

## 知识结构分析:

### 电阻电路分析

电路组成和相关定律

第一章

认识组成元件、电源、参量的特性，电路结构定律

应用基本定律，形成分析方法

第二章

电路简化方法

第三章

### 动态电路分析

动态元件，直流电源

第四章

动态元件，正弦电源

第五章

### 特殊元件电路

耦合电感元件，理想变压器

第六章

# 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

## ● 重点:

1. 电压、电流的参考方向、功率
2. 基尔霍夫定律
3. 电路等效
4. 实际电源的两种模型及其等效变换

# § 1.1 电路模型

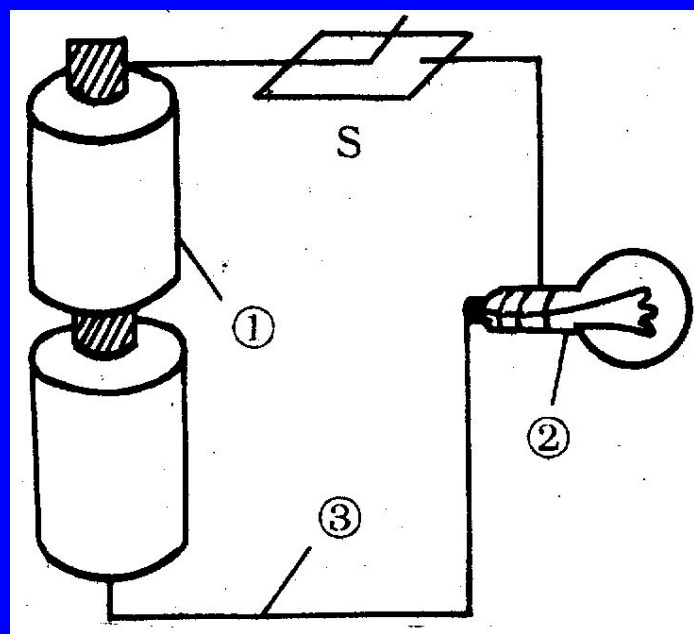
## 一、实际电路的组成与功能

**1.定义：**是为了实现某种应用目的，将若干电气器件按一定的方式相互连接而成的整体。

**2.基本特征：**其中存在着电流的通路。

### 3.组成:

- ① 电源: 其他形式的能量 → 电能
- ② 负载: 电能 → 其他形式的能量
- ③ 导线: 传输电能

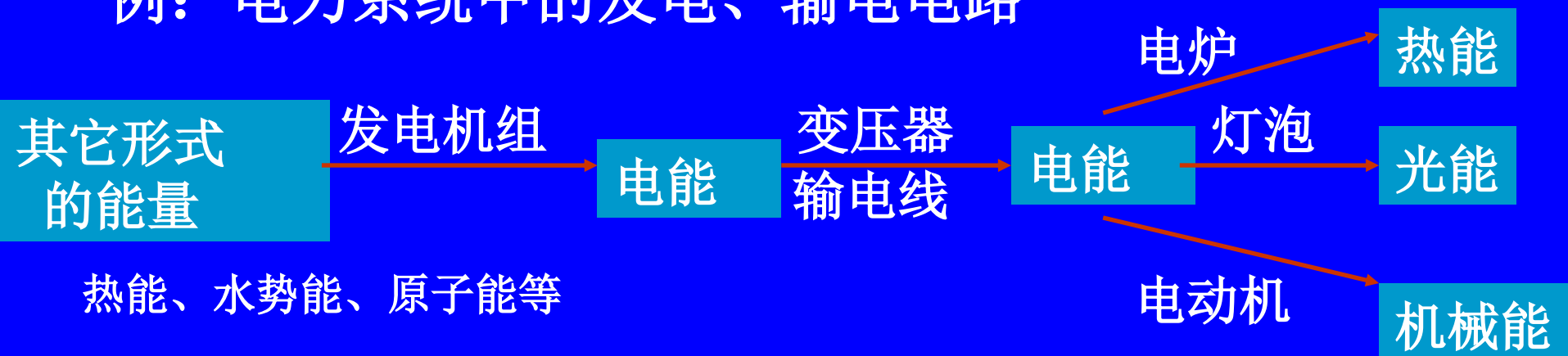


例: 手电筒电路

## 4.按功能分类:

### ①实现电能的传输和转换。

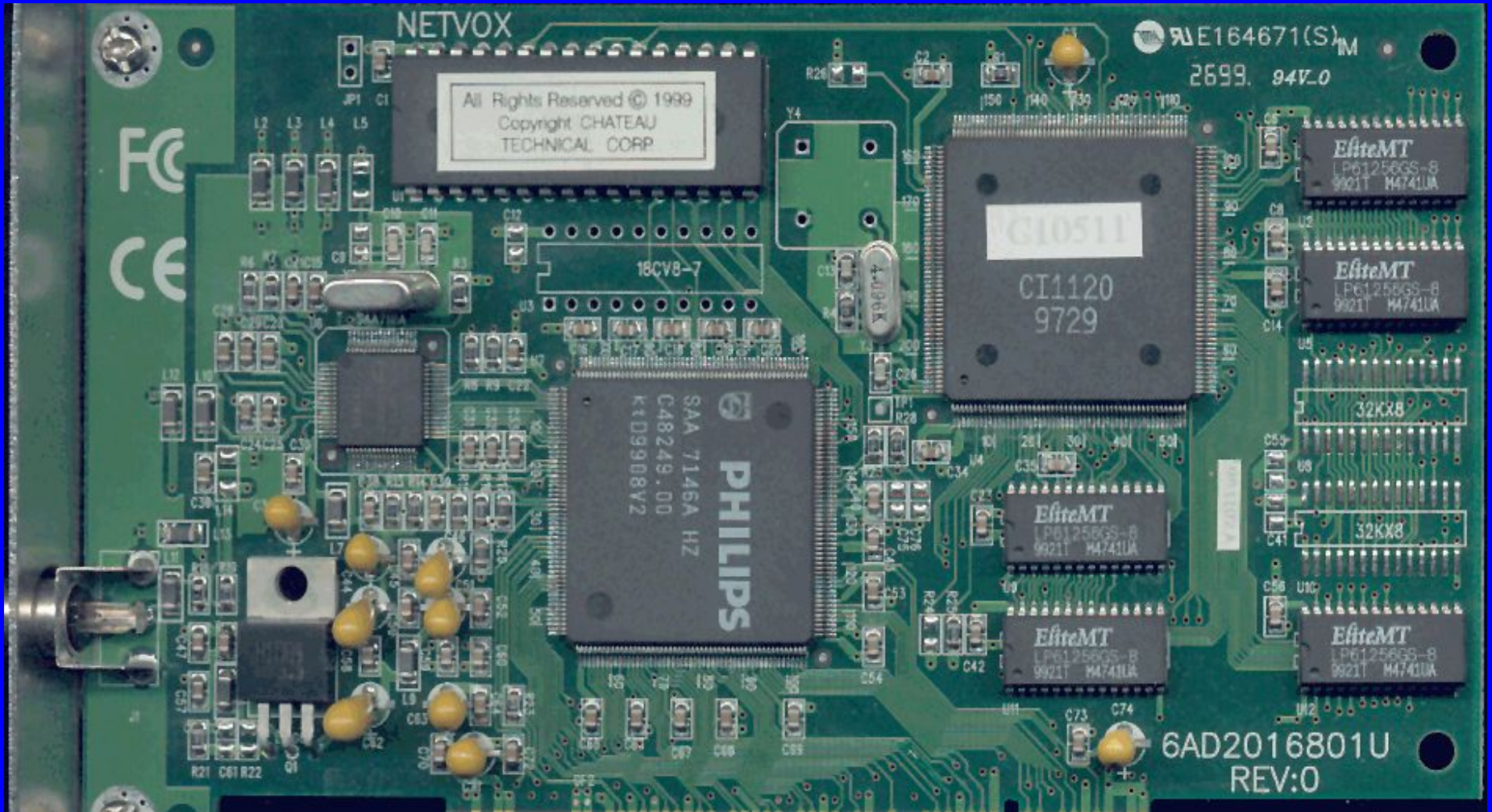
例：电力系统中的发电、输电电路



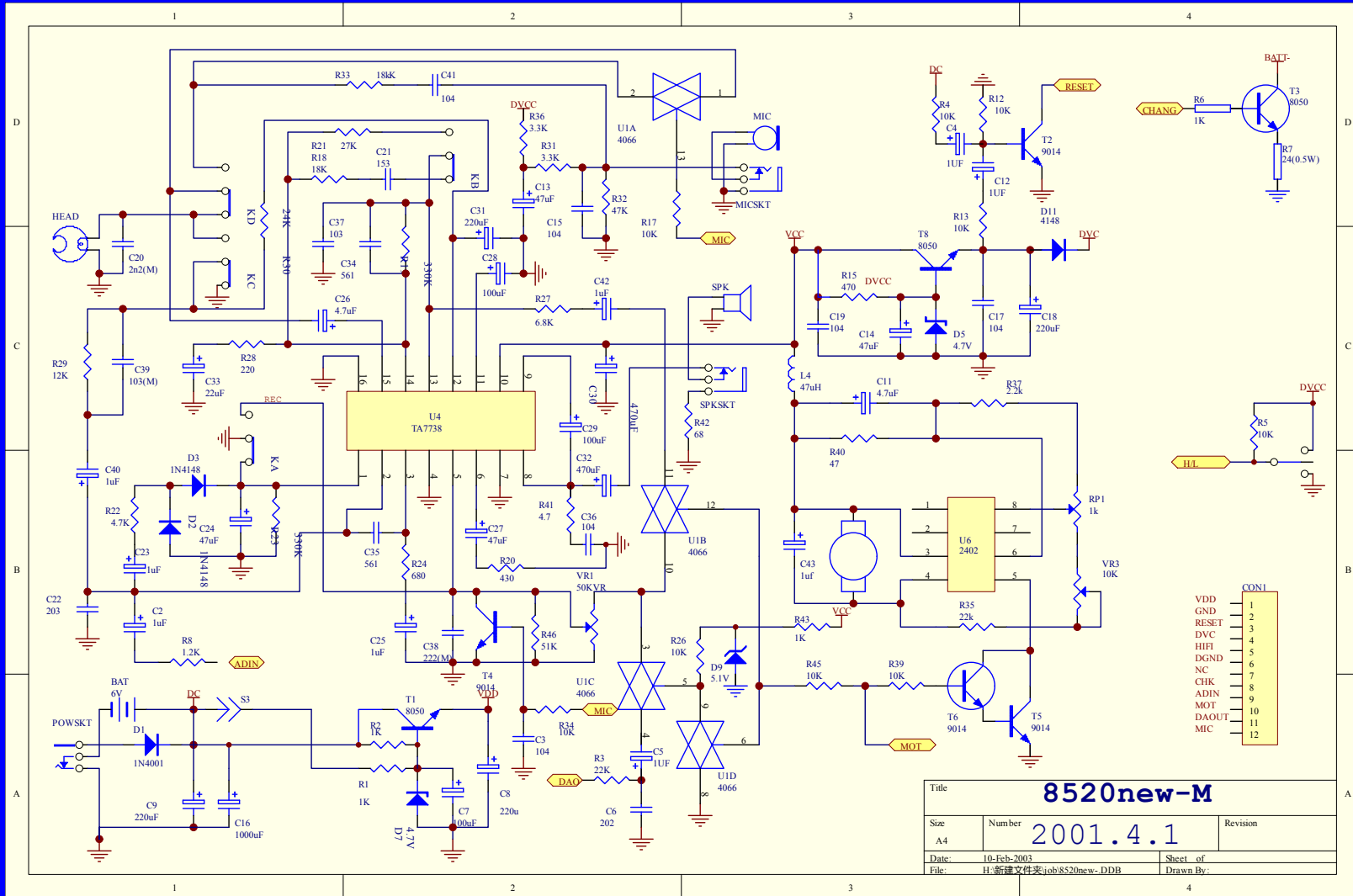
### ②实现电信号的传递与处理。

例：电视机通过接收天线将收到的高频信号经过变换、处理，将分离出的电信号分别送到显像管和扬声器，转换为图像和声音。

# 数据采集板

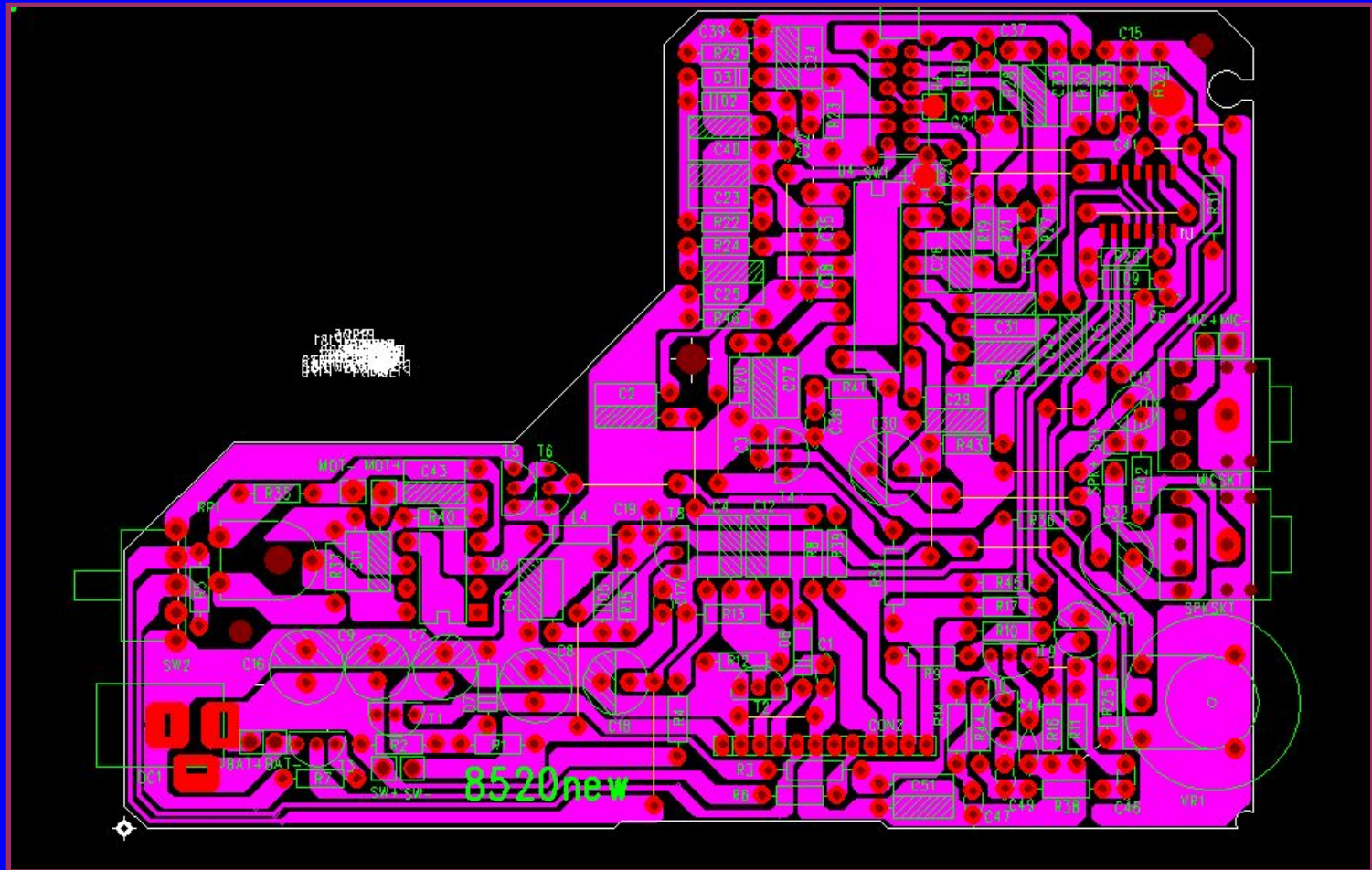


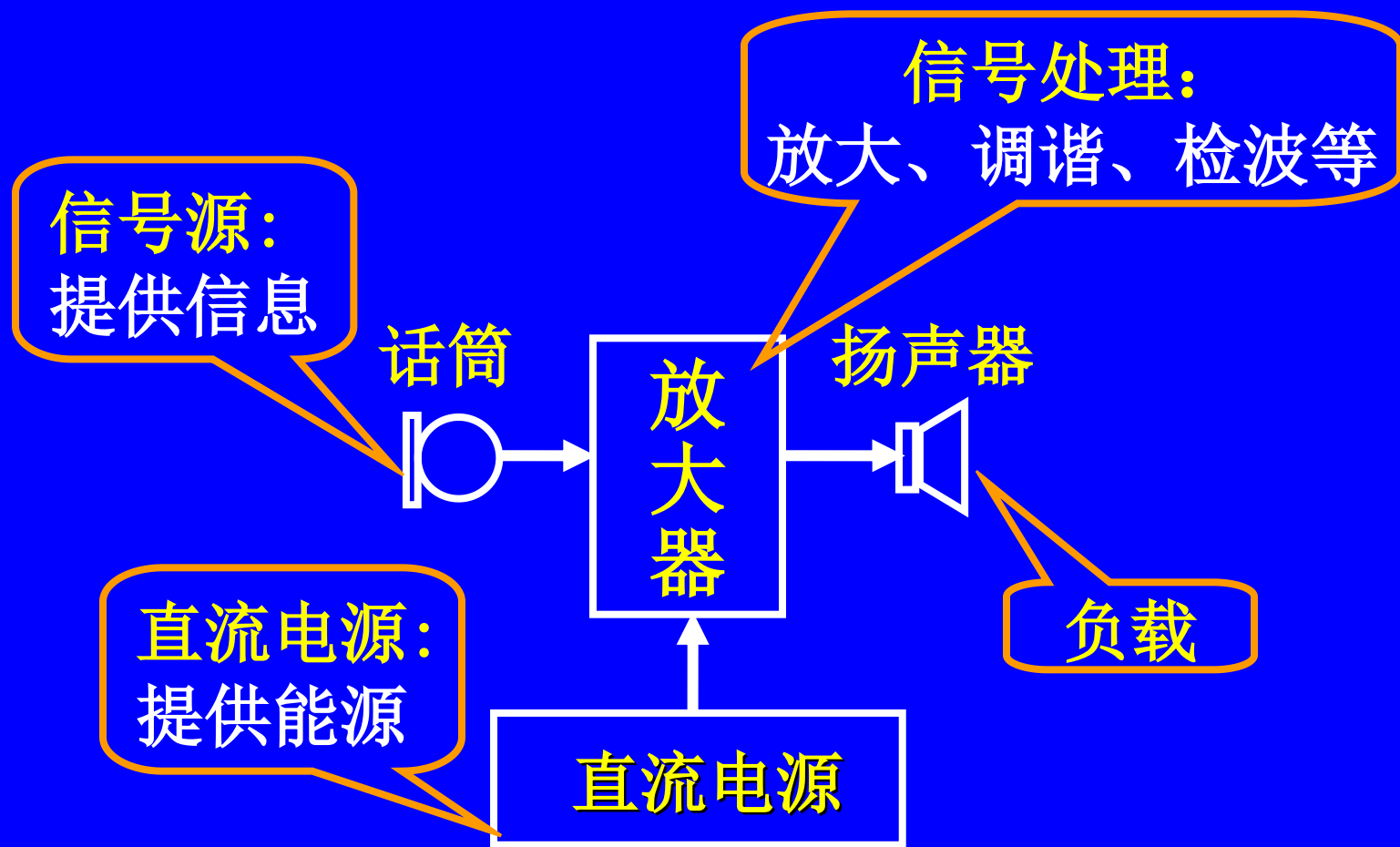
# 电路原理图



Title <b>8520new-M</b>		
Size A4	Number 2001.4.1	Revision
Date: 10-Feb-2003	Sheet of	Drawn By:
File: H:\新建文件夹\job\8520new-.DDB		

# 印刷电路板图





电能或电信号的发生器称为（电源）**激励**，它推动电路工作；由激励所产生的电压和电流称为**响应**。

## 二、电路模型



## 1. 元件模型——理想元件

①理想电阻元件：只消耗电能，  
如电阻器、灯泡、电炉等；



②理想电容元件：只储存电能，  
如各种电容器；



③理想电感元件：只储存磁能，  
如各种电感线圈；



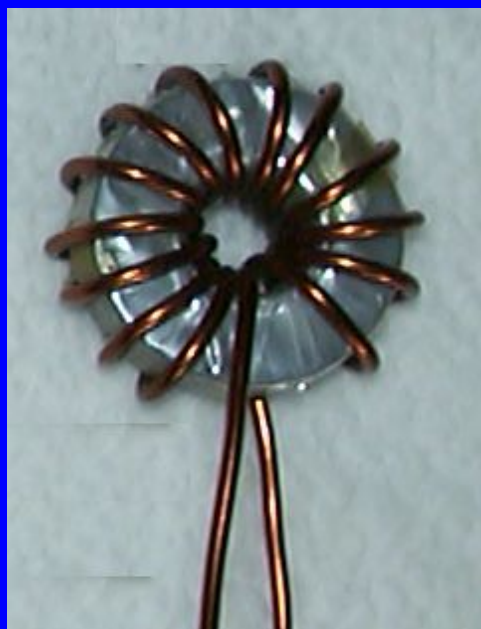
## 电路元件模型的说明：

(1) 理想电路元件是具有某种确定的电磁性能的理想元件。

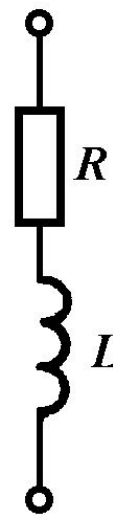
(2) 不同的实际电路元件，只要具有相同的主要电磁性能，在一定条件下可用同一个模型表示。

例：灯泡、电炉、电阻器这些不同的实际电路元件在低频电路里都可用电阻 $R$ 表示。

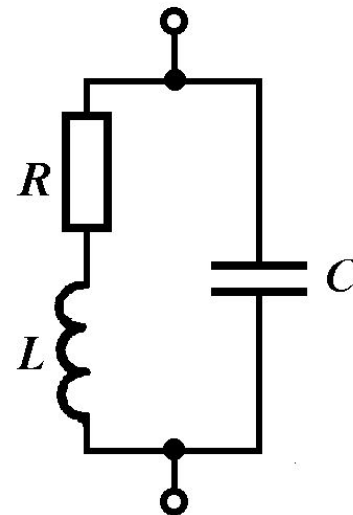
(3) 同一个实际电路元件在不同的应用条件下，它的模型也可以有不同的形式。



(a)



(b)



(c)

## (4) 电路元件分类

从能量特性方面可分

无源元件：不能发出能量

有源元件：可以发出能量

从外部端钮数量可分

二端元件：具有两个引出端

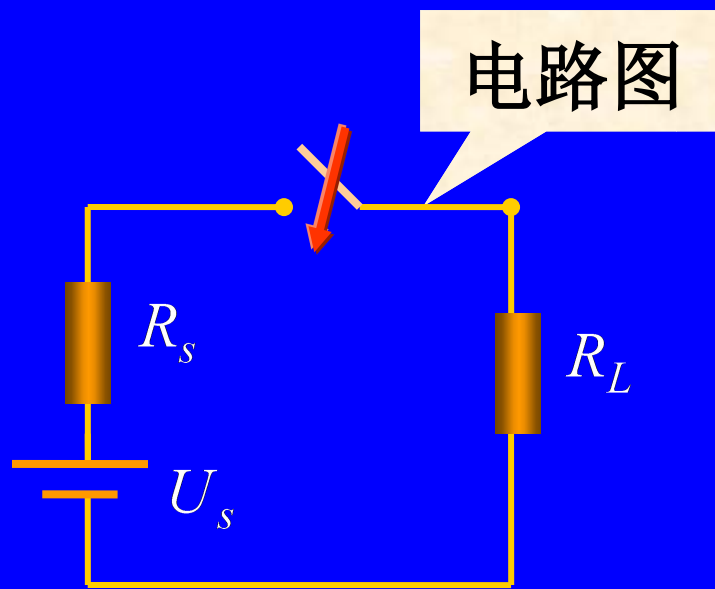
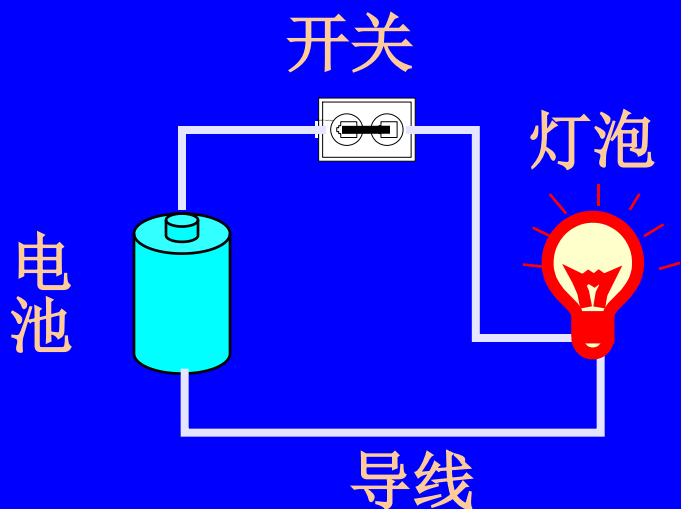
多端元件：具有两个以上引出端

## 2. 连线模型——理想导线

导线电阻、电感、电容近似为零。

3. 电路模型: 由理想元件和理想导线组成的电路, 就是实际电路的**电路模型**, 简称**电路**。

例: 手电筒电路



### 三、集总假设

在理想化的模型中，通常假设器件的电磁现象总是发生在各元件模型内部，这样的假设称为**集总假设**，这样的元件称为**集总参数元件**，简称为**集总元件**。

在这种假设下，由集总元件构成的电路称为**集总参数电路**。

## 1、应用集总假设的条件:

实际电路的尺寸 $l$ (长度)要远小于电路工作信号波长 $\lambda$ , 即:

$$l \ll \lambda$$

## 2、集总参数的突出特点:

电流在集总参数电路中流动不需要时间; 没有任何电、磁能量辐射, 电磁能量的消耗、储存都集中在元件内部。

若:  $f = 50\text{Hz}$

$$\lambda = \frac{U}{f} = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6000 \text{ km}$$

若:  $f = 25 \text{ kHz}$

$$\lambda = \frac{U}{f} = \frac{3 \times 10^8}{25 \times 10^3} = 12 \text{ km}$$

若:  $f = 10^5 \text{ MHz}$

$$\lambda = \frac{U}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^{11}} = 3 \text{ mm}$$

若不满足集总假设条件，实际电路便不能按集总参数电路模型来处理，而应采用分布参数。

### 3. 电路的分类

1) **线性电路**: 电路中所有元件都是线性元件 (元件参数与其电流和电压无关)。

**非线性电路**: 电路中含有非线性元件。

2) **时变电路**: 元件参数随时间变化。

**时不变电路**: 元件参数与时间无关。

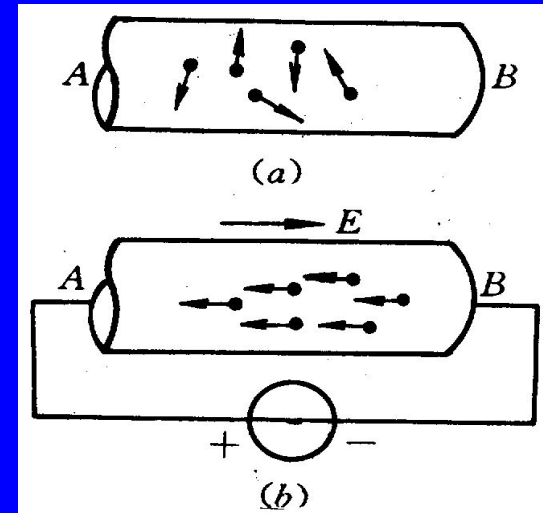
3) **集总参数电路**: 电路尺寸远小于电路工作时电磁波的波长。

**分布数电路**: 电路尺寸与电路工作时电磁波的波长可以比拟。

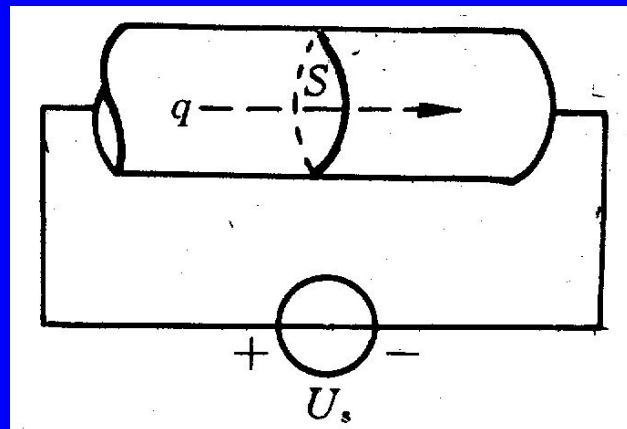
# § 1.2 电路变量

## 一、电流

1.物理意义：电荷有规则的定向运动，形成电流。



## 2. 电流强度



①定义：单位时间内通过导体横截面的电荷量。

## ②定义式:

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

通过导体横截面的电荷量。

单位：库仑(C)

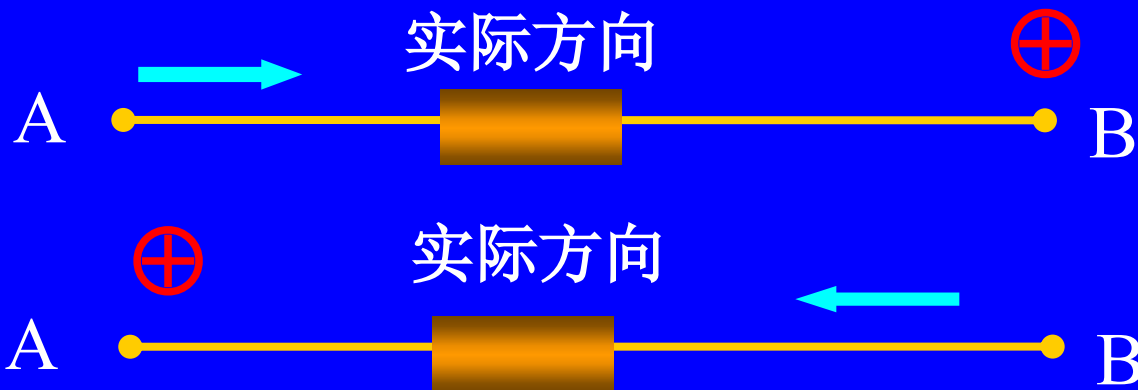
单位：安培(A)，简称“安”。

若 $dq(t)/dt$ 为常数，即是直流电流，常用大写字母*I*表示。

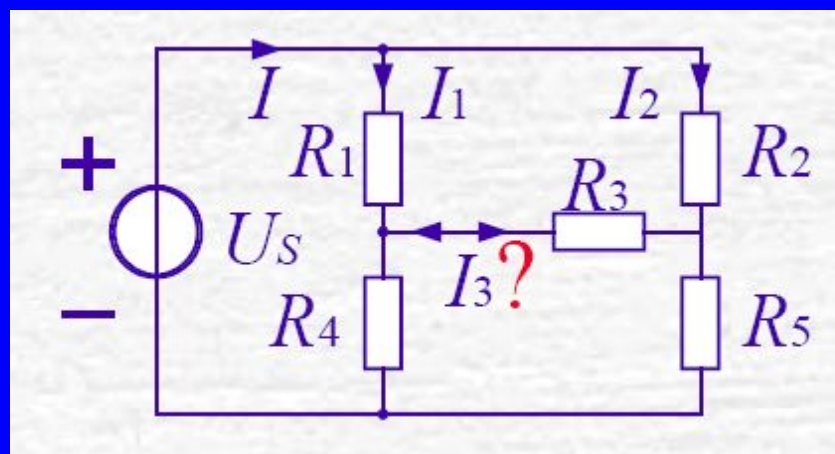
## 3.电流方向:

规定正电荷的运动方向为电流的实际方向

元件(导线)中电流流动的实际方向只有两种可能:



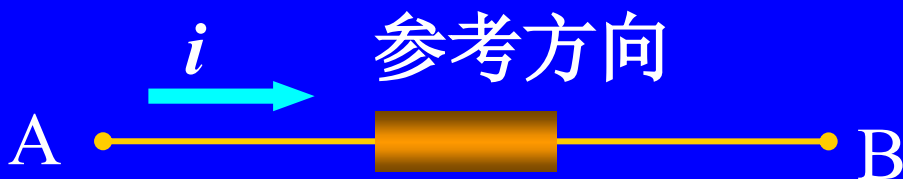
 **问题** 对于复杂电路或电路中的电流随时间变化时，电流的实际方向往往很难事先判断。



如果电路复杂或电源为交流电源，则电流的实际方向难以标出。

●参考方向

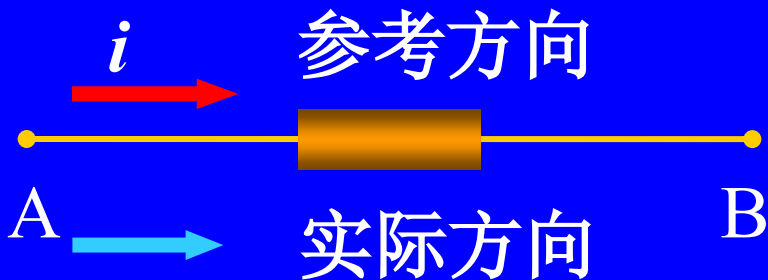
任意假定正电荷运动的方向。



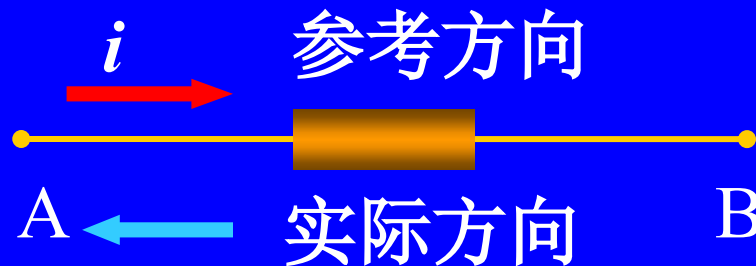
 表明 电流(代数量)

{ 大小  
方向(正负)

电流的参考方向与实际方向的关系:



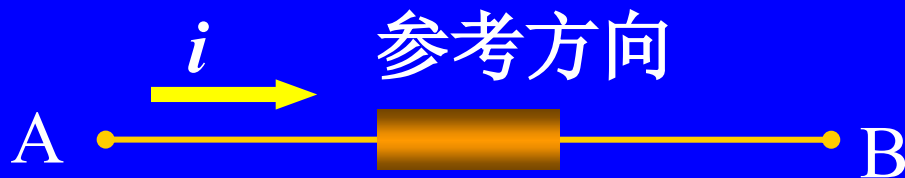
$$i > 0$$



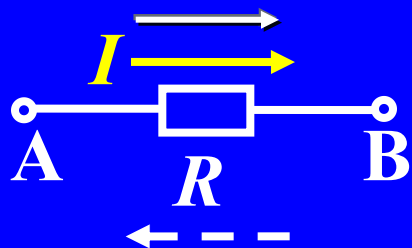
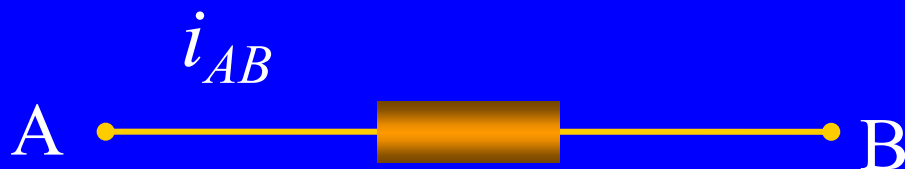
$$i < 0$$

## 4. 电流参考方向的两种表示:

- 用箭头表示: 箭头的指向为电流的参考方向。



- 用双下标表示: 如  $i_{AB}$ , 电流的参考方向由A指向B。



若  $I = 5\text{A}$ , 则实际电流从 A 流向 B;

若  $I = -5\text{A}$ , 则实际电流从 B 流向 A。

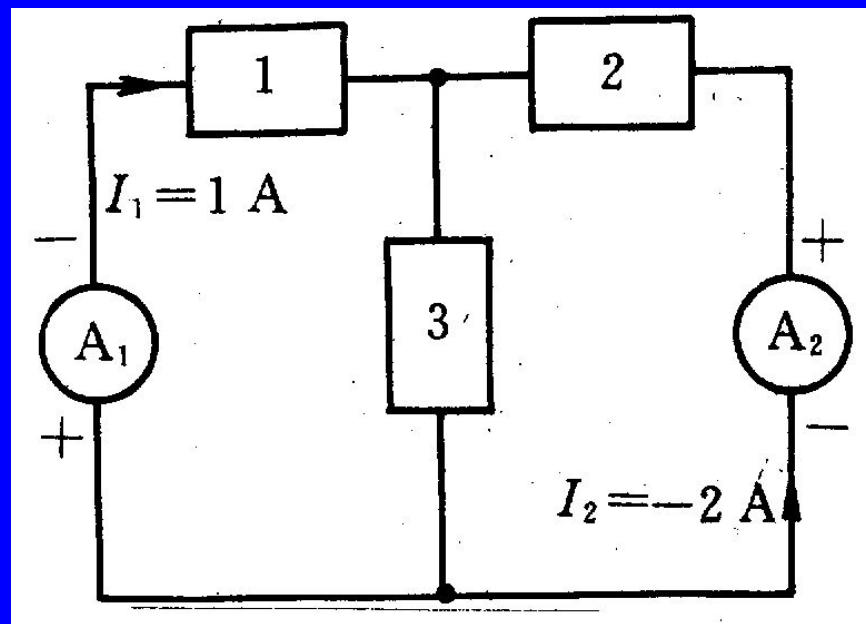
本教材中的电流方向如无特殊说明即为参考方向。

## 5. 电流分类

- 直流电流 (DC) : 大小方向不随时间变化。
- 交流电流 (AC) : 大小方向都随时间变化。

## 6. 直流电流的测量

注意：测量电流时，要根据电流实际方向将电流表串联在待测电路里。



## 二、电压

### 1. 电位:

将电路中任一点作为参考点（电位为0），把单位正电荷从a点移到参考点电场力所做的功，称为a点的电位，用 $v_a$ 或 $V_a$ 表示。

$$v = \frac{W}{q}$$

### 2. 电压:

(1) 电路中a点到b点的电压，就是a点电位与b点电位之差，即

$$u_{ab} = v_a - v_b$$

(2) 将单位正电荷由电路中a点移动到b点，电场力所做的功，称为**ab两点的电压**。

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

移动电荷dq过程中电场力所做的功，单位为焦[耳](J)。

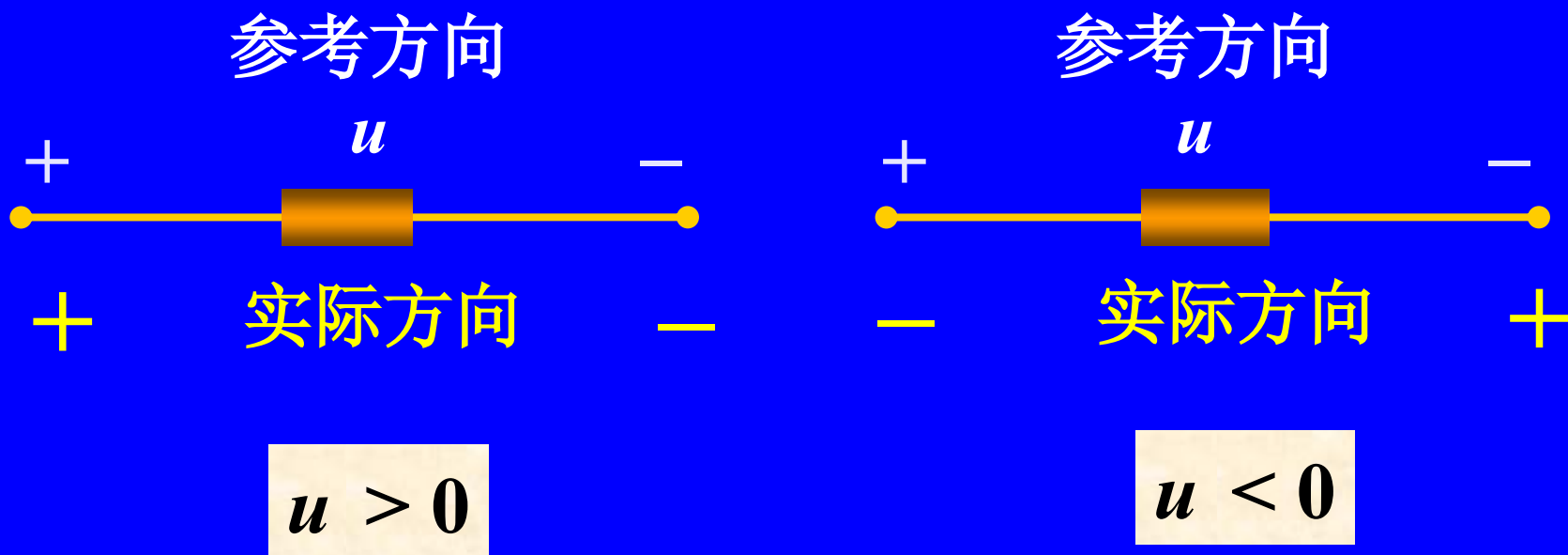
由a点移动到b点的电荷量，单位为库[仑](C)

电压的单位为伏[特](V)。

3.电压的方向：两点间电压的高电位端为“+”极，低电位端为“-”极。

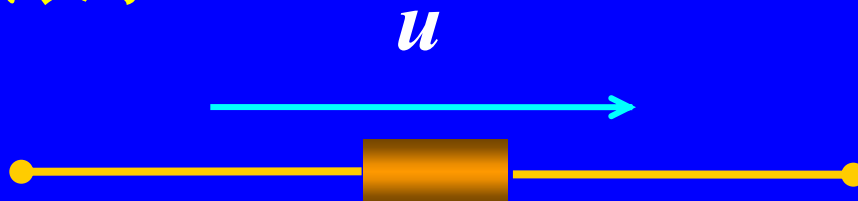
电压的实际方向：电位真正降低的方向。

电压的参考方向：假设电位降低的方向



## 电压参考方向的三种表示方式:

(1) 用箭头表示:

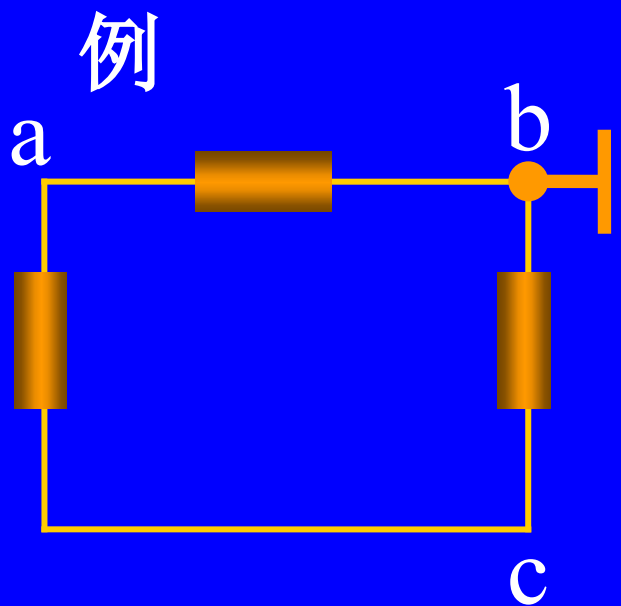


(2) 用正负极性表示



(3) 用双下标表示





已知：4C正电荷由a点均匀移动至b点电场力做功8J，由b点移动到c点电场力做功为12J，

①若以b点为参考点，求a、b、c点的电位和电压 $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$ ；

②若以c点为参考点，再求以上各值。

**解** (1)  $v_b = 0$

$$U_{ab} = v_a - v_b = 2 - 0 = 2 \text{ V}$$

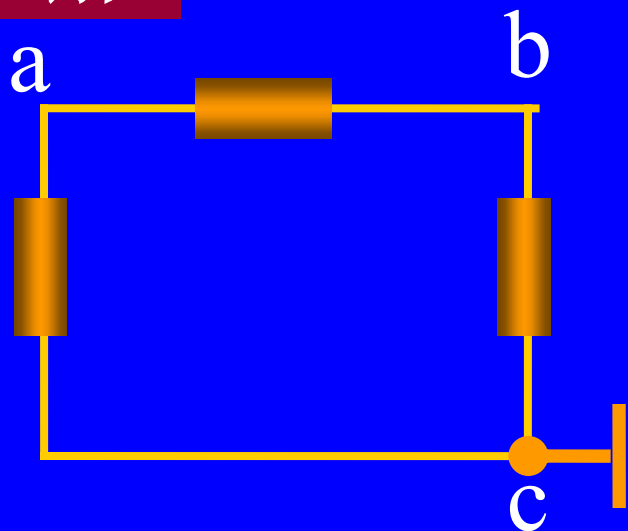
$$v_a = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{8}{4} = 2 \text{ V}$$

$$U_{bc} = v_b - v_c = 0 - (-3) = 3 \text{ V}$$

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

解

$$(2) v_c = 0$$



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

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

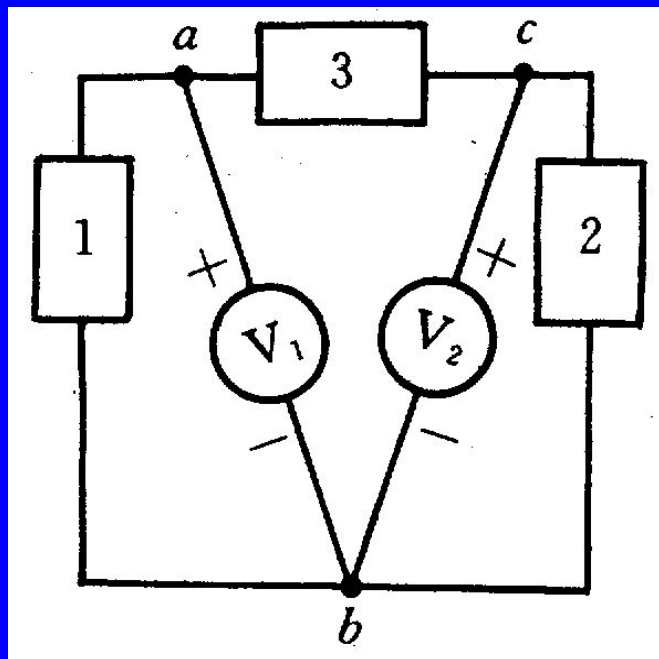
$$U_{ab} = v_a - v_b = 5 - 3 = 2 \text{ V}$$

$$U_{bc} = v_b - v_c = 3 - 0 = 3 \text{ V}$$



**结论** 电路中电位参考点可任意选择；参考点一经选定，电路中各点的电位值就唯一确定；当电位参考点不同时，电路中各点电位值将改变，但任意两点间电压保持不变。(p7)

## 4、直流电压的测量

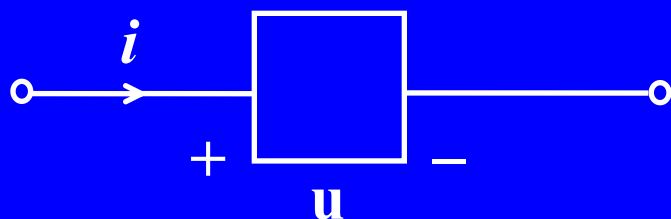


对直流电压的测量，是根据电压的实际方向，将直流电压表**并联**接入电路，使直流电压表的**正极**接所测电压的实际**高电位端**，**负极**接所测电压的实际**低电位端**。

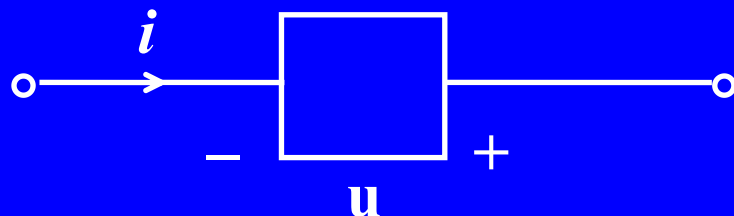
$$U_{ab} > 0, U_{bc} < 0$$

## 5. 关联参考方向

对于二端元件而言，若电流的参考方向是从电压参考方向“+”极指向“-”极，则称电流与电压参考方向关联；否则，称电流与电压参考方向非关联。

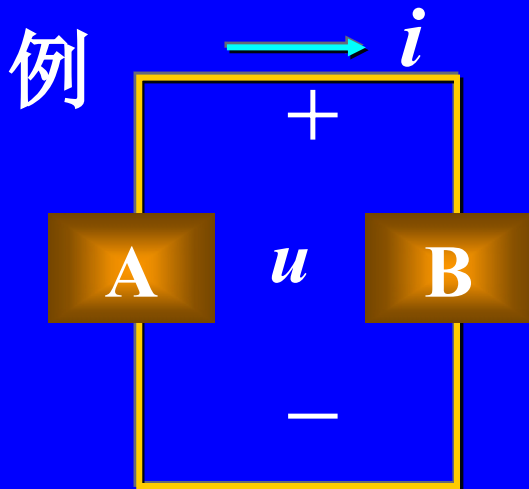


关联参考方向



非关联参考方向

也可以说，电流从电压的正极流入负极流出称为关联。



电压电流参考方向如图中所标，  
问：对A、B两部分电路电压电  
流参考方向关联否？

答：A电压、电流参考方向非关联；  
B电压、电流参考方向关联。



- ① 分析电路前必须选定电压和电流的参考方向
- ② 参考方向一经选定，必须在图中相应位置标注  
(包括方向和符号)，在计算过程中不得任意改变
- ③ 参考方向不同时，其表达式相差一负号，但电压、  
电流的实际方向不变。

### 三、电功率

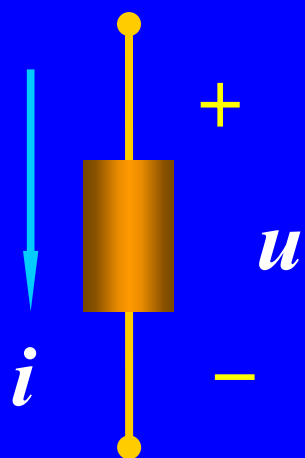
1. 定义：单位时间电场力做功的大小，简称**功率**。  
它是电场力做功的速率，以符号 $p(t)$ 表示。

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

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

功率的单位为瓦(W)

## 2. 电路吸收或发出功率的判断

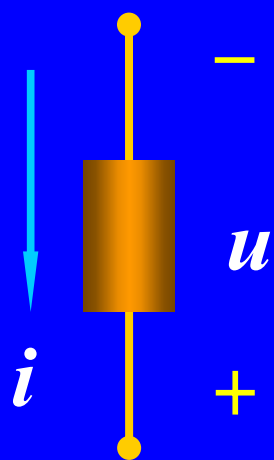


●  $u, i$  取关联参考方向  $P_{\text{发出}} = -ui$

$P = ui$  表示元件吸收的功率

$P > 0$  吸收正功率 (实际吸收)

$P < 0$  吸收负功率 (实际发出)



●  $u, i$  取非关联参考方向  $P_{\text{吸收}} = -ui$

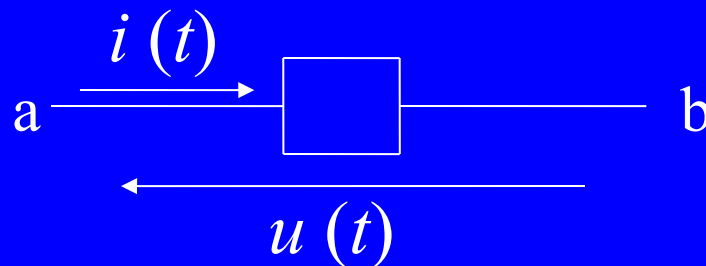
$P = ui$  表示元件发出的功率

$P > 0$  发出正功率 (实际发出)

$P < 0$  发出负功率 (实际吸收)

例1 已知  $i = -4\text{A}$ ,  $u = 6\text{V}$ , 求其功率。

解:



$$\begin{aligned} p(t) &= u i \\ &= 6 \times (-4) = -24(W) \end{aligned}$$

实际吸收24W功率。

例2 图所示电路，已知 $i=1\text{A}$ ， $u_1=3\text{V}$ ， $u_2=7\text{V}$ ， $u_3=10\text{V}$ ，求 $ab$ 、 $bc$ 、 $ca$ 三部分电路上各吸收的功率 $p_1$ ， $p_2$ ， $p_3$ 。

解：对 $ab$ 段、 $bc$ 段，电压电流参考方向关联，所以吸收功率

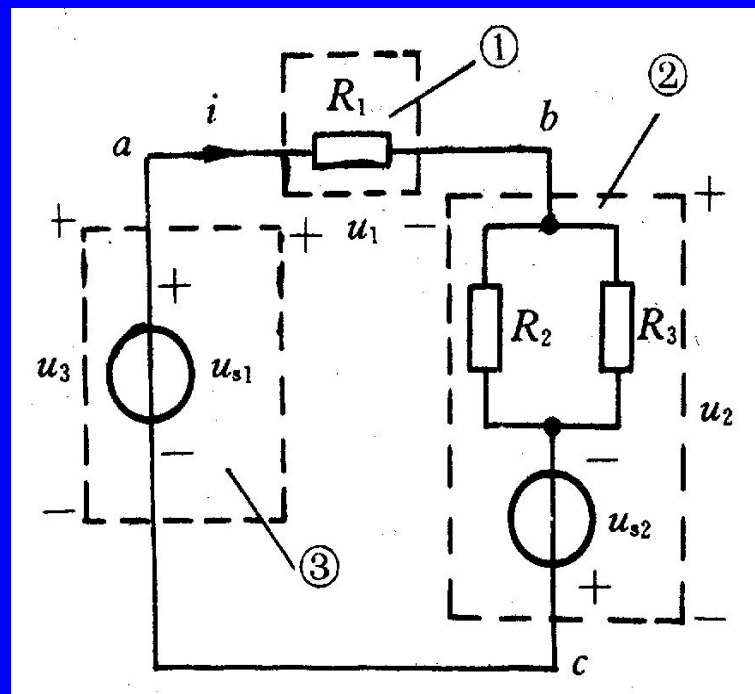
$$p_1 = u_1 i = 3 \times 1 = 3\text{W}$$

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

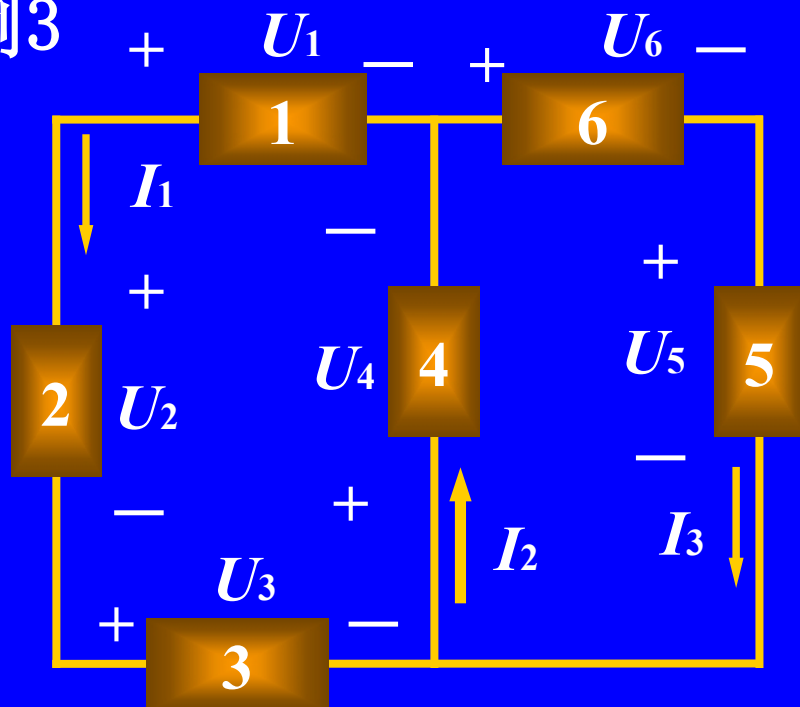
对 $ca$ 段电路，电压电流参考方向非关联，所以这段电路吸收功率

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

实际上 $ca$ 这段电路产生功率为  $10\text{W}$ 。

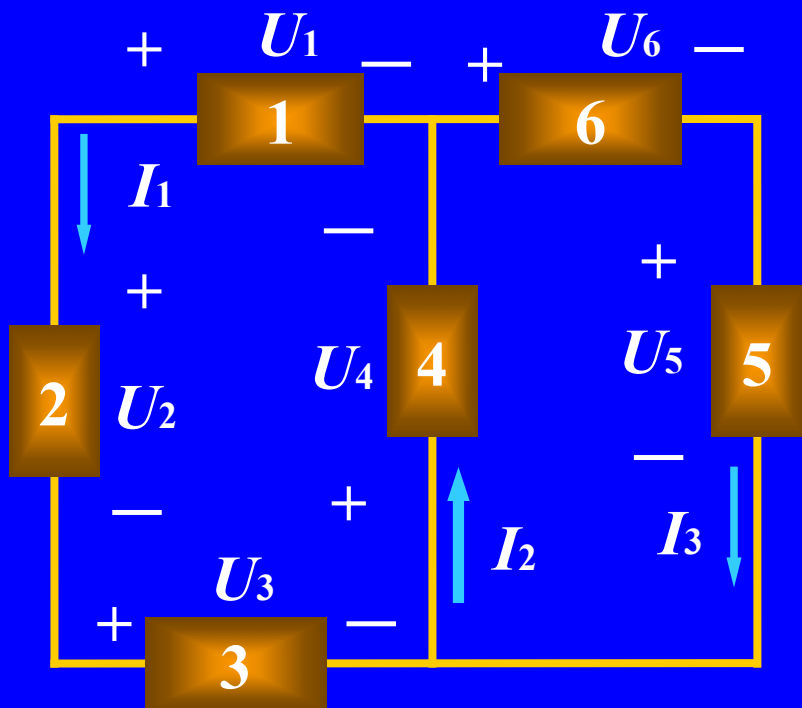


例3



求图示电路中各方框所代表的元件吸收或产生的功率。

已知:  $U_1=1V$ ,  $U_2=-3V$ ,  $U_3=8V$ ,  $U_4=-4V$ ,  
 $U_5=7V$ ,  $U_6=-3V$ ,  $I_1=2A$ ,  $I_2=1A$ ,  $I_3=-1A$



**解:**

$$P_1 = U_1 I_1 = 1 \times 2 = 2\text{W} \quad (\text{发出})$$

$$P_2 = U_2 I_1 = (-3) \times 2 = -6\text{W} \quad (\text{发出6W})$$

$$P_3 = U_3 I_1 = 8 \times 2 = 16\text{W} \quad (\text{吸收})$$

$$P_4 = U_4 I_2 = (-4) \times 1 = -4\text{W} \quad (\text{发出4W})$$

$$P_5 = U_5 I_3 = 7 \times (-1) = -7\text{W} \quad (\text{发出7W})$$

$$P_6 = U_6 I_3 = (-3) \times (-1) = 3\text{W} \quad (\text{吸收})$$



**注意**

**对一完整的电路，满足：发出的功率=吸收的功率**

## 小结

- 1) “实际方向”是客观存在的物理现象，参考方向是人为假设的方向。
- 2) 在解题前，先要在电路图上标出电压、电流的参考方向，然后再列方程求解；缺少参考方向的物理量，其数值含义不清，无意义。
- 3) 为方便列电路方程，习惯假设  $I$  与  $U$  的参考方向是关联。如果一个元件只标出电压或电流任一方向，则不设量默认与另一个关联。