

# 第一章 电路的基本概念和定律

## 1.1 电路模型

电路的总体概念

## 1.2 电路变量

研究的目标变量

## 1.3 欧姆定律

电阻的阻性特性

## 1.4 理想电源

电源特性

## 1.5 基尔霍夫定律

电路分析的结构定律

## 1.6 电路等效

器件连接的特性变化

## 1.7 实际电源模型及互换等效

两种电源互换

## 1.8 电阻 $\pi$ 、T 电路互换等效

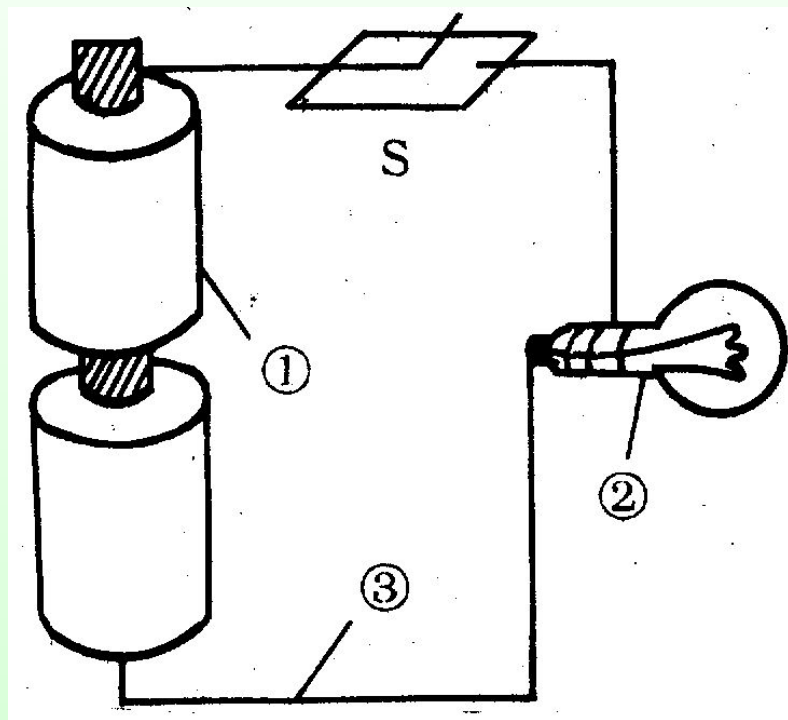
电阻复杂连接的等效

## 1.9 受控源

特殊电源

## 1.1 电路模型

### 1.1.1 实际电路组成与功能



① 电源——提供电能。

② 用电装置——负载。  
将电源供给的电能转换为  
其他形式的能量。

③ 导线与控制开关。

### 电路功能：

一、进行能量的传输、分配与转换

二、实现信息的传递与处理

例：电视机（一种双源电器）

## 1.1.2 电路模型

### 实际元件:

电阻R、电容C、电感L、灯泡、晶体管、电池、变压器，导线，电压源，电流源



### 电路分析参量:

电压、电流、功率

### 电路测量器件:

电压表、电流表、

欧姆表、万用表

# 第一章 电路



# 第一章 电路的基本概念和定律

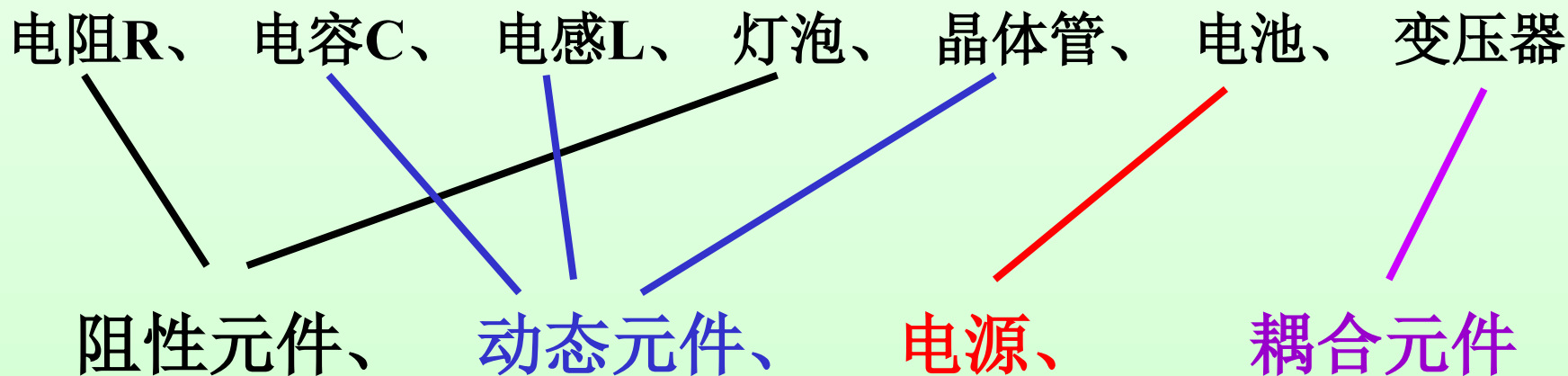


## 实际元件：

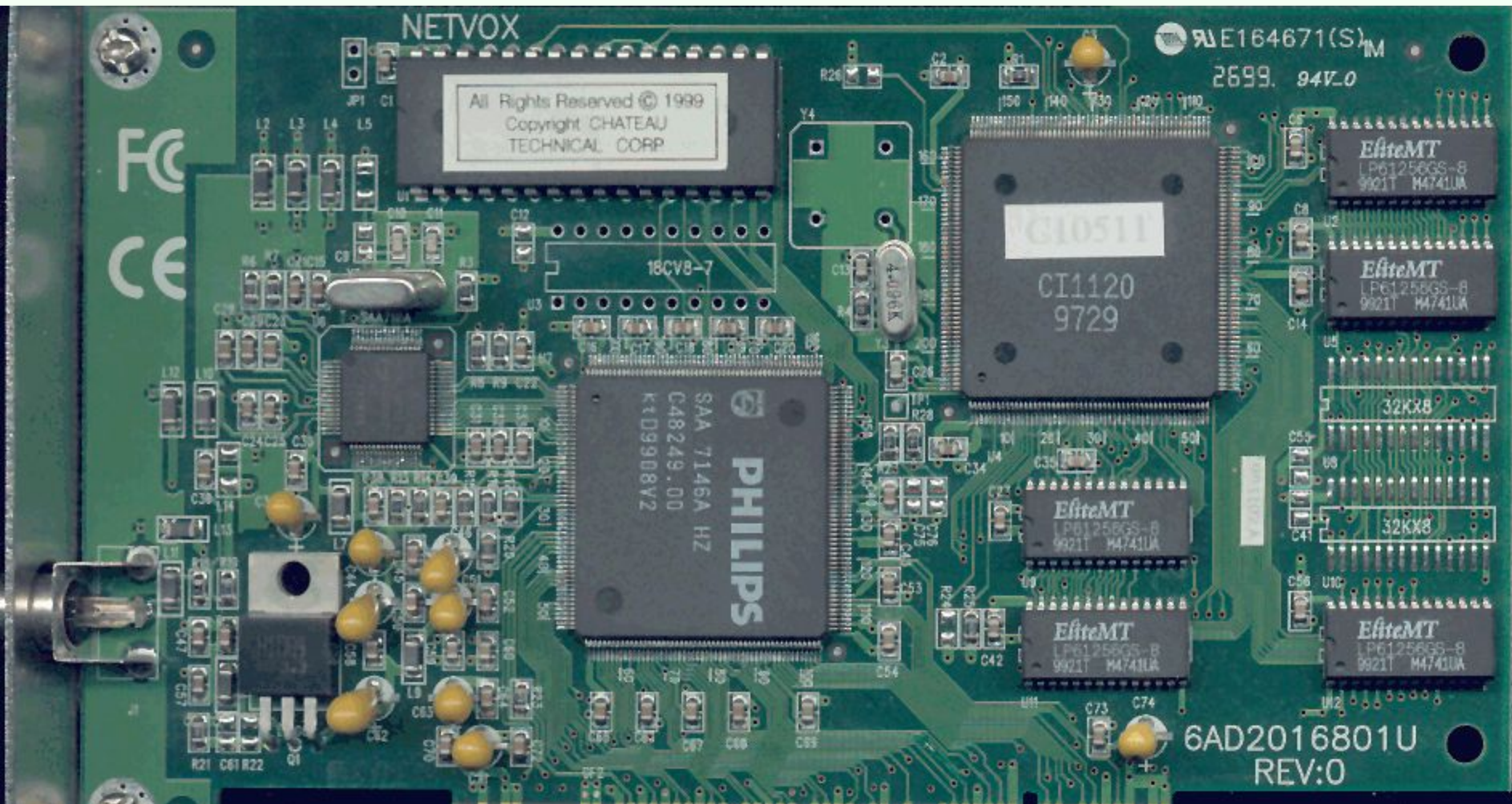
电阻R、电容C、电感L、灯泡、晶体管、电池、变压器，导线，电压源，电流源

理想元件（实际元件的模型化，关注其主要特性，忽略次要特性）：

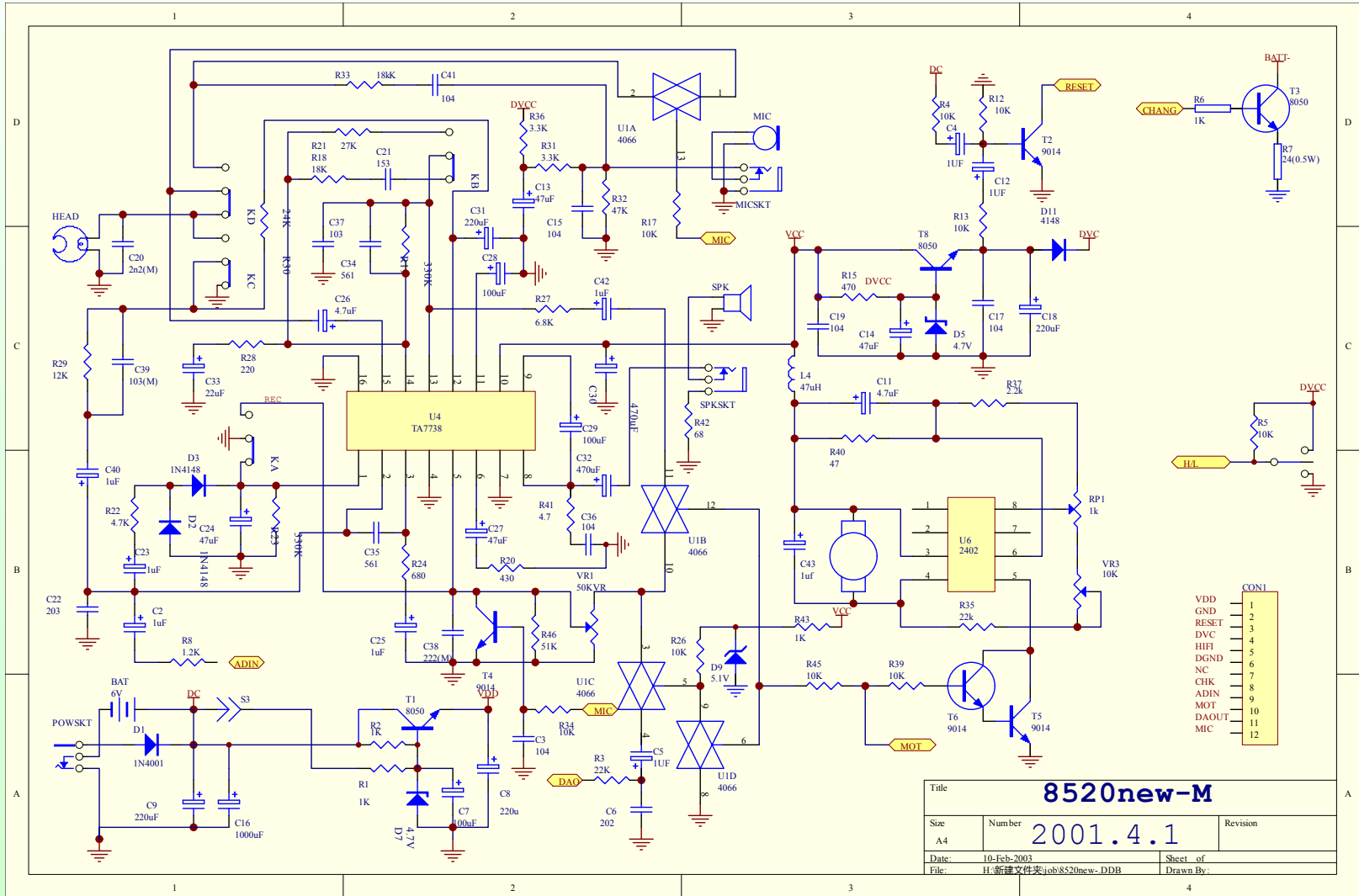
阻性元件、电源、动态元件、耦合元件，导线



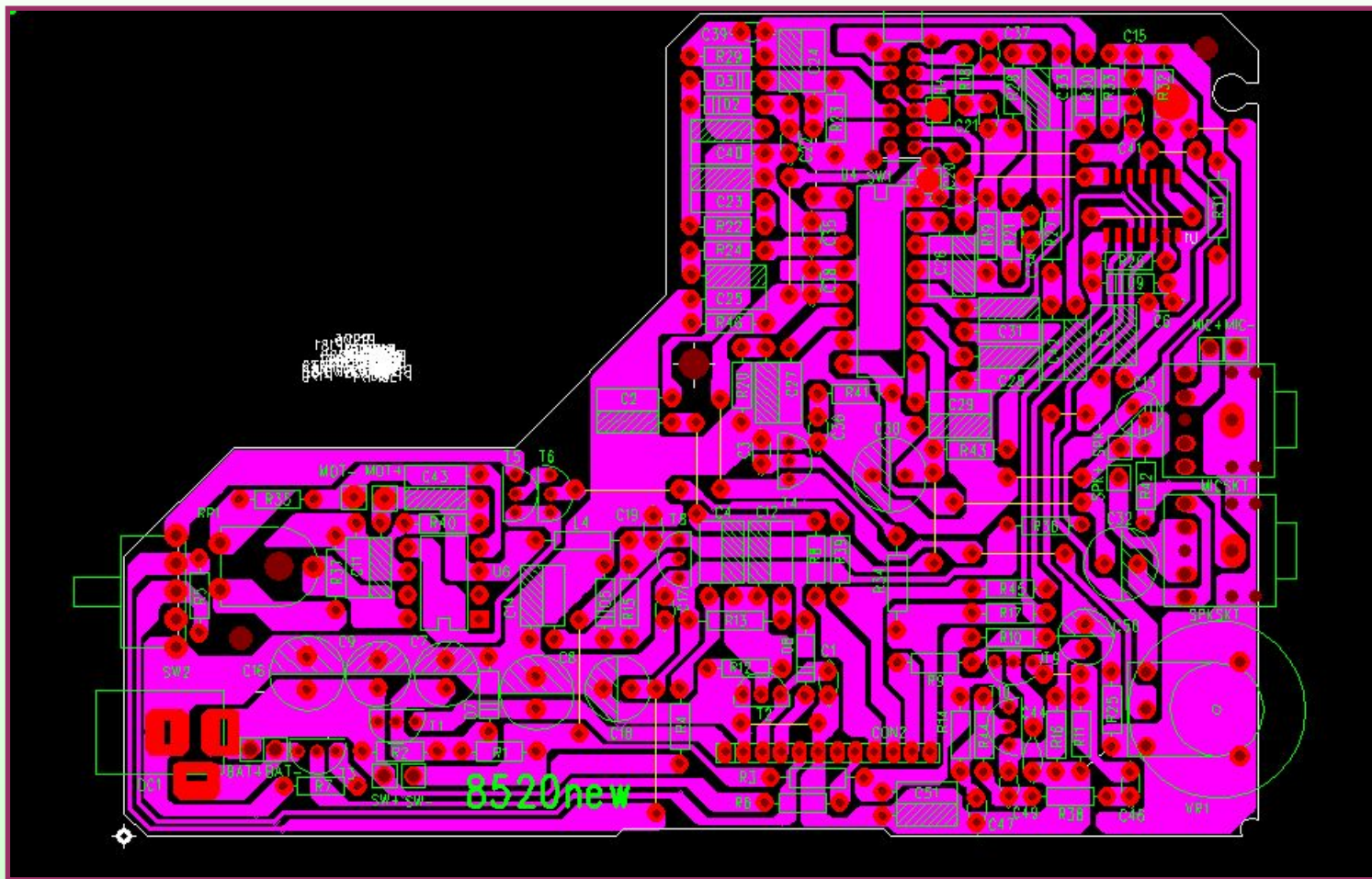
# 数据采集板



## 电路原理图



# 印刷电路板图



## 5种基本的理想电路元件：

**电阻元件：**表示消耗电能的元件

**电感元件：**表示产生磁场，储存磁场能量的元件

**电容元件：**表示产生电场，储存电场能量的元件

**电压源和电流源：**表示将其它形式的能量转变成电能的元件。



**注意**

## 基本理想元件的三个特征：

- (a) 只有两个端子；
- (b) 可以用电压或电流按数学方式描述；
- (c) 不能被分解为其他元件。

# 第一章 电路的基本概念和定律

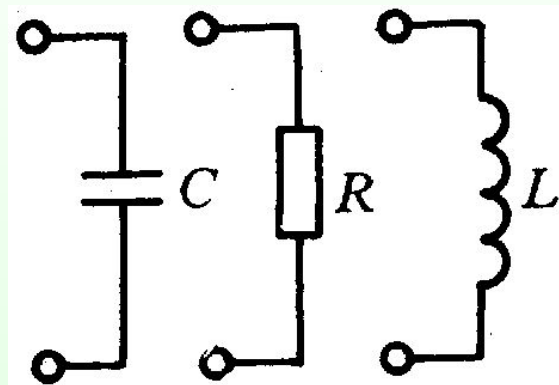
## 元件模型

1、理想元件：具有某种确定的电磁性能的元件。

理想电阻只消耗电能；

理想电容只贮藏电能；

理想电感只贮藏磁能。



理想元件具有精确的数学定义，实际中并不存在。

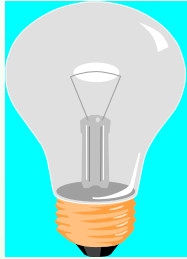
2、不同的实际电路元件，只要具有相同的主要电磁特性，在一定条件下，可以用同一个模型表示。

《电路分析基础》：

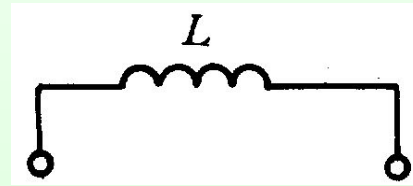
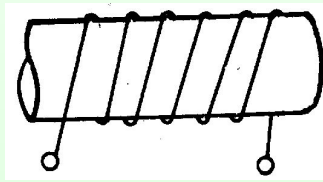
电路元件总由阻性、容性、感性元件组成。

# 第一章 电路的基本概念和定律

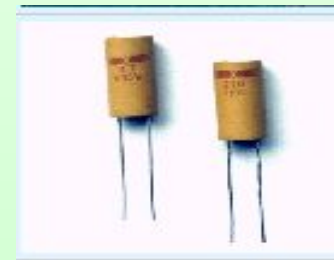
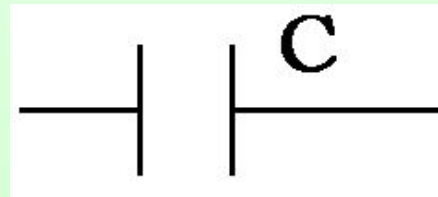
理想电阻：只消耗电能 (既不贮藏电能，也不贮藏磁能)；



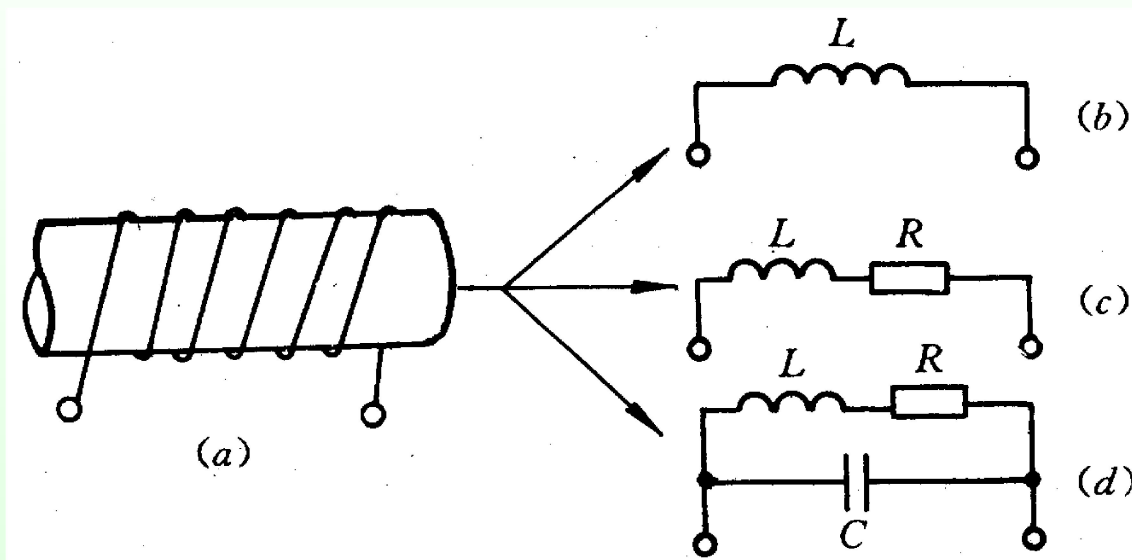
理想电感：只贮藏磁能 (既不消耗电能，也不贮藏电能)；



理想电容：只贮藏电能 (既不消耗电能，也不贮藏磁能)；



3、同一个元件在不同的应用条件下，它的模型有不同的形式。

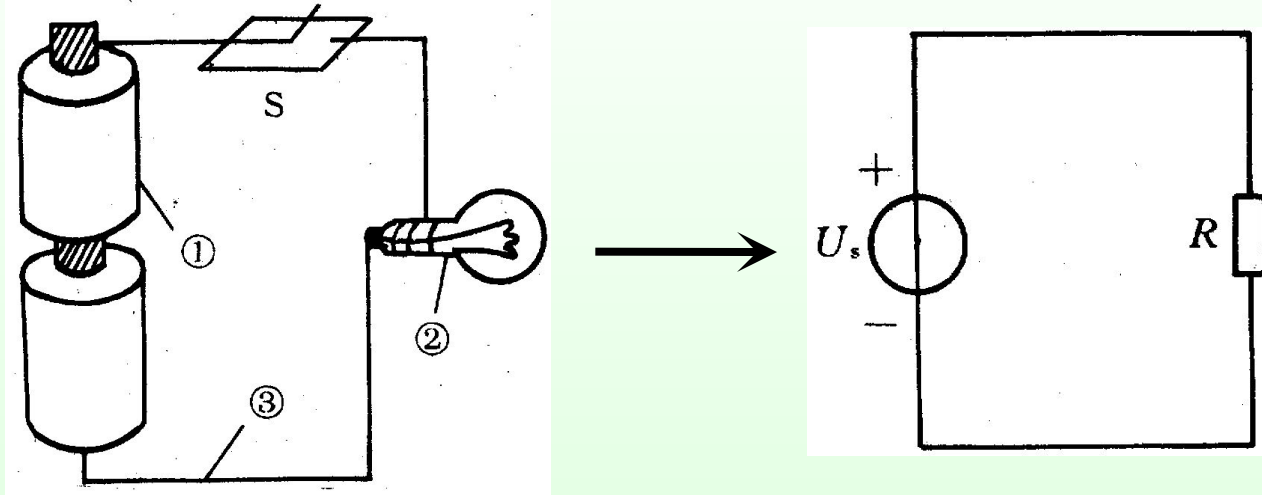


“理想化”：

不管在什么应用环境中，如何等效，但元件之间不会互相产生电磁干扰。

# 第一章 电路的基本概念和定律

## 集总元件(理想化元件)、集总参数电路



用集总参数电路模型近似描述实际电路的条件:

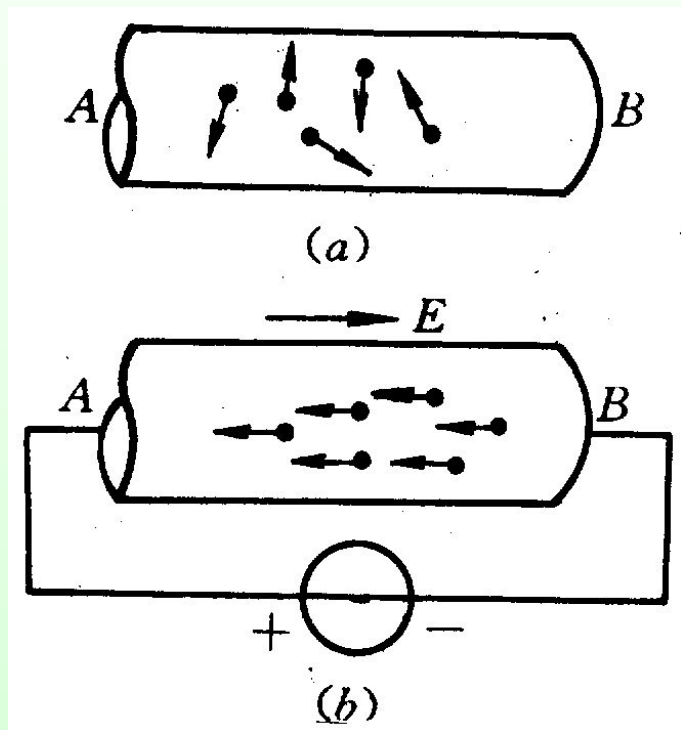
实际电路的尺寸  $l$  (长度) 远小于电路的工作波长  $\lambda$

$$l \ll \lambda$$

低频电路

## 1.2 电路变量

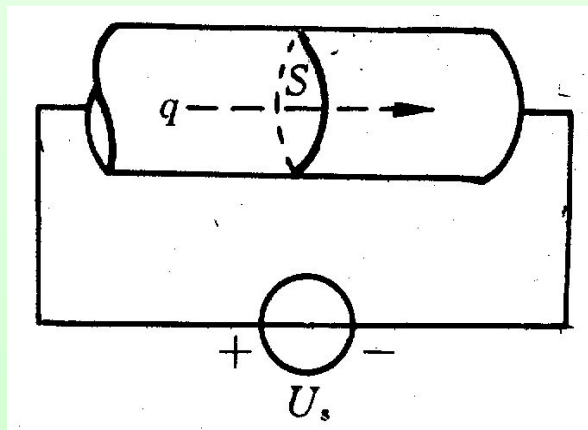
### 1.2.1 电流——电荷定向运动形成电流



1、电流强度：
$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

单位时间内通过导体横截面的电荷量。

直流  $I$  :  $dq(t)/dt$  为常数  
交流  $i(t)$  : 反之



电荷量：库仑

$6.28 \times 10^{18}$  个电子所具有的电  
量等于1库仑。

# 第一章 电路的基本概念和定律

## 2、单位：

安培 (A)， 千安、安培、毫安、微安

因数	英文	中文	符号
$10^9$	giga	吉	G
$10^6$	mega	兆	M
$10^3$	kilo	千	k
$10^{-3}$	milli	毫	m
$10^{-6}$	micro	微	$\mu$
$10^{-9}$	nano	纳	n
$10^{-12}$	pico	皮	p

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

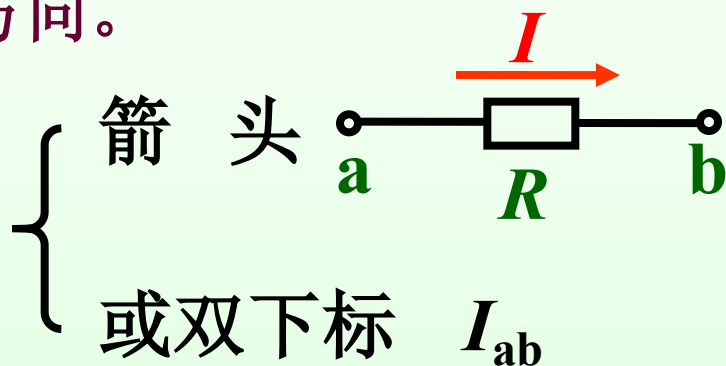
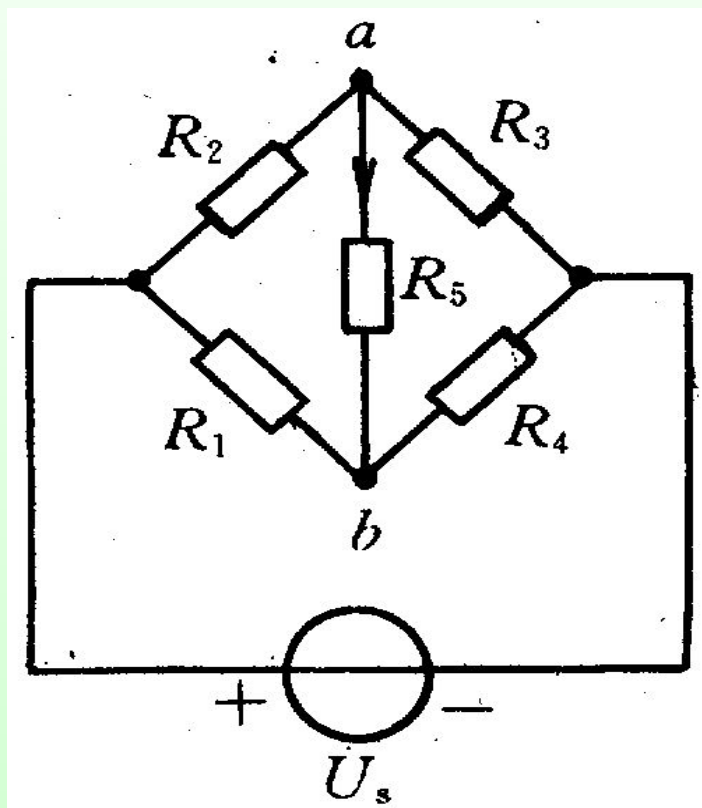
$$1kA = 10^3 A$$

$$1mA = 10^{-3} A$$

$$1\mu A = 10^{-6} A$$

## 3、电流的方向

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

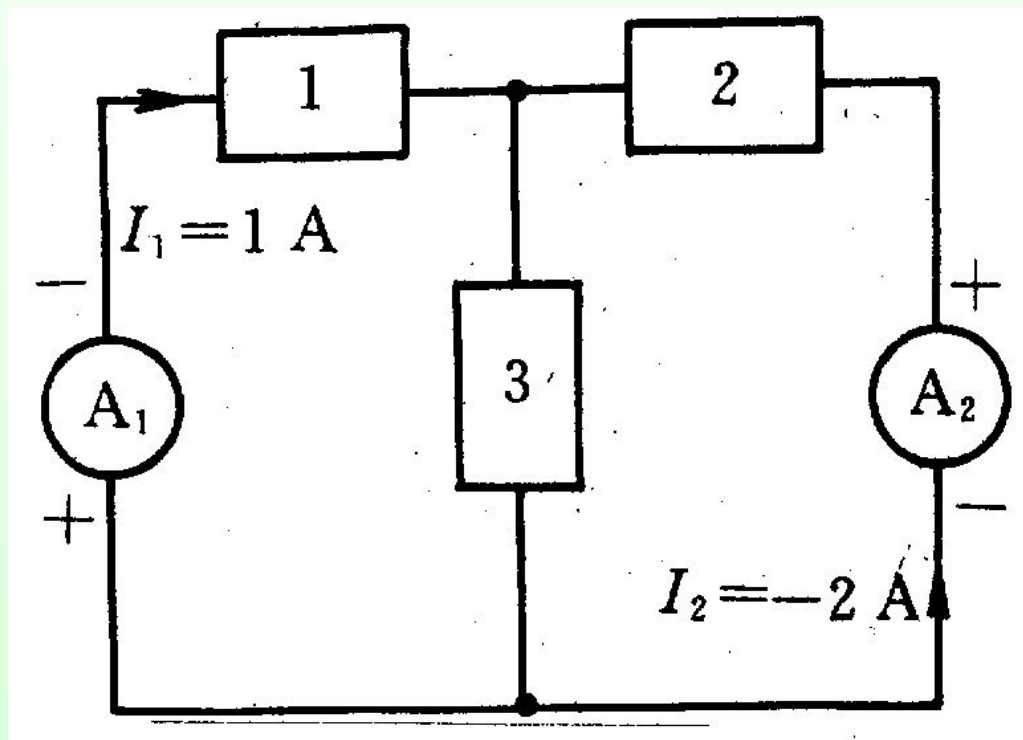


正值：参考方向与实际方向一致；  
负值：参考方向与实际方向相反。

电流的正、负在设定参考方向的前提下才有意义。

## 4、直流电流的测量

根据电流实际方向将电流表串联在待测电路里。



# 第一章 电路的基本概念和定律

## 1.2.2 电压

### 一、电位：

单位正电荷自某点移到参考点，电场力所作的功的大小。

参考点：电位为零的点

### 二、电压：两点之间的电位差。

单位正电荷从电路中一点移至另一点，电场力做的功。

1、定义式：
$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)}$$

直流  $U$ ：  $dw(t)/dq(t)$  为常数  
交流  $u(t)$ ： 反之

### 2、单位：

电压单位为伏特 (V) = 
$$\frac{\text{移动电荷所做的功, 焦耳(J)}}{\text{电荷量, 库仑(C)}}$$

# 第一章 电路的基本概念和定律

## 2、单位：

电压单位为伏特 (V) =  $\frac{\text{移动电荷所做的功, 焦耳(J)}}{\text{电荷量, 库仑(C)}}$

因数	英文	中文	符号
$10^9$	giga	吉	G
$10^6$	mega	兆	M
$10^3$	kilo	千	k
$10^{-3}$	milli	毫	m
$10^{-6}$	micro	微	$\mu$
$10^{-9}$	nano	纳	n
$10^{-12}$	pico	皮	p

伏特 (V) ,

千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏( $\mu V$ )

# 第一章 电路的基本概念和定律

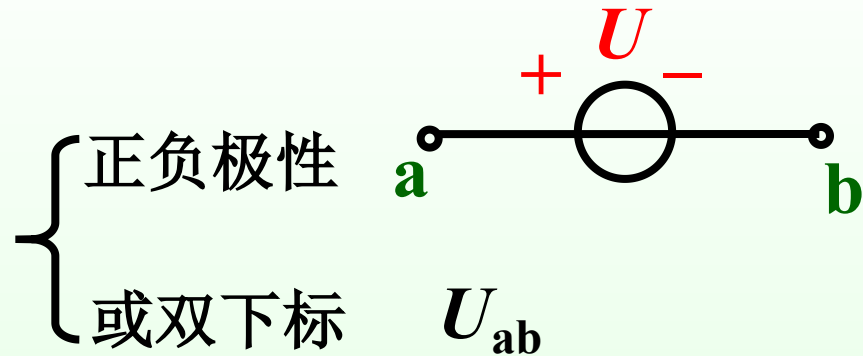
## 3、电压的方向

### 1) 实际方向:

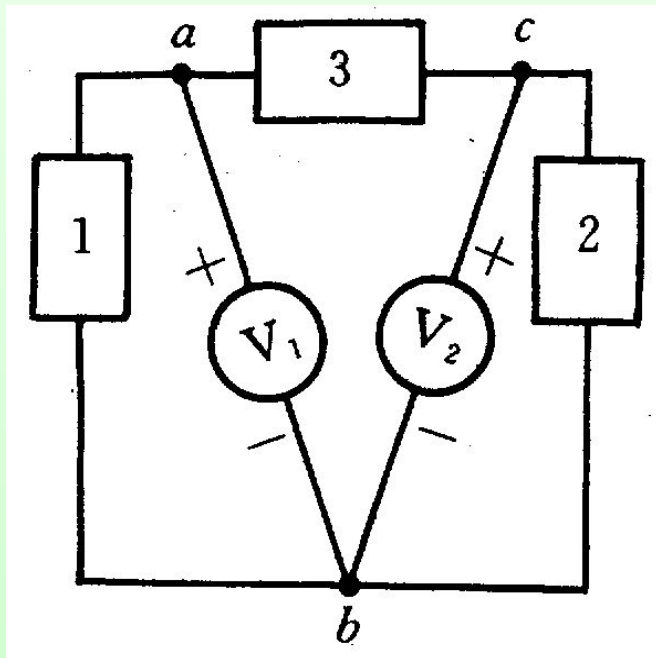
电位真正降低的方向。

### 2) 参考方向:

假定的电位降低的方向。



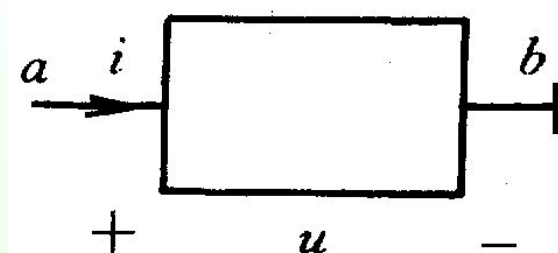
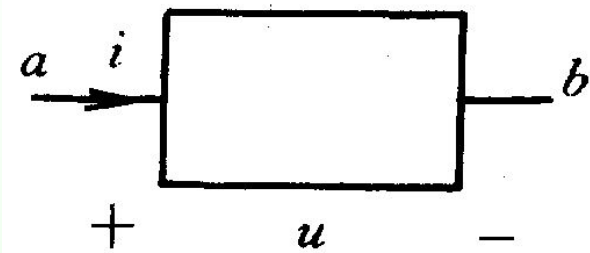
## 4、电压的测量



直流电压表并联接入电路，  
电压表的正极接高电位，  
负极接低电位。

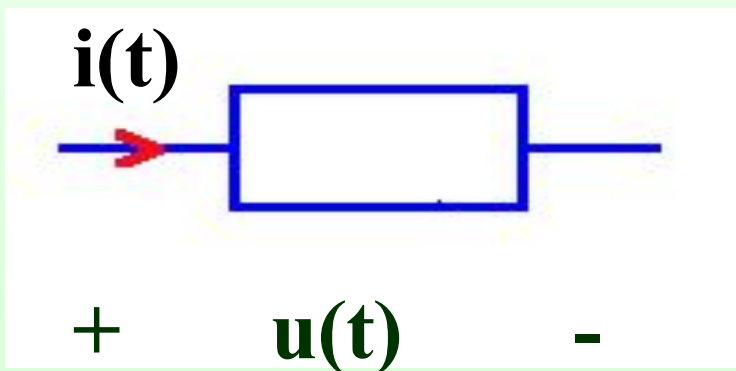
# 第一章 电路的基本概念和定律

辨析思考:

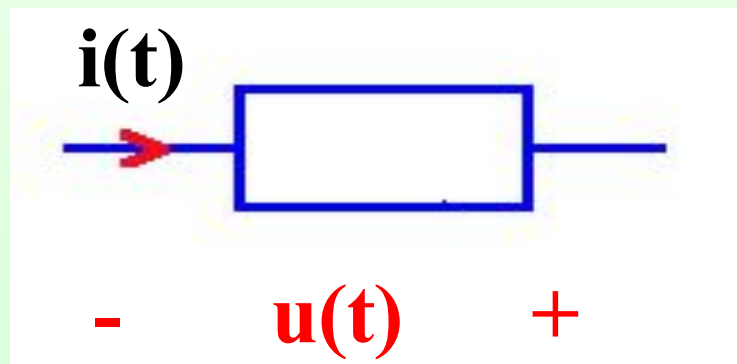


## 5、电压与电流关联参考方向

电流参考方向从电压参考正极流入，负极流出，叫做电压电流相关联，否则为非关联。



关联



非关联

# 第一章 电路的基本概念和定律

例：电路中，2s内有4C正电荷均匀的由a—b—c点，a—b点电场力做功8J，b—c点电场力做功为12J。

(1) 标出电流参考方向并求出其值，b作参考点(接地点)，求电位 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ ，电压 $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$ 。

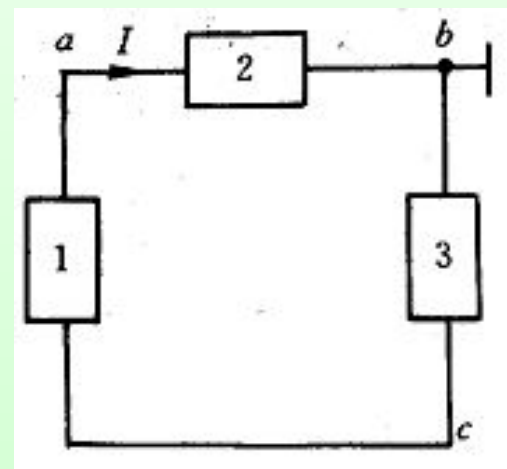
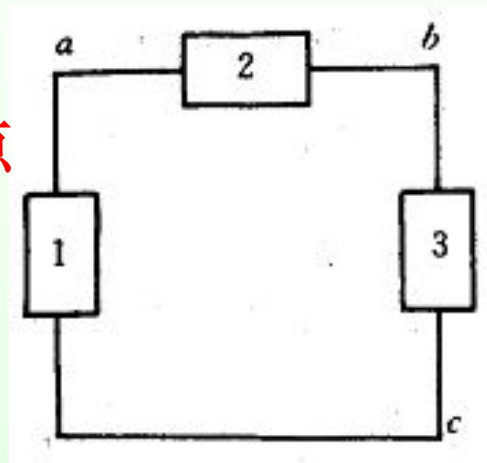
解：(1) 设图示电流参考方向  $I = \frac{q}{t} = \frac{4}{2} = 2A$

$$V_a = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{8}{4} = 2V \quad V_b = 0$$

$$V_c = \frac{W_{cb}}{q} = -\frac{W_{bc}}{q} = -\frac{12}{4} = -3V$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 2 - 0 = 2V$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 0 - (-3) = 3V$$



# 第一章 电路的基本概念和定律

(2) 标电流参考方向与(1)时相反并求出其值,

$c$ 为参考点, 求 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ , 电压 $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$

解: (2) 如图设电流参考方向

$$I = \frac{q}{t} = -\frac{4}{2} = -2A$$

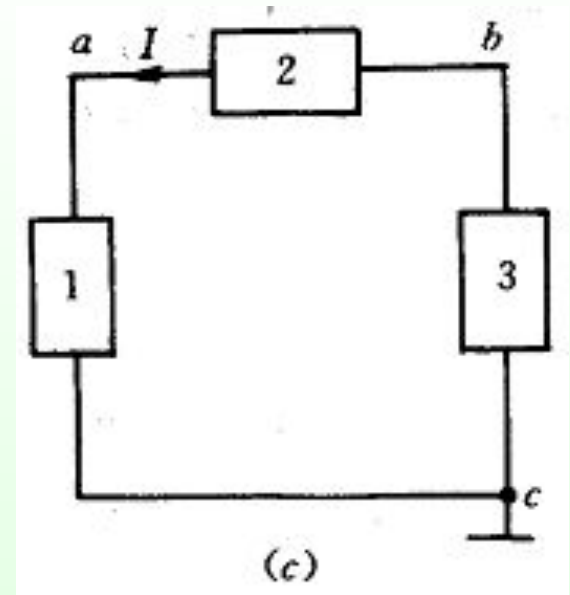
$$V_a = \frac{W_{ac}}{q} = \frac{8+12}{4} = 5V$$

$$V_b = \frac{W_{bc}}{q} = \frac{12}{4} = 3V$$

$$V_c = 0$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 5 - 3 = 2V$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 3 - 0 = 3V$$



### 重要结论:

- (1) 电流数值的正、负与参考方向密切相关。
- (2) 电路各点电位数值随所选参考点的不同而改变，但参考点一经选定，电位数值唯一，这就是电位的相对性与单值存在性。
- (3) 电路任意两点之间的电压数值不因参考点的不同而改变。

# 第一章 电路的基本概念和定律

## 1.2.3 电功率

1、单位时间所做的功，即电场力做功的速度。

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

2、单位：瓦特 (W)      $1W = 1J/s$

3、功率的计算：

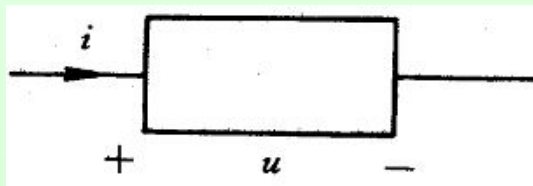
$$u = \frac{dw}{dq} \quad dw = u dq$$

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

$$p(t) = ui$$

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

电压、电流参考方向关联：



$$p(t) = ui$$

$p > 0$ ，电路吸收功率；  $p < 0$ ，

**重点问题：**

功率：正负取值

元件特性：供能、耗能

电压、电流方向

# 第一章 电路的基本概念和定律

## 4. 电路吸收或发出功率的判断

●  $u, i$  关联参考方向



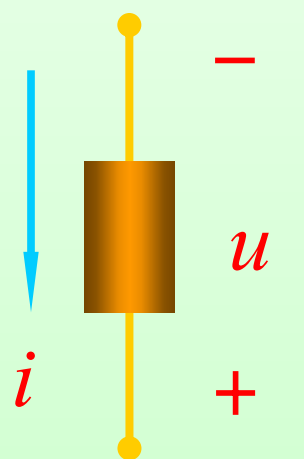
$P = ui$      $P > 0$     吸收正功率    (电阻)

$P = ui$      $P < 0$     吸收负功率    (电源)

$P = ui$     元件吸收的功率    (电阻)

---

●  $u, i$  非关联参考方向



$P = ui$      $P > 0$     发出正功率    (电源)

$P = ui$      $P < 0$     发出负功率    (电阻)

$P = ui$     元件发出的功率    (电源)

## 第一章 电路的基本概念和定律

例：  $i=1\text{A}$ ,  $u_1=3\text{V}$ ,  $u_2=7\text{V}$ ,  $u_3=10\text{V}$ ,  
求  $ab$ 、 $bc$ 、 $ca$  三部分电路上各  
吸收的功率  $p_1, p_2, p_3$ 。

解：  $ab$  段、 $bc$  段：电压电流参考  
方向关联，所以吸收功率

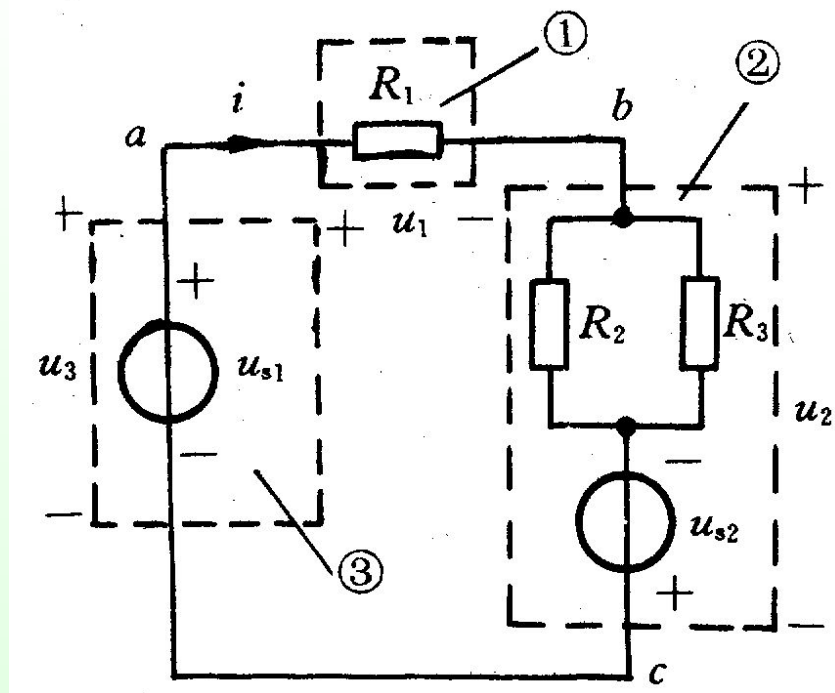
$$p_1 = u_1 i = 3 \times 1 = 3\text{W}$$

$$p_2 = u_2 i = 7 \times 1 = 7\text{W}$$

$ca$  段电路：电压电流参考方向非关联，所以这段电路吸收功率

$$p_3 = -u_3 i = -10 \times 1 = -10\text{W}$$

实际上  $ca$  这段电路产生功率为  $10\text{W}$ 。



功率平衡

## 1.3 欧姆定律

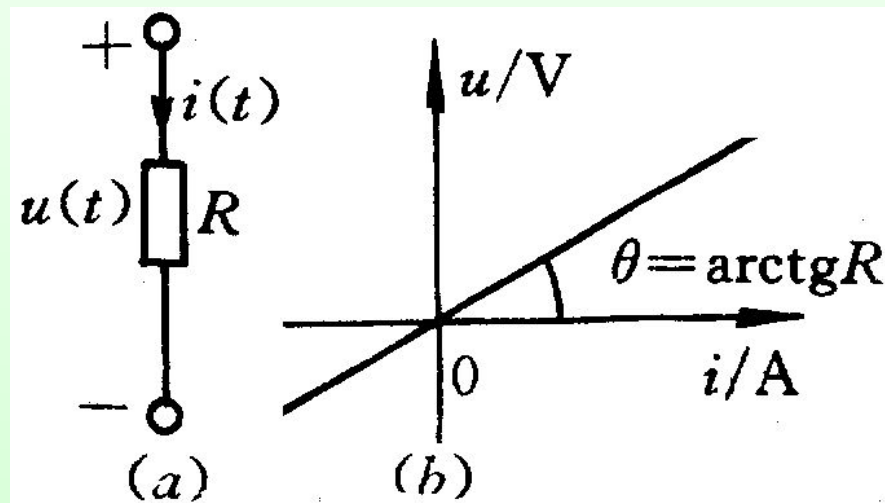
电阻概念：欧姆定律、电阻上功率  
电导概念：欧姆定律、电导上功率

线性电阻  
线性时不变电阻

### 1.3.1 欧姆定律：（反映了电阻元件的特性）

说明流过线性电阻的  
电流与该电阻两端电压之  
间的关系。

$$u(t) = Ri(t)$$



欧姆定律公式 电阻 $R$ 单位：欧姆( $\Omega$ )

# 第一章 电路的基本概念和定律

电导：反映材料的导电能力。

$$G = \frac{1}{R}$$

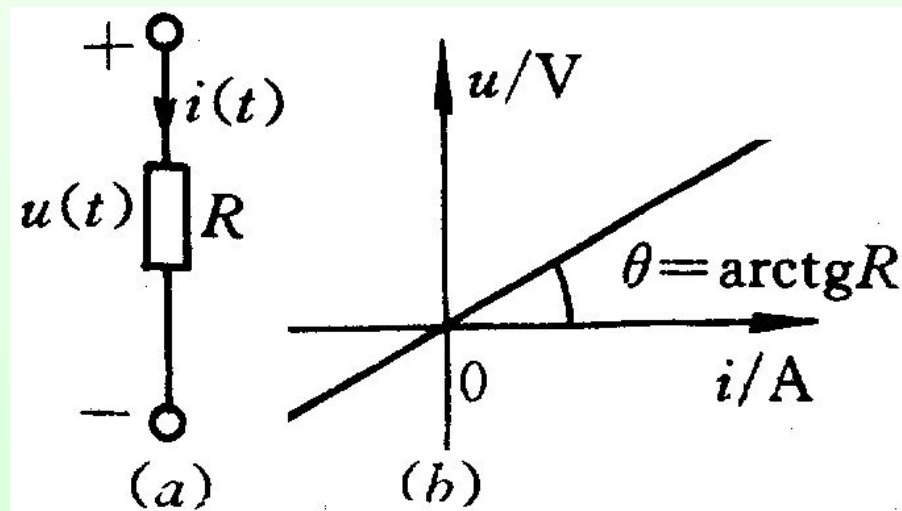
电导  $G$  单位：西门子，西(S)

电阻、电导是从相反的两个方面来表征同一材料特性。

$$i(t) = Gu(t)$$

欧姆定律公式

电导  $G$  单位：西门子(S)



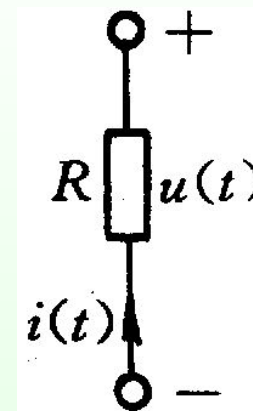
训练内容：如何阅读伏安特性曲线。

## 第一章 电路的基本概念和定律

注意：

(1) 欧姆定律只适用于线性电阻。

(2) 电阻上的电流和电压的参考方向不同，欧姆定律的公式不同。（参考方向关联、非关联）

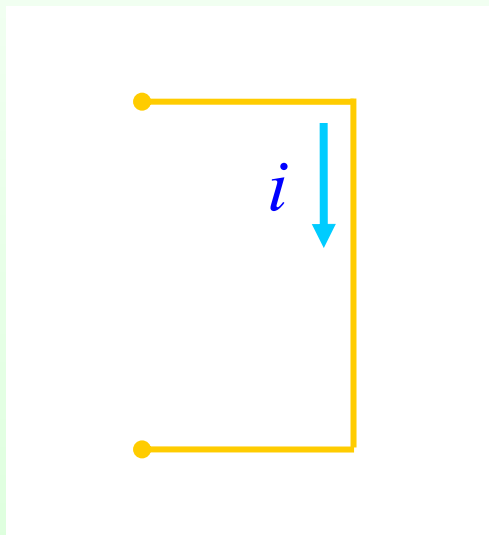


(3) 在 $R \neq 0$ 、 $R \neq \infty$ 时，电流与电压同时存在、同时消失。  
电阻、电导是无记忆性元件，又称即时元件。

(4)  $R = \infty$ 时，不论其上 $U$ 为何值，其 $I \equiv 0$ ，称为“开路”。

$R = 0$ 时，不论其上 $I$ 为何值，其 $U \equiv 0$ ，称为“短路”。

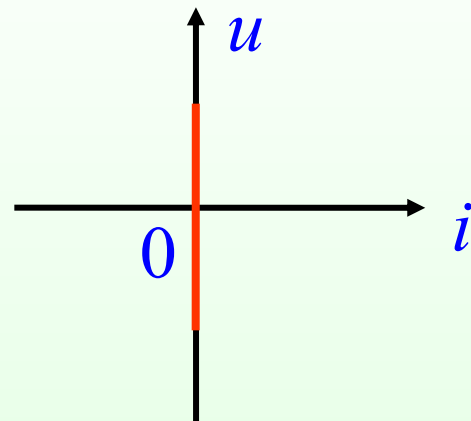
# 电阻的开路与短路



- 开路

$$i = 0 \quad u \neq 0$$

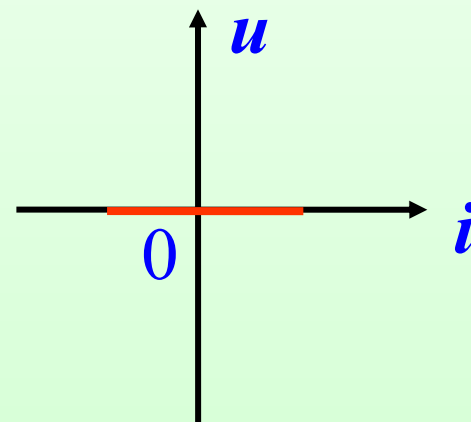
$$\longrightarrow R = \infty \quad \text{or} \quad G = 0$$



- 短路

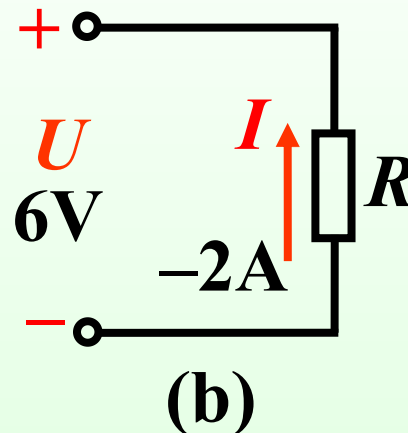
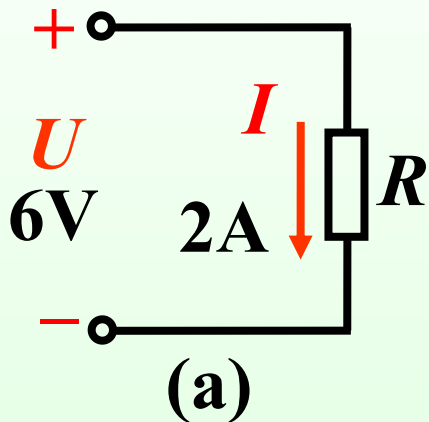
$$i \neq 0 \quad u = 0$$

$$\longrightarrow R = 0 \quad \text{or} \quad G = \infty$$



## 第一章 电路的基本概念和定律

例：下图电路求电阻 $R$ 。



解：对图(a)有,  $U = IR$  所以： $R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2} = 3\Omega$

对图(b)有,  $U = -IR$  所以： $R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} = 3\Omega$

## 1.3.2 电阻元件上消耗的功率与能量

电阻 $R$ 上吸收电功率:

$$p(t) = u(t)i(t) = Ri(t) \cdot i(t) = Ri^2(t)$$

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

电导 $G$ 上吸收电功率:

$$p(t) = Gu^2(t)$$

$$p(t) = \frac{i^2(t)}{G}$$

电阻(或其他的电路元件)上吸收的能量与时间区间相关。

$$w(t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi$$

$$w(t) = \int_{t_0}^t Ri^2(\xi) d\xi$$

$$w(t) = \int_{t_0}^t \frac{u^2(\xi)}{R} d\xi$$

# 第一章 电路的基本概念和定律

## 额定值:

实际用电器具的额定值是为保证安全、正常使用电器，制造厂家所给出的电压、电流或功率的限制数值。

例：灯泡： $U_N = 220\text{V}$ ， $P_N = 60\text{W}$

电阻： $R_N = 100\Omega$ ， $P_N = 1\text{W}$

## 电气设备的三种运行状态

额定工作状态： $I = I_N$ ， $P = P_N$

过载(超载)： $I > I_N$ ， $P > P_N$  (设备易损坏)

欠载(轻载)： $I < I_N$ ， $P < P_N$  (不经济)

## 第一章 电路的基本概念和定律

**例1:**  $2\ \Omega$  电阻上的  $u$ 、 $i$  参考方向关联, 已知  $u(t)=4\cos t\text{V}$ , 求其上电流  $i(t)$ 、消耗的功率  $p(t)$ 。

**解** 因电阻上电压、电流参考方向关联, 所以其上电流

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{4\cos t}{2} = 2\cos t\text{A}$$

消耗的功率

$$p(t) = Ri^2(t) = 2 \cdot (2\cos t)^2 = 8\cos^2 t\text{W}$$