大学物理•电磁学

主讲教师：吴 喆

第 12 章　变化的电磁场

12.5 位移电流

本节的研究内容

- 位移电流
- 全电流安培环路定律

12.5.1 位移电流

变化的磁场激发电场(涡旋电场)，变化的电场是否也会激发磁场?

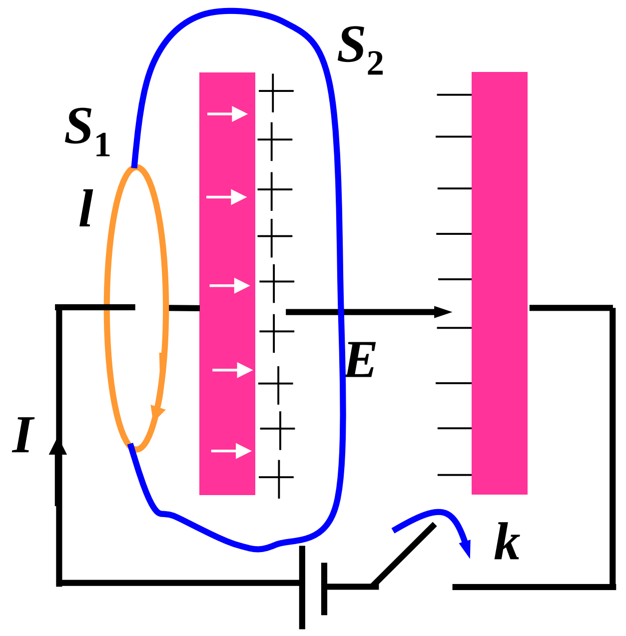
(1) 问题的提出

- 在稳恒电流电路中, 磁场的环量满足安培环路定律

$$\oint_l \vec{H} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum I_{0\text{内}}$$

式中$\Sigma I_{0\text{内}}$是穿过以闭合回路 l 为边界的任意曲面S的传导电流的代数和。

- 在非稳恒电流电路(如电容器充放电电路)中，磁场的环量



$$\oint_l \vec{H}\cdot d\vec{l} = \left\{\begin{array}{ll} I & (\text{圆平面}S_1) \\ \\ 0 & (\text{曲面}S_2) \end{array}\right\} \text{矛盾!}$$

- 出现矛盾的原因：非稳恒电路中传导电流不连续，即

$$\oint_{S_1+S_2} \vec{j}\cdot d\vec{S} = -\frac{dq}{dt} = -I \neq 0 \quad (I\text{流入}S_1\text{，不流出}S_2)$$

- 传导电流不连续的结果： 电荷在极板上堆积，从而在极板间出现变化电场

根据高斯定理 $\oint_{S_1+S_2} \vec{D}\cdot d\vec{S} = q$ (q是极板上的电荷量) $\Longrightarrow \oint_{S_1+S_2} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\cdot d\vec{S} = \frac{dq}{dt}$

$$\left.\begin{aligned} \oiint_{S_1+S_2} \vec{j}\cdot d\vec{S} &= -\frac{dq}{dt} \\ \oiint_{S_1+S_2} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\cdot d\vec{S} &= \frac{dq}{dt} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \oiint_{S_1+S_2} \left(\vec{j}+\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right)\cdot d\vec{S} = 0$$

——满足稳恒电流的条件

可以看出： 若把电容器两极板间电场的变化看成是某种电流，整个电路的电流就是连续的

(2) 位移电流

麦克斯韦假说：变化的电场可以等效成一种电流，称为位移电流

位移电流密度 $\boxed{\vec{j}_d = \frac{d\vec{D}}{dt}}$

位移电流强度 $\boxed{I_d = \int_S \vec{j}_d \cdot d\vec{S}}$

12.5.2 全电流安培环路定律

安培环路定律的一般形式为

$$\boxed{\oint_l \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t})\cdot \mathrm{d}\vec{S}}$$

式中右边是传导电流和位移电流之和(称为全电流)，上式又称为全电流安培环路定律，对稳恒电流电路和非稳恒电流电路都成立。

微分形式 $$\boxed{\nabla\times\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}}$$

麦克斯韦指出：位移电流与传导电流一样，也要在周围的空间产生磁场，

即变化的电场也要激发磁场

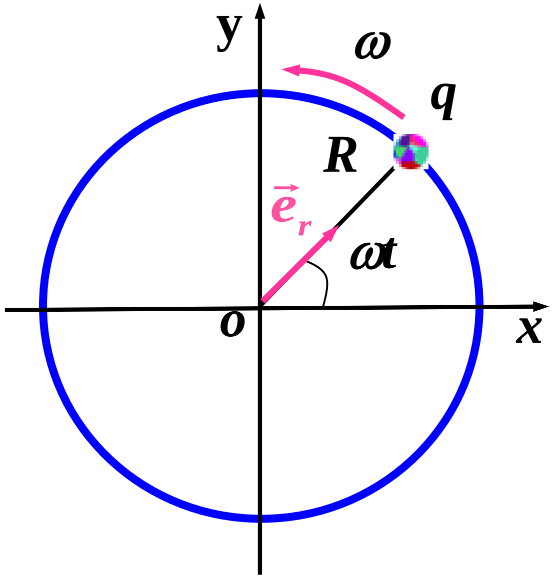
例1 如图所示，一电量为q的点电荷，以匀角速度ω作半径R的圆周运动。设t=0时，q所在点的坐标为(R, 0)，求圆心o处的位移电流密度。

解 q 在圆心 o 处产生的电场 $\vec{E}=-\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_o R^2}\vec{e}_r$

$$\vec{D}=\varepsilon_o\vec{E}=-\frac{q}{4\pi R^2}\vec{e}_r=-\frac{q}{4\pi R^2}(\vec{i}\cos\omega t+\vec{j}\sin\omega t)$$

圆心o处的位移电流密度

$$\vec{j}_d=\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}=\frac{q\omega}{4\pi R^2}(\vec{i}\sin\omega t-\vec{j}\cos\omega t)$$



谢谢大家！