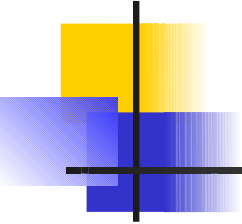




电工技术基础

- 
-
- 第1章 电路的基本概念和基本定律
 - 第2章 直流电阻电路的分析
 - 第3章 正弦交流电路



第1章 电路的基本概念和基本定律

- 1.1 电路及其组成
- 1.2 电路的基本物理量
- 1.3 电阻元件和欧姆定律
- 1.4 电能与电功率
- 1.5 电路的三种工作状态
- 1.6 电源
- 1.7 基尔霍夫定律



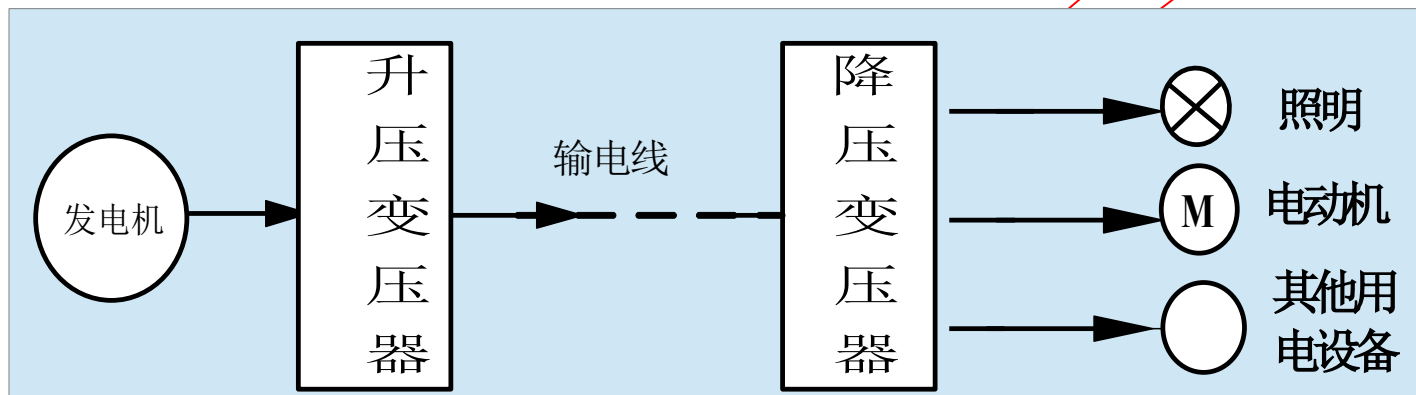
1.1 电路及其组成

电路：某些电工设备或电器元件按一定方式连接起来的电流通路。

组成：电源（信号源）、中间环节和负载

电路的组成及作用

电能的传输与
转换

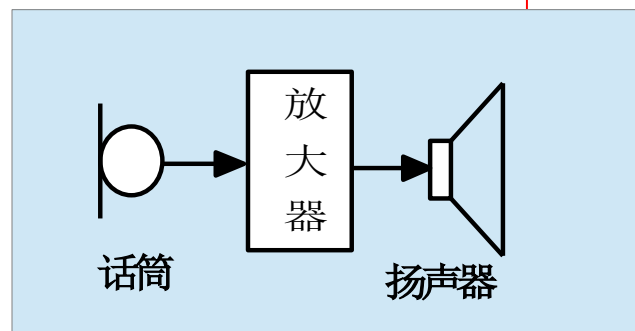


电力系统

信号的传递和处
理

电路的组成：

1. 电源（信号源）
2. 负载
3. 中间转换环节



扩音机

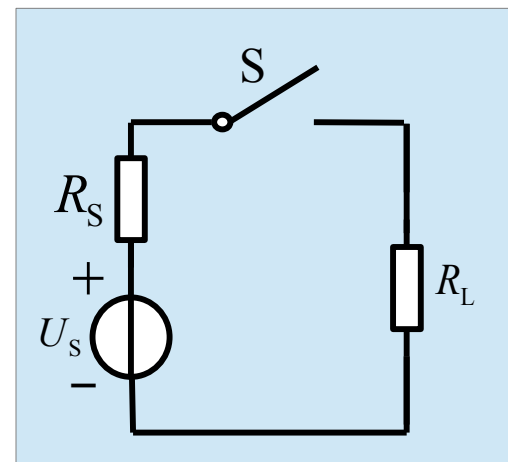
电路模型



手电筒



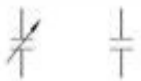
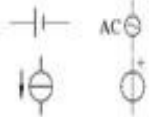
内部电路



电路模型

电路模型：抽象的几何理想电气元件按原电路连接方式连接的电流通路。

电源或信号源提供的电压或电流称为**激励**；
在激励作用下电路各部分产生的电压或电流称为**响应**。
电路分析：在已知电路模型结构和元件参数条件下，
讨论激励与响应之间的关系。

名 称	文字符号	图 形 符 号	实 际 电 器
电阻	R		电炉,灯泡,扬声器等
电感	L		整流器,变压器、电机等
电容	C		电容器
电源	U_s		干电池、电压源、电流源等
接地			接地体
开关	S		单相开关
熔断器	FU		熔丝



1.2 电路的基本物理量

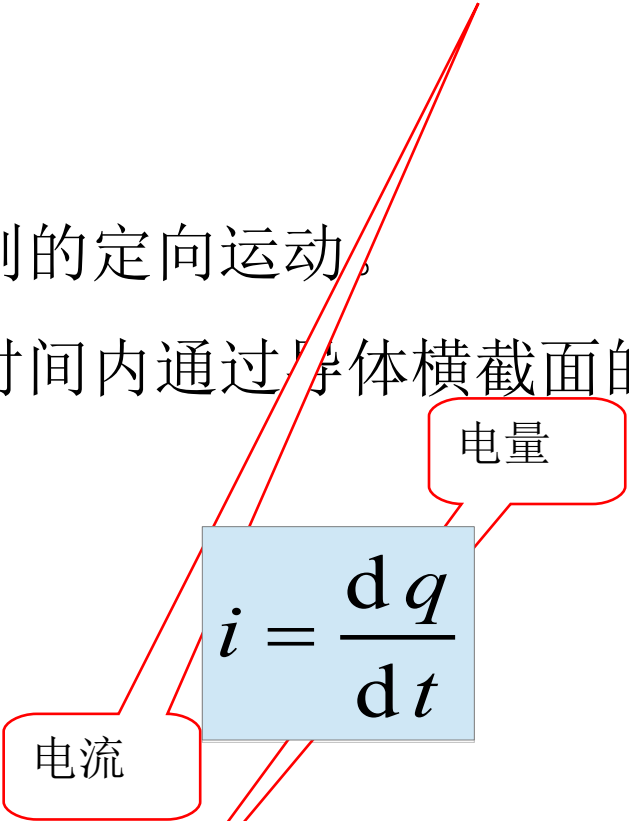
电路中的基本物理量是电流、电压（电位差）、电位、电动势、参考方向。

电流

1. 电流的形成

电流是正电荷有规则的定向运动。

电流的大小为单位时间内通过导体横截面的电量。


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

电流

电量



1.2 电路的基本物理量

$i \rightarrow$ 交流电流 $I \rightarrow$ 直流电流

电流的单位：安培（A）

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}, \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

2. 电流的方向

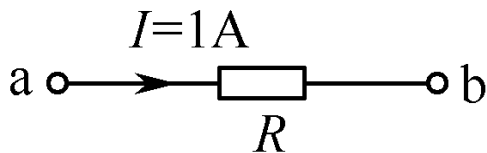
习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向，因此电流的方向实际上与电子移动的方向相反。



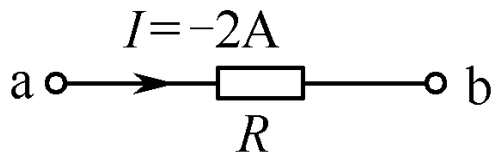
在分析和计算较为复杂的电路时，经常会遇到某一电流的实际方向难以确定的问题，这时可先任意假定电流的参考方向，然后根据电流的参考方向列方程求解。

如果计算结果 $I > 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向相同；

如果计算结果 $I < 0$ ，表明电流的实际方向与参



(a)参考方向与实际方向相同



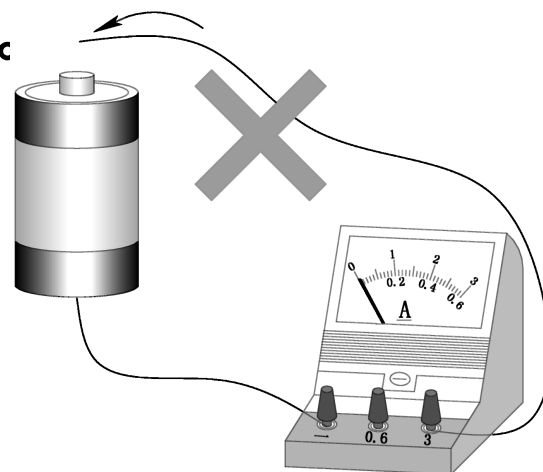
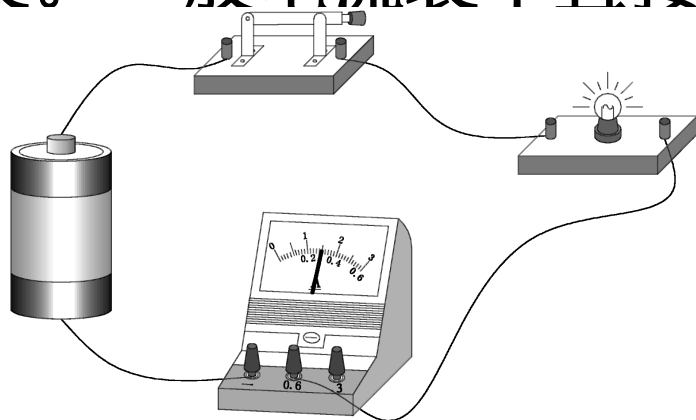
(b)参考方向与实际方向相反

电流的测量

(1) 对交、直流电流应分别使用交流电流表和直流电流表测量。

(2) 电流表必串接到被测量的电路中。

(3) 直流电流表表壳接线柱上标明的“+”、“-”记号，应和电路的极性相一致，不能接错，否则指针要反转，既影响正常测量，也容易损坏电流表。一般电流表不直接接电源。





(4) 要合理选择电流表的量程。

每个电流表都有一定的测量范围，称为电流表的量程。

一般被测电流的数值在电流表量程的一半以上，读数较为准确。因此在测量之前应先估计被测电流大小，以便选择适当量程的电流表。

若无法估计，可先用电流表的最大量程挡测量，当指针偏转不到 $1/3$ 刻度时，再改用较小挡去测量，直到测得正确数值为止。

1.2 电路的基本物理量

电压

物理学中电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，称为 a、b 两点间的电压，用 U_{ab} 表示。电压单位的名称是伏特，简称伏，用 V 表示。

电功

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

电压

$u \rightarrow$ 交流电压 $U \rightarrow$ 直流电压



电压也称之为电位差

电位

设电场中的某点 **o** 为参考点，电场力将单位正电荷 **q** 由电场中的 **a** 点移动到参考点所做的功，就称为 **a** 点的电 V_{ao} ，用 V_{ao} 表示；同理， **b** 点的电位用 V_{bo} 表示。

在此规定下，参考点本身的电位为零，即 $V_o = 0$ 则

$$\begin{aligned} V_{ao} &= V_a \\ V_{bo} &= V_b \end{aligned}$$



电路中任意两点之间的电位差就等于这两点之间的电压，即 $U_{ab} = V_a - V_b$ ，故电压又称**电位差**。

注意

电路中某点的电位与参考点的选择有关，但两点间的电位差与参考点的选择无关。

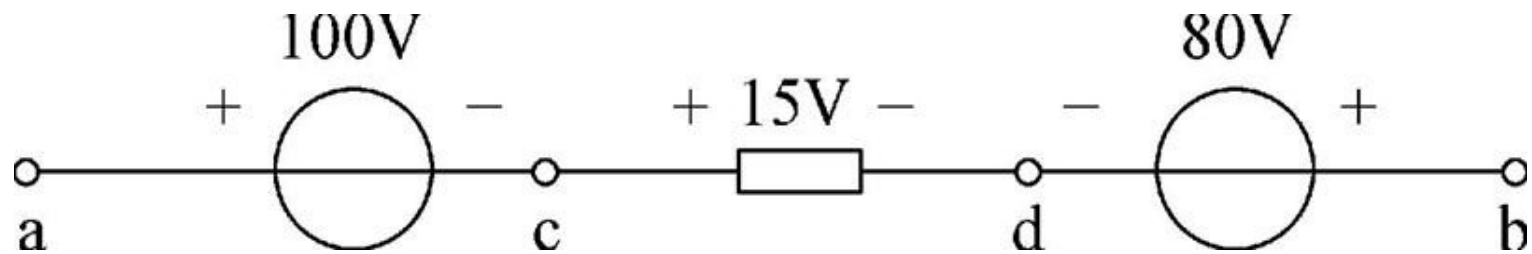


图 1-7 例 1-1 图

解： 1) 取 $V_a=0$ 由图可知： U_{ad}

2) 取 $V_d=0$ ，再由图可知： U_{ad}

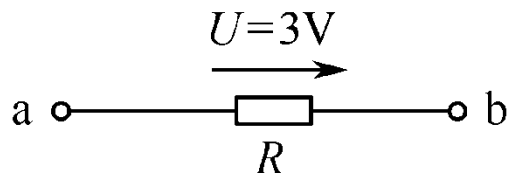


电压方向规定为高电位指向低电位，即电压降落的方向。

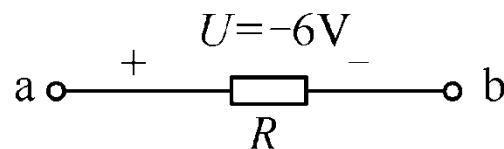
电压参考方向

如果计算结果 $U > 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向相同；

如果计算结果 $U < 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向相反。

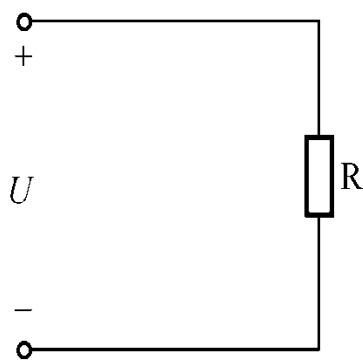


(a)参考方向与实际方向相同

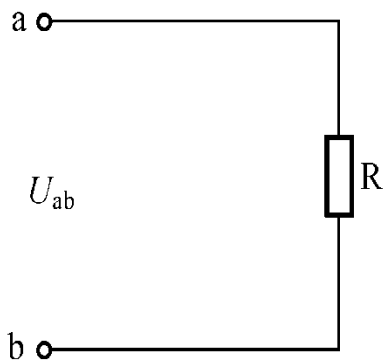


(b)参考方向与实际方向相反

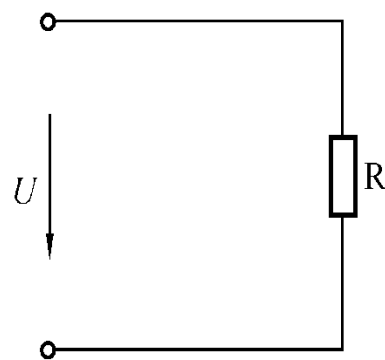
电压参考方向的三种表示



(a)

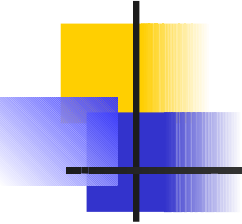


(b)



(c)

正负号，下标 a 、 b 和箭头都是表示电位降低的方向。



电动势

电源将正电荷从电源负极经电源内部移到正极的能力用**电动势**表示，电动势的符号为 E ，单位为 V 。

电动势的方向规定为在电源内部由**负极指向正极**。

对于一个电源来说，既有电动势，又有端电压。电动势只存在于电源内部；而端电压则是电源加在外电两端的电压，其方向由正极指向负极。

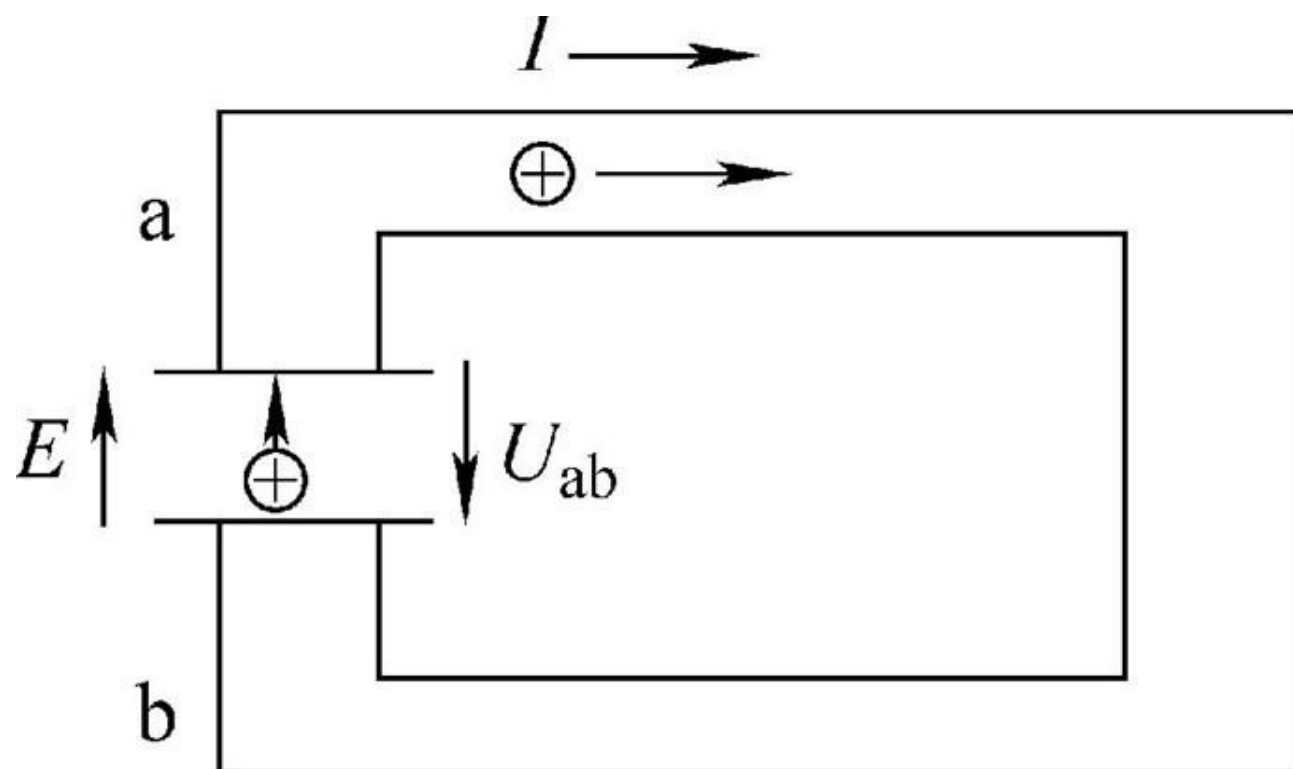
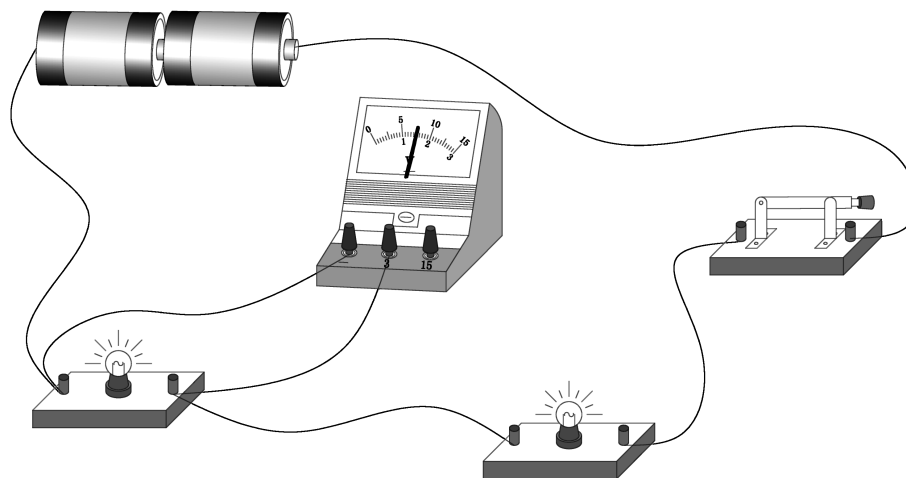


图 1-5 电压与电动势

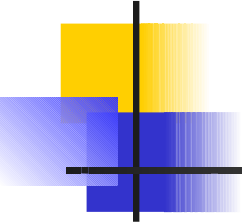


电压的测量

- (1) 对交、直流电压应分别采用交流电压表和直流电压表测量。
- (2) 电压表必须并联在被测电路的两端。
- (3) 直流电压表表壳接线柱上标明的“+”“—”记号，应和被测两点的电位相一致，即“+”端接高电位，“—”端接低电位，不能接错，否则指针要反转，并会损坏电压表。



(4) 合理选择电压表的量程，其方法和电流表相同。



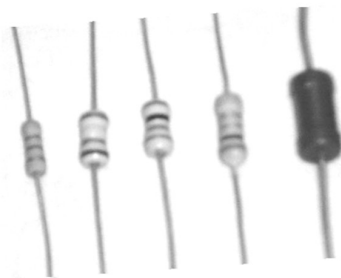
总结：

电路中的基本物理量是电流、电压
(电位差、电动势、参考方向)。

1.3 电阻元件和欧姆定律

1.3.1 电阻元件

常用的电阻元件有线性电阻、非线性电阻及热敏电阻等。



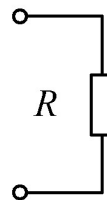
(a) 色环电阻



(b) 电阻排



(c) 贴片电阻



(d) 电阻的符号

线性电阻的阻值是常数，其值由其制作的材料决定。
对于长度为 l 、横截面积为 s 的均匀介质，其电阻为

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

电阻率



1.3 电阻元件和欧姆定律

ρ 称为材料的**电阻率**，电阻率的大小反映了物体的导电能力。

电阻率小、容易导电的物体称为**导体**，电阻率大，不容易导电的物体称为**绝缘体**，导电能力介于导体和绝缘体之间的物体称为**半导体**。

各种材料的电阻率都随温度而变化。

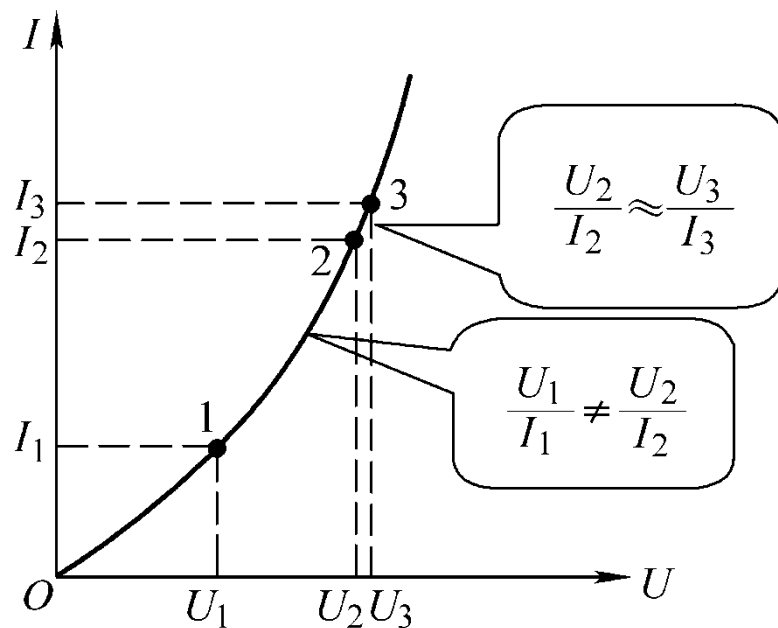
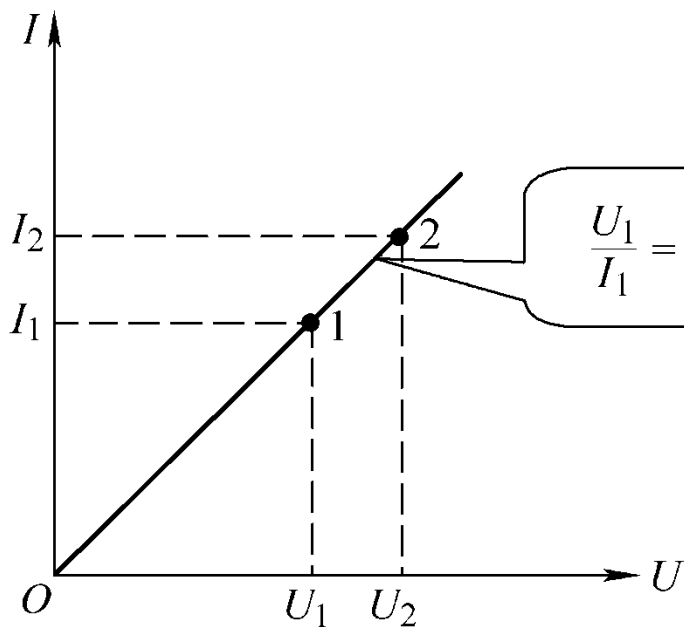
利用某些材料对温度的敏感特性，可以制成**热敏电阻**。

1.3 电阻元件和欧姆定律

如果以电压为横坐标，电流为纵坐标，可画出电阻的 U/I 关系曲线，即**伏安特性曲线**。

电阻元件的伏安特性曲线是直线时，称为**线性电阻**，其电阻值可认为是不变的常数。

如果不是直线，则称为**非线性电阻**。





1.3 电阻元件和欧姆定律

用万用表测量电阻

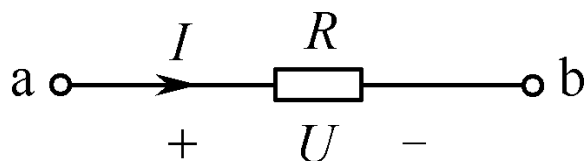
测量时注意以下几点：

1. 准备测量电路中的电阻时应先切断电源，切不可带电测量。
2. 首先估计被测电阻的大小，选择适当的倍率挡，然后调零，即将两支表笔相触，旋动调零电位器，使指针指在零位。
3. 测量时双手不可碰到电阻引脚及表笔金属部分，以免接入人体电阻，引起测量误差。
4. 测量电路中某一电阻时，应将电阻的一端断开。

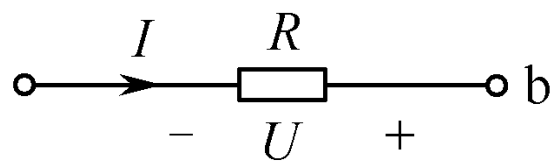


关联参考方向：电压与电流的参考方向相同

非关联参考方向：电压与电流的参考方向相反



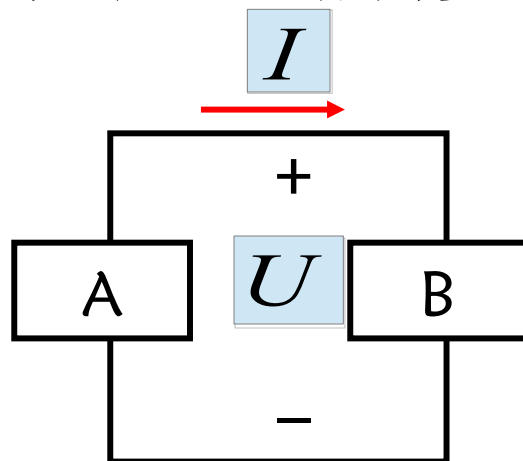
(a)关联参考方向



(b)非关联参考方向

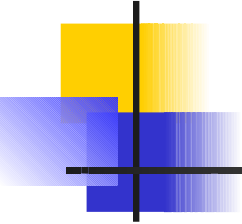
1. 分析电路前必须选定电压和电流的参考方向。
2. 参考方向选定之后，在计算过程中不能改变。

【例 1.3-1】已知元件 A、B 的电压、电流参考方向如图所示。试判断 A、B 元件的电压、电流的参考方向是否关联？



【解】

A 元件的电压、电流参考方向非关联；
B 元件的电压、电流参考方向关联。



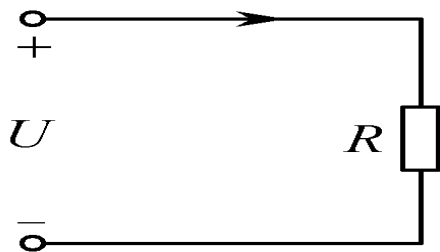
1.3 电阻元件和欧姆定律

欧姆定律

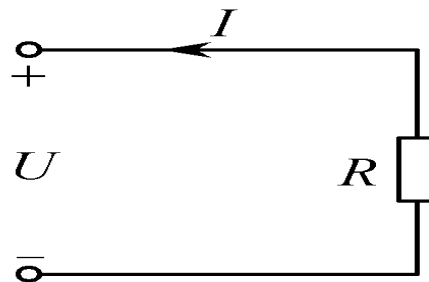
导体中的电流，与导体两端的电压成正比，与导体的电阻成反比。

1.3 电阻元件和欧姆定律

1.3.2 欧姆定律



(a) 关联参考方向



(b) 非关联参考方向

$$U = IR$$

$$U = -IR$$

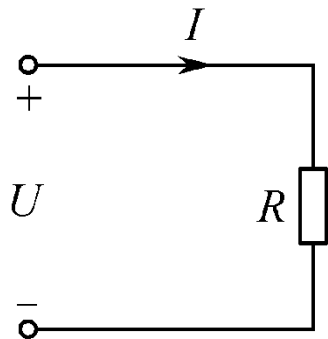
表达式中有两套正负号：

- ① 式前的正负号由 U 、 I 参考方向的关系确定
- ② U 、 I 值本身的正负则说明实际方向与参考方向之间的关系。

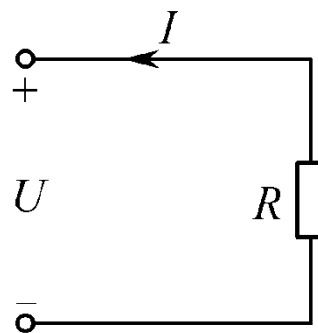
通常取 U 、 I 参考方向相同

1.3 电阻元件和欧姆定律

【例 1.3-2】在图 (a) 和 (b) 中, $U=10\text{V}$, $R=5\Omega$, 求电流 I 。



(a) 关联参考方向



(b) 非关联参考方向

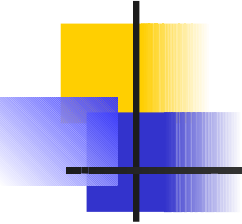
【解】在图 (a) 中, 由欧姆定律, 得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2\text{A}$$

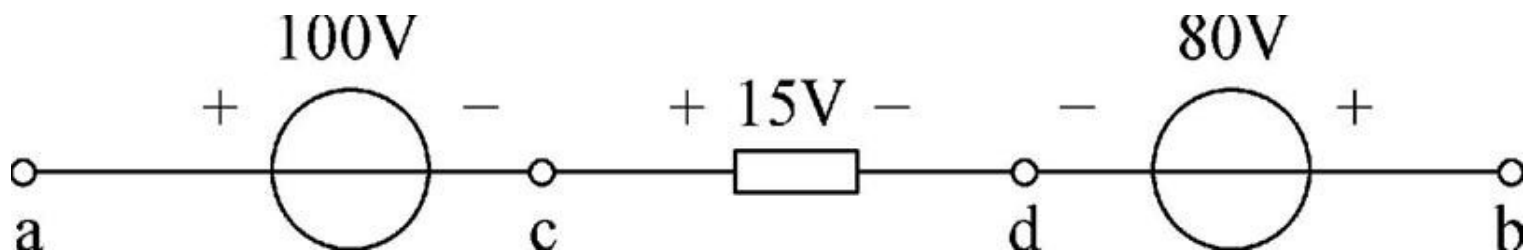
在图 (b) 中, 由欧姆定律, 得

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{10}{5} = -2\text{A}$$

负号表示电流的参考方向与实际方向相反。



一段有源电路的欧姆定律

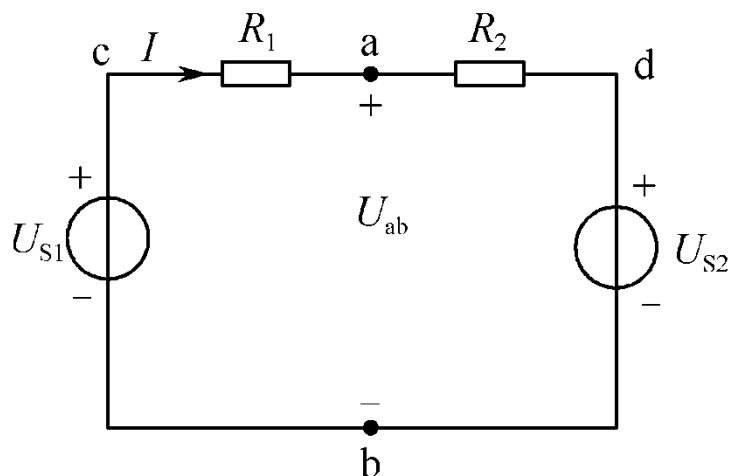


$$U_{ad}=U_{ac}+U_{cd}=100\text{V}+15\text{V}=115\text{V}$$

$$U_{cb}=U_{cd}+U_{db}=15\text{V}+(-80\text{V})=-65\text{V}$$

1.3 电阻元件和欧姆定律

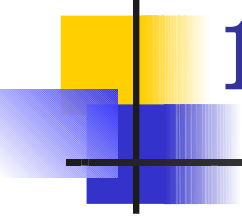
全电路欧姆定律



$$U_{ab} = IR_2 + U_{S2}$$

$$I = (U_{S1} - U_{S2}) / (R_1 + R_2)$$

$$U_{ab} = U_{S1} - IR_1$$



1.3 电阻元件和欧姆定律

全电路欧姆定律

闭合电路中的电流与回路中全部电源的电动势之和成正比，与回路中全部电阻之和成反比。

公式：

$$I = \frac{E}{R + r}$$

1.4 电能与功率

电流所做的功，简称电能，用字母 W 表示

。

电流在一段电路上所作的功等于这段电路

两端的
电压
的乘积

者

1 度电的概念

1000W 的电炉加热 1 小时

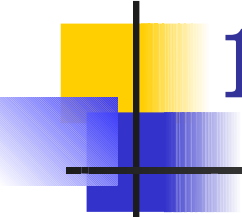
100W 的电灯照明 10 小时

40W 的电灯照明 25 小时。

V
, 即通

h)

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$



1.4 电能与功率

电流在单位时间内所作的功称为**电功率**，用字母 P 表示，单位为 W 。

$$p = \frac{W}{t} = UI$$

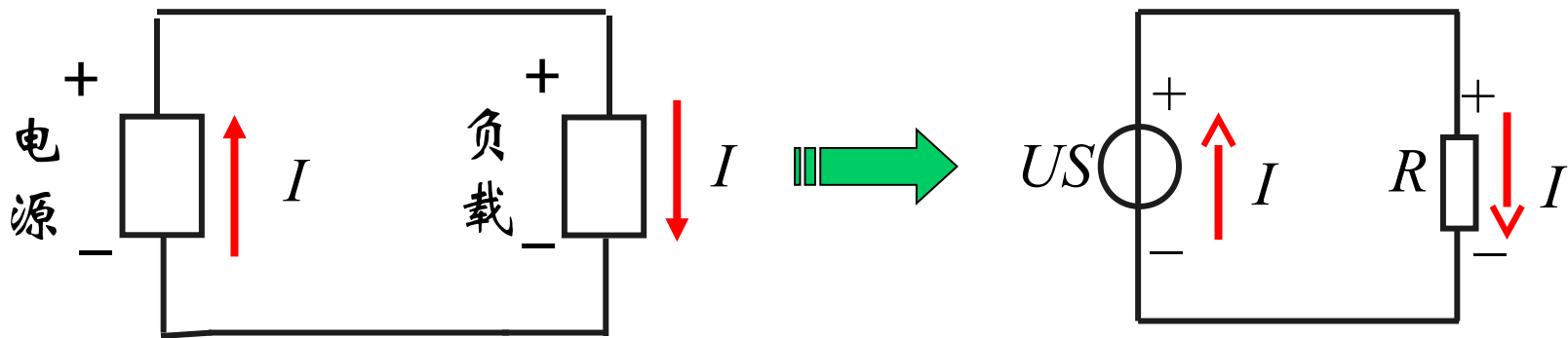
对于纯电阻电路，上式还可以写为

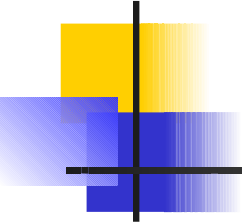
$$P = I^2 R \text{ 或 } P = \frac{U^2}{R}$$

电源与负载的判别

1. 根据 U 、 I 的实际方向判别

电流流过电源时，是从电源的负极到正极；
电流流过负载时，是从负载的高电位到低电位





2. 根据 U 、 I 的参考方向判别

U 、 I 参考方向选择相同，

$P = UI > 0$ ，消耗功率 负载；

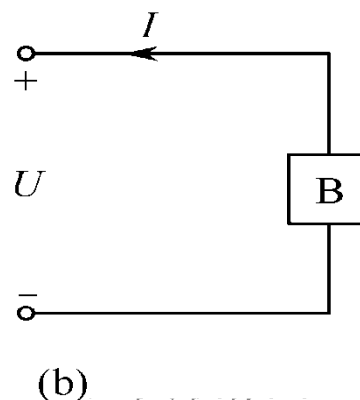
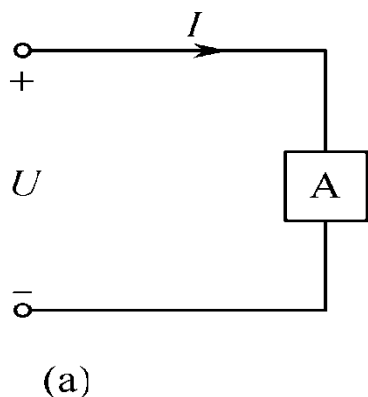
$P = UI < 0$ ，产生功率 电源。

U 、 I 参考方向选择相反，

$P = UI > 0$ ，产生功率 电源；

$P = UI < 0$ ，产生功率 负载。

【例 1.4-1】已知元件 A 和 B 的电压、电流的参考方向如图 (a) 和 (b) 所示。当 $U=10\text{V}$ ， $I=-1\text{A}$ 时，试判断元件 A 和元件 B 在电路中起电源作用还是起负载作用。



【解】 根据电压、电流的实际方向判断元件 A 和元件 B 的性质。

元件 A 起电源作用； 元件 B 起负载作用。

【例 1.4-2】在图中，已知 $U_S=10V$ ， $R_L=5\Omega$ ，计算电源发出的功率与负载吸收的功率。

【解】由于电源的电压与电流的参考方向为非关联参考方向，则

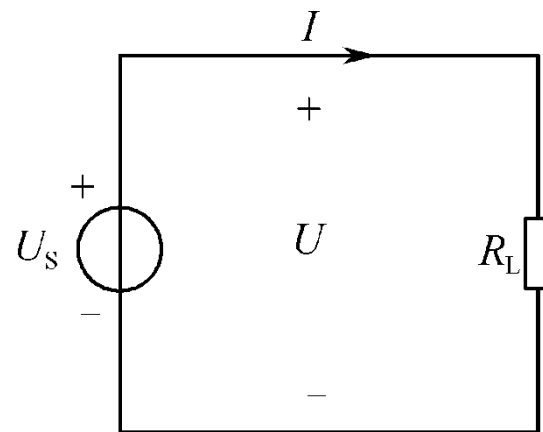
$$P_1 = -U_S I = -10 \times \frac{10}{5} = -20W$$

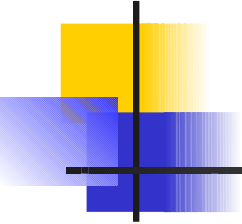
由于负载的电压与电流的参考方向为关联参考方向，则

$$P_2 = UI = 10 \times 2 = 20W$$

可见 $P_1 < 0$ 即电源发出功率；

$P_2 > 0$ 即负载吸收功率。





总结：

欧姆定律

电源与负载的判断

电功率的正负



四、负载的额定值

电气设备安全工作时所允许的最大电流、最大电压分别称为它们的**额定电流**、**额定电压**。额定电压下的电功率称为额定功率；额定功率通常标示在电器设备的铭牌数据上，作为用电器正常工作条件下的最高限值。

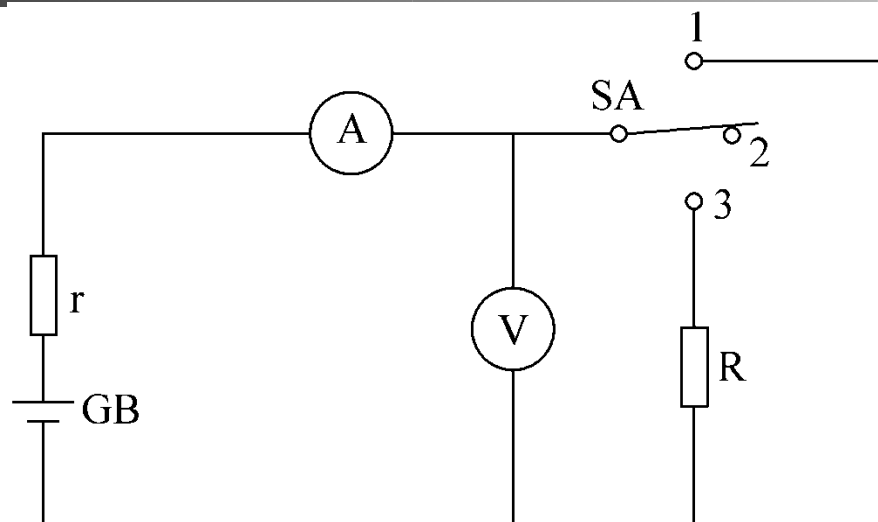
电气设备在额定功率下的工作状态称为**额定工作状态**，也称**满载**；

低于额定功率的工作状态称为**轻载**；

高于额定功率的工作状态称为**过载**或**超载**。

由于过载很容易烧坏用电器，所以一般不允许出现过载。

电路的三种不同状态



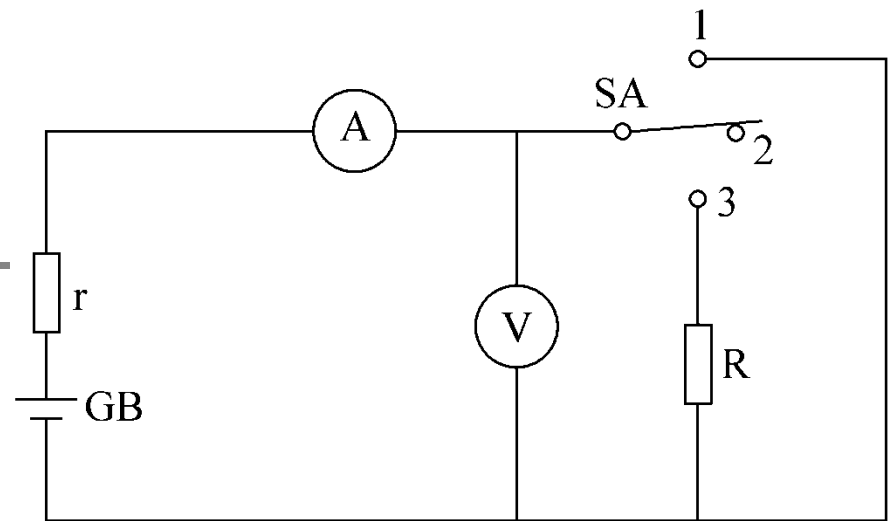
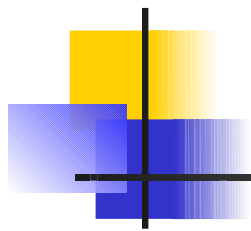
■ 1. 通路

■ 开关 **SA** 接到位置 “**3**” 时，电路处于通路状态。电路中电流为

$$I = \frac{E}{R + r}$$

■ 端电压与输出电流的关系为

$$U_{\text{外}} = E - U_{\text{内}} = E - Ir$$



2. 开路（断路）

■ 开关 **SA** 接到位置 “**2**” 时，电路处于开路状态

。

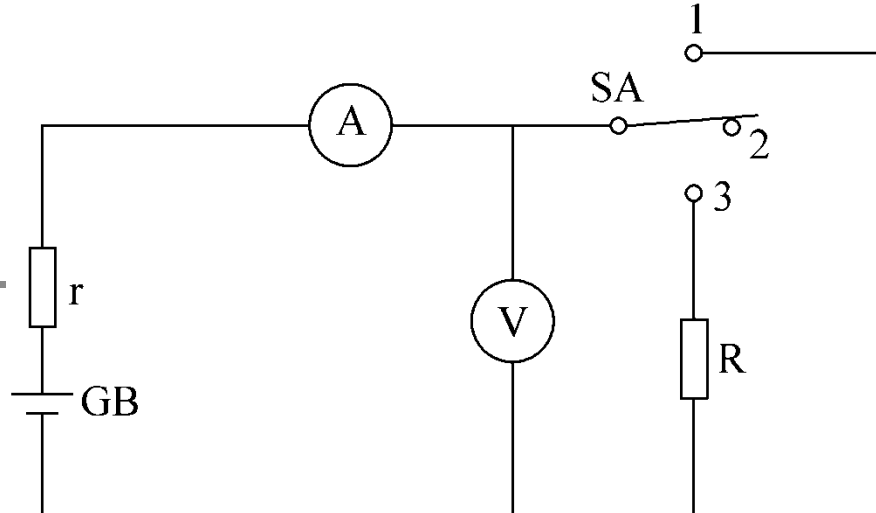
$$I = 0$$

$$U_{\text{内}} = Ir = 0$$

$$U_{\text{外}} = E - Ir = E$$

即：电源的开路电压等于电源电动势。

3. 短路



开关 SA 接到位置“1”时，相当于电源两极被导线直接相连。

电路中短路电流为

$$I_{\text{短}} = E / r$$

由于电源内阻一般都很小，所以短路电流极大。

此时电源对外输出电压

$$U = E - I_{\text{短}} r = 0$$

■ 1.6 电源

电源是一个供能的二端元件。常用的电源有两种形式，即电压源和电流源。电压源向负载提供稳定的电压，而电流源向负载提供稳定的电流。由于这两种电源提供的电压或电流与电路中的电压或电流无关，所以这两种电源又称为独立电源。



(a) 蓄电池
号源



(b) 直流稳压电源



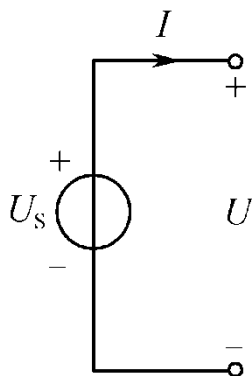
(c) 发电机



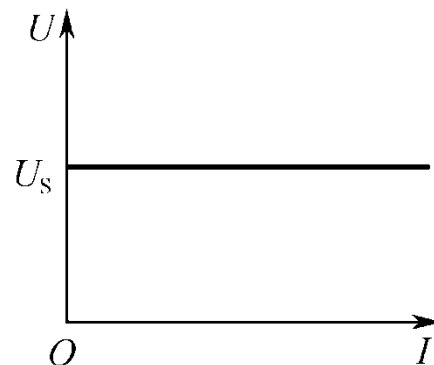
(d) 交流信
号源

1. 理想电压源

能够向负载提供稳定电压的电源又称为理想电压源。理想电压源的特点：它所提供的电压与外接电路无关，即为恒压，所以理想电压源也称恒压源。常用的电池和发电机都可以近似为理想电压源。



(a) 直流理想电压源

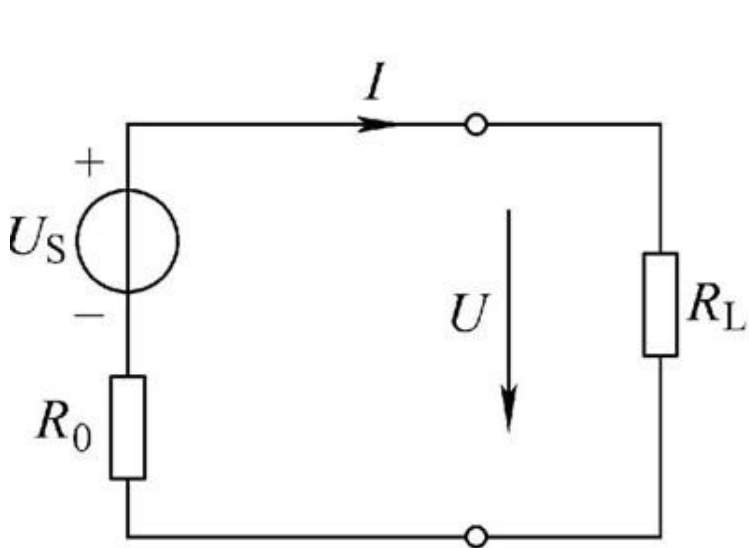


(b) 外特性曲线

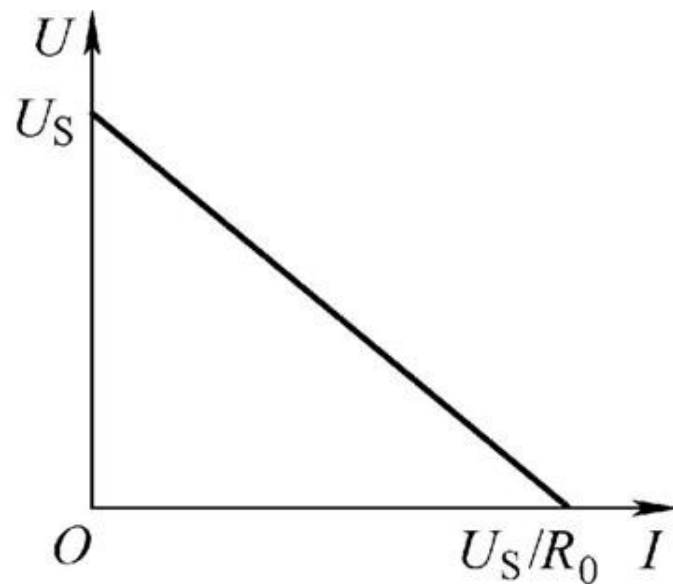
理想电压源提供的电压不随负载电流变化。

1. 实际电压源

实际电压源都含有电动势和内阻 R_0



a) 实际电压源



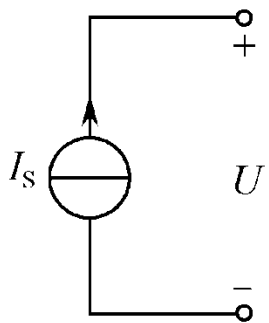
b) 伏安特性

$$U = U_S - IR_0$$

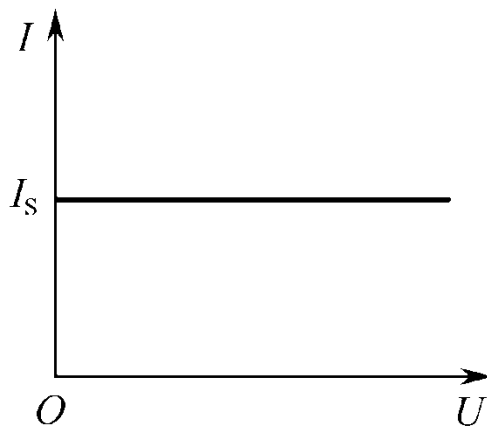
实际电压源是理想电压源与内阻的串联。

2. 理想电流源

能够向负载提供稳定电流的电源又称为理想电流源。
理想电流源的特点：它所提供的电流与外接电路无关，即为恒流，所以理想电流源也称恒流源。



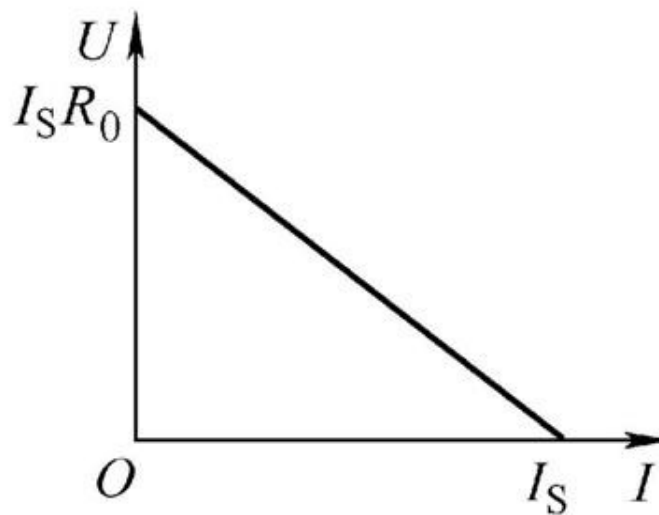
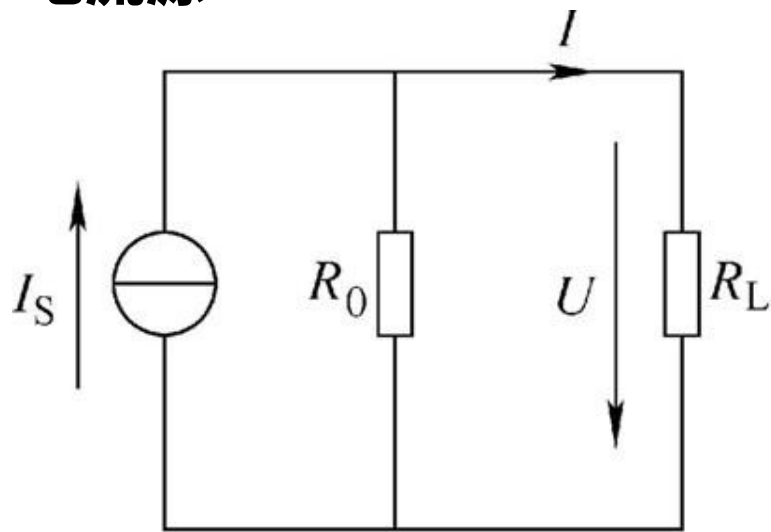
(a) 恒流源的符号



(b) 理想电流源的外特性曲线

理想电流源提供的电流不随负载电压变化

2. 实际电流源



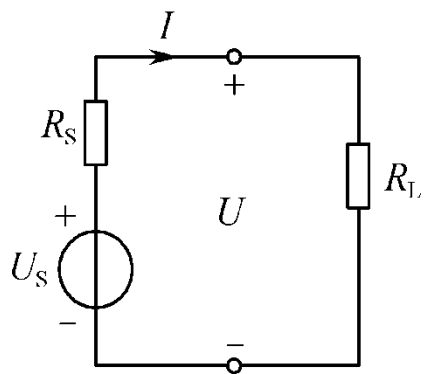
a) 实际电流源

$$I_S = \frac{U}{R_0} + I$$

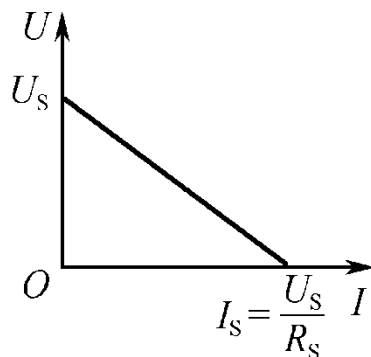
b) 伏安特性

实际电流源是理想电流源与内阻的并联。

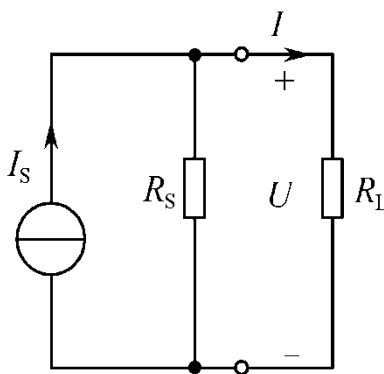
需要注意的是，电压源中的电流和电流源的端电压都由外电路确定。



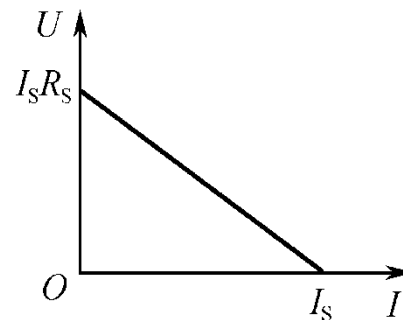
(a) 实际电压源模型



(b) 外特性



(a) 实际电流源模型



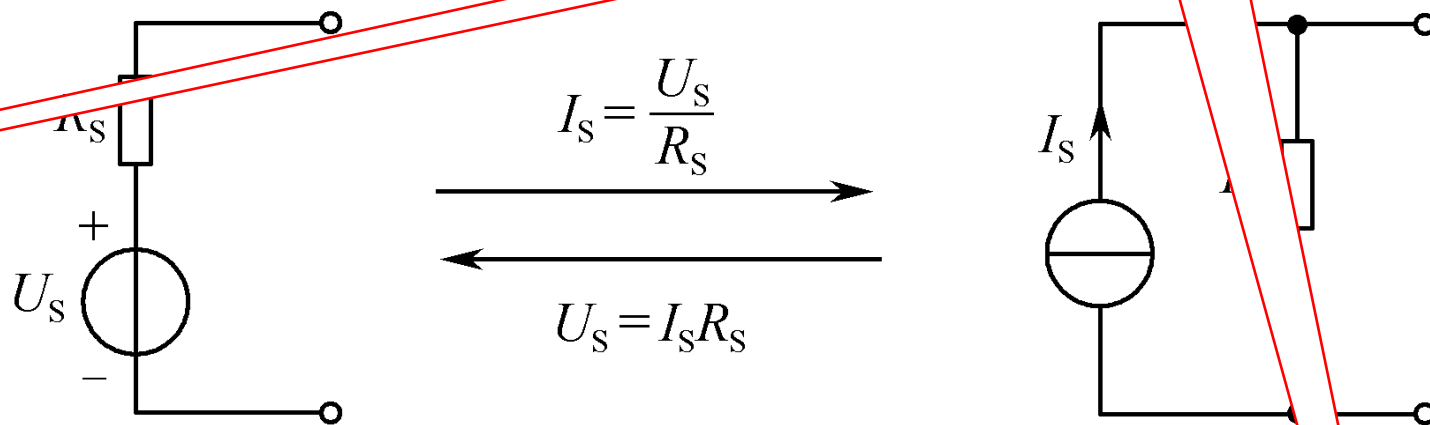
(b) 外特性

从以上两个电源的外特性可见，它们对负载 R_L 的作用，结果是相同的。

在电路分析中，这两种实际电源的电路模型可以等效互换。

电压源与电流源的等效变换：

内阻不变

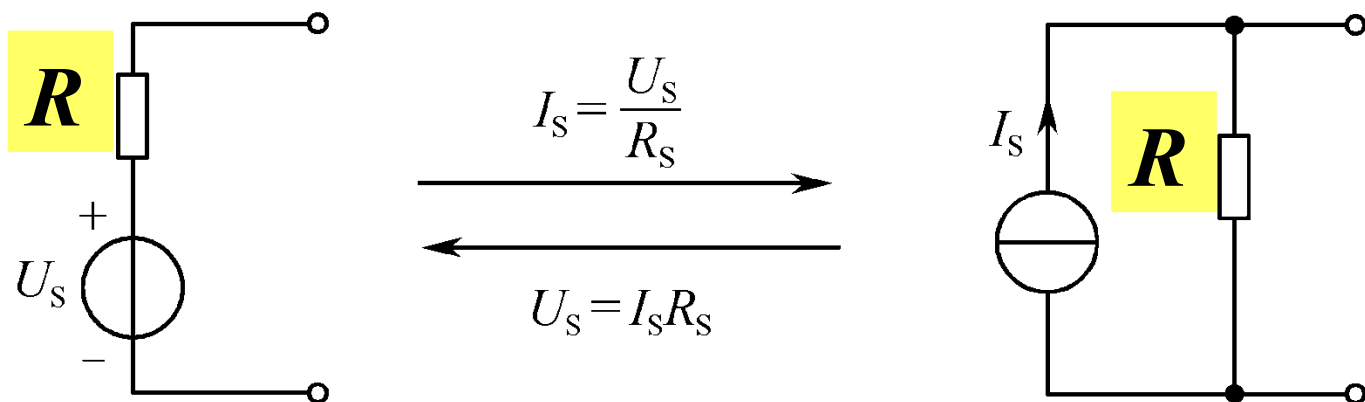


其中，电压源等效为电流源时，电流源的电流 I_S 为

$$I_S = U_S / R_S$$

电流源等效为电压源时，电压源的电压 U_S 为

$$U_S = I_S R_S$$

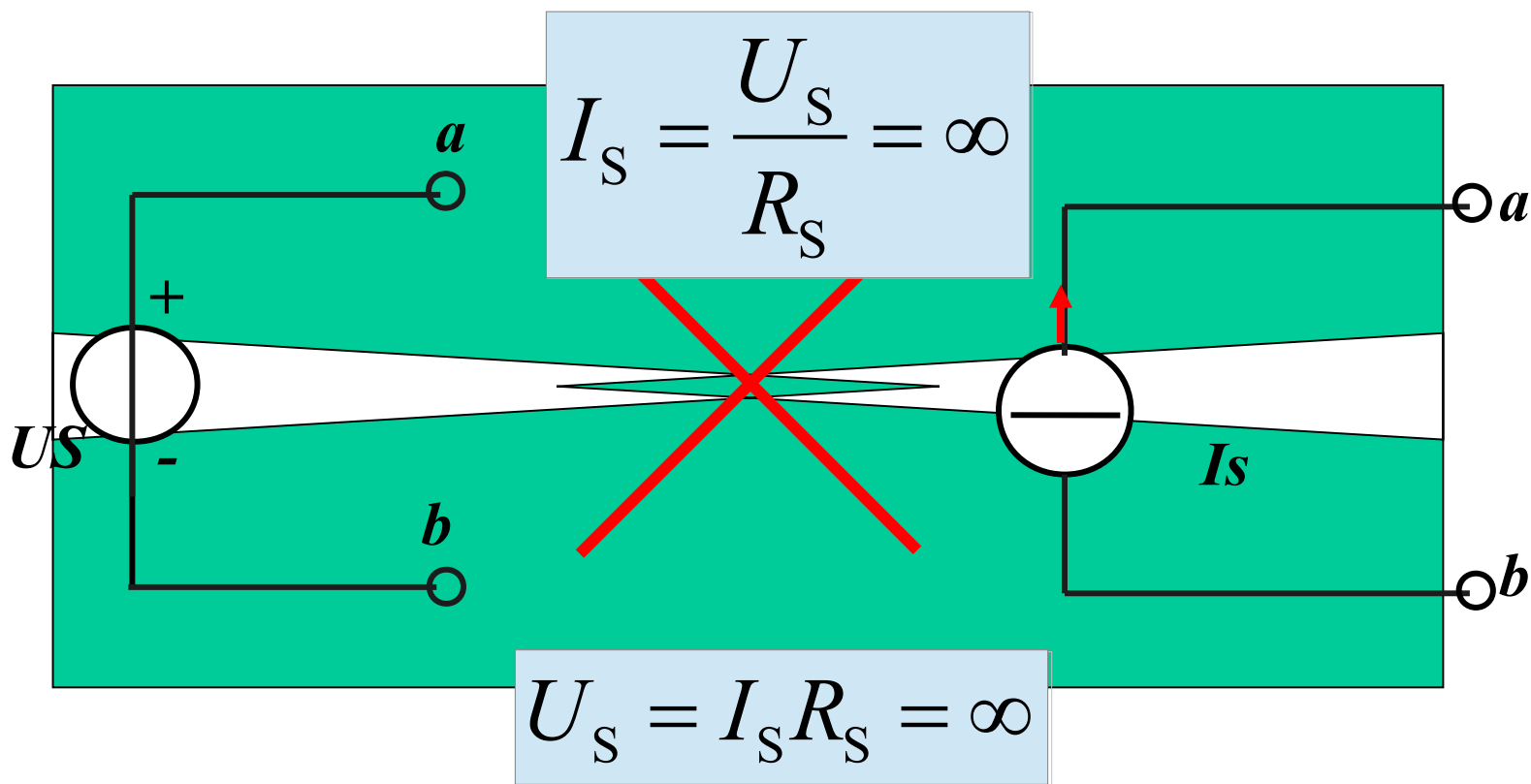


注意

(1) 两电源对外电路等效，但两电源内部不等效；

(2) 要注意电压源的极性与电流源的方向；

(3) 理想电压源和理想电流源不能等效互换。

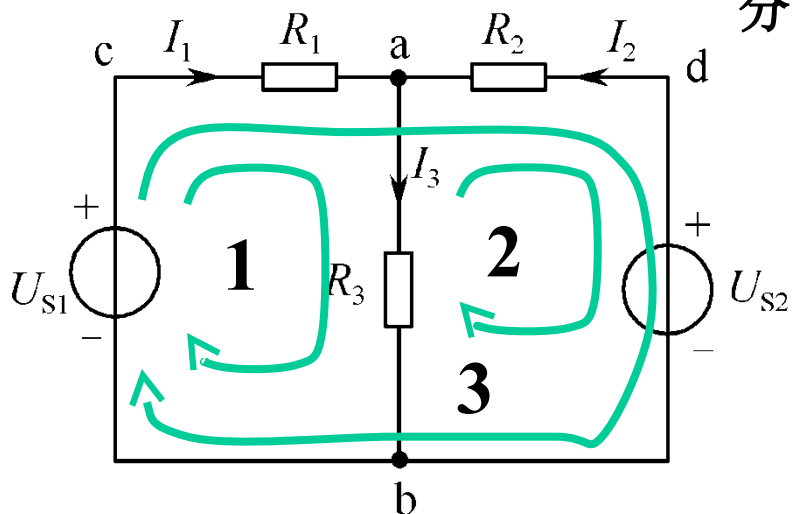


1.7 基尔霍夫定律

1845 年由德国物理学家 G.R. 基尔霍夫 (1824 ~ 1887) 提出。

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law, 简称 KCL) 和基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's Voltage Law, 简称 KVL)。基尔霍夫电流定律描述的是各支路电流之间的关系, 基尔霍夫电压定律描述的是回路中各段电压之间的关系。

1.7.1 支路、结点和回路的概念



支路: 一个或几个二端元件首尾相接中间没有分岔, 使各元件上通过的电流相等。

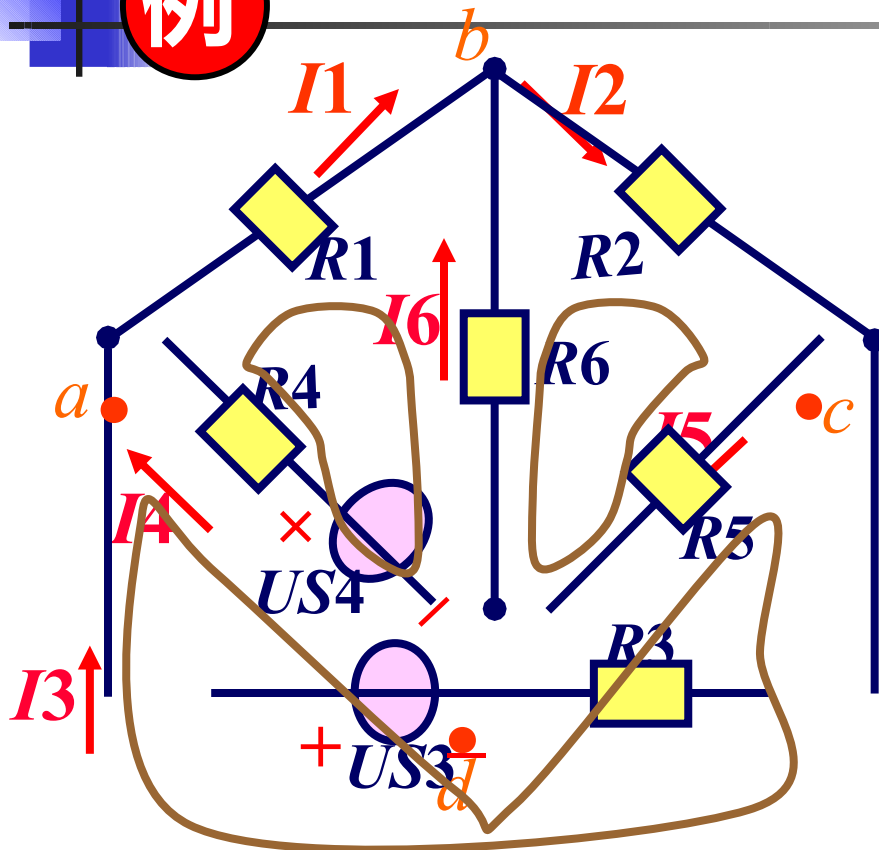
(2) 结点: 三条支路或三条以上支路连接的点。

(3) 回路: 由支路组成的闭合电路。

(4) 网孔: 内部不含支路的回路

° 此电路 3 条支路, 2 个结点, 3 个回路, 2 个网孔。

例



支路：共 ? 条 **6 条**

节点：共 ? 个 **4 个**

回路：共 ? **7 个**

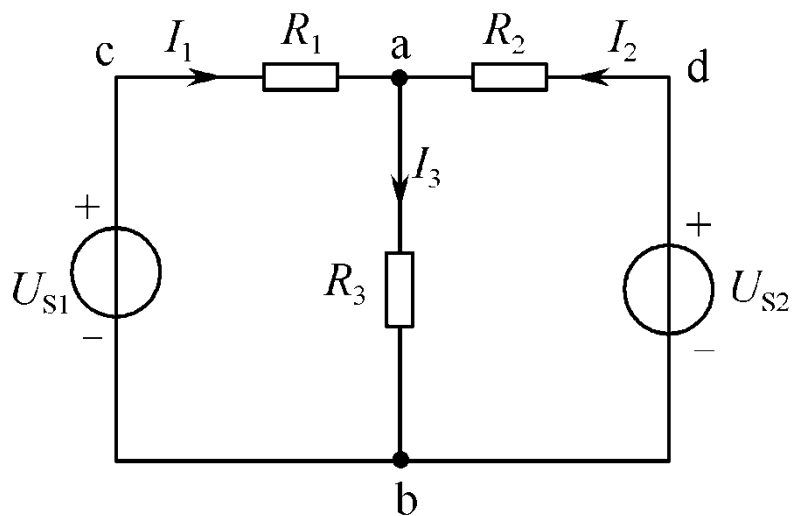
网孔：? 个 有几个网眼
就有
几个网孔

电路中独立回路数 = 网孔数。

1.7 基尔霍夫定律

1.7.2 基尔霍夫电流定律 (KCL)

KCL 也可这样描述：假设进入某节点的电流为正值，离开这节点的电流为负值，则所有涉及这节点的电流的代数和等于零。



在图 中，对结点 a 可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3$$

上式也可写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$\sum I = 0$$

1.7 基尔霍夫定律

【例 1.7-0】 电路某结点如图所示，试列出基尔霍夫电流定律方程。

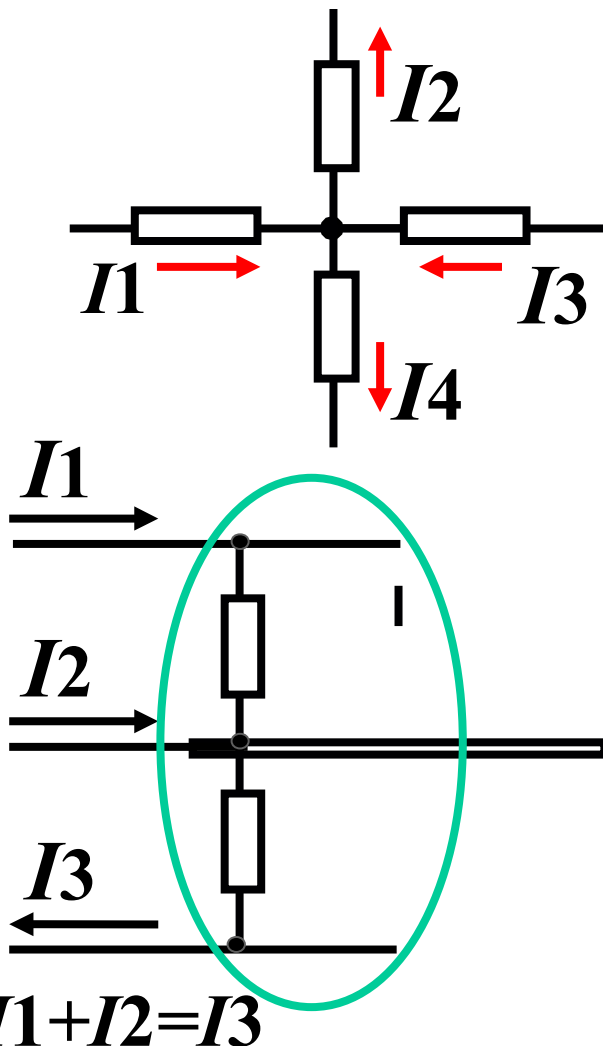
【解】

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

或

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 = 0$$

KCL 不仅适用于电路中的任一结点，也可推广到包围部分电路的任一闭合面。



1.7 基尔霍夫定律

【例 1.7-1】在图中，若 $I_1 = 6\text{A}$ ， $I_3 = 4\text{A}$ ， $I_4 = 2\text{A}$ ， $I_7 = 3\text{A}$ ，求 I_2 、 I_5 、 I_6 、 I_8 。

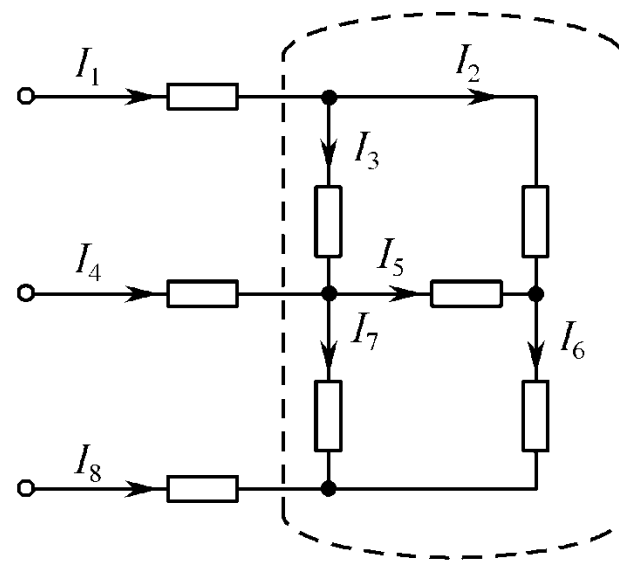
【解】 根据 KCL，得

$$I_2 = I_1 - I_3 = 6 - 4 = 2\text{A}$$

$$I_5 = I_4 + I_3 - I_7 = 2 + 4 - 3 = 3\text{A}$$

$$I_6 = I_2 + I_5 = 2 + 3 = 5\text{A}$$

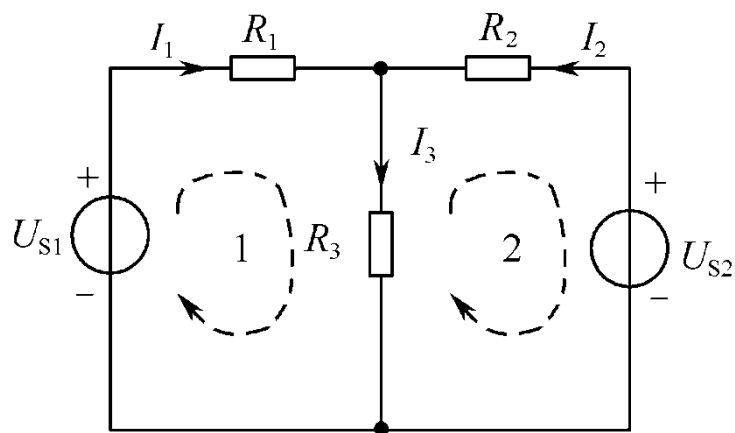
$$I_8 = -I_6 - I_7 = -5 - 3 = -8\text{A}$$



1.7 基尔霍夫定律

1.7.3 基尔霍夫电压定律 (KVL)

对于电路中的任一回路，在任一瞬时沿回路绕行一周，在回路绕行方向上的电位降之代数和等于电位升之代数和。



$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_{S1}$$

电位降

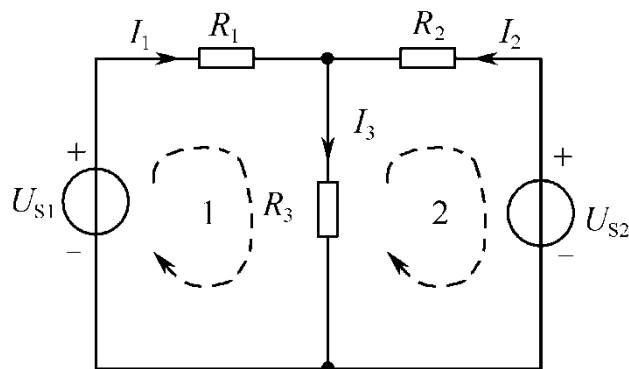
电位升

$$U_{S2} = R_3 I_3 + R_2 I_2$$

电位降

电位升

1.7 基尔霍夫定律



$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_{S1}$$

$$U_{S2} = R_3 I_3 + R_2 I_2$$

上两式也可写成

$$\vec{U}_S = (RI)$$

KVL 也可这样描述 $R_1 I_1 = U_1$ 与 $R_3 I_3 = U_3$ 的 $R_2 I_2 = U_2$ 各, 在任一瞬时沿回路绕行一周, 在回路绕行方向上各段电压的代数和恒等于零。若电压取正号, 那么电压也就取负号。

$$U_1 + U_3 - U_{S1} = 0$$

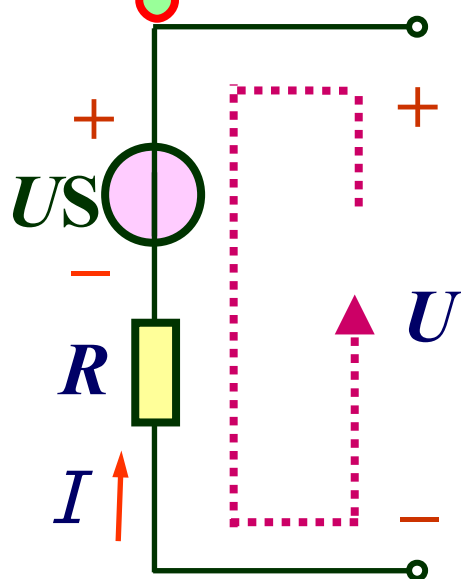
$$U_{S2} - U_3 - U_2 = 0$$

即

$$U = 0$$

1.7 基尔霍夫定律

KVL 不仅适用于闭合回路，也可推广到求解电路中任意两点之间的电压。

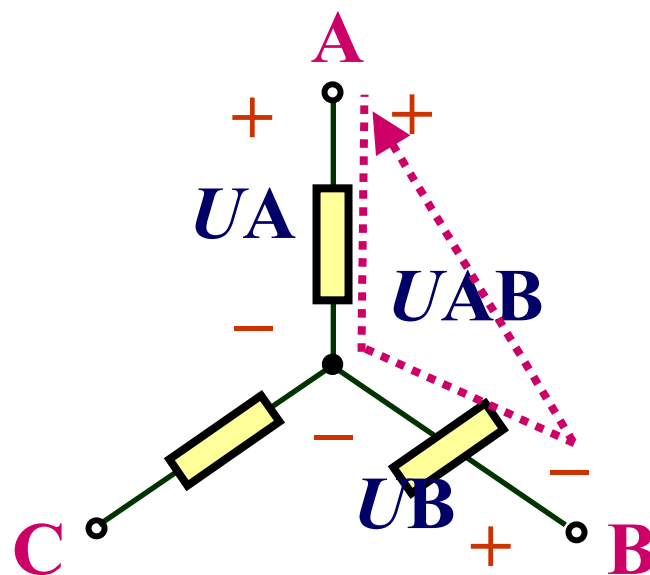


对假想回路列

KVL :

$$U_S - IR - U = 0$$

或写作 $U = U_S - IR$



对假想回路列

$$U_A - U_B - U_{AB} = 0$$

或写作 $U_{AB} = U_A - U_B$

1.7 基尔霍夫定律

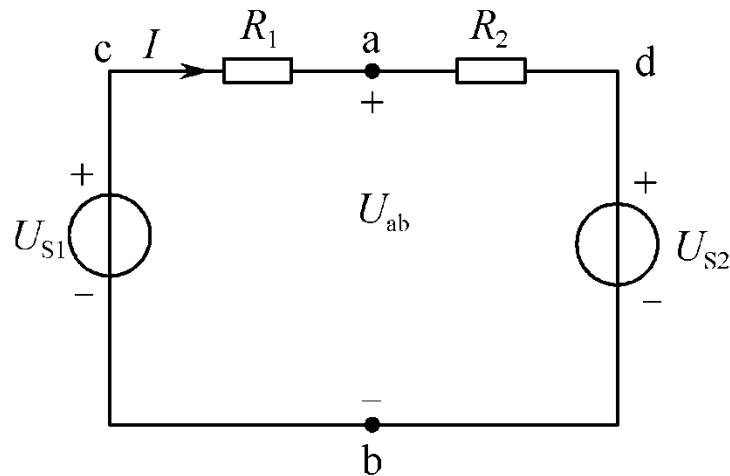
【例 1.7-3】在图中，若 $U_{S1}=10V$ ， $U_{S2}=4V$ ， $R_1=4\Omega$ ， $R_2=6\Omega$ ，求 U_{ab} 。

【解】

由 KVL 列回路电压方程，即

$$R_1 I + R_2 I = U_{S1} - U_{S2}$$

$$I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R_1 + R_2} = \frac{10 - 4}{10} = 0.6A$$



然后在 a 点和 b 点之间假想有一个其端电压等于 U_{ab} 的支路，应用 KVL，得

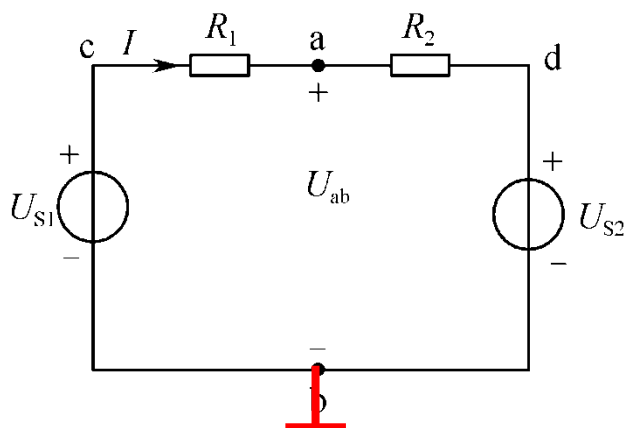
$$U_{ab} = U_{S1} - R_1 I = 10 - 4 \blacklozenge 0.6 = 7.6V$$

或

$$U_{ab} = R_2 I + U_{S2} = 6 \blacklozenge 0.6 + 4 = 7.6V$$

1.7 基尔霍夫定律

此题也可用电位的概念求 U_{ab} 设 b 点为参考点, 即 $V_b = 0$ 。



0 电位点常用接地符号表示, 如图

$$I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R_1 + R_2} = \frac{10 - 4}{10} = 0.6\text{A}$$

a 点的电位就等于 a 点到参考点之间的电压, 即

$$V_a = U_{S1} - R_1 I = 10 - 4 \times 0.6 = 7.6\text{V}$$

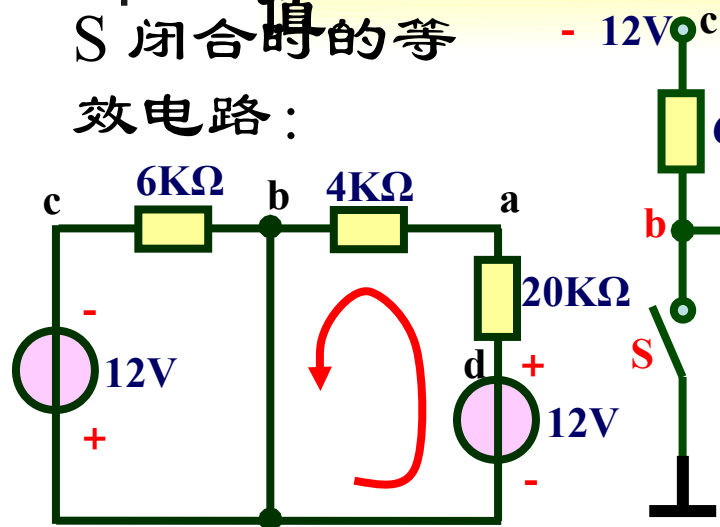
所以

$$U_{ab} = V_a - V_b = V_a = 7.6\text{V}$$

例

求开关 S 打开和闭合时 a 点的电位

S 闭合时的等效电路：

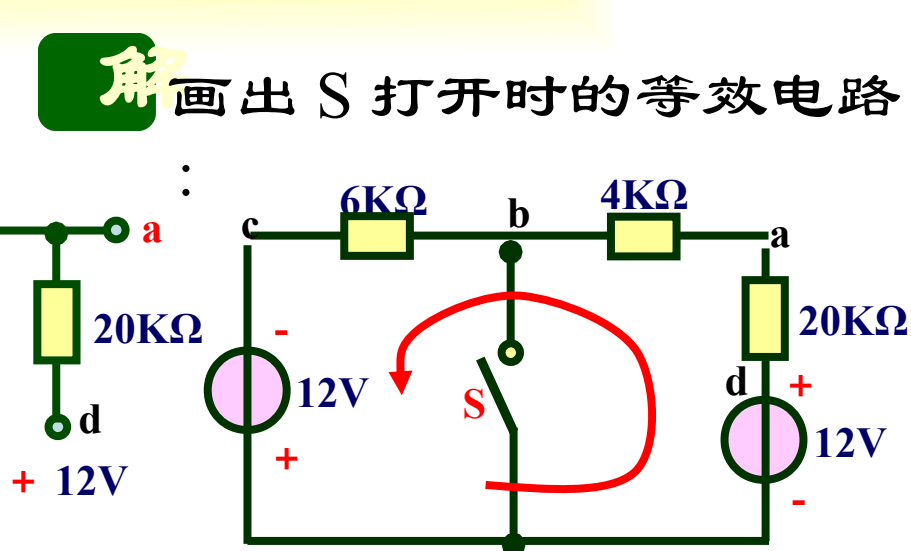


S 闭合时，a 点电位只与右回路有关，其值为：

$$V_a = \frac{12}{4 + 20} \times 4 = 2V$$

解

画出 S 打开时的等效电路

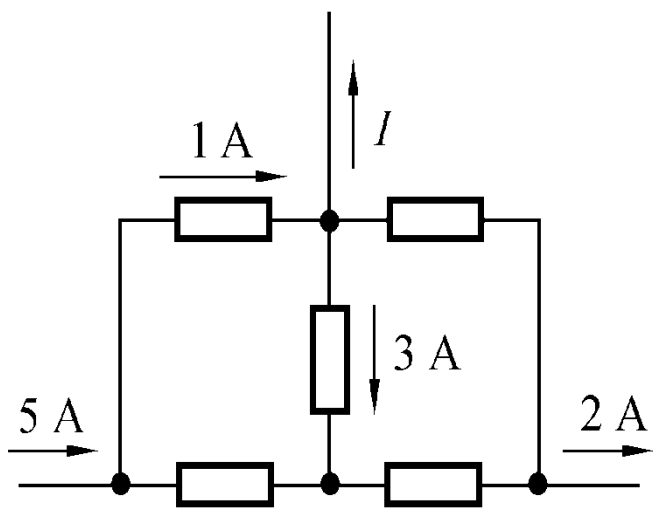


显然，开关 S 打开时相当于一个闭合的全电路，a 点电

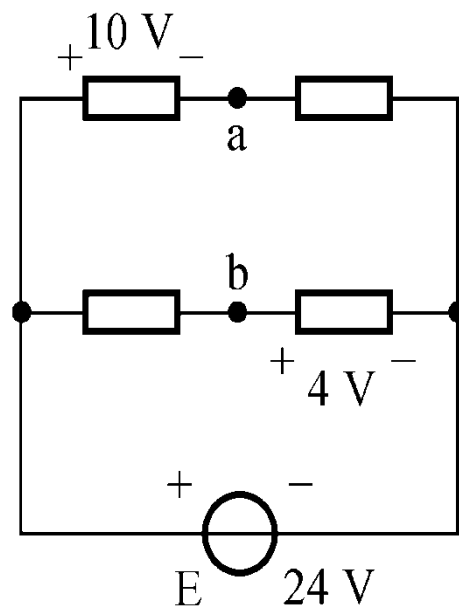
$$V_a = 12 - \frac{12 + 12}{6 + 4 + 20} \times 20 = -4V$$

思考题

【 1.1 】 求图 (a) 中的电流 I 和 图 (b) 中的 U_{ab} 。



(a)



(b)