

2 Режимы работы трансформатора

Различают несколько режимов работы трансформатора:

- 1) номинальный режим работы – при номинальных значениях напряжения $U_1 = U_{1НОМ}$ и тока $I_1 = I_{1НОМ}$ первичной обмотки трансформатора;
- 2) рабочий режим, при котором напряжение первичной обмотки близко к номинальному $U_1 \approx U_{1НОМ}$, а ток I_1 определяется нагрузкой трансформатора;
- 3) режим холостого хода – режим ненагруженного трансформатора, при котором цепь вторичной обмотки разомкнута ($I_2=0$) или подключена к приемнику с очень большим сопротивлением нагрузки (вольтметр);
- 4) режим короткого замыкания – режим трансформатора, при котором его вторичная обмотка замкнута накоротко ($U_2=0$) или подключена к приемнику с очень малым сопротивлением нагрузки (амперметр).

Режимы холостого хода и короткого замыкания возникают при авариях или их специально создают при опытных испытаниях трансформатора.

2.1 Режим нагрузки

В этом режиме напряжение первичной обмотки близко к номинальному $U_1 \approx U_{1НОМ}$, ток первичной обмотки I_1 определяется нагрузкой трансформатора, а ток вторичной обмотки ее номинальным током $I_{2Н} = \frac{S}{U_{2Н}}$.

По данным измерений аналитически определяют коэффициенты мощности и полезного действия трансформатора соответственно по формулам

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{U_1 * I_1} \quad \text{и} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} * 100\%, \quad (21)$$

где P_1 – активная мощность первичной обмотки трансформатора, а мощность P_2 , которая отдается в цепь питания вторичной обмоткой трансформатора определяется как $P_2 = P_1 - P_{ХХ} - P_{КЗ}$.

Изменением (потерей) напряжения трансформатора называется арифметическая разность между вторичным напряжением трансформатора при холостом ходе и напряжением вторичной обмотки в режиме нагрузки

$$\Delta U = U_{2XX} - U_2.$$

Или в процентном выражении
$$\Delta U, \% = \frac{U_{2XX} - U_2}{U_{2XX}} * 100\% . \quad (22)$$

2.2 Опыт холостого хода

Для проведения опыта собирают электрическую цепь, в которой подводимое к первичной обмотке трансформатора напряжение изменяют в пределах от 0 до $1,1 U_{1НОМ}$. Вторичная обмотка разомкнута, к ее зажимам присоединен вольтметр для измерения напряжения U_{2XX} . Со стороны первичной обмотки измеряют напряжение $U_{1НОМ}$, ток холостого хода I_{1XX} и мощность, которую потребляет трансформатор в режиме холостого хода P_{XX} .

По данным измерений можно построить зависимости $I_{XX} = f(U_1)$ и $P_{XX} = f(U_1)$ (рисунок 16).

Номинальные величины тока холостого хода и потерь мощности указываются в паспортных данных трансформатора (I_{XX} в процентах от номинального тока первичной обмотки, а потери холостого хода – в киловаттах). Значение этих параметров характеризует качество стали и сборки магнитопровода. В трансформаторах малой мощности $I_{XX} \leq 10\% I_{1НОМ}$, а у трансформаторов большой мощности он уменьшается до (2,5-3)%.

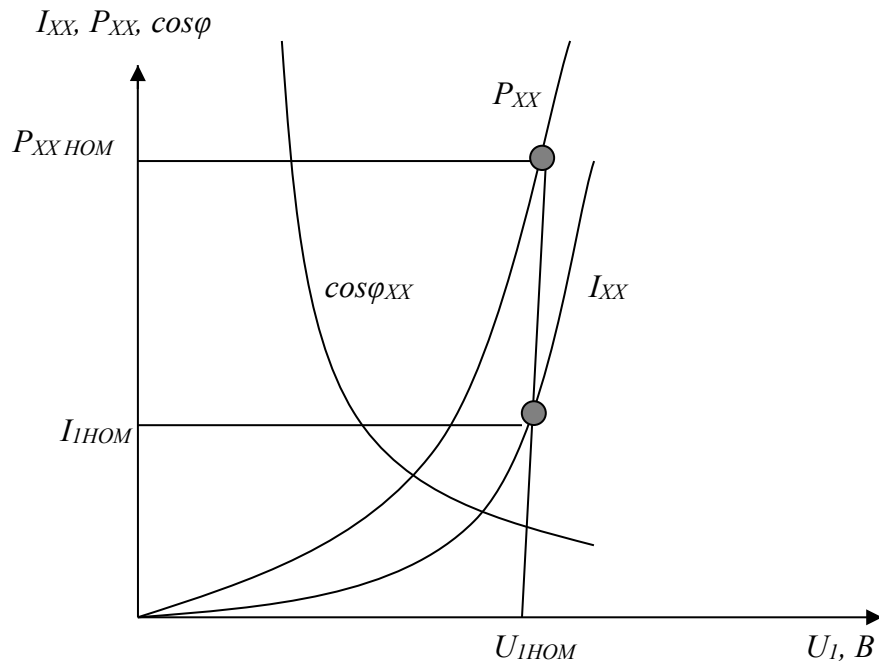


Рисунок 16 – Характеристики холостого хода

На основании этого опыта по показаниям измерительных приборов определяют коэффициент трансформации $k = \frac{U_{1H}}{U_{2XX}}$ и мощности потерь в магнитопроводе трансформатора. Так как при холостом ходе ток $I_2 = 0$, то потери мощности, затрачиваемые на нагрев обмоток, малы. Мощность P_{XX} , потребляемая в этом случае трансформатором идет на покрытие потерь в стали магнитопровода (они пропорциональны квадрату напряжения $P_{XX} = CU_1^2$).

Коэффициент мощности холостого хода трансформатора определяется

$$\cos \varphi_{XX} = \frac{P_{XX}}{U_{1H} * I_{1XX}}. \quad (23)$$

2.3 Опыт короткого замыкания

В режиме короткого замыкания витки вторичной обмотки замкнуты токопроводом с сопротивлением $Z_H = 0$. В условиях эксплуатации – это

аварийный режим, когда токи первичной и вторичной обмоток увеличиваются в десятки раз по сравнению с $I_{НОМ}$.

В лабораторных условиях проводят испытательное короткое замыкание, при котором накоротко замыкают вторичные обмотки. К первичной обмотке подводят такое напряжение $U_{КЗ}$, при котором ток вторичной обмотки не превышает номинального тока $I_{2КЗ} \leq I_{2НОМ} = \frac{S}{U_{2НОМ}}$. Выраженное в процентах напряжение короткого замыкания – называют напряжением короткого замыкания и указывают в паспортных данных трансформатора:

$$u_K = \frac{U_{КЗ}}{U_{1НОМ}} * 100\%. \quad (24)$$

Напряжение короткого замыкания зависит от высшего напряжения (ВН) обмоток трансформатора: с повышением ВН напряжение короткого замыкания увеличивается.

Так как в режиме короткого замыкания $U_{КЗ} \approx 10\% U_{1НОМ}$, то потери холостого хода в стали магнитопровода малы. Измеряемая ваттметром в этом режиме мощность – это потери мощности $P_{КЗ}$ в проводах первичной и вторичной обмоток. При токе $I_1 = I_{1НОМ}$ получаем номинальные потери мощности на нагрев обмоток, которые называют электрическими потерями или потерями короткого замыкания.

По показаниям приборов строят характеристики короткого замыкания, которые представляют собой зависимости тока $I_{1КЗ}$, мощности $P_{КЗ}$ и $\cos \varphi$ от напряжения $U_{1КЗ}$ (рисунок 17). Расчет коэффициента трансформации в опыте короткого замыкания определяется отношением токов в первичной и вторичной цепях $k = \frac{I_{2КЗ}}{I_{1КЗ}}$. А коэффициент мощности трансформатора

определяется по формуле

$$\cos \varphi_{КЗ} = \frac{P_{КЗ}}{U_{1КЗ} * I_{1КЗ}}. \quad (25)$$

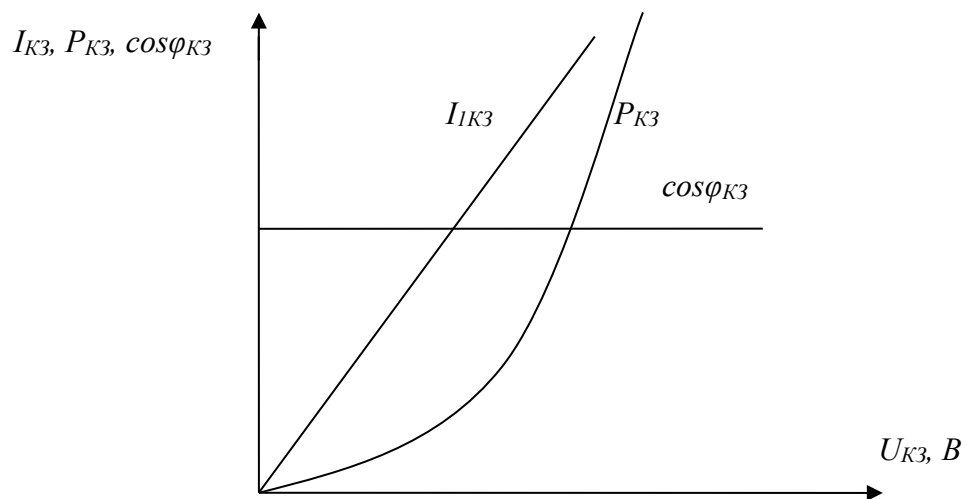


Рисунок 17 – Характеристики короткого замыкания

Аппаратура и материалы

Для выполнения работы необходимы лабораторные стенды «Электротехника», включающие в себя:

- встроенный однофазный понижающий трансформатор с номинальным параметрами по напряжению 220/127 В и полной мощностью 270 ВА;
- реостат;
- измерительные приборы (амперметры и вольтметры переменного тока, переносной ваттметр).

Указания по технике безопасности

1. Перед началом занятий в лаборатории необходимо ознакомиться с настоящими методическими указаниями и пройти инструктаж по «Технике безопасности для студентов, выполняющих учебные занятия в лабораториях кафедры теоретической и общей электротехники Северо-Кавказского государственного технического университета». Инструктаж фиксируется преподавателем в журнале. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к работе не допускаются.

2. Перед началом сборки цепи следует убедиться в том, что стенд обесточен. Во время сборки схемы нужно прокладывать провода так, чтобы было меньше их пересечений. Неиспользованные соединительные провода убирают с лабораторного стола.

3. Собранная электрическая цепь должна быть проверена преподавателем и может включаться только по его разрешению. Преобразования схем нужно производить только при выключенном напряжении, которые проверяются преподавателем.

4. Все работы на установках должны производиться не менее чем двумя студентами. О включении напряжения следует предупредить всех членов бригады, совместно выполняющих эту работу.

5. В ходе работы запрещается оставлять включенную схему без наблюдения. После окончания испытания или при перерыве в работе схему отключают от сети переключателем, а рукоятки регулируемых источников и реостатов устанавливают в нулевое положение.

6. При неисправностях в аппаратах, приборах или проводах схему отключают и сообщают об этом преподавателю.

9. Разборку схемы осуществлять по разрешению преподавателя после предъявления ему протокола испытаний.

Методика и порядок выполнения работы

1 Экспериментальное исследование трансформатора в опытных режимах холостого хода и короткого замыкания

1.1 Опыт холостого хода

1.1.1 Ознакомиться с лабораторной установкой и измерительными приборами. Записать паспортные данные трансформатора и рассчитать номинальные токи первичной и вторичной обмоток трансформатора по формулам

$$I_{1H} = \frac{S}{U_{1H}}; \quad I_{2H} = \frac{S}{U_{2H}}, \quad (26)$$

где S – номинальная полная мощность трансформатора, ВА;

$U_{1НОМ}$, $U_{2НОМ}$ – соответственно номинальные напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора, В.

1.1.2 Собрать схему по рисунку 18. С помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) установить на первичной обмотке трансформатора номинальное напряжение 220В (вольтметр V_1). Показания приборов занести в таблицу, отметить, что ток холостого хода $I_{XX} \leq 10\% I_{1НОМ}$.

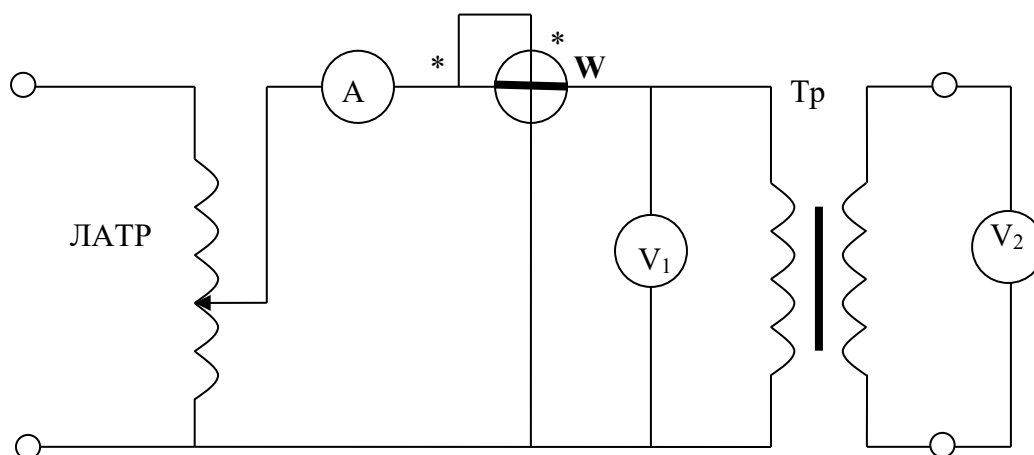


Рисунок 18 – Схема опыта холостого хода трансформатора

1.1.3 По результатам измерений рассчитать коэффициенты мощности и трансформации. Результаты вычислений занести в таблицу 13.

Таблица 13 – Испытательный режим холостого хода

Измерено				Вычислено		
U_{1H}, B	U_{2XX}, B	I_{1XX}, A	P_{XX}, Bm	k	$Cos\varphi_{1XX}$	$\frac{I_{1XX}}{I_{1НОМ}}$

1.2 Опыт короткого замыкания

1.2.1 Собрать схему по рисунку 19. Изменяя напряжение первичной обмотки с помощью ЛАТР, установить на амперметре A_2 значение тока, не превышающего номинальную величину I_{2H} . При этом напряжение короткого замыкания U_{K3} должно составлять до 10% от U_{1H} , что приблизительно равно 22В. Результаты измерений занести в таблицу 14.

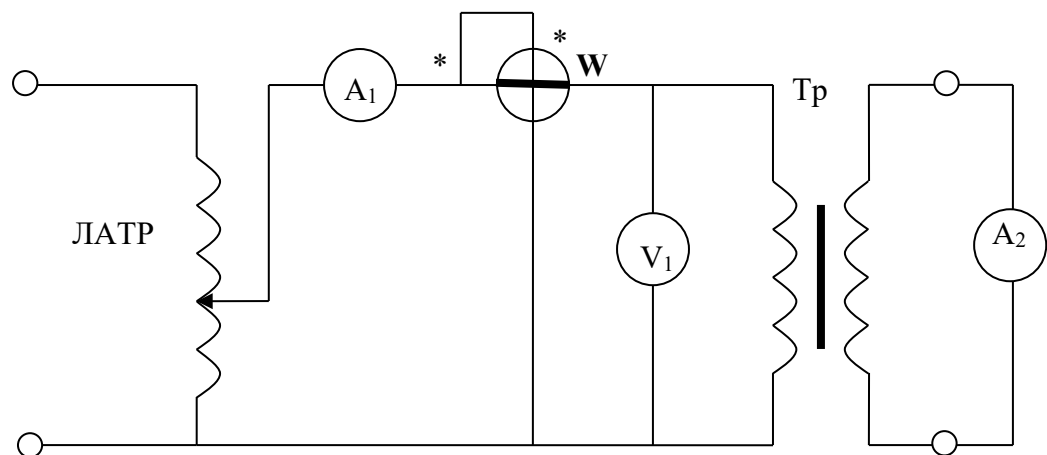


Рисунок 19 – Схема опыта короткого замыкания трансформатора

1.2.2 По результатам измерений аналитически рассчитать коэффициенты мощности и трансформации в режиме короткого замыкания. Результаты вычислений занести в таблицу 14.

Таблица 14 – Испытательный режим короткого замыкания

Измерено				Вычислено		
U_{1K3}, B	I_{1H}, A	I_{2K3}, A	P_{K3}, Bm	k	$\frac{U_{K3}}{U_{2XX}}$	$Cos\varphi_{K3}$