

第2章 电的定义

学习目标

通过本章的学习,重点掌握电的基本概念,掌握电流、电位、电压、电动势、电阻的定义、作用、计算及单位换算等;同时要掌握欧姆定律、瓦特定律、焦耳-楞次定律、克希荷夫定律等。

“电”是电子从原子到原子的运动,如图2-1所示。例如有一过剩的正电荷(质子)位于左边,其中一正离子便拉最左边的外层电子离开原子。

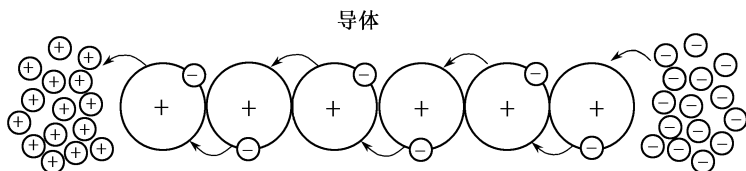


图2-1 电子从一原子到另一原子的运动

为了电子以同向移动,必须给它们施加电动势(EMF)。当导体原子中的电子受EMF作用时,在带负电的电子和带正电的原子核之间便出现不平衡的情况,EMF力图推电子离开它的轨道。如果一个电子离开它的轨道,此原子便带正电荷,因为此时它的质子比电子多了一个。此种行为便造成最左边的原子稍微带正电荷。不平衡的原子力图恢复到平衡状态,为此它便从别的、平衡的原子的轨道吸引电子。这便开始了好像一个原子捕捉一个电子,而别的原子释放一个电子那样的连锁反应。随着此种行为连续地发生,电子便从右边流到左边,这便形成自由电子的流动,从而产生电流。

在图2-1中,电子从负的地点流到正的地点。如果用电子的流动来描述电流的流动方向,这就是按电子理论规定的电流流动方向。可是,当负电荷从负流到正的同时,正电荷也以相反方向在流动。我们通常把正电荷的流动方向定为电流的方向。

用皮毛摩擦硬橡胶棒或用丝绸摩擦玻璃棒,它们相互之间有自由电子得失。摩擦前,二者均为中性,摩擦后便可吸起纸屑,这就是由于有了电荷的缘故。应注意摩擦起电并不是创造了电,只是电子从一个物体转移到另一个物体。

起电的方式有摩擦、化学反应、热、压力和磁。每当大量的电子流动或漂移时,便形成电流。

有8条管理电行为的定则:

(1) 电子互相排斥。

- (2) 同电荷者相斥。
- (3) 异电荷者相吸。
- (4) 仅当受到电动势的作用时,电子才在导线中流动。
- (5) 当电动势作用到导线时,导线便建立了电位差。
- (6) 仅当在导线两点之间存在电位差时,才有电子流动。
- (7) 在电路中,电流有流向地的倾向。
- (8) 定义最低电位的地点为地。

电的三要素是电压、电流和电阻。三要素相互支配着电的行为。读者一旦领悟了这些支配电的定则,了解各种汽车电气系统的功能和作用就不是难事了。

2.1 电 流

电流可以定义为电子流动的速率,如图 2-2 所示,也就说电荷的定向流动,即形成电流。

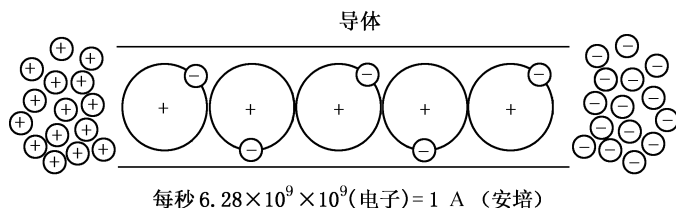


图 2-2 电子流动的速率称为电流

在金属导体内的电流是由于导体的内部自由电子在电场力的作用下有规则地运动而形成的;电解液中的正、负离子在电场力的作用下,各向相反的方向移动也形成电流。

电流是 1 s 内电子通过电路中任一给定点的量度。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。电荷的多少叫电荷量,电荷量用 q 表示,单位是 C(库仑,简称库), $1 \text{ C} = 6.24 \times 10^{18}$ 个电子电荷。电流用 I 表示,电流 I 的单位是 A(安培,简称安)。时间用 t 表示,时间 t 的单位是 s(秒),则得:

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

在汽车电气系统中,遇到的电流为几安,几十安甚至更大,如以 kA(千安)为单位计算,而在电子控制系统中经常遇到较小的电流,是以 mA(毫安)或 μA (微安)为单位计算的。它们之间的关系是:

$$1 \text{ A} = 10^{-3} \text{ kA} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

电流有以下三个作用:

- (1) 发热作用。电流流经导体时,则导体发热。例如电灯泡、汽车点烟器、热线引火塞等。
- (2) 化学作用。当电流在电解液中流动时,则产生化学作用。例如汽车用蓄电池、电镀等。
- (3) 磁作用。如果电流流过导线或线圈,在其周围将产生磁现象。电动机和发电机等就是这方面的例子。

电流有两类:直流电流和交流电流。

直流电流(DC),电流的大小和方向都不随时间变化。无论开关是接通还是断开,电压不变,电流流向也不变。汽车上用的是直流电。汽车蓄电池所产生和贮存的就是直流电。

交流电流(AC),电流的大小和方向都随时间作周期性变化。

交流电又分为正弦交流电和非正弦交流电两种。汽车上所用的交流发电机所发的电,未经整流时就是交流电,其波形为正弦波。

由于电子以光速流动,肉眼不可能看到电子流动,但可测量电路中电流的大小。为了具体了解电路中电流的大小,通常用电流表或万用表的电流挡来测量电路中电流的大小。具体测量方法及注意事项如下:

(1) 在测量前,应首先明确所测电路中的电流是交流电流还是直流电流。如果所测电路中的电流是交流电,应使用交流电流表;如果是直流电流就应使用直流电流表。有的万用表只有直流电流挡,因此只能测量直流电流。

(2) 合理的选用电流表的量程。首先粗略估计电路中电流的大小,以便选择电流表的测量范围。若用小量程去测量大电流,就会烧坏电流表;若用大量程去测量小电流,会影响测量的准确度。如果一时无法估计电流大小,挡位要宁大勿小,然后逐步缩小测量范围。

(3) 电流表必须串接在被测量的电路中。测量直流电流时,直流电流表的正极必须和电路电源的正极相接,负极必须和电路电源的负极相接,不可接反,否则电流表指针要反转,既影响正常测量,也容易损坏电流表,如图 2-3 所示。交流电流表则不分正负。

(4) 因为电流表的特点是内阻非常小,所以在使用电流表时,绝对不允许把电流表并接在负载或电源上,如图 2-4 所示,否则电路中的电压因电流表内阻小,形成短路,极易将电流表损坏。电流表的量程范围一定要超过电路的实际电流的数值。如发现表针猛打到头,要立即断开电源检查原因,以防损坏表头。

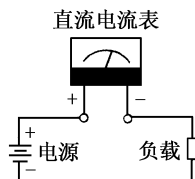


图 2-3 电流表的正确接法

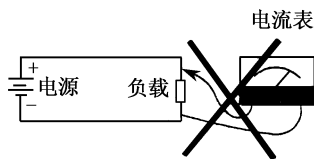


图 2-4 电流表的错误接法

例 1 对某一汽车蓄电池,以 2.5 A 的电流充电,如果充电 10 h,蓄电池吸取了多少电量?

解 蓄电池吸取的电量为:

$$q = It = 2.5 \text{ A} \times 10 \times 3600 \text{ s} = 9 \times 10^4 \text{ C}$$

例 2 如果 4 s 内通过导体截面的电量是 16 C,求通过导体的电流是多少? 如果通过导体的电流是 0.3 A,那么 5 s 内将有多少电量通过导体截面?

解 通过导体的电流为:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{16 \text{ C}}{4 \text{ s}} = 4 \text{ A}$$

5 s 内通过导体截面的电量为:

$$q = It = 0.3 \text{ A} \times 5 \text{ s} = 1.5 \text{ C}$$

2.2 电位、电压、电动势

1. 电位

物体处在不同的高度,具有不同的位能(势能);相对高度越大,位能就越大。人所共知,水总是从高的地方流向低的地方,也就是从高水位流向低水位;水位高的地方位能高,水位低的地方位能低。电也是如此,电荷在电路中各点所具有的能量一般也是不等的,把单位正电荷在某点所具有的能量,叫做该点的电位。正电荷从高电位流向低电位,而负电荷则是从低电位流向高电位。

通常用字母 V 来表示电位,如 a 点的电位记作 V_a , b 点的电位记作 V_b 。电位的单位是 V (伏特,简称伏)。

在一个电路中,要说某点的电位是多少,必须选择一个参考点,其他各点的电位都是相对于参考点的电位来说的,没有参考点来谈某点的电位大小是毫无意义的。

我们通常以大地作为电位的参考点(电子线路中一般以金属底板为参考点),把大地的电位规定为零电位。电路中某点接地,该点的电位就和大地的电位相同,电位也是零。某点的电位高于零电位,该点的电位为正,叫正电位;某点的电位低于零电位,该点的电位为负,叫负电位。

电路中选择参考点不同,各点的电位大小也不同,如图 2-5(a)中, A 点接地, $V_A = 0$; B 点的电位高于 A 点,是正电位, $V_B = 3V$; C 点的电位也是正电位, $V_C = 3V + 6V = 9V$ 。在图 2-5(b)中, B 点接地, $V_B = 0$; A 点的电位低于 B 点的电位, A 点是负电位, $V_A = -3V$; C 点的电位高于 B 点的电位, C 点是正电位, $V_C = 6V$ 。

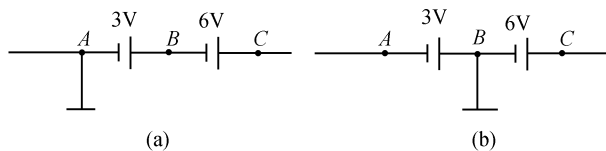


图 2-5 电位高低的比较

2. 电压

在导体内电荷的定向运动形成电流,它是在电场力的作用下实现的。为了衡量电场力对电荷做功的能力,引入电压这一物理量。电压可以理解为电的压力,如图 2-6 所示。

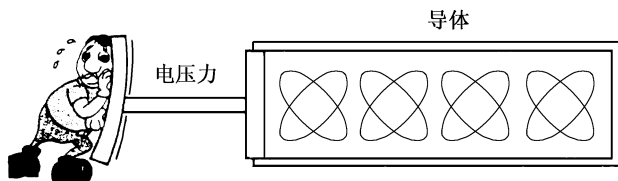


图 2-6 电压是引起电子移动的压力

在电路中, A 、 B 两点的电位差,称为 A 、 B 两点的电压,用 U_{AB} 表示。

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

提到电压必须是指两点间的电压,这和电位是两个不同的概念。

前面我们讲到,要描写电位的大小,必须要找一个参考点作为零电位,其他点的电位是相对参考点来讲的。某点电位的大小和参考点选择有关。而两点之间的电压是和参考点的选择无关的。例如在图 2-5(a)中, C 、 A 两点之间的电压为:

$$U_{CA} = V_C - V_A = 9 \text{ V} - 0 \text{ V} = 9 \text{ V}$$

在图 2-5(b)中, C 、 A 两点之间的电压为:

$$U_{CA} = V_C - V_A = 6 \text{ V} - (-3) \text{ V} = 9 \text{ V}$$

虽然选择了不同的参考点,但它们之间的电压是相同的。

如果把电压表跨接在汽车蓄电池两端,电压表会指示 12.6 V。这实际表明了有 12.6 V 的电位差,或者说,蓄电池一端与另一端的 0 V 相比有 12.6 V 的电压。在有电流流动的电路中,电路的任两点之间一定存在电压,只有电位降到零时电压才不存在。在图 2-7 中,点 A 和 C 、点 B 和 C 之间的电位差是 12 V,可是点 A 和点 B 之间电位差为零,因而 A 、 B 两点之间的电压为 0 V。

电压的方向规定为由高电位指向低电位,在电路中常以带箭头的细实线表示。

电压的单位是 V(伏特,用“伏”表示)。电场力把 1 库仑正电荷从一点移到另一点所做的功为 1 焦耳时,称该两点之间的电压为 1 伏特:

$$U = \frac{W}{q}$$

式中 W ——功,焦耳 (J);

q ——电量,库仑 (C);

U ——电压,伏特 (V)。

实际应用中,电压的单位还有 mV(毫伏)、 μV (微伏)和 kV(千伏),它们之间的换算关系为:

$$1 \text{ V} = 10^{-3} \text{ kV} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu\text{V}$$

一般室内照明电为 220 V 或 110 V;汽车电源有 6 V、12 V、24 V 三种;工厂动力电为 380 V;高压输电线有 10 kV、60 kV、110 kV、220 kV 几种;汽车蓄电池单格电压为 2 V;汽车发电机 12 V;云层闪电电压高达 10^8 V 左右;对人体,安全电压应不高于 36 V。所谓高压电在直流电系中指 550 V 以上,在交流电系中指 3 000 V 以上;所谓低压电在直流电系中指对地电压在 250 V 以下,在交流电系中指 110 V、220 V 以下。

在维修汽车电气系统故障时,经常需要测量电路中的电压。通常用万用表电压挡测量电路中的电压,具体测量方法及注意事项如下:

(1) 在测量前,应首先明确所测的电压是直流电压还是交流电压,正确选择挡位。如果测量直流电压,要将万用表的选择开关对准直流电压挡。如果测量交流电压,要将万用表的选择开关对准交流电压挡。

(2) 测量前,若不知该电路中电压的大小,量程的选择要宁大勿小,应从万用表电压挡的最大量程开始测量,防止因电压过高损坏表头。

(3) 万用表电压挡的特点是内阻很大,所以测量电路某两点间的电压时,应将万用表和被测量电路的该两点并联连接。测量直流电压时,万用表的正极红表笔应和电路中电压的正极

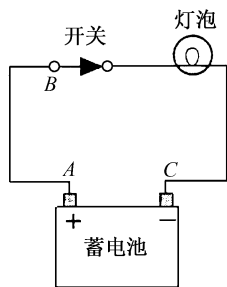


图 2-7 用简化的灯电路来说明电位差

相接,负极黑表笔应和电路的负极相接,不能接反,如图 2-8 所示。测量交流电压时则不分正、负极。

(4)在使用万用表测量电压时,一定要注意选择开关的位置,严禁把选择开关放在电流挡或欧姆挡的位置,否则极易损坏万用表。

3. 电动势

在直流电路中,我们把电源内部的正负极之间的电路叫内电路;把电源外部正负极之间的电路叫做外电路。整个电路是由内电路和外电路组合而成的闭合回路,如图 2-9 所示。

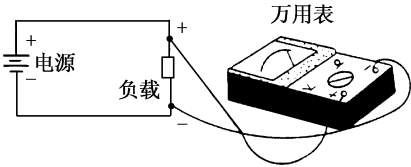


图 2-8 万用表测量电压的接法

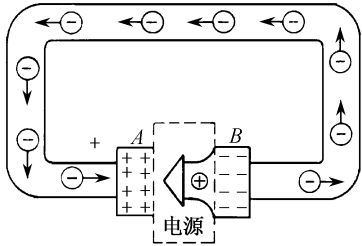


图 2-9 闭合回路示意图

在外电路中,由于电源的正极电位高于负极的电位,在正、负极之间存在着电位差,导线中也就存在着电场,导线中的自由电子在电场力的作用下,沿着导线由负极 B 移向正极 A ,在电路中便产生了电流。同时,在移动电荷的过程中,电场力对电荷做了功。由于电场力不断对电荷做功,不断将负极中的负电荷移到正极,把正极中的正电荷移到负极,这样一来就使 A 、 B 两极之间的电压愈来愈小,电场对电荷的作用力减弱,电流逐渐减小,最后直到 A 、 B 间的电压为零,电路中电流中断为止。

为了使电路能维持一定的电流,在内电路中,电源内部必须有一种力能克服电场力而使 B 端的正电荷移向 A 端,以保持 A 、 B 两极间具有恒定电压。电源就能产生这种力,称为电源力。在电池中就是电极和电解液进行化学反应时所产生的化学力;在发电机中就是电磁感应产生的电磁力。由此可知,在闭合回路图 2-9 中,其外电路,电场力对电荷做功,消耗了电能;其内电路,外力电源力对电荷做功,电能增加,使外电路消耗的电能得到了补充。

不同的电源,产生的电源力大小不同,对电荷做功的能力也不同。为了衡量电源对电荷做功的能力,我们把电源力将单位正电荷从电源负极端 B 经过电源内部移至正极端 A ,克服电场力所做的功称为电源的电动势。电动势用字母 E 表示,用公式表示为:

$$E = \frac{W'}{q}$$

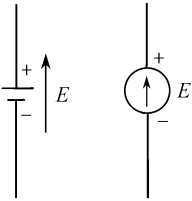


图 2-10 电源电动势的方向

式中 W' ——外力(电源力)对电荷做的功 (J);
 q ——外力(电源力)移动的电量 (C);
 E ——电源电动势 (V)。

不同的电源,电动势也不同。电动势的大小只取决于电源本身的性质,而和外电路无关。

必须注意,电动势的实际方向是从电源的负极经内电路指向正极,如图 2-10 所示。因此,电动势的实际方向与电压的实际方向相反。

2.3 电 阻

导体中的自由电子在做定向移动过程中,不断的相互碰撞,而且还要和组成导体的原子相碰撞,这种碰撞对电子的运动起阻碍作用,即表现为对电流的阻碍作用,因此我们称它为电阻。也就是说,电路中对电流通过有阻碍作用并造成能量消耗的部分叫电阻。

电阻用字母 R 或 r 表示。度量电阻大小的单位是欧姆,简称“欧”,用字母“ Ω ”表示。 $1\ \Omega$ 的定义是:如果在导体两端加 $1\ \text{V}$ 的电压,通过此导体的电流 $1\ \text{A}$,那么这个导体的电阻数值是 $1\ \Omega$,即

$$1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$$

当电阻很大时,也常用 $\text{k}\Omega$ (千欧)、 $\text{M}\Omega$ (兆欧)做单位,它们之间的换算关系为:

$$1\ \text{M}\Omega = 10^3\ \text{k}\Omega = 10^6\ \Omega$$

在汽车线路中,导线电阻的大小主要决定于导线的材料、长度、截面积和环境的温度。同样材料的导线,其电阻的大小与导线的截面积及长度有关。导线的截面积越大,也就是导线越粗,电阻就越小;导线越长,电阻就越大。例如对于长直金属导线,导线的电阻 R 与长度 L 成正比,与它的横截面积 S 成反比,且和导线金属材料的性质有关,用公式表示为:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 R ——导线的电阻 (Ω);

L ——导线的长度 (m);

S ——导线的截面积 (m^2);

ρ ——导线的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻率的大小,在数值上等于长度为 $1\ \text{m}$,横截面积为 $1\ \text{m}^2$ 的导线所具有的电阻值。因此,它只与导体材料的性质及温度有关,而和导体的几何尺寸无关。

在相同的温度下,不同的导体具有不同的电阻率,这是由于各种导体材料内部结构不同而引起的。对于同一种导体,当温度变化时,其电阻率也不同。金属导体的电阻率和温度的关系可近似为线性关系,当温度升高时,金属内部分子热运动加强,对电流的阻碍作用加大,电阻率就大,它们的关系可表示为:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

式中 T ——导体材料的温度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_0 ——参考温度 (常取作 $20\ ^{\circ}\text{C}$);

α ——导体电阻的温度系数 ($1/^{\circ}\text{C}$);

ρ_0 ——温度为 T_0 时的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$);

ρ ——温度为 T 时的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)。

对于不同的导体,温度系数 α 也是不同的。几种常见导体在 $20\ ^{\circ}\text{C}$ 时的电阻率和温度系数,如表 2-1 所示。

表 2-1 几种导电材料的电阻率和电阻温度系数

材 料 名 称	20 ℃ 时的电阻率 /($\Omega \cdot \text{m}$)	电阻温度系数 /℃ ⁻¹
银	1.6×10^{-8}	0.003 61
铜	1.72×10^{-8}	0.004 1
金	2.2×10^{-8}	0.003 65
铝	2.9×10^{-8}	0.004 23
钼	4.77×10^{-8}	0.004 79
钨	5.3×10^{-8}	0.005
锌	5.9×10^{-8}	0.003 9
镍	7.3×10^{-8}	0.006 21
铁	9.78×10^{-8}	0.006 25
锗	10.5×10^{-8}	0.003 98
锡	11.4×10^{-8}	0.004 38
铅	20.6×10^{-8}	0.004 1
汞	95.8×10^{-8}	0.000 9
康铜($w(\text{Cu}) = 54\%$, $w(\text{Ni}) = 46\%$)	50×10^{-8}	0.000 04
锰铜($w(\text{Cu}) = 86\%$, $w(\text{Mn}) = 12\%$, $w(\text{Ni}) = 2\%$)	40×10^{-8}	0.000 02
镍铬($w(\text{Ni}) = 80\%$, $w(\text{Cr}) = 20\%$)	111×10^{-8}	0.000 07
镍铬铁($w(\text{Ni}) = 60\%$, $w(\text{Cr}) = 18\%$, $w(\text{Fe}) = 22\%$)	110×10^{-8}	0.000 12

例 3 有一铜质导线,横截面积为 6 mm^2 ,全长为 600 m ,求其电阻值。若把导线拉长 1 倍(忽略拉长过程中的损失),求拉长后导线的电阻。

解 查表 2-1 知铜的电阻率为 $\rho = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

$$R = \rho \frac{L}{S} = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \times \frac{600 \text{ m}}{6 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 1.72 \Omega$$

若把导线拉长 1 倍,其截面积必然缩小 50%,因此有:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \times \frac{1\ 200 \text{ m}}{3 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 6.88 \Omega$$

由此可知,导线长度拉长一倍,电阻是原来的 4 倍。

测量电阻要使用欧姆表。在实际检修汽车电气系统故障时,常用万用表的欧姆挡来测量电阻值。下面以万用表为例,说明测量电阻的方法及注意事项。

1. 选择挡位

首先在万用表的欧姆挡上选择好适当的倍率挡,使测量中表头指针指示在中间部位。例

如要测量一只阻值在 $100\ \Omega$ 左右的电阻,固然可用 $R \times 1$ 的一挡来测量,但是使用这一挡,指针就靠近表头盘左侧高阻值的一端,读数刻度较密,读数时只要差一点,阻值就会差很多。因此,应改用 $R \times 10$ 挡检测,使指针转向表盘中间部分,便于准确读取阻值。

2. 调零

在测量电阻之前,应当将两表笔“短接”,并同时旋动“欧姆调零旋钮”,使表针指在“ Ω ”标度尺右侧端零位上,这就叫做调零。调零是保证测量准确必不可少的步骤。在每换一次欧姆挡测量电阻前,都要重复这一步骤。如果旋动“欧姆调零旋钮”也无法使指针达到零位,则说明万用表盒内装的干电池电压太低,应更换新电池。

3. 测量

在测量时,将两表笔并接在电阻的两端,如图 2 - 11(a)所示,即可测出电阻的阻值。注意,不要用手捏住电阻的两端,如图 2 - 11(b)所示,以免人体的电阻也并接在电阻上,影响测量准确性。

4. 决不能带电测量

测量电阻的欧姆挡是由表盒内装干电池供电的,因此在测量电阻时,决不能使电阻已带电进行测量,如图 2 - 12 所示。这是因为带电进行测量时,又相当于接入一个外加电压,不但使测量结果无效,而且很容易烧损表头,这一点必须特别注意。在测量某一部件上的电阻时,首先必须切断被测电路的电源,以确保电阻中没有电流通过,方可进行测量。同时,电路中的电阻需断开一端测量才能使测量准确。

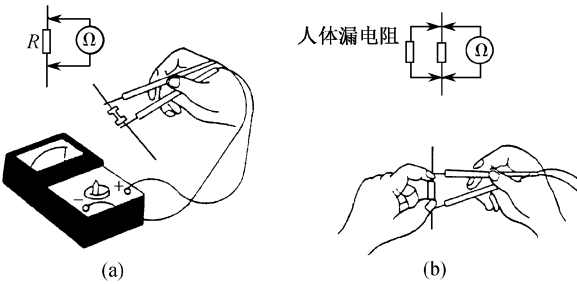


图 2 - 11 电阻的测量

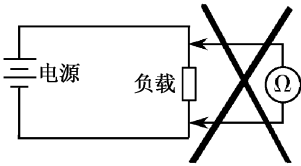


图 2 - 12 测量电阻的错误方法

2.4 欧姆定律

欧姆定律是确定电路中电流、电压和电阻之间关系的定律。欧姆定律是欧姆在 1827 年由实验发现的。欧姆定律公式可以用图 2 - 13 所示的三角形来表达,若已知其中两个值,便能求出第三个值。

欧姆定律是电学的基本定律,其内容是:流过电阻 R 的电流与电阻两端的电压成正比,与电阻成反比,可用下式表示:

$$I = \frac{U}{R}$$

式中 I ——电流 (A);

U ——电压 (V);

R ——电阻 (Ω)。

只要知道 I 、 U 、 R 三个物理量中的两个,就可以很方便地求出第三个量。以上公式还可以写为:

$$U = IR; \quad R = \frac{U}{I}$$

利用图 2-13 作计算:若已知电阻(R)和电压(U),遮住未知的电流(I),便看出此式,即电流等于电压被电阻除($I = U/R$)。图 2-14 示出简化的 12 V 灯光电路,这里的未知值是电流(I),灯泡的电阻为 3Ω ,遮住三角形中的 I ,则

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{3 \Omega} = 4 \text{ A}$$

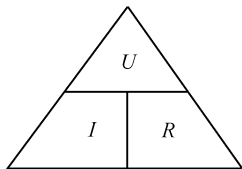


图 2-13 用三角形表达欧姆定律数学式

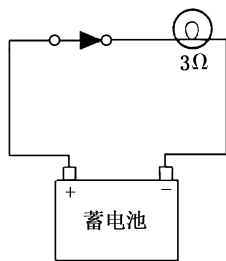


图 2-14 简化的灯光电路

汽车启动电动机电路,用 12 V 蓄电池,若启动电流为 200 A,则电阻值为:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ V}}{200 \text{ A}} = 0.06 \Omega$$

在应用欧姆定律计算时应注意以下几点:

(1) 欧姆定律是由金属导体得出的,所以它对金属导体是正确的。在真空管和半导体器件中的电流都不遵从欧姆定律。

(2) 各物理量的单位必须一致。即电流的单位是 A(安培),电压的单位是 V(伏特),电阻的单位是 Ω (欧姆)。

(3) 电流、电压和电阻必须都是属于同一个电路,特别是计算部分电路的时候,更应注意这一点。

2.5 瓦 特 定 律

电功率是分析电路时用到的又一个术语。电功率是用瓦特定律求得的。在研究电功率之前,我们先讨论电功。

电场力把电荷从一点移到另一点,电场力将对电荷做功,这样的功叫电功。电功常用字母 W 来表示。

如在图 2-15 中,电阻 R 两端加一个电压 U ,根据欧姆定律,电阻上将有电流 I 流过,这个电流是由电荷移动引起的,如果在 t 时间内,电场力将带有电量 q 的正电荷从 A 点移到 B 点,

电场力对电荷做的功为：

$$W = Uq$$

又因 $q = It$ ，所以上式可写成：

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

式中 W ——电功（J）；

U ——电阻两端的电压（V）；

I ——通过电阻的电流（A）；

R ——电阻（Ω）；

t ——时间（s）。

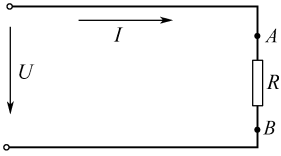


图 2-15 部分电路

电功的单位是焦耳（J）；1 J 就是在 1 V 电压下，电场力搬送 1 C 的电量所做的电功，即：

$$1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{C} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$$

电功的另一个常用单位是 kW · h（千瓦时），1 kW · h 就是我们常说的 1 度电，它和焦耳的换算关系为：

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

电场力在单位时间内做的电功叫电功率，电功率常以字母 P 来表示，根据以上电功的公式，电功率的公式可写为下列式子，这就是瓦特定律。

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

电功率的单位是 W（瓦）。规定在 1 s 内，电场力做 1 J 的功叫 1 W。在实际应用中还有 kW（千瓦），MW（兆瓦）。它们之间的换算关系为：

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

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

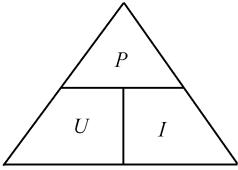


图 2-16 用三角形表达瓦特定律数学式

瓦特定律确定了电流、电压和电功率之间的关系，可用图 2-16 的三角形来表达三者之间的关系。遮住三角形中的未知值，便可获得计算公式。

以前述的 12 V、200 A 启动电流的启动电动机例子求电功率，为此，遮住三角形中的功率未知值（ P ），则

$$P = UI = 12 \text{ V} \times 200 \text{ A} = 2\,400 \text{ W}$$

如果给汽车增添附件，若附件的额定功率为 75 W，则附件的负载电流为：

$$I = \frac{P}{U} = \frac{75 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 6.25 \text{ A}$$

额定电工马力换成额定电功率：

$$1 \text{ 电工马力} = 746 \text{ 瓦（W）}$$

2.6 焦耳 – 楞次定律

电流通过导体时，电流克服导体的阻力而作了功，从而使导体分子热运动加剧，温度升高，

这说明电流对导体做的功转变为导体的热能。

事实证明,电流通过某段导体(或用电设备)时所产生的热量与电流的平方、导体的电阻及通电时间成正比,即:

$$Q = I^2 R t$$

式中 Q ——热量 (J);

I ——电流 (A);

R ——电阻 (Ω);

t ——通电时间 (s)。

这个关系式所确定的规律称为焦耳 - 楞次定律。

电流能使导体发热的现象,叫做电流的热效应。例如白炽灯、熔断器等,都是利用电流热效应原理制成的。但热效应也有不利的一面,因为各种电器设备都有一定的电阻,使用时电器设备温度会升高,若温度超过规定值时,会加速绝缘材料的老化变质,从而引起漏电或短路,直至烧坏设备。

为了使电器设备在正常的温度下运行,电器设备都规定有最大的功率,通常称为额定功率。在电压不变的情况下,也可以规定最大的允许电流,称为额定电流。电器设备的额定值一般标在产品的铭牌上,使用时不能超过其值。

电器设备运行是否正常,往往以设备的温度是否正常来判断。若超过一定的温度,会引起设备过载或局部短路,应停电检修后再用。

2.7 克希荷夫定律

分析与计算电路的基本定律,除欧姆定律外,还有克希荷夫定律。克希荷夫定律包括电流定律和电压定律。克希荷夫电流定律应用于节点,电压定律应用于回路。

1. 克希荷夫电流定律(KCL)

克希荷夫电流定律是用来确定一个节点上各支路电流之间关系的。由于电流的连续性,在电路任何点(包括节点在内)的截面上,均不能堆积电荷。因此,克希荷夫电流定律的具体内容如下:

在任一瞬间,流入某节点的电流 $I_{\text{入}}$ 之和等于从该节点流出的电流 $I_{\text{出}}$ 之和,即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

对于图 2-17 所示汽车常用电路来说,由节点 a 可以得到:

$$I_G + I_B = I_L$$

或将上式表示为:

$$I_G + I_B - I_L = 0$$

即

$$\sum I = 0$$

克希荷夫电流定律不仅适用于电路中的任一节点,而且还适用于电路中的任一封闭面。该封闭面称为广义节点,如图2-18所示电路。

封闭面包围的是一个三角形电路,它有 A 、 B 、 C 三个节点。应用电流定律可以列出:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

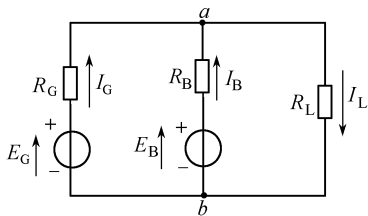


图 2-17 汽车常用电路

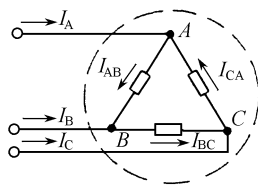


图 2-18 KCL 的推广应用

上列三式相加, 便得:

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

或

$$\sum I = 0$$

上式说明, 在任一瞬间, 通过任何一个封闭面的电流代数和也恒为零。它表示着流入封闭面的电流和流出封闭面的电流是相等的。

电流的正负号通常规定为: 参考方向指向节点的电流取正号, 背离节点的电流取负号。

2. 克希荷夫电压定律(KVL)

克希荷夫电压定律是用来确定回路中的各部分电压之间关系的。具体内容如下:

在任一瞬间, 对于电路中任一回路, 沿任一指定(顺时针或逆时针)方向绕行一周, 各部分电压的代数和恒等于零。即

$$\sum U = 0$$

为了应用 KVL, 必须指定回路的参考方向, 当电压的参考方向与回路的绕行方向一致时取正号, 反之为负号。

克希荷夫电压定律常与欧姆定律配合使用。如图 2-19 所示电路, 其电流的参考方向如图所示。

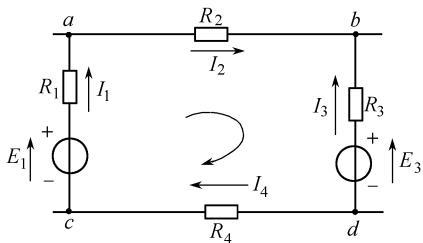


图 2-19 电路中的一个闭合回路

当沿回路 $abcdca$ 所示的顺时针方向绕行时, 由于 $U_{R1} = R_1 I_1$ 与绕行方向一致, 取正号。同理, U_{R2} 与 U_{R4} 与绕行方向也一致, 故也取正号, 而 $U_{R3} = R_3 I_3$ 的参考方向与回路绕行方向相反, 应取负号。

对于电动势, 其参考方向与回路绕行方向一致取负号, 如 E_1 ; 若与回路绕行方向不一致取正号, 如 E_3 。所以, 根据 KVL 可得:

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_3 I_3 + R_4 I_4 + E_3 - E_1 = 0$$

或

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_1 - E_3$$

上式写成普遍形式为:

$$\sum(RI) = \sum E$$

此式是克希荷夫电压定律的另一表示形式, 即在电路中, 在任一瞬间, 沿任一闭合路径电压降的代数和等于电动势的代数和。

本章小结

1. 电流

电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量, $I = q/t$, $1 \text{ A} = 10^{-3} \text{ kA} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \text{ }\mu\text{A}$ 。电流具有三个作用, 即发热作用、化学作用、磁作用。

2. 电位、电压、电动势

电位: 把单位正电荷在某点所具有的能量, 叫做该点的电位, 单位是 V。正电荷从高电位流向低电位, 负电荷从低电位流向高电位。

电压: 在电路中, 如 A、B 两点的电位差, 就称为 A、B 两点的电压, 单位是伏(V)。 $1 \text{ V} = 10^{-3} \text{ kV} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \text{ }\mu\text{V}$ 。电压的方向规定为由高电位指向低电位。

电动势: 电源力将单位正电荷从电源负极经过电源内部移至正极, 克服电场力所做的功称为电源的电动势。电动势的方向是从电源的负极经内电路指向正极。

3. 电阻

电路中对电流通过有阻碍作用并造成能量消耗的部分叫电阻。

度量电阻大小的单位是欧姆(Ω)。

导线的电阻 R 与长度 L 成正比, 与它的横截面积 S 成反比, 且和导线金属材料的性质有关, 用公式表示为: $R = \rho \frac{L}{S}$ 。

电阻率可表示为: $\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$

4. 欧姆定律

流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比, 与电阻 R 成反比, 可用公式表示为:

$$I = \frac{U}{R}。$$

5. 瓦特定律

电功: 在 t 时间内, 电场力将带有电量 q 的正电荷从 A 点移到 B 点, 电场力对电荷做的功为: $W = Uq$ 又因 $q = It$ 所以 $W = UIt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$, 电功的单位是焦耳(J)。

$$1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{C} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s} \quad 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

电功率: 电场力在单位时间内做的电功叫电功率。

电功率 P 可写成下列公式: $P = \frac{W}{t}$ 电功率的单位是瓦(W)。

瓦特定律: 电功率的公式 $P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$, 就是瓦特定律。瓦特定律确定了电流、电压和电功率之间的关系。

6. 焦耳 - 楞次定律

电流通过某段导体时所产生的热量 Q 与电流的平方、导体的电阻及通电时间成正比, 即

$$Q = I^2 Rt$$

7. 克希荷夫定律

克希荷夫电流定律: 在任一瞬间, 流入某节点的电流之和等于从该节点流出的电流之和,

即 $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$

克希荷夫电压定律:在任一瞬间,对于电路中任一回路,沿任一指定方向绕行一周,各部分电压的代数和恒等于零,即 $\sum U = 0$

思考与练习

一、填空题

1. 电流可以定义为电子流动的速率,也就是说电荷的_____,形成电流。
2. 电流有两类,即_____和_____。
3. 在一个电路中,要说某点的电位是多少,必须选择一个_____。
4. 在测量电路中的电压时,若不知该电路中电压的大小,量程的选择_____。
5. 导体电阻率的大小,只与导体材料的_____有关,而和导体的几何尺寸无关。

二、选择题

1. 5 A 等于_____ mA。
A. 5 000 B. 500 C. 50
2. 在测量电路中的电流时,电流表必须_____在被测量的电路中。
A. 并接 B. 串接
3. 电场力把 1 C 正电荷从一点移到另一点所做的功为 1 J 时,称该两点之间的电压为 1 _____。
A. 安培 B. 伏特 C. 欧姆
4. 1 电工马力为_____瓦(W)。
A. 360 B. 720 C. 746
5. 欧姆定律对_____是正确的。
A. 金属导体中的电流 B. 真空管中的电流 C. 半导体器件中的电流

三、计算题

1. 如图 2-20 所示电路,试用欧姆定律求 I 或 U 以及电阻吸收的功率。

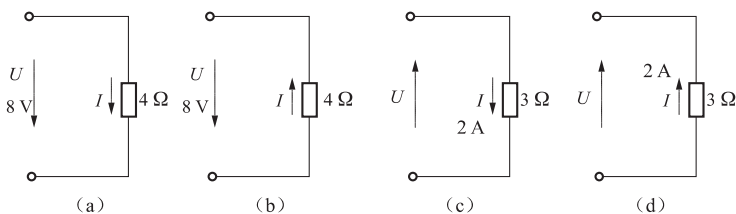


图 2-20 电阻电路

(a) 电路 a; (b) 电路 b; (c) 电路 C; (d) 电路 d

2. 一只 40 W、220 V 的白炽灯泡,一个月要消耗多少千瓦时电能? 每月按 30 天,每天以 4 小时计算。
3. 如图 2-21 所示电路,已知 $U_{ab} = 60 \text{ V}$, $U_{ca} = 80 \text{ V}$, $U_{da} = 30 \text{ V}$, $U_{cb} = 140 \text{ V}$, $U_{ab} = 90 \text{ V}$, 试求:

- (1) 当 $V_b = 0$ 时, a, c, d 各点的电位。
- (2) 当 $V_a = 0$ 时, b, c, d 各点的电位。
4. 如图 2-22 为电路中的某一节点 O , 试求 bo 支路中的电流 I_{bo} 。
5. 在图 2-23 所示电路中, 已知 $R_B = 20 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $E_B = 6 \text{ V}$, $U_S = 6 \text{ V}$, $U_{BE} = -0.3 \text{ V}$, 试求电流 I_B 、 I_2 及 I_1 。

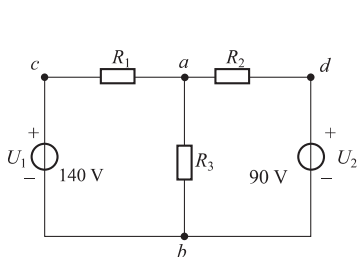


图 2-21 电路图

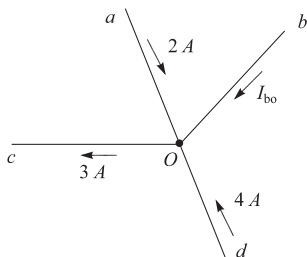


图 2-22 电路中的某一结点图

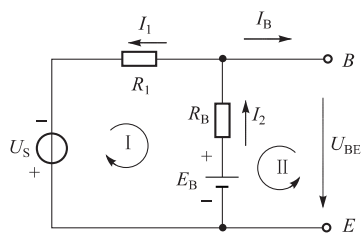


图 2-23 电路图

第3章 直流电路

学习目标

通过本章的学习,重点掌握直流电路的连接方式,即串联电路、并联电路和混联电路及其特点和计算方法。掌握戴维南定律。掌握电容器的知识及其计算方法。掌握电路的三种工作状态等。

电流是在一定的路径中流动的,这种提供电流流动的路径在电学上叫做电路。电路是不间断的,为使电流流动,电子必须有从源电压至负载部件,然后回到源电压的环形通路。汽车电路由电源、负载、开关和导线等四部分组成。

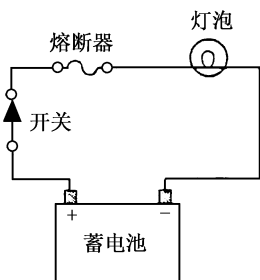


图 3-1 基本电路

图 3-1 所示的基本电路,包括接通或断开电路的开关、保险装置(熔断器)和负载。对于这个例子,随着开关闭合,电流便从蓄电池正极桩流经灯泡,然后从灯泡返回到蓄电池负极桩。要成为完整的电路,必须接通开关。开关的通、断,起到了控制电流流动与否的作用。开关装在灯泡搭铁边,或像图示那样装在灯泡不搭铁边,情况是一样的。

直流电路按连接方式的不同,又分为:串联电路、并联电路、串-并联电路。

从电源正端至负载部件,此段电路称为电路的不搭铁边,从负载至电源负端,此段电路称为电路的搭铁边。

3.1 串联电路

串联电路是在一条电流通路上将两个或更多的电阻(负载)依次首尾相接,且都通过同一电流。这种连接方式的电路称为串联电路,如图 3-2 所示。

如果电路中任一部件损坏,整条电路便瘫痪,因为从蓄电池正极出来的电流必须通过每个电阻(负载)才能返回搭铁。

串联电路的特点:

(1) 由电流的连续性原理可知,串联电路中的电流处处相同,即流过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流为同一电流,都等于电流 I 。

(2) 由克希荷夫电压定律可知,总电压(电压降)等于各个电阻上分电压之和,即:

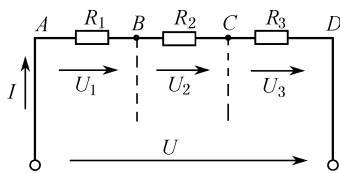


图 3-2 串联电路

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

式中 $U_1 = IR_1$; $U_2 = IR_2$; $U_3 = IR_3$ 。

同样,电路取用的总功率等于各电阻取用功率之和,即:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

(3) 串联电阻(负载)的总电阻,等于各分电阻之和,即:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

(4) 因为流过各串联电阻的电流 I 相同,所以每一个电阻上的电压和总电压之间的关系可表示为:

$$U_1 = \frac{R_1}{R}U; \quad U_2 = \frac{R_2}{R}U; \quad U_3 = \frac{R_3}{R}U$$

可见,每个电阻上分得的电压大小和电阻成正比,电阻越大,分得的电压越大;电阻越小,分得的电压越小,这就是串联电阻的分压原理。我们通常把 $\frac{R_1}{R}$ 、 $\frac{R_2}{R}$ 、 $\frac{R_3}{R}$ 的比值称为分压系数,它反映了电阻两端分得的电压之间的比例关系。

在实际工作中,电阻串联的应用十分广泛,例如,将电阻串联后可获得较大阻值的电阻;利用串联电阻构成分压器后可使一个电源供应几种不同的电压或从信号源中取出一定数值的电压;利用串联电阻的分压作用,可将额定电压较低的用电器联到电压较高的电路中使用;在电工测量中,可以利用串联电阻的方法来扩大电压表的量程。

图3-3是常用的一种分压电路。蓄电池电压 U 加在 R_1 和 R_2 组成的分压器两端, R_1 分得的电压 U_1 为:

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

在图3-4(a)串联电阻电路中,如果把 A 、 D 两点之间的串联电阻用它们的总电阻来代替,得到电路图3-4(b)。图3-4(b)和图3-4(a)效果是相同的,它们互为等效电路。总电阻 R 是三个串联电阻的等效电阻。

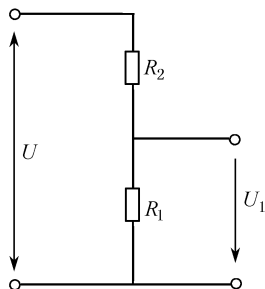


图3-3 分压电路

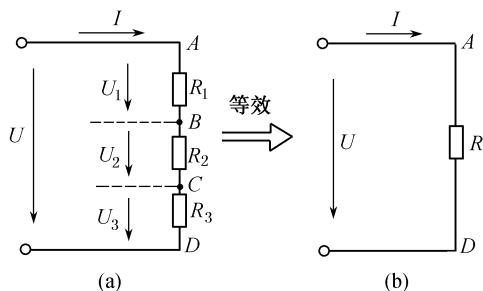


图3-4 串联电阻的等效图

(a)电阻的串联;(b)等效电路

解若干个电阻的串联电路时,可把电路化成它的等效电路再进行分析比较方便。

例1 在图3-4中,已知 $U = 20 \text{ V}$, $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 5 \Omega$ 。求:(1) 电阻中流过的电流大小;(2) 每个电阻两端的电压。

解 R_1 、 R_2 、 R_3 串联的等效电阻为:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 1\ \Omega + 4\ \Omega + 5\ \Omega = 10\ \Omega$$

电阻中流过的电流为:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20\ \text{V}}{10\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

每个电阻两端的电压为:

$$U_1 = IR_1 = 2\ \text{A} \times 1\ \Omega = 2\ \text{V}$$

$$U_2 = IR_2 = 2\ \text{A} \times 4\ \Omega = 8\ \text{V}$$

$$U_3 = IR_3 = 2\ \text{A} \times 5\ \Omega = 10\ \text{V}$$

例 2 有一个电流表,它能通过的最大电流为 I_g ,其内阻为 R_g ,它能测量的最大电压为 $U_g = I_g R_g$ 。根据串联电阻分压原理,要把它改成量程为 $U = nU_g$ 的电压表,应串联多大的电阻 R ?

解 为了把电流表的电压量程从 U_g 扩大到 $U = nU_g$,必须串联一个分压电阻 R ,使电流表两端的电压仍为 U_g ,其余的电压 $(n-1)U_g$ 降到外加电阻 R 上,如图 3-5 所示。这时电路中通过的最大电流仍为 I_g :

$$\begin{aligned} I_g R &= (n-1)U_g \\ &= (n-1)R_g I_g \end{aligned}$$

于是:

$$R = (n-1)R_g$$

因此,要把一个电流表的电压量程扩大 n 倍,只要串联一个 $R = (n-1)R_g$ 的分压电阻即可。例如,有一个内阻 $R_g = 500\ \Omega$,量程 $I_g = 1\ \text{mA}$ 的电流表,它所测量的最大电压:

$$U_g = I_g R_g = 1 \times 10^{-3}\ \text{A} \times 500\ \Omega = 0.5\ \text{V}$$

如果要把其电压量程扩大 10 倍,只要串联一个

$$R = (n-1)R_g = (10-1) \times 500\ \Omega = 4\ 500\ \Omega$$

的电阻即可。

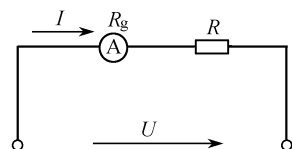


图 3-5 把电流表改装为电压表

3.2 并联电路

在电路中,如果有两个或更多个电阻分别连接在两个公共的节点之间,使每一个电阻承受同一电压,这种连接方式的电路称为并联电路,如图 3-6 所示。

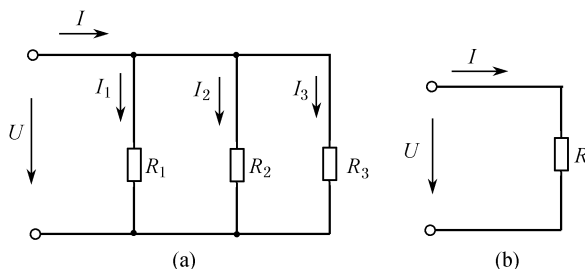


图 3-6 并联电路

(a)电阻的并联;(b)等效电路

在并联电路中,电流可以同时流过一个以上的电阻(图3-6)。对于此种电路,一条支路中的部件损坏,不会影响其他支路中的部件工作。

并联电路的特点:

(1) 并联电路中,各个电阻上的电压都相等,且等于电路两端的总电压,即:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

(2) 并联电路中的总电流等于各并联支路电流之和,即:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

(3) 并联电路总电阻的倒数等于各支路电阻的倒数之和,即:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

如果是两个电阻并联,其总电阻为:

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

例如, $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$, R_1 、 R_2 并联后其总电阻 $R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 6 \times 3 / (6 + 3) = 2 \Omega$ 。总电阻 R 小于 R_1 、 R_2 任何一个阻值,可见并联电阻的总电阻比其中任一个电阻都小。

(4) 在并联电阻电路中,每一个电阻上流过的电流为:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R}{R_1} I$$

$$I_2 = \frac{R}{R_2} I$$

$$I_3 = \frac{R}{R_3} I$$

由上面式子可以看出,在并联电路中,流过每一个电阻上的电流的大小和电阻成反比。电阻越小,分流电流越大;电阻越大,分流电流越小。这就是并联电阻的分流原理。我们通常把 R/R_1 、 R/R_2 、 R/R_3 称为分流系数,它表示流过每一个电阻支路中电流之间的比例关系。

(5) 在并联电路中,各个电阻消耗的功率跟它们的阻值成反比,即:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

电阻的并联,在实际工作中应用十分广泛。例如,利用电阻并联可以获得较小阻值的电阻;将工作电压相同的负载并联使用,可使其工作互不影响;在电工测量中,用并联电阻的方法可以扩大电流表的量程。

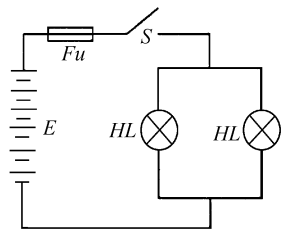


图 3-7 汽车前照灯电路原理图

与串联电阻电路一样,图 3-6(b) 是并联电阻电路图 3-6(a) 的等效电路图。

例 3 某汽车前照灯电路如图 3-7 所示。如果蓄电池的端电压为 12 V,每只灯泡的电阻为 1.2Ω ,求前照灯工作时熔断器中的电流值。

已知: $E = 12 \text{ V}$ $R_1 = R_2 = 1.2 \Omega$

求: I 。

$$\text{解 } R_{\text{总}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1.2 \times 1.2}{1.2 + 1.2} = \frac{1.44}{2.4} = 0.6 \, \Omega$$

$$I = \frac{E}{R_{\text{总}}} = \frac{12}{0.6} = 20 \, \text{A}$$

例 4 有一只微安表,它的最大量程 $I_0 = 100 \, \mu\text{A}$,其内阻 $R_0 = 1 \, \text{k}\Omega$,如果改装成最大量程为 $10 \, \text{mA}$ 的毫安表,必须并联多大的分流电阻 R_f ?

解 当用改装后的毫安表测量 $10 \, \text{mA}$ 电流时,根据并联电阻的分流原理,流过分流电阻的电流 I_f 为:

$$I_f = I - I_0 = 10 \, \text{mA} - 0.1 \, \text{mA} = 9.9 \, \text{mA}$$

式中 I ——总电流($I = 10 \, \text{mA}$)。

在最大量程测量时,流过表头的电流始终为 $I_0 = 0.1 \, \text{mA}$,故表的两端电压为:

$$U = I_0 R_0 = 0.1 \times 10^{-3} \, \text{A} \times 1 \times 10^3 \, \Omega = 0.1 \, \text{V}$$

因此求得分流电阻 R_f 为:

$$R_f = \frac{U}{I_f} = \frac{0.1 \, \text{V}}{9.9 \times 10^{-3} \, \text{A}} = 10.1 \, \Omega$$

3.3 串 - 并联电路

在一个电路中,既有电阻串联又有电阻并联的混合连接方式,称为串 - 并联电路或混联电路,如图 3-8(a)所示。

计算电阻混联电路的方法和步骤如下:

1. 化简电路

化简电路就是求电阻混联电路的等效电路。首先把电阻的混联电路分解为若干个串联和并联,然后分别求出串联和并联电阻的等效电阻,以等效电阻去取代电路中的串、并联电阻,就可得到电阻混联电路的等效电路。如果求得的等效电路中仍然包含着电阻的串联或并联,可继续用上述的方法来化简电路,直到求得最简单的等效电路为止。

下面以图 3-8(a) 的电阻混联电路为例,来化简电路。

(1) 在图 3-8(a) 中,节点 c 、 d 上的右边支路的电阻 R_3 、 R_4 、 R_5 是串联的,按照串联电阻的计算公式,可求出它们的等效电阻 R_0 :

$$R_0 = R_3 + R_4 + R_5$$

用等效电阻 R_0 代替三个串联电阻,可以得到等效电路如图 3-8(b) 所示。

(2) 在图 3-8(b) 中, R_2 和 R_0 是并联在 c 、 d 两节点之间,按照并联电阻的计算公式,可以算出两个并联电阻的等效电阻 R_{cd} :

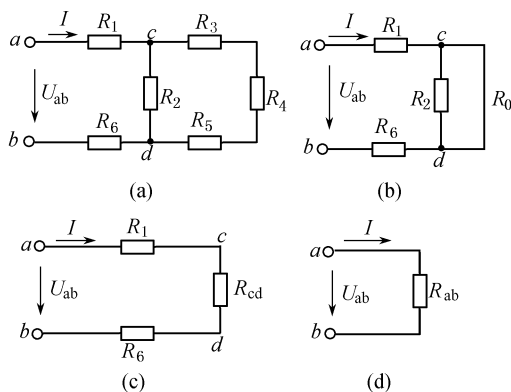


图 3-8 电阻的混联及其等效电路

$$R_{cd} = \frac{R_2 R_0}{R_2 + R_0}$$

用等效电阻 R_{cd} 代替两节点 c 、 d 间的两个并联电阻 R_2 、 R_0 , 得等效电路如图 3-8(c) 所示。

(3) 在图 3-8(c) 中, R_1 、 R_{cd} 、 R_6 是串联电阻, 它们的等效电阻为:

$$R_{ab} = R_1 + R_{cd} + R_6$$

用 R_{ab} 代替图中的三个串联电阻, 其等效电路如图 3-8(d) 所示。

这样, 一个复杂的电阻混联电路(图 3-8(a))就可以用它的等效电路(图 3-8(d))来代替, 使电路的计算大大简化了。

2. 计算电路中的总电流

利用已化简的等效电路图 3-8(d), 根据欧姆定律很容易算出通过电路的总电流:

$$I = \frac{U_{ab}}{R_{ab}}$$

3. 其他计算

各支路上的电流、各电阻两端的电压及整个电路的电参数都可以由等效电路计算出来。

3.4 戴维南定理

在分析研究一些电路时, 往往只需计算一个复杂电路中某一支路的电流, 此时如用支路电流法直接应用克希荷夫定律来进行计算, 往往要把所有的未知电流都解出来, 这是非常麻烦和不必要的, 这时若用戴维南定理来进行计算, 就比较方便。

在图 3-9(a) 所示电路中, 若只求支路电流 I_3 时, 我们可以把这个电路划分为两部分, 一部分是待求支路, 另一部分是具有两个输出端的电路, 如图 3-9(b) 所示。具有两个输出端的电路又称为二端网络。含有电源的二端网络称为有源二端网络, 不含电源的二端网络称为无源二端网络。

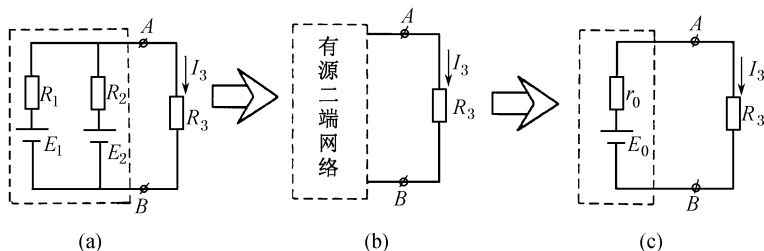


图 3-9 戴维南等效电路图

戴维南定理的内容: 任何一个有源二端网络, 都可以用一个等效电源来代替, 如图 3-9(c) 所示。其等效电源电动势 E_0 等于有源二端网络的开路电压, 即 $E_0 = U_{AB}$; 而等效电源内阻 r_0 等于有源二端网络中所有电源不起作用(所有电动势都短接)时的无源二端网络的等效电阻, 即:

$$r_0 = R_{AB}$$

应该注意的是:用一个等效电源代替有源二端网络,只是等效它们对外电路的作用,它们对内电路的电流、电压、功率并不等值。

用戴维南定理求解复杂电路中某一支路电流的一般步骤如下:

(1) 断开待求电流的支路,得到一个有源二端网络,并画出电路图。

(2) 求有源二端网络的开路电压 U_{AB} ,即得到等效电源的电动势 $E_0 = U_{AB}$ 。

(3) 将有源二端网络中的所有电动势短接,画出所得无源二端网络的电路图,并计算其等效电阻 R_{AB} ,即得到等效电源的内阻 $r_0 = R_{AB}$ 。

(4) 画出由等效电源和待求支路组成的简单电路,用全电路欧姆定律计算待求电流。

例 5 如图3-10(a)所示,已知 $E_1 = 12\text{ V}$, $E_2 = 6\text{ V}$, $R_1 = R_2 = 1\ \Omega$, $R_3 = 4\ \Omega$,求 R_3 中的电流。

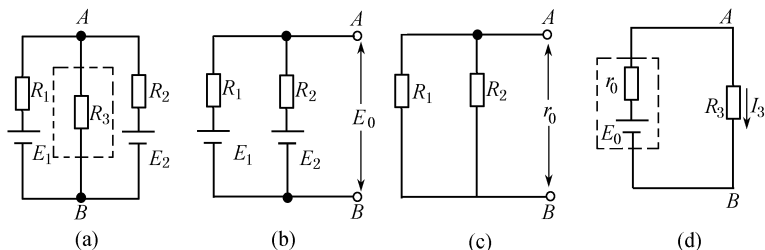


图 3-10 戴维南定理的应用

已知: $E_1 = 12\text{ V}$ $E_2 = 6\text{ V}$ $R_1 = R_2 = 1\ \Omega$ $R_3 = 4\ \Omega$

求: I_3 。

解 因本题只求通过 R_3 支路的电流,所以用戴维南定理求解简便。其步骤为:

(1) 断开 R_3 支路,得到图3-10(b)所示有源二端网络。

(2) 根据有源二端网络的具体电路,计算出二端网络的开路电压 U_{AB} ,得到等效电源的电动势 E_0 :

$$E_0 = U_{AB} = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} \times R_2 + E_2 = \frac{12 - 6}{1 + 1} \times 1 + 6 = 9\text{ V}$$

(3) 将图3-10(b)中的 E_1 和 E_2 用短路线代替,即将有源二端网络中的全部电源除去,得到图3-10(c)所示的无源二端网络电路图,计算其等效电阻 R_{AB} ,便得到等效电路的内阻 r_0 :

$$r_0 = R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \times 1}{1 + 1} = 0.5\ \Omega$$

(4) 画出由等效电源和待求支路组成的简单电路图,如图3-10(d)所示,计算待求电流 I_3 :

$$I_3 = \frac{E_0}{R_3 + r_0} = \frac{9}{4 + 0.5} = 2\text{ A}$$

3.5 电 容 器

3.5.1 电容器和电容量

电容器是一种储存电荷与电能的容器,是电工和汽车电气系统广泛应用的电路基本元件之一。

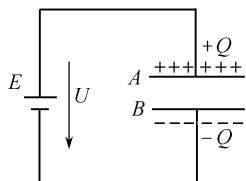


图 3-11 电容器电路

任何两块非常接近的金属导体,中间隔以不导电的绝缘物质(例如空气、蜡纸、云母片、涤纶薄膜、陶瓷等),就形成一个电容器。组成电容器的导体称为极板,隔离两极板的绝缘物质称为介质。在电路图中电容器用符号 $\text{—}||\text{—}$ 表示。

如图 3-11 所示,当把电容器与直流电源相接时,电容器的两极板上就分别带上了等量的异种电荷。反映电容器储存电荷能力的物理量称作电容量,符号为 C 。电容器的电容量 C 等于它的任一极板所带电量 Q 与加在电容器两端电压 U 的比值,即:

$$C = \frac{Q}{U}$$

电容器的单位是 F(法拉,简称法),常用的还有微法(μF)和皮法(pF),它们的换算关系为

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F}$$

$$1 \mu\text{F} = 10^6 \text{ pF}$$

电容器的种类很多,按其结构可分为固定电容器、可变电容器和半可变电容器;按介质的不同又分为纸质电容器、云母电容器、电解电容器等。常见电容器的外形及符号如图 3-12 所示。

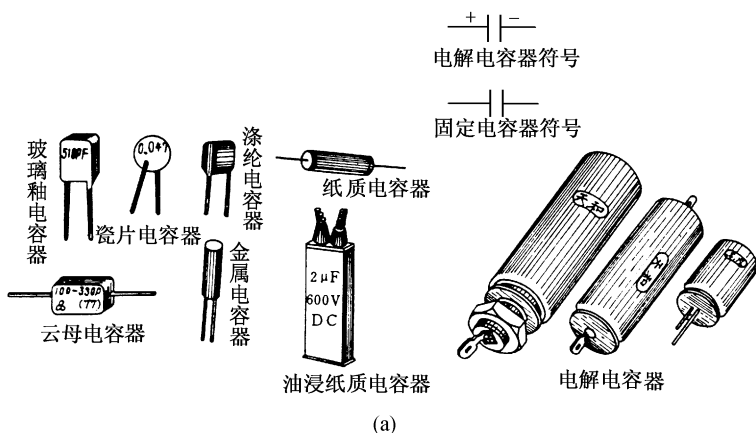


图 3-12 部分电容器的外形、名称和符号
(a) 固定电容器

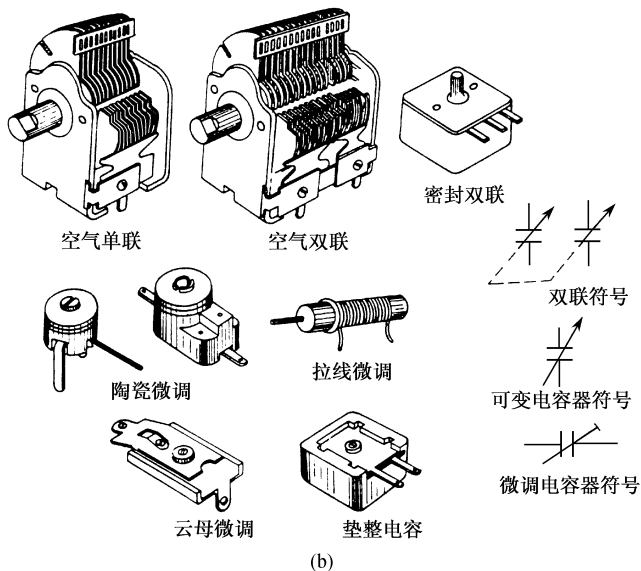


图 3-12 部分电容器的外形、名称和符号(续)

(b) 可变和半可变电容器

3.5.2 电容器的串联和并联

当几个电容器串联时,可用一个等效电容器来代替。图3-13为两个电容器的串联电路。串联时,每个电容器上的电荷 Q 相等,每个电容器上的电压之和等于总电压,即:

$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$U = U_1 + U_2$$

根据上述关系可得:

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

可见,几个电容器串联时,其等效电容量 C 的倒数等于每个电容器电容量的倒数之和。

图 3-14 为两个电容器的并联电路。

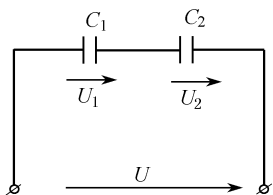


图 3-13 两电容器的串联

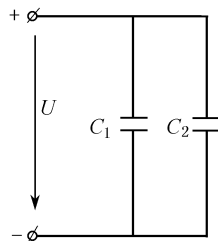


图 3-14 两电容器的并联

电容器并联时,每个电容器两端的电压相同,每个电容器上的电荷相加等于并联电路内的

总电荷,即:

$$U = U_1 = U_2$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

相除可得:

$$C = C_1 + C_2$$

可见,几个电容器并联时,其等效电容量 C 等于每个电容器的电容量之和。

3.5.3 电容器的充电和放电

1. 电容器的充电

如图 3-15 所示,把电容器与电阻 R 相串联后,再经开关 S 接到直流电源上(开关 S 置 A 端),使电容器被充电。

在电路刚接通的瞬间,因电容器上无电荷,两端的电压为零,这时充电电流最大。随着两极板上电荷的不断积累,电容器两端的电压逐渐增大,因此,充电电流不断减小。当电容器端电压与电源电压相等时,充电电流减至零,充电结束。此时电容器极板上的电荷达到稳定值 Q ,电容器相当于开路。

2. 电容器的放电

如图 3-16 所示,在电容器充电完毕后,把开关 S 从 A 端迅速移至 B 端,电容器开始放电。在开始放电的瞬间,放电电流最大。随着电容器两极板上电荷的不断减少,其两端的电位差就逐渐降低,放电电流也逐渐减小。最后,电容器两端电压为零,放电结束。

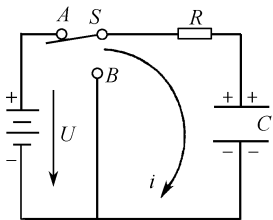


图 3-15 电容器的充电

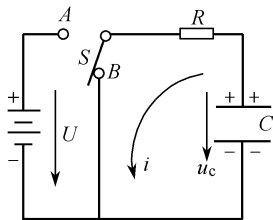


图 3-16 电容器的放电

在汽车电气系统中,电容器用来储存电荷,它本身不消耗电能,其储存的电荷会在放电时返回电路。电容器还能吸收电路中的电压变化,利用电压的储存来吸收危险的电压尖峰。即使电路中出现高的电压尖峰,电容器会在电压尖峰损坏电路元件之前将其吸收。电容器还能用来迅速停止电路断开时的自感电流(如用于点火系统的一次侧电路);电容器储存高压电荷后可根据需要释放(如安全气囊系统中的备用触发电路)。

电容器充放电时间的长短,由电路的时间常数 $\tau = RC$ 来确定。 τ 越大,充电就越慢,放电也越慢; τ 越小,充电就越快,放电也越快。通过改变电路的参数 R 或 C ,便可改变电容器的充放电时间,以实现电路变化的功能。

本章小结

1. 串联电路

串联电路中的电流处处相同;总电压等于各个电阻上分电压之和;电路取用的总功率等于

A. 相等

B. 不等

C. 不等于总电压

4. 当几个电容器串联时,每个电容器上的电荷_____。

A. 不等

B. 相等

5. 在电容器充电过程中,电容器两端的电压逐渐_____。

A. 增大

B. 减小

C. 不变

三、计算题

1. 图 3-17 所示为一分压电路,若输入电压 $U_1 = 10 \text{ V}$, $R_1 = R_3 = 300 \text{ } \Omega$, $R_2 = 400 \text{ } \Omega$,求输出电压 U_{o1} 和 U_{o2} 。

2. 将图 3-18 所示电路简化成为一个等效电阻电路,求这个等效电阻的阻值。

臨

7 分压电路图

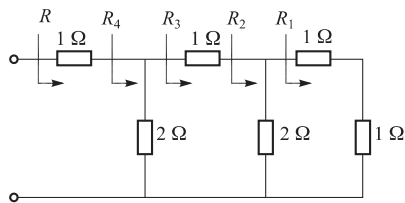


图 3-18 电阻电路图

3. 在图 3-19 所示电路中, 已知 $U = 10 \text{ V}$, $R_1 = 16 \text{ } \Omega$, $R_2 = 4 \text{ } \Omega$, $R_3 = 20 \text{ } \Omega$, $R_4 = 5 \text{ } \Omega$, $I_s = 4 \text{ A}$ 。试用戴维南定理求 R_2 中的电流 I 。

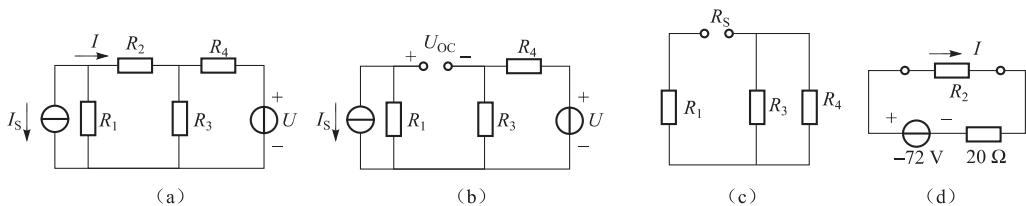


图 3-19 电路图

4. 计算图 3-20(a)、(b)中所示的等效电容量。图中, $C_1 = 200 \text{ pF}$, $C_2 = 300 \text{ pF}$ 。

5. 在图 3-20 所示电路中,若 A 、 B 两端加 $U_{AB} = 1000 \text{ V}$ 的电压,试求各电容器两极板之间的电压和极板所带的电量。

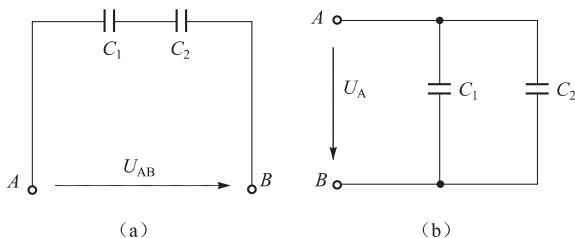


图 3-20 电容电路图