

电路基础篇

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

电路是电工技术和电子技术的基础。电路的应用十分广泛，电路理论知识是以后学习和研究其他相关学科的基础。

本章首先讨论电路的基本概念和基本定律，如电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、欧姆定律、电路的基本状态、电气设备的额定值与电路中电位的概念及计算等。这些内容都是分析与计算电路的基础。

1.1 电路与电路模型

随着社会不断进步和科学技术的飞速发展，电作为一种优越的能量形式已成为当今经济建设和社会生活中不可缺少的重要部分。实际电路是将各种所需要的电气元件或设备，按照一定的方式连接起来而构成的集合，也称电网络。这些电气元件或设备在日常生活中随处可见，如变压器、电动机、各种电源、晶体管以及电阻器和电容器等。但这些电气设备或器件的电磁性质比较复杂，例如，一个白炽灯除具有消耗电能的性质外，当其两端通有电流时还

电工电子基础

会产生磁场，这时它表现出电感性质（但其电感微小，几乎可以忽略不计，故一般认为白炽灯是一种电阻元件）。

在电路中，把外部能源（机械能，化学能，热能等）转化为电能，且能向外电路提供电动势的装置称为独立电源（一般称为电源）。独立电源是实际电源的理想化模型，有电压源和电流源两种。

电压源的图形符号如图 1.1 (a) 所示。设电压源两端的电压 $u(t)$ ，有

$$u(t) = u_s(t)$$

式中， $u_s(t)$ 为给定时间函数。电压源电压 $u(t)$ 仅由其本身决定，与通过它的电流无关；而流过电压源的电流大小由外电路决定。当 $u_s(t)$ 为恒定值时，称这种电压源为直流电压源。

电流源的图形符号如图 1.1 (b) 所示，电流源发出的电流 $i(t)$ 为

$$i(t) = i_s(t)$$

式中， $i_s(t)$ 为给定时间函数。电流源发出电流 $i(t)$ 仅由其自身决定，与其端电压及外电路无关；而电流源两端的电压由外电路决定。当 $i_s(t)$ 为恒定值时，称这种电流源为直流电流源。

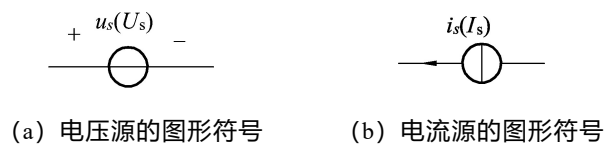


图 1.1 电源的图形符号

电路的基本元件还有电阻、电感、电容等。在图 1.2 (a) 中，根据欧姆定律（后面会介绍）得出

$$u = Ri$$

电阻元件的参数 $R = \frac{u}{i}$ ，称为电阻，它具有对电流起阻碍作用的物理性质。

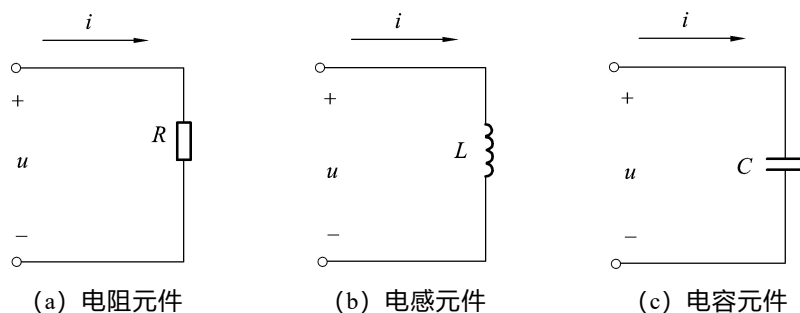


图 1.2 电路的基本元件

图 1.2 (b) 是一个电感元件 (线圈) 示意图。当线圈上通过电流 i 时将产生磁通 Φ ，它通过每匝线圈。若有 N 匝线圈，则电感元件的参数 $L = \frac{N\Phi}{i}$ ，称为电感或自感。

由上式可知，线圈的匝数 N 越多，其电感值越大；通过线圈的单位电流产生的磁通越大，电感也越大。电感的单位是亨 [利] (H)，或毫亨 (mH)；磁通的单位是韦 [伯] (Wb)。当电感元件中磁通 Φ 或者电流 i 发生变化时，则在电感元件中产生的感应电动势为

$$e_L = -N \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

当线圈中通过恒定电流时，其两端的电压 u 为零，故此时电感元件可视为短路。

图 1.2 (c) 所示是电容元件，在其两端施加电压 u 时，电容元件的两极就会聚集电量为 q 的电荷，则电容元件的参数 $C = \frac{q}{u}$ ，称为电容，它的单位是法 [拉] (F)。法拉这个单位很大，工程上多采用微法 (μF) 或皮法 (pF)，其中 $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ ， $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$ 。

当电容元件上的电量 q 或者电压 u 发生变化时，则在电路中引起电流变化

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

当电容元件两端施加恒定电压时，流过电容的电流 i 为零，故此时电容元件可视为开路。

为了便于对实际电路进行分析和数学描述，通常将实际元件理想化 (或称模型化)。即在一定的条件下突出其主要的电磁性质，而忽略其次要性质，把它近似看成理想电路元件。

通常将由理想元器件所构成的电路称为实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。电路模型的建立可以简化对电路的分析和计算，使实际电路的分析变得更方便，以后讨论的电路不做特别说明均为电路模型。

如常用的手电筒，其实际工作电路有干电池、电珠、开关和筒体等，如图 1.3 (a) 所示，而其电路模型如图 1.3 (b) 所示。用理想直流电压源 E 和反映干电池内部损耗的内电阻 R_0 的串联组合来等效表示实际电路中作为电源的干电池；电珠作为消耗能量的负载，用电阻 R 来等效；而筒体是连接干电池与电珠的中间环节（还包括开关），其电阻可忽略不计，可认为是无电阻的理想导体。

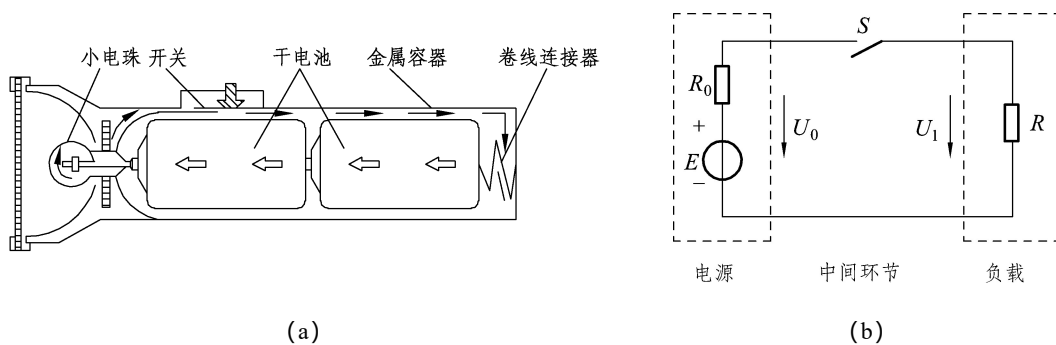


图 1.3 手电筒电路模型

电路基础课程的主要内容是分析电路中的电磁现象和过程，研究电路定律、定理和分析方法，讨论各种计算方法。这些知识是认识和分析实际电路的理论基础，更是分析和设计电路的重要工具。

1.2 电压和电流的参考方向

在电路分析中，当涉及某个元件或部分电路的电流或电压时，有必要指定电流或电压的

参考方向。这是因为电流或电压的实际方向可能是未知的，也可能是随时间变动的，而确定变量的参考方向可以使实际问题的求解简单化。

关于电压和电流的方向，有实际方向和参考方向之分，要加以区别。

电路中带电粒子在电场力作用下的有规则移动形成了电流。电流既可以是负电荷的运动，也可以是正电荷的运动或两者兼有的定向运动。我们习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向（实际方向）。

单位时间内通过导体横截面的电荷[量]称为电流强度，简称电流，即

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

式中，电荷 q 的单位为库[仑] (C)；时间 t 的单位为秒 (s)；电流的单位为安[培] (A)。

在进行电路的分析与计算时，为了列写与电流（电压）有关的表达式，可任意假设电路中某一元件上的电流（电压）方向，该假设方向称为参考方向。所选的电流（电压）的参考方向并不一定与电流（电压）的实际方向相一致。当电流（电压）的实际方向与其参考方向相一致时，则为正值；当电流（电压）的实际方向与其参考方向相反时，则为负值。因此，在参考方向选定之后，电流（电压）值才有正负之分。一般电路图中用实线箭头代表电流 i （电压 u ）的参考方向，虚线箭头代表电流 i （电压 u ）的实际方向。电流（电压）的参考方向有三种表示方法：

- (1) 用箭头表示方向，如图 1.4 所示。
- (2) 用双下标表示，如 i_{ab} ， u_{ab} 。
- (3) 电压的参考方向还可以用 “+” “-” 符号表示，如图 1.5 所示。



图 1.4 电流（电压）参考方向的箭头表示 图 1.5 电压参考方向的符号表示

电流和电压的参考方向在电路分析中起着十分重要的作用。在对任何具体电路进行实际分析之前，都应该先指定有关电流和电压的参考方向，否则将无法进行有效分析。原则上，电流和电压的参考方向可以独立地任意指定，参考方向选取的不同，只影响其值的正负，而不会影响问题的实际结论。在习惯上，同一段电路的电压和电流方向通常选取相互一致的参考方向，即电流的参考方向从电压参考方向的正极端流入，从电压参考方向的负极端流出，如图 1.6 (a) 所示，称电压和电流选为关联参考方向；若两者参考方向选取不一致，则称为非关联参考方向，如图 1.6 (b) 所示。



图 1.6 电压与电流的关联和非关联参考方向

同一个电气元件的电流和电压不单独标明参考方向时，默认为取关联参考方向。若电流和电压选取非关联参考方向时，使用定律时前面要加负号。

思考与练习

- (1) 为什么要引入电压，电流的参考方向？参考方向与实际方向有何区别和联系？
- (2) 在图 1.8 中， $u_1 = -9\text{ V}$ ， $u_2 = 5\text{ V}$ ，试问 U_{ab} 等于多少伏？

1.3 欧姆定律

手电筒电路模型如图 1.3 (b) 所示, 若将开关闭合, 则干电池与电珠通过理想导线就构成了电流的回路即电路。若选取电珠 (电阻元件) 两端的电流方向和电压方向为关联参考方向, 则电珠两端的电压 U 与通过它的电流 I 有如下关系

$$U = RI \quad (1.3.1)$$

上式被称为欧姆定律, 式中的 R 为电阻, 单位是欧[姆] (Ω)。上式还可以写成下列形式

$$I = GU \quad (1.3.2)$$

其中, $G = \frac{1}{R}$ 称为电导, 其单位为西[门子] (S)。电阻 R 和电导 G 是反映电阻元件性能的两个参数, 二者互为倒数。如果说电阻反映了一个电阻元件对电流的阻力, 那么电导则反映了一个电阻元件导电能力的强弱。

值得注意的是式中所表示的关系, 即使对 U 、 I 随时间变化的场合, 在任何时刻也都成立。

【例 1.1】 应用欧姆定律将图 1.7 的几个电路列出式子, 求出电阻。

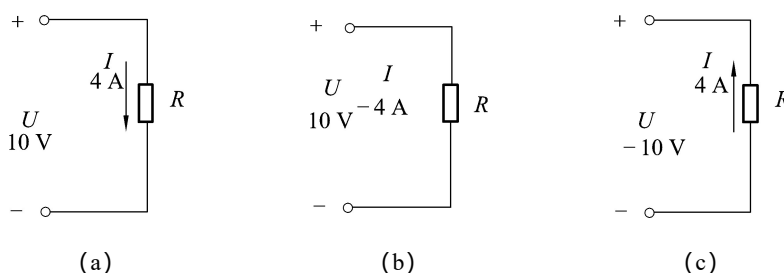


图 1.7 例 1.1 图

解: 由欧姆定律可知, 流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比。根据电路图上所选电压和电流的参考方向, 应用欧姆定律列出公式。

当所选电流和电压的参考方向为关联参考方向时，有

$$U = RI$$

当所选电流和电压的参考方向为非关联参考方向时，有

$$U = -RI$$

因此，图 1.7 (a)： $R = \frac{U}{I} = \frac{10}{4} = 2.5 \Omega$

图 1.7 (b)： $R = -\frac{U}{I} = -\frac{10}{-4} = 2.5 \Omega$

图 1.7 (c)： $R = -\frac{U}{I} = -\frac{-10}{4} = 2.5 \Omega$

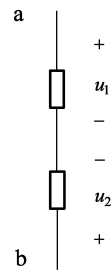


图 1.8

思考与练习

(1) 有些同学把电流源两端的电压认作零值，其理由是电流源内部不含电阻。根据欧姆定律：这种看法对吗？若不对，错在哪里？

(2) 图 1.9 所示的是用变阻器 R_p 调节直流电机励磁电流 I_f 的电路。设电机励磁电阻为 315Ω ，其额定电压为 220 V ，如果要求励磁电流在 $0.7 \sim 0.15 \text{ A}$ 的范围内变动，试在下列三个变阻器中选用一个合适的： $1\ 000 \Omega, 0.5 \text{ A}$ ； $200 \Omega, 1 \text{ A}$ ； $350 \Omega, 1 \text{ A}$ 。

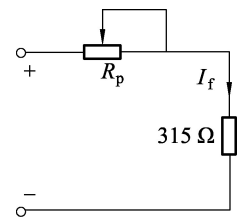


图 1.9 题 (2) 图

1.4 电路的基本状态

电路有三种基本状态，即正常负载工作状态、开路状态和短路状态。现以图 1.10 所示的简单直流电路为例，分别讨论当电路处于这三种状态时的电流、电压和功率。

1.4.1 正常负载工作状态

将图 1.10 中的开关合上，这时负载电阻就与电源接通，此时电路处于正常负载工作状态。

1. 电压与电流

由欧姆定律可得电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1.4.1)$$

负载电阻 R 两端的电压为

$$U = RI \quad (1.4.2)$$

由式 (1.4.1) 和式 (1.4.2) 可得

$$U = E - R_0 I \quad (1.4.3)$$

由式 (1.4.3) 可得，电源端电压小于电动势，两者之差为电流通过电源内阻 R_0 所产生的电压降 $R_0 I$ 。可见，电流越大，则电源端电压下降得越多。电源端电压 U 与输出电流 I 之间关系的曲线，称为电源的外特性曲线，如图 1.11 所示，其斜率与电源内阻有关。电源内阻一般很小，即当 $R_0 \ll R$ 时，则

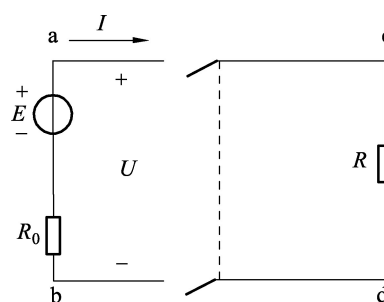


图 1.10 简单直流电路

$$U \approx E \quad (1.4.4)$$

式 (1.4.4) 表明, 当电流 (负载) 变化时, 若电源的端电压变化不大, 则说明此电源带负载能力强。

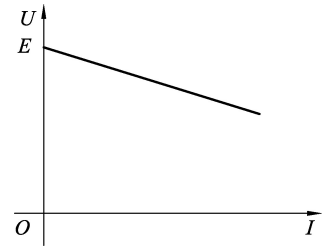


图 1.11 电源的外特性曲线

2. 功率与功率平衡

式 (1.4.3) 各项乘以电流 I , 则得功率平衡式

$$UI = EI - R_0 I^2$$

$$P = P_E - \Delta P$$

式中, $P_E = EI$ 是电源产生的功率; $\Delta P = R_0 I^2$ 是电源内阻上损耗的功率; $P = UI$ 是电源输出的功率。

功率的单位是瓦[特] (W) 或千瓦 (kW)。

3. 电源与负载的判别

分析电路时, 还要根据电压和电流的实际方向确定某一元件是电源还是负载: 若元件两端的电压的实际方向和流过它的电流的实际方向相反, 则该元件是电源, 发出功率; 若元件两端的电压的实际方向和流过它的电流的实际方向一致, 则该元件是负载, 吸收功率。

1.4.2 开 路

将图 1.10 所示的电路中的开关断开, 则电路处于开路 (空载) 状态, 如图 1.12 所示。开路时外电路的电阻对电源来说等于无穷大, 因此电路中电流为零。这时电源的端电压 U_0 (称为开路电压或空载电压) 等于电源电动势,

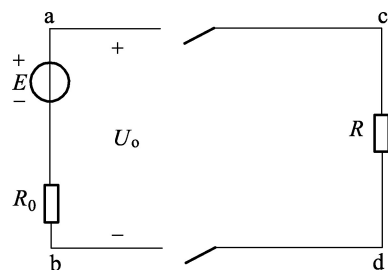


图 1.12 开路状态