



Трансформатор

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

Мицкеви

Ч



Павел Николаевич Яблочков

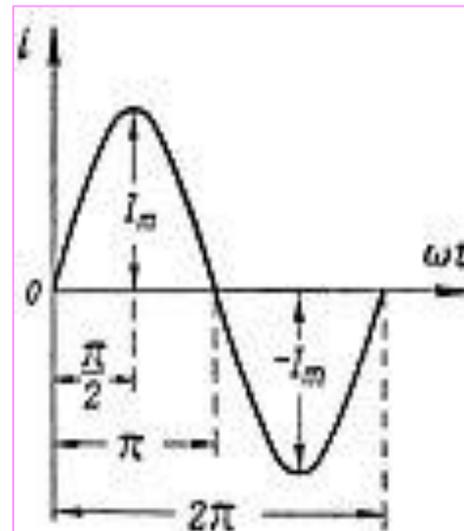
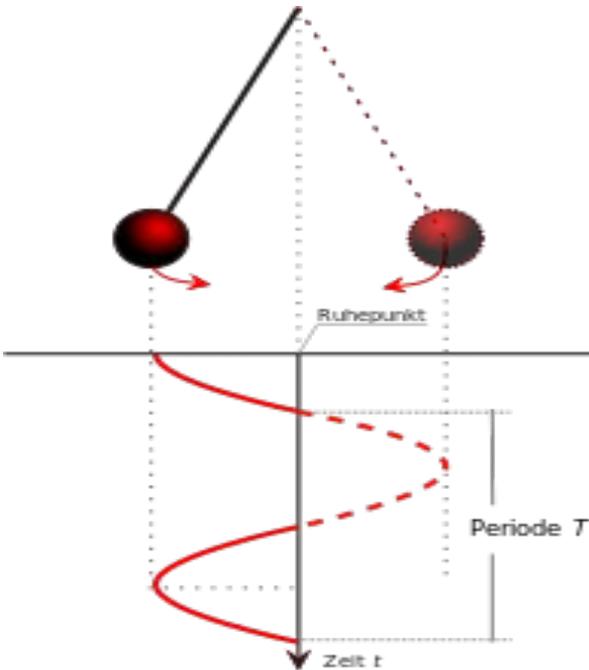
(14 (26) сентября 1847 - 19 (31) марта 1894)(46 лет)

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).

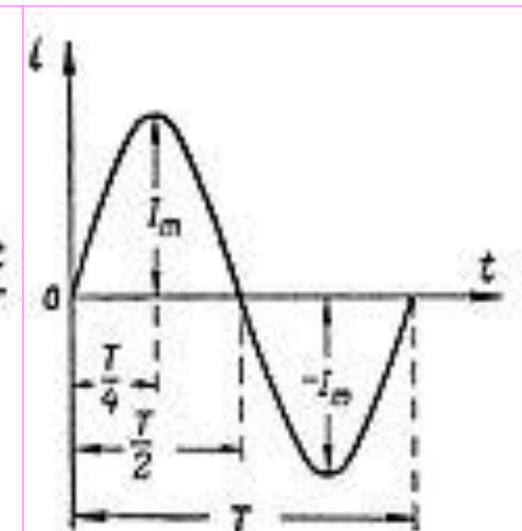
15 апреля 1876 года в Лондоне открылась выставка физических приборов, на которой Яблочков представил четыре своих свечи. Успех «свечи Яблочкова» превзошёл все ожидания. Мировая печать, особенно французская, английская, немецкая, пестрела заголовками: «Вы должны видеть свечу Яблочкова»; «Изобретение русского 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 ωt



Зависимость
синусоидального тока
от времени

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

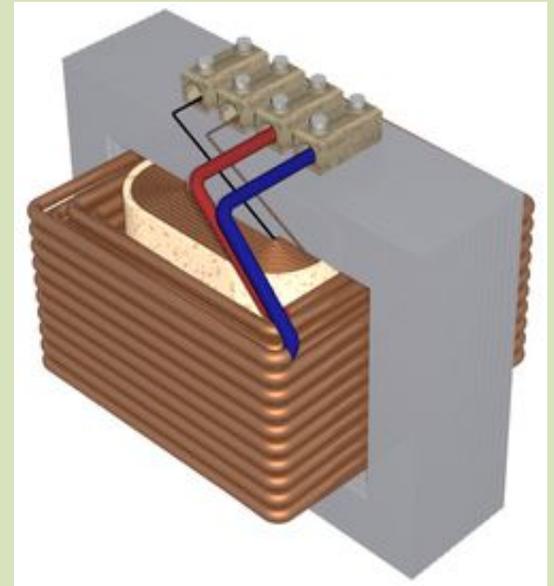
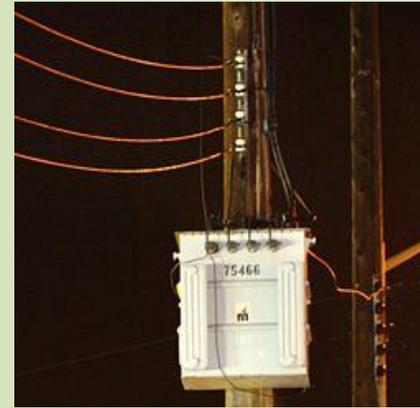
Периоду T соответствует угол 2π ,
половине периода $\frac{T}{2}$ угол π и так
далее...

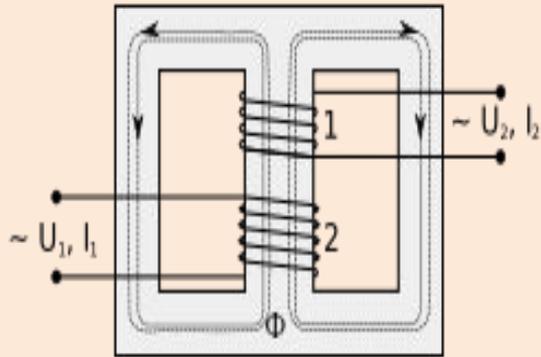
С использованием переменного тока связан основной способ передачи электроэнергии вследствие относительной простоты его преобразования (повышения и понижения

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 v 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:

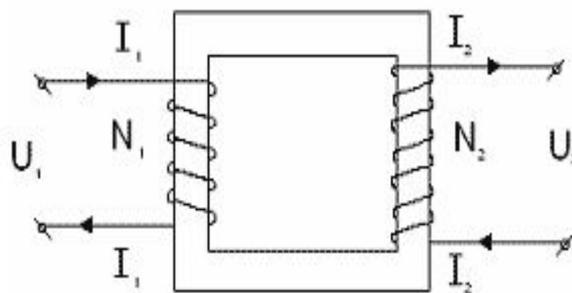
- на нагревание обмоток;
- на рассеивание магнитного потока в пространство;
- на вихревые токи в сердечнике и на его перемагничивание.

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 КПД = 100%

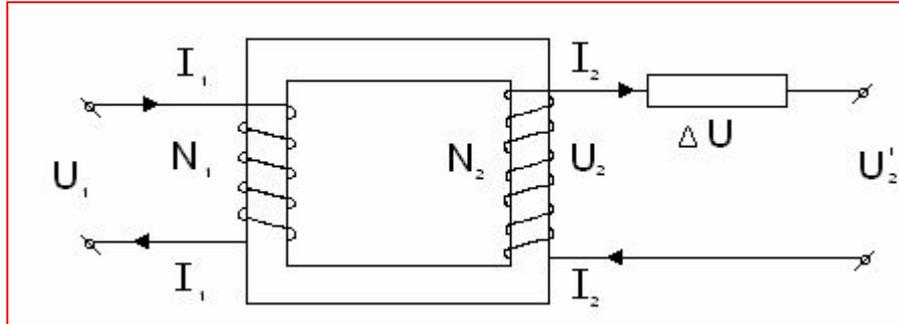
Апол = А затр, тогда $U_1 I_1 t = U_2 I_2 t$
 $U_1 I_1 = U_2 I_2$ $P_1 = P_2$

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

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

$$\text{КПД} = \frac{A_{\text{н}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{U_2 J_2}{U_1 J_1} \cdot 100\%$$

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 ΔU 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 ΔU – 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.