

电路原理

第2讲

电阻电路的基本分析方法

内容提要

- 功率
- 电阻
- 独立电源
- 受控元件
 - 受控电阻
 - 受控电源
- 基尔霍夫定律
- *2b*法求解电路



难点

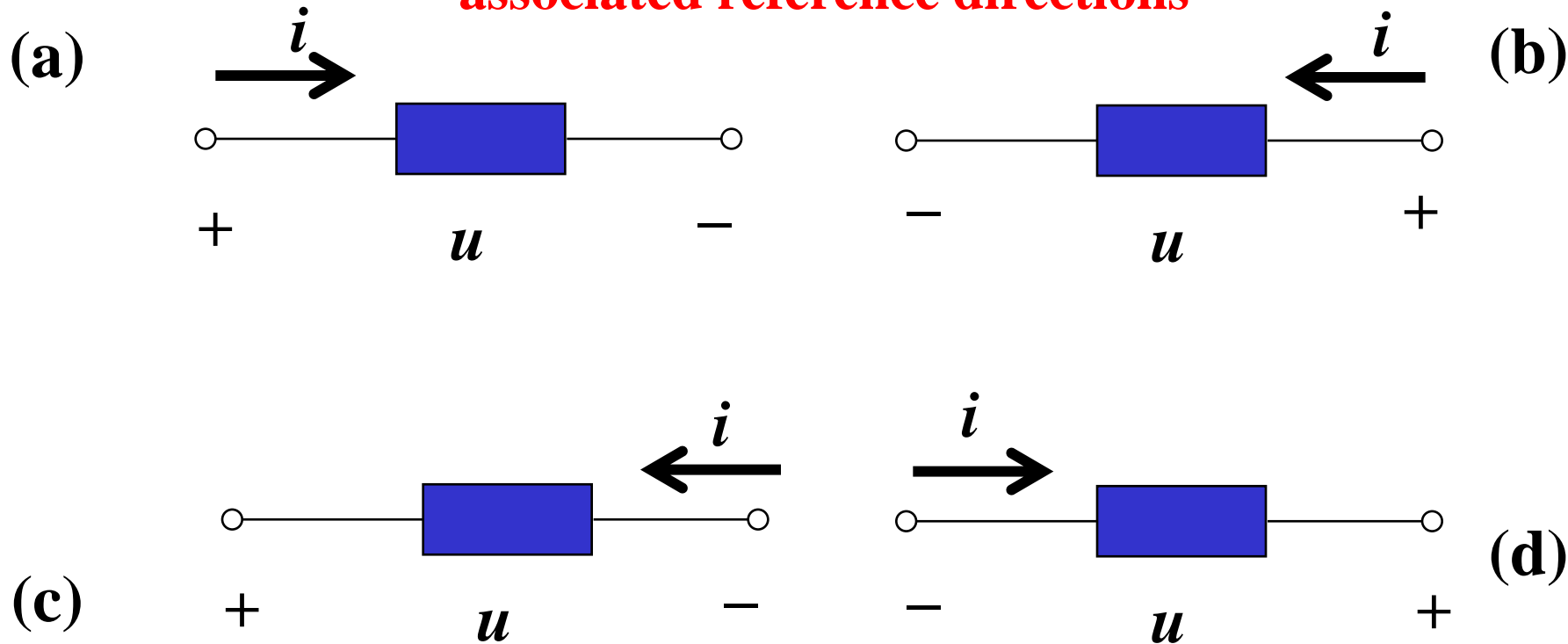


重点

二端元件上电压参考方向和电流参考方向之间的关系

关联参考方向
associated reference directions

$$u = Ri$$



非关联参考方向
non-associated reference directions

$$u = -Ri$$

一、电路的功率 (Power)

1. 功率: 单位时间内从A到B的正电荷量

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$u = \frac{dw}{dq}$$



关联

单位时间内电场力
从A到B所作的功

电场力将单位正电荷从A移动到B所作的功

元件吸收的功率

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui$$

Power Unit: W (瓦) (Watt, 瓦特, British)

Energy Unit: J (焦) (Joule, 焦耳, British)

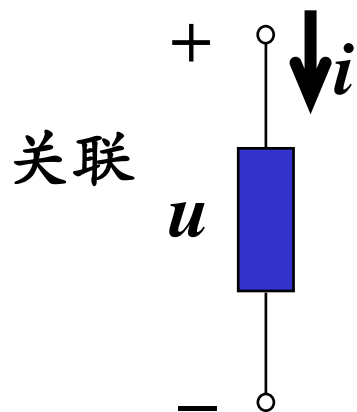
2. 功率的计算

记忆方法1

永远 $p=ui$,

吸 \leftrightarrow 关联

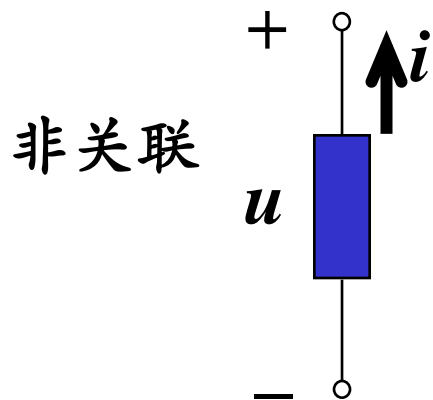
发 \leftrightarrow 非关联



$$p_{\text{吸}} = ui, \text{ 元件吸收的功率}$$

$$p_{\text{吸}} > 0 \quad (\text{元件真正吸收功率})$$

$$p_{\text{吸}} < 0 \quad (\text{元件真正发出功率})$$



$$p_{\text{发}} = ui \quad \text{元件发出的功率}$$

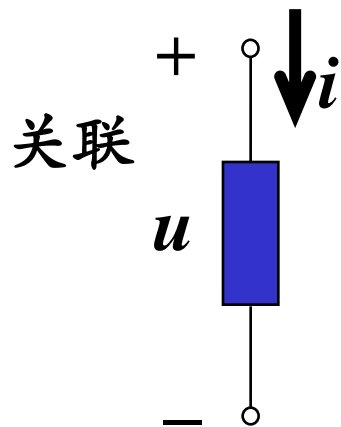
$$p_{\text{发}} > 0 \quad (\text{元件真正发出功率})$$

$$p_{\text{发}} < 0 \quad (\text{元件真正吸收功率})$$

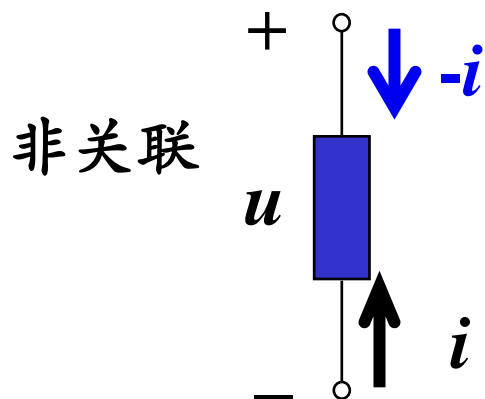
记忆方法2

永远用关联计算

$$p_{\text{吸}} = ui$$



$$p_{\text{吸}} = ui, \text{ 元件吸收的功率}$$



$$p_{\text{吸}} = u(-i) = -ui, \text{ 元件吸收的功率}$$

$$p_{\text{发}} = ui \text{ 元件发出的功率}$$

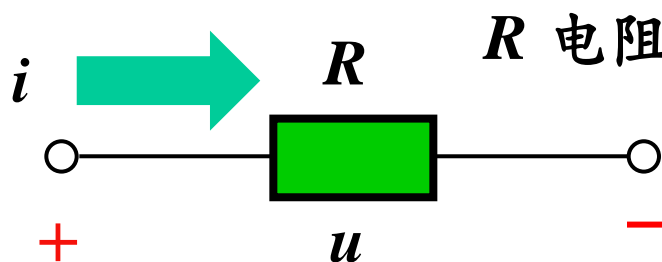
二、电阻 (Resistor)

1. 电路符号



2. 欧姆定律

电压电流采用关联参考方向



R 电阻(resistance)

Unit: Ω (欧姆)

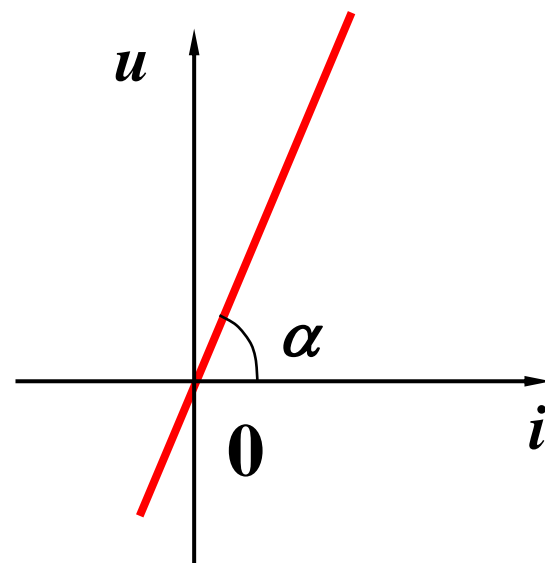
$$u = R i$$

令 $G = 1/R$

G 电导(Conductance).

Unit: S (西) (Siemens, 西门子)

欧姆定律: $i = G u$

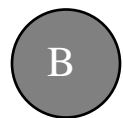


$U = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$



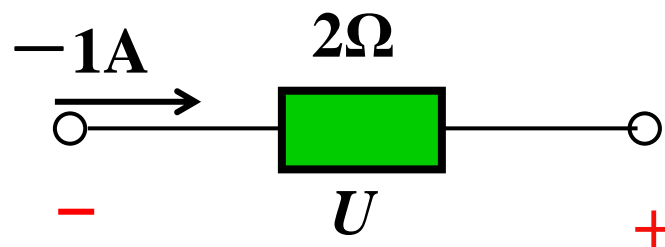
A

2



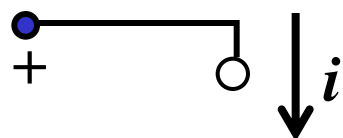
B

-2



提交

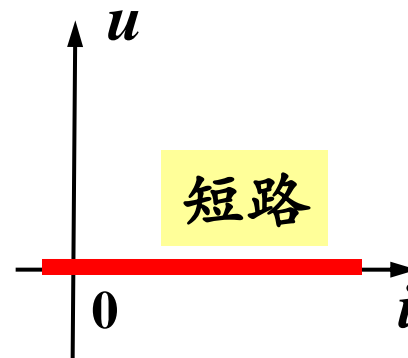
3. 开路与短路



当 $R = 0$ ($G = \infty$), 视其为短路。

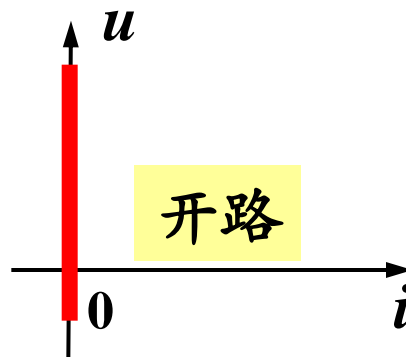
$u = 0$, i 由外电路决定。

u



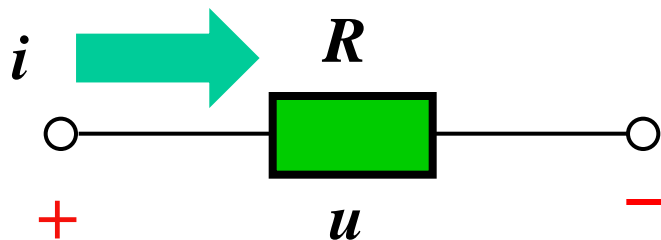
当 $R = \infty$ ($G = 0$), 视其为开路。

$i = 0$, u 由外电路决定。

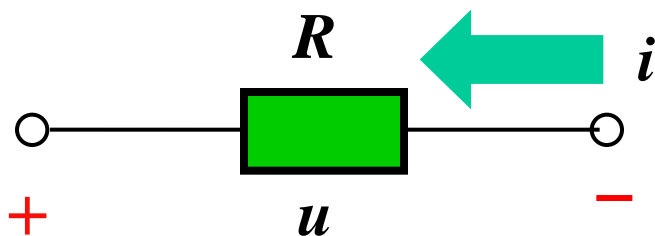


4. 电阻消耗的功率

Power:



$$p_{\text{吸}} = ui = i^2 R = u^2 / R$$



$$P_{\text{发}} = ui = (-Ri)i = -i^2 R$$

$$= u(-u/R) = -u^2/R$$

$$\text{或 } p_{\text{吸}} = u(-i) = (-Ri)(-i)$$

$$= i^2 R = u^2 / R$$

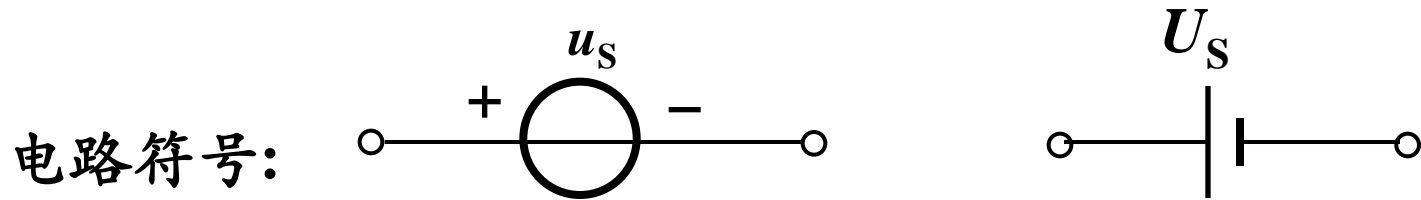
无论参考方向如何选取，电阻始终消耗电功率。



实际电阻器
电阻的额定功率
见课后推送

三、独立电源 (independent source)

1. 理想独立电压源 (ideal independent voltage source)



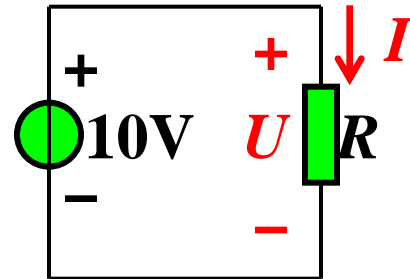
1) 特性

(a) 独立电压源两端的电压与电路其余部分无关

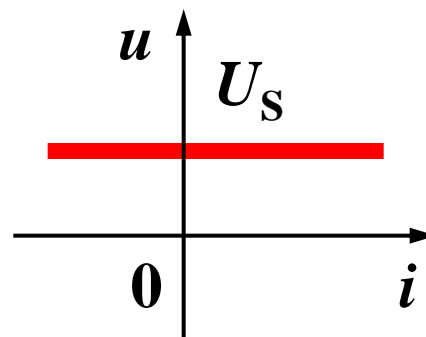
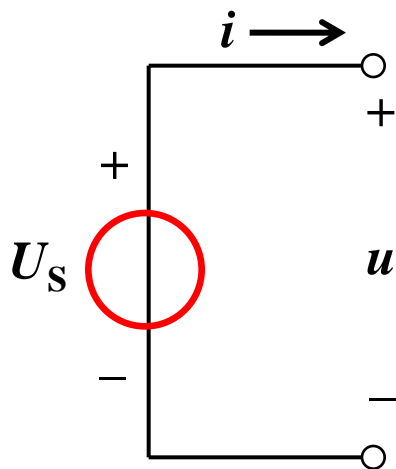
直流: u_s 为常数 (U_s)

正弦交流: u_s 随时间变化, 可以表示为 $u_s = U_m \sin \omega t$

(b) 流经独立电压源的电流由外电路决定



2). u - i 特性

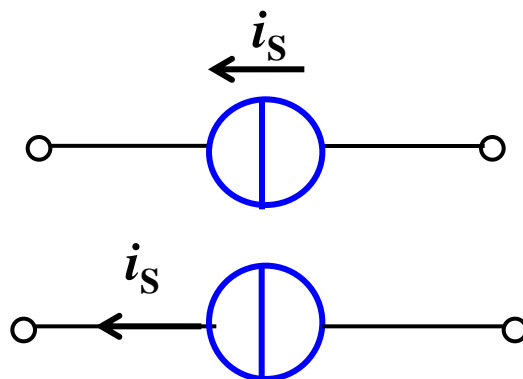


$U_S=0$ 和本节课前面提到的什么等效?

此处可以有弹幕

2、理想独立电流源 (independent current source)

电流符号



1) 特性:

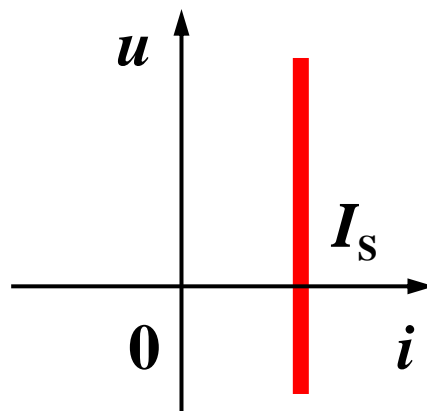
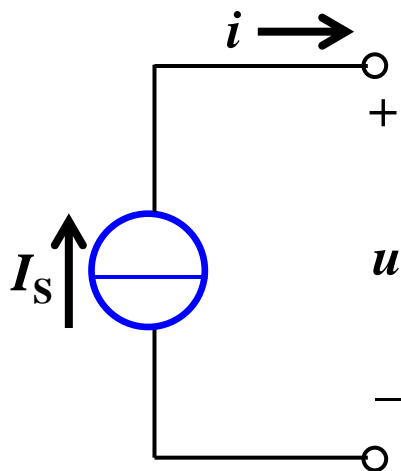
(a) 流经独立电流源的电流与电路的其余部分无关

直流: i_s 是常数 (I_s)

正弦交流: i_s 随时间变化, 可以表示为 $i_s = I_m \sin \omega t$

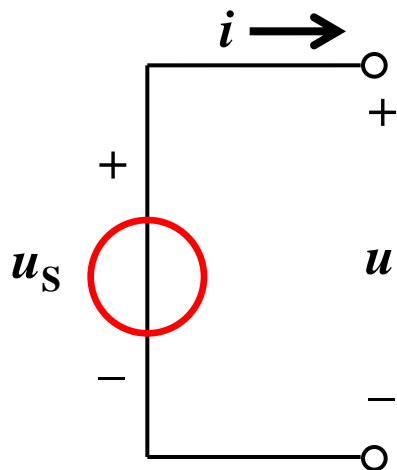
(b) 电流源上的电压由外电路决定

2) u - i 特性



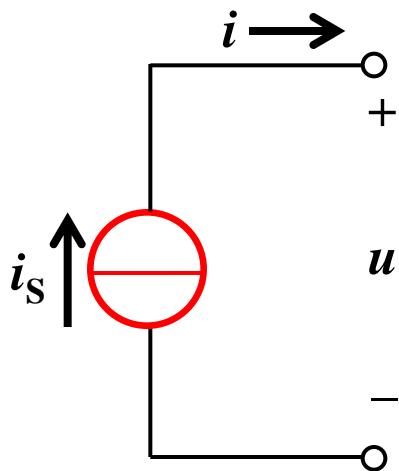
$I_S=0$ 和本节课前面提到的什么等效?

3. 独立电源的功率



$$p_{\text{发}} = ui = u_S i$$

$$p_{\text{吸}} = -ui = -u_S i$$

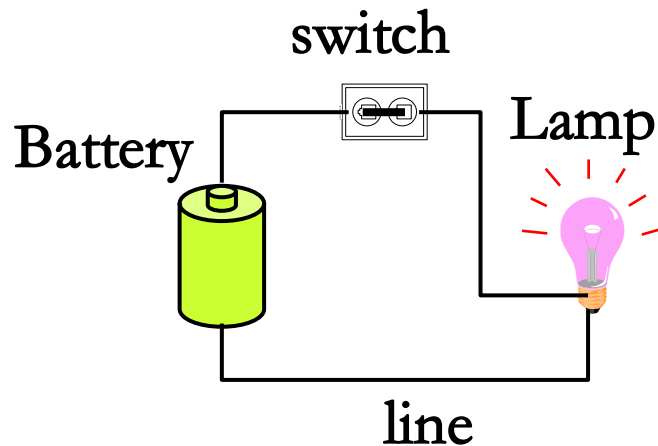


$$p_{\text{发}} = ui = u i_S$$

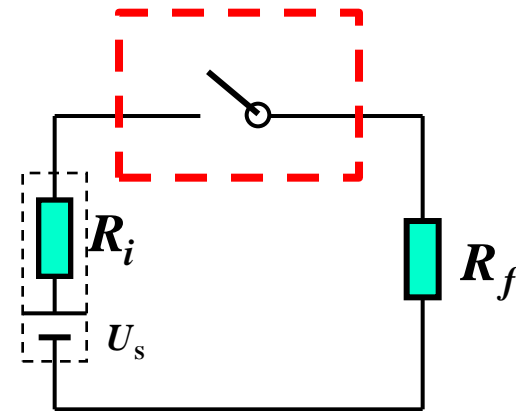
$$p_{\text{吸}} = -ui = -u i_S$$

四、受控元件(**dependent elements**)

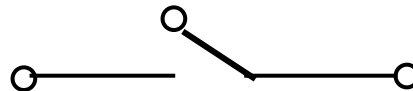
1. 受控电阻—开关



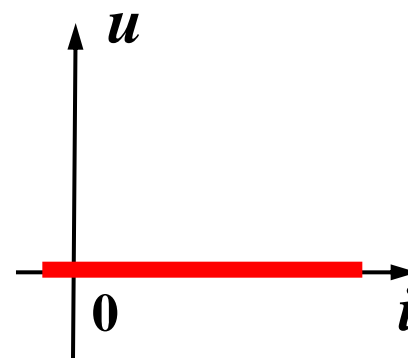
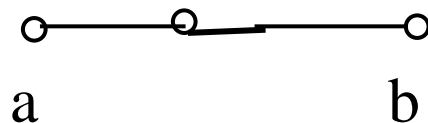
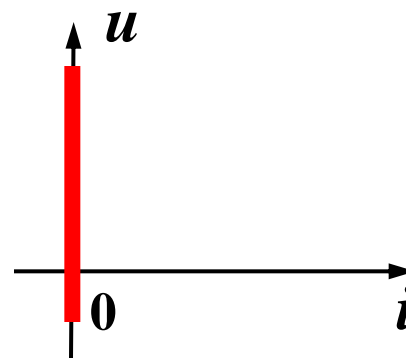
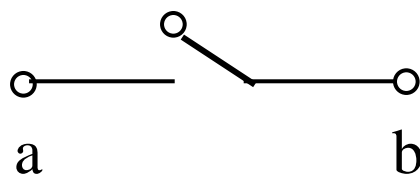
力控开关 (电阻)



控制端



理想力控开关的 u - i 特性



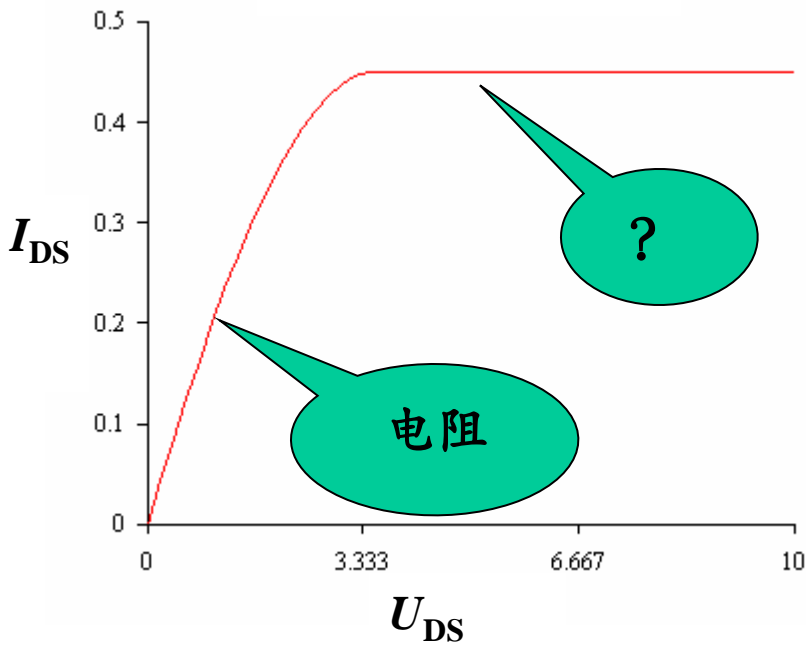
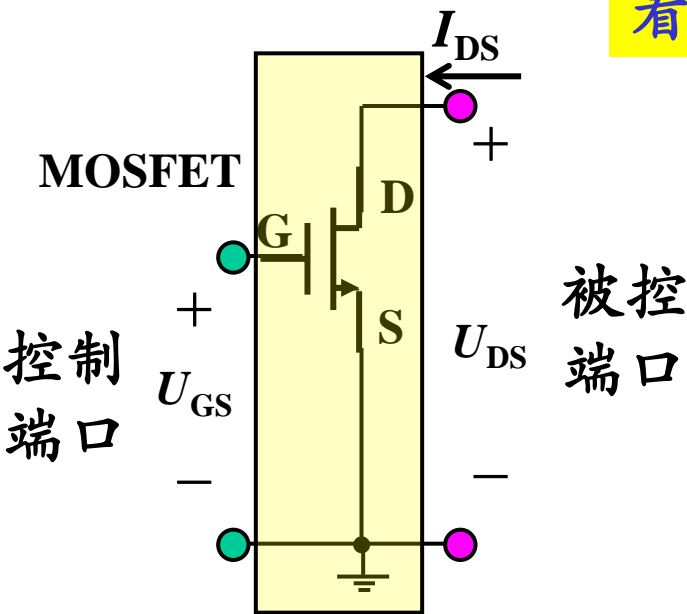
鼓励投稿

非理想力控开关的 u - i 特性?

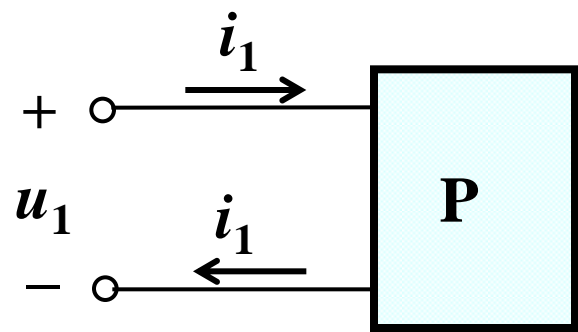
一个压控电阻(压控开关)
的实例：MOSFET

此处可以有弹幕

看仿真



端口 (port)



端口由两个接线端构成，且满足如下条件：从一个接线端流入的电流等于从另一个接线端流出的电流。

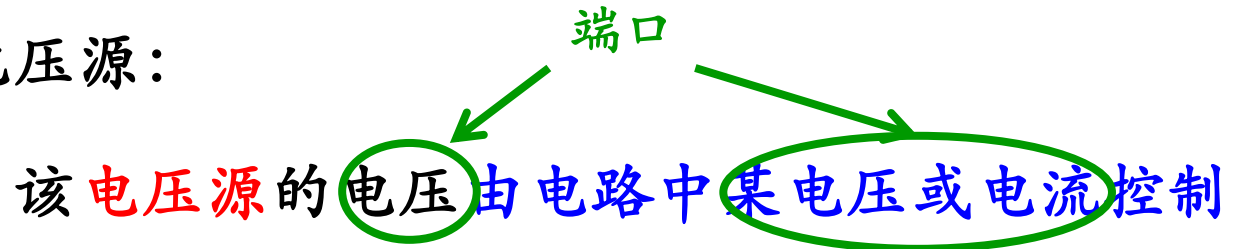
端口条件

2 受控电源 (Dependent source)

定义:

受控电压源:

该电压源的电压由电路中某电压或电流控制

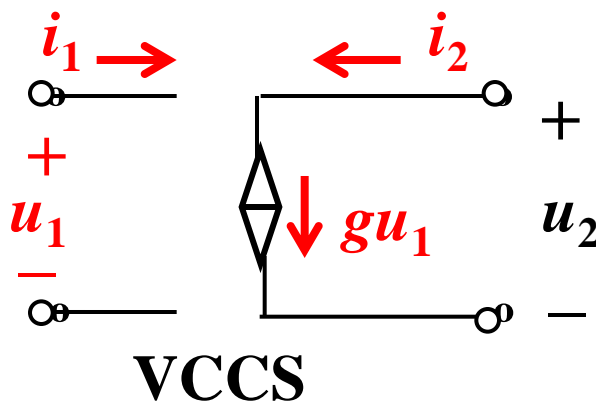


受控电流源

该电流源的电流由电路中某电压或电流控制

线性受控源的分类

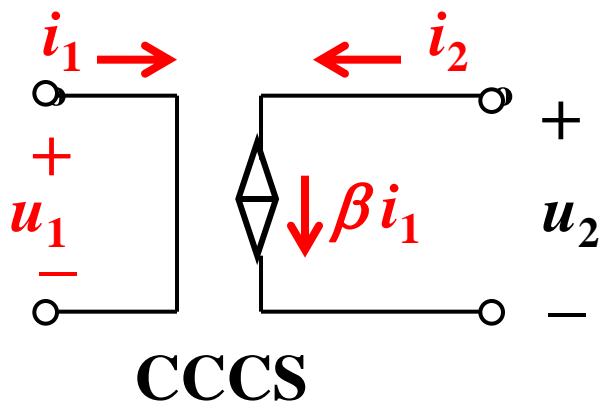
(a) 压控电流源 Voltage Controlled Current Source(VCCS)



$$\begin{cases} i_1=0 \\ i_2=g u_1 \end{cases}$$

g : 转移电导

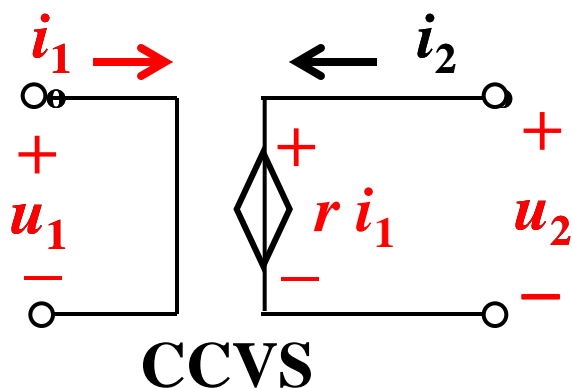
(b) 流控电流源 Current Controlled Current Source(CCCS)



$$\begin{cases} u_1=0 \\ i_2=\beta i_1 \end{cases}$$

β : 转移电流比

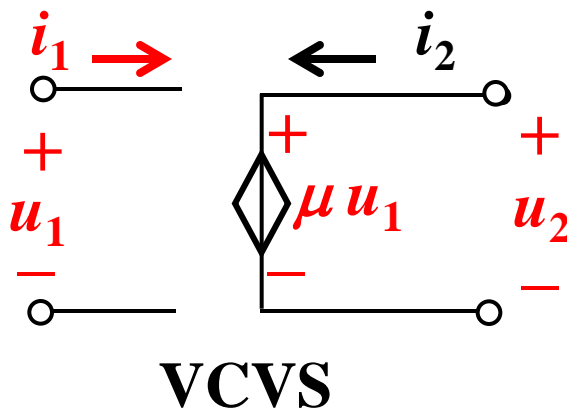
(c) 流控电压源 Current Controlled Voltage Source (CCVS)



$$\begin{cases} u_1 = 0 \\ u_2 = r i_1 \end{cases}$$

r : 转移电阻

(d) 压控电压源 Voltage Controlled Voltage Source (VCVS)



$$\begin{cases} i_1 = 0 \\ u_2 = \mu u_1 \end{cases}$$

μ : 转移电压比

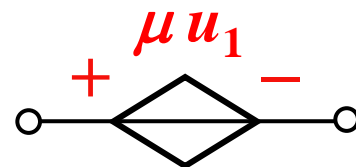
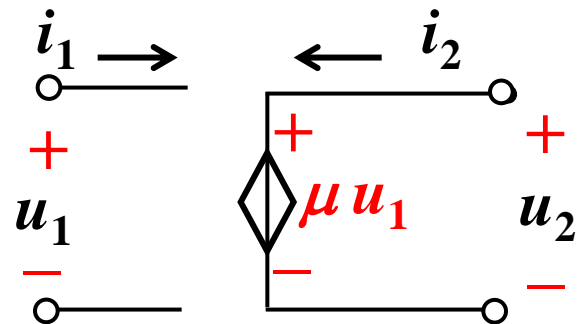
线性受控源是二端（两个接线端）元件吗？

A

是

B

不是



提交

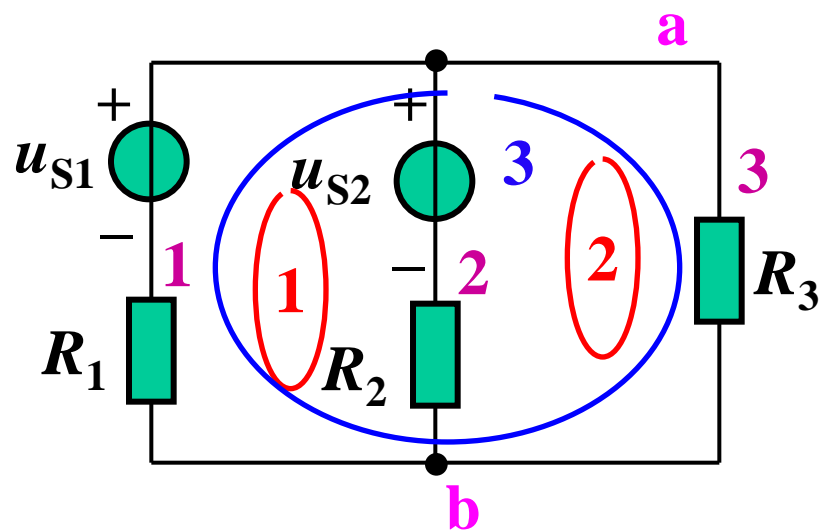
受控源与独立源的比较

- (a) 独立源电压(或电流)的电压(或电流)由电源本身决定，而受控源电压(或电流)的电压(或电流)由控制量决定。
- (b) 独立源是真正电路中的“源”，受控源在电路中是能量或信号处理元件。

五、基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Laws)

I. 术语

1. 支路branch: 若干元件无分叉地首尾相连构成一个支路 (b)



$$b=3$$

$$n=2$$

$$l=3$$

也有教材认为

- 二端元件构成1个支路
- 2个元件间的接线端构成1个节点

2. 节点node: 3个或更多支路的连接点 (n)

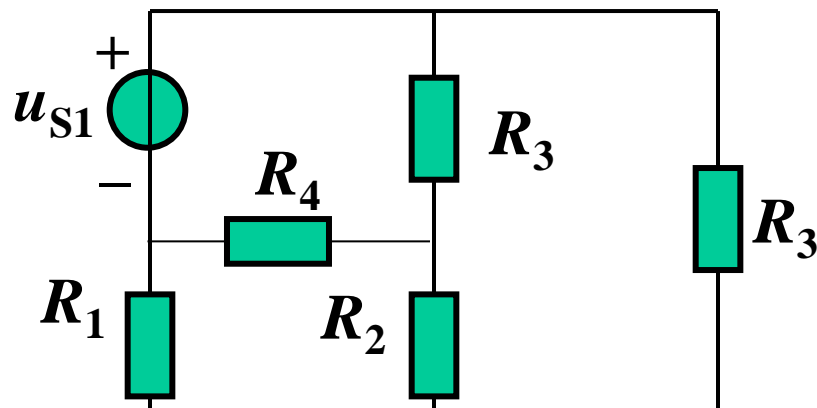
3. 路径path: 两个节点间包含的支路

4. 回路loop: 由支路组成的闭合路径 (l)

5. 网格mesh: 平面电路中不与其他支路相交的回路

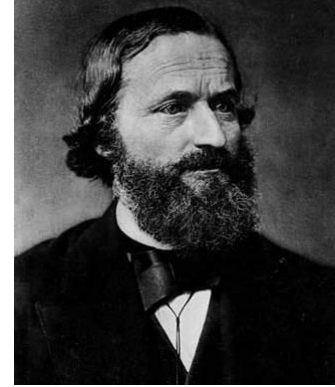
该电路有多少节点？

- ☐ A 1
- ☐ B 2
- ☐ C 3
- ☒ D 4



提交

Gustav Robert Kirchhoff 1845年提出

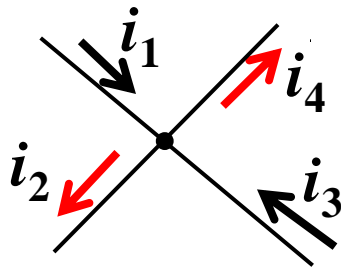


II. Kirchhoff's Current Laws **KCL**:

$$\sum i(t) = 0$$

流出节点的 **电流** 的代数和为零

流入节点的 **电流** 的代数和为零



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

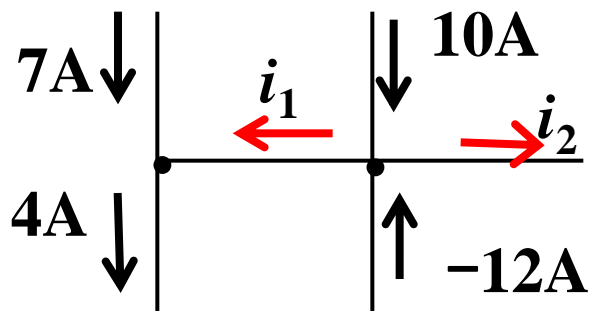
$$i_1 + i_3 = i_2 + i_4$$

$$\sum i_{\text{in}}(t) = \sum i_{\text{out}}(t)$$

(a) 只适用于集总参数电路(阅读教材1.6节)

(b) 对于用参考方向表示的电流依然有效

例



$$4 - 7 - i_1 = 0$$

$$4 = 7 + i_1$$



$$i_1 = -3\text{A}$$

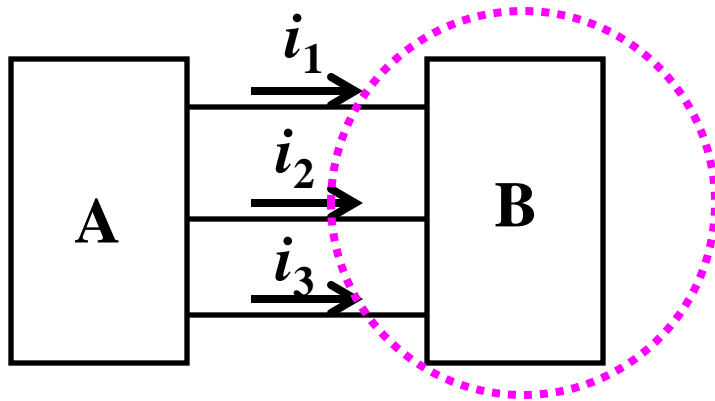
$$i_1 + i_2 - 10 - (-12) = 0$$

$$i_1 + i_2 = 10 - 12$$

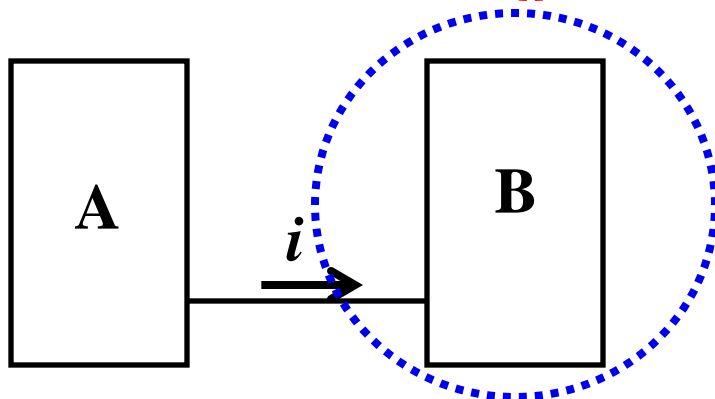
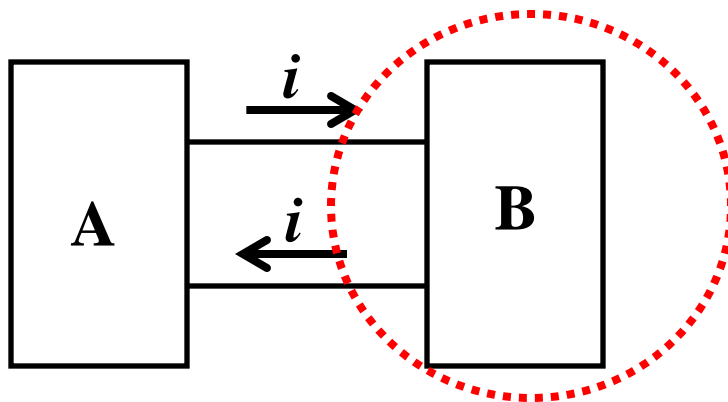


$$i_2 = 1\text{A}$$

广义 KCL



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$



$$i = 0$$

$$P_{us发} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

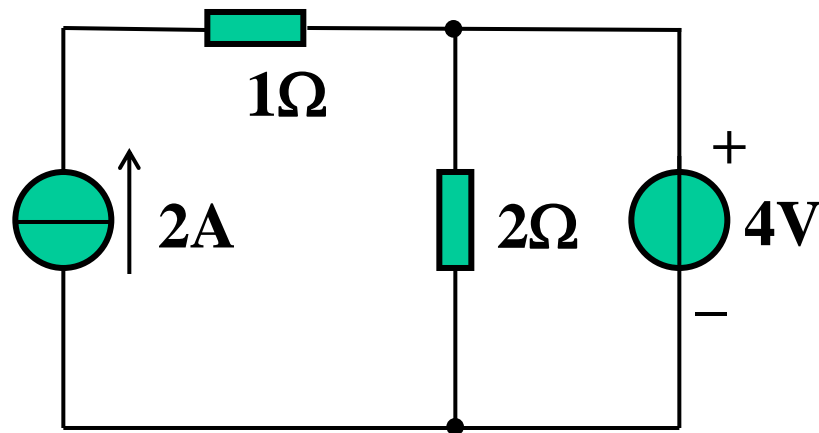
(这个练习最先答对的3位同学有红包)

A 0

B 1

C 2

D 4



提交

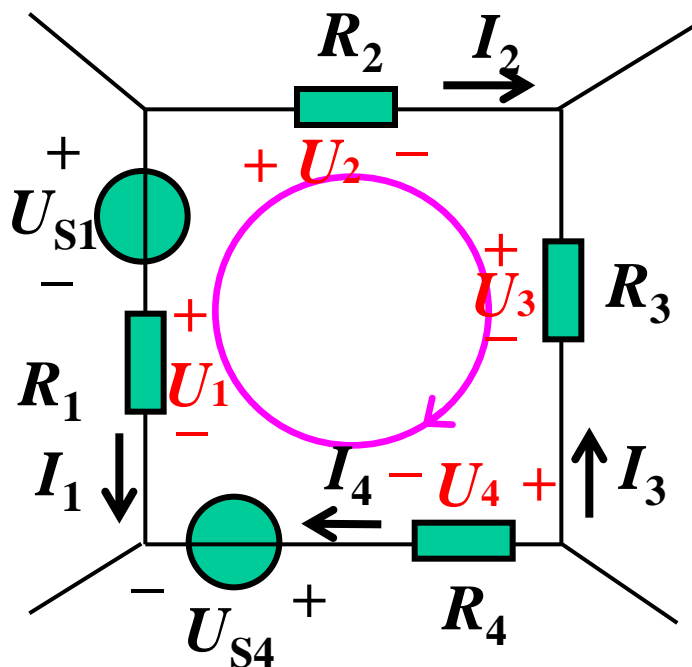
III. Kirchhoff's Voltage Laws **KVL**: 回路中所有电压(降)的代数和为零。

$$\sum u(t) = 0$$

两种方向：顺时针、逆时针

例

顺时针：

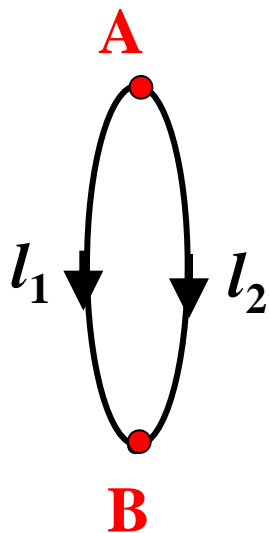


$$-U_1 - U_{S1} + U_2 + U_3 + U_4 + U_{S4} = 0$$

$$+U_2 + U_3 + U_4 + U_{S4} = U_1 + U_{S1}$$

$$\sum u_{\text{drop}}(t) = \sum u_{\text{rise}}(t)$$

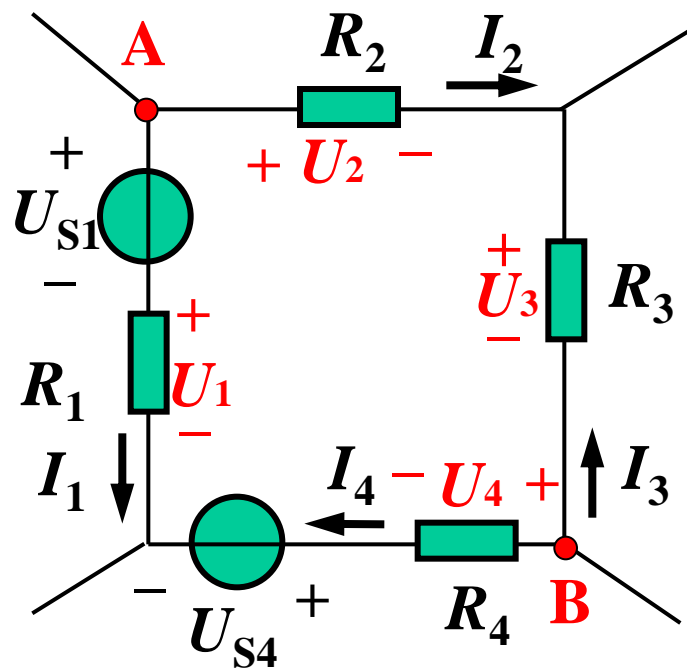
广义KVL： 电路中任意两点间的电压等于两点间任意一条路径经过的各元件电压的代数和。



$$U_{AB} (\text{沿 } l_1) = U_{AB} (\text{沿 } l_2)$$

电压的唯一性

Ex:

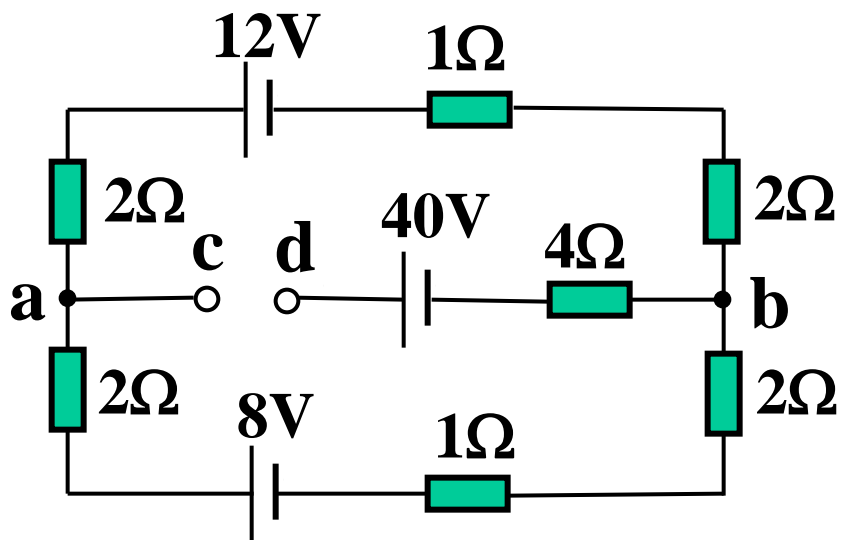


$$U_{AB} = U_2 + U_3$$

$$U_{AB} = U_{S1} + U_1 - U_{S4} - U_4$$

$$U_{cd} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

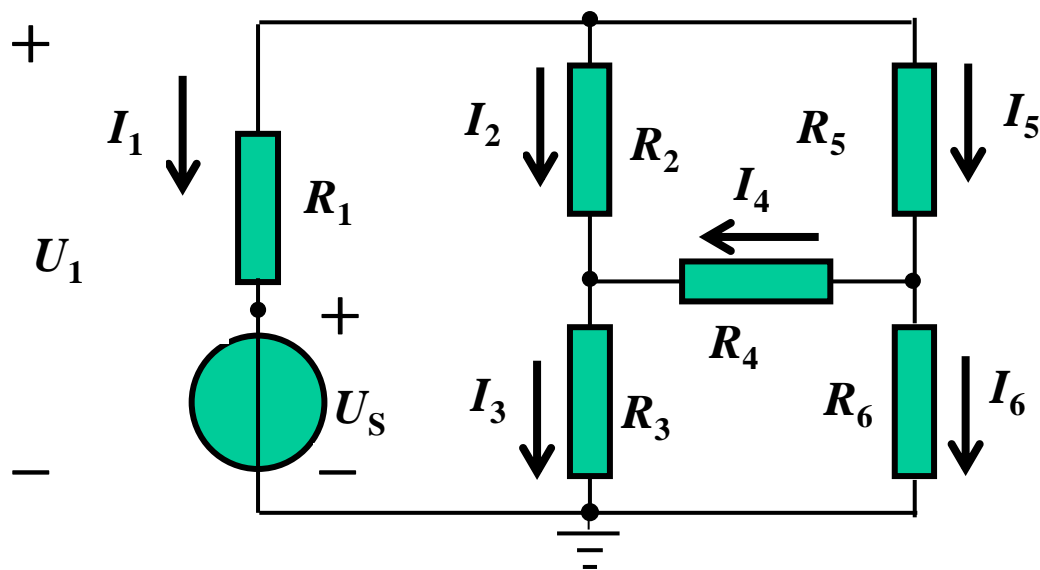
- ☐ A 10
- ☐ B 50
- ☒ C -30
- ☐ D -28.4



提交

六、2b法求解电路

所有支路电压与电流采用关联参考方向。求电流 $I_1 \sim I_6$ 。



$$b=6$$

$$U_1 = R_1 I_1 + U_s$$

$$U_2 = R_2 I_2$$

$$U_3 = R_3 I_3$$

$$U_4 = R_4 I_4$$

$$U_5 = R_5 I_5$$

$$U_6 = R_6 I_6$$

原则上12个变量

待求解(每个支路的电压电流)

元件约束有6个方程

原则上需要12个独立方程

$$n=4$$

$$b=6$$

$$l=7$$

n 节点 b 支路电路

$2b$ 个未知量

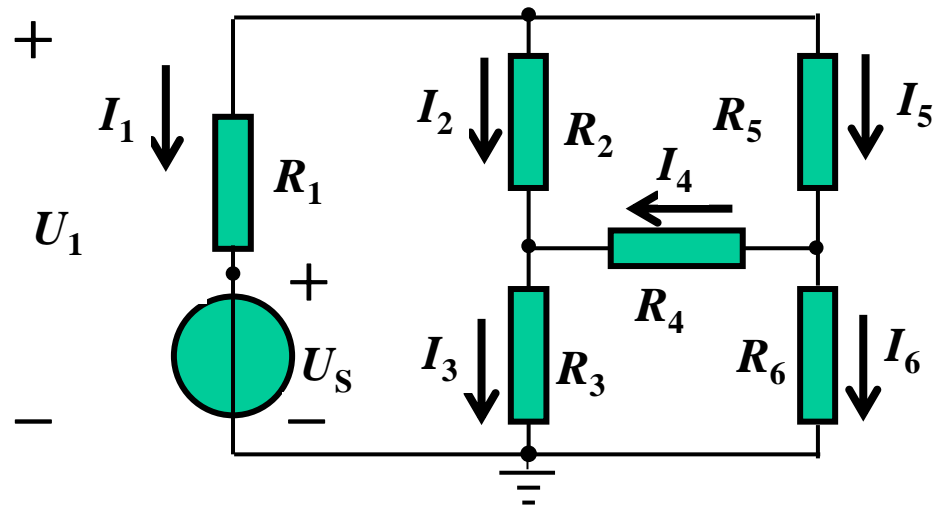
$2b$ 个方程

b 个独立元件约束

$n-1$ 个独立 KCL

$b-n+1$ 个独立 KVL

2b 法



$$I_1 + I_2 + I_5 = 0$$

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

$$I_4 - I_5 + I_6 = 0$$

$$U_1 - U_2 - U_3 = 0$$

$$U_2 - U_4 - U_5 = 0$$

$$U_3 + U_4 - U_6 = 0$$

$$U_1 = R_1 I_1 + U_s$$

$$U_2 = R_2 I_2$$

$$U_3 = R_3 I_3$$

$$U_4 = R_4 I_4$$

$$U_5 = R_5 I_5$$

$$U_6 = R_6 I_6$$

元件约束6个方程