

68 Вопросы к КР по трансформаторам с краткими ответами

1 Назначение, устройство трансформаторов и их применение

Трансформатор предназначен для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте и мощности. Различают трансформаторы силовые и специальные (измерительные, согласующие, сварочные, автотрансформаторы, импульсные и т. д.).

Трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника) и обмоток. В трансформаторах с масляным охлаждением они помещены в бак, наполненный трансформаторным маслом

На каждой электростанции устанавливают трансформаторы, осуществляющие повышение напряжения для передачи в высоковольтную линию. Во всех узлах распределительных сетей должны быть установлены понижающие трансформаторы.

2 Режим холостого хода трансформатора

При подключении к сети переменного тока первичной обмотки в ней возникает ток, который создает переменный магнитный поток Φ , пронизывающий как первичную, так и вторичную обмотки. Малая часть потока замыкается по воздуху – поток рассеяния Φ_s .

Основной поток Φ индуцирует в обмотках переменные ЭДС – e_1 и e_2 , пропорциональные, согласно закону электромагнитной индукции, числу витков w_1 и w_2 соответствующей обмотки и скорости изменения потока $d\Phi/dt$. Таким образом, мгновенные значения ЭДС, индуцированные в каждой обмотке, $e_1 = -w_1 d\Phi/dt$; $e_2 = -w_2 d\Phi/dt$, при $k = e_1 / e_2 = w_1 / w_2$.

При перемагничивании сердечника происходят потери энергии на гистерезис и вихревые токи. Эти потери не зависят от нагрузки.

3 Работа трансформатора под нагрузкой

Если к вторичной обмотке подключить нагрузку, то под воздействием ЭДС E_2 в ней протекает ток I_2 . Этот ток создает магнитный поток вторичной обмотки; он направлен навстречу потоку, создаваемому в сердечнике первичной обмоткой, пытаясь его уменьшить. Это приоткрывает путь току первичной обмотки, который увеличивается, создаваемый им дополнительный магнитный поток полностью компенсирует собой поток вторичной обмотки и результирующий поток в сердечнике трансформатора практически не изменится.

Таким образом, в трансформаторе автоматически изменяется величина тока, поступающего из сети в соответствии с изменением нагрузки. При этом $U_1 \approx E_1$ и $U_2 \approx E_2$.

4 Приведенный трансформатор. Т-образная схема замещения

Приведение параметров вторичной обмотки к напряжению первичной с помощью коэффициента k позволяет условно заменить магнитную связь между обмотками на электрическую, а на схеме замещения электрически соединить эти обмотки в форме буквы Т.

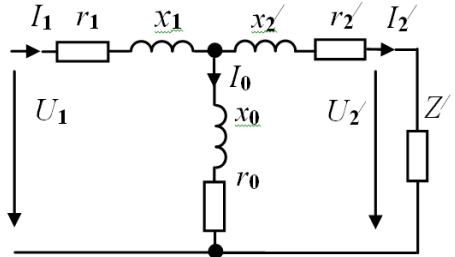
Приведенные параметры обозначаются со штрихом «'».

Т-образная схема замещения приведенного трансформатора содержит:

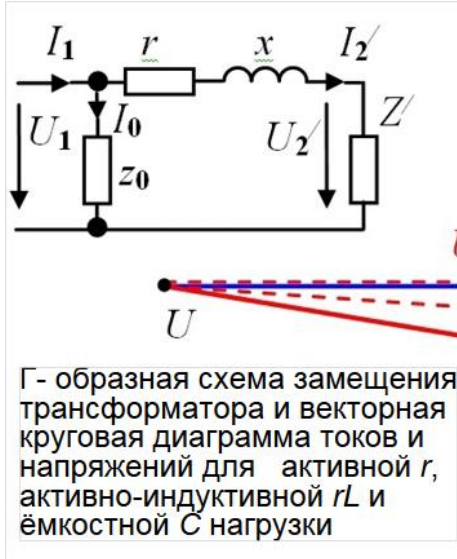
- сопротивления проводов обмоток, первичной r_1 и вторичной $r_2' = k^2 r_2$;

- индуктивные сопротивления первичной $x_1 = \omega L_{S1}$ и вторичной $x_2' = k^2 \omega L_{S2}$ обмоток, учитывающие магнитные потоки рассеяния;

- ветвь перемагничивания сердечника x_0, r_0 ,



5 Г-образная схема замещения трансформатора. Круговая диаграмма.



Г-образная схема замещения трансформатора и векторная круговая диаграмма токов и напряжений для активной r , активно-индуктивной rL и ёмкостной C нагрузки

На схеме активное сопротивление $r = r_1 + r_2'$, а рассеяние магнитного потока – в виде индуктивного сопротивления $x = x_1 + x_2'$.

На диаграмме $I_0 + I_2' = I_1$, (по первому закону Кирхгофа).

$U_2' = U_1 - r I_2' - j x I_2'$ (по второму закону Кирхгофа).

Вектор I_2' вращается вокруг т.О, по часовой стрелке от C через R до rL . Одновременно по часовой стрелке поворачивается треугольник потерь.

6 опыты холостого хода и короткого замыкания

Опыт холостого хода проводится для определения коэффициента трансформации и параметров поперечной намагничивающей ветви T-образной схемы замещения. Экспериментально коэффициент трансформации можно определить только по результатам измерения напряжений в режиме ХХ. Это объясняется тем, что только при холостом ходе, когда ток I_2 вторичной обмотки отсутствует, напряжение на выходе трансформатора равно ЭДС во вторичной обмотке E_2 .

$$k = E_1 / E_2 \approx U_{1H} / U_{20}. r_0 = P_0 / I_0^2. z_0 = U_{1H} / I_0. x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}.$$

Для новых и отремонтированных трансформаторов проводят **опыт короткого замыкания** для определения параметров последовательной ветви Г-образной схемы замещения. В этом опыте, при замкнутых выводах вторичной обмотки, на первичную подают такое пониженное напряжение U_K , при котором по первичной обмотке трансформатора начинает протекать номинальный ток I_{1H} .

$$r_K = P_K / I_{1H}^2; z_K = U_K / I_{1H}; x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}.$$

7 Изменение вторичного напряжения и внешние характеристики трансформатора

Изменение напряжения равно:

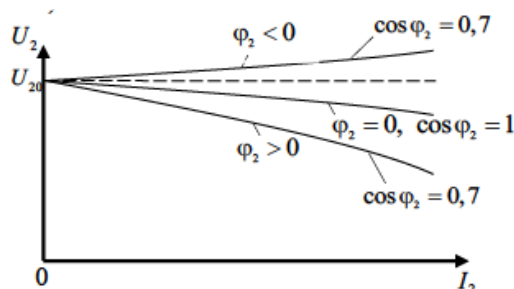
$$\Delta u\% = \left(\frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \right) \cdot 100 \%$$

Экспериментальное определение потери напряжения неудобно, поэтому $\Delta u\%$ определяют на основании анализа векторной диаграммы, соответствующей упрощенной схеме замещения по формуле

$$\Delta u\% = \beta (u_{\text{кз}}\% \cos \varphi_2 + u_{\text{кп}}\% \sin \varphi_2),$$

где β – коэффициент нагрузки трансформатора равный отношению реального тока вторичной обмотки к номинальному значению тока в ней

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}} \approx \frac{I_1}{I_{1H}}; u_{\text{кз}}\% = \frac{I_{1H} r_K}{U_{1H}} \cdot 100 \%; u_{\text{кп}}\% = \frac{I_{1H} x_K}{U_{1H}} \cdot 100 \%.$$



Под внешней характеристикой подразумевается зависимость напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_2 от тока нагрузки I_2 , снятая при неизменном напряжении сети и постоянном коэффициенте мощности $\cos \varphi_2$.

8 Потери и КПД трансформатора

При работе трансформатора в нём имеют место магнитные потери P_0 , которые складываются из потерь на *перемагничивание* магнитопровода (гистерезис) и потерь на *вихревые токи*. Также имеют место *электрические потери* $P_{\text{кн}}$ на нагрев обмоток трансформатора.

КПД трансформатора

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2 + (P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}})}$$

где β – коэффициент нагрузки трансформатора
 $\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности.

КПД имеет максимум при $P_0 = P_{\text{кн}}$

Для большинства трансформаторов

$\beta_{\text{опт}} = 0,5 \dots 0,7$. $\eta_{\text{max}} = 0,98-0,99$ для мощных трансформаторов снижается до 0,6 при $S_{\text{н}}$ до 10 ВА.

$$\beta_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{\text{кн}}}}$$

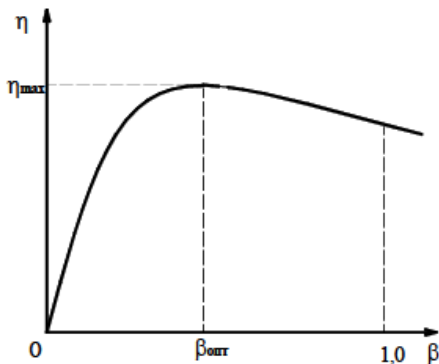


Рисунок 1.15 – Зависимость КПД трансформатора от коэффициента нагрузки при $\cos \varphi_2 = \text{const}$

9 Трёхфазные трансформаторы, группы соединения обмоток.

Параллельная работа трансформаторов

Сердечник трёхфазного трансформатора состоит из трёх стержней, с двух сторон соединённых ярмом. На каждом стержне уложена секция первичной и вторичной обмоток. Секции первичных обмоток обозначаются $A-X, B-Y, C-Z$, секции вторичных – соответственно $a-x, b-y, c-z$.

Первичные обмотки соединяются звездой либо треугольником и подключаются к симметричной цепи питающих напряжений. По ним протекают первичные токи I_{1A}, I_{1B} и I_{1C} , создающие магнитные потоки в стержнях Φ_A, Φ_B и Φ_C , изменяющиеся по синусоидальному закону.

Ко вторичным обмоткам по схемам звездой либо треугольником подключаются нагрузка. Наиболее употребительны схемы: $Y/Y, Y/\Delta, \Delta/Y$.

Для включения трансформаторов на параллельную работу необходимо:

- равенство коэффициентов трансформации, $k_1 = k_2$;
- равенство напряжений короткого замыкания, $u_{к1} = u_{к2}$;
- равенство групп соединения трансформаторов.

Рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей трансформаторов, включаемых на параллельную работу, не превышало 3:1.

10 Специальные типы трансформаторов

У *автотрансформатора* вторичная обмотка является частью первичной; служит он для плавного регулирования вторичного напряжения. Конструктивно он выполняется в виде полого цилиндрического сердечника, навитого из ленты электротехнической стали. На изолированную поверхность цилиндра наматывается первичная обмотка АХ. Движок ЛАТРа выполняется в виде ролика, перемещающегося по виткам обмотки. Так как электромагнитным путём во вторичную обмотку передается только часть всей мощности, можно уменьшить сечение магнитопровода. Это же сокращает среднюю длину витка и количество меди, расходуемой на обмотку.

Измерительные трансформаторы используют главным образом для подключения электроизмерительных приборов в цепи переменного тока высокого напряжения. При этом они оказываются изолированными от цепей высокого напряжения, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала. Измерительные трансформаторы дают возможность измерять большие токи и напряжения с помощью приборов, рассчитанных для измерения малых токов и напряжений. Они рассчитаны для совместной работы со стандартными приборами (амперметрами на 1; 2; 2,5 и 5 А, вольтметрами на 100 и 173 В).

Один из выводов вторичной обмотки измерительного трансформатора должен быть заземлён.

При отключении измерительных приборов от вторичной обмотки трансформатора тока её следует замыкать накоротко.