

第一章 直流电路及其应用

课程目标

- 1 理解电路模型的概念
- 2 理解电路的基本物理量
- 3 理解电流电压参考方向的概念
- 4 掌握电路的基本定律：欧姆定律、基尔霍夫定律
- 5 掌握电路分析方法：支路电流法、电路等效变换法、叠加原理、戴维南定理
- 6 掌握常用电工仪表的使用方法、电路基本物理量的测量

课程内容

- 1 电路模型的概念
- 2 电路的基本物理量
- 3 欧姆定律、基尔霍夫定律
- 4 电路的基本分析方法：
 - 支路电流法
 - 电路等效变换法
 - 戴维南定理
 - 叠加原理
- 5 电工仪表的使用方法
- 6 电压与电位的测量

学习方法

从了解电路的组成、电路的模型出发，掌握电路的基本物理量的分析，掌握电路的基本定理的内容及分析应用，掌握电路等效变换法、支路电流法、戴维南定理、叠加原理的应用，通过电路实训掌握常用电工仪表的使用方法及一般电路的故障诊断与排除方法。

课后思考

- 1 电路由哪些部分组成？电路的作用有哪些？
- 2 电压与电位的关系及如何测量？
- 3 电压与电流的关联方向含义？
- 4 戴维南定理有哪些应用？
- 5 叠加原理的应用有哪些注意点？
- 6 测量电压电流时如何判断其方向？

电路模型

电路是为实现和完成人们的某种需求，由电源、导线、开关、负载等电气设备或元器组合起来，能使电流流通的整体。简单地说，就是电流的通路。电路的主要作用是：电路能实现电能的传输、分配和转换，其次能实现信号的传递和处理。如电炉通过时将电能转换成热能，电视机可将接收到的信号经过处理，转换成图像和声音。

一、实际电路

如图 1.1.1 所示。实际电路一般由三部分组成，由提供电能的设备（电池、发电机）、传输设备（连接导线）、使用电能的设备（负载如电灯等）组成。

二、电路模型定义

在电路的分析计算中，用一个假定的二端元件如电阻元件（见图 1.1.2 来代替实际元件（如灯泡），二端元件的电和磁的性质反应了实际电路元件的电和磁的性质，称这个假定的二端元件为理想电路元件。

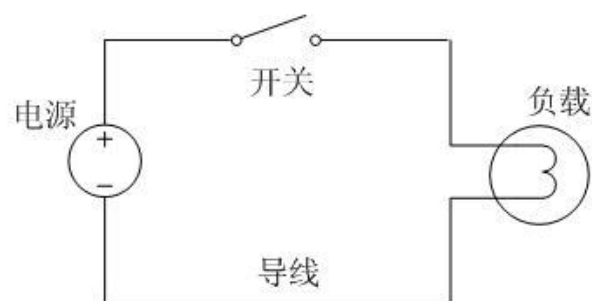


图 1.1.1 实际电路

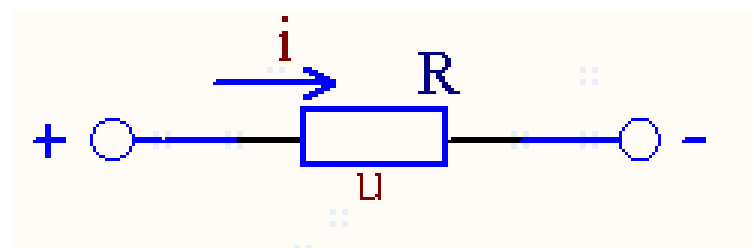


图 1.1.2

由理想电路元件组成的电路称为理想电路模型，简称电路模型，如图 1.1.3 所示。

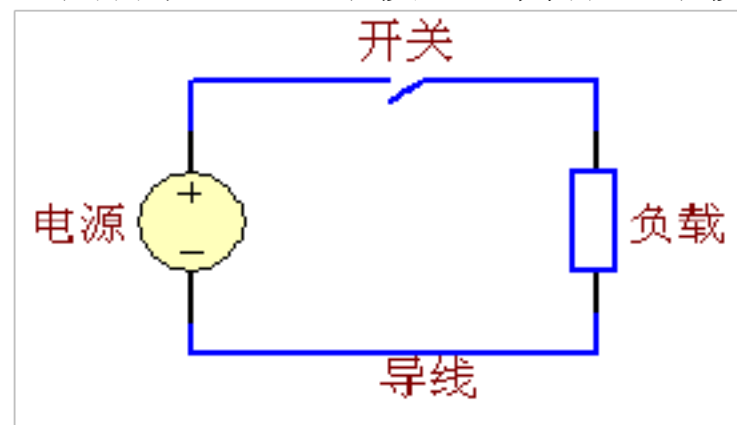


图 1.1.3

电路基本物理量

一、 电流

1 定义

单位时间内流过导体截面积的电荷量定义为电流强度，用以衡量电流的大小。电工技术中，常把电流强度简称为电流，用 i 表示。随时间而变化的电流定义为

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

(1.1)

式中 q 为随时间 t 变化的电荷量。

在电场力的作用下，电荷有规则的定向移动，形成了电流。规定正电荷的方向为电流的实际方向。

当 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ，则称这种电流为恒定电流，简称直流。用大写字母如 U 、 I 表示电压、电流为恒定量，不随时间变化，一般称作直流电压、直流电流。小写字母 u 、 i 表示电压、电流随时间变化。

2 单位

在国际单位制 (SI) 中，在 1s 内通过导体横截面的电荷量为 1C (库仑) 时，其电流为 1A (安培)。

3 方向

电流的方向可用箭头表示，也可用字母顺序表示，见图 1.1.4 用双下标表示为 i_{ab} 。

电流的参考方向

图 1.1.6(a) 中电流的参考方向与实际方向一致， $i > 0$ 。图 1.1.6(b) 中电流的参考方向与实际方向相反， $i < 0$ 。

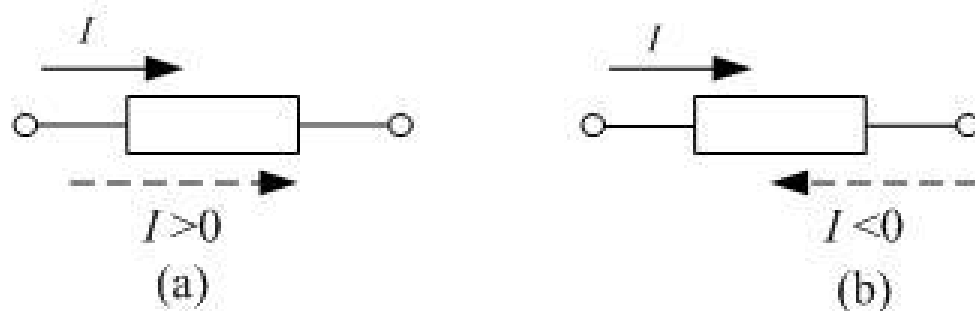


图 1.1.6

实际方向用虚线表示，参考方向用实线表示，以下同。

二、 电压

1 定义

电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所作的功称为 a 、 b 间的电压，用 u_{ab} (U_{ab}) 表示。

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1.2)$$

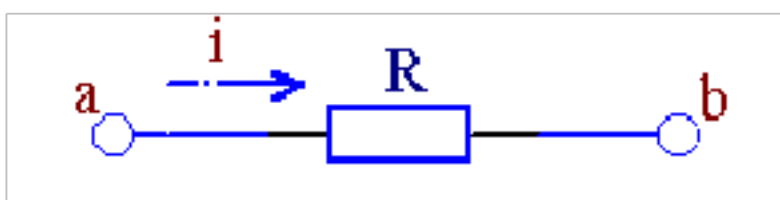


图 1.1.4

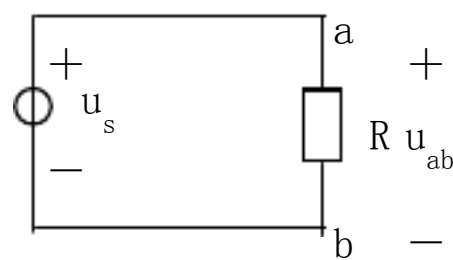


图 1.1.5

习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向，可用+、-号表示，也可用字母的双下

标表示，有时也用箭头表示，见图 1.1.5

2 单位

在国际单位制中，当电场力把 1C（库仑）的正电荷从一点移到另一点所做的功为 1J（焦耳），则这两点间的电压为 1V（伏特）。

有时把电路中任一点与参考点（规定电位能为零的点）之间的电压，也叫做该点的电位。也就是该点对参考点所具有的电位能。参考点的电位为零可用符号“⊥”表示。电位的单位与电压相同，用 V（伏特）。

电路中两点间的电压也可用两点间的电位差来表示。

$$u_{ab} = u_a - u_b$$

(1.3)

电场中两点间的电压是不变的，电位随参考点（零点位点）选择的不同而不同。

3 电压的参考方向

在图 1.1.7(a) 中电压参考方向与实际方向一致取正， $u > 0$ 。在图 1.1.7(b) 中电压参考方向与实际方向相反取负， $u < 0$ 。

可见电流、电压都是代数数量。

当电流的方向与电压方向选取一致，称为关联参考方向，见图 1.1.8

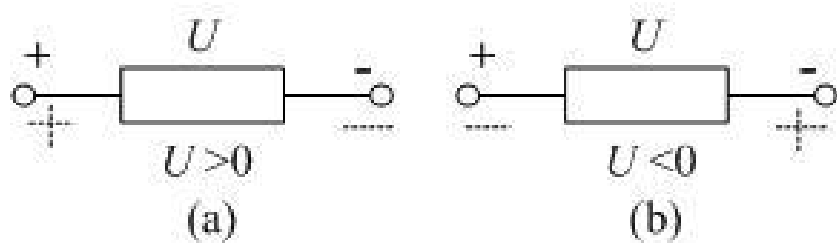


图 1.1.7

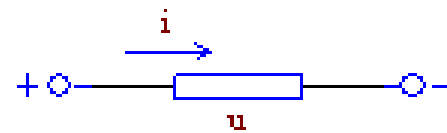


图 1.1.8

当电流的方向与电压方向选取一致，称为关联参考方向，见图 1.1.8

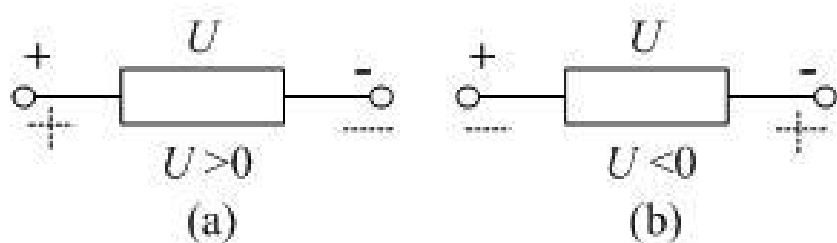


图 1.1.7

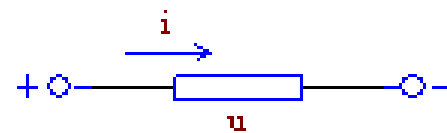


图 1.1.8

3. 电动势

非电场力即局外力把单位正电荷在电源内部由低电位 b 端移到高电位 a 端所做的功，称为电动势，用字母 e (E) 表示。

$$e(t) = \frac{dW}{dq} \quad (1.4)$$

电动势的实际方向在电源内部从低电位指向高电位，单位与电压相同用 V 表示。

在图 1.1.9 中，电压 u_{ab} 是电场力把单位正电荷由外电路从 a 点移到 b 点所作的功，由高电位指向低电位。电动势是非电场力在电源内部把单位正电荷克服电场阻力，从 b 点移到 a 点所做的功。图 1.1.10 所示的直流电源在没有与外电路连接的情况下，电动势与两端电压大小相等方向相反。

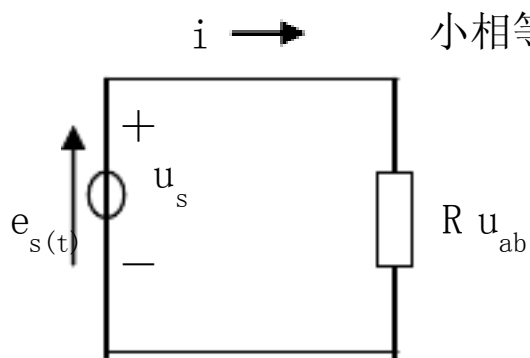


图 1.1.9

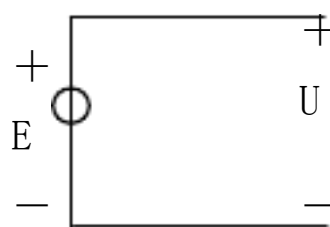


图 1.1.10

4. 电位

在电路中任选一点为参考点，则某点到参考点的电压就称为该点（相对于参考点）的电位。电位用符号 V 表示。

参考点的选择是任意的。参考的电位点规定为零。所以，参考点又叫零电位点。

在图 1.1.11(a) 中，根据需要，如果选 d 点为参考点，即 $V_d = 0V$ ，则 b 、 c 点的电位为

$$V_b = E_1 = 120V, V_c = E_2 = 72V$$

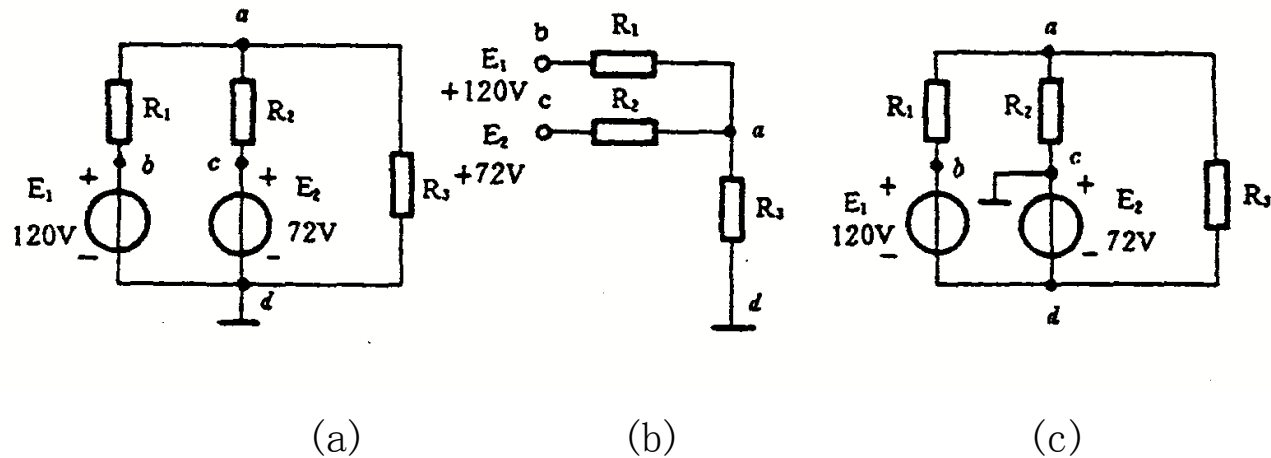


图 1.1.11 参考点与电位

利用电位的概念，可将图 1.1.11(b) 所示电路，不画电源，图中各端只标以电压值即可。

如果选 c 点为参考点，即 $V_c = 0V$ ，如图 1.1.11(c) 所示，此时 d 、 b 点的电位为

$$V_d = -E_2 = -72V, V_b = -E_2 + E_1 = 72 + 120 = 48V$$

当然，根据需要也可以选取 a 点或 b 点作为参考点。

显然，参考点选得不同，电路中各点相应的电位也不同。但是参考点一经选定，则电路中各点的电位就被唯一地确定了。所以，电路中某点电位的高低是相对的。

电路中任意两点电位之差称为电位差，又叫电压。在图 1.1.11(a) 中， b 、 c 两点间的电压为

$$U_{bc} = V_b - V_c = 120 - 72 = 48V \quad (d \text{ 点为参考点})$$

在图 1.1.11(c) 中， b 、 c 两点间的电压为

$$U_{bc} = V_b - V_c = 48 - 0 = 48V \quad (c \text{ 点为参考点})$$

由此可见，电路中两点间的电压值不会因选取不同的参考点而改变，电压是一个绝对量。

电位虽是对某一点而言，但实质上还是指两点间的电位差，只是其中一点（参考点）的电位预先指定为零而已。

5 功率

电能量对时间的变化率，称为功率，也就是电场力在单位时间内所做的功

$$p = \frac{dW}{dt}$$

(1.5)

在国际单位制中，功率的单位是瓦特 (W)。

在图 1.1.12 中电阻两端的电压是 U ，流过的电流是 I ，是关联参考方向，则电阻吸收的功率为

$$P = UI$$

电阻在 t 时间内消耗的电能为

$$W = Pt$$

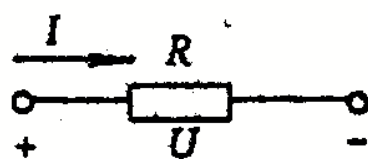


图 1.1.12

我们平时所说消耗 1 度电就是当一段电路功率为 $1kW$ 时在 1 个小时内消耗的电能，即

1kw·h。

元件两电压和流过的电流在关联参考方向下时，见图 1.1.13

$P=UI>0$ ，元件吸收功率。

$P=UI<0$ ，元件发出功率。

如果元件两端的电压和流过的电流在非关联参考方向下时，见图 1.1.14

$P=UI>0$ ，元件发出功率。

$P=UI<0$ ，元件吸收功率。

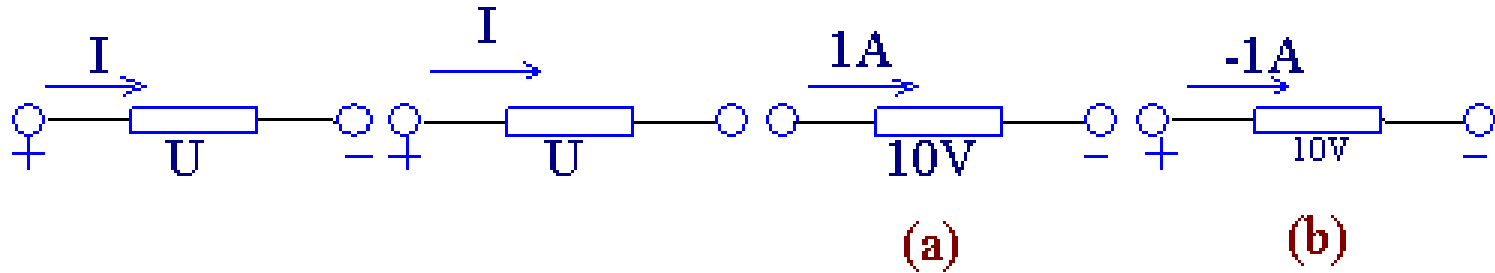


图 1.1.13

图 1.1.14

图 1.1.15

对任一个电路元件，当流经元件的电流实际方向与元件两端电压的实际方向一致，元件吸收功率。电流电压实际方向相反，元件发出功率。

例 1.1 试判断图 1.1.15(a)、(b)中元件是发出功率还是吸收功率。

解：在图 1.1.15(a) 中电压、电流是关联参考方向，且 $P=UI=10W >0$ ，元件吸收功率。

在图 1.1.15(b) 中电压、电流是关联参考方向，且 $P=UI=-10W <0$ ，元件发出功率。

欧姆定律、基尔霍夫定律

欧姆定律和基尔霍夫定律是电路的基本定律，此二定律提示了电路基本物理量之间的关系，是电路分析计算的基础和依据。

一、欧姆定律 (ohm's Law)

对于一个电阻元件来说，其中流过的电流与其两端的电压成正比。在图 1.2.1所示的电流参考方向的情况下，可以表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.11)$$

或

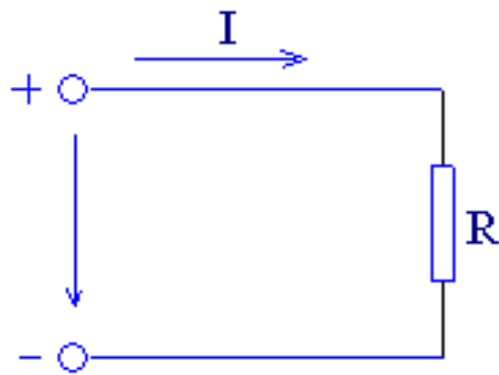
$$R = \frac{U}{I}$$

此为欧姆定律，它确定了电阻元件的 I 与电压 U 的关系。电阻 R 的单位是欧姆 (Ω)，简称欧。电阻数值很大时，则以千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 为单位，即

$$1\text{ k}\Omega = 10^3\ \Omega$$

$$1\text{ M}\Omega = 10^6\ \Omega$$

欧姆定律只适合于线性电阻电路的分析计算。



二、基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Law)

1. 支路、节点、回路

支路 通常情况下，通以相同的电流无分支的一段电路称为支路。图 1.2.2中有三条支路。其中两条含电源的支路称为有源支路。不含电源的支路称无源支路。

节点 三条或三条以上支路的连接点称为节点，图 1.2.2中有两个节点 a、b。

回路 电路中任一闭合路径称为回路，不含交叉支路的回路称为网孔，在图 1.2.2中，回路有三个，网孔只有两个。

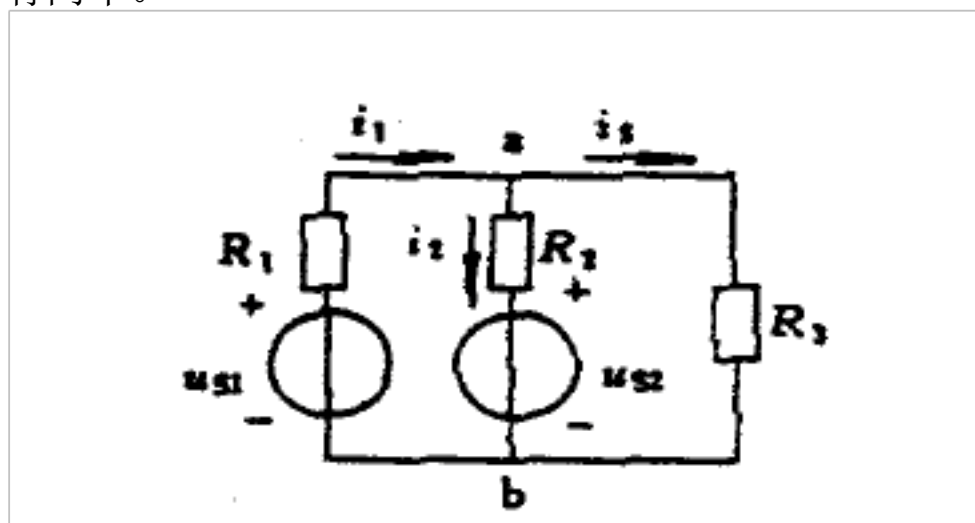


图 1.2.2

2. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

在电路中，任何时刻，对任一节点所有支路电流的代数和等于零。即在电路中对任一节点，在任一时刻流进节点的电流等于流出该节点的电流。

$$\sum i = 0 \quad (1.12)$$

在图 1.2.3中，假定流入 a 节点电流取负，流出 a 电流取正，有： $-i_1 - i_2 + i_3 = 0$

在图 1.2.2中，对节点 a 有：

$$-i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

(1.13)

对节点 b 有: $-i_3 - i_2 + i_1 = 0$

(1.14)

将式 (1.12) 两边乘以 (-1), 所得方程与式 (1.13) 完全相同, 故在图 1.2.2 中只要对其中一个节点列电流方程。此节点称为独立节点, 当有 n 个节点, n-1 个节点是独立的。

在图 1.2.4 中:

对结点 a:

$$-i_1 - i_{ca} + i_{ab} = 0$$

对结点 b:

$$-i_2 - i_{ab} + i_{bc} = 0$$

对结点 c:

$$-i_3 - i_{bc} + i_{ca} = 0$$

把上面 3 个方程式相加, 得

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

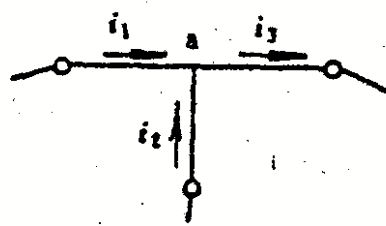


图 1.2.3

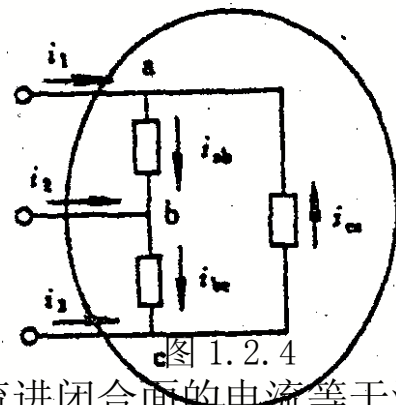


图 1.2.4

得出在电路中对任一闭合面电流的代数和为零, 即流进闭合面的电流等于流出闭合面的电流。这是电流连续性的体现。

3. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

在电路中任何时刻, 在任一回路内所有支路电压的代数和等于零。

$$\sum u = 0$$

(1.15)

在图 1.2.5 中假定回路绕行方向顺时针有:

$$u_{R1} + u_{R2} + u_{R3} + u_{S2} - u_{S1} = 0$$

(1.16)

元件上的电压方向与绕行方向一致取正, 相反取负。把欧姆定律公式代入式 (1.16) 有:

$$R_1 i + R_2 i + R_3 i + u_{S2} - u_{S1} = 0$$

$$R_1 i + R_2 i + R_3 i + u_{S1} - u_{S2}$$

$$= R_k i - u_{sk}$$

(1.17)

式 (1.17) 中流过电阻的电流与绕行方向一致 $R_k i$ 前取正, 否则取负。电压源电压方向与绕行方向一致 u_{sk} 前取负 (移到等号右边变号), 否则取正。

注意: 一般对独立回路列电压方程, 网孔一般是独立回路。在电路中, 设有 b 条支路, n 个节点, 独立回路数为 $b - (n - 1)$ 。

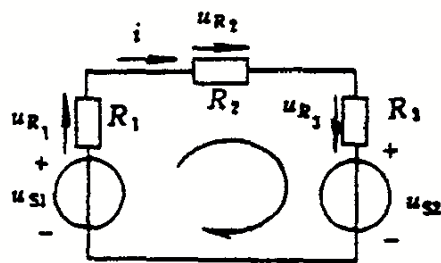


图 1.2.5

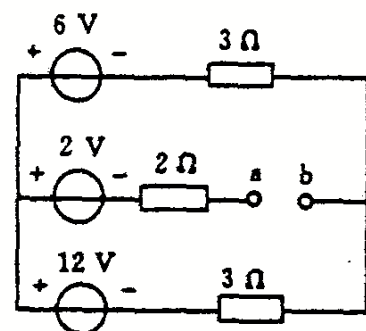


图 1.2.6

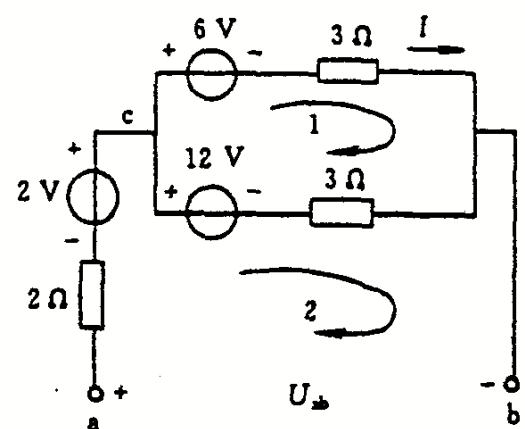


图 1.2.7

例 1.4 求图示电路的开口电压 U_{ab}

解: 先把图 1.2.6 改画成图 1.2.7 求电流 I。

在回路 1 中, 有

$$6I=12-6$$

$$I=1\text{A}$$

根据基尔霍夫电压定律,在回路 2 中,得

$$\begin{aligned} U_{ac} + U_{cb} - U_{ab} &= 0 \\ -2 + 12 - 3 \times 1 - U_{ab} &= 0 \\ U_{ab} &= 7\text{V} \end{aligned}$$

从上面的例子可以看出,基尔霍夫电压定律不但适用于闭合回路,对开口回路同样适用,但需在开口处假设电压(例中 U_{ab})。在列电压方程时,要注意开口处电压方向。

电路的基本分析方法

电路的基本分析方法,包括简单电路的分析方法和复杂电路的分析方法。所谓简单电路,是指能进行串并联化简的那些电路。这种电路的分析方法是最基本且最重要的。所谓复杂电路,是指那些不能用串并联化简的电路。复杂电路的分析方法很多,这里只讨论几种基本方法。

一、支路电流法

图 1.3.1所示电路,结构虽然比较简单,但三个电阻既不是串联关系,又不是并关系,不能用串并联化简的方法进行计算,因而它是一个复杂电路。现在重新画出来,如图 1.3.1所示。

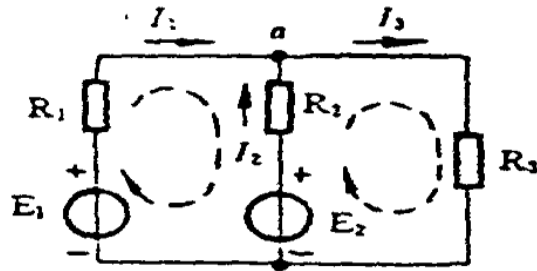


图 1.3.1 支路电流法

前面已经说过,这是个分支电路,三条支路三个电流 I_1 、 I_2 和 I_3 ,如何计算这三个电流呢?

支路电流法,顾名思义,就是以待求支路的电流为未知量,按一定规则列方程求解的方法。

图示电路中有三个电流,那么只要能列出三个方程,三个电流就可以计算出来。列方程自然应想到基尔霍夫定律。应用这个定律可以列出节点电流方程和回路电压方程。图 1.3.1所示电路有两个节点,能列出两个电流方程,即

$$\begin{aligned} \text{a点} & \quad I_1 + I_2 = I_3 \\ \text{b点} & \quad I_3 = I_1 + I_2 \end{aligned}$$

两个电流方程中,有一个不是独立的(可由另一个方程导出来)。独立电流方程的数目为 $2-1=1$ 个。一般,若电路有 n 个节点,则独立电流方程为 $(n-1)$ 个。

现在只有一个独立方程,尚缺两个方程。图示电路有三个回路,能列出三个回路电压方程。我们从中任取两个就够了。例如,取左右两个小回路(网孔)列电压方程,均按顺时针方向绕行一周,有

$$\text{左边} \quad E_1 + I_2 R_2 = E_2 + I_1 R_1$$

$$\text{右边} \quad E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

整理可得

$$\begin{aligned} I_1 R_1 - I_2 R_2 &= E_1 - E_2 \\ I_2 R_2 + I_3 R_3 &= E_2 \end{aligned}$$

一般情况下,电路中需要列回路电压方程的数目为网孔数。

现将图示电路的节点电流方程和回路电压方程联立为

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= I_3 \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 &= E_1 - E_2 \\ I_2 R_2 + I_3 R_3 &= E_2 \end{aligned} \quad (1.18)$$

求解得 I_1 、 I_2 和 I_3 。若它们的数值为正,则所设电流的参考方向与实际方向一致;若它们的数值为负,则所设参考方向与实际方向相反。

综上所述,采用支路电流法的步骤是:

- ① 判别电路的网孔数和节点数 n ;
- ② 标出各待求电流的参考方向;
- ③ 按节点列电流方程,方程数为 $(n-1)$ 个;
- ④ 按回路列电压方程,方程数为网孔数。

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/758057140137007004>