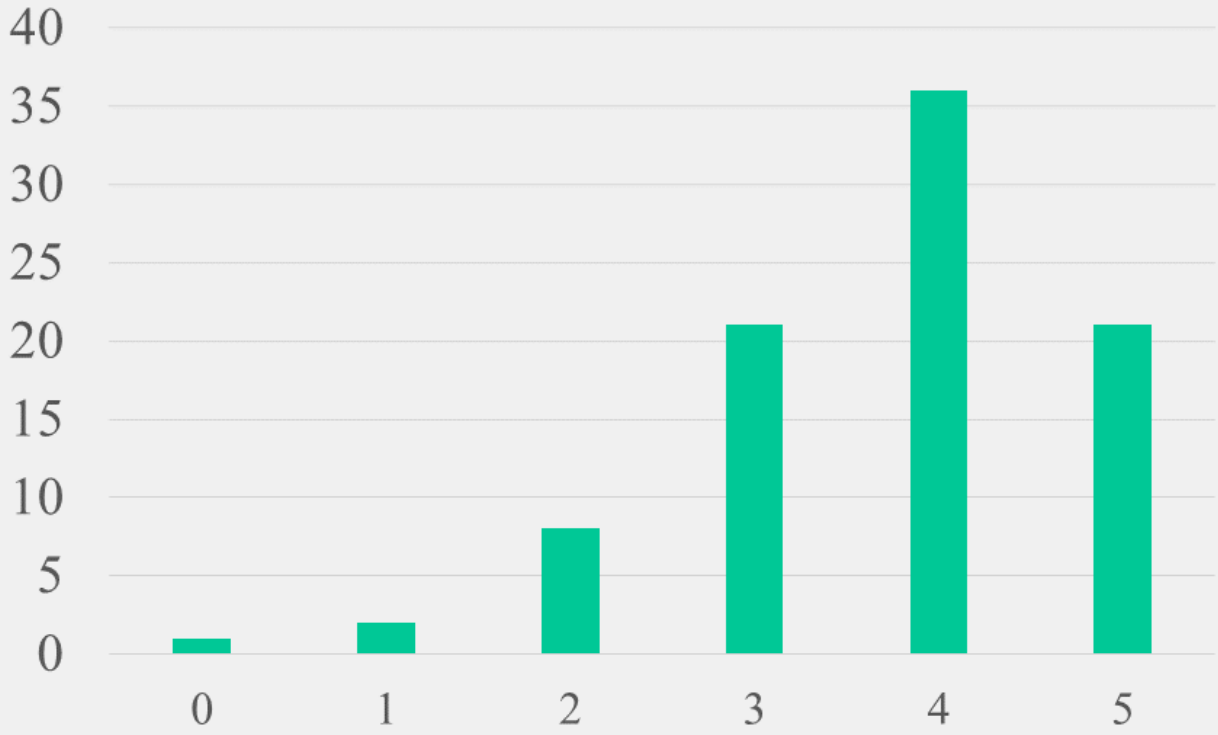
电路原理

第2讲：拓扑约束和元件约束

手头要有纸笔

上节课前测结果（5道题回答正确的分布）89人



内容提要

- 基尔霍夫定律 → 拓扑约束
- 电阻
- 独立电源
- 受控元件
  - 受控电阻
  - 受控电源

  （电阻、独立电源、受控元件、受控电阻、受控电源 → 元件约束）
- *2b*法求解电路 → 课外推送

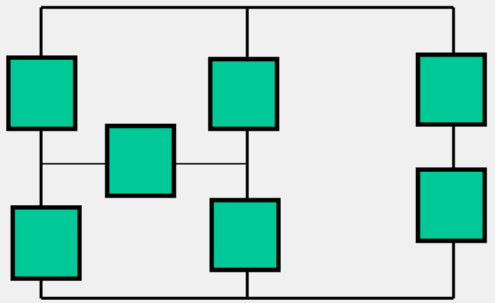
本讲重难点

- **KCL、KVL**
- **MOSFET的仿真（不需要知道物理原理）**
  - 如何研究元件的外特性
- 受控源的定义

单选题 1分

一、基尔霍夫定律（Kirchhoff's Laws）

按照我们教材和视频中的定义，该电路有多少节点?



A 3

B 4

C 8

D 14

5

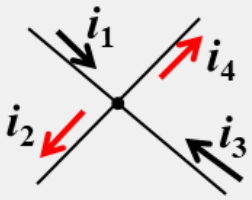
德国物理学家Kirchhoff 1845年提出

II. Kirchhoff's Current Laws KCL:

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

流出节点的电流的代数和为零

“代数和”：
流出节点电流的符号为+
流入节点电流的符号为−



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

$$i_1+i_3=i_2+i_4$$

请用文字来总结上式的物理含义

弹幕时间到！

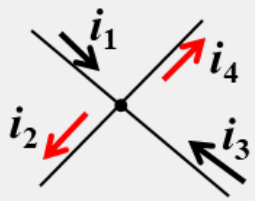
德国物理学家Kirchhoff 1845年提出

II. Kirchhoff's Current Laws KCL:

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

流出节点的电流的代数和为零

"代数和"：
流出节点电流的符号为+
流入节点电流的符号为−



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

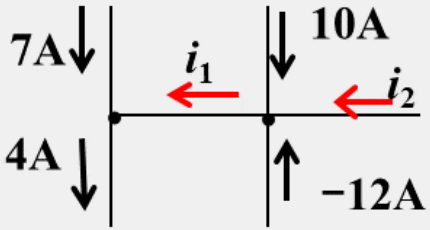
$$i_1+i_3=i_2+i_4$$

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

(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

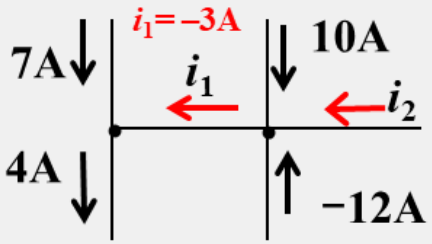
例



$i_1 = -3\text{A}$

单选题 1分

i_2=____A



A −1

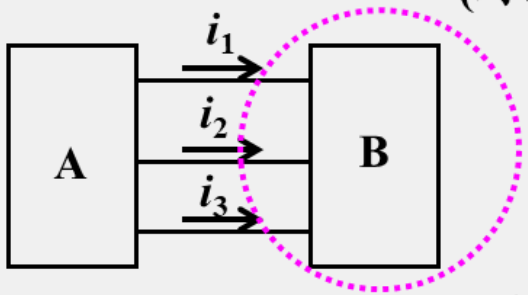
B 1

C 2

D 5

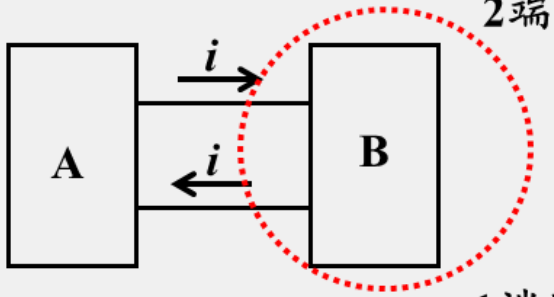
广义KCL

(对外有)3(个接线)端(的)网络

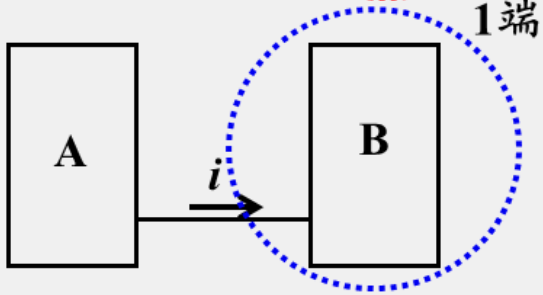


$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

2端网络



1端网络



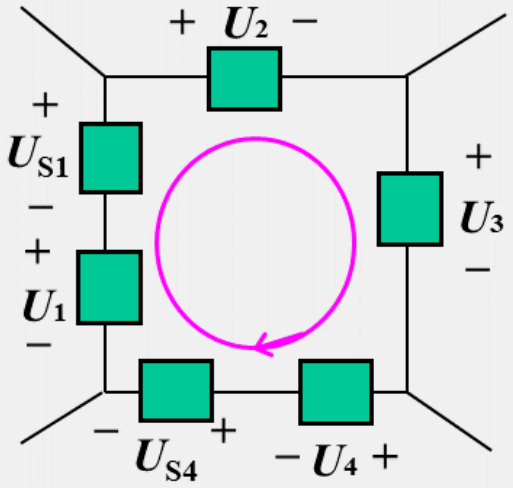
$$i = 0$$

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

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

“代数和”：
沿着某方向(顺/逆时针)走，
先遇到+号则该电压为+
先遇到−号则该电压为−

例



从U_1开始顺时针：

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

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

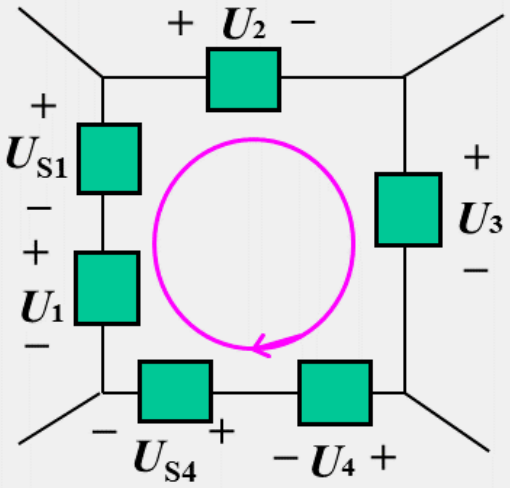
请用文字来总结上式的物理含义

弹幕！

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

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

例



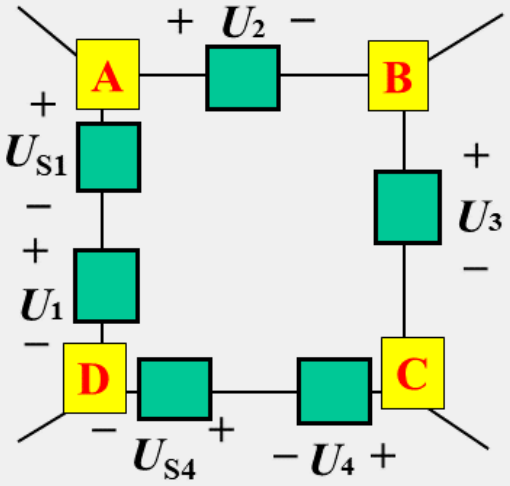
“代数和”：
沿着某方向(顺/逆时针)走，
先遇到+号则该电压为+
先遇到−号则该电压为−

从U_1开始顺时针：

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

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

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



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

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

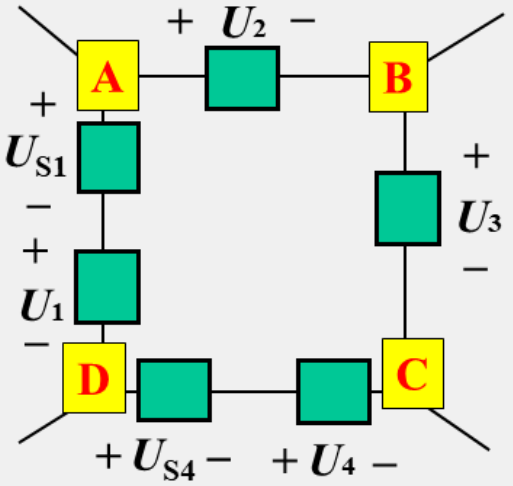
考虑某两点之间的电压降

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

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。

多选题 1分

$U_{AC}=$



A U_2+U_3

B $U_{S1}+U_1+U_{S4}+U_4$

C $U_{S1}+U_1$

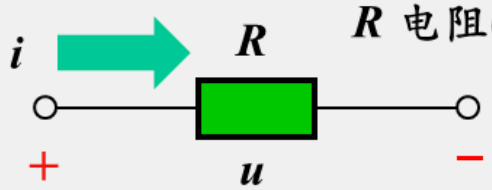
D $U_2+U_3-U_4-U_{S4}$

二、电阻（Resistor）

1. 电路符号

2. 欧姆定律

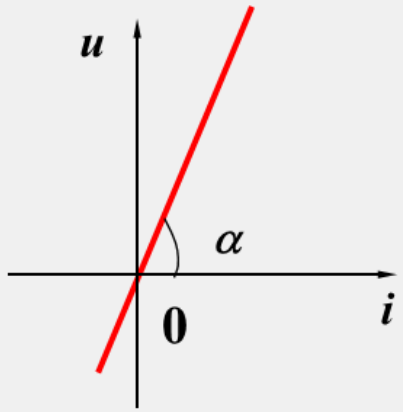
电压电流采用关联参考方向



R 电阻(resistance)

Unit：Ω(欧姆)

$$u = R\,i$$

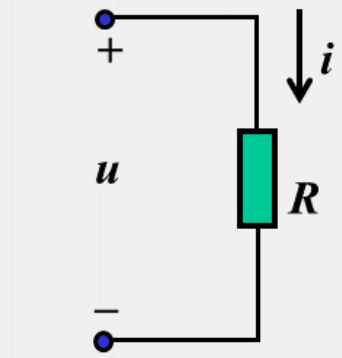


令$G = 1/R$　　G 电导(Conductance)

Unit：S(西)　　(Siemens，西门子)

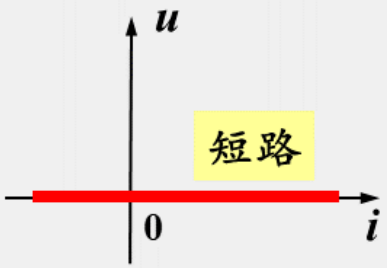
欧姆定律：$i = G\,u$

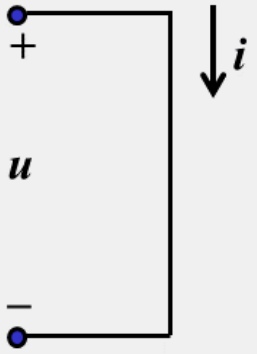
3.短路与开路

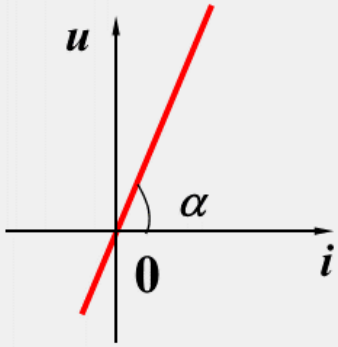


当 $R=0\ (G=\infty)$，定义其为短路(特殊电阻)。

$u=0$ ，i由外电路决定。

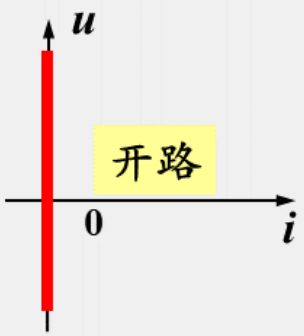


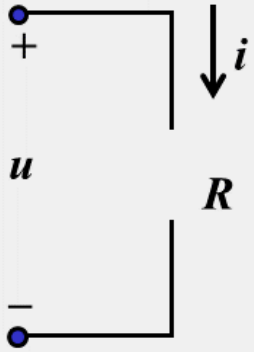




当 $R=\infty\ (G=0)$，定义其为开路(特殊电阻)。

$i=0$ ，u由外电路决定。





实际电阻器

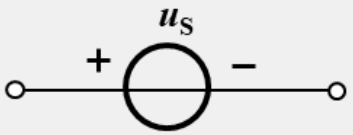
电阻的额定功率

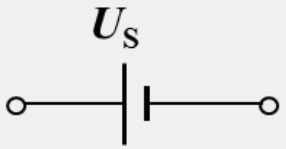
见课后推送

三、独立电源（independent source）

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

电路符号：





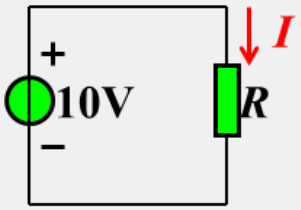
1) 特性

(a) 独立电压源两端的电压与电路其余部分无关

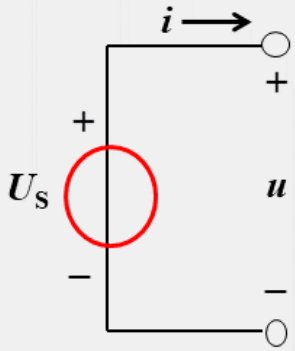
直流：U_S 为常数

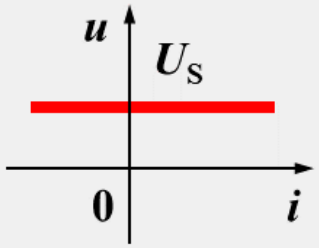
正弦交流：u_S 随时间变化，可以表示为 $u_S=U_m\sin\omega t$

(b) 流经独立电压源的电流由外电路决定



2). *u-i* 特性



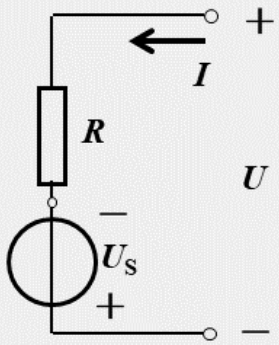


U_S=0和本节课前面提到的什么在*u-i*特性上是一样的(等效)?

此处可以有弹幕

单选题 1分

图示端口的*u-i*特性是



A $U=U_S+RI$

B $U=-U_S+RI$

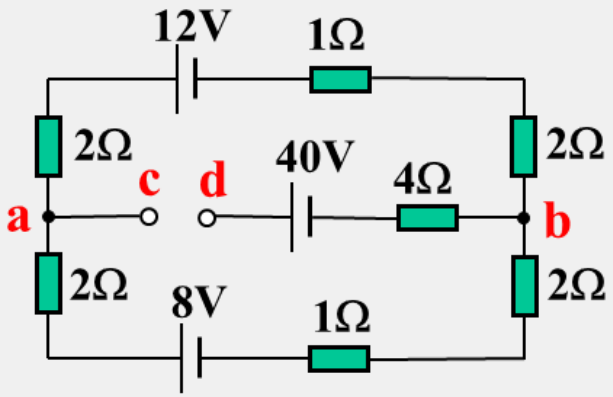
C $U=U_S-RI$

D $U=-U_S-RI$

单选题 1分

U_{ab}= _____V

c-d之间是开路



A 10

B 50

C −30

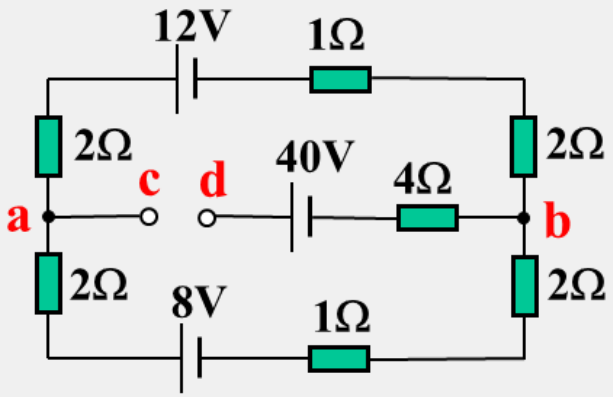
D −28.4

21

单选题 1分

U_{cd}= _____V

c-d之间是开路



A 10

B 50

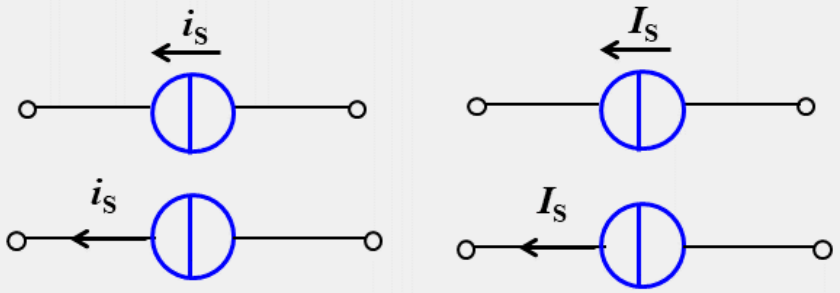
C −30

D −28.4

22

2、理想独立电流源（independent current source）

电流符号



1) 特性：

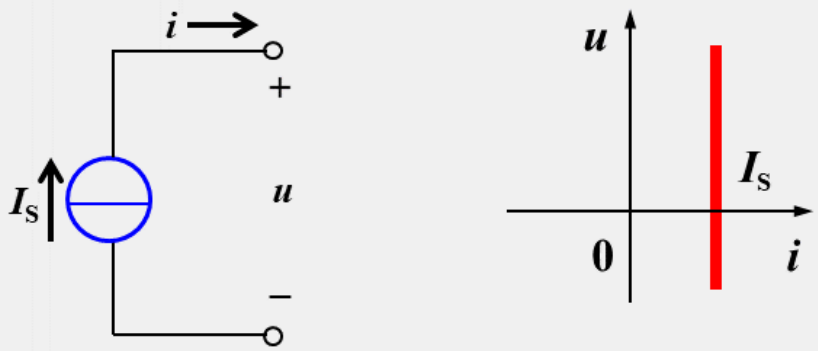
(a) 流经独立电流源的电流与电路的其余部分无关

直流：I_S 是常数

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

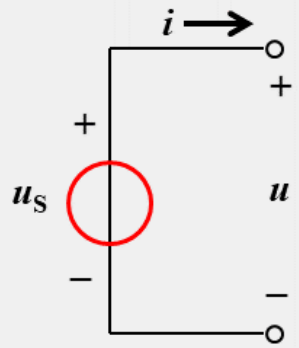
(b) 电流源上的电压由外电路决定

2) *u-i* 特性



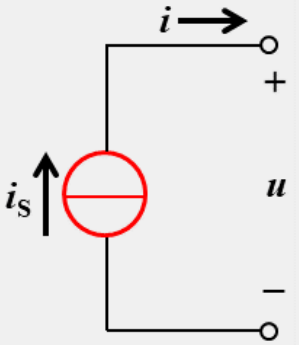
I_S=0和本节课前面提到的什么等效?

3. 独立电源的功率



$$p_{发} = ui = u_S i$$

$$p_{吸} = -ui = -u_S i$$



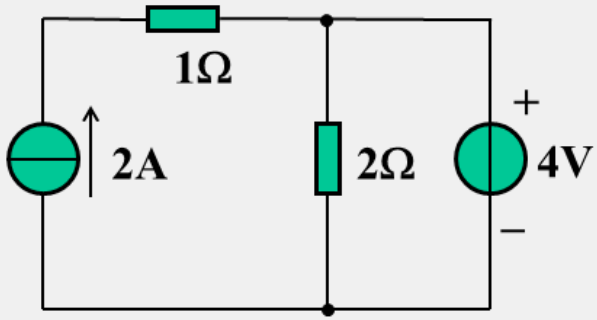
$$p_{发} = ui = u\, i_S$$

$$p_{吸} = -ui = -u\, i_S$$

单选题 1分

$P_{us发}$ = _____ W

（最先答对的3位同学有红包）



A 0

B 4

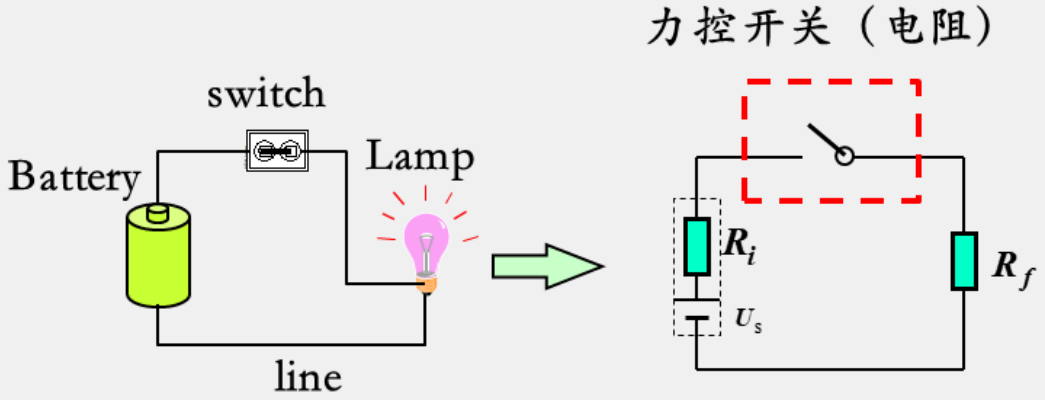
C 8

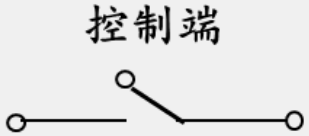
D 12

26

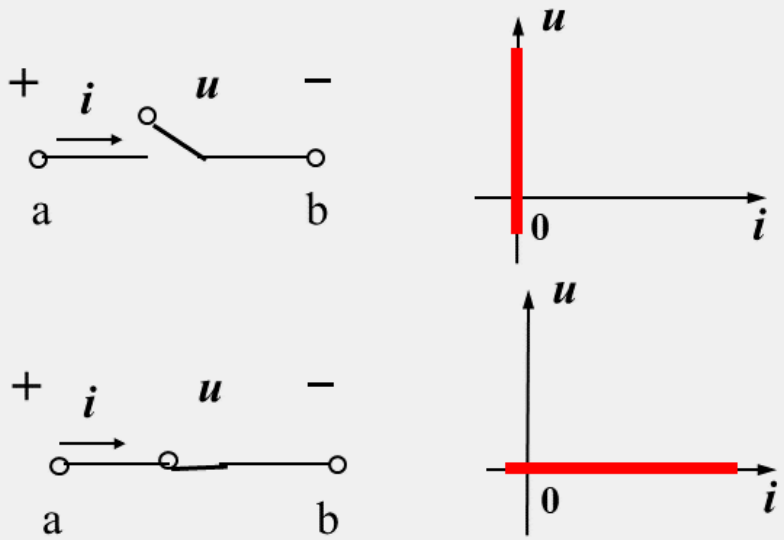
四、受控元件(dependent elements)

1. 受控电阻—开关





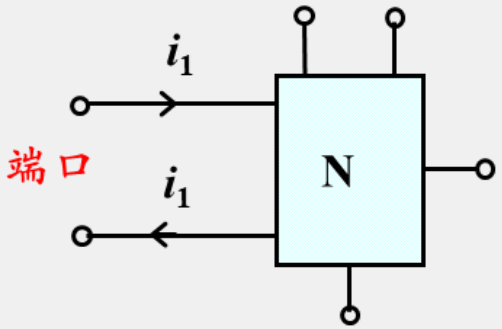
理想力控开关的 u-i 特性



鼓励投稿 非理想力控开关的 u-i 特性？

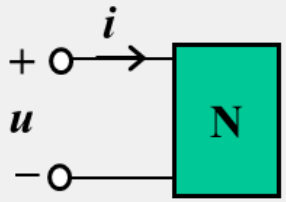
端口 (port)

n=6(个接线)端(的)网络

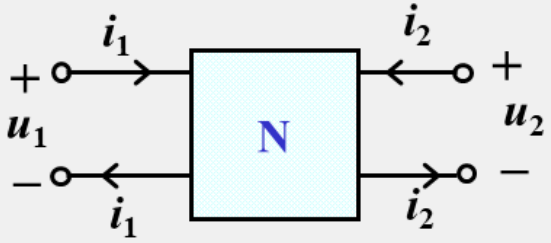


端口由两个接线端构成，且满足如下条件：从一个接线端流入的电流等于从另一个接线端流出的电流。　端口条件

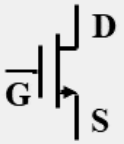
一端口网络：对外只有一个端口的网络，即二端网络

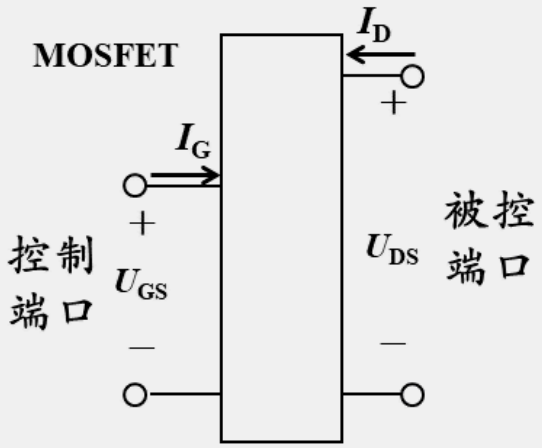


二端口网络：对外有二个端口的网络(L5)



一个压控电阻和压控开关的实例：MOSFET





看仿真

循序渐进地研究外特性：

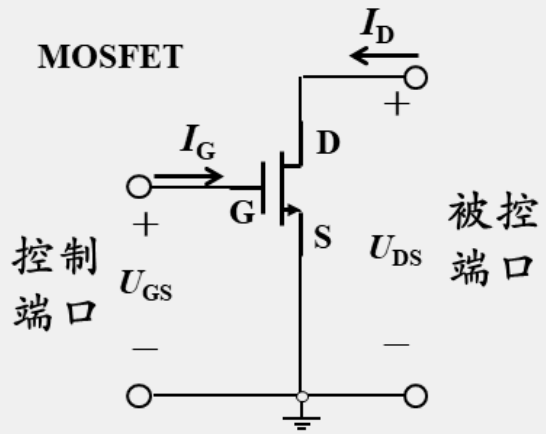
（1）控制端口的*u-i*特性（被控端口为某个电压）

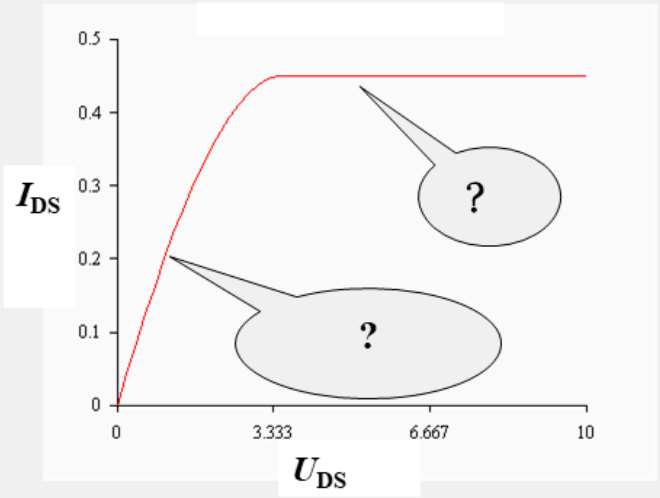
（2）控制端口的电压对被控端口的影响

（2-1）控制端口的电压变，看被控端口的电流(被控端口电压固定)

（2-2）控制端口为某固定电压，看被控端口的*u-i*特性

一个压控电阻(压控开关)的实例：MOSFET





看进一步仿真

2 受控电源 (Dependent source)

定义:

受控电压源:

端口

对外表现为电压源的*u-i*特性，其电压由电路中某电压或电流控制

受控电流源

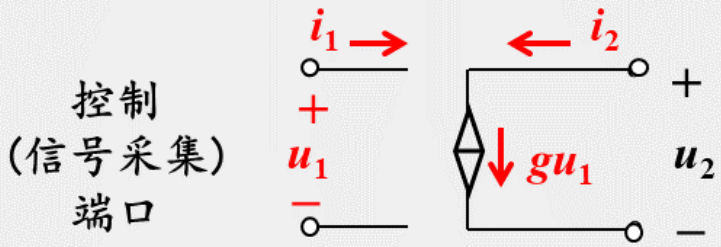
对外表现为电流源的*u-i*特性，其电流由电路中某电压或电流控制

为什么要有受控源?

电路
- 源 (发电厂、光电池、麦克风等)
- 负荷 (电动机、扬声器、屏幕等)
- 能量和信号处理电路 (变压器、放大器、开关等)
- 导线 (输电线路、电路板等)

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

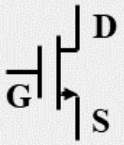
为什么要有一个开路的控制端口？

希望对电路进行无损的电压采样

L3等效变换讨论

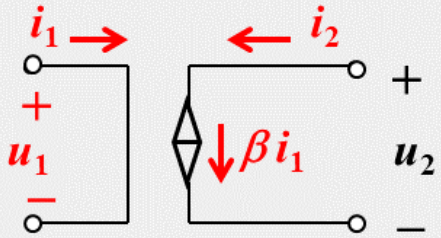
怎么才能有一个开路的控制端口？

L2/A1 MOSFET、L4运算放大器



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

CCCS



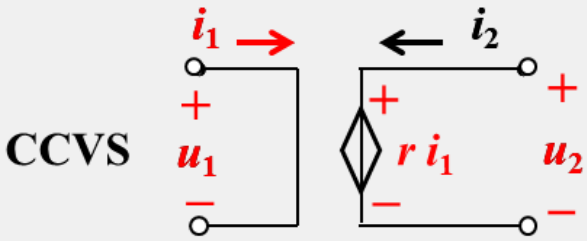
$$\begin{cases} u_1=0 \\ i_2=\beta\ i_1 \end{cases}$$

β：转移电流比

短路的控制端口的原因：无损的电流采样

L3讨论

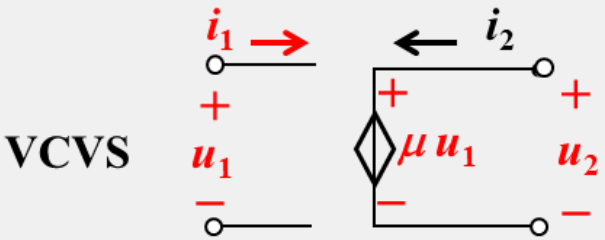
(c) 流控电压源Current Controlled Voltage Source(CCVS)



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

r ：转移电阻

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

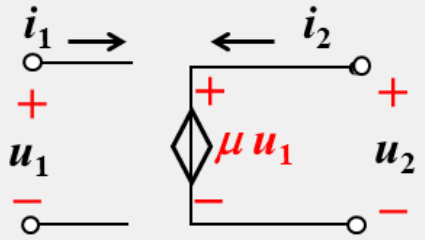


$$\begin{cases} i_1 = 0 \\ u_2 = \mu\,u_1 \end{cases}$$

μ:转移电压比

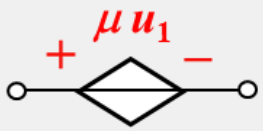
单选题 1分

线性受控源是二端（两个接线端）元件吗?



A 是

B 不是



36

受控源与独立源的比较

(a) 受控源输出端口的*u-i*特性类似于独立源。

(b) 独立电压(或电流)源的电压(或电流)由电源本身决定，而受控电压(或电流)源的电压(或电流)由控制量决定。

(c) 独立源是真正电路中能量/信号的“源”，受控源在电路中是能量或信号处理元件。

电路
- 源 (发电厂、光电池、麦克风等)
- 负荷 (电动机、扬声器、屏幕等)
- 能量和信号处理电路 (变压器、放大器、开关等)
- 导线 (输电线路、电路板等)