

## Основы электротехники

### Тема: **Общие сведения о трансформаторах. Принцип действия и устройство.**

1. Трансформатор служит для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения и применяется в линиях электропередачи, в технике связи, автоматике, измерительной технике и др. областях.

2. Конструктивно трансформатор представляет собой замкнутый магнитопровод, на котором расположены две или несколько обмоток.

3. Работа трансформатора основана на явление взаимной индукции, которая является следствием закона электромагнитной индукции.

4. Различают трансформаторы: повышающие и понижающие, однофазные и трехфазные, стрелкового и броневые типа, с воздушным и масляным охлаждением.

5. При одном и том же числе витков обмоток трансформатора можно увеличить или уменьшить его коэффициент трансформации, выбирая соответствующую схему соединения обмоток.

6. Среди режимов работы трансформатора выделяют рабочий, номинальный, холостого хода и короткого замыкания. Последние два режима в качестве опытов применяются для применения коэффициента трансформации, потерь в трансформаторе и др. его параметров.

Изобретателем первого трансформатора является русский ученый Павел Николаевич Яблочков в 1876 году. Яблочков использовал индукционную катушку с двумя обмотками в качестве трансформатора для питания изобретенных им электрических свечей. Трансформатор Яблочкова имел незамкнутый сердечник. Особенно широко трансформаторы стали применяться после того, как М.О. Доливо – Добровольским была предложена трехфазная система передачи электроэнергии и разработана конструкция первого трехфазного трансформатора в 1891 году и автотрансформатора в 1892 г. Классификация трансформаторов приведена в табл.1.

Таблица 1

Классификация трансформаторов

<b>По назначению</b>		
<i>Силовые трансформаторы для питания электрических двигателей и осветительных сетей</i>	<i>Специальные трансформаторы для питания сварочных аппаратов, электропечей и других потребителей особого назначения</i>	<i>Измерительные трансформаторы для подключения измерительных приборов (трансформаторы тока и напряжения)</i>
<b>По числу фаз</b>		
Однофазные	Трехфазные	
<b>По конструкции магнитопровода</b>		
Стержневой	Броневого	
<b>По числу обмоток</b>		
Двухобмоточные	Трехобмоточные	

Трансформатор – простой, надежный и экономичный электрический аппарат. Он не имеет движущихся частей и скользящих контактных соединений, его КПД достигает 99%.

Первичной называется обмотка трансформатора, которая подключается к источнику энергии.

Вторичной обмоткой называется та обмотка, к которой подключается потребитель.

Различают трансформаторы стержневого (рис.3, а) и броневого типов (рис.3, б).



а) б)

Рис. 3. Трансформаторы стержневого и броневоего типа

Работа трансформатора основана на явлении взаимной индукции, которое является следствием закона электромагнитной индукции.

Рассмотрим процесс трансформации тока и напряжения на примере работы однофазного трансформатора, принципиальная схема которого приведена на рис.4.

### Устройство трансформатора



Рис. 4. Принципиальная схема однофазного трансформатора

При подключении первичной обмотки трансформатора к сети переменного тока напряжением  $U_1$  по обмотке начнёт проходить ток  $i_1$ , который создаст в магнитопроводе переменный магнитный поток  $\Phi$ . Магнитный поток, пронизывая витки вторичной обмотки, индуцирует в ней  $e_2$ , которую можно использовать для питания нагрузки. Поскольку первичная и вторичная обмотки трансформатора пронизываются одним и тем же магнитным потоком  $\Phi$ , выражения ЭДС можно записать в виде

$$E_1 = 4,44f w_1 \Phi m; E_2 = 4,44f w_2 \Phi m$$

где  $f$ -частота переменного тока;  $w_1$  и  $w_2$ -число витков обмотки.

Задача повышения напряжения решается следующим образом. Любой виток обмотки трансформатора имеет одинаковое напряжение, если на вторичной обмотке увеличить число витков по сравнению с первичной обмоткой, то т.к. витки соединены последовательно напряжение, получаемое на каждом из витков будет суммироваться. Поэтому, увеличивая или уменьшая количество витков, можно увеличивать или уменьшать напряжение на выходе трансформатора. Поделив одно равенство на другое, получим

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = k,$$

где  $k$ -коэффициент трансформации.

Если цепь вторичной обмотки трансформатора разомкнута (режим холостого хода), то напряжение на зажимах обмотки равно её ЭДС:  $U_1 = E_2$ , а напряжение источника питания почти полностью уравновешивается ЭДС первичной обмотки  $U_2 \approx E_2$ . Следовательно, можно написать, что

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

Таким образом, коэффициент трансформации может быть определён на основании измерения напряжения на входе и выходе ненагруженного трансформатора. Отношение напряжений на обмотках ненагруженного трансформатора указывается в его паспорте.

## Тема: Рабочий режим трансформатора. Трёхфазные трансформаторы.

Различают несколько режимов работы трансформатора:

1. номинальный режим, т.е. режим при номинальных значениях напряжения  $U_1=U_{1ном}$ , и ток  $I_1=I_{1ном}$  первичной обмотки трансформатора;
2. рабочий режим, при  $U_1 \approx U_{1ном}$ ,  $I_1 \leq I_{1ном}$  и зависит от  $I_2$ ;
3. режим холостого хода, т.е. режим ненагруженного трансформатора, при котором цепь вторичной обмотки разомкнута  $I_2=0$  или подключена к приемнику с очень большим сопротивлением (например, к вольтметру);
4. режим короткого замыкания трансформатора, при котором его вторичная обмотка накоротко замкнута ( $U_2=0$ ) или подключена к приемнику с очень малым сопротивлением (например, амперметру).

*Опыт холостого хода* называется испытание трансформатора при разомкнутой цепи вторичной обмотки и номинальном первичном напряжении  $U_{1х}=U_{1ном}$ . На основании этого опыта по показаниям измерительных приборов определяют коэффициент трансформации и мощность потерь в магнитопроводе трансформатора.

*Опыт короткого замыкания* следует отличать от режима короткого замыкания к эксплуатационных условий, который является аварийным и вызывает нагрев и перегрев трансформатора, а следовательно, и его разрушение. *Опыт короткого замыкания* называется испытание трансформатора при короткозамкнутой цепи вторичной обмотки и номинальном первичном токе  $I_{к.з}=I_{1ном}$ . Этот опыт служит для определения важнейших параметров трансформатора: мощности потерь в проводах, внутреннего падения напряжения и т.п., например,  $I_{к.з}$  - важного параметра трансформатора, на основании которого определяются изменения вторичного напряжения наружного трансформатора.

Вывод по третьему вопросу: опыты холостого хода и короткого замыкания позволяют определить коэффициент трансформации, потери в проводах и магнитопроводе трансформатора, а также другие важные параметры работы трансформатора

### Особенности трёхфазных трансформаторов

Магнитопровод трёхфазного трансформатора имеет три стержня, на каждом из которых размещаются две обмотки одной фазы

Вводы высшего напряжения обозначают буквами **A, B, C**, вводы низшего напряжения - буквами **a, b, c**. Ввод нулевого провода располагают слева от ввода **a** и обозначают **O**

Принцип работы и электромагнитные процессы в трёхфазном трансформаторе аналогичны рассмотренным ранее. Особенностью трёхфазного трансформатора является зависимость коэффициента трансформации линейных напряжений от способа соединения обмоток.

При соединении обмоток по схеме звезда - звезда

$$c = \frac{U_{л2}}{U_{л1}} = \frac{\sqrt{3}U_{ф2}}{(\sqrt{3}U_{ф1})} = k$$

При соединении обмоток по схеме звезда - треугольник

$$c = \frac{U_{л2}}{U_{л1}} = \frac{U_{ф2}}{(\sqrt{3}U_{ф1})} = k/\sqrt{3}$$

При соединении обмоток по схеме треугольник - звезда

$$c = \frac{U_{л2}}{U_{л1}} = \frac{\sqrt{3}U_{ф2}}{U_{ф1}} = \sqrt{3}k$$

Таким образом, при одном и том же числе витков обмоток трансформатора можно в раз увеличить или уменьшить его коэффициент трансформации, выбирая соответствующую схему соединения обмоток.

Для условного обозначения сдвига фазы вторичного напряжения по отношению к первичному принято деление трансформаторов по группам соединений. У двух трансформаторов с одинаковой группой соединений этот сдвиг фаз должен быть одинаковым.

Для трёхфазных трансформаторов:

- в случае соединения обмоток звезда-звезда с выведенной нейтральной точкой группа соединений будет равна 0 (применяется для трансформаторов с высшим напряжением до 35 кВ );
- в случае соединения обмоток трансформатора по схеме звезда-треугольник и звезда с выведенной нейтральной точкой - треугольник группа соединений принимается 11 (330 градусов) (для трансформаторов напряжением более 35 кВ и более мощных).

Если мощность трансформатора оказывается недостаточной, то параллельно ему можно включить ещё один трансформатор, но при этом должны соблюдаться следующие условия:

1. Одна и та же группа соединений.
2. Одинаковые номинальные первичные и вторичные напряжения.
3. Одинаковые напряжения короткого замыкания трансформаторов.

Задача:

1. Трансформатор, содержащий в первичной обмотке 840 витков, повышает напряжение с 220 В до 660 В. Каков коэффициент трансформации и сколько витков содержится во вторичной обмотке трансформатора? В какой обмотке провод будет иметь большую площадь сечения?
2. На первичную обмотку понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации 10 подается напряжение 220 В. При этом на вторичной обмотке, сопротивление которой 2 Ом, течет ток силой 4 А. Пренебрегая потерями в первичной обмотке, определить напряжение на выходе трансформатора.

Ответ до 12.06

Рекомендованная литература: Г. В. Ярочкина. Основы электротехники