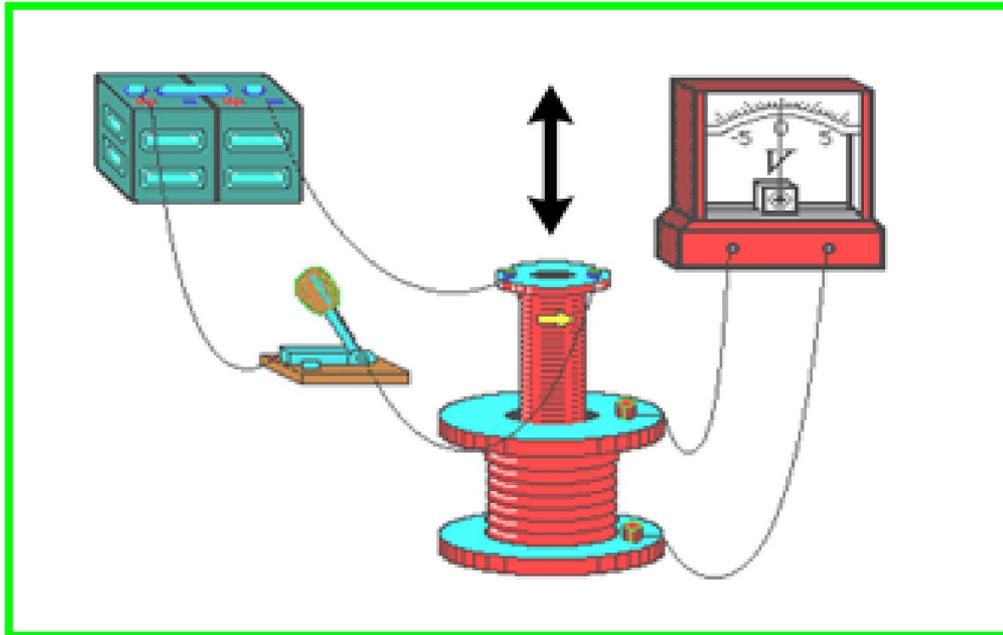
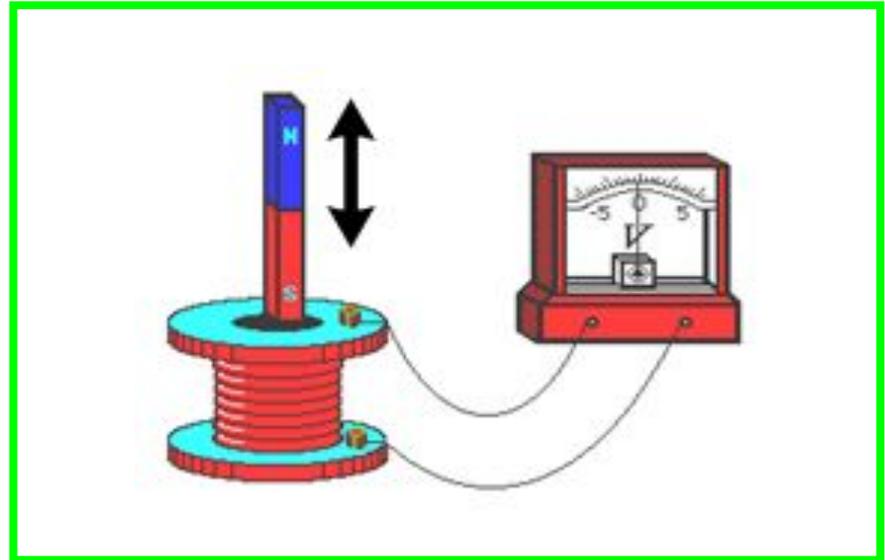


Лекция 15.

Электромагнитная индукция.
Генераторы переменного тока.
Трансформатор.

Явление электромагнитной индукции. Опыты Фарадея.

Опыт I. Соленоид и постоянный магнит.



Опыт II. Два соленоида.

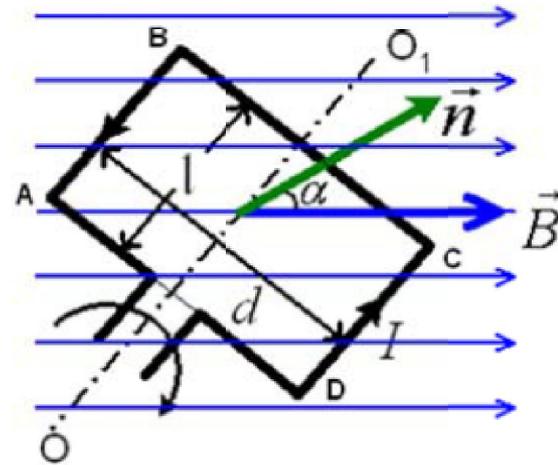
Результаты этих экспериментов показали связь между магнитными и электрическими явлениями.

Закон электромагнитной индукции.

Во всяком замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции через площадь, ограниченную этим контуром, возникает электрический ток (М. Фарадей, 1831).

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

Возникающий при этом ток называют **индукционным**.



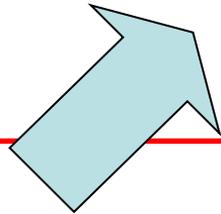
Основные свойства индукционного тока:

- 1) Он возникает при изменении сцепленного с контуром потока магнитной индукции.
- 2) Сила индукционного тока не зависит от способа изменения магнитного потока, а определяется лишь скоростью его изменения.

ЭДС электромагнитной индукции. Закон Фарадея.

Закон Фарадея: ЭДС электромагнитной индукции в контуре равна скорости изменения магнитного потока через его поверхность, и противоположна по знаку

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

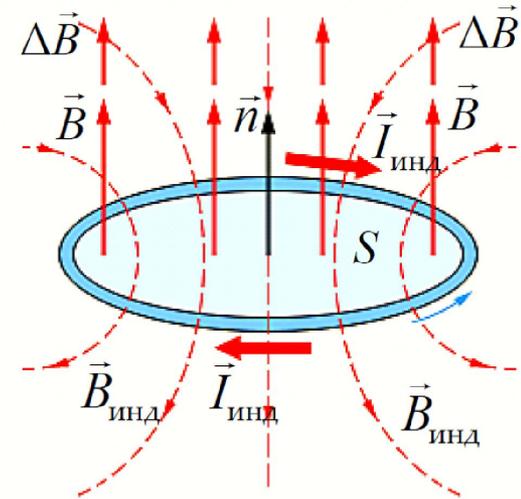


связь электрического
и магнитного полей
(электромагнетизм)

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} (\vec{B} \vec{S}) = - \left(\frac{d\vec{B}}{dt} \vec{S} + \vec{B} \frac{d\vec{S}}{dt} \right)$$

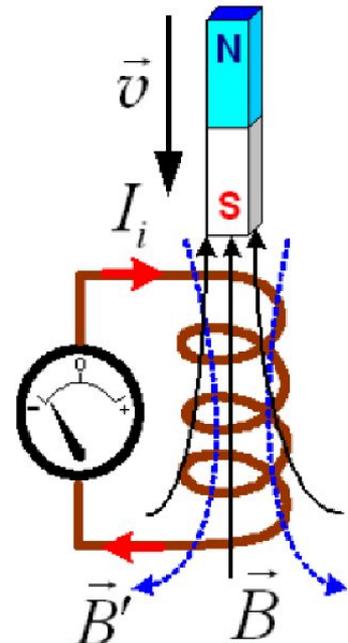
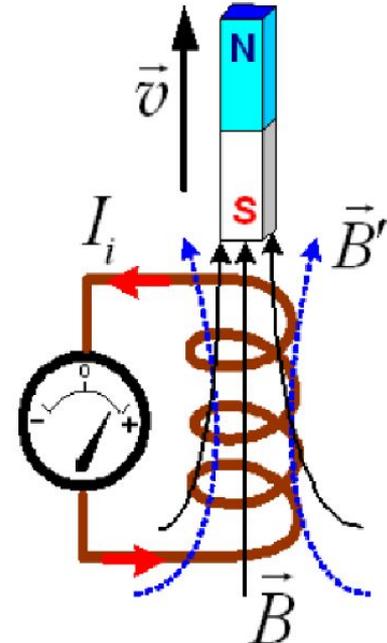
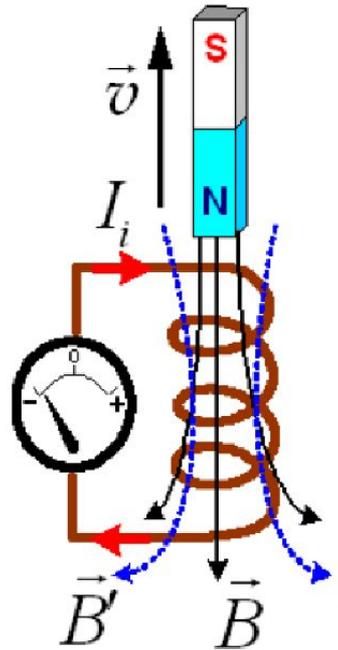
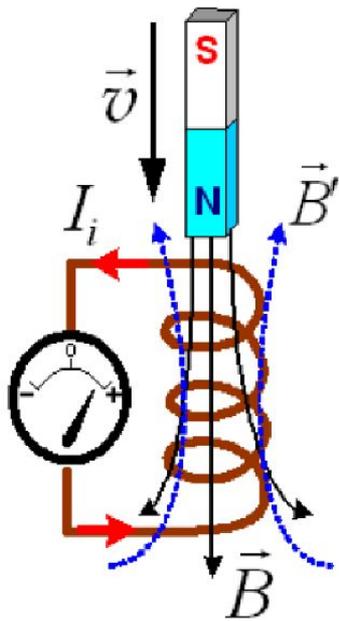
Направление индукционного тока.

Правило Ленца: индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.



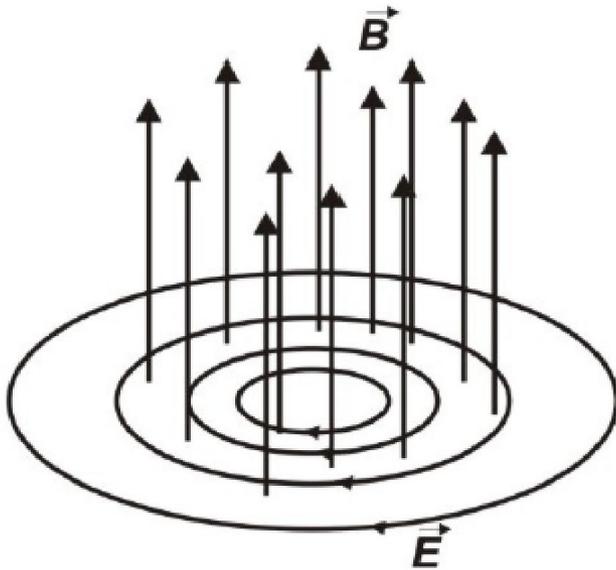
Применение правила Ленца:

1. Установить направление линий \mathbf{B} внешнего магнитного поля.
2. Определить, увеличивается ли поток Φ магнитной индукции этого поля через площадь контура ($\Delta\Phi > 0$) или уменьшается ($\Delta\Phi < 0$).
3. Установить направление линий вектора $\mathbf{B}_{\text{инд}}$ индукционного тока $I_{\text{инд}}$ (противонаправлены \mathbf{B} при $\Delta\Phi > 0$ и сонаправлены при $\Delta\Phi < 0$).
4. По направлению линий $\mathbf{B}_{\text{инд}}$ найти направление индукционного тока $I_{\text{инд}}$ по правилу буравчика.



ЭДС индукции в неподвижных проводниках ($\mathbf{S} = \text{const}$)

В неподвижном проводнике причиной возникновения ЭДС не может быть сила Лоренца, так как заряды неподвижны.



Объяснение Максвелла: переменное магнитное поле порождает в окружающем пространстве вихревое электрическое поле, которое является причиной возникновения индукционного тока в проводнике. Вихревое электрическое поле не является электростатическим.

Силовые линии вихревого электрического поля замкнуты.

$$\mathcal{E}_i = \oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Циркуляция вихревого поля \mathbf{E}_B численно равна ЭДС индукции

ЭДС индукции в движущихся проводниках ($\vec{B} = \text{const}$)

1) Прямоугольный контур в однородном поле \vec{B} . Одна из сторон контура (длиной l) движется со скоростью v .

Сторонней силой в этом случае является сила Лоренца

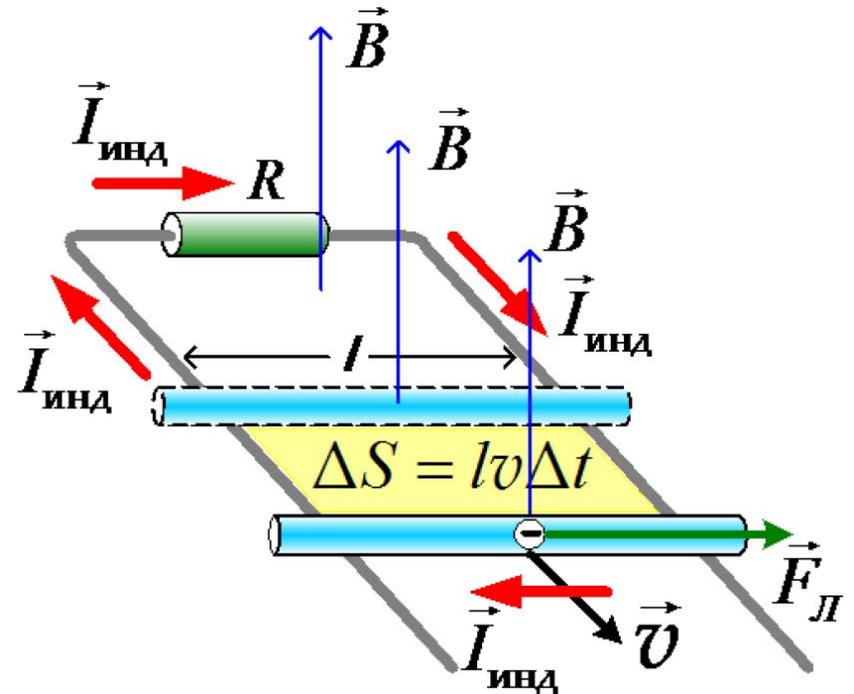
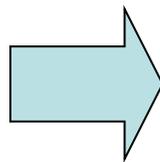
$$F_L = q\bar{v}B$$

Работа силы Лоренца

$$A = F_L l = q\bar{v}Bl$$

Тогда ЭДС индукции

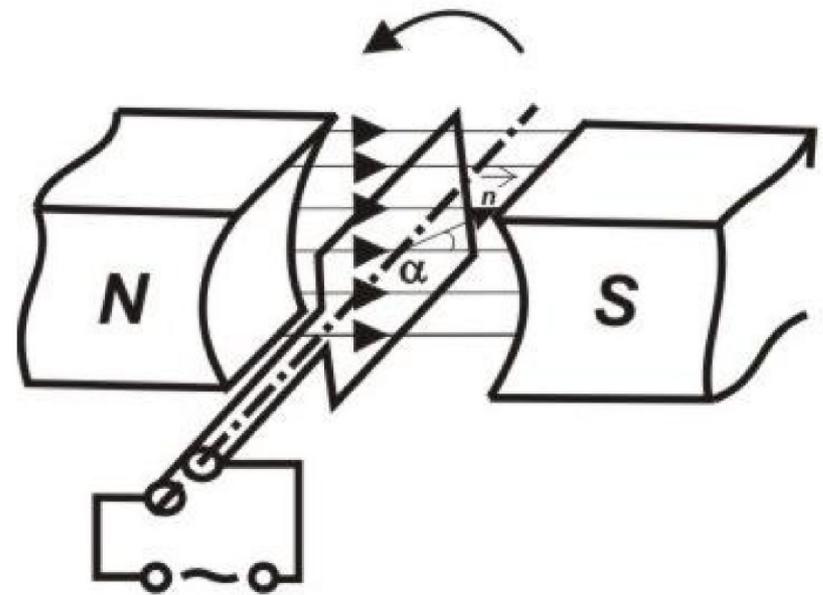
$$\mathcal{E} = \frac{A}{q} = -Blv$$



В общем случае

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Blv \sin \alpha$$

II) Вращающаяся рамка в однородном поле \mathbf{B} . Скорость вращения ω — постоянна.

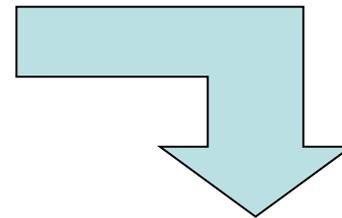


Магнитный поток через рамку изменяется во времени

$$\Phi = B_n S = BS \cos \alpha = BS \cos \omega t$$

Тогда ЭДС индукции

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \sin \omega t$$



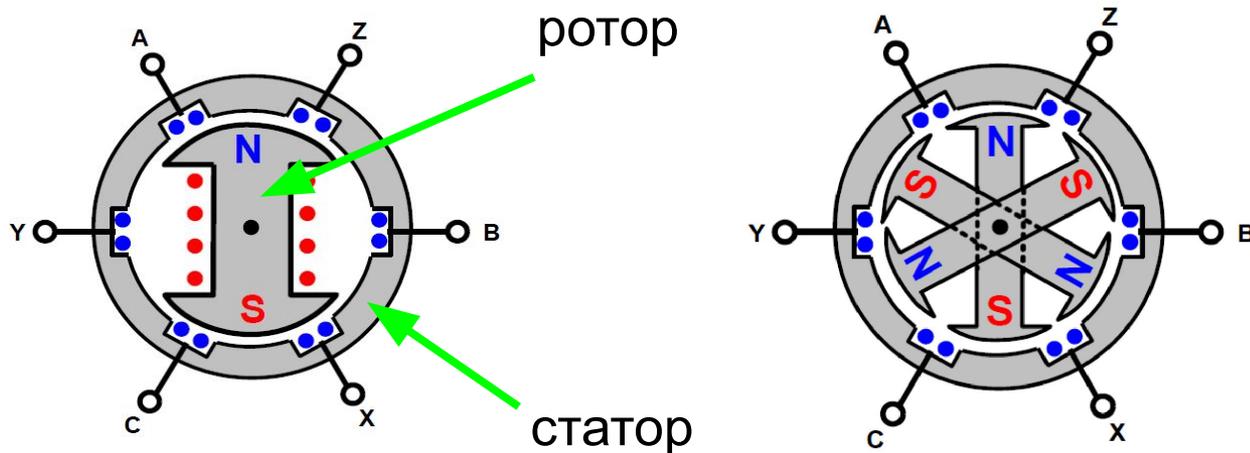
максимальное
значение

$$\mathcal{E}_{\max} = BS\omega$$

Генераторы переменного тока

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega t \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} u = U_m \sin \omega t \\ i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \end{cases}$$

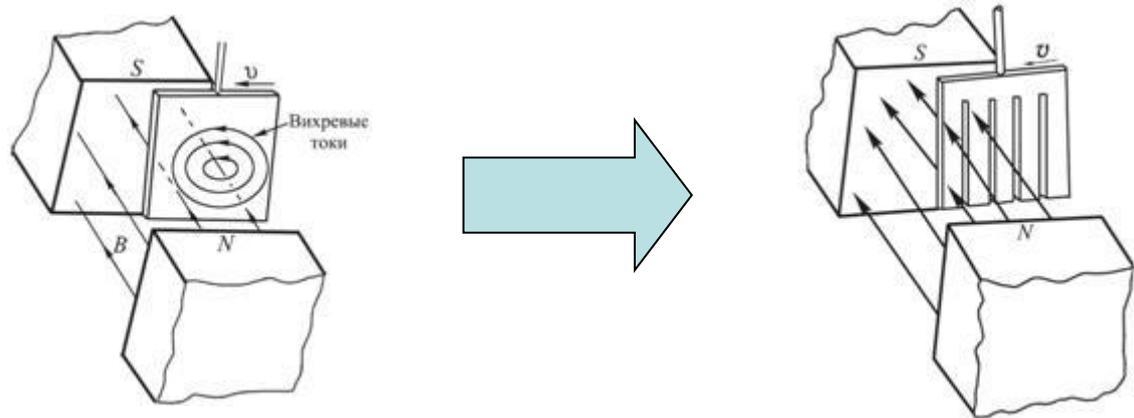
В зависимости от конструкции генератора, активной вращающейся частью (*ротором*) может быть либо обмотка, либо электромагнит. С конструктивной точки зрения второй вариант надежнее.



Скорость вращения ротора в такой конструкции можно уменьшить втрое.

Вихревые токи

Замкнутые в толще проводника токи называют **вихревыми** токами или **токами Фуко**. Вихревые токи возникают в проводах как с постоянными, так и с переменными токами. Направление вихревых токов таково, что они противодействуют изменению первичного тока внутри проводника и способствуют его изменению вблизи поверхности.

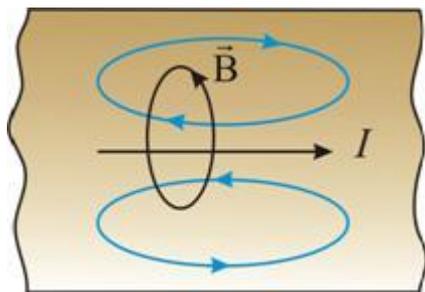


Полезное применение токов Фуко:

- 1) тормозящее действие - демпфирование подвижных частей гальванометров, сейсмографов и т.п., торможение в некоторых конструкциях поездов.
- 2) тепловое действие - в индукционных печах.

Скин-эффект

Вследствие вихревых токов быстропеременный ток вытесняется на поверхность проводника. Это явление называется **скин-эффектом** (от англ. skin — кожа). Токи высокой частоты протекают в тонком поверхностном слое, поэтому провода для них часто делают полыми.



Для уменьшения потерь поверхность высокочастотных контуров покрывают серебром. Иногда, учитывая скин-эффект, провода для токов высокой частоты сплетают из большого числа тонких проводящих нитей, изолированных друг от друга эмалевым покрытием.

Явление самоиндукции. ЭДС самоиндукции.

Самоиндукция является частным случаем электромагнитной индукции, когда изменяющийся магнитный поток создается током в самом контуре. В контуре возникает ЭДС самоиндукции, которая по правилу Ленца препятствует изменению тока.

Самоиндукция – это явление возникновения ЭДС в контуре в результате изменения силы тока в этом же контуре.

Величина ЭДС самоиндукции зависит от:

- 1) скорости изменения тока,
- 2) числа витков катушки, густоты намотки и размеров катушки.

Индуктивность

Собственный магнитный поток, пронизывающий контур или катушку с током, пропорционален силе тока

$$\Phi = LI$$

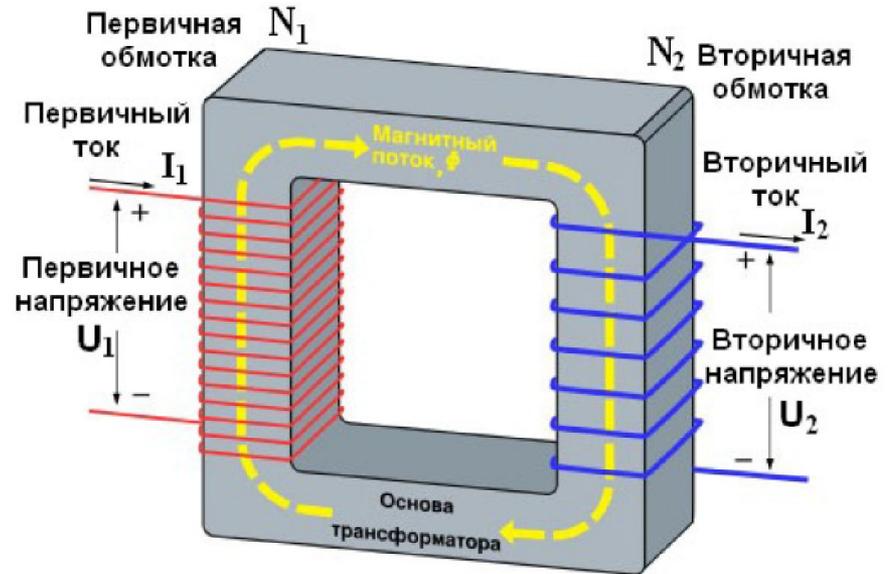
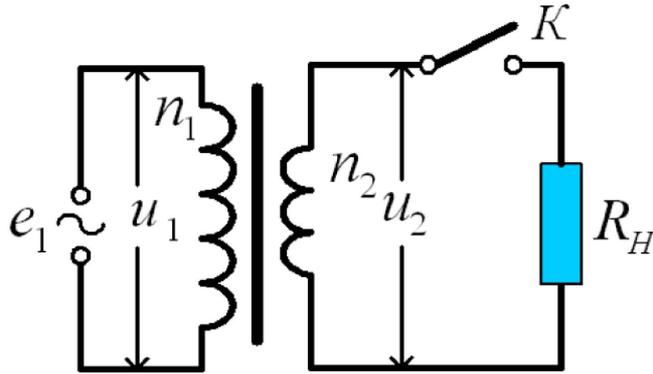
Индуктивность L показывает, какой магнитный поток пронизывает поверхность, охваченную контуром, при силе тока $I = 1\text{А}$.

Единицей измерения индуктивности является величина Вб/А, которая также называется генри (Гн).

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(LI)}{dt}$$

Трансформатор

Трансформатор - устройство, применяемое для повышения или понижения напряжения (тока) в широком диапазоне.



Коэффициент трансформации

$$\mathcal{E}_2 = -\frac{N_2}{N_1} \mathcal{E}_1$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = K$$