

电工技术与电子技术

第1章 电路的基本概念与基本定律



第1章 电路的基本概念与基本定律

- 1.1 电路的作用与组成部分
- 1.2 电路模型
- 1.3 电压和电流的参考方向
- 1.4 欧姆定律
- 1.5 电源有载工作、开路与短路
- 1.6 基尔霍夫定律
- 1.7 电路中电位的概念及计算

第1章 电路的基本概念与基本定律

本章要求：

- 一、理解**电路模型**概念的意义；
- 二、理解电压与电流**参考方向**的意义；
- 三、理解电路的**基本定律**并能正确应用；
- 四、了解电路的有载工作、开路与短路状态，理解电功率和额定值的意义；
- 五、会**计算**电路中各点的**电位**。

第1章 电路的基本概念与基本定律

1.1 电路的作用与组成部分

1.2 电路模型

1.3 电压和电流的参考方向

1.4 欧姆定律

1.5 电源有载工作、开路与短路

1.6 基尔霍夫定律

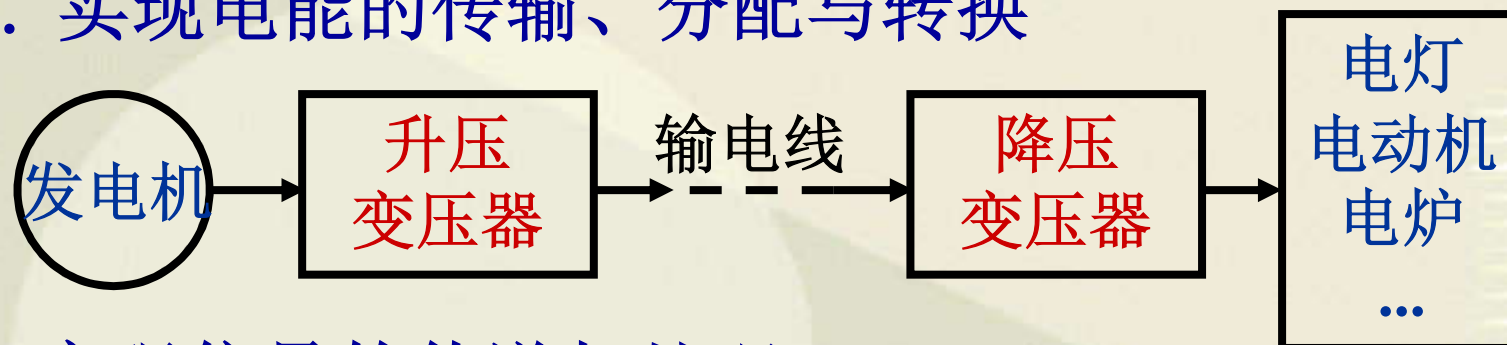
1.7 电路中电位的概念及计算

1.1 电路的作用与组成部分

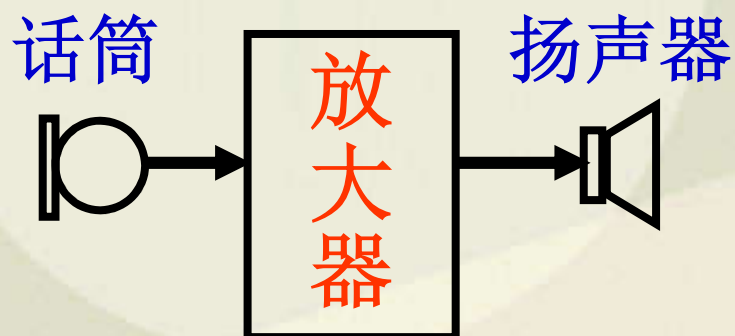
电路是电流的通路，是为了某种需要由电工设备或电路元件按一定方式组合而成的。

一、电路的作用

1. 实现电能的传输、分配与转换



2. 实现信号的传递与处理



二、电路的组成部分

电源：提供电能的装置

发电机

升压
变压器

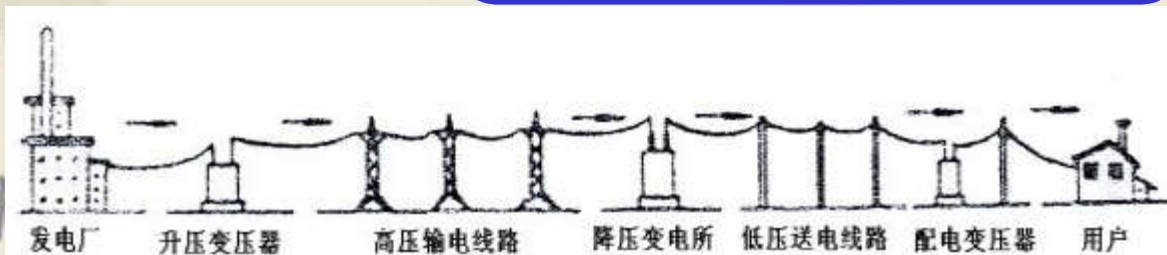
输电线

降压
变压器

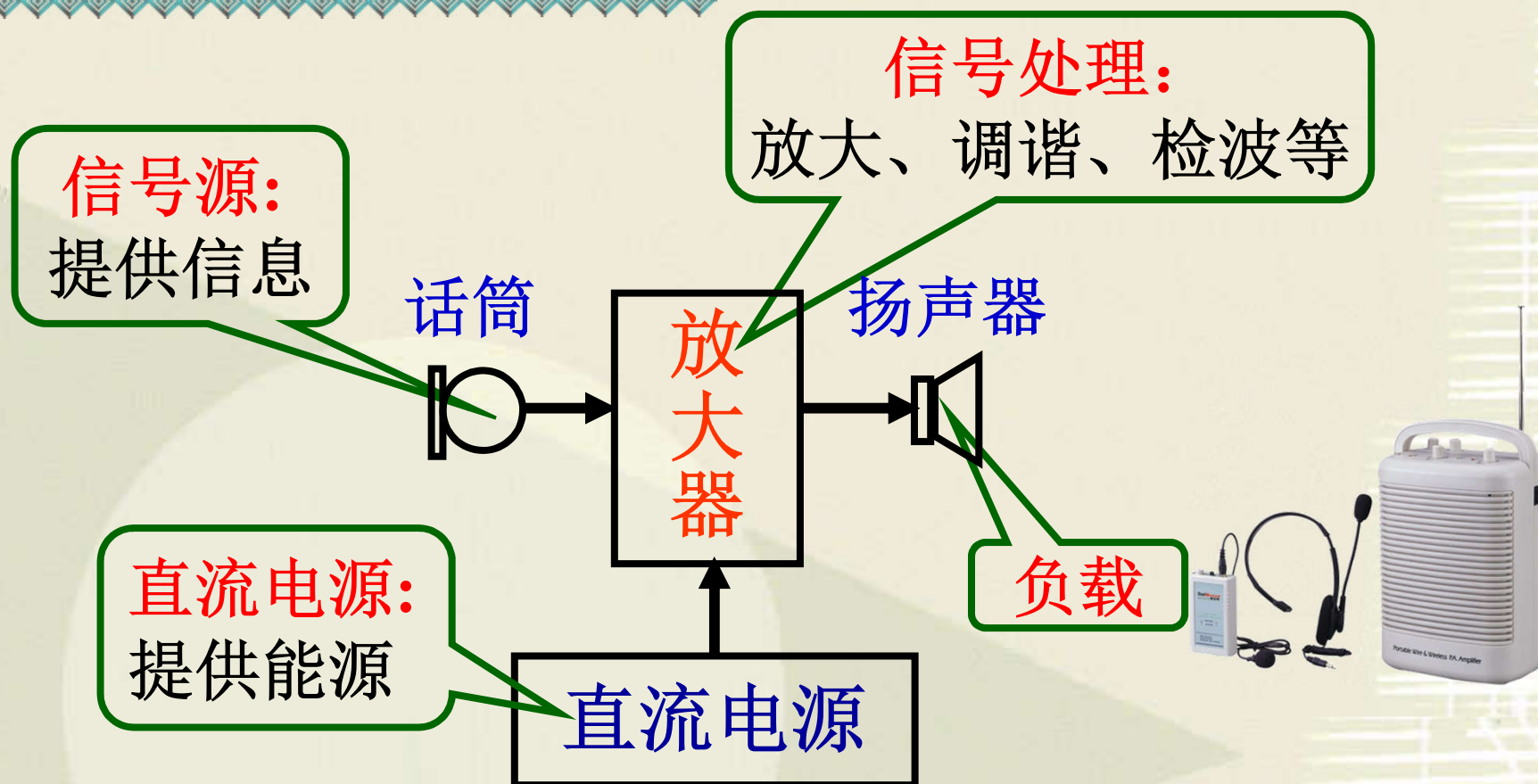
负载：取用电能的装置

电灯
电动机
电炉
...

中间环节：传递、分配和控制电能的作用



二、电路的组成部分



电源或信号源的电压或电流称为激励，它推动电路工作；由激励所产生的电压和电流称为响应。

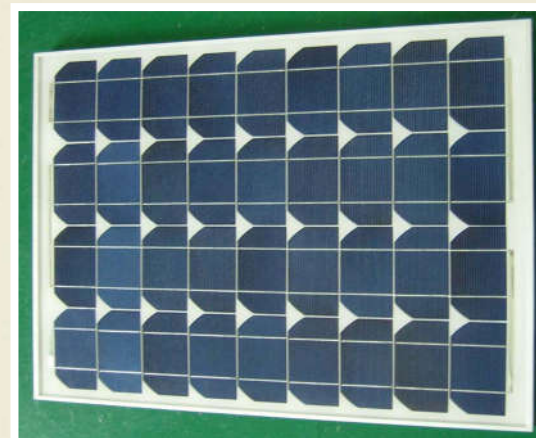
电源：将其它形态的能量转换为电能的供电设备。



干电池



发电机



太阳能电池

负载：将电能转换成其它形态的能量。



中间环节：传输和分配电能及信号的作用。

第1章 电路的基本概念与基本定律

1.1 电路的作用与组成部分

1.2 电路模型

1.3 电压和电流的参考方向

1.4 欧姆定律

1.5 电源有载工作、开路与短路

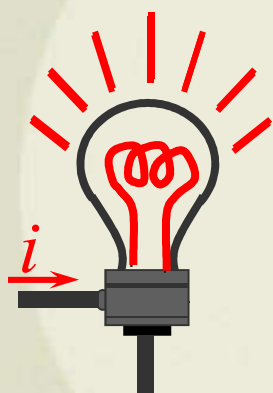
1.6 基尔霍夫定律

1.7 电路中电位的概念及计算

1.2 电路模型

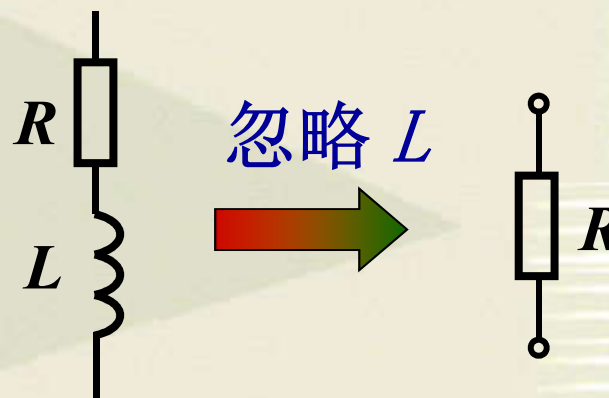
为了便于用数学方法分析电路,一般要将实际电路模型化,用足以反映其电磁性质的**理想电路元件**或其组合来模拟实际电路中的器件,从而构成与实际电路相对应的**电路模型**。

例：一个白炽灯在有电流通过时



消耗电能的电
特性可用电阻
元件表征

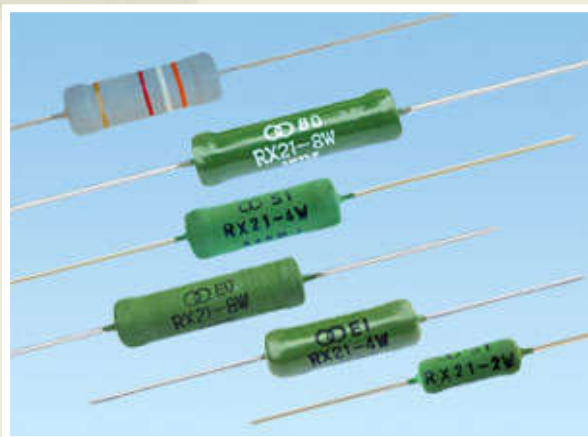
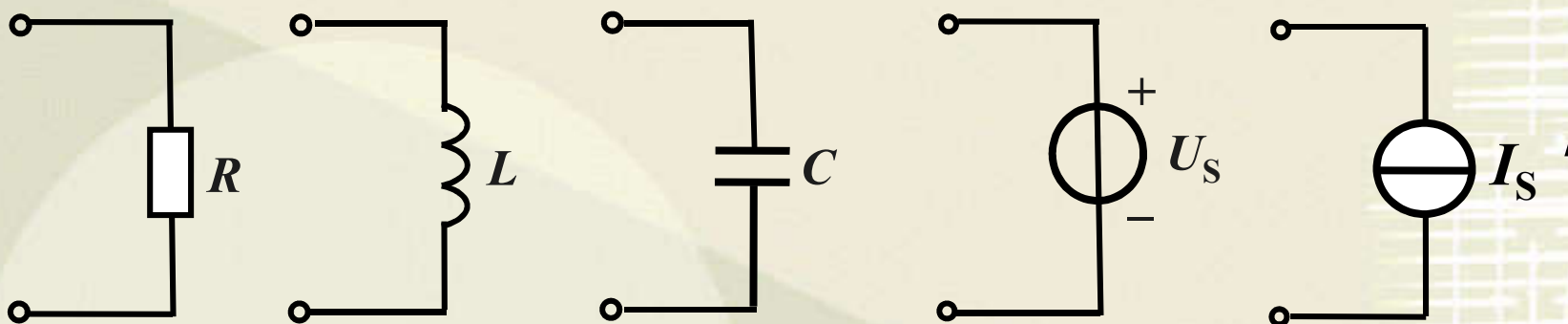
产生磁场的电
特性可用电感
元件表征



理想电路元件

理想电路元件是实际电路器件的理想化和近似，其电特性单一、精确，可定量分析和计算。

电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。



电阻元件



电感元件



电容元件

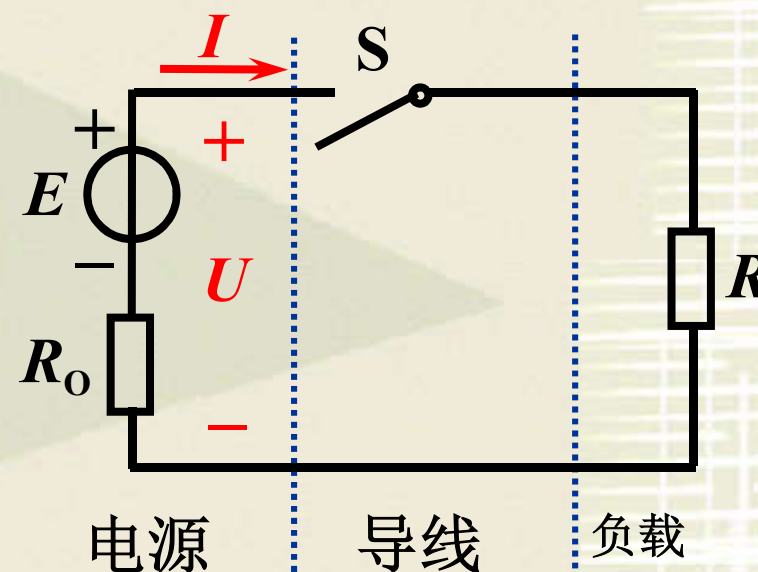
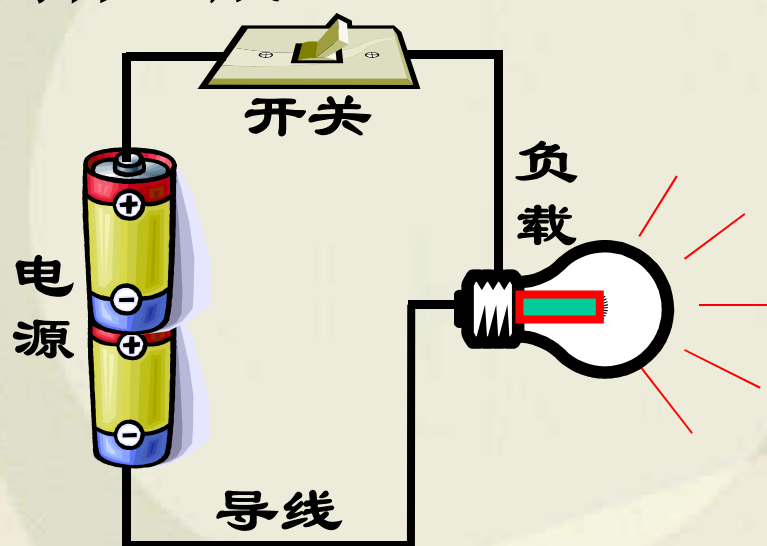


电路模型

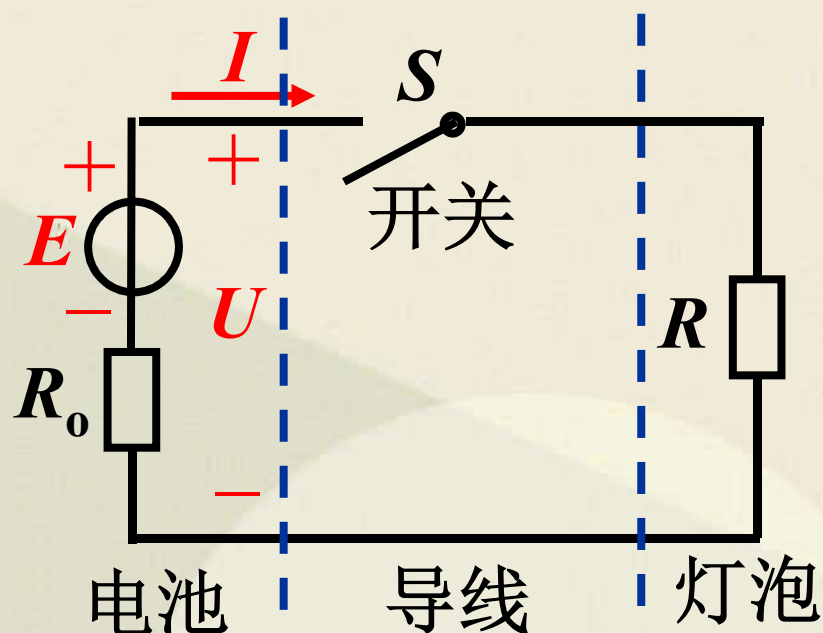
与实际电路相对应、由理想元件构成的电路图，称为实际电路的**电路模型**。

例：手电筒

手电筒由电池、灯泡、开关和筒体组成。



手电筒的电路模型

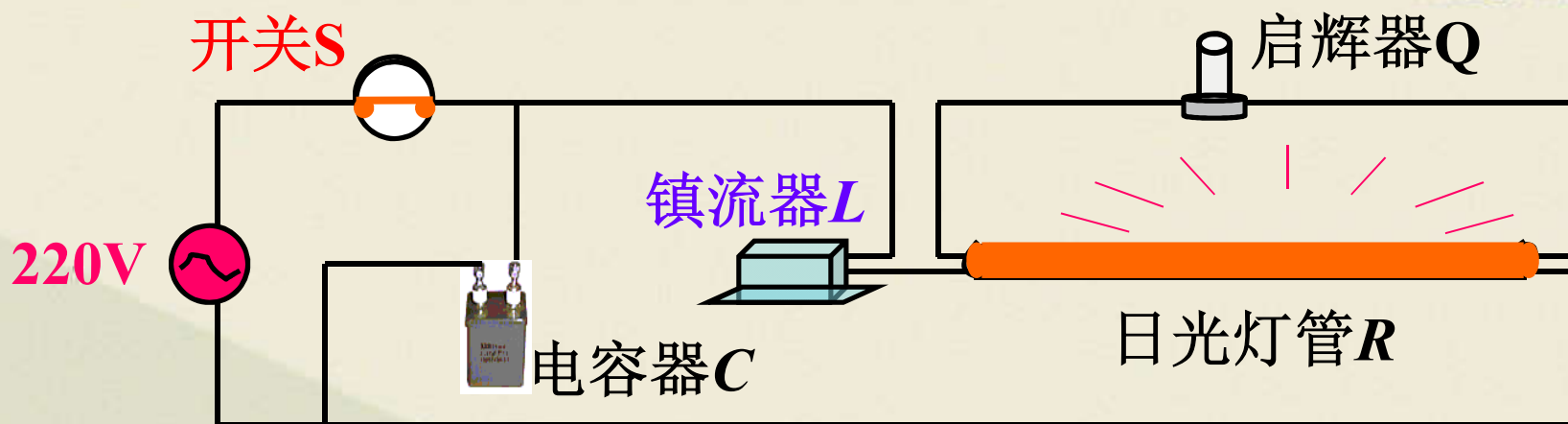


电池是电源元件，其参数为电动势 E 和内阻 R_0 ；

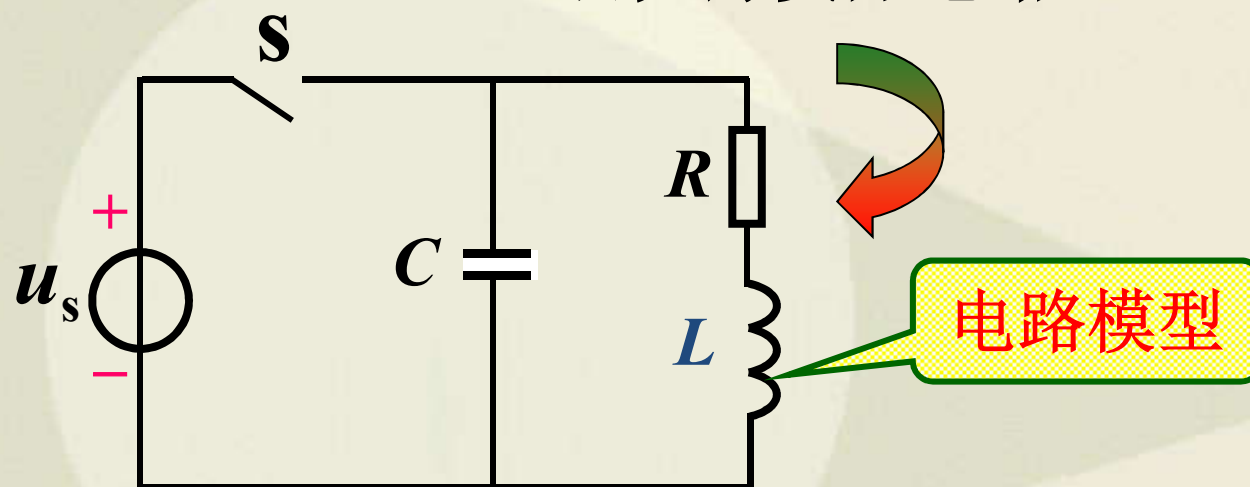
灯泡主要具有消耗电能的性质，是电阻元件，其参数为电阻 R ；

筒体用来联接电池和灯泡，其电阻忽略不计，认为是无电阻的理想导体。

开关用来控制电路的通断。



日光灯实际电路



今后分析的都是指电路模型，简称电路。在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示。

第1章 电路的基本概念与基本定律

1.1 电路的作用与组成部分

1.2 电路模型

1.3 电压和电流的参考方向

1.4 欧姆定律

1.5 电源有载工作、开路与短路

1.6 基尔霍夫定律

1.7 电路中电位的概念及计算

1.3 电压和电流的参考方向

对电路进行分析计算时,不仅要算出电压、电流、功率值的大小,还要确定这些量在电路中的**实际方向**。

一、电路基本物理量的实际方向

物理中对基本物理量规定的方向

物理量	实 际 方 向	单 位
电流 I	正电荷运动的方向	kA、A、mA、 μ A
电压 U	高电位 \rightarrow 低电位 (电位降低的方向)	kV、V、mV、 μ V
电动势 E	低电位 \rightarrow 高电位 (电位升高的方向)	kV、V、mV、 μ V

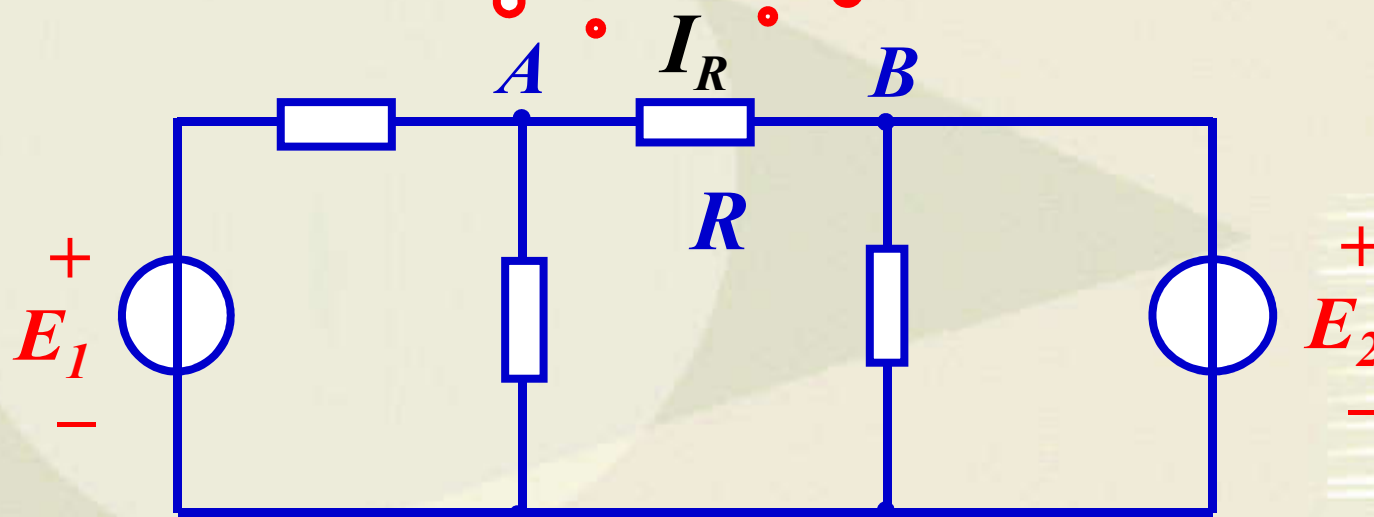


电路分析中的（参考方向）


问题的提出：在复杂电路中难于判断元件中物理量的实际方向，电路如何求解？

电流方向
 $A \Rightarrow B$?

电流方向
 $B \Rightarrow A$?



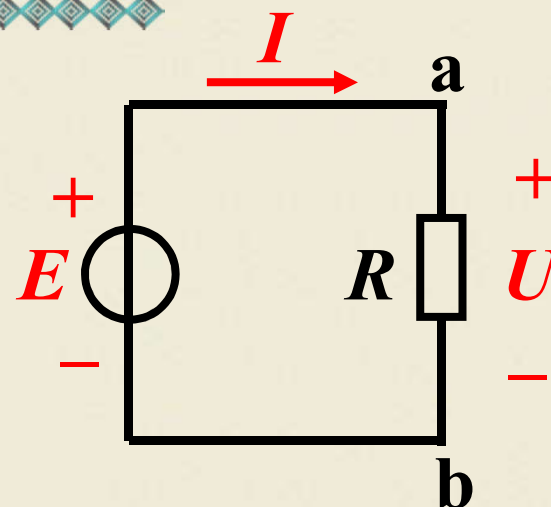
解决方法

- 
- (1) 在解题前先设定一个参考方向；
 - (2) 根据电路的定律、定理，列出物理量间相互关系的代数表达式；
 - (3) 根据计算结果确定实际方向。

一、电路基本物理量的参考方向

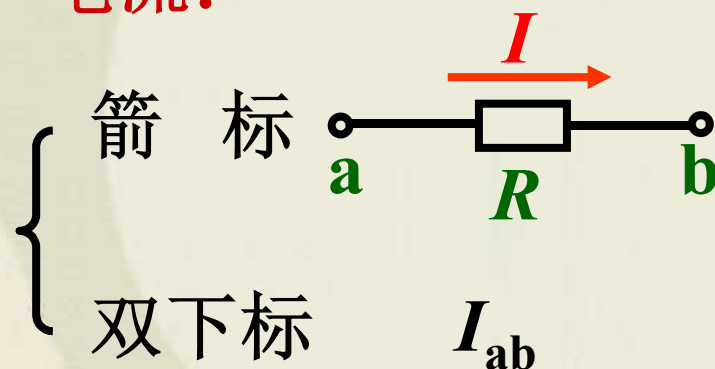
1. 参考方向

在分析与计算电路时，对电量任意假定的方向。

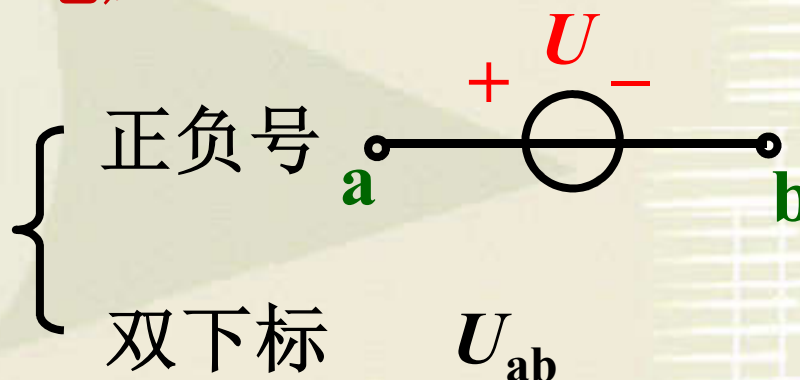


2. 参考方向的表示方法

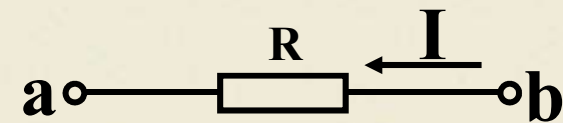
电流：



电压：



例：如图，设 $I=1\text{A}$ ，则 $I_{ab}=?$



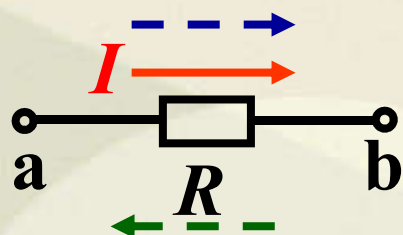
(1) $+1\text{A}$ (2) $\checkmark -1\text{A}$

3. 实际方向与参考方向的关系

实际方向与参考方向**一致**，电流(或电压)值为**正值**；

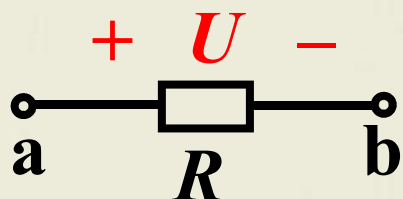
实际方向与参考方向**相反**，电流(或电压)值为**负值**。

例：



若 $I = 5\text{A}$ ，则电流从 **a** 流向 **b**；

若 $I = -5\text{A}$ ，则电流从 **b** 流向 **a**。



若 $U = 5\text{V}$ ，则电压的实际方向从 **a** 指向 **b**；

若 $U = -5\text{V}$ ，则电压的实际方向从 **b** 指向 **a**。

注意：

在参考方向选定后，电流（或电压）值才有正负之分。

例：电路如图所示。

电动势为 $E = 3V$

方向由负极 \ominus 指向正极 \oplus ；

电压 U 的参考方向与实际方向相同， $U = 2.8V$ ，方向由 \oplus 指向 \ominus ；

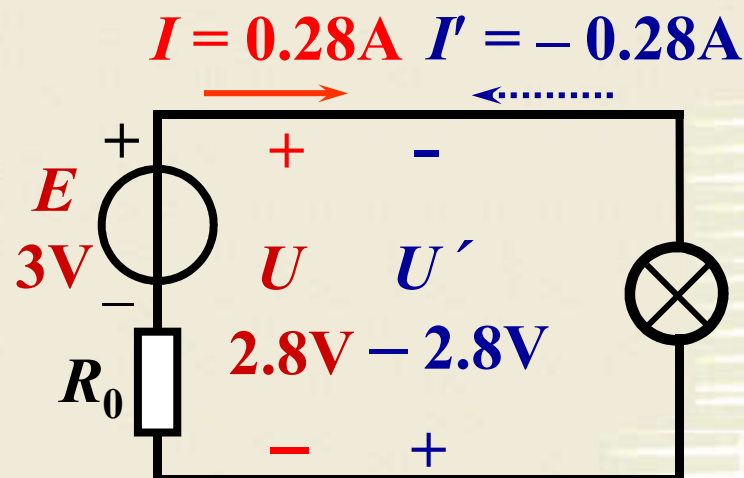
电压 U' 的参考方向与实际方向相反，

$$U' = -2.8V; \quad \text{即: } U = -U'$$

电流 I 的参考方向与实际方向相同

$$I = 0.28A,$$

由 \oplus 流向 \ominus ，反之亦然。



第1章 电路的基本概念与基本定律

1.1 电路的作用与组成部分

1.2 电路模型

1.3 电压和电流的参考方向

1.4 欧姆定律

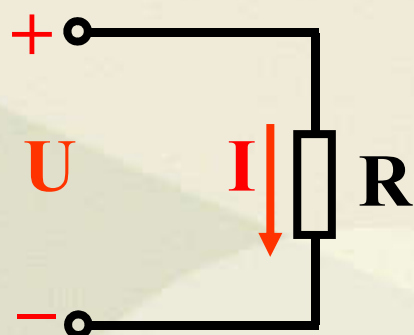
1.5 电源有载工作、开路与短路

1.6 基尔霍夫定律

1.7 电路中电位的概念及计算

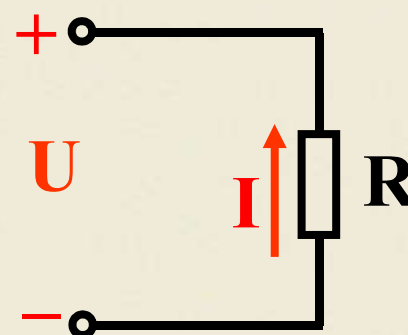
1.4 欧姆定律

U、I 参考方向相同时



$$U = IR$$

U、I 参考方向相反时



$$U = -IR$$

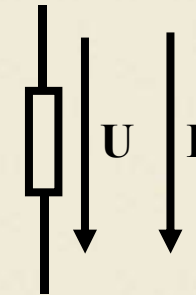
表达式中有两套正负号：

- (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。

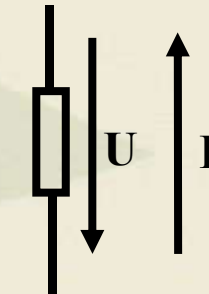
通常取 U、I 参考方向相同（关联）。

参考方向：人为规定的方向。

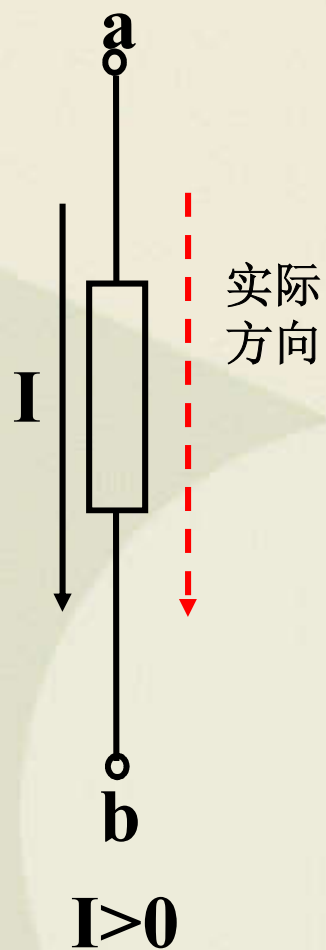
关联的参考方向： $U=IR$



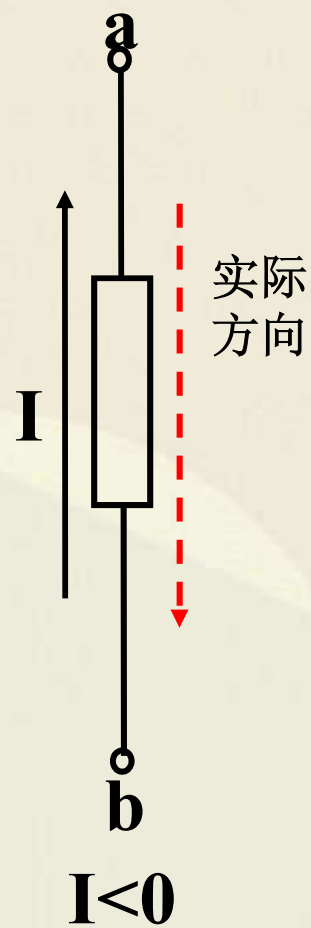
非关联的参考方向： $U=-IR$



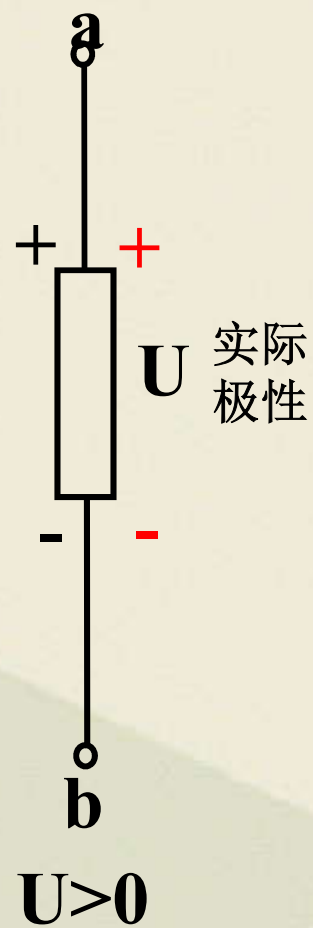
判断图中实际方向



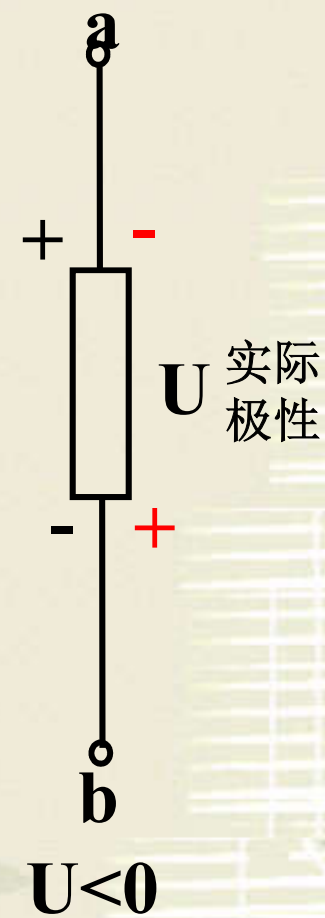
(a)



(b)

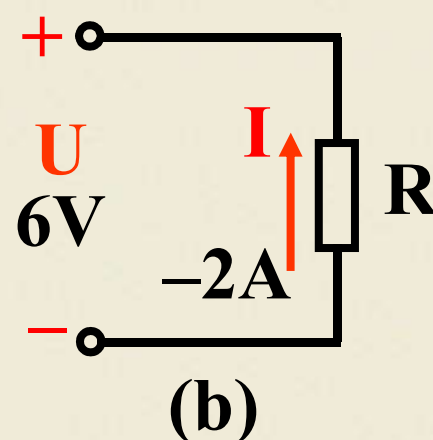
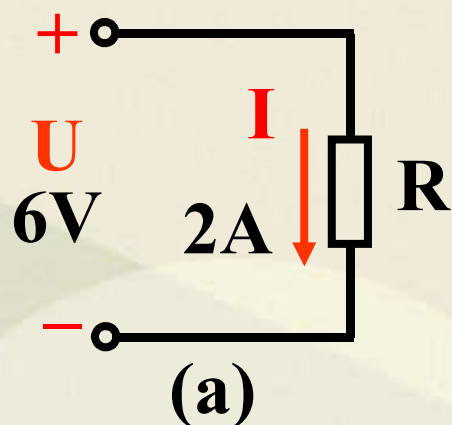


(c)



(d)

例：应用欧姆定律对下图电路列出式子，并求电阻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: $R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} = 3\Omega$

电压与电流参考方向相反

电流的参考方向与实际方向相反

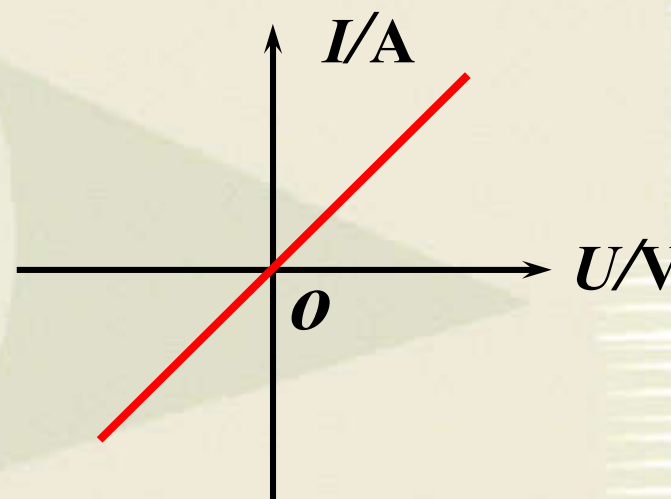
线性电阻的概念:

遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻，它表示该段电路电压与电流的比值为常数。

$$\text{即: } R = \frac{U}{I} = \text{常数}$$

电路端电压与电流的关系称为伏安特性。

线性电阻的伏安特性
是一条过原点的直线。



线性电阻的伏安特性

第1章 电路的基本概念与基本定律

1.1 电路的作用与组成部分

1.2 电路模型

1.3 电压和电流的参考方向

1.4 欧姆定律

1.5 电源有载工作、开路与短路

1.6 基尔霍夫定律

1.7 电路中电位的概念及计算

1.5 电源有载工作、开路与短路

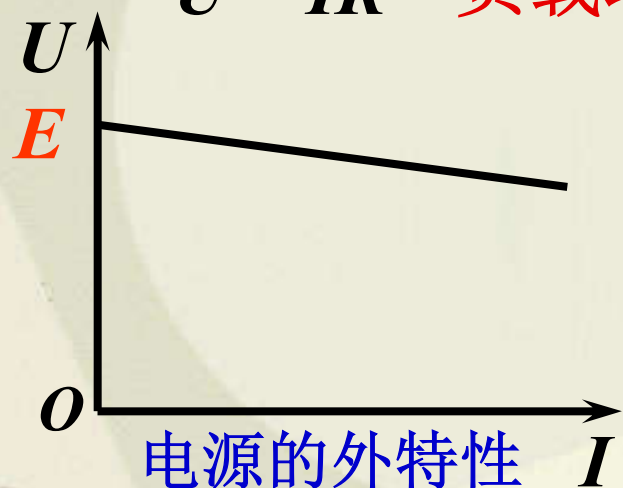
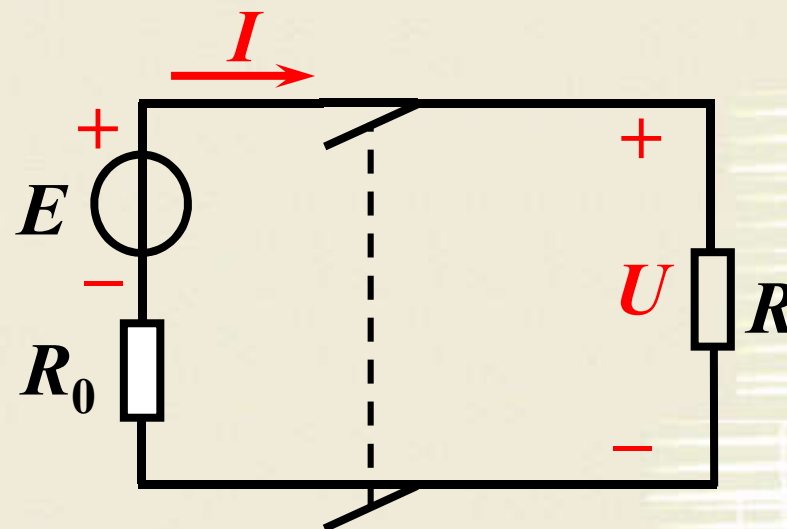
1.5.1 电源有载工作

开关闭合, 接通电源与负载

1. 电压电流关系

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

$$U = IR \quad \text{负载端电压} \quad \text{或} \quad U = E - IR_0$$



在电源有内阻时, $I \uparrow \rightarrow U \downarrow$ 。

当 $R_0 \ll R$ 时, 则 $U \approx E$

表明当负载变化时, 电源的端电压变化不大, 即带负载能力强。

1.5.1 电源有载工作

开关闭合,接通
电源与负载

特征:

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

$$U = IR$$

负载端电压

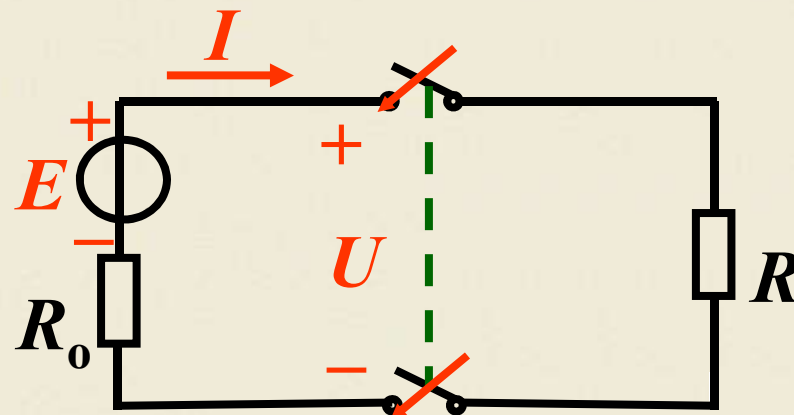
或 $U = E - IR_0$

$$P = P_E - \Delta P$$

负载
取用
功率

电源
产生
功率

内阻
消耗
功率



① 电流的大小由负载决定。

② 在电源有内阻时, $I \uparrow \rightarrow U \downarrow$ 。

$$UI = EI - I^2 R_0$$

③ 电源输出的功率由负载决定。

负载大小的概念:

负载增加指负载取用的电流和功率增加。

例: 已知: 电路中 $U=220\text{V}$, $I=5\text{A}$, 内阻 $R_{01}=R_{02}=0.6\Omega$ 。

求: (1) 电源的电动势 E_1 和负载的反电动势 E_2 ;

(2) 说明功率的平衡关系。

解: (1) 对于电源

$$U = E_1 - \Delta U_1 = E_1 - IR_{01}$$

$$\text{即 } E_1 = U + IR_{01}$$

$$= 220 + 5 \times 0.6 = 223\text{V}$$

$$U = E_2 + \Delta U_2 = E_2 + IR_{02}$$

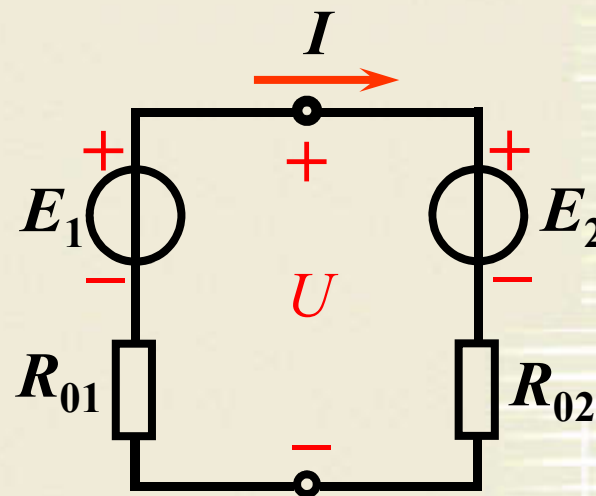
$$\text{即 } E_2 = U - IR_{01} = 220 - 5 \times 0.6 = 217\text{V}$$

(2) 由上面可得, $E_1 = E_2 + IR_{01} + IR_{02}$

等号两边同时乘以 I , 则得 $E_1 I = E_2 I + I^2 R_{01} + I^2 R_{02}$

代入数据有 $223 \times 5 = 217 \times 5 + 5^2 \times 0.6 + 5^2 \times 0.6$

$$1115\text{W} = 1085\text{W} + 15\text{W} + 15\text{W}。$$



电源与负载的判别

1. 根据 U 、 I 的实际方向判别

电源：

U 、 I 实际方向相反，即电流从“+”端流出，

负载：（发出功率）；

U 、 I 实际方向相同，即电流从“+”端流入，

（吸收功率）。

2. 根据 U 、 I 的参考方向判别

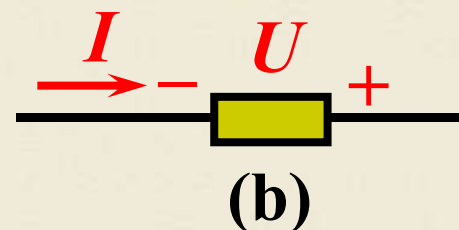
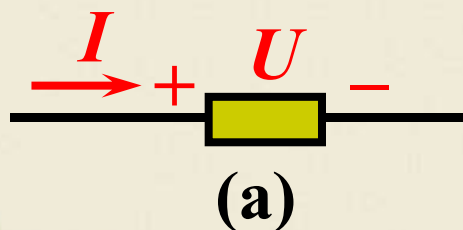
U 、 I 参考方向相同， $P = UI > 0$ ，负载；

$P = UI < 0$ ，电源。

U 、 I 参考方向不同， $P = UI > 0$ ，电源；

$P = UI < 0$ ，负载。

例：求功率 P ，说明 P 的性质



解：

(a) 若： $I = 2\text{A}$, $U = 5\text{V}$, $P = UI = 10\text{W}$ (消耗功率)

$I = 2\text{A}$, $U = -5\text{V}$, $P = UI = -10\text{W}$ (发出功率)

(b) 若： $I = 2\text{A}$, $U = 5\text{V}$, $P = UI = 10\text{W}$ (发出功率)

$I = -2\text{A}$, $U = 5\text{V}$, $P = UI = -10\text{W}$ (消耗功率)

结论

U 、 I 的实际方向相同时， P — 消耗功率

U 、 I 的实际方向相反时， P — 发出功率

电气设备的额定值

额定值：电气设备的安全（正常运行）使用值

1. 额定值是电气设备额定的工作条件。
2. 额定值是电气设备的工作能力。

例：灯泡： $U_N = 220V$ ， $P_N = 60W$

使用时，电压电流和功率的实际值不一定等于他们的额定值。

电气设备的三种运行状态

额定工作状态： $I = I_N$ ， $P = P_N$
(经济合理安全可靠)

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)

例：一只220V，60W的白炽灯，接在220V的电源上，试求通过电灯的电流和电灯在220V电压下工作时的电阻。如果每晚工作3h(小时)，问一个月消耗多少电能？

解：通过电灯的电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} \text{ A} = 0.273 \text{ A}$$

在220V电压下工作时的电阻

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.273} \Omega = 806 \Omega$$

一个月用电

$$\begin{aligned} W &= Pt = 60\text{W} \times (3 \times 30) \text{ h} \\ &= 0.06\text{kW} \times 90\text{h} \\ &= 5.4\text{kW} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

1.5.2 电源开路

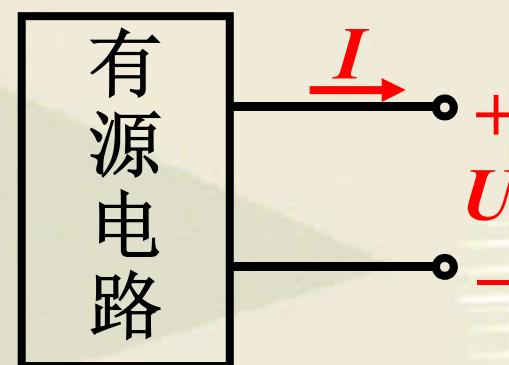
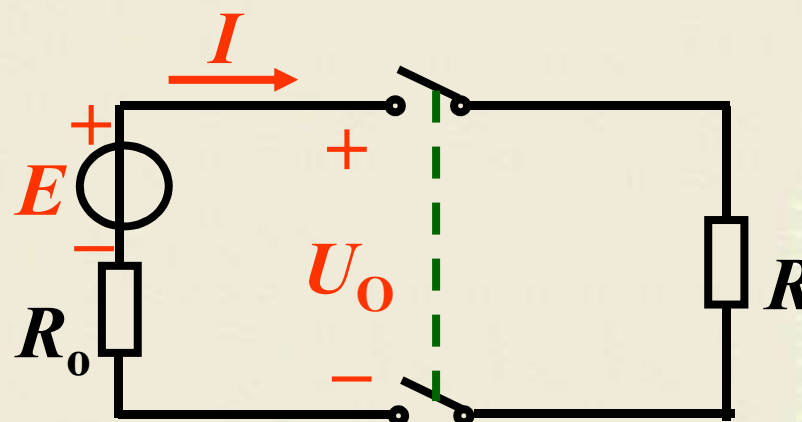
开关 断开

特征:

$$\left\{ \begin{array}{l} I = 0 \\ U = U_0 = E \quad \text{电源端电压 (开路电压)} \\ P = 0 \quad \text{负载功率} \end{array} \right.$$

电路中某处断开时的特征:

1. 开路处的电流等于零;
 $I = 0$
2. 开路处的电压 U 视电路情况而定。



1.5.3 电源短路

电源外部端子被短接

特征:

$$\left\{ \begin{array}{l} I = I_s = \frac{E}{R_0} \\ U = 0 \end{array} \right.$$

短路电流（很大）

电源端电压

$$P = 0$$

负载功率

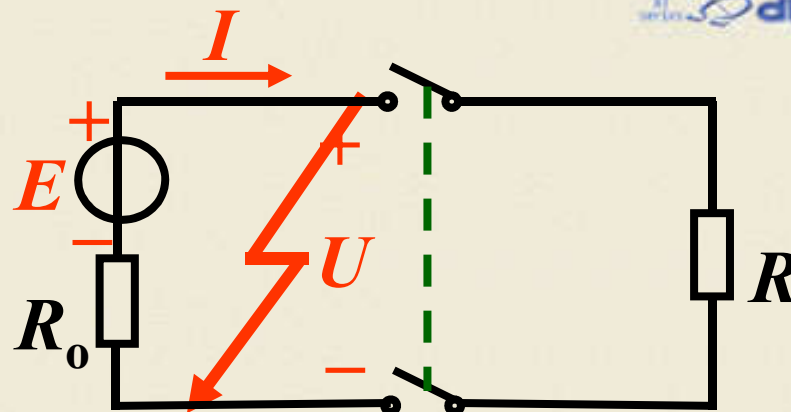
$$P_E = \Delta P = I^2 R_0 \quad \text{电源产生的能量全被内阻消耗掉}$$

电路中某处短路时的特征:

1. 短路处的电压等于零;

$$U = 0$$

2. 短路处的电流 I 视电路特性而定



为防止事故发生，需在电路中接入熔断器或自动断路器，用以保护电路。

第1章 电路的基本概念与基本定律

1.1 电路的作用与组成部分

1.2 电路模型

1.3 电压和电流的参考方向

1.4 欧姆定律

1.5 电源有载工作、开路与短路

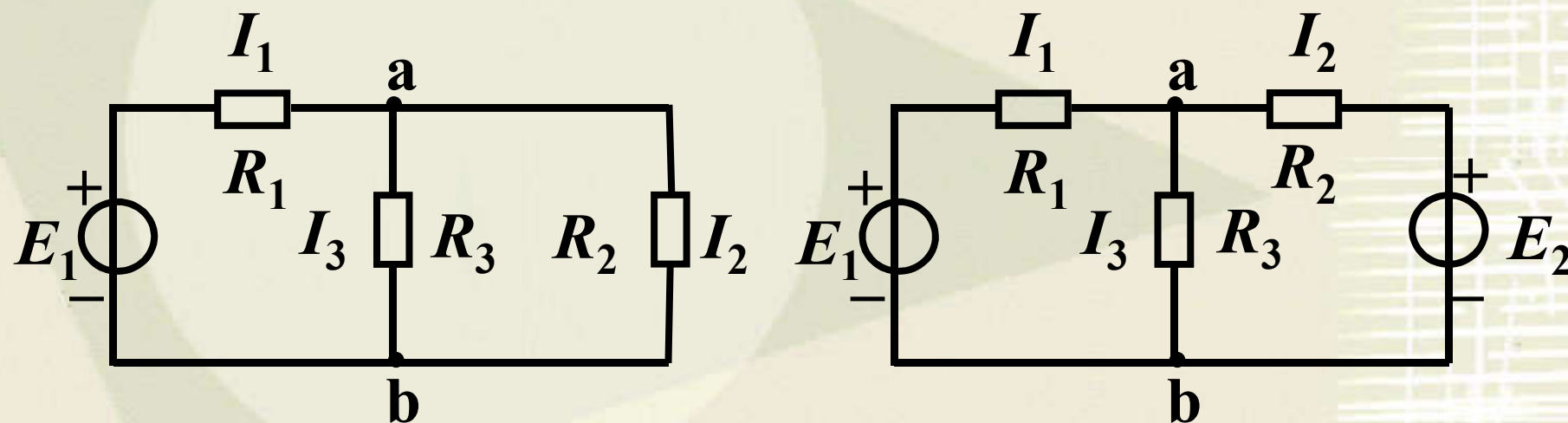
1.6 基尔霍夫定律

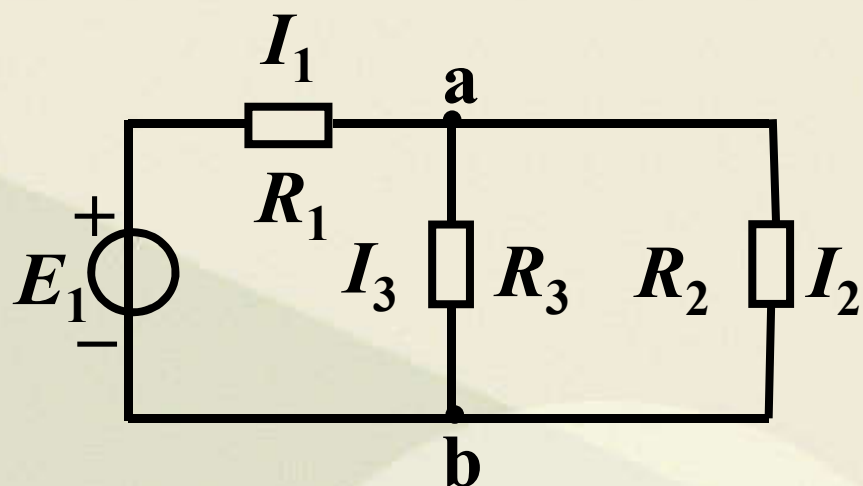
1.7 电路中电位的概念及计算

1.6 基尔霍夫定律

简单电路：一个电源和多个电阻组成的电路，可以用电阻的串、并联简化计算。

复杂电路：两个以上的有电源的支路组成的多回路电路，不能运用电阻的串、并联计算方法简化成一个单回路电路。

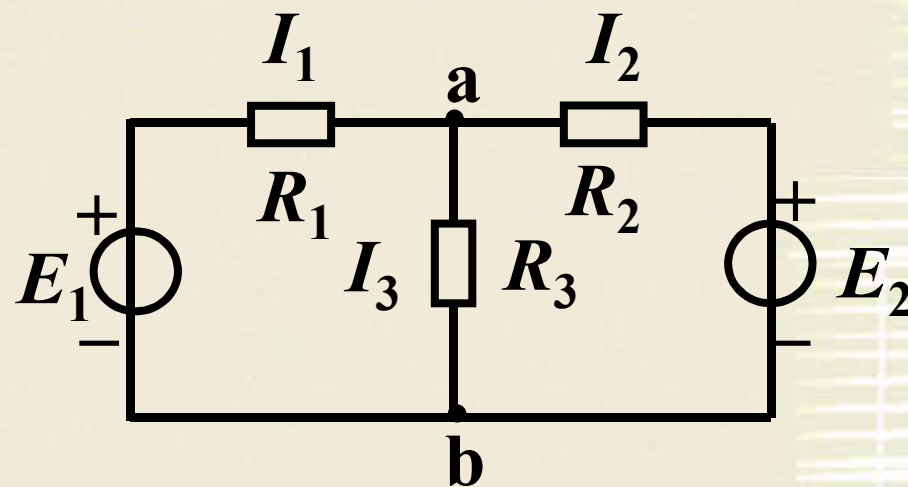




可以用电阻的串并联进行化简

↓
(简单电路)

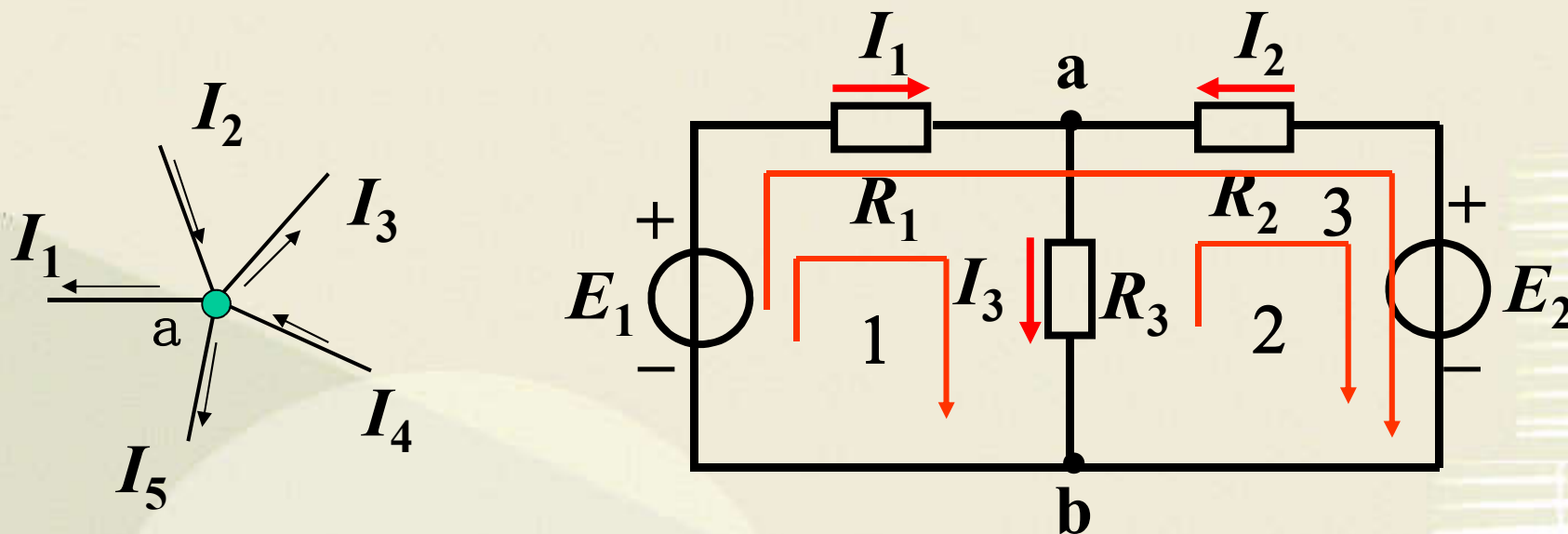
↓ 分析工具
欧姆定律



不能用电阻的串并联进行化简

↓
(复杂电路)

↓ 分析工具
?



支路： 电路中的每一个分支。

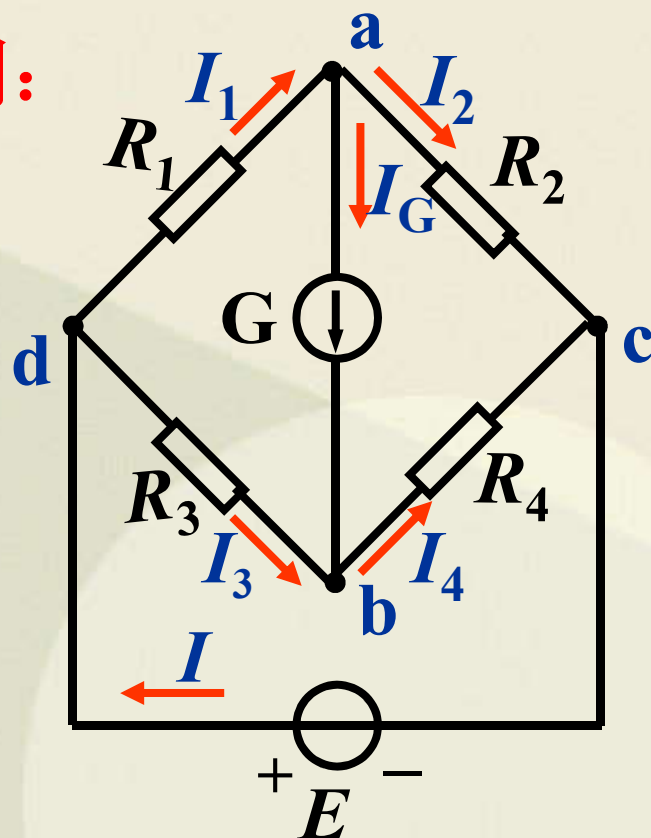
一条支路流过一个电流，称为支路电流。

结点： 三条或三条以上支路的联接点。

回路： 由支路组成的闭合路径。

网孔： 内部不含支路的回路。

例:



支路: ab 、 bc 、 ca 、...
(共6条)

结点: a 、 b 、 c 、 d
(共4个)

回路: abd 、 abc 、 $adbc$...
(共7个)

网孔: abd 、 abc 、 bcd
(共3个)

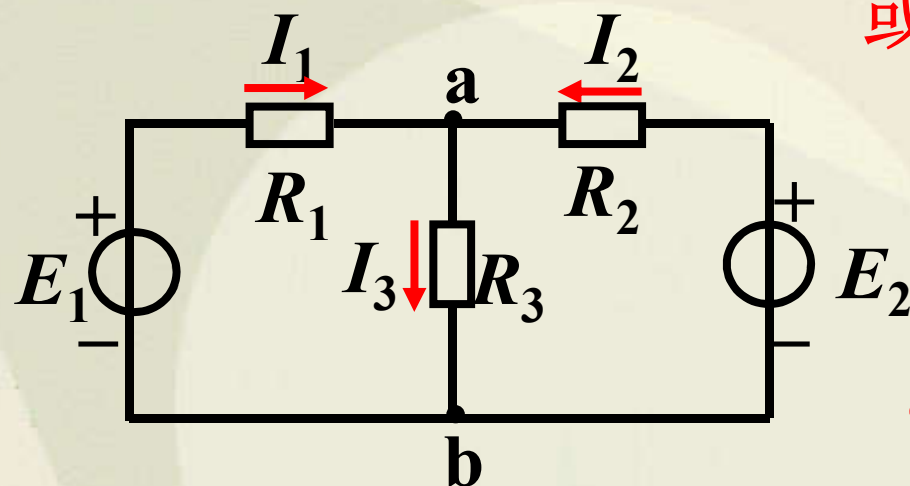
1.6.1 基尔霍夫电流定律 (KCL定律)

1. 定律

在任一瞬间，流入任一结点的电流等于流出该结点的电流。

即： $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$

或： $\sum I = 0$



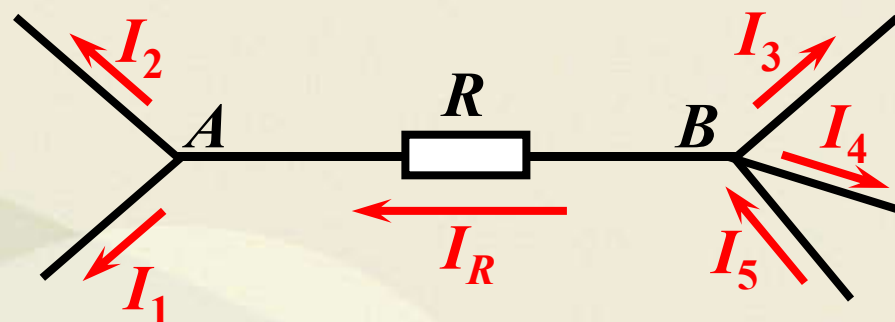
对结点 a : $I_1 + I_2 = I_3$

或： $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

♣ 实质：电流连续性体现。

基尔霍夫电流定律 (KCL) 反映了电路中任一结点处各支路电流间相互制约的关系。

例1: 已知 $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = 3\text{A}$, $I_3 = -0.5\text{A}$, $I_5 = 1\text{A}$,
求通过 A 、 B 支路的电流 I_1 及交于 B 点的电流 I_4 。



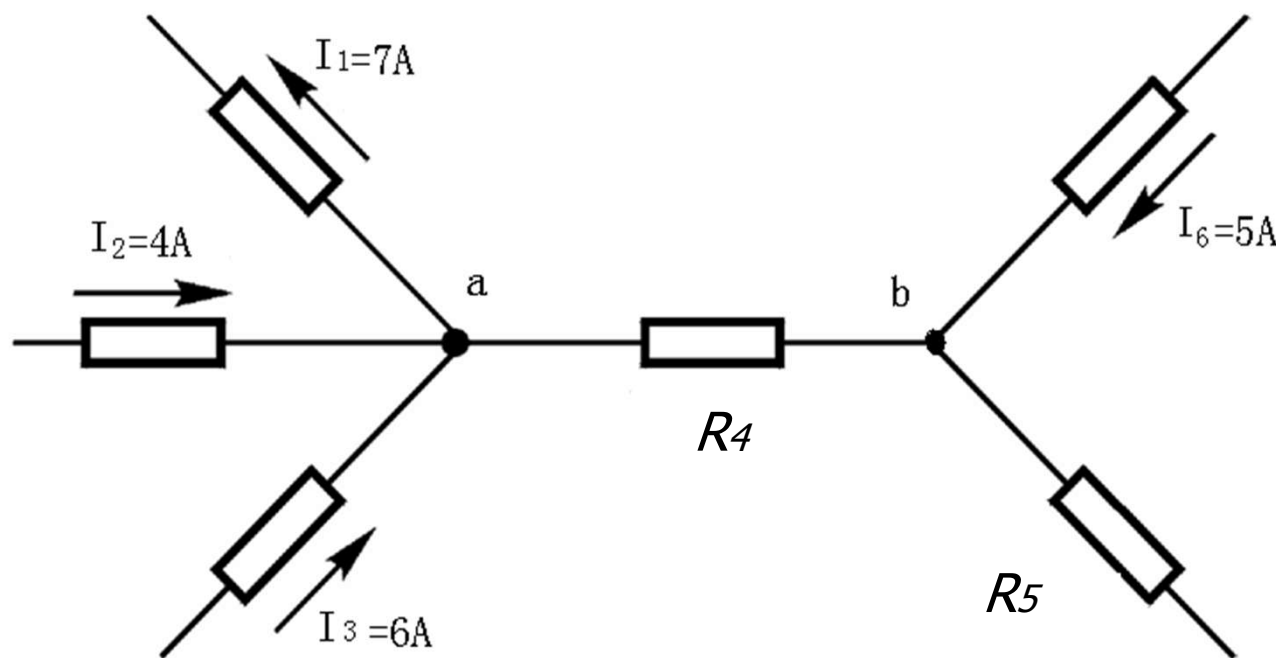
解: 对节点 A : $I_R = I_1 + I_2 = 5\text{ A}$

对节点 B : $I_4 + I_3 + I_R = I_5$

$$\begin{aligned} I_4 &= +I_5 - I_R - I_3 = +1 - 5 - (-0.5) \\ &= -3.5\text{ A} \end{aligned}$$

电流的参考方向
与实际方向相反

例：电路如图所示，已知 $I_1=7\text{A}$ ， $I_2=4\text{A}$ ， $I_3=6\text{A}$ ， $I_6=5\text{A}$ ，试求出 R_4 、 R_5 中的电流。



例：求电路中的电流 I_1 和 I_2

分析：电路中有两个节点为A、B， I_1 为节点A的支路电流， I_2 为节点B的支路电流，其它支路电流已知。

解：利用基尔霍夫电流定律求解

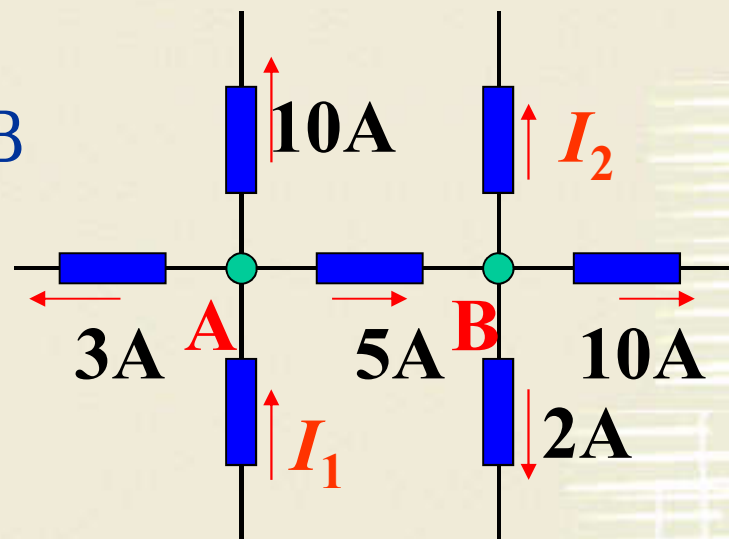
对节点A $I_1 = 3A + 10A + 5A = 18A$

对节点B $5A = I_2 + 2A + 10A$

整理： $I_2 = 5A - 2A - 10A = -7A$

I_1 的方向与参考方向相同，

I_2 的实际方向是向下的。

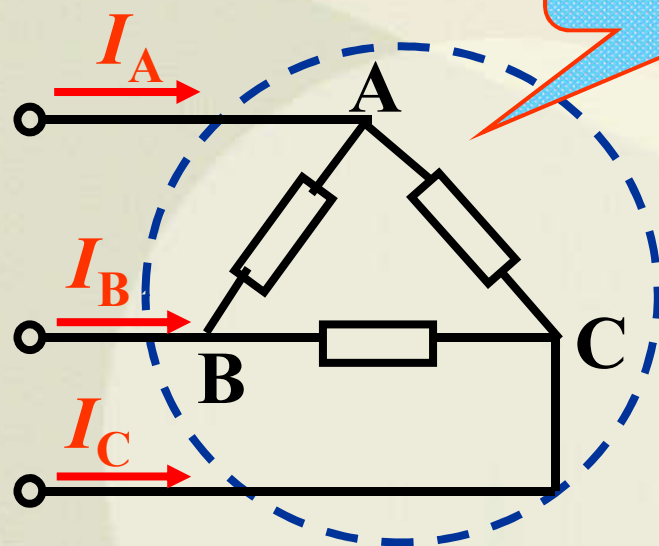


注意：应用基尔霍夫电流定律时必须首先假设电流的参考方向，若求出电流为负值，则说明该电流实际方向与假设的参考方向相反。

2. 推广

电流定律可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。

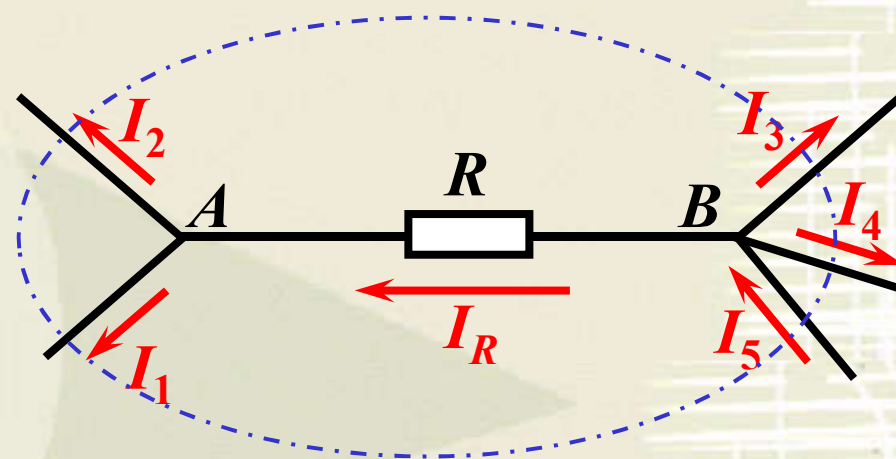
例：



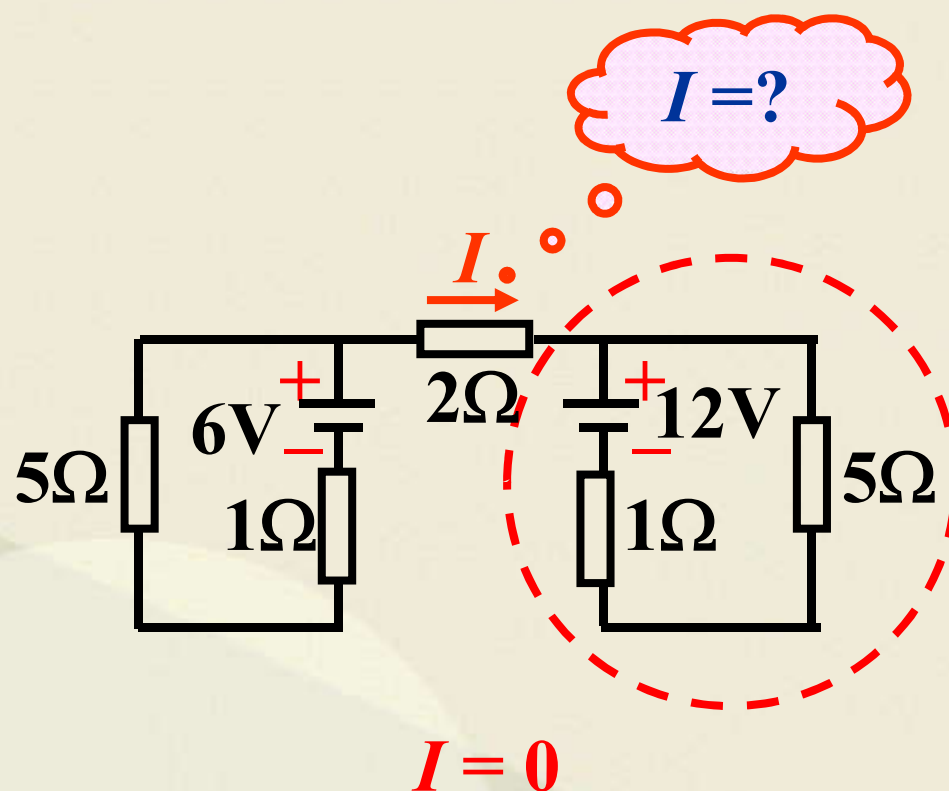
$$I_A + I_B + I_C = 0$$

广义结点

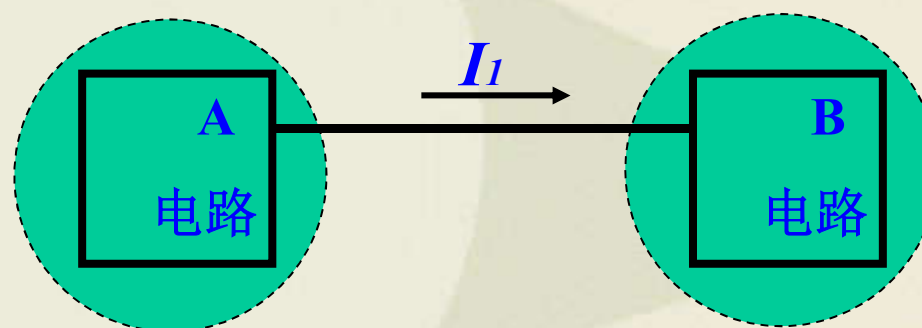
问题：



$$I_4 = I_5 - I_3 - I_2 - I_1 = -3.5\text{A}$$



结论:



如果两个单独的电路只有一条导线

(或支路) 相连, 那么其中的电流值为零。



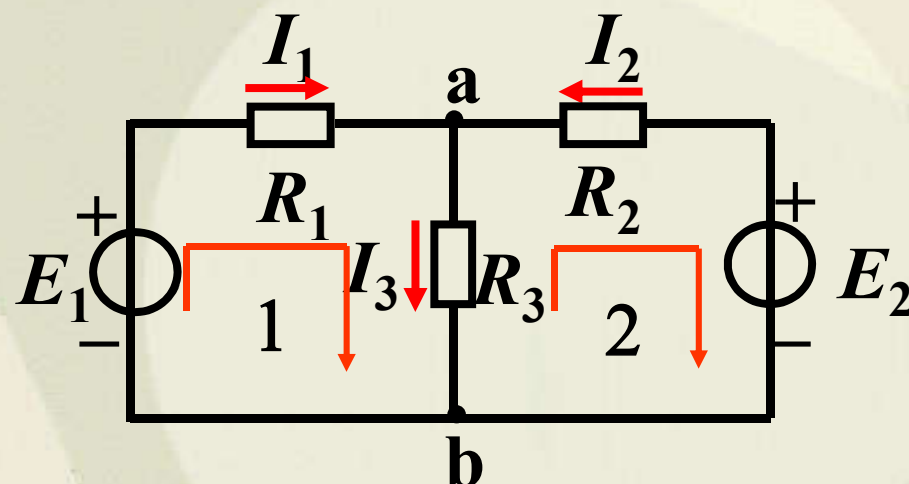
1.6.2 基尔霍夫电压定律 (KVL定律)

1. 定律

在任一瞬间，从回路中任一点出发，沿回路循行一周，则在这个方向上电位升之和等于电位降之和。

在任一瞬间，沿任一回路循行方向，回路中各段电压的代数和恒等于零。

即： $\sum U = 0$



对回路1: $E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$

或: $I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_1 = 0$

对回路2: $I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$

或: $I_2 R_2 + I_3 R_3 - E_2 = 0$

基尔霍夫电压定律 (KVL) 反映了电路中任一回路中各段电压间相互制约的关系。



注意:

1. 列方程前**标注**回路循行方向;
2. 应用 $\sum U = 0$ 列方程时, **项前符号的确定**:
如果规定电位降取正号, 则电位升就取负号。
3. 开口电压可按回路处理

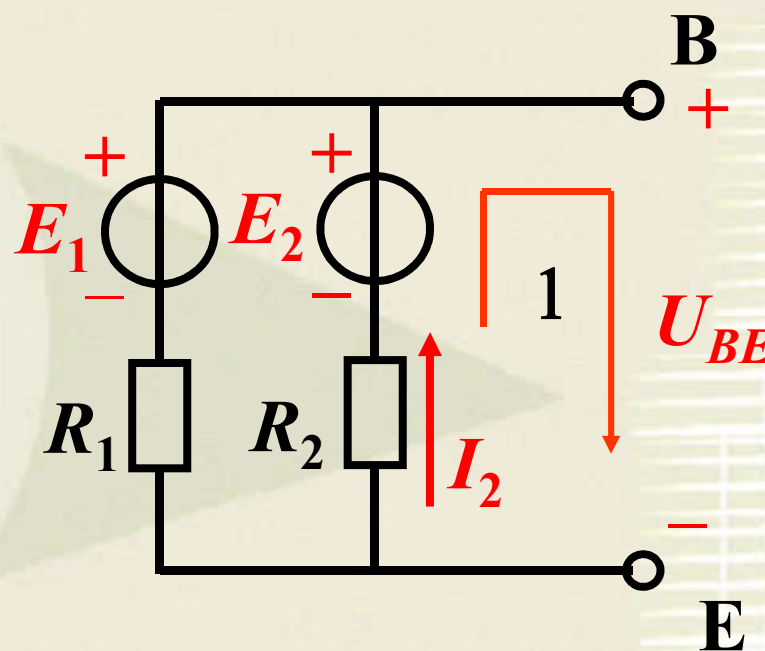
对回路1:

电位升 = 电位降

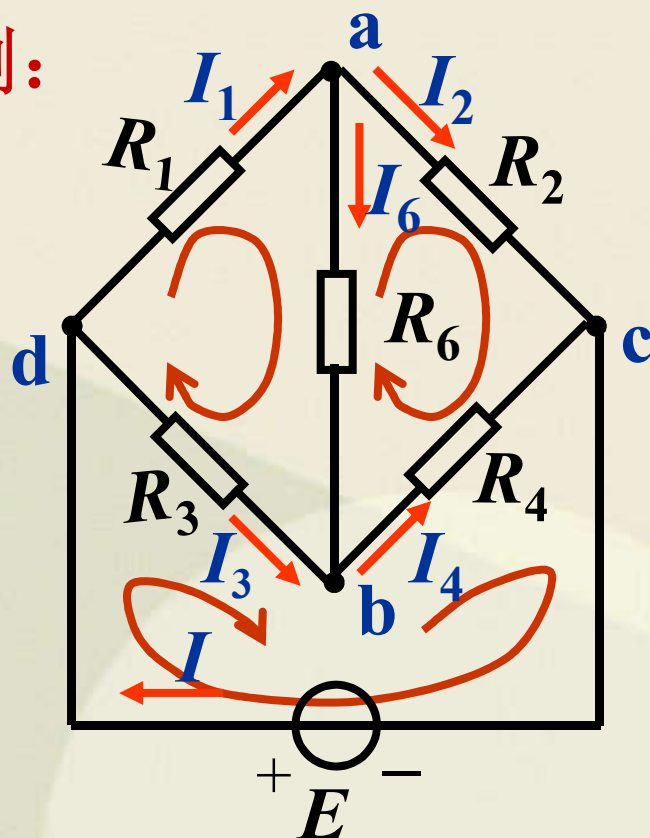
$$E_2 = U_{BE} + I_2 R_2$$

$$\sum U = 0$$

$$I_2 R_2 - E_2 + U_{BE} = 0$$



例:



应用 $\sum U = 0$ 列方程

对网孔 **abda**:

$$I_6 R_6 - I_3 R_3 + I_1 R_1 = 0$$

对网孔 **acba**:

$$I_2 R_2 - I_4 R_4 - I_6 R_6 = 0$$

对网孔 **bcd b**:

$$I_4 R_4 + I_3 R_3 - E = 0$$

对回路 **adbca**, 沿逆时针方向循行:

$$-I_1 R_1 + I_3 R_3 + I_4 R_4 - I_2 R_2 = 0$$

对回路 **cadc**, 沿逆时针方向循行:

$$-I_2 R_2 - I_1 R_1 + E = 0$$



例2: 已知 $E_1=7\text{V}$, $E_2=16\text{V}$, $E_3=14\text{V}$, $R_1=16\Omega$, $R_2=3\Omega$, $R_3=9\Omega$ 。求: S打开时, $U_{ab}=?$ S闭合时, $I_3=?$

解:

(1) S 打开时, $I_3 = 0$

$$\therefore U_{R3} = 0$$

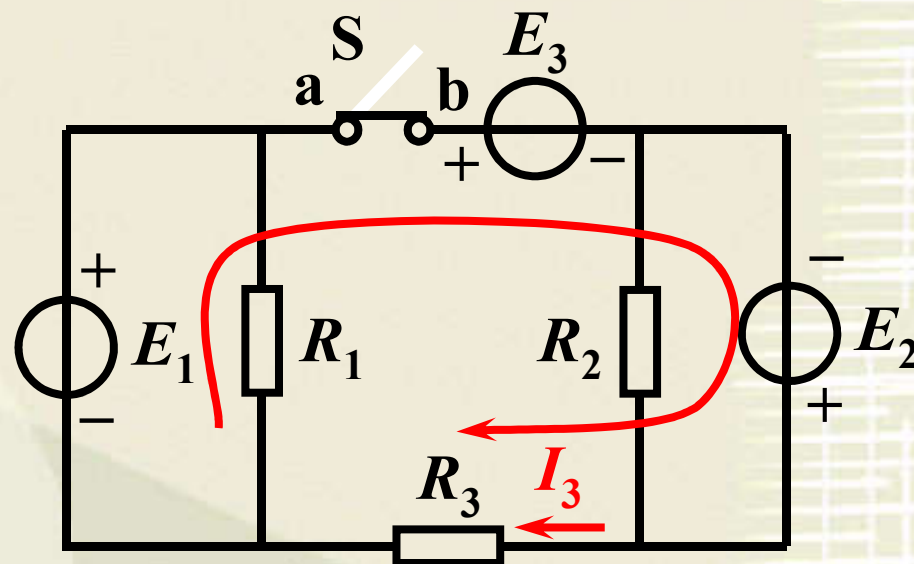
$$-E_1 + U_{ab} + E_3 - E_2 = 0$$

$$U_{ab} = 7 - 14 + 16 = 9\text{V}$$

(2) S 闭合时, $U_{ab} = 0$

$$-E_1 + E_3 - E_2 + I_3 R_3 = 0$$

$$I_3 = (E_1 - E_3 + E_2) / R_3 = 9 / 9 = 1\text{A}$$



总结:

KCL : $\sum I = 0$ (标注电流的参考方向)

KVL : $\sum U = 0$ (标注回路的循行方向)

或: $\sum IR = \sum E$

注意正负号选择:

$(\sum IR = \sum E)$

当 E 、 I 的参考方向与回路绕向相同时取正;

当 E 、 I 的参考方向与回路绕向相反时取负。

$(\sum U = 0)$

如果规定电位降取正号, 则电位升就取负号。

第1章 电路的基本概念与基本定律

- 1.1 电路的作用与组成部分
- 1.2 电路模型
- 1.3 电压和电流的参考方向
- 1.4 欧姆定律
- 1.5 电源有载工作、开路与短路
- 1.6 基尔霍夫定律
- 1.7 电路中电位的概念及计算

1.7 电路中电位的概念及计算

一、电位的概念

电位：电路中某点至参考点的电压，记为“ V_X ”。

通常设参考点的电位为零。

某点电位为正，说明该点电位比参考点高；

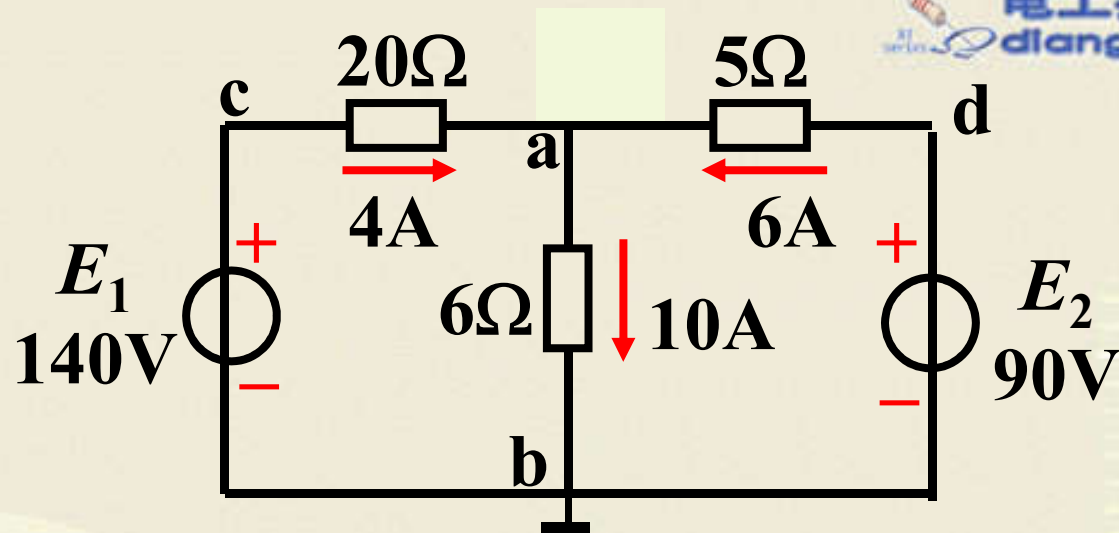
某点电位为负，说明该点电位比参考点低。

电位的计算步骤：

1. 任选电路中某一点为参考点，设其电位为零；
2. 标出各电流参考方向并计算；
3. 计算各点至参考点间的电压即为各点的电位。

二、举例

求图示电路中
各点的电位： V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 。



解：设 a 为参考点，即 $V_a = 0V$ | 设 b 为参考点，即 $V_b = 0V$

$$V_b = U_{ba} = -10 \times 6 = -60V$$

$$V_c = U_{ca} = 4 \times 20 = 80V$$

$$V_d = U_{da} = 6 \times 5 = 30V$$

$$U_{ab} = 10 \times 6 = 60V$$

$$U_{cb} = E_1 = 140V$$

$$U_{db} = E_2 = 90V$$

$$V_a = U_{ab} = 10 \times 6 = 60V$$

$$V_c = U_{cb} = E_1 = 140V$$

$$V_d = U_{db} = E_2 = 90V$$

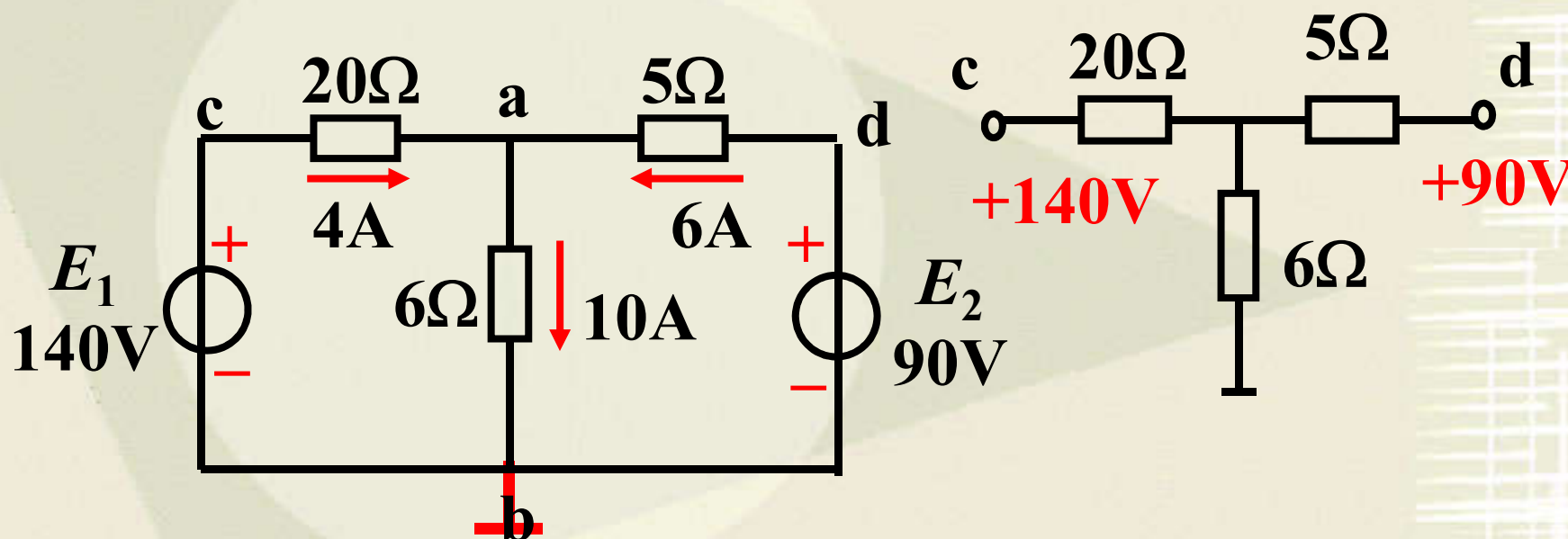
$$U_{ab} = 10 \times 6 = 60V$$

$$U_{cb} = E_1 = 140V$$

$$U_{db} = E_2 = 90V$$

结论:

1. 电位值是相对的，参考点选取的不同，电路中各点的电位也将随之改变；
 2. 电路中两点间的电压值是固定的，不会因参考点的不同而变，即与零电位参考点的选取无关。
- 借助电位的概念可以简化电路作图

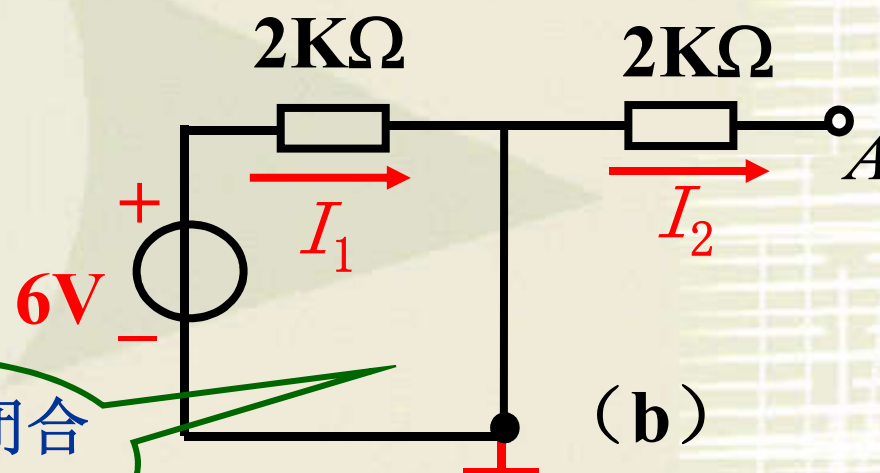
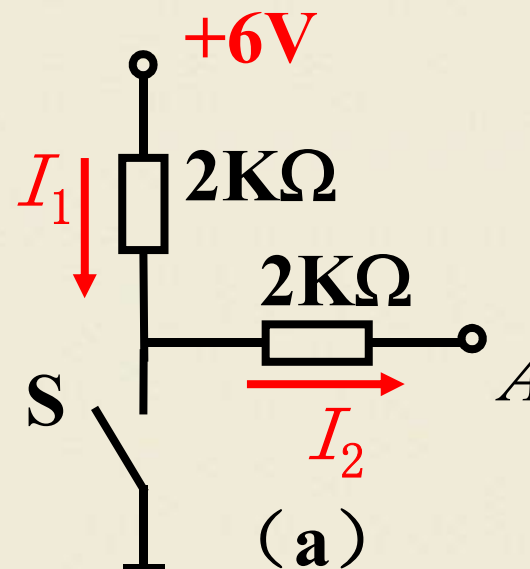


例1: 图示电路, 计算开关S 断开和闭合时A点的电位 V_A

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 $V_A = 0V$ 。



电流在闭合
路径中流通