

# 电路分析基础

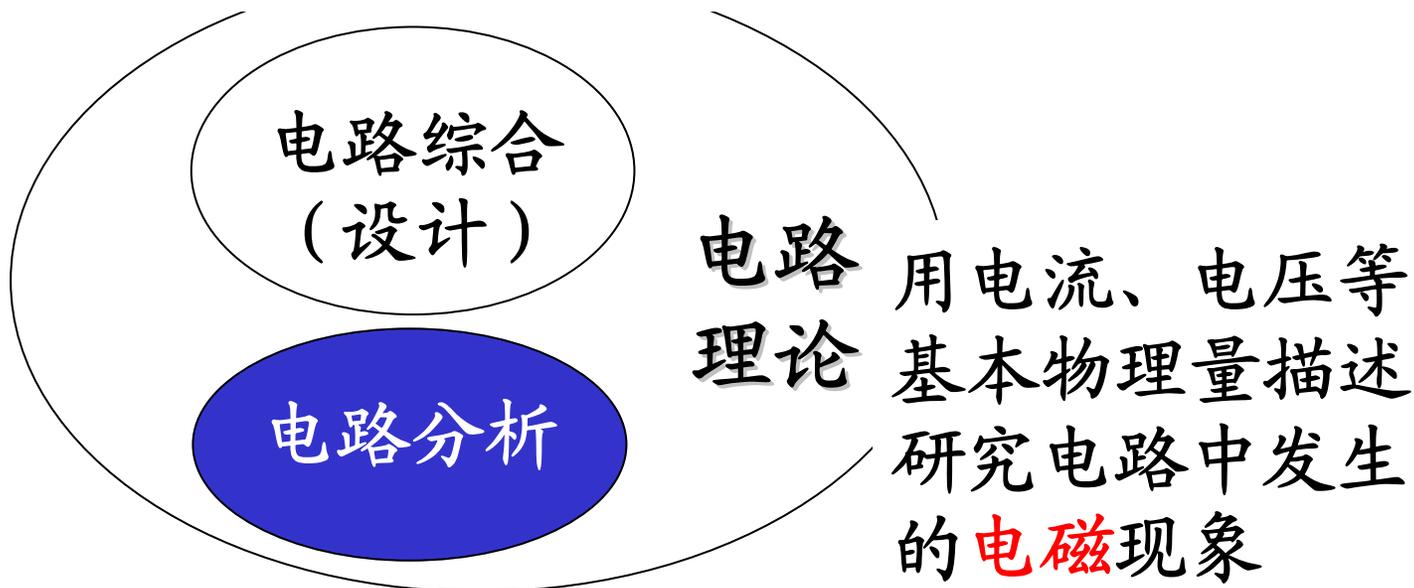
任 坤

Tel: 67391506-822

renkun@bjut.edu.cn

# 绪论

电路综合是研究如何利用各种元件实现某种功能



电路分析关注电路的基本定律、定理和各种计算方法

# 绪论

电路设计——解决如何实现已知响应的问题

激励



电路  
(结构 + 参数)



响应



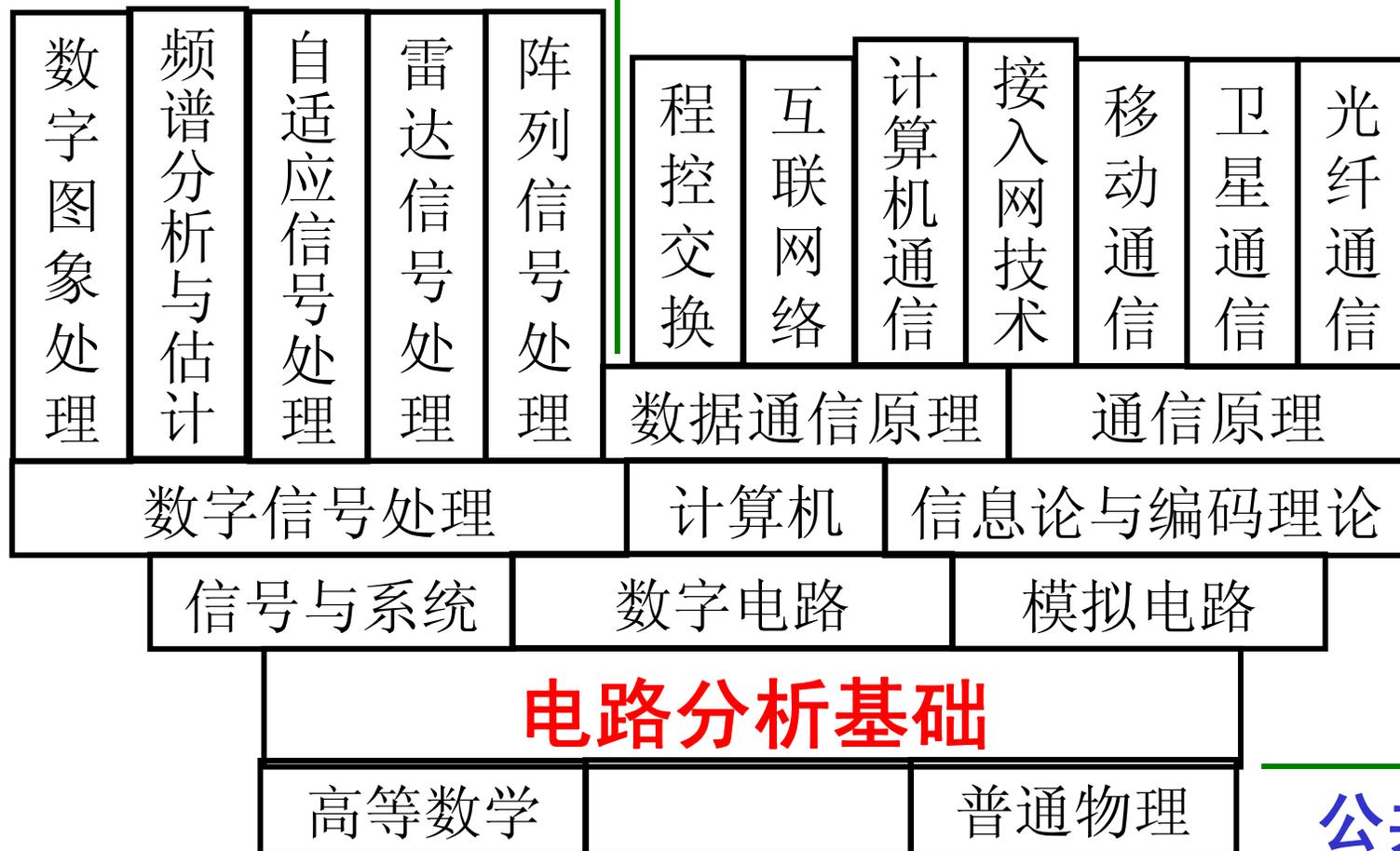
电路分析求  
解响应

# 绪 论

本课程与相关课程的关系图：

信号与信息处理

通信与信息系统



专业课

专业基础课

公共基础课 4

# 绪论

## 教材

邱关源，电路（第五版），高教出版社，2006

## 参考书

1. 李瀚荪，简明电路分析基础，高等教育出版社，2002

2. 电路分析基础习题集

# 绪 论



## 课程内容

电阻电路分析      Chap1~5

动态电路分析      Chap6~7

正弦稳态电路分析      Chap 8~12

二端口网络和非线性电路      Chap16&17

~~§ 12.5 ~ § 12.7 、 § 13 ~ § 15 、 § 18~~

# 绪 论

学时:

通信工程 80学时 = 64 理论课 + 16学时实验课

物理 64学时 = 52理论课 + 12学时实验课

怎样学好《电路分析基础》？

认真听课

多做习题

及时交流

# 第一章 电路模型与电路定律

1. 电路与电路模型

2. 基本物理量:

电流、电压、电功率和能量

3. 电路元件:

电阻、电容、电感、电源和受控源

4. 基尔霍夫定律 (Kirchhoff's law)

# § 1.1 电路与电路模型

## 1. 实际电路

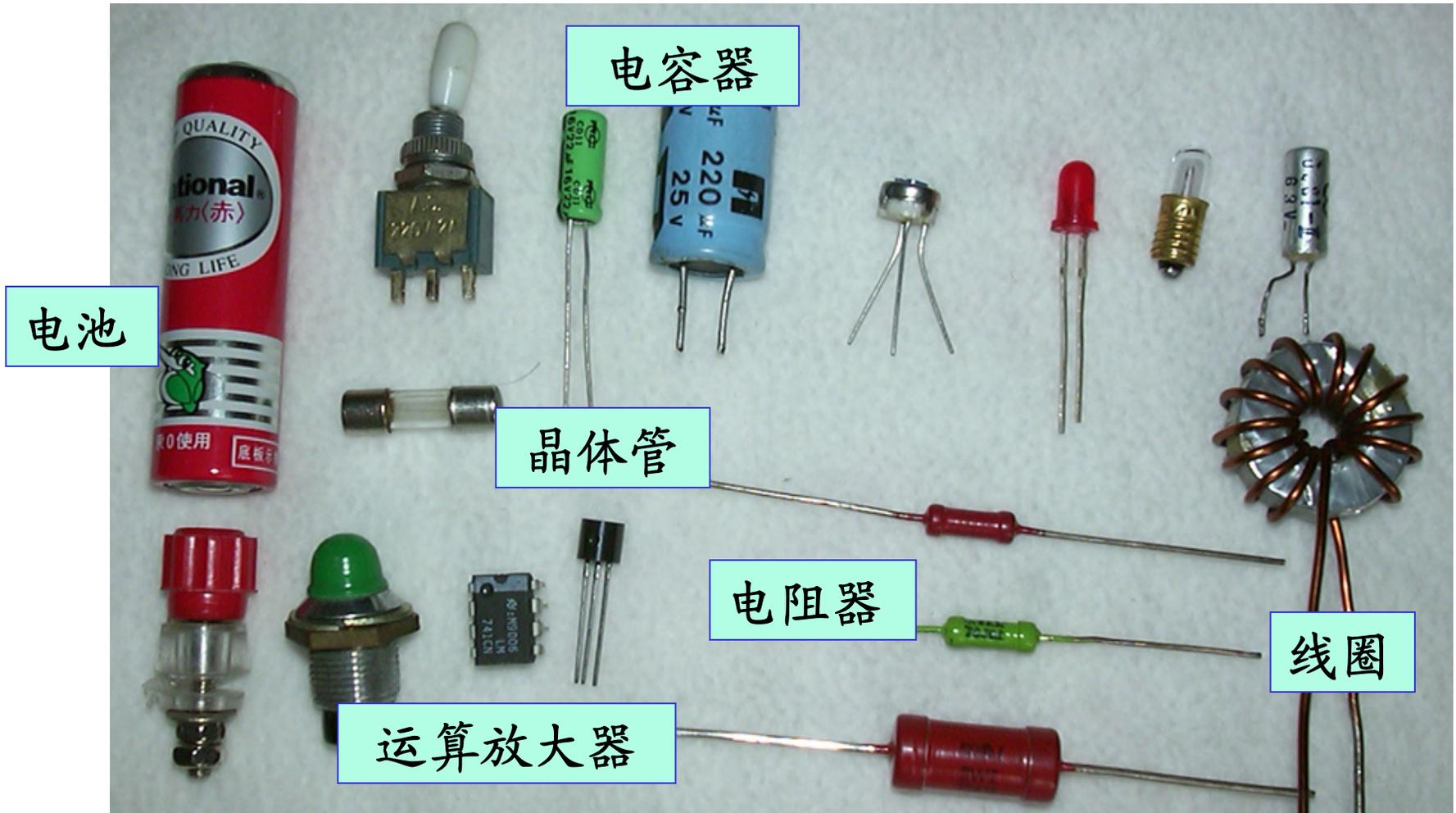
### ▶ 定义:

由电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、运算放大器、传输线、电源和信号发生器等**各种器件和设备相互连接而成的电流通路**

### ▶ 作用:

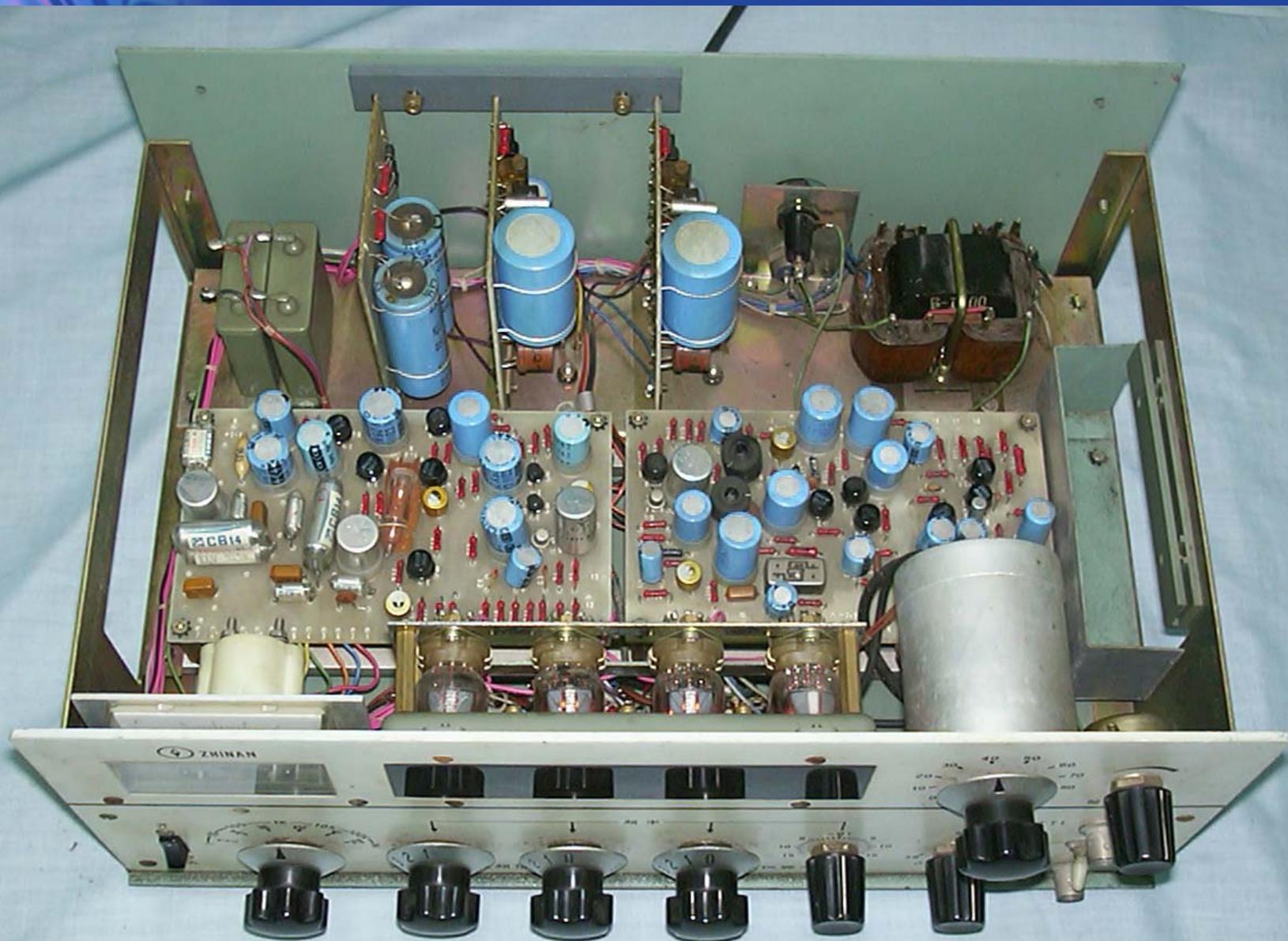
- 进行电能的转换、传输和分配
- 实现信号的传递、存储和处理

# § 1.1 电路与电路模型



实际器件

# 低频信号发生器的内部结构

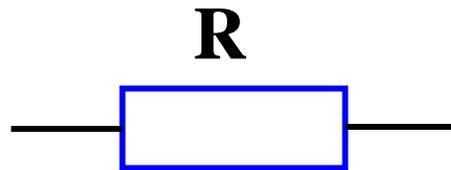


# § 1.1 电路与电路模型

## 2. 理想电路元件

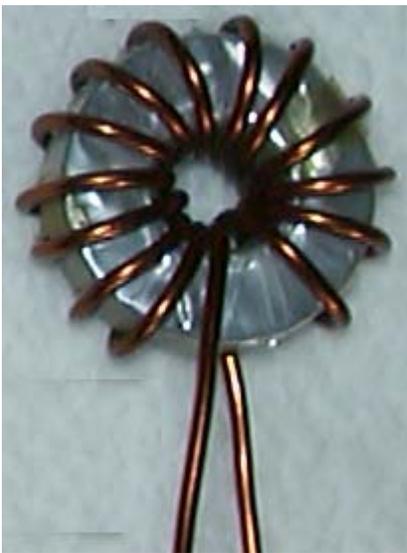
理想电路元件是实际器件的数学模型，它用精确的数学定义描述实际器件的主要电磁特性。

简称为电路元件，用图形符号和数学表达式描述

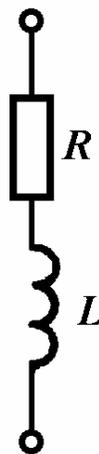


**注1.** 理想电路元件只是实际电路器、部件的近似表示；

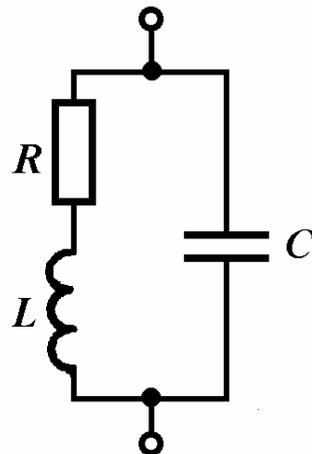
# § 1.1 电路与电路模型



(a)



(b)



(c)

(a)线圈的图形符号

(b)线圈通过低频交流模型

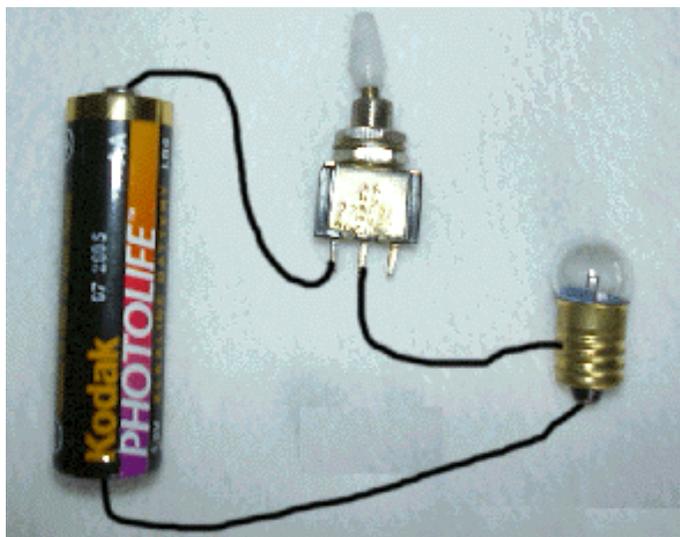
(c)线圈通过高频交流模型

**注2.** 不同工作条件下，同一实际器、部件可以用不同模型（一个理想电路元件或多个元件的组合）表示。

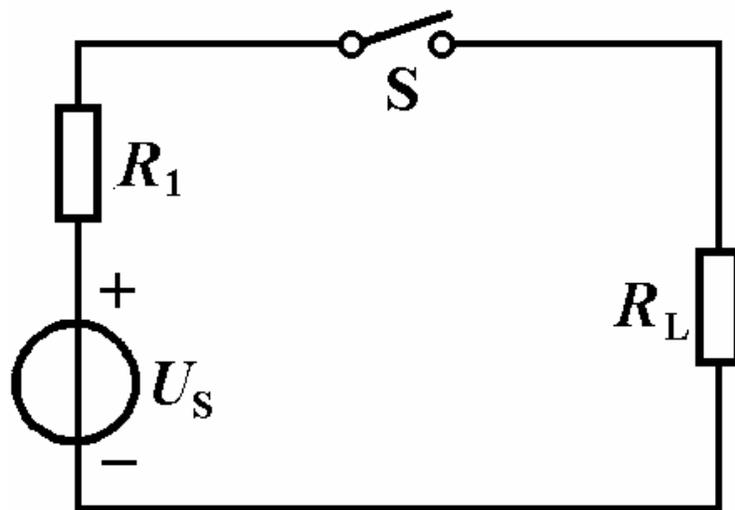
# § 1.1 电路与电路模型

## 3. 电路模型

电路模型是由理想电路元件构成的实际电路的理想化模型。



实际电路



电路模型

# § 1.1 电路与电路模型

用电路模型分析实际电路的优点：

- 可以用精确的数学关系刻画实际电路的电磁特性
- 简化了实际电路的分析问题

在本课程中，研究的电路是指电路模型，而不是实际电路。

# § 1.1 电路与电路模型

## 4. 电路的分类

**线性电路**

激励与响应满足叠加性和齐次性的电路

非线性电路

**时不变电路**

电路元件参数不随时间变化

时变电路

**集总参数电路**

电路几何尺寸远小于最小工作波长的电路称为集总参数电路

分布参数电路

# § 1.2 电流和电压的参考方向

## 1. 电流及其参考方向

电荷有规则的流动形成电流，电流用强度和方向来描述。

► **电流强度**：单位时间内通过导体横截面的电量，用符号  $i$  表示。

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

电流的基本单位为安培（A）

**直流电流**用大写  $I$  表示。

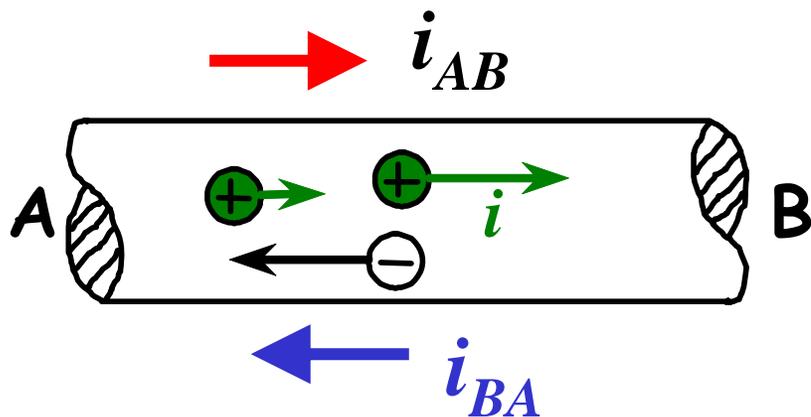
## § 1.2 电流和电压的参考方向

- ▶ 电流实际方向：正电荷流动的方向
- ▶ 电流的参考方向（reference direction）

**参考方向——任意假定的方向**

参考方向可以用箭头或双下标表示

指定参考方向后，电流用正数或负数表示



设实际电流  $i=5A$

则， $i_{AB} = 5A$

$i_{BA} = -5A$

# § 1.2 电流和电压的参考方向

## 2. 电压及其参考方向

**电压：** 电场力把单位正电荷从一点移向另一点所吸收或释放的能量称为**电压**，用符号  $u$  表示

$$u(t) = \frac{dW}{dq}$$

电压的基本单位为**伏特 (V)**

**直流电压**用大写  $U$  表示

## § 1.2 电流和电压的参考方向

### 电压与电位

处在电场中的电荷具有电位（势）能。  
恒定电场中的每一点有一定的电位。

在电场中可取一点，称为参考点，记为P，设此点电位为零。电场中的一点A至P点的电压 $U_{AP}$ 规定为A点的电位，记为 $V_A$ ，即

$$V_A = U_{AP}$$

电压又称为电位差，即  $U_{AP} = V_A - V_P$

## § 1.2 电流和电压的参考方向

- ▶ 电压实际方向：规定由高电位指向低电位
- ▶ 电压的参考方向：即任意假定的方向

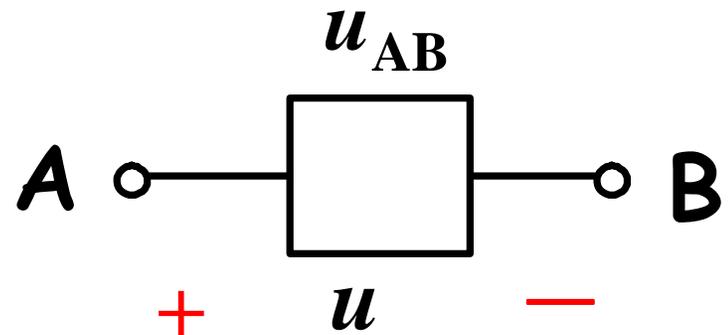
用符号“+”和“-”表示或用双下标表示

指定参考方向后，电压用正/负数表示

例：设  $V_A = 3V$ ,  $V_B = 2V$

$$U_{AB} = 1V$$

$$U_{BA} = -1V$$

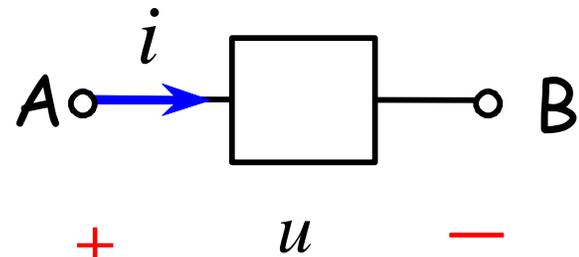


# § 1.2 电流和电压的参考方向

## 3. 关联参考方向

### ▶ 关联参考方向

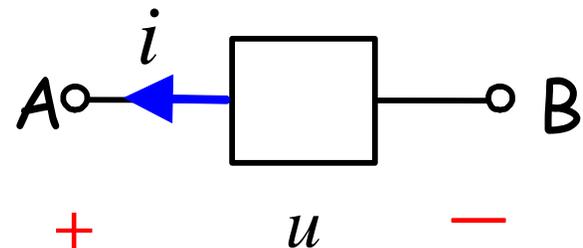
电流参考方向是从电压参考正极流入，负极流出，也称为电流和电压的参考方向一致



(a) 关联参考方向

### ▶ 非关联参考方向

电流从电压参考方向的负极流入，正极流出

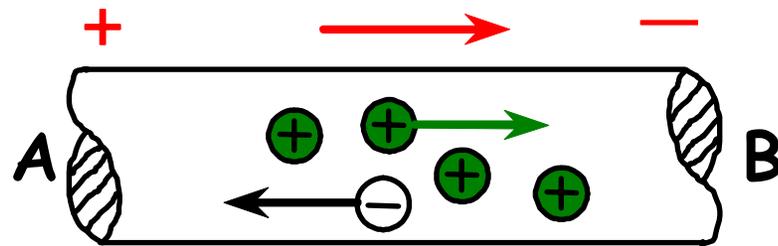


(b) 非关联参考方向

# § 1.3 电功率和能量

## 1. 电功率和能量

关联参考方向下，从 $t_0$ 到 $t$ 的时间内，元件吸收的电能 $W$



$$W(t) = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq$$

根据电流的定义  $i(t) = \frac{dq}{dt}$

则有

$$W(t) = \int_{t_0}^t u(\xi) \cdot i(\xi) d\xi$$

## § 1.3 电功率和能量

**功率**是能量对时间的导数，即单位时间内电场力所做的功，用符号 $p$ 表示

$$p(t) = \frac{dW}{dt} = u(t) \cdot i(t)$$

能量的基本单位是焦耳 (J)

功率的基本单位是瓦特 (W)

## § 1.3 电功率和能量

### 2. 吸收功率与发出功率

在**关联**参考方向下

$p = ui > 0$ ,  $p$ 为**吸收功率**

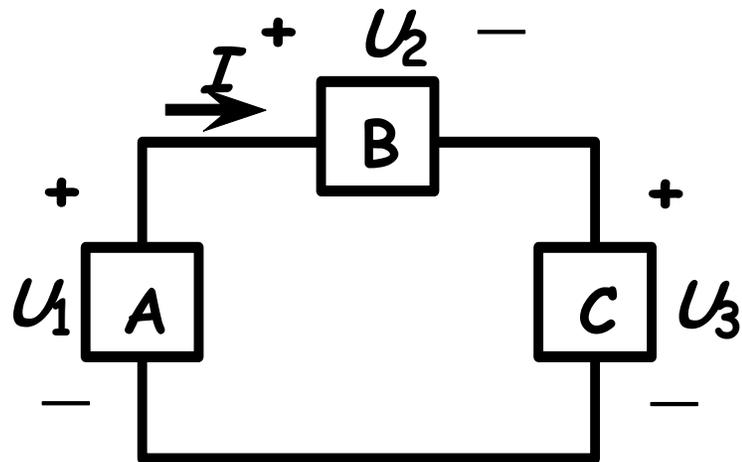
$p = ui < 0$ ,  $p$ 为**发出功率**, 表示吸收了负功率

在**非关联**参考方向下,

$p = ui < 0$  为**吸收功率**

$p = ui > 0$  为**发出功率**

**例1.**  $I=1\text{A}$ ,  $U_1=10\text{V}$ ,  $U_2=6\text{V}$ ,  
 $U_3=4\text{V}$ 。求各元件功率，并  
分析电路的功率平衡关系。



**解:** 元件A的功率  $P_A = U_1 I = 10\text{ W}$

$U_1$ 与 $I$ 是**非关联**参考方向，则 $P_A$ 为发出功率

元件B的功率  $P_B = U_2 I = 6\text{ W}$

$U_2$ 与 $I$ 是**关联**参考方向，则 $P_B$ 为吸收功率

元件C的功率  $P_C = U_3 \times I = 4\text{ W}$

$U_3$ 与 $I$ 是**关联**参考方向，则 $P_C$ 为吸收功率

则有：总吸收功率 = 总发出功率，

或 总功率 =  $P_A - P_B - P_C = 0\text{ W}$  所以，电路功率平衡

# § 1.4 电路元件

## 1. 电路元件的特性

- ▶ 是电路中最基本的组成元件
- ▶ 具有单一的电磁特性
- ▶ 对电路的基本物理量存在约束关系

这个约束关系可以用 电压电流关系 (Voltage Current Relation, VCR) 来描述

# § 1.4 电路元件

## 2. 电路元件的分类

▶ 从端子数量可分:

二端、三端、四端元件等

▶ 从含源性可分: 无源、有源元件

▶ 从元件VCR特性可分: 线性、非线性元件

▶ 从特性时变性可分为: 时变、非时变元件

## § 1.4 电路元件

### 3. 常见的电路元件：

电阻

电容、电感

电压源、电流源

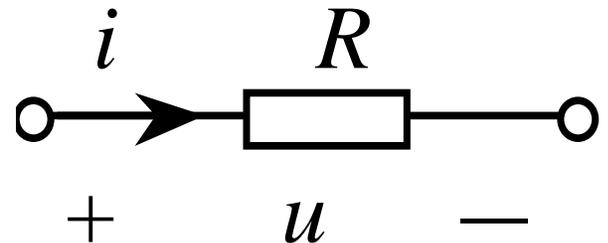
受控源（4类）

## § 1.5 电阻元件

### 1. 线性电阻元件 (linear resistor)

在关联参考方向下，线性电阻元件满足欧姆定律 (Ohm's law)，即

$$u = R \cdot i$$



线性电阻的  
图形符号

其中  $R$  为电阻参数，单位为欧姆 ( $\Omega$ )

在非关联参考方向下， $u = -R \cdot i$

## § 1.5 电阻元件

### ▶ 元件参数

- 电阻  $R$

- 电导  $G$        $G = \frac{1}{R}$

电导的单位为西门子 ( $S$ )

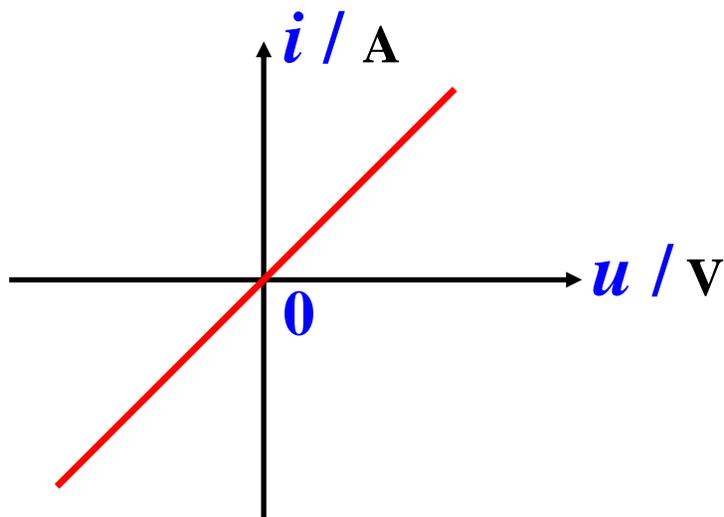
用电导表示电阻元件的VCR为

$$i = G \cdot u$$

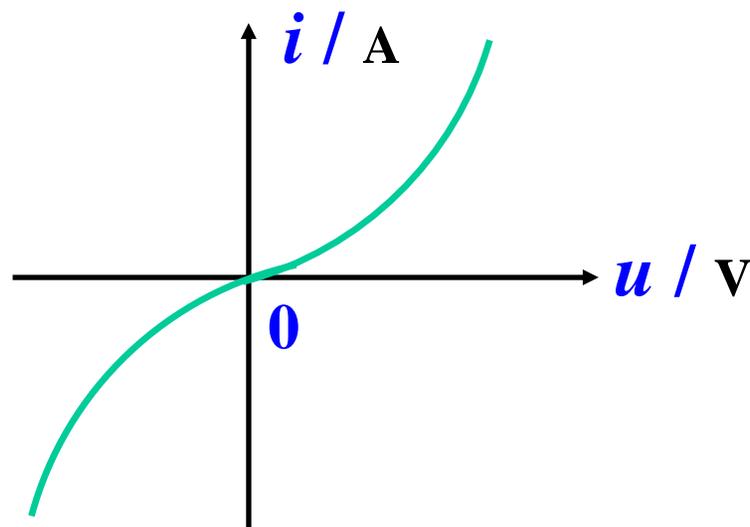
# § 1.5 电阻元件

## 2. 元件特性 (伏安特性VAR)

电阻元件的伏安关系可用 $u-i$ 平面过坐标原点的曲线来描述



线性电阻: 伏安关系为 $u-i$ 平面过坐标原点的直线



非线性电阻: 伏安关系为 $u-i$ 平面过坐标原点的曲线

## § 1.5 电阻元件

### 3. 电阻元件的功率和能量

关联参考方向下,

$$p = u \cdot i = (R \cdot i) \cdot i = R \cdot i^2 = \frac{u^2}{R}$$

$$= u \cdot (G \cdot u) = G \cdot u^2 = \frac{i^2}{G}$$

电阻元件从  $t_0$  到  $t$  的时间内吸收的能量为

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t R i^2(\xi) d(\xi)$$

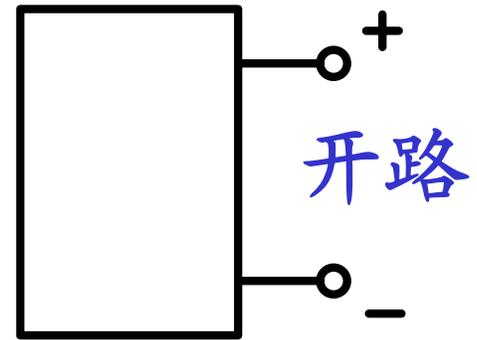
电阻元件是一个耗能元件

# § 1.5 电阻元件

## 4. 开路与短路

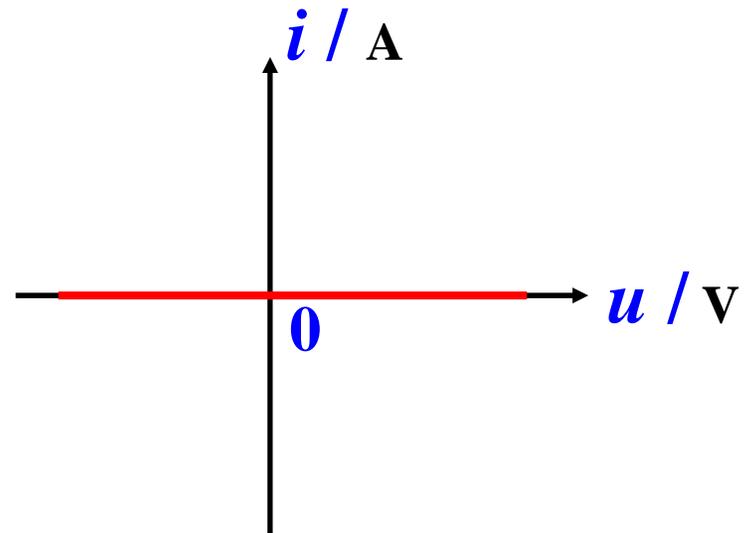
### ▶ 开路 ( Open Circuit )

开路是指电路中两点间无论电压如何，电流恒为零。



### ▶ 伏安特性曲线 与电压轴重合

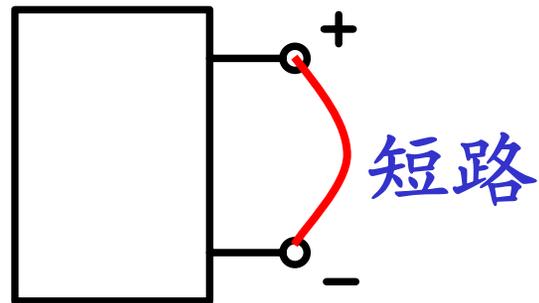
$$R = \infty \text{ 或 } G = 0$$



## § 1.5 电阻元件

### ▶ 短路（闭路，Short Circuit）

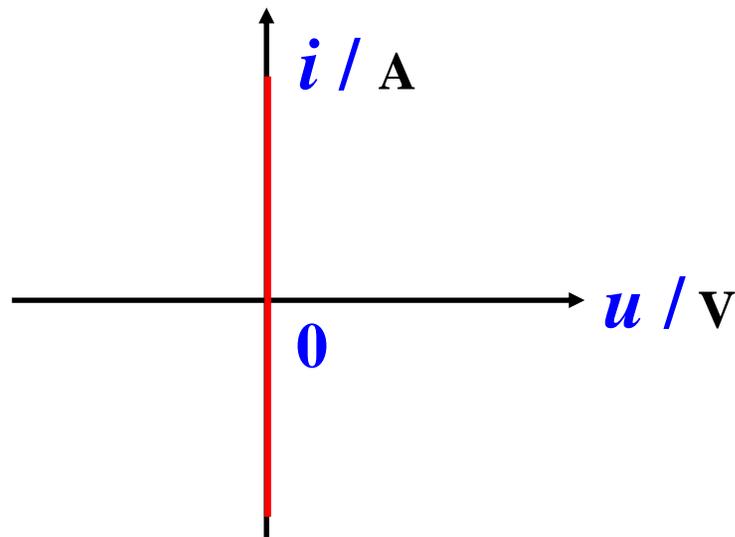
短路是指电路中两点间无论  
电流如何，电压恒为零



### ▶ 伏安特性曲线：

与电流轴重合

$$R = 0 \text{ 或 } G = \infty$$



# § 1.8 电压源和电流源

依据实际电源的不同特性，可以抽象出两种不同的理想电路元件，即电压源和电流源。



直流稳压电源

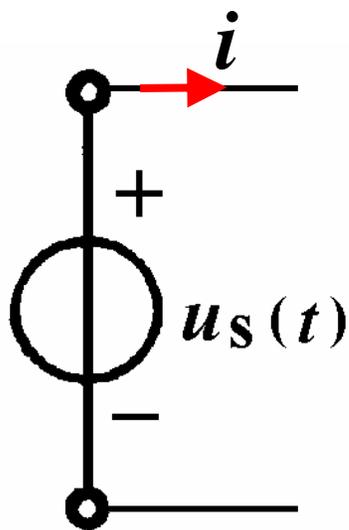


直流偏置电流源

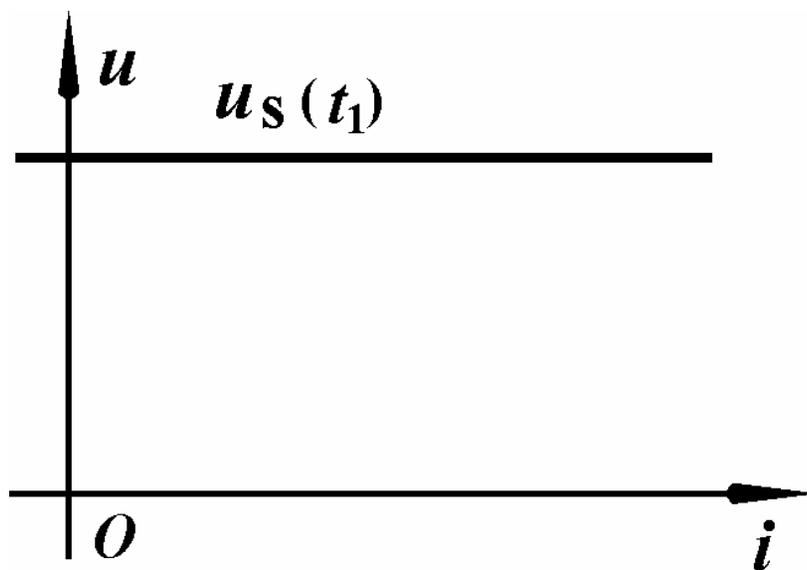
# § 1.8 电压源和电流源

## 1. 电压源

如果一个二端元件的电流无论为何值，其电压保持常量 $U_S$ 或按给定的时间函数 $u_S(t)$ 变化，则此二端元件称为**独立电压源**，简称为**电压源**。



图形符号



伏安特性

## § 1.8 电压源和电流源

(1) 特性:

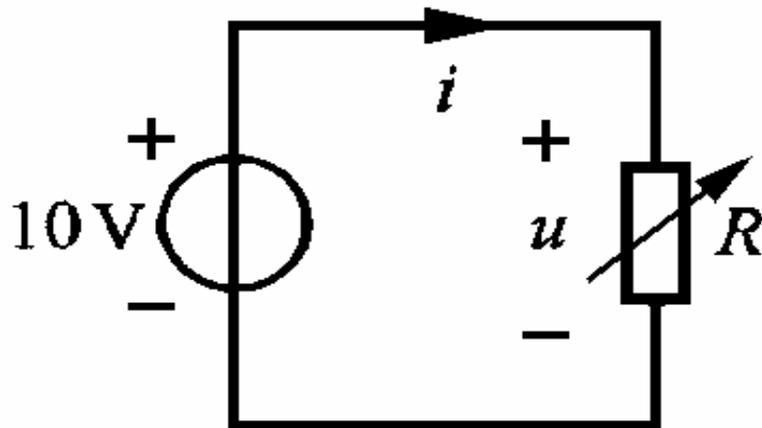
- ▶ 端电压  $u$  由其特性确定，与电压源在电路中的位置无关
- ▶ 电流  $I$  与端电压  $u$  无关，由外电路确定
- ▶ 随着电压源工作状态的不同，它既可发出功率，也可吸收功率

(2) 通常电流和电压取非关联参考方向

电压源的发出功率  $p = u \cdot i$

## § 1.8 电压源和电流源

例：图示电路中电阻值变化时，电压源的电流  $i$  和发出功率  $p$  会发生变化。

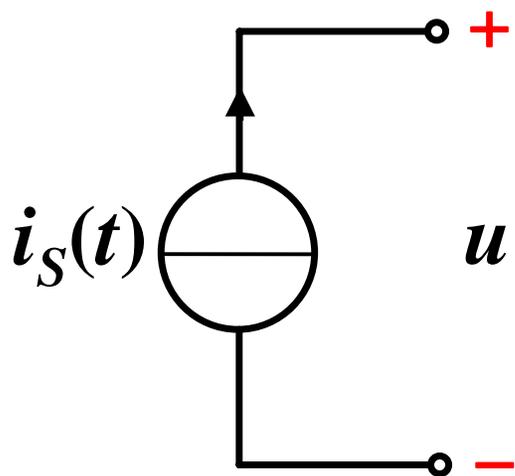


$R / \Omega$	1	2	10	20	100	$\infty$
$i / A$	10	5	1	0.5	0.1	0
$P / W$	100	50	10	5	1	0

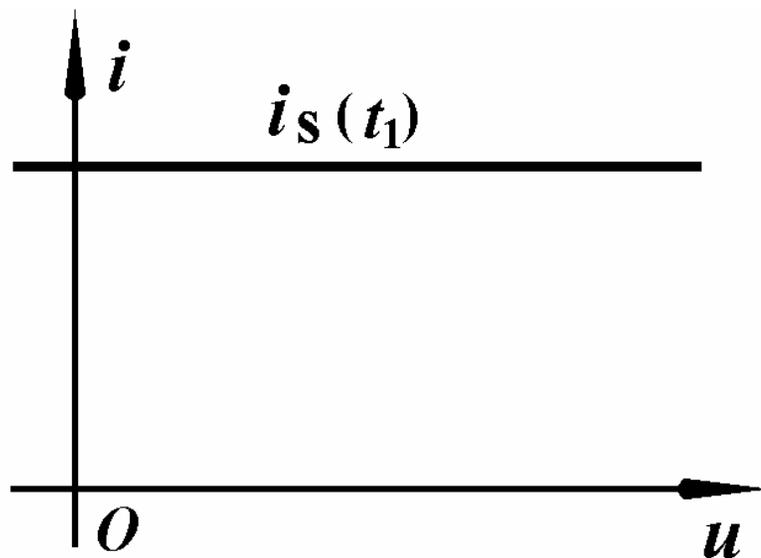
# § 1.8 电压源和电流源

## 2. 电流源

如果一个二端元件的电压无论为何值，其电流保持常量 $I_S$ 或按给定时间函数 $i_S(t)$ 变化，则此二端元件称为**独立电流源**，简称**电流源**



图形符号



伏安特性

## § 1.8 电压源和电流源

### (1) 特点:

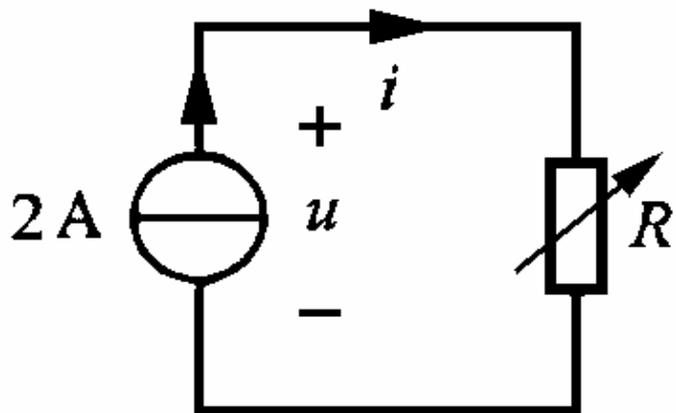
- ▶ 端电流  $i$  由其特性确定，与电流源在电路中的位置无关
- ▶ 电压  $u$  与端电流  $i$  无关，由外电路确定
- ▶ 随着电流源工作状态的不同，它既可发出功率，也可吸收功率

### (2) 通常电压和电流取非关联参考方向

电流源的发出功率  $p = u \cdot i$

## § 1.8 电压源和电流源

例：图示电路中电阻值变化时，电流源的电压  $u$  和发出功率  $p$  会发生变化。



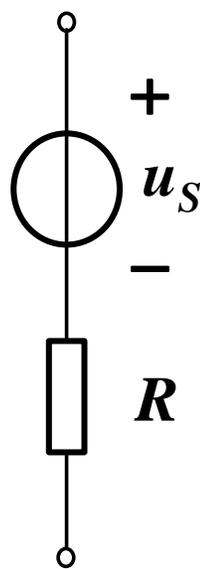
$R / \Omega$	1	2	10	20	100	0
$u / V$	2	4	20	40	200	0
$P / W$	4	8	40	80	400	0

# § 1.8 电压源和电流源

## 3. 实际电源的电路模型

- ▶ 实际电压源的电路模型

电压源与电阻的串联



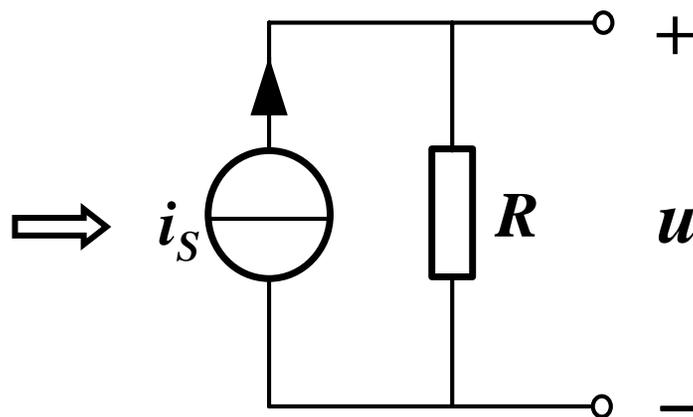
三相发电机

- ▶ 实际电流源的电路模型

电流源与电阻的并联



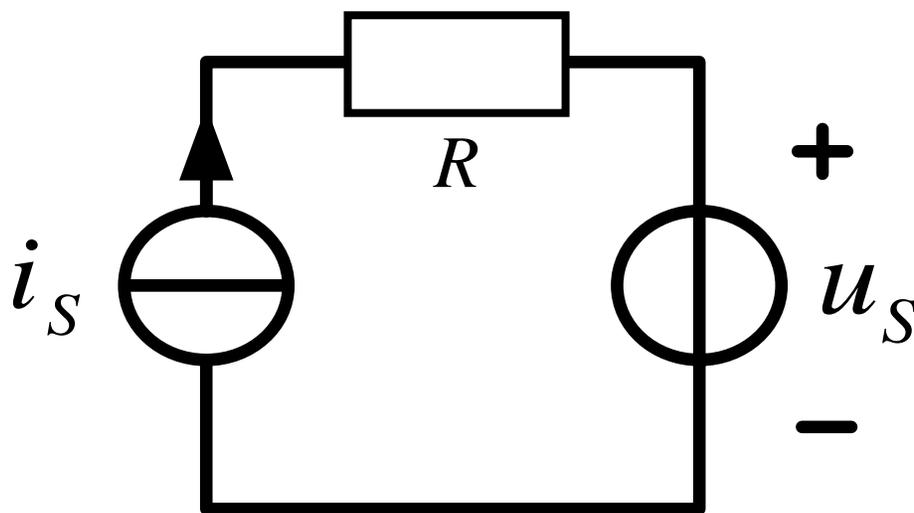
硅光电池



## § 1.8 电压源和电流源

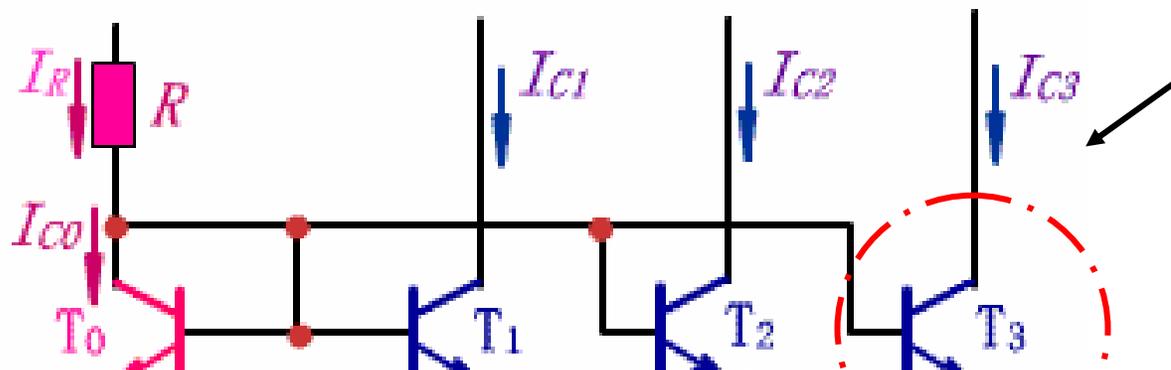
思考

1. 流过电压源的电流是?  $i_S$
2. 电流源两端的电压是?  $u_S$
3. 若  $i_S > 0, u_S > 0$ , 吸收功率的是? **电压源**

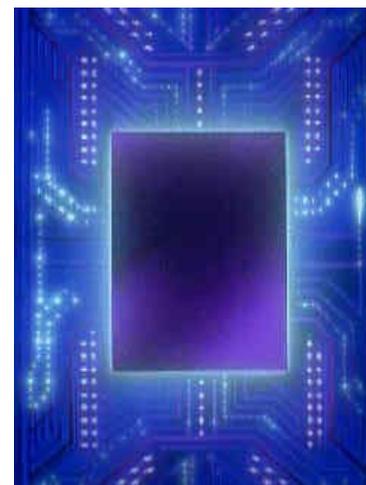


4. 串电阻  $R$  后, 问题 1, 2 和 3 的结果发生改变吗? 44

# § 1.9 受控电源



晶体管具有放大作用。其实质是一种控制作用。



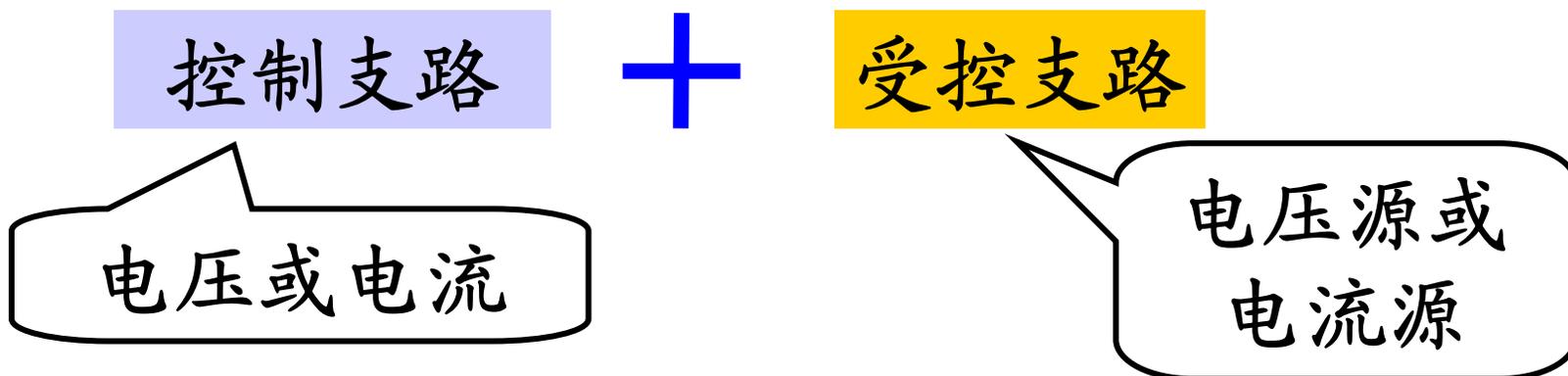
2002年，IBM制造出尺寸只有6纳米的晶体管

# § 1.9 受控电源

## 1. 受控源的定义

受控源是描述电子器件（如：晶体管、运算放大器）中某一支路对另一支路控制作用的理想模型

## 2. 受控源的结构



# § 1.9 受控电源

## 2. 受控源分类:

(1) 电压控制的电压源  
(**V**oltage **C**ontrol **V**oltage **S**ource)

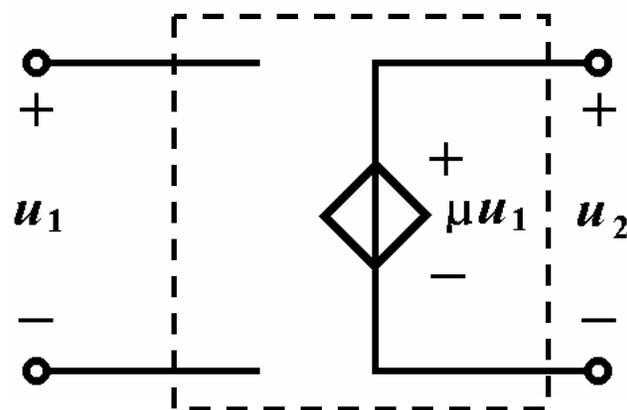
$$u_2 = \mu \cdot u_1$$

$\mu$  无量纲, 称为转移电压比

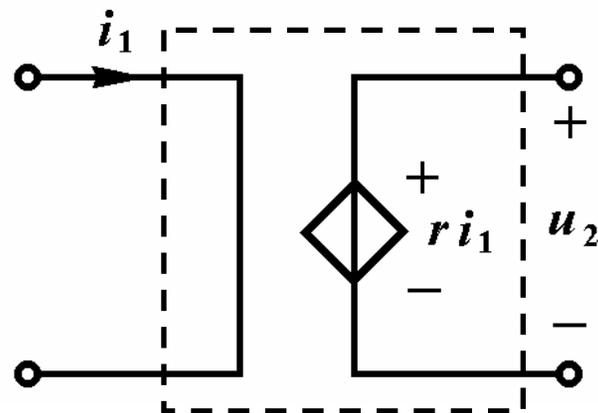
(2) 电流控制的电压源  
(**C**urrent **C**ontrol **V**oltage **S**ource)

$$u_2 = r \cdot i_1$$

$r$  具有电阻量纲, 称为转移电阻



(1) VCVS



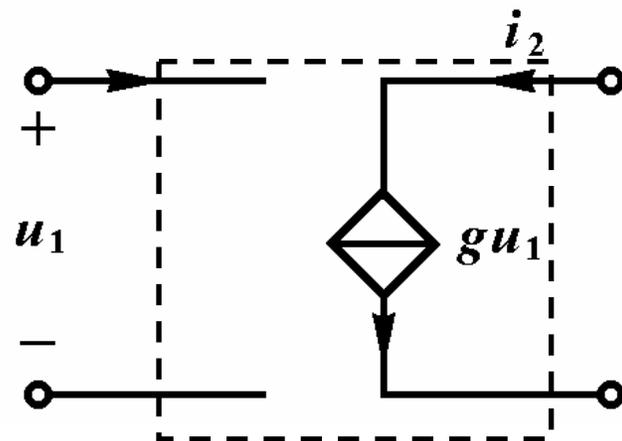
(2) CCVS

## § 1.9 受控电源

(3) 电压控制的电压源  
(Voltage Control Current Source)

$$i_2 = g \cdot u_1$$

$g$ 具有电导量纲，称为转移电导

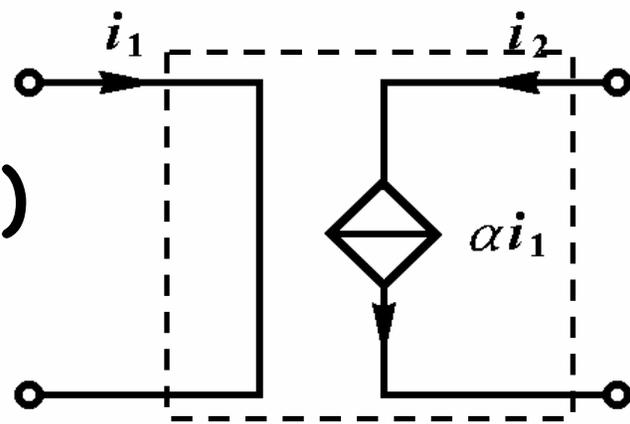


(3) VCCS

(4) 电流控制的电流源  
(Current Control Current Source)

$$i_2 = \alpha \cdot i_1$$

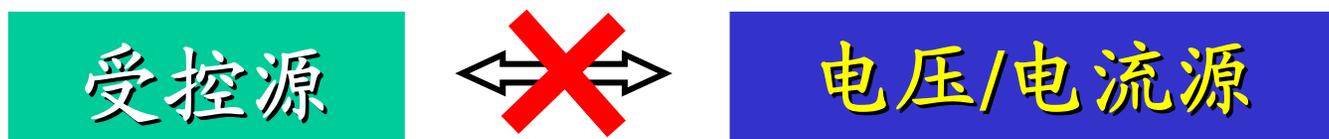
$\alpha$ 无量纲，称为转移电流比



(4) CCCS 48

# § 1.9 受控电源

## 3. 受控源的实质:



受控源只是体现两条支路电压和电流间的一种约束关系，不能独立向外电路提供能量

独立电源是  
电路的输入  
或激励

受控源与独立电源有本质上的不同

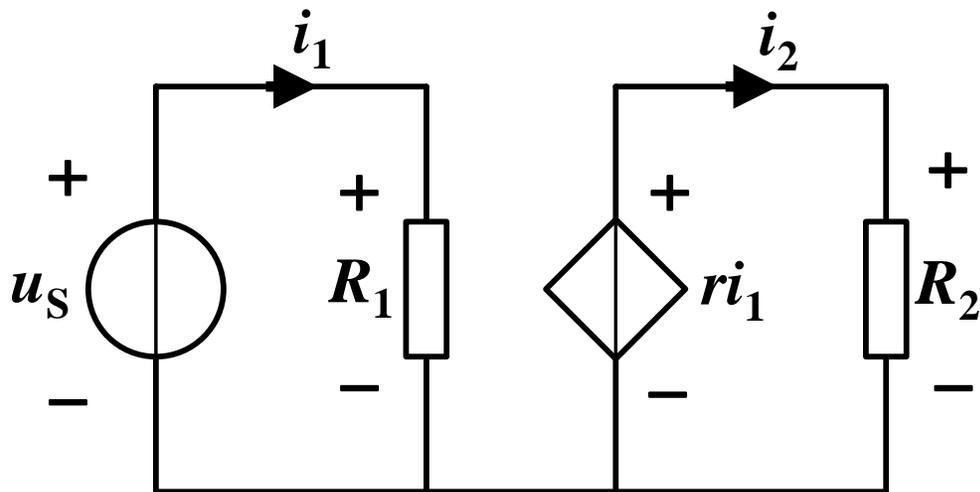
## § 1.9 受控电源

**例1.** 已知  $u_s = 10 \sin t$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 100 \Omega$ ,  
 $r = 0.2 \Omega$ , 求  $i_2$

**解:**

$$\therefore i_2 = \frac{r \cdot i_1}{R_2}$$

$$i_1 = \frac{u_s}{R_1}$$

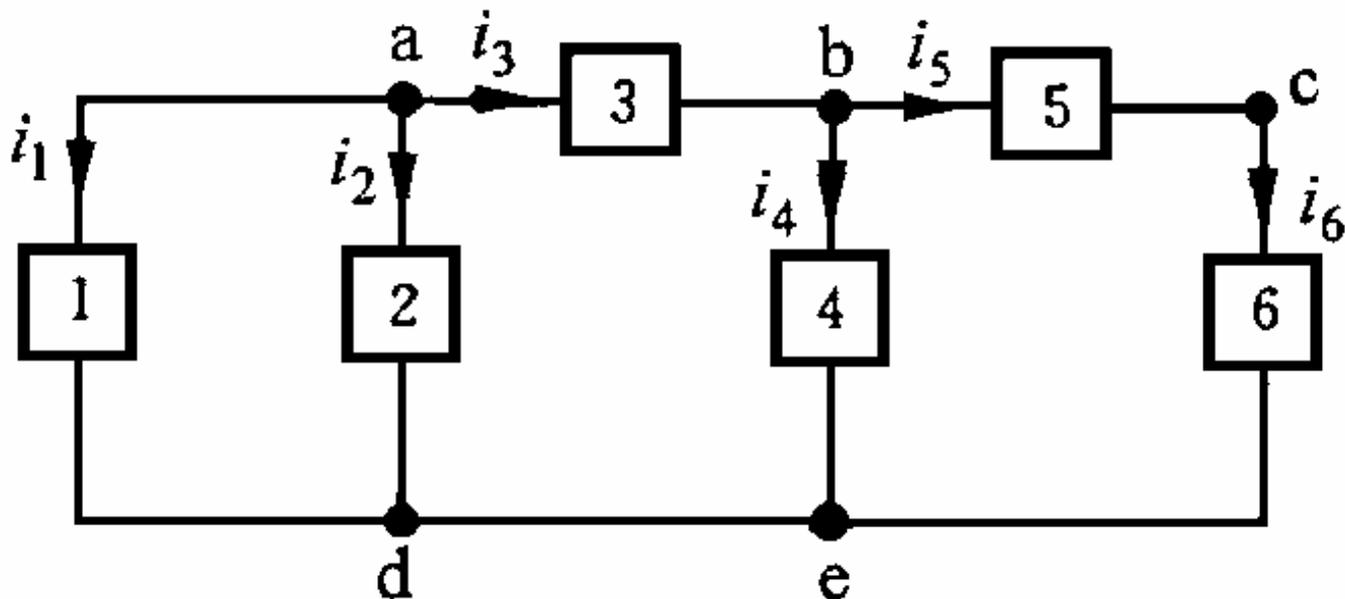


$$\therefore i_2 = \frac{r}{R_2} \cdot \frac{u_s}{R_1} = \frac{0.2 \times 10 \sin t}{100 \times 10^3} = 2 \times 10^{-5} \sin t \text{ (A)}$$

# § 1.10 基尔霍夫定律

## 1. 基本定义

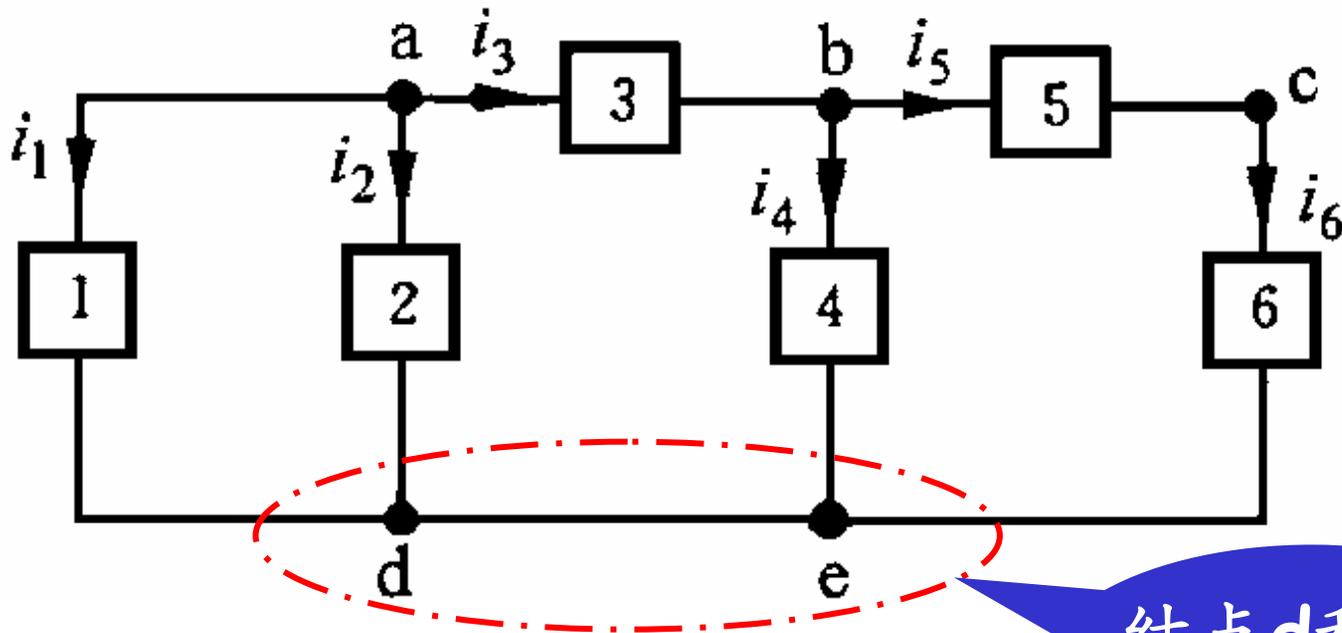
(1) 支路: 组成电路的每一个二端元件



图中共有6条支路

# § 1.10 基尔霍夫定律

(2) 结点：支路的连接点

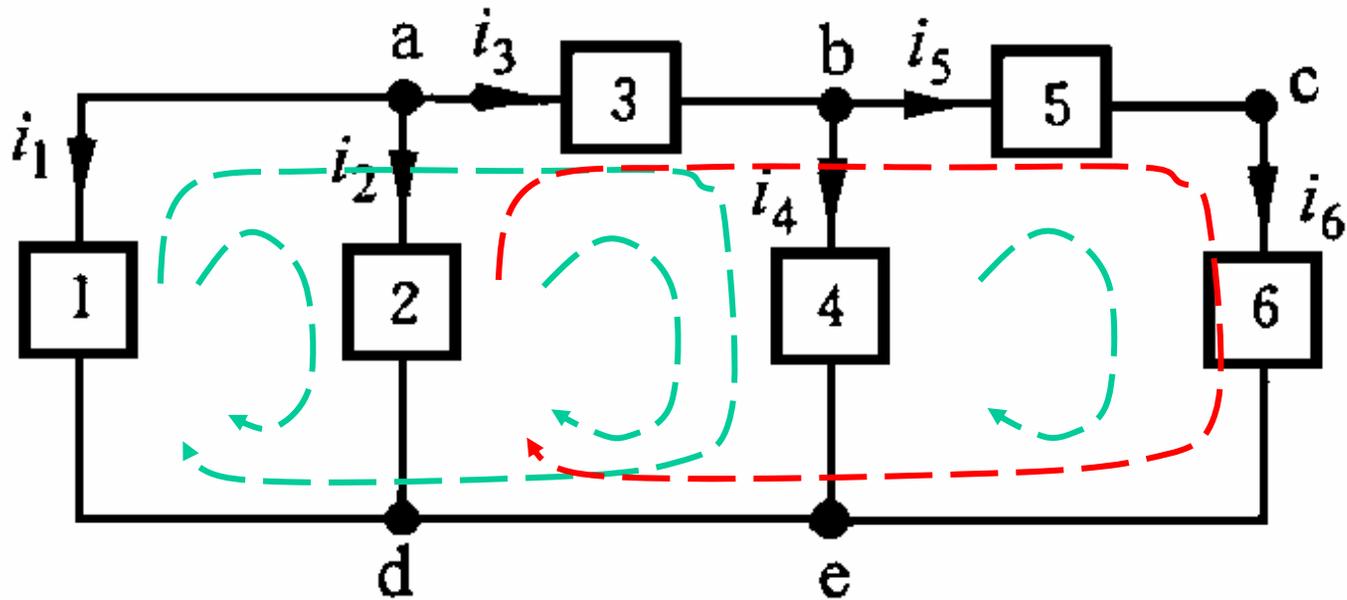


图例中共有几个结点？

结点a、结点b、结点c 和结点d

# § 1.10 基尔霍夫定律

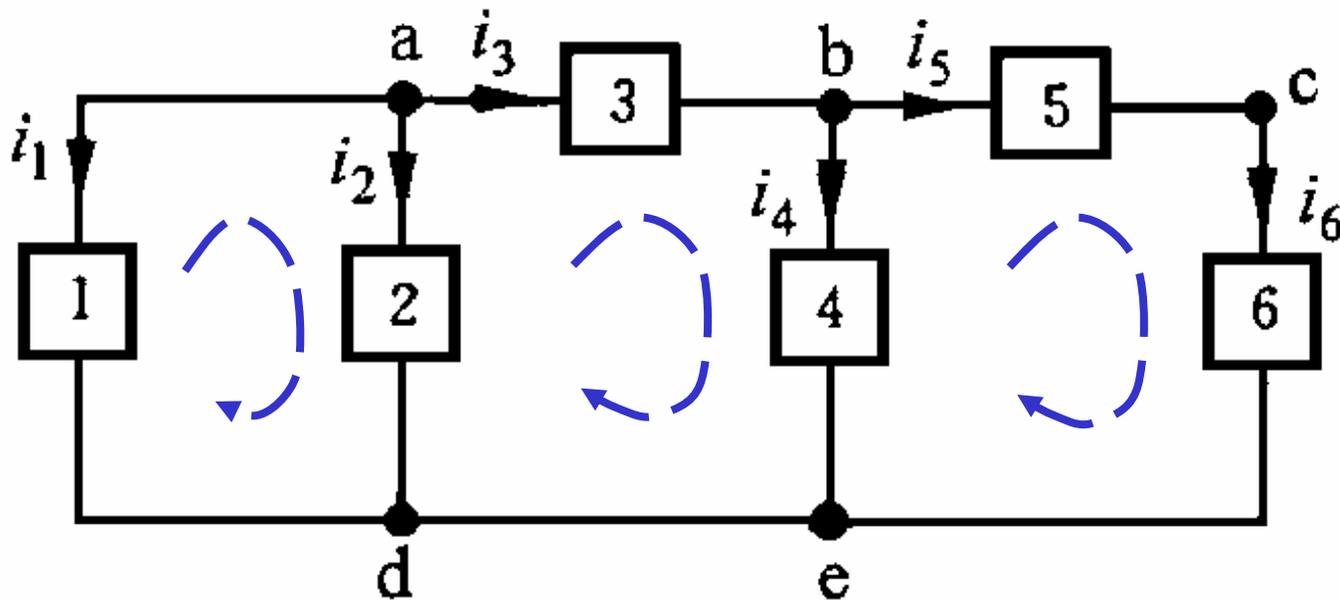
(3) 回路：由支路构成的闭合路径



图例中共有6个回路，分别为{1,2}、{2,3,4}、  
{4,5,6}、{1,3,4}、{2,3,5,6}和{1,3,5,6}

# § 1.10 基尔霍夫定律

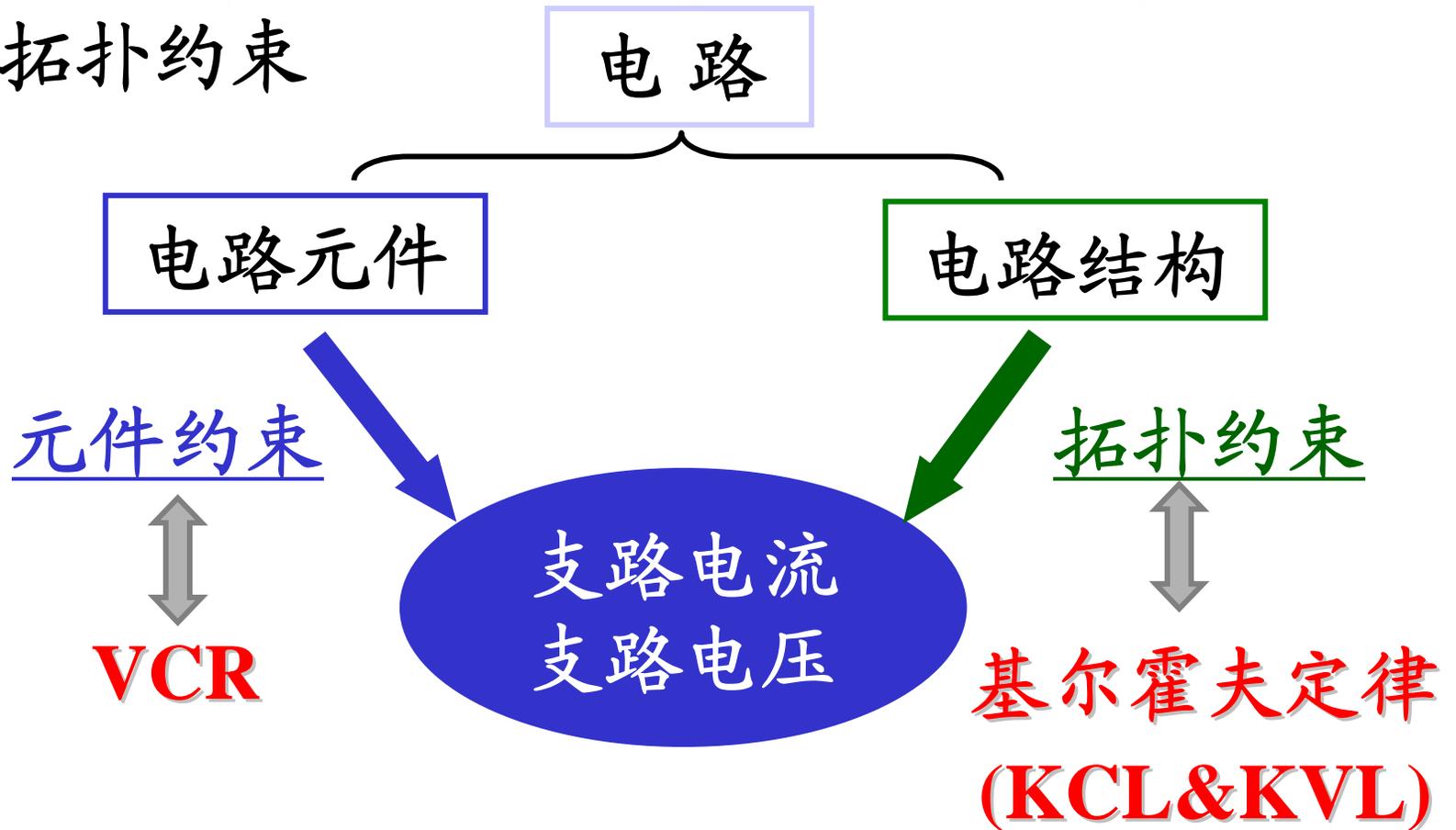
(4) 网孔: 将电路画在平面上内部不含有支路的回路



图示电路中的  $\{1,2\}$ 、 $\{2,3,4\}$  和  $\{4,5,6\}$  回路都是网孔

# § 1.10 基尔霍夫定律

## 2. 拓扑约束



元件约束：由元件特性造成的约束

拓扑约束：由元件相互连接的方式造成的约束

# § 1.10 基尔霍夫定律

## 3. 基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Law)

基尔霍夫定律是分析集总电路的基本定律。

**基尔霍夫电流定律 KCL**

(**K**irchhoff's **C**urrent **L**aw)

KCL反映了各支路电流间的约束关系

**基尔霍夫电压定律 KVL**

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

KVL反映了各支路电压间的约束关系

# § 1.10 基尔霍夫定律

## 3.1 基尔霍夫电流定律 KCL

### (1) KCL表述一

“在集总电路中，任何时刻，对任一结点，所有流出结点的支路电流的代数和恒等于零”

其数学表达式为

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

KCL方程

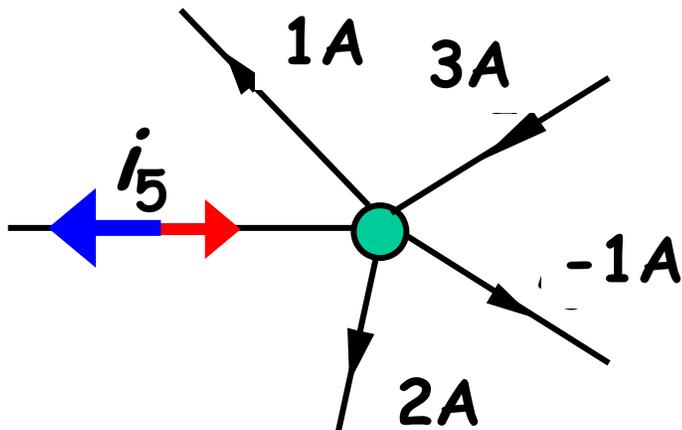
其中 $i_k(t)$ 表示流出该结点的第 $k$ 条支路电流

$K$  表示该结点处的支路数

## § 1.10 基尔霍夫定律

- ▶ 对电路某结点列写 KCL 方程时，  
流出该结点的支路电流取正号“+”  
流入该结点的支路电流取负号“-”
- ▶ 利用电流参考方向判断是“流入”还是“流出”

**例** 求  $i_5$



$$i_1 - i_2 + i_3 + i_4 - i_5 = 0$$

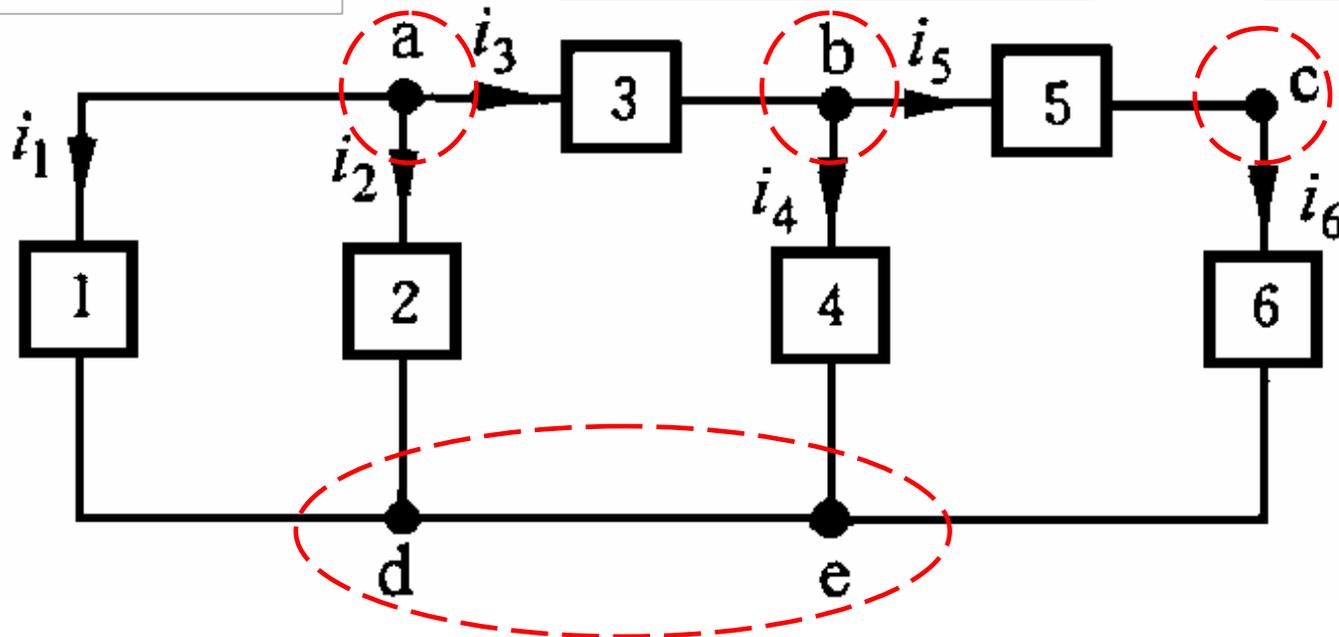
$$\begin{aligned} i_5 &= i_1 - i_2 + i_3 + i_4 \\ &= 1 - 3 + (-1) + 2 \\ &= -1 \text{ A} \end{aligned}$$

# § 1.10 基尔霍夫定律

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$-i_3 + i_4 + i_5 = 0$$

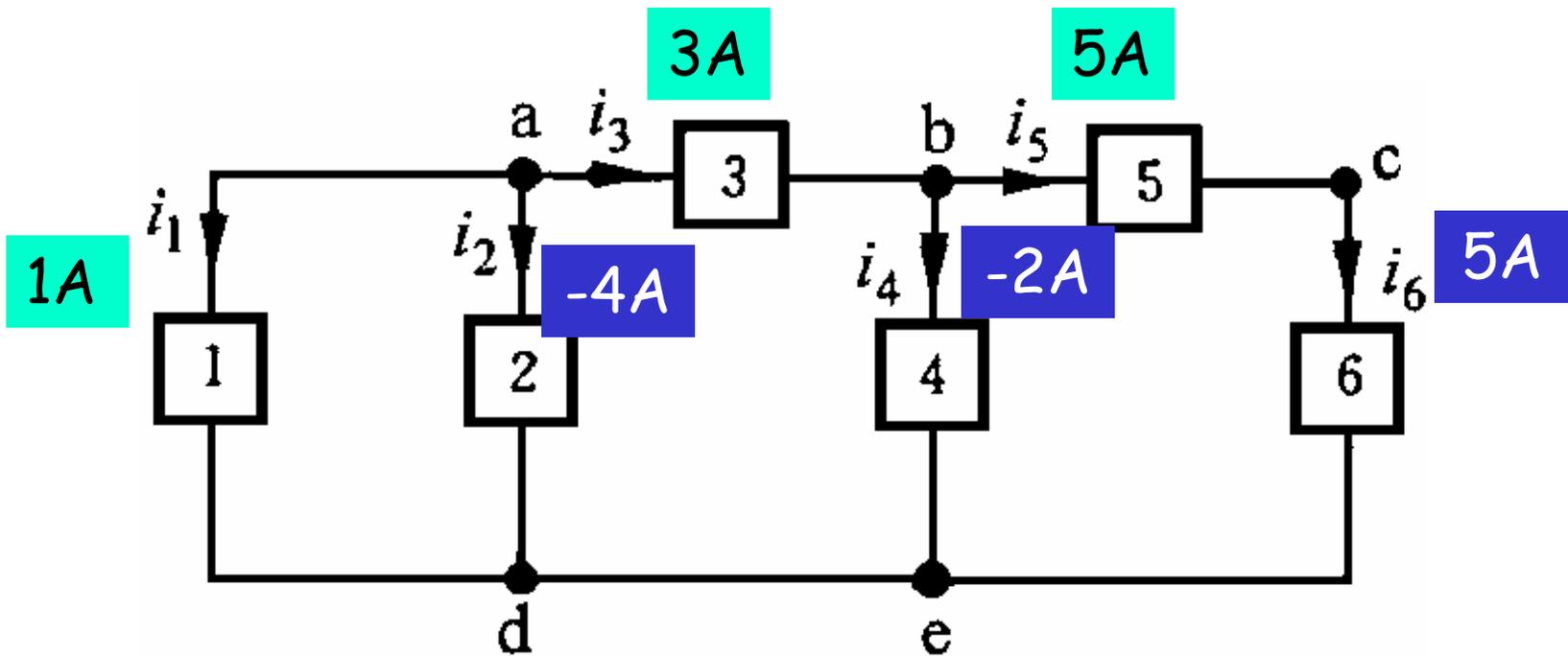
$$-i_5 + i_6 = 0$$



$$-i_1 - i_2 - i_4 - i_6 = 0$$

**KCL方程是以支路电流为变量的常系数线性齐次代数方程**  
它对连接到该结点的各支路电流施加了**线性约束**。

# § 1.10 基尔霍夫定律



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad \rightarrow \quad i_2 = -i_1 - i_3 = -1 - 3 = -4 \text{ (A)}$$

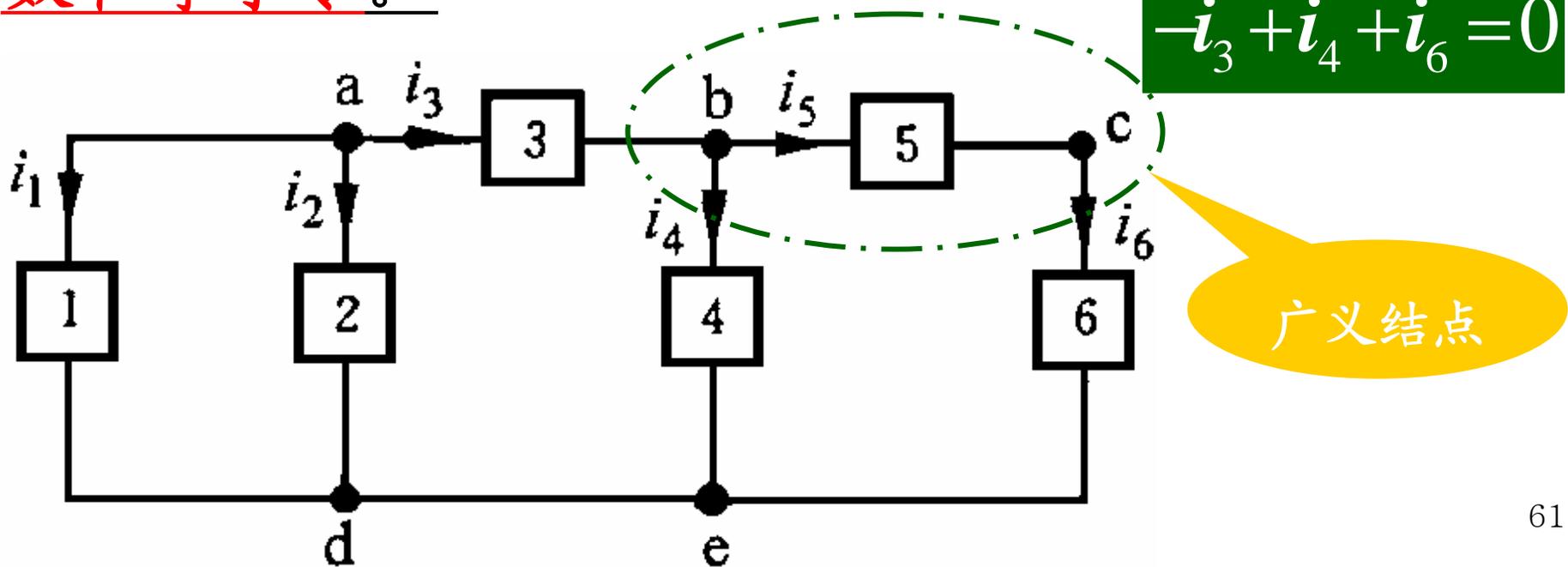
$$-i_3 + i_4 + i_5 = 0 \quad \rightarrow \quad i_4 = i_3 - i_5 = 3 - 5 = -2 \text{ (A)}$$

$$-i_5 + i_6 = 0 \quad \rightarrow \quad i_6 = i_5 = 5A$$

# § 1.10 基尔霍夫定律

## (2) KCL的推广

KCL不仅适用于结点，也适用于任何假想的封闭面，即流出任一封闭面的全部支路电流的代数和等于零。



## § 1.10 基尔霍夫定律

### (3) KCL的表述二

所有流出该结点(或封闭面)的支路电流和  
等于流入该结点(或封闭面)的支路电流和。

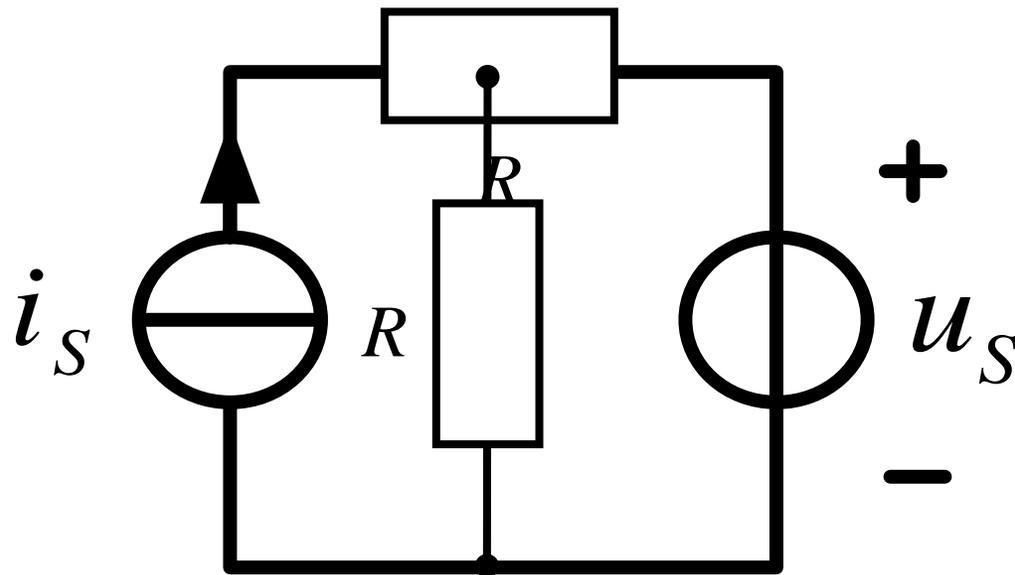
### (4) KCL的物理意义

在任一时刻，流入任一结点(或封闭面)全部支路电流的代数和等于零，意味着由全部支路电流带入结点(或封闭面)内的总电荷量为零，这说明KCL是电荷守恒定律的体现。

# § 1.10 基尔霍夫定律



1. 流过电压源的电流是?
2. 电流源两端的电压是?



# § 1.10 基尔霍夫定律

## 3.1 基尔霍夫电压定律 KVL

### (1) KVL表述一

“在集总电路中，任何时刻，对任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零”

其数学表达式为

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

KVL方程

其中 $u_k(t)$ 表示该回路的第 $k$ 条支路电压

$K$  表示该回路中的支路数

# § 1.10 基尔霍夫定律

## ► 列写回路KVL方程时

(1) 指定回路的绕行方向

和各支路电压的参考方向

沿绕行方向电压降的支路电压取正号

(2) 判断电压参考方向和绕行方向的关系

沿绕行方向电压升的支路电压取负号

“ - ”

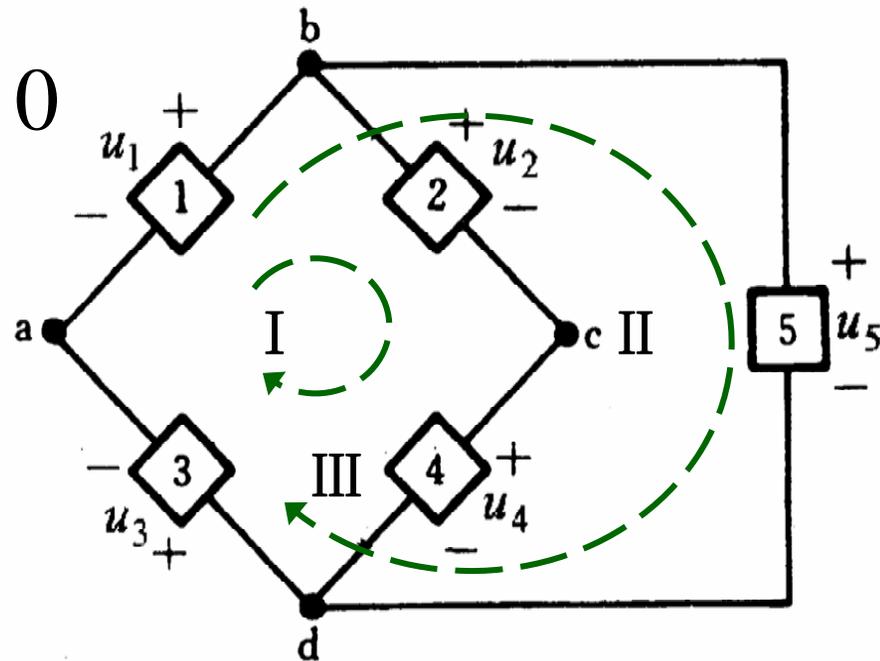
# § 1.10 基尔霍夫定律

对右图所示电路的所有回路，写出KVL方程

回路 I  $u_2 + u_4 + u_3 - u_1 = 0$

回路 II  $u_5 - u_4 - u_2 = 0$

回路 III  $u_5 + u_3 - u_1 = 0$



KVL方程是以支路电压为变量的常系数线性齐次代数方程，它对支路电压施加了线性约束。

# § 1.10 基尔霍夫定律

## (2) KVL表述二

集总参数电路中任一支路电压等于与其处于同一回路(或闭合路径)的其余支路电压的代数和

## (3) KVL推论

任何两点间的电压

与计算时所选择的路径无关

# § 1.10 基尔霍夫定律

若已知  $u_1$ ,  $u_2$  和  $u_5$ ,  
求  $u_3, u_4$

(1) 依据回路 III KVL 方程,  
可计算  $u_3$

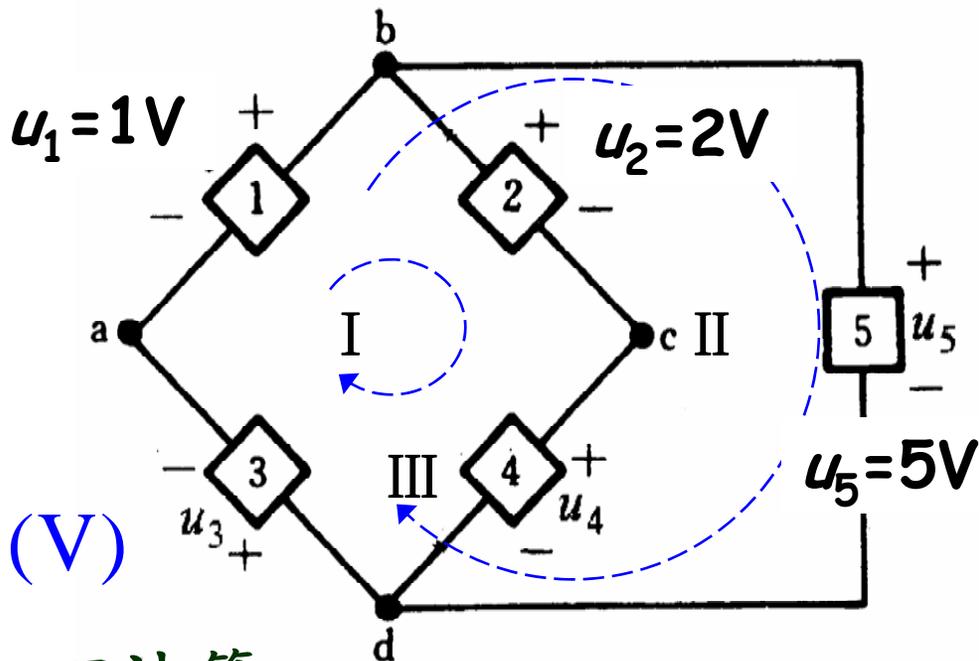
$$u_3 = u_1 - u_5 = 1 - 5 = -4 \text{ (V)}$$

(2) 依据回路 II KVL 方程, 可计算  $u_4$

$$u_4 = -u_2 + u_5 = -2 + 5 = 3 \text{ (V)}$$

或利用回路 I KVL 方程, 计算  $u_4$

$$u_4 = u_1 - u_2 - u_3 = 1 - 2 - (-4) = 3 \text{ (V)}$$



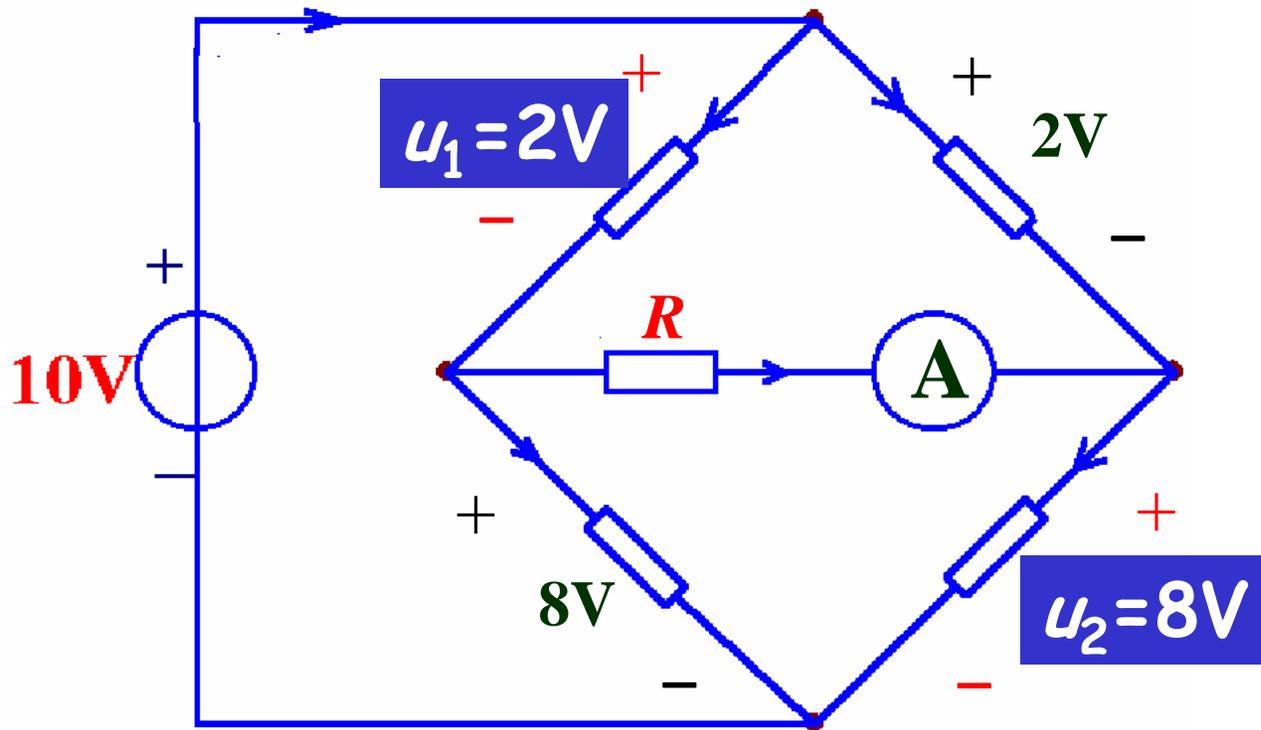
# § 1.10 基尔霍夫定律

## (4) KVL的物理意义

沿电路任一闭合路径(回路或闭合结点序列)各段电压代数和等于零，意味着单位正电荷沿任一闭合路径移动时能量不能改变，这表明KVL是能量守恒定律的体现。

# § 1.10 基尔霍夫定律

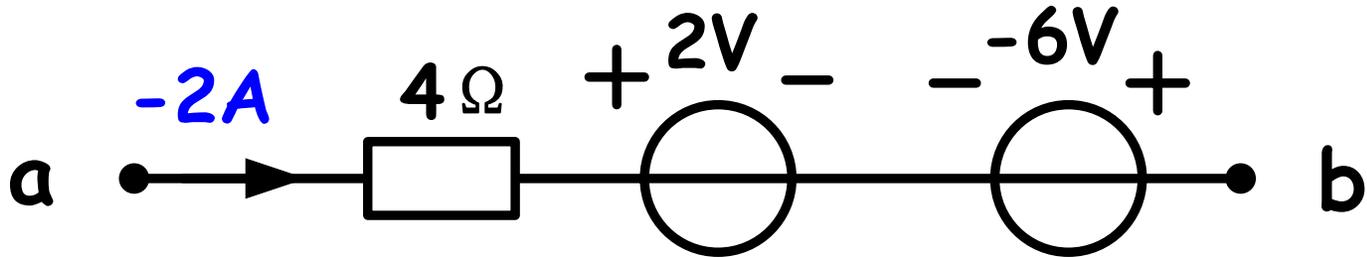
例. 图示电路, 电阻  $R$  有无电流?  
求电压  $u_1$  和  $u_2$  。



$R$ 中无电流

## § 1.10 基尔霍夫定律

例



计算 $U_{ab}$ 及功率

$$U_{ab} = 4 \times (-2) + 2 - (-6) = 0 \text{ V}$$

$$P_{\text{吸收}} = U_{ab} I_{ab} = 0 \times (-2) = 0 \text{ W}$$

## § 1.10 基尔霍夫定律

**例.** 求 $i_3$ 和两个电流源的发出功率。

已知:  $i_{s2}=10\text{A}, i_{s1}=5\text{A},$

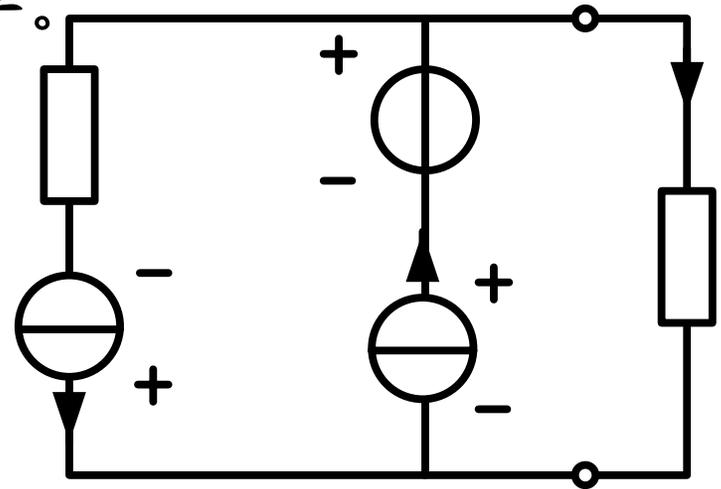
$u_{s2}=3\text{V}, R_1=2\Omega, R_3=5\Omega$

**解:** (1) 由KCL得:

$$i_3 = i_{s2} - i_{s1} = 5 \text{ A}$$

(2) 计算 $i_{s1}$ 与 $i_{s2}$ 发出的功率, 根据欧姆定律得:

$$u_{ab} = R_3 i_3 = 5 \times 5 = 25 \text{ V}$$



## § 1.10 基尔霍夫定律

$$u_{ab} = R_1 i_{s1} - u_1$$

$$u_{ab} = u_{s2} + u_2$$

所以，求得两个电流源的端电压  $u_1$ 、 $u_2$  分别为：

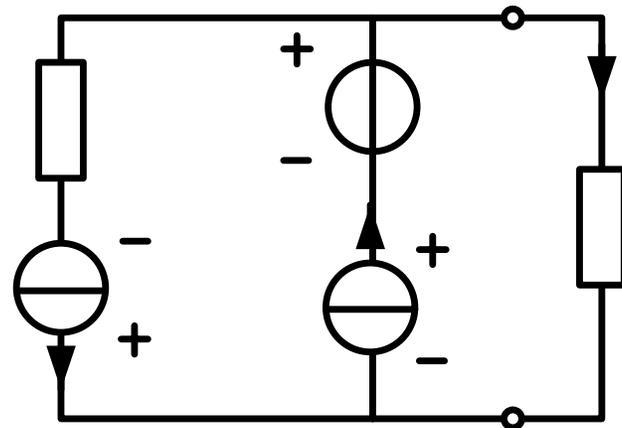
$$u_1 = R_1 i_{s1} - u_{ab} = 2 \times 5 - 25 = -15 \text{ V}$$

$$u_2 = u_{ab} - u_{s2} = 25 - 3 = 22 \text{ V}$$

故电流源的**发出**功率为：

$$P_1 = u_1 i_{s1} = -15 \times 5 = -75 \text{ W}$$

$$P_2 = u_2 i_{s2} = 22 \times 10 = 220 \text{ W}$$



# 第一章 小结

## 电路

电路与电路模型

基本物理量 { 电流、电压  
功率、能量

元件约束 (VCR) { 电阻  
电容、电感  
电压源、电流源  
受控源 (4类)

拓扑约束 { 结点——KCL  
回路——KVL