
电工技术与电子技术

主讲：王振翀

机电学院

信息与电气工程系

第一章 电路分析基础

1—1电路的基本概念

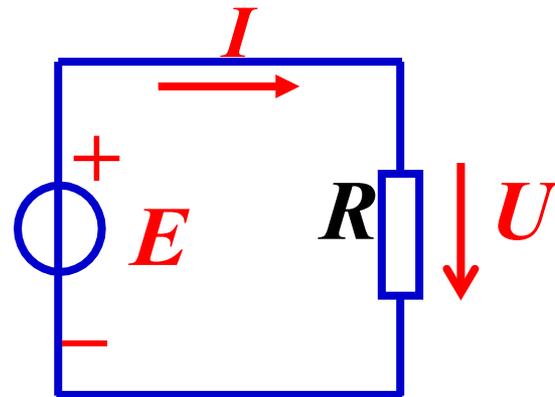
一、电路的组成

电路定义：由各种元器件联接而成的，是为电提供的通路。

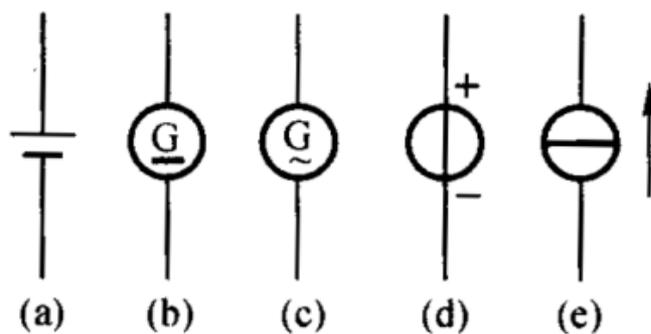
电路分为直流电路和交流电路。

复杂的电路称为电网络。

电路的基本组成：电源、负载和连接导线。



电源：将其他形式的能量转换成为电能的设备。



(a) 原电池或蓄电池；(b) 直流发电机；(c) 交流发电机；(d) 理想电压源；(e) 理想电流源

图 1-2 电源的图形符号

负载：将电能转换成其他能量的设备。

导线：用以在各种元器件间传送电能或电信息的导体。

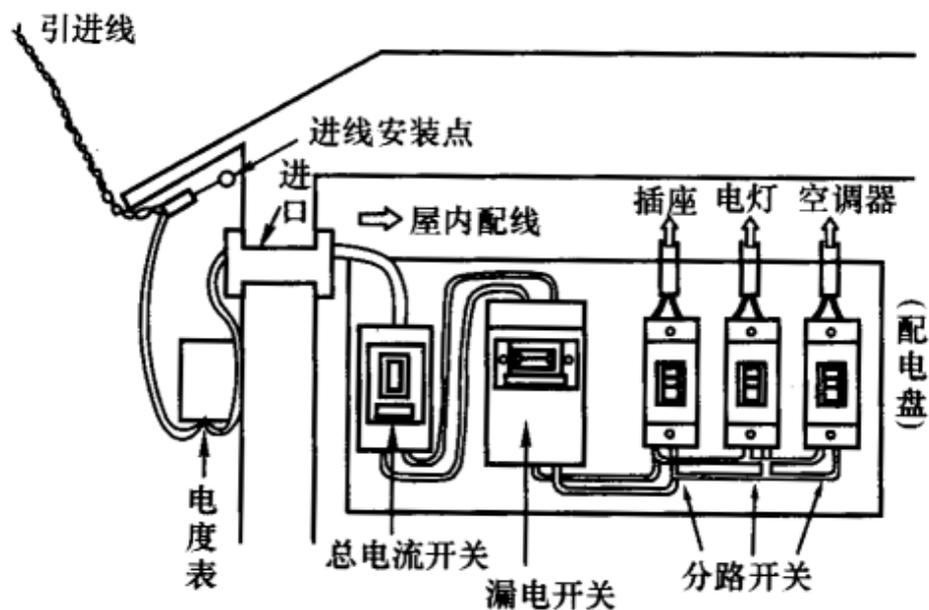


图 1-3 住宅配电箱

二、电路元件和电路模型

电路元件：电源元件，无源元件。

无源元件：耗能元件，储能元件。

理想元件： 理想元件是在一定的条件下对实际元件进行科学抽象而得到的。

两者的差别表现在一个实际元件往往呈现多种物理特性，而理想元件只有一个物理特性。例如：

理想电感：电感量

实际电感：电感量，电阻，分布电容

理想元件实际上是一种数学模型。它代表实际元件的某个特性。

三、电路的工作状态

电路有三种工作状态：通路、开路和短路。

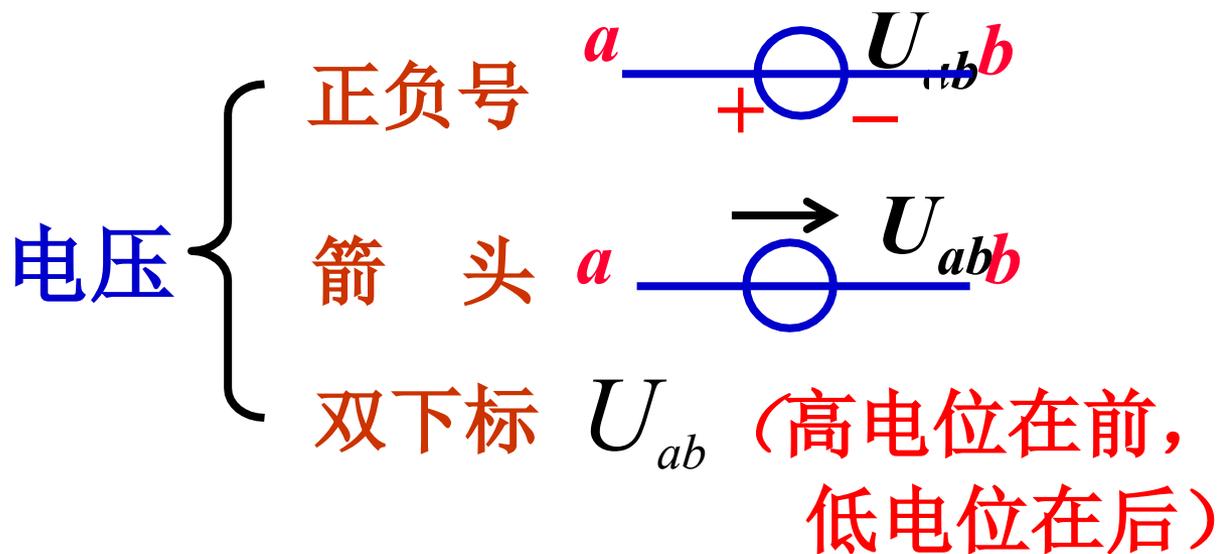
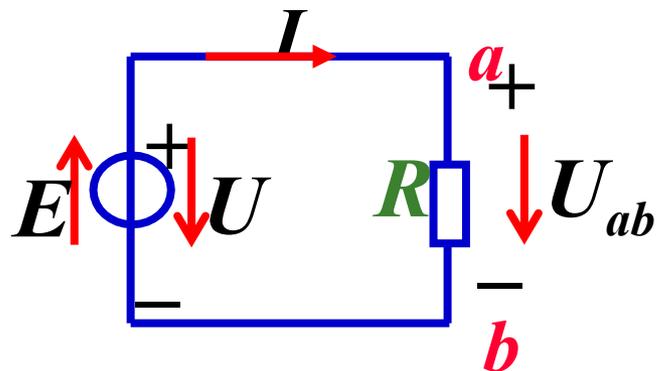
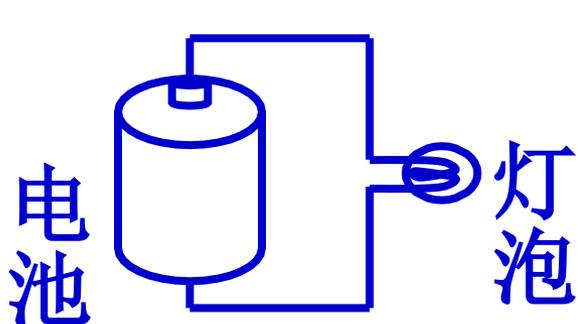
1. 通路

电路中有电流及能量的输送和转换。

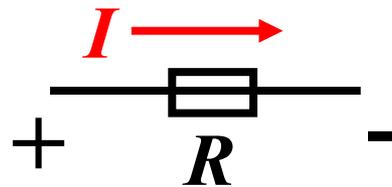
电流的实际方向：从高电位流向低电位。

在实际计算中，可以先假定一个电流方向，称为电流的参考方向。

物理量正方向的表示方法



电流: 从高电位
指向低电位。

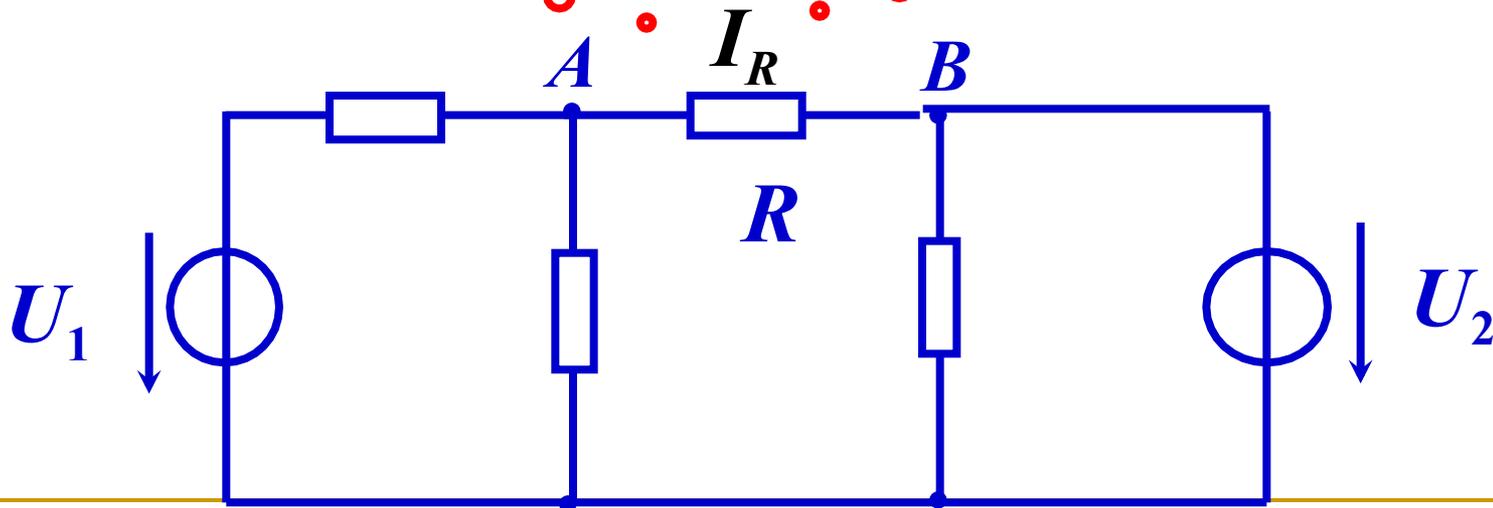


电路分析中的参考方向（假设正方向）

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
 $B \Rightarrow A$?



计算结果为正，表示电流的实际方向和参考方向相同。否则，总相反。

端电压：电源的输出电压。

电源的端电压和电流之间的关系称为电源的外特性。

内阻

理想电源：内阻为零，外特性曲线为一水平线。

理想电源有：理想电压源和理想电流源。

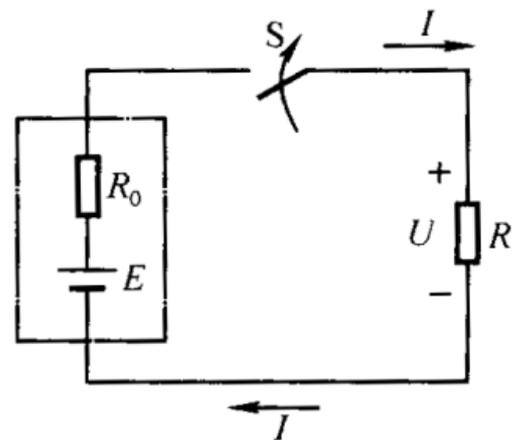
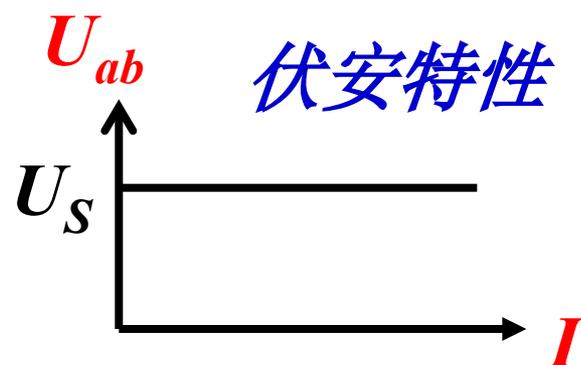


图 1-4 通路



2. 开路

当某一部分电路与电源断开，该部分电路中没有电流，亦无能量的输送和转换，这部分电路的状态称为断路。

开路时电源的端电压称为开路电压或空载电压。

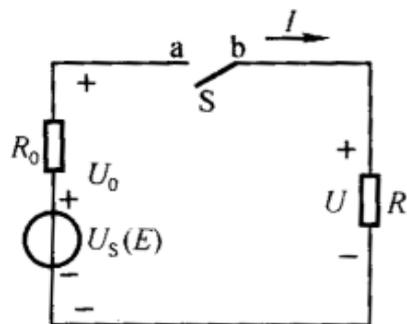


图 1-6 开路

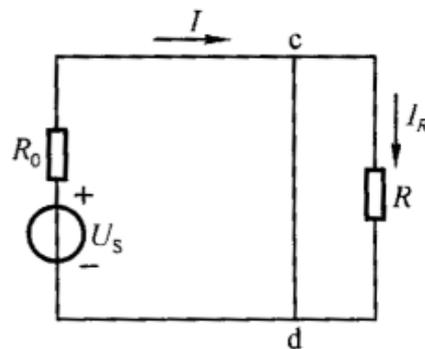


图 1-7 短路

3. 短路

当某一部分电路的两端用电阻可以忽略不计的导线或开关连接起来，这部分电路的状态称为短路。

如图，负载R上没有电压。

电源回路的电流：

$$I_S = \frac{U_S}{R}$$

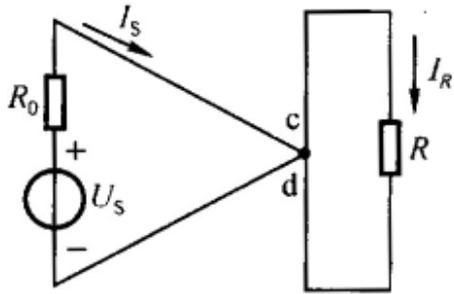


图 1-8 cd 重合后的电路

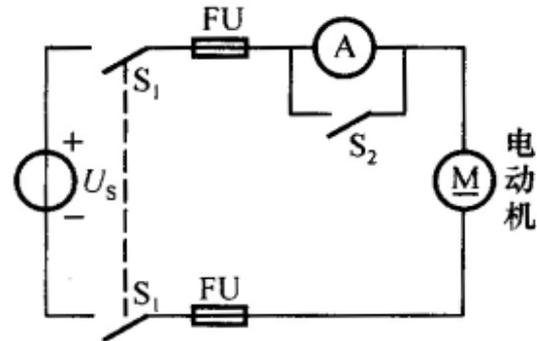


图 1-9 熔断器和短接开关

例1-1 有一电源，开路时电压 $U_0=12V$ ，当电流 $I=2A$ 时端电压 $U=11.8V$ 。

- (1) 求电源的电动势；
- (2) 求电源的内阻；
- (3) 求短路时的线路电流。

解：

(1) 电源的电动势 $E = U_0 = 12V$

(2) 电源的内阻 $R_0 = \frac{E - U}{I} = \frac{12 - 11.8}{2} \Omega = 0.1\Omega$

(3) 短路电流 $I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{12}{0.1} A = 120A$

四、电功率和电能

电气设备在单位时间内消耗的电能，简称功率，单位为瓦（W）。计算直流电功率的公式：

$$P = UI$$

电气设备在工作时间内消耗的电能用A表示：

$$A = Pt = UI t$$

度：功率为1KW的设备使用1小时所消耗的电能。

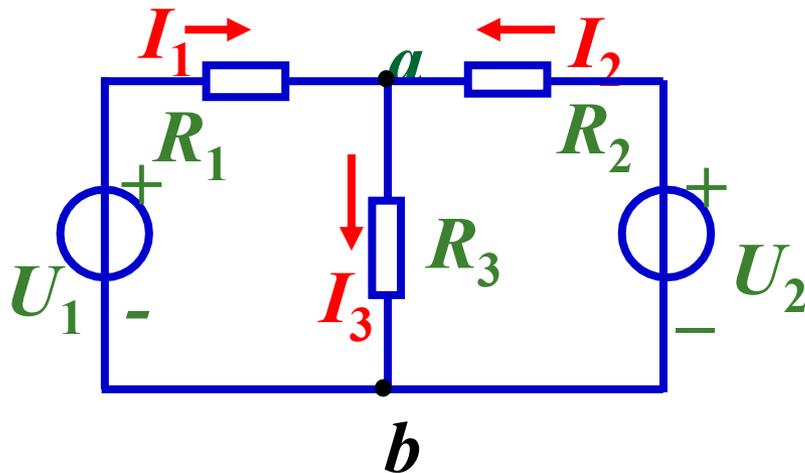
1-2 基尔霍夫定律

一、基尔霍夫电流定律 (KCL)

结点：三个或三个以上电路元件的连接点。

支路：连接两个结点之间的电路。

回路：电路中任一闭合路径。

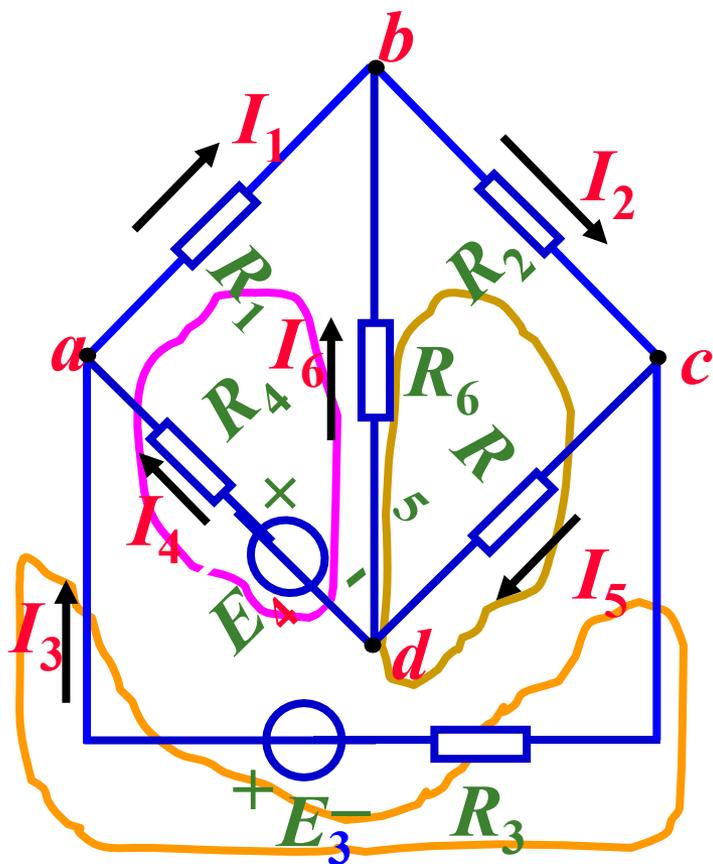


支路：共3条

结点： a 、 b
(共2个)

回路：共3个

例



支路：共？条

6条

结点：共？个

4个

回路：共？个

独立回路：？个

3个

有几个网眼就有几个独立回路

基尔霍夫电流定律 (KCL)

在任何电路中，任何结点上的所有支路电流的代数和在任何时刻都等于0：

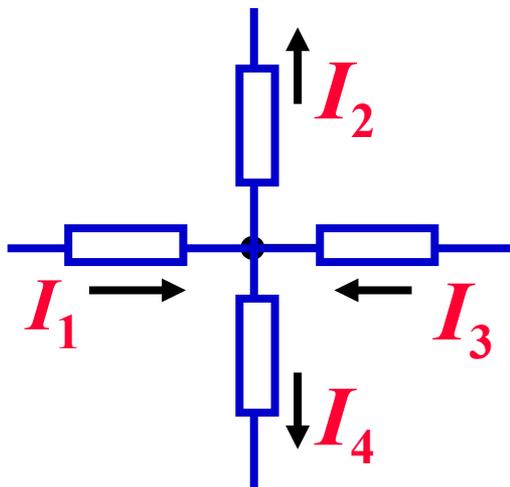
$$\sum i = 0$$

基尔霍夫电流定律同样适用于任一闭合面。

基尔霍夫电流定律

对任何结点，在任一瞬间，流入结点的电流之和等于由结点流出的电流之和。或者说，在任一瞬间，一个结点上电流的代数和为 0。

例



$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

或：
$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 = 0$$

即：

$$\Sigma I = 0$$

流入为正

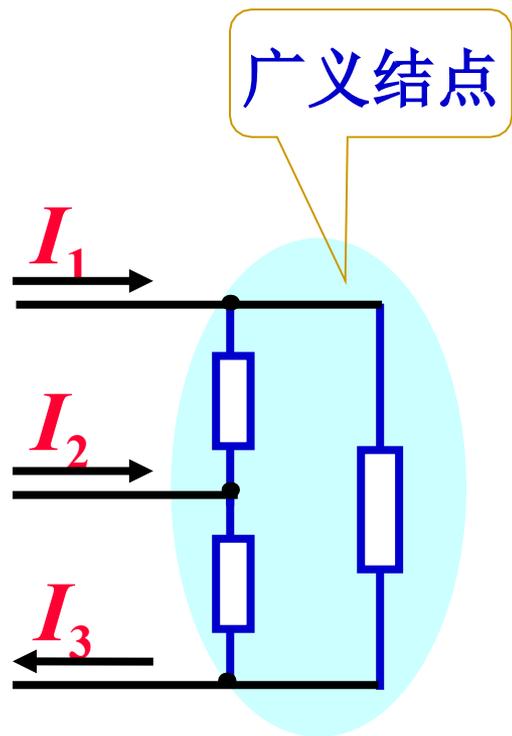
流出为负

基尔霍夫电流定律的依据：电流的连续性

基尔霍夫电流定律的扩展

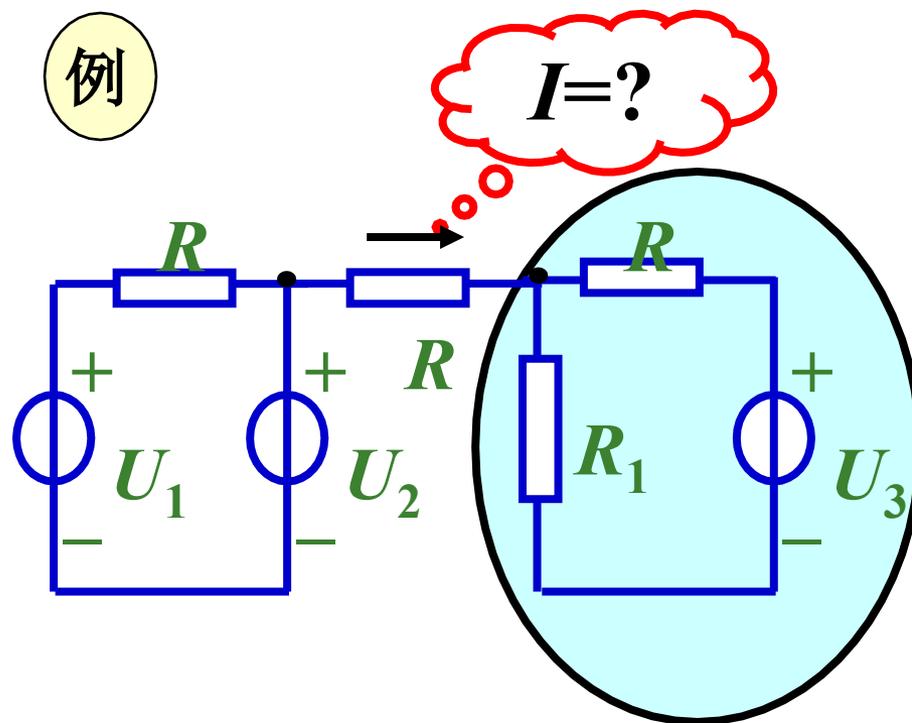
电流定律还可以扩展到电路的任意封闭面。

例



$$I_1 + I_2 = I_3$$

例



$$I = 0$$

例1-2 图1-12中的A和B是两个任意电路，证明当 $I_2=0$ 时， $I_1=0$ 。

解：

把电路A和B看成是两个广义的结点。应用基尔霍夫第一定律可得结点A或B的电流方程为 $I_1=I_2$ 。因此，若 $I_2=0$ ，则 $I_1=0$ 。

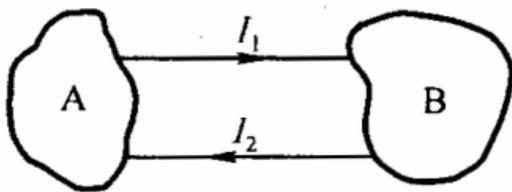


图 1 - 12

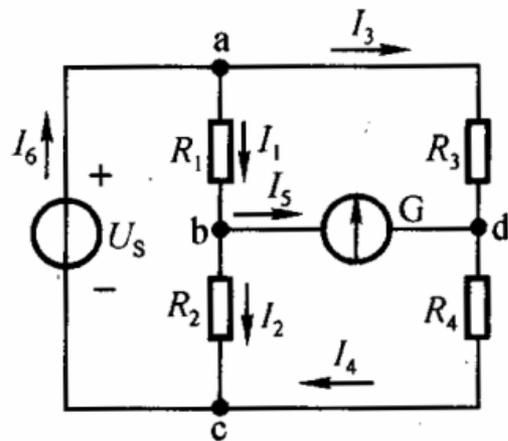


图 1 - 13

例1-3 图1-13为直流电桥电路. 已知 $I_1=10\text{mA}$, $I_2=20\text{mA}$, $I_3=15\text{mA}$, 电流的参考方向如图中箭头所示. 求其余支路的电流。

解:

设待求电流 I_4 , I_5 , I_6 的方向如图中箭头所示。

结点a $I_6 = I_1 + I_3 = (10 + 15)\text{mA} = 25\text{mA}$

结点b $I_5 = I_1 - I_2 = (10 - 20)\text{mA} = -10\text{mA}$

结点d $I_d = I_3 + I_5 = [15 + (-10)]\text{mA} = 5\text{mA}$

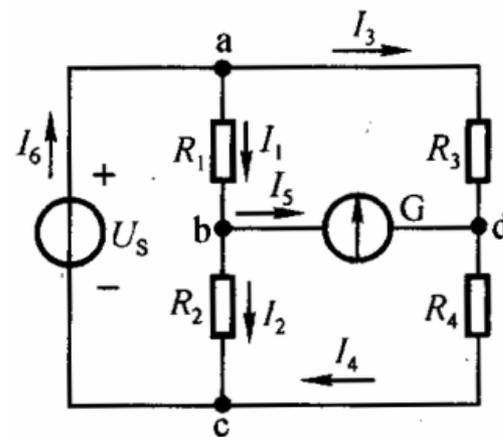


图 1 - 13

二、基尔霍夫第二定律（KVL）

在任何电路中，形成任何一个回路的所有支路沿同一循行方向电压的代数和在任何时刻都等于0：

$$\sum u = 0$$

基尔霍夫电压定律中，与环行方向一致的电压（参考方向）取正，与环行方向相反，取负号。

图示电路中，取回路adbca，有

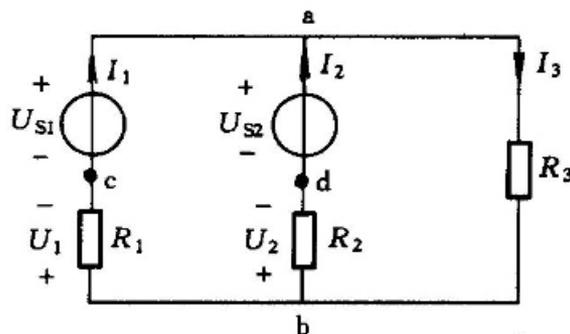
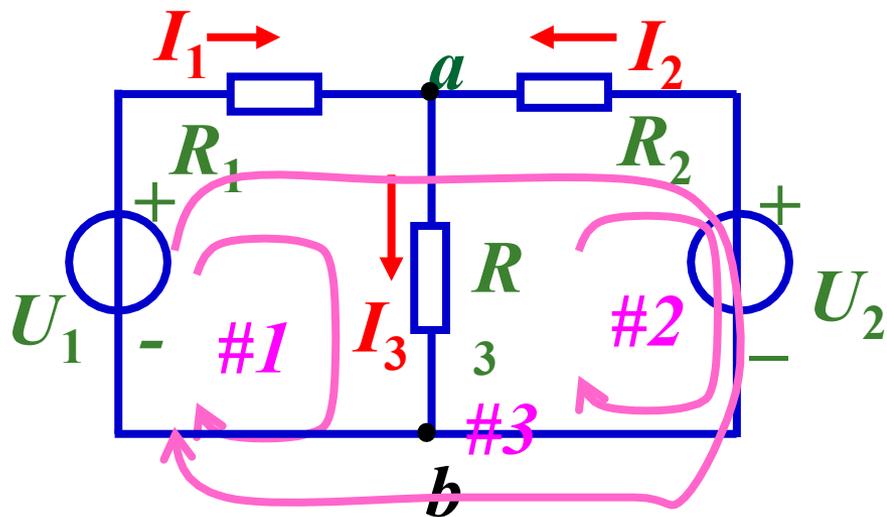


图 1.6.1 基尔霍夫定律

$$U_{S2} - U_2 + U_1 - U_{S1} = 0$$

基尔霍夫电压定律

对电路中的任一回路，沿任意循行方向转一周，其电位降等于电位升，或电压的代数和为 0。



即： $\sum U = 0$

电位降为正
电位升为负

例如：回路#1

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = U_1$$

电位降

电位升

对回路#2：

$$U_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

电位降

电位升

对回路#3：

$$I_1 R_1 + U_2 = U_1 + I_2 R_2$$

电位降

电位升

第3个方程不独立

例1-4 在图1-15中已知 $U_{s1}=6V$ ， $U_{s2}=12V$ ， $R_1=10\Omega$ ， $R_2=20\Omega$ 。求电流 I 。

解：

因为cd之间开路，所以只有回路fabef中有电流。假设电流的参考方向如图中箭头所示，由此可标出各电阻上电压的极性。

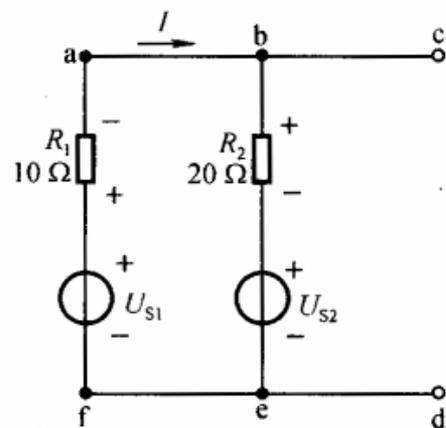
按顺时针方向绕行，则电压降 U_{s2} 为正，电压降 U_{s1} 为负，有：

$$U_{s2} - U_{s1} + R_1 I + R_2 I = 0$$

所以

$$I = \frac{U_{s1} - U_{s2}}{R_1 + R_2} = \frac{6 - 12}{10 + 20} A = -0.2 A$$

电流为负，表明实际方向与参考方向相反。



例1-15 求图1-16中的 U_{cd} ，已知 $U_{s1}=6V$ ， $U_{s2}=12V$ 。

解：按顺时针方向绕行，得回路abcdefha的电压方程为：

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{de} + U_{ef} + U_{fh} + U_{ha} = 0$$

忽略导线电压 U_{ab} ， U_{bc} ， U_{de} ， U_{ef}

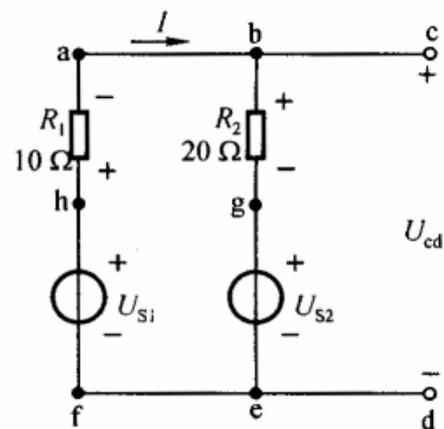
由：

$$U_{fh} = -U_{hf} = -U_{s1} = -6V$$

及上例的计算结果 $I = -0.2A$

得：

$$U_{cd} = -U_{fh} - U_{ha} = U_{s1} - R_1 I = 8V$$



1-3 电阻的串联和并联

一、电阻的串联

串联：将几个电阻顺序相接，其中没有分岔。

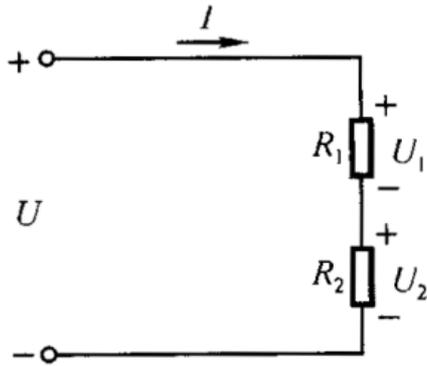


图 1-20 电阻串联电路

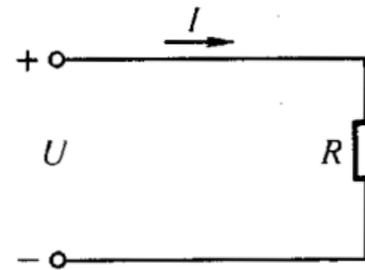


图 1-21 等效电阻

等效的含义。

分压器

利用串联电阻的分压。

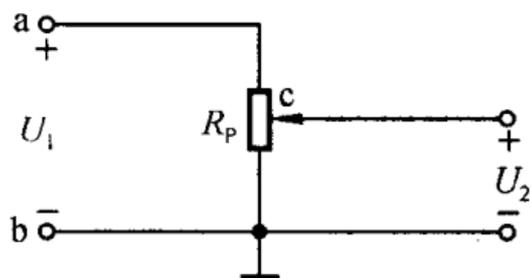


图 1-22 分压器

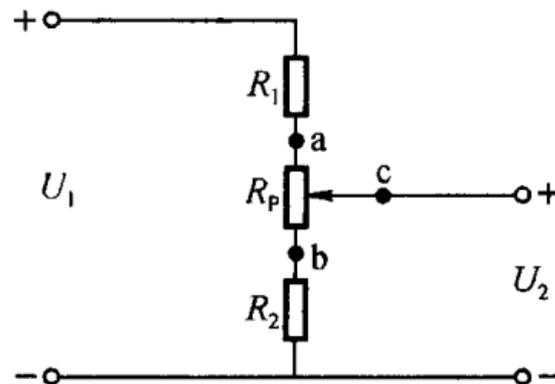


图 1-23 例 1-6

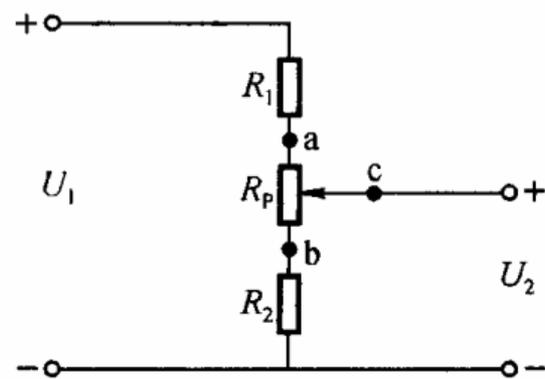
例1-6 在图1-23中，已知 $U_1=20V$ ， $R_1=1.2k$ ， $R_2=1.8k$ ， $R_p=6.8k$ ，求 U_2 的变化范围。

解：当触点c移动到b点时

$$U_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_p + R_2} = 3.67V$$

当触点c移动到a点时

$$U_2 = U_1 \frac{R_p + R_2}{R_1 + R_p + R_2} = 17.55V$$



二、电阻的并联

如图，将几个电阻并排连接，称为并联。

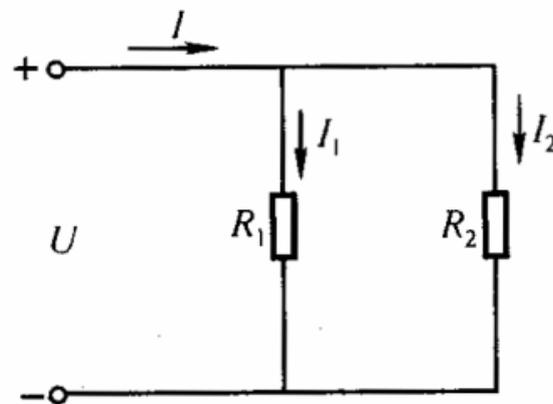
电阻并联后总电流为各支路电流之和。

如果用一个电阻来等效替代 R_1 和 R_2 的并联, 则该等效电阻为

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

换言之, 等效电阻为各并联电阻倒数和的倒数。

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



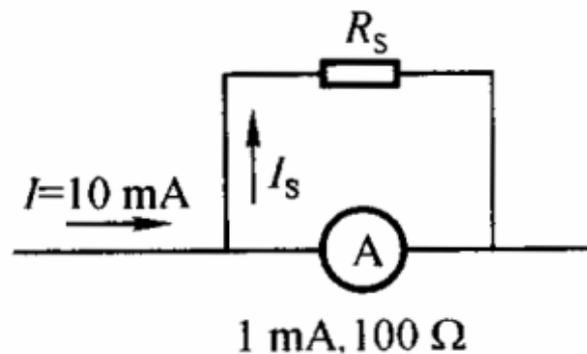
例1-7 在图1-25中，已知电流表的量程为1mA，内阻为100 Ω。现欲将量程扩大至10mA，求分流器的电阻值。

解：分流器与电流表构成并联电路，二者电压相等。设分流器的电阻为 R_s ，电流为 I_s ，得：

$$100 \times 1 \times 10^{-3} = R_s (10 - 1) \times 10^{-3}$$

$$R_s = \frac{100}{9} \Omega = 11.1 \Omega$$

在电流表上配置该分流器后，当该表的指针在原刻度盘上显示1mA时，线路电流为10mA，量程扩大了10倍。



1-4 支路电流法

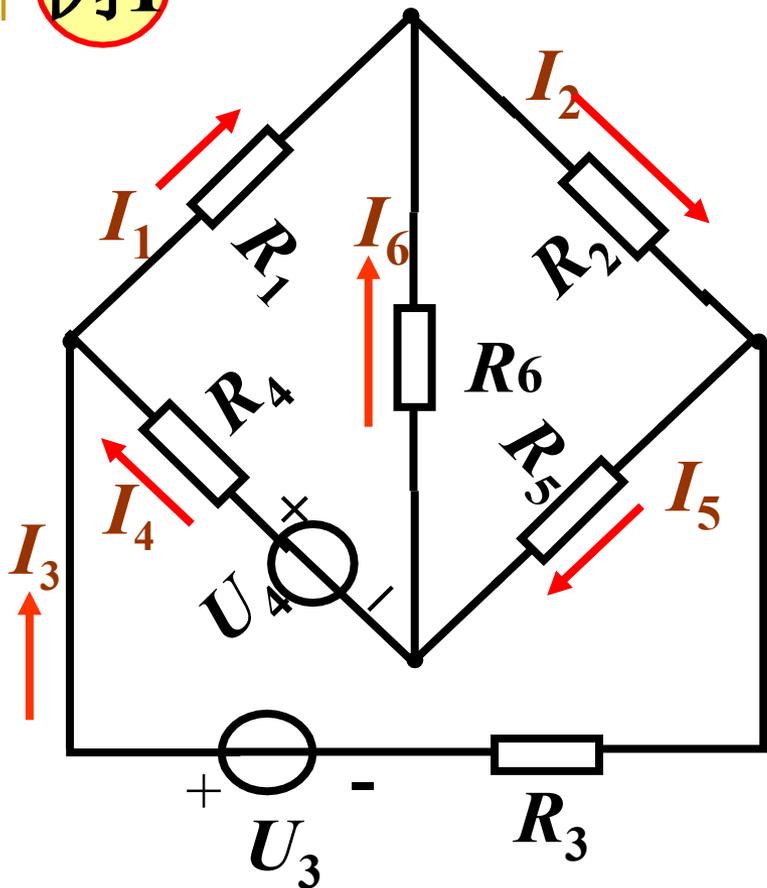
电路最基本的分析方法之一。

解题步骤：

- (1) 标出各支路电流的参考方向
- (2) 根据KCL列出结点的电流方程式
- (3) 根据KVL列出回路的电压方程
- (4) 解联立方程式，求出各支路电流

解题步骤:

例1



结点数 $N=4$

支路数 $B=6$

1. 对每一支路假设一未知电流 (I_1--I_6)

2. 列电流方程

对每个结点有

$$\sum I = 0$$

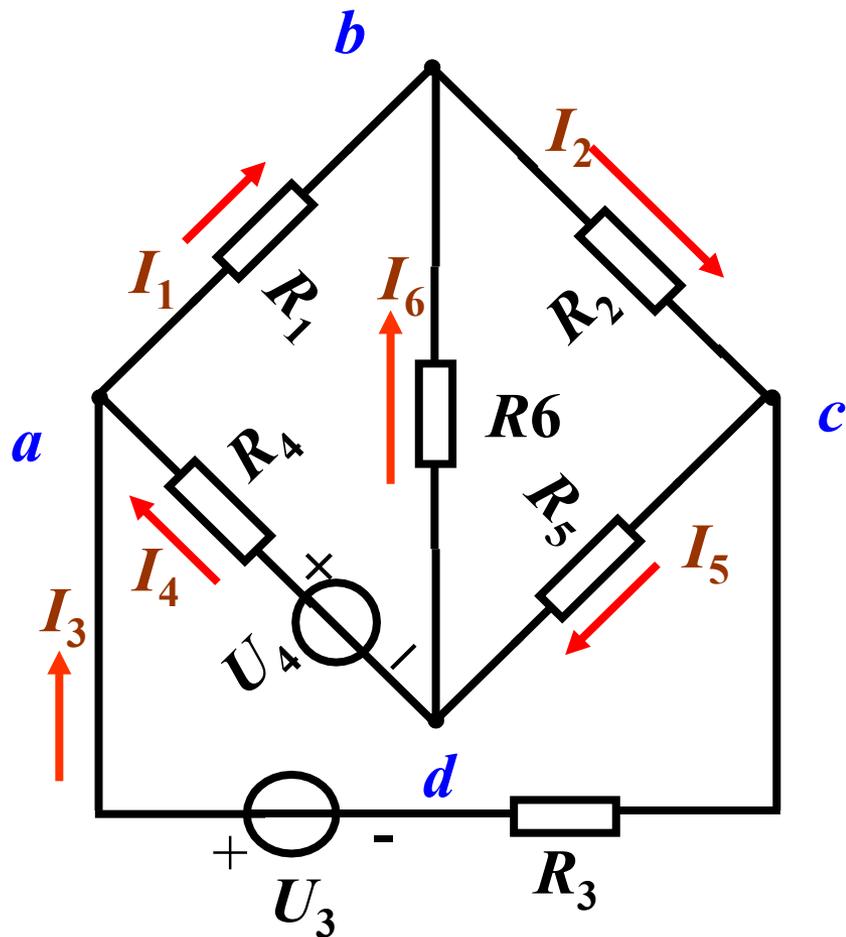
3. 列电压方程

对每个独立回路有

$$\sum U = 0$$

4. 解联立方程组

列电流方程



结点a: $I_3 + I_4 = I_1$

结点b: $I_1 + I_6 = I_2$

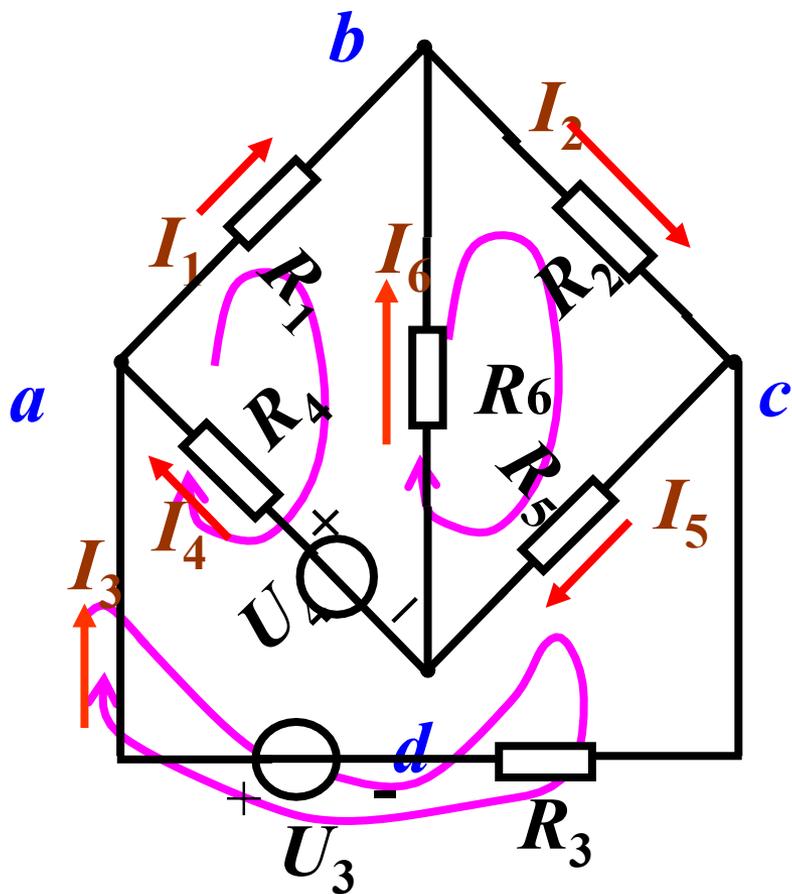
结点c: $I_2 = I_5 + I_3$

结点d: $I_4 + I_6 = I_5$

结点数 $N=4$
支路数 $B=6$

(取其中三个方程)

列电压方程



$abda$:

$$U_4 + I_6 R_6 = I_4 R_4 + I_1 R_1$$

$bcdb$:

$$0 = I_2 R_2 + I_5 R_5 + I_6 R_6$$

$adca$

$$I_4 R_4 + I_5 R_5 + U_3 = U_4 + I_3 R_3$$

电压、电流方程联立求得： $I_1 \sim I_6$ 结果可能有正负

例1-8 在图1-28 (a) 中, 已知 $U_s=18V$, $R_1=40\ \Omega$, $R_2=30\ \Omega$, $R_3=60\ \Omega$ 。求各支路电流。

解: 设电流 I_1, I_2, I_3 的参考方向如图所示, 列出结点电流方程:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

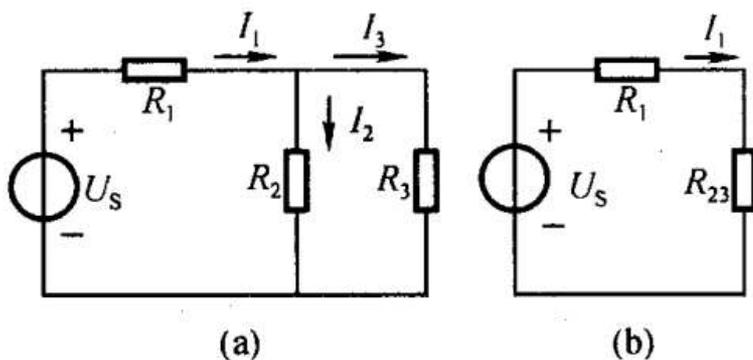


图 1-28 例 1-8

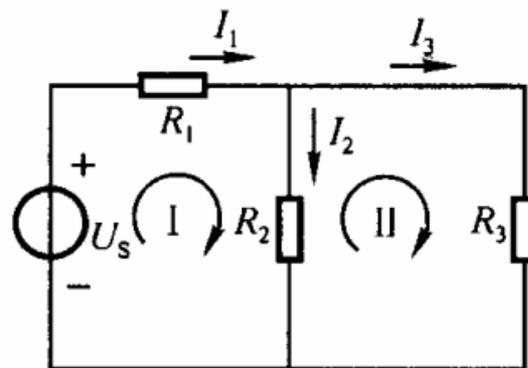


图 1-29 例 1-8

本题有两个单孔回路，可列出两个独立的电压方程。按顺时针方向绕行：

$$\text{回路1} \quad -U_{s1} + R_1 I_1 + R_2 I_2 = 0$$

$$\text{回路2} \quad R_3 I_3 - R_2 I_2 = 0$$

解联立方程组，得

$$I_1 = 0.3\text{A}$$

$$I_2 = 0.2\text{A}$$

$$I_3 = 0.1\text{A}。$$

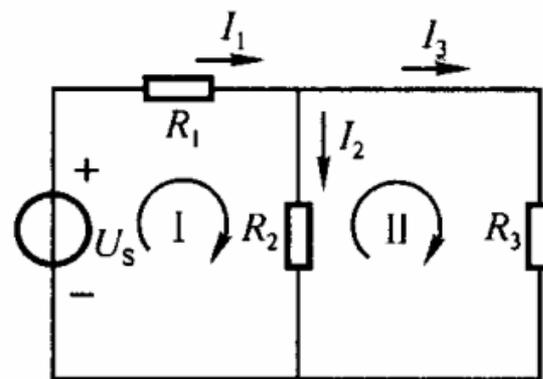


图 1-29 例 1-8

例1-9 在图1-30中, 已知 $U_{s1}=10V$, $U_{s2}=30V$, $R_1=20k\ \Omega$

,
 $R_2=60k\ \Omega$, $R_3=30k\ \Omega$ 。求 I_1 , I_2 , I_3 。

解: (1) 设各电流的参考方向如图中所示, 对结点a列
 电流方程

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

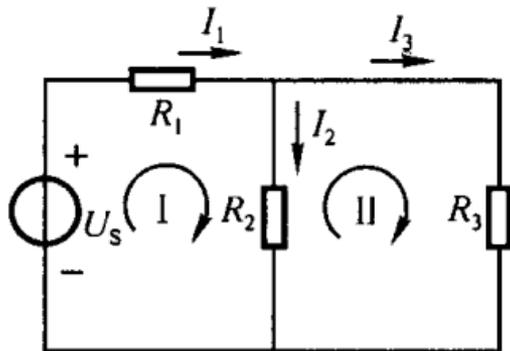


图 1-29 例 1-8

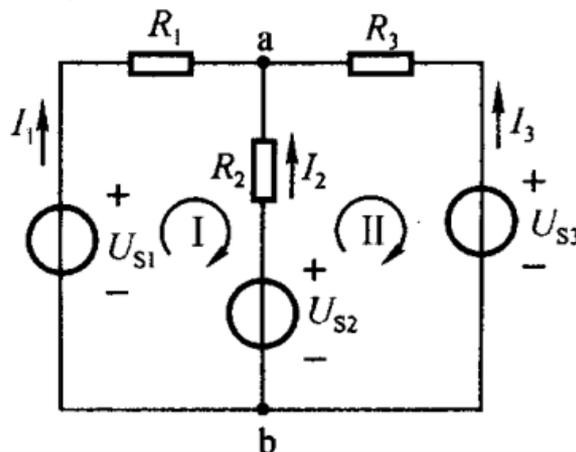


图 1-30 例 1-9

(2) 选定单孔回路 I 和 II 为顺时针方向，得回路电压方程

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

$$-U_{S2} + R_2 I_2 - R_3 I_3 + U_{S3} = 0$$

(3) 将已知数据代入各方程式，整理后得

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$20 \times 10^3 I_1 - 60 \times 10^3 I_2 - 4 = 0$$

$$60 \times 10^3 I_2 - 30 \times 10^3 I_3 + 24 = 0$$

解方程组，得

$$I_1 = -0.3mA, \quad I_2 = -0.17mA, \quad I_3 = 0.47mA$$

1-6 叠加原理

对于一个线性电路来说，由几个独立电源共同作用所产生的某一支路的电流或电压，等于各个独立电源单独作用时分别在该支路所产生的电流或电压的代数和。

线性关系的含义是：

1) 比例性（齐次性）：

2) 可加性：若电流 i_1 ， i_2 在电阻 R 上分别产生的电压为 $u_1= Ri_1$ ， $u_2= Ri_2$ ，则电流之和 (i_1+i_2) 产生的电压为：

$$U=R(i_1+i_2)=u_1+u_2$$

线性电阻：伏安特性曲线是 u - I 平面上的一条直线。
线性电阻的端电压和流过它的电流服从欧姆定律：

$$u=RI$$

R 为元件的电阻，单位为欧（ Ω ）。

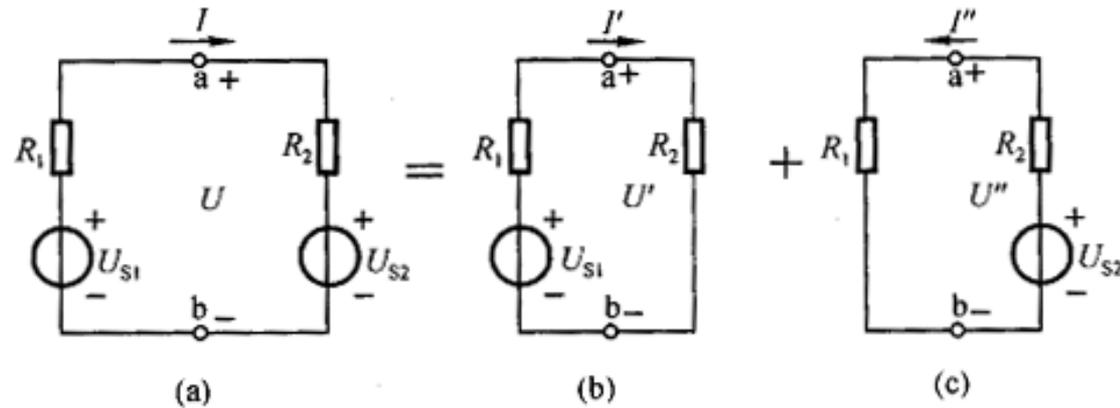
线性电感：

$$u = L \frac{di}{dt}$$

线性电容：

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

一、电流的叠加



$$I' = \frac{U_{S1}}{R_1 + R_2} \quad I'' = \frac{U_{S2}}{R_1 + R_2}$$

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

二、电压的叠加

在图1-34(a)中，ab二点的电压为

$$U = U_{s1} - R_1 I$$

将 $I = I' - I''$ 代入上式得

$$U = U_{s1} - R_1 (I' - I'') = (U_{s1} - R_1 I') + R_1 I'' = U' + U''$$

式中

$$U' = U_{s1} - R_1 I' \quad U'' = R_1 I''$$

电压U由两部分组成：

电源 U_{s1} 单独作用产生的电压 U'

电源 U_{s2} 单独作用产生的电压 U'' ，

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/276221215021011002>