

## 第四章 恒定电流和电路

目的:

- 1、理解并掌握电流密度矢量和电动势这两个重要的基本概念，记住电源电动势。
- 2、掌握欧姆定律及其微分形式，掌握电功和电功率的概念，掌握焦耳定律，掌握闭合电路的欧姆定律。
- 3、熟练应用一段含源电路欧姆定律，将此定律用于计算含源电路中任意两点间的电压，熟练应用基尔霍夫定律计算复杂电路。
- 4、掌握惠斯登电桥平衡的条件，理解利用电势差计测电源电动势的原理。

5、能应用公式  $R = \int \rho \frac{dl}{S}$  计算导体的电阻，熟练应用电阻的串、并联公式和串、并联电

路特点计算串、并联和混联电路的电阻，解决有关简单电路问题。

6、理解电流恒定条件的数学表达式  $\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{s} = 0$

的物理意义，理解电源路端电压的概念。

7、了解恒定电场的概念及其与静电场的异同，电阻随温度变化的规律和超导电现象。金属导电的经典理论、气体导电和液体导电的规律和应用、温差电现象及其应用、化学电源的种类和应用等内容。

### § 4-1 电流强度 电流密度矢量

电荷的定向运动形成了电流,通常情况下,产生电流的条件:一是物体内部必须有自由电荷;二是导体内部存在电场。

电流的方向规定为正电荷的运动方向。

电流的强弱用电流强度来表示,它是一个标量,其正或负表征其方向与参考方向的同或异,其大小为单位时间内通过导体任一横截面的电荷量,即

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流(也即直流电),对恒定电流:  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \text{常量}$

在国际单位制中，电流强度的单位为安培。

电流的恒定条件： $\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{s} = 0$

式中  $\vec{j}$  叫做电流密度矢量。导体中任一点的电流密度矢量的方向与该点正电荷流动的方向一致，其大小等于通过该点且与该点电流方向垂直的单位面积的电流强度。上式表明，在恒定的条件下，单位时间内流过任一闭合曲面的电量等于流出该曲面的电量，或者说，流进任一闭合面的电流等于流出该面的电流。

上式实际上也表明了电流强度和电流密度矢量之间的关系： $I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{s}$   
即通过一个曲面的电流强度 I 就是电流密度矢量 对该曲面的通量。

在恒定条件下，导体任何地方的电荷分布不随时间变化，因而由这些电荷所产生的电场（恒定电场）和静止电荷所产生的电场（静电场）一样是个有势场，但这两种场是有区别的。

## § 4-2 欧姆定律及其微分形式

欧姆定律：在等温条件下，通过一段导体的电流强度 I 与导体两端的电压 U 成正比，即

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

其中 R 值反映导体对电流阻碍作用的大小，称为导体的电阻，上式中单位：I 为安培，U 为伏特，R 为欧姆。应用上式处理问题时应注意其适用条件。

一定材料制成的横截面均匀的导体，电阻由下式确定：

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

若一段导体的横截面 S 或电阻率  $\rho$  不均匀其电阻由下式的积分计算确定： $R = \int \rho \frac{dl}{S}$

计算时要注意电流沿什么方向流过导体，因电流方向不同，电阻一般是不同的。

欧姆定律的微分形式： $\vec{j} = \sigma \vec{E}$

式中  $\sigma$  为导体的电导率，它与电阻率  $\rho$  的关系为  $\sigma = \frac{1}{\rho}$ 。

### § 4-3 焦耳定律 电功率

电流所作的功称为电功  $A=IU t$

电功率：单位时间内电流所作的功：

1、对一般负载：  $P = \frac{A}{t} = IU$

2、对线性电阻负载：  $P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$

焦耳—楞次定律：电流通过电阻时发热，即电能转换成热能，这种现象叫做电流的热效应，它的规律—焦耳定律的数学表达式为

$$Q = I^2 R t$$

焦耳—楞次定律微分形式  $p = \sigma E^2$

其中  $P$  为电流通过导体时，单位体积内释放的热功率称为热功率密度。

### § 4-4 电阻的串联和并联

电阻的串联：特点：1、流过各电阻的电流强度相等；2、电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和；3、电路中电压的分配和电功率的分配均与各电阻的阻值成正比。

串联电路的等效电阻等于各分电阻的和：

$$R = \frac{U}{I} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

电阻的并联：特点：1、每个电阻两端的电压相等；2、流过电路的总电流强度等于流过各支路电流之和；3、电路中电流的分配和电功率的分配均与各电阻的阻值成反比。

并联电路的等效电阻的倒数等于各分电阻的倒数之和：

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

## § 4-5 气体导电 液体导电

本节内容只要求了解一下即可.

## § 4-6 电源 电动势

电源 :能够提供非静电力的装置,也可以说能够把其它形式的能量转换为电能的装置。

在电源内部存在非静电力,用  $\vec{F}_k$  来表示,则定义非静电场强为单位正电荷所受的非静电力, 用  $\vec{E}_k$  表示,则

$$\vec{E}_k = \frac{\vec{F}_k}{q}$$

在电源内部,  $\vec{E}_k$  的方向由电源的负极指向正极,对确定 的电源,  $\vec{E}_k$  的大小保持不变.

普遍的欧姆定律微分形式:  $\vec{j} = \sigma(\vec{E} + \vec{E}_k)$

电动势: 把单位正电荷经电源内部从负极移到正极,非静电力所作的功称为电源的电动势,用  $\varepsilon$  表示。

$$\varepsilon = \frac{A_k}{q} = \int_{-}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

对于闭合回路电动势的定义为:  $\varepsilon = \oint_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$

## § 4-7 闭合电路的欧姆定律

利用电动势的定义和普遍的欧姆定律的微分形式可导出闭合电路的欧姆定律:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

由于  $R$  不同,电路中  $I$ 、 $U = IR$  或  $U' = Ir$  也不相同, 特别地  $R \rightarrow \infty$  时  $U = \varepsilon$  即路端电压等于电源电动势, 而当  $R \rightarrow 0$  ,  $I = \frac{\varepsilon}{r}$  表外电路短路时电流最大, 这在通常情况下是要避免的。

理想电源: 内阻为零时任何情况下  $U = \varepsilon$  的电源, 一个实际的电源等效于一个电动势为  $\varepsilon$  的

理想电源和一个阻值为  $r$  的电阻的串联.

## § 4-8 含源支路的欧姆定律

含源支路的欧姆定律:  $U_{AB} = \varepsilon - I(R + r)$

利用上式计算  $I$  时, 可先假设  $I$  的正方向, 然后进行计算, 若结果  $I > 0$ , 表电流真实方向与假设的正方向相同, 反之相反.  $U_{AB} = \sum (\pm \varepsilon) + \sum (\pm IR)$

一段含源电路欧姆定律的普遍形式:

应用上式求解实际问题时, 应遵循如下符号规则:

- 1、假设电流的正方向 (电流待求情况下), 选定巡行方向。
- 2、对电阻而言, 当电流方向与巡行方向相同时, 该电阻的  $I R$  项前取正号, 反之取负号。(同向取正, 反向取负)。
- 3、对电源而言, 当巡行方向与电源电动势  $\varepsilon$  同向时  $\varepsilon$  取正号, 反之取负号 (同负异正)。
- 4、 $I$  待求时, 列方程求解  $I$ , 若  $I > 0$ , 则表示电流真实方向与假设的正方向相同, 若  $I < 0$ , 则表示电流的真实方向与假设的正方向相反 (正同负异)。

## § 4-9 基尔霍夫定律

支路: 一段无分岔的电路. 特点是一条支路中的电流一定相同.

节点: 三条或三条以上支路的连接点称为节点 (或分支点).

回路: 几条支路构成的闭合通路.  $\sum (\pm I) = 0$

基尔霍夫第一定律:

它表示在恒定电路中, 任一节点处电流强度之代数和等于零, 这里规定了从节点流出的电流取正, 流进节点的电流取负。

如果有  $n$  个节点的电路可以列  $n$  个节点电流方程, 但其中只有  $n-1$  个才是独立的节点电流方程.

基尔霍夫第二定律:  $\sum (\pm \varepsilon) + \sum (\pm IR) = 0$

上式表明, 沿回路绕行一周, 电势升降的代数和等于零, 采用的符号规则与一段含源电路欧姆定律符号规则相同, 并且  $I$ 、 $\varepsilon$  本身都是代数量。

独立回路判断法大都采用网孔法。