电阻 R_{eq}  等效②
- 4、画出有源二端网络的等效电路，移上待求支路， $E = U_0$ ， $R_0 = R_{eq}$  组合③
- 5、用 $I = E / (R + R_0)$ ，求 I  求解④

1.10 戴维宁定理

快速记忆!

应用戴维宁定理解题:

解题四步曲: ①分离、②等效、③组合、④求解

注意:

- 1、仅适用于线性网络,待求支路可以是非线性;
- 2、除源的意义: 理想电压源短路, 理想电流源开路
- 3、只对端口以外的电路等效, 而二端网络内部不一定等效。

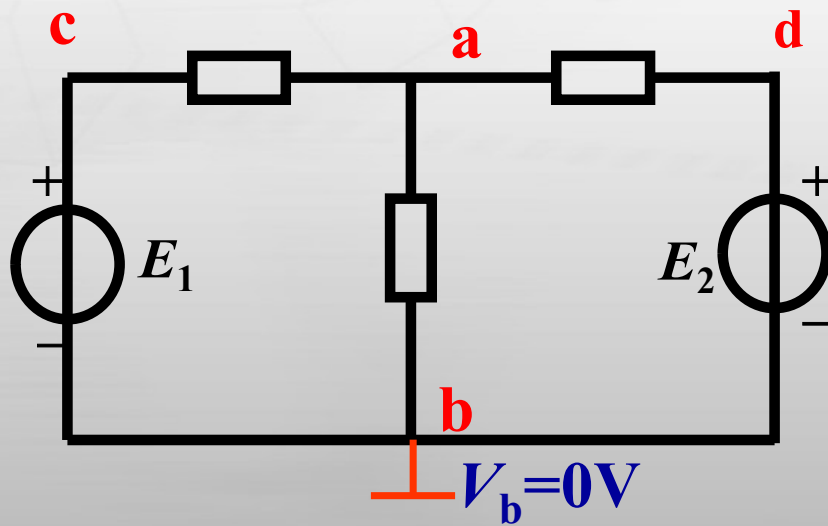
1.11 电路中电位的概念及计算

1. 电位的概念

参考点：电路中选择一点，设其为“0”电位。
(也称为“地”，用接地符号表示 \perp)

电位：某点的电位等于该点到参考点的电压。

(用单下标表示 V_a V_b)



设b为参考点

$$V_a = U_{ab}$$

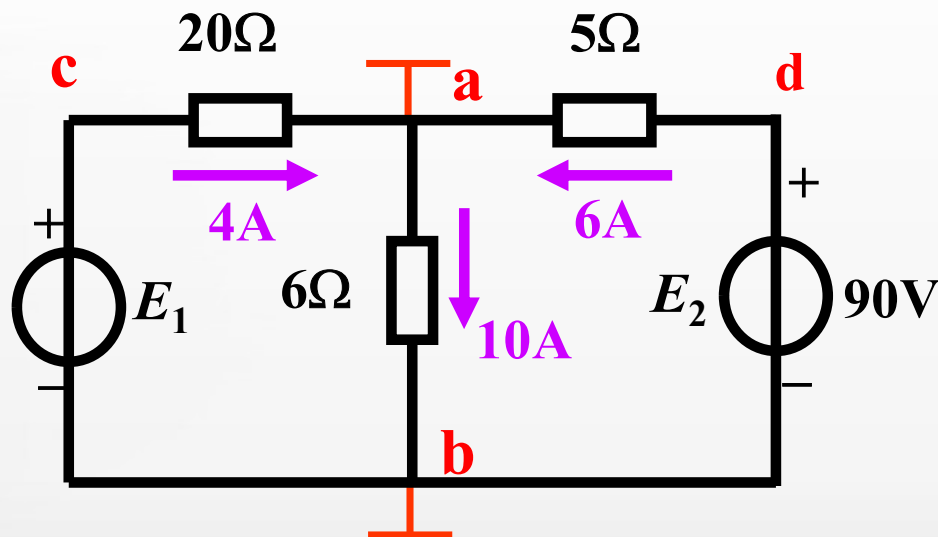
$$V_c = U_{cb}$$

$$V_d = U_{db}$$

1.11 电路中电位的概念及计算

2. 电位计算举例

求图示电路中各点的
电位 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 。



解：设 $V_a=0V$

$$V_b = U_{ba} = -10 \times 6 = -60V$$

$$V_c = U_{ca} = 4 \times 20 = 80V$$

$$V_d = U_{da} = 6 \times 5 = 30V$$

设 $V_b=0V$

$$V_a = U_{ab} = 10 \times 6 = 60V$$

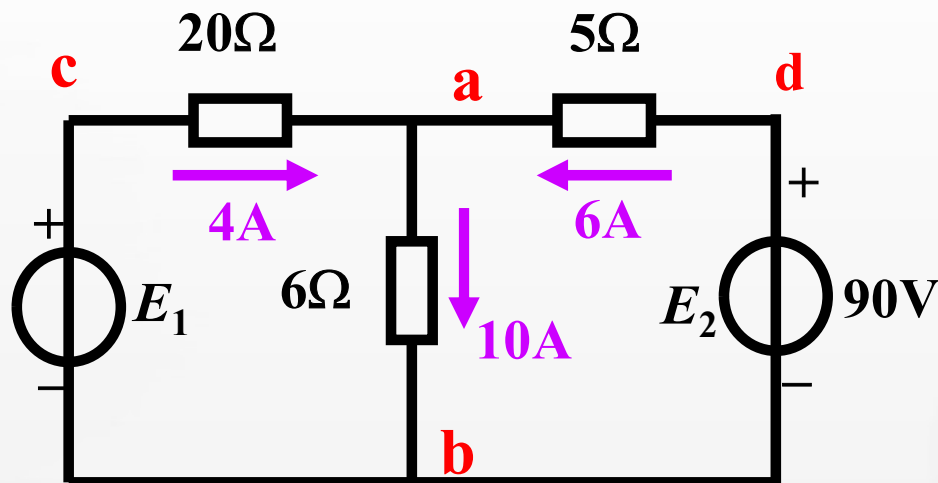
$$V_c = U_{cb} = 4 \times 20 + 10 \times 6 = 140V$$

$$V_d = U_{db} = E_2 = 90V$$

1.11 电路中电位的概念及计算

2. 电位计算举例

求图示电路中各点的
电位 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 。

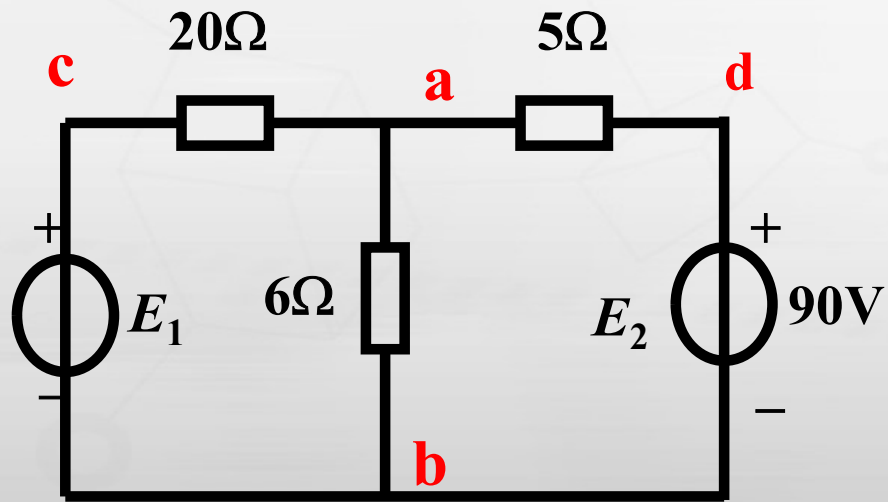


注意：

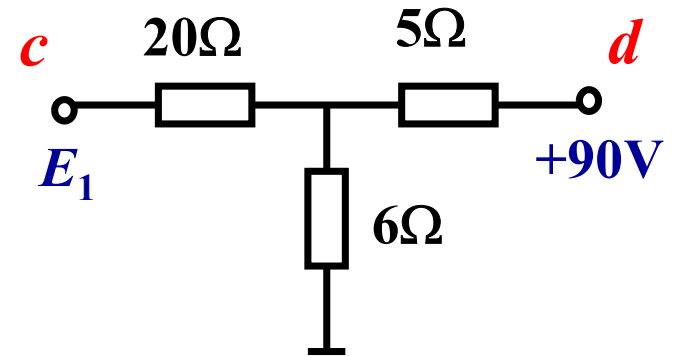
1. 电位值是相对的，参考点选取的不同，电路中其它各点的电位也将随之改变；
2. 电路中两点间的电压值是固定的，不会因参考点的不同而改变，即与零电位参考点选取无关。

1.11 电路中电位的概念及计算

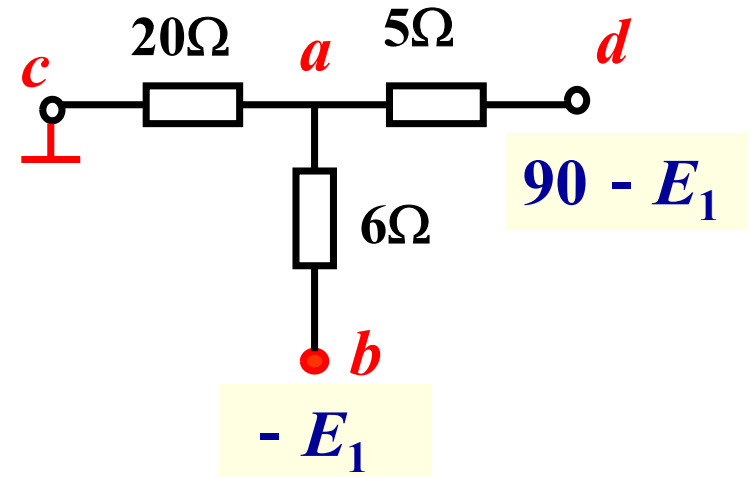
3. 用电位概念简化电路图



取b点为参
考点:



若取c点为
参考点, 电
路怎么画?



4. 例题分析

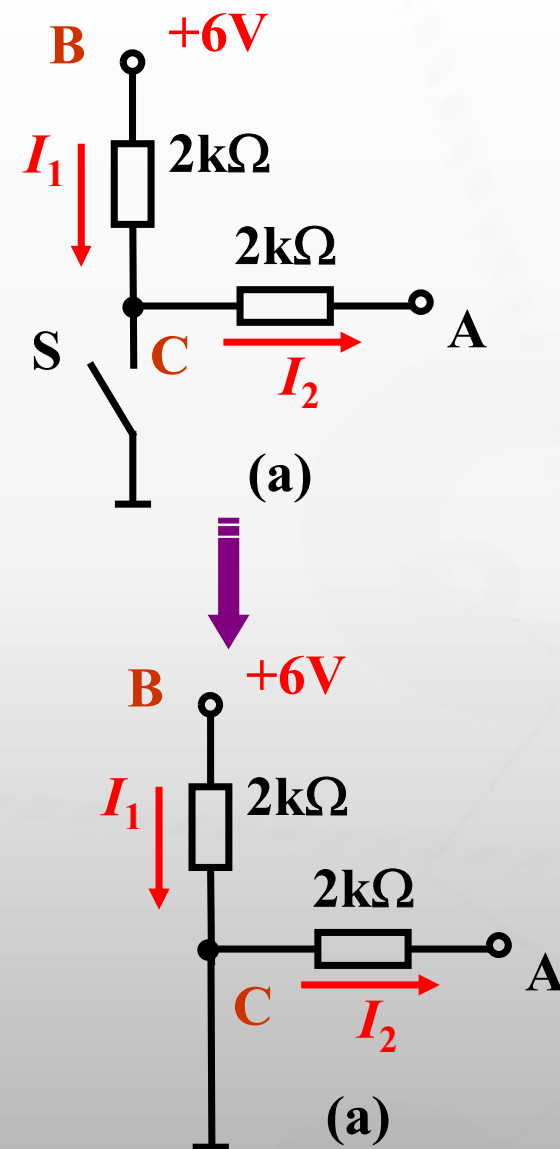
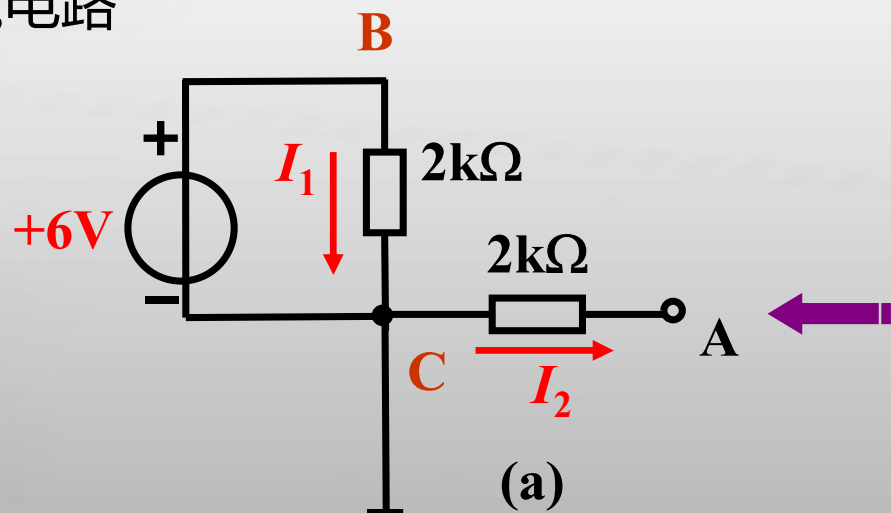
例1: 图示电路, 计算开关S 断开和闭合时A点的电位 V_A

解: (1) 当开关S断开时

电流 $I_1 = I_2 = 0$,

电位 $V_A = 6V$ 。

(2) 当开关闭合时, 电路
如图 (b)



4. 例题分析

例1: 图示电路, 计算开关S 断开和闭合时A点的电位 V_A

解: (1) 当开关S断开时

电流 $I_1 = I_2 = 0$,

电位 $V_A = 6V$ 。

(2) 当开关闭合时, 电路
如图 (b)

电流 $I_2 = 0$,

电位 $V_A = 0V$ 。

