

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА (4 ЧАСА)

ВВЕДЕНИЕ

При анализе различных характеристик трансформаторов необходимо знать их основные параметры: коэффициент трансформации, ток и потери холостого хода, полное, активное и индуктивное сопротивления взаимной индукции (параметры ветви намагничивания), номинальные потери и номинальное напряжение короткого замыкания, ток установившегося короткого замыкания, полное, активное и индуктивное сопротивления короткого замыкания. Все эти параметры можно получить в результате проведения двух относительно простых опытов холостого хода и короткого замыкания.

Опыт холостого хода проводится с целью определения коэффициента трансформации; тока холостого хода; потерь в стали, а также параметров ветви намагничивания в схеме замещения. При проведении опыта необходимо с помощью фазорегулятора изменять напряжение, подводимое к первичным обмоткам трансформатора в пределах $0,6 \dots 1,1 U_{ном}$, и измерять при этом ток, напряжение и активную мощность в каждой фазе (для трёхфазных трансформаторов). Схема проведения этого опыта показана на рис. 1.1.

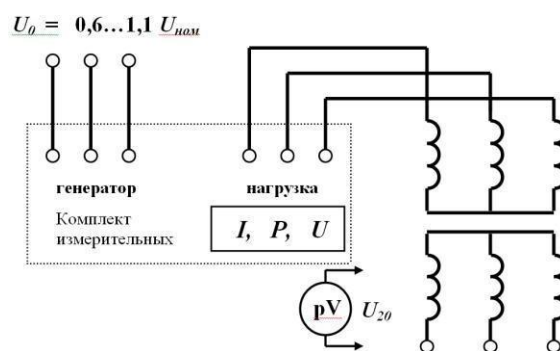


Рис. 1.1. Схема проведения опыта холостого хода

Сопротивления ветви намагничивания, и как следствие, ток и потери мощности трансформатора в режиме холостого хода существенно зависят от степени насыщения магнитной системы, поэтому при проведении опыта

СНИМАЮТ ЗАВИСИМОСТИ: $I_0 = f(U_0)$, $\Delta P_0 = f(U_0)$, $\cos \varphi_0 = \frac{\Delta P_0}{3U_0 I_0} = f(U_0)$. Типичный

вид этих характеристик показан на рис. 1.2.

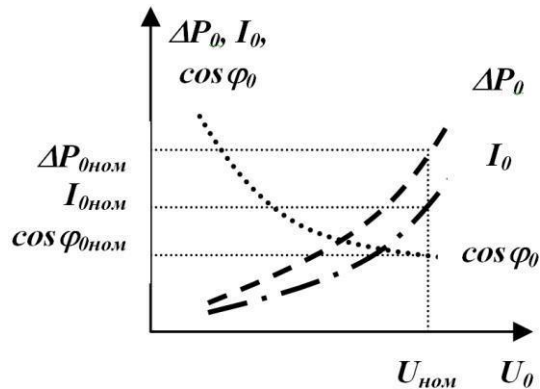


Рис. 1.2. Типичные характеристики холостого хода

В трансформаторах с трехстержневыми магнитопроводами фазные токи не равны друг другу и образуют несимметричную систему. Это приводит к тому, что активные мощности в отдельных фазах не только не равны между собой, но могут иметь отрицательный знак. При этом одна из фаз отдает энергию в сеть, а две другие ее потребляют. Необходимо находить средние значения напряжений и токов в фазах и сумму мощностей (обязательно учитывая их знак):

$$U_0 = \frac{U_{A0} + U_{B0} + U_{C0}}{3}; I_0 = \frac{I_{A0} + I_{B0} + I_{C0}}{3}; \Delta P_0 = \Delta P_{A0} + \Delta P_{B0} + \Delta P_{C0} \quad (1.1)$$

Как правило, все расчётные параметры относятся к номинальному напряжению, поэтому на полученных зависимостях от соответствующего ему значения на оси абсцисс восстанавливается перпендикуляр до пересечения с характеристиками, а проекции точек пересечения на оси ординат дадут искомые значения токов, мощностей, и коэффициента мощности (Рис. 1.2).

В ненасыщенной магнитной системе полный ток холостого хода по модулю близок к току намагничивания, и полное сопротивление ветви

намагничивания значительно больше сопротивления первичной обмотки:

$Z_0 \ll Z_1$, поэтому электрическими потерями в первичных обмотках обычно

пренебрегают.

В результате проведения опыта холостого хода находят:

В □ Коэффициент трансформации:

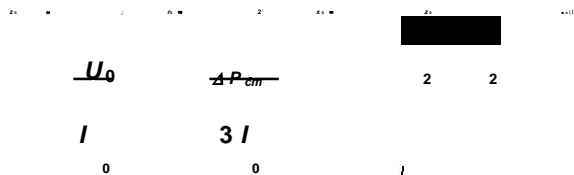
$$k_{тр} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_{1 ном}}{U_{20}} \quad (1.2)$$

• Относительное значение тока холостого хода:

$$i_0, \% = \frac{I_{0 ном}}{I_{1 ном}} \times 100 \% \quad (1.3)$$

• Номинальные потери в стали: $\Delta P_{ст} \approx \Delta P_{0 ном}$. Потери в стали часто называют постоянными, поскольку при неизменном первичном напряжении они практически не зависят от нагрузки.

• Полное, активное и индуктивное сопротивления ветви намагничивания в схеме замещения:



Опыт короткого замыкания (Рис. 1.3) выполняют при пониженном входном напряжении ($U_k = 0 \dots 0,2 U_{ном}$), и замкнутой накоротко вторичной

обмотке (симметричном трёхфазном к.з. – в трёхфазных трансформаторах). Ток холостого хода пренебрежимо мал по сравнению с приведенным вторичным током короткого замыкания, поэтому с высокой точностью можно считать: $I_1 \approx I'_2 \gg I_0$.

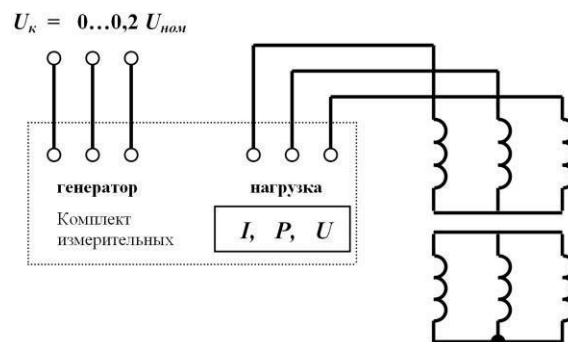


Рис. 1.3. Схема проведения опыта короткого замыкания

В процессе выполнения опыта **к.з.** напряжение необходимо постепенно повышать от нуля до такого значения, при котором ток достигнет значения **1,1 ... 1,2 $I_{ном}$** . Снимаются те же самые параметры, что и в опыте холостого хода, но помечаются они индексом "к". Типичные характеристики короткого замыкания показаны на рис. 1.4.

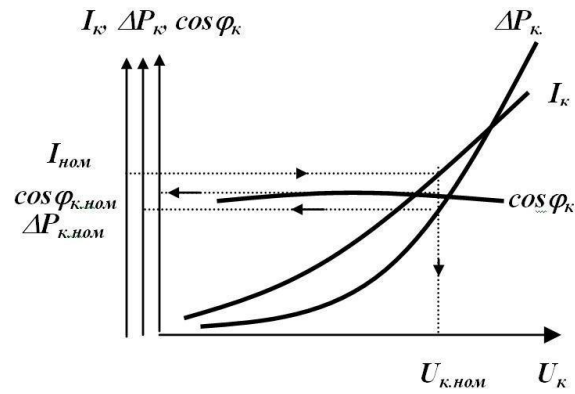


Рис. 1.4. Типичные характеристики короткого замыкания

Параметры короткого замыкания определяются при значении тока короткого замыкания, равном номинальному току. Напряжение, при котором это имеет место, является одним из важных параметров трансформатора и называется **номинальным напряжением короткого замыкания**. В результате проведения опыта к.з. находят:

- Номинальное напряжение короткого замыкания, его активную и реактивную составляющие:

$$U_{к.ном}, \% = \frac{U_{к.ном}}{U_{ном}} \times 100 \% ; \quad \cos \varphi = \frac{\Delta P_{к.ном}}{3 U_{к.ном} I_{к.ном}} ;$$

$$U_{к.ном . А} = U_{к.ном} \cos \varphi ; \quad U_{к.ном . Р} = U_{к.ном} \sin \varphi \quad (1.5)$$

- Установившийся ток короткого замыкания:

$$I_{к.уст} = \frac{U_{ном}}{U_{к.ном}} \times I_{ном} \quad (1.6)$$

- Приведённые значения полного, активного и индуктивного сопротивлений короткого замыкания в схеме замещения:

$$z'_{к} \approx \frac{U_{к}}{I_{к}} ; \quad r'_{к} \approx \frac{\Delta P_{к.ном}}{3 I_{ном}^2} ; \quad x'_{к} = \sqrt{z'_{к}{}^2 - r'_{к}{}^2} \quad (1.7)$$

- В первом приближении считают, что активные и индуктивные сопротивления короткого замыкания первичных и вторичных обмоток равны между собой:

$$r_1 \approx r'_2 \approx \frac{r'_{к}}{2} ; \quad x_1 \approx x'_2 \approx \frac{x'_{к}}{2} \quad (1.8)$$

короткого замыкания (называемые также электрическими потерями) в отличие от потерь в стали зависят от нагрузки, изменяются пропорционально квадрату тока, и называются переменными.

Если при проведении опыта температура отлична от температуры окружающей среды, потери мощности и сопротивления приводятся к фактической температуре по формуле:

$$\Delta P_o = I^2 r_o = I^2 r_0 [1 + \alpha (t_i^o - t_0^o)] \tag{1.9}$$

где r_0, r_i – сопротивления при начальной и фактической температуре; α – температурный коэффициент сопротивления.

При расчете различных характеристик трансформаторов широкое применение находят схемы замещения, параметры которых также определяются по данным опыта холостого хода и короткого замыкания.

Сопротивления r_0, x_0 образуют ветвь намагничивания и характеризуют свойства магнитной системы, а сопротивления короткого замыкания $r_1; r'_2; x_1; x'_2; r'_k; x'_k$ замещают обмотки трансформатора. Наиболее точно отображает физические явления в трансформаторах **Т-образная схема замещения** (Рис. 1.5 а), однако, при её использовании необходимо учитывать изменения напряжения между узловыми точками при изменении тока нагрузки вследствие падения напряжения на сопротивлениях r_1 и x_1 первичной обмотки. Более удобна в этом отношении **Г-образная схема замещения** (Рис. 1.5 б).

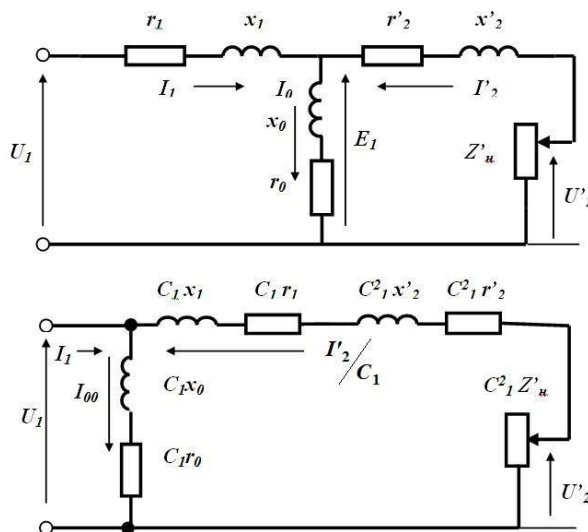


Рис. 1.5. Т-образная (а) и Г-образная (б) схемы замещения

Магнитные связи между обмотками в этих схемах заменены электрическими, поэтому к ним применимы все методы расчёта электрических цепей.

Влияние параметров первичной цепи на контур намагничивания и на вторичную цепь в Г-образных схемах учитывается с помощью комплексного множителя C_1 , который численно равен:

$$C_1 = 1 + \frac{r_1 + jx_1}{r_0 + jx_0} \quad (1.10)$$

Физический смысл комплексного множителя C_1 заключается в том, что *э.д.с.* E_1 изменяется по отношению к первичному напряжению U_1 как по величине, так и по фазе. Анализ реально возможных значений x_1 , r_1 , x_0 , r_0 и соотношений между ними показывает, что угол фазового сдвига между напряжением и *э.д.с.* может принимать как положительные, так и отрицательные значения, но в любом случае весьма мал по величине. Это дает возможность существенно упростить расчеты без заметной погрешности, заменив комплекс C_1 его модулем C_1 . В силовых трансформаторах этот модуль также весьма мал: $C_1 \leq 1,01 \dots 1,02$ и его обычно не учитывают.

Главное достоинство Г-образной схемы замещения заключается в простоте анализа процессов, происходящих при изменении нагрузки, поскольку при этом все сопротивления, входящие в рабочий контур соединены последовательно. Ток в ветви намагничивания при этом не изменяется. Его учёт дает лишь небольшую поправку при определении тока мощности, которые трансформатор потребляет из сети. Если можно ограничиться анализом процессов изменения тока, напряжения и мощности нагрузки, схема замещения может быть свернута и представлена в упрощенном виде параметрами короткого замыкания трансформатора:

$$r'_k \approx r_1 + r'_2; x'_k \approx x_1 + x'_2.$$

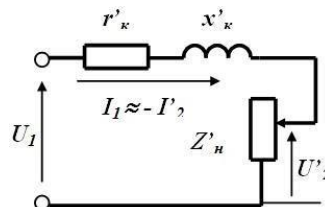


Рис. 1.6. Упрощенная схема замещения трансформатора

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить методы определения параметров трансформаторов по опытам холостого хода и короткого замыкания.

ЗАДАЧИ

Определить коэффициент трансформации, ток и потери холостого хода, $\cos\varphi_0$ и сопротивления ветви намагничивания, соответствующие номинальному напряжению

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Проведение лабораторной работы осуществляется на учебных полигонах «Подстанция 110/10 кВ» и «РС 0,4-10 кВ» УИЦ

«Электроэнергетика» Казанского государственного энергетического университета.

Расположение и схема подключения исследуемого трансформатора ТМТН-6300/110-У1 представлены на однолинейной электрической схеме полигона (Рис. 1.7.):

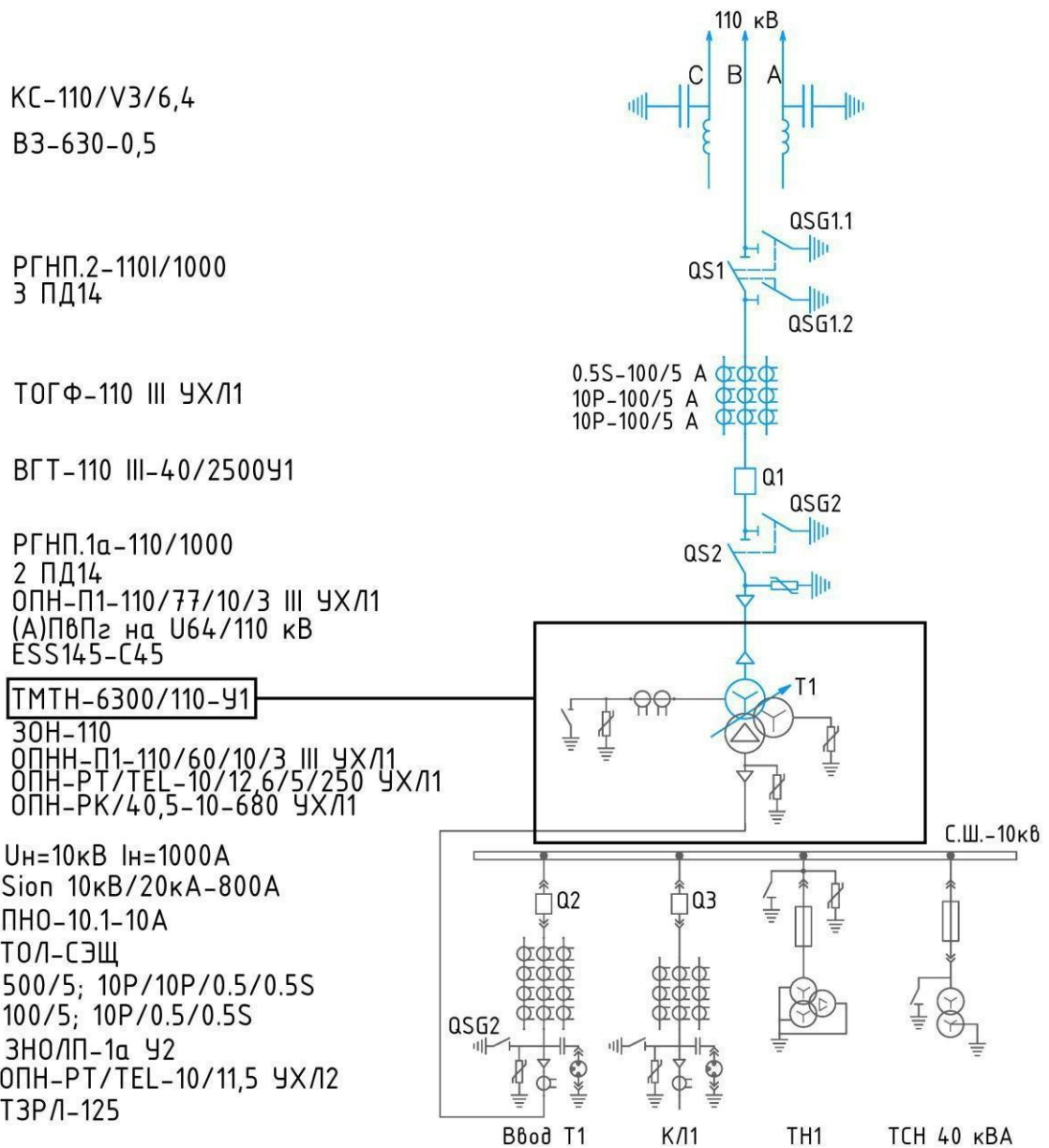


Рис. 1.7. Однолинейная электрическая схема учебного полигона «Подстанция 110/10 кВ»

ЗАДАНИЕ

Записать паспортные данные трансформатора.

Подготовить таблицы для записи показаний приборов в опытах холостого хода и короткого замыкания:

Таблица 1.1. Результаты измерений

U_A	U_B	U_C	U_{cp}	I_A	I_B	I_C	I_{cp}	P_A	P_B	P_C	ΣP	$\cos \varphi$

Установить с помощью фазорегулятора напряжение, необходимое для проведения опыта холостого хода.

Собрать и опробовать принципиальную схему (Рис. 1.1)

Плавно увеличивать напряжение от минимального значения до тех пор, пока ток не начнет резко увеличиваться (примерно $1,1U_{ном}$). Записывать показания приборов через каждые 30 ...40 В. **В конце опыта х.х. снизить напряжение до минимально возможного значения.** По полученным данным построить зависимости, аналогичные приведённым на рис. 1.2.

По формулам (1.1)...(1.4) определить: коэффициент трансформации, ток и потери холостого хода, $\cos \varphi_0$ и сопротивления ветви намагничивания, соответствующие номинальному напряжению.

Перед выполнением опыта короткого замыкания обязательно убедиться в том, что напряжение на выходе фазорегулятора близко к нулю. Собрать и опробовать схему (рис. 1.3).

Плавно увеличивать напряжение от минимального значения до тех пор, пока ток не достигнет значения $1,1 \dots 1,2I_{ном}$. По полученным данным построить зависимости, показанные на рис. 1.4.

По формулам (1.5)...(1.8) определить: номинальное напряжение короткого замыкания и его составляющие, установившийся ток короткого замыкания, $\cos \varphi_k$, номинальные потери, и приведенные значения всех сопротивлений короткого замыкания.

Изобразить схему замещения, и указать на ней числовые значения всех полученных параметров.

Оформить отчёт.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть отражены результаты определения основных параметров трансформатора в виде таблицы и расчетов согласно заданию. В таблице отражаются:

- 1) напряжения холостого хода и короткого замыкания трансформатора;
- 2) токи холостого хода и короткого замыкания трансформатора;
- 3) потери мощности холостого хода и короткого замыкания трансформатора;
- 4) приведенные сопротивления холостого хода и короткого замыкания трансформатора.

В расчетах отражается порядок определения указанных выше параметров трансформатора.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Пояснить назначение и порядок выполнения опытов холостого хода и короткого замыкания трансформатора
2. Почему в трехфазных трансформаторах токи и потери мощности в отдельных фазах не равны между собой?
3. Дать необходимые пояснения ко всем схемам замещения
4. Как классифицируются и определяются потери мощности в трансформаторах?
5. Что такое установившийся ток короткого замыкания, как он определяется, и как соотносится с номинальным током?
6. Что такое напряжение короткого замыкания и его составляющие? Как оно соотносится с номинальным напряжением?