



课程名称：

《 电路基础 III 》

提 醒： 请关闭所有无线通信工具！

授课班级： 选课班级（2019级）

电子信息学院 何贵青

2020/02/25

# 绪 论



## ◆课程简况:

课程地位、研究内容、教学要求

## ◆课程特点:

理论严谨、内容丰富、系统性强

## ◆课程安排:

理论授课: 32

实验学时: (单独安排)

## 主要教材：

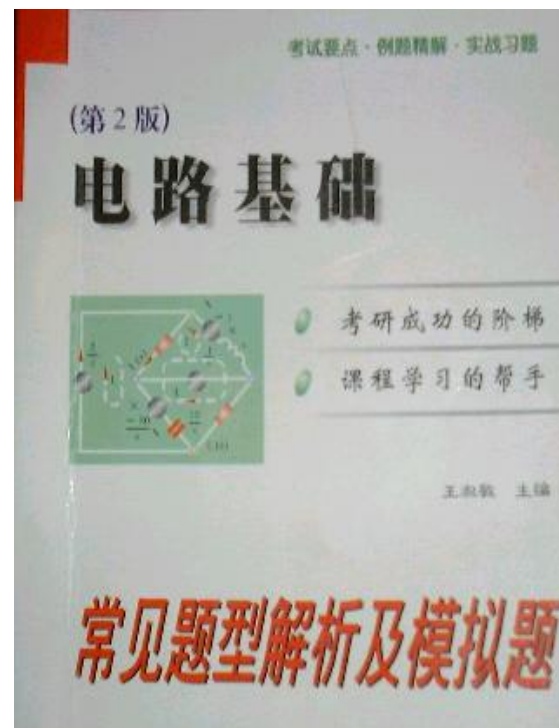
《电路分析基础》

西北工业大学出版社



## 参考：

《电路基础常见题型  
解析及模拟题》



《电路实验指导书》

# ● 如何学好本课程？

## ◆ 抓住三个主要环节

## ◆ 处理好四个基本关系

听课与笔记  
作业与复习  
自学与互学  
理论与实践

## ◆ 教学配合，评教评学



# ● 课程学习几点要求

❖ 保持良好的课堂秩序

❖ 按时上课，严格遵守上课纪律

（随机抽查3次旷课或3次迟到、早退取消考试资格）

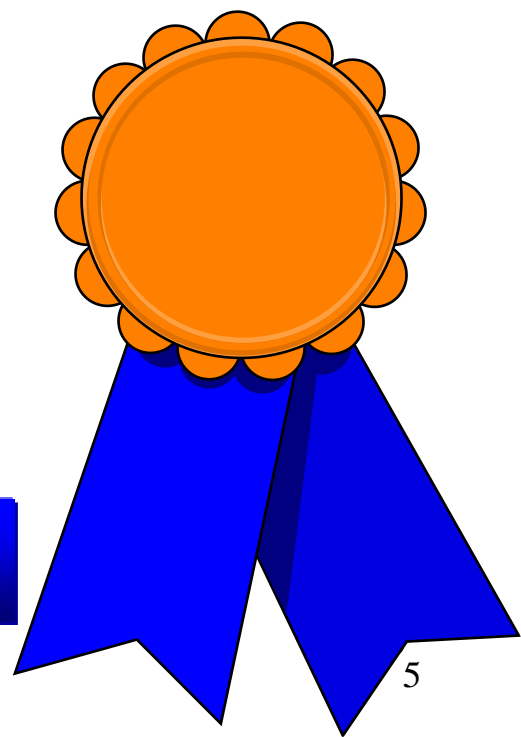
❖ 认真完成课后作业（MOOC）

（作业缺1/3取消考试资格）

❖ 积极完成实验教学内容

（实验缺1/3取消考试资格）

主讲教师：何贵青 15802991311



# 第一章 电路基本概念与定律

## 1-1 电路与电路模型

### 1、电路：

定义：电器元件或设备按一定方式连接而构成的集合。

作用：（1）能量转换：实现电能传送、转换等。  
（2）信号处理：实现电信号产生、加工、传输、变换等。

## 2、电路分类：

线性  
非线性

激励与响应满足叠加性和齐次性的电路。

时变  
时不变

电路元件参数不随时间变化。

集中参数  
分布参数

电路几何尺寸远小于最小工作波长的电路。

$$C=3 \times 10^8 \text{m/s} \quad \lambda = \frac{C}{f}$$

f(Hz)	50	25k	500M	30G
$\lambda(\text{m})$	$6 \times 10^6$	12k	0.6	0.01

静态  
动态

含有动态元件的电路。

### 3、电路模型

- ❖ **实际元件**：工厂人为制造的电路元件和设备（如，电阻、电感、电容、晶体管、变压器等各种物理器件……）
- ❖ **模型元件**：为了方便对实际电路进行数学描述和分析，把实际元件进行科学抽象，用一些模型代替实际元件（和设备）的外部功能，从而形成模型元件（理想元件）。



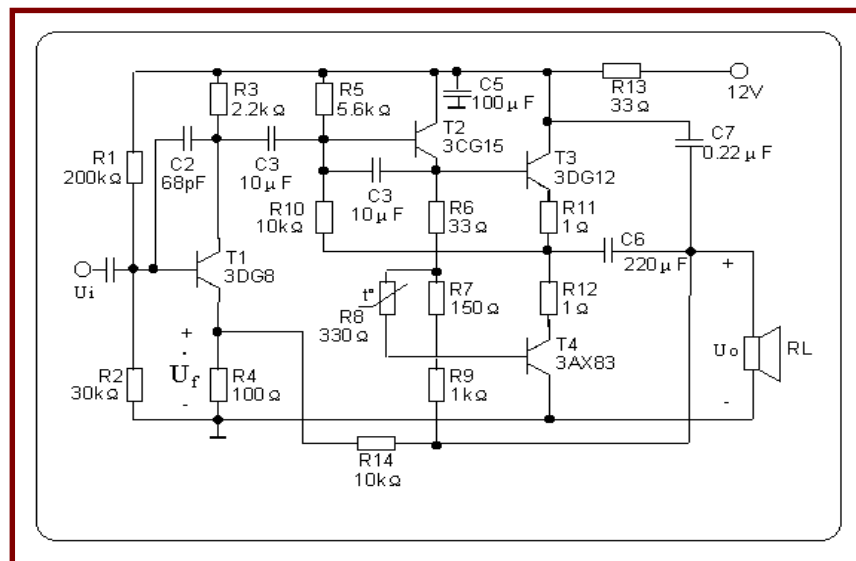
建模

R



❖ **电路模型**：模型元件组成的电路。

❖ **电路图**：电路模型画在一个平面上所形成的图形。





# 1-2 电路分析常用基本变量

电 流  
电 压

电 荷

功 率  
能 量

带电质点的  
定向运动

## 1、电流：

定义：

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

$$I = \frac{Q}{T}$$

方向：

- 1) 实际方向（正方向）：规定为正电荷运动的方向。
- 2) 参考正方向（简称：参考方向）：任意假定的方向。

注意：必须指定电流参考方向，这样电流的正或负值才有意义。

## 2、电压：

定义：

电场力把单位正电荷从一点移向另一点所做的功

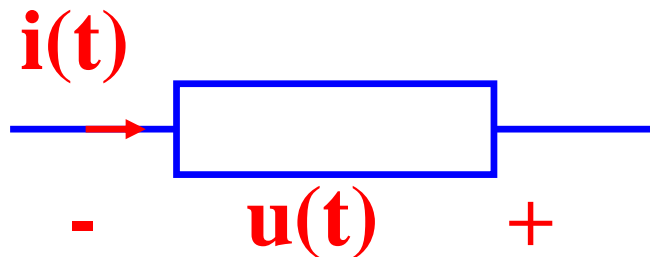
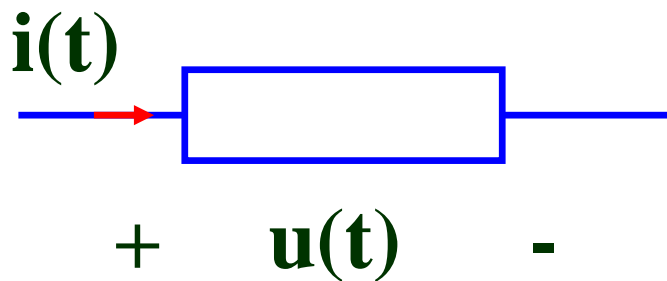
$$\frac{W}{Q}$$

方向：1) 实际方向：由高电位指向低电位。  
2) 参考正方向：任意假定的方向。

注意：必须指定电压参考方向，这样电压的正值或负值才有意义。

## 3、电压与电流的关联参考方向：

电流参考方向是从电压参考正极流入，负极流出，称电压与电流参考方向关联。



## 注意：

- 1、求解电路时，所用到的电压和电流向量，**必须**在电路图中标注它们的参考方向；
- 2、电压和电流的参考方向可以分别**任意假定**；
- 3、**习惯上**，恒定的电压、电流分别使用符号  $U$ 、 $I$  表示，随时间变化的则分别用  $u$ 、 $i$  或者  $u(t)$ 、 $i(t)$  表示；
- 4、课程后续出现的电压、电流的方向，若无特别说明，都指**参考方向**。

## 4、功率：

定义：

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = \frac{W}{T}$$

电场力在单位

计算：

计算单位：

电压(伏特,V) 时间(秒,s) 电流(安培,A), 功率(瓦特,W)

(1) 电压与电流采用关联参考方向

$$p(t) = u(t)i(t) \text{ —— 支路吸收}$$

$$u = \frac{dw}{dq}, i = \frac{dq}{dt} \left\} \rightarrow p = \frac{dw}{dt}$$

(2) 电压与电流采用非关联参考方向

$$p(t) = u(t)i(t) \text{ —— 支路发出功率}$$

$i(t)$



$u(t)$

$i(t)$



$u(t)$

思考：求元件吸收的功率？

(1)  $u$ 、 $i$  关联， $P = u(t)i(t)$ 。

(2)  $u$ 、 $i$  非关联， $P = -u(t)i(t)$ 。

# 1-3 基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Law)

## 一、名词定义:

支路:

流过同一电流的分支。

节点:  $\rightarrow$  几条支路?  $I_1—I_6$

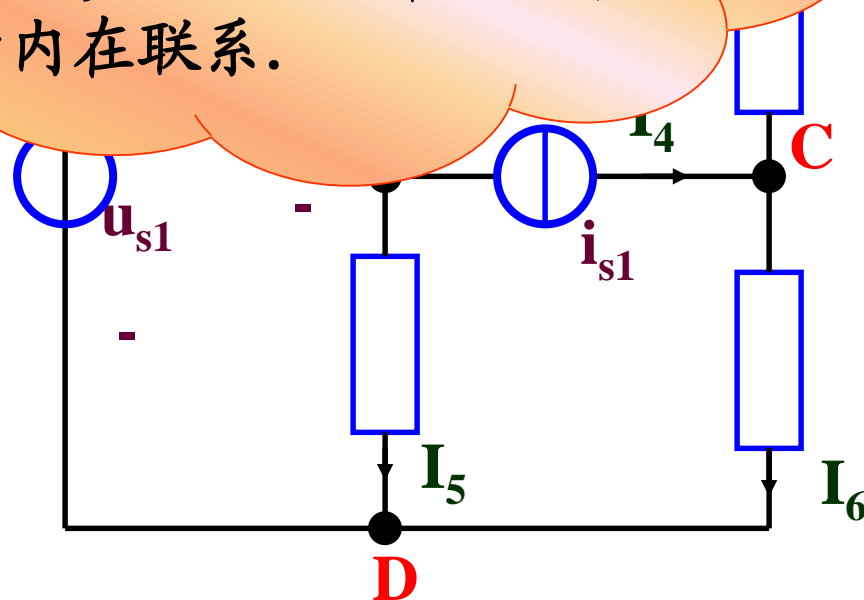
两个以上支路的连接点。

回路:  $\rightarrow$  几个节点?  $A.B.C.D$

由支路构成的闭合路径。

$\rightarrow$  几个回路? 7

- 电路的基本定律;
- 分析和计算电路的理论基础;
- 能够描述电路中电压和电流的内在联系。



## 二、基尔霍夫电流定律

(Kirchhoff's Current Law, KCL)

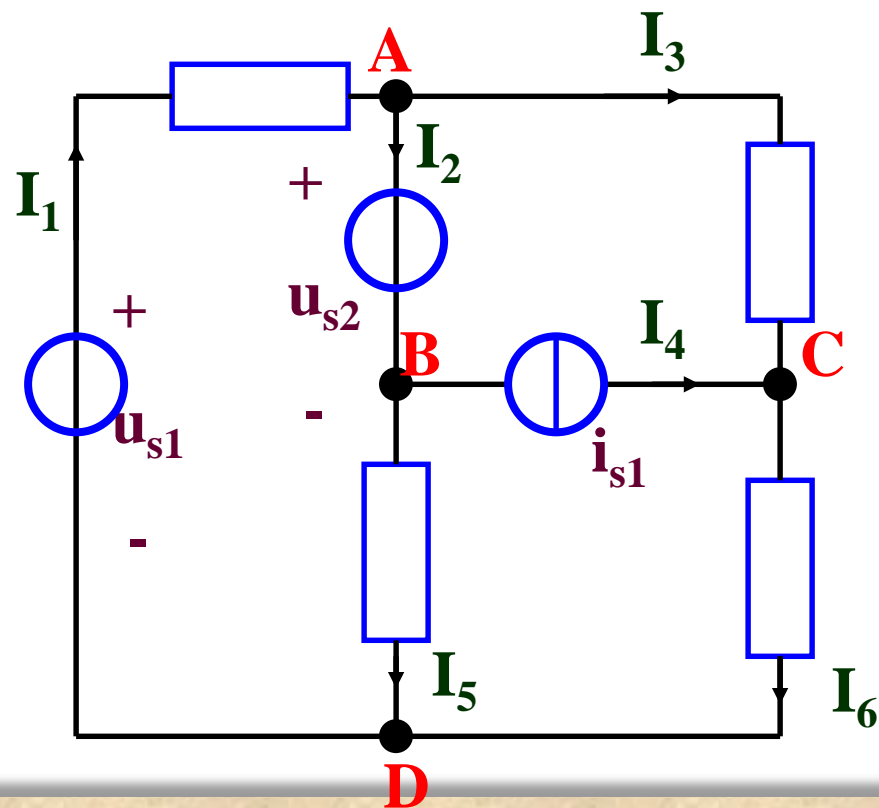
1、电流连续性原理：流入某处的电荷量，必等于流出该处的电荷量。

### 2、KCL

对于任一集中参数电路，  
在任一时刻，流出（或流入）  
任一节点的电流代数和等于零。

记为：

$$\sum_{k=1}^n i_k(t) = 0$$



规定：流出节点的电流为正，流入节点的电流取负。

## KCL方程:

以基尔霍夫电流定律在电路各节点处列写的方程式。

节点A:  $-I_1 + I_2 + I_3 = 0$

节点B:  $-I_2 + I_4 + I_5 = 0$

节点C:  $-I_3 - I_4 + I_6 = 0$

节点D:  $I_1 - I_5 - I_6 = 0$

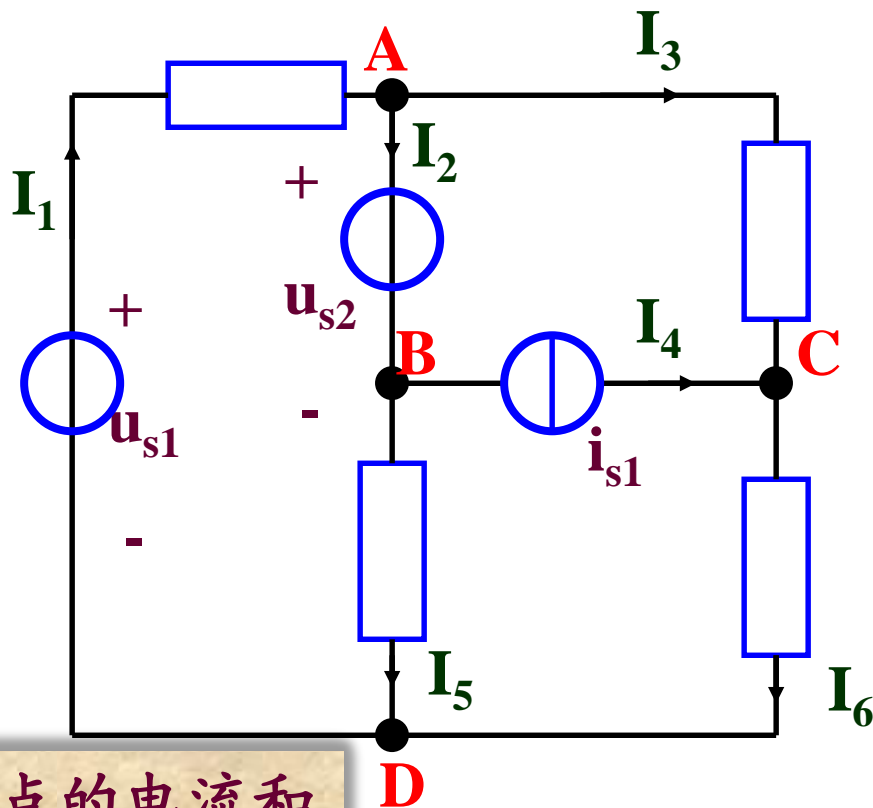
整理

$$(I_1 = I_5 + I_6)$$

意义

流出节点的电流和等于流入该节点的电流和

推广



## 2、推广：

- 对于任一集中参数电路，在任一时刻，流出任一节点的电流和等于流入该节点的电流和。即：

$$\sum i_{\text{出}}(t) = \sum i_{\text{入}}(t)$$

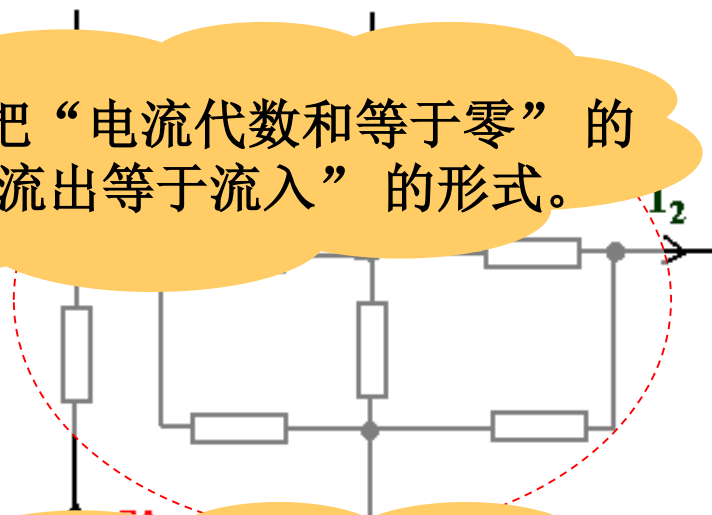
◆ 对于任一集中参数电路，形式推广为“流出等于流入”的形式。

一时刻，流出任一闭合面的电流代数和等于零。即：

$$\sum_{k=1} i_k(t) = 0$$

举例：图示电路，

推广1. 把“电流代数和等于零”的形式推广为“流出等于流入”的形式。  
推广2. 把“任一节点”推广为“任一闭合面”，其中，“闭合面”也称作“广义节点”。



3、定律物理意义:反映电荷的守恒性和电流的连续性。



# 三、基尔霍夫电压定律

(**K**irchhoff's **V**oltage **L**aw, **KVL**)

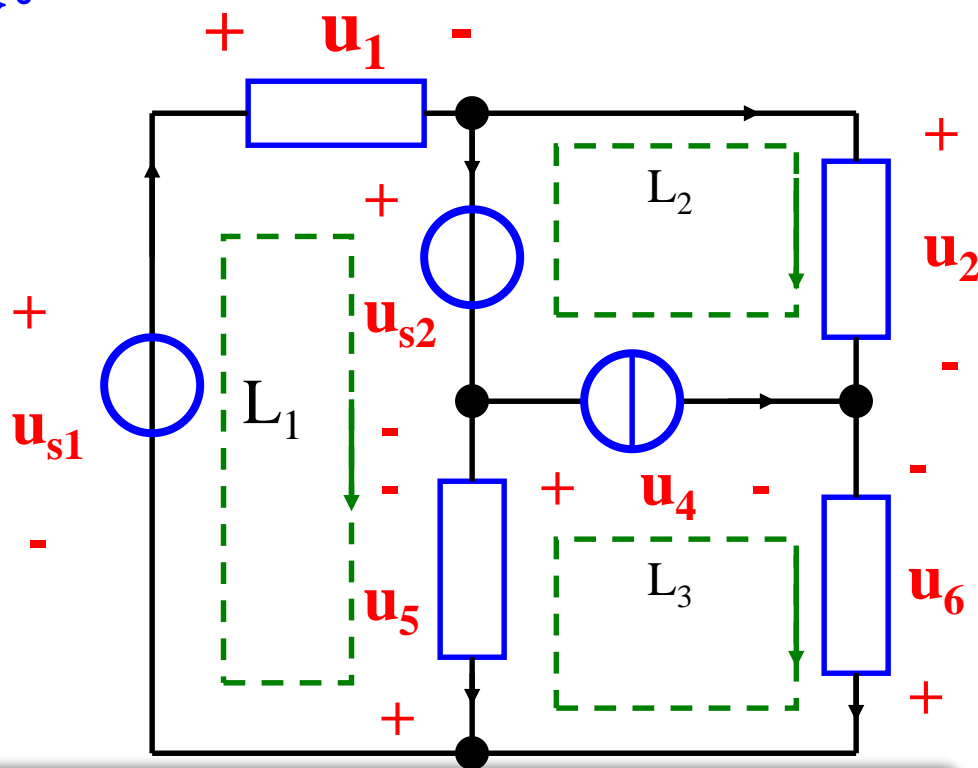
1、电荷能量变化原理：电场中电荷能量的改变只与两点位置有关，与运动的路径无关。

## 2、KVL

对于任一集中参数电路，  
在任一瞬间，对任一回路，  
按一定绕行方向，其电压降  
的代数 sum 等于零。

记为：

$$\sum_{k=1}^m u_k(t) = 0$$



**注意：**与回路绕行方向一致的电压为正，否则取负。

# KVL方程:

以基尔霍夫电压定律在电路各个回路列写的电路方程式。

回路1:  $u_1 + u_{s2} - u_5 - u_{s1} = 0$

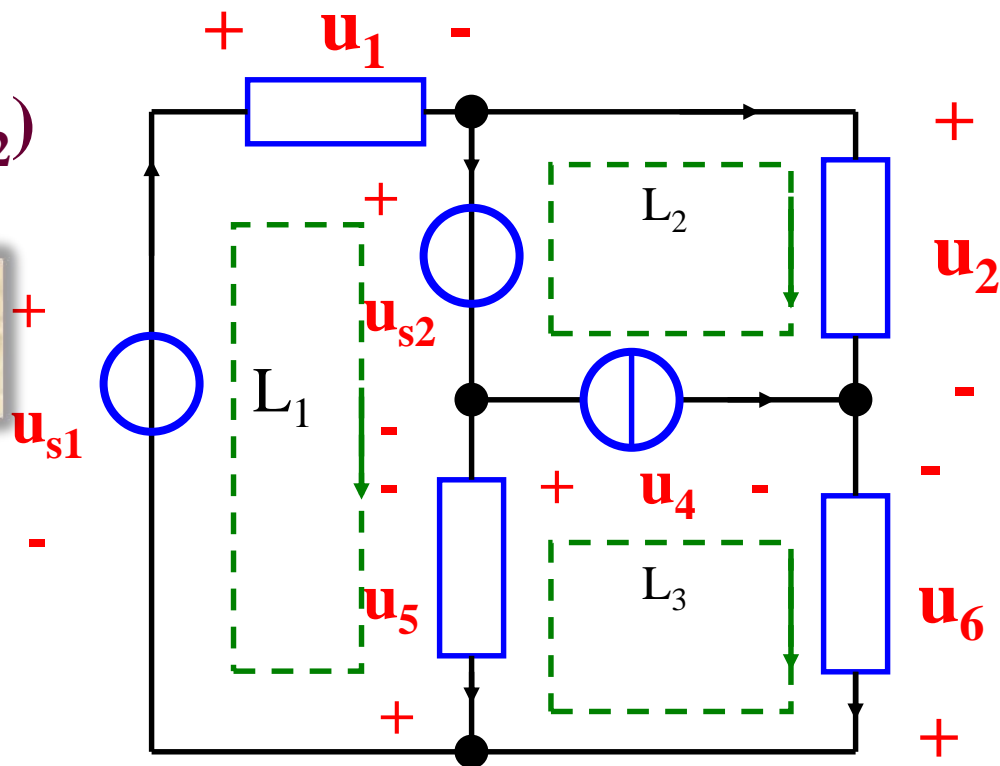
整理  
 $(u_1 - u_5 = u_{s1} - u_{s2})$   
意义

元件上电压降的代数和等于电压源的电压升的代数和。

回路2:  $u_2 - u_4 - u_{s2} = 0$

整理  
 $(u_2 - u_4 = u_{s2})$

回路3:  $-u_6 + u_5 + u_4 = 0$



## 2、推广：

- 对于任一集中参数电路，在任一时刻，沿任一回路绕行方向，回路中元件上电压降的代数和等于电源电压升的代数和。

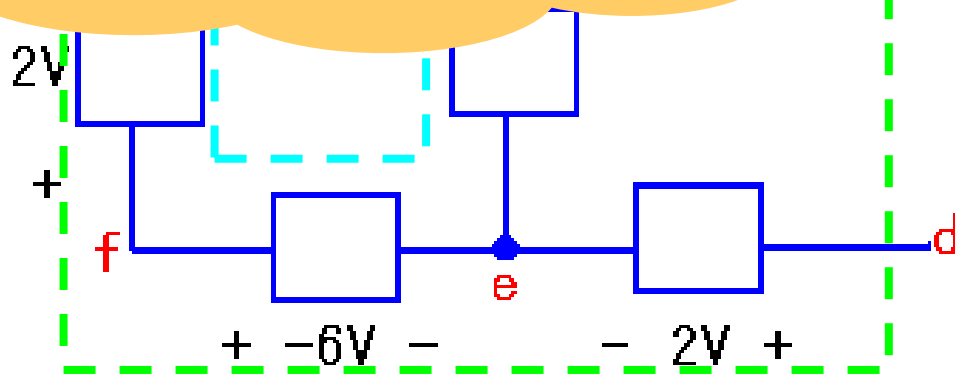
即：

$$\sum u_{\text{降}}(t) = \sum u_{\text{升}}(t)$$

推广：把“电压降代数和”的形式推广为“元件电压降代数和等于已知电源电压升代数和”的形式。（常用形式）

练习：图示电路，求

$U_{be}$  和  $U_{cd}$ 。

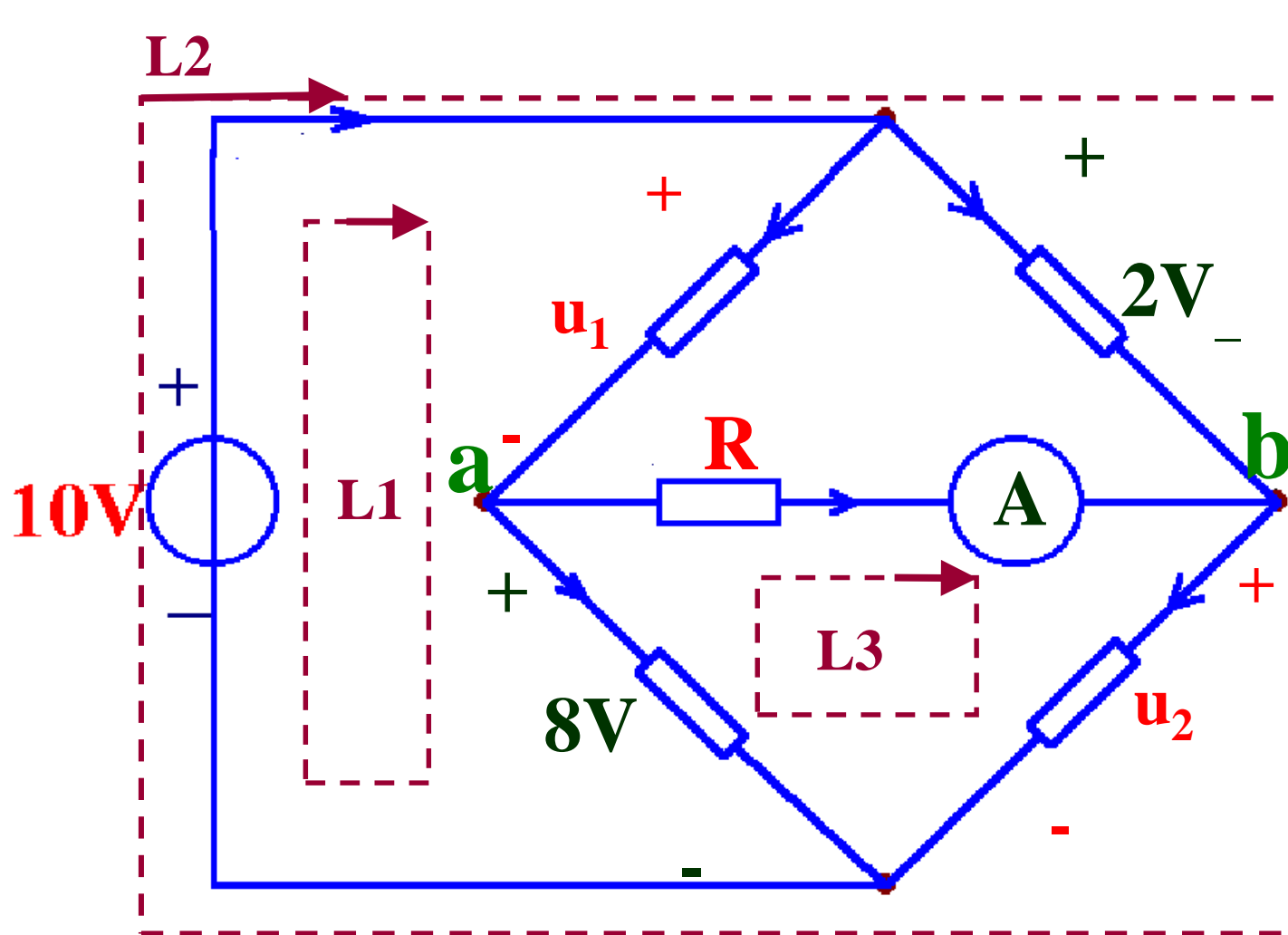


## 3、定律物理意义：

描述回路中支路电压约束关系；反映能量的守恒性。

KCL的物理意义？

**例1：** 图示电路，电阻R有无电流？并求电压 $u_1$ 和 $u_2$ 。



**解：**

回路1：

$$-10 + u_1 + 8 = 0$$

$$\therefore u_1 = 2\text{V}$$

回路2：

$$-10 + 2 + u_2 = 0$$

$$\therefore u_2 = 8\text{V}$$

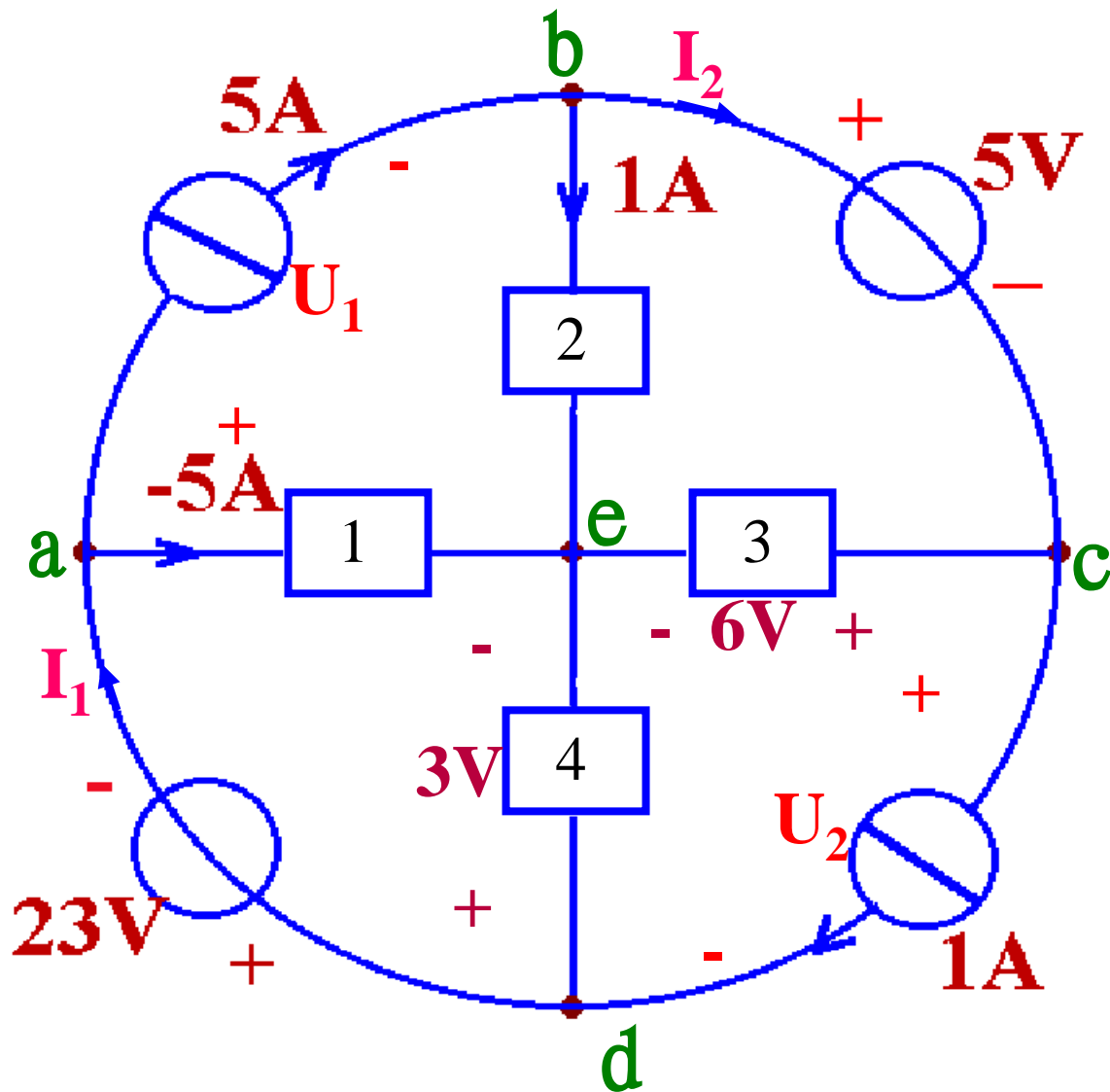
回路3：

$$u_{ab} + u_2 - 8 = 0$$

$$\therefore u_{ab} = 0\text{V}$$

即，电阻R中无电流。

**例2：** 图示电路，求电流 $I_1$ 、 $I_2$ 和电压 $U_1$ 、 $U_2$ 。



**解：**

**节点a:**

$$5 - I_1 - 5 = 0$$

$$\therefore I_1 = 0$$

**节点b:**

$$1 + I_2 - 5 = 0$$

$$\therefore I_2 = 4A$$

**回路1(abcda):**

$$U_1 + 5 + 6 - 3 + 23 = 0$$

$$\therefore U_1 = -31V$$

**回路2(cdec):**

$$U_2 + 3 - 6 = 0$$

$$\therefore U_2 = 3V$$

# 1-4 电路常用元件

- 电路元件分类

- 从能量特性方面可分

两种主要的分类方式

电源元件:  $w(t) > 0$

从外界吸收能量

负载元件:  $w(t) < 0$

- ◆ 从外部端钮数量可分

对外提供能量

二端元件: 具有两个引出端

电阻, 电感, 电容, 二极管……以上引出端

三极管, 集成芯片……

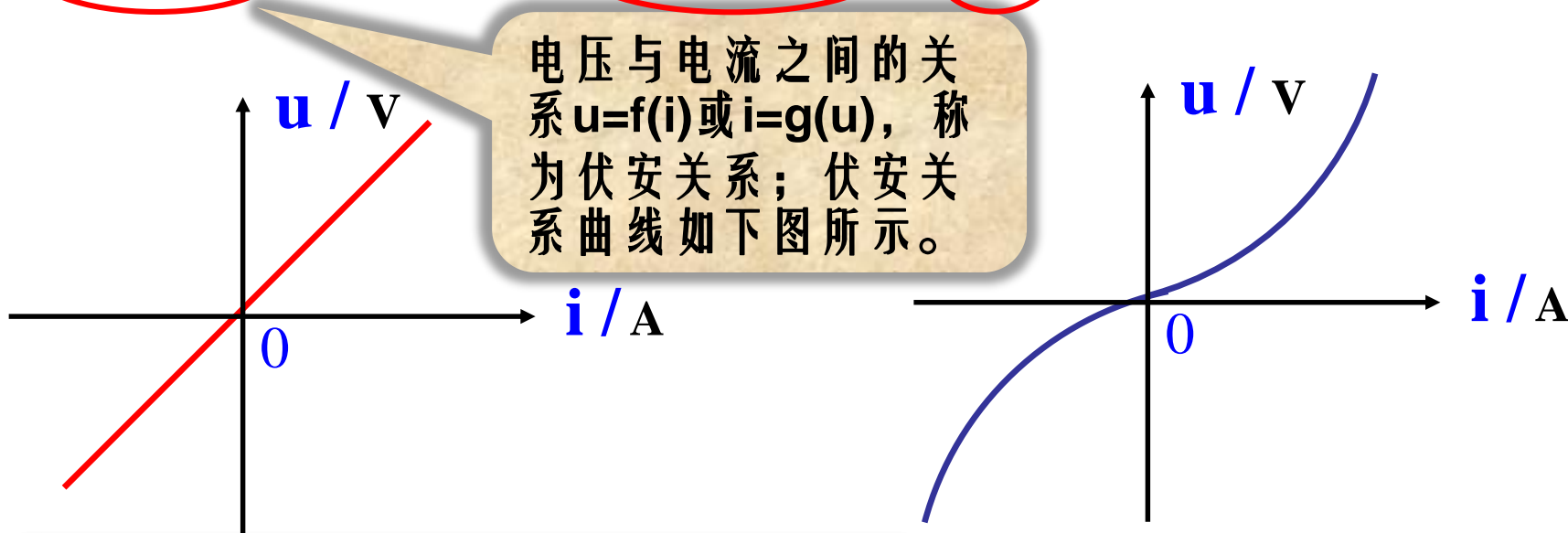
# 一、电阻元件（无源二端元件）

1、表示：



2、定义：

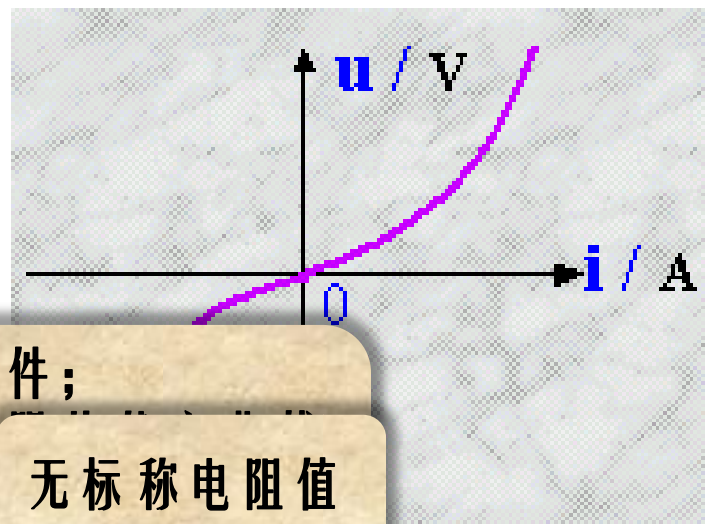
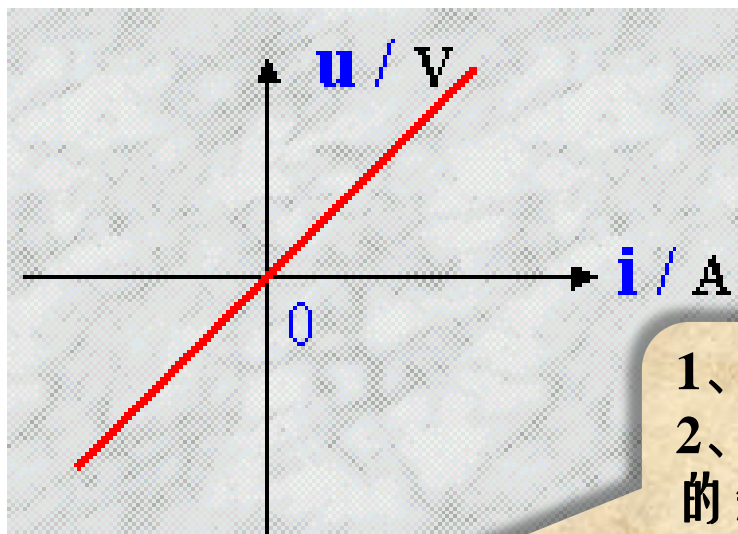
伏安关系可用  $u$ - $i$  平面过坐标原点的曲线来描述的二端元件。



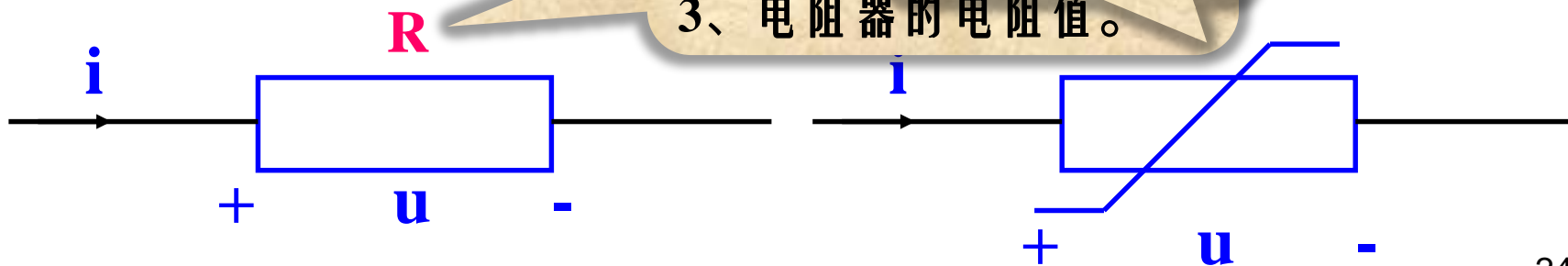
电阻元件作用：电能转换为热能

## 2、分类:

- 线性电阻: 伏安关系为直线, 即,  $u-i$ 平面过坐标原点的直线。
- 非线性电阻: 伏安关系为非直线, 即,  $u-i$ 平面过坐标原点的非直线。



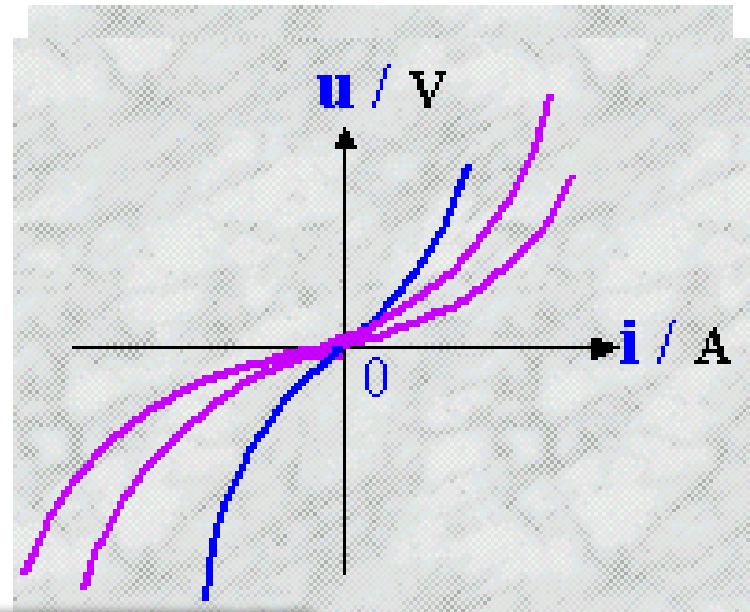
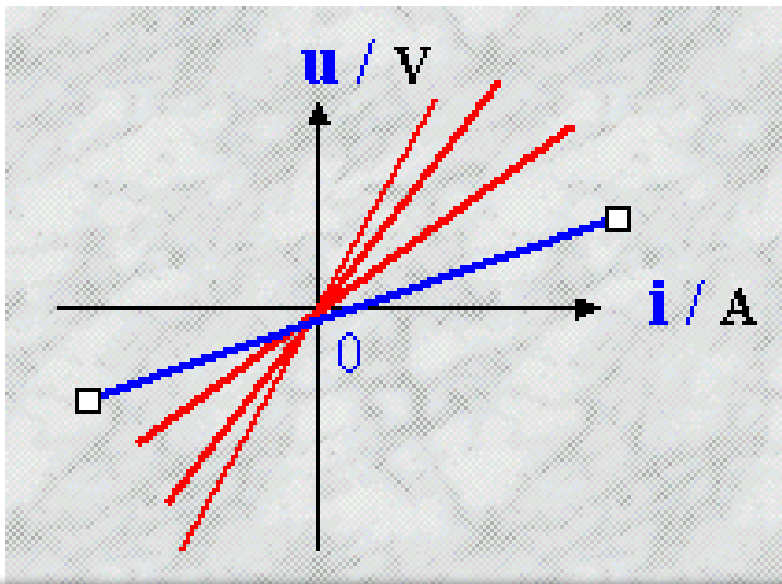
- 1、电阻元件;
  - 2、线性电阻的斜率;
  - 3、电阻器的电阻值。
- 无标称电阻值





# 从元件参数是否随时间变化的角度可分为：

- 时不变电阻：伏安关系不随时间变动，即，伏安关系为 $u-i$ 平面过坐标原点的一条曲线。（定常电阻）
- 时变电阻：伏安关系随时间变动，即，伏安关系为 $u-i$ 平面过坐标原点的一族曲线。

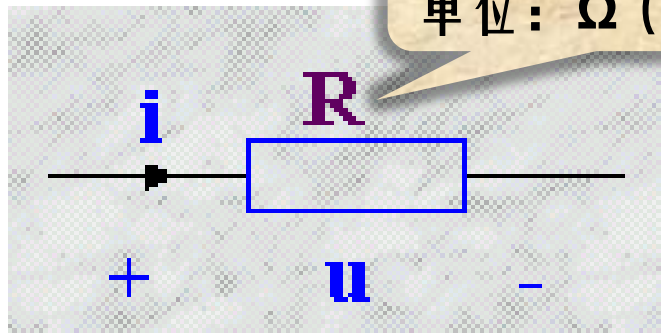


思考：“线性时不变电阻”的伏安关系？

$u-i$ 平面过坐标原点的一条直线

### 3、线性时不变电阻的特点：

电路符号：



R为电阻值，  
单位： $\Omega$ （欧姆）

特点：

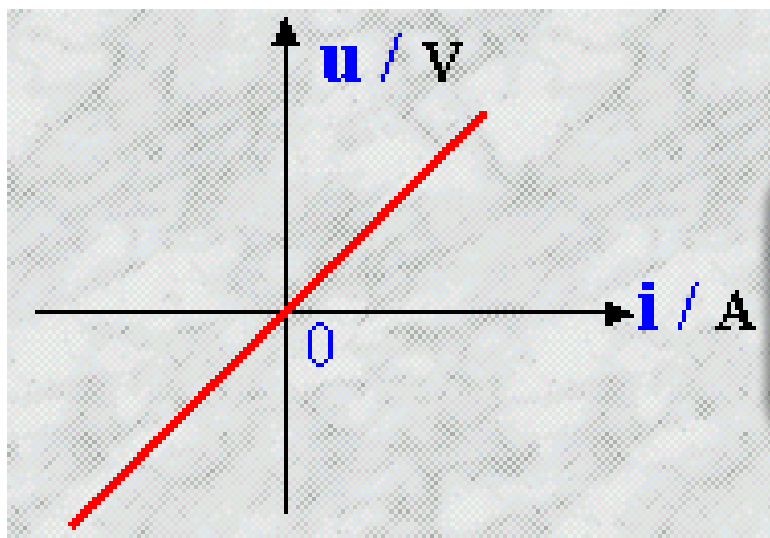
安关系为u-i平面过坐标原点  
的一条直线，斜率为R(电阻值)。

2) 端电压与通过的电流符合欧姆定律，即： $u= Ri$  或  $U=RI$ （注意：电流、电压为关联参考方向；若为非关联参考方向，则  $u=- Ri$  或  $U=-RI$ ）

从外部吸收功率（吸收能量），即，电阻元件

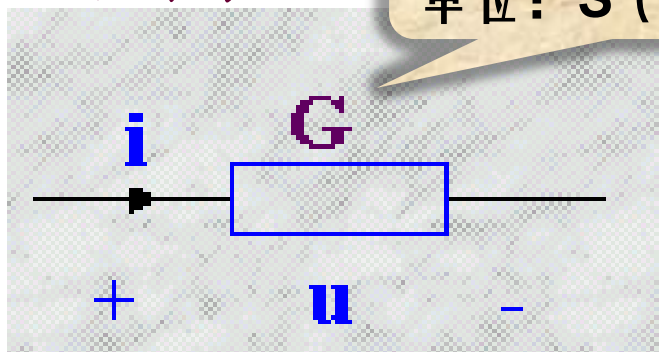
t时刻的电压u，  
只与t时刻的电流i有关系，  
与t时刻之前的电流没有关系。

5) 无记忆元件： $u(t)= Ri(t)$



## 4、线性时不变电导:

电路符号:



$G$  为电导值, 特点 (完全同于电阻)  
单位: S (西门子)

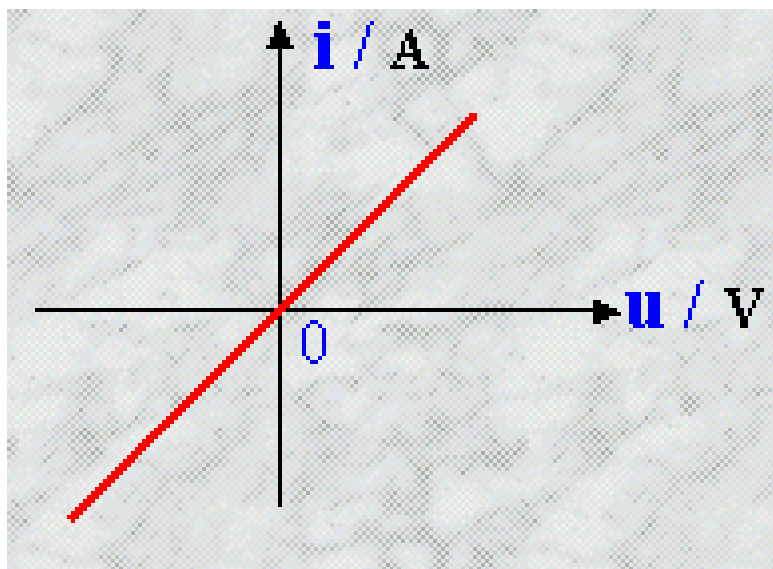
1) 伏安关系为  $i$  -  $u$  平面过坐标原点的一条直线, 斜率为  $G$ 。

2) 通过的电流与端电压符合欧姆定律, 即:  $i = uG$  或  $I = UG$  (注意: 电流、电压为关联参考方向)

3) 具有双向性: 伏安特性对原点对称

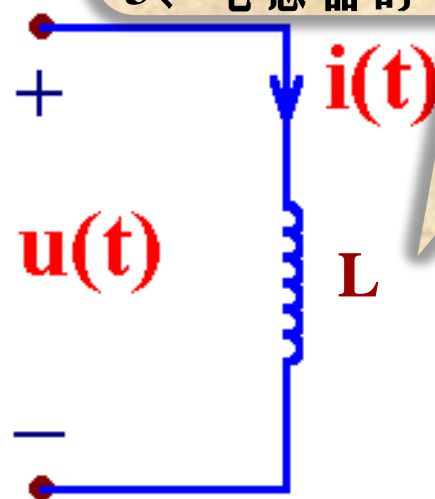
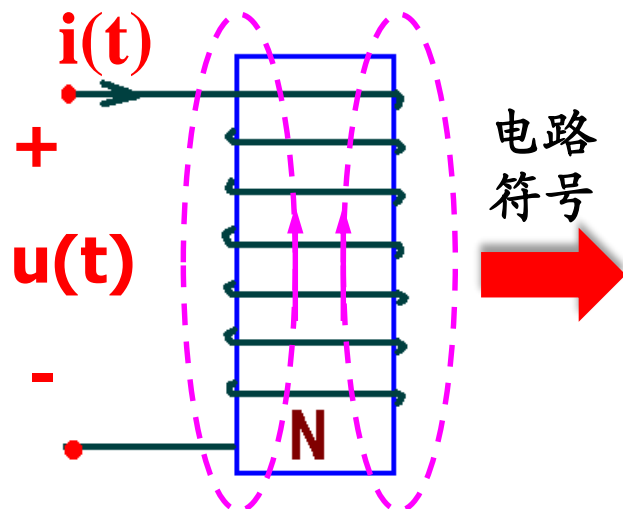
4) 耗能元件:  $p = ui = i^2 / G = u^2 G > 0$

5) 无记忆元件:  $i(t) = u(t)G$



## 二、线性电感元件：

### 1、表示：

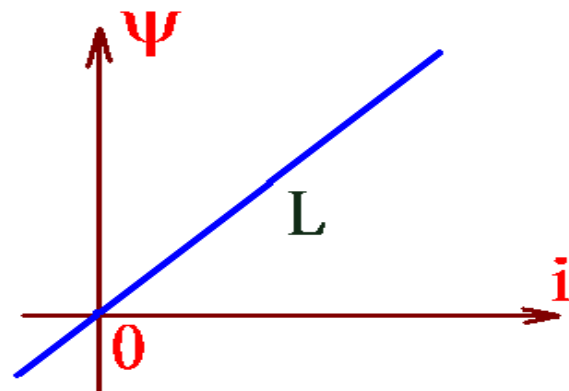


- 1、电感元件；
- 2、线性电感的韦安曲线的斜率；
- 3、电感器的电感值。

$$N: i(t) \rightarrow \Phi = \mu N i \rightarrow \Psi = \mu N^2 i \rightarrow \Psi = L i \rightarrow u(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt}$$

### 2、定义：

韦安特性为  $\Psi$ - $i$  平面一条过原点直线的二端元件。



### 3、特性：

1) 韦安特性:  $\psi(t) = Li(t)$

2) 伏安特性: 
$$u(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt}$$

u、i参考方向关联

伏安关系为微积分方程



变化的电流  $i(t)$  才能产生感应电压  $u(t)$



电流必须是动态变化的，否则电感器失去意义



动态元件

### 3、特性（续）

从电流表达式进行分析.....

3) 记忆元件:

$$\psi(t) = \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau$$

由:  $i = \psi/L$  , 得:

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau$$

**意义:** 电感在  $t$  时刻电流不仅与  $t$  时刻电压有关, 且与  $t$  时刻之前的电压有关, 因此它是**记忆元件**, 即, 以电流的形式把电压记忆起来。

### 3、特性（续）

从磁场能量进行分析.....

#### 4) 无源元件、储能元件:

假设电感电流从 0 变化到  $i$

因为:  $dw = p dt = u i dt = L \frac{di}{dt} i dt = L i di$

所以:  $w(t) = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2(t)$

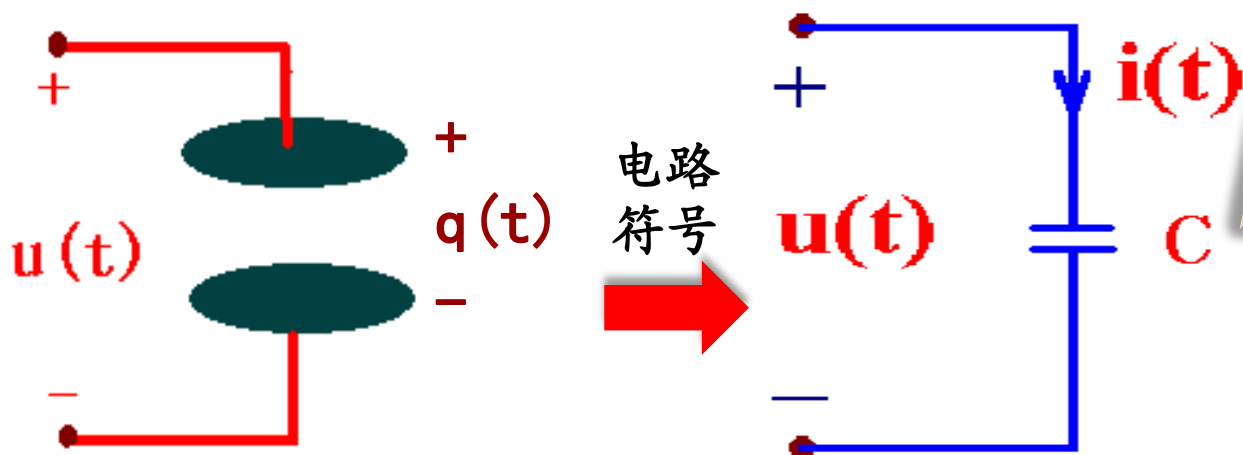
说 明:

- 电流增大时，电感储存的磁场能量增加，吸收能量；
- 电流减小时，电感储存能量减小，此时电感释放能量，但不会释放出比吸收的能量更多的能量；
- 因此，它是无源元件，也是储能元件。

### 三、线性电容元件

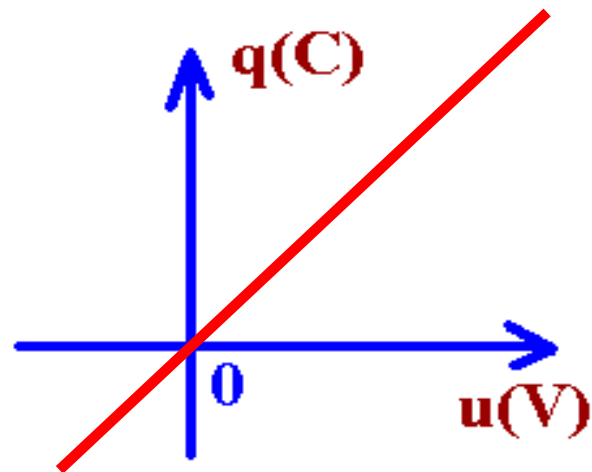
- 1、电容元件；
- 2、线性电容的库伏曲线的斜率；
- 3、电容器的电容值。

#### 1、表示：



$$q(t) = Cu(t) \rightarrow i(t) = dq(t)/dt = Cdu(t)/dt$$

2、定义：库伏特性为  $q$ - $u$  平面一条过原点直线的二端元件。





### 3、特性:

1) 库伏特性:  $q(t) = Cu(t)$

2) 伏安特性:

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = C \frac{du(t)}{dt} \quad (u, i \text{ 参考方向关联})$$

伏安关系为微分方程



变化的电压  $u(t)$  才能产生电流  $i(t)$



电压必须是动态变化的, 否则电容器失去意义



动态元件

### 3、特性（续）

从电压表达式进行分析.....

3) 记忆元件:

$$q = \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$

由:  $u=q/C$  , 得:

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$

**意义:** 电容在  $t$  时刻电压不仅与  $t$  时刻电流有关, 且与  $t$  时刻之前的电流有关, 因此它是**记忆元件**, 即, 以电压的形式把电流记忆起来。

### 3、特性（续）

从电场能量进行分析.....

#### 4) 无源元件、储能元件:

假设电压电流从 0 增加到  $u$

因为:  $dw = p dt = u i dt = u C \frac{du}{dt} dt = u C du$

所以:  $w(t) = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2(t)$

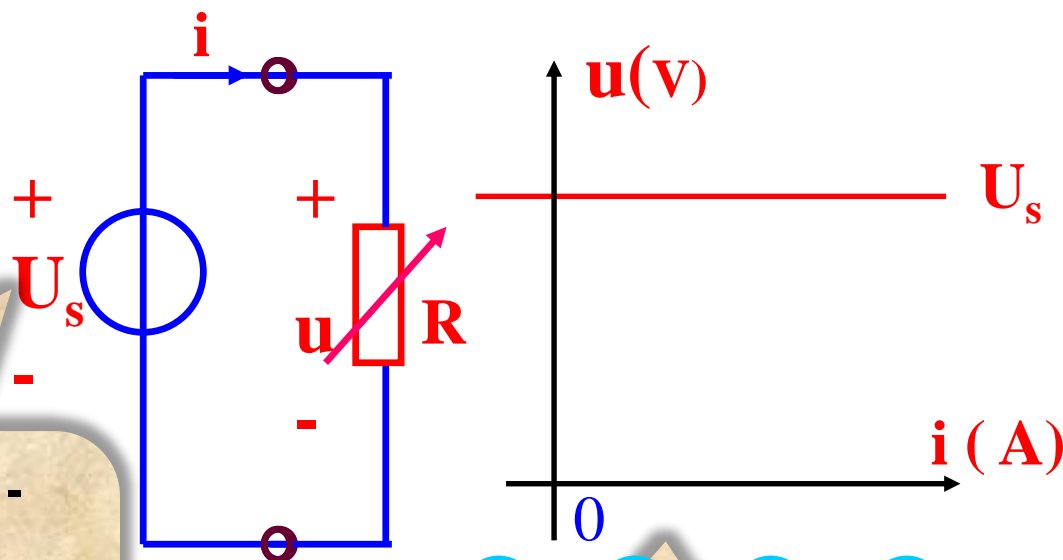
说 明:

- 充电时电压增大，电容储存的能量增加，吸收能量；
- 放电时电压减小，电容储存能量减小，此时电容释放能量。  
但不会释放出比吸收的能量多的能量；
- 因此，它是无源元件，也是储能元件。

## 四、理想电压源元件（有源二端元件）

### 1、定义：

能独立向外电路  
提供恒定电压的  
二端元件。



### 2、符号表示

- 1、 $U_s$ 为电压源电压的大小，+、-表示方向；
- 2、 $u$ 、 $i$ 为假设的端口电压和端口电流；
- 3、在图示参考方向下，有： $u = U_s - iR$

$$U_s = 10V$$

“过原点”表示“无源元件”，如，电阻的伏安曲线、电感的韦安曲线、电容的库伏曲线。

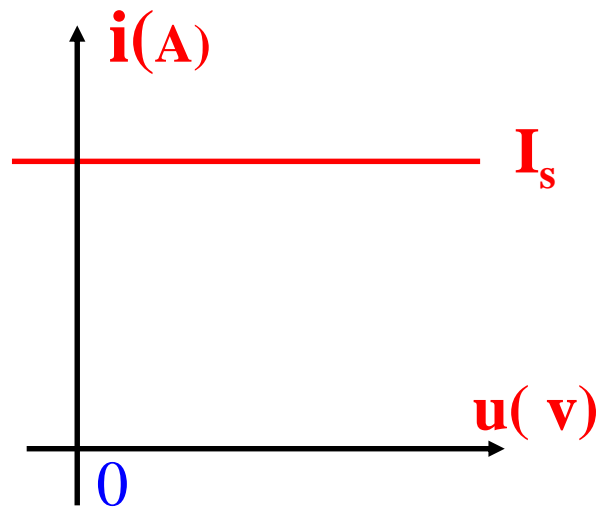
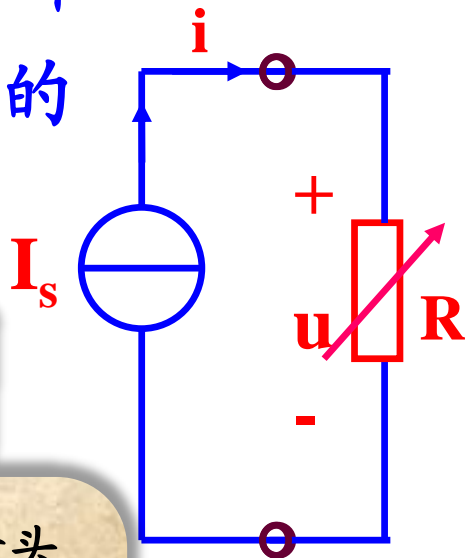
（端电压  $u$  是恒定值、与  $i$  无关，电流  $i$  由外电路确定）。

## 五、理想电流源元件（有源二端元件）

1、定义：能独立向外电路提供恒定电流的二端元件。

### 2、符号表示

- 1、 $I_S$ 为电流源电流的大小，箭头表示方向；
- 2、 $u$ 、 $i$ 为假设的端口电压和端口电流；
- 3、在图示参考方向下，有  $i = I_S$ 。



$R(\Omega)$	2	5	10	20
$i(\text{A})$	2	2	2	2
$u(\text{V})$	4	10	20	40

（电流 $i$ 是恒定值、与 $u$ 无关，端电压 $u$ 由外电路确定）。

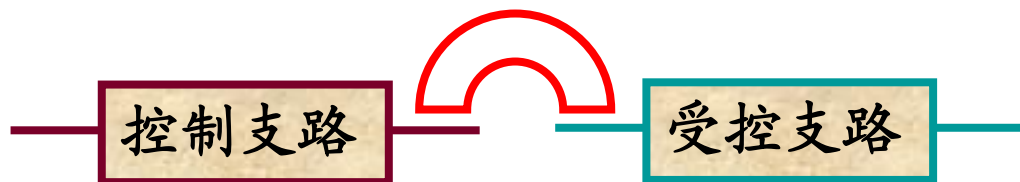
## 六、受控源元件（有源多端元件）

1、定义：依靠其它支路的电流或电压向外电路提供恒定电流或电压的元件。

2、电路结构特征：具有两条支路

电流源或电压源所在支路 —— 受控支路

控制电流或电压所在支路 —— 控制支路



3、分类：

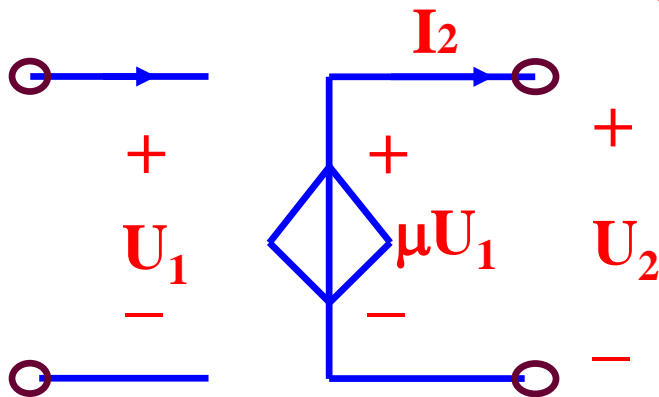
线 性  
非线性

时 变  
时不变

## 4、线性时不变受控源电路模型：

### (1) 电压控制电压源 (VCVS)

Voltage Controlled Voltage Source

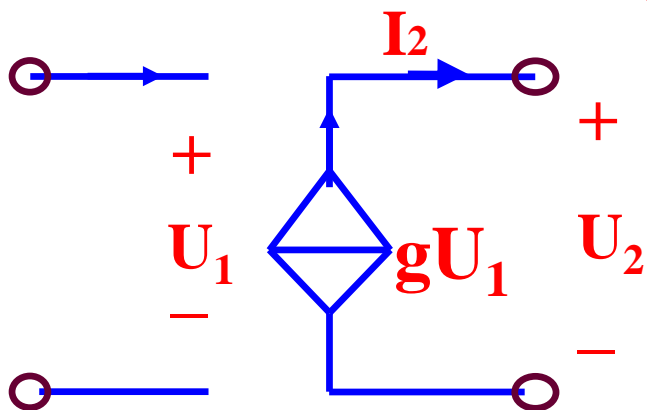


$I_2$  = 不定值(由外电路约束)

$U_2 = \mu U_1$       例: 电子三极管

### (2) 电压控制电流源 (VCCS)

Voltage Controlled Current Source

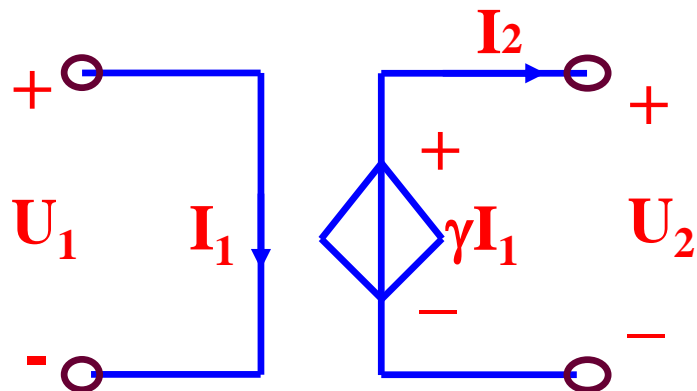


$U_2$  = 不定值(由外电路约束)

$I_2 = g U_1$       例: 场效应管

### (3) 电流控制电压源 (CCVS)

Current Controlled Voltage Source

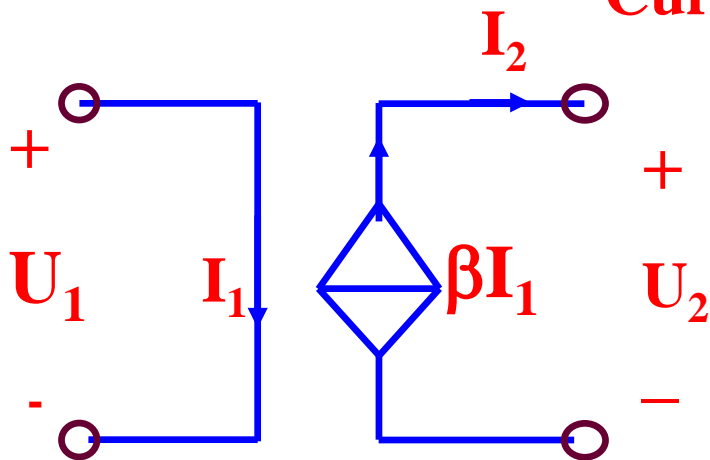


$I_2 = \text{不定值 (由外电路约束)}$

$U_2 = \gamma I_1$       例: 直流发电机

### (4) 电流控制电流源 (CCCS)

Current Controlled Current Source



$U_2 = \text{不定值 (由外电路约束)}$

$I_2 = \beta I_1$       例: 晶体三极管



## 5、线性时不变受控源特点：

(1) **非独立**的电源：不能独立向外电路提供能量。

(2) 具

1、独立：理想电**流源**、理想电**压源**；

能够向外电路提供能量，其它支路（控制）消耗能量，  
属于有源元件。属于无源元件。

**注意：**

**独立电源**在电路中可以**独立地起**“激励”作用，  
是实际电路电能或电信号的“源泉”。

**受控源**是描述电子器件中某一支路对另一支路  
控制作用的理想模型，本身**不直接起**“激励”作用。

**例：** 图示电路，求电压U和电流I。

**解：**

由KVL，有

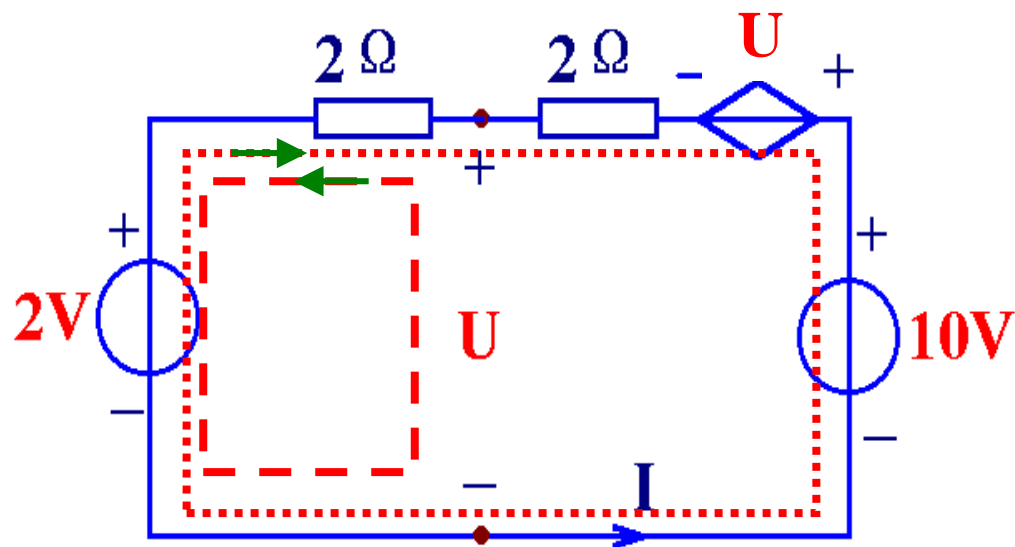
$$-2 - 2I - 2I - 6U + 10 = 0$$

整理得，  $-4I - 6U = -8$

又有  $U = 2I + 2$

联立解得

$$U = 1.5\text{V} \quad I = -0.25\text{A}$$



在关联参考方向下，所求P表示吸收功率。

受控源功率：  $P = 6UI = -2.25\text{W}$  （具有电源性）

若受控源的受控支路如下变化：  $6U \rightarrow U$ ，则：

$$U = 4\text{V} \quad I = 1\text{A} \quad \text{（具有电阻性）}$$

## 七、两类约束的概念：

(1) 拓扑约束 (KCL, KVL)：与电路支路性质无关，只取决于电路的**连接结构** (结构约束)。

(2) 支路性质 (元件)

只要把电路元件按照一定的方式**连接在一起**，则，节点处必符合KCL，回路必符合KVL。

支路元件为电阻，则，伏安关系必符合欧姆定律；  
(电感、电容……)

利用**两类约束**可以直接列写电路方程求解电路。  
因此，这两类约束是电路分析的**基本依据**。

**例1：** 图示电路，求电压 $u$ 、电流 $I_1$ 和电阻 $R$ 。

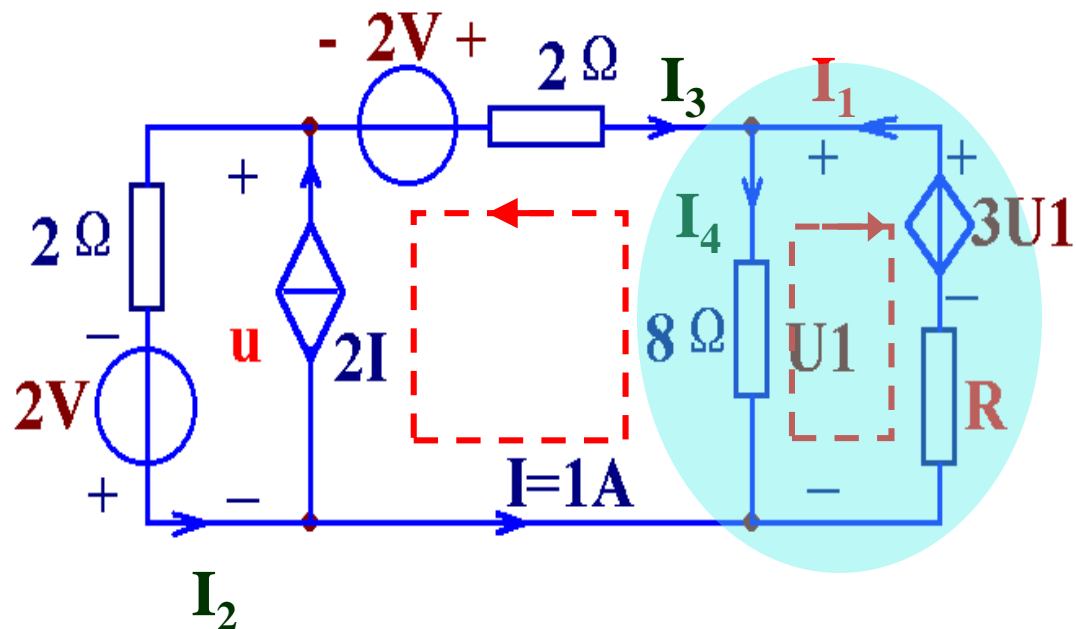
解：

1、求解 $u$

$$I_3 = -1A$$

广义节点

$u =$  其它求法?



2、求解 $U_1$

由KVL，有

$$u - U_1 - 2I_3 + 2 = 0$$

解得， $U_1 = 8V$

推出， $I_4 = 1A$

由KCL，有： $I_1 = I + I_4 = 2A$

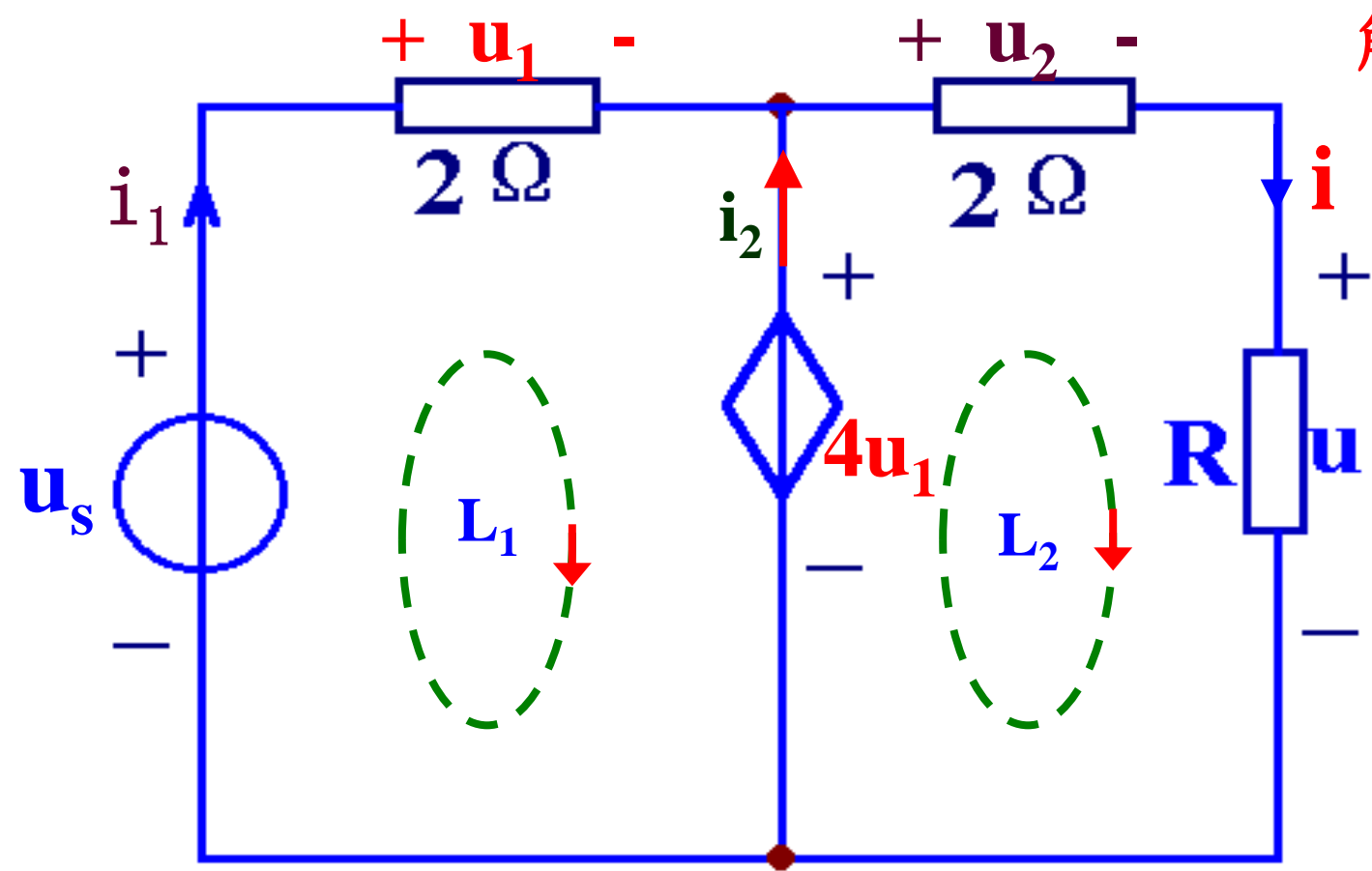
3、求解 $R$

由KVL，有： $U_1 = 3U_1 - RI_1$

故  $R = 8\Omega$

支路约束  
(元件约束)

**例2:** 图示电路,  $i_1=3\text{A}$ ,  $u_2=4\text{V}$ 。求电流 $i$ 、电压 $u$ 、 $u_s$ 和电阻 $R$ ,并求电源、受控源发出的功率。



**解:** 由,  $u_2=4\text{V}$

得,  $i=2\text{A}$

由,  $i_1=3\text{A}$

有,  $u_1=6\text{V}$

故,  $4u_1=24\text{V}$

由KVL得,

$u_s=30\text{V}$

由KVL, 且  $4u_1=24\text{V}$  得:  $u=20\text{V}$

故,  $R=10\Omega$

$P_{u_s}=90\text{W}$

$P_{4u_1}=-24\text{W}$

# 本章要点:

## 1 电路及电路模型:

电路及其作用、分类、理

拓扑约束:只取决于电路的连接结构(结构约束)。

## 2 电路分析基本变量

定义、大小、单位、电

换言之, 只要把电路元件按照一定的方式连接在一起组成电路, 则, 节点处必符合KCL, 回路必符合KVL。

## 3 基尔霍夫定律

KCL、KVL内容、推广形

## 4 电路常用元件

无源元件(电阻、电感

有源元件(理想电压源、

受控源(VCCS、CCCS、

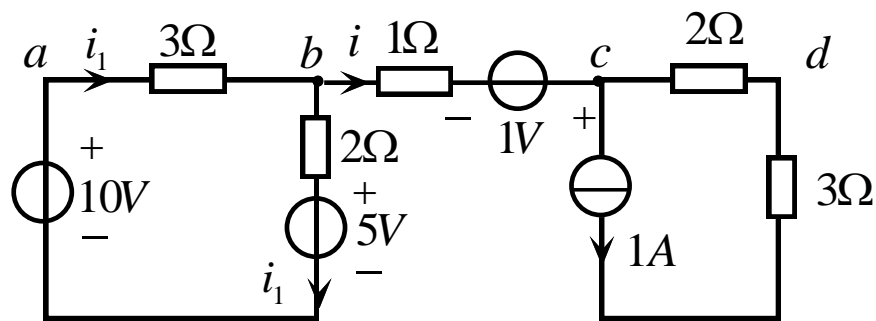
支路约束(支路VAR): 取决于支路元件的性质(元件约束)。

换言之, 支路元件为电阻, 则, 伏安关系必符合欧姆定律; (电感、电容.....)

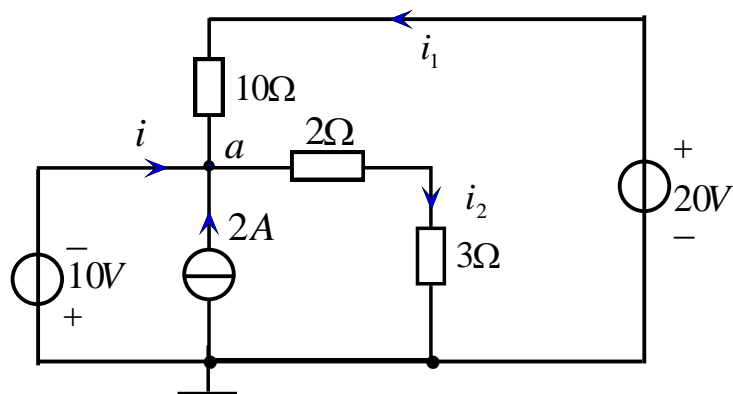
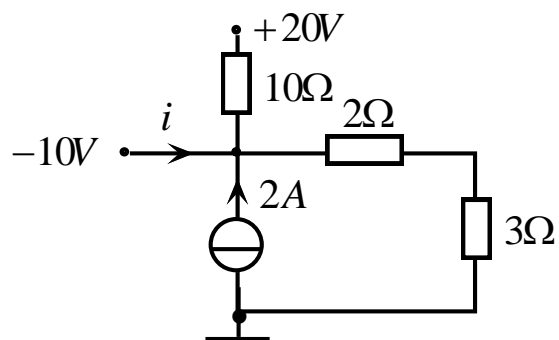
## 5 两类约束的概念

## 导学复习：典型例题与强化练习

例1 图示电路，求  $i, i_1, u_{ad}$

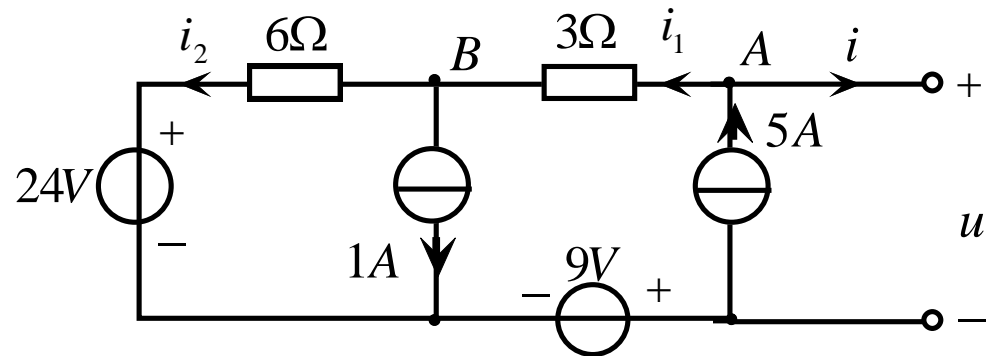


**例2** 图示电路，求  $i$  及2A电流源发出的功率。

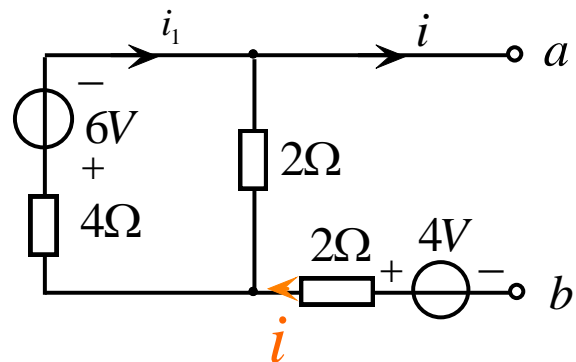




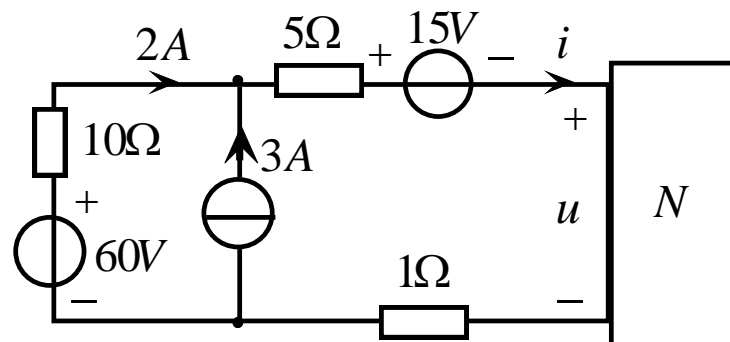
**例3** 图示电路，求端口上的伏安关系方程，即 $u$ 与 $i$ 的关系方程。



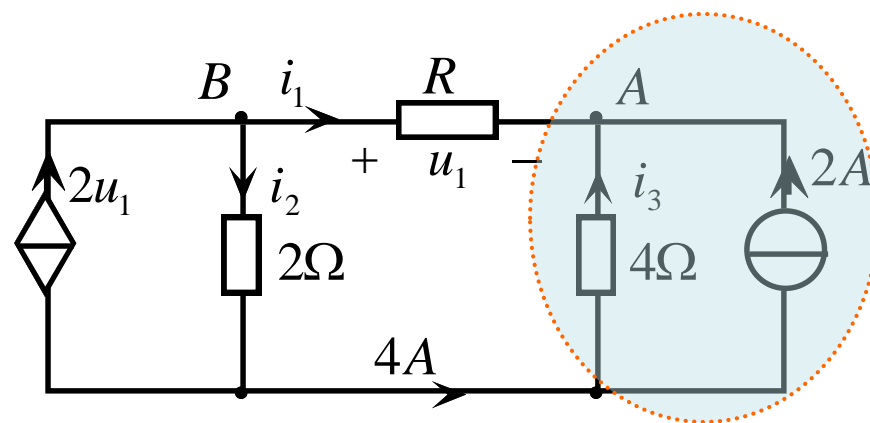
例4 图示电路中，求电压  $u_{ab}$  。



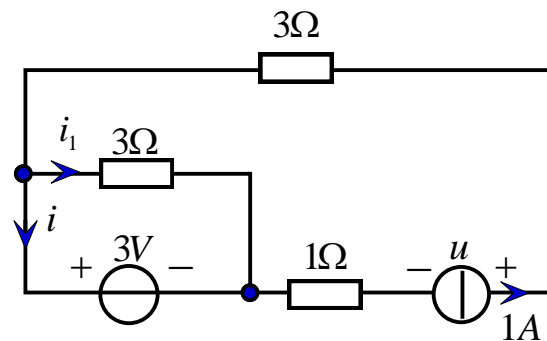
**例5** 图示电路，其中N为任意含有电阻与电源的电路，试判断电路N是吸收功率还是发出功率，功率值是多少？



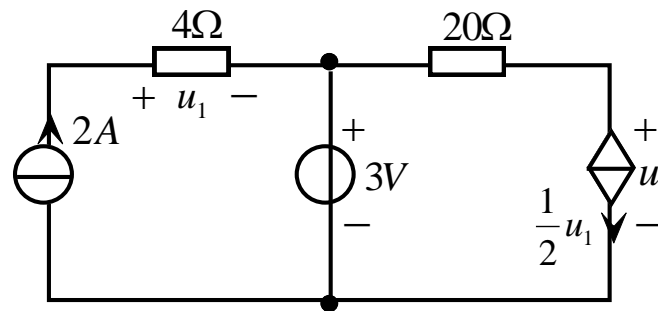
例6 图示电路，求电阻R的值。



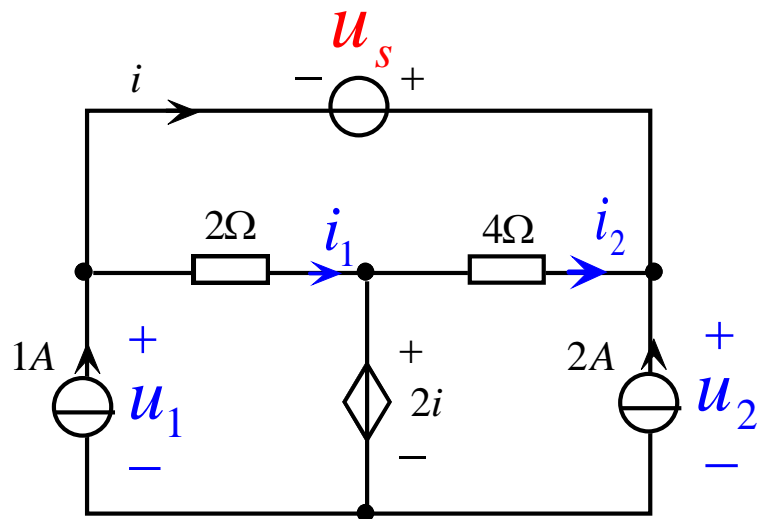
**例7** 图示电路，求电源发出的功率。



**例8** 图示电路，求电压 $u$ 。



**例9** 图示电路，已知 $2\Omega$ 与 $4\Omega$ 电阻消耗的功率比为2:1，求电压源的电压 $u_s$ 。



## 导学复习：典型例题与强化练习

例1 图示电路，求  $i, i_1, u_{ad}$

解：

对节点b列写KCL：  $i_1 = i_1 + i$

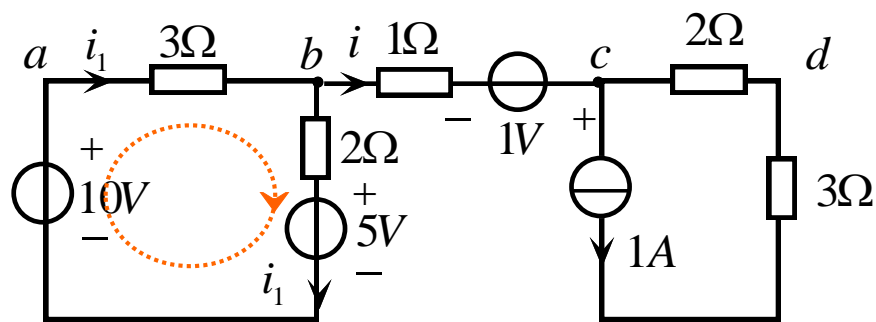
$$\therefore i = 0$$

对电路左边的回路列写KVL方程：

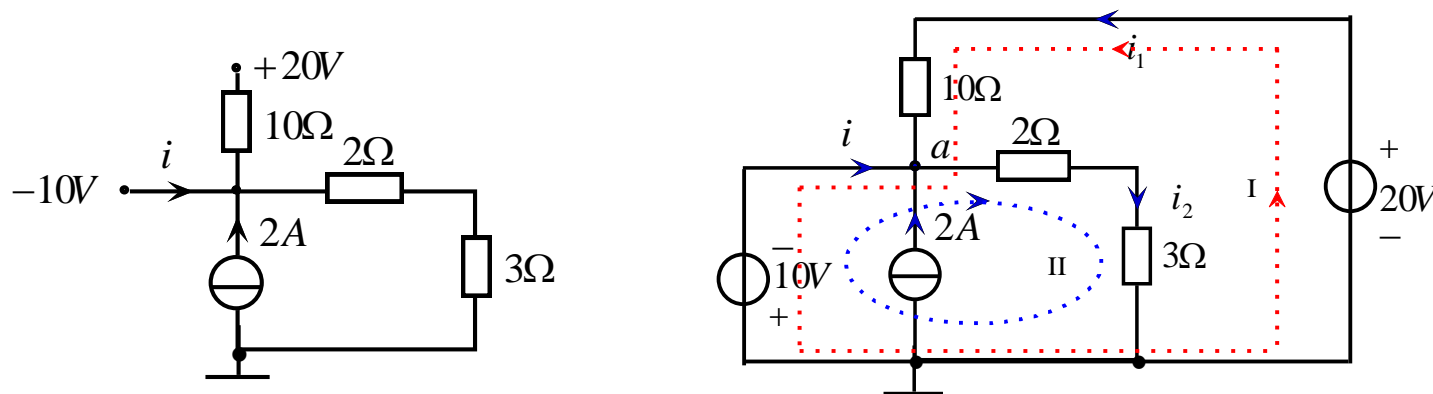
$$(2 + 3)i_1 = 10 - 5$$

$$i_1 = 1A$$

$$u_{ad} = 3i_1 + 1i - 1 - 2 \times 1 = 0$$



**例2** 图示电路，求  $i$  及2A电流源发出的功率。



**解：**

对回路 I 列写KVL，有：  $10i_1 = 10 + 20$  ，故  $i_1 = 3A$

对回路 II 列写KVL，有：  $(2 + 3)i_2 = -10$  ，故  $i_2 = -2A$

对节点a列写KCL，有：  $i = -i_1 + i_2 - 2 = -7A$

2A的电流源发出的功率为：  $P = -2 \times 10 = -20W$



**例3** 图示电路，求端口上的伏安关系方程，即 $u$ 与 $i$ 的关系方程。

**解：**

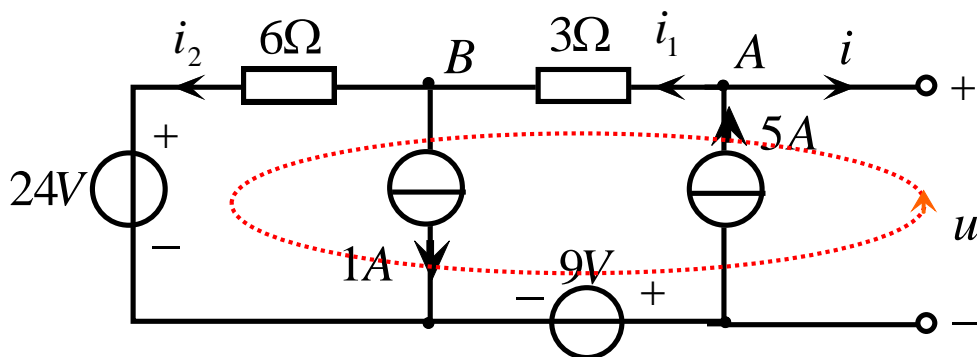
对节点A、B分别用KCL，有

$$i_1 = 5 - i, i_2 = i_1 - 1$$

所以  $i_2 = i_1 - 1 = 5 - i - 1 = 4 - i$

对回路应用KVL，有

$$u = 3i_1 + 6i_2 + 24 - 9 = 54 - 9i$$



例4 图示电路中，求电压  $u_{ab}$  。

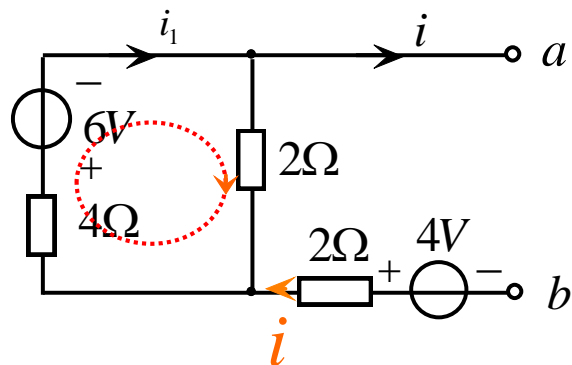
解：

因为a、b开路，所以  $i = 0$

由KVL得：  $2i_1 + 4i_1 = -6$

$$\therefore i_1 = -1A$$

$$\therefore u_{ab} = 2i_1 - 2i + 4 = 2V \quad \text{或} \quad u_{ab} = -6 - 4i_1 - 2i + 4 = 2V$$



**例5** 图示电路，其中N为任意含有电阻与电源的电路，试判断电路N是吸收功率还是发出功率，功率值是多少？

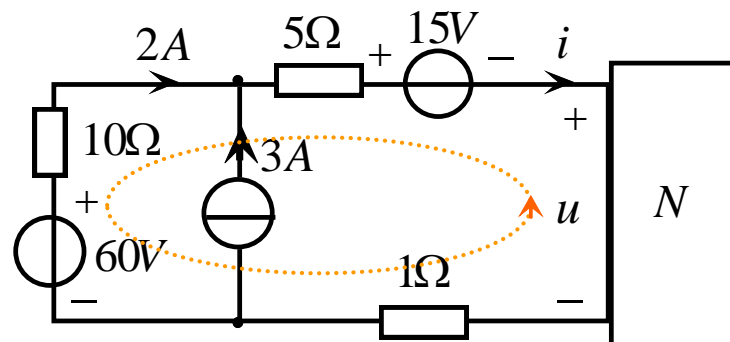
**解：**

由KCL可知，  $i = 2 + 3 = 5A$

由KVL可知，  $u = -15 - 5i - 10 \times 2 + 60 + 1 \times (-i) = -5V$

故N吸收的功率为  $P = ui = -5 \times 5 = -25W < 0$

电路N实际上是发出功率，发出的功率值为：25W。



**例6** 图示电路，求电阻R的值。

**解：**

对图中所示的闭合面用KCL，有

$$i_1 = -4A$$

对节点A、B分别用KCL，有  $i_3 = -2 - i_1 = 2A$  ,  $i_2 = 2u_1 - i_1 = 2u_1 + 4$

由KVL得

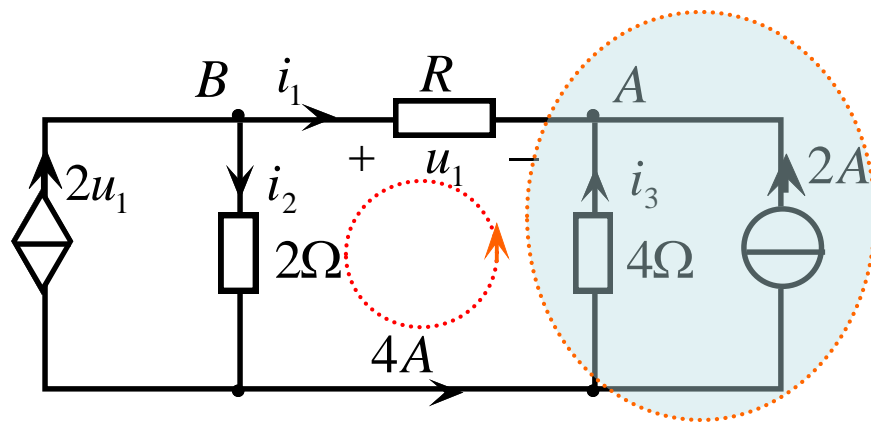
$$u_1 = 2i_2 + 4i_3$$

联立求解得

$$u_1 = -\frac{16}{3}V$$

故

$$R = \frac{u_1}{i_1} = \frac{-\frac{16}{3}}{-4} = \frac{4}{3}\Omega$$



**例7** 图示电路，求电源发出的功率。

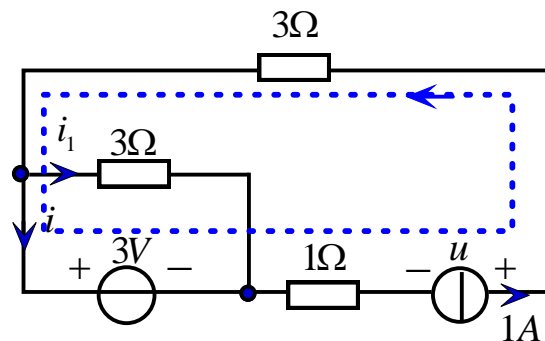
**解：**

$$i_1 = \frac{3}{3} = 1A \quad i = 1 - i_1 = 0$$

$$P_{3V} = -3i = 0$$

$$u = 3 \times 1 + 3 + 1 \times 1 = 7V$$

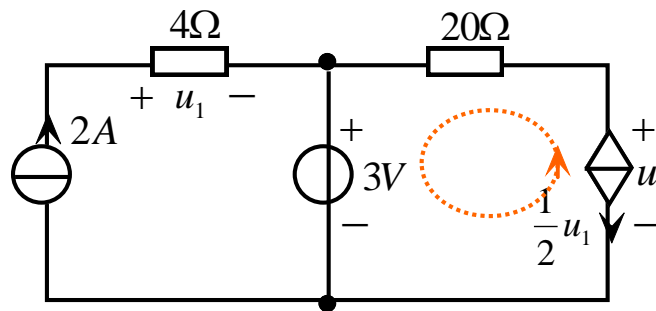
$$P_{1A} = u \times 1 = 7W$$



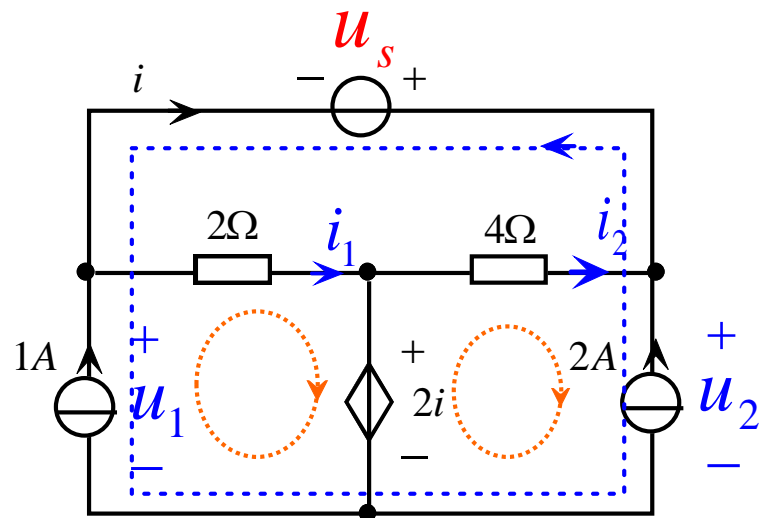
**例8** 图示电路，求电压 $u$ 。

**解：**  $u_1 = 4 \times 2 = 8V$

$$u = 20(-\frac{1}{2}u_1) + 3 = -77V$$



**例9** 图示电路，已知 $2\Omega$ 与 $4\Omega$ 电阻消耗的功率比为2:1，求电压源的电压 $u_s$ 。



**解:**

$$2i_1^2 = 2 \times 4i_2^2$$

$$i_1 = \pm 2i_2$$

**KCL**

$$i + i_1 = 1$$

$$i + i_2 + 2 = 0$$

**KVL**

$$2i_1 + 2i = u_1$$

$$4i_2 + u_2 = 2i$$

$$u_s + u_1 = u_2$$

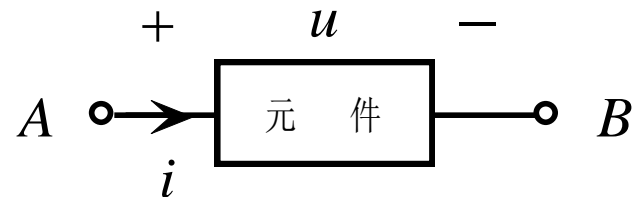
$$\begin{cases} i_1 = 2 - \frac{1}{6}u_s \\ i_2 = -1 - \frac{1}{6}u_s \end{cases}$$

$$2 - \frac{1}{6}u_s = \pm(-1 - \frac{1}{6}u_s)$$

$$u_s = 0 \text{ 或 } u_s = -24V$$

### 例10:

#### 1-1 图示电路。



- (1) 若  $i=2\text{A}$ ,  $u=5\text{V}$ , 求该元件吸收的功率;
- (2) 若  $i=5\text{A}$ ,  $u=-10\text{V}$ , 求该元件发出的功率;
- (3) 若  $u=5\text{V}$ , 该支路发出的功率  $P=10\text{W}$ , 求电流  $i$  的值。

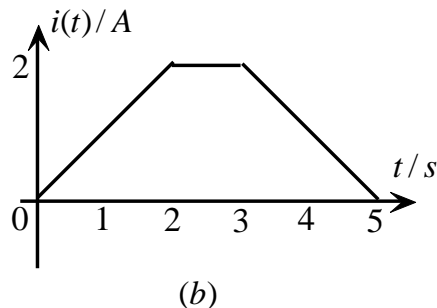
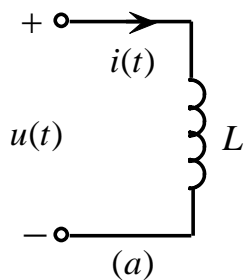
### 解:

$$(1) \quad P = ui = 5 \times 2 = 10\text{W}$$

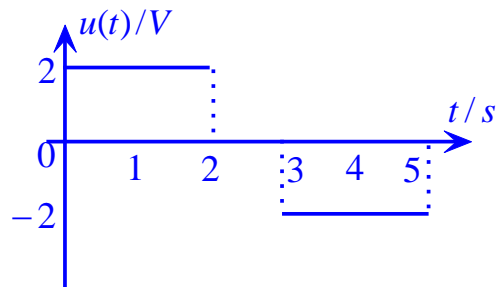
$$(2) \quad P = -ui = -(-10) \times 5 = 50\text{W}$$

$$(3) \quad \because P = -ui = -5i = 10 \quad \therefore i = -2\text{A}$$

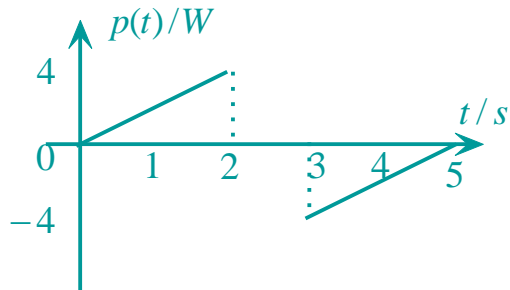
**例11：** 图(a)电感元件， $L=2H$ ，电流的波形如图(b)所示。(1) 求电压和电感吸收的功率，并画出其曲线；(2) 求 $t=1.5s$ 时的功率值和磁场能量。



$$u(t) = 2 \frac{di(t)}{dt} = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 2V, & 0 < t < 2s \\ 0, & 2 < t < 3s \\ -2V, & 3 < t < 5s \\ 0, & t > 5s \end{cases}$$



$$p(t) = u(t)i(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \\ 2tW, & 0 \leq t < 2s \\ 0, & 2 < t < 3s \\ -2(5-t)W, & 3 < t \leq 5s \\ 0, & t \geq 5s \end{cases}$$

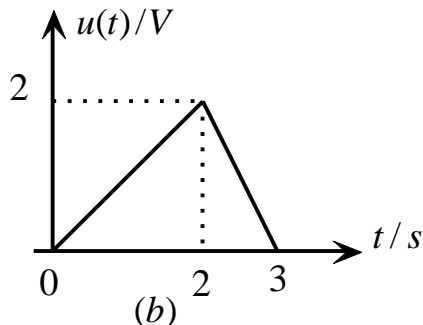
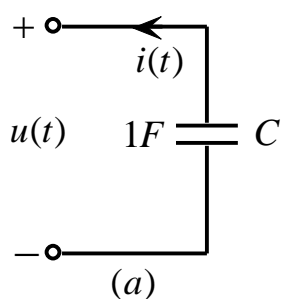


$$P(1.5s) = u(1.5s)i(1.5s) = 3W$$

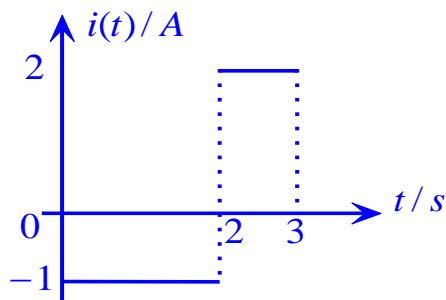
$$W(1.5s) = \frac{1}{2} L [i(1.5s)]^2 = 2.25J$$



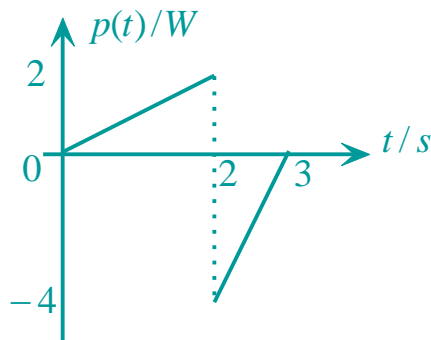
**例12:** 图 (a) 电容元件。电压如图 (b) 示, (1) 求电流  $i(t)$ , 吸收的功率  $p(t)$ , 画出曲线。 (2)  $t=1s$  时吸收的功率及电场能量。



$$i(t) = -\frac{du(t)}{dt} = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ -1 & 0 < t < 2s \\ 2 & 2 < t < 3s \\ 0 & t > 3s \end{cases}$$



$$p(t) = -u(t)i(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & 0 \leq t < 2s \\ 4(t-3) & 2 < t \leq 3s \\ 0 & t \geq 3s \end{cases}$$



$$p(1s) = -u(1s)i(1s) = -1 \times (-1) = 1W$$

$$W_c(1s) = \frac{1}{2} \times 1 \times [u(1s)]^2 = 0.5J$$