



目 录

1	电路的基本概念	(1)
1.1	电路与电路模型	(1)
1.2	电流、电压及其参考方向	(5)
1.3	欧姆定律	(9)
1.4	电阻元件	(11)
1.5	电能和电功率	(14)
1.6	电位的概念及应用	(19)
2	电路的基本定理和等效变换	(30)
2.1	基尔霍夫定律	(30)
2.2	电阻串、并联连接的等效变换	(34)
2.3	电源的两种模型及其等效变换	(41)
2.4	叠加定理	(47)
2.5	戴维南定理与诺顿定理	(51)
3	电路的基本分析方法	(68)
3.1	支路电流法	(68)
3.2	节点电压法	(72)
3.3	回路电流法	(78)
3.4	受控源电路的分析	(82)
4	电容	(94)
4.1	电容器和电容	(94)
4.2	电容器的连接	(100)
4.3	电容器的充电和放电	(103)
4.4	电容器中的电场能量	(104)
5	互感耦合电路	(108)
5.1	电感元件和电感	(108)
5.2	磁路的基本知识	(111)
5.3	互感系数及耦合系数	(114)
5.4	互感线圈的连接及去耦等效电路	(116)



5.5	变压器	(120)
6	正弦稳态电路的分析	(129)
6.1	正弦量	(129)
6.2	正弦量的相量表示法及相量运算	(133)
6.3	电路基本定律及基本元件伏安特性的相量形式	(135)
6.4	阻抗与导纳	(143)
6.5	电阻、电感与电容元件串联的交流电路	(144)
6.6	电阻、电感与电容元件并联的交流电路	(146)
6.7	正弦交流电路的功率	(148)
7	谐振电路的分析	(154)
7.1	串联谐振电路	(154)
7.2	并联谐振电路	(159)
7.3	功率因数的提高	(162)
8	三相电路	(168)
8.1	三相电路	(168)
8.2	三相电路的分析计算	(175)
8.3	三相电路的功率	(180)
8.4	三相异步电动机	(184)
9	一阶动态电路的分析	(202)
9.1	电路的过渡过程与换路定律	(202)
9.2	一阶电路的零输入响应	(206)
9.3	一阶电路的零状态响应	(212)
9.4	一阶电路的全响应	(218)
9.5	一阶电路的三要素法	(221)
9.6	一阶电路的阶跃响应	(225)
9.7	一阶电路的冲激响应	(230)
9.8	微分电路和积分电路	(238)
附录部分	章节习题及参考答案	(245)
参考文献		(281)



1 电路的基本概念



学习内容

- 掌握电路的概念、组成及其电路的作用。
- 了解激励与响应的概念,知道电路的几种状态。
- 知道电路模型的设置意义。
- 掌握电流、电压及其参考方向及其参考方向表示方法。
- 掌握欧姆定律。
- 熟知电阻元件图形符号 $U = RI$ 。掌握电阻元件的特性称为伏安特性。
- 知道电能的概念、公式。知道电功率的概念、公式。能计算电功率。
- 掌握焦耳定律及其数学表达式。
- 掌握电位的概念及应用。

1.1 电路与电路模型



学习任务

1. 了解电路的组成与作用。电路的组成基本包括:电源、负载、中间环节。知道电路的结构形式和所完成的任务是多种多样的。
2. 区分电路的三种状态:通路、断路、短路。



基本要求

1. 识别常用的电气元件的模型。
2. 了解实际电路和电路模型的关系。

1.1.1 电路的组成与作用

电路是由某些电气设备和元件按一定方式组合起来实现某种功能的电流通路。电路有时也称网络。

电路的组成基本包括:电源、用电器、导线和开关。

电源:把其他形式的能量转变成为电能的装置称为电源。常见的直流电源有干电池、蓄电



池和直流发电机等。

用电器:把电能转变成其他形式的能量的装置称为用电器,也常被称为电源的负载,如电灯、电铃、电动机、电炉等利用电能工作的设备。

导线:连接电源与用电器的金属线称为导线,它把电源产生的电能输送到用电器,常用铜、铝等材料制成。

开关:它起到把用电器与电源接通或断开的作用。

电路的结构形式和所完成的任务是多种多样的。典型例子就是电力系统,其电路示意图如图 1-1 所示。

电路的一种作用是实现电能的传输和转换。其中包括电源、负载和中间环节。

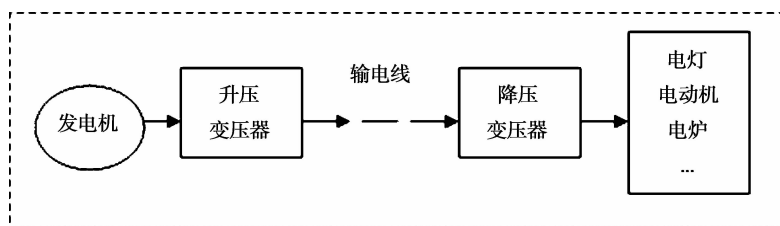


图 1-1 电力系统电路示意图

在图 1-1 中,发电机是电源,是供应电能的设备。在发电机厂内可把热能、水能、或核能转换为电能。电灯、电动机、电炉等都是负载,它们分别把电能转换为光能、机械能、热能。变压器和输电线是中间环节,是链接电源和负载的部分。它起传输和分配电能的作用。电路组成如图 1-3 电路的组成部分图。

电路的另一种作用是传递和处理信息。常见的例子如扩音机。其电路示意图如图 1-2 所示。

在图 1-2 中话筒是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池这种电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律是取决于所加的信息的。扬声器是接受和转换信号的设备,也就是负载。电路组成如图 1-4 电路的组成部分图。



图 1-2 扩音机电路示意图

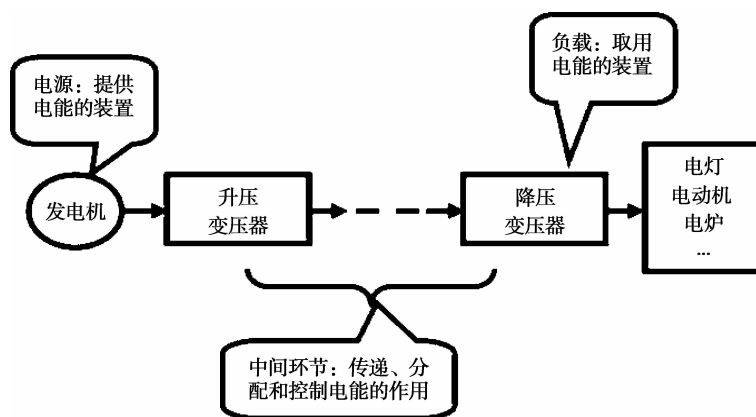


图 1-3 电力系统电路示意图

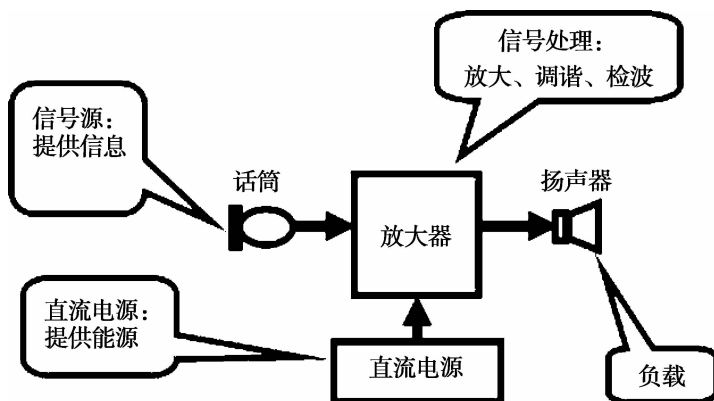


图 1-4 扩音机电路示意图

不论电能传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或电源信号的电压或电流称为激励,它推动电路工作。由于激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。

所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路的状态

电路的状态有如下几种:

(1)通路(闭路)。

电路各部分连接成闭合回路,有电流通过。

(2)开路(断路)。

电路断开,电路中没有电流通过。

(3)短路。

当电源两端的导线直接相连,这时电源输出的电流不经过负载,只经过连接导线直接流回电源,这种状态称为短路状态,简称短路。短路后引起过大电流,会造成电路破坏,实际生活中应避免电路短路现象发生。

1.1.3 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的电路元件或器件所组成。诸如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等,它们的电磁性质较为复杂。

为了便于对实际电路进行分析和用数学描述,将实际元件理想化(或称模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看作理想电路元件。由一些理想电路元件组成的电路,就是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。

在理想电路元件中(今后理想两字常略去不写)中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电器元件等。这些元件分别由相应的参数来表征。例如常用的手电筒,其实际电路元件有干电池、电珠、开关和筒体。

电路模型如图 1-5 所示手电筒电路图,手电筒由电池、灯泡、开关和筒体组成。电池是电源



元件,其参数为电动势 E 和内阻 R_0 。灯泡主要具有消耗电能的性质,是电阻元件,其参数为电阻 R 。筒体用来连接电池和灯泡,其电阻忽略不计,认为是无电阻的理想导体。开关用来控制电路的通断。

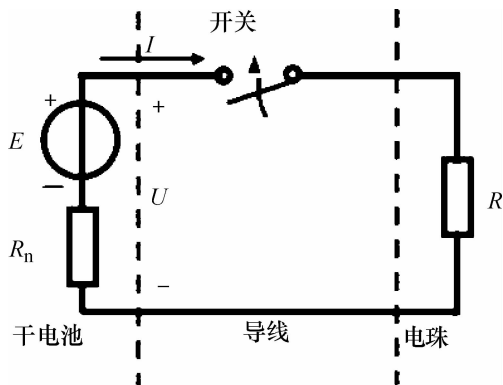


图 1-5 手电筒电路图

下面所分析的都是指电路模型,简称电路。在电路图中,各种电路元件用规定的图形符号表示。

表 1-1 所列为电路图中常用的元器件及仪表的图形符号。

表 1-1 电路图中常用的元器件及仪表的图形符号

名称	符号	名称	符号
直流电压源电池		可变电容	
电压源		理想导线	
电流源		互相连接的导线	
电阻元件		交叉但不连接的导线	
电位器		开关	
可变电阻		熔断器	
电灯		电流表	
电感元件		电压表	
铁芯电感		功率表	
电容元件		接地	



思考题

1. 电路的组成基本包括哪些,什么是电源,什么是负载,什么是激励,什么是响应?
2. 电路的状态有哪些,举例说明。
3. 什么是电路模型,为什么要借助电路模型来阐述电路的基本规律?
4. 本课程的电路分析是指什么?

1.2 电流、电压及其参考方向



学习任务

1. 理解电流与电压参考方向的意义,了解电流与电压参考方向的表示方法。
2. 阐明电荷的概念,知道电流、电压的定义及其特征。
3. 建立参考方向的概念,明确关联方向的意义。



基本要求

1. 准确陈述电流与电压的定义、单位、公式。
2. 根据参考方向和数值,准确判断电流、电压的实际方向。
3. 准确判断电压和电流参考方向是否相关联。

1.2.1 电流及其参考方向

1.2.1.1 电流

电路理论中涉及的物理量主要有电流、电压、电荷和磁通。

电荷的定向运动形成电流。导体中的电流是电子有规则定向运动形成的,电解液中的电流是正、负两种离子向两个相反方向有规则运动形成的。电流的方向规定为正电荷运动的方向,电流的大小用电流强度(简称电流)来衡量。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。若用 i 表示电流强度,则:

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

式中, q 是电荷量,单位是 C(库仑); t 是时间,单位是 s(秒); i 是电流强度,单位是 A(安培)。

我国法定计量单位是以国际单位制(SI)为基础的。在国际单位制中,电流的单位是安培[培]。



实际中电流还有一些常用单位,如 kA (千安)、mA (毫安)、 μA (微安),它们之间的换算关系为: $1\text{kA}=10^3\text{A}$; $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$; $1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$ 。

计量微小的电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为单位。

各种物理量的十进制倍数单位或分数单位都是在原单位前冠以词头构成的,常用的倍数及分数单位的词头见表 1-2。

表 1-2 常用 SI 十进制倍数及分数单位的词头

因数	词头	代号		因数	词头	代号	
		中文	字母			中文	字母
10^{12}	tera	太	T	10^{-1}	deci	分	d
10^9	giga	吉	G	10^{-2}	centi	厘	c
10^6	mega	兆	M	10^{-3}	milli	毫	m
10^3	kibi	千	k	10^{-6}	micro	微	μ
10^2	hecto	百	h	10^{-9}	nano	纳	n
10^1	deca	十	da	10^{-12}	pico	皮	p

大小和方向都不随时间变化的电流称为直流,记为 DC。直流的电流强度可表示为:

$$I = \frac{q}{t}$$

大小和方向随时间作周期性变化的电流称为周期电流。若周期电流在一个周期内的数学平均值为零,则称为交变电流,简称交流(Alternate Current),记为 AC。

通常所说的交流多指正弦电流,它随时间按正弦规律变化。

1.2.1.2 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时,电流的实际方向难以确定,特别是交流电路中电流的实际方向随时间不断变化。为了分析电路的需要,常引入参考方向(reference direction)的概念,即在不知道电流的实际方向时,先假定一个电流的方向,这样,在指定的电流参考方向下,电流的正和负就可以反映出电流的实际方向。

关于电流的方向,有实际方向和参考方向之分,要加以区别。

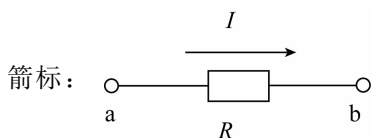
习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向(实际方向)。电流的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流的实际方向。对交流讲,其方向随时间而变,在电路图上也无法用一个箭标来表示它的实际方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流的参考方向,或称正方向。

所选的电流参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值,反之,当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值。因此,在参考方向选定之后,电流之值才有正负之分。

以后的电路中,只需标出电流的参考方向,而无需标注实际方向。

电流参考方向的表示方法

在电路图中用实线箭头表示电流的参考方向。



电流的参考方向还可以用双下标表示。

双下标: I_{ab}

例 2.1 图 1-6(a)、图 1-6(b)中的方框用来表示某种元件。试确定通过元件上电流的真实方向。

解: 图 1-6 中电流的方向(实线箭头)均为参考方向。

(1) 图(a)中,若已知 $I > 0$,其电流的实际方向如图中虚线箭头所示。

(2) 图(b)中,若已知 $I < 0$,其电流的实际方向如图中虚线箭头所示。

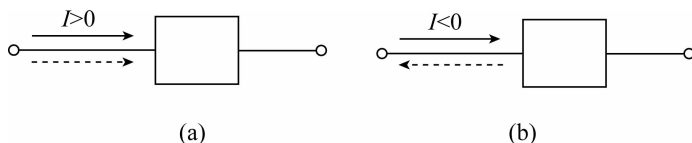


图 1-6 电流的参考方向

1.2.2 电压及其参考方向

1.2.2.1. 电压

电压,也称作电势差或电位差,是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差的物理量。

电压的单位为伏特,简称伏(V)。若电场力将 1C(库仑)的电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 1J(焦耳),则 a、b 两点间的电压为 1V(伏特)。

电压还有一些常用单位,如 kV(千伏)、mV(毫伏)、 μV (微伏),它们之间的换算关系为: $1\text{kV}=10^3\text{V}$; $1\text{mV}=10^{-3}\text{V}$; $1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$ 。

计量微小的电压时,则以毫伏(mV)或微伏(μV)为单位;计量高电压时,则以千伏(kV)为单位。电动势的单位也是伏[特]。

电路中 a、b 两点间的电压,在数值上等于单位正电荷从 a 点移动到 b 点时电场力所做的功。设有正电荷 dq 在电场力的作用下,从 a 点移动到 b 点,电场力所做的功为 $d\tau$,则 a、b 两点间的电压为:

$$u_{ab} = \frac{d\tau}{dq}$$

电压的实际方向规定为正电荷在电场力作用下移动的方向。

直流电压常用大写字母 U 表示,如 a、b 两点间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q}$$

1.2.2.2 电压的参考方向

电压和电动势都是标量,但在分析电路时,和电流一样,也说它们具有方向。电压的方向规



定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。

如图 1-7 中,电压 U 的参考方向与实际方向一致,故为正值;而 U' 的参考方向与实际方向相反,故为负值。两者可写为 $U = -U'$ 。

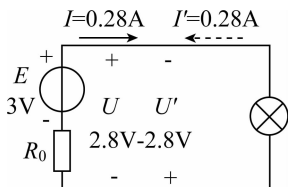
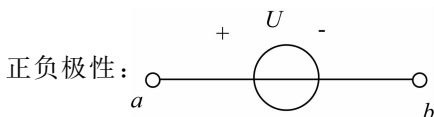


图 1-7 电流电压的参考方向

电压的参考方向也称为参考极性,“+”称为参考正极,“-”称为参考负极,电压的参考方向从“+”指向“-”。

电流参考方向的表示方法

电压的参考方向用极性“+”、“-”表示。



此外,还常用双下标来表示电压的参考方向。

双下标 U_{ab}

关联参考方向

对于某一段电路或某一个二端元件,电流和电压的参考方向可以分别独立地假定。但为了分析、计算方便,选择二者的参考方向一致,电流和电压的这种参考方向称为关联的参考方向,简称关联方向,如图 1-8(a)所示;反之,则为非关联参考方向,如图 1-8(b)所示。

若选择电流、电压为关联方向,则在电路图中只标出两者之一的参考方向即可。

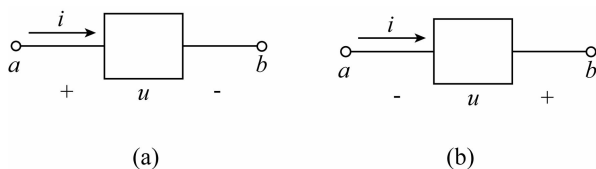


图 1-8 电流和电压的参考方向

(a)关联;(b)非关联

例 1-2 电路如图 1-9 所示,已知 $U_1 = -5V$, $U_2 = 10V$,求 U_{ab} 和 U_{cd} 。

解: 图 1-9(a)中, U_1 的参考方向与 U_{ab} 的参考方向相反,故有:

$$U_{ab} = -U_1 = -(-5V) = 5V$$

图 1-9(b)中, U_2 的参考方向与 U_{cd} 的参考方向一致,故有:

$$U_{cd} = U_2 = 10V$$

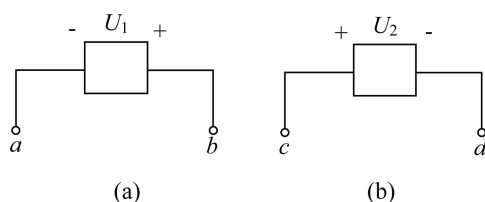


图 1-9 例 1-2 用图

物理中对基本物理量规定的方向

物理量	实际方向	单位
电流 I	正电荷运动的方向	kA、A、mA、 μ A
电压 U	高电位→低电位 (电位降低的方向)	kV、V、mV、 μ V
电动势 E	低电位→高电位 (电位升高的方向)	kV、V、mV、 μ V

思考题

1. 电流是怎么形成的,什么是电流的参考方向,为什么计算电流时要有参考方向,电流的参考方向有几种表示方法?
2. 什么是电压,电压的参考方向有几种表示方法?
3. 什么是关联参考方向?

1.3 欧姆定律



学习任务

掌握欧姆定律,熟悉欧姆定律的表达式。



基本要求

应用欧姆定理解题。

1.3.1 欧姆定律

在导体两端加上电压后,导体中才有持续的电流,那么,所加的电压与导体中的电流有什么关系呢?通过实验可得到以下结论:

导体中的电流与它两端的电压成正比。这就是欧姆定律。它是分析电路的基本定律之一。



图 1-10(a)的电路中，欧姆定律可表示：

$$\frac{U}{I} = R \quad (1-1)$$

式(1-1)所表示的电流与电压的正比关系，是通过实验得出的。式中 R 为该段电路的电阻。

由上式可知，当所加电压 U 一定时，电阻 R 愈大，则电流 I 愈小。可见，电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。

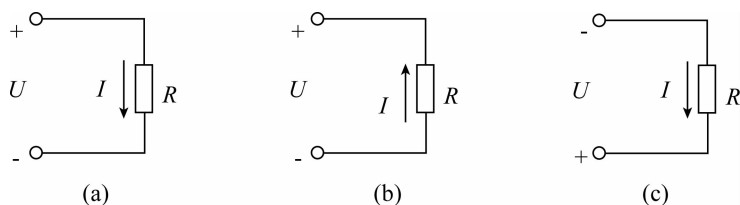


图 1-10 欧姆定律

(a) $U = RI$; (b) $U = -RI$; (c) $U = -RI$

根据在电路图所选电压和电流的参考方向的不同，在欧姆定律的表示式中可带有正号或负号。当电压 U 和电流 I 的参考方向一致时，如图 1-10(a)所示，则得：

$$U = RI$$

当电压 U 和电流 I 的参考方向相反时，如图 1-10(b)和图 1-10(c)所示，则得：

$$U = -RI$$

要注意的是，一个式子中有两套正负号，上两式中的正负号是根据电压和电流的参考方向得出来的。此外电压和电流本身还有正值和负值之分。

例 1-3 应用欧姆定理对图 1-11 的电路列出式子，并求电阻 R 。

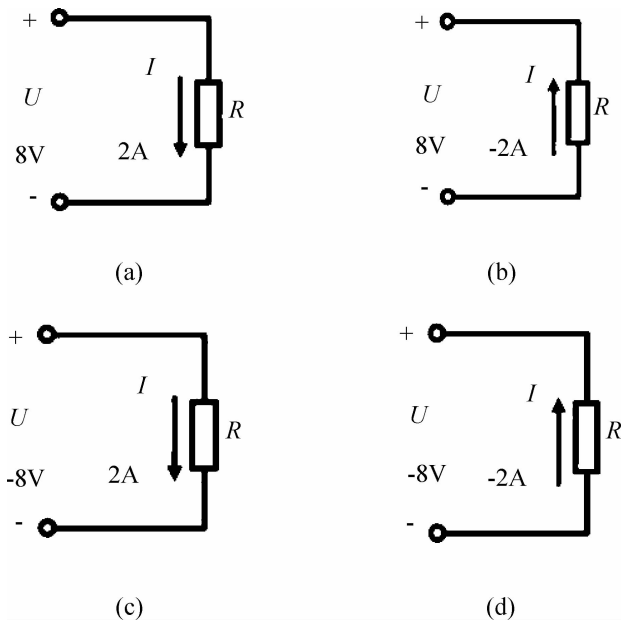


图 1-11 例 1-3 用图



解:

$$\text{图 1-11(a):} \quad R = \frac{U}{I} = \frac{8}{2} \Omega = 4 \Omega$$

$$\text{图 1-11(b):} \quad R = -\frac{U}{I} = -\frac{8}{-2} = 4 \Omega$$

$$\text{图 1-11(c):} \quad R = -\frac{U}{I} = -\frac{-8}{2} = 4 \Omega$$

$$\text{图 1-11(d):} \quad R = \frac{U}{I} = \frac{-8}{-2} = 4 \Omega$$

思考题

1. 结合电路试述欧姆定律。
2. 根据欧姆定律导体中的电流与它两端的电阻的关系是怎样的?

1.4 电阻元件



学习任务

1. 认识电阻元件,熟悉电阻元件的参数。
2. 熟悉电阻元件电压、电流的实际方向。
3. 熟悉线性电阻元件。
4. 了解非线性电阻。



基本要求

1. 掌握判断电阻元件电压、电流实际方向的方法。
2. 掌握线性电阻的伏安特性。

1.4.1 电阻元件

电阻元件是用来表示电路中消耗电能的理想二端元件。电阻器、灯泡、电炉等在一定条件下可以用二端线性电阻元件做模型(本书主要讨论二端元件,故以后各章将略去“二端”两字)。

只要有电流通过电阻元件,电场力就会对正电荷做功,元件两端沿电流的方向就一定会有一电压降,电压和电流实际方向总是一致的。

电阻元件的图形符号如图 1-12 所示。

在图 1-12 中, U 和 I 的参考方向相同,根据欧姆定律得出:

$$U = RI$$

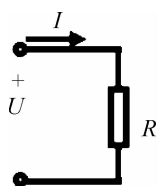


图 1-12 电阻元件

遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻,它表示该段电路电压与电流的比值为常数。

电阻元件的参数:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-2)$$

式(1-2)中 R 称为元件的电阻,它具有对电流起阻碍作用的物理性质。

R 是一个常数。在国际单位制中,电阻的单位为 Ω (欧姆,简称欧)。当电路两端的电压为 1V,通过的电流为 1A 时,则该段电路的电阻为 1Ω 。计量高电阻时,则以千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$)为单位,其换算关系为

$$1k\Omega = 10^3\Omega; 1M\Omega = 10^6\Omega$$

线性电阻元件是这样的理想元件:在电压和电流取关联参考方向下,在任何时刻它的两端的电压和电流关系服从欧姆定律。

或者说,遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻,它表示该段电路电压与电流的比值为常数。

电阻元件两端是电压和电流的关系,由于电压和电流的单位是 V 和 A,因此电阻元件的特性称为伏安特性。

线性电阻的伏安特性是一条过原点的直线。如图 1-13 所示。直线斜率与元件的电阻 R 有关。在直角平面坐标系中,以电流为横坐标、电压为纵坐标,可描述出电阻元件的伏安特性曲线。

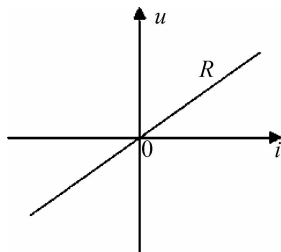


图 1-13 线性电阻的伏安特性

显然,线性电阻元件的电压与电流成正比,在关联参考方向下可表示为:

$$u_R \propto i_R$$

或

$$u_R = Ri_R \quad (1-3)$$

式其中, u_R 、 i_R 分别为电阻元件的电压和电流。比例系数 R 为常数,称为电阻元件的阻值,它反映了电阻元件对电流阻碍作用的大小。

式(1-3)是人们熟悉的欧姆定律。只有线性电阻元件才遵循欧姆定律。



当电阻元件上电压、电流为非关联参考方向时,欧姆定律为:

$$u_R = -Ri_R \quad (1-4)$$

电阻的倒数称为电导,用 G 表示,即 $G = \frac{1}{R}$,式(1-4)变成:

$$i = Gu$$

式中 G 称为电阻元件的电导。电导的单位是 S(西门子,简称西)。 R 和 G 都是电阻元件的参数。

电导也是表征电阻元件特性的参数。用电导表征电阻元件时,欧姆定律可写成:

$$i_R = \pm Gu_R$$

当一个线性电阻元件的端压不论为何值时,流过它的电流恒为零值,即 $i = 0$,就把它称为“开路”。开路的伏安特性在 $u - i$ 平面上与电压轴重合,它相当于 $R = \infty$ 或 $G = 0$,如图 1-14 所示开路的伏安特性 1。

当流过一个线性电阻元件的电流不论为何值时,它的端电压恒为零值,即 $u = 0$,就把它称为“短路”。短路的伏安特性在 $u - i$ 平面上与电流轴重合,它相当于 $R = 0$ 或 $G = \infty$,如图 1-15 所示短路的伏安特性 1。

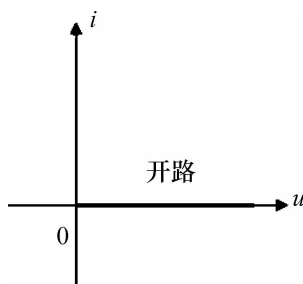


图 1-14 开路的伏安特性 1

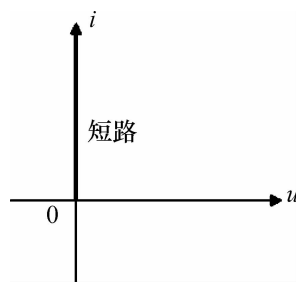


图 1-15 短路的伏安特性 1

如果电路中的一对端子 $1-1'$ 之间成断开状态,如图 1-16 所示开路的伏安特性 2,这相当于 $1-1'$ 之间接有 $R = \infty$ 的电阻,此时 $1-1'$ 处于“开路”。

如果把端子 $1-1'$ 用于理想导线(电阻为零)连接起来,称这对端子 $1-1'$ 被短路,如图 1-17 所示短路的伏安特性。

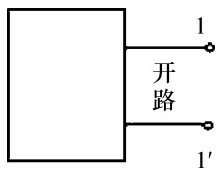


图 1-16 开路的伏安特性 2

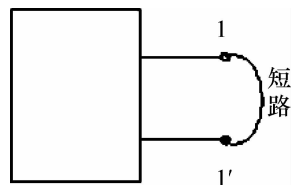


图 1-17 短路的伏安特性 2

当电压 u 和电流 i 取关联参考方向时,电阻元件消耗的功率为:

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$



$$= Gu^2 = \frac{i^2}{G}$$

R 和 G 是正常实数,故功率 P 恒为非负值。所以线性电阻元件是一种无源元件。金属导体的电阻与导体的尺寸及导体材料的导电性能有关,表达式为:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

电阻的能量:

$$w = \int_0^t ui dt = \int_0^t Ri^2 dt$$

表明电能全部消耗在电阻上,转换为热能散发。电阻元件是耗能元件。

严格地说,电阻器带有非线性因素,但是在一定条件下,许多实际部件如金属膜电阻器、线绕电阻器等,它们的伏安特性近似为一条直线。所以用线性电阻元件作为它们的理想模型是合适的。

非线性电阻元件的伏安特性不是一条通过原点的直线。非线性电阻元件的电压电流关系一般可写为:

$$u = f(i) [\text{或 } i = h(u)]$$

如果一个电阻元件具有以下的电压电流关系,称为时变电组元件。这里 u 与 i 仍是比例关系,但比例系数 R 是随时间变化的。

$$u(t) = R(t)i(t) [\text{或 } i(t) = G(t)u(t)]$$

线性电阻元件的伏安特性位于第一、三象限。如果一个线性电阻元件的伏安特性位于第二、四象限,则此元件的电阻为负值,即 $R < 0$ 。线性负电阻元件实际上是一个发出电能的元件。

本书中“电阻”这个术语以及它的相应符号 R ,一方面表示一个电阻元件,另一方面也表示此元件的参数。今后为了叙述方便,把线性电阻元件简称为电阻,

思考题

1. 电阻元件电压、电流的实际方向有何特点,什么是线性电阻元件?
2. 用欧姆定律的公式 $u = \pm Ri$ 进行计算时,如何选择公式中的正、负号?

1.5 电能和电功率



学习任务

1. 掌握电能的公式、单位、定义。
2. 建立度和千瓦时的概念。
3. 掌握焦耳定律。



基本要求

1. 熟记电能公式、单位、定义。
2. 能进行电能的计算。
3. 能用焦耳定律计算。

1.5.1 电能

1.5.1.1 电能及电能的单位

电能,是指电以各种形式做功(即产生能量)的能力。电能被广泛应用在动力、照明、冶金、化学、通信、广播等各个领域,是科学技术发展、国民经济飞跃的主要动力。

电能是表示电流做多少功的物理量,是指电以各种形式做功的能力(所以有时也称为电功)。分为直流电能、交流电能,高频电能等。这几种电能均可相互转换。

电能的单位是“度”。它的学名称为千瓦·时,符号是 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

在物理学中,更常用的能量单位(也就是主单位,有时称为国际单位)是焦耳,简称焦,符号是 J。

对焦耳、千瓦·时的感性认识:将一个苹果从地面举高到桌面所需的能量大约是 1J,手电筒 1 秒消耗的电能大约是 1J,微波炉工作 1h 消耗的电能大约是 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

它们的关系是: $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$

在导体两端加上电压,导体内就建立了电场。电场力在推动自由电子定向移动中要做功。设导体两端的电压为 U ,通过导体横截面的电荷量为 q ,电场力所做的功即电路所消耗的电能 $W = qU$,由于 $q = It$,所以:

$$W = UIt$$

式中 W 、 U 、 I 、 t 的单位分别 J(焦)、V(伏)、A(安)、s(秒)。在实际运用中常以 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·时,俗称度)作为电能单位。

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

电能公式: $W = UIt = Pt$

根据欧姆定律($I = U/R$)可以进一步推出: $W = I^2 R t = U^2 t / R$

1.5.1.2 焦耳定律

定义:以热的形态在一个均匀导体中发生的功率,与此导体的电阻和通过此电阻的电流平方之乘积成正比。换句话说:电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比,跟导体的电阻成正比,跟通电的时间成正比。

1841 年,英国物理学家焦耳发现再流导体中产生的热量 Q (称为焦耳热)与电流 I 的平方、导体的电阻 R 、通电时间 t 成正比,这个规律称为焦耳定律。

采用国际单位制,其表达式为 $Q = I^2 R t$ 或热功率 $P = I^2 R$ 其中 Q 、 I 、 R 、 t 、 P 各量的单位依次为焦耳(热量——J)、安培(电流——A)、欧姆(电阻—— Ω)、秒(时间——s)和瓦特(W)。



焦耳定律是设计电照明,电热设备及计算各种电气设备温升的重要公式。焦耳定律是定量说明传导电流将电能转换为热能的定律。

焦耳定律数学表达式: $Q = I^2 R t$ (适用于所有电路)

对于纯电阻电路可推导出: $Q = W = Pt$; $Q = UIt$; $Q = (U^2 / R) t$

电流所做的功全部产生热量,即电能全部转化为内能,这时有 $Q = W$ (在纯电阻电路中)。电热器和白炽电灯属于上述情况。

焦耳定律是一个实验定律它可以对任何导体,它的适用范围很广。遇到电流热效应的问题时,例如要计算电流通过某一电路时放出热量;比较某段电路或导体放出热量的多少,即从电流热效应角度考虑对电路的要求时,都可以使用焦耳定律。

电流热效应:电流通过金属导体的时候,做定向移动的自由电子要频繁地跟金属正离子碰撞。由于这种碰撞,电子在电场力的加速作用下获得的动能,不断传递给金属正离子,是金属正离子的热振动加剧,于是通电导体的内能增加,温度升高,这就是电流的热效应。

若电流做的功全部用来产生热量。即 $W = UIt$ 。

根据欧姆定律,有 $W = I^2 R t$ 。

需要说明的是 $W = U^2 t / R$ 和 $W = I^2 R t$ 不是焦耳定律,它们是从欧姆定律推导出来的,只能在电流所做功将电能全部转化为热能的条件下才成立(纯电阻电路)。例如对电炉、电烙铁这类用电器,这两公式和焦耳定律才是等效的。

使用焦耳定律公式进行计算时,公式中的各物理量要对应于同一导体或同一段电路,与欧姆定律使用时的对应关系相同。当题目中出现几个物理量时,应将它们加上角码,以示区别。

注意: $W = UIt = Pt$ 适用于所有电路,而 $W = I^2 R t = (U^2 / R) t$ 只用于纯电阻电路(全部用于发热)。

焦耳定律顺口溜:

焦耳定律说热量,三个因素有关联。

电流平方是关键,乘上电阻和时间。

热量单位是焦耳,损耗能量常用此。

1.5.1.3 电能的计算

有时要计算一段时间内电路所吸收(或产生)的电能,电路在 dt 时间内消耗的电能:

$$dW = p dt = ui dt$$

若通电时间 $t - t_0$,则在此时间内电路消耗的电能:

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t ui dt$$

在直流电路中,电路消耗的电能:

$$W = Pt = UIt$$

例 1-4 教室里有 40W 的日光灯 8 只,每天用电 6h,一个月按 30 天计算,每月要用多少度电?

解: $W = Pt = 40 \times 8 \times 10 - 3 \times 6 \times 30 = 57.6 \text{ kW} \cdot \text{h}$



即每月用电 57.6 度。

1.5.2 电功率(功率)

电功率

物理学名词,电流在单位时间内做的功称为电功率。是用来表示消耗电能的快慢的物理量,用 P 表示,它的单位是瓦特(Watt),简称瓦,符号是 W 。

在一段时间内,电路产生或消耗的电能与时间的比值称为电功率。

如果在“ t ”(SI 单位为 s)这么长的时间内消耗的电能“ W ”(SI 单位为 J),那么这个用电器的电功率就是:电功率等于电功除以时间:

$$P = W / t$$

电功率等于导体两端电压与通过导体电流的乘积,即,电功率等于电压乘以电流:

$$P = U \cdot I$$

式中, P 、 U 、 I 的单位分别用 W (瓦) V (伏) A (安)。

可见,一段电路上的电功率,跟这段电路两端的电压和电路中的电流成正比。

每个用电器都有一个正常工作的电压值叫额定电压,用电器在额定电压下正常工作的功率叫做额定功率,用电器在实际电压下工作的功率叫做实际功率。

具体单位换算如下:

$$1 \text{ 瓦特}(1W) = 1 \text{ 焦/秒}(1J/s) = 1 \text{ 伏} \cdot \text{安}(V \cdot A)$$

$$W \text{ — 电能 — 焦耳}(J)$$

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

$$t \text{ — 时间 — 秒}(s)$$

$$t = 1 \text{ 小时}(h) = 3600 \text{ 秒}(s)$$

$$P \text{ — 用电器的功率 — 瓦特}(W)$$

$$P = 1kW = 1000W$$

用电器上通常标明它的电功率和电压,称为用电器的额定功率和额定电压。根据额定功率和额定电压,可以很容易算出电器的额定电流。例如 $220V$ 、 $40W$ 灯泡的额定电流就是 $\frac{40}{220} A \approx 0.18A$ 。加在用电器上的电压改变,它的功率也随着改变。

在图 1.2.3(a)所示电路中,如果正电荷 dq 由 a 点移到 b 点电场力所做的功为 $d\omega$,则根据 $u_{ab} = \frac{d\omega}{dq}$,有:

$$d\omega = u_{ab} dq$$

电能 $d\omega$ 在 dt 时间内的变化率叫电功率,简称功率(Power),用符号 p 或 P 表示:

$$P = \frac{d\omega}{dt} = u_{ab} \frac{dq}{dt} = u_{ab} i$$

直流时,上式变为

$$P = UI$$

假定电流 i 的方向(正电荷运动方向)与电压 u_{ab} 降的方向相同,电场力在 dt 时间内做功使 dq 失去 $d\omega$ 的电能,失去电能意味着电能转换为其他形式的能量,或者说被电路吸收了。当选择电压和电流的参考方向为关联方向时,功率的公式为:

$$p = ui$$



当电压和电流的参考方向为非关联方向时,功率的公式为:

$$P = - ui$$

由二式计算得到的功率为正值,即 $P > 0$,表示电路吸收功率;若为负值,即 $P < 0$,则表示电路产生功率。

在直流电路中,功率 P 可表示为:

$$P = + UI \quad \text{关联参考方向}$$

$$P = - UI \quad \text{非关联参考方向}$$

功率的 SI 单位为 W (瓦), $1\text{W} = 1\text{V} \cdot \text{A}$ 。在实际使用中也常用 kW (千瓦)和 mW(毫瓦),换算关系为:

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

例 1-5 求图 1.5.1 中各元件的功率,并说明该元件是吸收功率还是产生功率。

解:图 1-18(a):电压与电流为关联参考方向, $P = UI = 5 \times 3 = 15\text{W}$, $P > 0$,元件吸收功率。

图 1-18(b):电压与电流为非关联参考方向, $P = -UI = -5 \times 3 = -15\text{W}$, $P < 0$,元件产生功率。

图 1-18(c):电压与电流为关联参考方向, $P = UI = (-5) \times 3 = -15\text{W}$, $P < 0$,元件产生功率。

图 1-18(d):电压与电流为非关联参考方向, $P = -UI = -(-5) \times 3 = 15\text{W}$, $P > 0$,元件吸收功率。

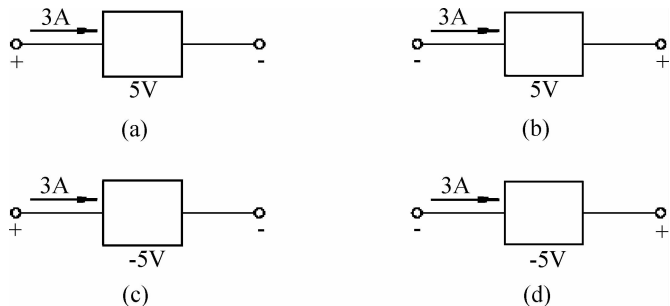


图 1-18 例题 1-5 用图

思考题

1. 结合图说说电能的公式、单位、定义。
2. 说出电能单位的换算。
3. 如果 P 表示电路吸收的功率,那么用公式 $P = \pm UI$ 进行计算时,如何选择公式中的正、负号? 如果算出的 P 为负值又说明什么?
4. 试求图 1-19 中各元件的未知电压、电流或功率。

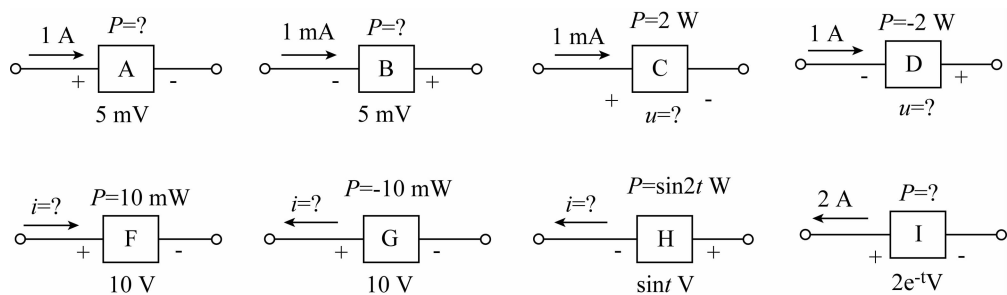


图 1-19 题 4 图

1.6 电位的概念及应用



学习任务

1. 建立电位、参考点(零电位点)、等电位的概念;
2. 根据参考点,学习电位的计算。



基本要求

1. 根据参考点,准确计算电路中的各点电位;
2. 利用标注电位的方法化简电子电路图。

1.6.1 电位的概念

1.6.1.1 零电位点

电路中每一点都有一定的电位。在分析电子电路时,通常要用电位这个概念。譬如对二极管讲,只有当它的阳极电位高于阴极电位时,管子才能导通;否则就截止。在讨论晶体管的工作状态时,也要分析各个极的电位高低。

讲电位也要先指定一个计算电位的起点,称为零起点。参考点的电位为零,即 $\varphi_0=0$,因此,参考点称为“零电位点”。原则上零电位点可以任意选定,但一经选定,各点的电位或电压的计算或测量即以该点为准。

在工程上常以大地作为参考点,所以习惯上,常规定大地电位为零。参考点在电路图上标上“接地”符号“ \perp ”所谓“接地”,并非真与大地相接。

1.6.1.2 电位

电路中零电位的点规定之后,电路中任一点与零电位点之间的电压就是两点的电位差,也就是该点的电位,记为 V_x 。

下面讨论电路中某一点的电位究竟是多少伏[特]。



以图 1-20 的电路为例,讨论该电路中各点的电位。根据图 1-20 可以得出:

$$U_{ab} = V_a - V_b = 6 \times 10 \text{V} = 60 \text{V}$$

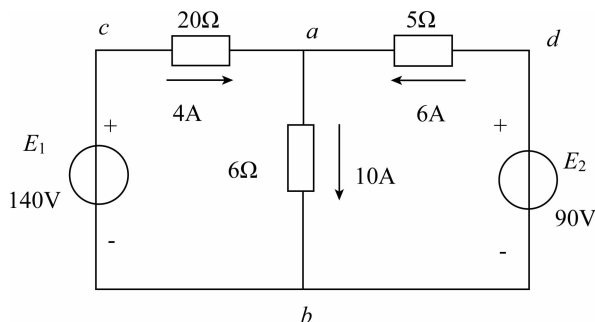


图 1-20 电路举例

这里 a, b 两点间的电压值或两点间的电位差,即 a 点电位 V_a 比 b 点电位 V_b 搞 60V,但不能算出 V_a 和 V_b 各为多少伏[特]。因此,计算电位时,必须选定电路中某一点作为参考点,通常设参考单位为零,即“零电位点”。而其他各点的电位都同它比较,比它高的为正,比它低的为负。正数值愈大则电位愈高,负数值愈大则电位愈低。

如将图 1-20 电路中的 a 点“接地”,作为参考点如图 1-21 所示,求图示电路中各点的电位: V_a, V_b, V_c, V_d 。

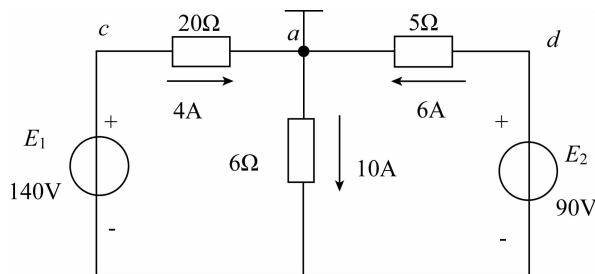


图 1-21 a 点“接地”

解:

设 a 为参考点,即 $V_a = 0\text{V}$

$$V_b = U_{ba} = -10 \times 6 = 60\text{V}$$

$$V_c = U_{ca} = 4 \times 20 = 80\text{V}$$

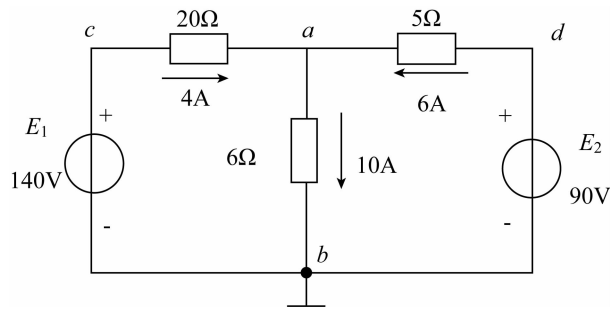
$$V_d = U_{da} = 6 \times 5 = 30\text{V}$$

$$U_{ab} = 10 \times 6 = 60 \text{V}$$

$$U_{cb} = E_1 = 140\text{V}$$

$$U_{db} = E_2 = 90\text{V}$$

如将图 1-20 电路中的 b 点“接地”,作为参考点如图 1-22 所示,求图示电路中各点的电位: V_a, V_b, V_c, V_d 。

图 1-22 b 点“接地”

解：

$$V_a = U_{ab} = 10 \times 6 = 60 \text{ V}$$

$$V_c = U_{cb} = E_1 = 140 \text{ V}$$

$$V_d = U_{db} = E_2 = 90 \text{ V}$$

$$U_{ab} = 10 \times 6 = 60 \text{ V}$$

$$U_{cb} = E_1 = 140 \text{ V}$$

$$U_{db} = E_2 = 90 \text{ V}$$

结论：

1. 电位值是相对的,参考点选取的不同,电路中各点的电位也将随之改变。
2. 电路中两点间的电压值是固定的,不会因参考点的不同而变,即,与零电位点的选取无关。

还可以借助电位的概念简化电路图。

图 1-22 也可简化为图 1-23(a)或图 1-23(b)所示电路,不画电源,各端标以电位值。

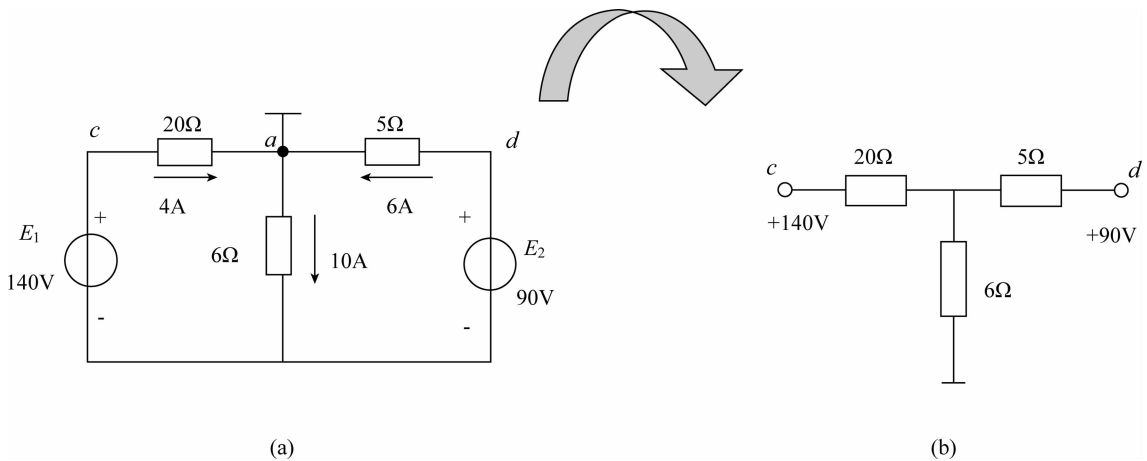


图 1-23 借助电位的概念简化电路图

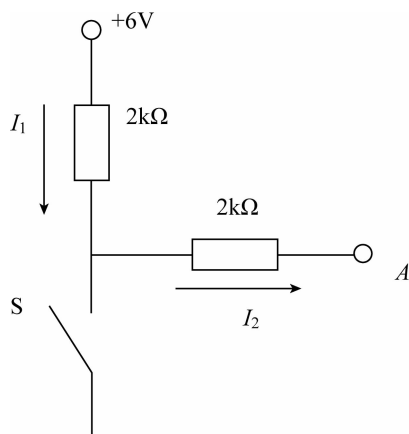


图 1-24 例 1.6.1 的电路

例 1-6 如图 1-24 所示电路,计算开关 S 断开时 A 点的电位 V_A 。

解:当开关 S 断开时,图 1-24 所示电路中,电流 $I_1 = I_2 = 0$, 电位 $V_A = 6V$ 。

例 1-7 如图 1-25 所示电路,计算开关 S 闭合时 A 点的电位 V_A 。

解:当开关闭合时,图 1-25 所示电路中,电流 $I_2 = 0$, 电位 $V_A = 0V$ 。

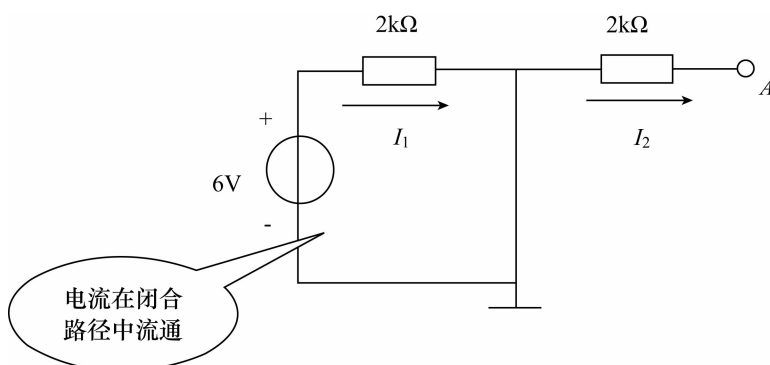


图 1-25 例 1-7 的电路图

例 1-8 电路如图 1-26 所示。(1)零电位参考点在哪里?画电路图表示出来。(2)当电位器 RP 的滑动触点向下滑动时, A、B 两点的电位增高了还是降低了?

解:(1)电路如图 1-26 所示,零电位参考点为 +12V 电源的“-”端与 -12V 电源的“+”端的联接处,即图 1-26(b)所示。

$$(2)V_A = -IR_1 + 12$$

$$V_B = IR_2 - 12$$

当电位器 RP 的滑动触点向下滑动时,回路中的电流 I 减小,所以 A 点电位增高、B 点电位降低。

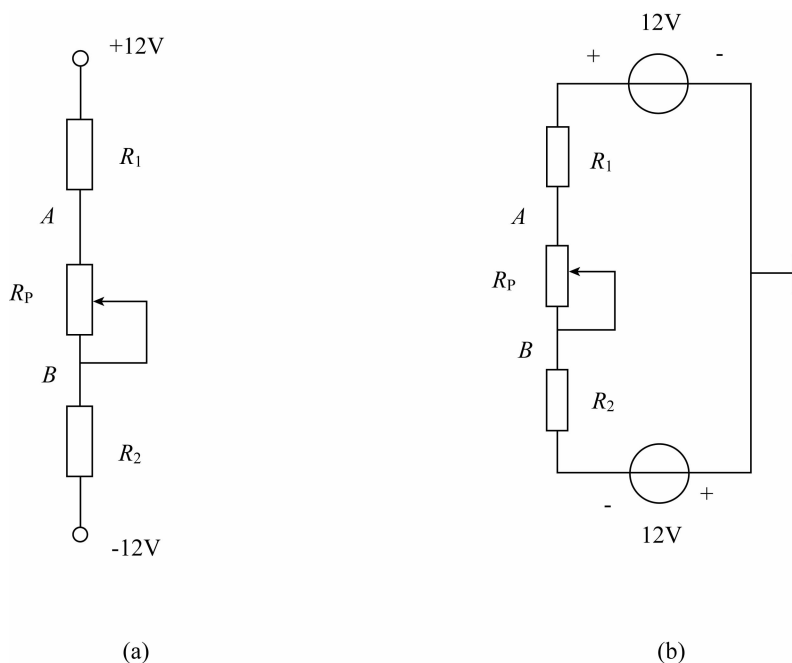


图 1-26 例 1-8 图

例 1-9 电路如图 1-8 所示。已知 $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $U_s = 10 \text{ V}$ 。

- (1) 开关 S 合上, 分别选择 d 点和 a 点为参考点, 计算 a 、 b 、 c 、 d 各点的电位及 b 、 c 间的电压。
- (2) 开关 S 断开, 再计算 d 点为参考点时 a 、 b 、 c 、 d 各点的电位及 b 、 c 间的电压。

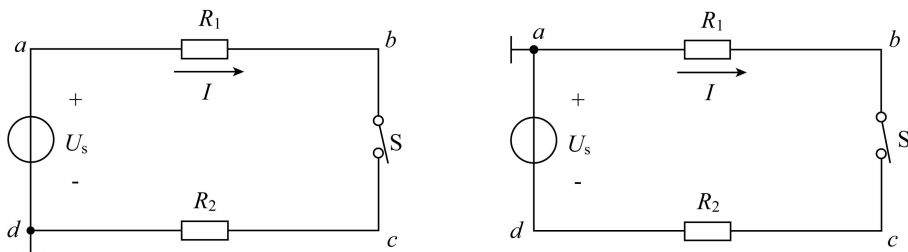


图 1-27 例 1-9 图

解: (1) 根据 KVL, 开关 S 合上时有:

$$U_s = R_1 I + R_2 I$$

所以电路中的电流为:

$$I = \frac{U_s}{R_1 + R_2} = \frac{10}{3 + 2} = 2 \text{ mA}$$

以 d 为参考点时, 各点的电位分别为:

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

或选择另一路径计算, 得:

$$\varphi_a = R_1 I + R_2 I = 3 \times 2 + 2 \times 2 = 10 \text{ V}$$

结果相同。可见计算电位与计算电压一样, 也与路径无关。



$$\varphi_b = -R_1 I + U_s = -3 \times 2 + 10 = 4 \text{ V}$$

$$\varphi_c = R_2 I = 2 \times 2 = 4 \text{ V}$$

$$\varphi_d = 0$$

$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = 4 - 4 = 0$$

以 a 为参考点时,各点的电位分别为:

$$\varphi_a = 0$$

$$\varphi_b = -R_2 I = -3 \times 2 = -6 \text{ V}$$

$$\varphi_c = R_1 I - U_s = 2 \times 2 - 10 = -6 \text{ V}$$

$$\varphi_d = -U_s = -10 \text{ V}$$

$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = -6 - (-6) = 0$$

可见,选择不同的参考点,各点电位的值不同,但两点间的电压不变。

(2)若 S 断开,则电路中的电流 $I=0$,各点的电位分别为:

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

$$\varphi_b = -R_1 I + U_s = -3 \times 0 + 10 = 10 \text{ V}$$

$$\varphi_c = R_2 I = 2 \times 0 = 0$$

$$\varphi_d = 0$$

$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = 10 - 0 = 10 \text{ V}$$

例 1-10 在例图 1-9 所示电路中,已知 $R_1=5\Omega, R_2=10\Omega$,求 c 点的电位。

解:由

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

及

$$U_{ab} = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I$$

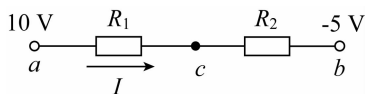
得

所以

$$\varphi_c = R_2 I + \varphi_b = 10 \times 1 + (-5) = 5 \text{ V}$$

或

$$\varphi_c = -R_1 I + \varphi_a = -5 \times 1 + 10 = 5 \text{ V}$$



例图 1-9 例 1-10 图

思考题

1. 什么是电位?
2. 电位和电压有和异同,设 a 、 b 两点的电位分别是 φ_a 、 φ_b ,两点间的电压为 U_{ab} ,试用它们中的任意两个量表示另一个。



本章小结

(1) 电路与电路模型。

电路是为了需要由某些电气设备和元件按一定方式组合起来实现某种功能的电流通路。电路有时也称网络。

电路的组成基本包括:电源、用电器、导线和开关。

电路的一种作用是实现电能的传输和转换。其中包括电源、负载和中间环节。

电路的另一种作用是传递和处理信息。常见的例子如扩音机。

不论电能传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或电源信号的电压或电流称为激励,它推动电路工作。由于激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。

电路的状态有几种:1)通路(闭路)。2)开路(断路)。3)短路。

电路模型是由一些理想电路元件组成的电路,就是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。

(2) 电流、电压及其参考方向。

电路理论中涉及的物理量主要有电流、电压、电荷和磁通。

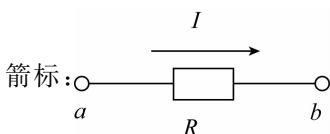
电荷的定向运动形成电流。

电流的方向规定为正电荷运动的方向,电流的大小用电流强度(简称电流)来衡量。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。若用 i 表示电流强度,则 $i = \frac{dq}{dt}$ 。其中 q 是电荷量,单位是 c(库仑); t 是时间,单位是 s(秒); i 是电流强度,单位是 A(安培)。

电流的参考方向 在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流的参考方向,或称正方向。

当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值,反之,当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值。因此,在参考方向选定之后,电流之值才有正负之分。

电流参考方向的表示方法



双下标: I_{ab}

电压及其参考方向 电压,也称作电势差或电位差,是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差的物理量。电压的单位为伏特,简称伏(V)。

电压的实际方向规定为正电荷在电场力作用下移动的方向。

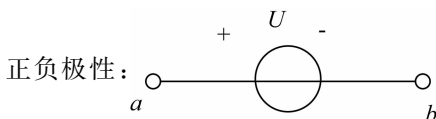
电压的方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。

电压的参考方向也称为参考极性,“+”称为参考正极,“-”称为参考负极,电压的参考方向



从“+”指向“-”。

电流参考方向的表示方法



双下标： U_{ab}

关联参考方向 对于某一段电路或某一个二端元件，电流和电压的参考方向可以分别独立地假定。但为了分析、计算方便，我们选择二者的参考方向一致，电流和电压的这种参考方向称为关联的参考方向，简称关联方向。

(3)欧姆定律。

导体中的电流与它两端的电压成正比。这就是欧姆定律。。它是分析电路的基本定律之一。

欧姆定律表示 $\frac{U}{I} = R$ 。

(4)电阻元件。

电阻元件是用来表示电路中消耗电能的理想二端元件。电阻元件的图形符号 $U = RI$ 。

线性电阻元件 在电压和电流取关联参考方向下，在任何时刻它的两端的电压和电流关系服从欧姆定律。

电阻元件的特性称为伏安特性。线性电阻的伏安特性是一条过原点的直线。

非线性电阻元件的伏安特性不是一条通过原点的直线。

(5)电能和电功率。

电能是表示电流做多少功的物理量，是指电以各种形式做功的能力。

电能的单位是“度”。它的学名称为千瓦·时，符号是 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。在物理学中，更常用的能量单位(也就是主单位，有时也称为国际单位)是焦耳，简称焦，符号是 J 。

电能公式： $W = UIt = Pt$

焦耳定律：电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比，跟导体的电阻成正比，跟通电的时间成正比。

焦耳定律数学表达式： $Q = I^2 Rt$ (适用于所有电路)

电功率

在一段时间内，电路产生或消耗的电能与时间的比值称为电功率。

电功率等于电功除以时间： $P = W / t$

电功率等于电压乘以电流： $P = U \cdot I$

(6)电位的概念及应用。

电路中每一点都有一定的电位。要先指定一个计算电位的起点，参考点的电位为零，即 $\varphi_0 = 0$ ，因此，参考点又称为“零电位点”。

电路中零电位的点规定之后，电路中任一点与零电位点之间的电压就是两点的电位差，也就是该点的电位，记为 V_x 。



本章习题

1.1 图 1-28 所示电路中,方框代表电源或电阻。若各电压、电流的参考方向如图中所示,且已知 $I_1 = 2\text{A}$, $I_3 = -3\text{A}$, $U_1 = 1\text{V}$, $U_2 = 8\text{V}$, $U_4 = -4\text{V}$, $U_5 = 7\text{V}$,求 I_2 、 I_3 、 I_6 ,并标出各电流的真实方向及各电压的真实极性。

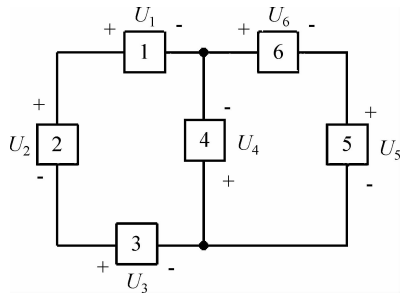


图 1-28 题 1.1 图

1.2 在题 1.1 中,测量 I_1 、 I_3 、 U_1 及 U_3 时,电流表及电压表应如何连接?

1.3 某教室有 40W 的日光灯 8 只,平均每天用电 5h ,一个月按 30d 计算,求每个月用电多少度?若每度电费为 1.20 元,则一个月应交多少电费?

1.4 指出图 1-29 所示电路中 A 、 B 、 C 三点的电位。

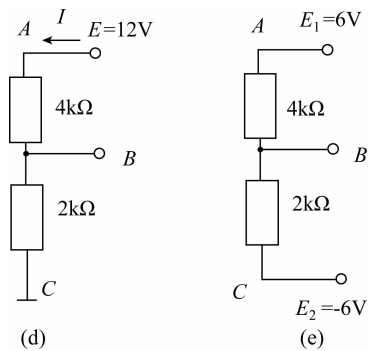


图 1-29 题 1.4 的电路

1.5 图 1-30 所示电路元件 P 产生功率为 10W ,则电流 I 应为多少?

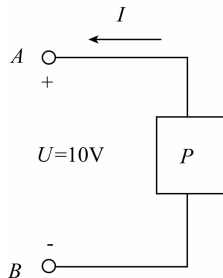


图 1-30 题 1.5 的电路



1.6 额定值为 1W 、 10Ω 的电阻器,使用时通过电流的限额是多少?

1.7 在图 1-31 所示三个电路中,已知电珠 EL 的额定值都是 6V 、 50mA ,试问哪个电珠能正常发光?

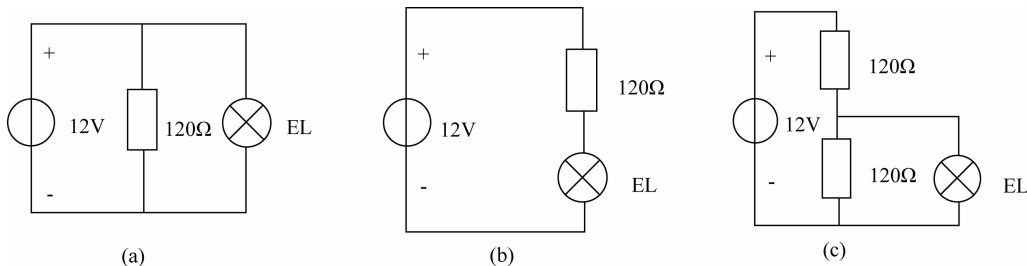


图 1-31 题 1.7 的电路

1.8 欲使图 1-32 所示电路中的电流 $I = 0$, U_s 应为多少?

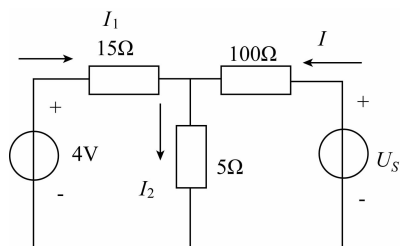


图 1-32 题 1.8 的电路

1.9 在图 1-33 所示三个电路中, $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 15\Omega$, $U_s = 100\text{V}$, $I_1 = 5\text{A}$, $I_2 = 2\text{A}$ 。若 R_2 电阻两端电压 $U = 30\text{V}$,求电阻 R_3 。

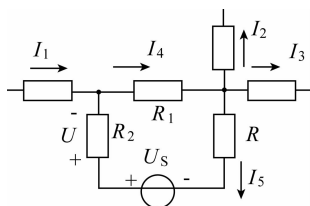


图 1-33 题 1.9 的电路

1.10 求图 1-34 所示各电路中的未知量。

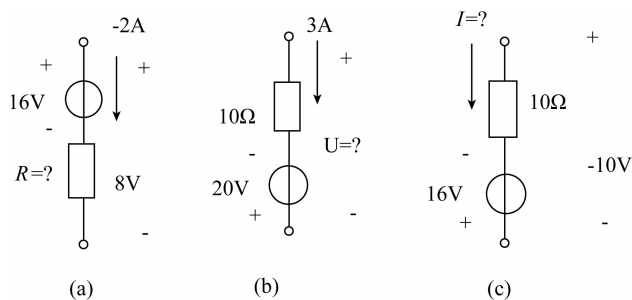


图 1-34 题 1.10 的电路

1.11 在图 1-35 所示的电路中, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 的额定值均为 6.3V 、 0.3A , R_5 额定值为 6.3V 、 0.45A , $U = 110\text{V}$ 。为使上述各电阻元件均处于额定工作状态, 则选配电阻 R_x 和 R_y 的理想阻值应为多少?

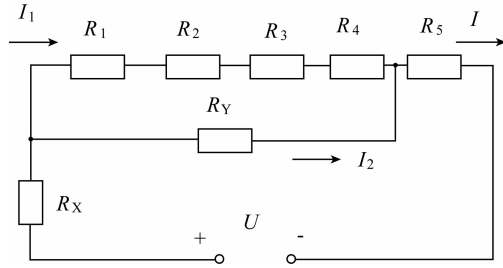


图 1-35 题 1.10 的电路

1.12 电路如图 1-36 所示, 求 A 点的电位。

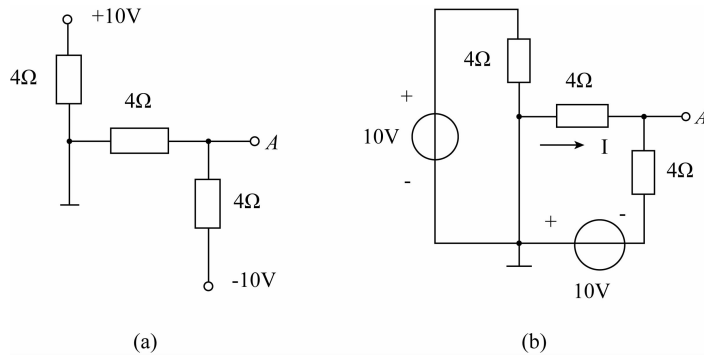


图 1-36 题 1.11 的电路

1.13 求图 1-37 所示电路中的电压 U 、电流 I 。

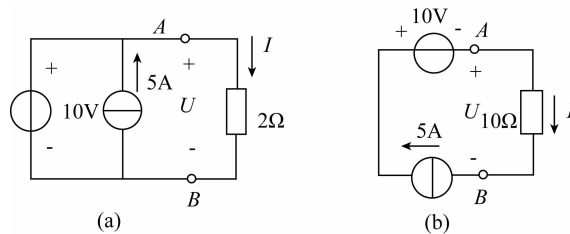


图 1-37 题 1.12 的电路

1.14 图 1-38 所示的电路中, $U_s = 1\text{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $I_s = 2\text{A}$, 电阻 R 消耗的功率为 2W 。试求 R 的阻值。

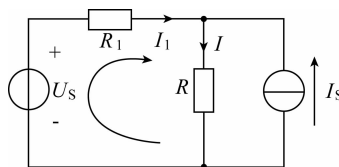


图 1-38 题 1.14 图



2 电路的基本定理和等效变换



学习内容

建立节点、支路、回路、网孔的概念。

掌握基尔霍夫电压定律、基尔霍夫电流定律,并能正确运用。

掌握电阻的串并联连接的等效变换

熟知电压源模型、电流源模型,掌握实际电源两种模型的等效变换。

掌握叠加定理、戴维南定理、诺顿定理,并能运用这些定理解决电路中的问题。



2.1 基尔霍夫定律



学习任务

1. 建立节点、支路、回路、网孔的概念。
2. 理解基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。



基本要求

1. 根据 KCL 和 KVL 参考方向和数值,准确列出节点电流方程和回路电压方程。
2. 熟练利用电流表或电压表验证基尔霍夫定律。

2.1.1 电路的几个名词

如图 2-1 所示,由 5 个元件连接而成的电路,其中每个方框代表一个元件。下面就该图介绍几个有关电路的名词。

2.1.1.1 节点

电路中 3 个或 3 个以上元件的连接点称为节点。图 2-1 所示电路中共有两个节点,即 a 点和 b 点。

2.1.1.2 支路

连接于两个节点之间的一段电路称为支路。图 2-1 所示电路中共有 3 条支路,即 acb 、 adb 和 aeb 。