

## ЭДС, сила Ампера и баланс энергии при относительном движении рамки и поля

Ивченков Геннадий, к.т.н.

kashey@kwic.com

Экспериментально доказано, что, при движении носителя однородного магнитного поля относительно неподвижного проводника, ЭДС не наводится (носитель движется, а поле стоит) [2], в то время как при движении проводника в однородном магнитном поле наводится лоренцева ЭДС [1].

1. Рассмотрим движение носителя однородного магнитного поля относительно неподвижной рамки. Так как движение носителя не меняет поле и линии индукции не следуют за носителем, то не будет ни фарадеевой ЭДС, ни лоренцевой ЭДС. В результате наведенная в рамке ЭДС равна нулю.
2. Рассмотрим движение рамки относительно неподвижного носителя однородного магнитного поля. (рис. 1).

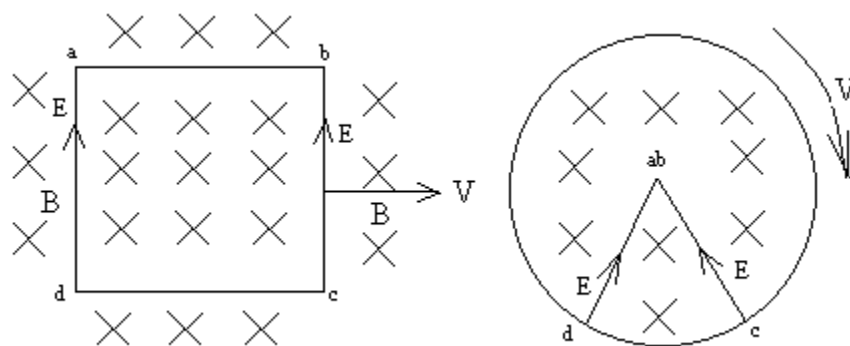


Рис. 1

Фарадеева ЭДС здесь отсутствует. Присутствует лоренцева ЭДС  $E = Bvl$ , где  $l$  - сторона  $ad$  (и  $bc$ ), наведенная в проводниках  $ad$  и  $bc$ , которая направлена в одну и ту же сторону. При этом разность потенциалов между точками  $ab$  и  $dc$  отсутствует. То есть ток в контуре не течет. Это создает одинаковую ЭДС в радиальных проводниках  $ad$  и  $bc$  униполярного генератора при вращении проводящего диска в поле однородного постоянного магнита (Рис. 1). В униполярных генераторах ЭДС снимается с центра (точки  $ad$ ) и края проводящего диска [2].

3. Рассмотрим движение носителя однородного магнитного поля прямоугольной формы (магнита) относительно неподвижной рамки (Рис. 2). При этом далее принимается, что поле однородно и ограничено краями магнита.

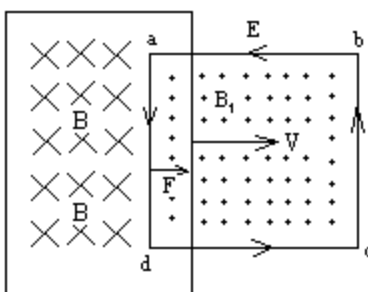


Рис. 2

Здесь поле магнита  $B$  постепенно «заполняет» рамку  $abcd$  со скоростью  $V$ . Так как  $ds = lVdt$ , то  $d\Phi = Bds = BlVdt$  и  $E_{\Phi} = \frac{d\Phi}{dt} = BVl$  [1]. Если  $V = \text{const}$ , то и  $E_{\Phi} = \text{const}$  при прохождении поля через площадь рамки (Рис. 3).

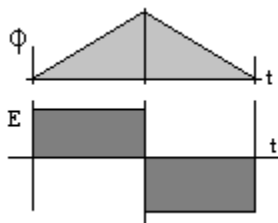


Рис.3

При выходе поля из рамки полярность ЭДС меняется на противоположную (Рис. 3). Лоренцева ЭДС в этом случае отсутствует (опять же, движение носителя однородного поля относительно проводника ЭДС не наводит). Но, так как в контуре за счет фарадеевой ЭДС течет ток  $I = \frac{E}{r} = \frac{BVl}{r}$ , то к проводнику  $ad$  (длиной  $l$ ) в поле  $B$  приложена сила

Ампера (Лоренца)  $F = IBl = \frac{VB^2l^2}{r}$ , которая препятствует движению рамки (см. Рис. 2).

*Вообще-то, постоянный магнит можно заменить эквивалентным контуром с проводниками, проходящими по краям магнита [2]. Тогда получается, что сила  $F$  обусловлена взаимодействием проводника  $ad$  и эквивалентного проводника магнита (они притягиваются). Тогда получается, что сила  $F$  препятствует движению магнита.*

Теперь рассмотрим баланс мощностей, электрической и механической. Электрическая

мощность будет равна  $P_{el} = IE = \frac{BVl}{r} \times BVl = \frac{(BVl)^2}{r}$ , а механическая

$P_m = FV = \frac{VB^2l^2}{r} \times V = \frac{(BVl)^2}{r}$ . То есть мощности и, соответственно, энергии

**тождественно равны, что полностью соответствует закону сохранения энергии.**

4. Рассмотрим движение прямоугольной рамки относительно неподвижного носителя однородного магнитного поля (Рис.4).

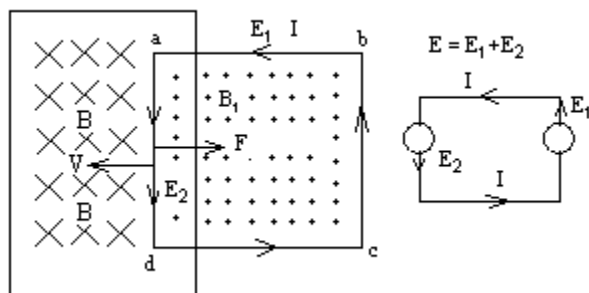


Рис. 4

Здесь поле магнита  $B$  тоже постепенно «заполняет» рамку  $abcd$  со скоростью  $V$ . И фарадеева ЭДС будет такая же, как и в предыдущем случае  $E_{\Phi} = \frac{d\Phi}{dt} = BVl$  (см.

Рис. 3). Но в проводнике  $ad$ , движущемся в магнитном поле  $B$  со скоростью  $V$ , также наводится лоренцева ЭДС  $E_L = BVl$ , направленная в ту же сторону, что и фарадеева. Получается, что эти ЭДС складываются:  $E_{\Sigma} = E_{\Phi} + E_L = 2BVl$ .

Соответственно, ток в рамке будет равен  $I = 2 \frac{BVl}{r}$ . При этом на проводник  $ad$

действует сила  $F = IBl = 2 \frac{VB^2l^2}{r}$ , препятствующая движению рамки. Теперь

рассмотрим баланс мощностей, электрической и механической. Электрическая

мощность будет равна  $P_{el} = IE_{\Sigma} = 2 \frac{BVl}{r} \times 2BVl = 4 \frac{(BVl)^2}{r}$ , а механическая

$P_m = FV = 2 \frac{VB^2l^2}{r} \times V = 2 \frac{(BVl)^2}{r}$ . Тогда получается, что электрическая

**мощность в этом случае в два раза больше механической ( $\frac{P_{el}}{P_m} = 2$ )?**

Нужно отметить, что в данном (упрощенном) анализе принималось, что поле ограничено краями магнита, в то время, как поле не ограничивается границами магнита, а распространяется и за его пределами, взаимодействуя с проводником  $bc$ , что не учитывалось в данном анализе.

### Литература:

1. Б. М. Яворский, А.А. Детлаф «Справочник по физике», Наука, 1964
2. Г. Ивченков, «Магнитное поле – статическое образование, не принадлежащее носителю поля, или парадокс униполярных машин», <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11565.html>