

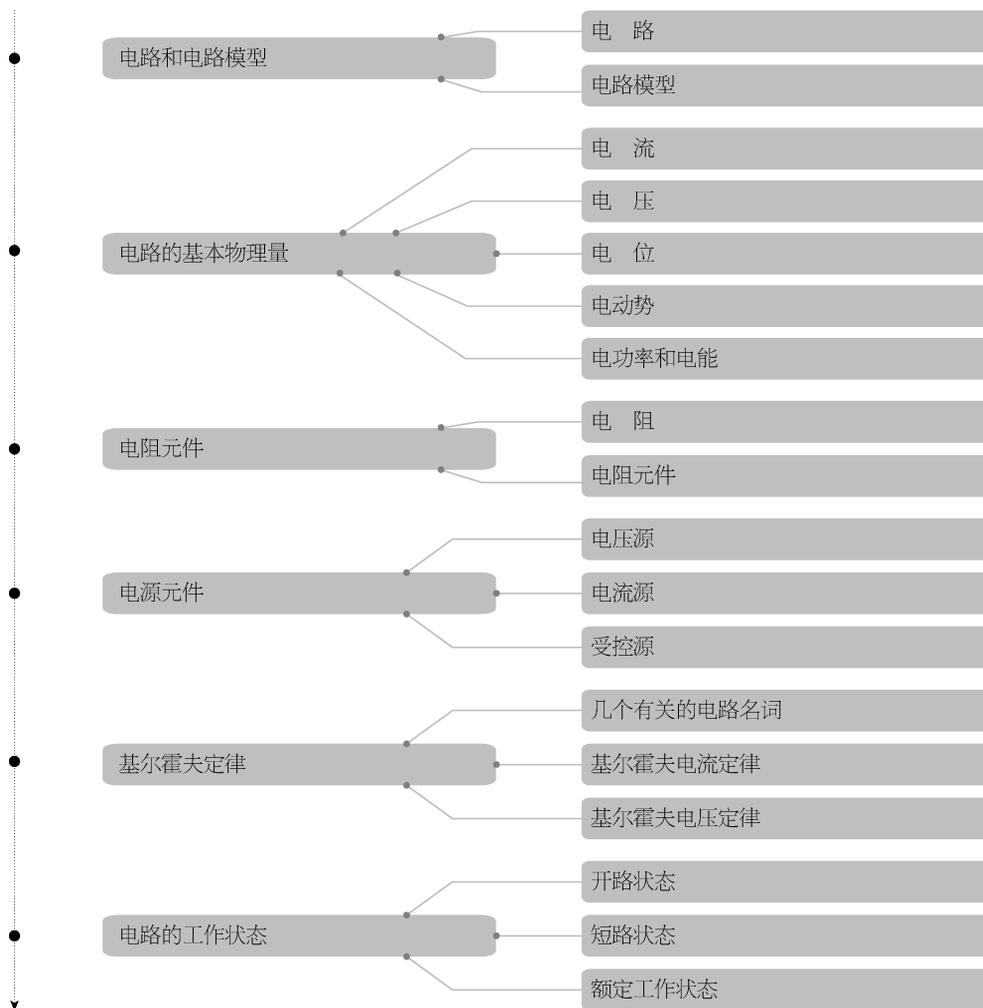
# 第 1 章 电路的基本概念和基本定律

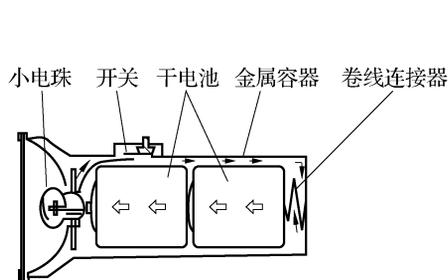
## 【知识目标】

- (1) 掌握电路元件的作用以及各自的参数对其性能的影响；
- (2) 熟练掌握电流、电压、电位、电动势和电能；
- (3) 熟练掌握电阻元件在电路中的作用和其性能；
- (4) 熟练掌握电源元件在电路中的作用和其性能；
- (5) 熟练掌握基尔霍夫定律；
- (6) 掌握电路的各种工作状态。

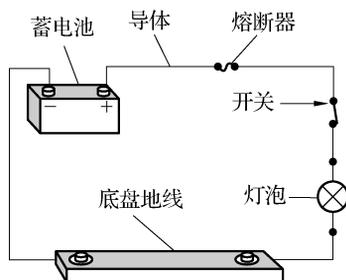
## 【能力目标】

- (1) 能够理解工学所要研究的对象；
- (2) 牢固理解电路的电流、电压、电位、电动势和电能等基本物理量；
- (3) 能够利用欧姆定律和基尔霍夫定律解决实际问题；
- (4) 能够根据不同的需要来选择不同的电路工作状态





案例图 1 手电筒电路图



案例图 2 汽车大灯电路图

问题提出:

问题 1: 什么是电路?

问题 2: 构成一个电路必须的元素有哪些?

问题 3: 它们是怎么工作的, 为什么开关合上后灯就可以发光?

## 1.1 电路和电路模型

### 1.1.1 电路

现如今人们的生活中充满了电气化和信息化, 电子产品和设备充斥在人们的日常生活、工作和学习中。这些产品和设备中包含着各种各样的电路, 在本课程中我们将要学习的就是电路以及电路相关延伸知识。电路按其用途可以分为许多种, 例如: 如今应用日趋广泛的传输信息和转换信息的通信电路; 传统的分配电能和电力资源的电路; 工业生产设备的控制电路、家用电器的控制电路; 交通信号灯中的控制电路; 汽车、火车、飞机等现代化交通工具中的控制电路等等。根据电工电子学的相关理论我们给电路下一个这样的定义: 可提供电流流通的路径, 并且由各种电气元件按照一定的方式连接而成的一个介质。

实际应用中的电气元件可以分为三部分, 第一部分是电源(也称信号源), 他们为电路提供最初的能量; 第二部分是负载, 这部分元件通常是用电设备, 如电路中的电动机、照明灯等, 第三部分是中间环节, 如连接电源和负载之间的导线、开关和各类控制器等。只有电路中存在电源或者信号源, 电路中才可能产生电流和电压, 所以, 电源或者信号源是电路中一个非常重要的部分, 在一般的工业应用中也把电源或信号源称为激励, 由此所产生的电压和电流称为响应。

实际应用中的电路形式是多种多样的, 但综合所有的电路, 从其作用和目的来看可以分为两类, 第一类电路是实现能量的传输和转换, 如图 1-1 所示, 该电路是一个典型的转换和传输能量的电路, 它由三部分组成: 电源、负载和中间环节(开关和若干导线)。当开关闭合后, 储存在干电池中的化学能就会转化成电能, 并且经由导线传给小灯泡, 小灯泡则由自身的特性将电能转化成光能和热能, 最终实现能量的传输和转换; 第二类电路是对信号进行传递和处理, 如图 1-2 所示的扩音机工作原理图, 该图展示的是一个典型的传递和处理电信号的电路。首先, 话筒将输入的声音的振动信号转化为电信号, 然后经过放大器的放大处理

后,由相应的电路传递给最后的扬声器,最后经过扬声器将处理过的电信号还原为声音。

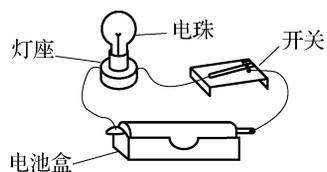


图 1-1 手电筒实际电路图

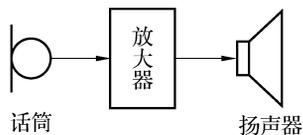


图 1-2 扩音机的工作过程

### 1.1.2 电路模型

上面两个例子所讲述的是十分简单的电路,而在现实生活和工业中人们所接触的电路是非常复杂的,例如从电路的几何尺寸来看,大的电路可以达到数千千米,又比如与我们的生活息息相关的高压输电网,它将电能从发电站,输送给居民或者工厂,还有在现代生活中应用日趋广泛和成熟的通信网因特网等,都是十分庞大的电力系统;再如各种电路板上的集成电路,与上面所说的电庞大的电力系统形成鲜明的对比,通常它们的面积也是微乎其微的,例如有些集成电路做成如药片大小一般,但是其内部结构是非常丰富而复杂的,它由千万个小的集成电路集合而成;再举一个例子,我们对一个最简单的绕线式电阻器,电路中所进行的电子运动来进行分析,当电路通电时,电阻器将电路中的电能转化为热能,这种转换是永久性的不可逆的,并且已通过理论和实践共同证明,热能的大小与流过的电流的大小有着密不可分的关系,所以我们说电阻器是一个消耗电能的元件。上面是对电能的分析,考虑到通电导线周围存在磁场,在这个电阻器回路中还可还会存在磁能,也就是说有一部分电能转化为磁能,同样理论和实践都表明,电阻器,周围所产生的磁能,与流过的电流频率也有着密不可分的关系,通过无数前人的不懈努力,现在已经得出这样一个结论:在任何一个完整的实际电路中,基于电流和电压的共同作用下,电路中总是存在着一两种甚至多种电磁效应,并且已经证实,不同的电器元件有着不同的作用,例如,电阻元件主要消耗电能,电感元件主要储存磁场能,而电容元件主要储存电场能,电池和发电机等电源通常是提供电能的设备,为了便于分析和计算,在进行研究时,对某个电器元件而言,我们通常只考虑,代表其主要电磁性质的,特征,忽略其他的性能,也就是说将实际的电气元件理想化,认为其只有一种性能,基于此,在做科学实验和研究时,对电阻元件我们主要考虑其消耗电能的电池性质,对于电感元件主要考虑其,储存磁能的的电磁性质,对于电容元件通常考虑的是其储存电场能的性质,对电源元件,我们主要考虑其提供电能的电池性质,因此我们就有了如图 1-3 所示的 4 个理想电路元件。

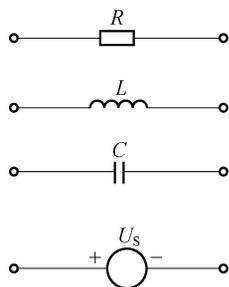


图 1-3 四个理想电路元件的电路模型

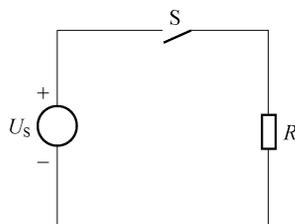


图 1-4 手电筒实际电路图

在实际工作和研究中,为了减小工作量,通常用理想电路元件及其组合来近似代替实际电路元件,这样便可以得到与实际电路相似相近的电路模型,国家标准和行业标准对理想电路元件的图形符号作了相应规定,根据相应的标准绘制出来的电路模型图我们称之为电路图,如图1-4所示为对实际电路理想化后的手电筒的电路模型图,在这个电路图中,电压源提供电能,因其是理想电路元件,其内阻可以忽略不计,开关和电阻元件代表实际应用中的小灯泡,用水平或竖直的,连线来表示实际中的导线,将各个电路元件连接起来,有了电路图,我们便可以方便地对电路进行了研究,如果没有特别的说明,在今后的学习和研究中,我们所说的电路元件均是指理想电路元件。

### 知识竞赛:

- 1.1-1 电路由哪几部分组成? 每部分的作用是什么?
- 1.1-2 简述电路的分类及功能。
- 1.1-3 什么是理想电路元件? 试解释“理想”二字的含义。

## 1.2 电路的基本物理量

一个电路中所涉及的物理量是很多的,遵循循序渐进的原则,本节我们着重学习电路中的基本物理量,即电流、电压、电位、电动势、电功率和电能,

### 1.2.1 电流

和水分子的定向运动形成水流一样,电路中的电荷(带电粒子,也称载流子),做有规则的定向运动形成电流,电荷可以是导体中的自由电子,或者电解液和电离气体中的自由离子,半导体中的电子和空穴等等,通常我们规定:在直流电路中,电流用  $I$  表示,在交流电路中,电流用  $i$  表示,并且约定其数值大小等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。

在交流电路中,根据定义,单位时间内通过导体横截面的电荷量为电流,在国际上通常用  $i$  表示,那么有

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中,  $dq$  为  $dt$  时间内通过导体横截面的电荷量。

在直流电路中,单位时间内通过导体横截面的电荷量是定值,

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

国际单位制(SI)中,电荷[量]的单位为库[仑](C);时间单位为秒(s);电流单位为安[培],简称安(A)。有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)、微安( $\mu$ A)等单位。

电流是一个矢量,也就是说,它不仅有大小还有方向,在研究和日常应用中,我们习惯上将正电荷的移动方向规定为电流的实际方向,但是仅仅如此还是不够的。对于某一复杂电路而言,其中的某一电路中的电流方向,难于在短时间内做出定论,也有电流的实际方向在不断改变的情况,所以实际电路中电流的方向是复杂的,为了便于研究,我们需要引入参考

方向这个概念,参考意为将某个选定的方向定位当量方向,其他方向是对这个方向的相对量,电流的参考方向,可以是任意选定的方向,如果该方向与实际方向一致,那么电流值为正,如果选定的电流方向与参考方向与实际方向相反,那么电流值为负。可见,只有在确定了参考方向之后,电流的正与负才能够得以区分,如图 1-5 所示。

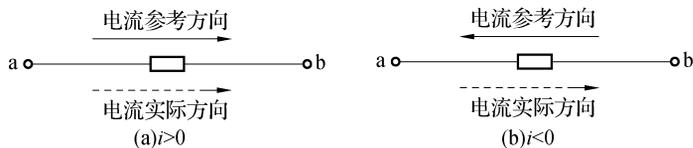


图 1-5 电流参考方向与实际方向关系

如图 1-6 所示,电路中的电路元件的参考方向需用箭头表示,在做文字叙述时,用电流符号加双下标表示,比如  $i_{ab}$ , 表示的是电流由 a 流向 b, 并且根据参考方向的定义,可以得到  $i_{ab} = -i_{ba}$

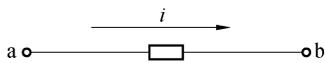


图 1-6 电流参考方向的表示

由以上分析可知,在对电路进行分析时,首先要确定电流的参考方向,便根据这个已经确定好的参考方向去分析其他电路元件,再根据计算结果的正副职来决定电流的实际方向,需要说明的是,参考方向已经选定,中途不能再变更,

**【例 1-1】** 已知电流  $i$  的参考方向如图 1-6 所示,求下列两种情况下电流的实际方向:

(1)  $i = 20\text{A}$ ; (2)  $i = -20\text{A}$ 。

**解** (1)  $i = 20\text{A}$ , 其值为正,则电流的实际方向与参考方向相同,即由 a 指向 b。

(2)  $i = -20\text{A}$  其值为负,则电流的实际方向与参考方向相反,即由 b 指向 a。

应当注意的是,在未规定参考方向的情况下,电流的正、负是没有意义的。

电流可以用电流表测量,测量的时候,把电流表串联在电路中,要选择电流表指针处于满量程的  $1/3 \sim 2/3$ 。这样既可以防止电流过大而损坏电流表,又可以满足测量精度的要求。

## 1.2.2 电压

### 1. 电压的概念

与水位差引起河水流动的原理一样,在电路中,电荷的流动形成电流也是因为存在电位差的存在,我们将这个电位差定义为电压,从微观上来说,电压是形成电流的根本原因。

对电压我们有这样的定义:在一个匀强电场中,正电荷因受电场力的作用,从 a 点移动到 b 点,如果这个过程中电场力所做的功为  $W$ ,那么 a 点到 b 点的电压为

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

同理,单位正电荷由电路中的 a 点移动到 b 点所得到或失去的能量成为 a、b 两点之间

的电压

$$u = \frac{d\tau}{dq} \quad (1-4)$$

式中,  $dq$  为由  $a$  点移到  $b$  点的电荷[量],  $d\tau$  为电荷移动过程中所获得或失去的能量,  $u$  为两点间的电压。规定:若正电荷从  $a$  点移到  $b$  点,其电势能减少,电场力做正功,电压实际方向从  $a$  到  $b$ 。

国际单位制(SI)中,功的单位为焦[耳](J);电荷[量]的单位为库[仑](C);电压单位为伏[特](V),也用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏( $\mu$ V)。

## 2. 电压的方向

和电流一样,电压不但有大小,而且还有方向,按照国际上的习惯,我们规定电压的实际方向是从高电位端指向低电位端,在判别电压的方向之前,也要先选定一个参考方向,并且这个参考方向也是任意的,在对电路进行分析时,参考方向一经选定不能够再变更,如果选定的参考方向与实际方向一致,那么电压值为正,如果选定的电压参考方向与实际值相反,电压值为负,如图 1-7 所示。

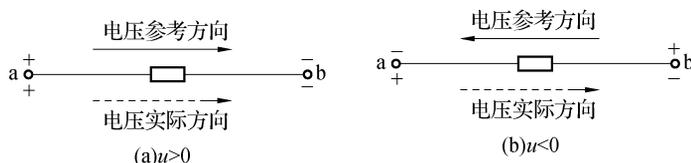


图 1-7 电压参考方向与实际方向关系

电压的参考方向可以用“+”、“-”极性表示,还可以用双下标表示,如图 1-8 所示,并有  $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

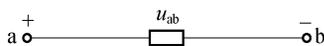


图 1-8 电压参考方向的表示

**【例 1-2】**如图 1-9 所示,电路中电流或电压参考方向已选定。已知:  $I_1 = 10\text{A}$ ,  $I_2 = -10\text{A}$ ,  $U_1 = 20\text{V}$ ,  $U_2 = -20\text{V}$ ,试指出电流或电压的实际方向。

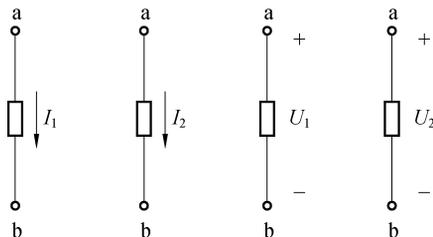


图 1-9 例 1-2 电路图

解  $I_1 > 0$ ,  $I_1$  的实际方向与参考方向相同,电流  $I_1$  由  $a$  流向  $b$ ,大小为  $10\text{A}$ 。

$I_2 > 0$ ,  $I_2$  的实际方向与参考方向相反,电流  $I_2$  由  $b$  流向  $a$ ,大小为  $10\text{A}$ 。

$U_1 > 0$  的实际方向与参考方向相同,电压  $U_1$  由  $a$  指向  $b$ ,大小为  $20\text{V}$ 。

$U_2 < 0$ ,  $U_2$  的实际方向与参考方向相反,电压  $U_2$  由  $b$  指向  $a$ ,大小为  $20\text{V}$ 。

参考方向是电路计算中的一个基本概念,对此着重指出如下几点:

- (1) 电流、电压的实际方向是客观存在的,而参考方向是人为选定的。
- (2) 当电流、电压的参考方向与实际方向一致时,电流、电压值取正号,反之取负号。
- (3) 分析计算每一电流、电压时,都要先选定其各自参考方向,否则计算得出的电流、电压正负值是没有意义的。

### 3. 关联方向

在任何一个电路中,电压的参考方向和电流的参考方向都是相对独立的,可以分别设定,但是为了我们研究的方便,简化研究过程,在实际操作中,对于同一个电路元件来说,我们常将其电压的参考方向和电流的参考方向设定为一致,也就是说,在一个电路元件上,电流从电压的正极性端流入该元件,然后从它的负极性端流出,如此定义的电压和电流的这种参考方向的关系为关联参考方向,如图 1-10(a)所示,相反,如果两者的参考方向不一致,则称为非关联参考方向,如图 1-10(b)所示,

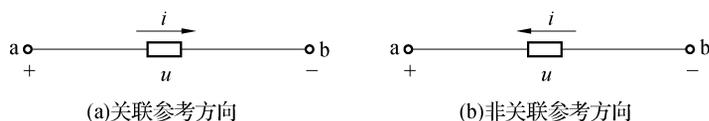


图 1-10 关联与非关联参考方向

### 1.2.3 电位

在日常生活中,我们说一棵大树的高度是五米,在这里是以大树所处的地面为参考点,电路中的每一点都有一定的电位,但是如何来定义该点的电位呢? 我们也可以先选定一个参考点,该点就是计算电位的起点,称之为电位参考点,简称参考点,一旦选择了一个固定的参考点,那么电路中的各点就会有确定的电位,

电工学中规定,电路中某一点的电位就是该点到参考点的电压,并且规定电位的方向是从该点指向参考点,电位通常用字母  $V$  加下标来表示,例如:电路中  $a$  点的电位表示,为  $V_a$ ,电位的单位与电压的单位一样,也是福特,参考点的电位被规定为零,所以如果某一点的点电位低于参考点,那么这点的电位便是负电位,而高于参考点的电位的点的电位是正的位,

电位与电压有如下关系,

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

上式所表示的意思是,电路中任意两点的电位差都等于它们的电压,

当选择了某一点为电路的参考点,那么电路中任意一点  $a$  到参考点的电压就叫做  $a$  点的电位,用  $V_{OA}$  来表示,即有

$$V_a = U_{a0} \quad (1-6)$$

如果电路中的零点为参考点那么,

$$V_a = U_{a0}, V_b = U_{b0} \quad (1-7)$$

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{0b} = U_{a0} - U_{b0} = V_a - V_b \quad (1-8)$$

上式说明,电路中任意两点  $a$ 、 $b$  之间的电位差,等于它们之间的电压,当  $a$  点的电位高

于  $b$  点时,认为  $V_{ab}$  大于零,相反, $V_{ab}$  小于零,根据习惯,规定电压的实际方向是由高电位指向低电位点。

和参考方向一样,参考点也是可以任意选定的,当选定了某一点为参考点,电路中各点的电位也就确定了,选择不同的参考点,电路中各点的电位是不相同的,但任意两点的电位差即电压是不变的。

#### 1.2.4 电动势

和电位一样电动势也属于势能,其所反映的是电源内部能够将非电能转化为电能的能力,从微观角度上来看,电动势表示的是电源,将电源内部的正电荷,从负极移动到正极所做的功,这个过程是电能累积的过程,电动势定义的形式与电压和电位相同,所以他们的单位相同,都是福特,

在水流中,如果要维持水流的持续流动,就必须要靠水泵,我们来分析一下这个原理,水泵为什么能够维持水流的连续流动呢?因为水泵能够将低处的水抽向高处,使高低两处的水具有水位差,所以高处的水就能够持续不断地向低处流动,与这个道理相同,要使电路中有持续不断的电流,也需要电源的电动势不断做功,国际上规定,电动势用符号  $e$  表示,并且还进一步作出规定,在电路分析与研究中,电动势的方向是与电位升高的方向相同,即电源负极指向其正极。

测量的时候,电源不要连接到电路中去,用电压表测量电源两端的电压,所得的电压值就可以视为与电源的电动势相等。如果电源连接在电路中,用电压表测得的电压两端的电压就会小于电源的电动势。如果电源连接在大型电路中,用电压表测得的电压两端的电压就会小于电源的电动势。这是因为电源有内阻,在构成闭合电路时内阻会分担部分电压,造成输出电压小电源电动势。

严格来说,即使电源不接入电路,万用表测得的电压也小于电源电动势,这是因为电压表也有内阻的缘故。但电压表内阻很大,而电源内阻很小,故内阻可以忽略。因此,电压表测得的电源两端的电压是可以视为与电源的电动势相等。

#### 1.2.5 电功率和电能

单位时间做功的大小称为功率,或者说做功的速率称为功率,未加特别说明,在以后的分析与研究中,所涉及到的电功率就是电场力做功的功率,用符号  $p_t$  表示,根据此给功率下一个数学定义,

$$P(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1-9)$$

式中, $dW$  为  $dt$  时间内电场力所做的功。在国际单位制(SI)中,功率的单位为瓦特(W),简称瓦,1W 功率就是每秒做功一焦耳,即  $1W=1J/s$ 。此外,还常用到千瓦(kW),毫瓦(mW)等单位。1-10(a)电阻,电源或者其他电路元件组成的电路,为了方便研究,假设电流的参考方向是从点  $a$  流向点  $b$ ,相应的,点  $a$  为高电位端,点  $b$  为低电位端,这样一来,电压和电流的方向就成了关联方向,根据电功率的定义,假设点  $a$  至点  $b$  的电压为  $u$ ,那么单位正电荷从点  $a$  移动到点  $b$  的过程中电场力所作的功为  $u$ ,据此我们得出结论:带正电荷量为  $dq$

的电荷,在第  $dt$  时间内,其有电场电路中点  $a$  移动到点  $b$  的过程中,电场力所做的功  $dW = udq$ 。并且在这个过程中电场力做功,说明损耗了一部分电能,并且损耗的这部分电能被  $ab$  这段电路所吸收,由此我们便可以推导出电路中电功率与电流和电压之间的关系,

由

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-10)$$

得

$$dW = udq \quad (1-11)$$

由

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-12)$$

得

$$dt = \frac{dq}{i} \quad (1-13)$$

于是便可以得到如下公式,

$$P(t) = ui \quad (1-14)$$

根据公式我们可以得出如下结论,在电压和电流,参考方向关联的前提下,某一段电路所吸收的功率为该段电路两端的电压与通过电路的电流值乘积,根据相应的电压和电流值,求出电功率,如果电功率  $p$  为正值,说明该段电路实际上是吸收电功率,反之则为释放电功率,

应该注意到,上面所得出的结论有一个前提,即电压和电流的参考方向关联,如果遇到非关联的情况时,因在公式前加一个负号,也就是

$$P(t) = -ui \quad (1-15)$$

**【例 1-3】**如图 1-11 和 1-12 所示,假设电路中有点  $a$  流向点  $b$  的电流均为  $5A$ ,并且电流的参考方向由点  $a$  指向点  $b$ ,求电路中各元件吸收或释放出的电功率;

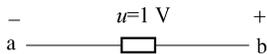


图 1-11 电压参考方向的表示

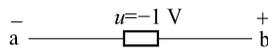


图 1-12 电压参考方向的表示

解(1)由题意可知,  $i = 5A$ , 对图 1-11 来说,电流和电压为关联参考方向,

$$P = ui = 1 \times 5 = 5W$$

对图 1-12 来说,电流和电压为非关联参考方向,

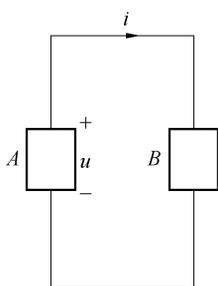
$$P = -ui = -1 \times 5 = -5W$$

### 🔗 知识竞赛:

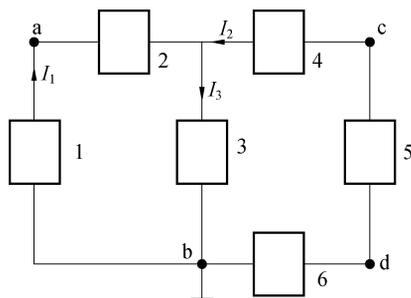
1.2-1 为什么要对电路中的电流和电压假设参考方向?

1.2-2 “电路中两点之间的电压等于它们之间的电位差,因为这两点的电位数值随参考点不同而改变”,这种说法对么?为什么?

1.2-3 在图练习题 1-1 中,已知  $i = 2A$ ,  $u = -3V$ ,试判断 A 和 B 是否为有源元件?



习题图 1-1



习题图 1-2

1.2-4 在图习题图 1-2 中,矩形框代表二端元件或二端电路,并且  $I_1 = 6\text{A}$ ,  $I_2 = -4\text{A}$ ,  $I_3 = 2\text{A}$ , 电位  $V_a = 16\text{V}$ ,  $V_b = 12\text{V}$ ,  $V_c = -6\text{V}$ ,  $V_d = -18\text{V}$ 。

- (1) 欲验证  $I_1$ 、 $I_2$  电流数值是否正确,直流电流表应如何接入电路中?
- (2) 求电压  $U_{ac}$ 、 $U_{db}$ ;
- (3) 求原件 1、3、5 上所吸收或释放的功率。

## 1.3 电阻元件

### 1.3.1 电阻

实践表明,无论是正电荷还是负电荷,在电场力的作用下作定向运动产生电流时,都要受到一个阻碍作用,我们将这个阻碍作用称为电阻。国际上规定,电阻的大小用电阻量来表示,简称为电阻,用符号  $R$  表示,单位为欧[姆]( $\Omega$ )。并且规定电阻量的大小由如下公式计算,

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-16)$$

式中,  $\rho$  为材料的电阻率,(单位:  $\Omega \cdot \text{m}$ );  $L$  为导体的长度(单位:  $\text{m}$ ),  $S$  为导体的横截面积,(单位:  $\text{m}^2$ )  $R$  为导体的电阻,(单位:  $\Omega$ )

在实际工程上还常用到千欧( $k\Omega$ )、兆欧( $M\Omega$ )等作单位,它们之间的关系为

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega \quad (1-17)$$

$$1k\Omega = 10^3 \Omega \quad (1-18)$$

在实际应用的电气工程中,常常根据不同的用途来采用不同的材料制成各种形式的电阻器,研究表明,当电流流过电阻器的时候,电阻器消耗电能,并且将这部分电能转化为热能,这个过程是不可逆的,这是所有电阻器不可避免的特征,在实际应用中,我们主要考虑的是它阻碍电流的特性,

温度对不同材料的电阻器的电阻量的大小有不同的影响。银、铜、铝、铁、钨等金属材料,当温度升高时,材料内部分子热运动加剧,自由电子的移动受到更加大的阻碍作用,因此电阻值相应增大;碳、某些半导体材料和电解液等,这类材料中带电粒子数目增多,更容易导电,所以电阻值相应减小;康铜、锰铜等材料,材料的电阻值随温度变化是用电阻温度系数

“ $\alpha$ ”来表示( $\alpha$ 的值可查阅相关手册)。

对于第三类材料,常常根据其电阻温度系数的不同而在实际场合中加以选用,例如,根据铜的氧化物、锰和铁等材料高温系数特点将它们制成热敏电阻;根据锰铜、康铜的 $\alpha$ 非常小等特性,常常将它们制成标准电阻、电阻箱;在电子电路中,可用热敏电阻来补偿某些电子元件因温度变化而工作不稳定劣势;有时候在工业应用上,对于大范围变化的温度较难测量,此时便可用金属材料制成的电阻温度计来进行测量,例如,用铂丝制作的电阻温度计,其测量范围为 $-263^{\circ}\text{C}\sim+1000^{\circ}\text{C}$ 。

在实际使用中,应该预先了解到电阻器的额定值,国际上规定,一般用额定电阻值和额定功率表示,大型的电阻器也常采用额定电阻与额定电流两个参数表示。

电阻的倒数称之为电导,用符号  $G$  表示,即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-19)$$

在国际单位制(SI)中,电导的单位是西[门子],简称西(S)。

电导常常用来衡量材料导电能力的大小,材料的电阻越大,电导就越小,导电性能差;反之导电能力好。

### 1.3.2 电阻元件

电阻元件是一个理想模型,它是从实际电阻器中抽象出来的,由于电阻元件的存在,电流在实际电路中一定会收到来自于导体内部的原子和离子的阻力,而非畅通无阻地流动,也就是说电阻元件一定会损耗能量,因电阻元件是一个理想模型,其电路模型如图 1-13 所示,所以在做分析和研究时,我们认为其电阻值不随其上电流或电压数值的改变而改变,也就是说电阻元件上的电流和电压的关系为线性关系,即伏安特性,又成为电路原件的 VCR。如图 1-14 所示。

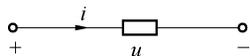


图 1-13 线性电阻的符号

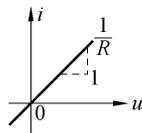


图 1-14 线性电阻元件的伏安特性曲线

电阻元件的伏安关系用式表示,

$$u(t) = Ri(t) \quad (1-20)$$

上面便是著名的欧姆定律,

根据电导的定义,欧姆定律也可以表示为,

$$i(t) = Gu(t) \quad (1-21)$$

由欧姆定律可知,在关联参考方向下,

$$p = ui = \frac{u^2}{R} = i^2 R \quad (1-22)$$

上式说明电阻元件的功率总是正直,即电阻元件总是在消耗电功率,在非关联参考方向下,欧姆定律公式中应加负号,即

$$u(t) = -Ri(t) \quad (1-23)$$

**【例 1-4】** 某一电阻元件为 C, 额定功率  $P_N = 200\text{W}$ 。(1) 当加在电阻两端电压为  $60\text{V}$  时, 该电阻能正常工作吗? (2) 若要使该电阻正常工作, 外加电压不能超过多少伏?

**解:** (1) 根据式(1-23), 流过电阻的电流为

$$I = \frac{u}{R} = \frac{60}{15}\text{A} = 4\text{A}$$

此时电阻所消耗的功率  $P = UI = 60 \times 4\text{W} = 240\text{W}$ 。由于  $P$  大于  $P_N$ , 该电阻将烧毁。

(2) 根据式(1-22), 有

$$P_N = \frac{U^2}{R}$$

$$U = \sqrt{P_N R} = \sqrt{200 \times 15}\text{V} = 54.8\text{V}$$

可见, 要使该电阻正常工作, 外加电压不能超过  $54.8\text{V}$ 。

如果画一个直角坐标系, 横坐标为电阻元件的电压, 纵坐标为电流, 如图 1-15 所示, 这个平面坐标系成为  $u-i$  的平面, 根据电阻元件的伏安特性的定义, 电阻元件的电压和电流的关系可以用该平面上的一条曲线来表示, 我们称这条曲线为电阻元件的伏安特性曲线, 从该平面坐标系可以看出来, 理想电路元件的伏安特性曲线为一条直线, 也就是说, 线性电阻元件的电阻值, 与其两端的电压和流过的电流无关, 只和材料和尺寸有关系, 与此相对应的, 在实际工程应用中, 还有许多电阻元件, 它们的伏安特性曲线并非是直线, 如图 1-15 所示的二极管的伏安特性曲线, 因此二极管是一个非线性电阻元件, 严格的来说, 线性电阻元件是不存在的, 只是一个理想化的模型, 但对某些电阻元件来说(如图 1-1 所示的手电筒灯泡), 他们在一定范围内工作时, 可以近似认为是线性电阻, 但是超过了这个范围就变成了非线性电阻,

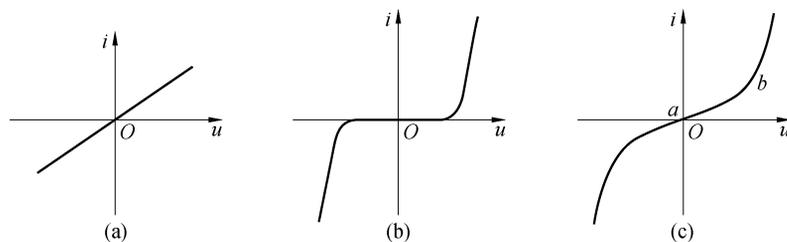


图 1-15 电阻元件的伏安特性曲线

今后的讨论与研究中, 如果未加特别说明, 本书中所研究的电阻元件均为线性电阻元件,

### 🔗 知识竞赛:

1.3-1 有时欧姆定律可以写成  $u = -ui$ , 这是否能够说明此电阻原件的阻值为负值?

1.3-2 电阻值随时间变化的电阻称为时变电阻, 对于线性时变电阻, 欧姆定律是否也适

用? 为什么?

1.3-3 现有一阻值为  $100\Omega$ 、额定功率为  $1\text{Kw}$  的电阻连接在直流电路中,问通过此电阻的电流和电压的最大值为多少?

## 1.4 电源元件

电源是一个电路中的能量的根本,所以在任何一个时期电路都必须有电源的存在,实际应用中有各式各样的电源,如蓄电池,干电池,发电机等等,与理想电阻元件一样,在这里我们所讨论的是理想电源,理想电源是从实际经验中抽象出来的一种理想模型,电源中能够独立向外提供电能的电源,称为独立电源,它包括电压源和电流源;不能独立地向外电路提供电能的电源称为非独立电源,又称受控源。

### 1.4.1 电压源

理想电压源是一个二端有源元件,其端电压在任意瞬间是恒定不变的(直流电压源,),或者是按照某一固定函数有规律的随时间而变化(正弦交流电源)。

理想电压源的特性可以归纳为以下两点,

(1)电压值的大小与流过的电流无关,是恒定的或者是时间的函数,

(2)流过理想电压源的电流是由与之连接的外电路来决定的,这与其电压是由其本身来决定是不一样的,

以上两点说明,流过理想电压源的电流,可以从极高电位端流向低电位端,也可以是从极低电位端流向高电位端,也就是说,理想电压源既可以对外提供能量,也可以接受外部电路所提供的能量,

国际上规定,电压源在电路图中的符号用图 1-16 表示,其中  $u_s$  所表示,的是电源两端的电压,“+”与“-”则为其参考极性,对直流电压源来说,其端电压是一个固定值,不随时间或电流的变化而改变,在  $u-i$  平面上,其伏安特性曲线是一条平行于  $x$  轴的直线,如图 1-17 所示,在实际应用中,直流电压源也可以用图 1-18 所示的符号来表示,两条长短,直线分别表示高电位端和低电位端, $u_s$  同样为其端电压。

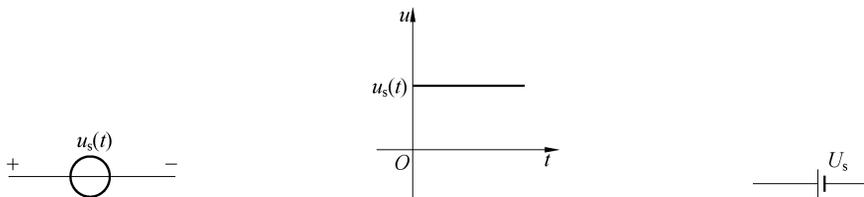


图 1-16 电压源在电路中的符号 图 1-17 电压源的伏安特性曲线 图 1-18 直流电源的符号

**【例 1-5】**图 1-19 所示的电路中,  $A$  部分电路为理想电压源,  $u_s = 10\text{V}$ ,  $B$  部分电路接负载电阻  $R$  是电压源的外部电路,它可以改变,电流  $i$  和电压  $u$  的参考方向分别如图所示,求,

- (1)  $R \rightarrow 0$  时的电压  $U$ , 以及电流  $i$  和电压源  $u_s$  所产生的功率  $P_s$  ;  
 (2)  $R = 5\Omega$  时电压  $U$ , 以及电流  $i$  和电压源  $u_s$  所产生的功率  $P_s$  ;  
 (3)  $R \rightarrow \infty$  时的电压  $U$ , 以及电流  $i$  和电压源  $u_s$  所产生的功率  $P_s$  ;

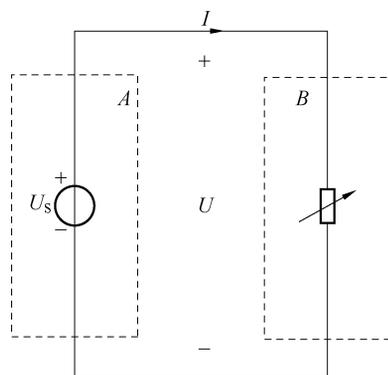


图 1-19 例 1-5 电路图

解(1)当  $R \rightarrow 0$  时,有

$$U = U_s = 10\text{V}$$

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

此时

$$P_s = UI \rightarrow \infty$$

(2)当  $R = 5\Omega$  时,有

$$U = U_s = 10\text{V}$$

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

此时

$$P_s = UI = 10 \times 2 = 20\text{W}$$

(3)当  $R \rightarrow \infty$  时,外部电路为开路,因  $U_s$  为理想电压源,有

$$U = U_s = 10\text{V}$$

$$I = \frac{U}{R} = 0\text{A}$$

此时

$$P_s = UI = 10 \times 0 = 0\text{W}$$

由此例我们可以得出以下结论,

- (1)理想电压源的端电压不随外部电路而变化,本例中3种情况  $U = U_s = 10\text{V}$ 。  
 (2)理想电压源的输出电流随外部电路而变化,本例(1)中,当  $R \rightarrow 0$  时,  $I \rightarrow \infty$ , (3)中,当  $R \rightarrow \infty$  时,  $I \rightarrow 0$ 。

### 1.4.2 电流源

理想电流源也是经过实际电路抽象出来的理想化模型,理想电压源的特性可以归纳为以下两点,

(1) 电流值的大小与流过的电压无关,是恒定的或者是时间的函数,

(2) 流过理想电流源的端电压是由与之连接的外电路来决定的,这与其电压是由其本身来决定是不一样的,

理想电流源在电路图中的符号用图 1-20 表示,图中箭头表示电流  $i_{st}$  的参考方向,输出电流用  $i_i$  表示,如果  $i_{st}$  是不随时间变化的常数(直流理想电流源),在电路中常常用图所示的模型,在任意时刻  $t$ ,理想电流源的微细而特性是平行与  $u$  轴,并且值为  $ist$  的直线,如图 1-21 所示,

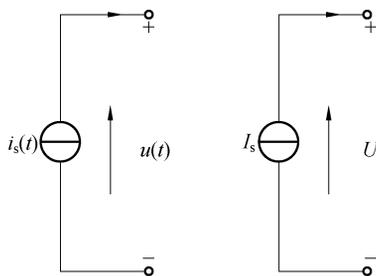


图 1-20 理想电流源模型

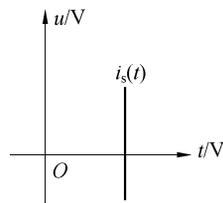


图 1-21 理想电流源伏安特性曲线

**【例 1-6】** 图 1-22 所示的电路中,A 部分电路为理想电流源,  $I_s = 5A$ , B 部分电路接负载电阻  $R$  是电流源的外部电路,它可以改变,电流  $I$  和电压  $U$  的参考方向分别如图所示,求,

- (1)  $R \rightarrow 0$  时的电流  $i$ ,以及电压  $u$  和电流源  $i_s$  所产生的功率  $P_s$ 。
- (2)  $R = 5\Omega$  时的电流  $i$ ,以及电压  $u$  和电流源  $i_s$  所产生的功率  $P_s$ 。
- (3)  $R \rightarrow \infty$  时的的电流  $i$ ,以及电压  $u$  和电流源  $i_s$  所产生的功率  $P_s$ 。
- (3)  $R \rightarrow \infty$  时的电压  $U$ ,以及电流  $i$  和电压源  $u_s$  所产生的功率  $P_s$ ;

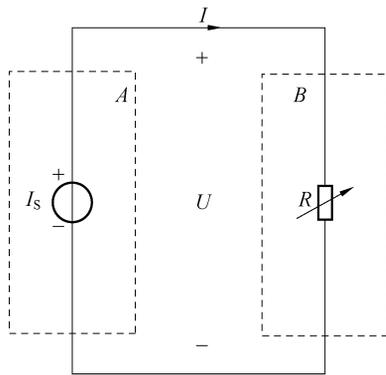


图 1-22 例 1-6 电路图

解(1)当  $R \rightarrow 0$  时,有

$$I = I_s = 5\text{A}$$

由欧姆定律可得电压

$$U = RI = 0 \times 5 = 0\text{V}$$

$$P_s = UI = 0$$

(2)当  $R = 5\Omega$  时,有

$$I = I_s = 5\text{A}$$

由欧姆定律可得电压

$$U = RI = 5 \times 5 = 25\text{V}$$

$$P_s = UI = 25 \times 5 = 125\text{W}$$

(3)当  $R \rightarrow \infty$  时,根据理想电流源的定义,有

$$I = I_s = 5\text{A}$$

由欧姆定律可得电压

$$U = RI \rightarrow \infty$$

$$P_s = UI \rightarrow \infty$$

由此例我们可以得出以下结论,

(1)理想电流源的输出电流不随外部电路而变化,本例中3种情况  $I = I_s = 5\text{A}$ 。

(2)理想电流源的端电压随外部电路而变化,本例(1)中,当  $R \rightarrow 0$  时,  $U \rightarrow 0$ ,

(3)中,当  $R \rightarrow \infty$  时,  $U \rightarrow \infty$ 。

从以上分析可知,理想电压源的输出电压和理想电流源的输出电流都是固定不变的,与外部电路没有关系,因此我们说它们都是独立电源,在今后的学习中,如果没有特殊说明,均可把实际电压源电流源当做是理想电压源和电流源去分析(原始)。

### 1.4.3 受控源

与独立电源相对应,如果一个电源外部电路提供的电压或电流受其他支路的电压或电流的影响和控制,那么这个电源就叫做受控源,受控源有两对端口,一对为输出端口,是输出电压或电流的端口,另一对是输入端口,也称为控制端口。

理想受控源有4种形式,分别为电流控制电压源(CCVS),电压控制电压源(VCVS),电流控制电流源(CCCS),电压控制电流源(VCCS),他们的电路模型都分别如图1-23所示,

为了与独立电源区别开来,在受控源模型图中用菱形符号表示电源部分,图中  $U_1$  和  $I_1$  分别表示控制电压和控制电流,  $u$ 、 $\beta$ 、 $r_m$ 、 $g_m$  则表示相关的控制系统,其中  $u$ 、 $\beta$  为无量纲的系数,  $r_m$ 、 $g_m$  分别具有电阻和电导的量纲,当这些系数都为常数时,受控源被称为线性受控源,在本课程中我们所讨论的受控源都是线性受控源。

由于受控源在电路中的作用具有两重性,因此受控源在电路分析中的处理原则有2个;

①受控源与独立源同样对待和处理;②把控制量用待求的变量表示,作为辅助方程。

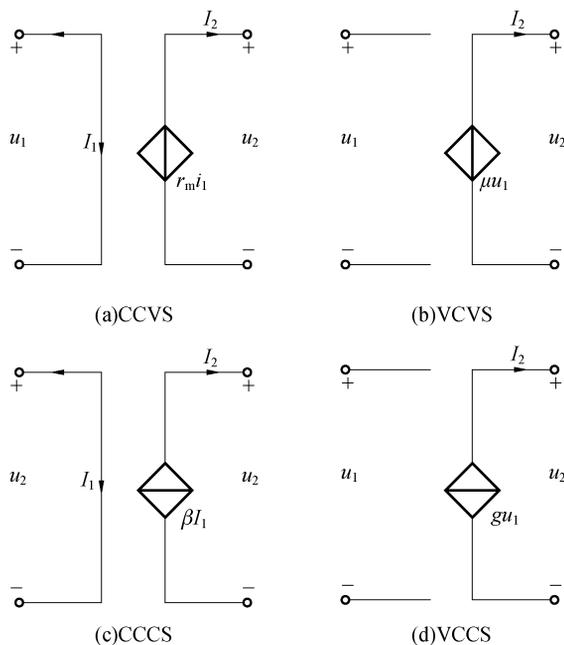


图 1-23 受控源的电路模型

【例 1-7】图 1-24 所示电路,  $\mu = 0.8$ , 求  $i_2$  和受控电压源发出的功率  $p$ 。

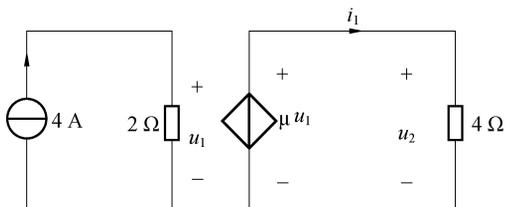


图 1-24 例 1-7 电路图

解这是一个含有受控电压源的电路, 其中

$$u_1 = 2 \times 4\text{V} = 8\text{V}$$

$$u_2 = \mu u_1 = 0.8 \times 8\text{V} = 6.4\text{V}$$

$$i_2 = \frac{u_2}{4} = \frac{6.4}{4}\text{A} = 1.6\text{A}$$

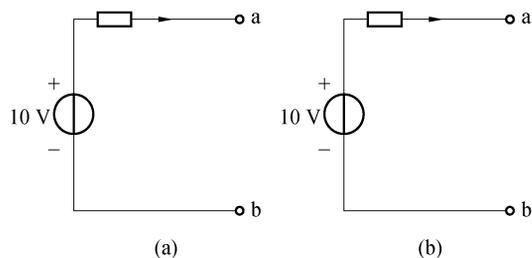
$$P_{\text{发}} = \mu u_1 i_2 = 6.4 \times 0.8\text{W} = 5.12\text{W}$$

由于  $P_{\text{发}} = 5.12\text{W} > 0$ , 故受控电压源  $\mu u_1$  在电路中起电源的作用, 即产生电能的作用。

### 知识竞赛:

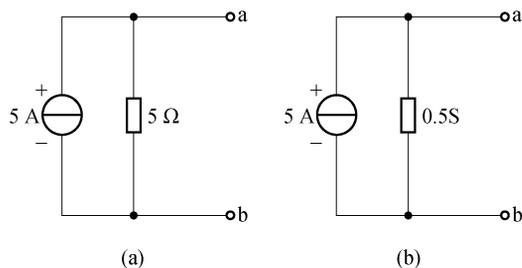
1.4-1 理想电压源是否可以看作是内阻为零的电源? 理想电流源是否可以看作是内阻为无限大的电源? 为什么

1.4-2 用电源的等效变换求图习题图 1-3 所示的电压源的电流源。



习题图 1-3

1.4-3 用电源的等效变换求图习题图 1-4 所示的电压源的电流源。



习题图 1-4

## 1.5 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路理论中最重要和最基本的定律,它是分析集总电路的基本依据,并且以后将要学的一些重要的电路理论,及其分析方法都是在基尔霍夫定律的基础上,来进行推导、归纳和总结的,因此可以说就是霍夫定律是整个电路理论的基础,

在分析和研究具有护肤定律之前,我们首先应对电路模型中常用的一些名词进行解释,

### 1.5.1 几个有关的电路名词

#### 1. 支路

按狭义的定义,把通过同一电流的电路称为支路,图 1-25 中  $abc$ 、 $adc$ 、 $aec$  均为支路。 $ae$  则不是支路,支路  $abc$ 、 $adc$  中既有电阻又有电源,称为有源支路,支路  $aec$  中只有电阻而无电源,称为无源支路。支路是电路的基石。

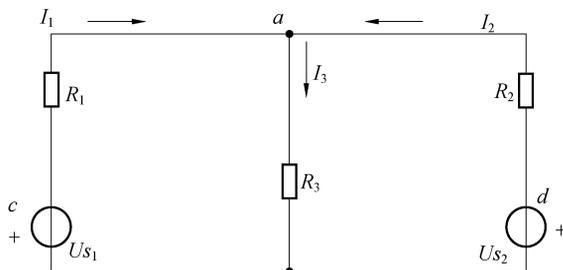


图 1-25 电路名词定义用图

## 2. 结点

电路中三条或三条以上支路的会几点称为结点。如图中所示的  $a$  点和  $b$  点, 均为结点,

## 3. 回路

电路中任意一条或多条支路所组成的闭合路径成为回路,

## 4. 网孔

电路中不包含其他支路的单一闭合回路成为网孔, 如图中所示  $aa$  和  $b$  是两个网孔, 需要说明的是, 网孔中不能包含有回路, 但是回路中可能有网孔的存在。

### 1.5.2 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫定律是德国科学家基尔霍夫在 1845 年论证的。它由电流定律和电压定律组成。基尔霍夫电流定律简称 KCL。

它描述的是电路中与节点相连的支路电流间的相互关系, 学术上的叙述为, 对于集总参数电路的任意时刻内流出该节点的电流之和等于流入该节点的电流之和。

利用基尔霍夫电流定律来进行分析和计算时, 应事先制定电流的参考方向, 如果没有参考方向, 就不能确定电流是流出还是流入, 因此也就无法建立方程式, 例如对于图所示的电路, 应首先指出各支路的电流参考方向如图所示, 然后书写出各节点的 KCL 方程式,

$$\text{节点 A: } I_1 = I_2 + I_4$$

$$\text{节点 B: } I_3 = I_2 + I_5$$

$$\text{节点 C: } 0 = I_6 + I_3 + I_1$$

$$\text{节点 D: } I_4 + I_5 + I_6 = 0$$

上面 4 个方程式中, 等号左边为流出该节点的电流之和, 右边为流入该节点的电流之和, 按照数学上书写方程式的习惯, 将所有的变量都移动到等号左边, 可以得到,

$$\text{节点 A: } I_1 + I_2 - I_4 = 0$$

$$\text{节点 B: } I_3 - I_2 - I_5 = 0$$

$$\text{节点 C: } -I_6 - I_3 - I_1 = 0$$

$$\text{节点 D: } I_4 + I_5 + I_6 = 0$$

流出节点的电流取正号“+”, 流入节点的电流取负号“-”,

基尔霍夫电流定律的另一种叙述方式为, 对于集总参数电路中的任意一个节点, 在任一时刻流入该节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。即

$$\sum I = 0$$

在书写 KCL 方程式的时候应注意各个电流的正负号。

关 KCL 的应用应在明确以下两点,

(1) KCL 适用于任意时刻、任意电源(直流电源、交流电源或其他任意时间函数的电源)情况的任意(线性、非线性、时变、非时变)集总参数电路,

(2) 用 KCL 书写节点方程式时, 应首先给出一个支路的参考方向, 然后根据参考方向来选取每个电流的正负号, 将流入电流或流出电流取正号或者负号都可以, 但在书写同一个 KCL 方程式中区号规则应该一致。

基尔霍夫电流定律的实质是电荷守恒原理, 即任一时刻注入支路横截面的电荷量必定

等于该时刻从支路横截面流出的电荷量。这也符合在电路中同一条支路中各处电流都相等的原理。

**【例 1-8】** 图 1-26 所示电路图中, 电路 A 和 B 只通过中间一条支路相连, 求电流  $I$  和电压  $U$ ,

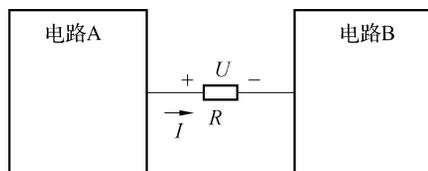


图 1-26 例 1-8 电路图

解两部分电路 A 和 B 之间只有一条支路相连, 做一个封闭的面  $s$  包围电路 A 或 B, 那么如果该支路的电流必定为零, 也就是说  $I=0$ , 又根据电阻  $R$  的欧姆定律可以得到,

$$U = RI = 0 \quad (1-24)$$

### 1.5.3 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律又称 KVL, 他指出, 在集总参数电路中, 按任意方向 (顺时针或者逆时针,) 沿任一回路绕行一周回路中各段电压的代数和恒等于 0, 即

$$\sum U = 0 \quad (1-25)$$

在如图 1-27 所示的电路中, 假设沿回路绕行时, 电压降低的参考方向与绕行方向一致, 即取

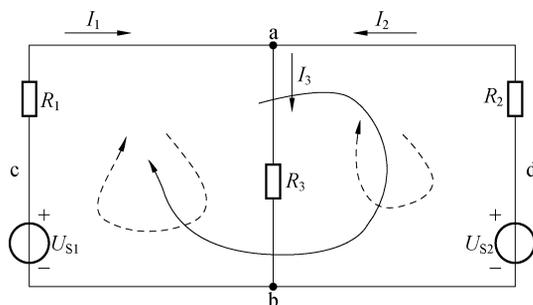


图 1-27 电路名词定义用图

正号, 那么电压升高的方向取负号, 根据 KVL 可以对电路中 3 个回路分别列出如下方程式,

$$\text{对回路 1 } I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_{S1} = 0$$

$$\text{对回路 2 } -I_2 R_2 - I_3 R_3 + U_{S2} = 0$$

$$\text{对回路 3 } I_1 R_1 - I_2 R_2 + U_{S2} - U_{S1} = 0$$

基尔霍夫电压定律对图所示的回路的部分电路也同样适用, 在图所示的电路中有,

$$\sum U = IR + U_s - U \quad (1-26)$$

$$\text{或 } U = IR + U_s$$

关于 KVL 的应用也要注意以下两点,

(1) KVL 适用于任意时刻、任意电源(直流电源、交流电源或其他任意时间函数的电源)情况的任意(线性、非线性、时变、非时变)集总参数电路,

(2)应用可 KVL 列写,回路电压方程式时,首先应加热出回路中,各电路元件或各段电路上的电压参考方向,然后以某一个方向为(顺时针或者逆时针,)基准,从回路中某一点开始,按绕行方向沿着回路走一圈,绕行过程中遇到,每个电路元件的取号原则是:先遇到元件上电压参考方向的一端取正号,后遇到元件上电压参考方向的一端取负号,需要特别作出说明的是,如果某段电路中有电阻元件,并且电阻元件只标注了电流的参考方向,这是在列写 KVL 方程式时,若绕行方向与电流方向一致,则电阻元件上电压为  $+RI$ ,反之为  $-RI$ 。

**【例 1-9】**图 1-28 所示电路图中,已知  $U_{S1}=40\text{V}$ ,  $U_{S2}=20\text{V}$ ,  $R_1=5$ ,  $R_2=2$ ,  $I_3=2\text{A}$ ,求  $I_1$  和  $I_2$

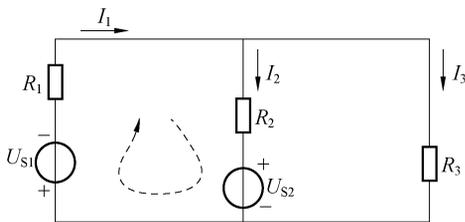


图 1-28 例 1-9 电路图

解根据 KCL,可列出  $a$  点的电流方程式为,

$$i_1 - i_2 = i_3 = 2\text{A}$$

选左边网孔,并假设回路绕行方向为顺时针,如图 1-28 所示,可以列出可 KVL 方程式为,

$$i_1 R_1 + i_2 R_2 - u_{s1} - u_{s2}$$

整理可得,

$$6i_1 + 3i_2 = -30$$

将其与 KCL 方程式联立便可求出,

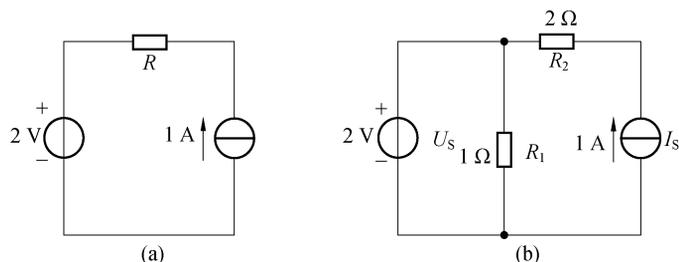
$$i_1 = 2\text{A}$$

$$i_2 = -2\text{A}$$

### 🔗 知识竞赛:

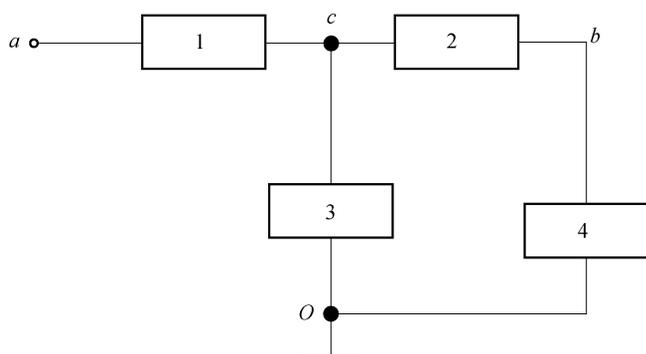
1.5-1 请简述基尔霍夫定律的内容和其应用范围。

1.5-2 求图习题图 1-5(a)、(b)2 个电路图中电阻所消耗的功率和电源所释放的功率。



习题图 1-5

- 1.5-3 在图习题图 1-6 中,已知  $U_a = 50\text{V}$ ;  $U_b = -40\text{V}$ ;  $U_c = 30\text{V}$ , (1) 求  $U_{ba}$  和  $U_{ac}$ ; (2) 若元件 4 为一电源,且电动势为  $E$ ,求  $E$  值,参考方向如图所示。



习题图 1-6

- 1.5-4 在电路中将  $0.5\mu\text{C}$  的电荷从 a 点移动到 b 点需要  $9.25\mu\text{J}$  的能量,那么 a、b 两点的电压是多少?

- 1.5-5 在电路中的两点间移动  $8.5 \times 10^{18}$  个电子消耗的功为  $100\text{J}$ ,试求这两点之间的电压。

## 1.6 电路的工作状态

电路有多种工作状态,本书主要讨论开路,短路和额定工作状态,

### 1.6.1 开路状态

要让某一个电路正常工作,首先要保证该电路能构成一个闭合的回路,这是电路正常工作的前提条件,电路的开路状态就是据此而引出的;如果一个电路的某一处因外部和内部原因而断开,导致该电路无法正常工作,这种状态被称之为开路状态,在开路状态下,电源与负载没有构成闭合的回路,此时电路中的电流  $i = 0$ ,断开处的电压为开路电压,用  $U_{oc}$  表示。习惯上也将开路状态称为断路状态,

在图 1-29 所示的电路中,如果开关 s 处也未接通状态,该电路就不是一个闭合的回路,此时电路中的负载不工作,电路中的电流  $i = 0$ ,电源的端电压即为该电路的开路电压  $U_{oc}$ ,

日常生活中家用电器的开关,工业生产设备的开关,等等,都是利用了开路状态与正常

工作状态之间相互交换来满足不同的需要,

电路处于开路状态时,有以下特点:电路中的负载不工作,即 $U=IR=0$ ,电流 $i=0$ , $U_o=U_s$ 。

**【例 1-10】**如图 1-29 所示,当接通开关 S 后,电流表的读数为零,并且用万用表测得 $U_{ae}=60V$ ,根据以上条件可知外电路处于开路状态,试分析确定该电路的开路点。

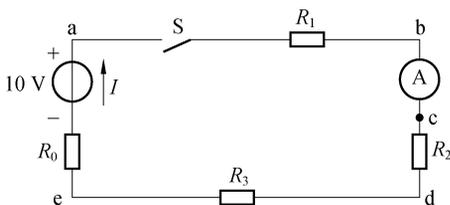


图 1-29 例 1-10 电路图

解 电路处于开路状态时 $I=0$ , $U_{oc}=U_s$

,据此可用万用表直流电压挡来测试判定。具体的操作步骤为:(1)将万用表的黑表笔放在 e 点,红表笔放在 a 点。根据题意会测得 $U_{ae}=30V$ 。(2)黑表笔固定在 e 点,移动红表笔测量,如果测得 $U_{be}=60V$ ,则表示 ab 一段是连通的。(3)移动红表笔,如果测得 $U_{ce}=0$ ,则表明开路点在 bc 之间。因为当 bc 之间开路时,c 点与 e 点的电位相等,即 $U_{ce}=0$ ,如果测得 $U_{ce}$  仍为 60V,因此 bc 段是连通的。如此依次测量,便可找到开路点。

### 1.6.2 短路状态

电路中某两点直接由导线连接在一起而不经任何负载的状态称为短路状态。此导线和电流分别称为短路相和短路电流,后者用 $I_{sc}$ 表示。

在研究电路的相关知识时,有时候会将电流表串联到电路中来测量某段电路的电流,为了保护电流表,在不进行测量的时候,需用闭合开关将电流表两端短路,此时我们运用对电路短路状态来解决实际问题,称这种状态为有用短路,与之相反的,由于接线不当或者,电路老化,造成电路中本不应该相连的两点连接了起来,这种状态为故障短路,如图所示的是常见的最严重的短路——电源短路,

如在生活中用电,每家每户的电闸里都会有一根保险丝,如果遇到故障短路的情况,因为电流急剧增大,会迅速烧毁保险丝,从而避免了更严重事故的发生,

电源内阻很小,所以电路在短路时电流 $I_{sc}=\frac{U_s}{R_s}$ 很大,瞬间放热量很大,大大超过线路正常工作时的发热量,不仅能烧毁绝缘层,严重时有可能使金属熔化,引起可燃物燃烧进而发生火灾。因此在实际工作中要经常检查电气设备的使用情况和导线的绝缘情况,避免短路故障的发生。

### 1.6.3 额定工作状态

电路器件和电气设备所能承受的电压和电流有一定的限度,其工作电压、电流、功率都有一个规定的正常使用的数值,这一数值称为设备的额定值,电气设备在额定值工作时的状态称为额定工作状态。

例如,一盏电灯上标注的电压 220V,功率 100W,就是它的额定值。大多数电气设备(如电灯、电炉等)的寿命与其绝缘材料的耐热性能及绝缘强度有关。当电流超过额定值过多时,由于电气设备发热速度远远大于散热速度,设备的温度将很快上升,以致使绝缘层迅速老化、损坏;而当所加电压超过额定值过多时绝缘材料可能被击穿。对电灯、电炉和电阻器来说,当电压过高或电流过大,其灯丝或电阻丝也将烧毁;反之,如果电压或电流远低于其额定值,电气设备将无法在正常的情况下工作,就不能发挥其自身潜力。一般来说,电气设备在额定工作状态时是最经济合理和安全可靠的,并能保证电气设备有一定的使用寿命。

电气设备的额定值常标在铭牌上或写在说明书中。额定电压、额定电流、额定功率和额定电阻分别用  $U_N$ 、 $I_N$ 、 $P_N$  和  $R_N$  表示。习惯上,电气开关标注  $U_N$  和  $I_N$ ;而电烙铁、电炉等标注  $U_N$  和  $P_N$ ;一般金属膜电阻和线绕电阻则标注  $P_N$  和  $R_N$ ;而电机专用的铸铁调速电阻则标  $I_N$  和  $R_N$ 。

**【例 1-11】** 有一额定值为 30KW, 3000Ω 的电阻,试求其额定电流  $I_N$  和额定电压  $U_N$  值。

解根据  $P_N = U_N I_N = I_N^2 R_N$ , 得

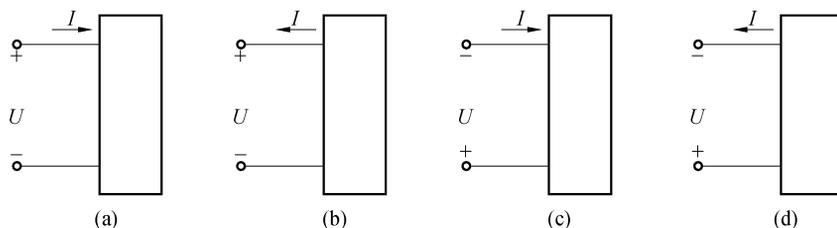
$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R_N}} = \sqrt{\frac{30}{3000}} \text{ A} = 0.1 \text{ A}$$

$$U_N = I_N R_N = 0.1 \times 3000 \text{ V} = 300 \text{ V}$$

如果一个电源的输出的电压和电流均为额定值,那么该电源便达到了额定工作状态(也称满载)。此时如果继续增加负载时,则电源输出的电流将超过额定值,称这种状态为过载。在进行电路分析时,也会用到过载和欠载,当实际电流或功率大于额定值时称为过载;小于额定值时称为欠载。例如一般导线最高允许工作温度为 80℃,如果导线流过的电流超过了安全电流,就称为导线过载。此时,过高的温度,会使绝缘迅速老化甚至于线路燃烧。发生过载的主要原因有导线截面选择不当,实际负载已超过了导线的安全电流;还有“小马拉大车”现象,即在线路中接入了过多的大功率设备,超过了配电线路的负载能力。如公共建筑物或者居住场所的照明线中,有可能出现导线或电缆长时间处于过载状态,这些线路中都应该采取过载保护。

#### 🔗 知识竞赛:

1.6-1 在图习题图 1-7 中,矩形代表电源或者负载。并且  $U = 220\text{V}$ ,  $I = -1\text{A}$ , 试问哪些是电源,哪些是负载?



习题图 1-7

## 本章小结

### 1. 分析电路的一般方法

理想电路元件是指实际元件的理想化模型,由理想元件构成的电路称为电路模型。在电路分析中,都是用电路模型来代替实际电路进行分析与研究的。

### 2. 电流、电压和电功率

电路中的主要物理量是指电流、电压和电功率。

① 在计算电流时,首先要设定电流的参考方向,一般用实线箭头表示。如果计算结果  $I$  为正值,表示实际方向与参考方向相同,若为负值则表示相反。

② 电压的参考方向一般用“+”、“-”极性表示,如果  $U$  为正值,表示实际方向与参考方向相同,若为负值表示相反。

③ 在  $U$  与  $I$  为关联参考方向时,电功率  $P = UI$ , 并且  $P > 0$  表示元件吸收(或消耗)功率,  $P < 0$  表示元件输出(或提供)功率。

### 3. 元件的约束关系

① 电阻  $R$  是反映元件对电流有一定阻碍作用的一个参数,线性电阻在电压  $u$  与电流  $i$  为关联参考方向时有  $u = Ri$ ,即欧姆定律。

电阻的功率  $p = ui = Ri^2 = Gu^2$ 。

② 直流理想电压源是一个二端元件,它的端电压是一固定值,用  $U_s$  表示,通过它的电流由外电路决定。

③ 直流理想电流源是一个二端元件,它向外电路提供一恒定电流,用  $I_s$  表示,它的端电压由外电路决定。

实际电压源模型用一理想电压源与一电阻串联的组合模型表示,在实际使用中不允许短路;实际电流源模型用一理想电流源与一电阻并联的组合模型表示,实际电流源不允许开路。

### 4. 电路互联的约束关系

基尔霍夫定律是分析电路的最基本定律,它贯穿整个电路。

① KCL 是对电路中任一节点而言的,运用 KCL 方程  $\sum I = 0$  时,应事先选定各支路电流的参考方向,规定流入节点的电流为正(或为负),流出节点的电流为负(或为正)。

② KVL 是对电路中任一回路来讲的,运用 KVL 方程  $\sum U = 0$  时,应事先选定各元件上电压参考方向及回路绕行方向,规定当电压方向与绕行方向一致时取正号,否则取负号。

③ 基尔霍夫定律的应用是分析、计算复杂电路的一种最基本方法。

#### 5. 电路中电位的分析

电路中各点电位的分析是欧姆定律、KCL、KVL 的一种应用,它在电子线路中经常用到,是一种十分有用的分析方法。电路中某点的电位是指该点到电路中参考点之间的电压,所以,电位是相对概念。参考点选择不同,电路中各点的电位值也随之而变。计算某点的电位,实际上是计算该点到参考点的电压。