

项目三 直流电路的认识

任务一 建立电路模型

在日常生产生活中,广泛应用着各种电路,它们是将实际器件按一定方式连接起来形成的电流通路。实际电路的种类很多,不同用途的电路,其形式和结构也各不相同。由于实际元件构成的实际电路分析起来不方便,为了更好地分析、研究电路,人们创造了由电路模型构成的电路图,同时也摸索出了很多分析电路的方法和规律。

一、电路的组成和分类

电流流经的路径称为电路。图 3-1 所示的手电筒电路由电池(源)、电灯(负载)、开关(控制元件)及连接导线组成。

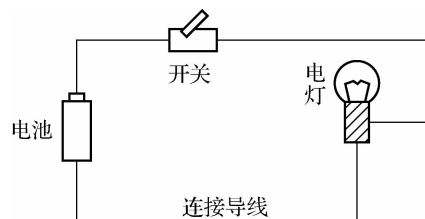
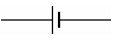
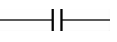
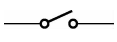
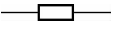
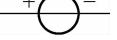


图 3-1 手电筒电路

为了把电路各组成部分的电关系在工程上简明地表达出来,常用国家规定的电气图形符号及文字符号表示各电气元器件,把实物图简化成电路原理图(简称电路图)。电路图中常用的图形及文字符号见表 3-1。

表 3-1 电路图中常用的图形及文字符号

电池 E		电容 C		开关 S	
固定电阻 R		电压源		熔断器 FU	
可变电阻 R		电流源		电压表	
电感 L		电灯 EL		电流表	

根据电源性质的不同,电路中的电流可分为直流和交流。通直流电的电路称为直流电路,通交流电的电路称为交流电路。如果电路中电流的大小和方向都不随时间变化,则称为直流电(DC);如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交流电(AC)。习惯上把正电荷的移动方向定义为电流方向。家用电器大多使用直流电,如收音机、电视机、计算机、电磁炉等。交流电通常是指正弦交流电,它的大小和方向随时间而改变。因为交流电压是按正弦函数规律变化的,其波形与数学上的正弦曲线一致,因此称为正弦交流电。

电路根据其用电类型大体分为强电电路和弱电电路两大类。例如,照明电路及给电动机负载供电的动力电路,其特点是工作电压高、传输电能大,称为强电电路,用于实现电能的传输及转换;收音机电路、有线电视信号传输电路、晶体管测温度电路、有线电话传输电路、网线等称为弱电电路,用来进行电信号的传输和处理。此外,在一个闭合的电路中,电源内部的电路称为内电路,电源外部的电路称为外电路。

二、电路的物理量

电路的物理量有电流、电位、电压、电动势、电阻等。其中,电流、电压是最基本的物理量。

1. 电流

电路中,在电源电场力的作用下,电荷的定向移动称为电流。电路中有电流产生须满足两个基本条件:一是有电源供电,二是必须形成闭合回路。

电流的大小等于单位时间(t)内流过某一截面的电荷量(Q),在直流电中用字母 I 表示。其表达式为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (3-1)$$

电流 I 的单位为安[培](A),电荷量 Q 的单位为库[仑](C),时间 t 的单位为秒(s)。其常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等。

电流的方向规定为正电荷运动的方向,如图 3-2 所示。在电源内部电流由负极流向正极,在电源外部电流则由正极流向负极,以形成闭合回路。

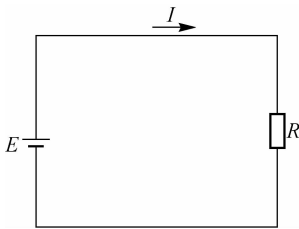


图 3-2 电流的方向

在分析、计算电路时,有时难以确定电流的实际方向,可先假定一个电流方向,称为参考方向(或正方向),并在电路图中用箭头标出。然后根据假定的参考方向列出方程求解,若计算结果为正,则表示电流的实际方向与参考方向相同;若为负,则表示电流的实际方向与参考方向相反,如图 3-3 所示。电流参考方向的假定在电路分析计算,分析电动势、电压、电位等物理量的正负时是必不可少的。

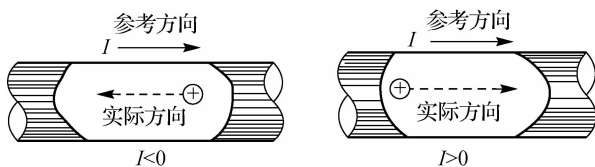


图 3-3 电流的正负

测量电流所用的仪表称为电流表,使用电流表时,必须把电流表串接在被测电路中,电流表的正端“+”接电流的流入端,负端“-”接电流的流出端,被测电流从电流表中通过,如图 3-4 所示。

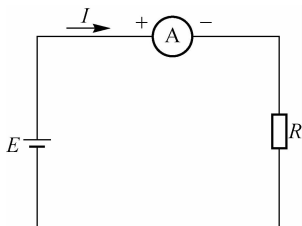


图 3-4 电流表在电路中的接法

2. 电位

水由高处向低处流,高处的水位高,低处的水位低,不同点因存在水位差而形成水流。与此类似,电路中各点均有一定的电位,在外电路中电流从高电位流向低电位。分析高度时,总有一个计算高度的起点,称为参考点,通常以海平面作为基准参考点。电路中计算电位也必须有一个计算电位的起点,通常以大地作为零参考点,在电子电路中则以机壳、金属底板或公共点作为零参考点,用符号“ $\perp$ ”或“ $\perp$ ”表示。在电路计算时,可任选一点作为参考点。

某一点的电位是指电场力将单位正电荷从电场中的某一点移动到参考点所做的功(W)。电位用字母 V 表示,则有

$$V = \frac{W}{Q} \quad (3-2)$$

式中, W 的单位为焦[耳](J); Q 的单位为库[仑](C); V 的单位为伏[特](V)。

必须注意,电路中任意点电位的大小与参考点的选择有关。当参考点的选择不同时,该点的电位值也随之改变。例如,在图 3-5 中,如果以 A 点为参考点,则 $V_A = 0 \text{ V}$, $V_B = 2 \text{ V}$, $V_C = 7 \text{ V}$;如果以 B 点为参考点,则 $V_A = -2 \text{ V}$, $V_B = 0 \text{ V}$, $V_C = 5 \text{ V}$ 。

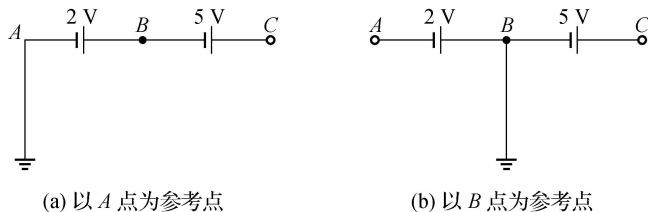


图 3-5 电位参考点



活动: 如图 3-6 所示,分别求以 A 点、B 点、D 点为参考点时各点的电位。

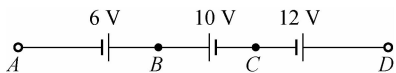


图 3-6 求各点的电位

3. 电压

电压还可称为电位差。水位差是水路中形成水流的原因,同样地,电位差是电路中形成电流的原因。电路中 A、B 两点之间的电位差称为该两点间的电压,即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (3-3)$$

电压的数值等于单位正电荷在电场力的作用下从 A 点移动到 B 点时所做的功,即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (3-4)$$

电压用字母 U 表示,它的单位是伏[特](V)。电压的方向规定为由高电位端指向低电位端,用“+”“-”极性表示,即从“+”端指向“-”端。在进行电路计算时,如果无法判定电压的实际方向,可先假设一个电压的参考方向,若计算结果为正,则表示电压的实际方向与参考方向一致;若计算结果为负,则表示电压的实际方向与参考方向相反。电压和电流的参考方向可分别假定,但在分析计算电路时常假定电压和电流的参考方向一致,称为关联参考方向,这样比较方便和清晰。

电路中任意两点之间的电压值与参考点的选择无关。例如,在图 3-5 中,若以 A 点为参考点,则 $U_{CA} = V_C - V_A = (7 - 0) \text{ V} = 7 \text{ V}$;若以 B 点为参考点,则仍有 $U_{CA} = V_C - V_A = [5 - (-2)] \text{ V} = 7 \text{ V}$ 。

测量电压所用仪表称为电压表,用直流电压表测量电压时,必须把电压表并联在被测电路的两端,且电压表的正端“+”接电路中的高电位端,负端“-”接电路中的低电位端,如图 3-7 所示。

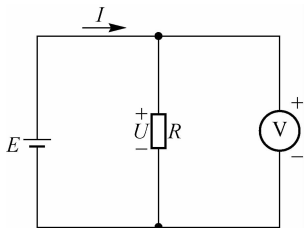


图 3-7 电压表测量电压

4. 电动势

电源用来维持电路中任意两点间的电位差,它将非电能转换为电能,因此电源是电路中提供电能的装置。电源内部将其他形式的能量转换为电能,将电源两极间所建立的电位差称为电动势 E ,其数值等于电源内部电源力将单位正电荷从电源负极经电源内部移动到正极所做的功,即



$$E = \frac{W}{Q} \quad (3-5)$$

电动势 E 的单位是伏[特](V), 电动势的方向规定为从电源负极指向正极。

5. 电阻

导体对电流的通过具有一定的阻碍作用, 称为电阻, 用字母 R 表示, 单位为欧[姆](Ω)。导体的电阻大小可用式(3-6)计算。

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3-6)$$

式中, l 为导体长度, m; A 为导体横截面积, m^2 ; ρ 为导体电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ 。各种不同金属材料的电阻率是不同的, 在常用的导电材料中, 银、铜、铝的电阻率都很小, 对电流的阻碍作用很小。电阻率比较高的材料主要用来制造各种电阻元件, 而镍铬合金及铁铬铝合金的电阻较高, 并有长期承受高温的能力, 因此常用来制造各种电热器件, 如电炉、电热水器、电熨斗、吹风机等的发热电阻丝。

导体的电阻不仅与材料有关, 还与温度有关, 金属导体在温度升高时其电阻也随之增大, 而某些半导体、电解液等则相反, 在温度升高时其电阻随之减小; 少数铜合金的电阻几乎不受温度影响, 常制作成标准电阻。

三、欧姆定律

欧姆定律是用来反映电路中电动势、电压、电流、电阻等物理量之间内在联系的一个极为重要的定律。

1. 纯电阻电路的欧姆定律

实验证明: 在一段只有电阻(不含电源)的电路中, 流过电阻的电流 I 的大小和加在电阻两端的电压 U 成正比, 与电阻 R 成反比, 即

$$I = \frac{U}{R} \quad (3-7)$$

使用式(3-7)要注意电流 I 与电压 U 的参考方向必须一致, 如不一致将出现负号。例如, 如图 3-8 所示, 已知 $R = 20 \Omega$, $U_{AB} = 100 \text{ V}$, 分别求图 3-8(a) 和图 3-8(b) 中的电流 I 。

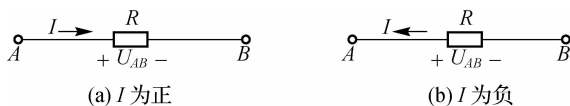


图 3-8 电流与电压的参考方向

解: (1) $I = \frac{U_{AB}}{R} = 5 \text{ A}$ 。

(2) $I = \frac{-U_{AB}}{R} = -5 \text{ A}$ 。

电流为负值表示该电阻上的实际电流方向与图中所标定的方向相反。

2. 全电路欧姆定律

如图 3-9 所示, 含有电源和负载的闭合电路称为全电路, 其欧姆定律表达式为

$$I = \frac{U}{R + R_0} \quad (3-8)$$

式中, R_0 是电源内阻。

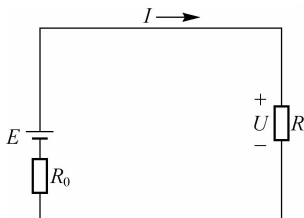


图 3-9 全电路欧姆定律电路

3. 电阻的伏安特性

上面讲的电阻是一个常数, 它的大小不随电压、电流的变化而变化, 称为线性电阻。线性电阻的电压、电流关系线(伏安特性曲线)是通过原点的一条直线, 如图 3-10(a)所示, 电阻器、电阻炉等元件均可近似看作线性电阻。还有一类电阻元件, 当加上不同的电压或通过不同的电流时, 其电阻值不同, 这类电阻称为非线性电阻, 其伏安特性曲线为一条曲线, 如图 3-10(b)所示, 该曲线为晶体二极管的正向伏安特性曲线。在晶体管电路中, 元件的伏安特性曲线习惯上仍以电压为横坐标, 以电流为纵坐标。

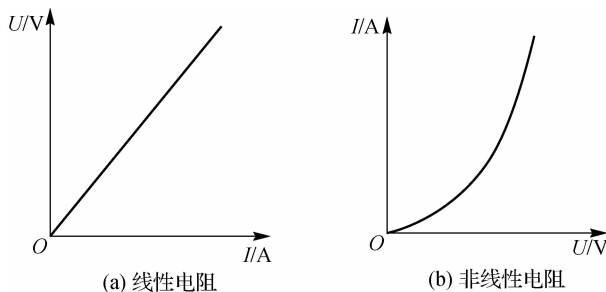


图 3-10 电阻的伏安特性曲线

4. 电能

电场力移动电荷 Q 通过负载 R 时所做的功, 即负载中有电流通过时消耗的电能 W 为

$$W = UQ = UI t = I^2 R t \quad (3-9)$$

电能的单位除了焦耳(J)外, 还常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$), 也称度, $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$, 家庭电路中常用电表来测量使用的电能。

5. 电功率

单位时间内负载所消耗的电能称为电功率, 用字母 P 表示, 单位为瓦(W)或千瓦(kW)。

$$P = \frac{W}{t} = UI = \frac{U^2}{R} \quad (3-10)$$

四、电路模型

实际元器件或设备种类繁多, 特性及用途各异, 这给电路的分析和计算带来了许多困难



和不便。为此,在分析计算电路时,可把实际电路中的各种元件等,用表征其物理性质的理想电路元件来代替,这种元件称为理想元件,由理想元件组成的电路称为电路模型。

由于在电路分析计算中,只研究电源与负载之间的相互能量转换关系,因此对电路实行控制、保护、测量的中间环节没有特别说明的,一般均予以忽略。这样就可以把理想电路元件按负载及电源的性能不同而分为两大类:理想无源元件和理想电源元件。

理想无源元件包括理想电阻元件、理想电容元件、理想电感元件三种,简称电阻元件(电阻)、电容元件(电容)和电感元件(电感)。电阻是表征电路中消耗电能的元件,电容是表征电路中储存电场能的元件,电感是表征电路中储存磁场能的元件。

理想电源元件是从实际电源中抽象出来的。当实际电源本身的功率损耗忽略不计而只起电源作用时,这种电源便可以用一个理想电源来表示,理想电源可分为理想电压源和理想电流源两种。理想电压源(恒压源)的图形及文字符号如图 3-11(a)所示,它输出电压恒定不变,即输出电压不随输出电流的变化而变化,如图 3-11(b)所示。

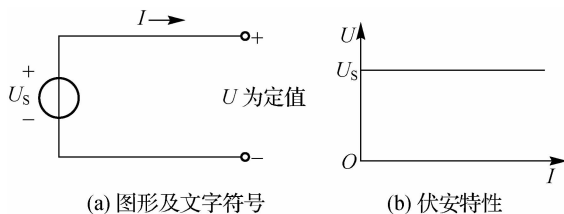


图 3-11 理想电压源

理想电流源(恒流源)的图形及文字符号如图 3-12(a)所示,输出电流恒定不变,即伏安特性是一条与 U 轴平行的直线,如图 3-12(b)所示。

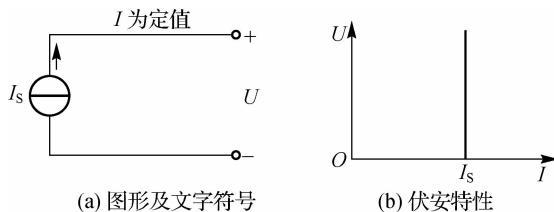


图 3-12 理想电流源

五、电路状态

1. 开路状态

当某一部分电路与电源断开时,该部分电路中没有电流流过,这部分电路所处的状态称为开路。如图 3-13 所示, S_1 及 S_2 均断开即电源与负载全部断开,则电路中的电流 $I=0$,这时电源的工作状态为空载,电源空载时, $E=U$,即电路的端电压等于电源的电动势。

2. 工作(通路)状态

当负载与电源接通,电路中有电流流过,并有能量的输送和转换时,则电路处于工作状态。通路状态根据负载大小可分为以下三种情况:

(1)轻载,负载低于额定功率下的工作状态。

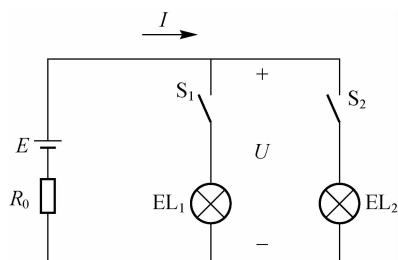


图 3-13 开路状态

(2)满载,负载在额定功率下的工作状态。

(3)过载,负载高于额定功率下的工作状态,又称超载。

轻载没有充分利用负载设备,过载容易烧坏负载设备或电源。

3. 短路状态

当某一部分电路的两端被导线或开关(它们的电阻可认为是零)直接连接起来,使得该部分电路中的电流全部被导线或开关旁路,这一部分电路所处的状态称为短路或短接状态。如图 3-14 所示, A、B 间发生了短路。电路中电阻近似为零,短路电流比灯丝正常发光时的电流大几十倍至几百倍。这样大的电流通过电路将产生大量的热,使导线温度迅速升高,不但损坏导线、电源和设备,严重时还会引起火灾。所以,一般会在电路中加入短路保护装置。

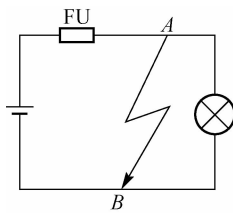


图 3-14 短路状态

六、电阻的串联

几个电阻一个接一个首尾相连,使电流只有一条通路,称为电阻的串联,如图 3-15 所示。

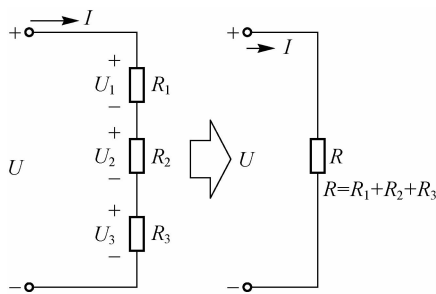


图 3-15 电阻串联电路



电阻串联电路的特点如下:

(1) 通过各电阻的电流相等。

(2) 总电压等于各电阻上的电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (3-11)$$

(3) 等效电阻(总电阻) R 等于各串联电阻之和, 即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3-12)$$

(4) 各电阻上的电压与其电阻大小成正比, 即

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3} \quad (3-13)$$

各串联电阻对总电压起分压作用。当电路两端的电压一定时, 串联的电阻越多, 电路中的电流就越小, 因此电阻串联可以起到限流(限制电流)和分压作用。



活动: 和组员讨论以下问题: 两个 $10\ \Omega$ 的电阻串联起来的等效电阻为多少? 更多的电阻串联起来呢?

七、电阻的并联

几个电阻一端连在一起, 另一端也连在一起, 称为电阻的并联, 如图 3-16 所示。流过各并联电阻中电流的大小与其他电阻无关, 因此, 应用时各用电设备均以并联的形式接在电源两端。

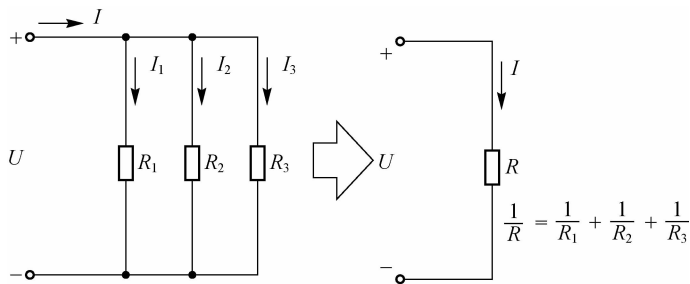


图 3-16 电阻并联电路

电阻并联电路的特点如下:

(1) 各并联电阻两端的电压相等。

(2) 总电流等于各电阻中的电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (3-14)$$

(3) 并联电路等效电阻(总电阻)的倒数等于各并联电阻倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (3-15)$$

(4) 电阻并联电路对总电流有分流作用。例如, 若 R_1 和 R_2 两个电阻并联, 则

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (3-16)$$



活动: 和组员讨论以下问题:

(1) 两个 $10\ \Omega$ 的电阻并联起来的等效电阻为多少?

(2) 在电压 $U=220\ \text{V}$ 的电路中并联接入一盏额定电压为 $220\ \text{V}$ 、功率为 $60\ \text{W}$ 的白炽灯和一个额定电压为 $220\ \text{V}$ 、功率为 $600\ \text{W}$ 的电热器,求该并联电路的总电阻 R 及总电流 I 。

八、电阻的混联

有时会遇到既有电阻串联又有电阻并联的电路,称为电阻的混联电路,如图 3-17 所示。求解混联电路,必须先分清哪些是串联电阻,哪些是并联电阻,再运用前面讲过的串联和并联电阻电路的特点去求解。图 3-17 中的等效电阻(总电阻) R 可用式(3-17)计算。

$$R=R_1+R_2+\frac{R_3R_4}{R_3+R_4} \quad (3-17)$$

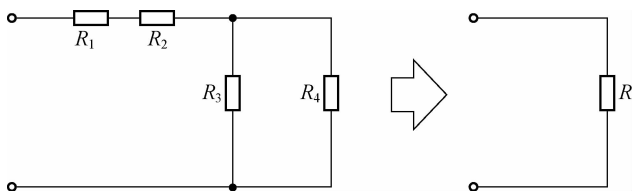


图 3-17 电阻的混联电路



活动: 在图 3-17 中,4 个电阻阻值均为 $2\ \Omega$,和组员计算等效电阻 R 。

任务二 认识基尔霍夫定律

用电阻串、并联方法及欧姆定律即可进行求解的电路称为简单电路,而在实际中遇到的电路有时则比较复杂,如汽车、铁路客车的照明供电电路等,如图 3-18 所示。

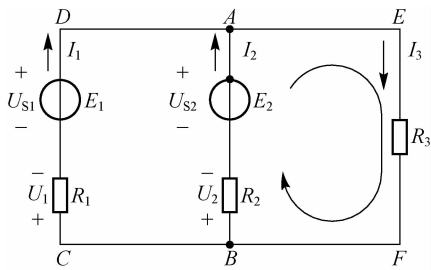


图 3-18 基尔霍夫定律示意图

该电路中有两个电压源,三个电阻之间不是简单的串、并联,用欧姆定律无法求解,这样的电路称为复杂电路。图 3-18 中, E_1 是发电机的电动势, R_1 是发电机的内电阻; E_2 是蓄电池的电动势, R_2 是蓄电池的内电阻; R_3 是照明灯负载。

一、基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律(也称基尔霍夫电流定律,KCL):任一瞬间,流入(或流出)电路任一



节点的电流的代数和恒等于零。节点是指三条或三条以上支路汇集的点。通常取流入节点的电流为正,流出节点的电流为负。图 3-18 中的 A 点和 B 点均为节点,对节点 A 而言,有

$$I_1 + I_2 + (-I_3) = 0$$

基尔霍夫第一定律的理论依据是电流的连续性原理,即流过一点或一个封闭面的电流既不能积聚,也不能消失,因此流入节点的电流必须等于流出节点的电流。其通式为

$$\sum I = 0 \quad (3-18)$$

对于一个封闭面而言,基尔霍夫第一定律仍然适用。例如,对于图 3-19(a),负载采用三角形连接,则有

$$I_C = I_A + I_B$$

对于图 3-19(b),晶体管中三个电流之间的关系为

$$I_e = I_b + I_c$$

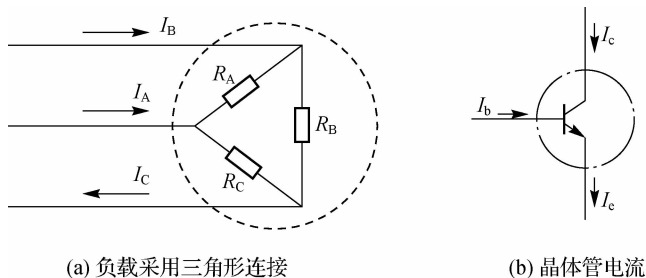


图 3-19 封闭面电流关系

二、基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律(也称基尔霍夫电压定律,KVL):任一瞬间,在电路中沿任一闭合回路各段电压的代数和恒等于零,即

$$\sum U = 0$$

电路中各点的电位是确定的,从一个闭合电路中的某一点出发,沿任意路径绕行一周,回到出发点时,电位值不变。因此,在任意一个含电源、电阻的闭合回路中,各电动势的代数和等于各电阻上电压降的代数和。其通式为

$$\sum E = \sum IR \quad (3-19)$$

任务三 认识叠加原理及戴维南定理

复杂电路的分析不能简单地用欧姆定律来解决,需要借助基尔霍夫定律来分析讨论,常用的解决复杂电路的方法有支路电流法、叠加原理和戴维南定理等。

一、支路电流法

支路电流法是分析复杂电路的基本方法,对于一个复杂电路,在已知电路中各电阻和电

动势的前提下,以各条支路电流为未知量,根据基尔霍夫第一定律和基尔霍夫第二定律分别列出电路中的节点电流方程及回路电压方程,然后联立求解,计算出各支路电流,这种分析电路的方法称为支路电流法。

图 3-20 所示为两个电源并联供电的电路。已知两个电源的电动势 E_1 、 E_2 ,内阻 r_1 、 r_2 ,以及负载电阻 R_3 ,求各支路电流。

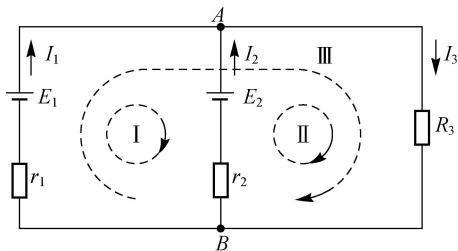


图 3-20 两个电源并联供电的电路

这个电路有三条支路,有三个未知量。要解出三个未知量,需要三个独立方程式联立求解。利用基尔霍夫定律可列出所需要的方程组。

首先假设各支路电流方向与绕行方向如图 3-20 所示,根据 KCL 可得

$$\text{对于节点 A} \quad I_1 + I_2 = I_3$$

$$\text{对于节点 B} \quad I_3 = I_1 + I_2$$

很明显,以上两个方程实际上是一个方程。所以对两个节点的电路,只能列出一个独立的节点电流方程。

根据 KVL 可得

$$\text{对回路 I} \quad I_1 r_1 - I_2 r_2 = E_1 - E_2$$

$$\text{对回路 II} \quad I_2 r_2 + I_3 R_3 = E_2$$

$$\text{对回路 III} \quad I_1 r_1 + I_3 R_3 = E_1$$

上述三个方程式中的任何一个方程式,都可以从其他两个方程式中推导出,所以只有两个回路电压方程是独立的。在复杂电路中,运用 KVL 所列的独立方程数等于电路的网孔数。这样,即可列出三个独立方程:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ I_1 r_1 - I_2 r_2 = E_1 - E_2 \\ I_1 r_1 + I_3 R_3 = E_1 \end{cases}$$

只要解出上述三个联立方程,就可求得三条支路电流。

支路电流法的解题步骤可概括如下。

(1)分析电路的结构,看有几条支路、几个网孔,选取并标出各支路电流的参考方向、网孔或回路电压的绕行方向。

(2)根据 KCL 列出 $n-1$ 个独立节点的电流方程(n 为节点的数目)。

(3)根据 KVL 列出 m 个网孔的电压方程(m 为网孔的数目)。

(4)代入已知的电阻和电动势的数值,联立求解以上方程得出各支路电流值。

(5)由各支路电流可求出相应的电压和功率。

例 3-1 在图 3-20 所示电路中,已知电源电动势 $E_1 = 7 \text{ V}$,内阻 $r_1 = 0.2 \Omega$; $E_2 = 6.2 \text{ V}$,



内阻 $r_2 = 0.2 \Omega$; 负载电阻 $R_3 = 3.2 \Omega$ 。求各支路电流和负载的端电压。

解 根据图中标出的各电流方向, 将已知数代入联立方程可得方程组

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 0.2I_1 - 0.2I_2 = 0.8 \\ 0.2I_1 + 3.2I_3 = 7 \end{cases}$$

解方程后得: $I_1 = 3 \text{ A}$, $I_2 = -1 \text{ A}$, $I_3 = 2 \text{ A}$ 。

电流 I_2 为负值, 说明 I_2 的实际方向与参考方向相反, 即实际方向应从 A 指向 B。这时电源 E_2 是处于负载状态。

负载两端的电压 $U_3 = I_3 R_3 = 2 \times 3.2 \text{ V} = 6.4 \text{ V}$ 。

二、叠加原理

叠加原理是线性电路分析的基本方法, 它的内容是: 在线性电路中, 任一支路中的电流(或电压)等于各个电源单独作用时, 在此支路中所产生的电流(或电压)的代数和。

应用叠加原理求复杂电路, 可将电路等效变换成几个简单电路, 然后将计算结果叠加, 求得原来电路的电流、电压。在等效变换过程中, 要保持电路中所有电阻不变(包括电源内阻), 假定电路中只有一个电源起作用, 而将其他电源做多余电源处理, 多余电压源做短路处理, 多余电流源做开路处理。

下面通过例题来介绍利用叠加原理解题的步骤。

例 3-2 用叠加原理求例 3-1 电路中各支路电流和负载两端的电压, 如图 3-21 所示。

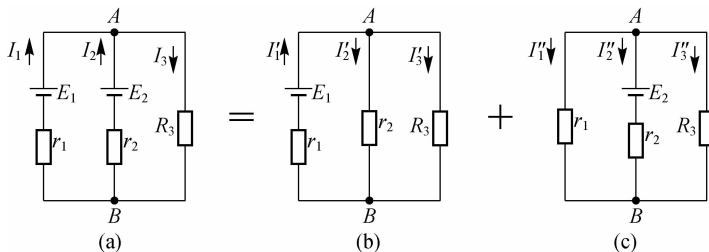


图 3-21 例 3-2 的电路图

解 (1) 假定待求各支路的电流的参考方向如图 3-21(a) 所示。图中 I_1 、 I_2 、 I_3 为待求支路电流, U_{AB} 为待求负载电压。

(2) 求 E_1 单独作用时的各支路电流 I'_1 、 I'_2 、 I'_3 和负载电压 U'_{AB} , 如图 3-21(b) 所示。

由于这时只有一个电动势作用, 各电流的实际方向是容易判定的, 可以利用简单电路的计算方法来计算。

$$R' = r_1 + \frac{r_2 R_3}{r_2 + R_3} = 0.3882 \Omega$$

$$I'_1 = \frac{E_1}{R'} = 18.03 \text{ A}$$

$$U'_{AB} = I'_1 \frac{r_2 R_3}{r_2 + R_3} = 3.393 \text{ V}$$

$$I'_2 = \frac{U'_{AB}}{r_2} = 16.97 \text{ A}$$

$$I'_3 = \frac{U'_{AB}}{R_3} = 1.060 \text{ A}$$

(3) 求 E_2 单独作用时的各支路电流 I''_1 、 I''_2 、 I''_3 和负载电压 U''_{AB} , 这时电路如图 3-21(c) 所示, 计算方法与上面相同, 有

$$R'' = 0.388 \text{ } \Omega$$

$$I''_2 = 15.97 \text{ A}$$

$$U''_{AB} = 3.006 \text{ V}$$

$$I''_1 = 15.03 \text{ A}$$

$$I''_3 = 0.939 \text{ A}$$

(4) 将每一支路的电流或电压分别进行叠加。凡是与原电路中假定的电流(或电压)方向相同的为正, 反之为负。这样, 待求的各支路电流和负载电压分别为

$$I_1 = I'_1 - I''_1 = (18.03 - 15.03) \text{ A} = 3 \text{ A}$$

$$I_2 = -I'_2 + I''_2 = (-16.97 + 15.97) \text{ A} = -1 \text{ A}$$

$$I_3 = I'_3 + I''_3 = (1.060 + 0.939) \text{ A} \approx 2 \text{ A}$$

$$U_{AB} = U'_{AB} + U''_{AB} = (3.393 + 3.006) \text{ V} \approx 6.4 \text{ V}$$

计算结果与前面采用支路电流法时完全一致。同时也可看出, 这一方法虽然可行, 但过程比较烦琐, 因而在计算复杂电路时不常采用。还应该指出, 运用叠加原理只能计算电路中的电压或电流, 而不能用于计算功率。因为功率与电流(或电压)之间的关系不是线性关系。

三、二端网络与戴维南定理

戴维南定理又称二端网络定理或等效发电机定理。

1. 二端网络

在电路分析中, 任何具有两个引出端的部分电路都可称为二端网络。二端网络中, 如果含有电源就称为有源二端网络, 如图 3-22(a) 所示; 如果没有含电源则称为无源二端网络, 如图 3-22(b) 所示。电阻的串联、并联、混联电路都属于无源二端网络, 它总可以用一个等效电阻来替代, 而一个有源二端网络则可以用一个等效电压源来代替。

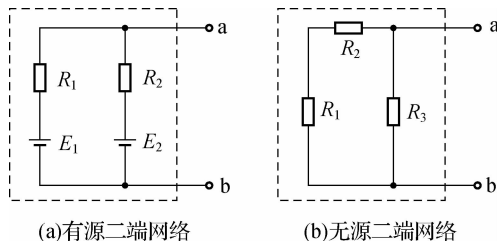


图 3-22 二端网络

2. 戴维南定理

戴维南定理是说明如何将一个线性有源二端电路等效成一个电压源的重要定理。戴维南定理可以表述如下: 对外电路来说, 线性有源二端网络可以用一个理想电压源和一个电阻的串联组合来代替。理想电压源的电压等于该有源二端网络两端点间的开路电压, 用 U_0 表示; 电阻则等于该网络中所有电源都不起作用时(电压源短接, 电流源切断)两端点间的等效



电阻,用 R_0 表示。

应用戴维南定理求某一支路电流和电压的步骤如下:

- (1) 把复杂电路分成待求支路和有源二端网络两部分。
- (2) 把待求支路移开,求出有源二端网络两端点间的开路电压 U_0 。
- (3) 把网络内各电压源短路,切断电流源,求出无源二端网络两端点间的等效电阻 R_0 。
- (4) 画出等效电压源图,该电压源的电动势 $E=U_0$,内阻 $r_0=R_0$,并将其与待求支路接通,形成与原电路等效的简化电路,用欧姆定律或基尔霍夫定律求支路的电流或电压。

例 3-3 用戴维南定理计算图 3-23(a)所示电路中 $3\ \Omega$ 电阻中的电流 I 及 U_{ab} 。

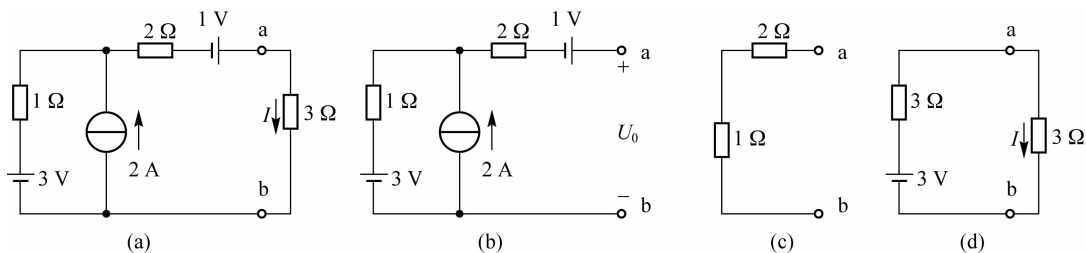


图 3-23 例 3-3 的电路图

解 (1) 把电路分为待求支路和有源二端网络两部分。移走待求支路,得到有源二端网络,如图 3-23(b)所示。

(2) 图 3-23(b)所示为一简单电路,其中 $2\ \Omega$ 电阻支路中电流为零,左边回路中的电流由理想电流源决定为 $2\ \text{A}$,由此得 $U_0 = (1 + 2 \times 0 + 1 \times 2 + 3)\ \text{V} = 6\ \text{V}$ 。

(3) 求该二端网络除去电源后的等效电阻 R_0 ,如图 3-23(c)所示, $R_0 = (2 + 1)\ \Omega = 3\ \Omega$ 。

(4) 画出等效电压源模型,接上待求支路,如图 3-23(d)所示,由于已将原电路化简为了简单电路,则电流 I 及 U_{ab} 都很容易计算出来。