

# 电工与电子技术

开课教师：曹玲玲

开课单位：机电学院

# 课程目标与要求

电工与电子技术是高等工科院校非电类专业的一门技术基础课，包括**电路理论**、**模拟电子技术**、**数字电子技术**三部分。

- **课程目标 1.**

掌握电工电子技术领域中基本理论、基本知识和基本分析方法；

了解电工电子技术领域中的新理论、新技术、新知识。

- **课程目标 2.**

注重实验教学，培养学生理论联系实际和创新精神，提高学生用电的动手能力，增强学生的实践经验。

# 课程主要内容

**第一章 电路模型与基本定律**

**第二章 电路的分析方法**

**第三章 正弦交流电路**

**第四章 三相电路**

**第五章 常用半导体器件**

**第六章 基本放大电路**

**第七章 集成运算放大器及其应用**

**第八章 组合逻辑电路**

**第九章 时序逻辑电路**

# 第一部分

# 电路基础

# 第一部分 电路基础

第1章 电路模型与基本定律

第2章 电路的分析方法

第3章 正弦交流电路

第4章 三相电路

# 第1章 电路模型与基本定律

1.1 电路的组成与电路模型

1.2 电压、电流的参考方向

1.3 欧姆定律

1.4 电位的概念与电位计算

1.5 电路的功率

1.6 基尔霍夫定律

# 1.1 电路的组成与电路模型

---

## 【引例】

电路在现代生活中应用非常普及，生活和工作中的各个领域都离不开电路。



Smartphones



Laptop Computers



Drones

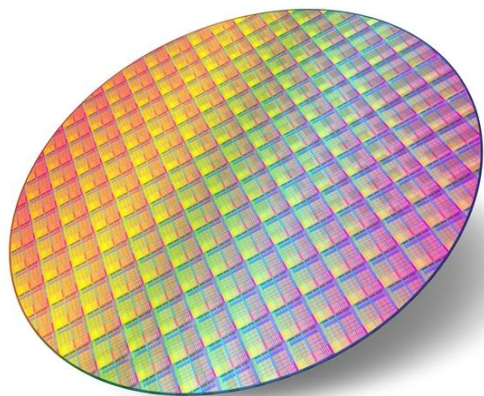


AI / Robots



Smart Electric Vehicles





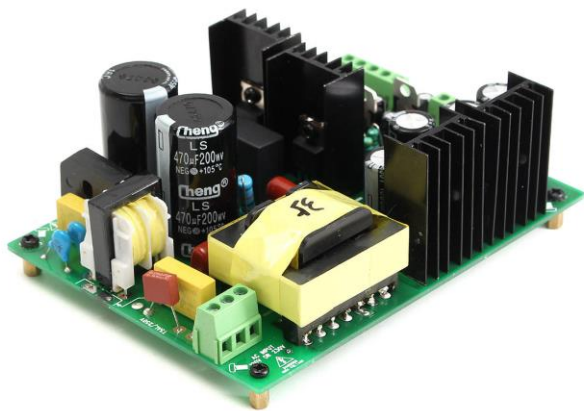
Semiconductors



Integrated Circuits



Control Systems



Power Supplies



Printed Circuit Boards



Signal Processing

# 1.1 电路的组成与电路模型

常见的手电筒就是一个非常简单的照明电路。

手电筒



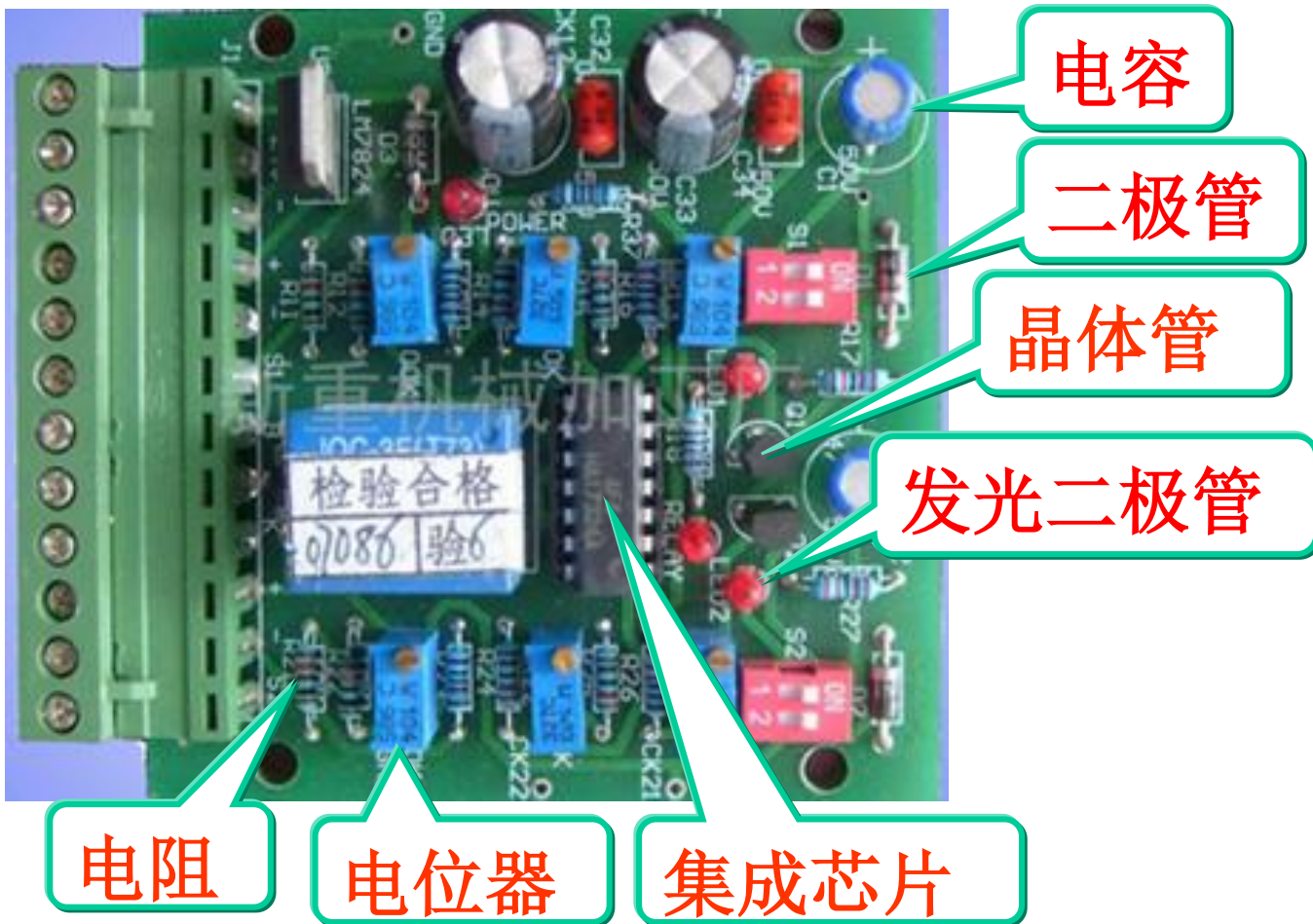
内部电路



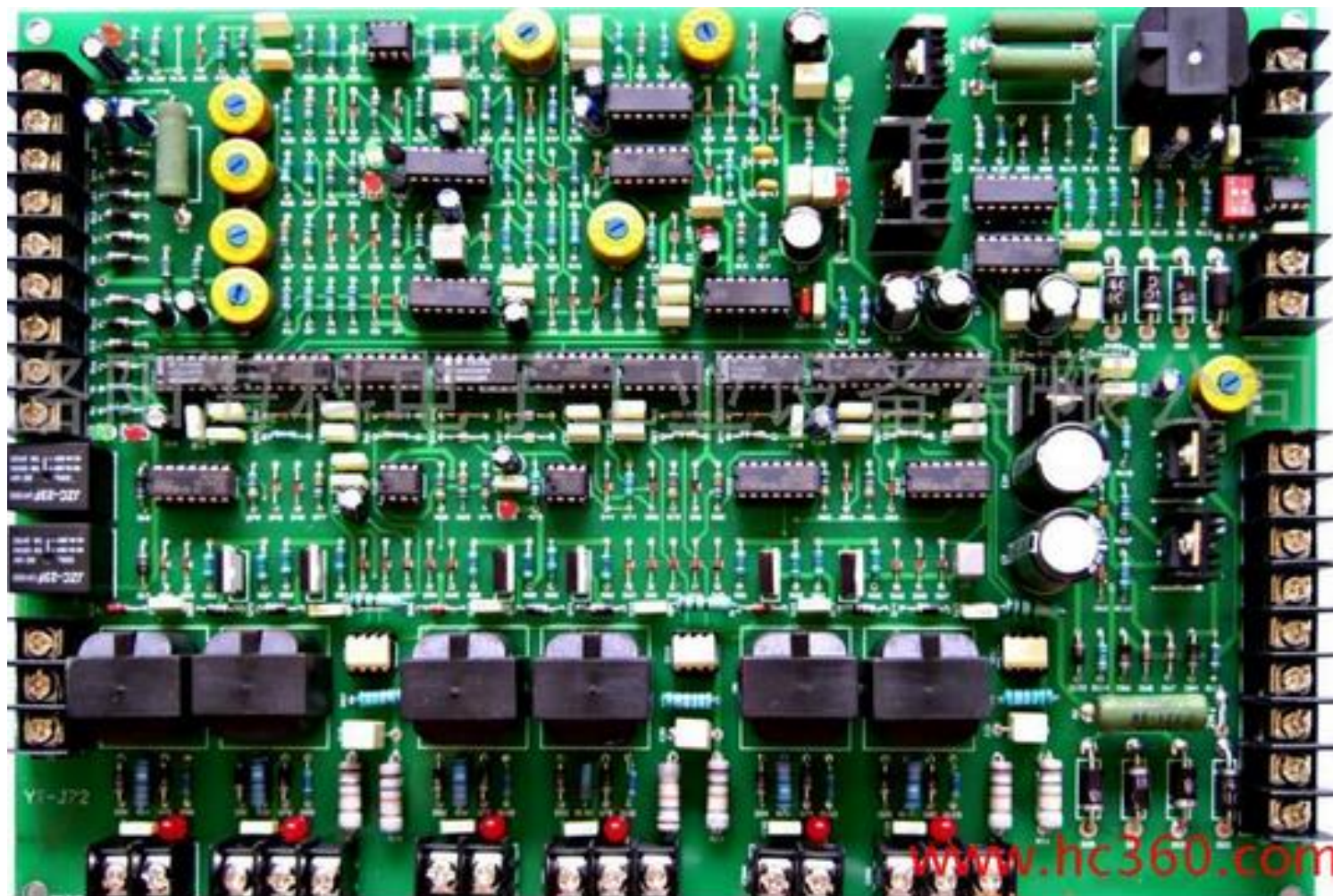
如何对这个电路进行分析？通过本章的学习便能得到解答。

# 1. 电路的组成

电路：电路是由一些电气设备和元件连接而成。



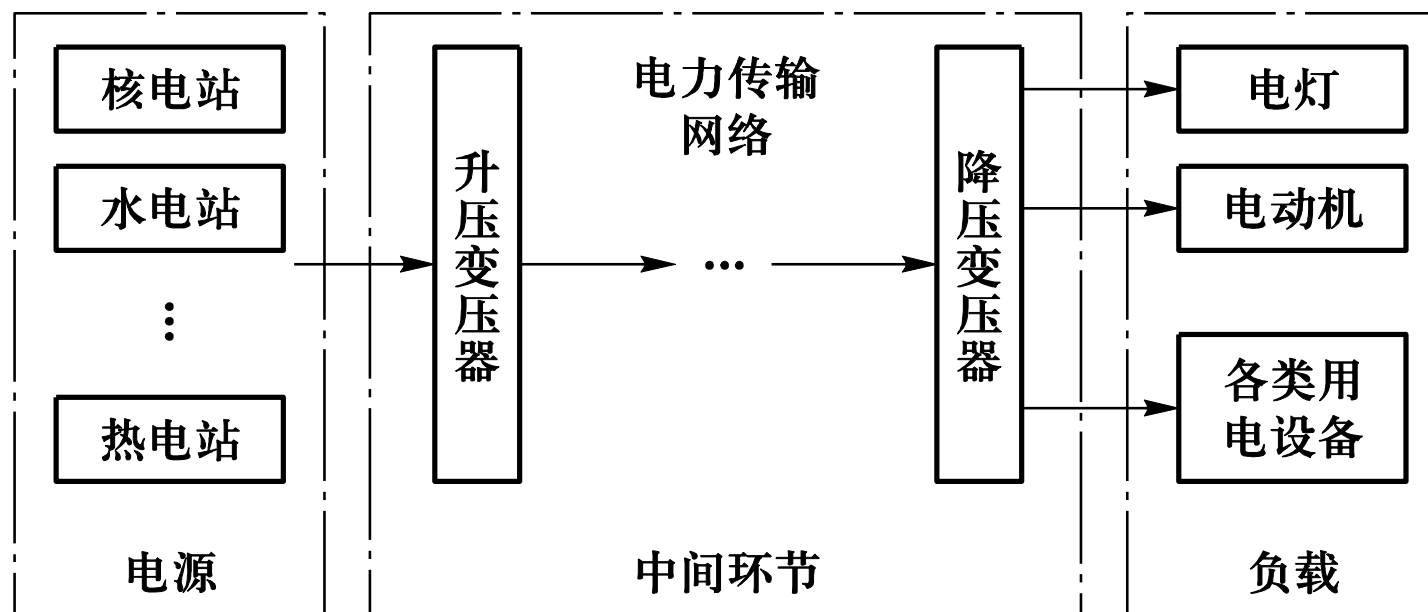




电路的作用：

(1) 实现电能的输送和转换

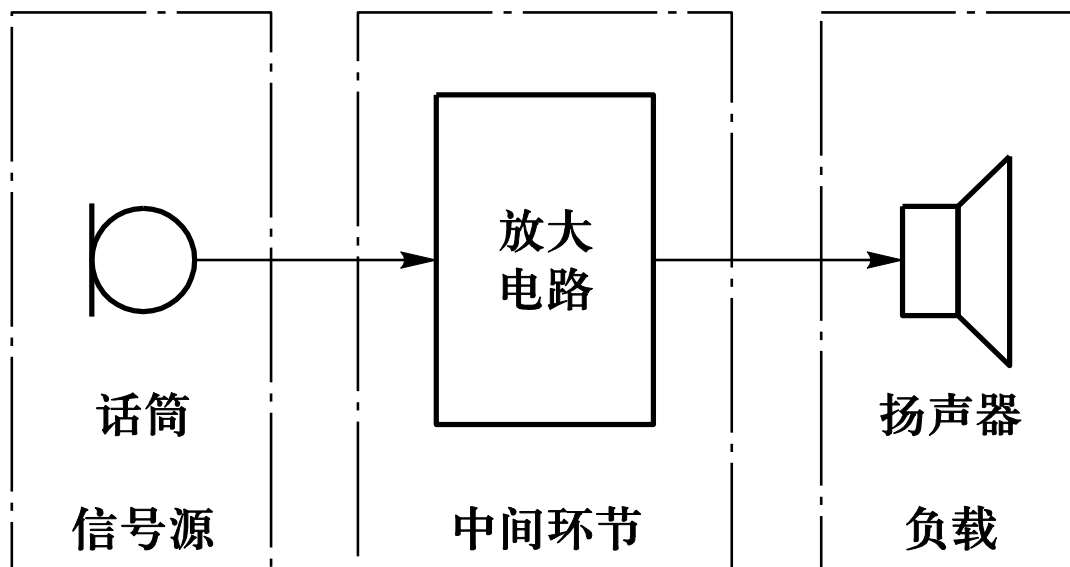
电力系统输送、分配电能的电路如下图：



电力系统示意图

## (2) 实现电信号的转换、处理和输送

常见的扩音机电路如下图：



扩音机电路示意图

以上分析可见，电路由三个部分组成，即电源、负载和中间环节。

**电源：**供电设备，向用电设备提供电能。

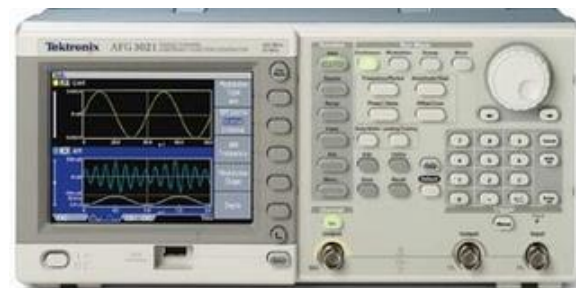
常用的电源装置为交流电源、直流电源和信号源。



发电机



直流电源



信号源

**中间环节：**输送和分配电能的设备，即导线、开关、转换电路等。

**负载：**用电设备，将电能转换为光能、机械能、热能等。电动机、日光灯、各种家用电器均为用电负载。

## 2. 电路模型

### (1) 实际元器件的电磁性能

电路中使用的电阻、电感、电容、晶体管等元件的电磁性质较为复杂。

**白炽灯：**是耗能元件，但还存在微小的电感；

**电感线圈：**是储能元件，但还存在很小的电阻；

**电容：**是储能元件，但也存在介质损耗。



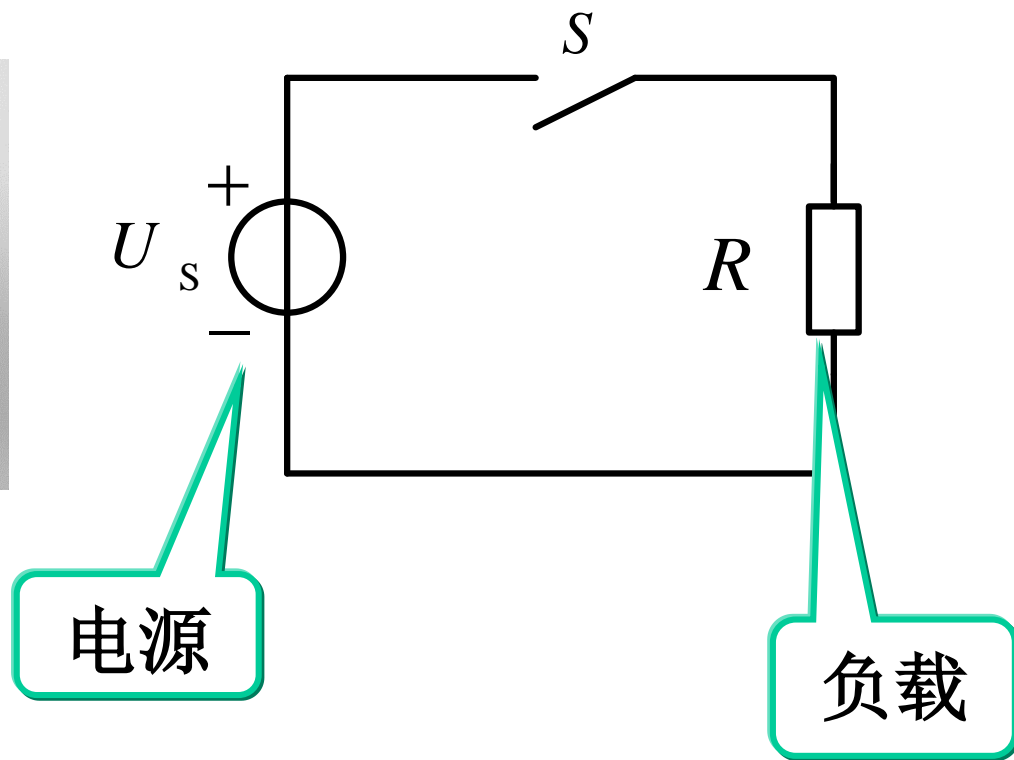
## (2) 实际元器件的理想化

在工程应用中，常常需要分析实际元件的主要特性。因此，理论上常将实际元件理想化处理，即在一定条件下突出元件的主要电磁性质，忽略其次要因素。所以白炽灯、电感线圈、电容等均认为是理想元件。

## (3) 电路模型

由理想元件组成的电路即为实际电路的电路模型。

例如，手电筒电路的电路模型如下：



## 1.2 电压、电流的参考方向

---

### 1. 电路的基本物理量

---

#### (1) 电流

正电荷的定向运动形成电流，其量值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad \text{单位：安培 (A)}$$

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

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

## (2) 电压

在电场力的作用下，通过外电路运送电荷的能力，即

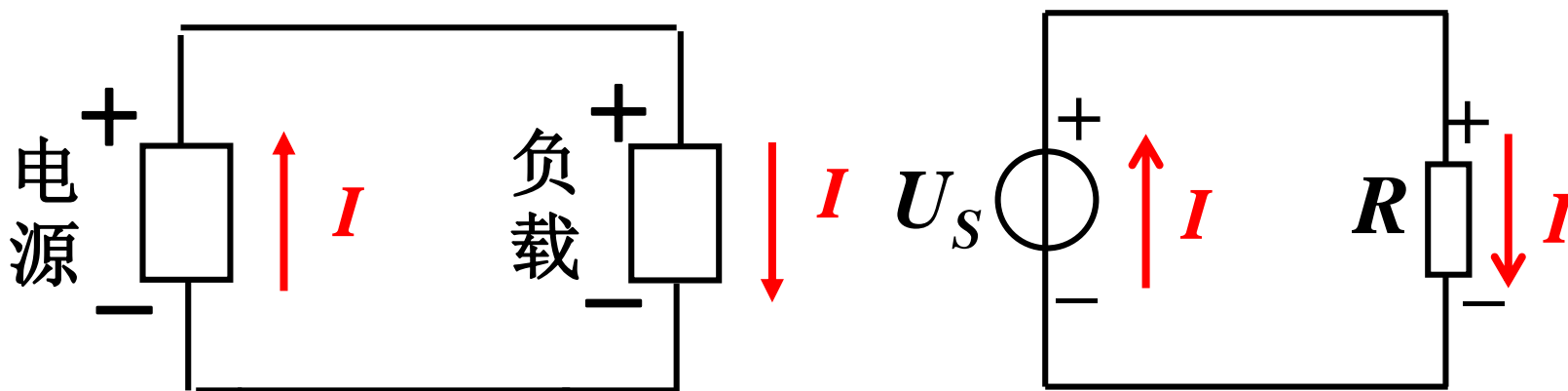
$$u(t) = \frac{dw}{dq} \quad \text{单位：伏特 (V)}$$

$$1\text{mV} = 10^{-3} \text{V}$$

## 2. 电流和电压的实际方向

实际方向：物理中对电量规定的方向。

电流 $I$ ：正电荷定向移动的方向

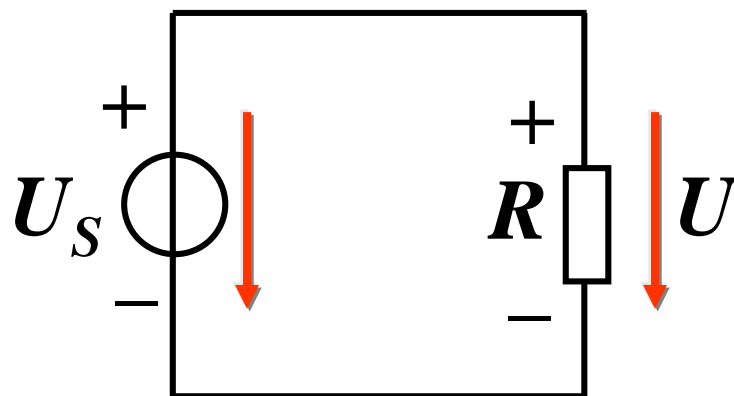
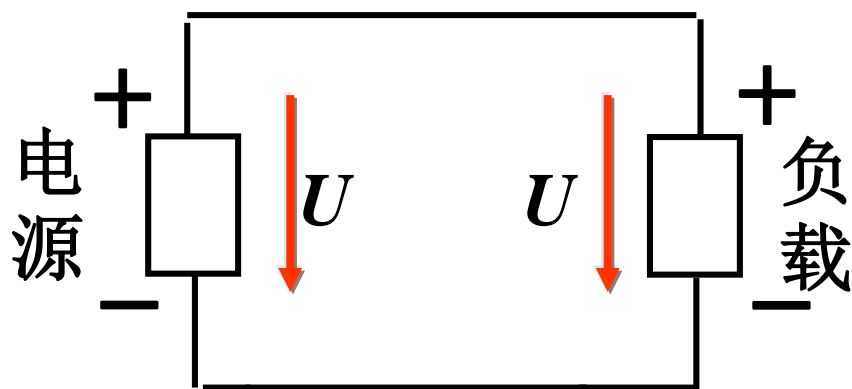


电流流过电压源时，是从电压源的负极到正极；

电流流过负载时，是从负载的高电位到低电位。

电压 $U$ : 高电位指向低电位, 即电位降低的方向。

电源端电压与负载端电压: 从高电位到低电位。



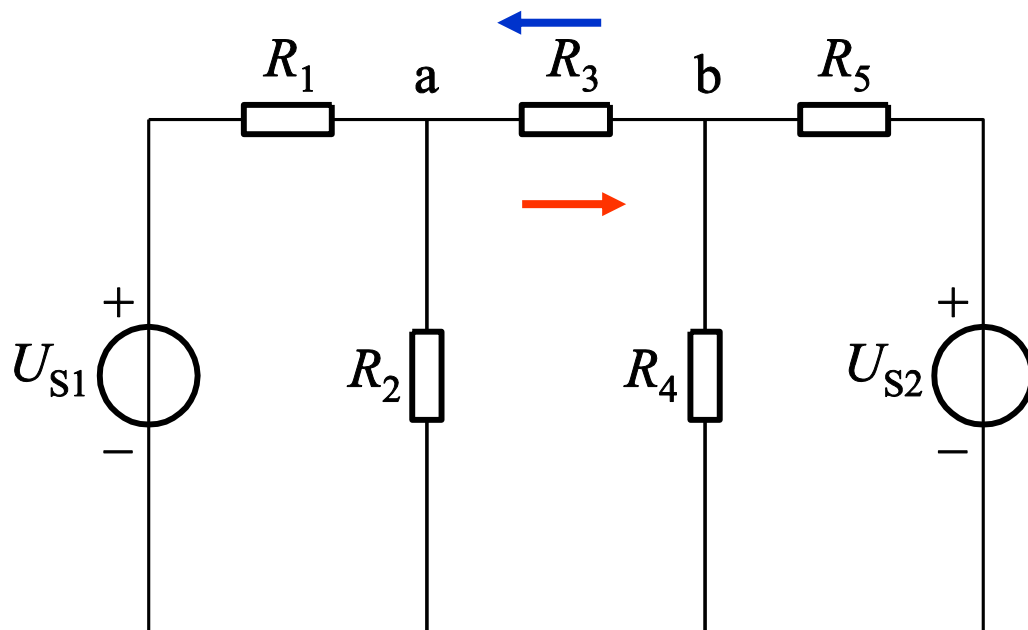
### 3. 电流和电压的参考方向

#### (1) 参考方向

在分析电路时，对电量人为规定的方向。

#### (2) 设参考方向的意义

例如，在如下复杂电路中很难判断出  $R_3$  中流过电流的实际方向，电路如何求解？



### (3) 解决的方法

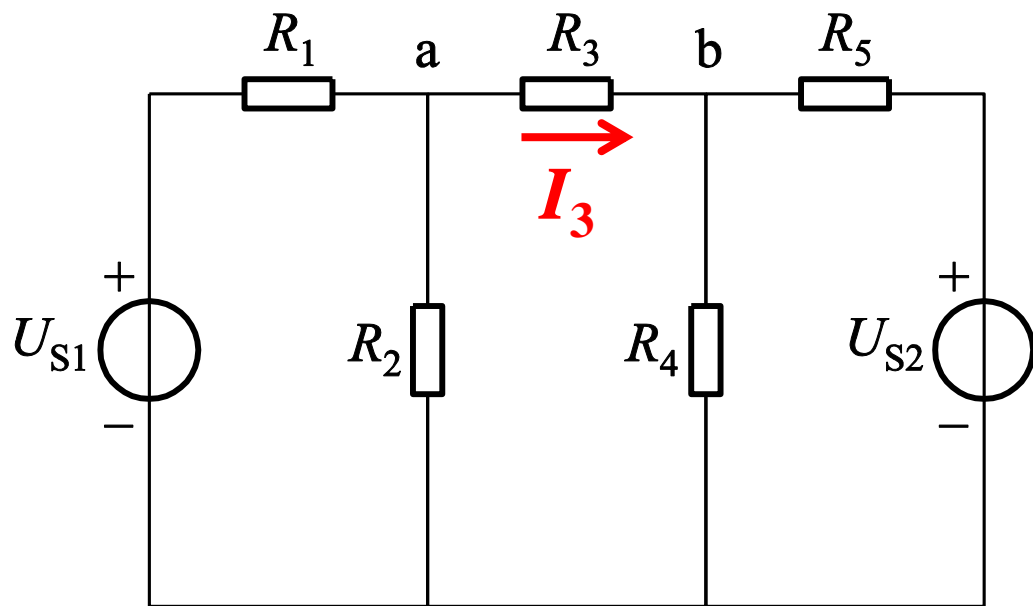
首先，在解题前先假设一个电流方向，作为参考方向。

然后，根据电路的基本定律列出电压、电流方程。

最后，根据计算结果确定电流的实际方向：

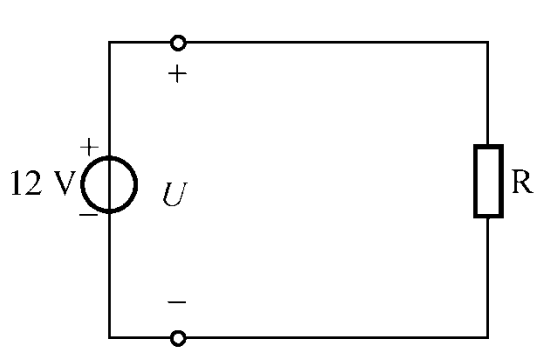
若计算结果  $I_3$  为正，则实际方向与参考方向一致；

若计算结果  $I_3$  为负，则实际方向与参考方向相反。

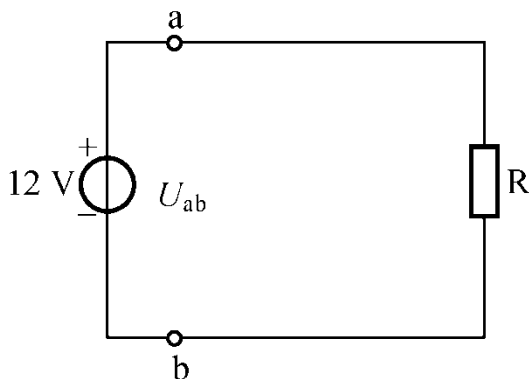




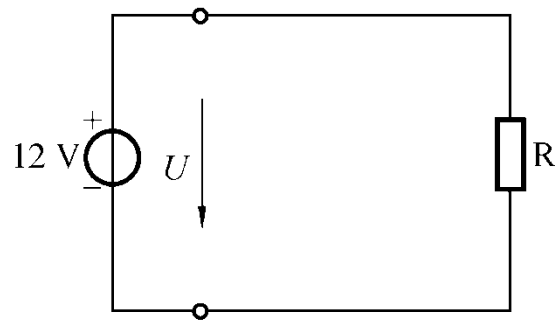
## (4) 电压参考方向的三种表示



(a) 用+、-号表示电位的高低



(b) 用双下标表示电位的高低



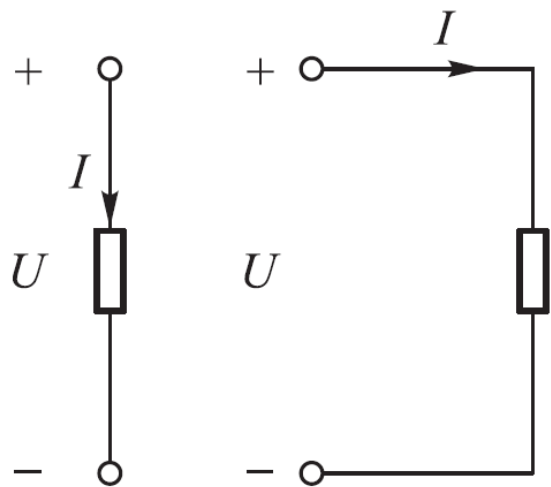
(c) 用箭头表示电位的高低

正负号, 下标a、b和箭头都是表示电位降低的方向。

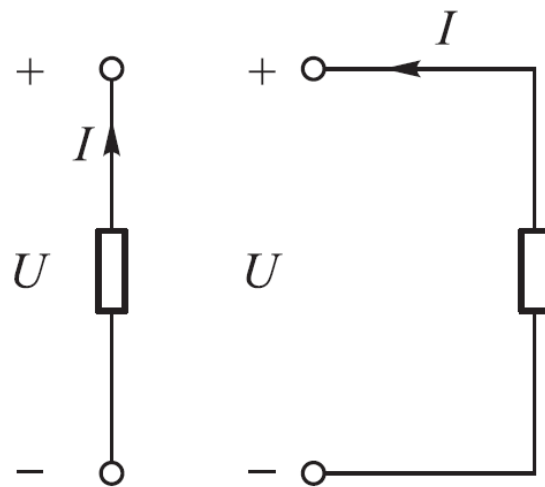
## 4. 电流、电压的关联参考方向

关联参考方向：电压与电流的参考方向相同

非关联参考方向：电压与电流的参考方向相反

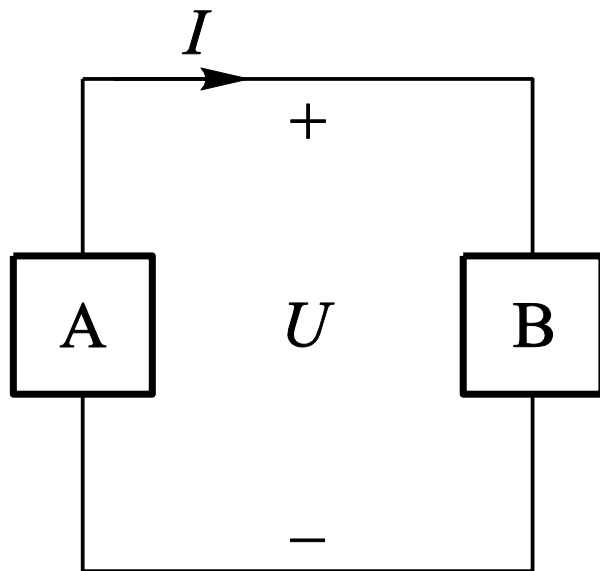


(a) 关联参考方向



(b) 非关联参考方向

**【例 1.2.1】** A、B为两个元件，其电压电流参考方向如图所示，请判断元件A、B的电压电流参考方向为关联参考方向还是非关联参考方向。

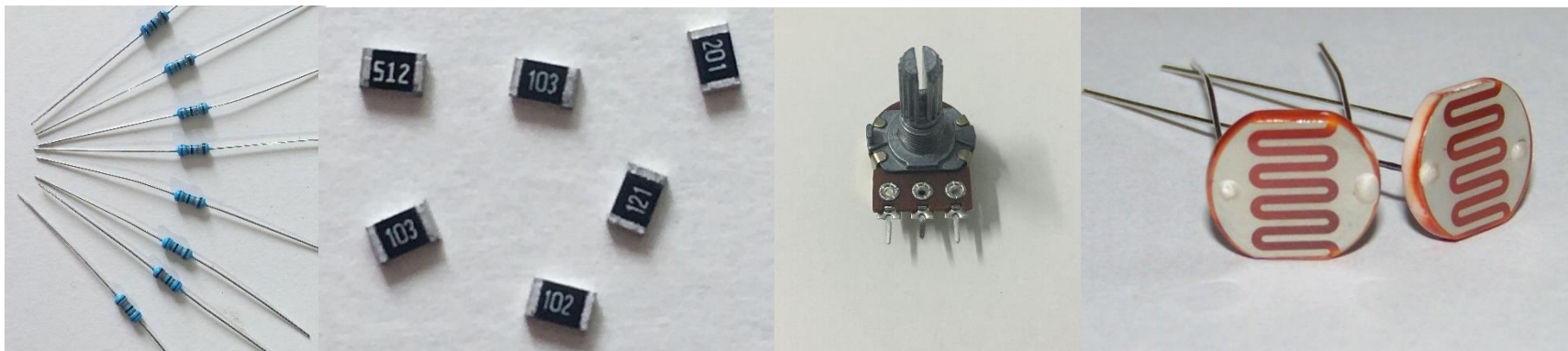


**【解】** 元件A的电压电流参考方向为非关联参考方向；  
元件B的电压电流参考方向为关联参考方向。

## 1.3 欧姆定律

### 1. 电阻元件

电阻：用 $R$ 表示，单位为欧姆（ $\Omega$ ）。

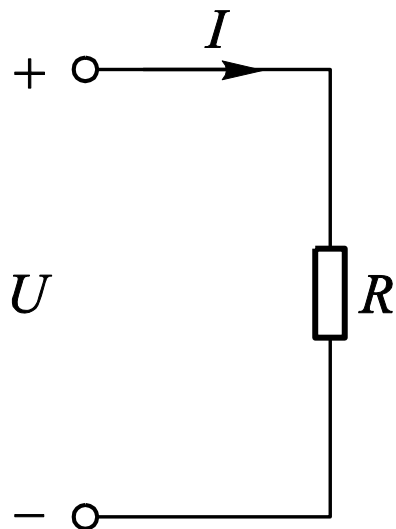


电阻的电路模型：



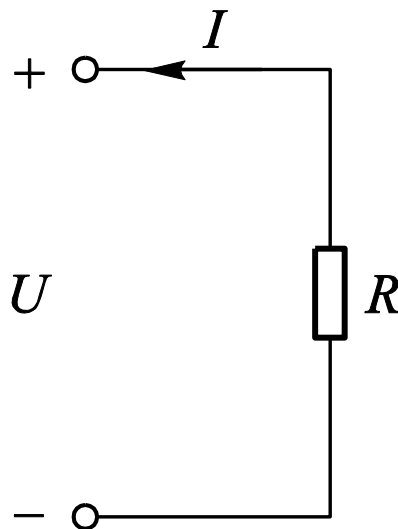
## 2. 欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。



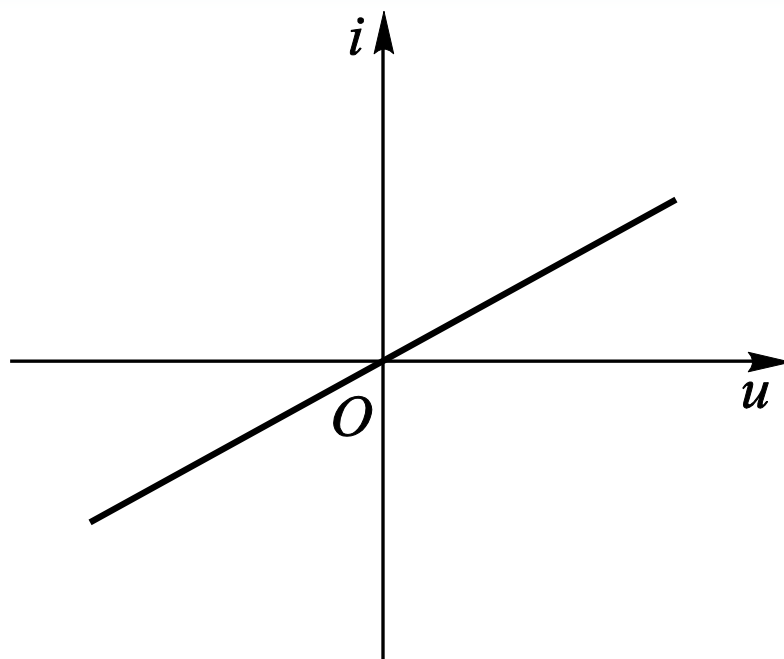
(a) 关联参考方向

$$U = IR$$



(b) 非关联参考方向

$$U = -IR$$

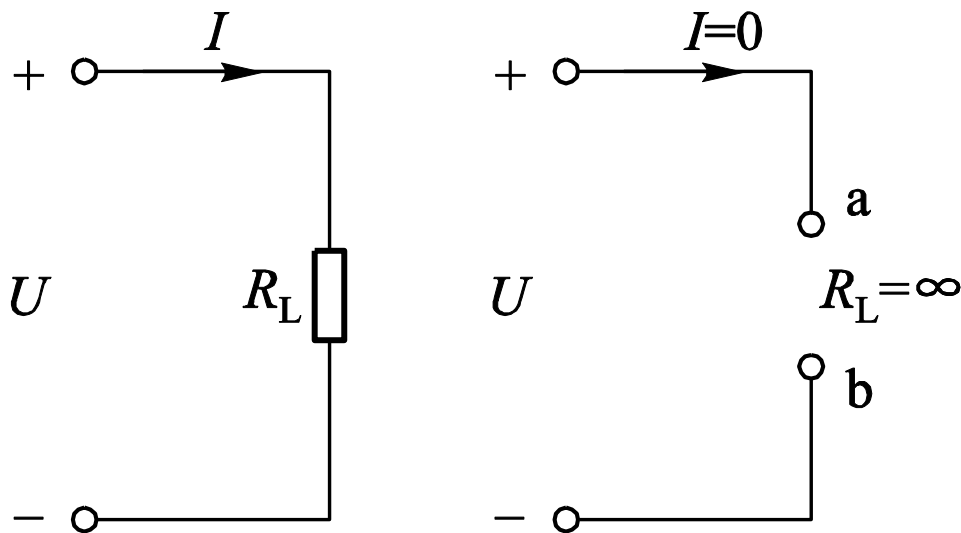


电阻元件的伏安特性

可见，当电压 $U$ 一定时，电阻 $R$ 愈大，电流 $I$ 愈小，说明电阻具有阻碍电流（或电荷）流动的能力。

### 3. 开路与短路

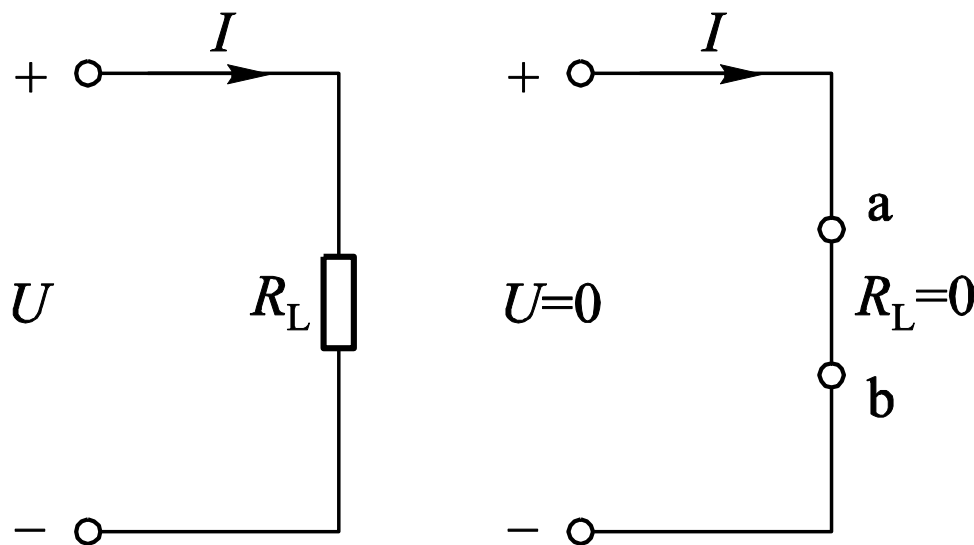
开路：a、b两点间断开，电流恒为零，两点间的电压任意，此时认为a、b两点间的电阻值为无穷大。



(a) 开路

开路现象对电路无太大损害。

短路：a、b两点由导线连接，两点间的电压恒为零，电流任意，此时认为a、b两点间的电阻值为零。

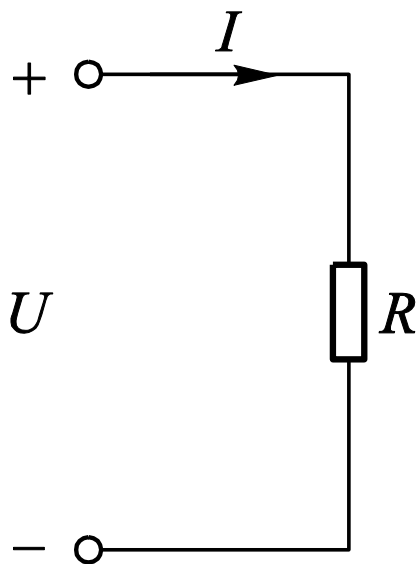


(b) 短路

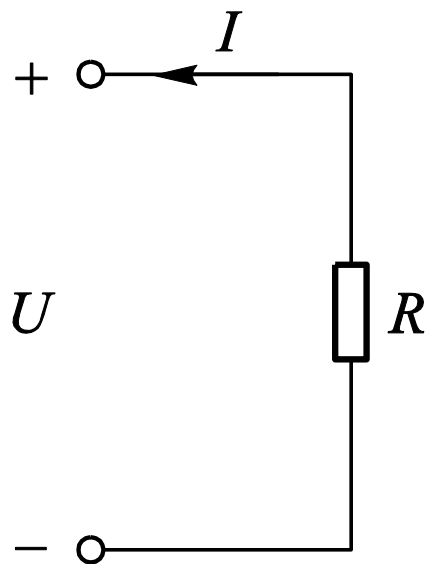
短路通常是一种事故，应避免发生！



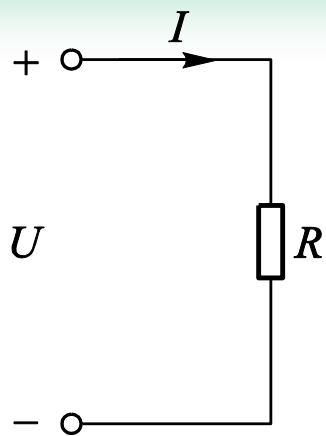
**【例 1.3.1】** 在图 (a)、(b) 所示电路中，已知  $U=10\text{V}$ ， $R=10\Omega$ 。求电流  $I$ 。



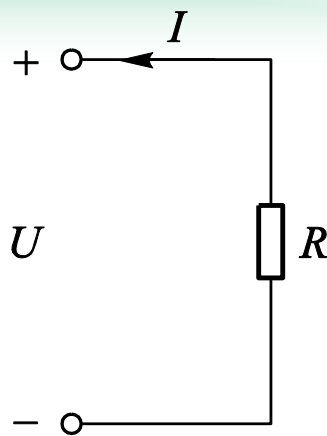
(a) 关联参考方向



(b) 非关联参考方向



(a) 关联参考方向



(b) 非关联参考方向

【解】在图（a）中，

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{10} = 1\text{A}$$

在图（b）中，

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{10}{10} = -1\text{A}$$

此时电流为负值，说明电流的实际方向与选取的参考方向相反。

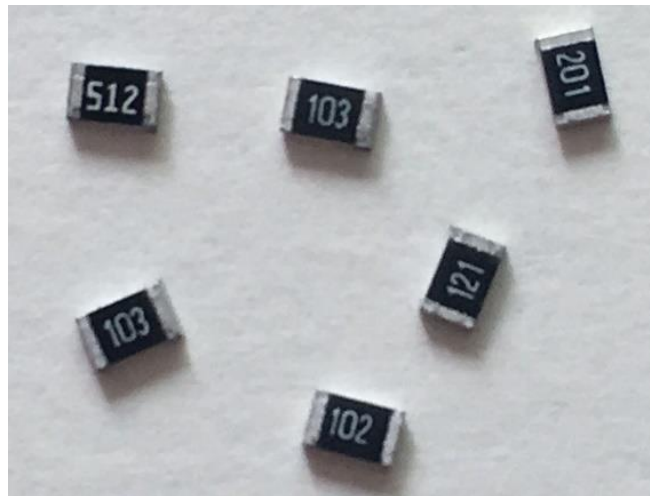
## 4. 电阻元件的分类及表示法

### (1) 固定电阻

固定电阻是由工厂成批加工、阻值无法改变的电阻，可提供从几欧姆到几十兆欧姆范围内的各种阻值。固定电阻在电路中常作为分流器、分压器或者负载使用。



色环电阻



贴片电阻

## ① 数字表示法

三位数字表示法：前两位数字给出阻值的两位有效数字，第三位数字给出倍乘数。

$$\boxed{1 \ 5 \ 5} = 15 \times 10^5 \Omega = 1.5 \text{ M}\Omega$$

四位数字表示法：前三位数字代表电阻值的有效数字，第四位表示倍乘数。

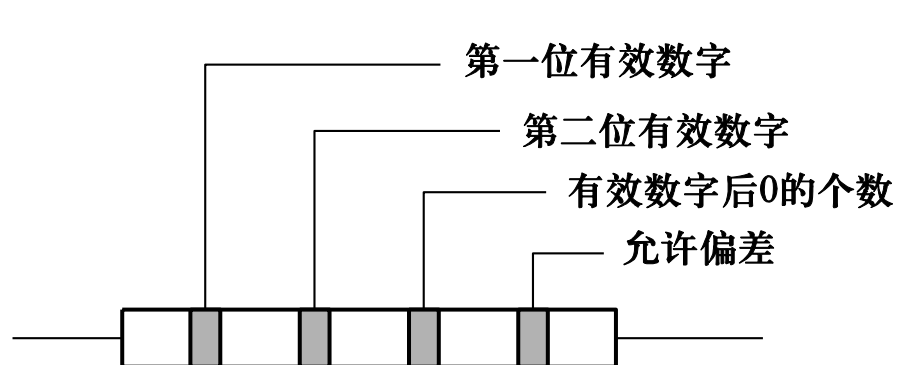
$$\boxed{5 \ 1 \ 0 \ 2} = 510 \times 10^2 \Omega = 51 \text{ k}\Omega$$

字母“R”用于标记阻值有效数字中小数点的位置。

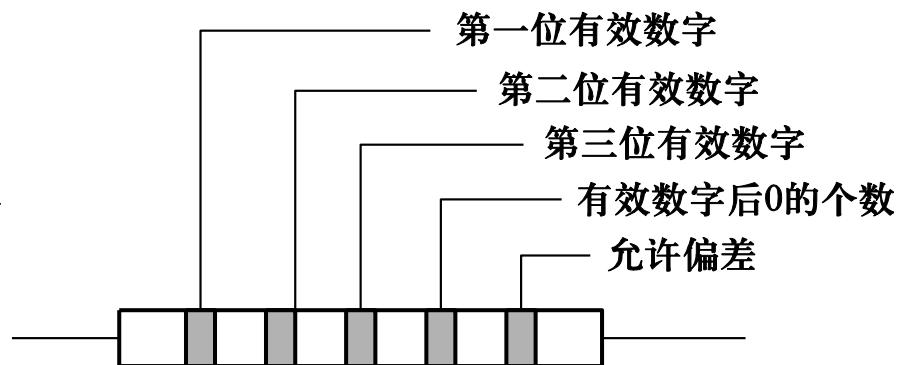
$$\boxed{3 \ 0 \ \text{R} \ 0} = 30 \Omega$$

## ② 色环表示法

在色环电阻中，根据色环的颜色可以判断电阻的阻值。



四色环表示法



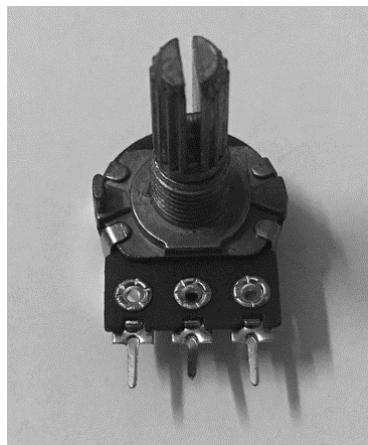
五色环表示法

色环颜色	色环代表的意义		
	有效数字	倍乘数	允许偏差 (%)
黑	0	$\times 10^0$	—
棕	1	$\times 10^1$	1
红	2	$\times 10^2$	2
橙	3	$\times 10^3$	—
黄	4	$\times 10^4$	—
绿	5	$\times 10^5$	0.5
蓝	6	$\times 10^6$	0.25
紫	7	$\times 10^7$	0.1
灰	8	$\times 10^8$	—
白	9	$\times 10^9$	—
金	—	$\times 10^{-1}$	5

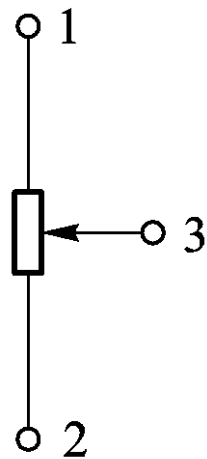


## (2) 可调电阻

可调电阻，也称电位器，通过人为或自动调节可以改变其阻值，在电路中常用来起分压和控制电流的作用。



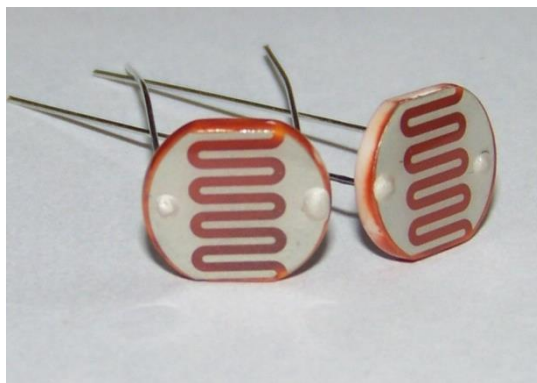
电位器



电位器电路模型

### (3) 特种电阻

常见的特种电阻有热敏电阻、光敏电阻和压敏电阻等，其电阻值随外界特定环境的变化而发生改变。



光敏电阻



## 1.4 电位的概念与电位计算

---

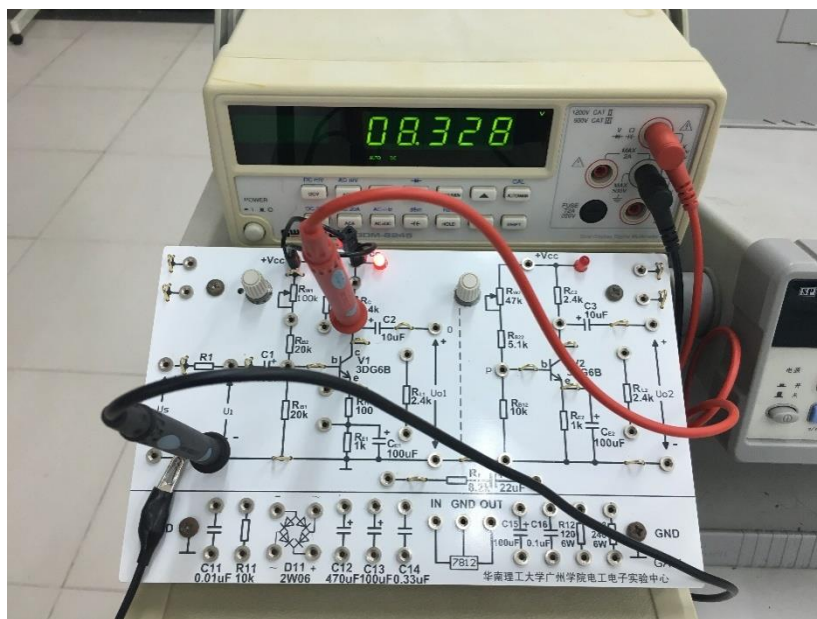
电位：在电路中任取一点0作为参考点，在电路图中用接地符号“⊥”表示，电路中A点到参考点的电压就是A点的电位  $V_A$ 。电位的单位是V(伏特)。

电位与电压的关系：

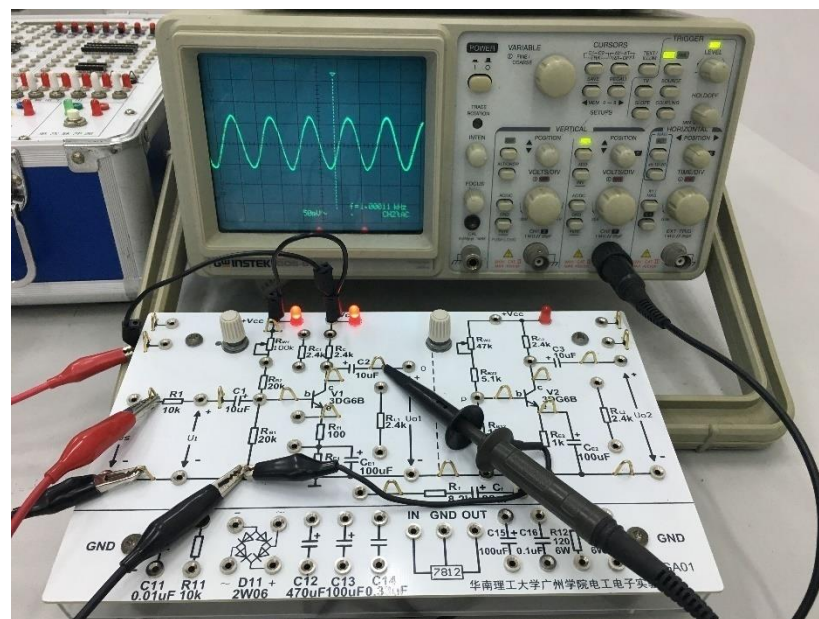
$$V_A = U_{AO}$$

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

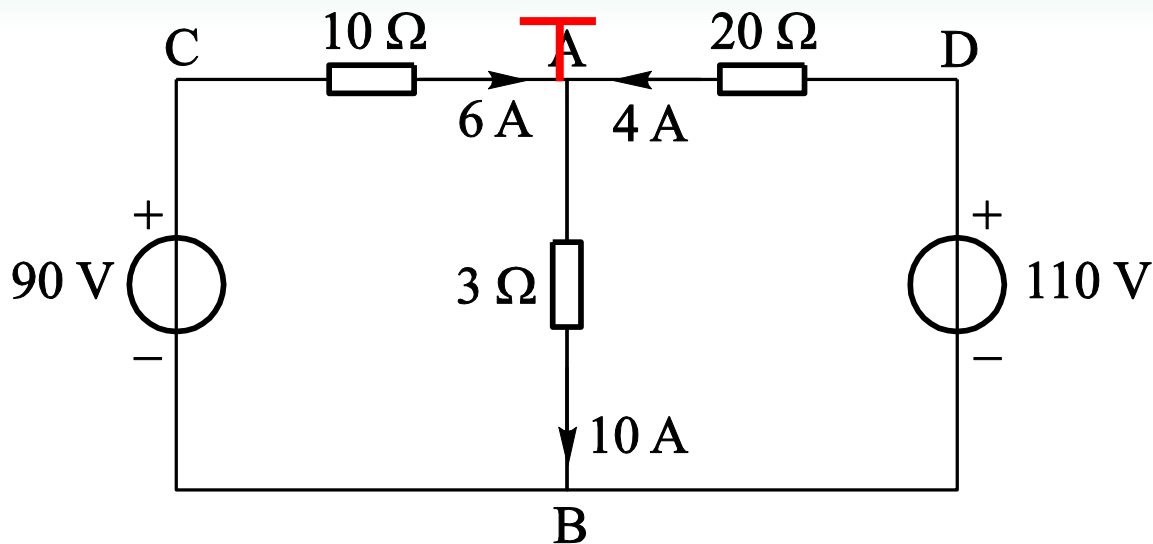
在实际工程应用中，为方便分析，常选用大多电子设备连接的公共点作为参考点。测量设备中常用的电压表和示波器正是通过测量电位来对电路进行检测。



## 电压表实验电路



# 示波器实验电路



选取A点作为参考点:

$$V_A = 0V$$

$$V_B = -30V$$

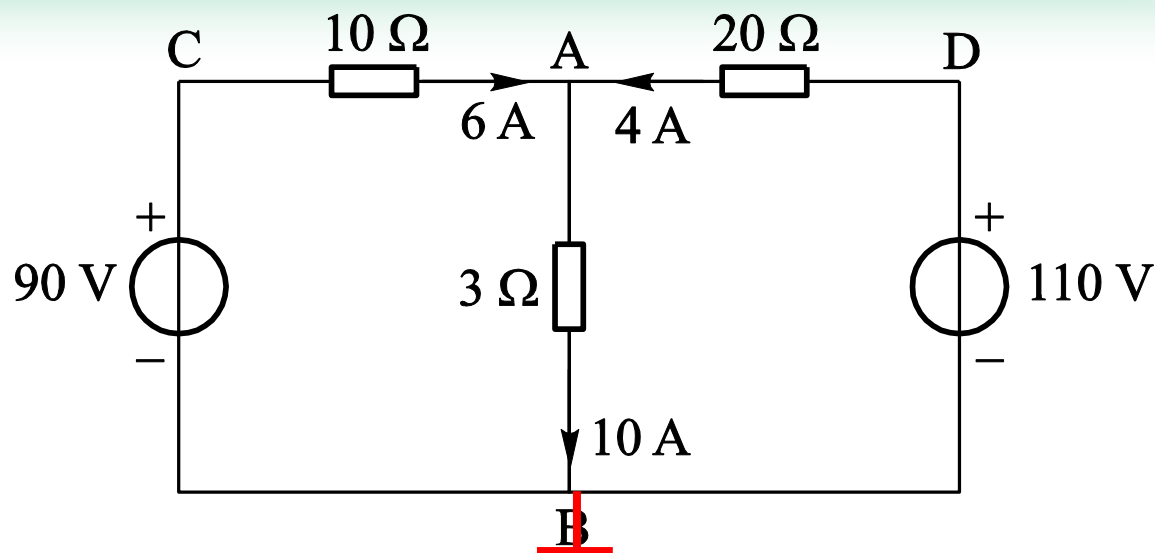
$$V_C = 60V$$

$$V_D = 80V$$

$$U_{AB} = 30V$$

$$U_{AC} = -60V$$

$$U_{AD} = -80V$$



由此得出结论：

选取B点作为参考点：

$$V_A = 30\text{V}$$

$$V_B = 0\text{V}$$

$$V_C = 90\text{V}$$

$$V_D = 110\text{V}$$

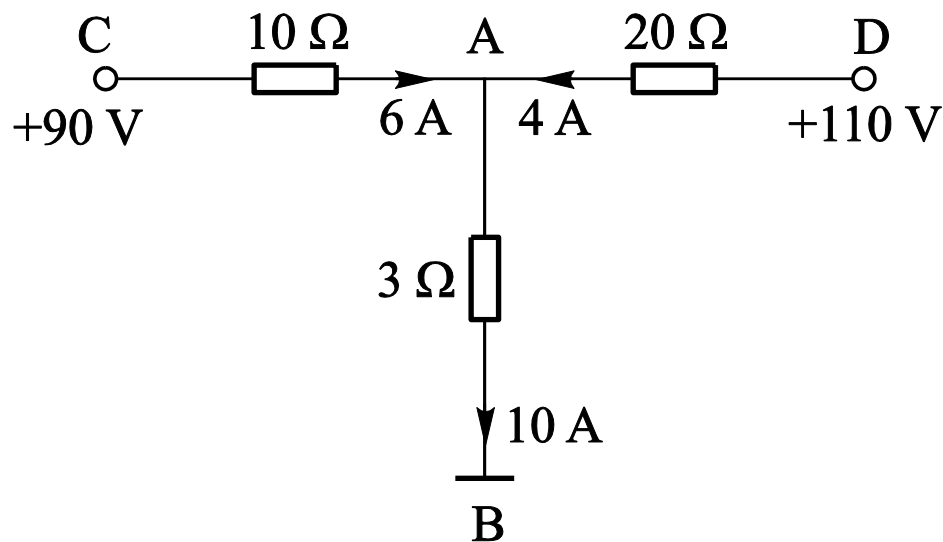
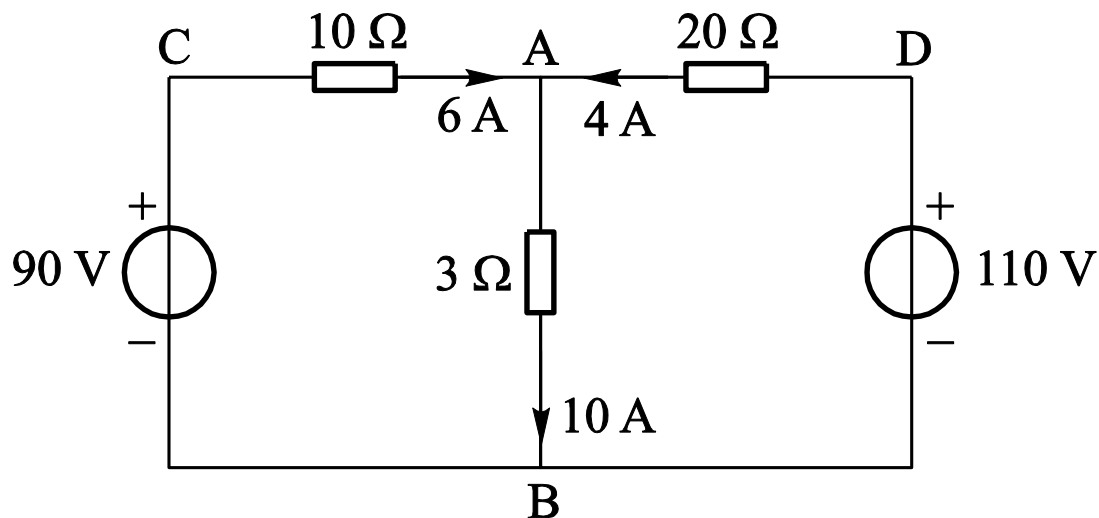
$$U_{AB} = 30\text{V}$$

$$U_{AC} = -60\text{V}$$

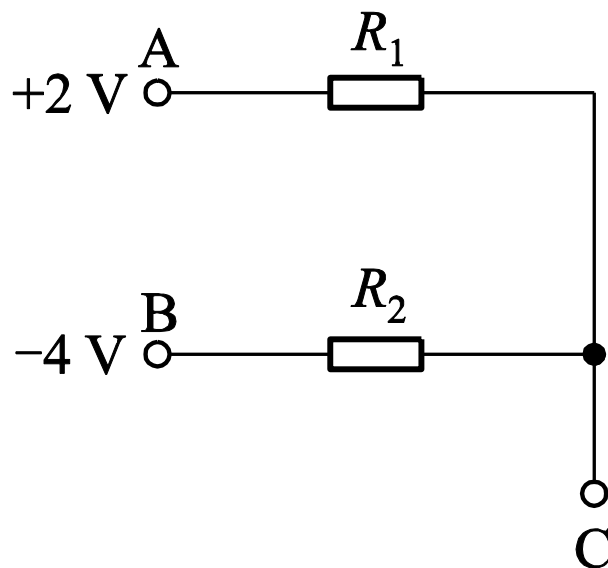
$$U_{AD} = -80\text{V}$$

电位值是相对的，参考点选得不同，电路中其它各点的电位也将随之改变。而电压（两点电位之差）是绝对的，它不随参考点的不同而改变。

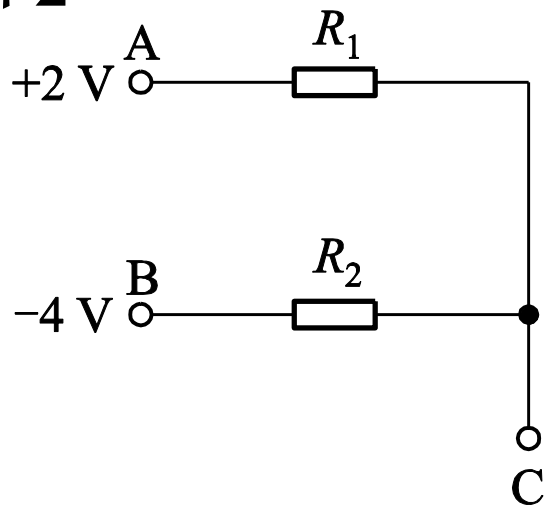
# 利用电位简化电路：



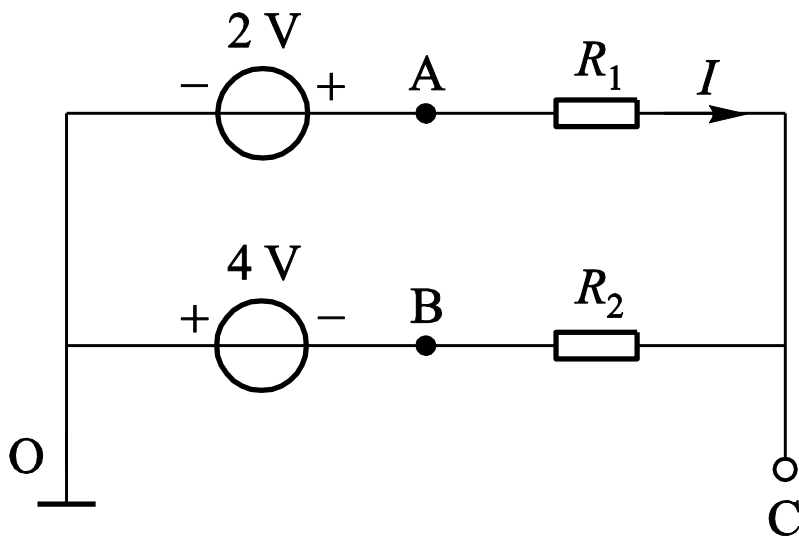
**【例 1.4.1】** 电路如图所示。已知C点开路， $R_1 = 1.2\text{k}\Omega$   
 $R_2 = 1.8\text{k}\Omega$ 。根据电位简化的理论，画出图示电路简化前的电路，并计算A点、B点和C点的电位。



【解】



(a) 简化电路图

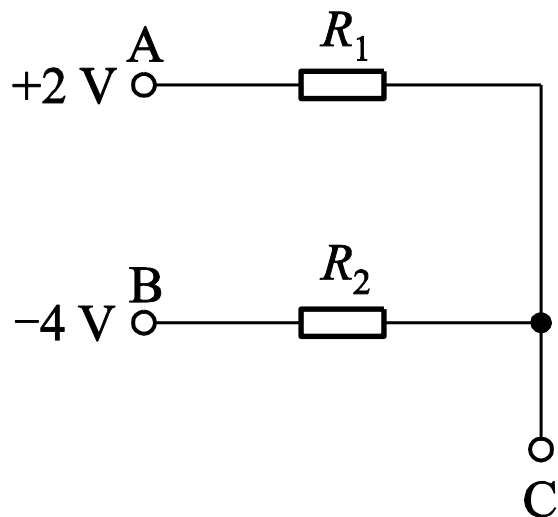


(b) 简化前电路

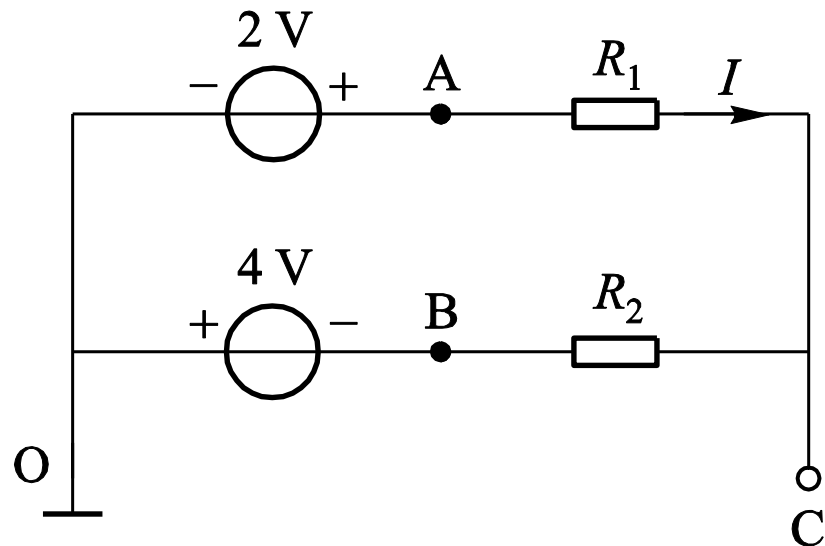
计算C点电位时，可通过两条不同的路径计算：  
第一条路径是C—A—O，则

$$I = \frac{4 + 2}{R_1 + R_2} = \frac{6}{1.2 + 1.8} = 2\text{mA}$$

$$V_C = V_A - IR_1 = 2 - 2 \times 1.2 = -0.4\text{V}$$



(a) 简化电路图



(b) 简化前电路

第二条路径是C—B—O，则

$$V_C = V_B + IR_2 = -4 + 2 \times 1.8 = -0.4V$$

由此可知：电位的计算与所选的计算路径无关。



【例 1.4.2】图示电路，计算开关S断开和闭合时A点的电位 $V_A$

解: (1)当开关S断开时

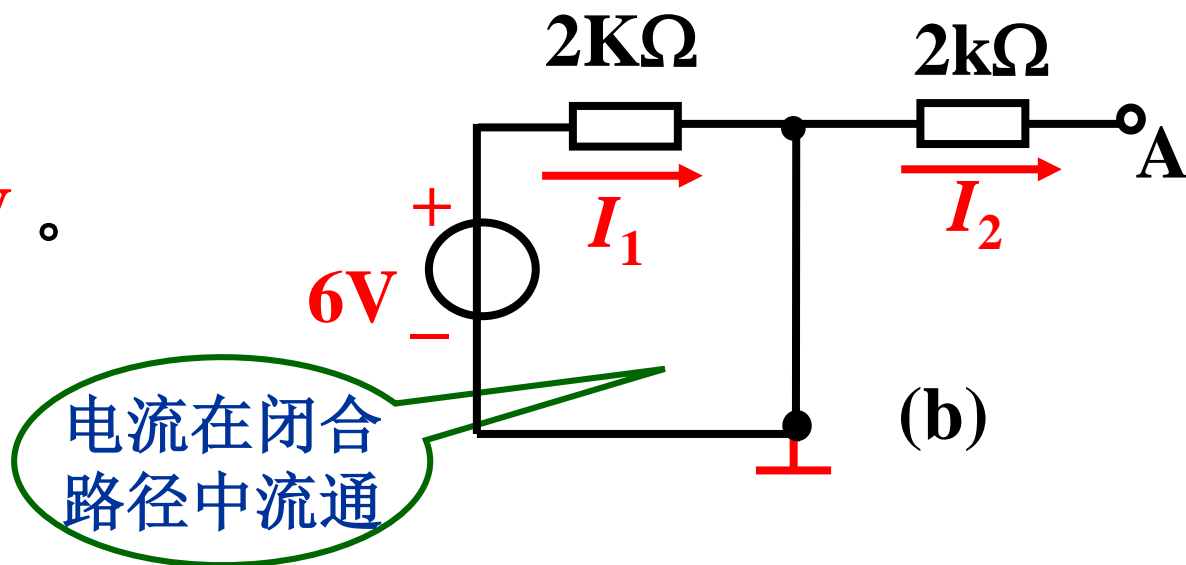
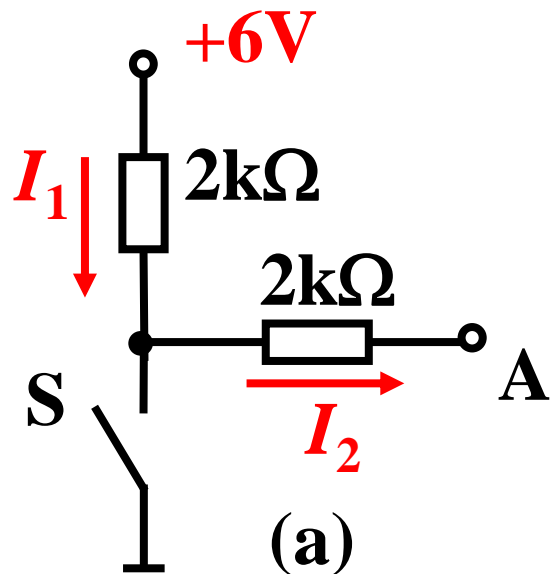
电流  $I_1 = I_2 = 0$ ,

电位  $V_A = 6V$ 。

(2)当开关闭合时,电路  
如图 (b)

电流  $I_2 = 0$ ,

电位  $V_A = 0V$ 。



## 1.5 电路的功率

### 1. 功率的定义

功率：表征元件吸收或发出能量快慢的物理量，即电能对时间的变化率。

$$p = \frac{dw}{dt} \quad \text{单位：瓦特 (W)}$$

若电压电流取关联参考方向，则有：

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui$$

## 2. 功率的物理意义

在电压电流取关联参考方向的前提下，

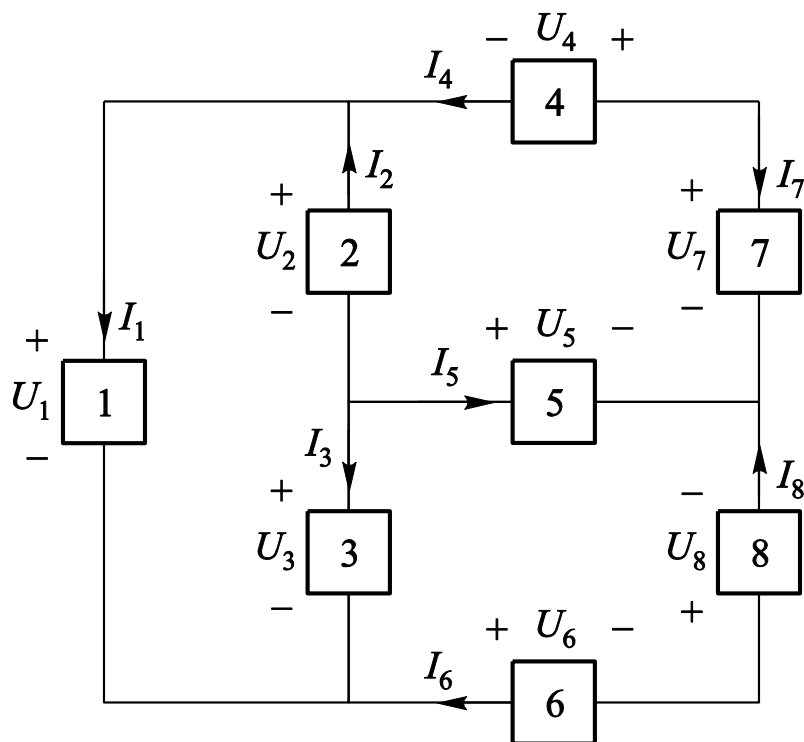
$p > 0$ （ $u$ 和 $i$ 同为正值或同为负值），意味着电压和电流的实际方向一致，电路起**负载**作用，**吸收功率**。

$p < 0$ （ $u$ 和 $i$ 一个为正值，一个为负值），意味着电压和电流的实际方向不一致，电路起**电源**作用，**发出功率**。

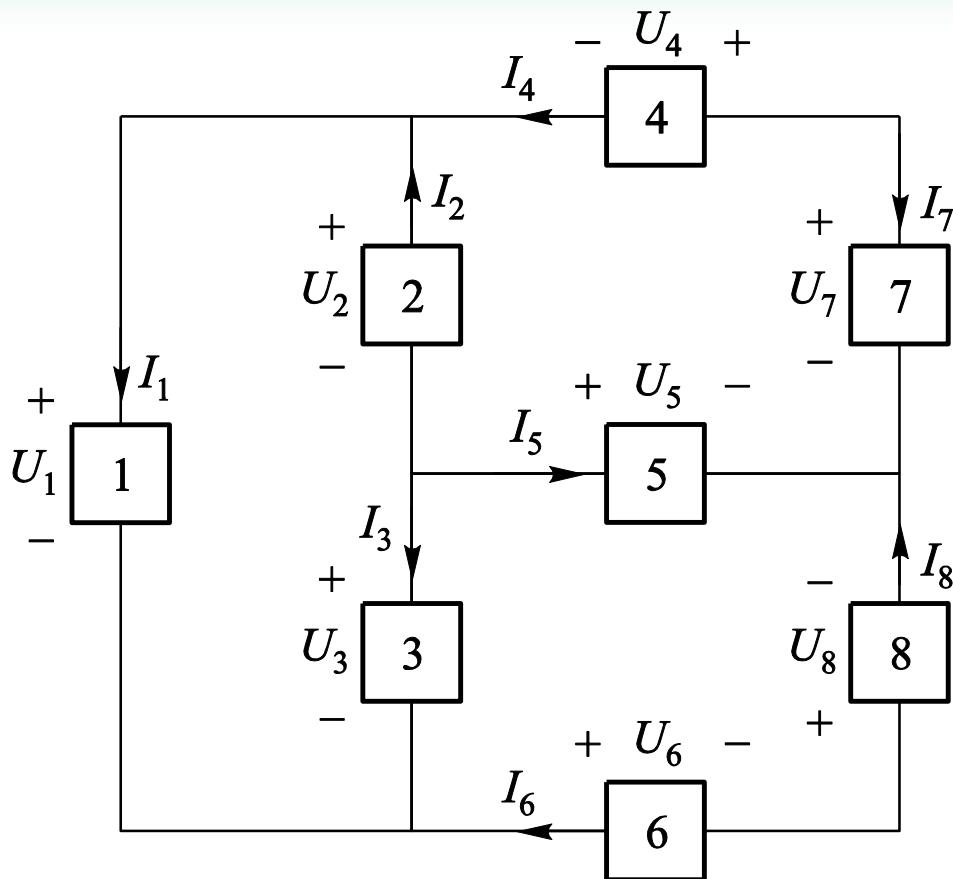
根据能量守恒关系

$$P(\text{吸收}) = P(\text{发出})$$

**【例 1.5.1】** 图示电路为某个用电系统的电路模型，方框代表不同的电气设备，电路中各个元件的电压和电流值在表中给出。请判断哪些元件是电源？哪些元件是负载？并验证功率平衡关系。



元件	$U(\text{V})$	$I(\text{A})$
元件1	100	-12
元件2	120	-8
元件3	-20	17
元件4	10	-4
元件5	-10	-9
元件6	-100	-5
元件7	120	4
元件8	110	5



元件	$U(\text{V})$	$I(\text{A})$
元件1	100	-12

功率为正值，说明该元件吸收功率，功率为负值，说明该元件发出功率。则元件1、2是电源；元件3、4、5、6、7、8是负载。

【解】在图示电路中，元件1、3、4、5、7、8的电压与电流参考方向为关联参考方向，则

**【例 1.5.2】** 现有一个额定电压为110V的灯泡欲接在220V的电源上，灯泡必须串联电阻后才能使用，电路如图所示。若串联 $1\text{k}\Omega$ 的电阻，灯泡工作在额定状态下，试问应选择额定功率为多少的 $1\text{k}\Omega$ 电阻才能满足需要？



【解】

电阻两端的电压：

$$U_R = 220 - 110 = 110\text{V}$$

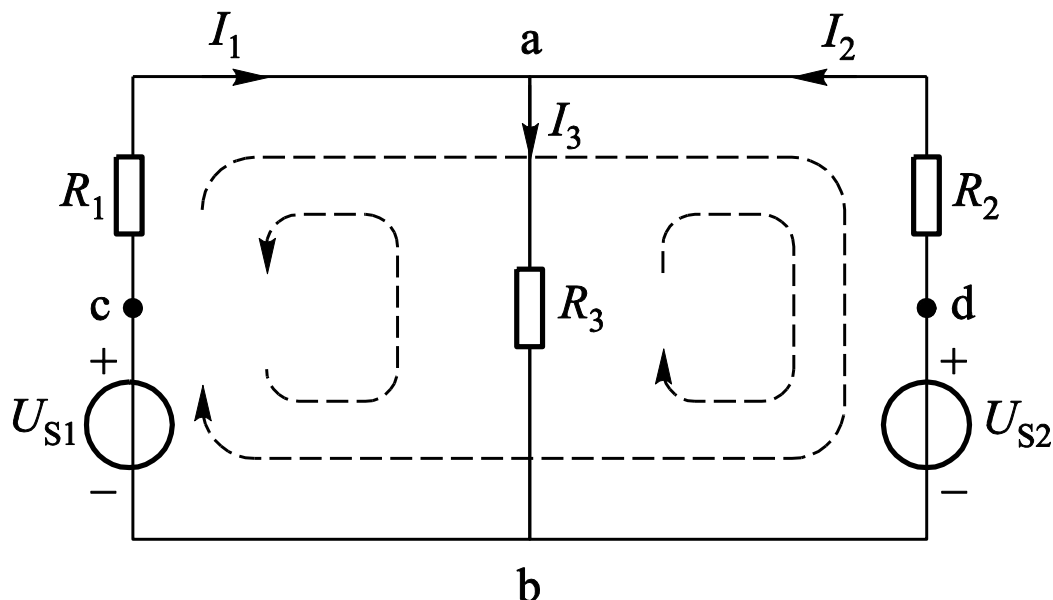
电阻消耗的功率：

$$P_R = U_R I = \frac{U_R^2}{R} = \frac{110^2}{1000} = 12.1\text{W}$$

因此可选用额定功率为12.5W或13W的1kΩ电阻。



# 1.6 基尔霍夫定律



**支路：** 流过同一电流的电路中的一个分支

**结点：** 三条或三条以上支路的连接点

**回路：** 电路中任一闭合的路径

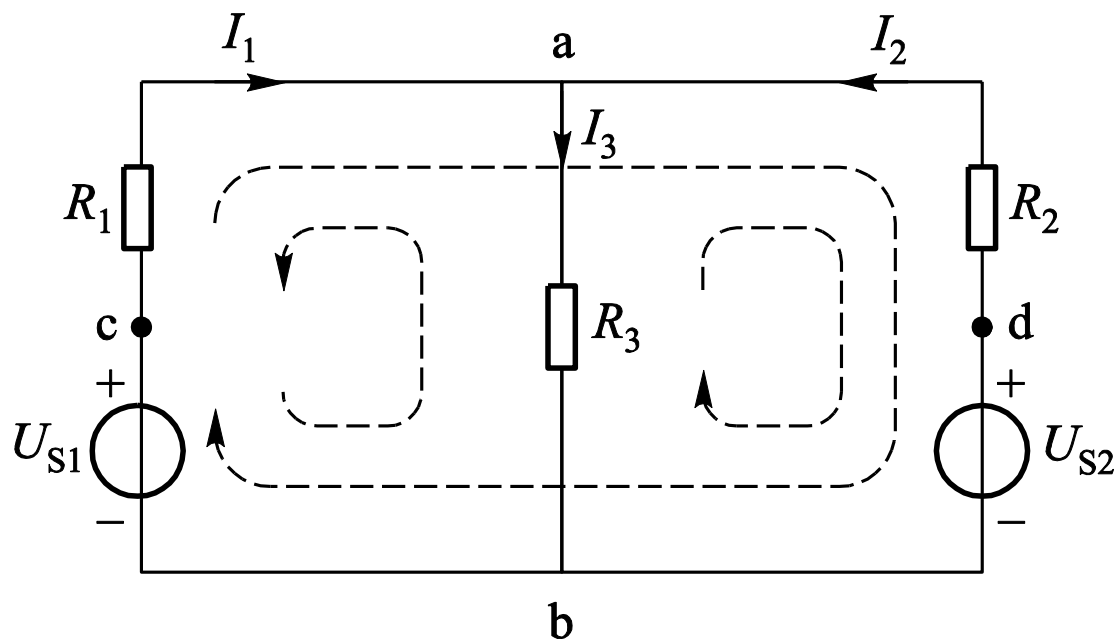
**网孔：** 没有包围其他支路的回路（最小回路）



# 1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

在电路中，任一瞬时，流入结点的电流之和等于由该结点流出的电流之和。或者说：在电路中，任何结点上的所有电流的代数和等于零，即

$$\sum I = 0$$



结点a:  $I_1 + I_2 = I_3$

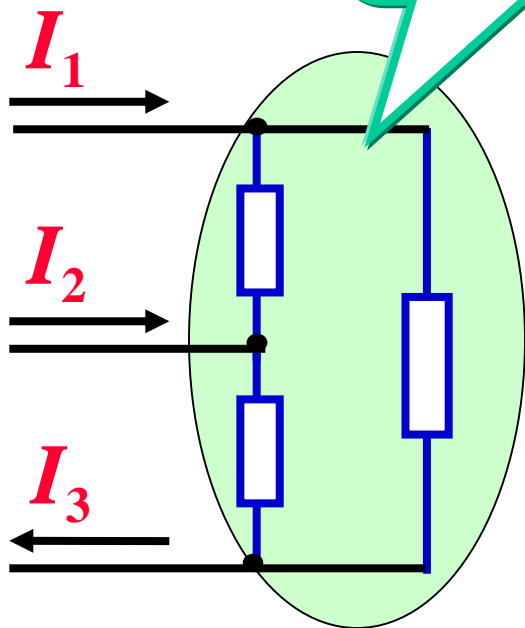
或

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

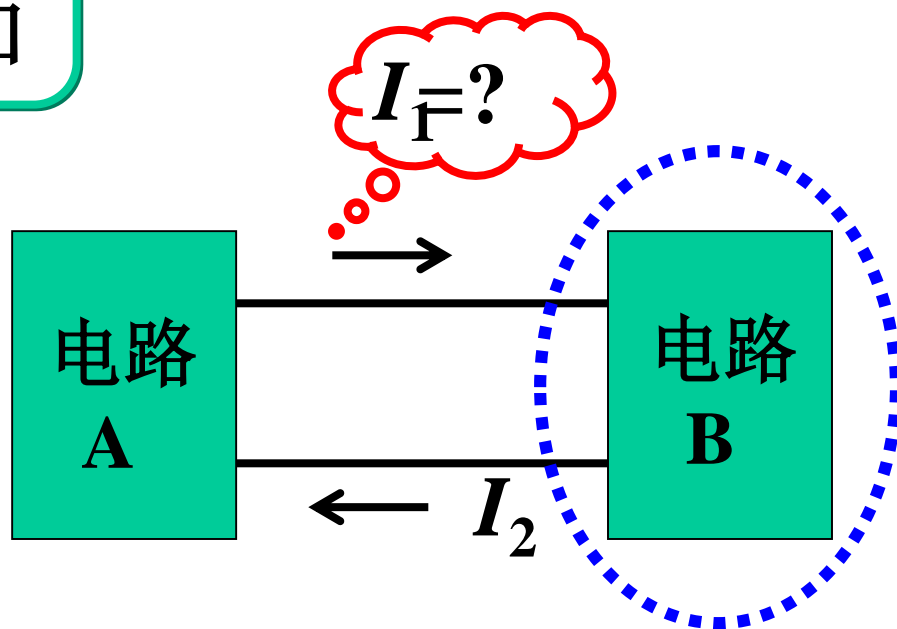
电流定律还可以扩展到电路的任意闭合面。

例如

假想为一个  
闭合面



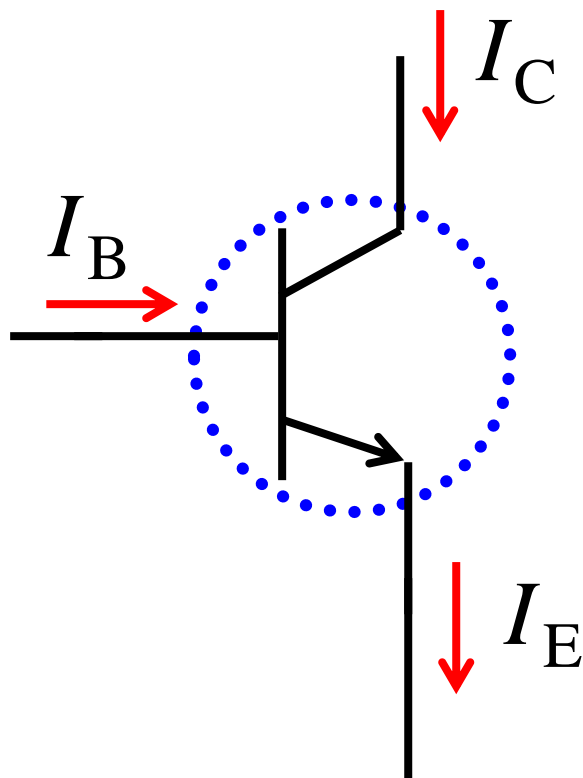
$$I_1 + I_2 = I_3$$



$$I_1 = I_2$$

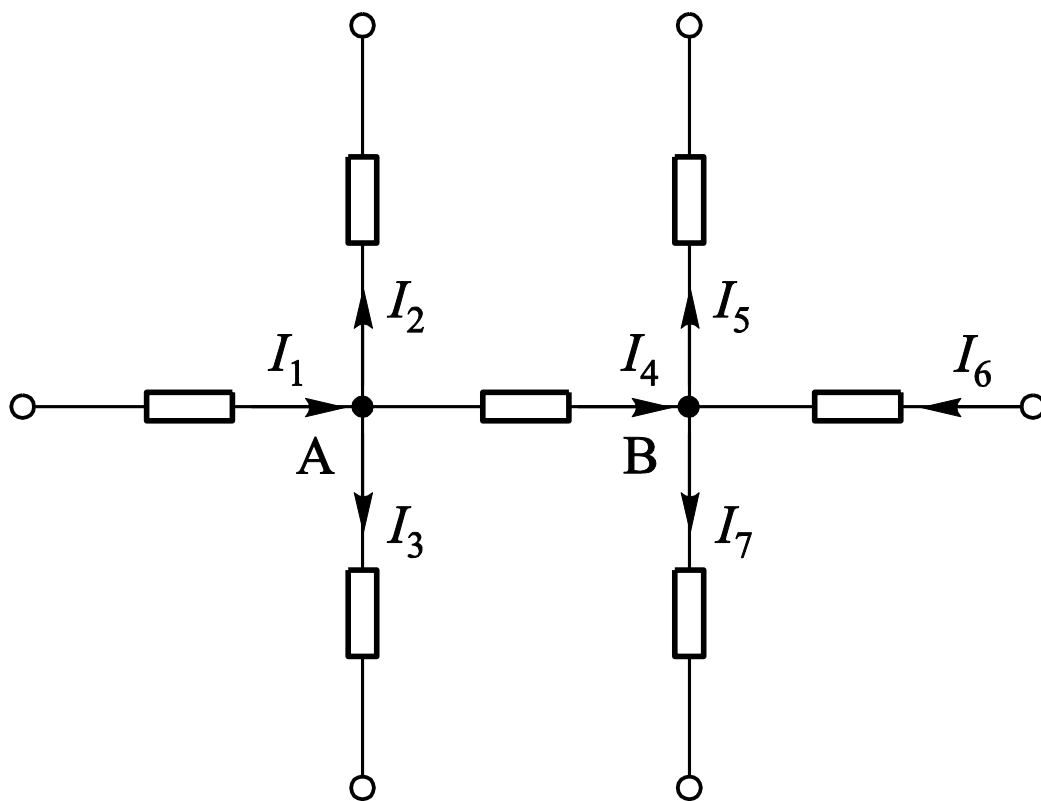
例如

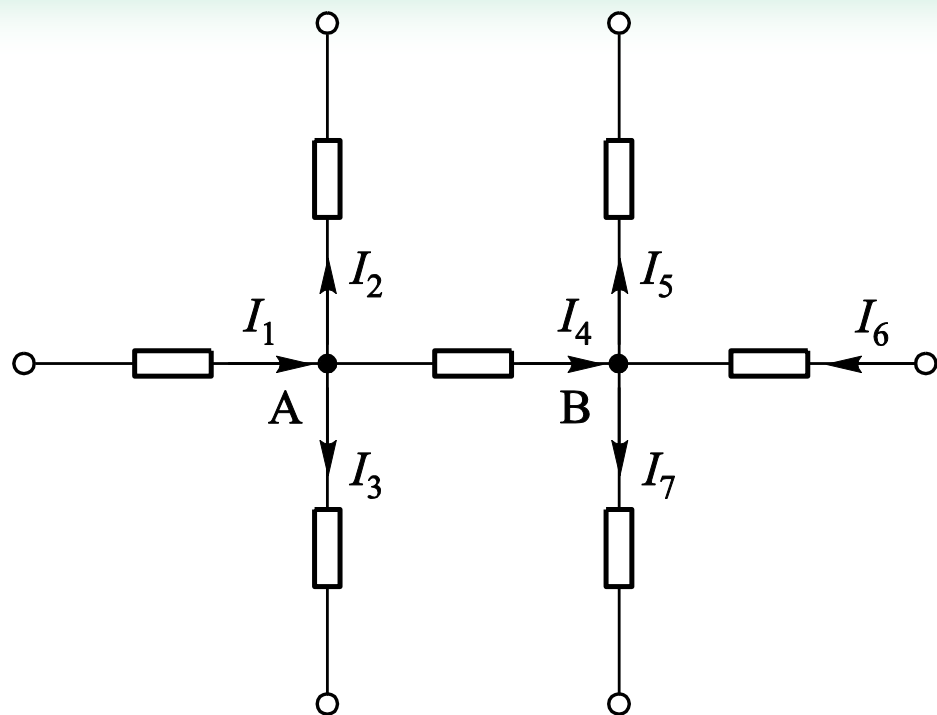
晶体三极管相当是一个大结点。



$$I_B + I_C = I_E$$

**【例 1.6.1】** 电路如图所示，已知  $I_1=5\text{A}$ 、 $I_2=-1\text{A}$ 、 $I_3=2\text{A}$ 、 $I_5=3\text{A}$ 、 $I_6=-5\text{A}$ ，求  $I_4$  和  $I_7$ 。





求 $I_4$ 和 $I_7$

$$\begin{aligned} I_1 &= 5\text{A}, I_2 = -1\text{A}, \\ I_3 &= 2\text{A}, I_5 = 3\text{A}, \\ I_6 &= -5\text{A} \end{aligned}$$

【解】对结点A运用KCL计算 $I_4$ ，可得：

$$I_4 = I_1 - I_2 - I_3 = 5 - (-1) - 2 = 4\text{A}$$

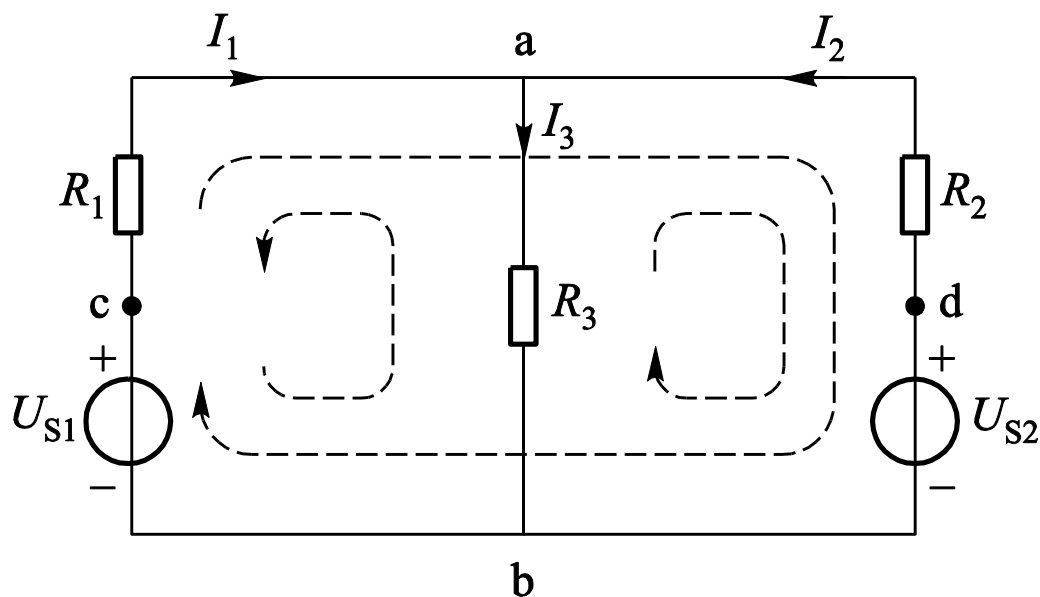
对结点B运用KCL：

$$I_7 = I_4 + I_6 - I_5 = 4 + (-5) - 3 = -4\text{A}$$

## 2. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

在电路中，对任一回路沿任意循行方向绕行一周，其电位升之和等于电位降之和。或者说，环绕任何闭合路径的各段支路电压的代数和为零，习惯上规定电位降落为正号，电位升高为负号，即

$$\sum U = 0$$



回路“adbca”：

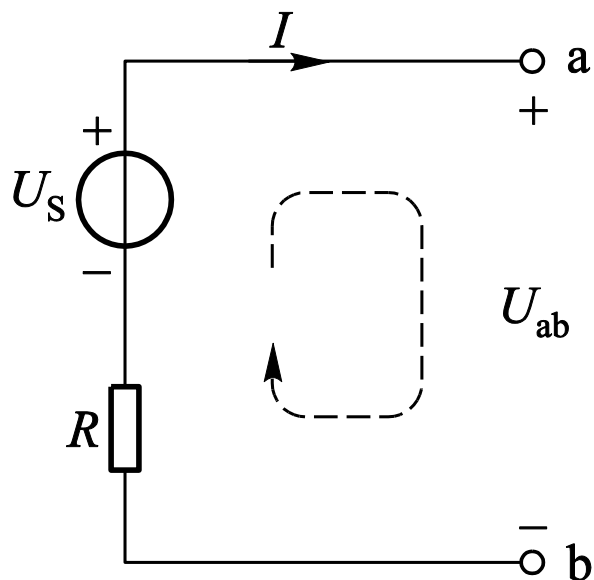
$$I_2 R_2 + U_{S1} = U_{S2} + I_1 R_1$$

或

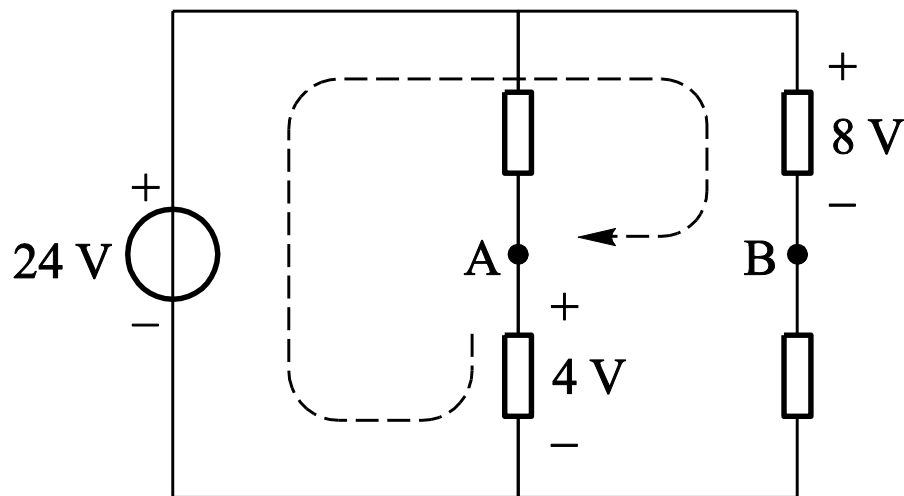
$$-I_2 R_2 + U_{S2} - U_{S1} + I_1 R_1 = 0$$

KVL可以扩展至广义回路(开口回路)：

$$U_{ab} + IR - U_S = 0$$



**【例 1.6.2】** 试求图示电路中A、B两点之间的电压 $U_{AB}$ 。



**【解】** 对由24V电压源、两端电压为8V的电阻、开口端 $U_{AB}$ 和两端电压为4V的电阻构成的广义回路运用

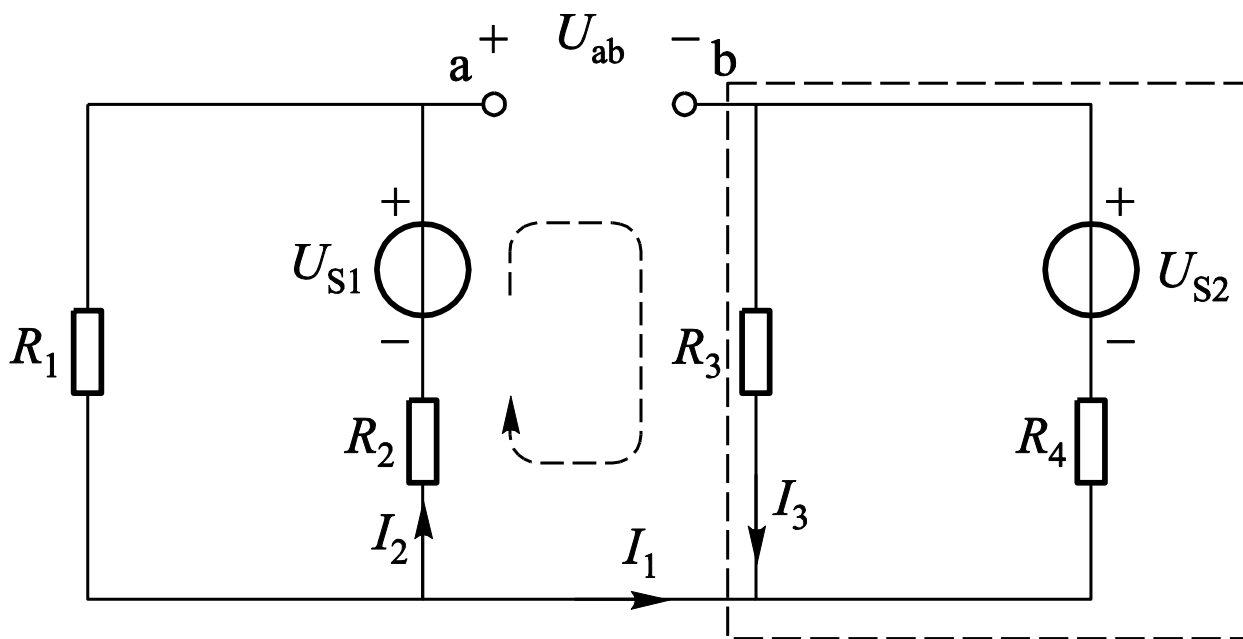
**KVL:**

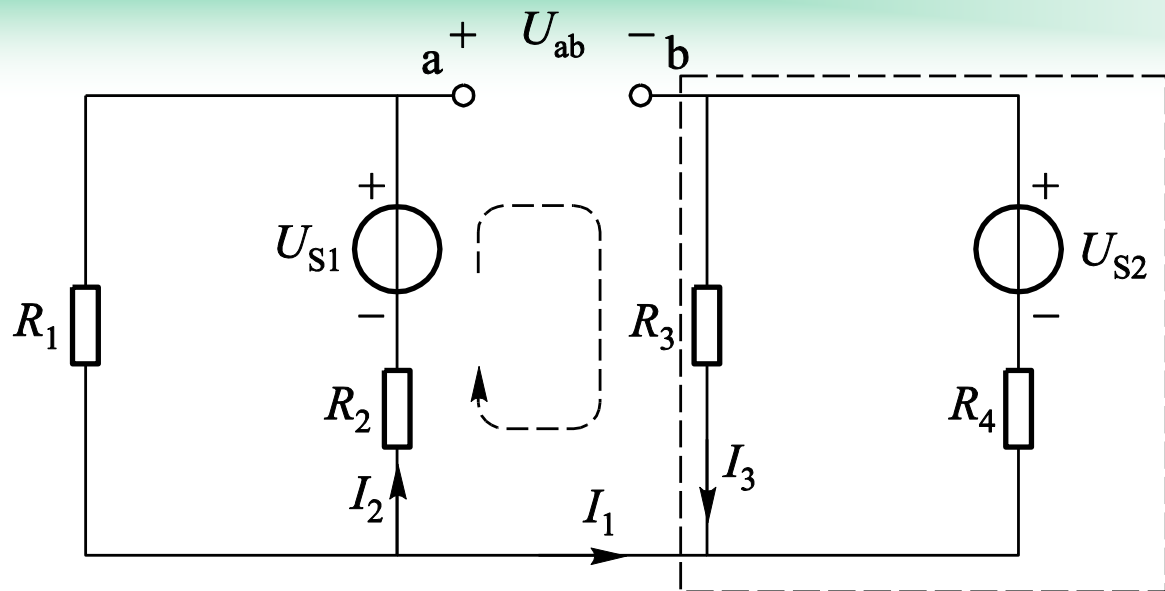
$$8 - U_{AB} + 4 - 24 = 0$$

可得  $U_{AB} = -12V$



**【例 1.6.3】** 已知电路如图所示，a、b两点间断开，  
 $U_{S1}=12V$ 、 $U_{S2}=5V$ 、 $R_1=12\Omega$ 、 $R_2=18\Omega$ 、 $R_3=10\Omega$ 、  
 $R_4=15\Omega$ ，试计算开路电压  $U_{ab}$ 。





$$U_{S1} = 12\text{V}, U_{S2} = 5\text{V},$$

$$R_1 = 12\Omega, R_2 = 18\Omega,$$

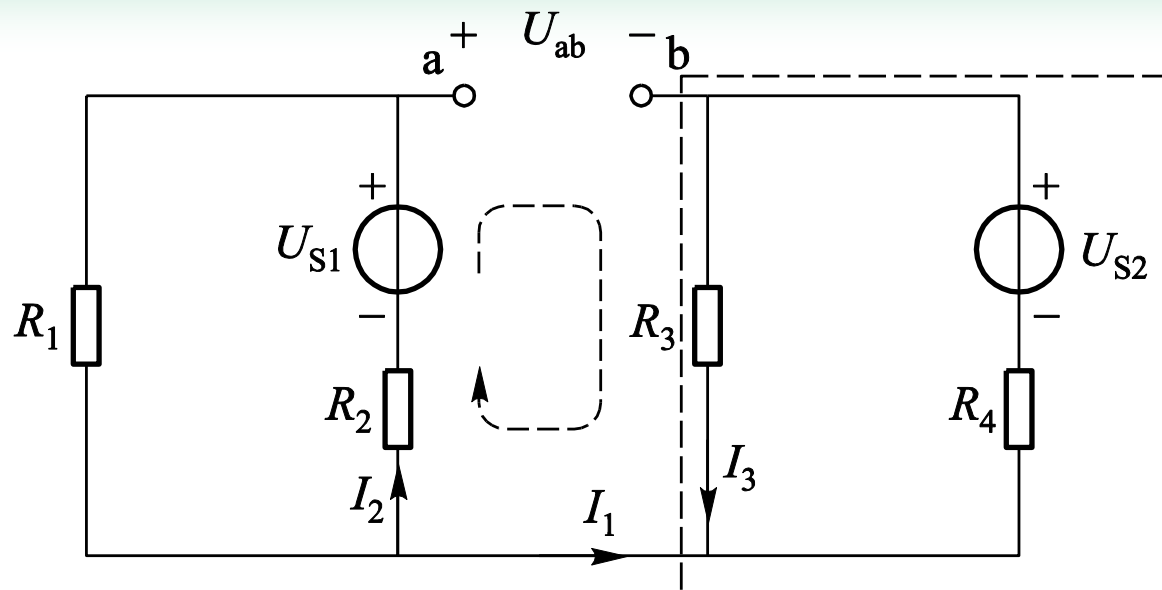
$$R_3 = 10\Omega, R_4 = 15\Omega$$

【解】 根据KCL的推广可得：

$$I_1 = 0\text{A}$$

对电路左右两边两个闭合回路应用欧姆定律和KVL可得：

$$I_2 = \frac{U_{S1}}{R_1 + R_2} = \frac{12}{12 + 18} = 0.4\text{A} \quad I_3 = \frac{U_{S2}}{R_3 + R_4} = \frac{5}{10 + 15} = 0.2\text{A}$$



$$U_{S1} = 12\text{V}, U_{S2} = 5\text{V},$$

$$R_1 = 12\Omega, R_2 = 18\Omega,$$

$$R_3 = 10\Omega, R_4 = 15\Omega$$

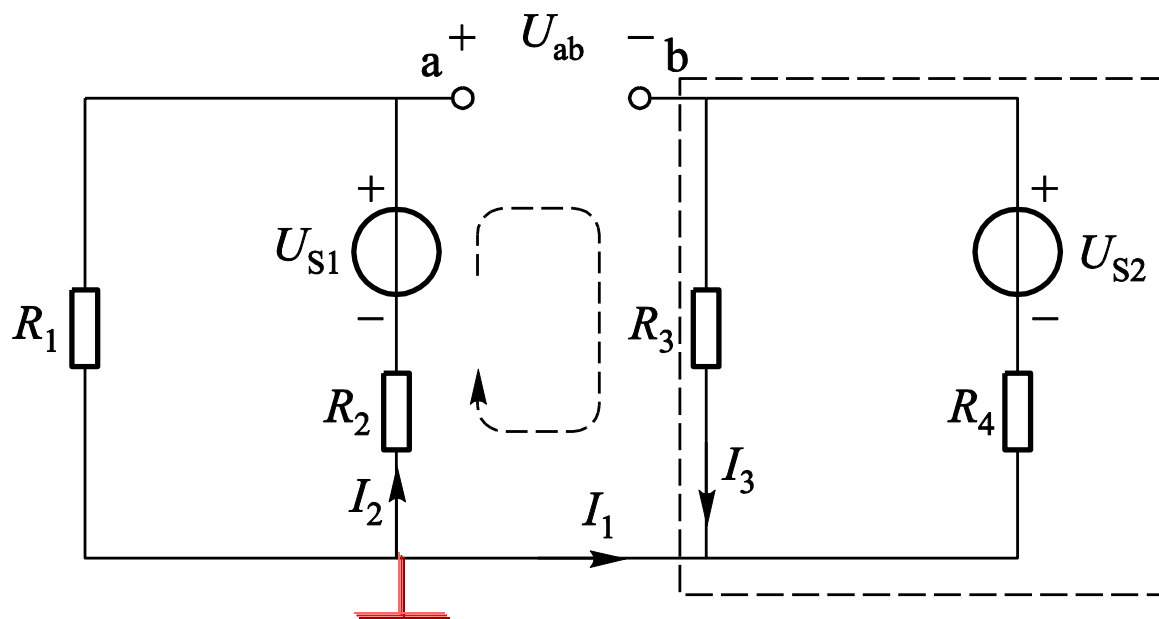
对电路中间的开口电路列KVL:

$$U_{ab} + I_3 R_3 + I_2 R_2 - U_{S1} = 0$$

由此可得:

$$U_{ab} = U_{S1} - I_3 R_3 - I_2 R_2 = 12 - 0.2 \times 10 - 0.4 \times 18 = 2.8\text{V}$$

思考：是否有其他方法求  $U_{ab}$  ？



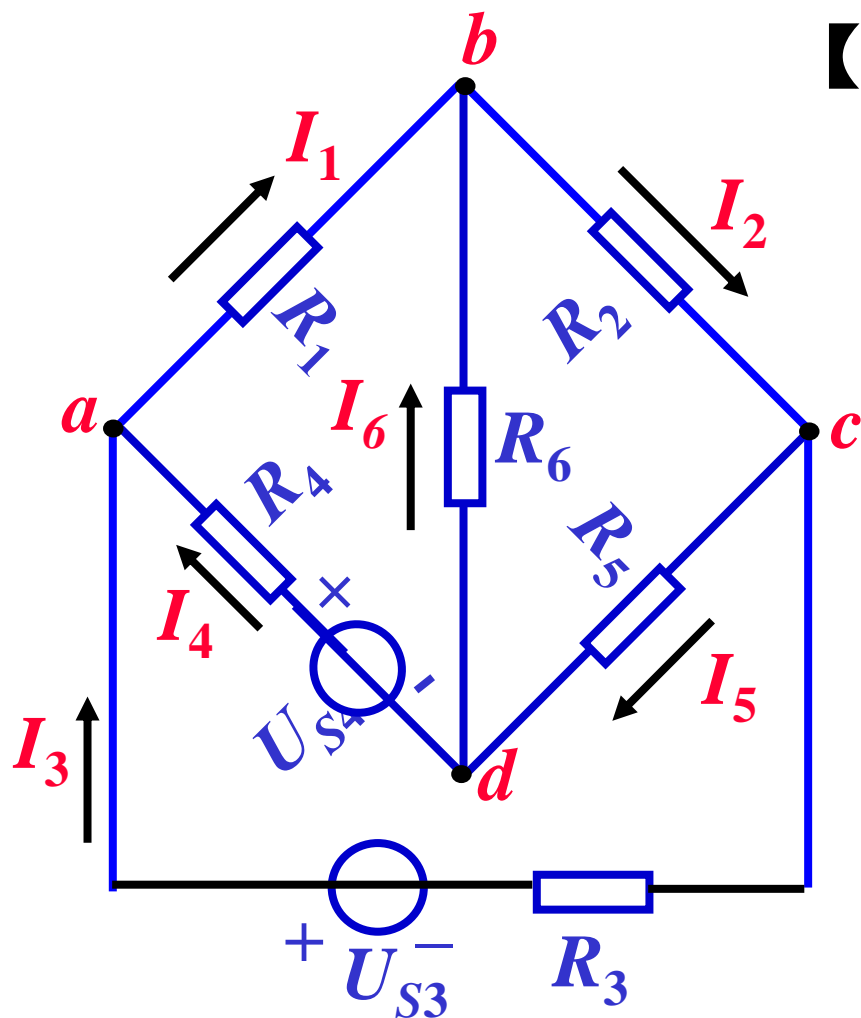
$$V_a = I_2 R_1 = 0.4 \times 12 = 4.8 \text{V}$$

$$V_b = I_3 R_3 = 0.2 \times 10 = 2 \text{V}$$

$$\begin{aligned} U_{ab} &= V_a - V_b \\ &= 4.8 - 2 = 2.8 \text{V} \end{aligned}$$

**【例 1.6.4】**试说出下图电路中有多少条支路、多少个结点、多少个回路？

**【解】**



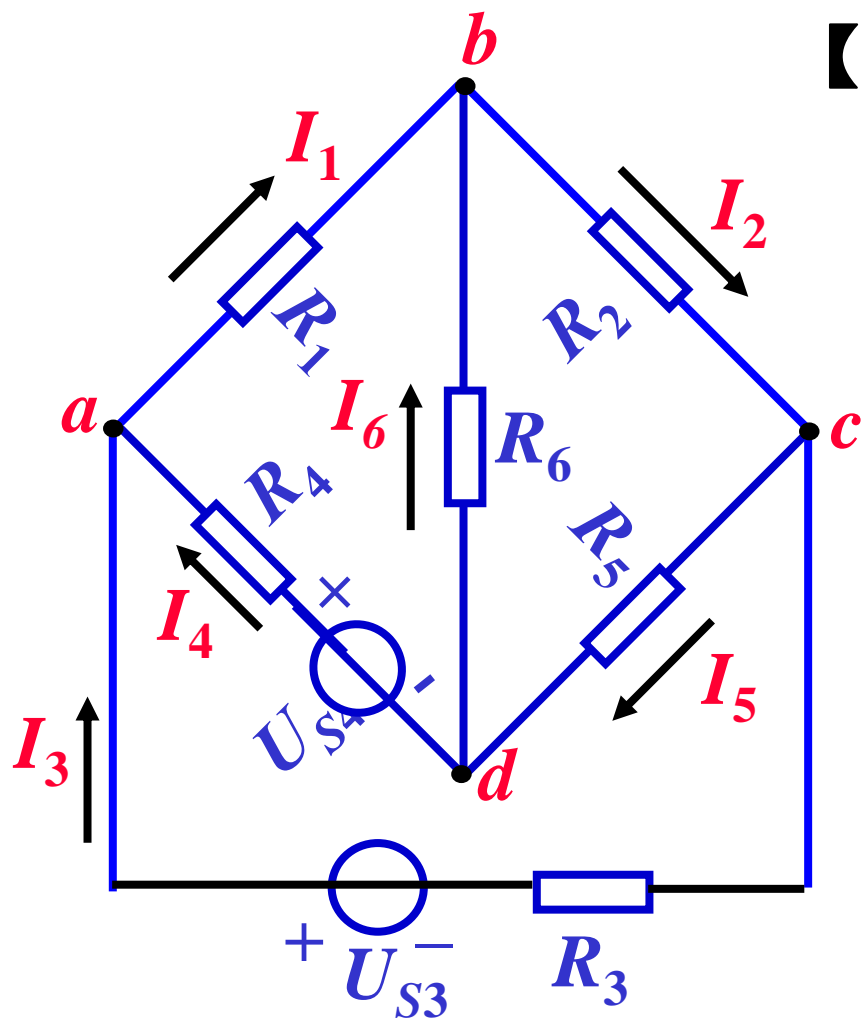
支路:  $ab$ 、 $ad$ 、...  
(共6条)

结点:  $a$ 、 $b$ 、...  
(共4个)

回路:  $abda$ 、 $bcdb$ 、  
...  
(共7个)

# 【例 1.6.5】列结点电流方程和回路电压方程

【解】



# 第 1 章

# 结 束

# 3月11日课程预习内容

中国大学MOOC 《电工学》 吴建强老师等

<https://www.icourse163.org/course/HIT-1001998009>

**1.4 功率与能量**

**1.8 基尔霍夫电流定律**

**1.9 基尔霍夫电压定律**



# 3月16日课程预习内容

## 课本

### 2.1 电阻电路的等效变换

### 2.2 实际电源两种模型的等效变换

中国大学MOOC 《电工学》 吴建强老师等

<https://www.icourse163.org/course/HIT-1001998009>

### 1.11 电源等效变换法