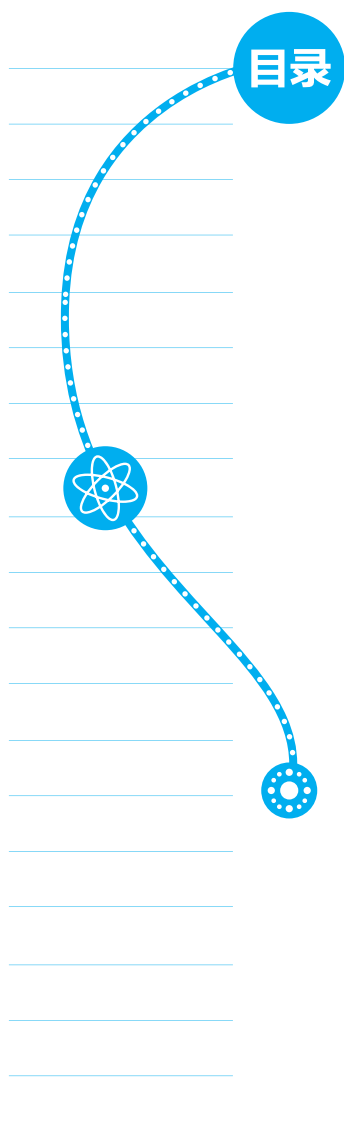




项目一 直流电路	1
项目描述	1
学习目标	2
项目实施	2
任务一：直流电路的概述	2
任务二：汽车直流电路的应用	26
项目拓展	42

项目二 交流电路	45
项目描述	45
学习目标	46
项目实施	46
任务一：交流电路的概述	46
任务二：汽车交流电路的应用	62
项目拓展	65

项目三 电工安全用电常识	68
项目描述	68
学习目标	69
项目实施	69
任务一：安全用电基础知识	69
任务二：接地装置	74
任务三：触电急救基本操作	78
项目拓展	82

项目四 磁路及电磁元件	86
项目描述	86
学习目标	87
项目实施	87
任务一：磁路及电磁元件的概述	87
任务二：汽车磁路及电磁元件的应用	102
项目拓展	112

项目五 电动机	114
项目描述	114
学习目标	115
项目实施	115
任务一：电动机的概述	115
任务二：汽车电动机的应用	140
项目拓展	146
 项目六 模拟电路	 151
项目描述	151
学习目标	152
项目实施	152
任务一：模拟电路的概述	152
任务二：汽车模拟电路的应用	175
项目拓展	184
 项目七 数字电路	 192
项目描述	192
学习目标	193
项目实施	193
任务一：数字电路的概述	193
任务二：汽车数字电路的应用	217
项目拓展	232
 参考文献	 239

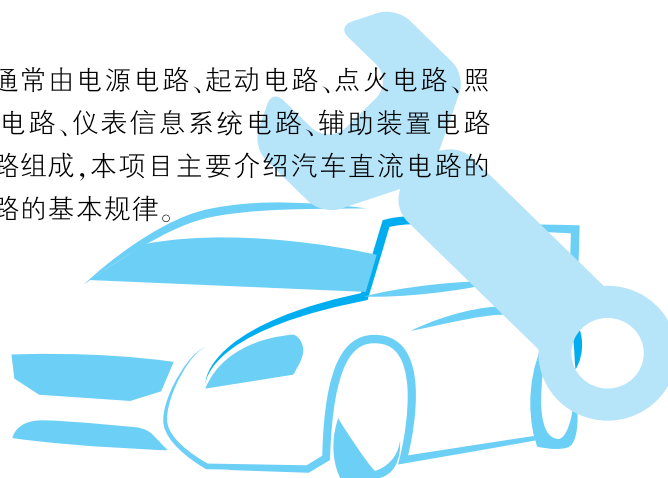
目录



项目一 直流电路

项目描述

汽车整车电路通常由电源电路、起动电路、点火电路、照明与灯光信号装置电路、仪表信息系统电路、辅助装置电路和电子控制系统电路组成,本项目主要介绍汽车直流电路的基本知识及直流电路的基本规律。



学习目标

完成本学习任务后,你应当达到以下目标:

知识目标

1. 熟悉基本物理量,掌握电阻元件、电感元件、电容元件的特点及电压和电流的关系。
2. 掌握欧姆定律、基尔霍夫定律、支路电流法、叠加原理、电压源和电流源等效互换、戴维南定理。

能力目标

1. 能认识并检测汽车电路基本元件。
2. 能认读汽车直流电路。
3. 通过实验具有初步的观察能力,动手、分析、概括能力,应用物理知识分析、解决实际问题的能力。

项目实施

任务一 直流电路的概述

一、电路的基本物理量

1. 电路和电路模型

电流所流经的途径叫作电路。电路主要由电源、中间环节、负载等电气设备和元件组成,如图 1-1 所示。

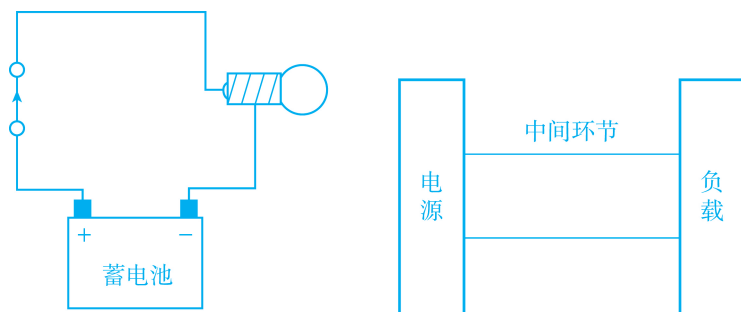


图 1-1 电路的组成

电源是为电路提供电能的设备和元器件,含有交流电源的电路叫交流电路,含有直流电源的电路叫直流电路。汽车常见的电源有蓄电池及汽车交流发电机等,如图 1-2 所示。

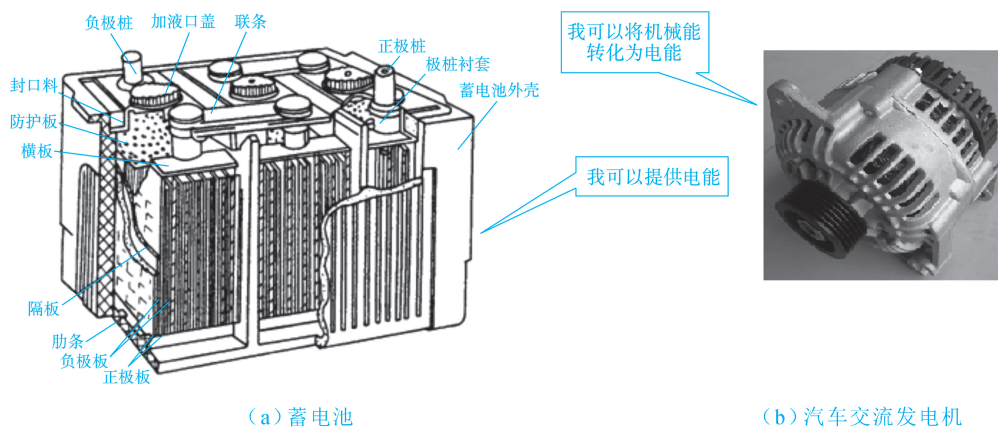


图 1-2 汽车电路的电源

负载,也称用电器,是转换电能的装置。如小灯泡将电能转换成为光能,供人们照明用;电炉可以将电能转换成为热能;电动机能将电能转换为机械能等,汽车电路的负载如图 1-3 所示。

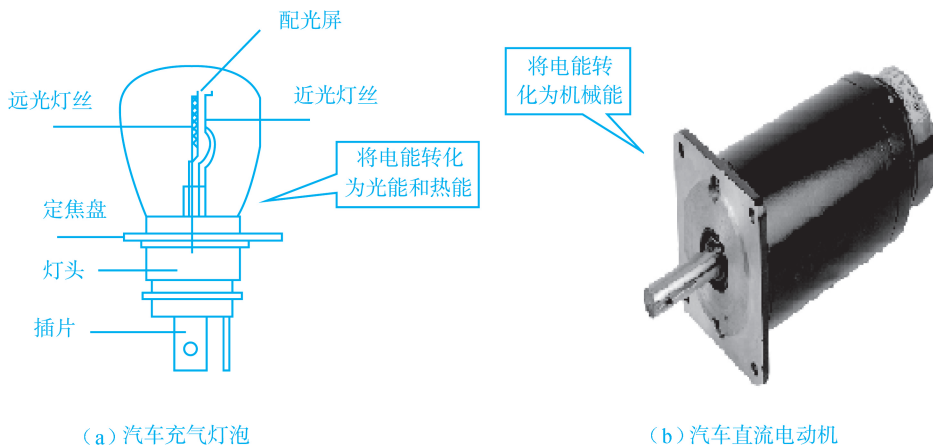


图 1-3 汽车电路的负载

连接电源和负载的部分统称为中间环节,起传输和分配电能的作用。中间环节包括导线和电气控制元器件等。导线是连接电源、负载和其他电器元件的金属线,常用的有铜导线和铝导线等;电气控制元器件是对电路进行控制的电气元器件,常用的有组合开关及熔断器等,如图 1-4 所示。

电路的主要作用是将电能进行传输、分配和转换,其次是能实现信号的传递和处理。

(1) 进行电能的传输、分配与转换。如图 1-5(a) 所示为电力系统输电电路示意图。其中,发电机是电源,家用电器和工业用电器等是负载,而变压器和输电线等则是中间环节。

(2) 信号的传递和处理。如图 1-5(b) 所示为扩音机示意图。其中,话筒是发出信号的设备,称为信号源,相当于电源。但与上述的发电机、电池等电源不同,信号源输出的

笔记

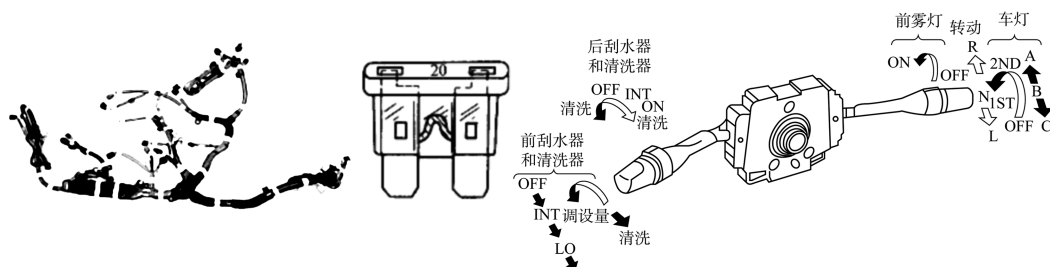
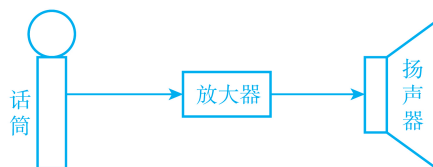


图 1-4 汽车电路的中间环节

电压或电流信号取决于其所加的信息。扬声器是负载,放大器等则是中间环节。



(a) 电力系统输电电路示意图



(b) 扩音机示意图

图 1-5 电路示意图

建立电路模型的意义十分重要,运用电路模型可以大大简化电路的分析,电路模型图中常用的元件符号见表 1-1。

表 1-1 电路模型图中常用的元件符号

名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号
电池		E	电阻		R	电容器		C
电压源		U_s	可调电阻		R	可变电容		C
电流源		I_s	电位器		RP	空心线圈		L
发电机			开关		S	铁心线圈		L
电流表			电灯		R	接地接机壳		GND
电压表			熔断器		FU	导线交叉点不连接		

电路模型反映了电路的主要性能,忽略了它的次要性能,因此电路模型只是实际电路的近似电路,是实际电路的理想化模型。

2. 电路的基本物理量

(1) 电流及参考方向

1) 定义: 电流是一种物理现象, 是带电粒子有规则地定向运动形成的, 通常将正电荷移动的方向规定为电流正方向。电流的大小用电流强度来衡量, 其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。根据定义有

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

式中: i 为电流, 其单位为安培(A); q 为通过导体截面的电荷量, 其单位为库仑(C); t 为时间, 其单位为 s。

上式表明, 在一般情况下, 电流是随时间变化的。如果电流不随时间而变化, 即 $dq/dt = \text{常数}$, 则这种电流就称为恒定电流(简称直流)。在直流电路中, 不随时间变化的物理量用大写字母表示, 式(1-1)可写成:

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

2) 单位: 1 千安(KA) = 1000 安(A)

1 安(A) = 1000 毫安(mA)

1 毫安(mA) = 1000 微安(μ A)

一般用电设备的电流举例如下:

①家里用的 60W 灯泡通电时, 其中流过的电流是 0.27A。

②汽车远光灯灯泡的功率一般是 60W 左右, 通过的电流是 5A。

③在汽车上, 一个 12W 的灯泡发光时, 其中流过的电流是 1A。

④起动机运转时, 其中的电流可高达 100A。

3) 实际方向: 正电荷定向移动的方向规定为电流实际方向。

4) 参考方向: 电流的方向是客观存在的, 但在电路分析中, 一些较为复杂的电路, 有时某段电流的实际方向难以判断, 甚至有时电流的实际方向还在随时间不断改变, 于是要在电路中标出电流的实际方向较为困难。为了解决这一问题, 在电路分析时, 常采用电流的“参考方向”这一概念。任意选定某一方向作为电流的正方向, 也称参考方向。

5) 电流参考方向的表示方法。如图 1-6 所示, 电流的参考方向可以任意选定, 在电路图中用箭头表示。当然, 所选的参考方向不一定就是电流的实际方向。当参考方向与电流的实际方向一致时, 电流为正值($I > 0$); 当参考方向与电流的实际方向相反时, 电流为负值($I < 0$)。这样, 在选定的参考方向下, 根据电流的正负, 就可以确定电流的实际方向。在分析电路时, 先假定电流的参考方向, 并以此去分析计算, 最后用求得答案的正、负值来确定电流的实际方向。

笔记



图 1-6 电流的参考方向与实际方向

(2) 电压及参考方向

1) 定义: 单位正电荷在电场力作用下, 由 a 点运动到 b 点电场力所做的功, 称为电路中 a 点到 b 点间的电压, 即

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

式中: u_{ab} 为 a 点到 b 点间的电压, 电压的单位为伏特 (V); w_{ab} 为电量 q 的正电荷从 a 点运动到 b 点所做的功, 单位为焦耳 (J)。

在直流电路中, 式 (1-3) 可写成

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

2) 单位: 1 千伏 (KV) = 1000 伏 (V)

1 伏 (V) = 1000 毫伏 (mV)

1 毫伏 (mV) = 1000 微伏 (μ V)

汽车电气系统的额定电压有 12V 和 24V 两种。

3) 实际方向: 高电位指向低电位。

4) 参考方向: 任意选定某一方向作为电压的正方向, 也称参考方向。

5) 电压参考方向的表示方法: 在电路分析时, 也需选取电压的参考方向。如图 1-7 所示, 当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正 ($U > 0$); 相反时, 电压为负 ($U < 0$)。电压的参考方向可用箭头表示, 也可用正 (+)、负 (-) 极性表示, 符号用 U_{ab} 表示。

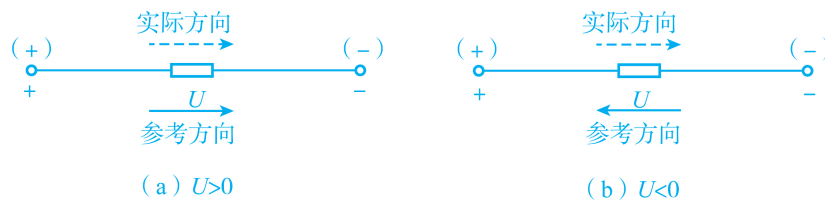


图 1-7 电压的参考方向与实际方向

(3) 电位

在电路中任选参考点 O , 该电路中某点 a 到参考点 O 的电压就称为 a 点的电位。电位的单位为伏特, 用 V 表示。电路参考点本身电位 $V_0 = 0$, 参考点也称为零电位点。根据定义, 电位实际上就是电压, 即

$$V_a = U_{a0} \quad (1-5)$$

可见, 电位也可为正或负值, 某点的电位高于参考点, 则为正, 反之则为负。任选

参考点 O , 则 a 、 b 两点的电位分别为 $V_a = U_{aO}$ 、 $V_b = U_{bO}$ 。按照做功的定义, 电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功, 等于把单位正电荷从 a 点移到 O 点, 再移到 b 点所做的功的和, 即

$$U_{ab} = U_{aO} + U_{Ob} = U_{aO} - U_{bO} = V_a - V_b$$

或

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

式(1-6)表明, 电路中 a 、 b 两点间的电压等于 a 、 b 两点的电位差, 因而电压也称为电位差。

注意: 同一点的电位值是随着参考点的不同而变化的, 而任意两点之间的电压却与参考点的选取无关。

在汽车电路中, 通常用汽车底盘、车架和发动机等金属作为公用导线, 也就是常说的“搭铁”, 并视其为电路中的参考零点。

(4) 电动势

电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领大小的物理量。电动势的定义为: 在电源内部, 外力将单位正电荷从电源的负极移到电源的正极所做的功。电动势用符号 E 表示, 其数学表达式为

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

式中 W ——外力对电荷所做的功, 单位为 J;

Q ——被移动电荷的电荷量, 单位为 C;

E ——电源的电动势, 单位为 V。

电动势的大小只决定于电源本身的性质, 对于给定的电源, W/Q 为一定值, 与外电路无关。

电动势的方向规定是: 在电源内部由负极指向正极。如图 1-8 所示为直流电动势的两种图形符号。

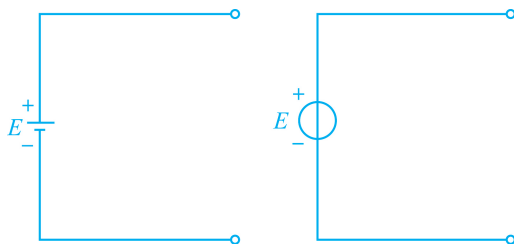


图 1-8 直流电动势的两种图形符号

对于一个电源来说, 它既有电动势, 又有端电压。电动势只存在于电源的内部; 而端电压则是电源加在外电路两端的电压, 其方向由正极指向负极。一般情况下, 电源的端电压总是低于电源内部的电动势, 只有当电源开路时, 电源的端电压才与电源的电动势相等。

能够稳定提供电能的装置叫电源。生活中有很多种电源, 这些电源提供的电压是不

笔记

一样的。举例如下:

- ①干电池的电压是 1.5V。
- ②在汽车上,铅蓄电池的标准电压是 12V。
- ③汽车电脑提供给传感器的电压是 5V。
- ④车间里用的安全照明电压是 36V。
- ⑤照明电的电压是 220V。
- ⑥动力电的电压是 380V。
- ⑦火花塞跳火时的击穿电压高达 30000V。

(5) 电能和电功率

设直流电路中, A 、 B 两点的电压为 U , 在时间 t 内电荷 Q 受电场力作用从 A 点经负载移动到 B 点, 电场力所做的功为

$$W = UQ = UIt \quad (1-8)$$

单位时间内消耗的电能称为电功率(简称功率), 直流电路中用字母 P 表示, 即

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-9)$$

若在电压、电流非关联方向下, 则

$$P = -UI \quad (1-10)$$

在我国法定计量单位中, 电能的单位是焦耳(J); 功率的单位是瓦特(W)。在实际应用中, 有时电能的单位用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)表示, $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 俗称一度电。如 100W 的灯泡工作 10h, 其消耗的电能就是 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

一般用电设备的功率举例如下:

- ①汽车仪表指示灯的功率是 1W。
- ②家用节能灯管的功率是 15W。
- ③电烙铁的功率是 30W。
- ④汽车前照灯灯泡的功率是 60W。
- ⑤家用热水器的功率是 1000W。
- ⑥汽车起动机功率是 1200W。

二、电路基本元件及伏安特性

电路中的元件, 如不另加说明, 都是指理想元件。分析研究电路的一项基本内容就是分析电路或元件的电压、电流及它们之间的关系。电压与电流的关系称为伏安关系或伏安特性, 在直角平面上画出的曲线称为伏安特性曲线。下面讨论电路基本元件及其伏安特性。

1. 电阻元件

(1) 电阻元件的伏安特性

如图 1-9 所示, 为过原点的一条直线, 它表示电压与电流成正比关系。这类电阻元件称为线性电阻元件, 其两端的电压与电流服从欧姆定律关系, 即

$$u = Ri \text{ 或 } i = \frac{u}{R} \quad (1-11)$$

如图 1-10 所示,在不含电源的一段直流电路中,欧姆定律可表示为

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = RI \quad (1-12)$$

在式(1-12)中,当电压与电流的参考方向一致时,电压为正值。反之,则电压为负值。式中电压 U 的单位是 V,电流 I 的单位是 A,电阻 R 的单位是 Ω 。由于定律的上述表达形式仅适应于不含电源的一般电阻电路,故称为部分电路欧姆定律。常用的电阻单位还有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$),它们之间的关系为

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

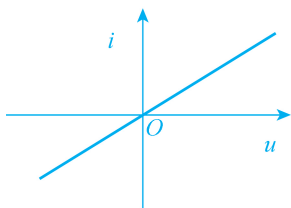


图 1-9 电阻元件的伏安特性曲线

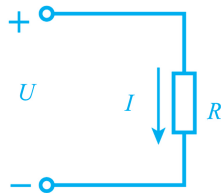


图 1-10 部分电路的欧姆定律

在实际应用中常需要对闭合电路进行分析和计算,图 1-11 是一个简单的含有电源的闭合电路。其中直流电源用理想电压源 E 和内阻 R_0 的串联电路表示, U 是电源的端电压(输出电压), R_L 是负载的电阻,电路中各物理量的方向均为参考方向。则电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} \quad (1-13)$$

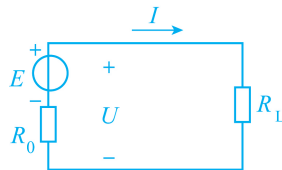


图 1-11 含有电源的闭合电路

由上式可得 $U = E - IR_0$ 。其意义是:负载的端电压等于电源电动势减去内阻电压降。说明当负载越小(负载电阻 R_L 越小)时,电流 I 越大,其内阻电压降 IR_0 也越大,则负载端电压 $U = IRL$ 必然越小。

值得注意的是,导体的电阻不随其端电压的大小而变化,是客观存在的。当温度一定时,导体的电阻与导体的长度 l 成正比,与导体的横截面积 S 成反比,还与导体的材料性质(电阻率 ρ)有关,即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-14)$$

式中: R 的单位是 Ω , ρ 的单位是 $\Omega \cdot m$, l 的单位是 m, S 的单位是 m^2 。若令 $G = 1/R$,则 G 称为电阻元件的电导,电导的单位是西门子(S)。

生活中有很多用电器是依靠电阻来工作的,如:灯泡、电炉、电烙铁等。凡是通电后产生大量热量的用电器,都是纯电阻的设备。

对于一段固定的电路,影响电路电阻的大小有以下几个因素:

①电路导线的制造材料的导电性越好,电导越大,电路的电阻就越小。

笔记

②导线的长度:电阻和长度成正比,导线越长,电阻越大。

③导线的直径:电阻和导线的粗细成反比,导线越粗,直径越大,电阻越小。

通常情况下,对于用同一种材料制成的导线,影响电阻的因素主要是直径和长度,所有的导体都有电阻,只是大小有差异。举例如下:

①汽车暖风电机的电阻约为 0.2Ω 。

②汽车仪表灯泡的电阻约为 15Ω 。

③家里使用的 1kW 的电炉电阻约为 48.4Ω 。

④一般在干燥环境中,人体电阻大约为 $2\text{k}\Omega$;皮肤出汗时,约为 $1\text{k}\Omega$;皮肤有伤口时,约为 800Ω 。

(2) 特殊电阻

1) 热敏电阻。热敏电阻是一种用陶瓷半导体制成的温度系数很大的电阻体,在工作温度范围内,按陶瓷半导体的电阻与温度的特性关系,热敏电阻可分为以下三种类型。

①负温度系数(NTC)热敏电阻。在工作范围里,NTC 热敏电阻的电阻值随温度升高而减小。这种电阻是由镍、铜、钴、锰等金属氧化物按适当比例混合后高温烧结而成的,现广泛用于汽车发动机冷却水温度传感器、进气温度传感器、机油温度传感器和空调温度传感器中。

②正温度系数(PTC)热敏电阻。在工作范围里,PTC 热敏电阻的电阻值随温度升高而按指数函数增加。这种电阻在汽车发动机、仪器仪表等测温部件中被广泛应用。

③临界温度系数(CTR)热敏电阻。CTR 热敏电阻的电阻值随温度升高而按指数函数减小。

热敏电阻式温度传感器具有体积小、灵敏度高、安装简单、价格低廉的特点,因此,在汽车电子控制系统中被广泛应用。

热敏电阻式冷却水温度传感器一般安装在发动机缸体、缸盖的水套中,或者安装在节温器壳内并伸入水套中。传感器与冷却水接触,用来检测发动机的冷却水温度。冷却水温度传感器内部是一个半导体热敏电阻。

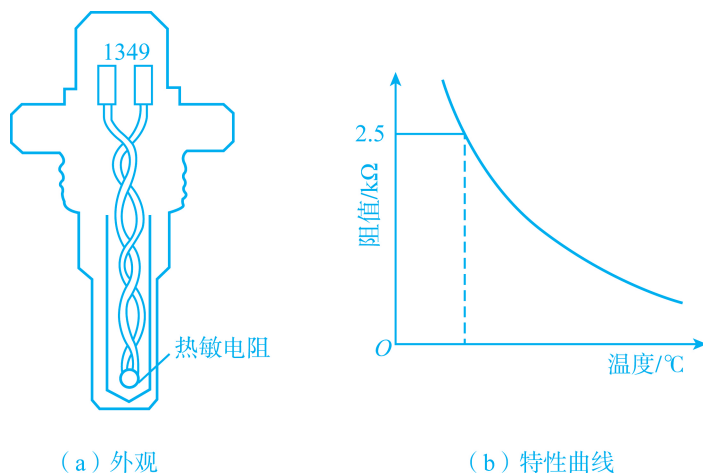


图 1-12 热敏电阻式冷却水温度传感器的外观与特性曲线

热敏电阻式冷却液温度传感器的外观与结构如图 1-12(a) 所示。这种传感器是利用热敏电阻阻值随温度的变化而变化这一特性来检测温度的。传感器的温度特性曲线如图 1-12(b) 所示。当温度较低时,传感器的阻值很大,反之,当温度升高时,其电阻值减小。在汽车上安装了很多的热敏电阻式温度传感器,常用于检测冷却水、机油的温度,其中用得最多的是冷却液温度表以及电喷发动机的冷却液温度传感器。

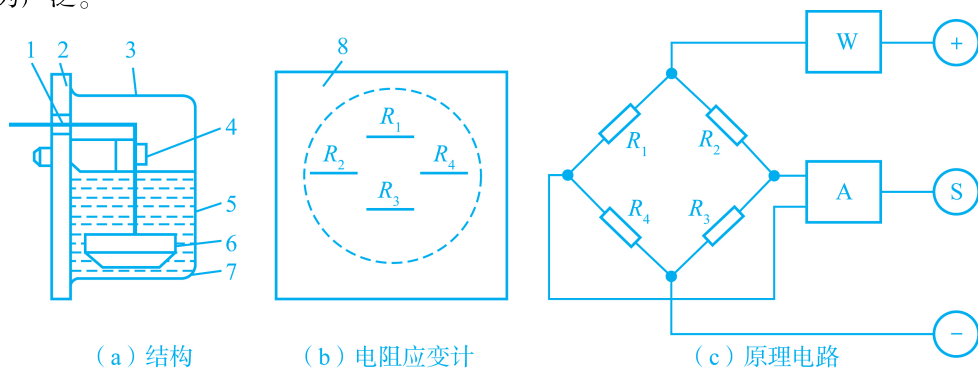
2) 光敏电阻。光敏电阻是利用半导体光敏效应制成的一种特殊电阻,对光线十分敏感,它的电阻值能随着外界光照强弱(明暗)变化而变化。它在无光照射时,呈高阻状态;当有光照射时,其电阻值迅速减小。

汽车中的光敏式光量传感器就采用光敏电阻——硫化镉(CdS)光敏元件,应用光照强度能引起电阻值变化的特性。当光线照射硫化镉(CdS)时,若周围环境暗时,则电阻值大;若周围环境亮时,则电阻值变小。光量传感器通过硫化镉(CdS)光敏元件,将周围光照的变化转换为电阻值的变化,并以电信号的形式输入给控制器。在汽车上可用于各种灯具亮、灭的自动控制。

光敏式光量传感器应用在汽车灯光控制器上。灯光控制器就安装在仪表板的上方,到傍晚时,它使尾灯点亮;当天色更晚时,控制前照灯点亮。当对方来车时,还具有变光功能,这都是自动完成的。改变照射在光量传感器上的光强度,用万用表电阻挡检测光敏电阻阻值,对比电阻变化。

3) 压敏电阻。绝对压力传感器是采用测量发动机进气歧管压力方式计量进气量的电控汽油喷射系统中最重要传感器。依据进气压力传感器信号产生原理可分为半导体压敏电阻式、电容式、膜盒传动的可变电感式和表面弹性波式等。

① 半导体压敏电阻式进气压力传感器。压电转换元件是利用半导体的压阻效应制成的硅膜片,其变形与压力成正比,利用电桥将硅膜片的变形转换成电信号。半导体压敏电阻式进气压力传感器由压力转换元件(硅片)、把转换元件输出信号进行放大的混合集成电路和真空室组成。在当今汽车发动机电子控制系统中,半导体压敏电阻式进气压力传感器具有尺寸小、精度高、成本低以及响应性、再现性、抗震性较好等优点,因而应用较为广泛。



1—密封树脂;2—传感器底板;3—壳体;4—电子电路;5—电阻应变计;
6—振动块;7—缓冲介质;8—硅膜片

图 1-13 电阻应变计式碰撞传感器

笔记

②电阻应变计式碰撞传感器。德国博世公司研制生产的电阻应变计式碰撞传感器的结构如图 1-13 所示,当膜片产生变形时,应变电阻的阻值就会发生变化。为了提高传感器的检测精度,应变电阻一般都连接成桥式电路,并设计有稳压和温度补偿电路。当汽车遭受碰撞时,振动块振动,缓冲介质随之振动,应变计的应变电阻产生变形,阻值随之发生变化,经过信号处理与放大后,传感器输出端的信号电压就会发生变化。

2. 电压源

电源是电能的来源,也是电路的主要元件之一。电池、发电机等都是实际的电源。在电路分析时,常用等效电路来代替实际的部件。一个实际的电源的外特性,即电源端电压与输出电流之间的关系 $U=f(I)$,可以用两种不同的电路模型来表示:一种是电压源;一种是电流源。

(1) 理想的电压源——恒压源

一个电源没有内阻,其端电压与负载电流的变化无关,为常数,则这个电源称为理想的电压源,用 U_s 表示,它是一条与 I 轴平行的直线。通常用的稳压电源、发电机可视为理想的电压源。

(2) 电压源

实际的电源都不会是理想的,总是有一定的内阻,因此,在电路分析时,对电源可以用一个理想的电压源与内阻相串联的电路模型——电压源来表示,电压源外特性曲线如图 1-14 所示。直流电压源的外特性为

$$U = U_s - R_0 I \quad (1-15)$$

图中斜线与纵坐标轴的交点,为负载开路时,电源的端电压(电压源的最高端电压),即 $I = 0, U = U_0 = U_s$ 。而与横坐标轴的交点则是电源短路时的最大电流 I_s ,即 $U = 0, I_s = U_s / R_0$ 。

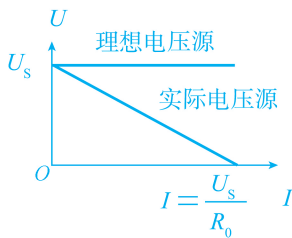


图 1-14 电压源外特性曲线

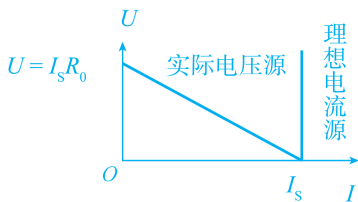


图 1-15 电流源外特性曲线

3. 电流源

(1) 理想电流源——恒流源

当一个电源的内阻为无穷大时,其输出电流与负载的变化无关,为常数,则这个电源称为理想电流源,用 I_s 表示。其外特性曲线是一条与纵轴 U 平行的直线。常用的光电池与一些电子器件构成的稳流器,可以认为是理想的电流源。

(2) 电流源

理想电流源实际上是不存在。对于一个实际的电源,也可以用理想的电流源与

内阻并联的电路模型——电流源来替代,其外特性曲线如图 1-15 所示,由式(1-15)得直流电流源的外特性为

$$I = \frac{U_s}{R_0} - \frac{U}{R_0} = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-16)$$

图中斜线与纵轴的交点表示负载开路时, $I=0, U=U_0=R_0 I_s=U_s$; 斜线与横轴的交点则是电流源短路时, $U=0, I=I_s$ 。

4. 电感元件

电感元件是一种能够储存磁场能量的元件,是实际电感器的理想化模型。电感元件的电路符号如图 1-16 所示。

电感元件伏安特性可用 $u = L \frac{di}{dt}$ 表示。只有电感上的电流变化时,电感两端才有电压。在直流电路中,电感上即使有电流通过,但 $u=0$,相当于短路。 L 称为电感元件的电感,单位是亨利(H),存储能量为 $W_L = \frac{1}{2} Li^2$ 。

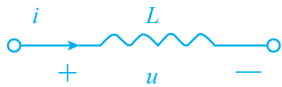


图 1-16 电感元件的电路符号

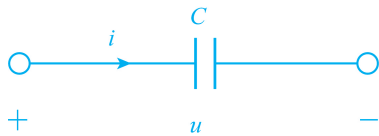


图 1-17 电容元件的电路符号

5. 电容元件

电容元件是一种能够储存电场能量的元件,是实际电容器的理想化模型。电容元件的电路符号如图 1-17 所示。

电容元件伏安特性可用 $i = C \frac{du}{dt}$ 表示。只有电容上的电压变化时,电容两端才有电流。在直流电路中,电容上即使有电压,但 $i=0$,相当于开路,即电容具有隔直作用。 C 称为电容元件的电容,单位是法拉(F),存储能量为 $W_C = \frac{1}{2} Cu^2$ 。

三、电路的工作状态

1. 额定工作状态

在图 1-18 所示的电路中,如果开关闭合,电源则向负载 R_L 提供电流,负载 R_L 处于额定工作状态,这时电路有如下特征。

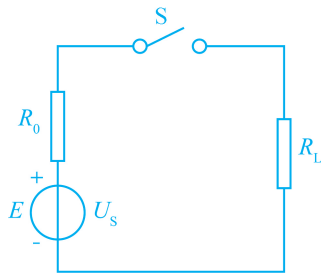


图 1-18 电路的有载与空载

笔记

(1) 电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} \quad (1-17)$$

式中,当 U_s 与 R_0 一定时, I 的值取决于 R_L 的大小。

(2) 电源的端电压等于负载两端的电压(忽略线路上的压降),即

$$U = U_s - R_0 I \quad (1-18)$$

(3) 电源输出的功率则等于负载所消耗的功率(不计线路上的损失),即

$$P = UI = (U_s - R_0 I) I = U_s I - R_0 I^2 \quad (1-19)$$

2. 空载状态

如图 1-18 所示的电路为开关断开或连接导线折断时的开路状态,也称为空载状态。电路在空载时,外电路的电阻可视为无穷大。因此电路具有下列特征。

(1) 电路中的电流为零,即

$$I = 0 \quad (1-20)$$

(2) 电源的端电压为开路电压 U_0 ,并且有

$$U = U_0 = U_s - R_0 I = U_s \quad (1-21)$$

(3) 电源对外电路不输出电流,因此有

$$P = 0 \quad (1-22)$$

3. 短路状态

如图 1-18 所示的电路中,电源的两输出端线,因绝缘损坏或操作不当,导致两端线相接触,电源被直接短路,称为短路状态。

当电源被短路时,外电路的电阻可视为零,这时电路具有如下特征。

(1) 电源中的电流最大,但对外电路的输出电流为零,即

$$I = I_s = \frac{U_s}{R_0} \quad (1-23)$$

式中 I_s 称为短路电流。因为一般电源的内阻 R_0 很小,所以 I_s 很大。

(2) 电源和负载的端电压均为零,即

$$U = 0 \quad (1-24)$$

上式表明,电源的恒定电压全部降落在内阻上,两者的大小相等,方向相反,因此无输出电压。

(3) 电源输出的功率全部消耗在内阻上,因此,电源的输出功率和负载所消耗的功率均为零,即

$$P = 0 \quad (1-25)$$

$$P_s = \frac{U_s^2}{R_0} = R_0 I_s^2 \quad (1-26)$$

四、串、并联电路的分析

1. 电阻的串联

如图 1-19 所示为几个电阻依次连接,当无分支电路的串联电路。串联电路的特点如下:

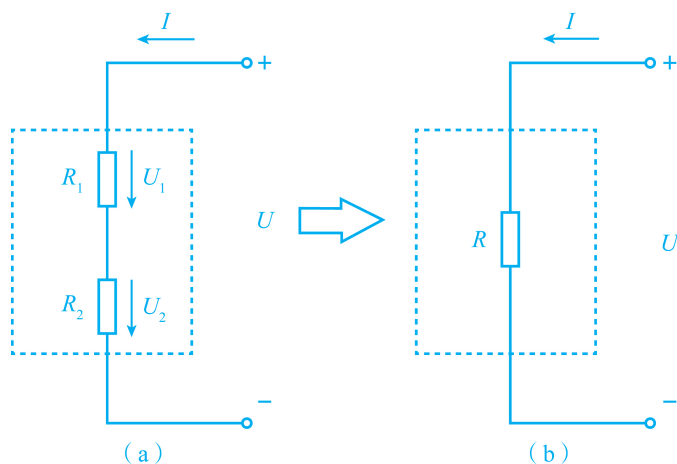


图 1-19 电阻串联及其等效电阻

(1) 流过各电阻中的电流相等,即

$$I = I_1 = I_2 \quad (1-27)$$

(2) 电路的总电压等于各电阻两端的电压之和,即

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-28)$$

由此可得,电路取用的总功率等于各电阻取用的功率之和,即

$$IU = IU_1 + IU_2 \quad (1-29)$$

(3) 电路的总电阻等于各电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-30)$$

(4) 电路中每个电阻的端电压与电阻值成正比,即

$$U_1 = \frac{R_1}{R} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R} U \quad (1-31)$$

(5) 串联电阻电路消耗的总功率 P 等于各串联电阻消耗的功率之和,即

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = P_1 + P_2 + \cdots + P_n \quad (1-32)$$

2. 电阻的并联

如图 1-20 所示为几个电阻的首尾分别连接在电路中相同的两点之间的并联电路。

笔记

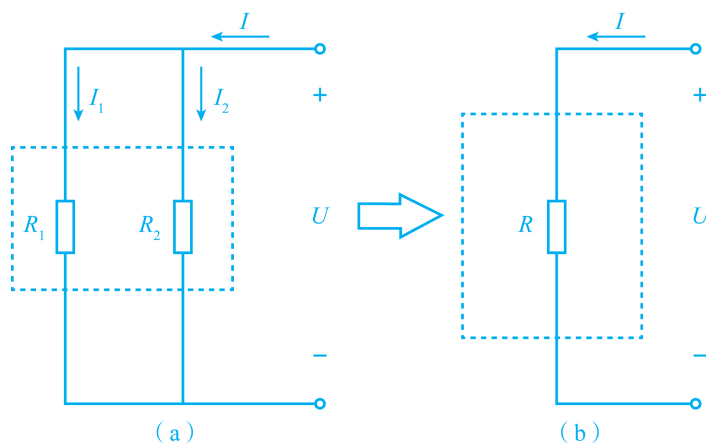


图 1-20 电阻并联及其等效电阻

并联电路有如下特点:

- (1) 各并联电阻的端电压相等,且等于电路两端的电压,即

$$U = U_1 = U_2 \quad (1-33)$$

- (2) 并联电路中的总电流等于各电阻中流过的电流之和,即

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-34)$$

- (3) 并联电路的总电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

即

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-35)$$

- (4) 并联电路中,流过各电阻的电流与其电阻值成反比,阻值越大的电阻分到的电流越小,各支路的分流关系为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-36)$$

可见,在电路中,通过并联电阻能达到分流的目的。

- (5) 并联电阻电路消耗的总功率等于各电阻上消耗的功率之和,即

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = P_1 + P_2 + \cdots + P_n = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + \cdots + \frac{U^2}{R_n} \quad (1-37)$$

可见,各并联电阻消耗的功率与其电阻值成反比。

3. 串、并联电路的应用

(1) 串联电路的应用

1) 用于降压。当某一用电器的额定电压低于电源电压时,可在电路上串联一个适当电阻(降压电阻),根据串联电路的分压作用特点,使用电器分得的电压为额定电压。注意:与负载相串联的电阻,实际电功率不应超过它的额定功率。例如:电压表为扩大量程需用电阻与表头串联,串联电阻起降压作用。

2)用电位器改变输出电压。汽车电路系统中许多传感器是用电位器的分压工作原理制成的,节气门位置传感器电路图如图 1-21 所示,电位器 A 和 B 接电源正负极,滑动触点 O 和固定端 B 为输出电压。当滑动触点在外力作用下滑动时,改变了两部分电阻的比例关系,从而得到不同的输出电压。当滑动触点从节气门关闭状态移动到节气门完全打开状态时,VTA 输出电压从最小值线性变为最大值。

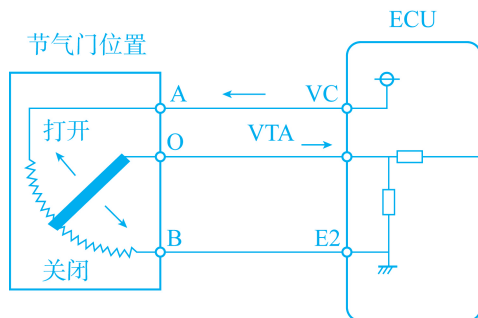
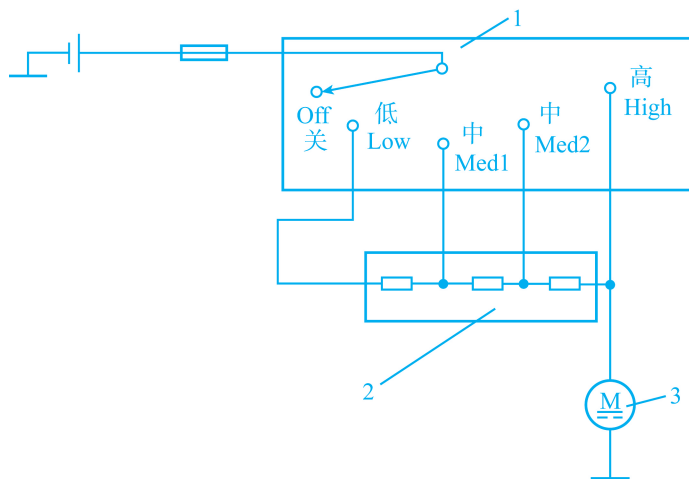


图 1-21 节气门位置传感器电路图

3)用来控制负载电流。负载的工作状况与电流大小有直接关系,如直流电动机的转速与电流大小有关。鼓风机电动机用于促使车内冷气、暖气、除霜和通风的气流流动。采用的电动机通常为永磁式单速电动机,大多数均安装在暖风机总成内。鼓风机开关位于仪表板上,开关通过控制调速电阻来控制电机转速,鼓风机电动机工作电路如图 1-22 所示。



1—鼓风机开关;2—调速电阻总成;3—鼓风机电动机

图 1-22 鼓风机电动机工作电路图

鼓风机电电动机的工作原理:当鼓风机电电动机开关置于低速(Low)、中速 1(Med1)、中速 2(Med2)或高速(High)挡时,电路中所串联的电阻值越来越小。电阻值的变化,改变了鼓风机电电动机的工作电压。由于鼓风机电电动机是单速电动机,工作电流越大,转速越高。所以随着串联的电阻越小,鼓风机电电动机的工作电流越大,转速越高。

(2) 并联电路的应用

1)工作电压相同的负载都是采用并联接法。对于供电线路中的负载,一般都是并联

笔记

接法,负载并联时各负载自成一个支路,如果供电电压一定,各负载工作时相互不影响,某个支路电阻值的改变,只会使本支路和供电线路的电流变化,而不影响其他支路。如汽车上的用电器,如喇叭、照明灯、电动机等都是并联接在直流电源上,各个电器能单独工作、互不影响。

2) 利用电阻的并联来降低电阻值,例如将两个 1000Ω 的电阻并联使用,其电阻值则为 500Ω 。

3) 在电工测量中,常用并联电阻的方法来扩大电流表量程。

五、基尔霍夫定律

1. 电路结构的基本名词

计算复杂电路主要依据欧姆定律和基尔霍夫定律,这两条定律既适用于直流电路,又适用于交流电路和含有电子元器件的非线性电路,因而是分析并计算电路的基本定律。如图 1-23 所示,在复杂电路中,包括多个电源和多个元件,因而不能直接用欧姆定律来求解。

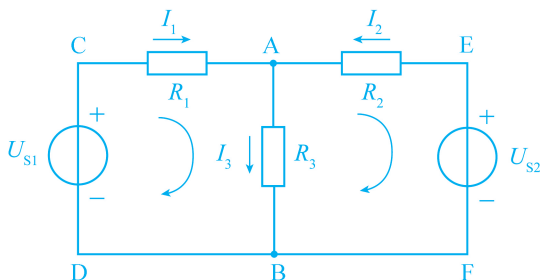


图 1-23 复杂电路

为了研究复杂电路,必须先明确几个概念,它们是支路、节点、回路和网孔。

支路: 由一个或几个元件首尾相接构成的无分支电路叫支路。在同一支路内,流过所有元件的电流相等。在图 1-23 中, U_{S1} 和 R_1 构成一条支路, U_{S2} 和 R_2 构成一条支路, R_3 构成另外一条支路。

节点: 三条以上支路的交汇点称为节点,在图 1-23 中, A、B 两点均为节点。

回路: 电路中任一闭合路径叫回路,一个回路可能只含有一条支路,也可能包含几条支路。在图 1-23 中, ABFEA、EFDCE、ABDCA 都是回路。

网孔: 回路内部不含有支路的最简单的回路叫网孔。如 ABFEA、ABDCA 是网孔, EFDCE 不是网孔。

在中学我们学习了欧姆定律,但稍微复杂的电路就必须使用另一个定律:基尔霍夫定律。基尔霍夫定律的制定人是科学家基尔霍夫(1824—1887),它可以用来求解复杂的电路网络。

2. 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律的基本内容为在任一瞬间,流入任一节点的电流之和恒等于流出

这个节点的电流之和,即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-38)$$

或者说,在任一瞬间,一个节点上电流的代数和为0,即

$$\sum I = 0 \quad (1-39)$$

基尔霍夫电流定律的依据:电流的连续性。

在任一瞬时,一个节点上电流的代数和为零。一般规定正方向为:流入节点的电流取正号,则流出节点的电流取负号。KCL 不仅适用于节点,还可推广应用于电路中任意假定的闭合曲面,即任一瞬间,通过任一闭合曲面的电流的代数和也恒等于零。

对于图 1-24 所示电路中的节点 A, I_2 、 I_3 、 I_5 为流入节点电流, I_1 、 I_4 为流出节点电流,根据基尔霍夫电流定律可得出

$$I_2 + I_3 + I_5 = I_1 + I_4 \quad (1-40)$$

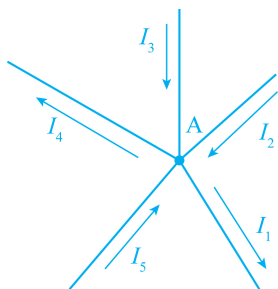


图 1-24 基尔霍夫电流定律示意图

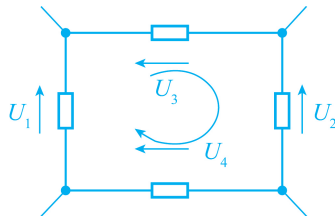


图 1-25 基尔霍夫电压定律示意图

3. 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律的基本内容:在任一瞬间,沿回路绕行一周,电压升的总和等于电压降的总和,即

$$\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}} \quad (1-41)$$

或者各电压的代数和为0,即

$$\sum U = 0 \quad (1-42)$$

基尔霍夫电压定律又叫做基尔霍夫第二定律,它反映了电路的任一回路中的各段电压之间的关系。KVL 除了用于闭合回路外,也可推广应用于任意不闭合回路。

对于图 1-25 所示电路,绕行回路一周有

$$U_3 + U_2 = U_1 + U_4 \quad (1-43)$$

六、复杂电路的分析方法

1. 支路电流法

支路电流法是以支路电流为求解对象,应用基尔霍夫电流定律和电压定律对节点和回路列出所需的方程,通过解方程组来求解支路电流。

以图 1-26 所示电路为例,说明支路电流法的解题步骤。

笔记

(1) 选择各支路电流的参考方向。在图 1-26 中,选取支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 参考方向如图所示,电流的实际方向由计算结果确定,计算结果为正,说明选取的参考方向与电流的实际方向一致,反之则相反。

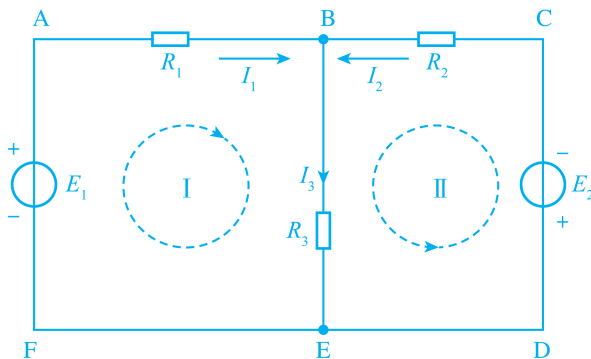


图 1-26 支路电流法示意图

(2) 根据节点数列出独立的节点电流方程式。图 1-26 中有 B 和 E 两个节点,利用 KCL 列出节点电流方程式。

对节点 B 列方程: $I_3 - I_1 - I_2 = 0$

对节点 E 列方程: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

一般来说,电路中独立的节点电流方程式的个数比节点数少一个,两个节点只能列出一个独立的节点电流方程式。两个方程式是相同的,说明只有一个独立的方程式。

(3) 根据自然网孔,利用 KVL 列出回路电压方程式。图 1-26 中的电路有两个网孔 I 和 II,利用 KVL 列出电压方程式。

对网孔 I 列电压方程: $E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3$

对网孔 II 列电压方程: $E_2 = -R_2 I_2 - R_3 I_3$

(4) 联立方程组,求出各未知量。

【例题 1】 在图 1-26 所示电路中,已知电源电动势 $E_1 = 12\text{V}$,内阻 $R_1 = 2\Omega$;电源电动势 $E_2 = 2\text{V}$,内阻 $R_2 = 4\Omega$;负载电阻 $R_3 = 6\Omega$ 。求各支路电流 I_1 、 I_2 和 I_3 。

解: 要求出三个未知支路电流,需列出三个彼此独立的方程式。图中的电流方向都是假设的参考方向。

对于节点 B,应用 KCL,列出电流方程,即

$$I_3 - I_1 - I_2 = 0 \quad (1-44)$$

对于回路 ABEFA,应用 KVL,列出回路电压方程,即

$$E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 \quad (1-45)$$

对于回路 BCDEB,应用 KVL,列出回路电压方程,即

$$E_2 = -R_2 I_2 - R_3 I_3 \quad (1-46)$$

将已知数据代入式(1-44)、式(1-45)、式(1-46)得方程组为

$$\begin{cases} I_3 - I_1 - I_2 = 0 \\ 12\text{A} = 2I_1 + 6I_3 \\ 2\text{A} = -4I_2 - 6I_3 \end{cases}$$