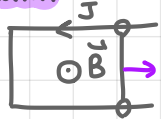


⑬ Электромагнитная индукция. Поток магнитного поля. ЭДС индукции в движущихся и неподвижных проводниках. Вихревое электрическое поле. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции в интегральной и дифференциальной формах.



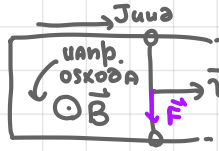
если по рамке течёт ток  $I$ :  $F = \frac{I}{c} eB$   
 $dA = F dx = \frac{I}{c} B dx = \frac{I}{c} d\Phi \Rightarrow A_{12} = \frac{I}{c} (\Phi_2 - \Phi_1)$  [ $\Phi = B_{\perp} S = \vec{B} \vec{S} = \int_S \vec{B} d\vec{S}$ ]

магнитное поле не может производить работу, т.к.  $\vec{F}_L \perp \vec{v}$

заряды в перемещающемся проводнике движутся не только в направлении проводника ( $\vec{u}_{||}$ ), но и в направлении скорости движения перемещаемого проводника ( $\vec{u}_{\perp}$ )

эта вторая составляющая скорости приводит к появлению сил Лоренца:  $\Delta \vec{F} = e \vec{u}_{\perp} \times \vec{B} / c$ , действующей против направления  $I$ .

поэтому для поддержания неизменного тока в цепи должны быть выполнены сторонние ЭДС, благодаря которым и производится работа, сообщая электронам доп. энергию.



на заряды в перемещающемся проводнике действует сила Лоренца:

$\vec{F} = \frac{q}{c} \vec{v} \times \vec{B}$  — вызывает индуцированный ток в отриц. направлении оттока контура.

$\vec{E}_{\text{стор}} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{c} \vec{v} \times \vec{B}$

в перемещающемся контуре длиной  $l$  индуцируется ЭДС индукции  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = \oint \vec{E}_{\text{стор}} d\vec{l} = -\frac{1}{c} B v l$

↑ создаёт ток в отриц. направлении

$v = \frac{dS}{dt} \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}$ , где  $\Phi = \vec{B} \vec{S}$  — магнитный поток ч/з контур

если  $\vec{B}_{||} \neq 0$ , это не приводит к появлению индуцированного тока:

[ $\vec{v} \times \vec{B}_{||} \perp$  плоскости контура]

если магнитное поле неоднородно,

$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}$

Магнитный поток растёт со временем  $\Rightarrow \mathcal{E}_{\text{инд}}$ , создающая ток  $I_{\text{инд}}$  в отриц. направлении этого тока создаёт доп. магнитное поле  $\Delta \vec{B} \uparrow \vec{B}$

**правило Ленца**

индуцированный ток имеет такое направление, чтобы с помощью создаваемого им магнитного поля препятствовать изменению магнитного потока; чтобы ослабить действие причины, вызывающей этот ток

1. если магнит. неподвижен, а движется замкнутый виток  $\Rightarrow$  возникает инд. ток, обусловленный ЭДС индукции:  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}$

2. если перейти в СО проводника, ток остаётся, но магнит. подвижен

3. такое же изменение  $\Phi$  можно получить, используя перемещаемое магнитное поле, точно совпадающее с полем движущегося магнита в месте нахождения провода.

$\Rightarrow$  при **всяком** изменении магнитного потока, пронизывающего контур движущегося или неподвижного проводника, возникает индуцированный ток, причём ЭДС индукции во всех случаях равна  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}$

$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}$

$\mathcal{E}_{\text{инд}} = \oint_L \vec{E} d\vec{l} \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{инд}} = \oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = -\frac{1}{c} \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$

дифференциальная форма

$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}$

$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \int_S \text{rot } \vec{E} d\vec{S}$

$\Rightarrow \text{rot } \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

закон электромагнитной индукции

$\text{rot } \vec{E} \neq 0 \Rightarrow$  индуцируемое эл. поле является не потенциальным, а **вихревым**.

**Фарадеевская и максвелловская трактовка явления электромагнитной индукции**

согласно **Фарадею** э/м индукция состоит в возникновении индуцированного электрического тока. Для её наблюдения требуется замкнутый проводник.

согласно **Максвеллу** явление э/м индукции состоит в том, что всякое перемещаемое магнитное поле вызывает в пр-ве электрическое поле; проводники, для этого не требуются. индуцированные токи, возникают в проводниках индуцированными эл. полями