

第一篇

电路理论基础

在“电路基础”课程中,电路理论基础涉及的内容极其广泛,关系极其密切,本书将其进行了整理,将其分为电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法以及电路的基本定理三部分进行讨论。其中,电路的基本概念和基本定律部分包括:电路模型、电阻元件、电源元件、欧姆定律、基本物理量、电路的工作状态等;电路的基本分析方法部分包括:电阻的串联、并联和混联,电阻的星形连接和三角形连接,电源的等效变换以及支路电流法、网孔电流法和节点电位法等;电路的基本定理部分包括:叠加定理、齐次定理、戴维南定理、诺顿定理、最大功率传输定理和替代定理等。本篇旨在为后面的基本电路分析打下基础。

通过本篇的学习,学生应掌握电路的基本概念、基本分析方法和基本定理等理论知识,从而具备电子技术应用专业的高素质人才和中初级专业人才所需的基本技能,为后续学习专业知识、从事工程技术工作和科学研究工作打下理论基础。



第 1 章

电路的基本概念和基本定律



本章主要介绍了 5 部分内容。首先介绍了电路的概念、组成、作用以及电路模型的概念；其次介绍了电路中的基本物理量，主要包括电流、电压、电位、电动势、电功率和电能；再次介绍了电阻元件和欧姆定律的相关内容；接着介绍了独立电源（理想电压源和理想电流源）和受控源的内容；最后介绍了电路的常用名词、基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律等。



1. 熟练掌握电路和电路模型的组成及作用，能够把实际电路抽象成电路图；
2. 熟练掌握电路的基本物理量；
3. 能够理解电路中电压、电流、电功率的物理意义，并会计算电压、电流、电功率；
4. 理解电阻的定义和性质、电导的意义，掌握欧姆定律的意义、公式和应用；
5. 理解理想电源、实际电源的定义和伏安特性，了解受控源的相关知识；
6. 理解电路的工作状态；
7. 理解电路中的几个常用名词，熟练掌握基尔霍夫定律并能够灵活应用定律对电路进行分析和计算。

1.1 电路和电路模型

电路是电流的通路,是为了某种需要由用电设备或电路元件按一定方式组合而成。例如,手电筒电路、手机电路、电视机电路等。

1.1.1 电路的组成及作用

电路的结构形式非常多,但从作用来看,主要有两种:一种是实现电能的传输与转换;另一种是实现信号的传递与处理。从组成来看,按照各电路元件在电路中所起的作用不同,电路可分为电源、负载和传输控制器件3部分。电源为电路提供电能或者电信号,如发电机、干电池等;负载使用电能或者接收信号,如电动机、照明灯、扬声器等;电源和负载的连接部分则是传输控制器件,如开关、带线、控制器等。

电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;由激励在电路中所产生的电压和电流称为响应。电路分析就是在已知电路的结构与元器件参数的条件下,研究电路的激励与响应的关系。

如图1-1(a)所示手电筒电路,它是一个简单电路。这个电路由1个电源(干电池)、1个负载(白炽灯)、1个开关和若干导线(手电筒的金属外壳或者金属线)所组成。

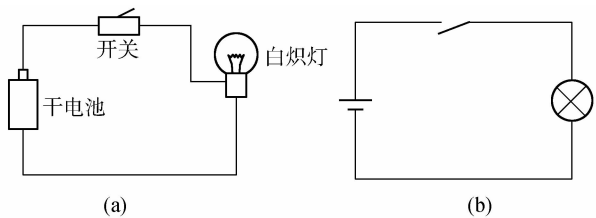


图 1-1 手电筒电路

1.1.2 电路模型

电路模型是实际电路的抽象形式,它是对实际电路进行分析和计算的依据。

实际电路都是根据人们的需要将实际的电路元件或器件搭接起来,以完成人们的预想要求。在实际电路中,常常使用各种电路元件或器件,如发电机、变压器、电动机、电阻器及

电容器等。实际元器件种类繁多,但在电磁现象方面却有许多共同的地方。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**。

例如,电阻器、灯泡、电炉等主要是消耗电能,这样就可用一个理想电阻元件来反映消耗电能的特征;类似地,能够存储电能的器件称为电容元件,能够存储磁能的器件称为电感元件,能够输出电能的元件称为电源元件。理想电路元件是一种理想化的模型,简称为电路元件。常见的理想电路元件有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件(理想电压源、理想电流源)等,如图 1-2 所示。

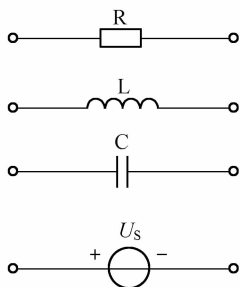


图 1-2 理想电路元件

有了理想电阻、电容、电感等元器件,由它们构成与实际电路相对应的电路模型,即可便于对实际电路进行分析,如图 1-1(b)所示为手电筒实际电路的电路模型。由理想的电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型。今后分析的都是电路模型,简称电路。在电路图中,各种电路元件都用规定的图形符号表示。

表 1-1 列出了几种常用元器件的标准图形符号。

表 1-1 几种常用元器件的标准图形符号

电路元件名称		文字符号	图形符号	电磁性质
电阻元件		R		消耗电能
电感元件		L		存储磁场能量
电容元件		C		存储电场能量
电源元件	电压源	U_s		产生电能
	电流源	I_s		

1.2 电路中的基本物理量

电路分析中常用到电流、电压、电位、电动势、电功率等物理量,本节对这些物理量以及与它们有关的概念进行简要说明。

1.2.1 电流

初中物理中我们已经学过,带电粒子的定向移动形成电流。例如,金属导体中的自由电子、半导体中的电子和空穴,都属于带电粒子或者称为载流子。

电流的大小通常用电流强度来衡量,习惯上将电流强度简称为**电流**,它是单位时间内通过导体横截面的电荷量,用 i 来表示,即有

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

式中 dq ——在 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

大小和方向随时间变化的电流称为交流,用小写字母 i 表示。方向不随时间变化的电流称为直流,其中大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定直流(或者稳恒直流),用大写字母 I 表示:

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

式中 Q ——表示电荷量,即电荷的多少,单位是库[伦](C);

t ——表示时间,单位是 s。

电流的单位是安[培](A),即在 1s 内通过导体横截面的电荷量是 1C,则电流就是 1A。电流的常用单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等单位。换算关系如下:

$$1\text{kA} = 10^3 \text{A} = 10^6 \text{mA} = 10^9 \mu\text{A}$$

电路分析中,除了要计算电流的大小,还要确定电流的方向。习惯上规定正电荷的运动方向(或负电荷运动的相反方向)为电流的正方向,称为**电流的实际方向**。电流的正方向是客观存在的。在简单电路中,不难根据物理知识判断出正电荷运动的方向,从而确定出电流的实际方向。但是,在复杂电路中,有时无法预知电流的实际方向;而交流电路的电流方向又时刻发生变化,也无法指定其电流方向。为了方便分析和计算,引入电流的“参考方向”这一概念。具体做法如下:

(1)在分析电路时,先选定某一方向(称为**参考方向**)作为电流的正方向。在电路中,元件的电流参考方向可用箭头表示,如图 1-3 所示。在文字叙述中也可用电流符号加注下标表示,如 i_{ab} 表示电流由 a 流向 b ,并有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。



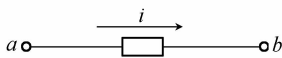


图 1-3 电流参考方向的表示



(2)按照选定的参考方向计算电流,若计算结果为正($i>0$),说明电流的参考方向与实际方向一致;若计算结果为负($i<0$),说明电流的参考方向与实际方向相反,如图 1-4 所示。

(3)没有设定参考方向,电流的正、负没有意义。

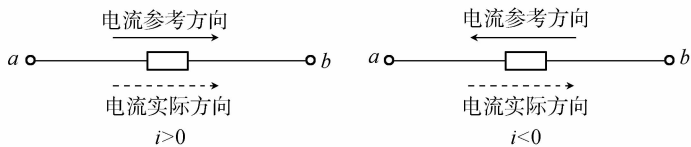


图 1-4 电流参考方向与实际方向的关系



1.2.2 电压、电位、电动势

1. 电压

电荷在导体中作定向运动时,一定要受到力的作用。如果这个力源是电场,则电荷运动就要消耗电场能量,或者说电场力对电荷做了功。为衡量电场力对电荷做功的能力,引入一新的物理量——电压。

在电路中, a 、 b 两点间电压 u_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,也就是单位正电荷在移动过程中所减少的电能,即:

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

式中 dq —— a 点移动到 b 点的电荷量;

dW ——移动过程中电场力所做的功(也为电荷在这一过程中所减少的电能)。

对于稳恒电流, a 、 b 两点间电压 U_{ab} 为

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

电压的单位是伏[特](V),即当电场力将 1C 的正电荷从 a 点移动到 b 点过程中所做的功为 1J 时, a 、 b 两点间的电压为 1V。常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, 1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

电压的实际方向习惯上规定为电场力移动正电荷做正功的方向,即正电荷在电场的作用下的移动方向。

和对待电流一样,在分析电路之前,可以任意选择某一方向为电压的参考方向。若计算结果为正($u>0$),说明电压的参考方向与实际方向一致;若计算结果为负($u<0$),说明电压

的参考方向与实际方向相反,如图 1-5 所示。

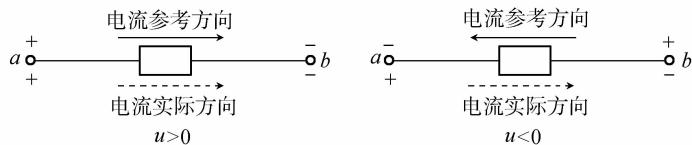


图 1-5 电压参考方向与实际方向的关系

电压的参考方向可以用箭头、双下标(如 u_{ab})和正负符号“+”“-”三种方式表示,如图 1-6 所示。与电流的情况相似,电压也有 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

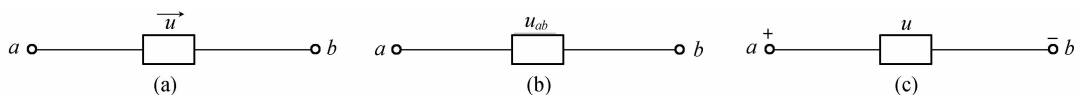


图 1-6 电压参考方向的表示

在电路分析中,对一个元件既要假设通过它的电流参考方向,又要假设该元件两端电压的参考极性,两个都可任意假定,而且独立无关。当电压和电流的参考方向一致时,称电压和电流为关联参考方向,如图 1-7(a)所示;相反,当电压和电流的参考方向相反时,称电压和电流为非关联参考方向,如图 1-7(b)所示。

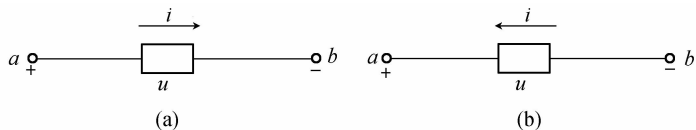


图 1-7 关联参考方向与非关联参考方向

提醒

在电路分析中,没有特别说明,电压和电流一般为关联参考方向。

2. 电位

在电气设备调试和检修时,经常要测量某个点的电位,看其是否符合要求。

某点的**电位**就是该点到参考点的电压,用字母 V 表示。其中,参考点是任意选定的,电路中各点的电位都是针对参考点而言的。通常规定参考点的电位为零,因此参考点又称为零电位点,用接地符号“ \perp ”表示。在电工技术中,通常以与大地连接的点作为参考点;在电子线路中,通常以公共的接机壳点作为参考点。

根据电位的定义可知,某点 a 的电位 V_a 是该点到参考点(如点 o)的电压,即

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



电位的概念

电位的单位与电压的单位一致,也是伏(V)。

如图 1-8 所示,以电路中的 o 点作为参考点,则有 $V_a = U_{ao}, V_b = U_{bo}$ 。

$$U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

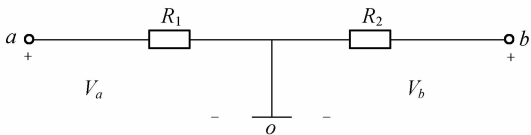


图 1-8 电位表示图

式(1-6)说明,电路中 a 点到 b 点的电压等于 a 点电位与 b 点电位之差,所以电压又叫电位差。当 a 点的电位高于 b 点电位时, $U_{ab} > 0$;反之,当 a 点的电位低于 b 点电位时, $U_{ab} < 0$ 。一般电压的实际方向规定为由高电位点指向低电位点。

参考点是可以任意选定的,一经选定,电路中各点的电位也就确定了。参考点选择不同,电路中的各点电位将随参考点的变化而变化,但任意两点间的电压是不变的。

3. 电动势

如图 1-9 所示,正电荷在电场力的作用下不断从高电位 a 向低电位 b 移动, a 端的正电荷逐渐减少会使其电位逐渐降低,而 b 端则因为正电荷的增多使电位逐渐升高,由此导致两极之间的电位差减小,最后为零,电荷不再移动。

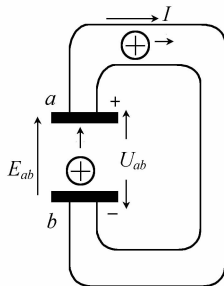


图 1-9 电压与电动势

为维持导体中的电流能够连续不断地流过,且应使得导体 a 、 b 两端的电压不致丧失,就要将 b 端的正电荷移至 a 端。但电场力的作用方向恰好与此相反,因此就必须要有另一种力去克服电场力而使 b 端的正电荷移至 a 端。电源中必须具有这种力——电源力(非静电力)。

在干电池中,电源力是靠电极与电解液间的化学反应而产生的;在发电机中,电源力由导体在磁场中做机械运动而产生。为了衡量电源把非电能转化为电能的能力,引入电动势的概念。在电源内部,电源力把单位正电荷从负极移动到正极所做的功即该电源的**电动势**,用字母 E 表示,即

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-7)$$

由定义可知,电动势的方向是由电源的负极指向正极,即从低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。对于同一电源,电动势的方向与电源电压的方向正好相反。

电动势的大小只取决于电源本身的性质,而与外电路无关。电动势这一概念仅存在于电源元件,电源元件开路时,电动势 E 与其端电压 U 在数值上是相等的,即 $E=U$,方向相反。

电动势的单位与电压的单位一致,也是伏(V)。但电动势与电压不是同一概念,它们的区别如下:

(1) 电动势与电压具有不同的物理意义。电动势是衡量电源力在电源内部做功的本领, 电压是衡量电场力做功的本领。

(2) 电动势与电压的实际方向不同。电动势的实际方向习惯上规定为电位升高的方向, 即从电源的负极指向正极; 电压的实际方向习惯上规定为电位降低的方向, 即从高电位点到低电位点。

(3) 电动势仅存在于电源内部, 而电压不仅存在于电源内部, 而且存在于电源外部。电源的电动势在数值上等于电源两端的开路电压。

1.2.3 电功率与电能

1. 电功率

电路在工作过程中具有能量的传输、储存和转换, 表现为能量的吸收和释放, 电路吸收或释放能量的速率用**电功率**来衡量。电功率简称**功率**, 它定义为单位时间内电路吸收或释放的电能, 即

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-8)$$

式中 $d\omega$ ——电路在 dt 时间内吸收或释放的能量。

功率的单位是瓦[特](W)。此外, 常用的单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等。换算关系如下:

$$1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$$

若电压和电流选为关联参考方向, 如图 1-10(a) 所示, 视为正电荷由高电位点向低电位点移动, 电场力做正功, 电路吸收功率, 其值为正, 计算公式为

$$p = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui$$

在直流情况下: $P = UI$ 。可见, 电路的功率等于该电路电压和电流的乘积。

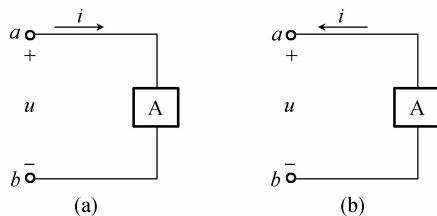


图 1-10 电功率的计算

若电压和电流选为非关联参考方向, 如图 1-10(b) 所示, 电路发出功率, 其值为负, 计算公式为

$$p = -ui$$

在直流情况下: $P = -UI$ 。

在计算时要注意: 应根据电压和电流的参考方向是否关联, 选用相应的功率计算公式,



★ 微视频

电功率

再代入相应的电压、电流值。另外, u 、 i 值可以为正, 也可以为负。若电路元件的功率为正值, 则表示它在吸收功率, 实际上是一个负载元件; 反之, 若功率为负值, 则表示它在发出功率, 实际上是一个电源元件。

2. 电能

在电源内部, 外力不断地克服电场力对电荷做功, 电荷在电源内部获得了能量, 把非电能转化成电能。在外电路中, 电荷在电场力的作用下, 不断地通过负载放出能量, 把电能转换成其他形式的能量。

由此可见, 在电路中电荷只是一种转化和传输能量的媒介物。电荷本身并不产生或者消耗任何能量。通常情况下所说的用电, 就是针对使用电荷所携带的能量而言。

在 t_0 到 t 的一段时间内, 电压与电流取关联参考方向, 电路消耗的电能

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt \quad (1-9)$$

在直流电路中, 电压、电流和功率均为恒定值, 则

$$W = P(t - t_0) = UI(t - t_0)$$

当 $t_0 = 0$ 时, $W = Pt = UI t$ 。

电能的单位是焦[耳](J)。功率为 1W 的用电设备在 1s 时间内所消耗的电能

实际应用中, 供电部门按照“度”(即千瓦·时)来收取电费, 功率为 1kW 的用电器工作 1 小时, 所消耗的电能即 1 度(1kW·h), 即

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 100\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

1.3 电阻元件及欧姆定律

自然界的物质按照其导电能力可分为导体、绝缘体、半导体三大类。其中, 导体是导电性能良好的物质, 是因为导体内有大量的自由电子; 绝缘体中几乎没有自由电子, 因此其导电性能很差; 半导体是导电性能介于导体和绝缘体之间的物质。

1.3.1 电阻元件

1. 电阻

金属导体容易导电, 是因为金属中有大量的自由电子。这些自由电子在导体中运动时, 不断受到导体中原子和分子的碰撞和摩擦, 这使得自由电子的运动受到一定的阻碍作用。因而电流通过导体时会受到阻力。

在物理学中, 用**电阻**来表示导体对电流阻碍作用的大小。电阻用符号 R 表示, 单位是欧[姆](Ω)。电阻的常用单位还有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)等。换算关系如下:

$$1\text{M}\Omega = 10^3 \text{k}\Omega = 10^6 \Omega$$



导体的电阻越大,表示导体对电流的阻碍作用越大。不同的导体,电阻一般不同,电阻是导体本身的一种特性。

实验表明:在温度一定的条件下,截面均匀的导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比,并与导体材料的性质有关。即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-10)$$

式中 l ——导体的长度,单位为米(m);

S ——导体的横截面积,单位为平方米(m^2);

ρ ——导体的电阻率,单位为欧米($\Omega \cdot \text{m}$)。电阻率 ρ 是导体本身的属性,表示长度为1m、横截面积为 1m^2 的导体在一定温度下的电阻值。

2. 电阻元件

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件,习惯上简称为电阻。电阻是所有电子电路中使用最多的元件。电阻元件导通电流的特性用**电导**来衡量,将电阻的倒数称为电导,即

$$G = \frac{1}{R}$$

在国际单位制(SI)中,电导的单位是西[门子](S),简称西。

电阻元件的电阻值大小一般与温度、材料、长度,还有横截面积有关,衡量电阻受温度影响大小的物理量是**温度系数**,其定义为温度每升高 1°C 时电阻值发生变化的百分数。实验表明,当导体的温度发生变化时,它的电阻值也随着变化。不同的材料,当温度升高时,电阻变化的情况不同,若电阻随温度的升高而增加,则称为正温度系数材料,否则称为负温度系数材料。一般情况下,我们研究的电阻元件都是恒值电阻。

3. 电阻元件的分类

电阻元件两端的电压与通过它的电流可以用平面上的一条曲线来表示,称为电阻元件的伏安特性曲线。

如果电阻的大小取决于材料本身的性质,而与加在它两端的电压和通过它的电流无关,这样的电阻元件称为**线性电阻元件**,其伏安特性曲线如图 1-11(a)所示;否则称为**非线性电阻元件**,其伏安特性曲线如图 1-11(b)所示。如果电路中的元件都是线性元件,这样的电路称为**线性电路**。

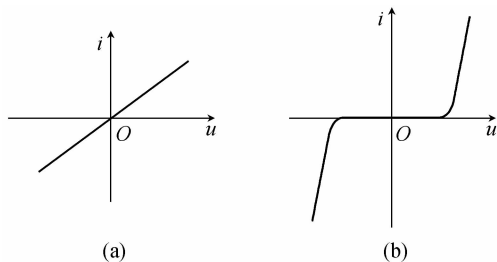


图 1-11 电阻元件的伏安特性曲线

提 醒

若无特别说明,本书所涉及的电阻元件均为线性电阻元件,讨论的电路都是线性电路。

1.3.2 欧姆定律

欧姆定律反映流过线性电阻元件的电流与加在它两端的电压之间的关系,是电路分析中最重要的基本定律之一。



欧姆定律:导体中的电流与它两端的电压成正比,与导体的电阻成反比。表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-11)$$

电阻中的电流与电压的参考方向是一致的,即当电流与电压为关联参考方向时,式(1-11)成立。若为非关联参考方向,则此时的欧姆定律中要加上一个负号,写为

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

或

$$U = -IR \quad (1-12)$$

根据欧姆定律画出的伏安特性曲线,是一条通过原点的直线,如图 1-11(a)所示。

【例 1-1】 应用欧姆定律对如图 1-12 所示电路列出表达式,并求出电阻值。

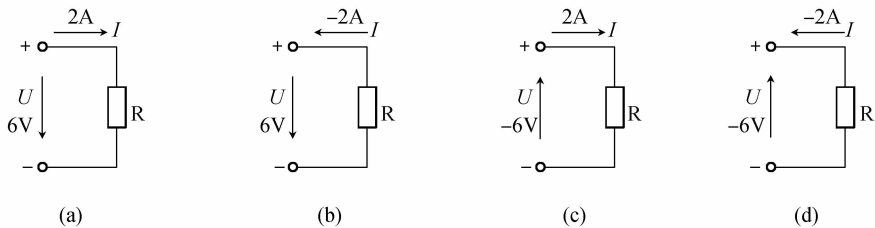


图 1-12 例 1-1 电路图

解:对于图(a),电压 U 与电流 I 为关联参考方向,则

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2} = 3\Omega$$

对于图(b),电压 U 与电流 I 为非关联参考方向,则

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} = 3\Omega$$

对于图(c),电压 U 与电流 I 为非关联参考方向,则

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{2} = 3\Omega$$

对于图(d), 电压 U 与电流 I 为关联参考方向, 则

$$R = \frac{U}{I} = \frac{-6}{-2} = 3\Omega$$

1.3.3 线性电阻元件的电功率

在前面的 1.2.3 节中我们已经简要叙述了电功率的概念及其计算, 这里仅介绍线性电阻元件的电功率。根据电功率的计算公式(1-8)可得:

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

由式(1-13)可知, 电阻元件的电功率 P 恒为正, 即电阻元件永远是消耗功率的元件。

1.4 电源元件

当电流流过电路中的耗能元件时, 会不断消耗电能, 因此, 电路中只有电阻等耗能元件是不能正常工作的, 电路中必须有提供能量的元件——电源。

常用电源有干电池、蓄电池、发电机和各种信号源。电源中, 能够独立地向外电路提供电能的电源, 称为**独立电源**, 它包括独立电压源和独立电流源; 不能独立地向外电路提供电能的电源称为**非独立电源**, 又称为**受控源**。

1.4.1 理想电压源

理想电压源简称电压源, 其端电压恒定不变, 或者按照某一固有的函数规律随时间变化, 与流过其的电流无关。

理想电压源的符号如图 1-13(a)所示, 理想直流电压源的伏安特性曲线如图 1-13(b)所示, 是一条不通过原点且与电流轴平行的直线, 其端电压不随电流变化。

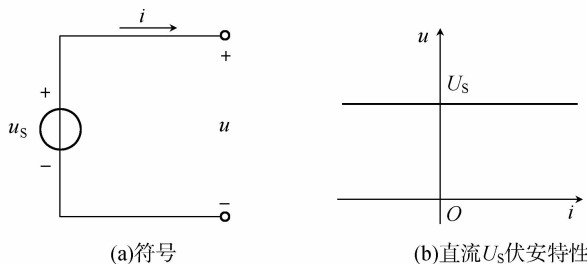


图 1-13 理想电压源

实际电路中,理想电压源是不存在的,电源内部总有电阻。实际电压源可以用一个理想电压源 U_s 与一个电阻 R_s 串联的模型来表示,如图 1-14(a)所示。由电路模型可得

$$U = U_s - IR_s \quad (1-14)$$

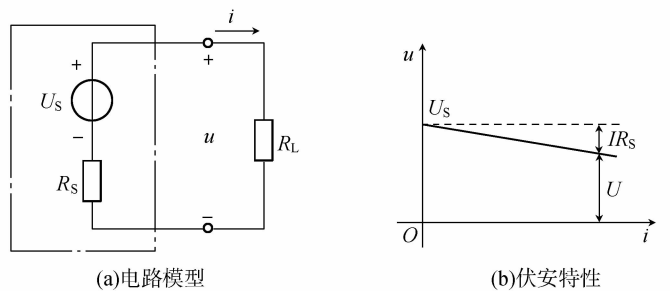


图 1-14 实际电压源

式(1-14)说明,在接通负载后,实际电压源的端电压 U 低于理想电压源的电压 U_s ,实际电压源的伏安特性曲线如图 1-14(b)所示,其端电压 U 随电流 I 增大而降低。可见,实际电压源的内阻越小,其特性越接近于理想电压源。工程中,常用的稳压电源以及大型电网在工作时的输出电压基本不随外电路变化,都可近似地看做理想电压源。

1.4.2 理想电流源

理想电流源简称电流源,其电流恒定不变,或者按照某一固有的函数规律随时间变化,与其端电压无关。

理想电流源的符号如图 1-15(a)所示,箭头的方向为电流源电流的参考方向。理想直流电流源的伏安特性曲线如图 1-15(b)所示,是一条不通过原点且与电压轴平行的直线,理想电流源的输出电流与它两端的电压无关。

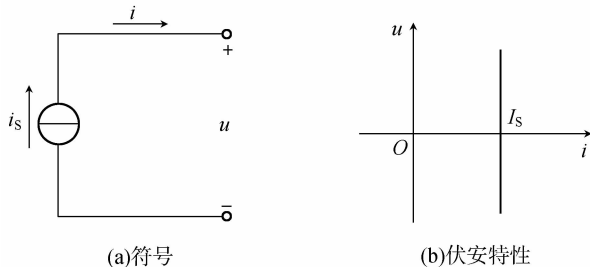


图 1-15 理想电流源

实际电路中,理想电流源也是不存在的,电源内部总有内电阻。实际电流源可以用一个理想电流源 I_s 与一个电阻 R_s 并联的模型来表示,如图 1-16(a)所示。由电路模型可得

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-15)$$

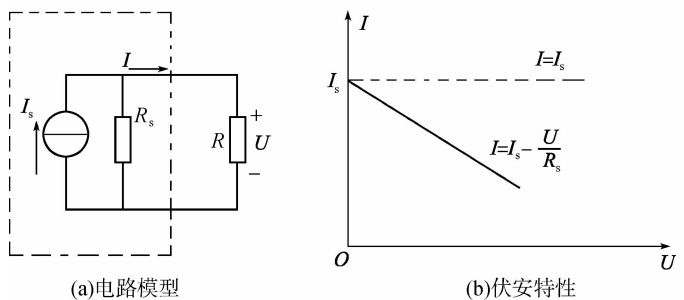


图 1-16 实际电流源

实际电流源的伏安特性曲线如图 1-16(b)所示,其电流 I 随电压 U 增大而降低。可见,实际电流源的内阻越大,其特性越接近于理想电流源。

提醒

在实际应用中,不能将电压源短路,因为短路电流过大,会烧毁电源;不能将电流源开路,因为其开路电压过高,会损毁电源。

1.4.3 非独立电源

根据被控制量是电压或电流,受控源可分为受控电压源和受控电流源两种类型,其电路符号如图 1-17 所示。其中,受控电压源的电压和受控电流源的电流都不是给定的时间函数,而是受电路中某一部分的电流或电压的控制。

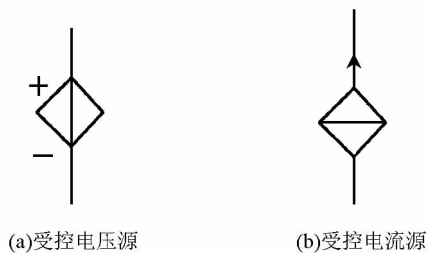


图 1-17

根据受控源在电路中提供的是电流还是电压,以及这一电流或者电压是受电路中另一处的电流还是电压控制,可以将受控源分为:电压控制电压源(VCVS)、电压控制电流源(VCCS)、电流控制电压源(CCVS)以及电流控制电流源(CCCS)4种类型,如图 1-18 所示。

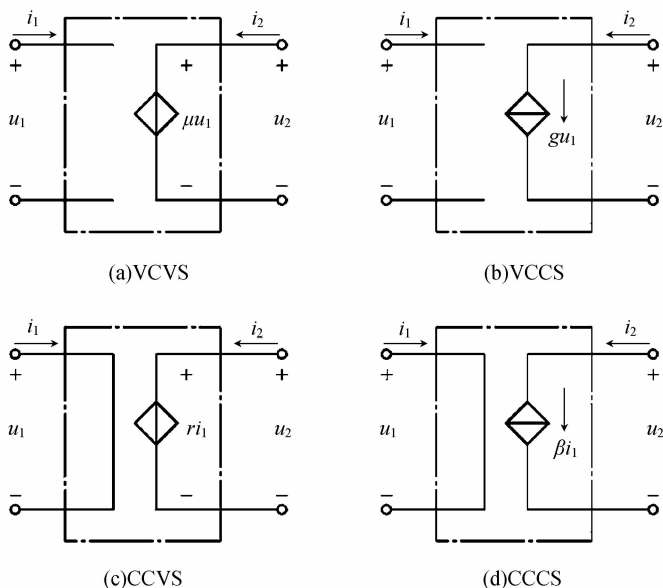


图 1-18 受控源的 4 种电路模型

为了与独立电源区分开来,用菱形符号表示受控源部分。图中 u_1 和 i_1 分别表示控制电压和控制电流, μ 、 g 、 r 和 β 分别是有关的控制系数,其中 μ 和 β 是量纲为一的量, r 和 g 分别具有电阻和电导的量纲。这些系数为常数时,被控制量和控制量成正比例,这种受控源称为线性受控源。

表示线性受控源输入输出关系的数学方程分别为

$$\left. \begin{aligned} \text{VCVS: } u_2 &= \mu u_1 & \mu & \text{称为电压放大系数} \\ \text{VCCS: } i_2 &= g u_1 & g & \text{称为转移电导} \\ \text{CCVS: } u_2 &= r i_1 & r & \text{称为转移电阻} \\ \text{CCCS: } i_2 &= \beta i_1 & \beta & \text{称为电流放大系数} \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

受控源的电压或电流是受电路中的别处电压或电流控制的,如果电路中无独立电源,则电路中各处均无电压和电流存在。于是受控源的控制量为零,受控源的输出电压或电流也为零。因此,受控源不能像独立源那样可作为电路的激励源。受控源反映了电路某处的电压或电流控制另一处电压或电流的关系。

受控源与独立源的区别还在于:

- (1)从结构上讲,独立源是二端元件,受控源是四端元件。
- (2)从输出上来讲,独立源提供的电压、电流由电源本身决定,而受控源则由控制量决定,当控制量为零时,其输出也为零。
- (3)更为特殊的是,受控源输出的电压、电流可能大于输入端控制量的电压或电流,这是由受控源所代表的电子器件具有放大作用的特性所决定的。

1.5 电路的工作状态



在电子电路学习中,要学会分析电路,就要从了解电路的工作状态开始。电源与负载相连接构成电路,根据电路负载情况,电路有通路(负载)、短路和开路(空载)3种状态。本节以简单直流电路为例,介绍这3种状态的具体情况。

3种状态下的电源电压分别是 $U=E-IR$, $U=0$, $U=E$, 以下分别进行介绍。

1.5.1 通路状态

通路就是电路中的开关闭合,负载中有电流流过。如图1-19所示为实际电压源对负载供电,当开关S闭合时,电路处于通路状态。在这种状态下,电源端电压与负载电流的关系可以用电源外特性确定,即

$$U=IR_s=U_s-IR_L$$

式中 U ——电源端电压;

U_s ——理想电源电压,即电动势;

I ——电路中的电流;

R_s ——电源内阻;

R_L ——负载电阻。

根据负载的大小,通路状态下的电路又分为满载、轻载、过载3种情况。其中,负载在额定功率下的工作状态叫额定工作状态或**满载**;低于额定功率的工作状态叫**轻载**;高于额定功率的工作状态叫**过载**。由于过载很容易烧坏电器,所以一般情况都不允许出现过载。

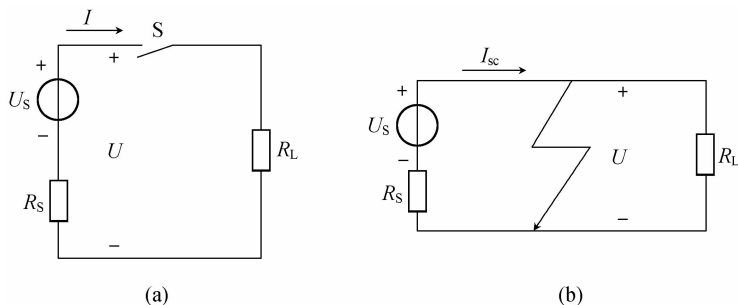


图 1-19

1.5.2 短路状态

如果外电路被阻值近似为零的导体接通,这时电源就处于**短路**状态,在这种状态下,电

路中的电流(短路电流) $I = \frac{U_s}{R_s}$ 。我们知道,电源的内阻一般都是很小的,因而短路电流可能达到非常大的数值,这将导致电源有烧毁的危险,必须严格防止,避免发生。

防止短路的最常见方法是在电路中安装保险管。保险管中的熔丝是由低熔点的铅锡合金、银丝制成。当电流增大到一定数值时,保险丝首先被熔断,从而切断电路。

在短路状态下,电源的端电压为

$$U = U_s - IR_s = U_s - \frac{U_s}{R_s}R_s = 0$$

可见,短路状态的主要特点是:短路电流很大,电源端电压为零。

提醒

通常电源的内阻都基本不变并且数值很小,所以可近似认为电源的端电压 U 等于电源电动势 U_s 。

1.5.3 开路状态

开路就是电源两端断开或者电路某处断开,电路中没有电流通过,电源不向负载输送电能。对于电源来说,这种状态叫空载。

开路状态的主要特点是:电路中的电流为零,电源端电压和电动势相等。

对于电路的这三种状态,在我们生活中随处都可以看到,如将电灯的开关合上,电灯发亮,这就是一种通路状态,如果开电灯,同时开冰箱、空调、电饭煲、电视、电脑、音箱、电炒锅,这时负载比较多,容易出现过载现象,当过载时电线容易冒烟起火。当把开关合上时,电灯灭,这时候电路处于开路状态。而当两根电线(火线、零线)外皮破损时,造成两根线碰在一起,就会造成短路,如有过流保护开关,则过流保护开关马上工作,如没有过流保护开关,则马上冒烟起火。

1.6 基尔霍夫定律



根据欧姆定律分析电路,已是中学物理中常用的分析方法,但对某些电路有时是无能为力的,为此本节讨论基尔霍夫定律,它是分析与计算电路的理论基础和基本方法。

基尔霍夫定律包括两个部分,即:基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)。基尔霍夫电流定律是反映在任意时刻,电路中与某一节点相连的支路电流之间的关系。基尔霍夫电压定律是反映电路中的任一回路中各段电压之间的关系。