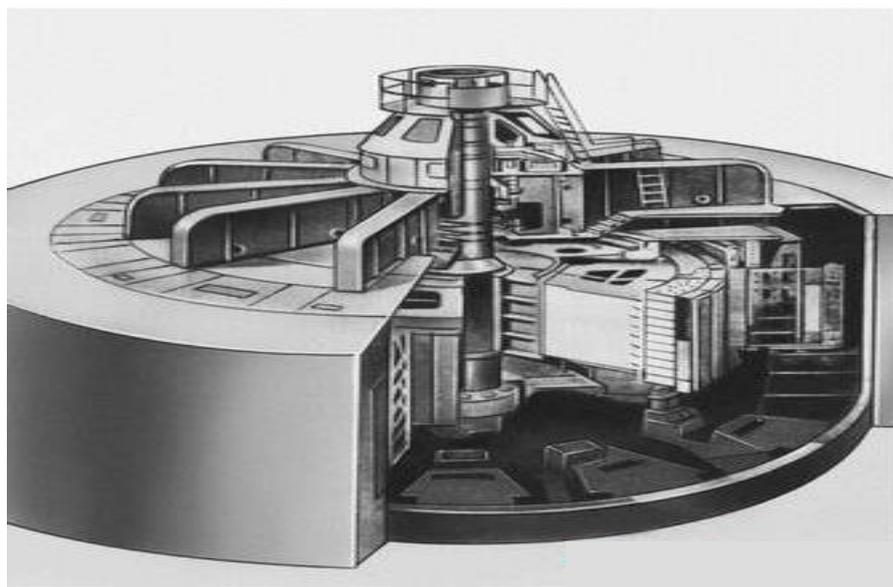


**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И
ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Методические указания
к лабораторным работам



Ташкент-2023

УДК 621.311.2

Махмудов Т.Ф., Эргашев М.М., Пўлатов Н.Қ. Электрическая часть станций и подстанций. / Методические указания к лабораторным работам. – Ташкент: ТашГТУ, 2023– 52 с.

Методические указания включают описание лабораторных работ по курсу «Электрическая часть станций и подстанций», в процессе выполнения которых студенты знакомятся с конструкцией и характеристиками основного электрооборудования электрических станций и подстанций и получают практические навыки в проведении его испытания.

Данные методические указания разработаны для студентов направления 60710600-Электроэнергетика (производство, передача и распределение энергии).

Печатаются по решению научно-методического совета ТашГТУ. Протокол №9 от 21 июня 2023.

Рецензенты: д.т.н. Таслимов А.Д. Профессор кафедры
“Электроснабжение” ТГТУ

к.т.н. Шамсиев Х.А. Директор КДЦ “Энергия”

©Ташкентский государственный технический университет, 2023

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ВКЛЮЧЕНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Цель работы: изучение методов включения синхронного генератора в энергосистему.

Краткие теоретические сведения: включение генератора в сеть может быть выполнено по способу точной синхронизации или по способу самосинхронизации. Для включения генератора по способу точной синхронизации без броска тока в статоре и без резкого изменения вращающего момента ротора должны быть соблюдены три условия:

- равенство напряжения генератора и сети по величине;
- совпадение этих напряжений по фазе;
- равенство частот генератора и сети.

Включение генератора в сеть при значительном неравенстве напряжения по величине и при большом угле расхождения по фазе вызовет появление в генераторе уравнительного тока и связанных с ним последствий. Особенно опасно включение генератора при несовпадении напряжений по фазе. В наиболее тяжелом случае, когда напряжения генератора и сети сдвинуты по фазе на 180° , а мощность системы во много раз превышает мощность генератора, уравнительный ток в момент включения в 2 раза превысит ударный ток трехфазного к. з. на выводах генератора. От такого тока могут разрушиться лобовые части обмотки статора или одна из обмоток трансформатора. При значительной разности частот трудно безошибочно выбрать момент для включения генератора. Кроме того, если даже момент включения будет выбран удачно, то из-за большой начальной разности между частотой вращения ротора и синхронной ротор генератора не успеет затормозиться и не удержится в синхронизме, что вызовет появление недопустимо больших колебаний величин тока статора и вращающего момента ротора. Поэтому при большой частоте вращения, а также при резких качаниях стрелки синхроскопа включать генератор недопустимо.

Однако точное соблюдение трех вышеуказанных условий, особенно двух последних, замедлило бы процесс синхронизации. Поэтому практически допускается возможность появления

незначительных, неопасных толчков при включении генератора и синхронизация выполняется с соблюдением следующих, несколько отличающихся от указанных выше идеальных условий:

- напряжение генератора должно быть выше напряжения сети, но не более чем на 5%, с тем чтобы он после включения принял на себя реактивную нагрузку;

- импульс на включение выключателя должен подаваться до подхода стрелки синхроскопа к красной черте на угол, соответствующий времени включения выключателя, с расхождением не более 8-12°;

- частота напряжения генератора должна быть близкой к частоте сети, чтобы стрелка синхроскопа вращалась с частотой не более 2-3 об/мин.

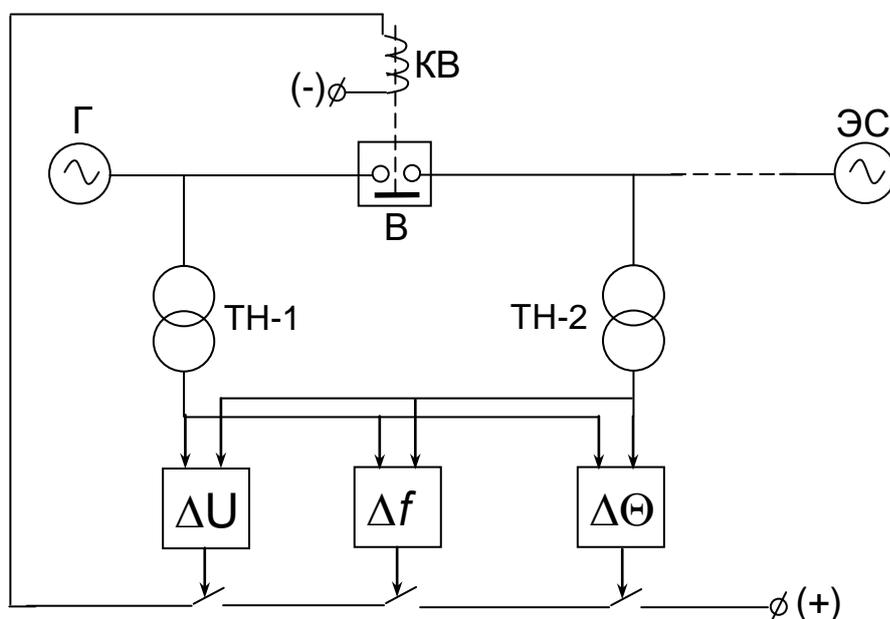


Рис.1.1. Принципиальная схема точной синхронизации.
 ΔU , Δf , $\Delta \Theta$ - устройства контроля разности параметров генератора и системы.

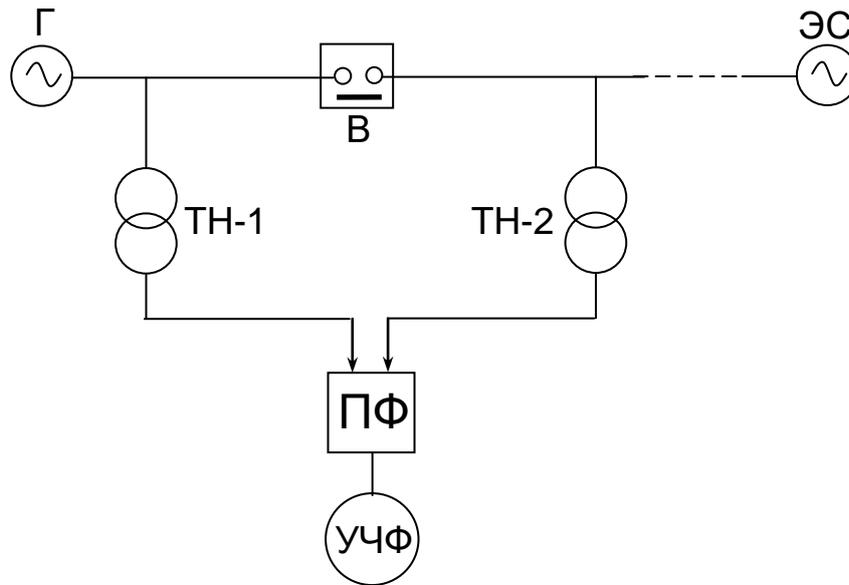


Рис.1.2. Принципиальная схема проверки чередования фаз генератора и системы.

УЧФ – устройство чередования фаз, ПФ – переключатель фаз генератора или системы.

Таблица 1.1

| Уравн. ток, [А] | Отклонение параметров генератора от параметров системы | | | | | | | | |
|-----------------------|--|----|----|-----------------|-----|-----|------------------------|----|----|
| | ΔU [В] | | | Δf [Гц] | | | $\Delta \Theta$ [град] | | |
| | 10 | 20 | 30 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 5 | 10 | 20 |
| I_{yp} | | | | | | | | | |

В аварийных условиях, когда частота в системе не стабильна, точная синхронизация генераторов может затянуться на несколько минут. Поэтому при ликвидации аварий, сопровождающихся снижением и колебаниями частоты и напряжения, включение в сеть генераторов мощностью менее 165 МВт, как правило, должно производиться по способу самосинхронизации. Включение генераторов мощностью 165 МВт и выше по способу самосинхронизации не допускается заводами-изготовителями из-за больших переходных токов в момент такого включения. По способу самосинхронизации генератор включается в сеть без возбуждения при частоте вращения, близкой к синхронной. (скольжение $\pm 2-5\%$), после чего включением АГП генератор возбуждается и в течение 1-2 с стягивается в синхронизм. Шунтовой реостат перед включением

генератора должен быть установлен в положение х.х. В нормальных условиях самосинхронизация может применяться для всех гидрогенераторов, для всех синхронных компенсаторов, для турбогенераторов с косвенным охлаждением, работающих по схеме блока генератор - трансформатор, и для турбогенераторов, включаемых на шины при условии, если симметричная составляющая тока статора при этом не превосходит $3,5 \cdot I_{ном}$. Ток самосинхронизации в момент включения

$$I_{ур} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{X_c + X'_d} \quad \text{где}$$

X_c - относительное сопротивление сети, приведенное к мощности включаемого генератора;

$U_{ном}$ - фазное напряжение сети, приведенное к напряжению генератора.

Достоинство способа самосинхронизации состоит в простоте, позволяющей полностью автоматизировать включение генератора в сеть, в быстроте включения. Недостатками являются: невозможность его применения в нормальных условиях при включении генератора непосредственно на шины из-за недопустимого при этом напряжения у потребителей, присоединенных к шинам.

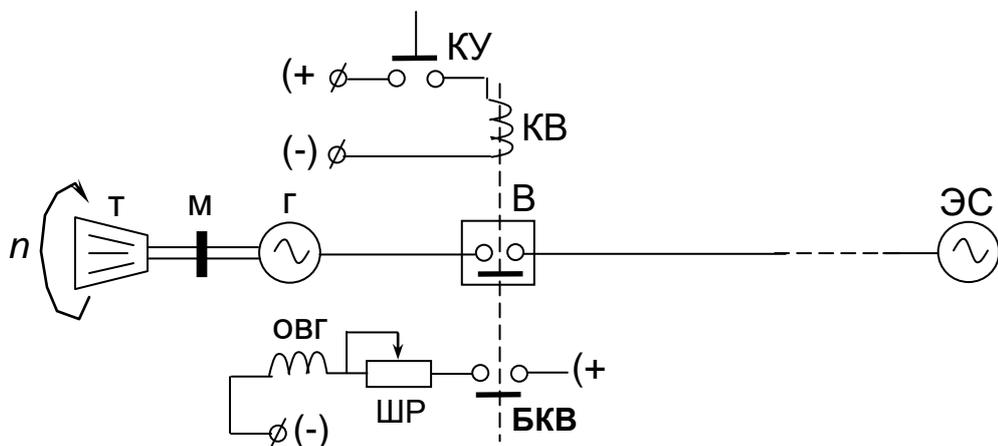


Рис.1.3. Принципиальная схема самосинхронизации генератора.
Т–турбина, М–соединительная муфта, Г–генератор, В–выключатель,
ШР–шунтовой реостат, ОВГ–обмотка возбуждения генератора, КУ–
ключ управления, КВ–катушка включения выключателя, БКВ–блок–
контакт выключателя.

Программа работы:

1. Изучение экспериментальной мнемосхемы стенда для включения генератора в ЭС.
2. Подгонка параметров синхронного генератора и энергосистемы с использованием колонки синхронизации.
3. Метод точной синхронизации. Принципиальная схема включения.
4. Величина уравнивающего тока $I_{ур}$ как функция не соблюдения параметров генератора и системы.
5. Метод самосинхронизации. Принципиальная схема включения.
6. Величина уравнивающего тока $I_{ур}$ как критерий использования метода самосинхронизации.

Контрольные вопросы:

1. Назовите три условия включения генератора методом точной синхронизации.
2. Назначение колонки синхронизации.
3. Последствия чрезмерного уравнивающего тока при включении генератора в систему.
4. Критерий применимости метода самосинхронизации для разнотипных.
5. Достоинства и недостатки двух методов включения генераторов в систему.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Цель работы: изучение различных режимов работы синхронного генератора.

Краткие теоретические сведения: управление режимом генератора сводится к поддержанию необходимого магнитного поля в воздушном зазоре между статором и ротором. Ток статора создает магнитное поле, направленное в основном встречно магнитному полю, создаваемому током возбуждения (эффект реакции якоря). Изменение результирующего магнитного поля компенсируется соответствующими изменениями магнитного поля возбуждения, для чего ток возбуждения генератора должен изменяться в широких пределах в зависимости от его режима. Ток возбуждения в нормальных режимах зависит от требуемого напряжения генератора U , активного I_a и реактивного I_r токов статора и своим изменением должен компенсировать как падение напряжения в синхронной машине, так и реакцию статора.

Существует два режима генератора: перевозбуждение и недовозбуждение. В режиме перевозбуждения в сеть поступают активная и реактивная мощности. В режиме недовозбуждения генератор потребляет реактивную мощность. Реактивная мощность, генерируемая или потребляемая синхронным генератором, работающий в режиме компенсатора, зависит от тока возбуждения. С изменением тока возбуждения изменяется ЭДС обмотки статора E_k . Режим, когда ЭДС генератора по значению равна напряжению сети, называют режимом холостого хода генератора. При увеличении тока возбуждения ЭДС генератора превысит напряжение на его зажимах (режим перевозбуждения). Синхронные гидрогенераторы и турбогенераторы могут работать в режиме синхронного компенсатора.

Асинхронный режим. В нормальном режиме генераторы, включенные на параллельную работу, работают синхронно. Синхронный режим характеризуется тем, что ЭДС всех генераторов имеют одинаковую частоту, и, следовательно, их векторы вращаются с одинаковой угловой скоростью. Результатом потери устойчивой

работы отдельных генераторов или группы генераторов является асинхронный ход СГ.

Асинхронный ход - это такой режим работы СГ, при котором скорость вращения ротора не соответствует скорости вращения поля статора.

Различают два вида АХ синхронных генераторов:

1. АХ генератора станции, относительно генераторов, работающих на станции;
2. АХ группы генераторов (группы станций) относительно другой группы (системы).

Турбогенератор переходит в асинхронный режим при потере возбуждения или при его уменьшении ниже некоторой критической величины, достаточной для создания синхронного момента.

Синхронный электромагнитный момент проявляется как результат взаимодействия вращающегося магнитного потока статора генератора с потоком, обусловленным протеканием в обмотке ротора тока возбуждения. При установившейся синхронной работе генератора этот момент по отношению к вращающемуся моменту турбины является тормозным. При его исчезновении из-за потери возбуждения или при его уменьшении с уменьшением возбуждения ниже вращающего момента, развиваемого турбиной, частота вращения ротора генератора увеличивается и возникает скольжение ротора относительно вращающегося поля статора генератора, включенного в общую сеть с параллельно работающими генераторами. Вследствие этого во всех замкнутых роторных контурах наводятся со стороны статора токи, имеющие частоту скольжения. Эти токи создают тормозящий асинхронный момент, и если его максимум оказывается больше момента, создаваемого турбиной, то ускорение ротора прекратится, и генератор будет отдавать активную мощность в сеть при работе в асинхронном режиме.

Из-за одноостности обмотки возбуждения и неодинаковости магнитной проводимости в продольной и поперечной осях машины асинхронный момент не остается постоянным, а колеблется около среднего значения M_{acx} .

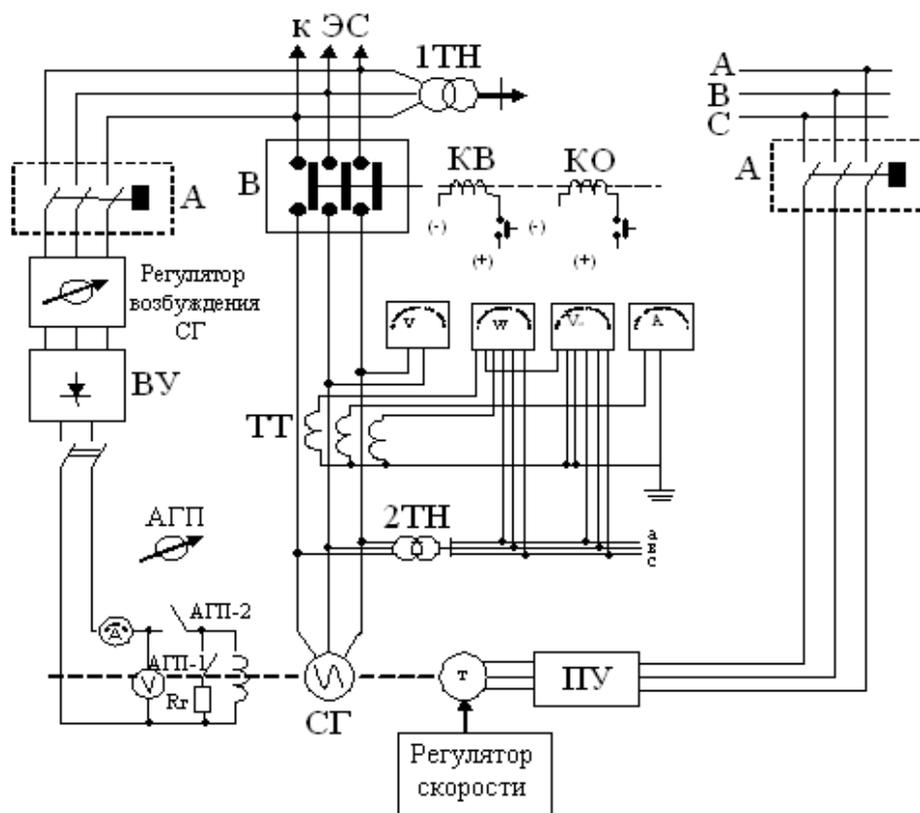
$$M_{acx} = M_d \cdot \sin^2 \delta + M_q \cdot \cos^2 \delta, \text{ где}$$

δ - угол сдвига продольной оси ротора относительно магнитного потока в зазоре;

M_d и M_q - моменты на валу, соответствующие максимуму тока в продольной и поперечной осях.

Программа работы:

1. Изучение электрической схемы стенда.
2. Холостой ход генератора.
3. Фазировка генератора с энергосистемой.
4. Включение генератора на параллельную работу ЭС.
5. Система возбуждения генератора.
6. АГП генератора.
7. Регулирование активной мощности генератором.
8. Регулирование реактивной мощности синхронного генератора.
9. Снятие V-образной характеристики синхронного генератора.
10. Асинхронный ход генератора.
11. Режим синхронного компенсатора.
12. Назначение колонки синхронизации синхронного генератора.



Принципиальная электрическая схема стенда

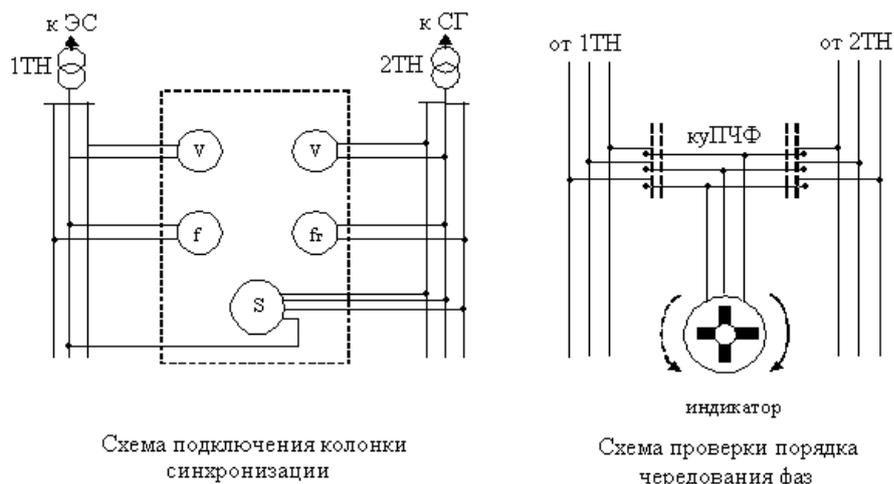


Рис.2.1

Таблица 2.1 для построения V-образной характеристики синхронного генератора при $U=\text{const}$; $P_r=\text{const}$ (0,5; 1,0; 1,5)

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| I_r | | | | | | | | | | | |
| I_B | | | | | | | | | | | |

Содержание отчета:

Электрическая схема стенда, включение генератора в систему, регулирование активной и реактивной мощности генератора, режимы работы генератора, построение V-образной характеристики СГ, работающего в режиме СК.

Контрольные вопросы

1. Процесс включения синхронного генератора в энергосистему.
2. Назначение АГП синхронного генератора.
3. Как изменить выдачу активной и реактивной мощности генератора в ЭС.
4. Причины возникновения асинхронного хода синхронного генератора.
5. Пуск синхронного компенсатора.
6. Назначение колонки синхронизации.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы: ознакомление с условиями включения силовых трансформаторов на параллельную работу.

Краткие теоретические сведения: при параллельной работе трансформаторов выводы обмоток одноименных фаз соединяют между собой как на первичной, так и на вторичной стороне. Если у трансформаторов соединяются выводы только одной стороны напряжения, то при этом получается их совместная, но не параллельная работа. Нормальная параллельная работа трансформаторов характеризуется отсутствием между ними уравнивающих токов, токи нагрузки трансформаторов одинаковы. В случае разных коэффициентов трансформации между трансформаторами возникает уравнивающий ток, который дополнительно нагружает один трансформатор и разгружает другой. При разных $e_k\%$ нагрузка на трансформаторах распределяется обратно пропорционально величинам $e_k\%$, таким образом, общая нагрузка распределяется между параллельно работающими трансформаторами прямо пропорционально их номинальной мощности и обратно пропорционально их напряжениям короткого замыкания ($e_k\%$). Для параллельной работы должны быть соблюдены следующие условия:

1. Коэффициенты трансформации трансформаторов должны быть равны, т.е. линейные первичные и вторичные напряжения трансформаторов должны быть соответственно равны.
2. Напряжения короткого замыкания трансформаторов ($e_k\%$) должны быть равны.
3. Трансформаторы должны иметь одинаковые группы соединений, т.е. угловые смещения векторов линейных ЭДС обмоток параллельно включенных трансформаторов должны быть одинаковы.

Трансформаторы с различными группами соединений на параллельную работу включаться не могут, так как в этом случае возникает уравнивающий ток, в 3-20 раз превышающий номинальный ток. Такой уравнивающий ток равноценен току короткого замыкания на выводах трансформатора. Параллельная работа таких трансформаторов невозможна.

Таблица 3.1

| Номера вариантов | Группы соединений трансформаторов | | Напряжение между фазами, В | |
|------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|
| | 1-й трансформатор | 2-й трансформатор | U_{A1-A2} | U_{C1-C2} |
| 1 | $\lambda/\lambda - 12$ | $\lambda/\lambda - 12$ | | |
| 2 | $\lambda/\lambda - 12$ | $\lambda/\lambda - 6$ | | |
| 3 | $\lambda/\Delta - 11$ | $\lambda/\Delta - 11$ | | |
| 4 | $\lambda/\Delta - 11$ | $\lambda/\lambda - 5$ | | |
| 5 | $\lambda/\Delta - 11$ | $\lambda/\lambda - 12$ | | |

Векторные диаграммы трансформаторов:

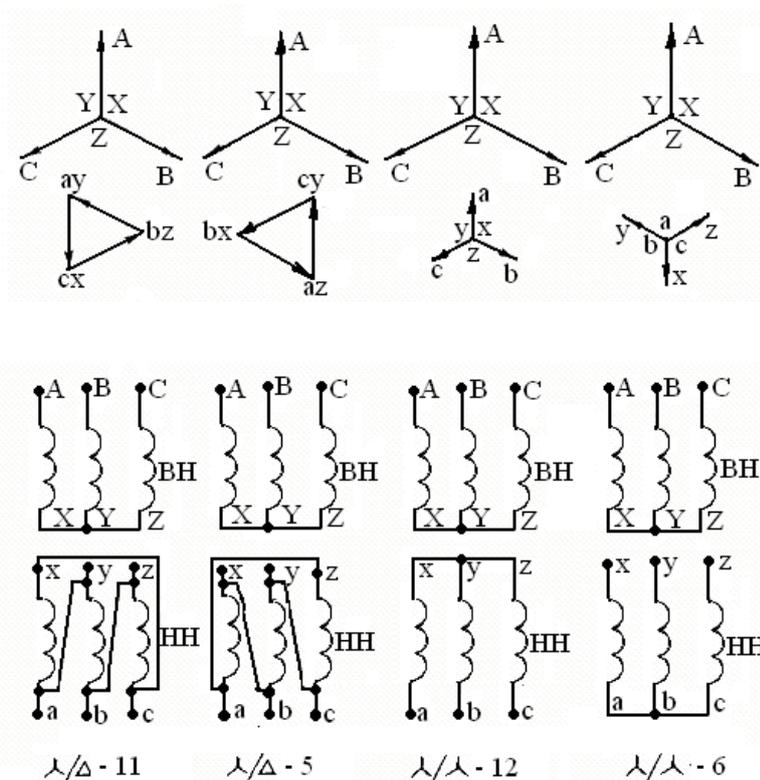


Рис.3.1. Схемы соединений трансформаторов.

Программа работы:

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями по включению силовых трансформаторов на параллельную работу.
2. Собрать схему соединений и включить трансформаторы.
3. Замерить напряжение на вторичной стороне трансформаторов между соответствующими фазами.
4. Построить векторные диаграммы трансформаторов.

Порядок проведения работы:

1. Собрать схему соединений трансформаторов для следующих пяти вариантов (см. таблицу 3.1).
2. Для каждого варианта замерить напряжение на вторичной стороне трансформаторов между соответствующими фазами и построить векторные диаграммы. Данные замеров внести в таблицу 3.1.

Контрольные вопросы:

1. Условия включения силовых трансформаторов на параллельную работу.
2. Как распределяется нагрузка между трансформаторами в случаях, когда:
 - а) мощности трансформаторов не равны;
 - б) не равны $e_k\%$ трансформаторов.
3. Что произойдет, если включить на параллельную работу трансформаторы с разной группой соединений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ В СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: изучение методов контроля изоляции в высоковольтных трехфазных сетях переменного тока с помощью трансформаторов напряжения.

Краткие теоретические сведения: надежность работы как части, так и всей электрической сети в целом зависит от уровня изоляции ее элементов. Наиболее распространенным повреждением в электрической сети является повреждение изоляции фазы относительно земли, что приводит к однофазным коротким замыканиям на землю. Высоковольтные сети выполняются с изолированной нейтралью (напряжением до 35 кВ) и с глухозаземленной нейтралью (напряжением 110 кВ и выше). В сетях с изолированной нейтралью однофазное замыкание на землю не вызывает аварийного увеличения тока, так как в этом случае он носит емкостный характер. Если же ёмкость этой сети велика, то для снижения однофазных токов замыкания на землю приходится компенсировать эту емкость специальной индуктивностью, которая, как правило, устанавливается в нейтрали трансформатора. Поэтому высоковольтные сети напряжением до 35 кВ получили следующие названия - сети с изолированной нейтралью, сети с компенсированной нейтралью. И в том, и в другом случае они являются сетями с малыми токами замыкания на землю.

Однофазные замыкания на землю в этих сетях, как уже отмечено, не вызывают аварийного увеличения тока, но вызывают вероятность возникновения междуфазного к.з., который сопровождается большим увеличением тока и при котором поврежденный участок должен быть немедленно отключен релейной защитой.

Поэтому Правила технической эксплуатации (ПТЭ) предусматривают ограничение времени работы участка сети при однофазном замыкании на землю до 2 часов. За это время персонал обязан найти и устранить повреждение. Если же это сделать не удастся, то персонал должен принять меры для снижения ущерба из-за недоотпуска электроэнергии потребителю и отключить через 2 часа после возникновения однофазного замыкания на землю

поврежденный участок сети. В сетях с глухо заземленной нейтралью (110 кВ и выше) однофазные к.з. вызывают недопустимо большой ток и поврежденный элемент сети отключается релейной защитой почти мгновенно.

В связи с вышеизложенным на всех электрических станциях и подстанциях имеются устройства, реагирующие на снижение уровня изоляции какой-либо фазы относительно земли.

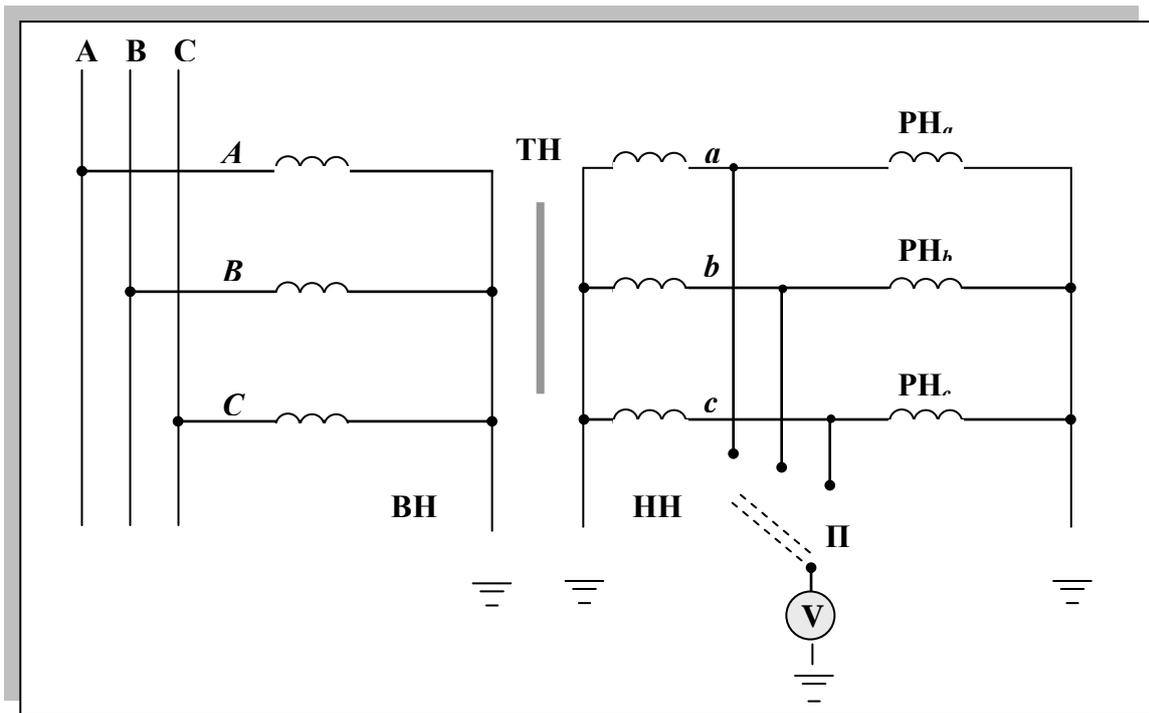


Рис.1 Схема соединения обмоток ТН «Звезда - Звезда»

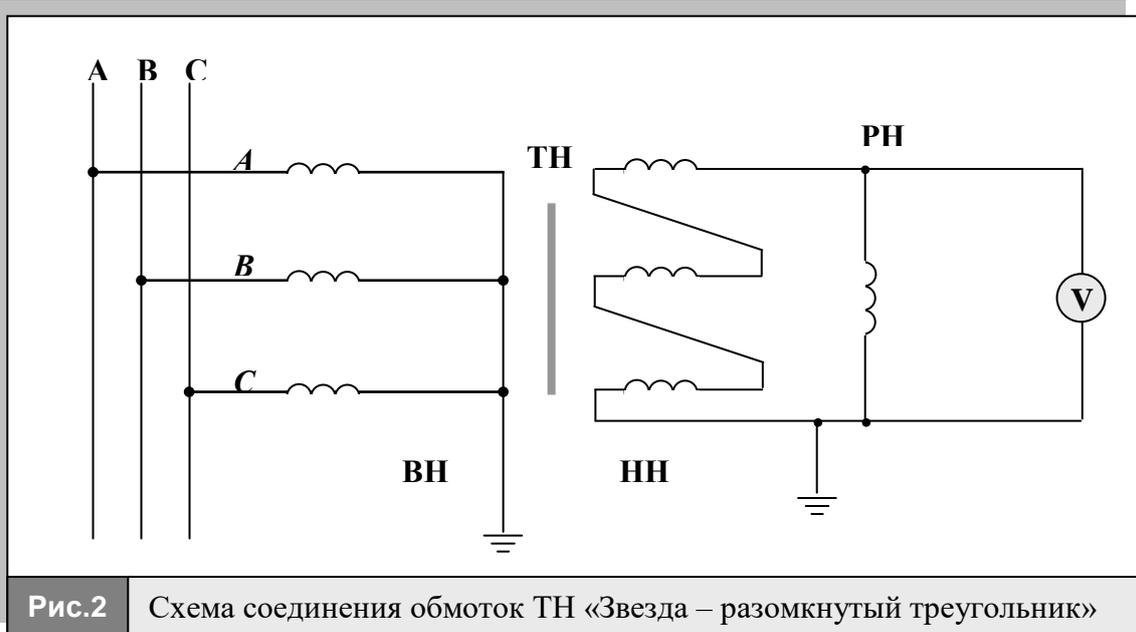


Рис.2 Схема соединения обмоток ТН «Звезда – разомкнутый треугольник»

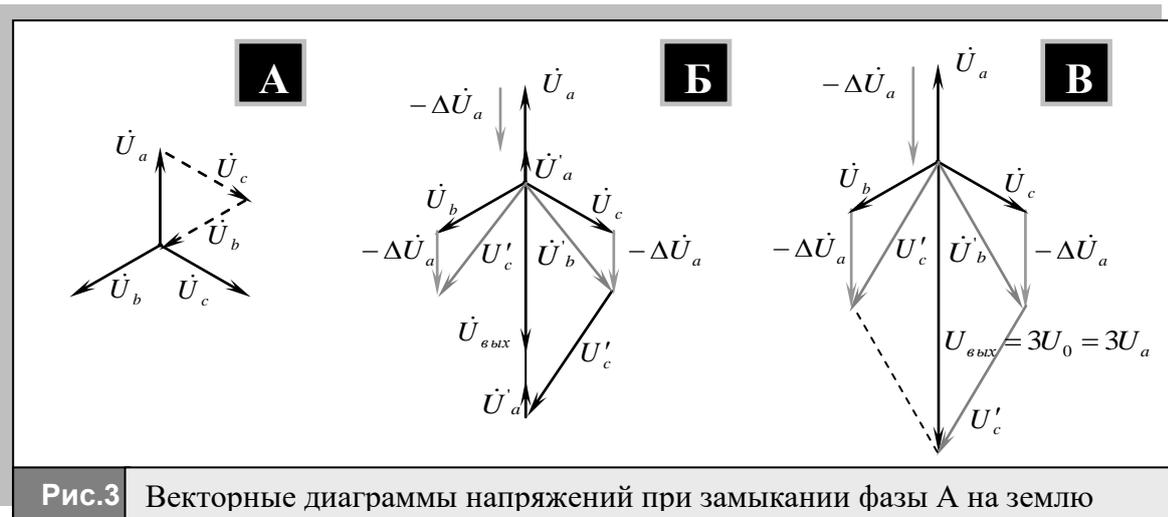


Рис.3 Векторные диаграммы напряжений при замыкании фазы А на землю

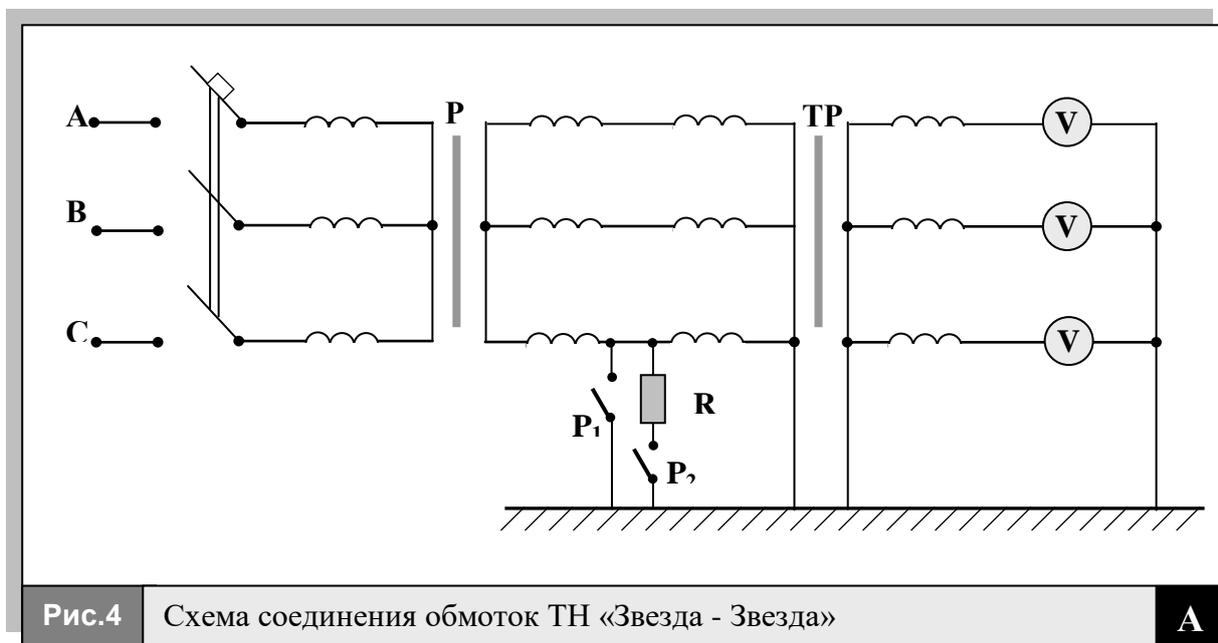


Рис.4 Схема соединения обмоток ТН «Звезда - Звезда»

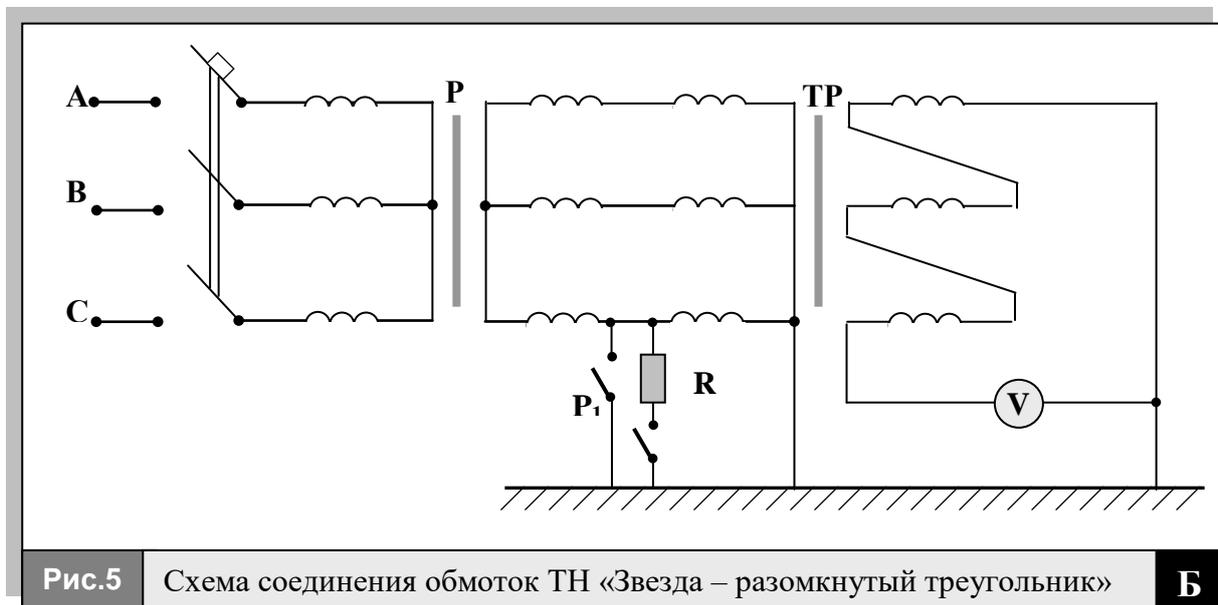


Рис.5 Схема соединения обмоток ТН «Звезда – разомкнутый треугольник»

В сетях с малым током замыкания на землю (до 35 кВ) они работают на сигнал, а в сетях с большим током замыкания на землю (110 кВ и больше) они в сочетании с токовой защитой работают на отключение поврежденного элемента.

Контроль изоляции выполняется с помощью трансформаторов напряжения по схеме звезда-звезда и звезда - разомкнутый треугольник. Рассмотрим вначале схему соединения ТН звезда-звезда (рис.1). Схема соединения характеризуется тем, что позволяет измерить напряжение каждой фазы. Включив в каждую фазу по реле напряжения $R_{НА}$, $R_{НВ}$ и $R_{НС}$, мы получаем устройство автоматического контроля уровня напряжения. При ухудшении изоляции какой-либо фазы относительно земли снижается и напряжение этой фазы относительно земли. Если это напряжение достигнет величины возврата реле напряжения, то его нормально разомкнутый контакт замкнется и выдаст сигнал, предупреждая тем самым персонал о снижении уровня изоляции. Для проверки правильности работы устройства и для визуального контроля напряжения, устанавливается, вольтметр V , который можно подключить к любой фазе с помощью переключателя P . Недостатком данной схемы является необходимость применения трех реле и невозможность выделить напряжение нулевой последовательности, которое возникает при однофазных замыканиях на землю, необходимое для работы других устройств РЗ. На рис.2. представлена схема устройства, при соединений ТН в схему звезда - разомкнутый треугольник. В нормальном режиме напряжение на. выходе разомкнутого треугольника равно сумме напряжений всех трех фаз и равно нулю (см. рис.3а):

$$\dot{U}_{вых} = \dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = 0$$

При повреждении изоляции какой-либо фазы (рассмотрим на примере фазы А) напряжение на ней примет новое значение $U'_л$, уменьшенное на величину $\Delta U_л$ от первоначального значения (см. рис.3б). $U'_A = U_A - \Delta U_A$; соответствующие значения примут и вторичные напряжения $U'_a = U_a - \Delta U_a$.

При этом напряжение неповрежденных фаз увеличивается на величину потери напряжения фазой А, т.е. на

$$\dot{U}'_b = \dot{U}_b - \Delta \dot{U}_a \quad \dot{U}'_c = \dot{U}_c - \Delta \dot{U}_a$$

В разомкнутом треугольнике эти напряжения складываются, в результате на выходе его появляется напряжение

$$\dot{U}_{вых} = \dot{U}'_a + \dot{U}'_b + \dot{U}'_c \neq 0$$

Эта величина равна утроенному напряжению нулевой последовательности, которая возникает при однофазных замыканиях на землю:

$$\dot{U}_{вых} = 3\dot{U}_0$$

Таким образом, разомкнутый треугольник является фильтром напряжения нулевой последовательности. При подключении к его выходу реле максимального напряжения появляется возможность одним реле контролировать величину напряжения изоляции нулевой последовательности тем самым судить о сопротивлений фаз относительно земли. Визуальный контроль можно осуществлять с помощью вольтметра. Подобная схема значительно упрощает выполнение защит нулевой последовательности от коротких замыканий на землю, действующих как на сигнал, так и на отключение. Причем имеется возможность выполнять защиты направленными.

При металлическом замыкании на землю (без переходного сопротивления) остаточное напряжение, приложенное к первичной обмотке фазы А ТН, равно нулю (см. рис. 3в):

$$\Delta\dot{U}_a = \dot{U}_a, \quad \dot{U}'_a = \dot{U}_a - \Delta\dot{U}_a = 0$$

Напряжение же фаз В и С возрастает до линейного, т.е. в $\sqrt{3}$. Складываясь в разомкнутом треугольнике они создают «на выходе утроенное напряжение нулевой последовательности:

$$\dot{U}_{вых} = \dot{U}'_a + \dot{U}'_b + \dot{U}'_c = 3\dot{U}_0 = 3\dot{U}_a$$

Программа работы:

1. Исследование схемы контроля изоляции с трансформаторами напряжения, собранными в звезду-звезду: $\blacktriangle/\blacktriangle$ (рис.4а).
2. Исследование схемы контроля изоляции при соединении трансформаторов напряжения в звезду - разомкнутый треугольник: \blacktriangle/Δ (рис.4б).

Примечание: Нейтраль первичной обмотки обязательно заземляется.

Проведение работы:

1. Собрать на стенде трансформаторы напряжения по схеме ▲/▲ (рис. 4а):

а) провести опыт неполного замыкания фазы на землю через сопротивление (замыкая рубильник P_2);

б) провести опыт полного (металлического) замыкания фазы на землю (замыкая рубильник P_1).

В обоих случаях записать показания вольтметров и по полученным данным построить векторные диаграммы.

2. Исследование схемы контроля изоляции при соединении вторичной обмотки трансформатора напряжения в разомкнутый треугольник (рис. 4б). Провести те же опыты, что и в разделе I, построить векторные диаграммы напряжений.

Содержание отчета:

Отчет по работе должен содержать схемы испытаний, таблицы результатов измерений и векторные диаграммы по всем пунктам программы, а также выводы.

Контрольные вопросы:

1. Перечислить классы напряжения сетей, работающих:

а) с изолированной нейтралью;

б) с заземленной нейтралью.

2. Возможна ли работа сети с изолированной нейтралью при замыкании одной фазы на землю и почему?

3. Какие трансформаторы напряжения можно применять для контроля изоляции сети?

4. Построить векторные диаграммы напряжений при замыкании на землю:

а) фазы В;

б) фазы С.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Цель работы: Получение навыка в проведении испытаний трансформаторов тока, изучение их свойств и получение характеристик.

Краткие теоретические сведения: Трансформатор тока относится к измерительным трансформаторам. Трансформатор тока позволяет измерить величину тока в установках высокого напряжения и в мощных установках низкого напряжения. Трансформатор тока состоит из первичной обмотки, вторичной обмотки и стального сердечника. Первичную обмотку включают последовательно в цепь, в которой производят измерение, а ко вторичной обмотке присоединяют последовательно реле и измерительные приборы (токовые с малым сопротивлением). Трансформатор тока работает в условиях, отличных от условий работы трансформаторов напряжения и силовых трансформаторов. Сопротивление обмоток приборов, включенных последовательно во вторичную цепь трансформатора тока мало, поэтому трансформатор работает в условиях, близких к короткому замыканию. Трансформатор тока выполнен так, что его лучшим режимом является режим короткого замыкания. Через первичную обмотку трансформатора тока проходит весь первичный ток I_1 цепи, который создает первичные ампер витки $I_1 W_1$, т.е. первичный магнитный поток Φ_1 . Магнитный поток наводит во вторичной обмотке Э.Д.С. E_2 , равную:

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot B_m \cdot S \cdot 10^{-8}, \quad [B]$$

f - частота тока, Гц;

B_m - индукция в сердечнике, Тс;

S - сечение сердечника магнитопровода, см²;

W_2 - число витков вторичной обмотки.

Под действием E_2 во вторичной замкнутой обмотке возникает ток I_2 , создающий вторичные ампер витки $I_2 W_2$, т.е. вторичный магнитный поток Φ_2 , который направлен противоположно первичному потоку Φ_1 и оказывает размагничивающее действие. Но полной компенсации потоков добиться не удастся, так как в результате потерь в стали сердечника и приборах возникает

намагничивающий ток I_0 и результирующая намагничивающая сила $I_0 W_1$. Вследствие этого нарушается точная пропорциональность между первичным I_1 и вторичным I_2 токами и появляются токовые и угловые погрешности. Угловую погрешность можно уменьшить, применяя для сердечника специальную трансформаторную сталь. Токовая погрешность связана с сопротивлением Z_2 вторичной цепи трансформатора тока. Чем больше приборов подключено к трансформатору тока, чем длиннее кабели во вторичной цепи, тем больше сопротивление вторичной цепи Z_2 и тем больше токовая погрешность. Трансформаторы тока имеют классы точности 0,2; 0,5; I; 3; 10 и P (релейный класс). Каждому классу точности соответствуют определенные погрешности. При увеличении погрешности трансформатор работает в более низком классе. Следует заметить, что во время работы трансформатора тока его вторичные обмотки всегда должны быть замкнуты на приборы (токовые с малым сопротивлением) или закорочены. Размыкание вторичных обмоток под током, а также включение в цепь трансформатора тока больших сопротивлений недопустимо. В этом случае размагничивающий магнитный поток Φ_2 вообще исчезнет при разрыве цепи или сильно уменьшается, т.е. это приводит к резкому возрастанию результирующего магнитного потока Φ_0 . Возрастание магнитного потока приводит к сильному нагреву магнитопровода и возникновению на зажимах вторичной обмотки больших пиков Э.Д.С., опасных для обслуживающего персонала и изоляции обмоток.

Программа работы:

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток трансформатора мегаомметром.
2. Замер активного сопротивления обмоток.
3. Проверка полярности выводов обмоток.
4. Снятие кривой намагничивания.
5. Замер коэффициента трансформации трансформатора.

Проведение работы:

1. Осмотреть трансформатор и убедиться в отсутствии внешних повреждений. Записать паспорт трансформатора. Обратить внимание на обозначение выводов трансформатора.

2. Мегаомметром 1000 вольт измерить сопротивление изоляции каждой обмотки трансформатора по отношению корпуса и соседних обмоток

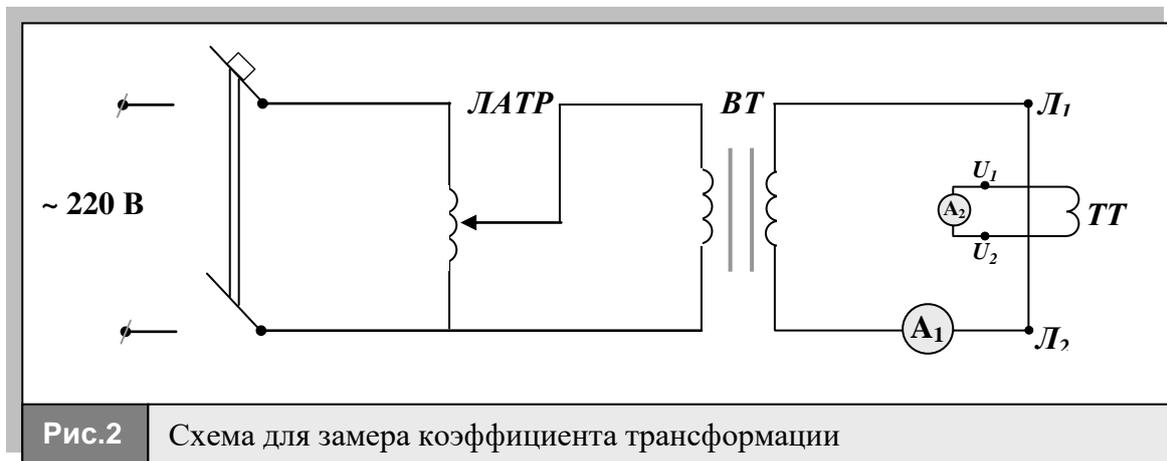
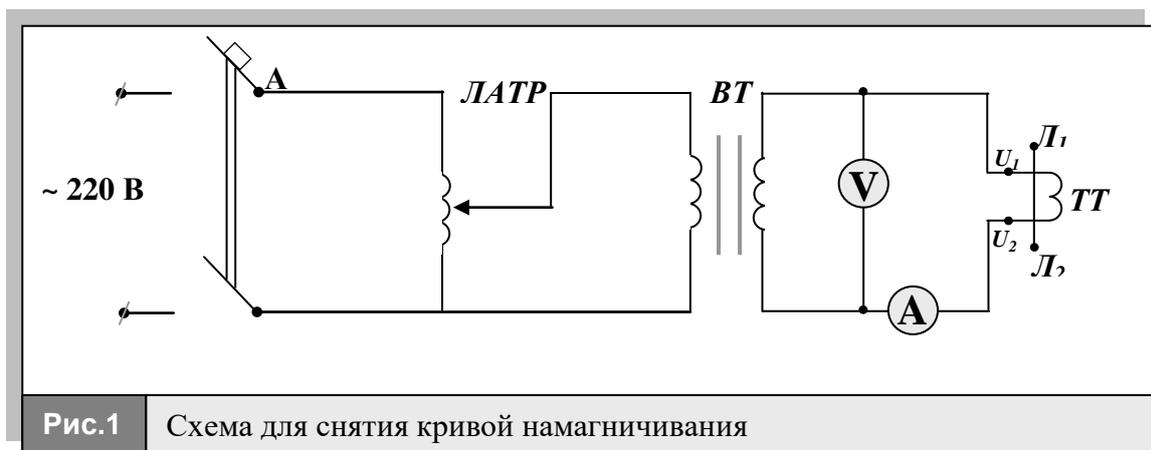
R из/обм.ВН - обм.НН=...

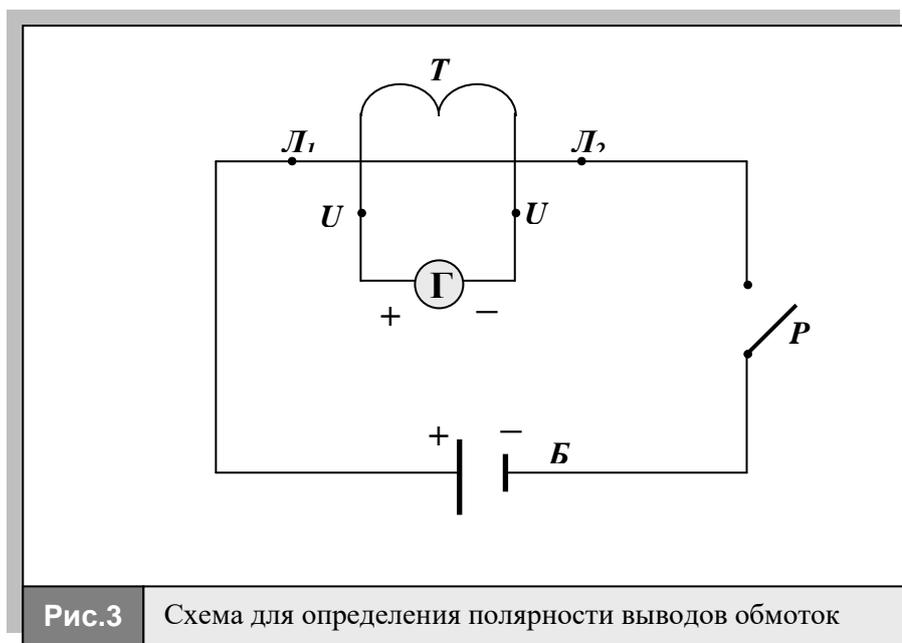
R из/обм.НН - корпус=...

R из/обм.ВН - корпус=...

3. Мостом Винстона измерить активное сопротивление обмоток. При замерах следить за плотностью соединительных проводов. Соединительные провода (провода, соединяющие прибор с обмотками трансформатора тока) должны быть возможно короче с сечением не менее $2,5 \text{ мм}^2$.

4. Методом трансформации (полярмером) определить полярность выводов обмоток и их соответствие обозначениям. Собрать схему рисунка 3, где: Г - гальванометр; Б - батарея (3 вольта); L_1, I_1, L_2, I_2 - обозначение начала и конца обмоток.





Опыт проводить с соблюдением правил техники безопасности

Построение кривой намагничивания Таблица 5.1

| | | | | | | | | | |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| I [A] | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| U [B] | | | | | | | | | |

Определение коэффициента трансформации Таблица 5.2

| | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| I₁ [A] | 15 | 20 | 30 |
| I₂ [A] | | | |

Гальванометр подключить ко вторичной обмотке трансформатора. К первичной обмотке кратковременно (касаясь) подводить напряжение от батареи. При правильном обозначении выводов трансформатора, при подключении к выводам L_1 или U_1 трансформатора тока проводов схема с одноименной полярностью получим отклонение гальванометра вправо.

5. Снятие кривой намагничивания трансформатора. Эта характеристика выражает зависимость индукции от напряженности магнитного поля трансформатора. Снимать характеристику следует плавно от нуля до насыщения трансформатора и обратно. Пользуясь схемой рис.1, снимать вольт-амперную характеристику. Замерить 8 точек, задаваясь величиной тока (0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 ампера) во вторичной обмотке.

Собрать схему рис.1, где А - амперметр (0 - 5 А); V - вольтметр (0.- 15 В); АТ - автотрансформатор (ЛАТР).

По полученным данным построить характеристику. По оси ординат откладывать напряжение.

6. Замер коэффициента трансформации трансформатора. Следить за плотностью контактов схемы. При разрыве цепей вторичной обмотки трансформатора появляется высокое напряжение. Обмотку трансформатора тока, не участвующую в схеме, закоротить.

Собрать схему рис.2, где: ЛАТР - лабораторный трансформатор; ТТ - испытываемый трансформатор; ВТ - вспомогательный трансформатор.

Сторона 12 В подключается к высокой стороне испытуемого трансформатора. А₂ - амперметр (0 - 5 А); А₁ - амперметр (0 - 50 А). Полученный коэффициент трансформации трансформатора будет равен средней величине от трех замеров. Вторичный ток трансформаторов тока по ГОСТу равен 5 А или 1 А:

$$K_{ТТ} = \frac{I_1}{I_2}$$

I₁ - первичный ток трансформатора тока;

I₂ - вторичный ток трансформатора тока.

Примечание: Дополнительно к вышеперечисленным испытаниям в производственных условиях проводят испытание изоляции вторичных обмоток и главной изоляции трансформатора повышенным напряжением и измерение диэлектрических потерь вводов первичных обмоток для маслонеполненных бакелитовых вводов трансформаторов тока. Измерение диэлектрических потерь вводов производится мостом Шеринга.

Контрольные вопросы:

1. Назначение трансформаторов тока?
2. Чем вызываются токовая и угловая погрешности трансформаторов тока?
3. Какие существуют классы точности трансформаторов тока?
4. Почему недопустимо размыкать вторичную обмотку работающего трансформатора тока?
5. Какие опыты проводят при испытаниях трансформаторов тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: Получение навыков в проведении испытаний аппаратуры и изучение свойств трансформаторов напряжения.

Программа работы:

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток трансформатора.
2. Замер активного сопротивления обмоток
3. Проверка полярности и групп соединения трансформатора.
4. Замер коэффициента трансформации трансформатора.

Проведение работы:

1. Осмотреть трансформатор напряжения и убедиться в отсутствии внешних повреждений. Записать паспорт трансформатора. Обратить внимание на обозначение выводов трансформатора.

2. Мегаомметром 1000 В замерить сопротивление изоляции каждой обмотки трансформатора по отношению корпуса и соседних обмоток

$$R (\text{обм.ВН} - \text{обм.НН})=...$$

$$R (\text{обм.ВН} - \text{корпус})=...$$

$$R (\text{обм.НН} - \text{корпус})=...$$

3. Мостом Винстона замерить активное сопротивление обмоток трансформатора. При замерах во всех случаях следить за целостностью соединительных проводов и за 'плотностью контактов схемы. Замер активного сопротивления обмоток необходим для проверки плотности контактных соединений обмотки с выводами трансформатора напряжения. В случае трехфазного трансформатора напряжения замеры производить между выводами фаз и нулевым выводом.

4. Проверка полярности обмоток у однофазных трансформаторов и группы соединения обмоток у трехфазных трансформаторов. Полярность обмоток трансформаторов определить путем (методом) баллистического толчка. Группу соединений обмоток трехфазных трансформаторов определить с помощью фазометра. Обычно у трансформаторов напряжения группа соединения обмоток: ▲/▲-12.

Определение полярности проводить в следующей последовательности. К выводам низкого напряжения подключить гальванометр. К выводам высокого напряжения с такими же обозначениями кратковременно (касательно) подводится напряжение от батареек 3 В, соблюдается полярность. Прямое (правое) отклонение гальванометра соответствует плюсу, обратное - минусу.

5. Замер коэффициента трансформации трансформатора напряжения

$$K = \frac{U_1}{U_2}$$

Собрать схему. Для однофазных трансформаторов подать напряжение 220 В переменного тока на высокую сторону. Замер напряжения проводить на высокой и низкой сторонах. Затем подсчитать коэффициент трансформации трансформатора $K = U_{\phi} / U_n$. Для трехфазных трансформаторов напряжение 220 В подавать на высокую сторону трансформатора и производить замеры напряжения о высокой- и низкой сторон одновременно. Замеры занести в таблицу 6.1

Таблица 6.1

| Тип трансформатора | А-В | | | В-С | | | С-А | | | $K = \frac{K_{ав} + K_{вс} + K_{са}}{3}$ |
|--------------------|---------------|----------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| | U_{AV} В | $U_{ав}$ | $K_{ав}$ | U_{BC} С | $U_{вс}$ с | $K_{вс}$ с | U_{CA} С | $U_{са}$ с | $K_{са}$ с | |
| | | | | | | | | | | |

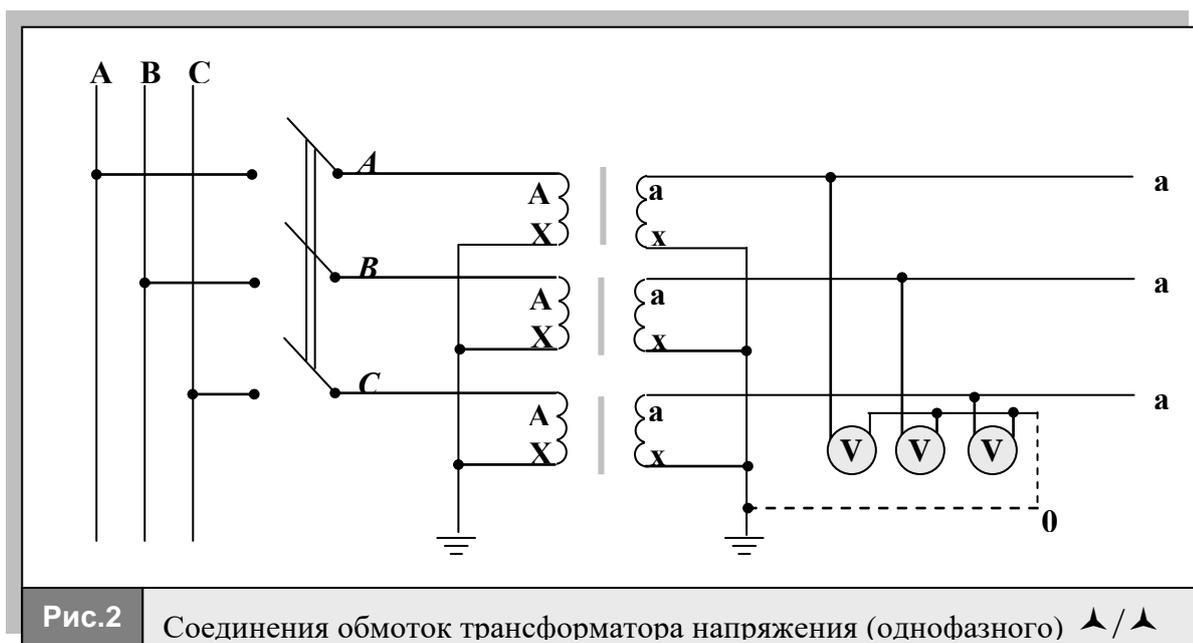
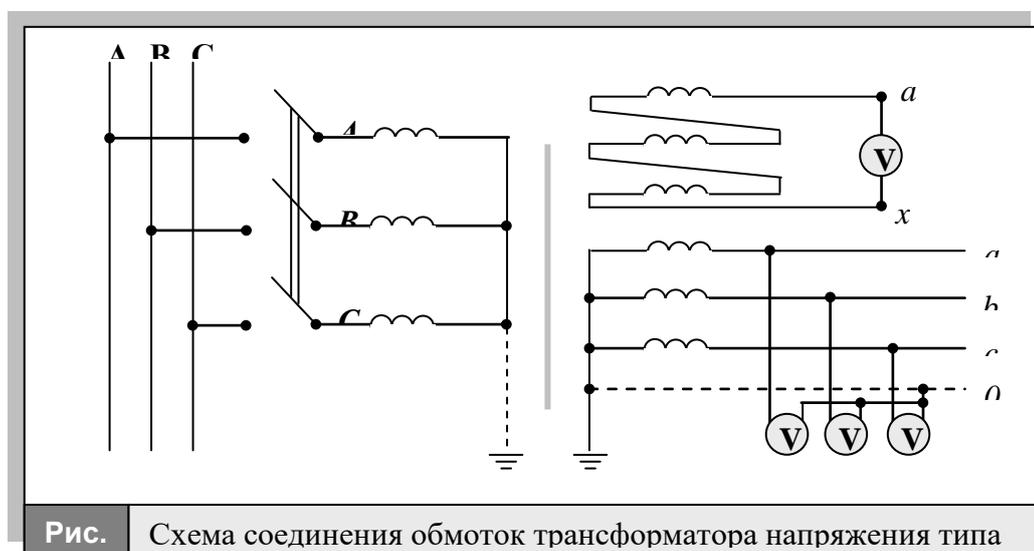
Опыт производить с полным соблюдением правил техники безопасности. При проведении опыта напряжение нужно подавать только на высокую сторону трансформатора, так как в противном случае напряжение будет много выше номинального. Номинальное напряжение первичных сторон трансформаторов напряжения по ГОСТу равно 3 кВ, 6 кВ, 10 кВ, 35 кВ, 110 кВ, 154 кВ, 220 кВ, 330 кВ, 500 кВ, 750 кВ. Вторичное напряжение равно 100 В.

Изучение схем соединения обмоток измерительных трансформаторов напряжения

Цель работы: Получение навыков в проведении проверки схем соединений измерительных трансформаторов напряжения (ТН).

Программа работы:

1. Изучить устройство трехфазного трансформатора напряжения НТМИ-6 и схемы соединения его обмоток. Собрать схему рис.1. Замерить первичные и вторичные напряжения и построить векторные диаграммы напряжений.
2. Изучить устройство однофазного ТН типа НОМ-6. Собрать поочередно различные схемы соединений трех однофазных ТН в соответствии с рис.2-4. Замерить первичные и вторичные напряжения и построить векторные диаграммы напряжений.



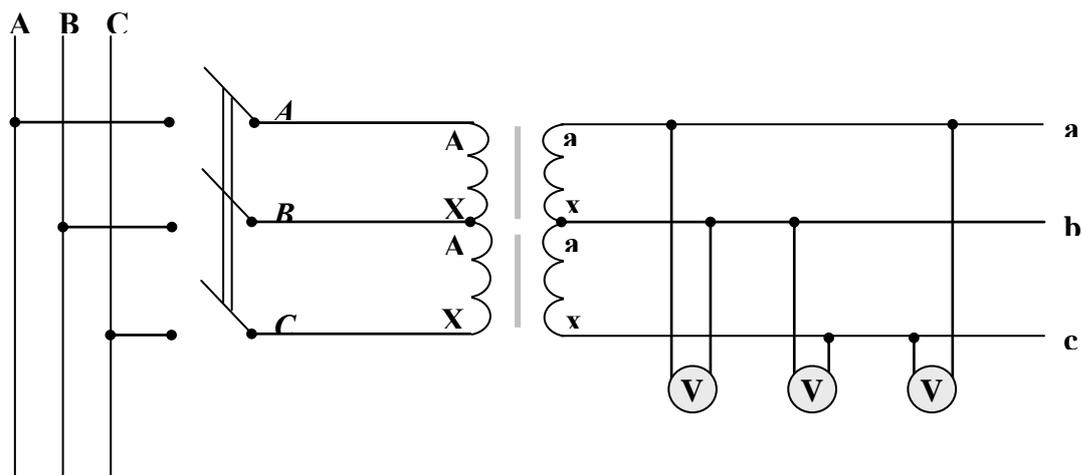


Рис.3 Схема соединения однофазного ТН в открытый треугольник

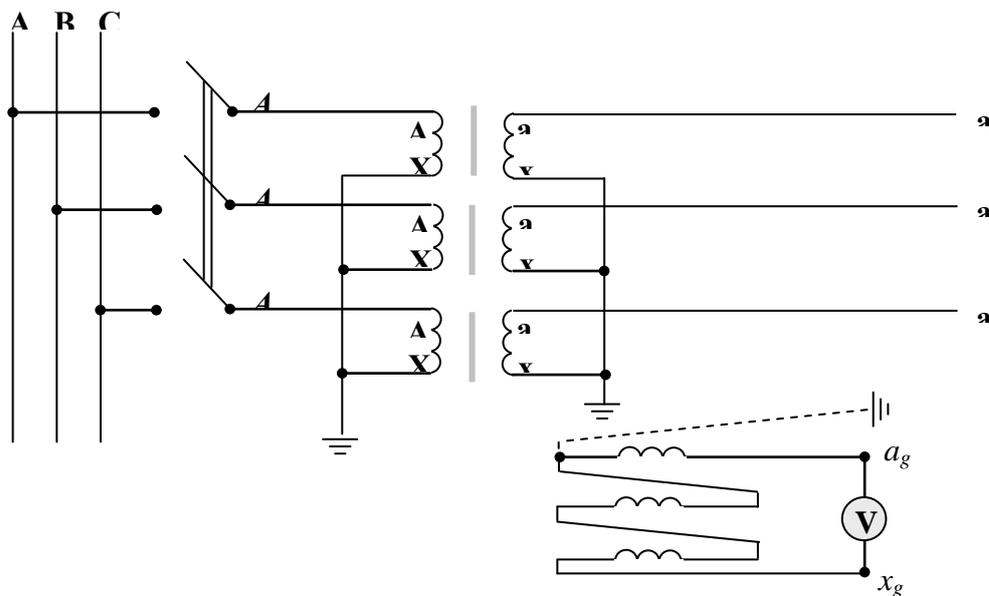


Рис. Схема соединения однофазного ТН звезда – звезда - разомкнутый

Проведение работы:

1. Осмотреть трансформатор и убедиться в отсутствии внешних повреждений, обратив внимание на обозначение выводов обмоток.
2. Начертить принципиальную схему соединения обмоток в магнитопровода трехфазного ТН НТМИ-6.
3. Собрать схему рис.1 и подать напряжение 220 В на высокую сторону НТМИ-6. Замерить напряжение на высокой и низкой сторонах. Показания вольтметров записать в табл. 6.2.

Таблица 6.2

| Фазные | | | | | | Линейные | | | | | | На дополнительной обмотке |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----|----|----|----|----|---------------------------------|
| А- 0 | В- 0 | С- 0 | а- 0 | в- 0 | с- 0 | АВ | ВС | СА | ав | вс | са | а-х |

4. Построить векторную диаграмму напряжений для нормального симметричного режима трехфазного трансформатора.

5. На эскизе магнитопровода пяти стержневого трехфазного ТН типа НТМИ-6 указать пути магнитных потоков в нормальном режиме и режиме однофазного короткого замыкания на землю.

6. Собрать схемы соединения однофазных ТН:

а) схема соединения обмоток высокой стороны в звезду, низкой стороны в звезду (рис.2);

б) схема соединения обмоток ТН в открытый треугольник (рис.3);

в) схема соединения обмоток высокой стороны в звезду, а низкой в разомкнутый треугольник (рис.4) для получения напряжения нулевой последовательности. Собрать схему, подать напряжение 220 В на высокую сторону ТН. Замерить напряжение на высокой и низкой сторонах. Показания вольтметров записать в таблицу.

а) Таблица 6.3 для схемы "звезда".

Таблица 6.3

| Фазные | | | | | | Линейные | | | | | |
|--------------------|-----|-----|-------------------|-----|-----|----------|----|----|----|----|----|
| Высокой стороны | | | Низкой стороны | | | | | | | | |
| А-0 | В-0 | С-0 | а-0 | в-0 | с-0 | АВ | ВС | СА | ав | вс | са |

б) Таблица 6.4 для схемы «открытый треугольник».

Таблица 6.4

| Линейные | | | |
|-----------------|----|----------------|----|
| Высокая сторона | | Низкая сторона | |
| АВ | ВС | ав | вс |

в) Таблица 6.5 для схемы ТН, соединенного в "разомкнутый треугольник" (высокая сторона - звезда, низкая - разомкнутый треугольник).

Таблица 6.5

| Высокая сторона | | | Низкая сторона | | | разомкнутый треугольник(доп. обмотка) |
|-----------------|-----|-----|----------------|----|----|---|
| А-О | В-О | С-О | ав | Вс | са | |

Нейтраль звезды с высокой стороны заземлена.

Схема соединений ТН в «звезду - разомкнутый треугольник» представляет собой фильтр напряжения нулевой последовательности. Напряжение нулевой последовательности возможно получить от однофазных трансформаторов напряжения или трехфазных пяти стержневых ТН.

Первичные обмотки соединяются в звезду с глухозаземленной нейтралью. Вторичные обмотки соединяются в разомкнутый треугольник, к которому подключается прибор. На зажимах вторичной дополнительной обмотки возникает утроенное значение напряжения нулевой последовательности $3U_0$ при коротких замыканиях на землю в цепи высокого напряжения

Примечание: Однофазные ТН типов ЗОМ, ЗНОМ и НКФ выполняются с двумя вторичными обмотками, которые могут быть собраны в звезду и разомкнутый треугольник.

Содержание отчета:

В отчете привести программу работы, схему испытаний, результаты измерений, векторные диаграммы напряжений и выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Назначение трансформаторов напряжения.
2. Какова величина вторичного линейного напряжения ТН?
3. Какие существуют схемы соединения вторичных обмоток ТН?
4. Для чего заземляется вторичная обмотка ТН?
5. Назначение дополнительной вторичной обмотки ТН, соединенной в разомкнутый треугольник?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Цель работы: изучение свойств предохранителя и получение характеристики плавкой вставки.

Краткие теоретические сведения: плавкие предохранители применяются для защиты электроустановок от токов короткого замыкания, токов перегрузок. Предохранители имеют разные конструкции. Например, бывают пробочные предохранители, предохранители с закрытыми фибровыми трубками, предохранители с мелкозернистым наполнителем, стреляющие предохранители типа ПСН и пр. Основная часть плавкого предохранителя - плавкая вставка (провода или пластинка). При увеличении тока плавкая вставка расплавляется, отключая защищаемую цепь. Чем больше ток, протекающий через плавкую вставку, тем быстрее она расплавляется и отключает цепь. Зависимость времени отключения цепи от тока называется защитной характеристикой плавкой вставки.

Следует различать номинальный ток предохранителя и номинальный ток вставки. Под номинальным током предохранителя следует понимать ток, на который рассчитаны токоведущие и контактные части, а под номинальным током плавкой вставки - ток, на который рассчитана сама плавкая вставка.

За номинальный ток плавкой вставки принимается ток, который вставка выдерживает длительное время не перегорая. При токе, превышающем номинальный на 25-30%, предохранитель перегорает в течение 1-2 часов, при токе превышающем номинальный на 50% предохранитель перегорает в течение 10-15 минут, при перегрузке в 100% предохранитель должен перегореть не более чем за 1 минуту. Плавкая вставка выполняется из цинка, меди, алюминия.

Проведение работы:

1. Для снятия защитной (ампер секундной) характеристики плавкой вставки на лабораторном стенде собрать схему рис.1.

На этой схеме:

Тр - вспомогательный трансформатор типа ОСВУ-0,5 (220/12 вольт);

АТ - автотрансформатор лабораторный ЛАТР;

Др - добавочное активное сопротивление (5 Ом);
 ТТ - лабораторный трансформатор тока с $K=50/5$;
 А - амперметр переменного тока.

2. Зарядить плавкий предохранитель медной проволокой сечением 0,25 мм². Снятие защитной характеристики проводится в следующей последовательности. Испытываемая вставка устанавливается в зажимы, шунтируется рубильником Р и автоматом АВ. Подается напряжение от сети и ЛАТРОм устанавливается ток 30А. После этого шунт плавкой вставки – рубильник Р - отключается и секундомером фиксируется время перегорания плавкой вставки. Опыт повторяется несколько раз, при различных значениях тока (ток меняется в сторону уменьшения). Данные заносятся в таблицу 7.1.

Таблица 7.1. Определение зависимости $t=f(I)$.

| Величина тока [А] | 14 | 16 | 18 |
|-------------------------|----|----|----|
| Время перегорания [сек] | | | |

3. По данным таблицы строится кривая зависимости времени перегорания плавкой вставки от величины тока. Защитная характеристика плавкой вставки изображена на рис.2., I_{min} – наименьший плавящий ток. Наименьший плавящий ток предохранителя – это такой ток, при котором плавкая вставка нагревается до красного цвета, но не перегорает. Наименьший плавящий ток – это ток перегрузки цепи. В этом случае предохранитель не защищает оборудование, и оно может выйти из строя. Для того чтобы предохранитель перегорел при наименьшем плавящем токе, используется металлургический эффект (способность легкоплавких металлов растворять в себе тугоплавкие).

4. На плавкую вставку наносят шарик олова, свинца или припоя. При нагреве плавкой вставки такой шарик плавится, растворяет в себе участок плавкой вставки, на котором он закреплен, и плавкая вставка перегорает. Каждый предохранитель при перегорании плавкой вставки должен погасить возникшую электрическую дугу.

5. По окончании работы составить протокол испытаний, вычертить характеристику плавкой вставки и описать методы гашения электрической дуги предохранителями. опыты проводить с соблюдением правил техники безопасности.

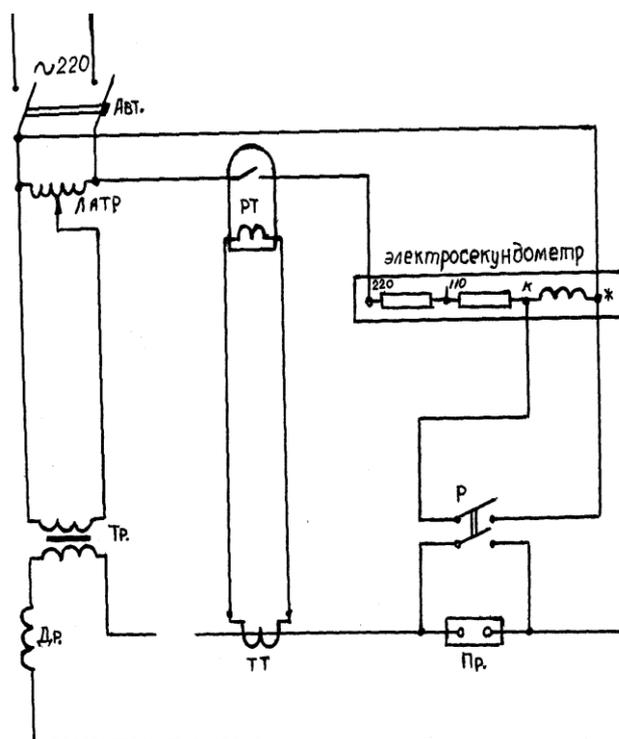


Рис.7.1. Схема для снятия защитной характеристики плавкой вставки

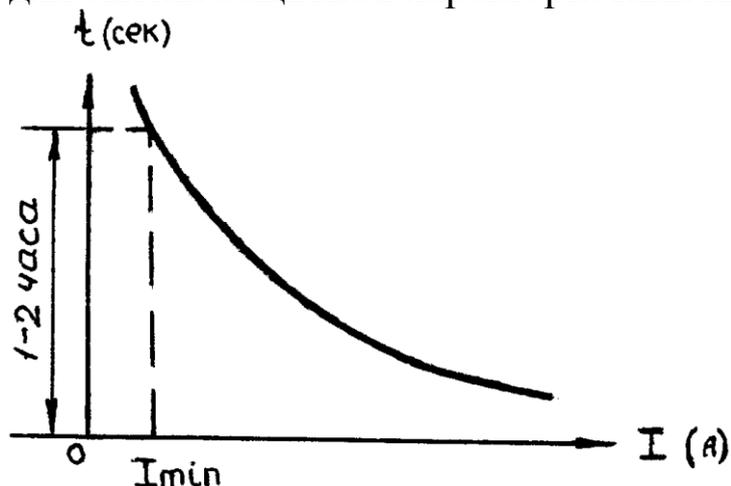


Рис.7.2. Защитная характеристика плавкой вставки

Контрольные вопросы:

1. Что называется защитной характеристикой плавкой вставки?
2. Что понимают под номинальным током предохранителя и номинальным током плавкой вставки?
3. В чем заключается металлургический эффект?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ИСПЫТАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ НА АКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

Цель работы: Изучение изменения напряжения однофазного автотрансформатора при подключении к активной нагрузке и определение К.П.Д.

Краткие теоретические сведения: В последующие десятилетия автотрансформаторы большой мощности получили широкое распространение в нашей стране и в зарубежных странах. Это объясняется тем, что они имеют ряд преимуществ перед трансформаторами.

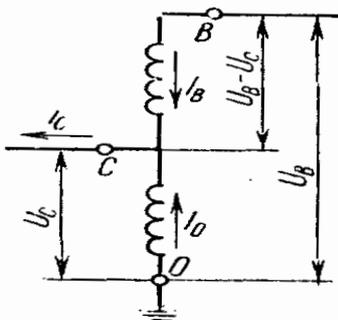


Рис.8.1. Схема однофазного автотрансформатора.

В установках 110 кВ и выше широкое применение находят автотрансформаторы (АТ) большой мощности. Объясняется это рядом преимуществ, которые они имеют по сравнению с трансформаторами.

Однофазный автотрансформатор имеет электрически связанные обмотки ОВ и ОС (рис.1). Часть обмотки, заключенная между выводами В и С, называется последовательной, а между С и О - общей.

При работе автотрансформатора в режиме понижения напряжения в последовательной обмотке проходит ток I_b , который, создавая магнитный поток, наводит в общей обмотке ток I_o . Ток нагрузки вторичной обмотки I_c складывается из тока I_b , проходящего благодаря гальванической (электрической) связи обмоток, и тока I_o ,

созданного магнитной связью этих обмоток: $I_c = I_B + I_o$, откуда $I_o = I_c - I_B$.

Полная мощность, передаваемая автотрансформатором из первичной сети во вторичную, называется проходной.

Если пренебречь потерями в сопротивлениях обмоток автотрансформатора, можно записать следующее выражение:

$$S = U_B I_B = U_C I_C.$$

Преобразуя правую часть выражения, получаем

$$S = U_B I_B = [(U_B - U_C) + U_C] I_B = (U_B - U_C) I_B + U_C I_B, \quad (1)$$

где $(U_B - U_C) I_B = S_T$ - трансформаторная мощность, передаваемая магнитным путем из первичной обмотки во вторичную; $U_C I_B = S_{\Sigma}$ - электрическая мощность, передаваемая из первичной обмотки во вторичную за счет их гальванической связи, без трансформации.

Эта мощность не нагружает общей обмотки, потому что ток I_B из последовательной обмотки проходит на вывод С, минуя обмотку ОС.

В номинальном режиме проходная мощность является номинальной мощностью автотрансформатора $S = S_{nom}$, а трансформаторная мощность - типовой мощностью $S_T = S_{тип}$.

Размеры магнитопровода, а следовательно, его масса определяются трансформаторной (типовой) мощностью, которая составляет лишь часть номинальной мощности:

$$\frac{S_{тип}}{S_{ном}} = \frac{(U_B - U_C) I_B}{U_B I_B} = \frac{U_B - U_C}{U_B} = 1 - \frac{1}{n_{BC}} = k_{фой}, \quad (2)$$

где

$n_{BC} = U_B / U_C$ - коэффициент трансформации;

k_2 - коэффициент выгоды или коэффициент типовой мощности.

Из формулы (2) следует, что чем ближе U_B к U_C , тем меньше k_2 и меньшую долю номинальной составляет типовая мощность.

Это означает, что размеры автотрансформатора, его масса, расход активных материалов уменьшаются по сравнению с трансформатором одинаковой номинальной мощности.

Подводя итог всему сказанному, можно отметить следующие преимущества автотрансформаторов по сравнению с трансформаторами той же мощности:

- меньший расход меди, стали, изоляционных материалов;
- меньшая масса, а следовательно, меньшие габариты, что позволяют создавать автотрансформаторы больших номинальных мощностей, чем трансформаторы;
- меньшие потери и большой КПД;
- более легкие условия охлаждения.

Недостатки автотрансформаторов:

- необходимость глухого заземления нейтрали, что приводит к увеличению токов однофазного КЗ;
- сложность регулирования напряжения;
- опасность перехода атмосферных перенапряжений вследствие электрической связи обмоток ВН и СН.

Проведение работы:

1. Соберите схему, показанную на рис.1. 3 отдельные резисторы должны быть подключены параллельно для увеличения пропускной способности по току.

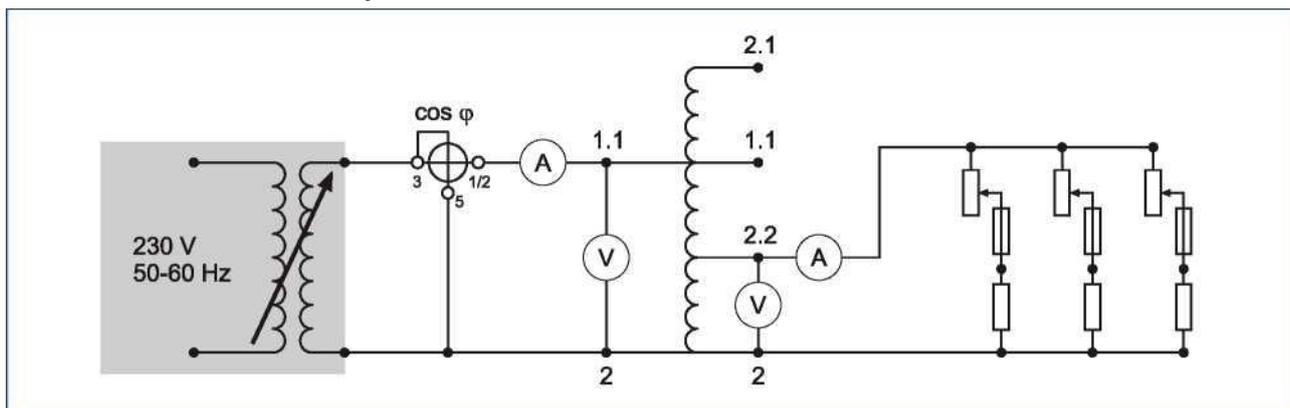


Рис.8.2. Схема для исследования поведения напряжения при резистивной нагрузке и оценке эффективности.

2. Сначала установите резистивную нагрузку на значение 100% и включите цепь. Установите переменный трансформатор на поддержание напряжения 230 В.

3. Измените нагрузку в соответствии с параметрами, указанными в табл. 8.1. Для каждой настройки измерьте соответствующие значения вторичного тока и вторичного напряжения, а также значения активной мощности P_1 и коэффициента активной мощности $\cos\varphi$.

4. После измерений рассчитайте активную мощность на первичной и вторичной сторонах по следующим формулам:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi \quad P_2 = U_2 \cdot I_2$$

5. Используя приведенные выше результаты, рассчитайте К.П.Д., используя следующую формулу, и заполните табл. 8.1.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

Поведение напряжения и КПД активно нагруженного однофазного автотрансформатора

Таблица 8.1

| | R | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
|----------------|---------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| Измерен о | I_1 | | | | | | | | |
| | $\cos\varphi$ | | | | | | | | |
| | U_2 | | | | | | | | |
| | I_2 | | | | | | | | |
| Рассчита но | P_1 | | | | | | | | |
| | P_2 | | | | | | | | |
| | η [%] | | | | | | | | |

6. Постройте график, содержащий измеренные значения К.П.Д в зависимости от напряжения U_2 и тока нагрузки I_2 .

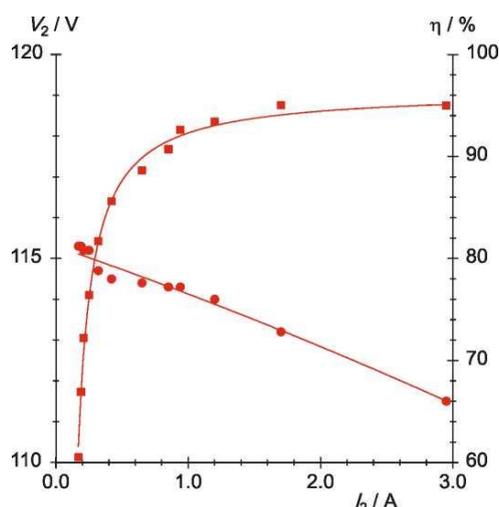


Рис.8.3. Вторичное напряжение (●) и КПД (■) в зависимости от тока нагрузки для активно нагруженного однофазного автотрансформатора.

Содержание отчета:

Программа работ, схемы испытаний, результаты измерений, графики напряжения и нагрузки, выводы по этому поводу должны быть описаны в отчете.

Контрольные вопросы:

1. Как изменить коэффициент трансформации трансформаторов?
2. Объясните принцип работы устройства ПБВ.
3. Объясните принцип работы устройства РПН.
4. Каковы характеристики регулировки напряжения в автотрансформаторах?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ИСПЫТАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ НА ИНДУКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

Цель работы: Исследование изменения напряжения однофазного автотрансформатора при подключении к индуктивной нагрузке.

Краткие теоретические сведения: В последующие десятилетия автотрансформаторы большой мощности получили широкое распространение в нашей стране и в зарубежных странах. Это объясняется тем, что они имеют ряд преимуществ перед трансформаторами.

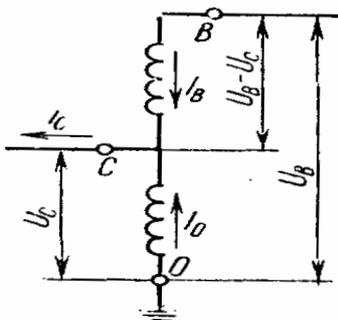


Рис.9.1. Схема однофазного автотрансформатора.

В установках 110 кВ и выше широкое применение находят автотрансформаторы (АТ) большой мощности. Объясняется это рядом преимуществ, которые они имеют по сравнению с трансформаторами.

Однофазный автотрансформатор имеет электрически связанные обмотки ОВ и ОС (рис.9.1). Часть обмотки, заключенная между выводами В и С, называется последовательной, а между С и О - общей.

При работе автотрансформатора в режиме понижения напряжения в последовательной обмотке проходит ток I_B , который, создавая магнитный поток, наводит в общей обмотке ток I_O . Ток нагрузки вторичной обмотки I_C складывается из тока I_B , проходящего благодаря гальванической (электрической) связи обмоток, и тока I_O ,

созданного магнитной связью этих обмоток: $I_c = I_B + I_o$, откуда $I_o = I_c - I_B$.

Полная мощность, передаваемая автотрансформатором из первичной сети во вторичную, называется проходной.

Если пренебречь потерями в сопротивлениях обмоток автотрансформатора, можно записать следующее выражение:

$$S = U_B I_B = U_C I_C.$$

Преобразуя правую часть выражения, получаем

$$S = U_B I_B = [(U_B - U_C) + U_C] I_B = (U_B - U_C) I_B + U_C I_B, \quad (1)$$

где $(U_B - U_C) I_B = S_T$ - трансформаторная мощность, передаваемая магнитным путем из первичной обмотки во вторичную; $U_C I_B = S_{\text{э}}$ - электрическая мощность, передаваемая из первичной обмотки во вторичную за счет их гальванической связи, без трансформации.

Эта мощность не нагружает общей обмотки, потому что ток I_B из последовательной обмотки проходит на вывод С, минуя обмотку ОС.

В номинальном режиме проходная мощность является номинальной мощностью автотрансформатора $S = S_{\text{ном}}$, а трансформаторная мощность - типовой мощностью $S_T = S_{\text{тип}}$.

Размеры магнитопровода, а следовательно, его масса определяются трансформаторной (типовой) мощностью, которая составляет лишь часть номинальной мощности:

$$\frac{S_{\text{тип}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{(U_B - U_C) I_B}{U_B I_B} = \frac{U_B - U_C}{U_B} = 1 - \frac{1}{n_{BC}} = k_{\text{фой}}, \quad (2)$$

$n_{BC} = U_B / U_C$ - коэффициент трансформации;

k_2 - коэффициент выгоды или коэффициент типовой мощности.

Из формулы (2) следует, что чем ближе U_B к U_C , тем меньше k_2 и меньшую долю номинальной составляет типовая мощность.

Это означает, что размеры автотрансформатора, его масса, расход активных материалов уменьшаются по сравнению с трансформатором одинаковой номинальной мощности.

Подводя итог всему сказанному, можно отметить следующие преимущества автотрансформаторов по сравнению с трансформаторами той же мощности:

- меньший расход меди, стали, изоляционных материалов;
- меньшая масса, а следовательно, меньшие габариты, что позволяет создавать автотрансформаторы больших номинальных мощностей, чем трансформаторы;
- меньшие потери и большой КПД;
- более легкие условия охлаждения.

Недостатки автотрансформаторов:

- необходимость глухого заземления нейтрали, что приводит к увеличению токов однофазного КЗ;
- сложность регулирования напряжения;
- опасность перехода атмосферных перенапряжений вследствие электрической связи обмоток ВН и СН.

Проведение работы:

1. Заменить резистивную нагрузку индуктивной и изменить схему согласно рис. 9.2. Здесь элементы индуктивной нагрузки также должны быть подключены параллельно, чтобы увеличить пропускную способность по току.

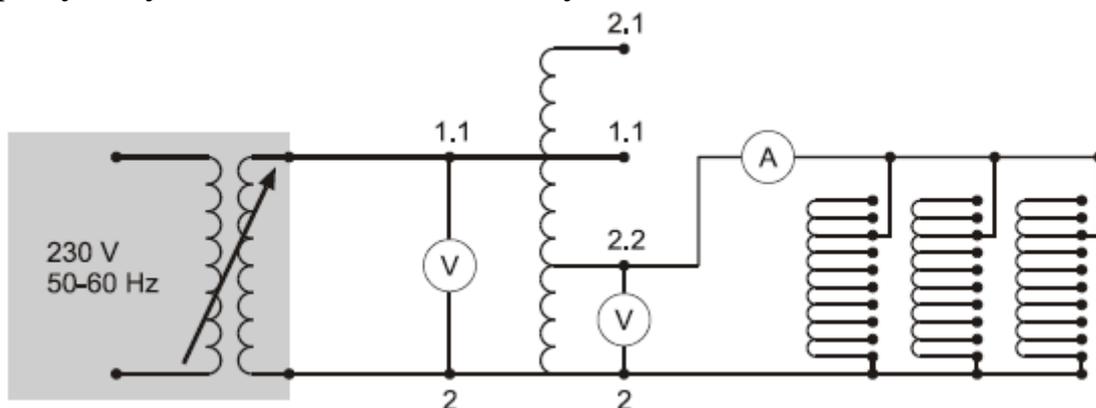


Рис.9.2. Схема для исследования поведения напряжения при индуктивной нагрузке.

2. Установите трансформаторный усилитель на 230 В и сохраните это значение во время измерения. Сначала измерьте напряжение холостого хода на вторичной стороне.

3. Проведите измерения вторичного тока и вторичного напряжения с индуктивными нагрузками, установленными на значения, указанные в табл. 9.1. Обесточьте цепь, прежде чем вносить какие-либо изменения в каждую индуктивную нагрузку. Это сделано для того, чтобы избежать больших напряжений при замыкании вторичной цепи.

Поведение напряжения для индуктивно нагруженного однофазного автотрансформатора

Таблица 9.1.

| | | | | | | | |
|--------------|---------|---|-----|-----|-----|------|------|
| $L_{indiv.}$ | открыть | 6 | 4,8 | 2,4 | 1,2 | 1 | 0,8 |
| $L_{umum.}$ | открыть | 2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,33 | 0,27 |
| I_2 [A] | | | | | | | |
| U_2 [B] | | | | | | | |

4. Нарисуйте график, содержащий измеренные значения напряжения на индуктивной нагрузке.

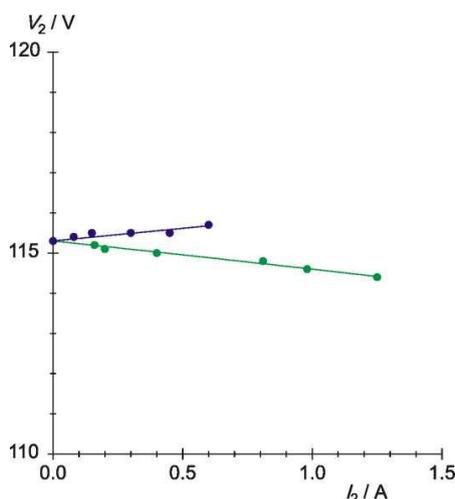


Рис.9.3. Вторичное напряжение однофазного автотрансформатора в зависимости от тока нагрузки при индуктивной (●) нагрузке.

Содержание отчета:

Программа работ, схемы испытаний, результаты измерений, графики напряжения и нагрузки и выводы по этому поводу должны быть описаны в отчете.

Контрольные вопросы:

5. Как изменить коэффициент трансформации трансформаторов?
6. Объясните принцип работы устройства ПБВ.
7. Объясните принцип работы устройства РПН.
8. Каковы характеристики регулировки напряжения в автотрансформаторах?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ИСПЫТАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЕМКОСТНУЮ НАГРУЗКУ

Цель работы: Исследование изменения напряжения при подключении емкости однофазного автотрансформатора к нагрузке.

Краткие теоретические сведения: В настоящее время автотрансформаторы большой мощности получили широкое распространение в нашей стране и в зарубежных странах. Это объясняется тем, что они имеют ряд преимуществ перед трансформаторами.

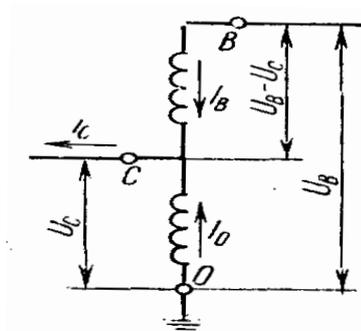


Рис.10.1. Схема однофазного автотрансформатора.

В установках 110 кВ и выше широкое применение находят автотрансформаторы (АТ) большой мощности. Объясняется это рядом преимуществ, которые они имеют по сравнению с трансформаторами.

Однофазный автотрансформатор имеет электрически связанные обмотки ОВ и ОС (рис.10.1). Часть обмотки, заключенная между выводами В и С, называется последовательной, а между С и О - общей.

При работе автотрансформатора в режиме понижения напряжения в последовательной обмотке проходит ток I_b , который, создавая магнитный поток, наводит в общей обмотке ток I_o . Ток нагрузки вторичной обмотки I_c складывается из тока I_b , проходящего благодаря гальванической (электрической) связи обмоток, и тока I_o ,

созданного магнитной связью этих обмоток: $I_c = I_B + I_o$, откуда $I_o = I_c - I_B$.

Полная мощность, передаваемая автотрансформатором из первичной сети во вторичную, называется проходной.

Если пренебречь потерями в сопротивлениях обмоток автотрансформатора, можно записать следующее выражение:

$$S = U_B I_B = U_C I_C.$$

Преобразуя правую часть выражения, получаем

$$S = U_B I_B = [(U_B - U_C) + U_C] I_B = (U_B - U_C) I_B + U_C I_B, \quad (1)$$

где $(U_B - U_C) I_B = S_T$ - трансформаторная мощность, передаваемая магнитным путем из первичной обмотки во вторичную; $U_C I_B = S_{\text{э}}$ - электрическая мощность, передаваемая из первичной обмотки во вторичную за счет их гальванической связи, без трансформации.

Эта мощность не нагружает общей обмотки, потому что ток I_B из последовательной обмотки проходит на вывод С, минуя обмотку ОС.

В номинальном режиме проходная мощность является номинальной мощностью автотрансформатора $S = S_{\text{ном}}$, а трансформаторная мощность - типовой мощностью $S_T = S_{\text{тип}}$.

Размеры магнитопровода, а следовательно, его масса определяются трансформаторной (типовой) мощностью, которая составляет лишь часть номинальной мощности:

$$\frac{S_{\text{тип}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{(U_B - U_C) I_B}{U_B I_B} = \frac{U_B - U_C}{U_B} = 1 - \frac{1}{n_{BC}} = k_{\text{фой}}, \quad (2)$$

$n_{BC} = U_B / U_C$ - коэффициент трансформации;

k_2 - коэффициент выгоды или коэффициент типовой мощности.

Из формулы (2) следует, что чем ближе U_B к U_C , тем меньше k_2 и меньшую долю номинальной составляет типовая мощность.

Это означает, что размеры автотрансформатора, его масса, расход активных материалов уменьшаются по сравнению с трансформатором одинаковой номинальной мощности.

Подводя итог всему сказанному, можно отметить следующие преимущества автотрансформаторов по сравнению с трансформаторами той же мощности:

- меньший расход меди, стали, изоляционных материалов;
- меньшая масса, а следовательно, меньшие габариты, что позволяет создавать автотрансформаторы больших номинальных мощностей, чем трансформаторы;
- меньшие потери и большой КПД;
- более легкие условия охлаждения.

Недостатки автотрансформаторов:

- необходимость глухого заземления нейтрали, что приводит к увеличению токов однофазного КЗ;
- сложность регулирования напряжения;
- опасность перехода атмосферных перенапряжений вследствие электрической связи обмоток ВН и СН.

Проведение работы:

1. Замените индуктивную нагрузку емкостной нагрузкой и измените схему в соответствии с рис. 10.2. Здесь также элементы емкостной нагрузки должны быть подключены параллельно, чтобы увеличить пропускную способность по току.

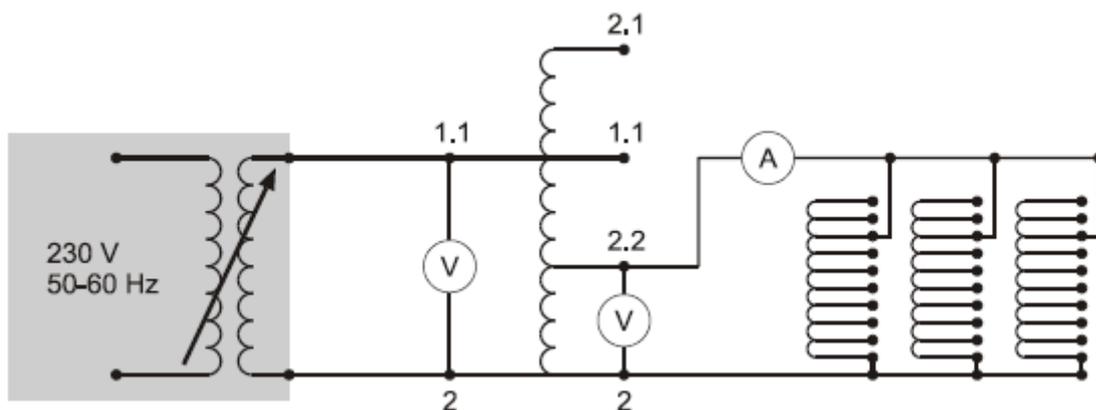


Рис.10.2. Схема проверки изменения напряжения при емкостной нагрузке

2. Установите трансформаторный усилитель на 230 В и сохраните это значение во время измерения. Сначала измерьте напряжение холостого хода на вторичной стороне.

3. Проведите измерения вторичного тока и вторичного напряжения при емкостных нагрузках, установленных на значения, указанные в табл. 10.1. Обесточьте цепь перед каждым изменением емкостной нагрузки. Это сделано для того, чтобы избежать больших напряжений при замыкании вторичной цепи.

Поведение напряжения для емкостное нагруженного однофазного автотрансформатора

Таблица 10.1

| C [F] | 0 | 2 | 4 | 8 | 12 | 16 |
|-----------|---|---|---|---|----|----|
| I_2 [A] | | | | | | |
| U_2 [V] | | | | | | |

4. Нарисуйте график, содержащий значения напряжения, измеренные на емкостной нагрузке.

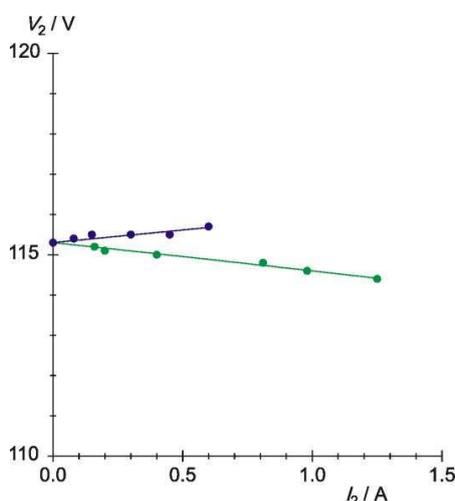


Рис.10.3. Вторичное напряжение однофазного автотрансформатора в зависимости от тока нагрузки при емкостной (●) нагрузке.

Содержание отчета:

Программа работ, схемы испытаний, результаты измерений, графики напряжения и нагрузки, выводы по этому поводу должны быть описаны в отчете.

Контрольные вопросы:

1. Как изменить коэффициент трансформации трансформаторов?
2. Объясните принцип работы устройства ПБВ.
3. Объясните принцип работы устройства РПН.
4. Каковы характеристики регулировки напряжения в автотрансформаторах?

Список литературы

1. 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. — 978-5-8265-1387-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64621.html>.
2. Коломиец Н.В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Коломиец Н.В., Пономарчук Н.Р., Елгина Г.А. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55206.html>
3. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций, М. 1986.
4. Михеев Г.М. Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования [Электронный ресурс]/ Г.М. Михеев. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Профобразование, 2017. — 297 с. — 978-5-4488-0089-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63798.html>
5. Кувайцев В.И. Высоковольтные предохранители [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС/ Кувайцев В.И. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2004. — 12 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/50061.html>
6. Кувайцев В.И. Измерительные трансформаторы напряжения [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС/ В.И. Кувайцев. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2004. — 16 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/50085.html>
7. Лагута С.А. Оборудование электростанций и сетей. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: пособие/

- Лагута С.А. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 84 с. — 978-985-50332 442-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67671.html>
9. Сибикин Ю.Д. Электрические подстанции [Текст]: учеб. пособие для высшего и среднего проф. образования/ Сибикин Ю.Д. - М.: Радиософт, 2013.- 416 с.
8. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для сред. проф. образования / Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К. Чиркова Т.В. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.

Содержание

| | |
|---|----|
| Лабораторная работа №1. Включение синхронного генератора в энергосистему..... | 3 |
| Лабораторная работа №2. Исследование режимов работы синхронного генератора..... | 8 |
| Лабораторная работа №3. Параллельная работа трансформаторов..... | 12 |
| Лабораторная работа №4. Исследование схемы контроля изоляции в сети переменного тока..... | 15 |
| Лабораторная работа №5. Проверка трансформаторов тока..... | 21 |
| Лабораторная работа №6. Проверка трансформаторов напряжения.... | 26 |
| Лабораторная работа №7. Плавкие предохранители..... | 32 |
| Лабораторная работа №8. Испытания однофазных автотрансформаторов на активную нагрузку..... | 35 |
| Лабораторная работа №9. Испытания однофазных автотрансформаторов на индуктивную нагрузку..... | 40 |
| Лабораторная работа №10. Испытания однофазных автотрансформаторов на емкостную нагрузку..... | 45 |
| Список литературы..... | 50 |

Редактор: Покачалова Н.С.