

# 第1章

## 电路基本概念和基本定律



### 学习目标

1. 掌握电路及电路模型；
2. 掌握电压、电流及其参考方向的定义及测量、计算；
3. 掌握电功率和电能的度量及计算；
4. 熟悉电阻、电感、电容等电气元件的识别与测量；
5. 熟悉基尔霍夫电压、电流定律的计算。



### 案例引入

在楼道里有声控灯,在家里有空调、电扇、洗衣机、电脑等家用电器,这些电器为什么通入电源就能工作呢?这些电器的电压、电流又是多少呢?家里所有电器一个月消耗多少电能呢?如果家用电器出现故障了,如何分析与维修呢?下面就一起来讨论这个问题。

# 1.1 电路和电路模型



## 1.1.1 电路的概念

### 1. 电路及其组成

简单地讲,电路是电流通过的路径。实际电路通常由各种电路实体部件(如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、二极管、三极管等)组成,每一种电路实体部件具有各自不同的电磁特性和功能。人们按照需要,把相关电路实体部件按一定方式进行组合,就组成了一个电路。如果电路元器件数很多且电路结构较为复杂,则又称为**电路网络**。



手电筒电路、单个照明灯电路是实际应用中的较为简单的电路,而电动机电路、雷达导航设备电路、计算机电路和电视机电路是较为复杂的电路,但不管简单还是复杂,电路的基本组成部分都离不开三个基本环节:电源、负载和中间环节。

电源是向电路提供电能的装置。它可以将其他形式的能量,如化学能、太阳能、机械能、核能等转换为电能。在电路中,电源是激励,是激发和产生电流的因素。负载是取用电能的装置,其作用是把电能转换为其他形式的能(如机械能、热能、光能等)。在生产与生活中经常用到的电灯、电动机、电炉、扬声器等用电设备,都是电路中的负载。中间环节在电路中起着传递电能、分配电能和控制整个电路的作用。最简单的中间环节即开关和连接导线;一个实用电路的中间环节通常还有一些保护和检测装置;复杂的中间环节可以是由许多电路元件组成的网络系统。

如图 1-1 所示的手电筒照明电路中,电池作电源,灯泡作负载,导线和开关作为中间环节将灯泡和电池连接起来。

### 2. 电路的种类及功能

工程应用中的实际电路,按照功能的不同可分为两大类。一是完成能量的传输、分配和转换的电路,如图 1-1 中,电池通过导线将电能传递给灯,灯将电能转化为光能和热能。这类电路的特点是大功率、大电流。二是实现对电信号的传递、变换、储存和处理的电路,如图 1-2 所示的扩音机电路。话筒将声音的振动信号转换为电信号即相应的电压和电流,经过放大处理后,通过电路传递给扬声器,再由扬声器还原为声音。

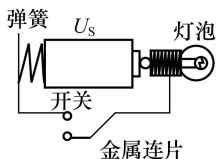


图 1-1 手电筒照明电路

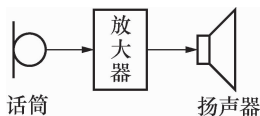


图 1-2 扩音机电路

这类电路特点是功率低、电流小。



### 1.1.2 电路模型

实际电路的电磁过程是相当复杂的,难以进行有效的分析计算。在电路理论中,为了便于对实际电路进行分析和计算,人们通常在工程实际允许的条件下对实际电路进行模型化处理,即忽略次要因素,抓住足以反映其主要电磁特性,抽象出实际电路器件的“电路模型”。

电阻器、白炽灯、电炉等电气设备接收电能并将电能转换成光能或热能,光能和热能显然不可能再回到电路中,因此这种能量转换过程不可逆的电磁特性称为**耗能**。这些电气设备除了具有耗能的电磁特性,当然还有其他一些电磁特性,但在研究和分析问题时,即使忽略这些电磁特性,也不会影响整个电路的分析和计算。因此,就可以用一个只具有耗能电磁特性的“电阻元件”作为它们的电路模型。

实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为**理想电路元件**,简称**电路元件**。每一种电路元件体现某种基本现象,具有某种确定的电磁性质和精确的数学定义。常用的有表示将电能转换为热能的电阻元件、表示电场性质的电容元件、表示磁场性质的电感元件及电压源元件和电流源元件等,各元件的电路符号如图 1-3 所示。本章后面将分别讲解这些常用的电路元件。

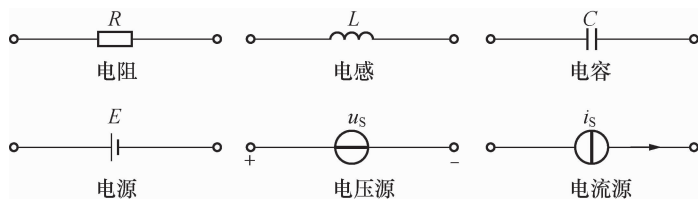


图 1-3 理想电路元件的符号

由理想电路元件相互连接组成的电路称为**电路模型**。如图 1-1 所示,电池对外提供电压的同时,内部也有电阻消耗能量,所以电池用其电动势  $E$  和内阻  $R_0$  的串联表示;灯泡除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,通电时还会产生磁场,具有电感性。但电感微弱,可忽略不计,可认为灯泡是一个电阻元件,用  $R_L$  表示。如图 1-4 所示是手电筒电路的电路模型。

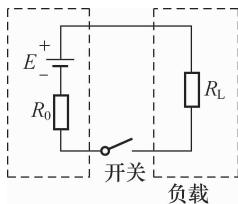


图 1-4 手电筒电路的电路模型

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

chapter 09

chapter 10

chapter 11

chapter 12

## 1.2 电流、电压及其参考方向

电路中的变量是电流和电压。无论是电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,都是这两个量变化的结果,因此,弄清电流与电压及其参考方向,对进一步掌握电路的分析与计算是十分重要的。

### 1.2.1 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流,通常把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流,用符号  $I$  或  $i$  表示。

电流主要分为两种:一类是大小和方向均不随时间变化的电流,称为**恒定电流**,简称为**直流**,简写为 DC 或 dc,其电流的大小用符号  $I$  表示。一类是大小和方向均随时间变化的电流,称为**变动电流**,其大小用符号  $i$  表示。其中,一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为**交流**,用 AC 或 ac 表示。

图 1-5 给出了几种常见的电流,其中图 1-5(a)为直流,图 1-5(b)为正弦交流电流,图 1-5(c)为锯齿交流电流。

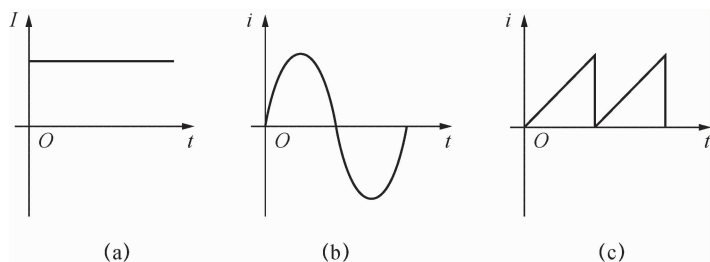


图 1-5 常见的电流

对于直流电流,单位时间内通过导体横截面的电荷量是不变的,可定义为

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

对于变动电流,若假设在很小的时间间隔  $dt$  内,通过导体横截面的电荷量为  $dq$ ,则该瞬间电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

电流的单位是安培,SI 符号是 A。电力系统中安培单位较小,有时取千安(kA)为电流的单位。而在无线电系统中(如晶体管电路中),安培这个单位又太大,常用毫安(mA)或微安( $\mu\text{A}$ )作为电流的单位。它们之间的换算关系为

$$\begin{aligned} 1 \text{ kA} &= 10^3 \text{ A} \\ 1 \text{ mA} &= 10^{-3} \text{ A} \end{aligned}$$



$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{A}$$

电流有大小和方向,通常把正电荷的运动方向定义为电流的实际方向。但是在电路较复杂时,很难直接确定电流的实际方向。为了分析电路方便,在一段电路中,事先任意假定一个电流方向作为电流的参考方向。电流的参考方向可以任意假设,但电流的实际方向客观存在,因此,假设的电流参考方向并不一定是电流的实际方向。在对电路中的电流设定了参考方向后,若经计算得出电流为正值,说明所设参考方向与实际方向一致,若经计算得到电流为负值,说明所设参考方向与实际方向相反。

### 提示

电流值的正负在设定参考方向的前提下才有意义。

在本书中,电路图上所标的电流方向均为参考方向。电流的实际方向和参考方向的关系可以用图 1-6 表示。



图 1-6 电流参考方向和实际方向的关系



### 1.2.2 电压及其参考方向

在物理学中已经学过, a、b 两点间的电压定义为电场力把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。电压的实际方向就是正电荷在电场力中受电场力作用移动的方向。

在直流电路中,电压为一恒定值,用  $U$  表示,即

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

在变动电流电路中,电压为一变值,用  $u$  表示,即

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

电压的单位是伏特,简称**伏**,SI 符号为 V。在电力系统中,会用到千伏(kV),在无线电系统中,还会用到毫伏(mV)和微伏( $\mu\text{V}$ )。

与电流相同,电压也有大小和方向。规定电位真正降低的方向为电压的实际方向。在分析电路时,也需要事先选择电压的参考方向。电压的参考方向也是任意选择的,在电路中通常用“+”“-”极性表示,如图 1-7a 所示。电压的参考方向还可以用双下标  $u_{ab}$  (电压参考方向由 a 点指向 b 点)表示,如图 1-7b 所示,也可以用实线箭头表示,如图 1-7c 所示。

在设定的参考方向下进行计算,若计算后得到的电压值为正,则说明电压的参考方



chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

chapter 09

chapter 10

chapter 11

chapter 12

向与实际方向一致,若为负,则参考方向与实际方向相反,如图 1-8 所示。

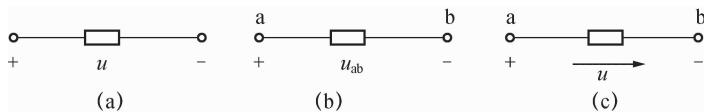


图 1-7 电压的参考方向



图 1-8 电压的参考方向和实际方向的关系

在电路分析中,电流和电压的参考方向可以任意单独假设,但是为了分析电路方便,通常将一段电路或一个元件的电压和电流设成关联参考方向,即电流从电压的“+”极流向“-”极,如图 1-9 所示。

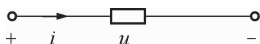


图 1-9 电压和电流的关联参考方向

### 1.2.3 电位的概念及其分析计算

为了分析问题方便,常在电路中指定一点作为参考点,假定该点的电位是零,用符号“ $\perp$ ”表示。在生产实践中,把地球做为零电位点,凡是机壳接地的设备(接地符号是“ $\perp$ ”),机壳电位即为零电位。有些设备或装置,机壳并不接地,而是把许多元件的公共点做为零电位点,也用符号“ $\perp$ ”表示。

电路中其他各点相对于参考点的电压即各点的电位,因此,任意两点间的电压等于这两点的电位之差。

电路中各点电位的高低是相对的,参考点不同,各点电位的高低也不同,但是电路中任意两点之间的电压与参考点的选择无关。电路中,凡是比参考点电位高的各点电位是正电位,比参考点电位低的各点电位是负电位。

**【例 1-1】** 求图 1-10 中 a 点的电位。

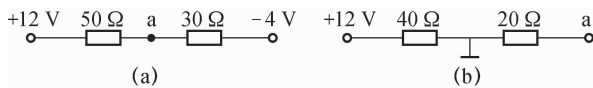


图 1-10 例 1-1 电路图

**解:** 对于图 1-10a 有

$$U_a = \left\{ -4 + \frac{30}{50+30} \times [12 - (-4)] \right\} \text{V} = 2 \text{V}$$

对于图 1-10b, 因  $20\ \Omega$  电阻中电流为零, 故

$$U_a = 0\ \text{V}$$

【例 1-2】 电路如图 1-11 所示, 求开关 S 断开和闭合时 A、B 两点的电位  $U_A$ 、 $U_B$ 。

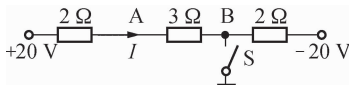


图 1-11 例 1-2 电路图

解: 设电路中电流为  $I$ , 如图 1-11 所示。

开关 S 断开时, 有

$$I = \left[ \frac{20 - (-20)}{2 + 3 + 2} \right] \text{A} = \frac{40}{7} \text{A}$$

因为

$$20 - U_A = 2I$$

所以

$$U_A = 20 - 2I = \left( 20 - 2 \times \frac{40}{7} \right) \text{V} = \frac{60}{7} \text{V}$$

同理

$$U_B = 20 - (2 + 3)I = \left( 20 - 5 \times \frac{40}{7} \right) \text{V} = -\frac{60}{7} \text{V}$$

开关 S 闭合时, 有

$$I = \left( \frac{20 - 0}{2 + 3} \right) \text{A} = 4 \text{A}$$

$$U_A = 3I = (3 \times 4) \text{V} = 12 \text{V}$$

$$U_B = 0 \text{V}$$

## 1.3 电功率及电能的概念和计算



### 1.3.1 电功率

在电路的分析和计算中, 功率和能量是很重要的概念。一方面, 电路在工作时总伴随有其他形式能量的互相转换, 另一方面, 电气设备和电路元件本身都有功率的限制, 在使用时要注意是否超过其额定值, 以防造成设备损坏或者不能正常工作。

电功率定义为单位时间内电路吸收或消耗的能量, 即

$$p = \frac{d\omega}{dt} = ui \quad (1-5)$$

在直流电路中, 上式可写成



chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

chapter 09

chapter 10

chapter 11

chapter 12

$$P = UI \quad (1-6)$$

采用式(1-5)、式(1-6)计算功率时,电压和电流选择为关联参考方向。若电压与电流选择为非关联参考方向,则

$$p = -ui \text{ 或 } P = -UI \quad (1-7)$$

功率的单位是瓦特,简称瓦,SI符号为W。

### 小提示

无论电压和电流选择关联参考方向还是非关联参考方向,在计算某个元器件的功率时,主要有以下几种情况:

1.  $p > 0$ , 说明该元器件吸收(或消耗)电能;
2.  $p < 0$ , 说明该元器件放出(或产生)电能;
3.  $p = 0$ , 说明该元器件不产生也不消耗电能。

**【例 1-3】** 计算如图 1-12 所示电路中各元件的功率,指出是吸收还是放出电能,并求整个电路的功率。已知电路为直流电路, $U_1 = 4 \text{ V}$ , $U_2 = -8 \text{ V}$ , $U_3 = 6 \text{ V}$ , $I = 2 \text{ A}$ 。

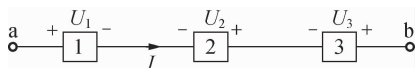


图 1-12 例 1-3 电路图

**解:** 在图 1-12 中,元件 1 电压与电流为关联参考方向,得

$$P_1 = U_1 I = (4 \times 2) \text{ W} = 8 \text{ W}$$

故元件 1 吸收电能。

元件 2 和元件 3 电压与电流为非关联参考方向,得

$$P_2 = -U_2 I = [-(-8) \times 2] \text{ W} = 16 \text{ W}$$

$$P_3 = -U_3 I = (-6 \times 2) \text{ W} = -12 \text{ W}$$

故元件 2 吸收电能,元件 3 放出电能。

整个电路功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = (8 + 16 - 12) \text{ W} = 12 \text{ W}$$

本例中,元件 1 和元件 2 的电压与电流实际方向相同,二者吸收电能;元件 3 的电压与电流实际方向相反,放出电能。由此可见,当电压与电流实际方向相同时,电路一定是吸收电能,反之则是放出电能。实际电路中,电阻元件的电压与电流的实际方向总是一致的,说明电阻总在消耗能量;而电源则不然,其功率可能为正也可能为负,这说明它可能作为电源提供电能,也可能被充电,吸收电能。

### 1.3.2 电能

电路在一段时间内消耗或提供的能量称为**电能**。电路元件在  $t_0$  到  $t$  时间内消耗或提供的能量为



$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-8a)$$

直流时为

$$W = P(t - t_0) \quad (1-8b)$$

在国际单位制中,电能的单位是焦耳(J)。1 J 等于功率为 1 W 的用电设备正常工作时在 1 s 内消耗的电能。通常电力部门用“度”作为单位测量用户消耗的电能,“度”是千瓦时(kW·h)的简称。1 度(或 1 千瓦时)电等于功率为 1 千瓦的元件正常工作时在 1 小时内消耗的电能。即

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = (10^3 \times 3\,600) \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

如果通过实际元件的电流过大,可能会由于温度过高使元件的绝缘材料损坏,甚至使导线熔化;如果电压过大,会击穿绝缘材料,所以必须加以限制。

电气设备或元件长期正常运行的电流容许值称为**额定电流**,其长期正常运行的电压容许值称为**额定电压**;额定电压和额定电流的乘积为额定功率。通常电气设备或元件的额定值标在产品的铭牌上。如一白炽灯标有“220 V 40 W”,表示它的额定电压为 220 V,额定功率为 40 W。

## 1.4 电阻、电感和电容元件

电阻元件、电感元件和电容元件都是理想的电路元件,它们均不发出电能,称为**无源元件**。它们有线性与非线性之分,线性元件的参数为常数,与所施加的电压和电流无关。本节主要分析讨论线性电阻、电感和电容元件的特性。

### 1.4.1 电阻元件

电阻是一种最常见的、用于反映电流热效应的二端电路元件。电阻元件可分为线性电阻和非线性电阻两类,如无特殊说明,本书所称电阻元件均指线性电阻元件。在实际交流电路中,像白炽灯、电阻炉和电烙铁等,均可看成是线性电阻元件。如图 1-13a 所示是线性电阻的符号,在电压、电流关联参考方向下,其伏安关系为

$$u = Ri \quad (1-9a)$$

式中, $R$  为常数,用来表示电阻及其数值。

式(1-9a)表明,凡是服从欧姆定律的元件即为线性电阻元件。如图 1-13b 所示为它的伏安特性曲线。

若电压、电流在非关联参考方向下,其伏安关系应写成

$$u = -Ri \quad (1-9b)$$

在国际单位制中,电阻的单位是欧姆( $\Omega$ ),规定当电阻电压为 1 V、电流为 1 A 时的电阻值为 1  $\Omega$ 。此外电阻的单位还有千欧(k $\Omega$ )、兆欧(M $\Omega$ )。电阻的倒数称为**电导**,用符号  $G$  来表示,即



chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

chapter 09

chapter 10

chapter 11

chapter 12

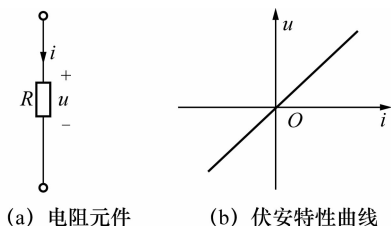


图 1-13 电阻元件及其伏安特性曲线

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-10)$$

电导的单位是西门子(S),或 1/欧姆(1/Ω)。

电阻是一种耗能元件。当电阻通过电流时会发生电能转换为热能的过程,而热能向周围扩散后,不可能再直接回到电源而转换为电能。电阻所吸收并消耗的电功率可由式(1-9a)计算得到,即

$$p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1-11)$$

一般地,电路消耗或发出的电能可由下式计算得出。

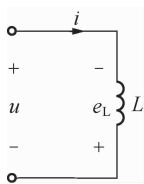
$$W = \int_{t_0}^t ui \, dt \quad (1-12)$$

在直流电路中,有

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-13a)$$

$$W = UI(t - t_0) \quad (1-13b)$$

### 1.4.2 电感元件



电感元件是实际的电感线圈及电路元件内部所含电感效应的抽象,它能够存储和释放磁场能量。空心电感线圈常可抽象为线性电感,其符号及规定的电压、电流参考方向如图 1-14 所示。

其中

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-14)$$

式(1-14)表明,电感元件上任一瞬间的电压大小,与这一瞬间电流对时间的变化率成正比。如果电感元件中通过的是直流电流,因电流的大小不变,即  $di/dt=0$ ,那么电感上的电压就为零,所以电感元件对直流可视为短路。

图 1-14 电感元件 在关联参考方向下,电感元件吸收的功率为

$$p = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1-15)$$

则电感线圈在  $0 \sim t$  时间内,线圈中的电流由 0 变化到  $I$  时,吸收的能量为

$$W = \int_0^t p dt = \int_0^t Li di = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1-16)$$

即电感元件在一段时间内储存的能量与其电流的平方成正比。当通过电感的电流增加时,电感元件就将电能转换为磁能并储存在磁场中;当通过电感的电流减小时,电感元件就将储存的磁能转换为电能释放给电源。所以,电感是一种储能元件,它以磁场能量的形式储能,同时电感元件也不会释放出多于它吸收或储存的能量,因此它也是一个无源的储能元件。

### 1.4.3 电容元件

电容器种类很多,但从结构上都可看成是由中间夹有绝缘材料的两块金属极板构成的。电容元件是实际的电容器即电路元件的电容效应的抽象,用于反映带电导体周围存在电场,能够储存和释放电场能量的理想化的电路元件。它的符号及规定的电压、电流参考方向,如图 1-15 所示。

当电容接上交流电压  $u$  时,电容器不断被充电、放电,极板上的电荷也随之变化,电路中出现了电荷的移动,形成电流  $i$ 。若  $u$ 、 $i$  为关联参考方向,则有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-17)$$

式(1-17)表明,电容器的电流与电压与时间的变化率成正比。如果电容器两端加直流电压,因电压的大小不变,即  $du/dt=0$ ,那么电容器的电流就为零,所以电容元件对直流可视为断路,因此电容具有“隔直通交”的作用。

在关联参考方向下,电容元件吸收的功率为

$$p = ui = uC \frac{du}{dt} = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-18)$$

则电容器在  $0 \sim t$  时间内,其两端电压由 0 增大到  $U$  时,吸收的能量为

$$W = \int_0^t p dt = \int_0^U Cu du = \frac{1}{2} CU^2 \quad (1-19)$$

式(1-19)表明,对于同一个电容元件,当电场电压高时,它储存的能量就多;对于不同的电容元件,当充电电压一定时,容量大的储存的能量多。从这个意义上说,电容  $C$  也是电容元件储能本领大小的标志。

当电压的绝对值增大时,电容元件吸收能量,并转换为电场能量;电压减小时,电容元件释放电场能量。电容元件本身不消耗能量,同时也不会放出多于它吸收或储存的能量,因此电容元件也是一种无源的储能元件。



视频

电容器

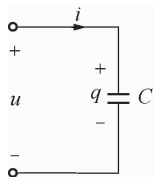


图 1-15 电容元件

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05chapter  
06chapter  
07chapter  
08chapter  
09chapter  
10chapter  
11chapter  
12

## 1.5 基尔霍夫定律

在电路分析计算中,其依据来源于两种电路规律,一种是各类理想电路元件的伏安特性,这一点只取决于元件本身的电磁性质,即各元件的伏安关系,与电路连接状况无关;另一种是与电路的结构及连接状况有关的定律,而与组成电路的元件性质无关。基尔霍夫定律就是表达电压、电流在结构方面的规律和关系的。



★ 视频

基尔霍夫定律



### 1.5.1 常用电路术语

基尔霍夫定律是与电路结构有关的定律,在研究基尔霍夫定律之前,先介绍几个有关的常用电路术语。

(1)支路:任意两个节点之间无分叉的分支电路称为**支路**。如图 1-16 中的 b—a—f—e 支路、b—e 支路、b—c—d—e 支路。

(2)节点:电路中,三条或三条以上支路的汇交点称为**节点**。如图 1-16 中的 b 点、e 点。

(3)回路:电路中由若干条支路构成的任一闭合路径称为**回路**。如图 1-16 中 a—b—e—f—a 回路、b—c—d—e—b 回路、a—b—c—d—e—f—a 回路。

(4)网孔:不包围任何支路的单孔回路称为网孔。如图 1-16 中 a—b—e—f—a 回路和 b—c—d—e—b 回路都是网孔,而 a—b—c—d—e—f—a 回路不是网孔。即网孔一定是回路,而回路不一定是网孔。

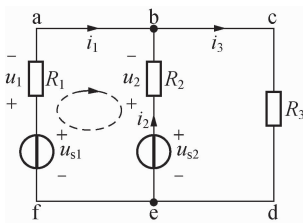


图 1-16 电路举例



### 1.5.2 基尔霍夫电流定律

某处流进一定量的电荷,必定同时从该处流出同一数量的电荷,这一结论称为**电流的连续性原理**。根据这一原理,对电路中任一节点,在任一瞬间,流出节点的电流之和必定等于流入节点电流之和。

例如,对如图 1-17 所示电路中的节点 a,连接在 a 点的支路共有 3 个,按各支路电流的参考方向,流出节点的电流为  $i_2$  和  $i_5$ ,流入节点的电流为  $i_1$ 、 $i_3$  和  $i_4$ 。

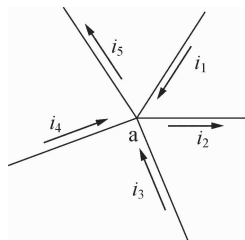


图 1-17 节点电流

则

$$i_2 + i_5 = i_1 + i_3 + i_4$$

上式可以写成

$$-i_1 + i_2 - i_3 - i_4 + i_5 = 0$$

对于任意一个节点有

$$\sum i = 0 \quad \text{或} \quad \sum I = 0 \quad (1-20)$$

式(1-20)称为**基尔霍夫第一定律**,也称为基尔霍夫电流定律(KCL)。它表明,汇集于任意一个节点电流的代数和等于零。规定:流出节点的电流为正,流入节点的电流为负。

在实际运用中,任意一个节点的电流方程也可以用下式来表示

$$\sum i_{\lambda} = \sum i_{\text{出}} \quad \text{或} \quad \sum I_{\lambda} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-21)$$

### 提示

根据 KCL, 每一个节点可以列出一个电流方程,但不是所有方程都是独立的。如果电路共有  $n$  个节点,则只能列出  $n-1$  个独立方程。

KCL 适用于电路的节点,根据电流连续性原理,也可以推广应用于电路中的任意一假设的封闭面;通过电路中任一封闭面的电流的代数和为零。



### 1.5.3 基尔霍夫电压定律

电荷在电场中从一点移动到另一点时,它所具有的能量的改变量只与这两点的位置有关,与移动的路径无关。基尔霍夫电压定律是电压与路径无关这一性质在电路中的体现。

基尔霍夫电压定律指出:从回路中任一点出发绕行一周回到出发点,电位不变,电位差为零。在闭合回路绕行一周的过程中,电压有升有降,规定电压降为正,电压升为负,电路各段电压升降的代数和等于零。其公式为

$$\sum u = 0 \quad \text{或} \quad \sum U = 0 \quad (1-22)$$

即电路中的任一瞬间,任一回路的各支路电压的代数和为零,这就是基尔霍夫第二定律,又称为**基尔霍夫电压定律**,简称为 **KVL**。

应用基尔霍夫电压定律列电压方程时,首先需要选定回路的绕行方向,凡电压的参考方向与绕行方向一致时,在该电压前面取正号;凡电压的参考方向与绕行方向相反时,在该电压前面取负号。

如图 1-18 所示的电路,选定回路的绕行方向为顺时针方向。则可列出电压方程为

$$-I_4 R_4 + U_{S_2} - I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_1 R_1 - U_{S_1} = 0$$

KVL 也可以推广应用于假想回路,例如在图 1-19 中,可以假想有回路 a—b—c—a,其中 a—b 段未画出支路。对于这个假想回路,如从 a 出发,顺时针方向绕行一周。

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

chapter 09

chapter 10

chapter 11

chapter 12

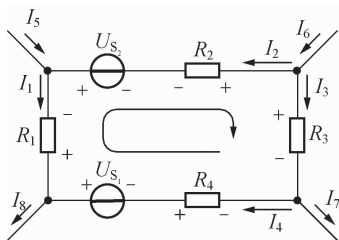


图 1-18 任一电路中的一个回路

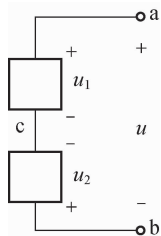


图 1-19 KVL 应用于假想回路

按图中规定的参考方向,有

$$u + u_2 - u_1 = 0$$

则

$$u = u_1 - u_2$$

有了 KVL 这个推论,就可以很方便地求电路中任意两点的电压。

KVL 规定了电路中任一回路内电压必须服从的约束关系,至于回路内是些什么元件与定律无关。因此,不论是线性电路还是非线性电路,定律都是适用的。

## 本章实训 基尔霍夫定律的验证

### 实训目的

1. 验证基尔霍夫定律的正确性,加深对基尔霍夫定律普遍性的理解;
2. 进一步学会使用电压表、电流表。

### 实训器材

本实训所需器材见表 1-1。

表 1-1 实训器材

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30 V	2	
2	直流数字电压表		1	
3	直流数字毫安表		1	

### 实训原理

实验电路如图 1-20 所示。

基尔霍夫定律是电路的基本定律,分为如下两条定律。

(1) 基尔霍夫电流定律:对电路中任意节点,流入、流出该节点的电流的代数和为零,即  $\sum I = 0$ 。

(2) 基尔霍夫电压定律:在电路中任一闭合回路,电压升降的代数和为零,即  $\sum U = 0$ 。

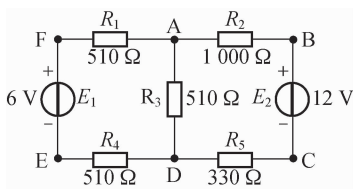


图 1-20 基尔霍夫定律验证实训电路图

### 实训步骤

- (1) 实验前先任意设定三条支路的电流参考方向。
- (2) 按原理的要求,分别将两路直流稳压电源接入电路。
- (3) 将电流插头的两端接至直流数字毫安表的“+”“-”两端。
- (4) 将电流插头分别插入三条支路的三个电流插座中,记录电流值于表 1-2。
- (5) 用直流数字电压表分别测量两路电源及电气元件上的电压值,记录于表 1-2。

表 1-2 实训数据

测量值	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$E_1$ (V)	$E_2$ (V)	$U_{FA}$ (V)	$U_{AB}$ (V)	$U_{AD}$ (V)	$U_{CD}$ (V)	$U_{DE}$ (V)
计算值										
测量值										
相对误差										

### 实训报告要求

1. 画出实训电路图,简单描述其工作原理。
2. 写出实训步骤,记录实验的测量数据。
3. 对记录的数据进行误差分析。

### 实训点评

1. 学生自评

---

2. 同学互评

---

3. 教师点评

---



---

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05chapter  
06chapter  
07chapter  
08chapter  
09chapter  
10chapter  
11chapter  
12

## ■ 本章小结 ■

1. 电路是电流通过的路径。实际电路通常由各种电路实体部件(如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、二极管、三极管等)组成,每一种电路实体部件具有各自不同的电磁特性和功能。人们按照需要,把相关电路实体部件按一定方式进行组合,就组成了电路。实际电路的电磁过程是相当复杂的,难以进行有效的分析计算。在电路理论中,为了便于对实际电路进行分析和计算,人们通常在工程实际允许的条件下对实际电路进行模型化处理,即忽略次要因素,抓住足以反映其功能的主要电磁特性,抽象出实际电路器件的“电路模型”。

2. 电荷的定向移动形成电流。电流的大小用电流来衡量。简单电路中,电流从电源正极流出,经过负载,回到电源负极;在分析复杂电路时,一般难于判断出电流的实际方向,而列方程、进行定量计算时需要对电流有一个约定的方向,因此引入电流的“参考方向”;对于交流电流,电流的方向随时间改变,无法用一个固定的方向表示。

3. 为了分析问题方便,常在电路中指定一点作为参考点,假定该点的电位是零,用符号“ $\perp$ ”表示。在生产实践中,把地球做为零电位点,凡是机壳接地的设备(接地符号是“ $\perp$ ”),机壳电位即为零电位。有些设备或装置,机壳并不接地,而是把许多元件的公共点做为零电位点,也用符号“ $\perp$ ”表示。

4. 电流通过电路时传输或转换电能的速率,即单位时间内电场力所作的功,称为**电功率**,简称**功率**。电路在一段时间内消耗或提供的能量称为**电能**。

5. 电阻元件、电感元件和电容元件都是理想的电路元件,它们均不发出电能,称为**无源元件**。它们有线性和非线性之分,线性元件的参数为常数,与所施加的电压和电流无关。

电阻是一种耗能元件。当电阻通过电流时会发生电能转换为热能的过程。而热能不能向周围扩散后,不可能再直接回到电源而转换为电能。

电感是一种储能元件,它以磁场能量的形式储能,同时电感元件也不会释放出多于它吸收或储存的能量,因此它也是一个无源的储能元件。

电容元件本身不消耗能量,同时也不会放出多于它吸收或储存的能量,因此电容元件也是一种无源的储能元件。

6. 对于任何电路中的任意节点,在任意时刻,流过该节点的电流之和恒等于零;对于任何电路中任一回路,在任一时刻,沿着一定的方向(顺时针方向或逆时针方向)绕行一周,各段电压的代数和恒为零。

## ■ 本章检测 ■

1-1 如图 1-21 所示,所标出的是各元器件的电压和电流的参考方向,分别计算各元件的功率,并判断该元件是耗能元件还是电源。



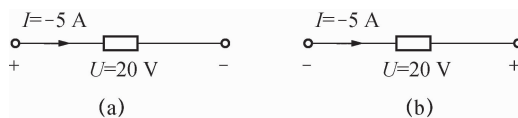


图 1-21 题 1-1 图

1-2 电路如图 1-22 所示,每个方框表示一个元器件,根据已知的电流值求  $I$ 。

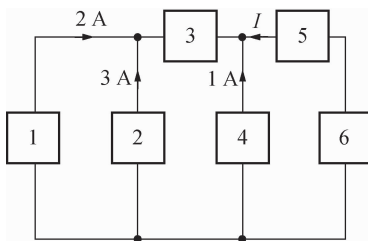


图 1-22 题 1-2 图

1-3 电路如图 1-23 所示,求开路电压  $U_{ab}$ 。

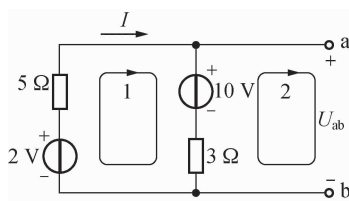


图 1-23 题 1-3 图



- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09
- chapter 10
- chapter 11
- chapter 12