



# Трансформатор

*«Как наша прожила б планета,  
Как люди жили бы на ней,  
Без темноты, магнита, света  
И электрических лучей?»*

Мицкеви

Ч



## **Павел Николаевич Яблочков**

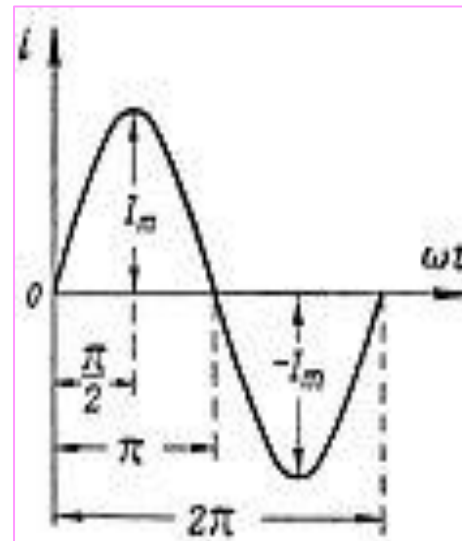
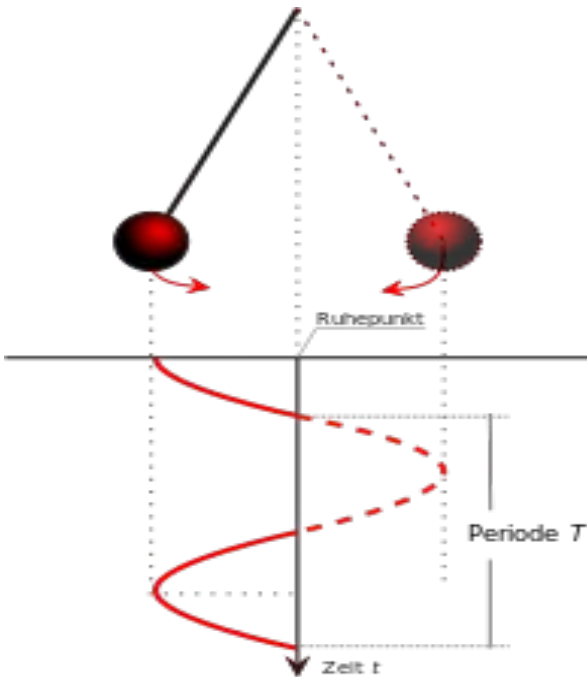
(14 (26) сентября 1847 - 19 (31) марта 1894 )(46 лет)

получил мировую известность как изобретатель конструкции **электрической свечи – предшественницы современной лампы накаливания**. Свеча Яблочкова представляла собой два стержня, разделённых изоляционной прокладкой из каолина. Каждый из стержней зажимался в отдельной клемме подсвечника. На верхних концах зажигался дуговой разряд, и пламя дуги ярко светило, постепенно сжигая угли и испаряя изоляционный материал. Каждая свеча горела полтора часа; по истечении этого времени приходилось вставлять в фонарь новую свечу (впоследствии были придуманы фонари с автоматической заменой свечей).

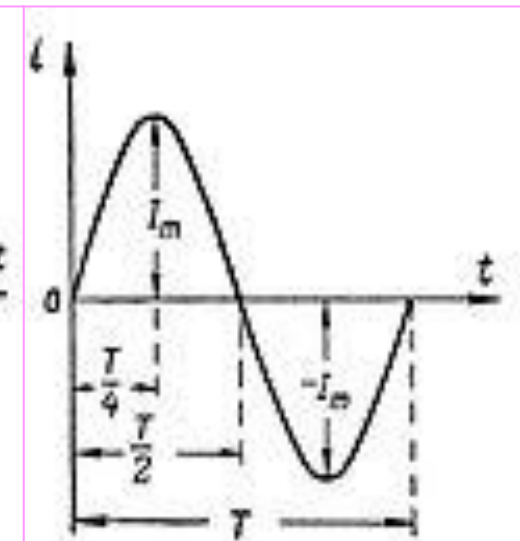
**15 апреля 1876 года в Лондоне** открылась выставка физических приборов, на которой Яблочков представил четыре своих свечи. Успех «свечи Яблочкова» превзошёл все ожидания. Мировая печать, особенно французская, английская, немецкая, пестрела заголовками: «Вы должны видеть свечу Яблочкова»; «Изобретение русского отставного военного инженера Яблочкова — новая эра в технике»; «Свет приходит к нам с Севера — из России»; «Северный свет, русский свет, — чудо нашего времени»; «**Россия — родина электричества**» и т. д. **С марта 1876 по октябрь 1877** — он подарил человечеству ряд других выдающихся изобретений и открытий – в том числе, и **первый генератор переменного тока, и первый в мире трансформатор переменного**

**тока** – именно за это изобретение сегодня и почитают Яблочкова

В странах Европы и Америки наибольшее распространение получил ток, меняющий свое направление 100-120 раз в секунду. В России частота переменного тока 50 Гц.



Зависимость  
синусоидального тока  
от угла  $\omega t$



Зависимость  
синусоидального тока  
от времени

Колебания [маятника](#) также подчиняются закону [синуса](#). Если записать проекцию траектории движения [математического маятника](#) на движущуюся бумажную ленту — получится [синусоида](#).

Периоду  $T$  соответствует угол  $2\pi$ ,  
половине периода  $\frac{T}{2}$  угол  $\pi$  и так  
далее...

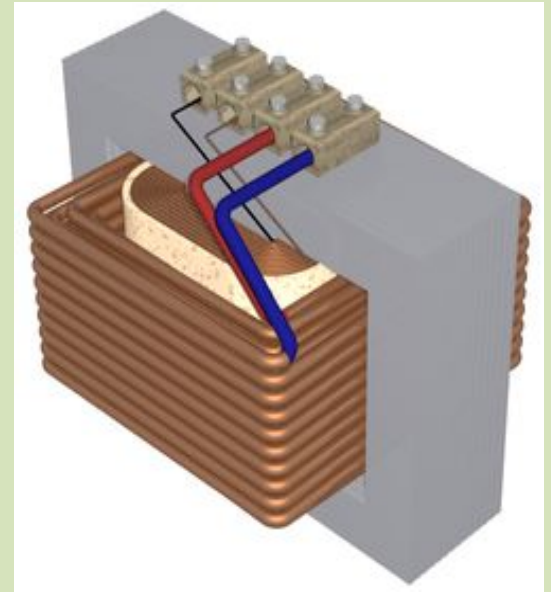
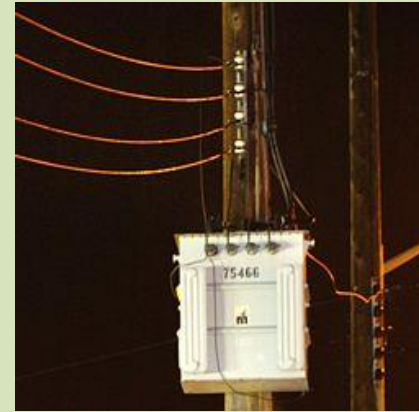
С использованием переменного тока связан основной способ передачи электроэнергии вследствие относительной простоты его преобразования (повышения и понижения

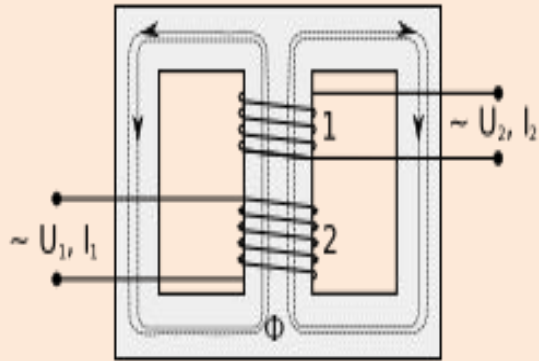
напряжения, выпрямления, изменения частоты).

- Преобразование переменного тока, при котором напряжение увеличивается или уменьшается в несколько раз практически без потери мощности ( при неизменной частоте тока), осуществляется с помощью трансформаторов.
- Трансформатор преобразует переменный ток так: ,  $P$  и  $\nu$  не изменяются.
- Первый трансформатор был изобретен в 1878 году русским ученым П.Н.Яблочковым и усовершенствован в 1882 году другим русским ученым И.Ф.Усагиным.

- **Трансформатор** (от лат. *transformo* — преобразовывать) — это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки на каком-либо магнитопроводе и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений), без изменения частоты







$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

$U_1$  - напряжение на первичной обмотке,  
 $U_2$  - напряжение на вторичной обмотке,

$N_1$  - количество витков первичной обмотки,

$N_2$  - количество витков вторичной обмотки,

$I_1$  - ток первичной обмотки,

$I_2$  - ток вторичной обмотки.

**В трансформаторе соблюдается закон сохранения энергии, то есть какая мощность в транс заходит, такая и выходит.**

$$P_1 = I_1 \cdot U_1 = P_2 = I_2 \cdot U_2$$

Каждый виток первичной и вторичной обмоток пронизывает один и тот же магнитный поток, то в них возникают одинаковые ЭДС, равные по закону Фарадея для электромагнитной индукции:

$$e_1 = e_2 = - \dot{\Phi}$$

ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  действующие во всей первичной или вторичной обмотках, равны произведению ЭДС в одном витке  $e_1$  или  $e_2$  на число витков в обмотке  $N_1$  и  $N_2$

$$E_1 = e_1 \cdot N_1$$

$$E_2 = e_2 \cdot N_2$$

Вывод: ЭДС, действующие в обмотках, прямо пропорциональны числу витков в них.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Сила тока в первичной обмотке трансформатора во столько раз больше силы тока во вторичной обмотке, во сколько раз напряжение в ней больше напряжения в первичной обмотке

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$$

Если пренебречь падением напряжения на сопротивлениях обмоток, когда сопротивления малы, то можно записать отношение и для напряжений на обмотках трансформатора

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



## Принцип действия основан на законе электромагнитной индукции:

При прохождении переменного тока по первичной обмотке в сердечнике возникает переменный магнитный поток, который возбуждает ЭДС индукции в каждой обмотке. Магнитное поле концентрируется внутри сердечника и одинаково во всех его сечениях. Мгновенное значение индукции  $E_i$  в любом витке и первичной, и вторичной обмоток одинаково:  $E_1 = E_2$

### Потери энергии при работе трансформатора:

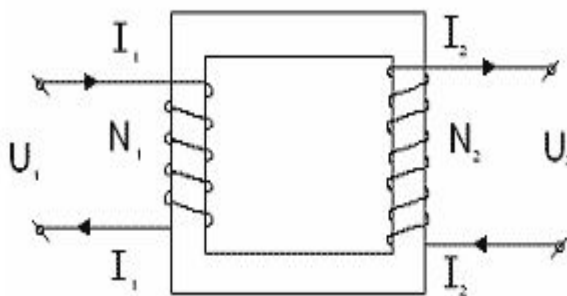
- на нагревание обмоток;
- на рассеивание магнитного потока в пространство;
- на вихревые токи в сердечнике и на его перемагничивание.

### Меры, принимаемые для уменьшения потерь:

- обмотка низкого напряжения делается большого сечения так, как по ней протекает ток большой силы;
- сердечник делают замкнутым, чтобы уменьшить рассеяние магнитного потока;
- сердечник делают пластинчатым, чтобы уменьшить вихревые токи.

Благодаря этим мерам КПД современных трансформаторов достигает 95-99%.

# Работа трансформатора на холостом ходу.



Если первичную обмотку подключить к источнику переменного напряжения, а вторичную оставить разомкнутой - **это режим называют холостого хода трансформатора**

Во вторичной обмотке тока не будет, а в первичной обмотке появится слабый ток, создающий в сердечнике переменный магнитный поток.

Этот поток наводит поэтому ЭДС индукции в обмотках, пропорциональна

При разомкнутой вторичной обмотке напряжение на ее зажимах  $U_2$  будет равно наводимой в ней ЭДС  $E_2$ .

Величина, показывающая, во сколько раз данный трансформатор изменяет напряжение переменного тока, называется коэффициентом

трансформации.

При подаче на первичную обмотку трансформатора какого-либо напряжения  $U_1$  на вторичной обмотке мы получаем на выходе  $U_2$ .

Оно будет **больше первичного**, если обмотка содержит **больше витков, чем первичная.**

$N_2 > N_1$ , то  $U_2 > U_1$ ,  
коэффициент трансформации:

$$k < 1$$

трансформатор называется повышающим.

$$N_2 < N_1 \quad U_2 < U_1$$
$$k > 1$$

трансформатор называется понижающим.

Эти формулы справедливы, если ни первичная, ни вторичная обмотки не содержат активного сопротивления R. Первичная обмотка, как правило, не содержит такого сопротивления, а вторая обмотка может его содержать.

Если она все же не содержит сопротивления или им можно пренебречь, то напряжение на выходе такой обмотки равно напряжению  $U_2$ .

**Когда вторичная обмотка трансформатора не имеет сопротивления  $R = 0$  то  $\eta = 100\%$**

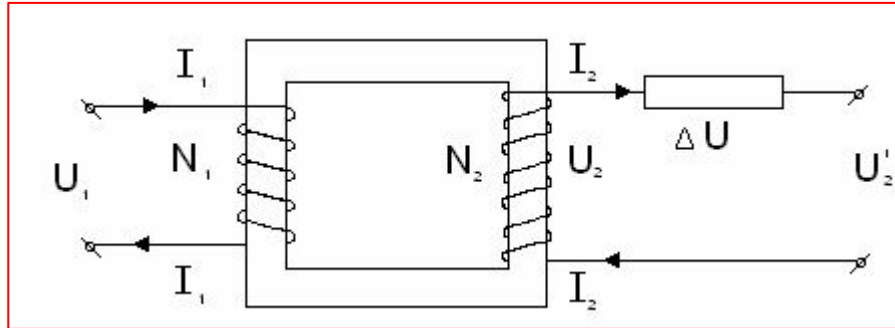
Апол = А затр, тогда  $U_1 I_1 t = U_2 I_2 t$   
 $U_1 I_1 = U_2 I_2$       $P_1 = P_2$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$$

$$\eta = \frac{A_{\text{н}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%$$

# Работа трансформатора с нагрузкой.



Если во **вторичную цепь** трансформатора **включить нагрузку**, то

во **вторичной обмотке возникает ток**.

Этот ток создает магнитный поток, который согласно **правилу Ленца**, должен уменьшить изменение магнитного потока в сердечнике, тогда уменьшится ЭДС индукции в первичной обмотке, **поэтому ток в первичной обмотке должен возрасти**, восстанавливая начальное изменение магнитного потока.

При этом увеличивается мощность, потребляемая трансформатором от сети.

Если же вторичная обмотка трансформатора имеет сопротивление вторичной обмотки  $R_2$

(говорится о длине проводников из которых изготовлена обмотка, или о материале проводника, или о сечении и диаметре проводов обмотки),

то на выходе вторичной обмотки напряжение  $U_2'$  будет меньше расчетного напряжения  $U_2$  на величину падения напряжения  $\Delta U = I_2 \cdot R_2$  на этом сопротивлении из-за потерь энергии тока на джоулево тепло.

На выход (на нагрузку)  $R_n$  "пойдет" меньшее напряжение:

$$U_2' = U_2 - \Delta U = U_2 - I_2 \cdot R_2$$

Потери напряжения  $\Delta U$  находят по закону Ома для участка цепи:

$$\Delta U = I_2 \cdot R_2, \text{ откуда } I_2 = \frac{\Delta U}{R_2}$$

(отмечаем, что такой же ток течет и в нагрузке  $R_n$ , так как  $R_2$  и  $R_n$  соединены последовательно). По закону Ома для участка цепи

сопротивлением  $I_2 = \frac{U_2'}{R_n}$  тогда напряжение на нагрузке:

$$U_2' = I_2 \cdot R_n$$



Учитывая, что  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$   
можем всегда найти нужную величину напряжения или силы тока, количество витков в катушках.

$$\kappa \text{ и } \delta = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\% = \frac{U_2' I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{U_2' \cdot k}{U_1} \cdot 100\%$$

## Использование трансформаторов.

Трансформаторы используются в технике и могут быть устроены очень сложно, однако неизменным остается принцип их действия: "**изменяющееся магнитное поле, созданное переменным током в первичной обмотке, пронизывая витки вторичной обмотки, индуцирует в ней переменный ток той же частоты, но другого напряжения**". В современных мощных трансформаторах суммарные потери энергии не превышают 2–3%.  
на заводах и фабриках при подаче напряжения к двигателям станков 380–660 В.  
при передаче электроэнергии по проводам от 100 до 1000В;  
для электросварки и электроплавки;  
в радиотехнике; и др.

**Задача 8.** Первичная обмотка понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации  $k = 10$  включена в сеть переменного тока с напряжением  $U_1 = 120$  В. Сопротивление вторичной обмотки  $R_2 = 1,2$  Ом, ток в ней  $I_2 = 5$  А. Найти напряжение на нагрузке трансформатора и сопротивление нагрузки. Найти число витков во Вторичной обмотке, если первичная обмотка содержит 10000 витков. Чему равен кпд этого трансформатора.

**Дано:**      **Решение:**

$k = 10$       Зная коэффициент трансформации трансформатора  $k$ , найдем число витков во вторичной обмотке  $N_2$  " $k$ " показывает, во сколько раз наш  
 $U_1 = 120$  В      понижающий трансформатор уменьшает напряжение  $k = \frac{U_1}{U_2}$  то  $U_2 = \frac{U_1}{k} = \frac{120\text{В}}{10} = 12$  В  
 $R_2 = 1,2$  Ом

$J_2 = 5$  А      Напряжение в обмотках прямо пропорционально числу витков в них  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$  откуда  $N_2 = \frac{N_1}{k}$  (витков), так как вторичная обмотка  
 $N_1 = 10\ 000$   
 $U_2' = ?$

$N_2 = ?$       трансформатора имеет сопротивление обмотки  $R_2$ , то на выход  $R_H$  пойдет напряжение  $U_2' \langle U_2 U_2' = U_2 - \Delta U = U_2 - J_2 R_2$  где  $\Delta U$  – падение  
 $R_H = ?$       напряжения из-за на  $R_2$  потерь энергии на джоулево тепло.  
 $\text{кпд} = ?$

$\Delta U = ?$       По закону Ома  $J_2 = \frac{\Delta U}{R_2}$ , откуда  $\Delta U = J_2 R_2 = 5 \text{ А} \cdot 1,2 \text{ Ом} = 6 \text{ В}$   $U_2' = (12 - 6) \text{ В} = 6 \text{ В}$

$R_2$  и  $R_H$  соединены последовательно, то  $J_2 = J_H$

по закону Ома для участка цепи сопротивления  $R_H$ :

$$J_2 = \frac{U_2'}{R_H} \Rightarrow R_H = \frac{U_2'}{J_2} = \frac{6 \text{ В}}{5 \text{ А}} = 1,2 \text{ (Ом)}$$

Работа тока на зажимах вторичной обмотки  $A_{\text{пол}} = U_2' \cdot J_2 \cdot t$

Работа тока в первичной обмотке  $A_3 = U_1 \cdot J_1 \cdot t$ , где  $J_1 = \frac{J_2}{k} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ А}$

$$\text{КПД трансформатора КПД} = \frac{A_n}{A_3} \cdot 100\% = \frac{U'_2 J_2}{U_2 J_1} \cdot 100\% = \frac{6 \cdot 5}{120 \cdot 0,5} \cdot 100\% = \frac{100\%}{2} = 50\%$$

## Решение задач:

**Задача 1.** Как, вы думаете, что будет, если первичную обмотку подключить к источнику постоянного тока?

**Задача 2.** Если сопротивление первичной обмотки, подключенной к источнику постоянного тока велико, то изменится ли напряжение во

**Задача 3.** Сколько витков должна иметь вторичная обмотка трансформатора, чтобы повысить напряжение с 220 до 11000В, если в первичной обмотке 20 витков? Каков коэффициент трансформации?

**Задача 4.** Под каким напряжением находится первичная обмотка трансформатора, имеющая 1000 витков, если во вторичной обмотке 3500 витков и напряжение 105В?

**Задача 5.** Мощность, потребляемая трансформатором, 90 Вт. Определите силу тока во вторичной обмотке, если напряжение на зажимах вторичной обмотки 12 В и КПД трансформатора 75%.

**Задача 6.** Первичная обмотка понижающего трансформатора включена в сеть напряжением 220 В. Напряжение на зажимах вторичной обмотки 20В, ее сопротивление 1 Ом, сила тока 2А. Определите коэффициент трансформации и КПД трансформатора.

**Задача 7.** Первичная обмотка трансформатора, включенного в цепь переменного тока с напряжением 220 В, имеет 1500 витков. Определить число витков во вторичной обмотке, если она должна питать цепь с напряжением 6,3В, при силе тока 0,5 А

Нагрузка активная. Сопротивление вторичной обмотки равно 0,2 Ом. Сопротивлением первичной обмотки пренебречь.