

# 第一篇

## 电路分析基础



**本章内容**

- 电路的基本概念；
- 电路的基本物理量；
- 常见的负载元件。

**本章重点**

- 电路的基本概念；
- 电流、电压、功率和电能的基本概念
- 电路的负载元件。

**本章难点**

- 电流和电压的参考方向；
- 受控源。

**本章学时数**

- 建议 4 学时。

**学习本章的目的和要求**

- 掌握电路的基本概念；
- 熟练掌握电流、电压、功率和电能的基本概念；
- 掌握电路中常见的负载元件；
- 理解独立源和受控源的概念；
- 掌握简单电路的分析计算方法。

## 1.1 电路与电路模型

电路分析基础课程是电子信息类专业的第一门专业基础课，它与先修课程高等数学、电磁学等密切相关，又是学习后续课程信号与系统、电子电路的基础。

电路分析基础课程理论严密、逻辑性强，有广阔的工程背景。通过本课程的学习，使学生掌握电路的基本理论知识、电路的基本分析方法和初步的实验技能，为进一步学习电路理论打下初步的基础，为学习后续课程准备必要的电路知识。同时对培养学生严肃认真的科学作风和理论联系实际的工程观点，对培养学生的科学思维能力、分析计算能力、实验研究

能力和科学归纳能力都有重要的作用。这里研究的电路是实际电路的模型。

在日常生活中 电到处可见 电视、电话、电冰箱、空调都是用电的设备。这些电器都是通过它们的电路来使电发挥作用的，电路是一些电气设备或元件按一定方式组合起来的集合，并能实现一定的目的。在这里讨论的电路是实际电路的理想化，即电路模型。组成电路模型的元件是理想元件，是实际器件近似后的结果。要求理想元件能够满足分析电路的需要，不同的需要要求对实际器件有不同的近似结果。在电路模型中各理想元件的端子是用理想导线连接起来的，根据端子的数目，理想电路元件可分为二端、四端等。

图 1-1(a)所示为有一个电源（干电池），一个负载（小灯泡）和两根导线组成的简单电路 其电路模型如图 1-1(b) 所示。

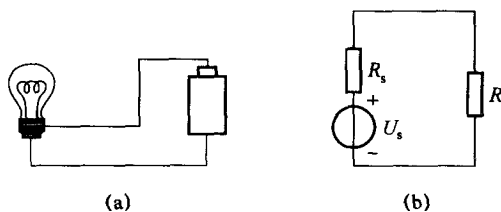


图 1-1 实际电路与电路模型

要分析电路，一般情况下是分析电路图，电路图是电路模型画在一个平面上所形成的图形 图 1-1(b) 就是一个简单的电路图。

在后面内容中如果不加指明的话，电路均指由理想元件构成的电路模型，同时把理想电路元件简称为电路元件。

电路的种类很多 按照电路的作用分类 可以分为两大类：一类用于能量转换和传输 常见的有电力系统；一类用于信号处理 实现信号的产生、加工、传输与变换等。

## 1.2 电流与电压

电流和电压是电路分析当中用得最多的物理量，因此要首先掌握这两个物理量。为了分析方便 规定了它们的方向 并提出了参考方向概念。

### 1.2.1 电流

电荷有规则的定向运动，形成传导电流。金属导体中的大量自由电子，在外电场的作用下逆电场运动而形成电流，电解液中带电离子做规则定向运动形成电流。

单位时间内通过导体横截面的电荷，定义为电流强度（以后简称为电流），用符号  $i$  表示 其数学表达式为

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

如果  $dq/dt$  是一个常量，即量值和方向均不随时间变化，称为恒定电流，简称直流 (DC)，一般用符号  $I$  表示 量值和方向随时间变化的电流 称为时变电流，一般用符号  $i$  表示。时变电流在某一时刻  $t$  的值  $i(t)$  称为瞬时值。量值和方向做周期性变化且平均值为

零的时变电流 称为交流电流( 如果不指明的话 统一用小写的  $i$  表示。指明是交流时 习惯上也用小写的  $i$  表示 指明是直流时用大写的  $I$  表示。)

对于直流电流来说 式 (1-1)又可以写为

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

在国际单位制 (SI) 中 电荷的单位是库仑 (C), 简称库。时间的单位是秒 (s) 电流的单位是安培 (A) 简称安。计量小电流时 通常用毫安 mA 或微安  $\mu\text{A}$  来表示 它们之间的转换关系为

$$\begin{aligned} 1\text{mA} &= 10^{-3}\text{A} \\ 1\mu\text{A} &= 10^{-6}\text{A} = 10^{-3}\text{mA} \end{aligned}$$

习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的方向 (实际方向)。在分析电路时, 往往不能事先确定电流的实际方向, 而且时变电流的实际方向又随时间不断变动, 不能够在电路图上标出适合于任何时刻的电流实际方向。为了电路分析和计算的需要, 这里任意规定一个电流参考方向, 用箭头标在电路图上。若电流实际方向与参考方向相同, 电流取正值; 若电流实际方向与参考方向相反, 电流取负值。根据电流的参考方向, 以及电流量值的正负, 就能确定电流的实际方向。

例如 在图 1-2 所示的二端元件中 每秒钟有 2 C 正电荷由 a 点移动到 b 点。

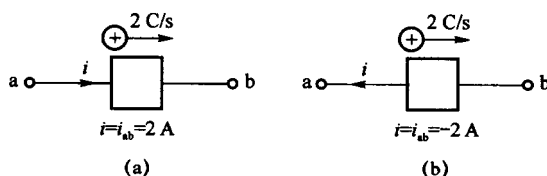


图 1-2 电流的参考方向

当规定电流参考方向由 a 点指向 b 点时 该电流  $i = 2\text{A}$  如图 1-2(a)所示 若规定电流参考方向由 b 点指向 a 点时 则电流  $i = -2\text{A}$  如图 1-2(b)所示。若采用双下标表示电流参考方向 对于图 1-2(a) 写为  $i_{ab} = 2\text{A}$  或  $i_{ba} = -2\text{A}$ 。

电路中任一电流有两种可能的参考方向, 当对同一电流规定相反的参考方向时, 相应的电流表达式相差一个负号 即

$$i_{ab} = -i_{ba} \quad (1-3)$$

今后, 在分析电路时, 必须事先规定电流变量的参考方向。所计算出的电流  $i(t) > 0$ , 表明该时刻电流的实际方向与参考方向相同; 若电流  $i(t) < 0$ , 则表明该时刻电流的实际方向与参考方向相反。要注意的是, 必须指定电流参考方向, 这样电流的正值或负值才有意义。

### 1.2.2 电压

电荷在电路中移动, 就会有能量的交换发生。把电场力将单位正电荷由电路中 a 点移动到 b 点所做的功 定义为 a, b 两点的电压 用  $u_{ab}$  表示 即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

$dW$  为电荷移动过程中 电场力对其做的功 单位为焦耳 (J) 简称焦。  $dq$  为从  $a$  点移动到  $b$  点的电荷量 单位为 C, 电压的单位为伏特 (V), 简称伏。 常用的单位还有毫伏 (mV)、微伏 ( $\mu\text{V}$ )、千伏 kV 等。它们之间的换算关系为

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

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

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

量值和方向均不随时间变化的电压, 称为恒定电压或直流电压, 一般用符号  $U$  表示; 量值和方向随时间变化的电压, 称为时变电压, 一般用符号  $u$  表示; 量值和方向作周期性变化 且平均值为零的时变电压 称为交流电压( 同电流一样 如果不指明交、直流时 统一用小写的  $u$  表示 指明是交流时 习惯上用小写的  $u$  表示 指明是直流时 用大写的  $U$  表示。)

对于直流电压来说 同理 式 (1-4) 可以改写为

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-5)$$

将电路中任一点作为参考点 把  $a$  点到参考点的电压称为  $a$  点的电位 用符号  $v_a$  表示。 电路中  $a$  点到  $b$  点的电压 可以用  $a$  点电位与  $b$  点电位之差来表示 即

$$u_{ab} = v_a - v_b \quad (1-6)$$

习惯上认为电压的实际方向是从高电位指向低电位, 将高电位称为正极, 低电位称为负极。与电流类似, 电路中各电压的实际方向或极性往往不能事先确定。在分析电路时, 必须规定电压的参考方向或参考极性, 用 '+' 号和 '-' 号分别标注在电路图的  $a$  点和  $b$  点附近, 如图 1-3 所示。若计算出的电压  $u_{ab} > 0$  表明该时刻  $a$  点的电位比  $b$  点电位高; 若电压  $u_{ab} < 0$  表明该时刻  $a$  点的电位比  $b$  点电位低。即电压的参考方向是假定的电位降低的方向。

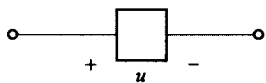


图 1-3 电压的参考方向

一个元件的电流或电压的参考方向可以任意指定。如果指定电流的参考方向是从标以电压正极性的一端流向标以负极性的一端, 那么把电流和电压的这种参考方向叫做关联参考方向, 如图 1-4(a) 所示。否则成为非关联参考方向 如图 1-4(b) 所示。

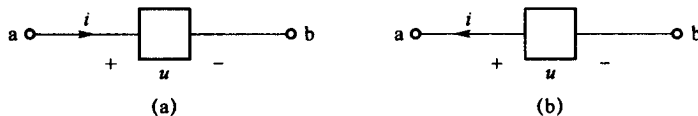


图 1-4 关联参考方向和非关联参考方向

## 1.3 功率和电能

当前我们国家的电力资源非常短缺, 在日常生活中, 到处可见用电设备在消耗着电能。电能是衡量用电量多少的物理量, 功率是衡量用电快慢的物理量。功率和电能又是和电压和电流密切相关的, 用电设备一般情况下都会标有电流和电压的额定值, 在使用时, 要注意

不要超过其额定值。

正电荷在电场力的作用下，经外电路从 a 点移动到 b 点，是电场力对其做了功，电荷的电位下降，电场能降低，是外电路吸收了能量。定义电功率为电场力做功的快慢，或外电路吸收电能的快慢，用  $p$  表示。

设在时间  $dt$  内电场力做功为  $dW$ ，则

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-7)$$

如果考虑元件吸收的功率，当电流和电压采用关联参考方向时（见图 1-4），有

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW dq}{dq dt} = ui \quad (1-8)$$

当  $p > 0$  时，表明该时刻二端元件实际吸收（消耗）功率；当  $p < 0$  时，表明该时刻二端元件实际发出（产生）功率。计算功率时，必须注意电压和电流的参考方向及各数值的正、负号。

二端元件从  $t_0$  到  $t_1$  时间内吸收的电能

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt = \int_{t_0}^{t_1} u i dt \quad (1-9)$$

由于能量必须守恒，对于一个完整的电路来说，在任一时刻，所有元件吸收功率的代数和必须为零。若电路由  $n$  个二端元件（含有源和无源）组成，且全部采用关联参考方向，则

$$\sum_{k=1}^n u_k i_k = 0 \quad (1-10)$$

二端元件从  $t_0$  到  $t_1$  时间内吸收的电能

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt = \int_{t_0}^t u i dt \quad (1-11)$$

在国际单位中，功率的单位是瓦特（W），简称瓦。常用的单位还有千瓦（kW）、毫瓦（mW）等。电能的单位为焦耳（J），它表示功率为 1 W 的用电设备在 1 s 内消耗的电能。常用的还有千瓦时（kW·h），表示功率为 1 kW 的用电设备在 1 h 内消耗的电能（通常所说的 1 度电）。即

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

**【例 1-1】** 如图 1-5 所示，图 (a) 的二端元件，电压  $u$  为 5 V，电流  $i$  的值为 2 A，求此二端元件消耗的功率。

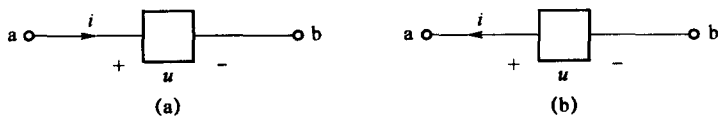


图 1-5 例 1-1 图

解 因为  $P = ui = 10 \text{ W}$ ，功率为正值，表示此元件吸收功率。如果指定电压和电流的参考方向为非关联参考方向，如图 (b) 所示，那么此时元件发出的功率为  $-10 \text{ W}$ ，为负值。所以此元件实际上是吸收  $10 \text{ W}$ ，与图 (a) 求的结果是一样的。

## 1.4 电压源和电流源

电压源和电流源都是从实际电源抽象出的模型，任何一个实际电源都可以用一个电压源和电阻的串联或电流源和电阻的并联来表示。

### 1.4.1 电压源

电压源是一个理想电路元件，它的端电压

$$u(t) = u_S(t)$$

式中  $u_S(t)$  为一个时间函数，与流过电压源的电流大小无关。电压源的符号，如图 1-6 所示。

电压源的端电压与流过的电流的关系，称为电压源的外特性。对于理想的直流电压源，其外特性为一条与横坐标  $i$  平行的直线如图 1-7 所示。

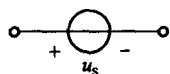


图 1-6 电压源的图形符号图

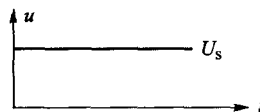


图 1-7 恒定电压源的外特性

理想电压源实际上是不存在的，实际的电压源总有一定的内阻，可以表示为理想电压源和电阻的串联，如图 1-8(a) 所示  $R_S$  为实际电压源的内阻。当输出电流  $i$  变化时，其内阻上的电压也发生变化。实际电压源的外特性关系式为  $u = u_S - iR_S$ ，其外特性曲线如图 1-8(b)。图中 A 点为开路点，开路电压为  $u_S$ ，B 点为短路点，短路电流为  $i = u_S/R_S$ 。

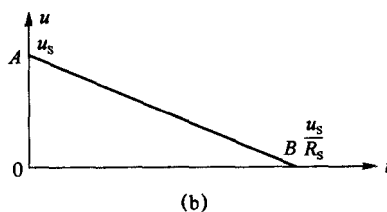
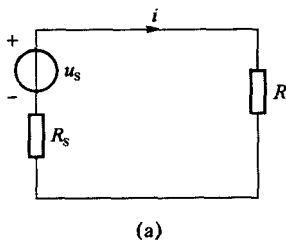


图 1-8 实际电压源及其外特性

从图中可以看出，电压源的电压和流过的电流一般取非关联参考方向，此时电压源发出的功率

$$p = u_S i$$

其实就是外电路吸收的功率。

本书后面提到的电压源，如无特殊说明时，均指理想的电压源，即没有内阻的电压源。

### 1.4.2 电流源

电流源是一个理想电路元件，电流源发出的电流为

$$i(t) = i_S(t)$$

$i_S(t)$  为一个时间函数 与电流源两端的电压大小无关 电流源的图形符号 如图 1-9(a) 所示。

电流源的端电压与电流源的电流的关系，称为电流源的外特性。对于理想的直流电流源 其外特性为一条与纵坐标  $u$  平行的直线。图 1-9(b) 所示为直流电流源外接电路的情况。图 1-9(c) 所示为恒定电流源外部电压与电流的伏安特性曲线。

在图 1-9(b) 中 电流源的方向和电压取非关联参考方向 所以电流源发出的功率

$$p = ui_S$$

即为外电路吸收的功率。

最常见的实际电源，如发电机、干电池都接近于电压源，可以用电压源和电阻的串联来等效代替。在电子技术中，可以用专门设计的电子电路来等效电流源。

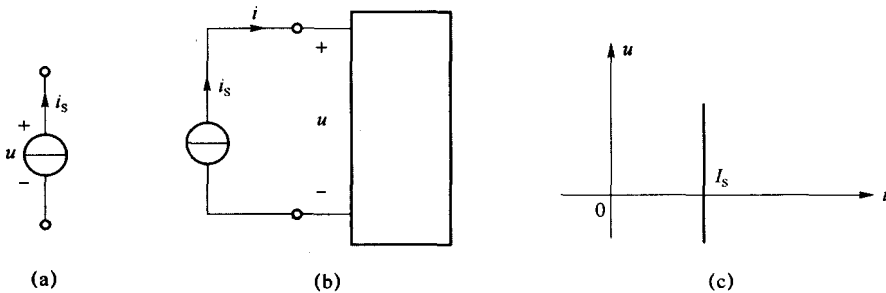


图 1-9 电流源及其伏安特性

在这里讨论的电压源和电流源，实际上都是独立的。即它们不受电路中其它量值的控制 把它们叫做独立源 在下一节中还可以看到受控源。

## 1.5 受控电源

在实际的电路中，还可以看到量值受到控制的电压源和电流源，如三极管放大电路中，集电极的电流受到基极电流的控制，此时就要用到受控源的概念。

根据电压源的控制量是电流或电压，有电压控制电压源 (VCVS)，电流控制电压源 (CCVS)。根据电流源的控制量是电压或电流，有电压控制电流源 (VCCS) 电流控制电流源 (CCCS)。受控源的符号 如图 1-10 所示。

$\mu, r, g, \beta$  是控制系数 其中  $\mu$  和  $\beta$  是量纲为 1 的值； $r$  和  $g$  分别具有电阻和电导的量纲。当这些控制系数为常数时，受控源就是线性受控源，在本书中只考虑线性受控源。

在图 1-10 中把受控源表示为具有 4 个端子的元件，实际在使用的时候，不一定标出控制量所在端子的支路。

要注意的是 独立电源在电路中可以独立地起“激励”作用 是实际电路电能或电信号的“源泉”。受控源是描述电子器件中某一支路对另一支路控制作用的理想模型，本身不直接起“激励”作用 不能独立向外电路提供能量 具有电源性和电阻性的两重性。

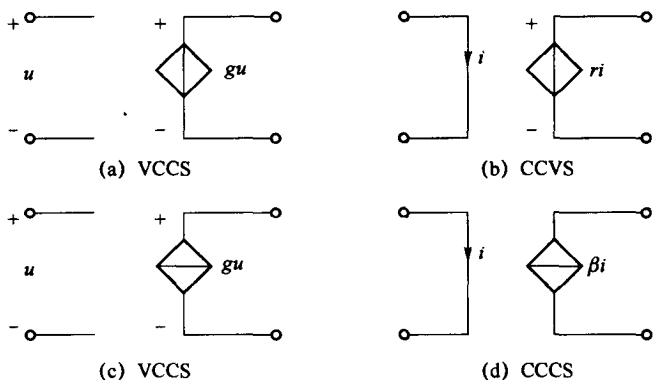


图 1-10 受控源及其符号

【例 1-2】求图 1-11 电路 a 和 b 端钮的等效电阻  $R_{ab}$ 。

解 写出 a 和 b 端钮的伏安关系：

$$U = 8I + 5I = 13I$$

所以

$$R_{ab} = U/I = 13 \Omega$$

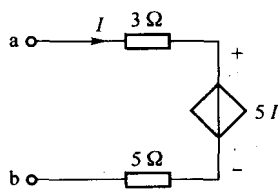


图 1-11 例 1-2 图

受控源和电阻的二端电路可以等效为一个电阻，该电阻的值为二端电路的端口电压与端口电流之比。含受控源、独立源和电阻的二端电路，是一个电压源与电阻的串联组合，或电流源与电阻并联组合的二端电路。

## 1.6 常见电路负载元件

电路元件是组成电路最基本的单元，按照外部端子的数目又可以分为二端元件和多端元件，从能量特征方面可以分为有源元件和无源元件。如前面介绍的电压源和电流源都属于有源元件，它们在电路中的作用是发出功率。而负载元件在电路中的作用是消耗功率或交换能量，把它们叫做无源元件，在本节将介绍常见的电阻、电容和电感等负载元件。

### 1.6.1 电阻元件

日常生活中 常见的灯泡、扬声器、电炉等 在一定条件下都可以等效为一个二端线性电阻元件。通常是这样来定义电阻元件（以后简称为电阻）伏安关系可用  $u - i$  平面过坐标原点的曲线来描述的。二端元件用  $R$  来表示电阻。在电压和电流取关联参考方向时，在任何时刻它两端的电压和电流都满足欧姆定律，即有

$$u = Ri \quad (1-12)$$

在国际单位制中，电压和电流分别为 V 和 A 时，电阻的单位为欧姆(Ω) 常用的电阻单位还有千欧(kΩ) 兆欧(MΩ)。

电阻的符号如图 1-12 所示。线性电阻的伏安特性曲线如图 1-13 所示。

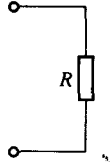


图 1-12 电阻符号

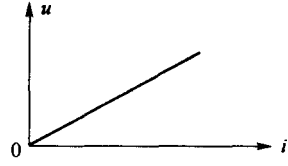


图 1-13 线性电阻的伏安特性

令

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-13)$$

从式 1-12 得到：

$$i = Gu \quad (1-14)$$

式中  $G$  称为电阻元件的电导，单位是西门子(S) 简称西。

电阻元件具有把电能转化为其它形式能量的作用，是一个耗能元件，电阻上消耗的功率可以通过功率的公式计算：

$$p = ui = i^2 R \quad (1-15)$$

此公式也能反映电阻消耗热量的大小。在电力系统中，都采用高压输电，在功率一定的情况下 加大电压 可以减小电流 从而减小能量在输电线上转化为热量的损耗。 $R$  是正实数 因此功率是非负值 故电阻元件是一种无源元件。

以后，在没有指明的情况下，把线性电阻元件简称为电阻。如果提到电阻时，一方面是指电阻元件，另一方面是指此元件的阻值。

### 1.6.2 电容元件

电容器也是一种基本的电子元件。两个互相靠近、彼此绝缘的金属电极就能构成一个最简单的电容器。两个电极间的绝缘物质称为电容器的介质。电容就是实际电容器在电路中的模型。在电路中 用图 1-14(a)中的符号表示线性电容元件。后面讨论的都是线性电容元件。

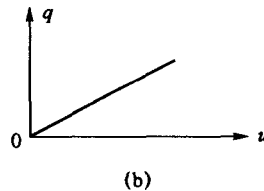
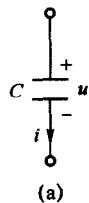


图 1-14 电容元件及其库伏特性

当电容加上电之后 两个电极就聚集上正、负相反的电荷 可认为电容带了电 电容两极之间有了电压，同时电容有了能量。所以说电容是储能元件。那么电容两端的电压和电容电极上储存的电荷有什么关系呢？经过实验证明，得到了如下的关系式：

$$q = Cu \quad (1-16)$$

$C$ 是电容元件的参数，称为电容，它是一个常数。当电压和电荷的单位分别用伏特和库仑表示时 电容的单位是法拉 (F)。常用的电容单位还有微法 ( $\mu\text{F}$ )，皮法 (pF)。它们的换算关系为

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

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

图 1-14(b)表示的是电容元件的库伏特性曲线。

如果电容两端的电压和电流取关联参考方向，如图 1-14(a)所示 那么，

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

表明电容上的电流与电容上的电压变化率成正比。如果  $i > 0$  表示电容在充电 电压升高；如果  $i < 0$  表示电容在放电 电压降低。

把式 (1-17) 写成定积分的形式，可得到：

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i(\xi) d\xi + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi \quad (1-18)$$

式 1-18 表示 电容在  $t$  时刻的电压除了与 0 时刻的电压有关以外 还与 0 时刻到  $t$  时刻电流的积分有关。可以看出电容是一个“记忆”元件，而电阻元件某一时刻的电压只与该瞬时的电流值有关 是无记忆的元件。

在电压与电流取关联参考方向下，电容吸收的功率

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-19)$$

瞬时功率可正、可负 当  $p > 0$  时 说明电容是在吸收能量 处于充电状态；当  $p < 0$  时 说明电容是在供出能量 处于放电状态。

对式 (1-19) 从  $-\infty$  到  $t$  进行积分 即得  $t$  时刻电容上的储能

$$\begin{aligned} w_C(t) &= \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi = \int_{u(-\infty)}^{u(t)} Cu(\xi) du(\xi) \\ &= \frac{1}{2} Cu^2(t) - \frac{1}{2} Cu^2(-\infty) \end{aligned} \quad (1-20)$$

式中  $u(-\infty)$  表示电容未充电时刻的电压值 在  $u(-\infty) = 0$  时 电容在时刻  $t$  的储能可简化为

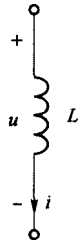
$$w_C(t) = \frac{1}{2} Cu^2(t) \quad (1-21)$$

由式(1-20)可知 电容在某一时刻  $t$  的储能大小仅取决于该时刻的电压，而与电流无关 且储能  $w_C(t) \geq 0$ 。

电容在充电时吸收的能量全部转换为电场能量，放电时又将储存的电场能量释放回电路 它本身不消耗能量 也不会释放出多于它吸收的能量 所以称电容为储能元件。

### 1.6.3 电感元件

在收音机、扩音器、电视机以及其它电子设备中 会常看到用各种漆包线绕制的线圈 这种线圈就是电感器。电感线圈是由导线一圈靠一圈地绕在绝缘管上，导线彼此互相绝缘，而绝缘管可以是空心的，也可以包含铁芯或磁粉芯。在线圈上通过电流时，在线圈周围就产生了磁场，储存能量，线圈两端就产生感应电压。电感元件是实际线圈的一种理想化模型，它反映了电流产生磁场和磁场储存能量这一物理现象。电感用符号  $L$  来表示 在电路中的符号 如图 1-15 所示。线圈的电流  $i$  和线圈的电压  $u$  存在着如下关系：



$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-22)$$

比例系数  $L$  称为线圈的电感，其单位为亨利 (H) 简称亨。当电流和时间的单位取 A 和 s 时 电感的单位就是 H。常用的单位还有毫亨 (mH)，图 1-15 电感符号 微亨 ( $\mu\text{H}$ ) 它们之间的关系为

$$1\text{H} = 10^3 \text{mH} = 10^6 \mu\text{H}$$

把式 1-22) 写成定积分的形式 可以得到：

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^0 u(\xi) d\xi + \frac{1}{L} \int_0^t u(\xi) d\xi = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u(\xi) d\xi \quad (1-23)$$

式中  $i(0)$  是在  $t=0$  时刻电感已积累的电流 称为初始电流 而后一项是在  $t=0$  以后电感中形成的电流 它体现了在  $0 \sim t$  的时间内电压对电流的贡献。

上式说明 任时刻的电感电流 不仅取决于该时刻的电压值 还取决于  $-\infty \sim t$  所有时间的电压值，即与电压过去的全部历史有关。可见电感有“记忆”电流的作用，它也是一种记忆元件。

在电压与电流取关联参考方向下，电感吸收的功率

$$p(t) = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1-24)$$

与电容一样 电感的瞬时功率也可正、可负 当  $p(t) > 0$  时，表示电感从电路吸收功率，储存磁场能量 当  $p(t) < 0$  时 表示供出能量 释放磁场能量。

对式 1-24) 从  $-\infty$  到  $t$  进行积分 即得  $t$  时刻电感上的储能

$$\begin{aligned} w_L(t) &= \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi = \int_{i(-\infty)}^{i(t)} Li(\xi) di(\xi) \\ &= \frac{1}{2} L [i^2(t) - i^2(-\infty)] \end{aligned} \quad (1-25)$$

式中  $i(-\infty)$  表示电感未充电时刻的电流值 在  $i(-\infty) = 0$  时 电感在时刻  $t$  的储能可简化为

$$w_L(t) = \frac{1}{2} Li^2(t) \quad (1-26)$$

由上式可知：电感在某一时刻  $t$  的储能大小仅取决于该时刻的电流值，而与电压无关，只要有电流存在 就有储能 且储能  $w_L(t) \geq 0$

## 1. 电路模型

将实际电路中各元器件都用它们的模型符号表示，这样画出的图形称为电路模型图。本课程研究的电路均为电路模型图，简称电路图。

## 2. 电路中的基本变量

(1) 电流。电荷有规律的定向移动形成电流，用电流强度来衡量电流的大小。电流的实际方向规定为正电荷运动的方向，电流的参考方向是假定正电荷运动的方向。

(2) 电压。即电路中两点之间的电位差。规定电压的实际方向为电位降低的方向；电压的参考方向为假定电位降低的方向。

(3) 电功率。即电场力在单位时间内所做的功。计算一电路吸收的功率，当  $u$  和  $i$  为关联参考方向时， $p = ui$  非关联时， $p = -ui$  若  $p$  值为正表示它为吸收功率，为负表示它为提供功率给电路的其它部分。

## 3. 电源

电源可分为独立源和受控源两类。独立源包括电流源和电压源，是有源元件，能独立地给电路提供能量。

(1) 电压源与电流源。电压源的特性是，其端口电压为定值或一定的时间函数，与流过的电流大小、方向无关 流过电压源的电流的大小、方向是任意的 电流源的特性是 其流出的电流是定值或为一定的时间函数 与它两端的电压大小、极性无关 电流源两端的电压大小、方向是任意的。

(2) 受控源。受控源也是一种电源，其电压或电流受电路中其它地方的电压或电流的控制。

## 4. 负载元件

常用的负载元件有电阻、电感和电容，它们都是无源元件。其中电阻不是储能元件，而是耗能元件，也不具有记忆功能。而电感和电容都具有储能功能，是记忆元件。

## 习题一

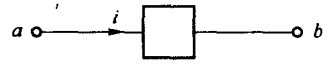
1-1 为什么在分析电路时，必须规定电流和电压的参考方向？参考方向与实际方向有什么关系？

1-2 有人说“电路中两点之间的电压等于该两点之间的电位差，因为这两点的电位数值随参考点不同而改变，所以这两点间的电压数值也随参考点的不同而改变”，这种说法对吗？为什么？

1-3 接于某一电路的支路，如题图 1-3 所示，在图示参考方向下，若  $i(t) = 4\cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{7}\right)\text{A}$ ，试问：

(1)  $i(0)$  和  $i(0.5)$  的实际方向？

(2) 若电流参考方向与题图 1-3 中相反，则  $i(0)$  和  $i(0.5)$  的实际方向有无变化？



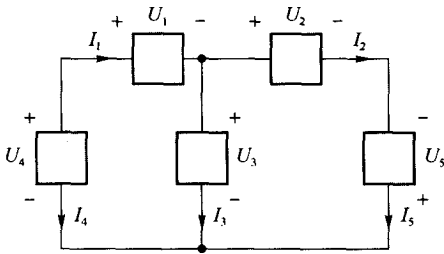
题图 1-3

1-4 在题图 1-4 电路中，已知  $U_1 = 1\text{V}$ ,  $U_2 = -6\text{V}$ ,  $U_3 = -4\text{V}$ ,  $U_4 = 5\text{V}$ ,  $U_5 = -10\text{V}$ ,  $I_1 = 1\text{A}$ ,  $I_2 = -3\text{A}$ ,  $I_3 = 4\text{A}$ ,  $I_4 = -1\text{A}$ ,  $I_5 = -3\text{A}$ 。试求：

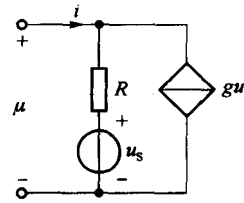
(1) 各二端元件吸收的功率。

(2) 整个电路吸收的功率。

1-5 写出题图 1-5 电路中的电压  $u$  和电流  $i$  的伏安关系。

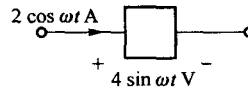
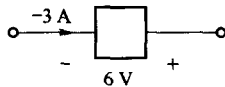
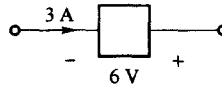
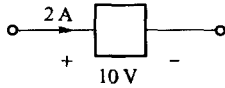


题图 1-4



题图 1-5

1-6 求题图 1-6 中各二端元件吸收的功率。



题图 1-6

**本章内容**

- 电路的等效变换；
- 电阻电路的基本分析方法；
- 电路定理。

**本章重点**

- 基尔霍夫定律；
- 戴维南定理。

**本章难点**

- 电源的等效变换；
- 叠加定理和戴维南定理。

**本章学时数**

- 建议 6 学时。

**学习本章的目的和要求**

- 掌握等效变换的方法，并能熟练地对电路进行等效变换；
- 掌握基尔霍夫定律，并能熟练运用；
- 掌握叠加定理、戴维南定理，并能在电路分析、计算中熟练地应用这些定理。

## 2.1 电路分析的几个名词和电路的工作状态

要对电路进行分析，首先要了解电路分析的几个名词和电路工作的 3 种状态，即开路、短路和负载。

### 2.1.1 几个名词

电路由电路元件相互连接而成，在分析电路之前，需要先介绍电路的几个名词。

#### (1) 支路

设有分支的电路称为支路，其电流和电压分别称为支路电流和支路电压。图 2-1 有 5 条支路，元件 1、2、3 和 4 都各自构成了一条支路，元件 5 和 6 一起构成一条支路。（也可以

把 5 和 6 分别看成一条支路)

### (2)节点

2 个或 2 个以上支路的连接点叫做节点。图 2-1 中 a 和 b 点是节点, d 点和 e 点间由理想导线相连 应视为 1 个节点(如果把 5 和 6 看做 2 条支路 那么 c 也是 1 个节点)

### (3)回路

由支路组成的闭合路径称为回路。回路由一条或多条支路构成。图 2-1 中的元件 1 和 2 构成一个回路 元件 2,3 和 4 构成一个回路。

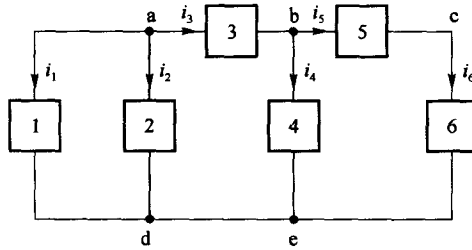


图 2-1 支路、节点和回路

## 2.1.2 电路的工作状态

电路的工作状态通常有开路、短路和负载 3 种。

当把电路的一对端子断开一个 (或者 2 个都断开) 时 那么这 2 个端子就称为开路。电阻、电压源和电流源都可以处于开路状态。如图 2-2 所示电路 端子 1-1' 就处于开路状态。

如果把图 2-2 中的开关合上, 电源就向负载电阻  $R$  输出电流, 此时电路就处于负载状态 如图 2-3 所示。实际的用电设备 都有额定电压、额定电流和额定功率等 如果电气设备按照额定值运行, 则称电路处于额定工作状态。电气设备在使用时, 必须按照厂家给定的额定条件来使用设备, 不允许超过额定值。

如果把图 2-3 中的负载电阻的两端 用导线连起来 即电阻的两端电压为零 那么此时电阻就处于短路状态 电压源也处于短路状态 如图 2-4 所示。要注意电压源是不允许被短路的, 因为短路将导致外电路的电阻为零, 根据欧姆定律, 电流将会是无穷大, 必将损坏电压源。

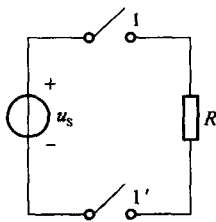


图 2-2 开路

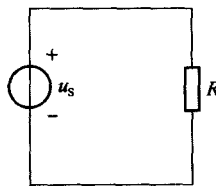


图 2-3 负载

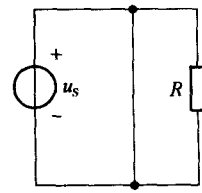


图 2-4 短路