

Трансформаторы.

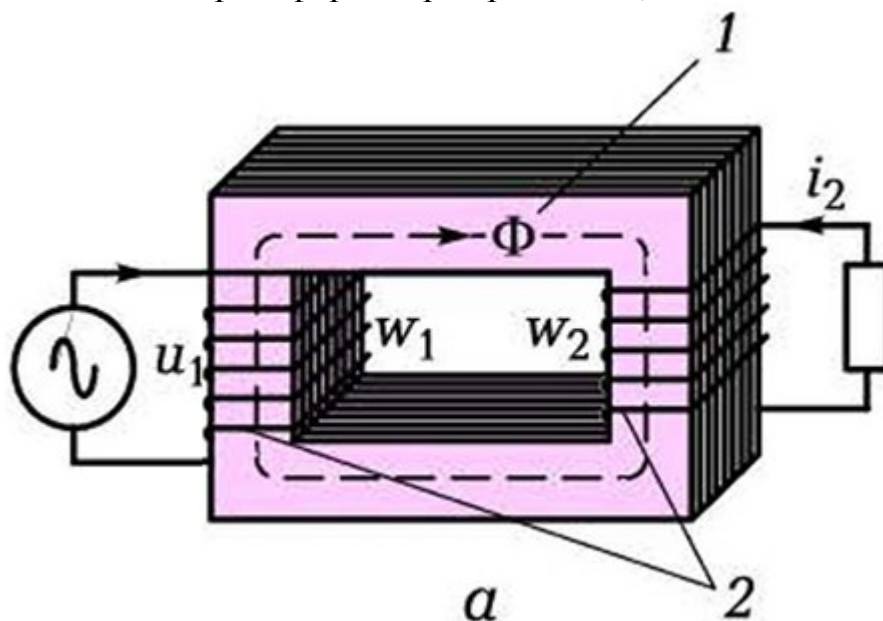
Трансформатор - статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного напряжения одной величины в переменное напряжение другой величины одной и той же частоты.

По назначению трансформаторы подразделяют на силовые и специального назначения (автотрансформаторы, измерительные, сварочные и др.).

Силовые трансформаторы по виду питающего напряжения могут быть однофазными и трехфазными. По виду преобразования: повышающими и понижающими.

В основе работы трансформатора лежит явление взаимной индукции, т. е. возможность передачи энергии с помощью электромагнитного поля от одной обмотки к другой.

Конструктивные схемы трансформаторов различны, но все они имеют:



- магнитопровод 1, в качестве которого используются ферромагнитные материалы (трансформаторное железо, электротехническая листовая сталь или ферриты). Он служит для усиления магнитной связи между обмотками за счет уменьшения магнитного сопротивления;
- обмотки 2 (две или более) из изолированного провода, располагаемые на магнитопроводе и сцепленные общим магнитным потоком.

К одной из обмоток трансформатора подводится переменное напряжение U_1 от источника питания. Эта обмотка называется первичной, а вторая – вторичной. Мгновенные значения ЭДС первичной и вторичной обмоток, как следует из явления электромагнитной индукции, имеют выражения

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

а их действующие значения (при синусоидальном изменении) соответственно равны:

$$E_1 = 4,44 w_1 f \Phi_m; \quad E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_m.$$

Разделив значения ЭДС первичной цепи на соответствующее значение ЭДС вторичной цепи, получим

$$e_1/e_2 = E_1/E_2 = w_1/w_2 = k$$

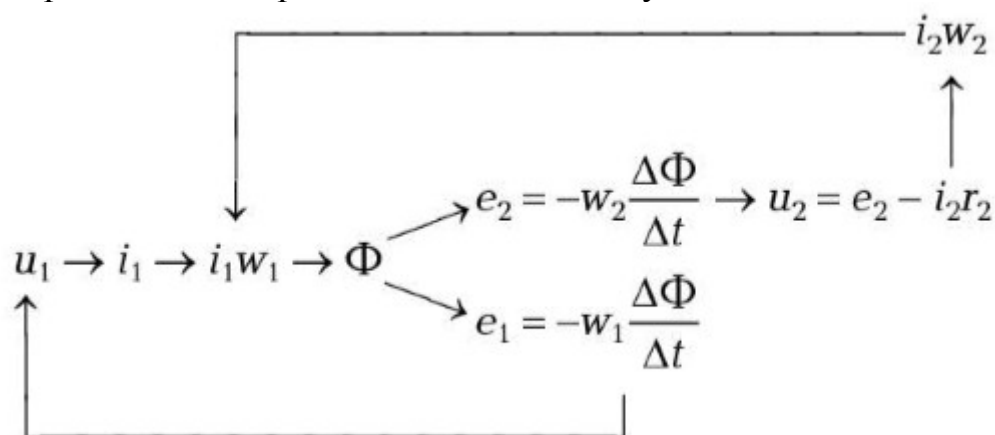
Отношение количества витков первичной обмотки трансформатора к количеству витков его вторичной обмотки k называется коэффициентом трансформации.

Основные параметры трансформатора, приводимые в паспортных данных или на щитке:

- полная (кажущаяся) мощность, $V \cdot A$;
- линейные токи, A ;
- линейные напряжения, V ;
- частота, $Гц$.

В основу работы трансформатора положен принцип электромагнитной индукции. Если к первичной обмотке трансформатора с числом витков w_1 подводится переменное синусоидальное напряжение $u_1 = U_m \sin \omega t$, то по обмотке начинает течь ток i_1 , который создает намагничивающую силу (н. с.) $i_1 w_1$. Под действием н. с. в сердечнике возникает переменный магнитный поток $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$, наводящий в первичной обмотке ЭДС самоиндукции $e_1 = -w_1 d\Phi/dt$, которая стремится уравновесить приложенное напряжение u_1 , а во вторичной обмотке с числом витков w_2 — ЭДС взаимной индукции $e_2 = -w_2 d\Phi/dt$. Именно эта ЭДС является причиной появления на нагрузке напряжения $u_2 = e_2 - i_2 R_2$ где i_2 — ток во вторичной обмотке; R_2 — активное сопротивление вторичной обмотки.

Сказанное ранее можно представить в виде следующей схемы:



Магнитный поток в сердечнике при работе трансформатора под нагрузкой определяется результирующей намагничивающих сил первичной и вторичной обмоток, равной $i_1 w_1 - i_2 w_2$, а на холостом ходу — только намагничивающей силой первичной обмотки $i_0 w_1$, где i_0 — ток холостого хода трансформатора

Потери мощности и КПД трансформатора

При работе под нагрузкой трансформатор передает мощность от первичной обмотки к нагрузке не полностью. Часть мощности теряется. Это потери электрические, связанные с нагревом первичной (теряется мощность $P_{\text{э}1}$) и вторичной ($P_{\text{э}2}$) обмоток, и потерях магнитных (P_M) на вихревые токи и гистерезис (перемагничивание сердечника): где P_2 — мощность нагрузки; P_1 — мощность в первичной обмотке.

$$P_2 = P_1 - (P_{\text{э}1} + P_{\text{э}2} + P_M)$$

Среди электрических машин трансформатор обладает наивысшим КПД (86...99%), поскольку у него отсутствуют механические потери, связанные с дополнительными преобразованиями электромагнитной энергии в механическую.

Расчет и определение КПД трансформатора ведут косвенными методами, связанными с определением суммарных потерь

В основу этих методов положены опыты холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ), в процессе которых могут быть определены магнитные P_m и электрические $P_{\Sigma 1}$ и $P_{\Sigma 2}$ потери.

Опыт холостого хода проводится при номинальном напряжении на первичной обмотке и разомкнутой вторичной обмотке. Вся мощность представляет собой магнитные потери $P_m = P_{xx}$. Эти потери измеряются с помощью ваттметра, установленного в цепи первичной обмотки.

Опыт короткого замыкания проводится при номинальных токах в обмотках и пониженном напряжении на первичной обмотке.

Так как ток по обмоткам течет номинальный, то и электрические потери номинальные. Поскольку прикладываемое к первичной обмотке напряжение мало, то и магнитный поток Φ мал, в связи с чем магнитными потерями можно пренебречь. Можно считать, что измеренная ваттметром в опыте КЗ мощность представляет собой электрические потери ($P_{кз} = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2}$).

Полученные в результате опытов холостого хода и короткого замыкания показания ваттметров позволяют вычислить КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{P_{xx} + P_{кз}}{P_1}$$

Внешняя характеристика трансформатора

Внешняя характеристика трансформатора отражает зависимость напряжения на нагрузке U_2 от тока нагрузки I_2 при постоянном напряжении на первичной обмотке ($U_1 = \text{const}$) и неизменном характере нагрузки ($\cos \varphi = \text{const}$).

Вид внешней характеристики существенно зависит от характера нагрузки.



При чисто активной нагрузке ($\cos \varphi = 1$ — лампа накаливания, нагреватель) внешняя характеристика слегка падающая, что объясняется увеличением падения напряжения на активном сопротивлении обмоток с ростом тока нагрузки. В случае индуктивной нагрузки ($\cos \varphi < 1$ — дроссель, сварочный трансформатор, электрический двигатель) напряжение при увеличении тока может падать довольно

резко, так как индуктивная составляющая тока размагничивает сердечник. При емкостной нагрузке ($\cos\varphi < 1$ — синхронная машина в режиме компенсатора, батарея конденсаторов) напряжение с увеличением тока может расти, так как емкостная составляющая тока подмагничивает сердечник.

Изменение вторичного напряжения принято выражать в процентах от номинального напряжения:

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_{2ном}}{U_{20}} * 100,$$

где $U_{20}, U_{2ном}$ — напряжение на вторичной обмотке соответственно при холостом ходе и при номинальной нагрузке.

Разновидности трансформаторов

Трехфазные трансформаторы. Для понижения или повышения трехфазного напряжения могут быть использованы три однофазных трансформатора, однако в целях экономии материала применяют один трехстержневой трансформатор с несимметричной магнитной цепью.

В трехфазных трансформаторах коэффициент трансформации линейных напряжений зависит от схемы соединения обмоток. Поэтому в трехфазных трансформаторах говорят о коэффициенте трансформации фазных напряжений.

Автотрансформатор имеет лишь одну обмотку с отводом, т. е. его вторичная обмотка является частью первичной обмотки. Таким образом, коэффициент трансформации автотрансформатора всегда меньше 1, поэтому такой трансформатор всегда является понижающим. Широкое применение автотрансформаторы нашли в качестве регуляторов напряжения. Они позволяют осуществлять регулирование плавно и дискретно.

Измерительные трансформаторы служат для преобразования переменного тока и напряжения в целях удобства их измерения стандартными электроизмерительными приборами и повышения безопасности работы.

Трансформатор напряжения (ТН) — это понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 0,1; 0,01 и менее. В его вторичную цепь включают вольтметр, параллельные цепи ваттметров и счетчиков энергии. Сопротивление этих приборов близко к бесконечности. ТН работает в режиме холостого хода.

Трансформатор тока (ТТ) — это повышающий трансформатор по напряжению с коэффициентом трансформации 10, 100 и более. Следовательно, по току ТТ является понижающим трансформатором. Его первичная обмотка имеет один—три витка и включается в цепь, где проводятся измерения, последовательно с нагрузкой. В цепь вторичной обмотки включаются приборы с малым сопротивлением (амперметр, токовая катушка ваттметра). ТТ работает в режиме короткого замыкания.