

§ 7 稳恒电场

从场的角度认识电流

一、 电流和电流密度

(一) 电流强度

大小：单位时间内通过导体某一横截面的电量

$$I = \frac{dq}{dt}$$

正值：正电荷运动的方向

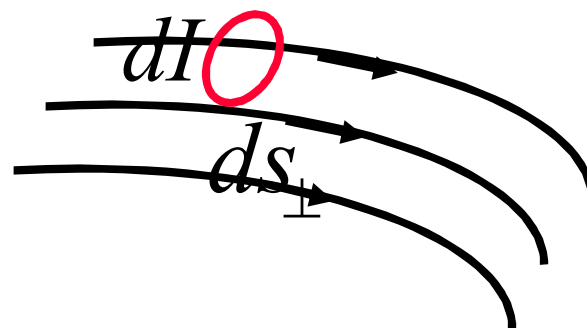
单位：安培 A

(二) 电流密度

1. 电流密度矢量

大小：

$$J = \frac{dI}{dS_{\perp}}$$



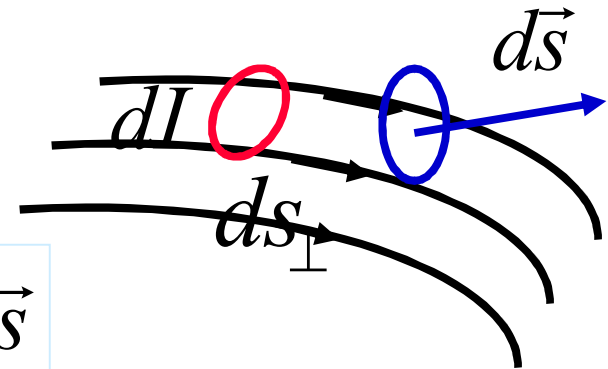
导体中某点的电流密度，数值上等于和该点正电荷移动方向相互垂直的单位面积上的电流强度。

方向：该点正电荷定向移动的方向。

2. 电流密度和电流强度的关系

$$dI = J ds_{\perp} = \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

$$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s}$$



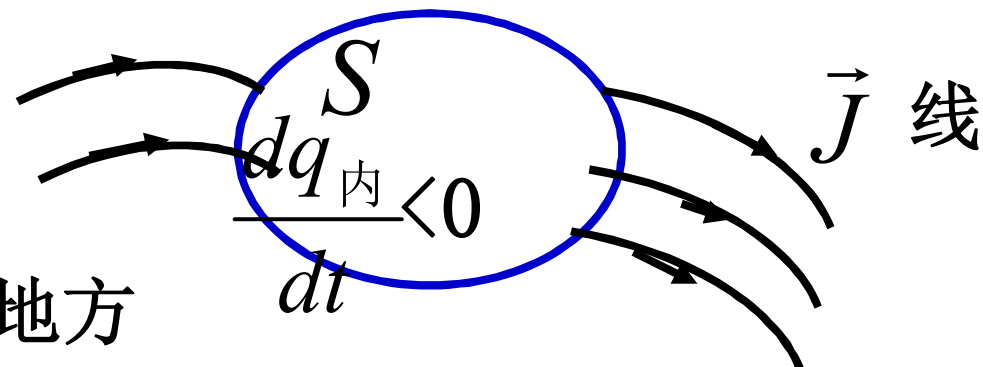
$$\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{s} = I = \frac{dq_{\text{流出}}}{dt}$$

流出闭合面的正电荷

(三) 电流连续性方程

根据电荷守恒定律，流出的电量应等于相同时间闭合曲面内电荷的减少

$$I = \oint_S \vec{J} \cdot d\vec{s} = -\frac{dq_{\text{内}}}{dt}$$



电流线发出于正电荷减少的地方

终止于正电荷增加的地方

电流线，电流场

二、 稳恒电流

(一) 稳恒电流

电流场中每一点的电流密度的大小和方向均不随时间改变

(二) 稳恒条件

1. 稳恒条件

$$\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{s} = 0$$

稳恒电流的电路必须闭合

2.由稳恒条件可得出几个结论

a.导体表面电流密度矢量无法向分量

b.对一段无分支的稳恒电路 其各横截面的电流强度相等

$$I_i = \text{常量}$$

c.在电路的任一节点处 流入的电流强度之和等于流出节点的电流强度之和 $\sum I_i = 0$

—— 节点电流定律 (基尔霍夫第一定律)

(三) 稳恒电场

1. 稳恒电场

对于稳恒电路 导体内存在电场

稳恒电场 由不随时间改变的电荷分布产生

2. 和静电场比较

A. 相同之处

电场不随时间改变

满足高斯定理

满足环路定理 是保守场

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

可引入电势概念

回路电压定律 (基尔霍夫第二定律)

在稳恒电路中 沿任何闭合回路一周的电势降落的代数 sum 等于零 $\sum U_i = 0$

欧姆定律 $R = U/I$

B. 不同之处

产生稳恒电流的电荷是运动的电荷 电荷分布不随时间改变

稳恒电场对运动电荷做功 稳恒电场的存在总伴随着能量的转移

三、 欧姆定律的微分形式

导体中任一点电流密度的方向(正电荷运动的方向)和该点场强方向相同

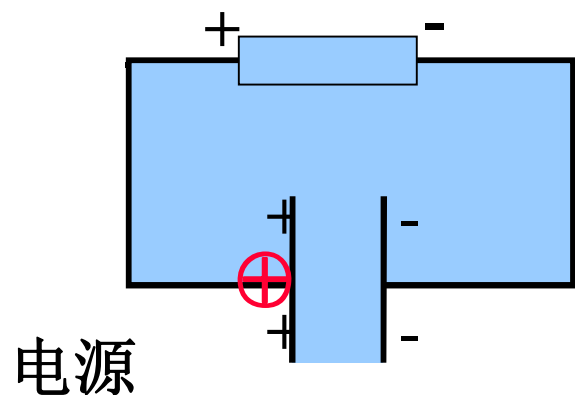
有关系式

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

σ 导体电导率

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad \text{电阻率}$$

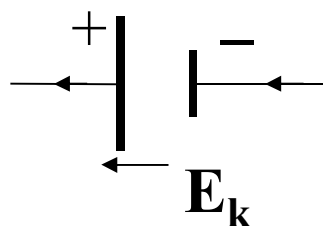
四、电动势



恒定电流必须由稳定的电势差维持

仅靠静电场不可能产生恒定电流

靠非静电力把正电荷不断从低电势处运到高电势处。



仿静电场

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

非静电力场强

定义：把单位正电荷从电源的负极通过内电路移到正极，非静电力所作的功——电源电动势 \mathcal{E} 。

$$\mathcal{E} = \int_{-}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

整个回路

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$