

66 Взаимное преобразование механической и электрической энергий

При движении проводника в магнитном поле в нём по закону электромагнитной индукции возникает ЭДС, это преобразование механической энергии в электрическую.

При протекании тока по проводнику, расположенному в магнитном поле на него по закону Ампера действует сила, это преобразование электрической энергии в механическую.

7.3. ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле. Правило правой руки

В проводнике, движущемся в магнитном поле так, что он пересекает линии магнитной индукции, наводится ЭДС. Это явление – разновидность электромагнитной индукции.

Рассмотрим отрезок АБ прямолинейного проводника, который движется, пересекая под прямым углом линии магнитной индукции равномерного поля с магнитной индукцией B (рис. 7.2, а).

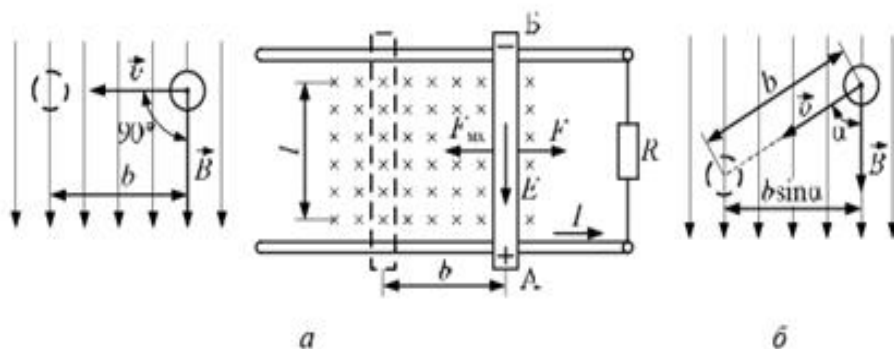


Рис. 7.2. Наведение ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле:
а – проводник пересекает линии магнитной индукции под углом $\alpha = 90^\circ$;
б – проводник пересекает линии магнитной индукции под углом $\alpha < 90^\circ$

На рисунке 7.2, а проводник АБ перемещается в направлении механической силы $F_{\text{мх}}$ по металлическим шинам, соединенным между собой через сопротивление R .

Проводник АБ, отрезки шин и сопротивление R образуют замкнутый проводящий контур. При перемещении проводника на расстояние b с постоянной скоростью v магнитный поток, сцепленный с этим контуром, увеличивается за счет увеличения площади поверхности, ограниченной контуром.

Приращение магнитного потока

$$\Delta\Phi = B\Delta S = Bbl,$$

где l – длина части проводника АБ, находящейся в магнитном поле.

Абсолютная величина ЭДС в контуре

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{Bbl}{\Delta t},$$

где Δt – время, в течение которого проводник АБ переместился на расстояние b ;

$$\frac{b}{\Delta t} = v \text{ — скорость движения проводника, поэтому}$$

$$E = Blv.$$

Если проводник будет перемещаться под углом $\alpha < 90^\circ$ к направлению магнитной индукции поля (см. рис. 7.2, б), то приращение магнитного потока за время Δt при той же скорости v будет

$$\Delta\Phi = Blb \sin \alpha,$$

ЭДС в контуре

$$E = Blv \sin \alpha.$$

При $\alpha = 90^\circ$ определяется наибольшее значение ЭДС при данных величинах B , v , l . При $\alpha = 0$ (проводник движется вдоль линий магнитной индукции) ЭДС равна нулю.

Проводник АБ входит в замкнутый проводящий контур. Под действием наведенной ЭДС в контуре установится перемещение электрических зарядов, т. е. появится электрический ток.

Для определения направления наведенной ЭДС применяют правило правой руки: если расположить правую руку так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а отогнутый большой палец показывал направление движения проводника, то вытянутые четыре пальца покажут направление наведенной в проводнике ЭДС. Электрический ток в контуре совпадает по направлению с ЭДС.

В соответствии с этим правилом на рисунке 7.2, а показано направление наведенной ЭДС E и тока I .

Все изложенное о возникновении индуцированной ЭДС в проводнике справедливо и тогда, когда проводник остается неподвижным, а движется система магнитных полюсов так, что линии магнитной индукции пересекают проводник. В этом случае, определяя направление ЭДС по правилу правой руки, нужно считать проводник движущимся в направлении, противоположном направлению движения магнитных полюсов.

7.4. Взаимное преобразование механической и электрической энергий

Электромагнитное действие магнитного поля и электромагнитная индукция используются для преобразования механической энергии в электрическую и обратно. Устройства, при помощи которых эти преобразования осуществляются, называются электрическими машинами. Машина для преобразования механической энергии в электрическую называется генератором, а для обратного преобразования – двигателем.

Рассмотрим принцип преобразования механической энергии в электрическую.

Проводник AB (см. рис. 7.2, а) движется с постоянной скоростью за счет механической энергии какого-либо двигателя – источника механической энергии.

Механическая мощность движения проводника

$$P_{\text{мех}} = F_{\text{мех}} v, \quad (7.3)$$

где $F_{\text{мех}}$ – сила, действующая на проводник со стороны двигателя.

Благодаря электромагнитной индукции в проводнике возникают ЭДС и ток

$$I = \frac{E}{(R_{\text{вт}} + R)},$$

где $R_{\text{вт}}$ – сопротивление проводника АБ (внутреннее сопротивление источника электрической энергии);

R – сопротивление внешней части цепи, включая сопротивление приемника и части шин, входящей в контур.

В данном случае проводник АБ является источником ЭДС, электрическая мощность которого

$$P = EI.$$

С появлением тока в проводнике АБ возникает ЭДС F , действующая в направлении, перпендикулярном направлению тока. Применяя правило левой руки, можно убедиться в том, что ЭДС F направлена против силы $F_{\text{мх}}$. Следовательно, внешняя сила $F_{\text{мх}}$ в данном случае движущая, а F – тормозная.

При постоянной скорости v (установившееся движение) движущая и тормозная силы равны:

$$F_{\text{мх}} = F = BIl.$$

Подставив выражение силы в формулу (7.3), получим

$$P_{\text{мх}} = BIlv.$$

Поскольку

$$Blv = E,$$

то

$$P_{\text{мх}} = EI = P. \quad (7.4)$$

Следовательно, механическая мощность двигателя равна электрической мощности источника.

Выражение (7.4) показывает, что при движении проводника в магнитном поле в направлении механической силы происходит полное преобразование механической энергии в электрическую.

Напряжение на концах проводника $U_{\text{АБ}}$ является одновременно напряжением на внешней части цепи, которое меньше ЭДС на величину внутреннего падения напряжения:

$$U_{AB} = E - IR_{вт}.$$

Рассмотрим принцип преобразования электрической энергии в механическую.

На рисунке 7.3 представлена электрическая цепь с тем же проводником АБ, как и на рисунке 7.2, но вместо приемника электрической энергии R в цепь входит источник электрической энергии с ЭДС E_0 .

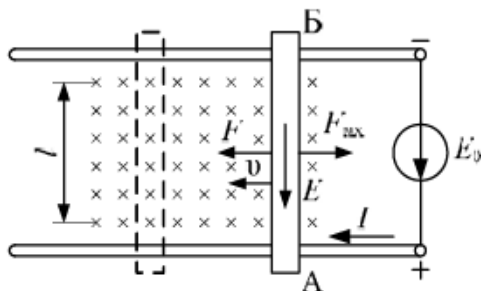


Рис. 7.3. Перемещение проводника в магнитном поле под действием электромагнитной силы F

Под действием ЭДС E_0 в замкнутом проводящем контуре возникнет электрический ток I , совпадающий по направлению с ЭДС E_0 . На проводник АБ, по которому протекает ток I , в магнитном поле будет действовать электромагнитная сила $F = BI\ell$, направление которой определяется по правилу левой руки. Проводник АБ начнет перемещаться по металлическим шинам в направлении силы F . Сила F становится движущей. Противодействие ей оказывает механическая сила $F_{мх}$ (например, сила трения).

Потокосцепление замкнутого проводящего контура будет изменяться, и в соответствии с законом электромагнитной индукции в проводнике АБ возникнет индуцированная ЭДС $E = B\ell v$. Ее направление определяют по правилу правой руки и, как видно на рисунке 7.3, наведенная ЭДС E противоположна направлению тока I .

Встречное направление ЭДС и тока является признаком потребления электрической энергии в данном устройстве и преобразования ее в другой вид энергии.

Согласно второму закону Кирхгофа для проводящего контура цепи, представленной на рисунке 7.3, имеем

$$E_0 - E = IR_{\text{вт}}, \quad (7.5)$$

где $R_{\text{вт}}$ – сопротивление проводника АБ; сопротивлениями металлических шин и источника энергии с ЭДС E_0 пренебрегаем.

Мощность источника электрической энергии с ЭДС E_0

$$P = E_0 I. \quad (7.6)$$

Подставив в выражение (7.6) значение E_0 из уравнения (7.5), получим

$$P = (E + IR_{\text{вт}})I = EI + I^2 R_{\text{вт}}.$$

Учитывая, что $E = Blv$, а $F = BIl$, запишем

$$P = BlvI + I^2 R_{\text{вт}} = Fv + I^2 R_{\text{вт}}. \quad (7.7)$$

Первое слагаемое в этой сумме определяет механическую мощность движущегося проводника, а второе – мощность тепловых потерь в проводнике АБ в соответствии с законом Джоуля – Ленца.

Уравнение (7.7) подтверждает, что в механическую энергию преобразуется часть электрической энергии источника.