

项目一 直流电路



学习目标

1. 能描述电路组成并能识读典型汽车电路图。
2. 理解电路的几个基本物理量(电流、电压和电动势)的意义;会进行电压、电流的定量计算。
3. 掌握欧姆定律;会进行电阻串并联电路的相关计算。
4. 理解基尔霍夫定律的内容及应用;会运用支路电流法分析一般电路。
5. 掌握电路中电位的计算与测量技能。



教学建议

【课时安排】

讲授 6 学时,实践 4 学时。

【讲授重点】

1. 电路组成及电路图。
2. 电路的三种工作状态。
3. 电路元件的基本性质。
4. 欧姆定律。
5. 基尔霍夫定律。
6. 支路电流法。
7. 戴维南定理。

任务一 认识电路的基本组成

在生产自动化控制系统中,时常会出现一些由于电气控制设备故障引起的失控问题,以致影响正常的生产秩序,如何对这些电气控制设备故障进行维修?首先要了解电路的控制原理,然后对有关的电路参数进行检测,将检测的参数与标准参数比较,从而判断故障所处的位置并排除,整个过程就这么简单,这就是维修技术。

所谓检测电路参数,就是测量电路中某段电路两端的电压和流过它的电流,以及其阻抗。在实际工作中,如何掌握检测维修技能,是我们学习本课程的目的。

一、电路的组成

电路是由各种电气设备按一定方式用导线连接组成的总体,它提供了电流通过的闭合

路径。这些电气设备包括电源、导线、开关、负载等。简单地说,电路就是电流的通路。实际电路的组成方式多种多样,但通常由电源、中间环节和负载三部分组成。

电源是把其他形式的能量转换为电能的装置。例如,电池将化学能转换为电能,发电机将机械能转换为电能。

中间环节是连接电源和负载的部分,使它们构成电流的通路,把电源的能量输送给负载,并根据需要控制电路的接通与断开。如导线、开关、变压器等。

负载是指用电设备,它把电能转换为其他形式的能量。如电灯将电能转换为光能,电炉将电能转换为热能,电动机将电能转换为机械能,扬声器将电能转换为声能等。

由于实际电路元件的性能往往很复杂,为了分析和计算方便,通常采用模型化的方法来表征实际电路元件。所谓模型化,就是突出实际电路元件的主要电磁特性,忽略其次要因素,用理想的模型近似地反映实际元件的特性。图 1-1(b)即为图 1-1(a)的模型化电路。

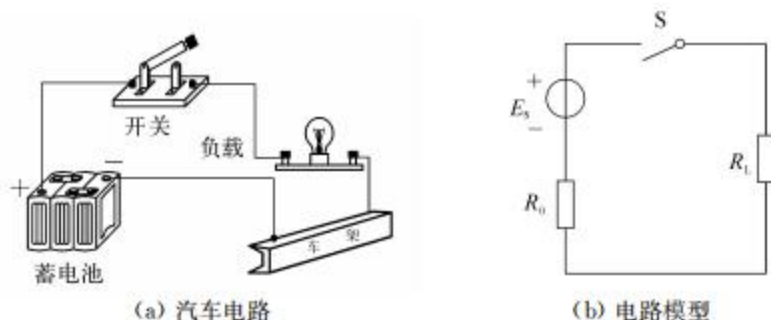


图 1-1 汽车电路与电路模型

1. 电路图

电路由实际的电路元器件通过导线连接组成。为了讨论问题的方便,在画这些电路的图形时,通常采用国家统一规定的电器元件图形符号来表示实物。电路图是由电路元件图形符号构成的图形。实际的电路元件都可以用能够反映其主要电磁性质的理想元件来代替。如在电源频率不高的情况下,用电阻元件表示各种电阻器、电灯、电炉等实际电路元器件;用电感元件表示各种实际线圈等等。在电路模型中,连接各元件的导线认为是理想导体,电阻忽略不计。如图 1-2 为汽车电源系电路图。显然,电路模型只针对电路的分析、计算而言,仅仅反映各种理想元件在电路中的作用及相互连接方式,并不表示电器设备和元件的真实几何形状与实际位置。

另外,常把电路分为外电路和内电路。从电源的一端经过负载再回到电源另外一端的这部分电路称为外电路,电源内部的通路称为内电路。

2. 汽车电路

如果电路中的电源和用电设备之间用两根导线构成回路,这种连接方式称为双线制。若电路中的电源和用电设备之间只是用一根导线连接,另一根导线由金属机架作为公共导线构成回路,这种连接方式称为单线制。由于单线制导线用量少,且接线简单,安全可靠,因此在现代汽车上广泛应用。

采用单线制时,蓄电池的一个电极必须连接至车架上,称为“搭铁”。用符号“⊥”表示。

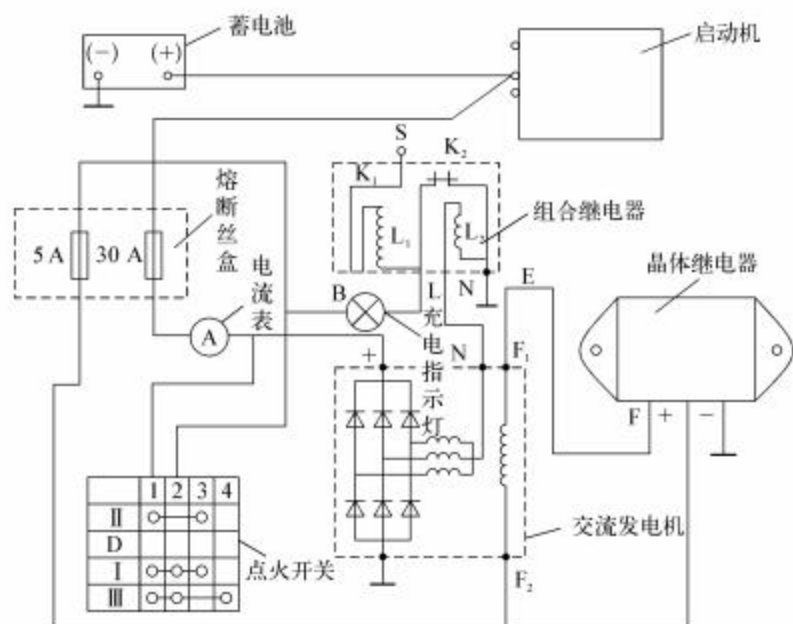


图 1-2 汽车电源系电路图

通常采用负极搭铁,即将蓄电池的负极与车架相连接,负极搭铁对无线电干扰小。

汽车线路接线的特点和一般规律是:一般采用单线制、用电设备并联、负极搭铁、线路用颜色不同的线和编号加以区分,并以点火开关为中心分成几条主干线。

① 蓄电池正极线:从蓄电池引出直通熔断器盒,也有的从蓄电池正极线直接引到启动机正极接线柱上,再从那里引出较细的正极线到其他电路。

② 点火、仪表、指示灯线:必须经过汽车钥匙才能接通电路。

③ 专用线:不管发动机是否工作都需要接入的电器,如收放机点烟器等,由点火开关单独设置一档予以供电。

④ 启动控制线:启动机主电路的控制开关(触盘)常用磁力开关来通断。其接线方式有三种形式:小功率启动机磁力开关的吸引线圈保持线圈由点火开关的启动挡控制;大功率启动机的吸引保持线圈则由启动机继电器控制(如东风解放及三菱重型车);装有自动变速器的轿车,为了保证空挡启动,常将启动控制线串接在空挡开关上。

⑤ 搭铁线:搭铁点分布在汽车全身,与不同金属相接(如铁、铜与铝、铝与铁)形成电极电位差,有些搭铁部位容易沾染泥水油污或生锈,有些搭铁部位是很薄的钣金片,都可能引起搭铁不良,如灯不亮、仪表不起作用、喇叭不响等。所以,大部分汽车采用双搭铁线。

3. 电路的作用

电路的基本作用有两大类:一是实现能量的传输、分配和转换。如在电力系统中,发电机把热能、水能、原子能转换成电能,通过变压器、输电线路将电能传输和配送到用户,然后用户根据实际需要又把电能转换成机械能、光能和热能等。二是实现信号的传递和处理。通过电路元件,可以将信号源施加的信号变换或加工成所需的输出信号。例如,电子设备中放大器的作用是把微弱的输入信号加以放大,成为满足工作需要的强输出信号。

二、电路基本物理量

1. 电流

在电场力的作用下,电荷的定向移动形成电流。规定正电荷的运动方向为电流的实际方向。电流的强弱用电流强度来表示,电流强度*i*用单位时间内通过导体横截面的电荷量表示。即

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

如果电流不随时间而变化,即 $\frac{dQ}{dt} = \text{常数}$,则称为直流电流,其大小和方向均不随时间变化。直流电流用大写字母*I*表示。

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

式中,*Q*为在时间*t*内通过导体截面*S*的电荷量。

在国际单位制(SI)中,当1 s内通过导体横截面的电荷量为1 C(库仑)时,其电流为1 A(安培)。电流的较小单位是毫安(mA)或微安(μA),较大单位是千安(kA)。其换算关系为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}$$

$$1 \text{ mA} = 10^3 \mu\text{A}$$

电流具有方向。习惯上,规定正电荷的运动方向为电流的实际方向。在外电路,电流由电源的正极流向负极;在电源内部,电流由负极流向正极。在简单电路中,电流的实际方向可由电源的极性确定,但在分析复杂的直流电路时,往往难以事先判断某支路中电流的实际方向。因此,引入电流参考方向的概念。

分析电路时,任意选取一个方向作为电流的正方向并标注在电路上,这个任意选取的方向称为电流的参考方向。根据此正方向列写方程、进行计算,若计算得到的结果为正值,说明选取的电流参考方向与实际方向相同;若计算得到的结果为负值,说明选取的电流参考方向与实际方向相反。这样,在选取电流参考方向的前提下,根据电流值的正负,就可以判断出电流的实际方向。图1-3表示电流的参考方向与实际方向之间的关系。



图 1-3 电流的方向

【例 1-1】 图 1-3 中,若 $I = 3 \text{ A}$,则表明电流的实际方向与参考方向相同;反之,若 $I = -3 \text{ A}$,则表明电流的实际方向与参考方向相反。

2. 电压与电位

在电路中,电荷受电场力作用而定向移动,电场力将做功,为了衡量电场力做功的能力,引入电压这一物理量。直流电压用 U 表示,交流电压用 u 表示。在电场力作用下,如果把单位正电荷 dQ 由 a 点移到 b 点所做的功 dW ,则称为 a 、 b 间的电压,用 u_{ab} 表示。即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dQ}$$

在国际单位制(SI)中,电压的单位为 V(伏特)。当电场力把 1 C(库仑)的正电荷从 a 点移到另一点 b 所作的功为 1 J(焦耳),则这两点间的电压为 1 V(伏特)。对于较高或较低的电压,工程上还常用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μ V)做单位,换算关系为

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

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

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

在大小和方向都不随时间变化的直流电路中,规定电压的实际方向由电位高的“+”端指向电位低的“-”端,即电位降低方向。

在分析电子电路时,通常在电路中选取某一个固定点作为参考点,而把电路中其他各点与参考点之间的电压称为该点的电位。电位用 V 表示,其单位也用 V(伏特)表示。

电压与电位的关系为:电场内两点之间的电压等于这两点之间的电位差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

式中, V_a 为 a 点的电位, V_b 为 b 点的电位。

电路中各点的电位随参考点的选择不同而不同,但是任意两点之间的电位差是不变的,它不随参考点的变化而变化。也就是说,电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。虽然在电路中,参考点可以任意选取,但工程上常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点,参考点电位为零。如汽车电路的负极搭铁。

【例 1-2】 如图 1-4 所示,若以 O 点为参考点,测得 $V_A = 21 \text{ V}$, $V_B = 15 \text{ V}$, $V_C = 5 \text{ V}$, 现在重选 C 点为参考点,求 V_A 、 V_B 、 V_O , 并计算两种情况下的 U_{AB} 和 U_{BO} 。

解:重选 C 点为参考点时,计算如下:

$$V_A = U_{AC} = V_A - V_C = 21 - 5 = 16(\text{V})$$

$$V_B = U_{BC} = V_B - V_C = 15 - 5 = 10(\text{V})$$

$$V_O = U_{OC} = V_O - V_C = 0 - 5 = -5(\text{V})$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 21 - 15 = 6(\text{V})$$

$$U_{BO} = V_B - V_O = 15 - 0 = 15(\text{V})$$

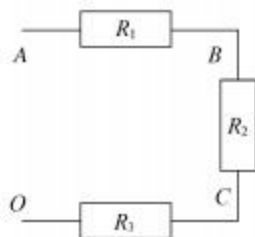


图 1-4 电位的计算

可见,两种情况下电压相同。

电路中电位相等的点称为等电位点,两个等电位点间的电压为零。等电位点不一定直接相联,不直接相联的两个等电位点,即使用导线或电阻把他们连接起来,导线或电阻中的电流也为零。因此,两个等电位点之间接有电阻时,电阻中电流为零,若断开电阻,也不影响电路原来的工作状态。

引入电位的概念之后,电压又称作电压降,电压的实际方向就是由高电位指向低电位的方向,即电位降低的方向为电压的实际方向。在一些复杂电路中,某两点间的电压实际方向有时难于事先确定,因此还需要引入电压的参考方向的概念。

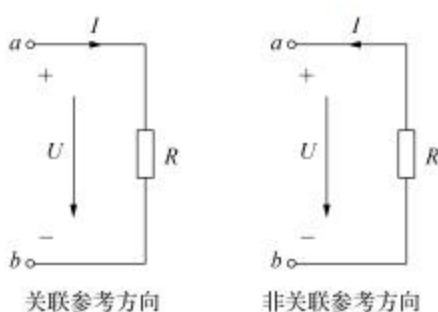


图 1-5 电压的方向及关联参考方向

在一段电路分析中,任意选定一点的极性为“+”,另一点的极性为“-”,这样任意选定某一方向作为电压的正方向,也称参考方向。在选定参考方向下,电压的参考方向与实际方向一致时,电压为正($U > 0$);电压的参考方向与实际方向相反时,电压为负($U < 0$)。如图 1-5 所示。电压的参考方向可用箭头表示,也可用正(+)、负(-)极性表示。电压的实际方向是客观存在的,不会因电压的参考方向不同而改变。

可见,电位与电压是有区别的,电位是相对值,与参考点的选择有关,电压是绝对值,与参考点的选择无关。在计算未知电压和电流时,应先标明该电压和电流的正方向(参考方向),再根据计算结果,确定实际方向。关于电流和电压的方向,几点说明如下:

① 电流、电压的参考方向可以任意选定。电流的参考方向用箭头表示;电压的参考方向除用极性“+”、“-”外,还用双下标或箭头表示。但一经选定,在电路分析计算过程中这些参考方向就不允许再改变。

② 计算电路时,要首先标出参考方向再进行计算,在电路图中所标电压、电流、电动势的方向,一般均为参考方向,而不是指实际方向。

③ 一般地讲,同一段电路的电流和电压的参考方向可以各自选定。但为了分析方便,对于电路中的一个元器件,常选定该元件的电流参考方向与电压参考方向一致,称为关联参考方向;如果选定电流参考方向与电压参考方向相反,称为非关联参考方向,如图 1-5 所示。对于某个元件来说,关联参考方向就是电流从元件的高电位流向低电位,或者说顺电流方向电位是降低的。

【例 1-3】 判断图 1-6 是否为关联参考方向?

解: 判断关联参考方向与 U 、 I 的具体正负值无关。故图(a)为关联,图(b)、(c)为非关联。

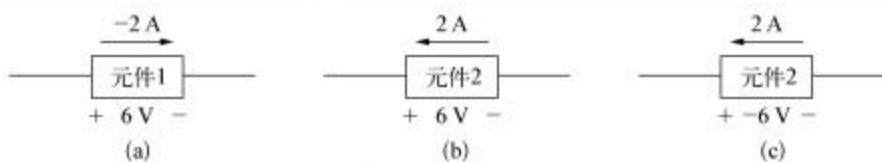


图 1-6 例 1-3 图

3. 电动势

在电路中,正电荷是受电场力作用下从高电位流向低电位的。因此电源内部要维持电路中的电流,就必须有把正电荷从低电位移至高电位的能力,电源的内部就存在非电场力。非电场力把单位正电荷从电源内部由低电位端移到高电位端所作的功,称为电动势,用字母 E 表示。电动势的实际方向在电源内部从低电位指向高电位,单位与电压相同,用 V (伏特)表示。

如图 1-7 所示,电动势是衡量电源作功能力的一个物理量,这和前面所述的电压是衡量电场力作功能力是相似的。它们的区别在于电场力能够在外电路中把正电荷从高电位端(正极)移向低电位端(负极),电压正方向规定为自高电位端指向低电位端,是电位降低的方向;而电动势能把电源内部的正电荷从低电位端(负极)移向高电位端(正极)。

电动势的实际方向规定为从低电位指向高电位,即由“-”极指向“+”极。

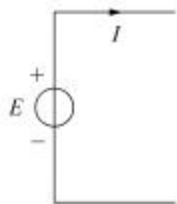


图 1-7 电动势

4. 功率

(1) 电能

能量是指做功的能力。能量既不能创造,也不会消亡,只能相互转换。电能的转换是在电流做功的过程中进行的。当已知设备的功率为 P 时,在 t 秒内消耗的电能

$$W = Pt$$

电能就等于电场力所作的功,单位是 J (焦耳)。在电工技术中,直接用 $W \cdot s$ (瓦特秒)作单位,日常生产和生活中电能(或电功)也常用 $kW \cdot h$ (千瓦小时)作单位,俗称 1 度电。

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

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1 \text{ kV} \cdot \text{A} \cdot \text{h}$$

1 度电的概念: 1 000 W 的电炉加热 1 h; 100 W 的电灯照明 10 h; 40 W 的电灯照明 25 h。

(2) 功率

功率表示能量转换的快慢,或者说做功的快慢。电功率表示电路元件消耗或提供电能的快慢。电能对时间的变化率,称为电功率,简称功率,也就是电场力在单位时间内所作的功。设电场力在 dt 时间内所作的功为 dW ,则功率表示为

$$p = \frac{dW}{dt} = ui$$

在直流电路中,用电设备的电功率 P 与电源的电压 U 、通过的电流 I 及负载电阻 R 的关系可表示为

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$$

电功率反映了电路元器件能量转换的本领。如 100 W 的电灯表示: 在 1 s 内该电灯可

将 100 J 的电能转换成光能和热能;电机 1 000 W 表明它在一秒钟内可将 1 000 J 的电能转换成机械能。

在国际单位制中,功率的单位是 W(瓦特),简称瓦,还可采用 kW(千瓦)和 mW(毫瓦)表示。它们之间的换算关系是

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

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

用电设备额定工作时的电压叫额定电压,额定电压下的电功率称为额定功率;额定功率通常标示在电器设备的铭牌数据上,作为用电器正常工作条件下的最高限值。通常情况下,用电器的实际功率并不等于额定电功率。当实际功率小于额定功率时,用电器实际功率达不到额定值;当实际功率大于额定功率时,用电器易损坏。

对任一个电路元件,当 $P > 0$ 时,说明元件消耗电能,元件吸收功率;当 $P < 0$ 时,说明元件对外提供电能,元件输出功率。

(3) 效率

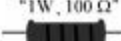
电气设备运行时客观上存在损耗 ΔP ,在工程应用中,常把输出功率 P_2 与输入功率 P_1 的比值称为效率,用“ η ”表示:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \times 100\%$$

提高电能效率能大幅度节约投资。据专家测算,建设 1 千瓦的发电能力,平均在 7 000 元左右;而节约 1 千瓦的电力,大约平均需要投资 2 000 元,不到建设投资的 1/3。通过提高电能效率节约下来的电力还不需要增加煤等一次性资源投入,更不会增加环境污染。所以,提高电能效率与加强电力建设具有相同的重要地位,不仅有利于缓解电力紧张局面,还能促进资源节约型社会的建立。

【例 1-4】一只标有“220 V,60 W”的电灯,当其两端电压为多少伏时电灯能正常发光?正常发光时电灯的电功率是多少?若加在灯两端的电压仅有 110 V 时,该灯的实际功率为多少瓦?额定功率有变化吗?

解:220 V,60 W;15 W,不变。

【例 1-5】已知碳膜电阻  “1W,100 Ω ”,该电阻允许最高电压是多少?允许通过的最大电流是多少?

解: $P = I^2 R \Rightarrow I_{\max} = 0.1 \text{ A}$, $U_{\max} = I_{\max} R = 10 \text{ V}$

三、电路的工作状态

1. 电气设备的额定值

电气设备长期、安全工作条件下的最高限值称为额定值。电气设备的额定值是根据设计、材料及制造工艺等因素,由制造厂家给出的设备各项性能指标和技术数据。按照额定值使用设备时,既安全可靠,又经济合理。它有如下几项:

① 额定电流(I_N)。电气设备长时间稳定运行时的允许电流,称为额定电流。

② 额定电压(U_N)。为了限制电气设备的电流并考虑绝缘材料的绝缘性能等因素,允许加在电气化设备上的电压限值,称为额定电压。

③ 额定功率(P_N)。在直流电路中,额定电压与额定电流的乘积就是额定功率,即

$$P_N = U_N I_N$$

电气设备的额定值都标在铭牌上,使用时必须遵守。例如,一盏电灯,标有“220 V, 60 W”的字样,表示该灯在 220 V 电压下使用,消耗功率为 60 W,若将该灯泡接在 380 V 的电源上,则会因电流过大将灯丝烧毁;反之,若电源电压低于额定值,消耗功率低于 60 W,灯光暗淡。电气设备不在额定条件下运行的危害:不能充分利用设备的能力;降低设备的使用寿命甚至损坏设备。

2. 电路的工作状态

电路的工作状态通常有负载(通路)状态、短路状态、断路(开路)状态三种情况。

(1) 负载(通路)状态

在图 1-8 所示的电路中, R_0 为电源内阻,当开关 S 闭合,使电源 U_s 与负载 R_L 接成闭合回路,电路处于通路状态。这时电路有如下特征:

① 电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L}$$

式中,当 U_s 与 R_0 一定时, I 值取决于 R_L 的大小。

② 电源端电压 U_{ab} 等于负载 R_L 两端的电压(忽略线路上的压降),为

$$U = U_s - IR_0 = IR_L$$

③ 电源输出功率 P_1 等于负载所消耗的功率 P_2 (不计线路上的损失),为

$$P_1 = UI = P_2$$

在实际电路中,当并联的用电设备增多时,等效电阻 R_L 就会减小,使得电源输出的电流和功率将随之增大,称之为电路的负载增大。所谓负载增大或负载减小,是指负载电流的增大或减小,而不是电阻值的增大或减小。

根据负载大小,电路在通路时又分为三种情况。当电气设备的电流等于额定电流时称为满载;当电气设备的电流小于额定电流时,称为轻载;当电气设备的电流大于额定电流时,称为过载。

(2) 断路(开路)状态

所谓断路,就是电源与负载没有构成闭合回路。即开关断开或连接导线折断时的开路状态,又称空载状态。开路可能在电路的供电回路,也可能在搭铁回路中。在图 1-8 所示的电路中,当 S 断开时,电路处于断路状态。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:

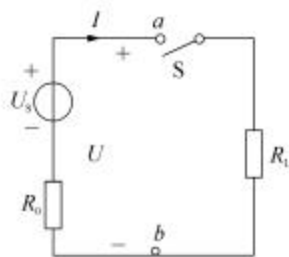


图 1-8 电路的有载与空载

- ① 电路中的电流为零,即

$$I = 0$$

- ② 开路电压 U_{ab} 等于电源端电压 U_s , 并且有

$$U_{ab} = U_s - IR_0 = U_s$$

- ③ 电源对外电路不输出电流,因此功率为零

$$P_1 = U_1 I = 0, P_2 = U_2 I = 0$$

(3) 短路状态

所谓短路,就是电源未经负载而直接由导线接通构成闭合回路。如图 1-8 所示的电路中,当电源两条输出端线由于绝缘层破损碰在一起或电器设备内部直接接通时,电源则被直接短路。当电源被短路时,本来流过负载的电流不再通过负载,而是经过短路的导体直接流回电源。电路具有如下特征:

- ① 电源内部的电流 I_s 最大,即

$$I_s = \frac{U_s}{R_0}$$

式中 I_s 称为短路电流。一般电源的内阻 R_0 都很小,所以 I_s 很大,大大超过额定值,造成电源及线路毁坏,甚至引发火灾事故。为防止发生短路事故,常在电源输出端安装熔断器或自动断路器,可在出现短路故障时快速切断电源,避免出现重大事故。

- ② 负载的端电压为零,即

$$U = 0$$

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 P_1 和负载所消耗的功率 P_2 均为零,即

$$P_1 = U_1 I = 0$$

$$P_2 = U_2 I = 0$$

$$P_{U_s} = \frac{U_s^2}{R_0} = I_s^2 R_0$$

【例 1-6】 电源的开路电压为 12 V, 短路电流为 30 A, 则电源的 $U_s = ?$, $R_0 = ?$

解: 电源电压 $U_s = 12$ V; 电源内阻 $R_0 = 12/30 = 0.4 \Omega$

【例 1-7】 一个额定值为 5 W、100 Ω 的电阻器,使用时最高能加多少伏电压,能允许通过多少安的电流?

解: $U = \sqrt{PR} = \sqrt{5 \times 100} \text{ V} = 22.5 \text{ V}$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{5}{100}} \text{ A} = 0.225 \text{ A}$$

【例 1-8】 有一盏“220 V 60 W”的电灯,问:

- ① 试求电灯的电阻；
 ② 求当接到 220 V 电压下工作时的电流；
 ③ 如果每晚用 3 h，问一个月(按 30 天计算)用多少电？

解：① 根据 $P = U^2/R$ 得

$$\text{电灯电阻 } R = U^2/P = 220^2/60 = 807 \Omega$$

② 根据 $I = U/R$ 或 $P = UI$ 得

$$I = P/U = 60/220 = 0.273 \text{ A}$$

③ 由 $W = Pt$ 得

$$W = 60 \text{ W} \times 60 \times 60 \times 3 \times 30 \text{ s} = 1.944 \times 10^2 (\text{J})$$

在实际生活中，电量常以“度”为单位，即“千瓦时”，对 60 W 的电灯，每天使用 3 h，一个月(30 天)的用电量为： $W = 60/1000 \times 3 \times 30 = 5.4$ 度。

任务二 认识电路基本元件

一、电阻元件

1. 电阻元件

电流通过导体时会受到一种阻碍作用，使得导体要消耗电能而发热。我们把物体(或材料)对电流的阻碍作用称为电阻，电阻是物体本身的一种性质。电阻产品实物及电阻元件图形符号如图 1-9 所示。

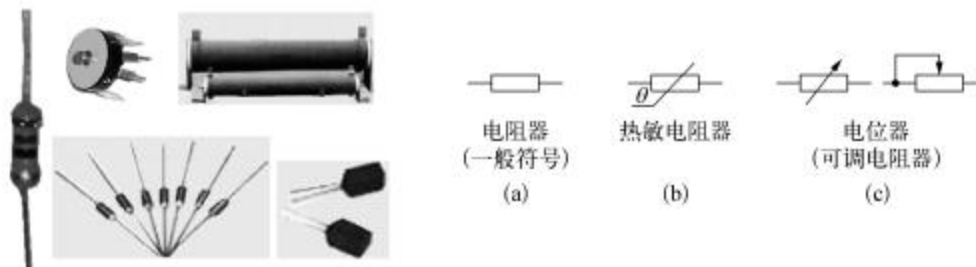


图 1-9 电阻产品实物与电阻元件图形符号

电阻元件的符号为 R ，单位是欧姆(Ω)，电阻分固定电阻和可调电阻两类。常用的电阻单位还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$)，他们之间的换算关系为

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 10^3 \text{ k}\Omega$$

所有的材料或导体都有一定的电阻值存在，只是它们阻止电流流动的能力即电阻率 ρ 的大小不同。且导体的电阻值不随其端电压的大小变化而变化，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