Лабораторная работа №9

«Изучение аварийного режима при обрыве одной фазы измерительного трансформатора напряжения»

1. **Цель лабораторной работы:** изучение обрыва одной первичной обмотки трансформатора напряжения на значения напряжений в электрической цепи.

2. **Рекомендуемая литература**

2.1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник М. Гардарики, 2006.;

2.2. Неклепаев Б.Н Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования [Электронный ресурс]/ Неклепаев Б.Н, Крючков И.П.- Электрон. текстовые данные. - Москва: ЭНАС, 2013.- 144 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/76199.html. - ЭБС «IPRbooks»

2.3. Афонин В.В. Электрические станции и подстанции. Часть 1. Электрические станции и подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Афонин В.В., Набатов К.А.- Электрон. текстовые данные. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015.- 90 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64621.html. - ЭБС «IPRbooks»

2.4. Афонин В.В. Электрические станции и подстанции. В 2 частях. Ч.2. [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Афонин В.В., Набатов К.А.- Электрон. текстовые данные. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017.- 97 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/85984.html. - ЭБС «IPRbooks»

3. **Задание для самостоятельной работы**

3.1. Используя учебные материалы, приведенные в п. 4. «Общие положения» настоящих методических указаний и рекомендуемую литературу изучить тему «Трехфазные сети переменного тока».

3.2. Выполнить предварительную подготовку отчета по лабораторной работе: указать наименование, цель работы, изобразить трехфазную сеть и векторные диаграммы напряжений, приведенные на рис. 4.1.; подготовить таблицу экспериментальных данных.

4. **Общие положения**

В рассматриваемой сети 110/10/0,4 кВ трансформатор напряжения подключён к шинам 10 кВ понижающей трансформаторной подстанции 110/10 кВ. Трансформатор напряжения представляет собой группу двухобмоточных однофазных трансформаторов. Первичные обмотки трансформаторов соединены в звезду (рис. 4.1.). Нулевая точка заземлена. Одна из групп вторичных обмоток также соединена в звезду с заземлённой

нейтралью, другая – в открытый треугольник. Первая используется в модели для измерения напряжений, вторая – для сигнализации наличия составляющей нулевого следования фаз в измеряемых напряжениях. Напряжение на разомкнутом треугольнике равно векторной сумме напряжений на вторичных обмотках. В комплексной форме:

$$\dot{U}_{\Delta} = \dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = 3 \times \dot{U}_0$$

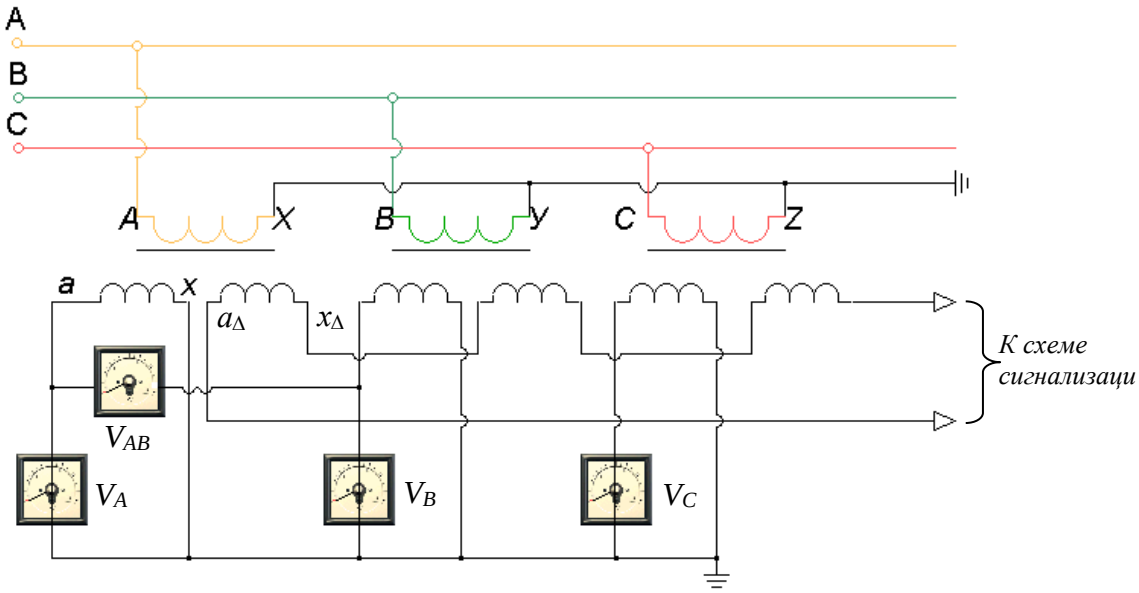

Рис.4.1. Электрическая схема соединения группы двухобмоточных однофазных трансформаторов.

Обрыв фазы трансформатора напряжения сам по себе непосредственной угрозы персоналу или электрооборудованию не представляет. Тем не менее, это аварийный режим, так как он нарушает работу сигнализации и, возможно, релейной защиты.

Обрыв одной первичной обмотки трансформатора напряжения обнаруживается по следующим признакам:

→ напряжение на соответствующей вторичной обмотке становится равным нулю, а два линейных напряжения на вторичных обмотках становятся равными фазному напряжению,

→ в разомкнутом треугольнике появляется напряжение, равное фазному напряжению нормального режима,

→ напряжения и токи в сети 0,4 кВ не меняются.

Примечание: на стенде с помощью трансформатора напряжения измеряется три фазных напряжения и только одно линейное напряжение U_{AB}. При обрыве фазы, А оно становится примерно равным фазным напряжениям U_B и U_C.

Показания вольтметров, подключённых к трансформатору напряжения, совпадают с показаниями при обрыве одной фазы в сети 10 кВ с замыканием на землю. Однако при

обрыве в фазы в сети 10 кВ дополнительно изменяются напряжения и токи на вторичной стороне трансформатора 10/0,4 кВ.

5. Контрольные вопросы

5.1. Объяснить устройство и принцип действия однофазного трансформатора.

5.2. Объяснить устройство измерительных трансформаторов тока и напряжения и схемы их включения.

5.3. В какой цепи, первичной или вторичной, ток больше и почему?

5.4. Что происходит с током в первичной обмотке при увеличении тока во вторичной обмотке?

5.5. Что происходит с напряжением на зажимах вторичной обмотки при увеличении в ней тока?

6. Основное лабораторное оборудование

В настоящей лабораторной работе используется комплект лабораторного оборудования «Аварийные режимы распределительной сети 110/10/0,4 кВ».

Назначение комплекта. Комплект модульного лабораторного оборудования «Аварийные режимы распределительной электрической сети 110/10/0,4 кВ» предназначен для изучения аварийных режимов, в распределительных электрических сетях. Он позволяет моделировать обрывы проводов и короткие замыкания на стороне 110, 10 и 0,4 кВ.

Общий вид и его состав показан на Рис.6.1.

Состав комплекта и его устройство.

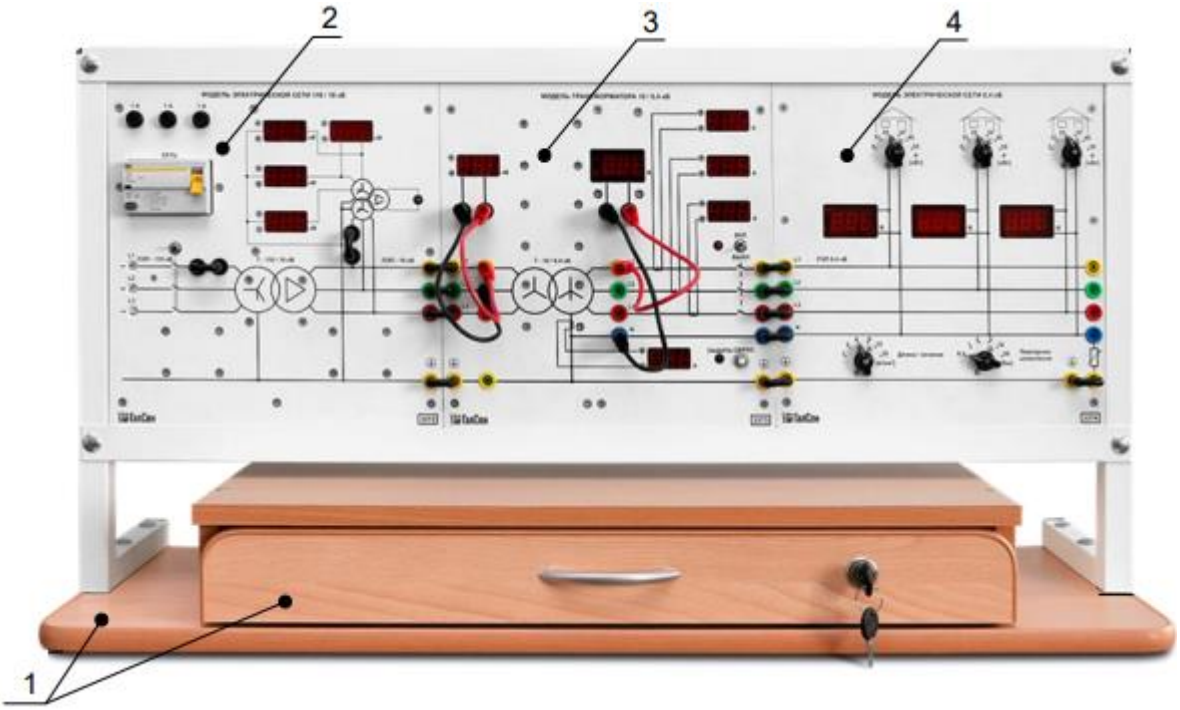

Рис.6.1. Общий вид комплекта лабораторного оборудования

Комплект смонтирован в раме с контейнером (1). В контейнере хранятся провода, перемычки. В раме установлено три блока: модель электрической сети 110/10 кВ (2), модель трансформатора 10/0,4 кВ (3) и модель электрической сети 0,4 кВ (4). Три блока соединяются между собой перемычками на лицевых панелях.

Модель электрической сети 110/10 кВ является составной частью модели трехфазной распределительной сети электроснабжения 110/10/0,4 кВ. Модель (2) предназначена для питания всей модели, для моделирования обрыва одной фазы питающей линии 110 кВ и обрыва одной фазы измерительного трансформатора напряжения в линии 10 кВ.

Модель трансформатора 10/0,4 кВ является составной частью модели трехфазной распределительной сети электроснабжения. Модель (3) предназначена для преобразования напряжения распределительной сети 10 кВ в напряжение потребителей 380/220 В. Модель (3) позволяет имитировать замыкания на землю и обрывы линий в сети 10 кВ с изолированной нейтралью.

Модель электрической сети 0,4 кВ является составной частью модели трехфазной распределительной сети электроснабжения 110/10/0,4 кВ. Модель (3) предназначена для питания нагрузок, для моделирования обрывов, коротких замыканий, несимметричных режимов сети 380/220 В.

Питание установки осуществляется от пятипроводной трехфазной сети 380/220 В. Напряжение питания подается на первый блок через специальный разъем с тыльной стороны блока. Затем, через предохранители и устройство защитного отключения трехфазное напряжение подается на тумблер собственно модели сети 110/10 кВ, а одна фаза выводится на дополнительное гнездо на тыльной стороне блока для питания цифровых вольтметров и устройства защиты следующего блока. Для этого первый и второй блоки соединяются однофазным трехпроводным кабелем. Аналогично со второго блока напряжение 220 В подается на третий блок.

Модели электрических сетей 110 *кВ* и 0,4 *кВ* выполнены на напряжение 380/220 *В*, а модель сети 10 *кВ* – на напряжении 220/127 *В*. Измерительные приборы откалиброваны так, что они показывают напряжения и токи, которые имели бы место в реальной распределительной сети.

После подачи напряжения на первый блок и включения устройства защитного отключения загораются три светодиода L1, L2, L3. Они сигнализируют о подаче напряжения на линию 110 кВ. Активизируются также все измерительные приборы.

Никакие реальные параметры линии 110 кВ не моделируются – это шина бесконечной мощности. Далее с помощью тумблера напряжение подается на первичные обмотки силового трансформатора 110/10 кВ. Он моделируется группой однофазных трансформаторов. В схеме предусмотрена возможность обрыва фазы *А* питающей сети. Обмотки трансформаторов соединены по схеме Y_0/Δ-11*. [*Группа соединения определяется сдвигом по фазе линейного или фазного напряжения обмотки НН по отношению к одноименному линейному или фазному напряжению обмотки ВН. Группы соединения трансформаторов отличаются друг от друга шагом n*30° (n - число в пределах 1 -12). Пример: Y/Y-0 (тоже самое Y/Y-12) - означает, что линейное (фазное) напряжение обмотки НН совпадает по фазе с линейным (фазным) напряжением обмотки ВН; Y/Δ - 11 означает, что линейное (фазное) напряжение обмотки НН опережает линейное (фазное) напряжение обмотки ВН на 11*30=330°]. Группа однофазных трансформаторов не идентична трехфазному стержневому трансформатору по отношению к токам нулевого следования фаз. Однако при схеме соединения Y_0/Δ трехфазная группа и трехфазный трансформатор ведут себя одинаково. Со стороны 10 кВ установлена группа измерительных трансформаторов и четыре вольтметра. Один из них измеряет линейное напряжение, три других – фазные напряжения относительно «земли».

К вторичным обмоткам силового трансформатора присоединен отрезок линии 10 кВ. Линия моделируется Г-образной RC цепочкой.

Второй блок содержит трансформатор 10/0,4 кВ (трехфазная группа со схемой соединения Y/Y_0), четыре амперметра для измерения токов на стороне 0,4 кВ и два вольтметра. Один вольтметр служит для измерения напряжений со стороны 10 кВ, другой – со стороны 0,4 кВ. В блоке имеется тумблер для подачи напряжения на третий блок (сеть 0,4 кВ). Во втором блоке установлено защитное устройство для отключения токов короткого замыкания, а также сигнальные светодиоды. При включении тумблером сети 0,4 кВ загорается светодиод «Вкл.». При срабатывании защиты дополнительно включается светодиод «Защита». При включении тумблера первый светодиод гаснет, а для возврата защиты в исходное состояние необходимо нажать кнопку «Сброс».

На трансформаторах этого блока имеются дополнительные обмотки, соединенные в треугольник. Это сделано для того, чтобы трансформаторная группа была идентична трехфазному стержневому трансформатору по отношению к токам нулевого следования фаз.

Третий блок содержит модель линии 0,4 *кВ*, нагрузки и измерительные приборы. Линия моделируется активными сопротивлениями, регулируемыми по величине. На шкале переключателя параметров линии указаны отношения длины линии к сечению проводов.

Сопротивление линии в каждой позиции переключателя, если потребуется, можно

вычислить по формуле

$$R = \rho \times \frac{l}{S},$$

где $\rho = 0{,}03\ \frac{Ом \cdot мм^2}{м}$ – удельное сопротивление алюминия;

l (м) – длина линии;

S (мм²) – сечение проводов.

В блоке имеются три однофазные активные нагрузки, регулируемые от 0 до 50 *кВт* (в масштабе модели).

В этом блоке установлен также резистор повторного заземления, регулируемый от 0,5 до 30 Ом.

В модели имеются три однофазные активные нагрузки, регулируемые от 0 до 50 кВт.

7. Порядок выполнения работы

→ Отобразить нормальный режим на стенде «Модель электрической сети 110/10 кВ» - «Модель трансформатора 10/0,4 кВ» - «Модель электрической сети 0,4 кВ».

→ Установить переключатель отношения «длина/сечение» в положение 2 – 3.

→ Установить переключатели нагрузки в положение 20-30 *кВт* (возможны другие величины мощности).

→ Удалить перемычку резистора повторного заземления.

→ Разомкнуть фазу А измерительного трансформатора, удалив перемычку.

→ Измерить фазные ($U_Ф$) и линейные ($U_Л$) напряжения и токи в симметричном режиме. Результаты занести в Табл.7.1. *В каждый столбец напряжений записать 3 значения сверху вниз:* U_A, U_B, U_C, *или* U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}. *Аналогично записать значения токов.*

→ Проанализировать результаты и сделать выводы.

Таблица 7.1.

Напряжения и токи на выводах трансформаторов 10/0,4 кВ и нагрузки

Трансформатор 110/10 *кВ*, на стороне 10 *кВ*		Трансформатор 10/0,4 *кВ*			Нагрузка		
$U_{Ф2}$, *кВ*	$U_{Л2}$, *кВ*	$U_{Ф1}$, *кВ*	$U_{Ф2}$, *В*	$U_{Л2}$, *В*	$U_Ф$, *В*	$I_Ф$, *А*	I_N, *А*
При обрыве фазы измерительного трансформатора: *P=… кВт*; *l/s=… м/мм²*							

В выводах по работе необходимо сделать заключение: как изменяются величины напряжений при обрыве одной первичной обмотки трансформатора напряжения.

8. Содержание отчета

- ФИО, шифр группы, дата выполнения работы;
- Цель работы;
- Изображение электрической схемы соединения группы двухобмоточных однофазных трансформаторов, приведенных на рис. 4.1.;
- Таблица экспериментальных данных;
- Выводы по результатам работы.