

模 块

基本直流电路

直流电路是学习电工技术和电子技术的基础,是物理现象与电学知识的基本融合。本模块结合电路的基本构成和电气物理参数进行了入门讲解,把物理学和本课程联系起来,起承前启后的作用。

学习单元一

电路的基本概念

▶▶▶ 引言

本学习单元主要介绍直流电路的基本组成及功能、电路的物理量、电路的基本状态等内容。通过对本学习单元的学习,学生能够对直流电路有个初步的认知,为后续课程的学习打下扎实的基础。

一、电路的组成及功能

1. 电路的概念

在电工电子技术中,为了更方便地分析和研究问题,可以将实际电路中的元器件抽象成理想化的模型,即在一定条件下突出其主要的电磁性质而忽略其次要因素,这种用理想电路元件来代替实际电路元器件构成的电路称为电路模型,简称为电路。电路的转换如图 1-1 所示。

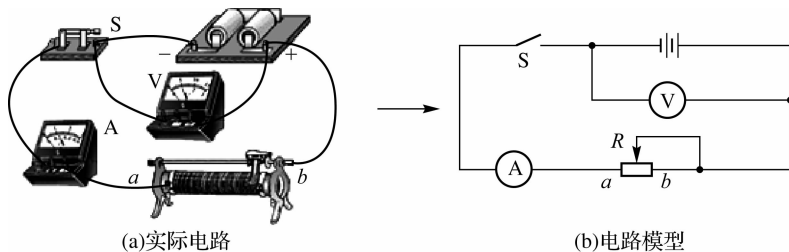


图 1-1 电路的转换





2. 电路的组成

电路也称为网络,是用一些电气设备或元件,按其所要完成的功能,以一定方式连接而成的电流通路。电路一般由电源、负载和中间环节三部分组成。

1) 电源

将其他形式的能量转换成电能的设备称为电源。例如,发电机、电池等,它们可以在电路中提供电能。电子线路中将提供信号的设备和器件称为信号源,作用相当于电源(弱电)。在电路分析中,电源分为电压源和电流源两种。

2) 负载

将电能转换成其他形式能量的装置称为负载。例如,电灯、电动机、电炉等,它们可以在电路中消耗电能。电子线路中接受和转换信号的设备也称为负载,例如,收音机和电视机里的扬声器和显像管。

3) 中间环节

连接电源和负载的部分称为中间环节。例如,连接导线、开关、变压器、放大器、保护电器、控制电器等。

3. 电路的功能

1) 输送、分配和转换电能

发电机等电源将水能、热能或其他形式的能量转换为电能,通过变压器、输电线等输送到各用户,在那里电能再被转换成机械能、光能等用户需要的能量,如图 1-2 所示。

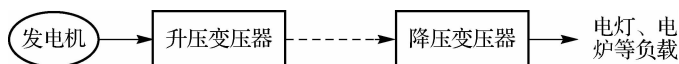


图 1-2 电能传送示意图

2) 转换、传递和处理信号

常见的信号处理电路有电视机、收音机等,它们的接收天线把音乐、图像等电磁波转换成相应的电信号,然后通过电路进行传递和处理(调谐、变频、检波和放大等),最后送到扬声器、显像管等负载,还原成原来的信息,如图 1-3 所示。

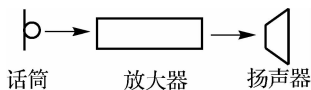


图 1-3 扩音器电路示意图

补充知识 电路图的概念

1. 电气的分类

人们习惯把电能分为强电(电力)和弱电(信息)两部分,两者既有联系又有区别。

1) 强电

强电的处理对象是能源(电力),其特点是电压高、电流大、功率大、频率低,电压通常为交流 380/220 V 及以上。强电电路包括供电工程、电机控制、家庭供电等。

2) 弱电

弱电的处理对象主要是信息,即信息的传送和控制,其特点是电压低、电流小、功率小、



动画
电路的组成



动画
不间断电源



频率高,电压通常为 36 V 及以下交、直流。弱电电路包括家用电器、医疗设备、机器人、电视工程、通信工程、消防工程、网络综合布线工程等。

2. 电气符号

电气符号是构成电路图的主要元素,电路图就是用一些规定的电气符号来反映电路的结构。下面所分析的都是简化后的电路图,各电路元件用规定的图形符号表示,如图 1-4 和图 1-5 所示。

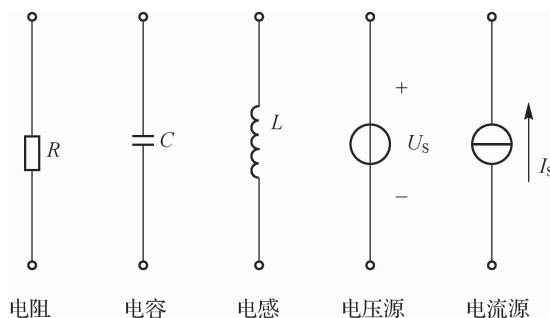


图 1-4 弱电电路元件的名称和图形符号

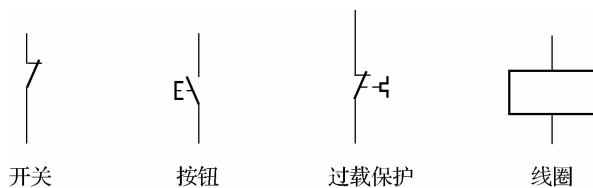


图 1-5 强电电路元件的名称和图形符号

3. 电路图的类别

电路图的种类很多,包括电工电路图、电子电路图、电气控制图等,其表现形式如图 1-6、图 1-7 和图 1-8 所示。

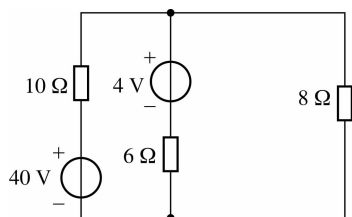


图 1-6 电工电路图

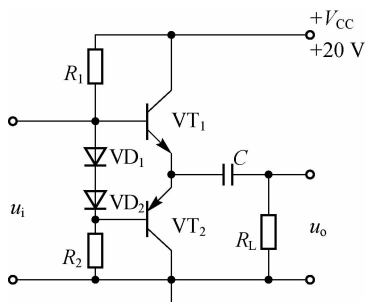


图 1-7 电子电路图



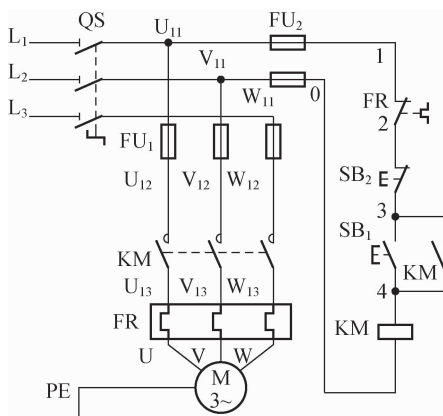


图 1-8 电气控制图

二、电路的基本物理量

1. 电流与电压

1) 电流

电荷的定向移动即形成电流,电流是单位时间内通过导体横截面的电荷量,如图 1-9 所示。

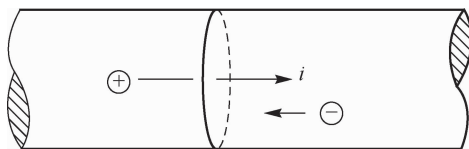


图 1-9 电流的示意图

如果电流随时间变化,用小写字母 i 表示,即

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

式中, i 为电流,A; dq 为通过导体横截面的电荷量,C; dt 为时间,s。

如果电流不随时间变化,是恒定的(直流),则用大写字母 I 表示,即

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

常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)等,它们之间的换算关系为 $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} = 10^6 \text{ mA} = 10^9 \mu\text{A}$ 。

2) 电压

带电体周围存在着电场,电荷在电场中会受到电场力,当电场力使电荷移动时(由 a 点移动到 b 点),电场力 F 就对电荷做了功,电荷移动所做的功被称为电压。

如果电压随时间变化,用小写字母 u 表示,即



视频
电流与电路



视频
电压



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

式中, u_{ab} 为 a 点到 b 点的电压, V; dW_{ab} 为正电荷 dq 由 a 点移动到 b 点所做的功, J。

如果电压不随时间变化, 是恒定的(直流), 则用大写字母 U 表示, 即

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

恒定电压产生的电场称为恒定电场, 交变电压产生的电场称为交变电场。在恒定电场中, 任意两点 a 、 b 之间的电压只与 a 、 b 两点(起点与终点)的位置有关, 而和电荷移动的路径无关。

常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V), 它们之间的换算关系为 $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu\text{V}$ 。

2. 电流与电压的方向

电流和电压都存在实际方向, 特别是交流电流和电压, 其实际方向总是瞬变的。电流的实际方向规定为正电荷移动的方向, 电压的实际方向规定为高电势端指向低电势端。为了便于电路分析, 可任意选定某一方向作为电流(或电压)的参考方向, 当参考方向与实际方向一致时, 电流(或电压)取正值, 其值大于零; 当参考方向与实际方向相反时, 电流(或电压)取负值, 其值小于零。

电路图中电流(或电压)的参考方向可以用带箭头的直线表示, 也可以用双下标表示, 如 I_{ab} 表示电流从 a 指向 b , 如图 1-10(a)和图 1-10(b)所示; U_{ab} 表示 a 点为高电势点, b 点为低电势点, 如图 1-10(c)和图 1-10(d)所示。

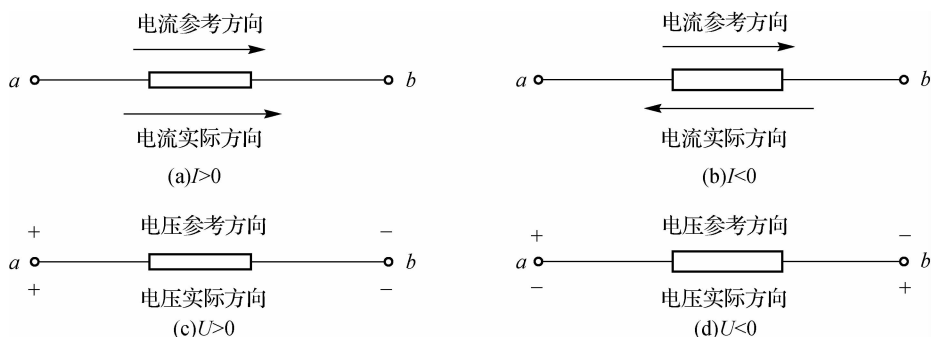


图 1-10 电流和电压的参考方向表示法

图 1-10 中, 电流(或电压)参考方向选定之后, 电流(或电压)值的正与负就决定了电流(或电压)的实际方向。

3. 电位与电动势

1) 电位

为了便于分析, 在恒定电场中选取某一点 O 为参考点, 规定参考点 O 的电位为 0 V , 即 $V_O = 0$ 。在电工电子技术中通常以大地作为参考点, 有些用电设备为了使用安全, 将机壳与大地相连, 称为接地, 用符号“ $\perp$ ”表示。电场力把单位正电荷 q 从电路中某一点 a 沿任意路径移动到参考点 O , 电场力所做的功, 称为 a 点的电位, 记为 V_a , 那么电路中任意一点的电位, 就是该点与参考点之间的电压。而电路中任意两点之间的电压, 则等于这两点电位之差, 即

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

电位具有相对性, 参考点可以任意选择, 因为各点的电位高低是相对于参考点而言的,





选取不同的参考点,电场中各点的电位值也就不同(电位可为正值或负值,某点的电位高于参考点,则为正,反之则为负),但是参考点一旦选定后,电场中各点的电位就只能有一个确定的数值。而电压具有绝对性,它的数值不随参考点的变化而变化,一旦 a 、 b 两点的位置确定,不管参考点如何变更, a 、 b 两点之间的电压只有一个数值。如 $U_{ab}=5\text{ V}$,当选择 a 为参考点时,则 $V_a=0, V_b=V_a-U_{ab}=-5\text{ V}$;当选择 b 为参考点时,则 $V_b=0, V_a=U_{ab}+V_b=5\text{ V}$ 。

例 1-1 电路中各参数如图 1-11 所示,当分别以 b 、 d 为参考点时,求另外点的电位和 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ac} 、 U_{ad} 和 U_{cd} 。

解 (1)以 b 点为参考点,即 $V_b=0$,有

$$V_a=0+7\times 2=14\text{ V}$$

$$V_c=0-3\times 6=-18\text{ V}$$

$$V_d=0-6\times 1=-6\text{ V}$$

则

$$U_{ab}=V_a-V_b=14-0=14\text{ V}$$

$$U_{bc}=V_b-V_c=0-(-18)=18\text{ V}$$

$$U_{ac}=V_a-V_c=14-(-18)=32\text{ V}$$

$$U_{ad}=V_a-V_d=14-(-6)=20\text{ V}$$

$$U_{cd}=V_c-V_d=-18-(-6)=-12\text{ V}$$

(2) d 点为参考点,即 $V_d=0$,有

$$V_a=6+7\times 2=20\text{ V}$$

$$V_b=0+6\times 1=6\text{ V}$$

$$V_c=6-3\times 6=-12\text{ V}$$

则

$$U_{ab}=V_a-V_b=20-6=14\text{ V}$$

$$U_{bc}=V_b-V_c=6-(-12)=18\text{ V}$$

$$U_{ac}=V_a-V_c=20-(-12)=32\text{ V}$$

$$U_{ad}=V_a-V_d=20-0=20\text{ V}$$

$$U_{cd}=V_c-V_d=-12-0=-12\text{ V}$$

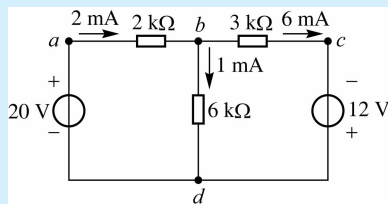


图 1-11 例 1-1 的电路各参数

2) 电动势

电动势是一个专门描述电源内部特性的物理量,常用 E (或 e)表示。由于电场力的作用,正电荷不断地从 a 极经过导体移动到 b 极,这样做必然会改变电荷的分布。 a 极的正电荷数不断减少,电位逐渐下降,而 b 极不断地得到从 a 极移来的正电荷,电位不断升高。随着时间的推移, a 、 b 两极之间的电位差将越来越小,它所产生的电场也就越来越弱,一旦 a 、 b 两极的电位相等,导体中便不再有电荷的移动。

为了维持导体中电荷源源不断的移动,以产生电流,必须要有一种外力克服电场力的作用从另一途径源源不断地把正电荷从低电位端(b 极)移到高电位端(a 极),使 a 极的电位升高,以保持导体中正电荷的不断移动,在电源内部就存在这种外力,称为电源力。电源力把正电荷从低电位端 b 经过电源内部移动到高电位端 a 所做的功就称为电源的电动势。



电动势是一个标量,但它和电流一样有规定的方向,即电源内部电动势 E 的方向规定为从低电位端指向高电位端。也就是说,当电动势为正数时,电动势的方向就是电位升高的方向。电动势数值的大小与电源的开路电压相等,单位也是 V ,因为当电源处于开路状态时,电源中没有电荷的移动,这时电场力与电源力相平衡,电场力和电源力对正电荷做功的能力相等。

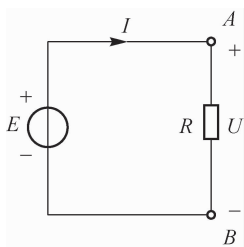


图 1-12 电阻消耗能量

4. 电功和电功率

1) 电功

电功是电流所做的功,电流做功的实质是把电能转换成其他形式的能。电场力推动电荷做功,发生了能量的转换,电源输出的能量消耗在负载上,转换成其他形式的能量,如图 1-12 所示。

在图 1-12 中,电流 I 和电压 U 参考方向一致,在时间 t 内电荷 Q 受电场力的作用从 A 点经负载移到 B 点,电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-6)$$

式中, W 为电功, J 。有时电功也用度(千瓦·小时)表示,1 度 = 1 千瓦·小时 = $3.6 \times 10^6 J$ 。

2) 电功率

电功率用来表示电流做功的快慢,电流在 1 s 所做的功称为电功率。电功率的表达式为

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-7)$$

式中, P 为电功率, W 。

常用的电功率的单位还有千瓦(kW)和毫瓦(mW),它们之间的关系为 $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$, $1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW}$ 。

3) 电功率的性质

在电路分析中,有时不仅要计算某元件电功率的大小,还要判断功率的性质,即该元件是输出功率(起电源作用)还是消耗功率(起负载作用)。在这里把电压和电流的参考方向一致定为关联参考方向,应用公式 $P = UI$ 计算功率;否则为非关联参考方向,应用公式 $P = -UI$ 计算功率;如图 1-13 所示。

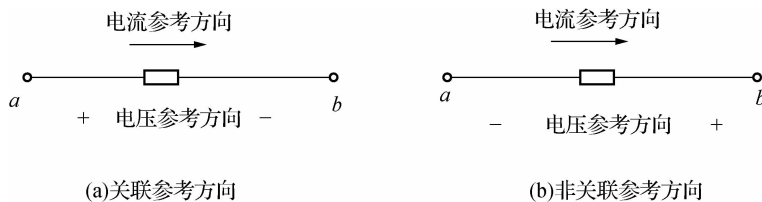


图 1-13 电流与电压的关系示意图

不管是上述情况的哪一种,如果最后得出的结果为 $P > 0$,表示该元件吸收功率,起负载作用;如果最后得出的结果为 $P < 0$,表示该元件发出功率,起电源作用。在任何一个完整的电路中,电源发出的总功率一定等于电路中各个负载吸收的总功率,即总功率为 0,符合能量守恒定律。



视频
电能和电功



视频
电功率





例 1-2 已知 $I_1=4\text{ A}$, $I_2=2\text{ A}$, $I_3=-2\text{ A}$, $R_1=10\ \Omega$, $R_2=20\ \Omega$, $E_1=10\text{ V}$, $E_2=90\text{ V}$, 参考方向如图 1-14 所示。

(1) 试求元件 ∞ 两端的电压 U_∞ , 并确定元件 ∞ 是电源还是负载。

(2) 确定电源 E_1 、 E_2 的实际状态。

(3) 判定此电路功率是否平衡。

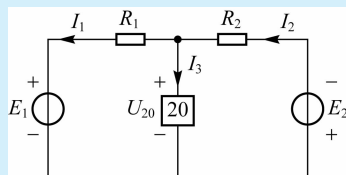


图 1-14 例 1-2 图

解 (1) $U_\infty = R_1 I_1 + E_1 = 10 \times 4 + 10 = 50\text{ V}$

$$P_\infty = U_\infty I_3 = 50 \times (-2) = -100\text{ W} < 0$$

U_∞ 与 $I_\infty (I_3)$ 为关联参考方向, 故 $P_\infty = U_\infty I_\infty$,

而 $P_\infty < 0$, 则可判定元件 ∞ 是电源。

(2) 如图所示, E_1 与 I_1 为关联参考方向, 则

$$P_{E_1} = E_1 \times I_1 = 10 \times 4 = 40\text{ W} > 0$$

即电源 E_1 实际作用为负载, 处于充电状态。

E_2 与 I_2 为非关联参考方向, 则

$$P_{E_2} = -E_2 I_2 = -90 \times 2 = -180\text{ W} < 0$$

即电源 E_2 实际作用为电源, 处于放电状态。

(3) 电阻上的总功率为

$$P_R = P_{R_1} + P_{R_2} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = 10 \times 16 + 20 \times 4 = 240\text{ W}$$

电路中消耗的总功率为

$$P_{\text{消}} = P_{E_1} + P_R = 40 + 240 = 280\text{ W} > 0$$

电路中发出的总功率为

$$P_{\text{发}} = P_{E_2} + P_\infty = -180 + (-100) = -280\text{ W} < 0$$

电路的总功率 $P_{\text{总}} = 0$, 故此电路功率是平衡的。

课堂实战

1. 电路中有 5 个元件, 电流、电压的参考方向标定如图 1-15 所示。已知 $U_1=-70\text{ V}$, $U_2=-30\text{ V}$, $I_3=2\text{ A}$, $I_4=4\text{ A}$, $U_5=60\text{ V}$ 。请说明 U_1 、 U_2 、 U_5 、 I_3 、 I_4 的实际方向。

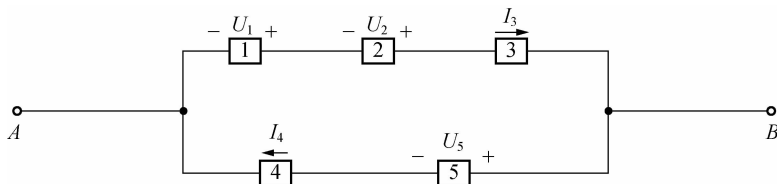


图 1-15 题 1 图



温馨提示

参考方向与实际方向是否一致,主要看最终结果的符号。

(1) U_1 的实际方向为:

(2) U_2 的实际方向为:

(3) U_5 的实际方向为:

(4) I_3 的实际方向为:

(5) I_4 的实际方向为:

2. 电路中电动势 $E_1=30\text{ V}$, $E_2=15\text{ V}$, 方向如图 1-16 所示。请说明 U_{AB} 的实际方向。

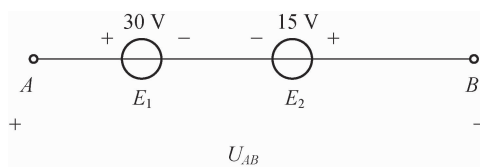


图 1-16 题 2 图

温馨提示

图 1-16 中电压 U_{AB} 的方向是参考方向,其实际方向取决于电动势 E_1 、 E_2 的和。

3. 图 1-17 为 U 、 I 关联和非关联状态。试说明电源是消耗功率还是发出功率。

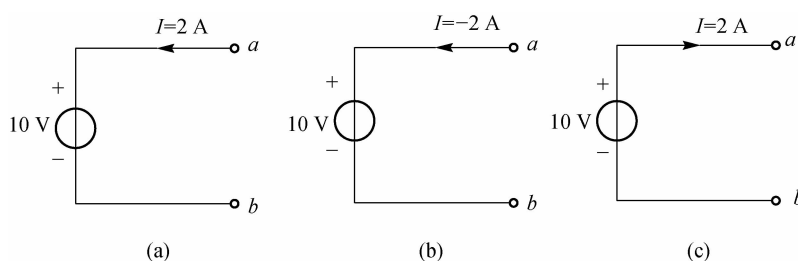


图 1-17 题 3 图





温馨提示

图 1-17(a)中, $U=10\text{ V}$, $I=2\text{ A}$, U 和 I 为关联参考方向,则 $P=UI=20\text{ W}>0$,所以此电源消耗功率,为充电状态。

图 1-17(b)中, $U=10\text{ V}$, $I=-2\text{ A}$, U 和 I 为关联参考方向,则 $P=UI=-20\text{ W}<0$,所以此电源发出功率,为向外供电状态。

图 1-17(c)中, $U=10\text{ V}$, $I=2\text{ A}$, U 和 I 为非关联参考方向,则 $P=-UI=-20\text{ W}<0$,所以此电源发出功率,为向外供电状态。

补充知识 电气设备的额定值

为了保证电气设备在使用年限内安全、可靠地运行,制造厂家给出了设备各项性能指标,对其电流、电压和功率设定了一个限额值,这个限额值就称为电气设备的额定值。电气设备的额定值主要有额定电流 I_N 、额定电压 U_N 和额定功率 P_N 。

1. 额定电流

电气设备长时间运行以致温度达到最高允许温度时的电流,称为额定电流。额定电流用 I_N 表示。

2. 额定电压

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,允许加在电气设备上的电压限值,称为额定电压。额定电压用 U_N 表示。

3. 额定功率

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 $P_N=U_N I_N$ 。额定功率用 P_N 表示。

电气设备的额定值都标在铭牌上,使用时必须遵守。例如,一盏日光灯,标有“220 V, 40 W”的字样,表示该灯在 220 V 电压下使用,消耗功率为 40 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;相反,若电源电压低于额定电压值,虽然灯泡仍能发光,但灯光比较暗淡。在额定范围内使用,才能保证用电设备的运行安全、可靠、经济、合理,并延长使用寿命。

在额定电压下,当负载的工作电流超过额定电流值时,称为超载或过载。相反,当负载的工作电流低于额定电流值时,称为欠载或轻载。当工作电流等于额定电流值时,称为满载。

实际使用时,白炽灯、电磁炉等设备,只要在额定电压下使用,其电流和功率都会达到额定值。但是对于电动机、变压器等设备,即使在额定电压下工作时,也有可能出现欠载或超载的现象。

学生

一台额定电流为 100 A 的发电机,只接了 60 A 的照明负载,其余的 40 A 的电流流到哪里去了?



老师

此发电机并非工作在额定工作状态,其实际输出电流就是 60 A。

三、电路的基本状态

电路在不同的工作条件下会呈现不同的工作状态,也有不同的特点。充分了解电路不同的工作状态和特点对安全用电与正确使用各种类型的电气设备是十分必要的。直流电路的状态包括有载状态、开路状态和短路状态三种。



图文
变压器

1. 有载状态

接通电源 U_S (内阻为 R_0) 和负载 R_L , 电路中产生电流 I , 即电路处于有载状态, 如图 1-18 所示。

有载状态的特点是电流在电路中形成闭合回路, 负载上有电压和电流, 存在功率消耗。



动画
电路的工作
状态

2. 开路状态

电路中开关 K 未闭合, 电路中没有电流。电路呈现开路状态 (或断路状态), 如图 1-19 所示。这时电源两端的端电压 U_{ab} (称为开路电压或空载电压) 等于电源的电动势, 因为没有负载消耗电能, 所以电源不能输出功率。

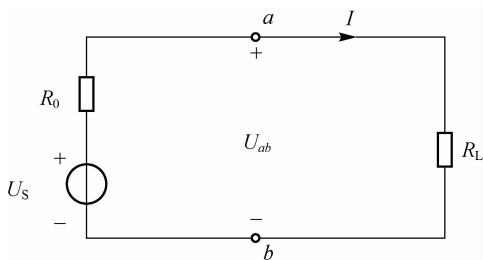


图 1-18 电路的有载状态

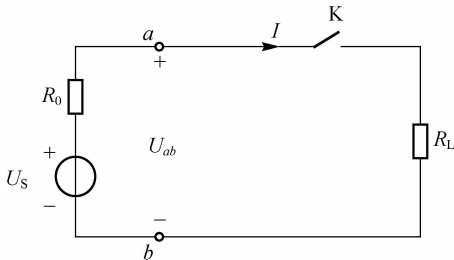


图 1-19 电路的开路状态

开路状态的特点是电路中没有电流, 负载上没有电压和电流, 不存在功率消耗。

3. 短路状态

电路中电源的两端 a 、 b 由于某种原因被一根导线连接起来, 这时电路所呈现的状态称为短路, 如图 1-20 所示。

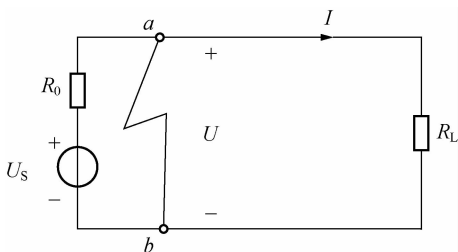


图 1-20 电源的短路状态





电源短路时,外电路的电阻可视为零,电路中的电流不再流过负载电阻 R_L ,而是通过短路导线 ab 直接流回电源。因为在电流的回路中只有很小的电源内阻 R_0 ,所以这时在电源电压作用下会产生极大的电流,这个电流被称为短路电流 I_S 。

电源短路状态的特点是负载两端的电压为零,电源也不输出功率,电源所产生的电能全部为内阻 R_0 所消耗,并转换成热能,使得电源的温度迅速上升导致损坏,并有可能引起电气火灾。



问题与思考

问题 1 电路中的基本物理量有哪些? 各有什么功能?

思考并回答:

.....

.....

问题 2 电路的基本状态有几种? 各有什么性质?

思考并回答:

.....

.....

电路中电位、电压的测定

实验目的

用实验证明电路中电位的相对性、电压的绝对性；
加深理解参考点及电压、电位参考方向的意义；
学习使用电压表、电流表，熟练使用万用表。

实验仪器与设备

可调直流稳压电源 2 台；
直流电压表 3 块；
直流电流表 3 块；
万用表 3 块；
电位、电压测定实验电路板 1 块；
连接线 1 组；
220 Ω 、470 Ω 电阻各 2 个；
1 k Ω 电阻 1 个。

实验内容

连接电路，确定各参考点；
根据参考点的不同测量各点电位，两点间电压。

实验预习要点

电压表、电流表的使用方法；
电位的测量；
电压的测量。

实验结果

根据实验数据，绘制电压、电位的变化图形；
计算各电位、电压值，并对误差做必要的分析；
总结电位相对和电压绝对的原理。

实验报告

填写实验日志；
记录实验数据；
计算电位、电压值。

实验考核评价

知识掌握考核；
能力操作考核；
职业素养考核。



学习单元二

电路中的基本元器件和欧姆定律

▶▶▶ 引言

本学习单元主要介绍电路中基本元器件的种类、性质以及在电路中的作用,同时介绍了直流电路中最基本的欧姆定律。通过对本学习单元的学习,学生能够对直流电路中的各类元器件有初步的认知,为后续课程的学习打下坚实的基础。

一、基本元器件

1. 电阻

金属导体中的自由电子在做定向运动时,要跟金属正离子频繁碰撞,每秒的碰撞次数高达 10^{15} 次,这些碰撞阻碍了自由电子的定向运动,表示这种阻碍作用的物理量称为电阻。任何物体都有电阻,常见的电阻如图 1-21 所示。

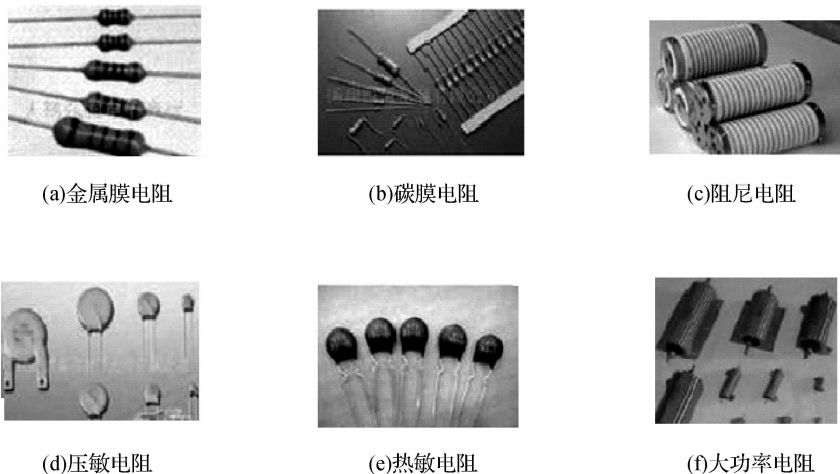


图 1-21 常见的电阻

在保持温度(如 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)不变的条件下,实验结果表明,电阻值的大小与电阻率、导体的长度、导体的横截面积有关,即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-8)$$

式中, R 为导体的电阻, Ω ; ρ 为电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; l 为导体的长度, m ; S 为导体的横截面积, m^2 。

常用的电阻单位还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$),它们之间的换算关系为 $1\text{ M}\Omega = 10^3\text{ k}\Omega = 10^6\text{ }\Omega$ 。

电阻通常分为线性电阻(伏安特性曲线为直线)和非线性电阻(伏安特性曲线为曲线)。常用电阻器类型表示为:RX 表示线绕电阻器、RT 表示碳膜电阻器、RJ 表示金属膜电阻器、



RS 表示实心电阻器。

例 1-3 一台电动机的线圈由直径 1.2 mm 的漆包铜线绕成,在 20 °C 时电阻为 1.61 Ω,求共用了多长的导线。(ρ=1.69×10⁻⁸ Ω·m)

解

$$S = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times (1.2 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2 \approx 1.13 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$l = R \frac{S}{\rho} = 1.61 \times 1.13 \times 10^{-6} / (1.69 \times 10^{-8}) \text{ m} \approx 108 \text{ m}$$

2. 电容

电容是电路中的基本元件之一,在各种电子产品和电力设备中有着广泛的应用。在电子技术中电容常用于滤波、移相、选频等电路,还能起到隔直、旁路等作用;在电力系统中电容可用来提高系统的功率因数。常见的电容如图 1-22 所示。

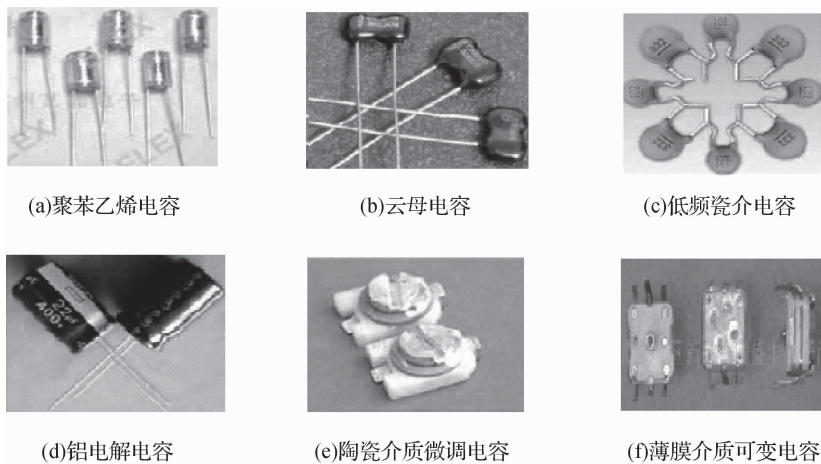


图 1-22 常见的电容

对于一定的电容,极板上所聚集的电荷与外加的电压成正比,如果比例系数是一常数,这种电容元件就是线性的,其比例系数就是电容的容量,简称电容。电容的大小为极板上聚集的电荷量 Q 与极板间电压 U 的比值,即

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-9)$$

式中, C 为电容,F。

常用的电容单位还有毫法(mF)、微法(μF)、纳法(nF)和皮法(pF),它们之间的换算关系为 1 F=10³ mF=10⁶ μF=10⁹ nF=10¹² pF。

3. 电感

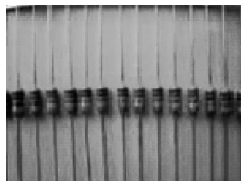
电感也是电路中的基本元件之一,在电子技术和电力系统中,常常可以看到用导线绕制而成的线圈,如收音机中的高频扼流圈、日光灯电路中的镇流器、电子电路中的扼流圈、电动机中的绕组等。常见的电感如图 1-23 所示。

当电感线圈中有电流通过时,线圈周围就建立了磁场,即有磁力线穿过线圈,形成封闭

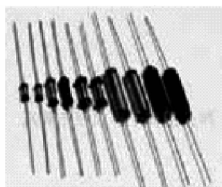




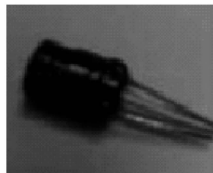
的磁力线。



(a)色环电感



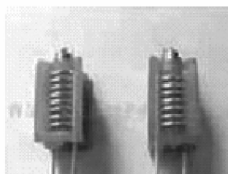
(b)卧式电感



(c)立式电感



(d)工字电感



(e)可调电感



(f)共模电感

图 1-23 常见的电感

磁链与磁通量通常是由通过线圈的电流 i 产生的,当线圈中无铁磁材料时,磁链 ψ 与电流 i 成正比,其比例系数定义为线圈的电感,比例系数为常数的电感又称为线性电感。电感可用符号 L 来表示,即

$$L = \frac{\psi}{i} \text{ 或 } \psi = Li \quad (1-10)$$

式中, L 为电感, H。

常用的电感单位还有毫亨(mH)和微亨(μH),它们之间的换算关系为 $1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH} = 10^6 \mu\text{H}$ 。

补充知识 基本元器件相关知识

1. 电阻的特性

温度不变时,用同种材料制成的横截面积相等而长度不相等的导线,导体的电阻 R 与它的长度 l 成正比;长度相等而横截面积不相等的导线,导体的电阻 R 与它的横截面积 S 成反比;导体的电阻率 ρ 通常是指在 20°C 时,长 1 m 、横截面积为 1 m^2 的某种材料的电阻值。

2. 电导的概念

电阻的倒数称为电导,用符号 G 表示,即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

由式(1-11)可见,导体的电阻越小,电导就越大,电导值大说明导体的导电性能良好。电导的单位是西门子(S),简称为西。

3. 电阻率的概念

电阻成型后,其电阻值固定不变。但由于温度的变化,电阻值可能会发生改变(导体的



视频
电阻器的检测





电阻率随温度的变化而变化)。特别是温度变化较大时,电阻值的变化就不可忽视了。例如,40 W 白炽灯的灯丝电阻在不发光时约为 $100\ \Omega$,正常发光时,灯丝温度可达 $2\ 000\ ^\circ\text{C}$ 以上,这时的电阻超过 $1\ \text{k}\Omega$ 。

4. 电阻的温度系数

温度每升高 $1\ ^\circ\text{C}$ 时电阻所变动的数值与原电阻值的比,称为电阻的温度系数,以字母 α 表示,单位为 $1/^\circ\text{C}$ 。如果在温度为 t_1 时,导体的电阻为 R_1 ,在温度为 t_2 时,导体的电阻为 R_2 ,则电阻的温度系数为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-12)$$

即
$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-13)$$

常用的导体材料在 $20\ ^\circ\text{C}$ 时的电阻率和温度系数可参照相关的技术资料。

5. 电阻的基本参数

电阻的基本参数有标称阻值、阻值误差、额定功率、最高工作温度、最高工作电压、静噪声电动势等。选用电阻时,一般只考虑标称阻值、阻值误差和额定功率,其他几项参数只有在特殊需要时才考虑。

(1)标称阻值。电阻的标称阻值是指电阻表面所标的阻值。例如,E24 系列中的 $1.5\ \Omega$ 、 $15\ \Omega$ 、 $150\ \Omega$ 、 $1.5\ \text{k}\Omega$ 、 $15\ \text{k}\Omega$ 等。

(2)阻值误差。实际阻值与标称阻值的差值除以标称阻值所得的百分数就是阻值误差。普通电阻的阻值误差一般为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

(3)额定功率。电阻接入电路后,通过电流时便会发热,如果温度过高就会被烧毁。通常,在规定温度和 $(9.6 \sim 10.4) \times 10^5\ \text{Pa}$ 的大气压下,电阻在交流或直流电路中能长期连续工作所消耗的最大功率称为额定功率。

6. 电阻的标注方法

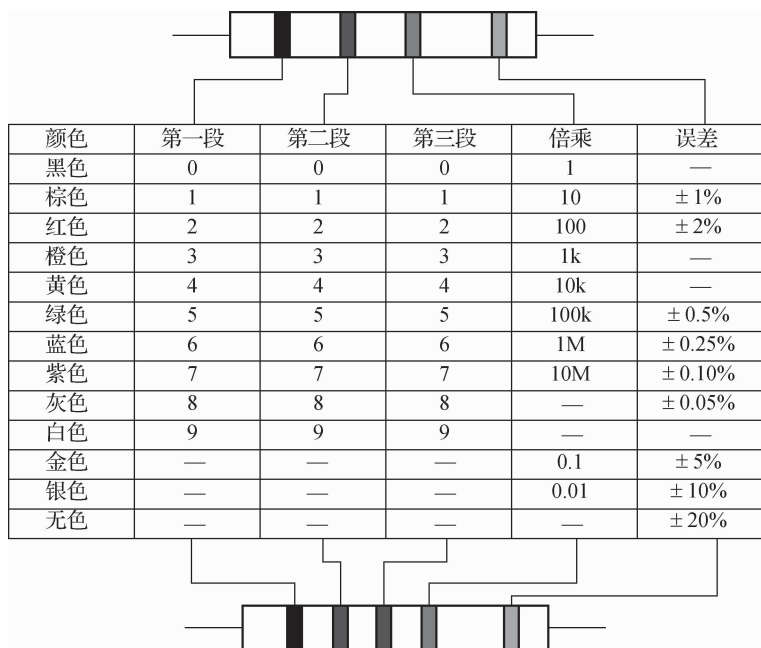
电阻的标称阻值、阻值误差、额定功率等参数一般用数字和文字符号直接标在电阻的表面上,称为直接标注法;也可用代表不同含义的颜色环表示,即色环标注法。

色环电阻是电子电路中最常用的电子元件,它是在普通电阻的封装上涂上不同颜色的色环,用来区分电阻的阻值。色环标注颜色醒目,标志清晰,不易褪色,从各方向都能看清阻值和偏差,有利于电气设备的装配、调试和检修,因此国际上广泛采用色环标注法。色环电阻的基本单位有欧姆、千欧和兆欧。

色环电阻可以分为四环和五环,自左至右进行识读,其色环属性说明如图 1-23 所示。

由图 1-24 可知,四环电阻前两环为数字,第三环表示阻值倍乘的数,最后一环为误差;五环电阻前三环为数字,第四环表示阻值倍乘的数,最后一环为误差。误差标注通常是金、银和棕三种颜色,金色的误差为 5% ,银色的误差为 10% ,棕色的误差为 1% ,无色的误差为 20% ,另外偶尔还有以其他颜色代表更精确一些的误差。





颜色	第一段	第二段	第三段	倍乘	误差
黑色	0	0	0	1	—
棕色	1	1	1	10	± 1%
红色	2	2	2	100	± 2%
橙色	3	3	3	1k	—
黄色	4	4	4	10k	—
绿色	5	5	5	100k	± 0.5%
蓝色	6	6	6	1M	± 0.25%
紫色	7	7	7	10M	± 0.10%
灰色	8	8	8	—	± 0.05%
白色	9	9	9	—	—
金色	—	—	—	0.1	± 5%
银色	—	—	—	0.01	± 10%
无色	—	—	—	—	± 20%

图 1-24 电阻色环属性说明

7. 电容的充、放电

设电容元件两端电压与电流为关联参考方向,当电容两端电压有 du 变化时,电容上的电荷量也必有相应的 dq 变化,则

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

电容中随时间变化的电压与电流的乘积称为瞬时功率,即

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-15)$$

当 $p > 0$ 时,说明电容是从外部电路消耗功率,这时电容充电,即把电能转换成电场能并存储在电容里;当 $p < 0$ 时,说明电容是向外部电路输出功率,这时电容放电,即把电场能转换成电能释放在电路里。这说明电容只是存储能量并进行能量的转换,理想的电容元件不消耗电能。电容充、放电曲线如图 1-25 所示。

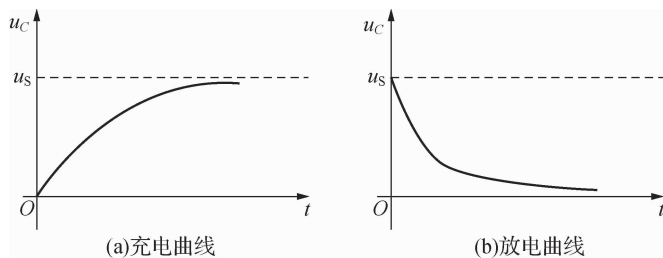


图 1-25 电容充、放电曲线



8. 电感的充、放电

理想电感元件的瞬时功率为

$$p=ui=Li\frac{di}{dt} \quad (1-16)$$

当 $p>0$ 时,说明电感元件是从外部电路消耗功率,这时电感元件充电,即把电能转换成磁场能并存储在电感元件里;当 $p<0$ 时,说明电感元件是向外部电路输出功率,这时电感元件放电,即把磁场能转换成电能释放在电路里。这说明电感元件只是存储能量并进行能量的转换,理想的电感元件不消耗电能。电感充、放电曲线如图 1-26 所示。

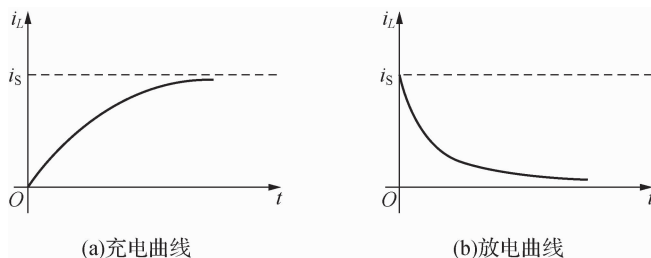


图 1-26 电感充、放电曲线



视频
电感器的检测



视频
电感器工作原理

课堂实战

1. 对应连线。



RJ



RS



RX



RT

2. 电阻值识读(色环电阻)。

(1) R_1 :阻值为 $3\ 300\ \Omega$,允许误差 $\pm 5\%$ 的电阻。画出该电阻的色环并标注颜色说明。

(2) R_2 :阻值为 $620\ \Omega$,允许误差 $\pm 10\%$ 的电阻。画出该电阻的色环并标注颜色说明。

(3)根据图 1-27 所示色环电阻 R_3 ,说明该电阻的电阻值及允许误差。

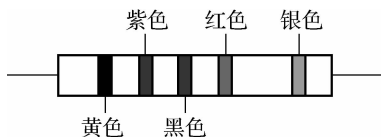


图 1-27 色环电阻 R_3





二、欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

1826年,德国物理学家欧姆通过实验总结出,线性电阻 R 两端所加的电压 U 与其通过的电流 I 成正比,如图1-28所示,即

$$U=RI \quad (1-17)$$

也可以写成

$$I=\frac{U}{R} \quad (1-18)$$

式(1-17)与式(1-18)中的电阻是一个与通过它的电流无关的常数,这样的电阻称为线性电阻,线性电阻上的电压、电流的相互关系遵守欧姆定律。当流过电阻上的电流或电阻两端的电压变化时,电阻的阻值也随之改变,这样的电阻就称为非线性电阻。

如果在电路的某一支路中不但有电阻元件,而且有电源,如图1-29所示,可先设定有关电压、电流的参考方向,再列出 a 、 b 两点之间的电压方程为

$$U_{ab}=R_1 I+E_1+R_2 I-E_2$$

经整理后,可得

$$I=\frac{U_{ab}+(E_2-E_1)}{R_1+R_2}$$

如果在电路中含有多个电阻和多个电源,那么,可以写出

$$I=\frac{\pm U \pm E}{\sum R} \quad (1-19)$$

式(1-19)中,当端电压 U 与电流 I 为关联参考方向时,端电压取“+”,反之取“-”;当电动势 E 与电流 I 的参考方向一致时,电动势取“+”,反之取“-”。

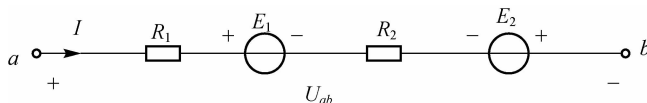


图 1-29 含有电源的支路

2. 全电路欧姆定律

一个包含电源、负载在内的闭合电路称为全电路,电源的内部一般都是有电阻的,这个电阻称为电源的内电阻,用 R_0 表示。开关 S 闭合时,负载 R_L 上就有电流通过,如图1-30所示,电流大小为

$$I=\frac{U_s}{R_0+R_L} \quad (1-20)$$

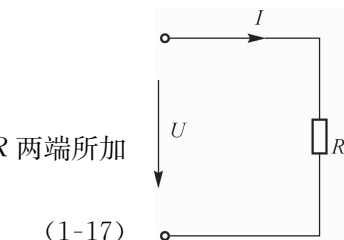


图 1-28 部分电路



微课
欧姆定律

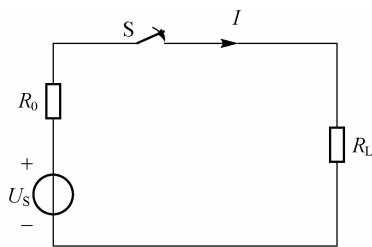


图 1-30 全电路

例 1-4 如图1-31所示,已知电源电压 $U=5\text{ V}$,内阻 $R_0=1\ \Omega$,外接负载 $R_L=4\ \Omega$,试计算开关 S 断开与闭合两种情况下的电压 U_{ab} 和 U_{cd} 。

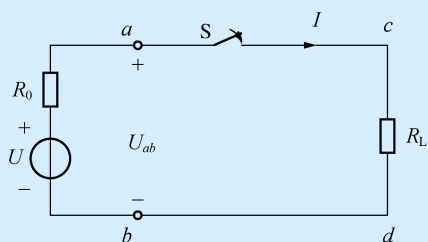


图 1-31 例 1-4 的电路图

解 (1) 开关 S 断开时, 电流 $I=0$, 根据欧姆定律, R_0 和 R_L 上的电压为 0 V , 可得到

$$U_{ab}=5\text{ V}, U_{cd}=0\text{ V}$$

(2) 开关 S 闭合时, 根据欧姆定律可得到

$$I = \frac{U}{R_0 + R_L} = \frac{5}{1+4}\text{ A} = 1\text{ A}$$

$$U_{cd} = U_{cd} = IR_L = 1 \times 4\text{ V} = 4\text{ V}$$



问题与思考

问题 1 电路中的基本元器件有哪几种? 性质分别是什么?

思考并回答:

.....

.....

问题 2 欧姆定律分为哪几种情况? 各自的性质是什么?

思考并回答:

.....

.....

学习单元三

电路的基本连接

▶▶▶ 引言

本学习单元详细介绍了电路中电池、电阻、电容及电感的串并联性质。通过对本学习单元的学习, 学生能够掌握这几种元件的串并联性质。





一、电池的连接

在实际应用中,常常需要有较高的电压或较大的电流,也就需要把几个相同的电池连在一起使用,连在一起使用的几个电池称为电池组。电池的基本接法有串联和并联两种。

1. 电池的串联

把第一个电池的正极和第二个电池的负极相连接,再把第二个电池的正极和第三个电池的负极相连接,这样依次连接起来,就组成了串联电池组,如图 1-32 所示。第一个电池的正极就是电池组的正极,最后一个电池的负极就是电池组的负极。

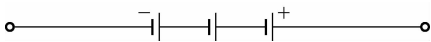


图 1-32 串联电池组

设串联电池组由 n 个电动势都是 E 、内电阻都是 R_0 的电池组成,则整个电池组的电动势为

$$E_{\text{串}} = nE \quad (1-21)$$

由于电池是串联的,电池的内电阻也是串联的,因此,串联电池组的内电阻为

$$R_{0\text{串}} = nR_0 \quad (1-22)$$

所以,串联电池组的电动势等于各个电池电动势之和,其内电阻等于各个电池内电阻之和。

串联电池组的电动势比单个电池的电动势高,因此,当用电器的额定电压高于单个电池的电动势时,可以用串联电池组供电,但是这时全部电流要通过每个电池,所以,用电器的额定电流必须小于单个电池允许通过的最大电流。

2. 电池的并联

把电动势相同的电池的正极和正极相连接,负极和负极相连接,就组成了并联电池组,如图 1-33 所示。并联在一起的正极是电池组的正极,并联在一起的负极是电池组的负极。

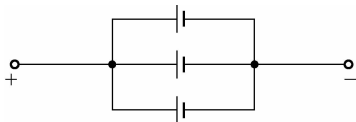


图 1-33 并联电池组

设并联电池组由 n 个电动势都是 E 、内电阻都是 R_0 的电池组成,则并联电池组的电动势为

$$E_{\text{并}} = E \quad (1-23)$$

由于电池是并联的,电池的内电阻也是并联的,所以,并联电池组的内电阻为

$$R_{0\text{并}} = \frac{R_0}{n} \quad (1-24)$$

由 n 个电动势和内电阻都相同的电池连成的并联电池组,其电动势等于一个电池的电动势,它的内电阻等于一个电池内电阻的 n 分之一。

并联电池组的电动势虽然不高于单个电池的电动势,但是每个电池中通过的电流只是全部电流的一部分。

二、电阻的连接

1. 电阻的串联

把两个或两个以上的电阻连接成一串,使电流只有一条通路的连接方式称为电阻的串联。两个电阻构成的串联电路,也可以用一个等效电阻来代替,



视频
串联电路和并
联电路





如图 1-34 所示。串联电阻的特点如下。

(1) 电路中流过每个串联电阻的电流都相等, 即

$$I_{\text{串}} = I_1 = I_2 \quad (1-25)$$

(2) 电路两端的总电压等于各电阻两端的电压之和, 即

$$U_{\text{串}} = U_1 + U_2 \quad (1-26)$$

(3) 电路中总电阻等于各串联电阻之和, 即

$$R_{\text{串}} = R_1 + R_2 \quad (1-27)$$

总电阻还等于总电压除以电流, 即

$$R_{\text{串}} = \frac{U_{\text{串}}}{I_{\text{串}}}$$

(4) 电路中各电阻上的电压与各电阻的阻值成正比, 即

$$\begin{cases} U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{cases} \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (1-28)$$

(5) 串联电路中, 电路的总功率 P 等于消耗在各串联电阻上的功率之和, 即

$$P = P_1 + P_2 \quad (1-29)$$

电阻串联应用十分广泛, 在实际工作中, 常常采用几个电阻串联的方法构成分压器, 使同一电源能供给几个不同的电压, 用小阻值电阻的串联来获得较大阻值的电阻。利用串联电阻的方法, 可以限制和调节电器中电流的大小, 但分压电阻上有一定的功率损耗, 若损耗太大, 将不采用这一方法。在电工测量中, 常用串联电阻来扩大电压表的量程, 以便测量较高的电压。

2. 电阻的并联

把两个或两个以上的电阻并列地连接在两点之间, 使每一电阻两端承受电压相同的连接方式称为电阻的并联。两个电阻构成的并联电路, 也可以用一个等效电阻来代替, 如图 1-35 所示。并联电阻的特点如下。

(1) 电路中的总电流等于流过每个并联电阻的电流之和, 即

$$I_{\text{并}} = I_1 + I_2 \quad (1-30)$$

(2) 电路中各电阻两端的电压相等, 并且等于电路两端的电压, 即

$$U_{\text{并}} = U_1 = U_2 \quad (1-31)$$

(3) 电路的总电阻的倒数, 等于各并联电阻的倒数之和, 即

$$\frac{1}{R_{\text{并}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-32)$$

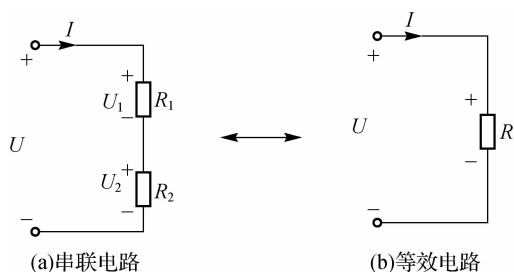


图 1-34 两个电阻构成的串联电路



视频
电阻串联

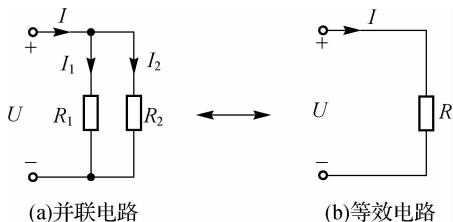


图 1-35 两个电阻构成的并联电路





总电阻还等于总电压除以电流,即

$$R_{\text{并}} = \frac{U_{\text{并}}}{I_{\text{并}}} \quad (1-33)$$

(4) 电路中各电阻上的电流与各电阻的阻值成反比,即

$$\begin{cases} I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{cases} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1-34)$$

(5) 并联电路中,电路的总功率等于各支路电阻消耗的功率之和,即

$$P = P_1 + P_2 \quad (1-35)$$

在并联电路中,各支路电阻上所消耗的功率与电阻值成反比,即电阻越小,消耗的功率越大。

并联电路的应用也是十分广泛的,凡额定电压相同的负载几乎全部采用并联,这样任何一个负载正常工作时都不影响其他负载,实际应用中可根据需要来接通或断开各个负载。

3. 电阻的混联

在实际电路中,既有电阻的串联、又有电阻的并联的连接方式,称为混联。对于混联电路的计算,就要根据电路的具体结构,按照串联和并联电路的定义与性质,进行电路的等效变换,画出等效电路图,把原电路整理成具有较为直观的串、并联关系的电路,最后再进行计算。

例 1-5 如图 1-36(a) 所示电路图,已知 $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = R_3 = R_4 = 4 \Omega$, 求 a 、 b 间的等效电阻值。

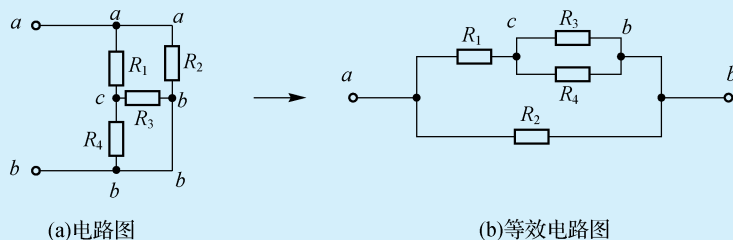


图 1-36 例 1-5 的电路图

解 将图 1-36(a) 所示电路进行整理,总电流在 a 点分成两路,一条支路经 R_1 到达 c 点,另一支路经 R_2 到达 b 点,在 c 点又分成两路,一条支路经 R_3 到达 b 点,另一支路经 R_4 也到达 b 点,并在 b 点与电阻 R_2 的电流汇合为总电流,画出的等效电路图如图 1-36(b) 所示。然后根据电路中电阻的串、并联关系计算出电路总的等效电阻。

$$\begin{aligned} R_{34} &= R_3 // R_4 = 2 \Omega \\ R_{134} &= R_1 + R_{34} = 4 \Omega \\ R_{ab} &= R_{1234} = R_{134} // R_2 = 2 \Omega \end{aligned}$$



视频
电阻并联



课堂实战

1. 如图 1-37(a) 所示, 已知 $R_1=R_2=1\ \Omega$, $R_3=R_4=R_5=R_6=2\ \Omega$, $R_7=4\ \Omega$, $R_8=3\ \Omega$, 电路端电压 $U_{AB}=12\text{ V}$ 。试求通过电阻 R_7 的电流和 R_7 两端的电压。

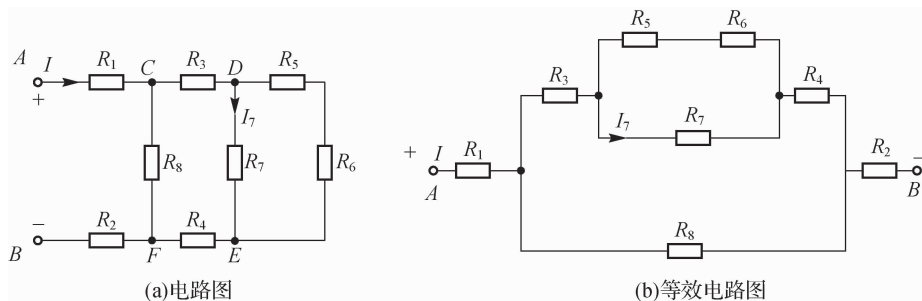


图 1-37 题 1 图

温馨提示

将电路图按电流的流向进行整理, 总电流通过电阻 R_1 后在 C 点分成两路, 一条支路经 R_8 到达 F 点, 另一支路经过 R_3 后到达 D 点, 然后又分为两路, 一条支路经 R_7 到达 E 点, 另一支路经 R_5 和 R_6 也到达 E 点, 电流在 E 点汇合后再经 R_4 到 F 点, 与刚才经 R_8 到达 F 点的电流汇合, 最后汇合成总电流再通过 R_2 点, 画出的等效电路图如图 1-37(b) 所示。

2. 如图 1-38(a) 所示电路中, 已知各电阻的阻值。求 a 、 b 之间的等效电阻。

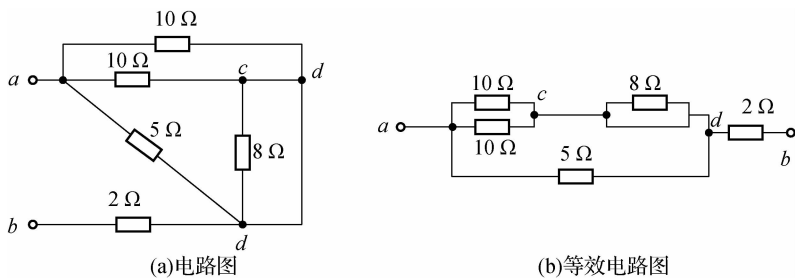


图 1-38 题 2 图

温馨提示

首先在电路图 1-38(a) 中, 给每一个连接点标注一个字母 (同一导线相连的各连接点只能用同一字母), 按顺序将各字母沿水平方向排列, 待求端的字母置于始终两端, 最后将各电阻依次填入相应的字母之间。





3. 依据以下电路图(见图 1-39),画出等效电路图。根据串并联电路性质,计算出 a 、 b 间的等效电阻。

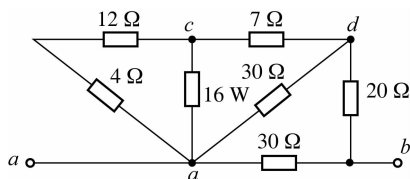


图 1-39 题 3 的电路图

三、电容的连接

1. 电容的串联

把两个或两个以上的电容连接成一串,使电荷分布到每个电容的极板上,这种连接方式称为电容的串联,如图 1-40 所示。多个电容构成的串联电路,也可以用一个等效电容来代替。

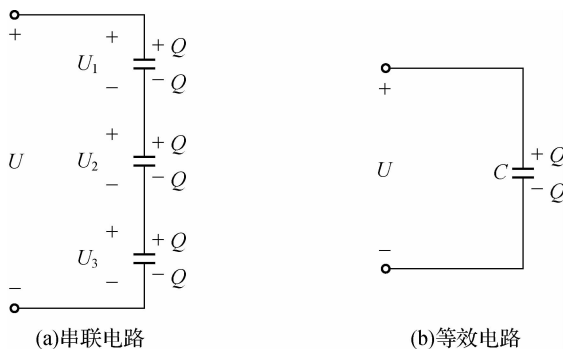


图 1-40 电容的串联

电容串联时,每个电容电荷量相等,但各电容器上两端的电压不等,有

$$Q=Q_1=Q_2=Q_3 \quad (1-36)$$

$$Q=C_1U_1=C_2U_2=C_3U_3, \text{ 即 } \begin{cases} U_1=\frac{Q}{C_1} \\ U_2=\frac{Q}{C_2} \\ U_3=\frac{Q}{C_3} \end{cases} \quad (1-37)$$

可知

$$U=U_1+U_2+U_3=Q\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\right)=\frac{Q}{C} \quad (1-38)$$

所以,电容串联时总电容量 C 与各电容之间的关系为

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3} \quad (1-39)$$

2. 电容的并联

把两个或两个以上的电容并列地连接在两点之间,使每一电容两端承受电压相同的连



接方式称为电容的并联,如图 1-41 所示。多个电容构成的并联电路,也可以用一个等效电容来代替。

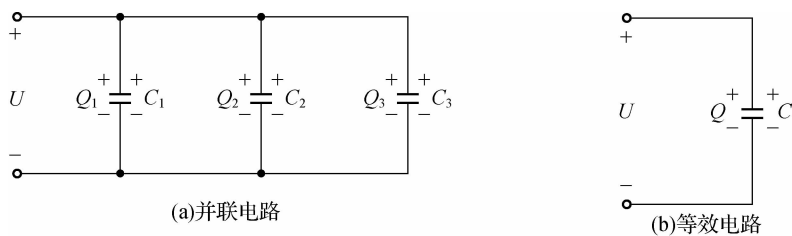


图 1-41 电容的并联

电容并联时,每个电容上两端的电压相等,各电容所存储的电荷量不同,它们从电源获得的总电荷量 Q 为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1-40)$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{U} = \frac{C_1 U + C_2 U + C_3 U}{U} \quad (1-41)$$

电容并联的等效电容量 C 与各电容的关系为

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1-42)$$

四、电感的连接

1. 电感的串联

把两个或两个以上的电感连接成一串,这种连接方式称为电感的串联,如图 1-42 所示。多个电感构成的串联电路,也可以用一个等效电感来代替。

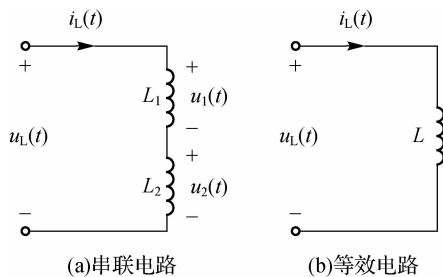


图 1-42 电感的串联

若有两个电感相串联,则其等效电感为

$$L = L_1 + L_2 \quad (1-43)$$

2. 电感的并联

把两个或两个以上的电感并列地连接在两点之间,使每一电感两端承受电压相同的连接方式称为电感的并联,如图 1-43 所示。多个电感构成的并联电路,也可以用一个等效电感来代替。



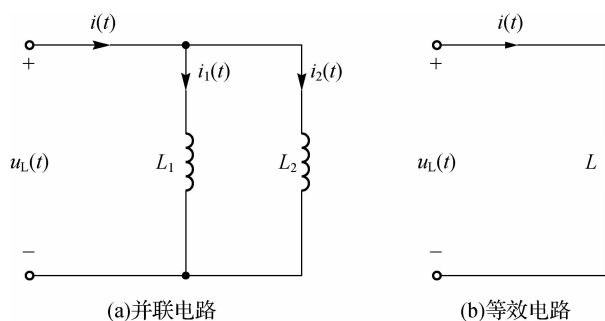


图 1-43 电感的并联

若有两个电感相并联,则其等效电感为

$$\begin{cases} \frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \\ L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \end{cases} \quad (1-44)$$

补充知识 电阻连接的等效变换

在电阻性电路中,有时候电阻的连接既不是串联也不是并联,那么就不能简单地用一个电阻来等效。例如,在图 1-44(a)所示的电路中,要计算电阻 R_{ab} 就不能直接用串、并联的方法。这时对电路加以改变,如将连接到 3 个节点 1、2、3 且构成三角形连接的电阻 R_{12} 、 R_{23} 、 R_{31} 变成星形连接,如图 1-44(b)所示,用星形连接的 3 个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 等效替换 R_{12} 、 R_{23} 、 R_{31} ,这样就可以利用串、并联的方法计算等效电阻 R_{ab} 了。

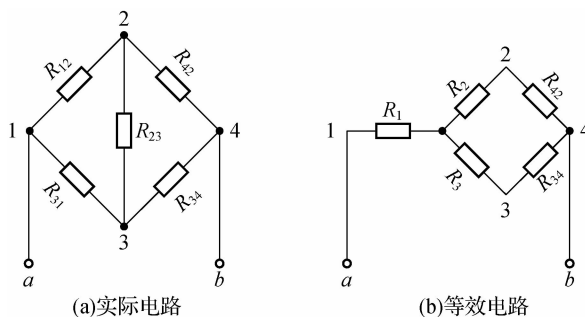


图 1-44 电阻的星形(Y形)连接与三角形(Δ形)连接的应用举例

怎样实现电阻的星形(Y形)连接和三角形(Δ形)连接的等效变换呢? 我们可以根据等效变换的概念来实现。在图 1-45(a)所示的电路中,3 个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 一端接到一个公共节点上,另一端与外电路 1、2、3 点相连,这样的 3 个电阻构成星形(Y形)连接;在图 1-45(b)所示的电路中,3 个电阻 R_{12} 、 R_{23} 、 R_{31} 分别连到外电路 1、2、3 点,构成一个三角形,这样的连接就称为三角形(Δ形)连接。两电路对外均连接在 1、2、3 节点上,这样若在两电路的对应端加上相同的电压 U_{12} 、 U_{23} 、 U_{31} ,且流入对应端的电流分别相等,即 $I_1 = I'_1$ 、 $I_2 = I'_2$ 、 $I_3 = I'_3$,则这两个电路就对外等效。

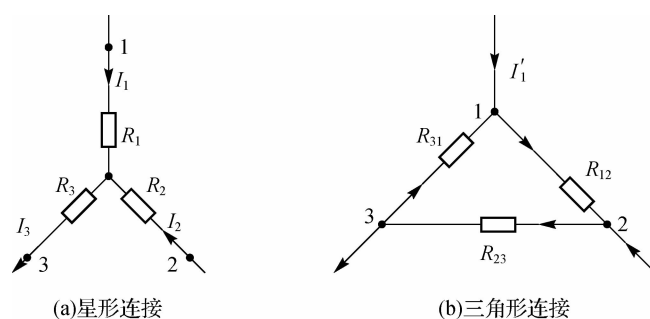


图 1-45 电阻的星形(Υ形)连接和三角形(Δ形)连接的电路图

(1)电路的星形(Υ形)连接等效变换成三角形(Δ形)连接时,有

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3}$$

$$R_{23} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}$$

$$R_{31} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}$$

可记为

$$R_{\Delta} = \frac{\text{Y形中两两电阻积的和}}{\text{Y形中相对的电阻}} \quad (1-45)$$

(2)电路的三角形(Δ形)连接等效变换成星形(Υ形)连接时,有

$$R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

可记为

$$R_Y = \frac{\Delta\text{形中相邻两电阻的积}}{\Delta\text{形中3个电阻之和}} \quad (1-46)$$

星形(Υ形)连接也称为 T 形连接,如图 1-46(a)所示;三角形(Δ形)连接也称为 Π 形连接,如图 1-46(b)所示。

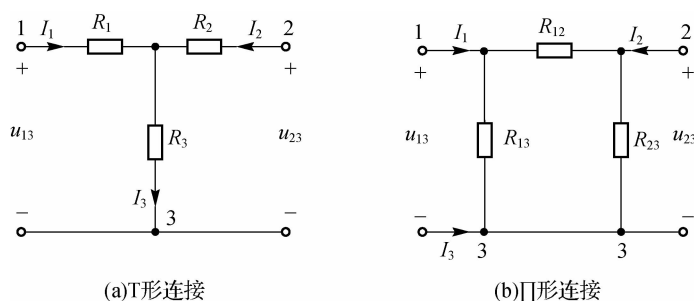


图 1-46 电阻的 T 形(Υ形)连接和 Π 形(Δ形)连接





例 1-6 在图 1-47(a)所示电路中,已知 $R_1=10\ \Omega$, $R_2=30\ \Omega$, $R_3=22\ \Omega$, $R_4=4\ \Omega$, $R_5=60\ \Omega$, $U_S=22\ \text{V}$, 求电流 I 。

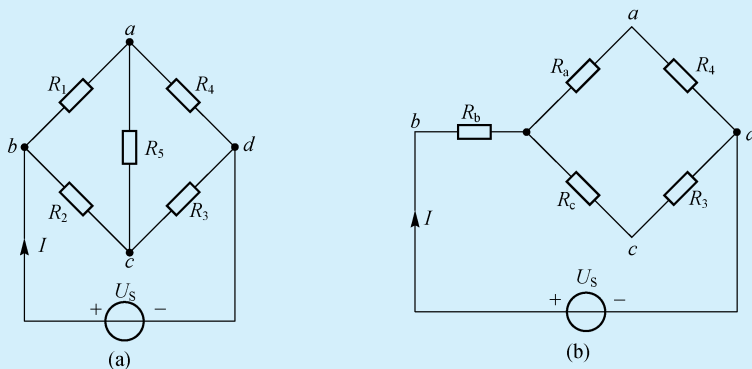


图 1-47 例 1-6 的电路图

解 图 1-47(a)所示电路中的 5 个电阻之间既不是串联也不是并联,既含有 $\triangle$ 形电路,又含有 Y 形电路,因此等效变换方案有多种,现仅选一种,如图 1-47(b)所示。根据三角形($\triangle$ 形)连接等效变换成星形(Y 形)连接的公式可得

$$R_a = \frac{R_1 R_5}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{10 \times 60}{10 + 30 + 60} \Omega = 6\ \Omega$$

$$R_b = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{10 \times 30}{10 + 30 + 60} \Omega = 3\ \Omega$$

$$R_c = \frac{R_2 R_5}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{30 \times 60}{10 + 30 + 60} \Omega = 18\ \Omega$$

再用串、并联的方法求出等效电阻 R_{bd} 。

$$R_{bd} = R_b + \frac{(R_a + R_4)(R_c + R_3)}{R_a + R_c + R_3 + R_4} = 3\ \Omega + \frac{(6 + 4) \times (18 + 22)}{6 + 18 + 22 + 4} \Omega = 11\ \Omega$$

则总电流为

$$I = \frac{U_S}{R_{bd}} = \frac{22}{11} \text{ A} = 2\ \text{A}$$



问题与思考

问题 1 电池、电阻的串并联性质有哪些?

思考并回答:

问题 2 电容、电感的串并联性质有哪些?

思考并回答:

电路中电阻的串、并联实验

实验目的

用实验证明电路中电阻串、并联的基本规律；
学习使用电压表、电流表，熟练使用万用表。

实验仪器与设备

可调直流稳压电源 2 台；
直流电压表 3 块；
直流电流表 3 块；
万用表 3 块；
电位、电压测定实验电路板 1 块；
连接线 1 组；
220 Ω 、470 Ω 电阻各 2 个；
1 k Ω 电阻 1 个。

实验内容

按电阻串联连接实验电路，并调整电源输出电压；
使用万用表分别测量各电阻的电压、电流值并记录；
按电阻并联连接实验电路，并调整电源输出电压；
使用万用表分别测量各电阻的电压、电流值并记录。

实验预习要点

电压表、电流表的使用方法；
电阻串联电路的基本性质；
电阻并联电路的基本性质。

实验结果

记录实验数据，验证电阻串、并联的性质；
计算各电压、电流值，并对误差做必要的分析；
计算出各电阻的功率。

实验报告

填写实验日志；
记录实验数据；
计算各电阻的电压、电流、功率值。

实验考核评价

知识掌握考核；
能力操作考核；
职业素养考核。



课堂思政

课堂教学过程是育人最主要的过程,也是教书育人最重要的途径。电工电子技术是一门面向高等工科学校非电类专业开设的一门技术基础课程,其应用非常广泛,发展也日益迅速,已经逐步渗透到其他学科领域,在我国社会主义现代化建设中具有重要的作用。

在本模块中,首先向学生介绍电不是发明而是发现,电灯、发电机的诞生等,引导学生感叹人类智慧的伟大,激发学生的创新意识和创造力,然后逐步认识基本概念和基本规律的重要性,明白“千里之行,始于足下”的道理。通过对电流、电压、功率等的数学描述,教会学生用哲学辩证的思维看待问题和处理问题,掌握正确的学习方法,培养逻辑思维与辩证思维能力,形成正确的世界观、人生观和价值观,勇敢地肩负起时代赋予的光荣使命,提高学生的思想政治素质。

模块小结

1. 电路按其作用通常由电源、负载和中间环节三部分组成。电路中的基本物理量包括电流、电压、电位、电动势、电功、电功率等。

2. 电流和电压包含瞬时值和恒定值,其方向也是变化的。电流和电压的参考方向是人为假定的,实际方向与参考方向相同,则 $I > 0$ (或 $U > 0$); 反之,则 $I < 0$ (或 $U < 0$)。电压和电流的参考方向一致定为关联参考方向,否则为非关联参考方向。

3. 电气设备的额定值通常是指额定电流、额定电压和额定功率。

4. 电路的状态包含有载状态、开路状态(正常开路和故障开路)、短路状态。

5. 电路中的基本元件包括电阻、电容、电感,其中,电阻为线性元件,电容和电感均为储能元件,电路中利用欧姆定律(部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律)实现简单的计算。

6. 电路的连接分电源连接(电池组)和负载连接,电池的连接有串联和并联。负载的连接电阻有串联、并联和混联;电容有串联和并联;电感有串联和并联。

7. 对于连接比较复杂的电气元件,可通过等效变换的方式进行简化,然后再进行分析和计算。电路中的功率分为消耗功率(负载)和输出功率(电源)。

模块检测

一、填空题

1. 电路一般由_____、_____、_____三个部分组成,它的功能有_____两种。

2. 阻值为 $2\ 700\ \Omega$ 、允许误差为 5% 的电阻,用色环法标注(四色环)时,从左到右分别是_____、_____、_____、_____。





3. 在电路中,如果 $I_{ab} = -8 \text{ A}$,则表示实际方向与参考方向_____,从_____指向_____。
4. 电位的大小与参考点的选择_____,电压的大小与参考点的选择_____。
5. 通过某个元件的电压为 12 V ,电流为 -3 A ,电压与电流为非关联参考方向,则此元件的功率为_____,在电路中是_____元件。

二、判断题

1. 电源电动势的大小由电源本身的性质决定,与外电路无关。 ()
2. 导体的长度和横截面积都增大一倍,其电阻值也增大一倍。 ()
3. 电阻两端的电压为 8 V 时,电阻值为 10Ω ;当电压升至 16 V 时,电阻值将为 20Ω 。 ()
4. 几个电阻并联后的总电阻值一定小于其中任一个电阻的阻值。 ()
5. 在电阻分压电路中,电阻值越大,其两端的电压就越高。 ()
6. 在电阻分流电路中,电阻值越大,流过它的电流就越大。 ()

三、选择题

1. R_1 和 R_2 为两个串联电阻,已知 $R_1 = 2R_2$,若 R_1 上消耗的功率为 2 W ,则 R_2 上消耗的功率为()。
A. 2 W B. 4 W C. 1 W D. 0.5 W
2. R_1 和 R_2 为两个并联电阻,已知 $R_1 = 2R_2$,若 R_1 上消耗的功率为 2 W ,则 R_2 上消耗的功率为()。
A. 2 W B. 4 W C. 1 W D. 0.5 W

四、计算题

1. 长 100 m 、截面积为 2 mm^2 的铜导线,在 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的电阻是多少?
2. 用色环法标注下列各电阻。
(1) $0.02 \Omega \pm 0.5\%$ (2) $205 \Omega \pm 1\%$ (3) $4.7 \text{ k}\Omega \pm 10\%$
3. 如图 1-48 所示,已知 $U_{2\Omega} = 2 \text{ V}$,求 U_{ab} 的大小。

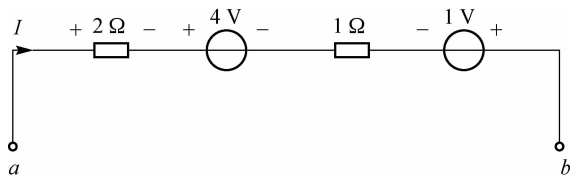


图 1-48 题 4-3 的电路图

4. 一台抽水机的电动机的功率为 2.8 kW ,每天运行 6 h ,一个月(30 天)消耗多少电能?
5. 一只“ $110 \text{ V}, 8 \text{ W}$ ”的指示灯,现在要接在 380 V 的电源上,要串联多大阻值的电阻?该电阻功率是多少?





6. 如图 1-49 所示, 已知电源电动势 $E_1=18\text{ V}$, $E_3=5\text{ V}$, 内阻 $r_1=1\ \Omega$, $r_2=1\ \Omega$, 外电阻 $R_1=4\ \Omega$, $R_2=2\ \Omega$, $R_3=6\ \Omega$, $R_4=10\ \Omega$, 电压表的读数是 28 V , 求电源电动势 E_2 和 A、B、C、D 各点的电位。

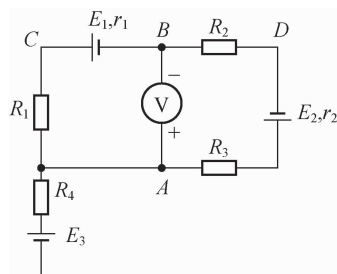


图 1-49 题 4-6 的电路图