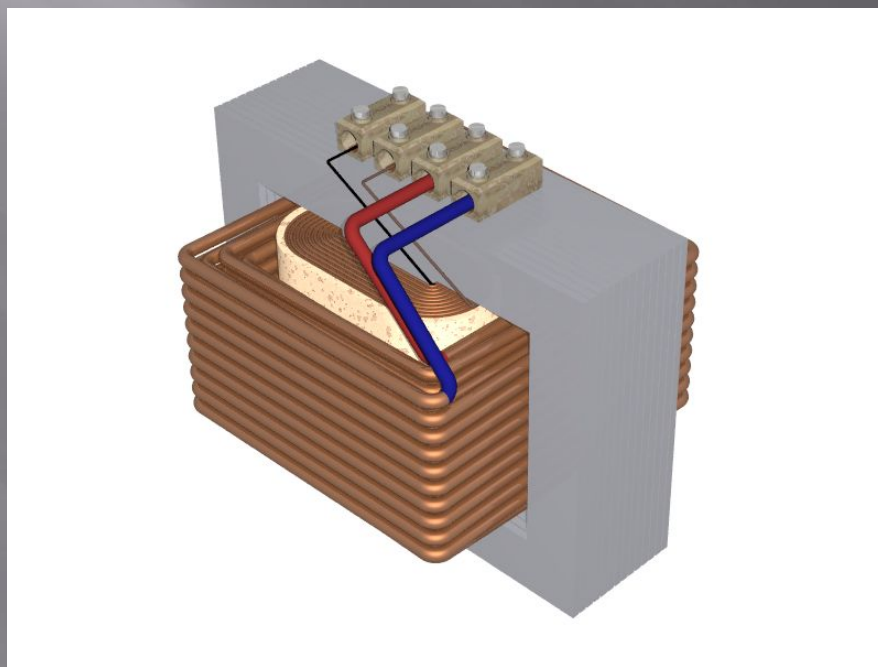


ТРАНСФОРМАТОР



Что такое трансформатор и коэффициент трансформации?

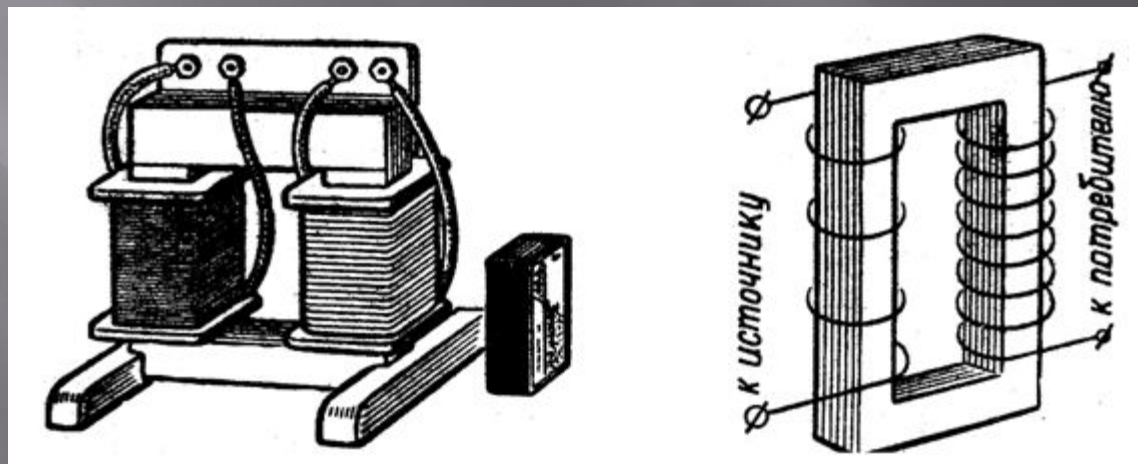
Трансформатор -статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока.

Коэффициент трансформации — величина, равная отношению напряжений в первичной и вторичной обмотках трансформатора:

$$k=U1/U2=N1/N2.$$

Первый трансформатор.

Первый трансформатор был изобретен в 1878 году русским ученым [П.Н.Яблочковым](#) и усовершенствован в 1882 году другим русским ученым [И.Ф.Усагиным](#).



Яблочков Павел Николаевич

Российский электротехник, изобретатель и предприниматель. Изобрел (патент 1876) дуговую лампу без регулятора - электрическую свечу («свеча Яблочкова»), чем положил начало первой практически применимой системе электрического освещения. Работал над созданием электрических машин и химических источников тока.



Годы жизни (1847-1894)

Устройство трансформатора.

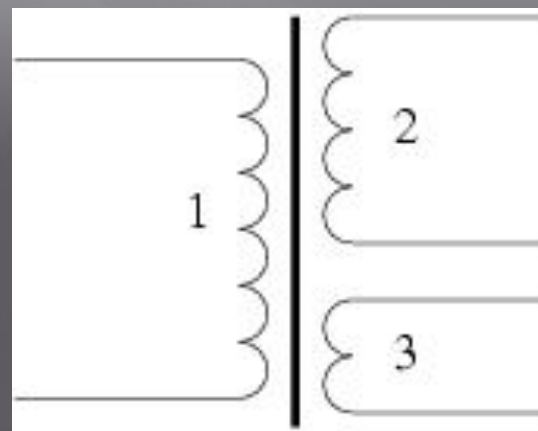
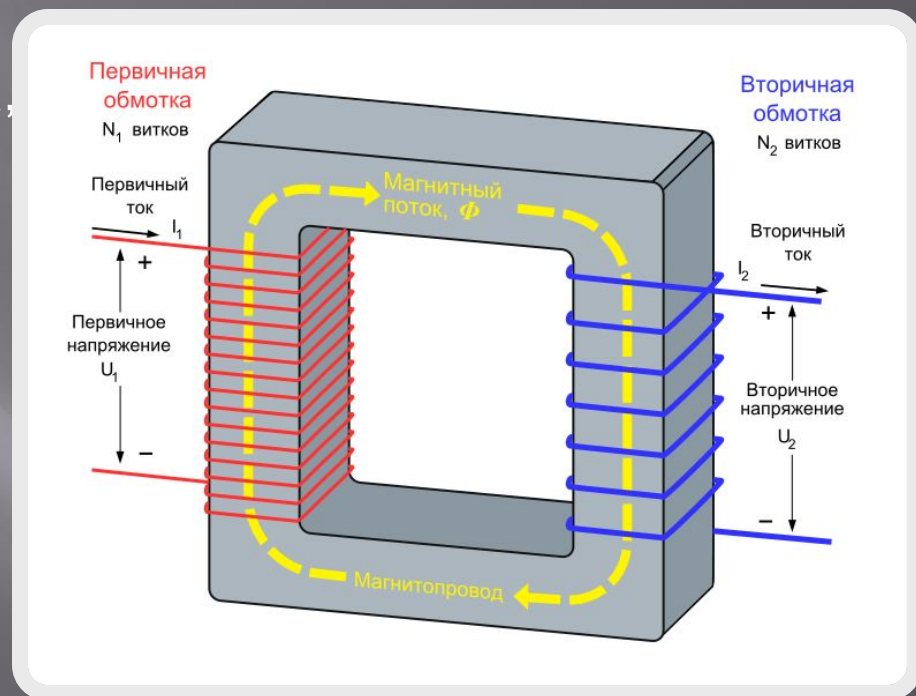
Трансформатор состоит из замкнутого стального сердечника, собранного из пластин, на который надеты две катушки с проволочными обмотками.

Одна из обмоток, называется первичной, подключается к источнику переменного напряжения. Вторая обмотка, к которой присоединяют «нагрузку», т.е. приборы и устройства, потребляющие электроэнергию, называется вторичной.

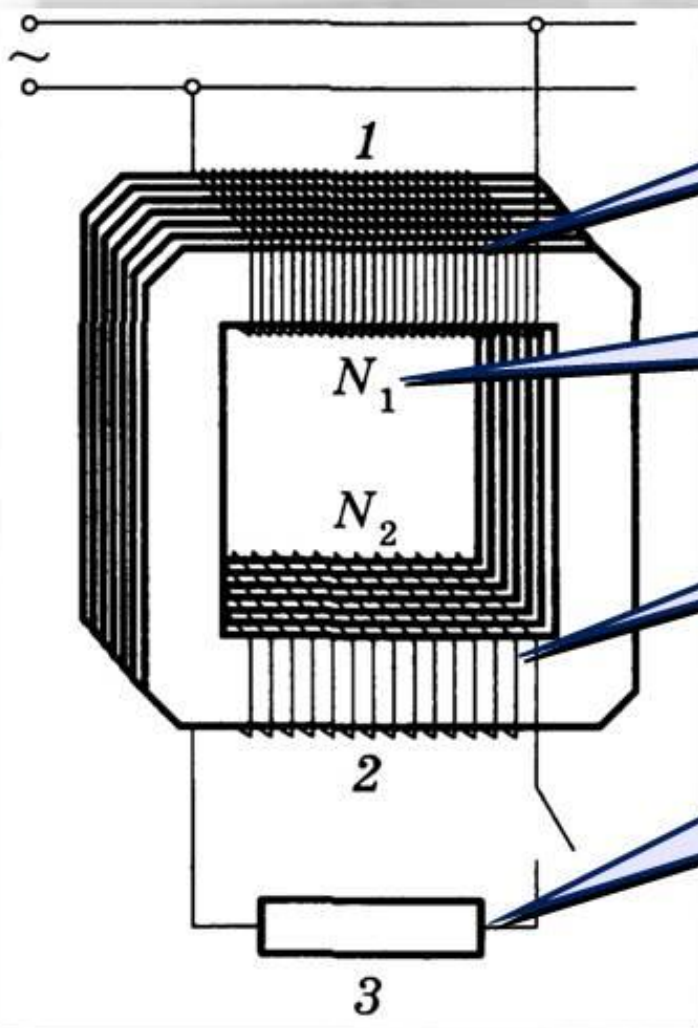
На схемах трансформатор обозначается следующим образом:

1- первичная обмотка (обычно слева),

2.3 – вторичные обмотки.



Устройство трансформатора



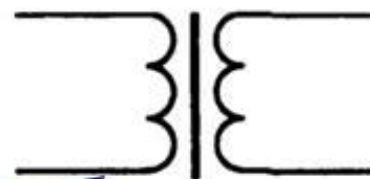
1. Первичная обмотка.

*. Число витков на обмотках 1 и 2.

2. Вторичная обмотка.

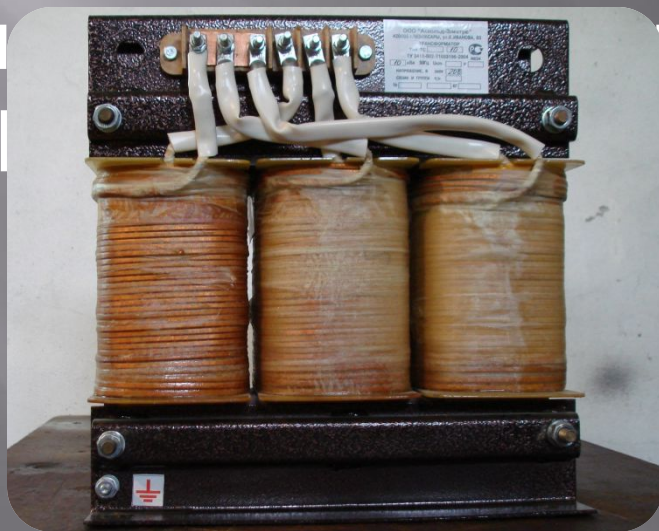
3. «Нагрузка» – потребитель электроэнергии.

** . Графическое обозначение

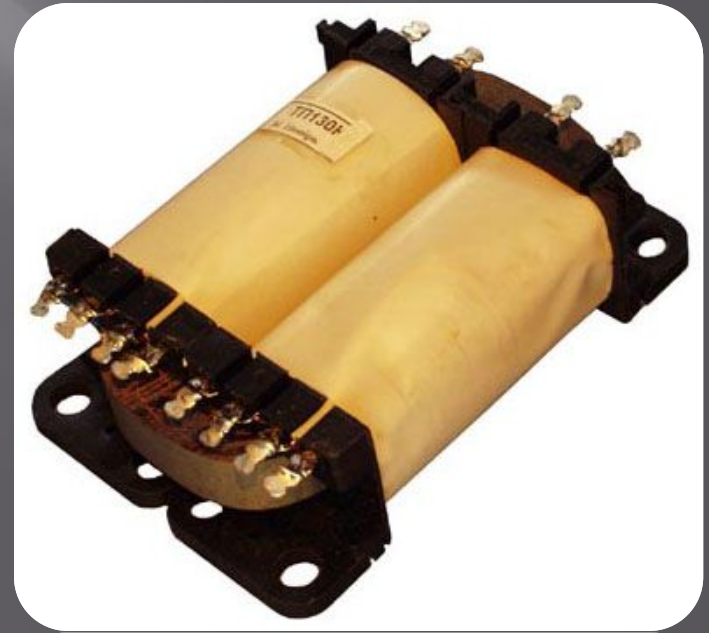


Трансформатор может быть **повышающим**
и **понижающим**.

Повышающий трансформатор –
трансформатор, увеличивающий
напряжение ($U_2 > U_1$). У повышающего
трансформатора число витков N_2 во
вторичной обмотке должно быть больше
числа витков N_1 в первичной обмотке, т.



Понижающий трансформатор – трансформатор, уменьшающий напряжение ($U_2 < U_1$). У понижающего трансформатора число витков во вторичной обмотке должно быть меньше числа витков в первичной обмотке, т.е. $k > 1$



Применение трансформаторов.

Наиболее часто трансформаторы применяются в электросетях и в источниках питания различных приборов.

Поскольку потери на нагревание провода пропорциональны квадрату тока, проходящего через провод, при передаче электроэнергии на большое расстояние выгодно использовать очень большие напряжения и небольшие токи.

Из соображений безопасности и для уменьшения массы изоляции в быту желательно использовать не столь большие напряжения.



Режимы работы трансформатора

Режим холостого хода. Данный режим характеризуется разомкнутой вторичной цепью трансформатора, вследствие чего ток в ней не течёт. По первичной обмотке протекает ток холостого хода, главной составляющей которого является реактивный ток намагничивания. С помощью опыта холостого хода можно определить КПД трансформатора, коэффициент трансформации, а также потери в сердечнике (т. н. «потери в стали»).

Режим нагрузки. Этот режим характеризуется работой трансформатора с подключенным источником в первичной, и нагрузкой во вторичной цепи трансформатора. Во вторичной обмотке протекает ток нагрузки, а в первичной — ток, который можно представить как сумму тока нагрузки (пересчитанного из соотношения числа витков обмоток и вторичного тока) и ток холостого хода. Данный режим является основным рабочим для трансформатора.

Режим короткого замыкания. Этот режим получается в результате замыкания вторичной цепи накоротко. Это разновидность режима нагрузки, при котором сопротивление вторичной обмотки является единственной нагрузкой. С помощью опыта короткого замыкания можно определить потери на нагрев обмоток в цепи трансформатора («потери в меди»). Это явление учитывается в схеме замещения реального трансформатора при помощи активного сопротивления.

Режим холостого хода

При равенстве вторичного тока нулю (режим холостого хода), ЭДС индукции в первичной обмотке практически полностью компенсирует напряжение источника питания, поэтому ток, протекающий через первичную обмотку, равен переменному току намагничивания, нагрузочные токи отсутствуют. Для трансформатора с сердечником из магнитомягкого материала (ферромагнитного материала, трансформаторной стали) ток холостого хода характеризует

Режим короткого замыкания

В режиме короткого замыкания, на первичную обмотку трансформатора подаётся переменное напряжение небольшой величины, выводы вторичной обмотки соединяют накоротко. Величину напряжения на входе устанавливают такую, чтобы ток короткого замыкания равнялся номинальному (расчётному) току трансформатора. В таких условиях величина напряжения короткого замыкания характеризует потери в обмотках трансформатора, потери на омическом сопротивлении. Напряжение короткого замыкания (определяется в % от номинального напряжения), полученное с помощью опыта короткого замыкания является одним из важных параметров трансформатора. Мощность потерь можно вычислить, умножив напряжение короткого замыкания на ток короткого замыкания.

Данный режим широко используется в измерительных трансформаторах тока.

Режим работы

При подключении нагрузки ко вторичной обмотке во вторичной цепи возникает ток нагрузки, создающий магнитный поток в магнитопроводе, направленный противоположно магнитному потоку, создаваемому первичной обмоткой. В результате в первичной цепи нарушается равенство ЭДС индукции и ЭДС источника питания, что приводит к увеличению тока в первичной обмотке до тех пор, пока магнитный поток не достигнет практически прежнего значения.

Мгновенный [магнитный поток](#) в магнитопроводе трансформатора определяется интегралом по времени от мгновенного значения ЭДС в первичной обмотке и в случае синусоидального напряжения сдвинут по фазе на 90° по отношению к ЭДС. Наведённая во вторичных обмотках ЭДС пропорциональна первой производной от магнитного потока и для любой формы тока совпадает по фазе и форме с ЭДС в первичной обмотке.

Холостой ход трансформатора

$u_1 = U_{m1} \cos \omega t$ Гармонически изменяющееся напряжение на первичной обмотке.

$i_1 = I_{m1} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = I_{m1} \sin \omega t$ Колебания тока, отстают от колебаний напряжения на четверть периода.

$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ Переменный магнитный поток, возбуждаемый током в первичной обмотке, совпадает по фазе с током.

$e = -\Phi'$ Мгновенное значение ЭДС индукции в любом витке первичной или вторичной обмотки одинаково.

$\Phi' = \Phi_m \omega \cos \omega t$ Производная потока магнитной индукции по времени.

$$e = -\xi_m \cos \omega t$$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$u_1 \approx -e_1$ Напряжение и ЭДС колеблются в противофазе.

$u_2 = -e_2$ При разомкнутой вторичной обмотке трансформатора тока в ней нет.

$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$ Величина K называется *коэффициентом трансформации*. При $K > 1$ трансформатор является *понижающим*, а при $K < 1$ – *повышающим*.

Работа нагруженного трансформатора

К концам вторичной обмотки присоединяем «нагрузку».



Возникновение тока.



Ток уменьшает (по прав. Ленца) изменение магнитного потока в сердечнике.



Ток создает свой переменный магнитный поток.



Магнитный поток, пронизывающий сердечник трансф., сохраняет ту же амплитуду Φ , что и при холостом ходе.



$$U_1 = \xi_1$$



$$\xi_1 = \frac{\xi_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega \Phi_m N_1}{\sqrt{2}}$$

Это может быть лишь в том случае, если магнитный поток, порождаемый током первичной обмотки, увеличился по сравнению с потоком при холостом ходе настолько, что сможет компенсировать размагничивающее действие магнитного потока вторичной обмотки трансформатора.



Мощность, потребляемая
первичной обмоткой
трансформатора из сети.

$$P_1 = I_1 U_1 \cos \varphi_1$$

$$P_2 = I_2 U_2 \cos \varphi_2$$

$$P_0 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$$

Мощность, потребляемая
вторичной обмоткой
трансформатора из сети.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \% = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_1 U_1 \cos \varphi_1} \cdot 100 \%$$

Мощность, потерь в
обмотках.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_c} \cdot 100 \%$$

КПД
трансформатора(два
вида записи).



Применение

Наиболее часто трансформаторы применяются в электросетях и в источниках питания различных приборов.

Поскольку потери на нагревание провода пропорциональны квадрату тока, проходящего через провод, при передаче электроэнергии на большое расстояние выгодно использовать очень большие напряжения и небольшие токи. Из соображений безопасности и для уменьшения массы изоляции в быту желательно использовать не столь большие напряжения. Поэтому для наиболее выгодной транспортировки электроэнергии в электросети многократно применяют силовые трансформаторы: сначала для повышения напряжения генераторов на электростанциях перед транспортировкой электроэнергии, а затем для понижения напряжения линии электропередач до приемлемого для потребителей уровня.

Поскольку в электрической сети три фазы, для преобразования напряжения применяют трёхфазные трансформаторы, или группу из трёх однофазных трансформаторов, соединённых в схему звезды или треугольника. У трёхфазного трансформатора сердечник для всех трёх фаз общий.

Несмотря на высокий КПД трансформатора (для трансформаторов большой мощности — свыше 99 %), в очень мощных трансформаторах электросетей выделяется большая мощность в виде тепла (например, для типичной мощности блока электростанции 1 ГВт на трансформаторе может выделяться мощность до нескольких мегаватт). Поэтому трансформаторы электросетей используют специальную систему охлаждения: трансформатор помещается в баке, заполненном трансформаторным маслом или специальной негорючей жидкостью. Масло циркулирует под действием конвекции или принудительно между баком и мощным радиатором. Иногда масло охлаждают водой. «Сухие» трансформаторы используют при относительно малой мощности.