

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Часть 2

**Измерительные трансформаторы тока,
измерительные трансформаторы напряжения,
распределительные устройства, собственные нужды
электростанций и подстанций**

Методическое руководство
к выполнению лабораторных работ

Бишкек 2020

УДК 621.313

Э 45

Рецензенты:

М.М. Шамсутдинов, д-р техн. наук,
и. о. профессора КРСУ,
зав. кафедрой «Физические процессы горного
производства»,
А.П. Балянов, канд. техн. наук, доцент

Рекомендовано к изданию кафедрой
«Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»
и Ученым советом естественно-технического
факультета КРСУ

Э 45 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ. Часть 2.
Измерительные трансформаторы тока, измерительные
трансформаторы напряжения, распределительные устрой-
ства, собственные нужды электростанций и подстанций:
методическое руководство к выполнению лабораторных
работ / сост.: Ю.П. Симаков, Т.Ю. Каплина. – Бишкек: Изд-
во КРСУ, 2020. – 102 с.

Методическое руководство к выполнению лабораторных ра-
бот содержит введение, краткие описания конструкций, назначе-
ния, классификации, области применения измерительных транс-
форматоров тока и напряжения. Наиболее полно приведено опи-
сание конструкций распределительных устройств, а также
собственных нужд электростанций и подстанций. Дан порядок
выполнения лабораторных работ, содержание отчета, контроль-
ные вопросы и список литературы, необходимой для предвари-
тельной подготовки.

Данное методическое руководство по второй части дисципли-
ны «Электрические станции и подстанции» состоит из четырех
лабораторных работ (6–9) и может быть использовано для сту-
дентов энергетических специальностей.

© ГОУВПО КРСУ, 2020

ВВЕДЕНИЕ

В дисциплине «Электрические станции и подстанции» студенты изучают электрооборудование, схемы электрических соединений станций и подстанций и режимы их работы. Методическое руководство к лабораторным работам содержит описание конструкций, назначения, классификаций, области применения измерительных трансформаторов тока и напряжения, распределительных устройств, а также собственных нужд электростанций и подстанций.

Условием допуска студента к работе является: предварительное изучение им теории по учебнику, учебному пособию и лекционному материалу; прохождение инструктажа по технике безопасности; составление краткого конспекта по изучаемой в данной лабораторной работе теме. В конце методических указаний приведен список использованных источников. В конце каждой лабораторной работы приведены вопросы для самопроверки, на которые студент должен дать ответы в письменной форме.

При составлении данного руководства использовался опыт постановки лабораторных работ на кафедрах «Электрические станции» МЭИ, КТУ и «Электроснабжение» Ульяновского технического института.

Лабораторная работа 6

1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА (ТТ)

Цель работы – изучить конструкцию, назначение, область применения измерительных трансформаторов тока (ТТ).

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией трансформаторов тока, используя имеющиеся в лаборатории литературные источники и интернет-ресурсы.
2. Ознакомиться с областью применения различных серий трансформаторов тока.
3. Ознакомиться с электрическими схемами соединения трансформаторов тока.
4. Выполнить отчет по работе.
5. Дать ответы на вопросы преподавателя.

Краткие теоретические сведения

1. Трансформаторы тока

Трансформатор тока – это электрический аппарат, в котором при нормальных условиях работы вторичный ток пропорционален первичному току и фазовый сдвиг между ними близок к нулю.

Трансформатор тока (ТТ) предназначен для:

- 1) преобразования переменного тока в ток, приемлемый по значению для непосредственного измерения с помощью стандартных измерительных приборов или для работы реле защиты;
- 2) изоляции измерительных приборов и защитных реле, к которым имеет доступ обслуживающий персонал, от цепи высокого напряжения.

2. Классификация ТТ

По месту установки:

- на открытом воздухе;
- в закрытом помещении;
- в полостях электрооборудования.

По способу установки:

- проходные, используемые в качестве вводов и устанавливаемые в проемах перегородок, стен или потолков;
- опорные, устанавливаемые на опорной плоскости;
- встроенные, размещаемые в полостях электрооборудования.

По числу ступеней в трансформаторе:

- одноступенчатые;
- каскадные (многоступенчатые).

По выполнению первичной обмотки:

- одновитковые;
- многовитковые.

По назначению первичных обмоток:

- для измерения;
- для защиты;
- для измерения и защиты.

По числу коэффициентов трансформации:

- с одним коэффициентом трансформации;
- с несколькими коэффициентами трансформации (изменением числа витков первичной или вторичной обмоток, с несколькими вторичными обмотками).

3. Основные номинальные параметры

Номинальное напряжение.

Номинальная частота.

Номинальный ток первичной обмотки.

Номинальный ток вторичной обмотки (1 или 5 А. По согласованию с заказчиком допускается 2 и 2,5 А).

Коэффициент трансформации

$$K_I = \frac{I_{1ном}}{I_{2ном}},$$

где $I_{1ном}$ и $I_{2ном}$ – номинальные значения первичного и вторичного тока, соответственно.

Примечание. K_I – коэффициент трансформации. ТТ величина не постоянная и может быть больше или меньше номинального значения, так как возникает погрешность из-за тока намагничивания.

- Мощность вторичной цепи в ВА с указанием $\cos \varphi$.

Обычно $\cos \varphi = 0,8$, при котором гарантируется класс точности ТТ.

Ряд номинальных мощностей вторичной нагрузки (ВА):

1; 2; 2,5; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 90; 100; 120.

4. Класс точности и погрешности трансформаторов тока

Погрешность трансформатора тока зависит от его конструктивных особенностей:

- сечения магнитопровода;
- магнитной проницаемости материала магнитопровода;
- средней длины магнитного пути;
- значения $I_1 w_1$, $I_2 w_2$ (w_1 и w_2 – число витков первичной и вторичной обмоток).

Токовая погрешность определяется по выражению

$$\Delta I\% = \frac{K_I I_2 - I_1}{I_1} 100.$$

Класс точности трансформаторов тока зависит от необходимых требований и может быть **0,2; 0,5; 1; 3; 10**. Цифры указывают допустимую погрешность по току в процентах. Если номинальный ток при нагрузке первичной обмотки составляет 100–120 %, то класс точности 0,2; 0,5; 1 и если 50–120 %, то 3; 10.

Если трансформатор тока классов точности 0,2; 0,5 и 1, то нормируется и угловая погрешность. Для выбора ТТ необходимо учитывать ряд факторов, которые влияют на погрешность – это зависимость от вторичной нагрузки, которая включает в себя сопротивление приборов, проводов, контактов и от кратности первичного тока по отношению к номинальному. Рост вторичной нагрузки и электрического тока приводит к росту погрешности. Однако погрешность также возрастает, если ток в первичной обмотке меньше номинального тока.

Применение трансформаторов тока в зависимости от класса точности:

- присоединения ТТ для точных лабораторных приборов – 0,2;
- присоединения ТТ для счетчиков денежного расчета – 0,5;
- для всех технических измерительных приборов – 1;
- для релейной защиты – 3 и 10.

Трансформаторы тока выпускаются и для дифференциальной защиты со вторичными обмотками *типов Д* (для земляной защиты), *Р* (для прочих релейных защит) с классом точности 3.

Трансформаторы тока работает в режиме, близком режиму КЗ, так как включенные цепь измерительные приборы и реле обладают малым сопротивлением.

Магнитный поток в магнитопроводе резко возрастет, если вторичная обмотка разомкнута, и он будет равен только МДС первичной обмотки. Это приводит к недопустимому нагреву магнитопровода, и во вторичной обмотке резко возрастет напряжение, которое может достигать десятков киловольт.

Поэтому категорически ***не разрешается размыкать вторичную обмотку трансформатора тока при протекании тока в первичной обмотке.*** Если нужно заменить измерительный прибор или реле, сначала накоротко замыкается вторичная обмотка трансформатора тока (или шунтируется обмотка реле, прибора).

5. Трансформатор тока, его устройство

Трансформатор тока представляет собой замкнутый магнитопровод 2 (рисунок 6.1) с двумя обмотками – первичной 1 и вто-

ричной 3. Последовательно в цепь включается первичная обмотка, по которой протекает электрический ток I_1 . Электрический ток I_2 протекает во вторичной обмотке, в которой последовательно присоединяются измерительные приборы. Концы первичной обмотки обозначаются буквами L_1 и L_2 , а вторичной I_1 и I_2 .

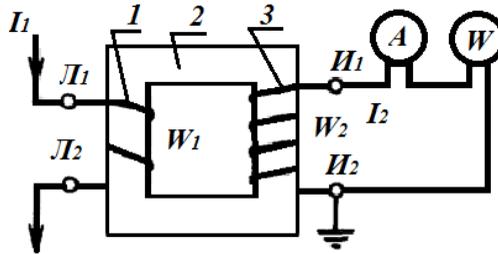


Рисунок 6.1 – Электрическая схема включения трансформатора тока

Существуют условные обозначения для трансформаторов тока: **Т** – трансформатор тока; **В** – встроенный в масляный выключатель; **ВТ** – встроенный в силовой трансформатор; **К** – катушечный; **Л** – с литой смоляной изоляцией; **М** – малогабаритный (для трансформатора тока внутренней установки); **О** – одновитковый; **П** – проходной (отсутствие буквы П указывает на то, что трансформатор опорный); **Р** – с сердечником для релейной защиты; **Ш** – шинный; **Ф** – с фарфоровой изоляцией; **З** – для защиты от замыкания на землю; **У** – усиленный (с повышенной электродинамической стойкостью); **ФЗ** – в фарфоровом корпусе с первичной обмоткой звеньев типа; **Н** – наружной установки; **Д** – со вторичной обмоткой для питания дифференциальной защиты; **М** – маслонаполненный (для трансформаторов тока наружной установки).

6. Трансформаторы тока низковольтные

ТТ низковольтные с классом изоляции до 1000 В применяют в электрических сетях 0,38 кВ. К вторичной цепи трансформатора тока подключают амперметры, токовые обмотки счетчиков активной и реактивной энергии. Низковольтные ТТ выпускают трех типов:

1) ТК-20, ТК-40 – катушечные ТТ с шихтованным магнитопроводом, где 20 и 40 – предельно допустимые сопротивления вторичной нагрузки, увеличенные в 100 раз;

2) Т-0,66-УЗ – с витым магнитопроводом. с допустимой нагрузкой на вторичную цепь 5 ВА;

3) встраивают в амперметры ТТ, если они малогабаритны с пределами измерения переменного тока свыше 10 А.

Трансформатор тока типа ТК-20 (рисунок 6.2) имеет стальной сердечник 2 с обмотками. Первичная обмотка 3 с выводами Л1 и Л2 выполнена из провода большого сечения, рассчитанного на ток, который необходим для нормальной работы электроустановки. Вторичная обмотка 4 и выводы И1 и И2 вторичной обмотки подключены к клеммнику 1. Она имеет такое количество витков, чтобы при номинальном токе первичной обмотки в ней индуцировался ток 5 А.

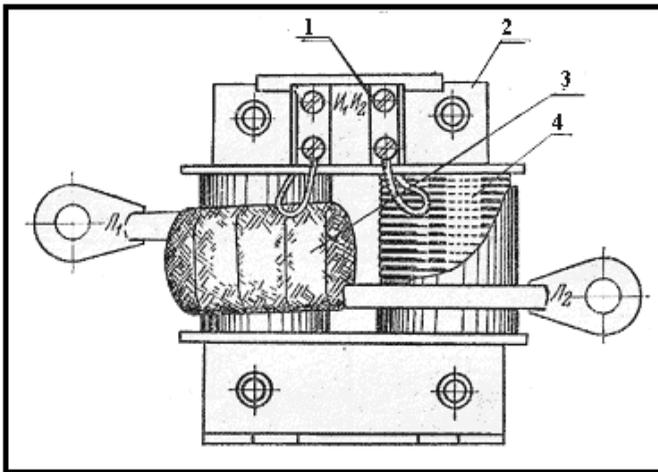


Рисунок 6.2 – Трансформаторы тока ТК 20

Частота 50 или 60 Гц. Класс напряжения до 0,66 кВ. Номинальное напряжение, кВ: 0,66. Коэффициент трансформации: 10/5, 15/5, 20/5 А. Величина первичного тока: А : 10, 15, 20. Величина вторичного тока: А : 5.

1.1 Трансформатор Т-0,66М УЗ (Ином. первичн. 5А-2000А)

Трансформатор по конструкции является опорным. Обмотки трансформаторов выполнены на тороидальном сердечнике. Корпус трансформатора выполнен из пластмассовых деталей, соединённых саморезами. Трансформатор крепится на вставных опорах корпуса или на шине первичной обмотки.

Основные технические характеристики:

- номинальное напряжение – 0,66 кВ;
- номинальный первичный ток 5–200 А;
- номинальный вторичный ток – 5 А;
- номинальная частота – 50 Гц;
- номинальная вторичная нагрузка $S_{2ном}$ с индуктивно-активным коэффициентом мощности $\cos\varphi = 0,8–5$ ВА;
- класс точности – 0,5.



Рисунок 6.3 – Трансформатор тока типа Т–0,66-М-У3

1.2 Шинные трансформаторы тока

Трансформаторы тока типа ТНШЛ 0,66 предназначены для встраивания в КРУ и служат для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам или устройством

защиты и управления в установках переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением до 0,66 кВ включительно. Изготавливаются на токи первичной цепи 800–10000 А, токи вторичной цепи – 5 А. Номинальные классы точности 0,5 и 3. Изоляция, литая на основе эпоксидной смолы.



Рисунок 6.4 – Трансформатор тока типа ТНШЛ 0,66 – низковольтный ТТ, шинный, с литой изоляцией, с номинальным напряжением 0,66 кВ)

2. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Параметрами трансформатора тока являются: номинальный ток, номинальное напряжение, класс точности. В паспорте ТТ заводом-изготовителем указывается конструктивное исполнение. Для напряжения 6 и 10 кВ ТТ изготавливают проходными с одной и двумя вторичными обмотками и опорными с классами точности 0,2; 0,5; 1 и 3. Как указывалось ранее, погрешность ТТ зависит от различных факторов, в том числе и от класса точности, что необходимо учитывать при измерении и расчетах. По правилам безопасной эксплуатации вторичная обмотка ТТ должна быть заземлена и ни в коем случае не должна быть разомкнутой. В распределительных устройствах напряжением 6–10 кВ устанавливают ТТ с литой и фарфоровой изоляцией.

Устройство высоковольтного трансформатора тока имеет одну первичную и две вторичные обмотки, часто первичная обмотка выполняется в виде проходящей шины. Вторичные обмотки

отличаются друг от друга, поэтому их неправильное подключение значительно влияет на релейные цепи и измерительные. Если измерительная катушка трансформатора тока имеет обозначение 0,5 – это ее класс точности.

Классифицируют измерительные трансформаторы тока на две основные группы: на многовитковые и одновитковые.

В изготовлении трансформаторы тока одновитковые предельно просты. Первичная обмотка такого трансформатора тока состоит из одного витка, при этом МДС обмотки недостаточна из-за среднего качества стали и не позволяет ее использование для класса точности 0,5, если ток на первичной обмотки меньше 400–600 А. К классам точности 1 и 3 относят одновитковые ТТ с меньшим номинальным током, например встроенного типа. Шинные, встроенные и разъемные одновитковые ТТ выпускаются с собственной первичной обмоткой и без собственной обмотки.

2.1 Проходные трансформаторы тока

При внутренней установке трансформаторов тока напряжением до 35 кВ с первичными номинальными токами от 400 до 1500 А используют литую эпоксидную изоляцию. На рисунке 6.5 представлен трансформатор тока на номинальное напряжение 20 кВ типа ТПОЛ-20, где П – проходной, О – одновитковый, Л – литая изоляция.

Прямолинейный стержень с зажимами на концах 1 – это первичная обмотка ТТ. Поверх изоляции на стержень надеты два кольца магнитопровода со встроенными обмотками, то есть два трансформатора объединены в единую конструкцию. Первичная и вторичная обмотки и магнитопроводы все вместе залиты эпоксидным компаундом и образуют монолитный блок 2, образуя проходной изолятор. На боковом приливе изоляционного блока находятся зажимы вторичных обмоток 3. Такие трансформаторы тока выполняют с классами точности – 0,5; 3; Р и их размеры значительно меньше, чем ТТ с фарфоровой изоляцией и обладают высокой электродинамической стойкостью. Эти ТТ в рас-

пределительных устройствах выполняют одновременно роль проходных изоляторов.

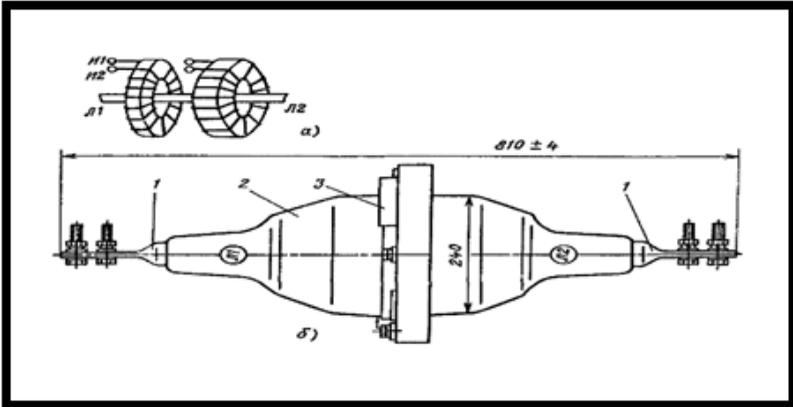


Рисунок 6.5 – ТПОЛ-20 – трансформатор тока:
а) – расположение магнитопроводов с обмотками;
б) – конструкция: 1 – вывод первичной обмотки;
2 – изоляция эпоксидная; 3 – выводы вторичной обмотки

2.2 Трансформаторы тока встроенного типа

На рисунке 6.6 показан трансформатор тока встроенного типа. Встроенные ТТ устанавливают на вводах 35 кВ, силовых трансформаторов и выше масляных баковых выключателей. Первичными обмотками таких ТТ являются токоведущие стержни вводов. Это удешевляет ТТ и не нужно дополнительного места для установки. Вторичные обмотки таких трансформаторов выполняют с ответвлениями, что позволяет подобрать число витков и, следовательно, коэффициент трансформации в соответствии с рабочим током цепи. Выполняют четыре ответвления, основные выводы (полное число витков) соответствуют номинальному току выключателя.

При прочих равных условиях погрешности встроенных ТТ выше погрешностей шинных и проходных трансформаторов, это связано с довольно большим диаметром кольцевого магнитопро-

вода, который определяется диаметром ввода, его длиной и, как следствие, большим сопротивлением магнитной цепи. Для масляных выключателей применяются ТТ серий ТВ, ТВС, ТВУ. Для встраивания в силовые трансформаторы или автотрансформаторы применяются трансформаторы тока серии ТВТ.

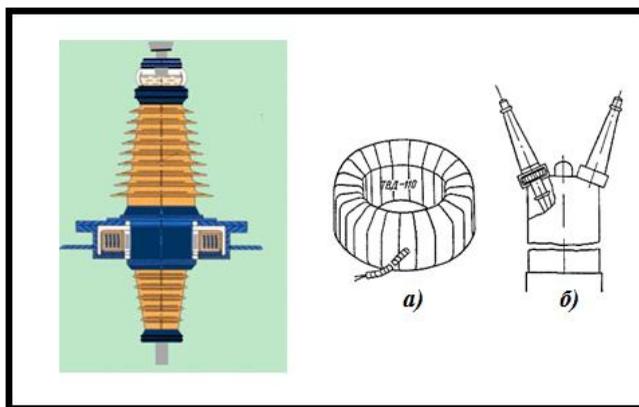


Рисунок 6.6 – Встроенные в масляный выключатель одновитковые трансформаторы тока: а – кольцевой магнитопровод с вторичной обмоткой; б – установка трансформатора на проходном изоляторе выключателя

2.3 Шинные трансформаторы тока

Для номинальных напряжений до 20 кВ и номинальных первичных токов до 24000 А необходимы шинные трансформаторы тока. Конструкцию ТТ упрощают, так как токи большие. Для этого в качестве первичной обмотки используется шина или пакет шин соответствующего присоединения, что позволяет отказаться от зажимов первичной обмотки с контактными соединениями. Класс точности 0,5 для шинных Т.Т, это связано с большим номинальным первичным током. При этом нужно использовать компенсацию погрешностей. Чтобы избежать чрезмерного нагрева вихревыми токами, металлическая арматура таких Т.Т выполняется из немагнитного материала. На рисунке 6.7 показан шин-

ный трансформатор тока ТШЛ-20 (Ш – шинный, Л – литая изоляция для напряжения 20 кВ и токи 6000–18000 А). Трансформаторы тока имеют вид кольцеобразного эпоксидного блока с залитым в нем магнитопроводом и вторичными обмотками. Первичной обмоткой является шина токопровода. Электродинамическая стойкость таких трансформаторов тока определяется устойчивостью шинной конструкции. В комплектных токопроводах применяются ТТ серий ТШВ15, ТШВ24.

Разъемные ТТ не имеют собственной первичной обмотки, магнитопровод которых состоит из двух частей, стягиваемых болтами. Он может смыкаться и размыкаться вокруг проводника с током, который является первичной обмоткой этого ТТ.

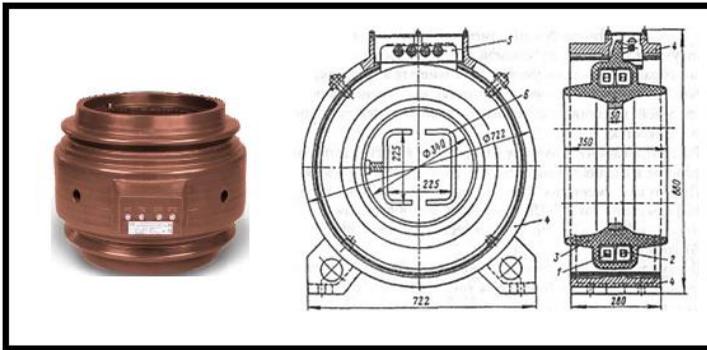


Рисунок 6.7 – ТШЛ-20 – трансформатор тока:

- 1 – магнитопровод класса 0,5; 2 – магнитопровод класса Р;
- 3 – литой эпоксидный блок; 4 – корпус; 5 – коробка выводов вторичных обмоток; 6 – токоведущая шина

Если токи меньше 600 А, то используются многovitковые ТТ. Первичная обмотка таких ТТ выполнена из определенного числа витков, количество которых определяется необходимой величиной МДС. Для всей шкалы номинальных напряжений и для токов до 1000–1500 А выполняются многovitковые ТТ, то есть для условий, когда необходимая точность не может быть обеспечена при одном витке первичной обмотки. Многовитковые обмотки усложняют конструкцию ТТ, так как необходимо учитывать внутренние электродинамические силы при К.З и значи-

тельные витковые напряжения при волновых процессах с крутым фронтом волны. Изоляцию обмоток ее вид и конструкцию выбирают с учетом номинального напряжения. С эпоксидной изоляцией выполняют катушечные и петлевые ТТ для напряжений 6–10 кВ. На рисунке 6.8 показан трансформатор тока ТПЛ-10: П – петлевой, Л – литая изоляция на напряжение 10 кВ.

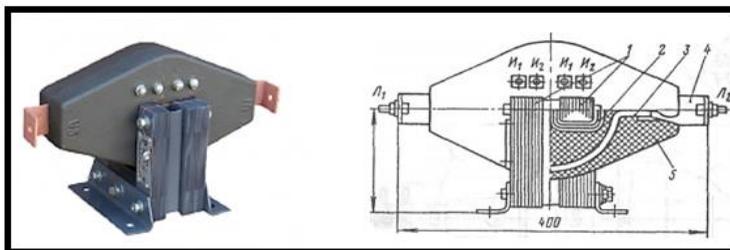


Рисунок 6.8 – ТПЛ-10 – Петлевой трансформатор тока:
1 – магнитопровод; литой блок, 2 – вторичная обмотка; 3 – первичная обмотка; 4 – вывод первичной обмотки; 5 – литой эпоксидный корпус

2.4 Опорные трансформатора тока

Применение, конструктивное исполнение и установка опорных трансформаторов для напряжения 6–35 кВ самые разнообразные. Выпускаются опорные трансформаторы тока с одной вторичной обмоткой для измерения и одной вторичной обмоткой для защиты. Трансформаторы на номинальный ток 1000 и 1500 А могут выпускаться с двумя вторичными обмотками для защиты.



а)

б)

Рисунок 6.9 – Литые опорные трансформаторы тока:
а) ТОЛ10; б) ТЛО

2.5 Трансформаторы тока наружной установки

На рисунке 6.10 представлен трансформатор тока наружной установки с масляным заполнением типа ТФН. Буква Ф означает, что ТТ имеет фарфоровую изоляцию, а Н – наружную установку. Такие трансформаторы тока изготавливают на напряжение 35–750 кВ.

Для напряжений 35–750 кВ изготавливались трансформаторы тока наружной установки с масляным заполнением типа ТФН (см. рисунок 6.10) (Ф – фарфоровая изоляция, Н – наружная установка). На рисунке 6.10 показаны магнитопроводы и обмотки трансформатора тока типа ТФН. Кольцевые магнитопроводы 1–3 выполнены из ленточной стали. На них навиты вторичные обмотки. Первичная обмотка 4 из многожильного провода проходит через отверстие магнитопроводов. Концы ее выведены вверх. Такую своеобразную конструкцию называют звеньевой или восьмерочной. Первичная обмотка состоит из двух секций, которые с помощью переключателя могут быть соединены последовательно или параллельно, благодаря чему первичный номинальный ток и, следовательно, коэффициент трансформации можно изменять в отношении 1:2. Изоляция 5 первичной обмотки, а также магнитопроводов со вторичными обмотками выполнена из кабельной бумаги. Магнитопроводы и обмотки трансформаторов тока типа ТФН заключены в фарфоровый полый изолятор, заполненный маслом.

В настоящее время ТТ серии ТФН заменяются более совершенными ТТ серии ТФЗМ опорного типа в фарфоровом корпусе с бумажно-масляной изоляцией, которые изготавливаются также для наружной установки на напряжение 35–750 кВ. Внешний их вид показан на рисунке 6.11. На рисунке 6.12 показана конструкция ТТ типа ТФЗМ (ф – фарфоровый; З – обмотка звеньевого типа; М – масляный). В полном фарфоровом изоляторе, заполненном маслом, расположены обмотки и магнитопровод трансформатора.

Конструктивно первичная и вторичная обмотки напоминают два звена цепи (буква З в обозначении типа). Первичная обмотка состоит из секций, которые с помощью переключателя 2 могут быть соединены последовательно (положение 1) или параллельно

(положение 2), чем достигается изменение номинального коэффициента трансформации в отношении 1:2. На фарфоровой крышке установлен металлический маслорасширитель 1, воспринимающий колебания уровня масла.

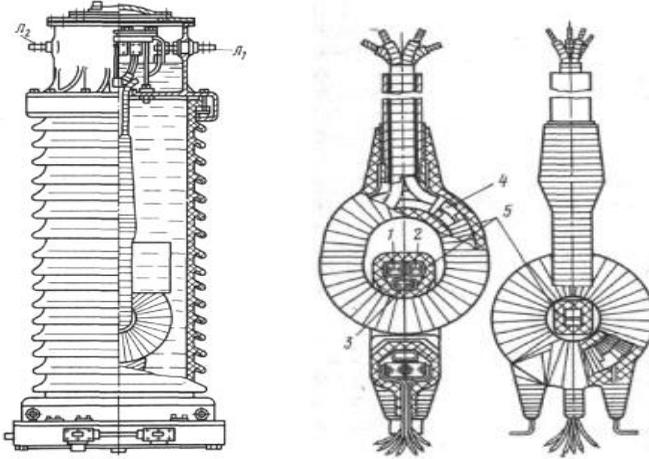


Рисунок 6.10 – Магнитопроводы и обмотки трансформатора тока типа ТФН: 1, 2, 3 – кольцевые магнитопроводы; 4 – первичная обмотка; 5 – изоляция первичной обмотки



Рисунок 6.11 – Внешний вид трансформаторов тока типа ТФМЗ

Силикагелевый влагопоглотитель 5 предназначен для поглощения влаги наружного воздуха, с которым сообщается внутренняя полость маслорасширителя. Обмотки и фарфоровая крышка крепятся на стальном цоколе 13. Коробка вторичных выводов

12 герметизирована. Снизу к ней крепится кабельная муфта, в которой разделен кабель вторичных цепей.

Трансформаторы ТФЗМ имеют один магнитопровод с обмоткой класса 0,5 и два-три магнитопровода с обмотками для релейной защиты. На рисунке 13 показан ТТ серии ТФЗМ на 500.

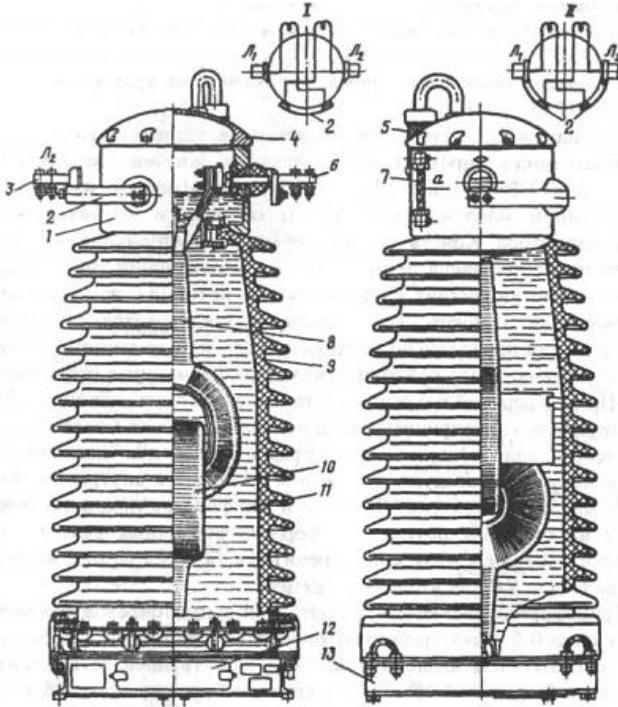


Рисунок 6.12 – Трансформатор тока ТФЗМ:

- 1 – маслорасширитель; 2 – переключатель первичной обмотки; 3 – ввод; 4 – крышка; 5 – влагопоглотитель;
- 6 – ввод; 7 – маслоуказатель; 8 – первичная обмотка;
- 9 – фарфоровая покрывка; 10 – магнитопровод со вторичной обмоткой; 11 – масло; 12 – коробка выводов вторичных обмоток; 13 – цоколь

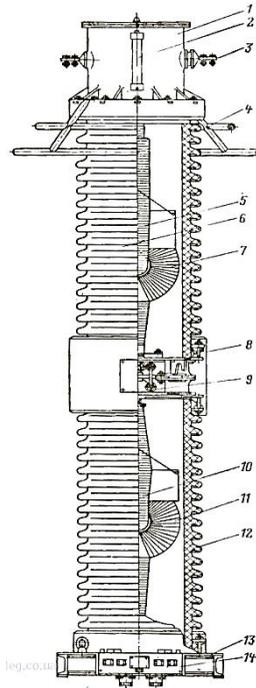


Рисунок 6.14 – Трансформатор тока ТФРМ 500 кВ
звеньевое типа: 1 – маслорасширитель;

- 2 – маслоуказатель; 3 – выводы первичной обмотки
ЛП – кольцо; 5 – первичная обмотка верхней ступени;
6 – фарфоровая крышка верхней ступени; 7 – вторичная
(промежуточная) обмотка верхней ступени; 8 – экран;
9 – выводы промежуточных обмоток ступеней;
10 – первичная (промежуточная) обмотка нижней ступени;
11 – вторичная обмотка нижней ступени; 12 – фарфоровая
крышка нижней ступени; 13 – основание
трансформатора; 14 – коробка выводов

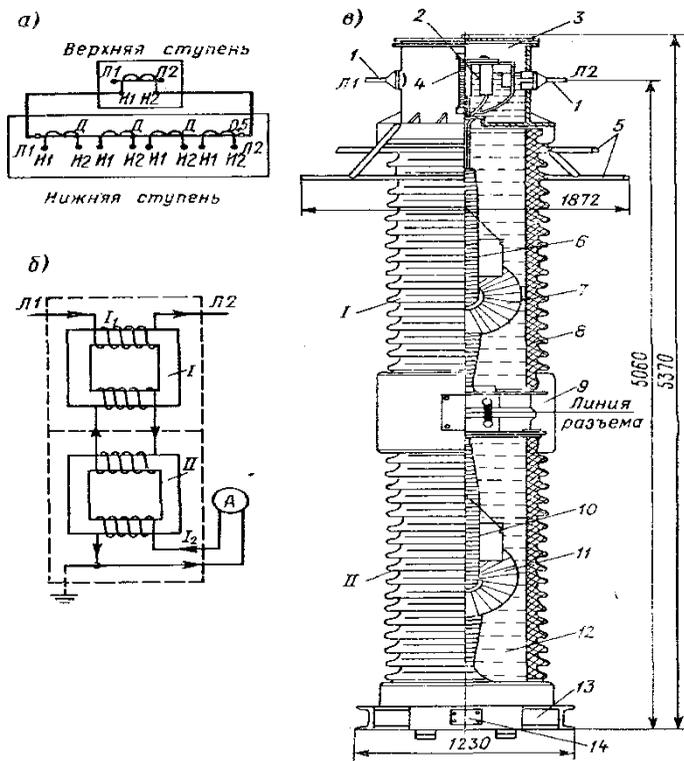


Рисунок 6.15 – Каскадный трансформатор тока типа ТФНКД-330: а), б) схемы электрических соединений; в – конструкция 1 – вводы первичной обмотки; 2 – переключатель; 3 – маслорасширитель; 4 – маслоуказатель; 5 – кольца экрана; 6 – первичная обмотка верхней ступени; 7 – сердечник со вторичной обмоткой верхней ступени; 8 – крышка (корпус) фарфор; 9 – соединительная часть; 10 – первичная обмотка нижней ступени; 11 – сердечник со вторичной обмоткой нижней ступени; 12 – масло; 13 – цоколь основания; 14 – коробка зажимов вторичной обмотки

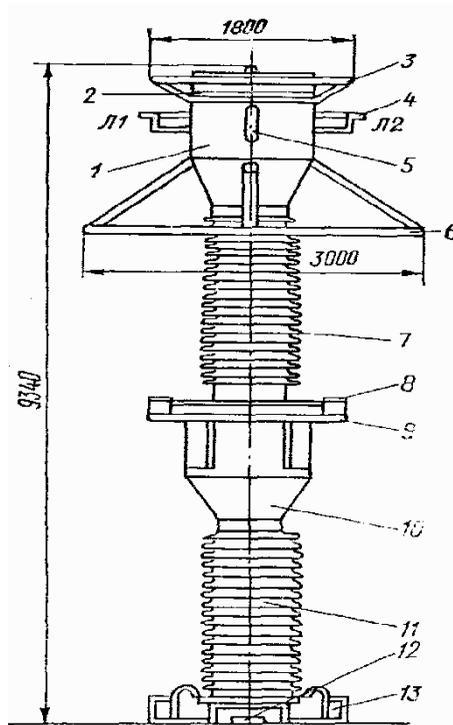


Рисунок 6.16 – Внешний вид трансформатора тока типа ТФРМ 750 А-У1: 1, 10 – маслорасширители; 2, 8 – воздухоосушители; 3, 6, 9 – экраны; 4 – вывод первичной обмотки (Л1; Л2); 5 – указатель уровня масла; 7, 11 – крышки; 12 – крышка с табличками трансформатора; 13 – цоколь

2.6 Трансформаторы тока масляные серии ИМВ 110–500 кВ

Трансформаторы тока серии ИМВ для применения в сетях переменного тока с номинальным напряжением 110–500. Измерительные трансформаторы тока с масляной изоляцией серии ИМВ на классы напряжения 110–500 кВ являются, по сути, маломасляными. Весь их внутренний объем заполнен кварцевым песком, который пропитывается минеральным маслом. Такая

конструкция позволяет добиться высоких механических характеристик у трансформатора и повысить его стойкость к сквозным токам короткого замыкания. Еще одной особенностью данных трансформаторов является широкий диапазон первичных токов (от 50 до 4000 А) в сочетании с высоким (до 0,2S) классом точности. Малый объем масла и низкая напряженность электрического поля внутри первичной обмотки (не более 2 кВ/см) повышают общую надежность трансформатора и обеспечивают длительный срок службы без существенных эксплуатационных затрат.

2.7 Измерительные трансформаторы тока с элегазовой изоляцией серии TG

Измерительные трансформаторы тока с элегазовой изоляцией серии TG (рисунок 6.17) на классы напряжения 110–500 кВ, предназначенные для работы в условиях умеренного и холодного климата. Они обладают высокой стойкостью к воздействию окружающей среды благодаря применению крепежа из нержавеющей стали и защите стальных частей методом горячего цинкования. Высокий класс точности измерений (0,2 и 0,2S) позволяет применять их в цепях коммерческого учета электроэнергии. Уровень плотности элегаза контролируется при помощи манометра с термокомпенсацией. Прибор снабжен сигнальными и блокировочными контактами, которые срабатывают в случае снижения давления. Трансформаторы просты, надежны, характеризуются отсутствием частичных разрядов и не являются источником радиопомех.

Преимущества:

- Класс точности измерений (0,2 и 0,2S) – это очень высокий класс точности, что позволяет применять их для коммерческого учета.
- Значительный диапазон первичных токов – от 300 до 3000 А.
- Эксплуатационные затраты незначительные, так как они связаны только с периодической чисткой внешней изоляции.

- Конструкция практически не поддается воздействию окружающей среды.



Рисунок 6.17 – Элегазовый трансформатор тока ТГФМ-220

2.8 Оптико-электронные измерительные трансформаторы тока

Современные условия эксплуатации сетей требуют новых подходов и новейшего оборудования. Возрастает потребление электрической энергии. Также растут напряжение и другие электрические параметры, и чем выше напряжение, тем труднее осуществить изоляцию первичной измерительной обмотки трансформатора от вторичной. Разработаны принципиально новые оптико-электронные трансформаторы (ОЭТ) на смену каскадным измерительным трансформаторам на 500, 750 и 1150 кВ, которые сложны в изготовлении и дороги.

В ОЭТ измеряемый сигнал (ток, напряжение) преобразуется в световой поток, который изменяется по определенному закону и передается в приемное устройство, расположенное на заземленном элементе. Затем световой поток преобразуется в электрический сигнал, воспринимаемый измерительными приборами (рисунок 6.18). Передающее устройство, находящееся под высоким напряжением, и приемное устройство, соединенное

с землей, связаны между собой только пучком света. Световой поток передается внутри полого изолятора по трубе с зеркальными стенками или по диэлектрическим стержневым и волоконным световодам, которые изготавливаются из специального оптического стекла с изолирующей оболочкой. Передающее устройство ОЭТ может быть основано на различных принципах.

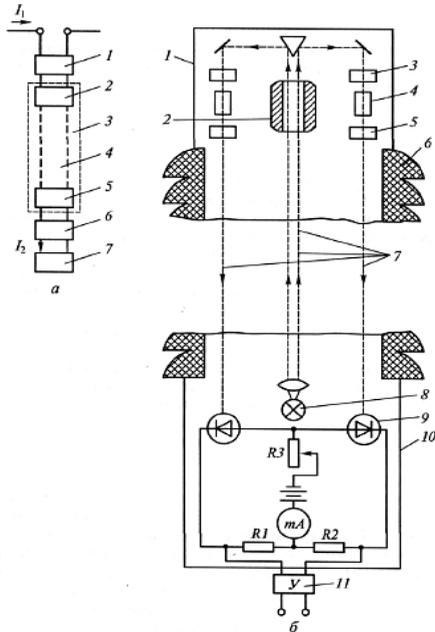


Рисунок 6.18 – ОЭТТФ – Оптико-электронный трансформатор тока: а – структурная схема: 1 – первичный преобразователь; 2 – светодиод; 3 – оптическая система; 4 – световод; 5 – фоточувствительный прибор; б – усилитель; 7 – измерительный прибор; б – функциональная схема оптико-электронного трансформатора тока ОЭТТФ: 1 – головка ВН; 2 – токопровод измеряемого тока; 3 – поляризатор; 4 – кварц; 5 – анализатор; 6 – изолирующая колонка; 7 – световоды; 8 – источник света; 9 – фотоприемники; 10 – основание; 11 – усилитель

Эффект Фарадея применяется в трансформаторах тока (ОЭТТФ), который представлен на рисунке рисунке 6.18, б. Источник света 8 расположен в основании 10 на потенциале земли, фотоприемники 9 подключены по дифференциальной схеме в цепь усилителя 11, к которому присоединяются измерительные приборы. В головке ВН 1 размещены две ячейки Фарадея и токопровод измеряемого тока 2. Ячейки Фарадея состоят из поляризаторов 3 оптически активного вещества 4 (кварц, тяжелое стекло) и анализаторов 5. Пучок поляризованного света, проходя в оптически активном веществе 4, меняет плоскость поляризации на угол, который зависит от напряженности магнитного поля, т. е. от измеряемого тока. Поворот плоскости поляризации за анализаторами 5 проявляется в виде изменения интенсивности светового потока, падающего на фотоприемник. Световые потоки передаются внутри изолирующей колонки 6 по световодам 7. Фотоприемники преобразуют световой сигнал в электрический, который усиливается в усилителе 11 и подается к измерительным приборам. Такие трансформаторы тока универсальны, они предназначены для измерения постоянного, переменного и импульсного тока в установках высокого и сверхвысокого напряжения. Измерительный импульс практически мгновенно передается к фотоприемникам. Имеются конструкции трансформаторов тока, в которых передающее устройство состоит из модулятора и светодиода. Световой поток полупроводникового светодиода зависит от измеряемого тока и его фазы.

Оптико-электронный трансформатор тока с частотной модуляцией (ОЭТТЧ) на 750 кВ и 2000 А имеет четыре оптических канала – один для измерения и три – для защиты. Каждый канал связан со своим первичным преобразователем. Канал измерения рассчитан на нормальную работу при токах до 1,2 Iном, при этом погрешность не превышает $\pm 1\%$. Каналы защиты рассчитаны так, что передают без искажения импульсы при токах до 20 Iном.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Измерительные трансформаторы тока применяют для подключения контрольно-измерительных приборов релейных защит и устройств автоматики, которые выполнены в виде однофазных трансформаторов. На рисунке 6.19 представлены электрические схемы соединений ТТ по схемам полной звезды, неполной звезды или с включением реле на разность токов двух фаз. Необходима одинаковая установка и правильные присоединения в эти схемы однофазных ТТ. Универсальной электрической схемой является схема полной звезды, но она и самая дорогая. Эта схема позволяет измерять и использовать ток всех трех фаз. Более дешевая схема неполной звезды предусматривается для трехфазных систем с изолированной нейтралью.

Включение ТТ на разность токов двух фаз применяется редко, только в специальных схемах релейных защит.

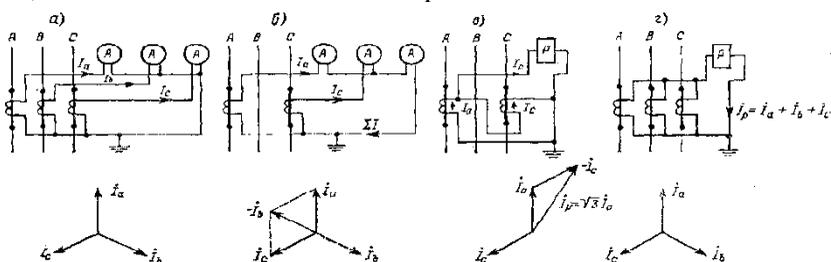


Рисунок 6.19 – Электрические схемы соединений ТТ:

- а) – полной звезды; б) – неполной звезды; в) – двухфазная схема с включением реле на разность токов двух фаз; г) – двусторонней звезды с включением реле на трех трансформаторный фильтр токов нулевой последовательности

Содержание отчета

1. Представить назначение, классификацию, режимы работы ТТ.
2. Перечислены основные параметры ТТ: номинальная

нагрузка ТТ, класс точности ТТ.

3. Преимущество и недостатки одновитковых и многовитковых ТТ.

4. Для чего используют каскадные ТТ?

5. Представить условия выбора и электрические схемы соединения ТТ.

Вопросы при оформлении отчета

1. Что такое измерительный трансформатор тока?

2. При каких расчетах необходим коэффициент трансформации трансформатора тока?

3. Какие части трансформатора тока подлежат заземлению, для какой цели и как это осуществляется?

4. Что такое токовая погрешность и как ее определить из векторной диаграммы трансформатора тока?

5. Что представляет собой угловая погрешность и как ее определить из векторной диаграммы трансформатора тока?

6. Что понимается под полной погрешностью трансформатора тока?

7. Как влияет величина первичного тока на погрешности трансформатора тока?

8. Назовите способы уменьшения погрешностей трансформатора тока и проанализируйте их.

9. Что понимается под номинальной нагрузкой трансформатора тока?

10. Перечислите преимущества и недостатки встроенных трансформаторов тока.

11. Каковы значения номинальных вторичных токов трансформаторов тока и из каких соображений они установлены?

12. Каковы особенности обмоток звеньев типа и в каких трансформаторах тока они применены?

Лабораторная работа 7

4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы – ознакомиться с назначением, конструкцией и областью применения измерительных трансформаторов напряжения.

Задание

1. Изучить конструкцию трансформаторов напряжения (ТН), используя имеющиеся в лаборатории образцы и литературные источники.
2. Изучить область применения различных серий трансформаторов напряжения.
3. Изучить схемы соединения трансформаторов напряжения.
4. Подготовить отчет по работе.
5. Ответить на вопросы преподавателя.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Трансформаторы напряжения предназначены для понижения высокого напряжения (свыше 250 В) до значения, равного 100 В или $100/\sqrt{3}$ В, необходимого для питания измерительных приборов, цепей автоматики, сигнализации и защитных устройств, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения, обеспечивая тем самым безопасность обслуживающего персонала.

Нормально трансформаторы напряжения работают в режиме, близком к режиму холостого хода вторичной обмотки.

На рисунке 7.1 представлена электрическая схема включения первичной и вторичной обмотки трансформатора напряжения. Включают параллельно в цепь измеряемого напряжения первичную обмотку ТН. Также параллельно к вторичной цепи подключаются приборы.

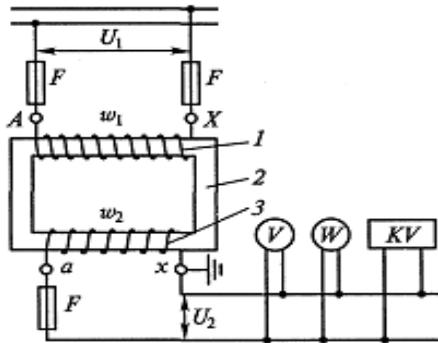


Рисунок 7.1 – Схема включения трансформатора напряжения

Классификация ТН

По способу подключения к цепи:

- непосредственному (электромагнитные ТН);
- через емкость (емкостные ТН).

По числу ступеней трансформации:

- одноступенчатые;
- многоступенчатые (каскадные).

Одноступенчатые ТН изготавливаются на напряжение до 35 кВ, многоступенчатые – 110 кВ и выше.

По числу обмоток:

- двухобмоточные;
- трехобмоточные.

По числу фаз:

- однофазные;
- трехфазные.

Трехфазные ТН изготавливают на напряжение до 35 кВ.

По способу охлаждения:

- сухие (с естественным воздушным охлаждением);
- масляные.

По роду установки:

- внутренней;
- наружной.

1. Основные номинальные параметры ТН

- Номинальное первичное напряжение.
- Номинальная частота.
- Номинальное вторичное напряжение.
- Номинальные напряжения основных вторичных обмоток 100 В для однофазных ТН, включаемых на напряжение $100/\sqrt{3}$ между фазами, и для однофазных ТН, включаемых на напряжение между фазой и землей.
- Номинальный коэффициент трансформации, равный отношению первичного и вторичного номинальных напряжений.

$$K_U = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}.$$

1. Нагрузка ТН – это суммарная полная мощность, потребляемая приборами, подключенными ко вторичной обмотке.

2. Номинальная нагрузка – это мощность нагрузки, при которой погрешности ТН не выходят за установленные пределы.

3. Класс точности. По ГОСТ-1983 для ТН установлены классы точности: **0,2; 0,5; 1; 3.**

ТН класса точности **3** и грубее используются в цепях релейной защиты.

Рассеяние магнитного потока и потери в сердечнике приводят к погрешности измерения

$$\Delta U\% = \frac{K_U U_2 - U_1}{U_1} 100.$$

Так же, как и в трансформаторах тока, вектор вторичного напряжения сдвинут относительно вектора первичного напряжения не точно на угол 180° . Это определяет угловую погрешность.

Погрешность зависит от конструкции магнитопровода, магнитной проницаемости стали и от $\cos\phi$ вторичной нагрузки.

В конструкции трансформаторов напряжения предусматривается компенсация погрешности по напряжению путем некоторого уменьшения числа витков первичной обмотки, а также компенсация угловой погрешности за счет специальных компенсирующих обмоток. Суммарное потребление обмоток измерительных приборов и реле, подключенных к вторичной обмотке трансформатора напряжения, не должно превышать номинальную мощность трансформатора напряжения, так как в противном случае это приведет к увеличению погрешностей.

2. Конструкции трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения до 35 кВ включительно предназначены для сетей с изолированной нейтралью.

Обозначение ТН:

Н – трансформатор напряжения;

О – однофазный;

Т – трехфазный;

С – с естественным воздушным охлаждением;

Л – с литой изоляцией;

Г – с газовой изоляцией;

М – с естественным масляным охлаждением;

Ф – в фарфоровой крышке;

З – с заземленным выводом первичной обмотки;

И – с обмоткой для контроля изоляции;

К – электромагнитный каскадный;

ДУ – с емкостным делителем;

В – водозащищенное исполнение;

А – антирезонансная конструкция;

П – с встроенным предохранителем;

Э – для установки на экскаватор;

К – в серии НОСК – для КРУ;

К – в серии НКФ – каскадный;

К – в серии НТМК – с компенсацией угловой погрешности.

В стандартах на трансформаторы конкретных типов в обозначении допускается применять дополнительные или исключать отдельные данные.

4.1 Сухие трансформаторы напряжения

Трансформаторы серии НОС и НОСК

Однофазный сухой измерительный трансформатор напряжения типа «НОС» предназначен для подключения к однофазным сетям электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации, общий вид трансформаторов показан на рисунке 7.2. Выпускаются ТН на напряжение **0,38; 0,5; 0,66; 3; 6 кВ**. Максимальная мощность **200–240 ВА**. Магнитопроводы из цельноштампованных Ш-образных или прямоугольных пластин. Обмотки слоевые, намотанные на каркас из электротехнического картона и пропитаны асфальтовым лаком. Заливаются битумной массой и не имеют панелей зажимов, концы обмоток выведены гибкими проводниками.



Рисунок 7.2 – Общий вид однофазных сухих измерительных трансформаторов напряжения типа «НОС»

Технические характеристики трансформатора «НОС»

Тип	Номинальные напряжения обмоток, В		Предельная мощность, ВА	Масса, кг
	ВН	НН		
НОС-0,5 УХЛ4	220, 660, 380, 500	100	160	6,3
НОС-0,5 О4				
НОС-3 У5	3000		250	13
НОС-3 Т5				
НОС-6 У5	6000	127–100	400	15
НОС-6 Т5				

Трансформаторы с литой изоляцией серии НОЛ и ЗНОЛ

Массовое применение нашли трансформаторы напряжения с литой изоляцией. Эти трансформаторы имеют небольшую массу, могут устанавливаться в любом положении, пожаробезопасны.

На рисунке 7.3 показан однофазный двухобмоточный трансформатор с незаземленными выводами типа НОЛ.08-6 на 6 кВ. Трансформатор предназначен для установки в комплектные распределительные устройства (КРУ) или закрытые распределительные устройства (ЗРУ) и служит для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электроустановках переменного тока частоты 50 и 60 Гц.

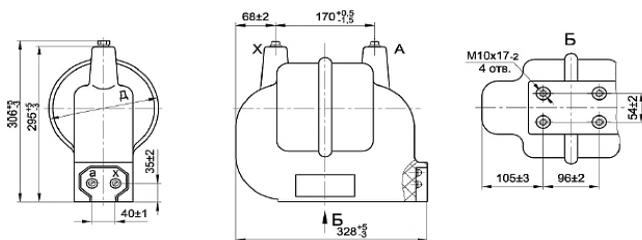


Рисунок 7.3 – Однофазный двухобмоточный трансформатор с незаземленными выводами типа НОЛ. 08-6 на 6 кВ

Трансформатор представляет собой литой блок, в который залиты обмотки и магнитопровод. Выводы первичной обмотки А, Х, выводы вторичной обмотки расположены на переднем торце трансформатора и закрыты крышкой. Трансформаторы серии НОЛ.08 предназначены для замены НОМ-6 и НОМ-10.

Трансформаторы напряжения ЗНОЛ(П)-ЭК-10 рассчитаны на широкое применение в комплектных распределительных устройствах внутренней и наружной установки, камерах КСО, токопроводах генераторного напряжения и напряжения собственных нужд электростанций и подстанций (рисунки 7.4, 7.5).



Рисунок 7.4 – Общий вид трансформатора напряжения типа ЗНОЛ(П)-ЭК-10

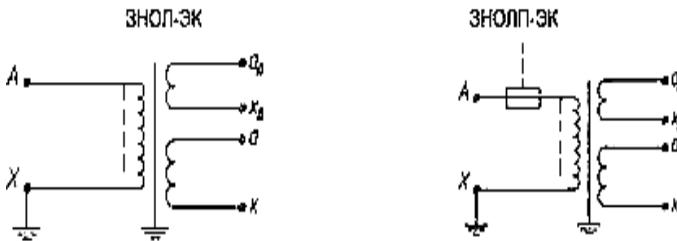


Рисунок 7.5 – принципиальные электрические схемы ЗНОЛ(П)-ЭК-10

Трансформаторы напряжения изготавливаются с защитным предохранительным устройством (ЗНОЛП) или без него (ЗНОЛ) в разных габаритах в зависимости от напряжения.

Трансформаторы напряжения ЗНОЛ и ЗНОЛП могут поставляться собранными в группу (рисунок 7.6). Группа в этом случае предназначена для применения в шкафах КРУ, камерах КСО и других конструкциях закрытых распределительных устройств.

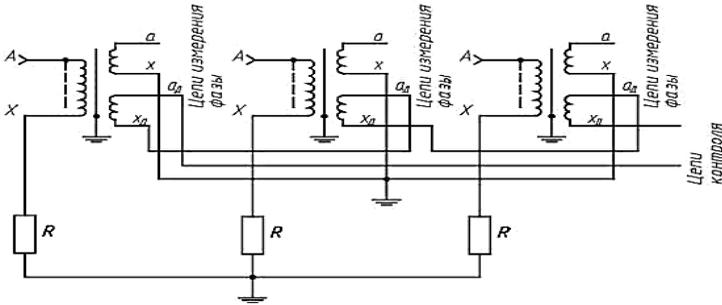
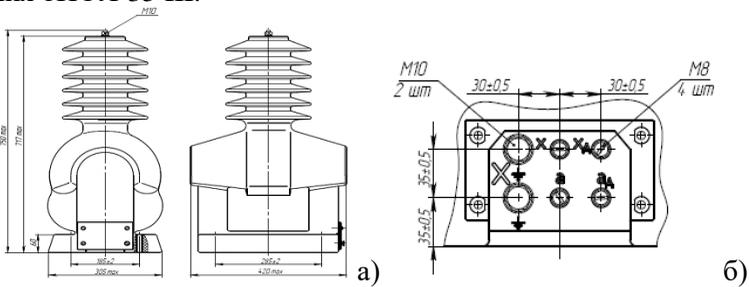


Рисунок 7.6 – принципиальная электрическая схема трансформаторов напряжения 3хЗНОЛ(П)-ЭК-10 трехфазной антирезонансной группы

На рисунке 7.7 показан заземляемый трансформатор напряжения ЗНОЛ-35 III.



Принципиальные электрические схемы трансформаторов

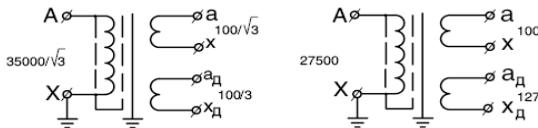


Рисунок 7.7 – общий вид трансформатора напряжения ЗНОЛ-35 III (а), клеммник и принципиальные электрические схемы (б)

4.2 Маслонаполненные ТН

На напряжение 6–1150 кВ применяются трансформаторы напряжения с масляной изоляцией в закрытых и открытых распределительных устройствах. В этих трансформаторах обмотки и магнитопровод залиты маслом, которое служит для изоляции и охлаждения.

ТН серии НОМ

На рисунке 7.8 представлен общий вид трансформаторов напряжения типа НОМ. Трансформаторы напряжения однофазные масляные типа НОМ являются масштабными преобразовательными. Применяют ТН серии НОМ для:

- выработки сигнала измерительной информации;
- питания электрических измерительных приборов;
- цепей защиты и сигнализации в сетях с изолированной нейтралью;
- преобразования электрического напряжения переменного тока с целью дальнейшего измерения;
- подачи на приборы защиты и сигнализации в цепях автоматики изолированной нейтралью.

Естественная циркуляция масла является системой охлаждения трансформатора.



Рисунок 7.8 – Общий вид трансформаторов напряжения типа НОМ

Трансформаторы типа НОМ (рисунок 7.9) состоят из магнитопровода, выполненного из пластин электротехнической стали, обмоток с соответствующей изоляцией, размещенных в баке, заполненном трансформаторным маслом. Вводы первичных и вторичных обмоток трансформаторов расположены на крышке бака.

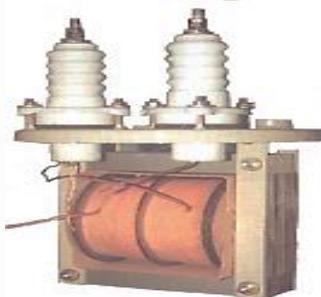


Рисунок 7.9 – Трансформаторы типа НОМ

Трансформаторы напряжения НОМ-35 имеют маслорасширитель, который расположен на высоковольтных вводах первичной обмотки. У трансформаторов остальных типов маслорасширители отсутствуют, уровень масла у них предусмотрен ниже крышки бака на 15–20 мм. Следует отличать однофазные двухобмоточные трансформаторы НОМ-6, НОМ-10, НОМ-15, НОМ-35 от однофазных трехобмоточных ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-35 (рисунок 7.10).



Рисунок 7.10 – Трансформаторы напряжения однофазные масляные: а – типа НОМ-35; б – типа ЗНОМ-35; 1 – ввод высокого напряжения; 2 – коробка вводов НН; 3 – бак

Схема соединения обмоток первых показана на рисунке 7.10, *а*. Такие трансформаторы имеют два ввода ВН и два ввода НН. Их можно соединить по схеме открытого треугольника, звезды и треугольника.

У трансформатора второго типа (рисунок 7.10, *б*) один конец обмотки ВН заземлен, единственный ввод ВН расположен на крышке, а вводы НН – на боковой стенке бака. Обмотка ВН рассчитана на фазное напряжение, основная обмотка НН – на $100/\sqrt{3}$ В, дополнительная обмотка – на $100/3$ В. Такие трансформаторы называются заземляемыми и соединяются по схеме, показанной на рисунке 7.11.

Трансформаторы типов ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-24 устанавливаются в комплектных шинопроводах мощных генераторов. Для уменьшения потерь от намагничивания их баки выполняются из немагнитной стали.

На рисунке 7.12 показана установка такого трансформатора в комплектном токопроводе. Трансформатор с помощью ножевого контакта 3, расположенного на вводе ВН, присоединяется к пружинящим контактам, закрепленным на токопроводе 1, закрытом экраном 2.

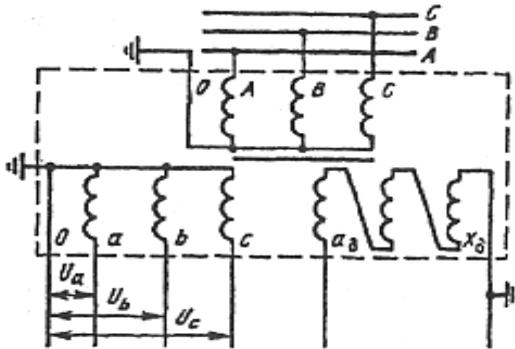


Рисунок 7.11 – Схемы соединения обмоток трансформаторов напряжения ЗНОМ

К патрубку 5 со смотровыми люками 4 болтами 6 прикреплена крышка трансформаторов. Таким образом, ввод ВН

трансформатора находится в закрытом отростке экрана токопровода. Зажимы обмоток НН выведены на боковую стенку бака и закрываются отдельным кожухом.

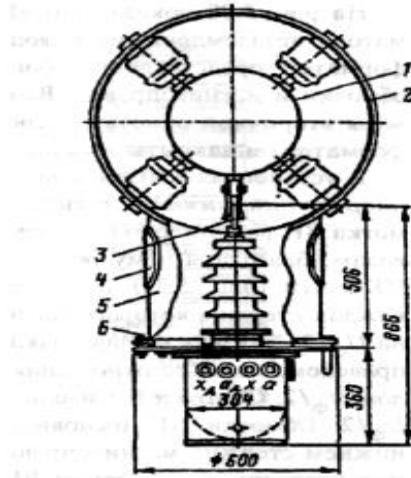


Рисунок 7.12 – Установка трансформатора напряжения ЗНОМ-20 в комплектном токопроводе

Трехфазные масляные трансформаторы типа НТМИ

Трехфазные трехобмоточные трансформаторы напряжения с естественным масляным охлаждением с предельной мощностью 400, 630 и 1000 В·А, номинальным напряжением 3000, 6000 и 10000 В применяются в электрических установках с номинальной частотой 50 Гц. Предназначены для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электрических сетях с изолированной нейтралью.

Особенностью конструкции является то, что трансформатор выполнен как группа однофазных трансформаторов, соединенных в трехфазную схему в одном корпусе. Это повышает его ремонтпригодность и позволяет устойчиво работать в сетях с феррорезонансными явлениями. В трансформаторах исключены бумажные изоляционные материалы, что улучшает его нагревостойкость.

Трехфазные масляные трансформаторы типа НТМИ имеют пятистержневой магнитопровод и три обмотки, соединенные по схеме, показанной на рисунке 7.13.

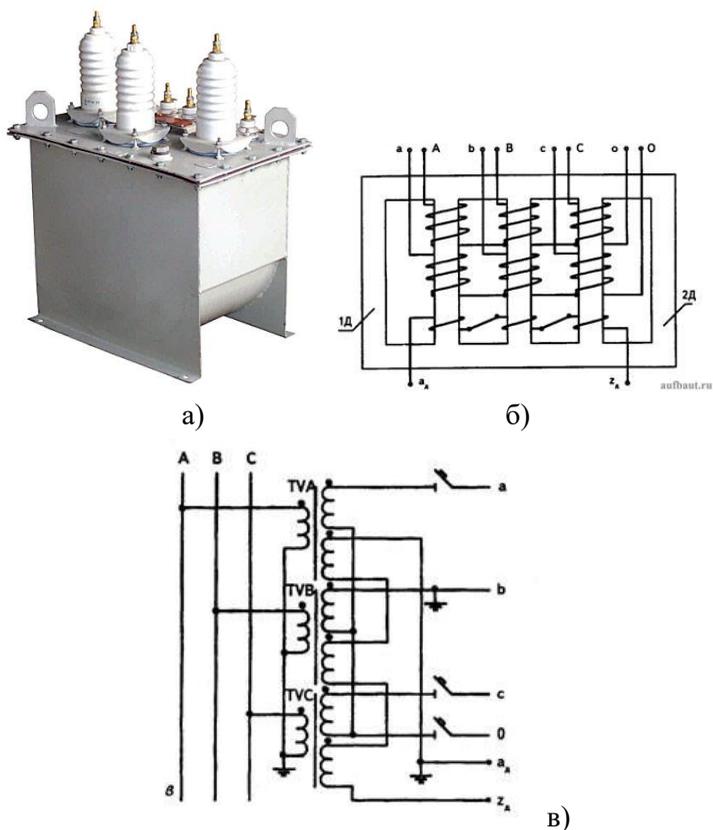


Рисунок 7.13 – Общий вид трансформатора НТМИ – 10 (а); пятистержневой магнитопровод (б); схема соединения обмоток (в)

В этой схеме первичные обмотки W_1 соединены в звезду; вторичные W_2 – также в звезду. Имеются дополнительные вторичные обмотки $W_{Д}$, соединенные в разомкнутый треугольник. Последние обмотки представляют собой **фильтр напряжения нулевой последовательности**, т. е. напряжение на их зажимах $a_{Д}$

и z_d равно утроенному вторичному напряжению нулевой последовательности

$$U_d = K_U * 3 * U_0,$$

где $K_U = \frac{U_{2ном}}{U_{1ном}}$ – коэффициент трансформации ТН (для дополнительных обмоток); U_0 – напряжение нулевой последовательности на стороне ВН.

Коэффициент трансформации для дополнительных обмоток подбирается таким образом, чтобы при замыкании фазы на землю на стороне ВН напряжение на выводах a и z составляло 100 В. Нейтраль первичных обмоток трехфазного ТН серии НТМИ заземлена, чтобы можно было измерить фазные напряжения, а самое главное, чтобы обнаруживать замыкания одной фазы на землю. Чтобы такой ТН мог длительно работать при замыкании одной фазы в сети ВН на землю, его магнитопровод выполнен пятистержневым, как это показано на рисунке 7.13, в.

Такие трансформаторы предназначены для присоединения приборов контроля изоляции и *в настоящее время уже не производятся*. Основным недостатком трансформаторов напряжения НТМИ в сетях 6–35 кВ является нарушение их нормальной работы или повреждения из-за возникновения феррорезонансных процессов.

В последние годы появляется всё больше различных конструкций антирезонансных ТН для сетей 6–35 кВ. В частности, можно выделить ТН следующих типов:

- НАМИ, выпускаемые на Раменском электротехническом заводе «Энергия»;
- НАМИТ, выпускаемые ОАО «Самарский трансформатор»;
- ЗНОЛ.06, ЗНОЛП, выпускаемые ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока»;
- НАЛИ-СЭЦ, выпускаемые ООО «Русский трансформатор».

Трансформаторы напряжения масляные НАМИ

Одной из наиболее существенных проблем, связанных с эксплуатацией электромагнитных трансформаторов напряжения, является повреждение или нарушение их нормальной работы вследствие возникновения разного рода феррорезонансных процессов.

Трансформатор напряжения (трехфазный антирезонансный) НАМИ-10-95 УХЛ2

Общий вид и принципиальная схема соединения обмоток ТН типа НАМИ-10-95 приведена на рисунке 7.14. Этот трансформатор напряжения имеет трехстержневой магнитопровод в отличие от традиционных заземляемых ТН 6–35 кВ. Для измерения $3U_0$ используется дополнительный трансформатор в нейтральной точке соединения обмоток ВН, так называемый трансформатор нулевой последовательности (ТНП). ТН также содержит замкнутую накоротку дополнительную компенсационную обмотку.



Рисунок 7.14 – Общий вид и принципиальная схема соединения обмоток ТН типа НАМИ-10-95

Антирезонансные свойства ТН обусловлены трехстержневой конструкцией магнитопровода, при которой магнитный поток нулевой последовательности вынужден замыкаться по воздуху и корпусу ТН. При этом индуктивность нулевой последовательности ТН очень мала и практически линейна. Поскольку нелинейные элементы в контуре нулевой последовательности отсут-

ствуют, в этом контуре невозможно существование устойчивого колебательного процесса (т. е. феррорезонанса).

Трансформатор напряжения НАМИТ-10-2-10 (6;6.3кВ)

Трансформатор напряжения НАМИТ-10 трехфазный, антирезонансный, масляный (рисунок 7.15) представляет собой соединённые конструктивно в единое целое два трансформатора напряжения:

- **трансформатор напряжения контроля изоляции (ТНКИ)**, трёхобмоточный: первичные и основные вторичные обмотки соединены по схеме «звезда», дополнительные вторичные – разомкнутый треугольник. Трансформатор предназначен для питания цепей измерительных приборов учёта электрической энергии, для цепей защиты и контроля изоляции.
- **трансформатор нулевой последовательности (ТНП)**, двухобмоточный, первичная обмотка которого включена в нейтраль ТНКИ и заземлена, вторичная обмотка выведена на крышку трансформатора. ТНП предназначен для защиты трансформатора ТНКИ от повреждения при однофазных замыканиях и ферро резонансе.

Трансформаторы устанавливаются в шкафах КРУ(Н) и в закрытых РУ промышленных предприятий.



Рисунок 7.15 – Общий вид и принципиальная схема соединения обмоток ТН типа НАМИТ-10-2-10

Трансформатор напряжения (трехфазный антирезонансный) НАМИ-35 УХЛ1

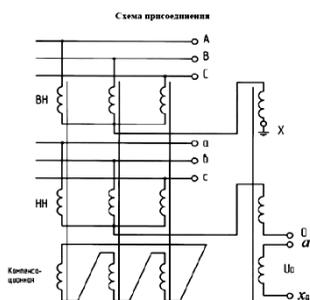


Рисунок 7.16 – Общий вид и принципиальная схема соединения обмоток ТН типа НАМИ-35

ТН типа НАЛИ-СЭЩ-6(10)

Антирезонансная группа ТН типа НАЛИ-СЭЩ была разработана на основе уже существующей конструкции антирезонансного ТН типа НАМИТ. Принципиальная схема соединения обмоток НАЛИ-СЭЩ приведена на рисунке 7.17. Антирезонансные свойства как НАМИТ, так и НАЛИ, достигаются путем включения дополнительного трансформатора (ТНП) в нейтраль обмотки ВН. При этом в нормальном режиме работы вторичная обмотка ТНП замкнута, и он имеет относительно небольшое реактивное сопротивление. При появлении напряжения $3U_0$ срабатывают реле KV_0 и KV_ϕ , вторичная обмотка ТНП размыкается контактами KL , и его реактивное сопротивление возрастает до 300 кОм. Очевидно, что при эксплуатации ТН этого типа требуется наличие соответствующих цепей релейной защиты. ТН типа НАЛИ-СЭЩ – это трехфазная группа однофазных ТН типа НОЛ-СЭЩ с литой изоляцией. НОЛ имеют два вывода обмотки ВН, изолированных на полное напряжение (в отличие от ЗНОЛ), что позволяет установить в нейтрали обмотки ВН дополнительный трансформатор. Применение НАЛИ-СЭЩ позволяет полностью предотвратить феррорезонансные процессы при однократном появлении земли

или отключении однофазного замыкания на землю (ОЗЗ). Однако при горении в сети перемежающейся дуги в обмотках ВН НАЛИ могут возникнуть недопустимые токи. Это связано с тем, что в отличие от ТН типа НАМИ индуктивность ТНП и нелинейная индуктивность нулевой последовательности НАЛИ – насыщающиеся и, как следствие, могут существенно снижаться с увеличением тока нулевой последовательности.

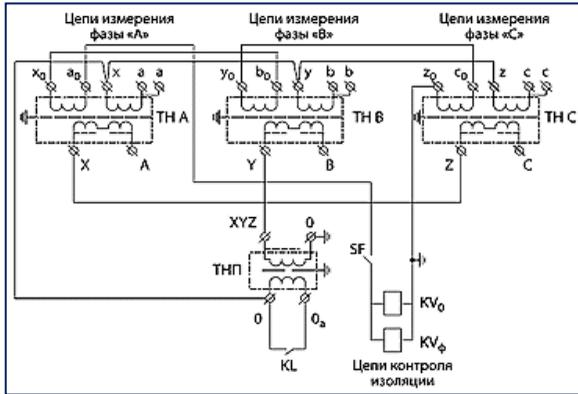


Рисунок 7.17 – Схема соединения обмоток трансформатора НАЛИ-СЭЩ-10

Трансформаторы напряжения каскадного типа НКФ

В установках 110 кВ и выше применяются трансформаторы напряжения каскадного типа НКФ.

В этих трансформаторах обмотка ВН равномерно распределяется по нескольким магнитопроводам благодаря чему облегчается ее изоляция. Трансформатор НКФ-110 (рисунок 7.18) имеет двухстержневой магнитопровод, на каждом стержне которого расположена обмотка ВН, рассчитанная на $U_{\phi}/2$. Так как общая точка обмотки ВН соединена с магнитопроводом, то он по отношению к земле находится под потенциалом $U_{\phi}/2$. Обмотки ВН изолируются от магнитопровода также на $U_{\phi}/2$. Обмотки НН (основная и дополнительная) намотаны на нижнем стержне магнитопровода. Для равномерного распределения нагрузки по обмоткам ВН служит обмотка связи П. Такой блок, состоящий из

магнитопровода и обмоток, помещается в фарфоровую рубашку и заливается маслом.

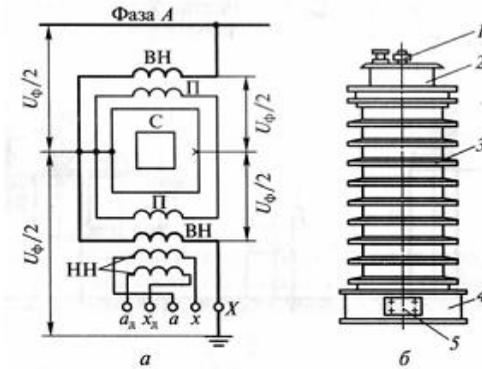


Рисунок 7.18 – Трансформатор напряжения НКФ-110:
 а – схема; б – конструкция. 1 – ввод высокого напряжения;
 2 – маслорасширитель; 3 – фарфоровая рубашка; 4 – основание;
 5 – коробка вводов НН

На рисунке 7.19 приведена принципиальная схема соединения обмоток каскадного трансформатора НКФ-220-58У1. Трансформаторы напряжения на 220 кВ состоят из двух блоков, установленных один над другим, т. е. имеют два магнитопровода и четыре ступени каскадной обмотки ВН с изоляцией на $U_{\phi}/4$. Каждый блок состоит из стержневого магнитопровода с двумя стержнями. Первичная обмотка (ВН) равномерно распределена по всем стержням магнитопроводов. Вторичные обмотки (НН), основные и дополнительная, расположены на нижнем стержне нижнего магнитопровода, имеющего наименьший потенциал по отношению к земле (один конец первичной обмотки заземляется). На остальных стержнях размещены также промежуточные – выравнивающая и связующая обмотки, необходимые для равномерного распределения нагрузки вторичных обмоток по всем стержням.

Трансформаторы напряжения НКФ-330 и НКФ-500, соответственно, имеют три и четыре блока, т. е. шесть и восемь ступеней обмотки ВН. Чем больше каскадов обмотки, тем больше их ак-

тивное и реактивное сопротивление, возрастают погрешности, и поэтому трансформаторы НКФ-330, НКФ-500 выпускаются только в классах точности 1 и 3.

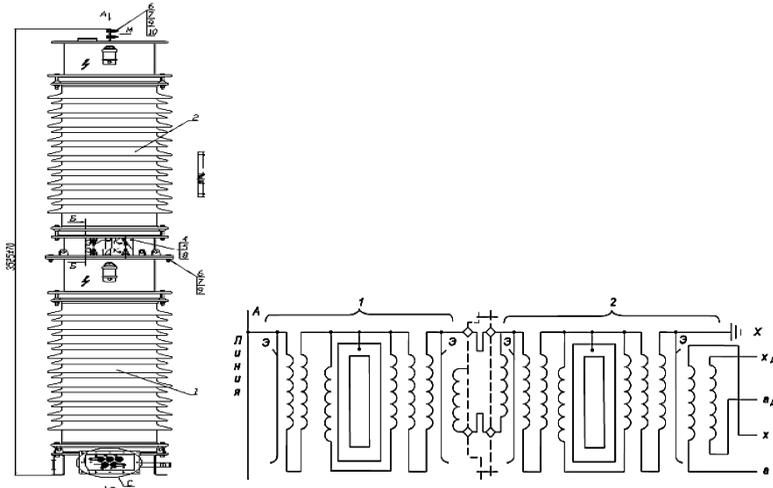


Рисунок 7.19 – Общий вид и принципиальная схема соединения обмоток каскадного трансформатора НКФ-220-58У1: 1 – верхний блок трансформатора; 2 – нижний блок трансформатора. Э – электростатический экран; А, X – выводы обмотки ВН; а, x – выводы обмотки НН (основной); а_д, x_д – выводы обмотки НН (дополнительной)

4.3 Трансформаторы напряжения газонаполненные заземляемые

Трансформаторы напряжения серии «ЗНОГ» заземляемые однофазные с газовой изоляцией предназначены для применения в комплексных распределительных устройствах с элегазовой изоляцией классов напряжения 110, 220, 330 или 500 кВ для питания электроизмерительных приборов, цепей защиты и сигнализации, а также в качестве испытательных трансформаторов при питании со стороны вторичных обмоток.

Трансформатор напряжения ЗНОГ-М состоит из обмоток (первичной и двух вторичных – основной и дополнительной),

магнитопровода, кожуха, ввода «элегаз – элегаз» и ряда экранов. Трансформатор заполняется техническим элегазом, служащим изолирующей и теплоотводящей средой, через сильфонный вентиль. Первичная обмотка многослойная цилиндрическая, выполнена из тонкого круглого провода. Межслойная изоляция обмотки – из пленки. С помощью специальных экранов и соответствующего расположения витков обмотки по слоям достигается достаточно равномерное распределение напряжения грозовых импульсов вдоль обмотки, а также создается слабонеоднородное поле снаружи обмотки.

Магнитопровод трансформатора бронестержневого типа, шихтованный из отдельных пластин электротехнической стали толщиной 0,35 мм. Кожух трансформатора стальной, цилиндрической формы с эллиптическим днищем, со сварным соединением частей. Высокое напряжение подается через ввод «элегаз – элегаз», к которому присоединена первичная обмотка с выводом А. Низкое напряжение отводится с выводов, к которым присоединены вторичные обмотки (рисунок 7.20).

Технические характеристики ЗНОГ-М

Характеристики	Значения			
	ЗНОГ-М-110-1 УХЛ4, ЗНОГ- М-110 О4	ЗНОГ-М-220-1 УХЛ4, ЗНОГ- М-110 О4	ЗНОГ-330 УХЛ4	ЗНОГ- 500 УХЛ4
Номинальное первичное напряжение, В	11 0000/√3	220000/√3	330000√3	50000√3
Номинальное вторичное напряжение, В: - основной обмотки - дополнительной обмотки	100/√3 100	100/√3 100	100/√3 100	100/√3 100
Номинальная частота тока, Гц	50 или 60	50 или 60	50 или 60	50 или 60
Номинальная вторичная нагрузка основной обмотки с коэффициентом мощности cosφ = 0,8, В·А, класса точности: - 0,2 - 0,5 - 1,0	150 400 600	150 400 600	150 400 600	150 400 600
Номинальная вторичная нагрузка дополнительной обмотки с cosφ = 0,8 класса точности 3,0, В·А	1200	1200	1200	1200
Предельная мощность, В·А; - трансформатора - вторичной дополнительной обмотки	3200 2000	3200 2000	3200 2000	3200 2000

Структура условного обозначения ЗНОГ-М-[*]-[**] [*][*]:
 З – заземляемый;
 Н – трансформатор напряжения;
 О – однофазный;
 Г – газонаполненный;
 М – модернизированный;
 [*] – класс напряжения первичной обмотки, кВ;
 [**] – конструктивное исполнение трансформаторов – 1 (на класс напряжения 110 и 220 кВ по подсоединению к вводу);
 [*][*] – климатическое исполнение (УХЛ, О) и категория размещения (4).

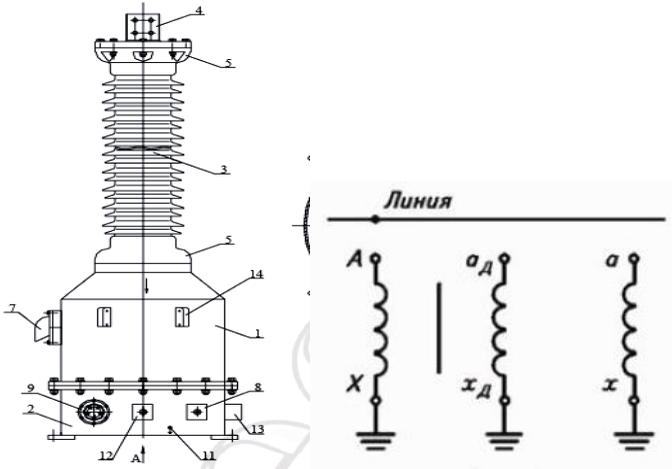


Рисунок 7.20 – Устройство и схема соединения обмоток трансформатора ЗНОГ-М-110: 1 – крышка; 2 – днище; 3 – ввод “воздух – элегаз”; 4 – контакт; 5 – верхний фланец ввода; 6 – нижний присоединительный фланец ввода; 7 – выхлоп с защитной мембраной; 8 – клапан для заполнения и контроля элегаза; 9 – панель выводов основной и дополнительной вторичных обмоток; 10 – панель выводов основной вторичной обмотки для коммерческого учета; 11 – болт заземления; 12 – патрон-поглотитель; 13 – клапан для подключения сигнализатора давления элегаза; 14 – устройство строповки

4.4 Трансформаторы напряжения емкостные НДЕ

Применение емкостных трансформаторов типа НДЕ-М вместо индуктивных трансформаторов типа НКФ позволяет решить проблему устойчивости измерительных трансформаторов к феррорезонансным явлениям в энергосистемах.

Однофазные масляные емкостные трансформаторы напряжения серии «НДЕ-М» наружной установки предназначены для выработки сигнала измерительной информации для измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации, а также для обеспечения высокочастотной связи в электрических системах напряжением от 110 до 750 кВ.

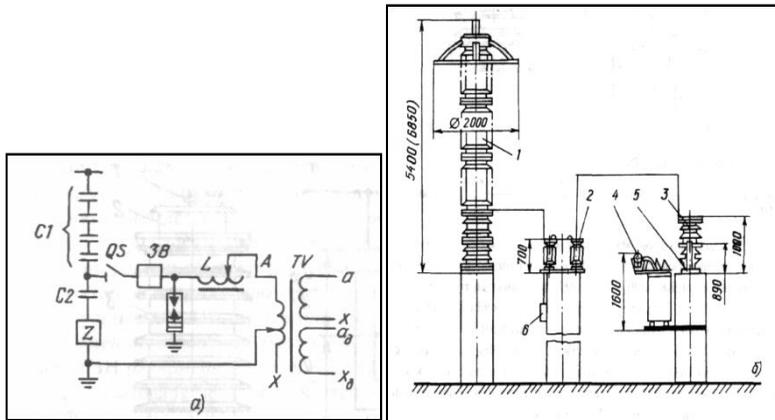


Рисунок 7.21 – Трансформатор напряжения НДЕ: а) схема;
 б) установка НДЕ-500-72: 1 – делитель напряжения;
 2 – разъединитель; 3 – заградитель высокочастотный;
 4 – трансформатор напряжения и дроссель;
 5 – разрядник; 6 – привод

Чем выше напряжение, тем сложнее конструкция трансформаторов напряжения, поэтому в установках 500 кВ и выше применяются трансформаторные устройства с емкостным отбором мощности, присоединенные к конденсаторам высокочастотной связи С1 с помощью конденсатора отбора мощности С2 (рисунок 7.21). Напряжение, снимаемое с С2 (10–

15 кВ), подается на трансформатор TV, имеющий две вторичные обмотки, которые соединяются по такой же схеме, как и у трансформаторов НКФ или ЗНОМ. Конструкция трансформатора показана на рисунке 7.22.

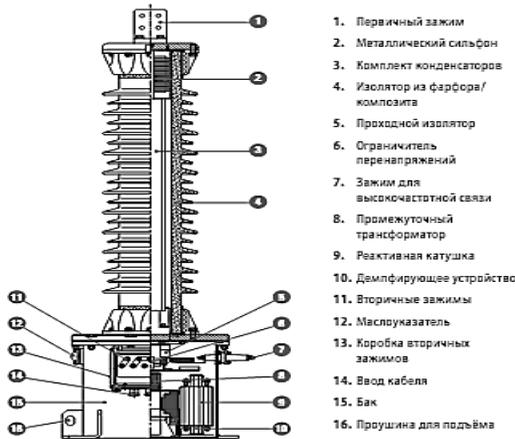


Рисунок 7.22 – Конструкция трансформатора напряжения НДЕ

4.5 Комбинированные измерительные трансформаторы

Комбинированный измерительный трансформатор – это объединенные в одном корпусе трансформатор тока и индуктивный трансформатор напряжения. Применение такой конструкции позволяет оптимизировать использование пространства на подстанциях, снизить затраты на изготовление фундамента и время на проведение монтажных работ.

Так же, как и трансформаторы тока и трансформаторы напряжения по отдельности, комбинированные измерительные трансформаторы изготавливаются с бумажно-масляной или элегазовой изоляцией. Основные характеристики комбинированных измерительных трансформаторов аналогичны характеристикам трансформаторов тока и напряжения.

На рисунке 7.23 показан комбинированный трансформатор типа VAU.

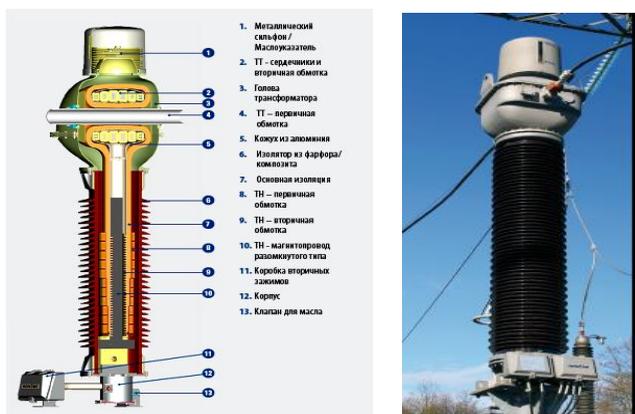


Рисунок 7.23 – Комбинированный измерительный трансформатор типа VAU

Трансформатор тока

Активная часть трансформатора тока, размещенная в голове комбинированного трансформатора, состоит из вторичных торoidalных сердечников, проходящей через них первичной обмотки из алюминия или меди и бумажной изоляции. Трансформатор такой конструкции имеет первичную обмотку минимальной длины, прямо охлаждаемой маслом в голове трансформатора, и в отличие от других исполнений, изолированной бумагой является только его часть низкого напряжения.

Другим преимуществом этой конструкции является предупреждение локального насыщения, а также и обеспечение минимальных величин потерь и реактивного сопротивления. Разные коэффициенты трансформации обеспечиваются через переключение либо на первичной (ВН) и/или вторичной (НН) обмотке.

В трансформатор можно поместить несколько независимых сердечников различных размеров и материалов. Сердечники изготавливают, в зависимости от требуемого класса точности, из холодно-катанной текстурированной магнитной стали, мягких магнитных материалов и нанокристаллических сплавов. Сердечники и вторичные обмотки расположены внутри защитного корпуса из литого алюминия, сконструированного для безопасного

отведения тока короткого замыкания на землю, без опасности от возникновения дуги внутри изолятора.

Трансформатор напряжения

Магнитопровод стержневого типа выполнен из листов электротехнической стали. Конструкция разомкнутого магнитопровода обеспечивает линейные характеристики намагничивания трансформатора, чем устраняется возможность феррорезонанса внутри сети. Вторичные обмотки, из высококачественного эмалированного медного провода, наматываются прямо вокруг магнитопровода и обеспечивают равномерное распределение магнитного поля по высоте магнитопровода. Кроме того, большое сечение обмоток делает трансформатор стойким к коротким замыканиям, что делает его ещё более взрывобезопасным.

Одним из главных преимуществ конструкции с разомкнутым магнитопроводом является то, что первичная обмотка состоит из множества независимых и изолированных секций, вертикально уложенных по высоте трансформатора. Это обеспечивает контролируемое распределение диэлектрических напряжений внутренней и внешней изоляции. То, что первичная обмотка состоит из независимых и изолированных секций, делает первичную обмотку устойчивой к дефектам, возникшим внутри ее витков. В маловероятном случае междувиткового дефекта или дефекта между слоями первичной обмотки, дефект остается, локализованным внутри одной секции, не распространяясь на другие секции и не охватывая первичную обмотку целиком. Это свойство делает комбинированные трансформаторы VAU взрывобезопасными.

Электрическая схема трансформатора

Комбинированные трансформаторы тока и напряжения “Кончар” производятся согласно всем действующим мировым стандартам ГОСТ, МЭК и др. Качество изделий обеспечивает проведение сертифицированной системы качества – ISO 9001, охватывающей все аспекты разработки, производства и испытаний. Končar – Instrument transformers Inc. имеет

сертификаты ISO 14001 и OHSAS 18001, удостоверяющие соблюдение стандартов защиты окружающей среды и охраны труда (рисунок 7.24).

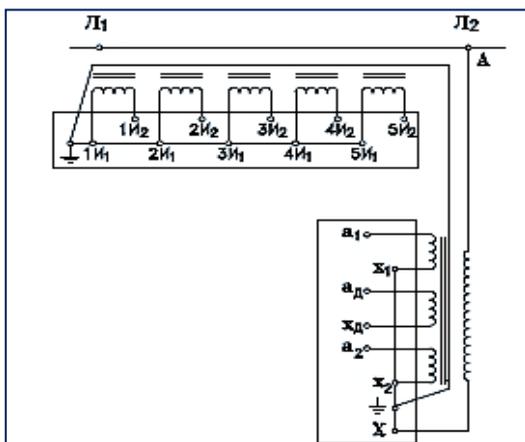


Рисунок 7.24 – Электрическая схема трансформатора типа VAU

Примечание.

Первая обмотка для измерения может иметь отпайку на половине обмотки или номинальный коэффициент трансформации может отличаться от коэффициента трансформации остальных обмоток.

При желании заказчика возможно изготовление трансформаторов тока и с другими параметрами вторичных обмоток. Нужно только желаемые характеристики вписать в таблички с техническими данными.

Комбинированные измерительные оптические трансформаторы тока и напряжения

Области применения:

1. Коммерческий учёт электроэнергии.
2. Контроль качества электроэнергии.
3. Релейная защита.

Основные преимущества перед трансформаторами, применяемыми в энергетике в настоящее время:

- высокая помехозащищенность вторичного оборудования от внешних электромагнитных возмущений;
- полная гальваническая развязка вторичных цепей с высоким напряжением;
- отсутствие феррорезонанса сети и насыщения трансформатора;
- использование полимерных или фарфоровых изоляторов;
- взрывопожаробезопасность, снижение затрат на эксплуатационное обслуживание по сравнению с элегазовыми и маслонаполненными изоляторами;
- высокая точность измерений в широком диапазоне токов.

Принцип действия оптического трансформатора тока основан на преобразовании магнитного поля высоковольтной линии в изменение фазы света, идущего по оптическому волокну вокруг линии. Изменение фазы при этом линейно зависит от силы электрического тока, протекающего в линии. Переданный по оптоволокну, оптический сигнал преобразуется в электрический – аналоговый или цифровой сигнал.

Измерительный оптический трансформатор тока (рисунок 7.25).

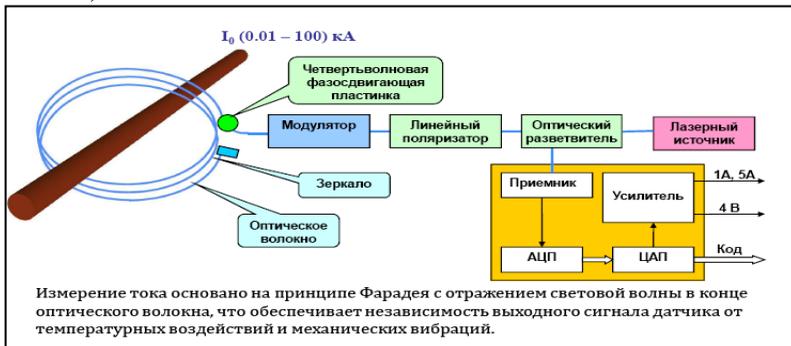


Рисунок 7.25 – Функциональная схема оптического трансформатора тока

Оптический измерительный датчик напряжения (рисунок. 7.26)

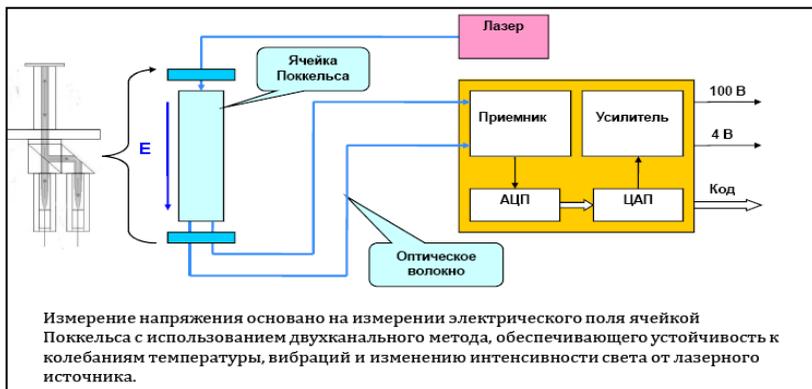


Рисунок 7.26 – Функциональная схема оптического трансформатора напряжения

Оптический трансформатор тока и напряжения NXVCT (рисунки 7.27, 7.28) объединяет достоинства оптических трансформаторов напряжения и тока в одном изделии, в диапазоне измеряемых напряжений от 115 кВ до 550 кВ.



Рисунок 7.27 – Комбинированный трансформатор NXVCT

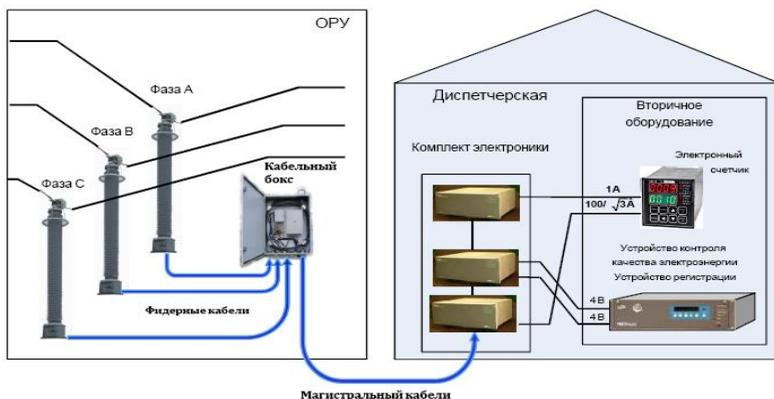


Рисунок 7.28 – Схема подключения оптических трансформаторов

Комбинированный трансформатор КИЛ-35

Трансформатор КИЛ-35 является комбинированным опорным трансформатором, состоящим из трансформатора тока и трансформатора напряжения в одной оболочке (рисунок 7.29). Предназначен для передачи сигнала измерительной информации приборам измерения, защиты, сигнализации и управления в электрических цепях переменного тока 50 и 60 Гц класс напряжения 35 кВ.



Рисунок 7.29 – Трансформатор КИЛ-35

Содержание отчета

1. Назначение измерительных трансформаторов напряжения.
2. Классификация измерительных трансформаторов напряжения.
3. Конструкции измерительных трансформаторов напряжения, маркировка трансформаторов напряжения. Каковы особенности каскадных ТН?
4. От чего зависит класс точности ТН? На какие классы точности выпускаются ТН?
5. Область применения измерительных трансформаторов напряжения разных типов.
6. Достоинства комбинированных измерительных трансформаторов.
7. Выбор измерительных трансформаторов напряжения.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Что такое измерительные трансформаторы напряжения? Для чего они предназначены?
2. Из каких основных элементов состоят ТН?
3. Как различаются конструкции ТН с точки зрения исполнения их изоляции?
4. Чем отличаются ТН типа ЗНОЛ (ЗНОМ) от трансформаторов типа НОЛ (НОМ)? Каковы особенности НТМИ и НТМК?
5. Каковы особенности каскадных ТН? Для чего их используют?
6. Какова особенность трансформаторов НДЕ? Для чего их используют?
7. Что такое номинальная нагрузка ТН?
8. Что такое погрешность по напряжению? Что такое угловая погрешность?
9. От чего зависят погрешности ТН? Что делают для снижения погрешностей?
10. Для измерения каких параметров электрической энергии используют ТН?
11. Каковы схемы включения однофазных и трехфазных ТН в трехфазной сети?

12. Почему вторичные обмотки ТН обязательно должны быть заземлены?

13. Почему трехфазные ТН, предназначенные для контроля изоляции, изготавливаются пятистержневыми?

14. Каковы особенности измерения при включении вторичных обмоток ТН в “разомкнутый треугольник” и при включении в “неполный треугольник”?

15. Каковы особенности измерительных устройств типа НДЕ? Чем они отличаются от обычных трансформаторов напряжения? Какова область их применения?

16. Каковы особенности комбинированных измерительных устройств? Чем они отличаются от обычных трансформаторов напряжения? Какова область их применения?

Лабораторная работа 8

5. КОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Цель работы: изучить построение распределительных устройств.

Порядок выполнения работы:

1. По методическим указаниям и литературным источникам изучить конструкции распределительных устройств.
2. Ответить на контрольные вопросы.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Открытые РУ (ОРУ)

Распределительное устройство, расположенное на открытом воздухе, называется открытым распределительным устройством.

Открытые РУ должны обеспечить надежность работы, безопасность и удобство обслуживания при минимальных затратах на сооружение, возможность расширения, максимальное применение крупноблочных узлов заводского изготовления.

Расстояние между токоведущими частями и от них до различных элементов ОРУ должно выбираться в соответствии с требованиями ПУЭ.

Все аппараты ОРУ обычно располагаются на невысоких основаниях (металлических или железобетонных). По территории ОРУ предусматриваются проезды для возможности механизации монтажа и ремонта оборудования.

Шины могут быть *гибкими из многопроволочных проводов* или *из жестких труб*. Гибкие шины крепятся с помощью подвесных изоляторов на порталах, а жесткие – с помощью опорных изоляторов на железобетонных или металлических стойках.

Применение жесткой ошиновки позволяет отказаться от порталов и уменьшить площадь ОРУ.

Достоинства ОРУ:

1. Меньший объем строительных работ, так как необходимы лишь подготовка площадки, устройство дорог, сооружение фундаментов и установка опор, в связи с чем уменьшаются время сооружения и стоимость ОРУ.

2. Легче выполняются расширение и реконструкция.

3. Все аппараты доступны для наблюдения.

Недостатки ОРУ:

1. ОРУ неудобны в обслуживании при низких температурах и в ненастье.

2. Занимают большую площадь, чем ЗРУ.

3. Аппараты на ОРУ подвержены запылению, загрязнению и колебаниям температуры.

Конструкции ОРУ разнообразны и зависят от схемы электрических соединений, типов выключателей, разъединителей и их взаимного расположения.

Открытые РУ с гибкой ошиновкой

Компоновка ОРУ 110-220 кВ для схемы с двумя рабочими и обходной системами шин показана на рисунке 8.1 и в таблице 8.1.

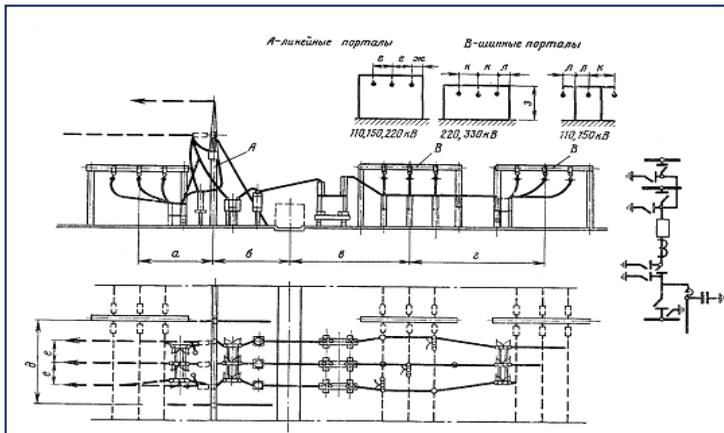


Рисунок 8.1 – Типовая компоновка ОРУ 110–220 кВ для схемы с двумя рабочими и обходной системами шин

Таблица 8.1 – Размеры ОРУ по схеме с двумя рабочими и обходной системами шин

Размеры по рисунку 6.16	Размеры, м, при напряжении, кВ		
	110	150	220
а	8	11,5	11,75
б	9	9,5	12
в	12,5	15	18,25
г	10,5	16	20,5
д	9	11,1	15,4
е	2,5	3	4
ж	2	2,55	3,7
з	7,5	8,0	11,0
к	3	4,35	4
л	1,5	2,13	3,25

На рисунке 8.2 приведены разрез, и план ячейки ОРУ 220 кВ по типовому проекту. В принятой компоновке все выключатели размещаются в один ряд около второй системы шин, что облегчает их обслуживание.

Такие ОРУ называются однорядными в отличие от других компоновок, где выключатели линий расположены в одном ряду, а выключатели трансформаторов – в другом. В типовых компоновках выключатель не изображается, показано лишь место его установки (узел выключателя и шинной опоры). При конкретном проектировании, когда тип выключателя выбран, разрабатывается его установочный чертеж.

Ошиновка ОРУ выполняется гибким сталеалюминиевым проводом. При большой нагрузке по току или по условиям проверки на коронированные в каждой фазе могут быть два-три провода. На рисунке 8.2 сборные шины и ошиновка ячеек выполнены сдвоенным проводом $2 \times \text{АС}$ с дистанционными распорками, ошиновка в сторону шинных аппаратов – одним проводом по фазе. Линейные и шинные порталы и все опоры под аппаратами – стандартные, железобетонные.

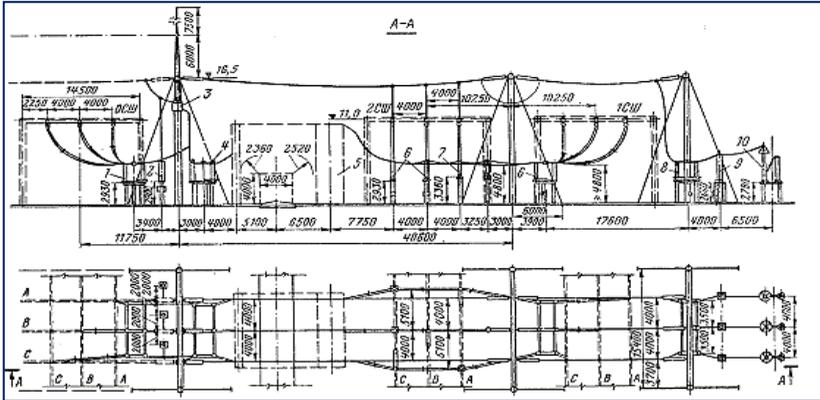


Рисунок 8.2 – ОРУ 220 кВ по схеме с двумя системами шин.
 Разрез и план ячейки линии и шинных аппаратов:
 1 – разъединитель обходной системы шин; 2 – конденсатор связи; 3 – заградитель; 4 – линейный разъединитель; 5 – узел установки выключателя и шинной опоры; 6 – шинные разъединители; 7 – опорные изоляторы; 8 – разъединитель шинных аппаратов; 9 – трансформатор напряжения; 10 – разрядник

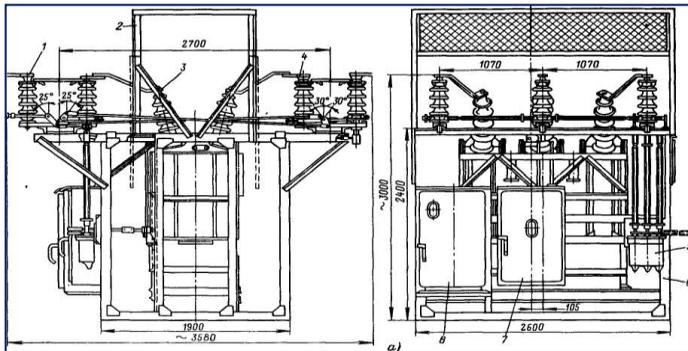


Рисунок 8.3 – Крупноблочное ОРУ-35. Блок выключателя:
 1 – разъединитель линейный; 2 – ремонтное ограждение;
 3 – выключатель; 4 – разъединитель шинный; 5 – привод разъединителей; 6 – металлоконструкция; 7 – шкаф привода выключателя; 8 – релейный шкаф

Большое количество порталных конструкций в рассмотренном типовом ОРУ вызывает необходимость производства работ на высоте, затрудняет и удорожает монтаж.

Открытое РУ 35 кВ по схеме с одной секционированной системой шин сооружается из блоков заводского изготовления (рисунок 8.3). В таком ОРУ всё оборудование смонтировано на заводе и готовыми блоками поставляется для монтажа. Сборные шины, к которым присоединяются блоки, могут быть гибкими или жёсткими. Разъединители в блоках расположены на небольшой высоте, что облегчает их ремонт. Для безопасности обслуживания блоки имеют сетчатое ограждение.

Открытые РУ с жесткой ошиновкой

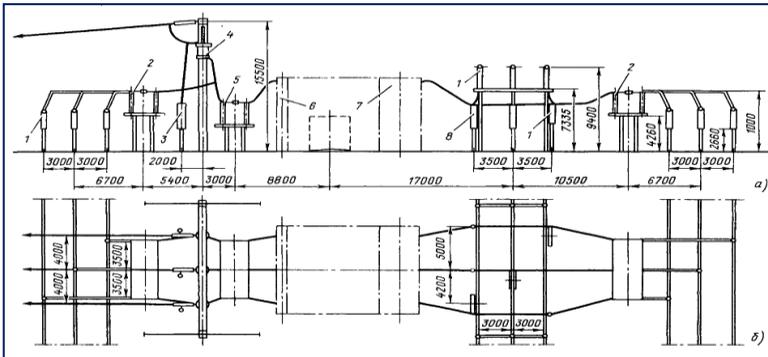


Рисунок 8.4 – Поперечный разрез (а) и план ячейки линии (б) ОРУ 220 кВ по схеме две рабочие и обходная системы шин с фарфоровыми опорными изоляторами: 1 – изоляционная опора; 2, 5, 8 – разъединители; 3 – конденсатор связи; 4 – высокочастотный заградитель; 6 – изоляционная опора (или трансформатор тока); 7 – выключатель

Применение жесткой ошиновки позволило уменьшить металлоемкость ОРУ примерно на 40 %, стоимость строительно-монтажных работ на 20 % и площадь ОРУ – на 8,5 %.

На рисунке 8.5 представлены план ОРУ 220 кВ по схеме две рабочие и обходная системы шин.

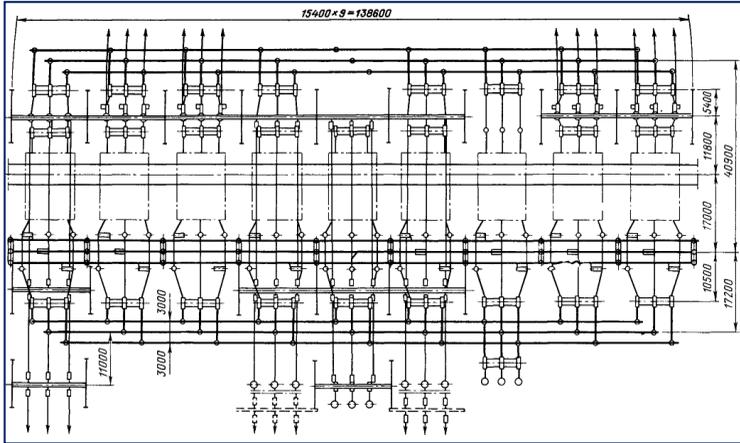


Рисунок 8.5 – План ОРУ 220 кВ по схеме две рабочие и обходная системы шин

На рисунке 8.6 показан план типовой открытой подстанции 110 кВ.

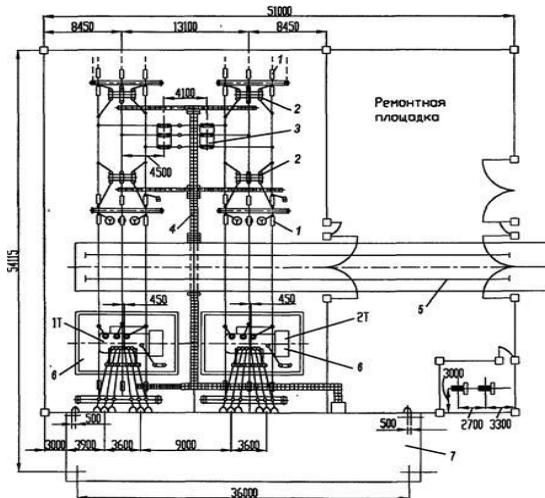


Рисунок 8.6 – Типовая открытая подстанция на напряжении 110/6-10 кВ: 1 – изоляторы; 2 – разъединители; 3 – мостик из двух разъединителей; 4 – кабельный канал; 5 – железная дорога

Закрытые распределительные устройства (ЗРУ)

Закрытые распределительные устройства (ЗРУ) сооружаются обычно при напряжении 3...20 кВ. При больших напряжениях, как правило, сооружаются *открытые* РУ. Однако при ограниченной площади под РУ или при повышенной загрязненности атмосферы, а также в районах Крайнего Севера могут применяться ЗРУ на напряжения 35...220 кВ.

Требования к конструкции ЗРУ

Распределительные устройства должны обеспечивать надежность работы электроустановки, что может быть выполнено только при правильном выборе и расстановке электрооборудования, при правильном подборе типа и конструкции РУ в соответствии с ПУЭ.

Обслуживание РУ должно быть удобным и безопасным.

Размещение оборудования в РУ должно обеспечивать хорошую обзореваемость, удобство ремонтных работ, полную безопасность при ремонтах и осмотрах. Для безопасности соблюдаются минимальные расстояния от токоведущих частей для различных элементов ЗРУ.

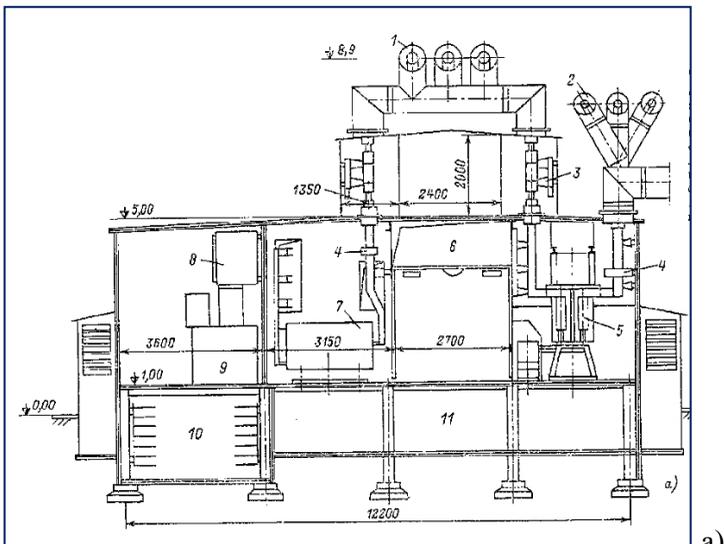
Неизолированные токоведущие части во избежание случайных прикосновений к ним должны быть помещены в камеры или ограждены.

Ограждение может быть сплошным или сетчатым.

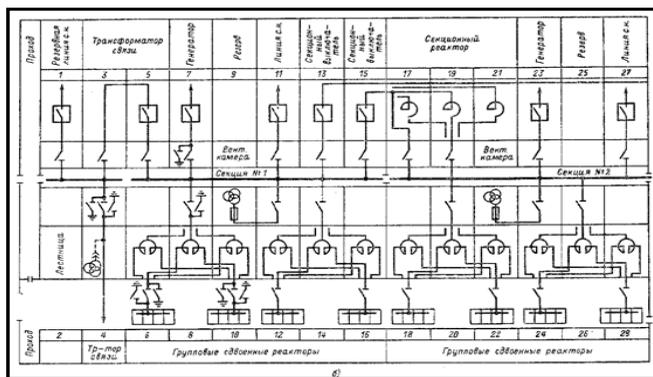
Из помещений ЗРУ предусматриваются выходы наружу или в помещения с несгораемыми стенами и перекрытиями ЗРУ должно обеспечивать пожарную безопасность.

Распределительное устройство должно быть экономичным.

Распределительное устройство, смонтированное из укрупненных узлов называется сборным. В сборном РУ здание сооружается в виде коробки без каких-либо перегородок, зального типа. Основу камер составляет стальной каркас, а перегородки между камерами выполняют из асбоцементных или гипсолитовых плит.



а)



б)

Рисунок 8.8 – Крупноблочное главное распределительное устройство 10 кВ (КГРУ) с одной системой шин:
 1 – токопровода сборных шин, 2 – токопровода секционной перемычки, 3 – шинный разъединитель, 4 – трансформатор тока; 5 – выключатель, 6 – вентиляционный короб,
 7 – реактор, 8 – шкаф разъединителя, 9 – КРУ отходящих линий, 10 – кабельный тоннель, 11 – вентиляционный подвал
 а) – разрез по цепям генератора и двоянного реактора;
 б) электрическая схема КГРУ

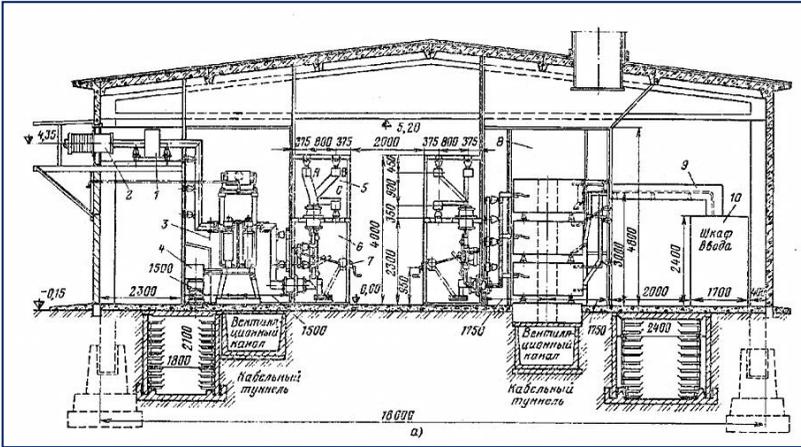


Рисунок 8.9 – ЗРУ 110 кВ зального типа. Разрез по ячейке воздушной линии: 1 – выключатель ВВВ-110, 2 – первая система шин, 3 – шинные разъединители, 4 – вторая система шин, 5 – обходная система шин, 6 – обходной разъединитель, 7 – конденсатор связи, 8 – линейный разъединитель

Генераторные распределительные устройства (ГРУ), сооружаемые на ТЭЦ, выполняются с применением сборных и комплектных ячеек.

При конструировании РУ необходимо знать размещение оборудования по камерам, для чего вначале вычерчивается схема заполнения.

Схема заполнения – это электрическая схема включения основного оборудования и аппаратуры, отражающая их действительное взаимное размещение. В схеме заполнения условно, без соблюдения масштаба показывается контур здания и камер, расположение оборудования и делаются необходимые поясняющие надписи. Схема заполнения облегчает составление спецификации на оборудование, облегчает понимание конструкции РУ.

Комплектные распределительные устройства высокого напряжения (КРУ)

Различают КРУ, предназначенные для работы в закрытом помещении и для наружной установки на открытом воздухе (КРУН). В конструкции КРУН предусматривается защита электрических аппаратов и всех электрических соединений от воздействия окружающей среды (дождя, снега, тумана, пыли, ветра).

По сравнению со сборными распределительными устройствами КРУ имеют следующие преимущества.

1. Значительно уменьшается трудоемкость проектирования и строительно-монтажных работ.

2. Улучшается качество электроустановок, увеличивается надежность их работы, безопасность обслуживания и сокращаются эксплуатационные расходы.

3. Обеспечивается возможность модернизации и реконструкции.

4. Изготовление КРУ ведется индустриальным методом с широким применением механизированного труда. Технологические операции разбиваются на простейшие, что позволяет автоматизировать изготовление и контроль качества.

С целью уменьшения размеров, улучшения эксплуатационных характеристик и повышения надежности к электрическим аппаратам КРУ предъявляются следующие требования:

1) выключатели должны обладать малыми габаритами и встроенным приводом, высокой износостойкостью, пожаро- и взрывобезопасностью. Они должны снабжаться розеточными или пальцевыми контактами. С учетом этих требований в КРУ применяются маломасляные, электромагнитные, элегазовые и вакуумные выключатели;

2) разъединители должны быть механически связаны с выключателем и обеспечивать электробезопасность при выкатывании выключателя, смонтированного на тележке. Монтаж выключателя с приводом на выкатных тележках позволяет легко производить ревизию и профилактические работы. Типовая ячейка КРУ с маломасляным выключателем показана на рисунке 8.10 б.

Электрическая схема цепи высокого напряжения приведена на рисунке 8.10 *а*.

Сборные шины 1 соединяются с неподвижным контактом 2 верхнего разрыва разъединителя. Подвижный контакт 3 расположен на верхнем выводе выключателя 4. Нижний вывод выключателя соединяется с подвижным контактом 5 нижнего разрыва разъединителя. Неподвижный контакт 6 соединяется с ТТ 7. Второй вывод ТТ связан с жилой высоковольтного кабеля 8.

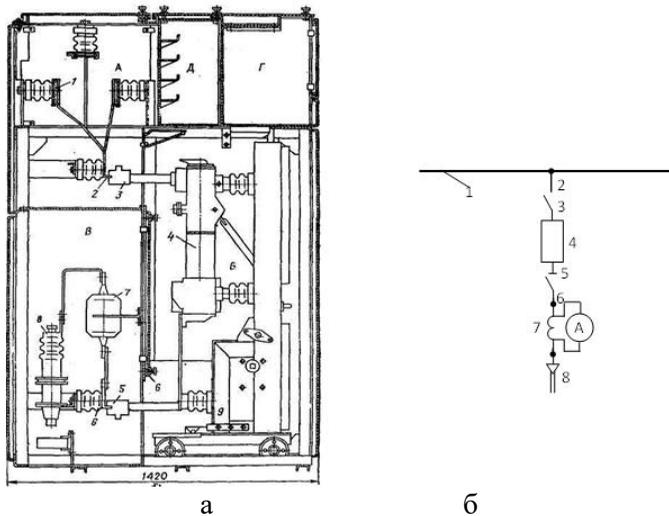


Рисунок 8.10 – Типовая ячейка КРУ: а – с маломасляным выключателем; б – электрическая схема цепи высокого напряжения

Основой ячейки является стальной сварной каркас, к которому крепится входящее в нее оборудование. Внутри ячейка разбита на отсеки. Разбиение объема КРУ на ячейки, а ячеек на отсеки диктуется тем, что возможные повреждения отдельных элементов не должны вызывать выход из строя всей ячейки или повреждение всего КРУ.

В отсеке *А* устанавливаются сборные шины 1 КРУ, закрепленные на опорных изоляторах. В отсеке *Б* располагается выключатель 4 с приводом 9. Отсек *В* содержит измерительный трансфор-

матор тока 7 и выходной кабель с концевой разделкой 8. В отсеке *Д* располагаются кабели управления, а в отсеке *Г* – аппараты релейной защиты и приборы для измерений. Присоединение выключателя 4 к сборным шинам и ТТ производится с помощью разъемов 2, 3 и 5, 6 с розеточным или пальцевым контактом. Малые габариты вакуумных выключателей позволяют резко сократить габариты КРУ. Ресурс вакуумного выключателя составляет 10^4 отключений номинального тока. Время непрерывной работы КРУ без ревизии достигает 10 лет.

Комплектное распределительное устройство КРУ-2-13 (рисунок 8.11) предназначено для распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением 6(10) кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью. КРУ-2-13 оснащено кассетными выкатанными элементами, силовым вакуумным выключателем, системой сборных шин и воздушной изоляцией. Корпус КРУ выполнен из стали, разделен на отсеки заземленными металлическими перегородками и имеет повышенную механическую прочность. КРУ-2-13 применяется как на первичном, так и на вторичном уровнях распределения электроэнергии. Ячейки КРУ используются генерирующими и сетевыми компаниями, а также в электрохозяйстве промышленных предприятий и на объектах инфраструктуры.

КРУ на напряжение 10 кВ и номинальный ток 3000 А для наружной установки (КРУН) показано на рисунке 8.12. Маломасляный выключатель 1 типа ВМПЭ-10 с приводом расположен на тележке 2. На этой же тележке установлен трансформатор тока 3. Для подключения используются разъемные контакты 4 и 5 пальцевого типа.

Сетевое напряжение подается через проходной изолятор 6 на нижний контакт 5. Заземление входной линии осуществляется заземлителем 7. Верхний контакт 4 через проходной изолятор 8 соединяется со сборными шинами 9. При выкатывании тележки 2 шторка 10 перемещается вверх, а шторка 11 вниз и закрываются проемы к верхним и нижним неподвижным контактам разъединителя.



Рисунок 8.11 – Комплектное распределительное устройство КРУ-2-13

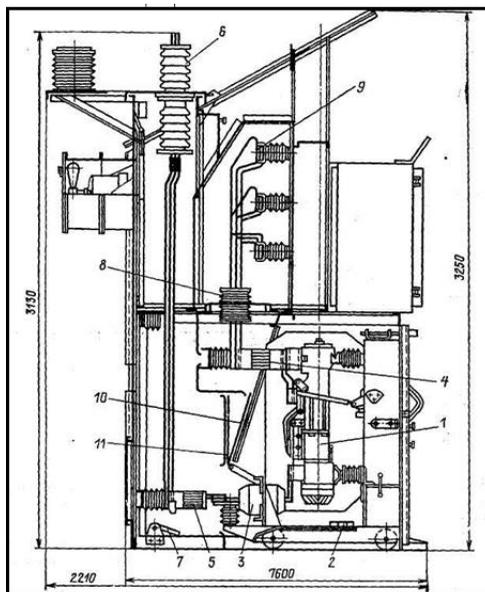


Рисунок 8.12 – КРУ для наружной установки (КРУН)

Элегазовые комплектные распределительные устройства

Площадь, занимаемая КРУ с напряжением 110, 220 кВ, может быть уменьшена в 10...15 раз за счет использования элегаза. В элегазовых КРУ (КРУЭ) элегаз используется и как изолирующая, и как дугогасящая среда. Заключение в металлические оболочки токоведущих цепей высокого напряжения (экранирование) резко снижает уровень радиопомех. Применение элегазовых выключателей, работающих без выброса газа в окружающую среду, делает работу КРУЭ бесшумной. На рисунке 8.13 показано КРУЭ на напряжение 110 кВ производства НПО «Электроаппарат».

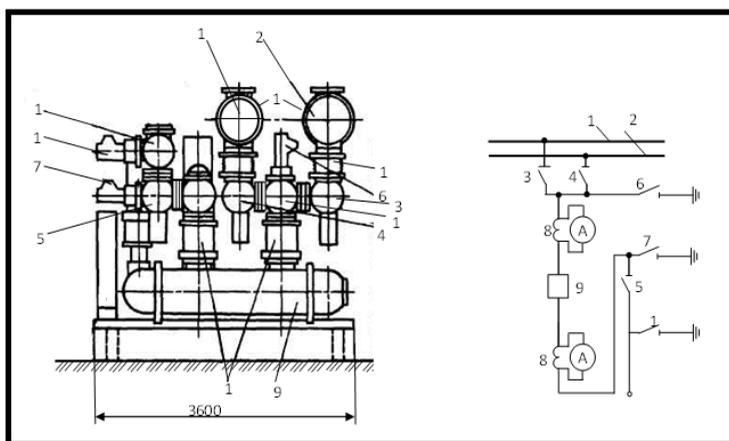


Рисунок 8.13 – КРУЭ на напряжение 110 кВ. Внешний вид и однолинейная электрическая схема цепи высокого напряжения

На рисунке 8.11: 1 и 2 – системы сборных шин; 3, 4, 5 – разъединители; 6, 7, 10 – заземлители; 8 – трансформаторы тока (по четыре на фазу); 9 – выключатель. Трехфазные системы трубчатых шин 1 и 2 расположены в алюминиевой оболочке. Отсек сборных шин отделен от отсека разъединителей 3 и 4 перегородкой, к которой прикреплены неподвижные контакты разъединителей. Перегородка позволяет сохранять давление в одном элементе (разъединителе) при потере герметичности в другом (отсеке шин). Разъединители 3 и 4 позволяют подключать правый ввод

выключателя к любой (1 или 2) системе сборных шин. На фотографии (рисунок 8.14) показан внешний вид ячейки современного КРУЭ.



Рисунок 8.14 – Комплектное распределительное устройство элегазовое 252 кВ (КРУЭ252)

На рисунке 8.15 показано сравнение занимаемой площади ОРУ и КРУЭ.

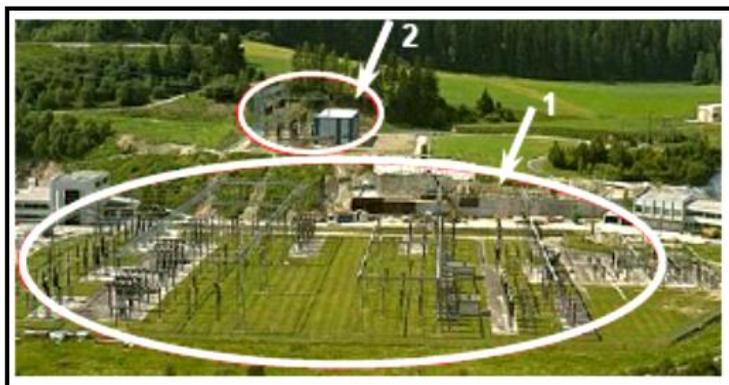


Рисунок 8.15 – Сравнение ОРУ с КРУЭ

Содержание отчета

1. Представить назначение, классификацию, режимы работы РУ.
2. Перечислены основные параметры РУ.
3. Преимущество и недостатки ОРУ и ЗРУ.
4. Вывод.

Вопросы для самостоятельной подготовки

В краткой форме ответить на следующие вопросы:

1. Что такое распределительное устройство?
2. Области применения ОРУ, ЗРУ, КРУ.
3. Основные требования к ОРУ.
4. Требования к помещениям ЗРУ.
5. Требования к размещению оборудования ЗРУ.
6. Обеспечение пожарной безопасности ЗРУ.
7. Каковы преимущества комплектных РУ перед сборными РУ?
8. Основные требования к электрическим аппаратам КРУ.
9. Какие выключатели применяются в КРУ?
10. Каковы преимущества вакуумных выключателей перед маломасляными (например, ВК-10) и др.?
11. Каковы преимущества элегазовых КРУ (КРУЭ)?

Лабораторная работа 9

6. СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Цель работы – изучение схем электроснабжения собственных нужд электростанций и подстанций.

Порядок проведения работы

1. Изучить схемы электроснабжения собственных нужд электростанций и подстанций по методическим указаниям и литературным источникам.
2. Подготовить отчет по работе.
3. Ответить на вопросы преподавателя.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Источники энергоснабжения собственных нужд

Нормальная работа электростанции и безопасность ее обслуживания возможны только при условии надежной работы системы с.н. Поэтому **надежность является основным требованием**, которому должна удовлетворять система с.н., особенно атомных и тепловых электростанций.

Согласно ПУЭ потребители системы с.н. электростанций отнесены к 1-й категории, и их электроснабжение должно быть обеспечено от двух независимых источников питания. Перерыв электроснабжения допускается лишь на время действия устройств автоматического ввода резерва (АВР).

- Надежность электроснабжения с.н. обеспечивается при выполнении следующих условий:
- при **применении быстродействующей релейной защиты**, позволяющей уменьшить опасность снижения напряжения в системе с.н. при К.З. во внешней сети и вызванного этим торможения электродвигателей и снижения производительности рабочих машин;

- при *автоматическом регулировании возбуждения генераторов*, обеспечивающем быстрое восстановление нормального напряжения на шинах С. Н. после отключения КЗ;
- при *использовании для привода рабочих машин асинхронных электродвигателей с короткозамкнутыми роторами*, легко разворачивающихся после кратковременного снижения частоты вращения;
- при *рациональном построении схемы электроснабжения системы с.н.*, в основу которой положено секционирование с присоединением группы электроприемников, относящихся к каждому агрегату (блоку, котлу), к отдельной секции РУ с отдельным рабочим трансформатором.

Система с.н. должна быть также **экономичной**. Это означает, что требуемая надежность должна обеспечиваться при минимально возможных капиталовложениях и расходе электроэнергии. Расход электроэнергии в системе с.н. входит в состав основных технико-экономических показателей электростанции.

Мощность и энергия, потребляемая системой собственных нужд, зависят от типа электростанции, вида топлива, типа и мощности турбин, типа ядерного реактора и других условий.

В таблице 9.1 приведены обобщенные данные по максимальным нагрузкам системы с.н. электростанций разных типов в процентах установленной мощности.

В настоящее время общепризнано, что электроснабжение системы собственных нужд электростанций разных типов (тепловых, атомных и гидростанций) может быть обеспечено наиболее просто, экономично и надежно от генераторов станции и энергосистемы.

Для особо ответственных потребителей с.н., требующих повышенной надежности электроснабжения, предусматривают независимые источники энергии ограниченной мощности, обеспечивающие питание этой группы электроприемников при полном исчезновении напряжения на станции. Такими независимыми источниками энергии могут быть:

- автономные агрегаты с автоматическим пуском, состоящие из первичного двигателя в виде дизеля или газовой турбины и синхронного генератора;

- вспомогательные генераторы, установленные на валу главных агрегатов;
- аккумуляторные батареи со статическими преобразователями.

Таблица 9.1 – Нагрузки системы собственных нужд

Тип станции	Особенности станции	Нагрузка с.н. (в процентах от установленной мощности)
АЭС	С водяным теплоносителем	5–8
	С газовым теплоносителем	5–14
КЭС	На пылеугольном топливе	6–8
	На газомазутном топливе	3–5
ТЭС	На пылеугольном топливе	8–14
	На газомазутном топливе	5–7
ГЭС	Большой мощности	0,5–1
	Малой и средней мощности	2–3
Подстанция	Тупиковая	50–200 кВт
	Узловая	200–500 кВт

Автономные агрегаты требуют для пуска и набора нагрузки несколько минут. Поэтому они получили применение на ТЭС и АЭС для приемников энергии, допускающих такой перерыв в подаче энергии.

Для вспомогательного генератора, как и для главного генератора, первичным двигателем является турбина. При нарушении работы главного агрегата резервное питание системы с.н. может быть обеспечено от вспомогательного генератора в течение времени выбега главного агрегата. Вспомогательные генераторы заметно усложняют конструкцию главного агрегата и увеличивают размеры машинного зала, поэтому их применяют только на некоторых АЭС для электроснабжения двигателей главных циркуляционных насосов в режиме аварийного расхолаживания реактора.

Аккумуляторные батареи применяют на всех электростанциях. Для заряда батареи предусматривают статический (тиристор-

ный) преобразователь, присоединенный к сети 380 В переменного тока. В нормальном режиме приемники энергии постоянного тока питаются от сети переменного тока с помощью преобразователя, который также подзаряжает батарею. При исчезновении напряжения в сети переменного тока приемники постоянного тока обеспечиваются энергией от аккумуляторной батареи без перерыва питания, даже кратковременного.

Схемы электроснабжения собственных нужд ТЭС

На рисунке 9.1 показаны возможные принципиальные схемы питания системы собственных на тепловых электростанциях.

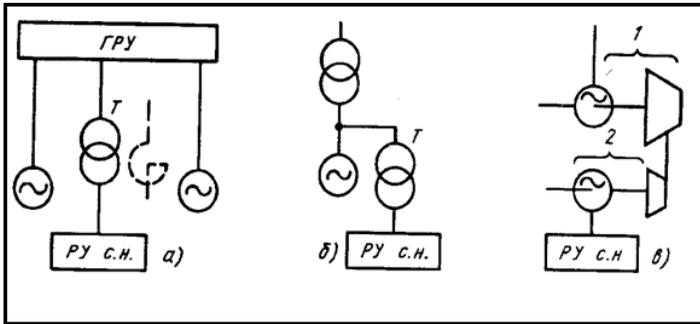


Рисунок 9.1 – Структурные схемы рабочего питания собственных нужд

На электростанциях с блочной схемой (КЭС) в тепловой и электрической частях на каждом блоке выполняются две секции собственных нужд 6,3 кВ, что позволяет, при соответствующем распределении нагрузок между ними, сохранить блок в работе при повреждении одной секции.

В качестве рабочих питающих элементов применяются специальные трансформаторы собственных нужд (ТСН). В зависимости от вида топлива, на котором работает ТЭС, наличия или отсутствия генераторных выключателей, а также от мощности энергоблока мощность рабочих ТСН изменяется от 10 до 63 МВА.

Рабочие ТСН присоединяются ответвлением к токопроводу между блочным трансформатором и генератором или между блочным трансформатором и генераторным выключателем. На ответвлении к ТСН выключатель не устанавливается.

Для повышения надежности все рабочие ТСН присоединяются с помощью закрытых комплектных по фазным токопроводам, что значительно снижает вероятность возникновения междуфазных КЗ (рисунки 9.2, 9.3).

Резервный трансформатор собственных нужд (РТСН) на электростанциях с блоками 120–1200 МВт всегда устанавливают с расщепленными обмотками НН. Обмотка высшего напряжения РТСН подключается, как правило, к сети, работающей с заземленной нейтралью (ОРУ 110–330 кВ электростанции или ВЛ 110–220 кВ). Встречаются схемы подключения РТСН к третичной обмотке автотрансформатора связи АТ (рисунок 9.4).

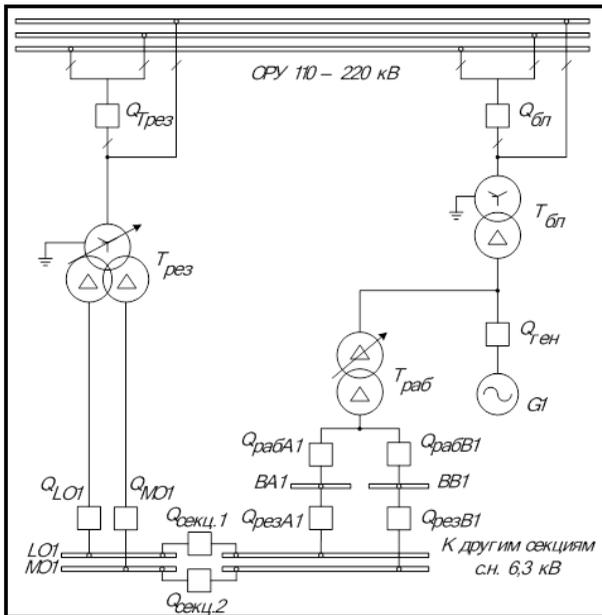


Рисунок 9.2 – Схема питания секций 6,3 кВ собственных нужд энергоблоков мощностью 60–200 МВт

На электростанциях с поперечными связями в тепловой части, например на ТЭЦ, схема сети с.н. 6,3 кВ имеет свои особенности. На таких электростанциях, где возможно любое сочетание работающих котлов и турбин, рабочее и резервное электропитание собственных нужд осуществляется от сборных шин главного распределительного устройства (ГРУ), к которому подключены генераторы G (рисунок 9.5). Необходимая надежность питания с.н. обеспечивается при этом благодаря тому, что к ГРУ присоединены не только генераторы, но и трансформаторы T , связывающие ГРУ с РУ высшего напряжения ТЭЦ, что обеспечивает возможность питания с.н. как от генераторов станции, так и от энергосистемы.

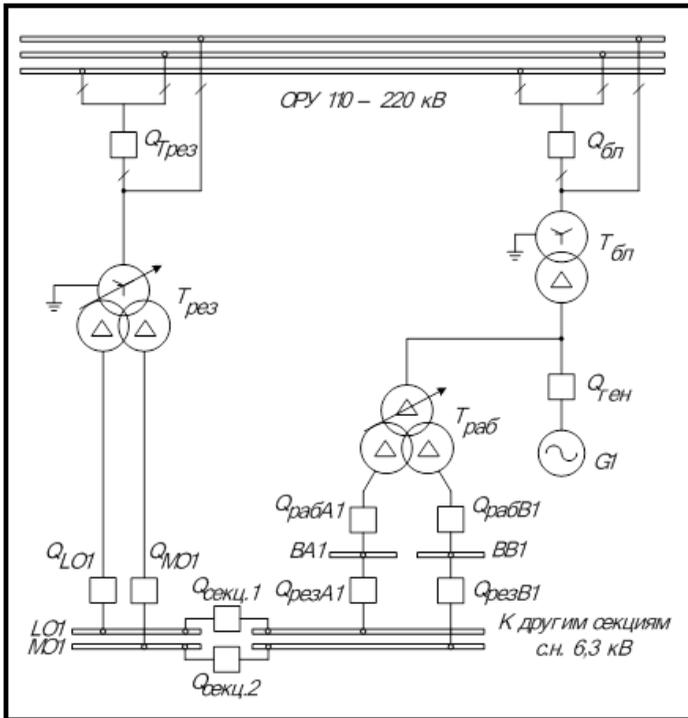


Рисунок 9.3 – Схема питания секций 6,3 кВ собственных нужд энергоблоков мощностью 200–1200 МВт

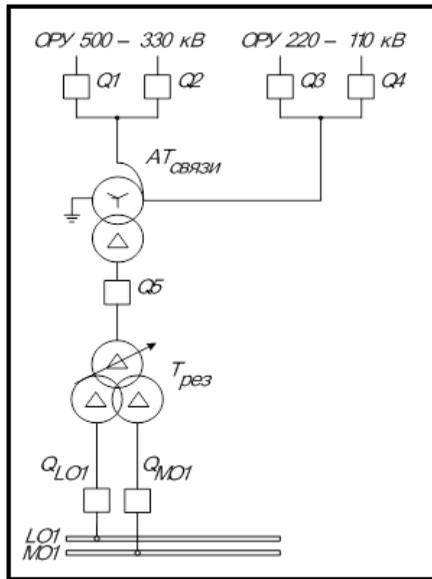


Рисунок 9.4 – Схема подключения резервного ТСН к автотрансформатору связи ТЭС

В качестве питающих элементов с.н. при номинальном напряжении генераторов 6,3 кВ применяются реактированные линии (см. рисунок 9.5), а при напряжении 10,5 кВ вместо реакторов включаются трансформаторы 10,5/6,3 кВ.

Количество секций РУСН 6,3 кВ, как правило, соответствует числу котлов на ТЭЦ. С целью облегчения самозапуска иногда выделяют на отдельные секции электродвигатели крупных питаельных насосов (ПЭН), сетевых насосов (СЭН) и др.

ГРУ ТЭЦ напряжением 6,3 кВ имеет две системы шин: рабочую АА, секционированную на АА1 и АА2, и резервную АВ. Для обеспечения надежности питания с.н. принята работа сборных шин ГРУ по схеме с фиксированным присоединением элементов к обеим системам шин.

Резервная реактированная линия с.н. LO1 и трансформатор связи T включены на систему шин АВ. Обе системы шин нахо-

ций для каждого блока с присоединением электродвигателей 380 В механизмов одного назначения к разным секциям.

Рабочее питание секций РУСН 0,4 кВ осуществляется от ТСН 6,3/0,4 кВ. Мощность ТСН выбирается в пределах от 250 до 1000 кВА. Каждый ТСН 6,3/0,4 кВ присоединяется к соответствующей секции РУСН 6,3 кВ через выключатель Q , а к РУСН 0,4 кВ – через автоматический выключатель SF (рисунки 9.6, 9.7). Рабочий ТСН может питать одну или две секции РУ 0,4 кВ. Для энергоблоков, оборудованных вычислительными комплексами, не допускающими перерыва питания больше чем на доли секунды, в сети с.н. дополнительно предусматриваются специальные агрегаты бесперебойного питания ($АБП$). Каждый $АБП$ состоит из статических преобразователей постоянного тока (инверторов) напряжением 0,22/0,4 кВ с тиристорными ключами на выходе, осуществляющими быстродействующее (с перерывом на доли секунды) бесконтактное отключение ($ТКЕО$) и переключение ($ТКЕП$) нагрузки 0,4 кВ вычислительного комплекса при неисправности одного инвертора (рисунок 9.8).

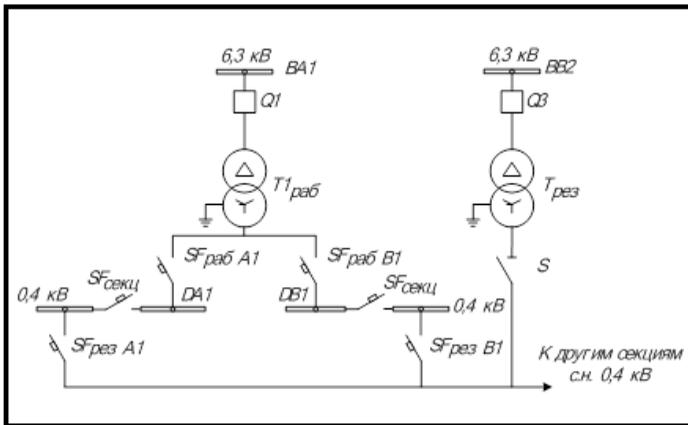


Рисунок 9.6 – Схема питания секций с.н. 0,4 кВ с секционными выключателями от рабочего и резервного ТСН 6,3/0,4 кВ

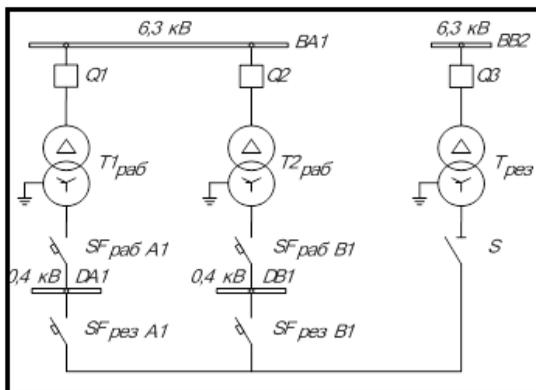


Рисунок 9.7 – Схема питания секций С.Н. 0,4 кВ без секционных выключателей от рабочего и резервного ТСН 6,3/0,4 кВ

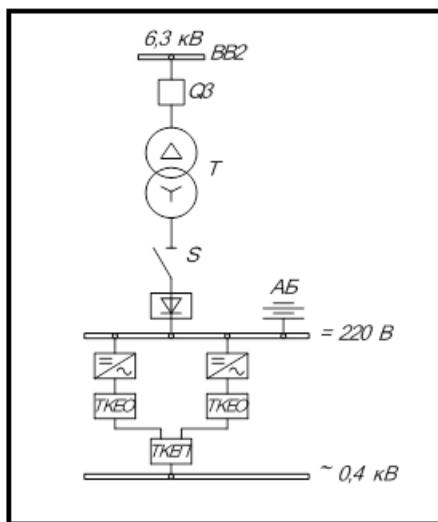


Рисунок 9.8 – Структурная схема агрегата бесперебойного питания

Электроснабжение собственных нужд ГЭС

Электроснабжение собственных нужд может осуществляться от специальных агрегатов с.н. (турбина – генератор); системы с помощью трансформаторов, подключенных к повышенному напряжению ГЭС; системы через третичную обмотку автотрансформаторов связи; генераторов местной сети 6–20 кВ.

В настоящее время на ГЭС применяют электроснабжение с.н. от системы через третичную обмотку автотрансформаторов связи и от генераторного напряжения (от системы и от генераторов). В последнее время, как рекомендуют Нормы технологического проектирования широко используется питание с.н. ГЭС от местной сети.

Для питания электроприемников с.н. в подавляющем большинстве случаев требуется напряжение 0,4/0,23 кВ. Необходимость в более высоком напряжении 6 или 10 кВ (кроме 0,4/0,23 кВ) возникает на ГЭС по следующим причинам:

- наличие мощных двигателей, требующих более высокого напряжения;
- наличие электроприемников с.н., расположенных на большом расстоянии от здания ГЭС (например, механизмы головного узла на деривационной ГЭС);
- питание внешних потребителей, какими обычно являются: пристанционный поселок, шлюз, промышленные и городские водозаборы;
- большая мощность, потребляемая с.н. ГЭС, требующая большого количества трансформаторов с вторичным напряжением 0,4 кВ. Последнее определяется тем, что мощность этих трансформаторов ограничена значением 1000 кВА по условию допускаемого уровня токов КЗ в распределительной сети 0,4 кВ, а также большой протяженностью сооружения.

В практике проектирования ГЭС сложились три структуры питания собственных нужд ГЭС:

- 1) с общим питанием всех с.н.;
- 2) с раздельным питанием агрегатных и общестанционных с.н.;
- 3) с раздельным питанием блочных и общестанционных с.н.

По своему назначению собственные нужды ГЭС подразделяются на две группы: **агрегатные и общестанционные**.

В последнее время возникло понятие **блочных** с.н., под которыми понимаются все электроприемники с.н., расположенные на территории блока в силовой части здания ГЭС, т. е. агрегатные с.н. и часть общестанционных с.н. В этом случае к *общестанционным собственным нуждам* относят *общестанционные с.н. вне здания ГЭС*.

Принятой структуре схем питания с.н. ГЭС соответствует терминология трансформаторов с.н.: главные трансформаторы собственных нужд (ГТСН), блочные трансформаторы с.н. (БТСН), агрегатные трансформаторы с.н. (АТСН), резервные агрегатные трансформаторы с.н. (РАТСН), общестанционные трансформаторы собственных нужд (ОТСН). Главными трансформаторами с.н. называют трансформаторы, питающие **все собственные нужды** при общем питании всех собственных нужд, и трансформаторы, питающие общестанционные нужды при раздельном питании С.Н.

Соответственно АТСН питают агрегатные с.н., БТСН – блочные с.н.

На рисунке 9.9 показано присоединение ГТСН к блокам и к третичной обмотке автотрансформатора связи (АТ). ГТСН присоединяют к блокам между генераторным выключателем и повышающим трансформатором. Вторичное напряжение ГТСН 6–10 кВ или 0,4 кВ.

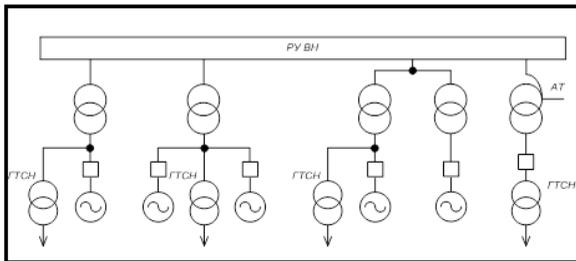


Рисунок 9.9 – Присоединение ГТСН в структурной схеме ГЭС

На рисунке 9.10 показана схема питания с.н. ГЭС с общим питанием собственных нужд с одной ступенью напряжения 0,4/0,2 кВ. Такая схема возможна при мощности ГТСН не более 1000 кВА и небольшом радиусе распределительной сети 0,4/0,23 кВ.

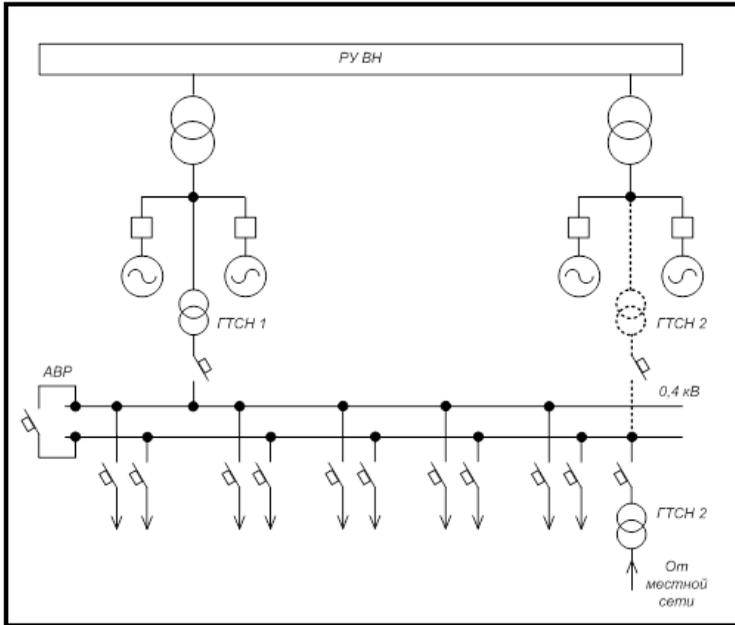


Рисунок 9.10 – Схема электроснабжения с.н. ГЭС с одной ступенью напряжения

На рисунке 9.11 показана схема питания с.н. ГЭС с двумя ступенями напряжения и с раздельным питанием блочных и обще станционных с.н.

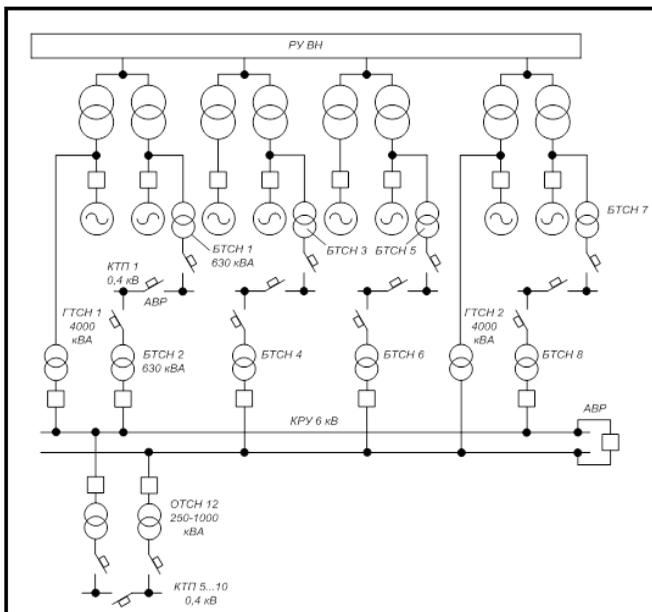


Рисунок 9.11 – Схема электроснабжения собственных нужд ГЭС с двумя ступенями напряжения и с отдельным питанием блочных и обще станционных с.н.

Собственные нужды подстанций

Приемники собственных нужд подстанции классифицируются по ответственности и по длительности включения.

А. По ответственности:

А-1. Приемники, отключение питания которых приводит к нарушению нормального режима эксплуатации, к частичному или полному отключению ПС, к аварии основного оборудования. Для приемников этой группы необходимо предусмотреть двойное питание от разных секций щита собственных нужд с автоматическим резервированием.

А-2. Приемники, отключение питания которых допустимо на 20–40 мин на ПС с дежурным персоналом или до приезда обслуживающего персонала на подстанциях без дежурного персонала.

Восстановление питания этой группы приемников допустимо осуществлять вручную.

А-3. Приемники, отключение которых возможно на более длительное время.

Б. По длительности включения:

Б-1. Приемники, постоянно включенные в сеть (в том числе цепи управления и релейной защиты).

Б-2. Приемники, включаемые периодически (например, в зависимости от температуры наружного воздуха или от технологических перерывов в работе).

Б-3. Приемники, включаемые во время ремонта.

Перечень приемников собственных нужд с указанием их классификации по ответственности и длительности включения приведен в таблице 9.2.

Наиболее ответственными потребителями с.н. подстанций являются ***оперативные цепи, система связи, телемеханики, система охлаждения трансформаторов и насосы системы охлаждения, аварийное освещение, система пожаротушения, электроприемники компрессорной.***

Таблица 9.2 – Классификация приемников собственных нужд подстанций

Наименование приемников	По ответственности	По длительности включения
Оперативные цепи	<i>А-1</i>	<i>Б-1</i>
Электродвигатели системы охлаждения трансформаторов	<i>А-1</i>	<i>Б-1</i>
Электродвигатели компрессоров	<i>А-2</i>	<i>Б-2</i>
Зарядно-подзарядные устройства аккумуляторной батареи	<i>А-2</i>	<i>Б-2</i>
Освещение	<i>А-2</i>	<i>Б-2</i>
Электроотопление помещений	<i>А-2</i>	<i>Б-2</i>
Электроподогрев аппаратуры и шкафов высокого напряжения	<i>А-2</i>	<i>Б-2</i>

Вентиляция и технологическая нагрузка вспомогательного здания	A-3	Б-2
Мастерские	A-3	Б-2
Связь и телемеханика	A-1	Б-1
Электродвигатели смазки и технического водоснабжения синхронных компенсаторов	A-1	Б-1
Электродвигатели насосов пожаротушения	A-1	Б-3
Маслоочистительная установка	A-3	Б-3
Грузоподъемные устройства	A-3	Б-3

Схемы электроснабжения с.н. подстанций

Два трансформатора с.н. устанавливают на всех двух трансформаторных подстанциях 35–750 кВ.

Один трансформатор собственных нужд (с.н.) устанавливают на одной из трансформаторных подстанций на 35–220 кВ с постоянным оперативным током, без синхронных компенсаторов и воздушных выключателей с силовыми трансформаторами. В этом случае предусматривается складской резерв в энергосистеме.

Схемы питания собственных нужд на ПС выполняются в двух основных вариантах: работающие с неявным резервом и работающие с явным резервом.

Присоединение трансформаторов собственных нужд к питающей сети зависит от системы оперативного тока, применяемой на ПС.

Постоянный оперативный ток применяется на всех подстанциях 330–750 кВ, на подстанциях 110–220 кВ с числом масляных выключателей 110 или 220 кВ три и более, на подстанциях 35–220 кВ с воздушными выключателями.

Переменный оперативный ток применяется на подстанциях 35–220 кВ без выключателей ВН. Возможно применение вы-

прямленного оперативного тока на подстанциях 110 кВ с одним или двумя выключателями ВН.

Для ПС на переменном или выпрямленном оперативном токе трансформаторы собственных нужд со стороны ВН присоединяются: на ПС 110 кВ и выше – через предохранители к вводам 6–10 кВ главных трансформаторов *до их выключателей*, а при наличии реакторов – между реакторами и выключателями на ПС 35 кВ – через предохранители к питающей ВЛ 35 кВ.

Для ПС на постоянном оперативном токе с аккумуляторными батареями трансформаторы собственных нужд присоединяются:

- через предохранители или выключатели к шинам распределительного устройства 6–35 кВ (рисунок 9.12);
- к обмотке 6–35 кВ автотрансформаторов по блочной схеме.

Резервный трансформатор собственных нужд на ПС, вне зависимости от системы оперативного тока целесообразно присоединять к независимому источнику питания, например к ВЛ 6–35 кВ от соседней подстанции.

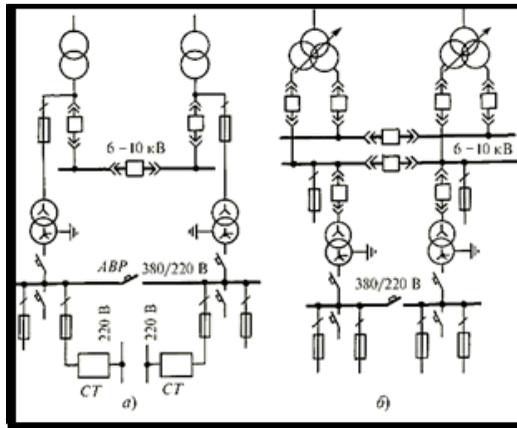


Рисунок 9.12 – Схемы присоединения собственных нужд при наличии на подстанциях: а) переменного и выпрямленного оперативного тока; б) постоянного оперативного тока, оперативные цепи переменного тока питаются через стабилизаторы напряжения СТ

Обычно на подстанциях устанавливают один-два рабочих трансформатора собственных нужд, но при наличии особо ответственных потребителей может предусматриваться резервный трансформатор собственных нужд. Так, например, на рисунке 9.13 показана схема для подстанции 220 кВ с тремя трансформаторами собственных нужд, из которых один является резервным, имеющим независимое питание от соседней подстанции.

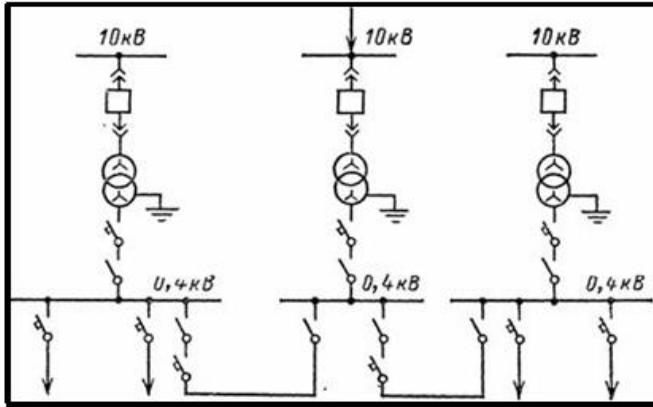


Рисунок 9.13 – Схема для подстанции 220 кВ с тремя трансформаторами собственных нужд, из которых один является резервным, имеющим независимое питание от соседней подстанции

Более сложные схемы применяются, например, на подстанциях 500 кВ и им подобных. Это вызывается тем, что часто на ОРУ во вспомогательных зданиях наряду с устройствами возбуждения СК, щитами релейной защиты и управления СК, АТ, присоединений 220 и 500 кВ размещаются также и щиты с.н., с которых ведется управление присоединениями 0,4 кВ, обслуживающими эти объекты.

На рисунке 9.14 показана упрощенная схема собственных нужд одной подстанции 500 кВ. На ней имеется несколько щитов собственных нужд: ОРУ 220 кВ, ОРУ 500 кВ, ГЩУ, насосной, трансформаторно-масляного хозяйства (ТМХ). Все эти щиты связаны перемычками и взаимно резервируют друг друга. Два

трансформатора с.н. подключены к своим автотрансформаторам, а третий (резервный) – к находящемуся вблизи трансформаторному пункту (ТП) кабельной городской сети.

Межсекционные связи и переемычки (осуществляемые с помощью выключателей и автоматических выключателей), предназначенные для автоматического ввода резерва при исчезновении напряжения, оснащаются соответствующими устройствами автоматики на стороне 6–10 кВ и автоматическими выключателями на стороне 0,4 кВ.

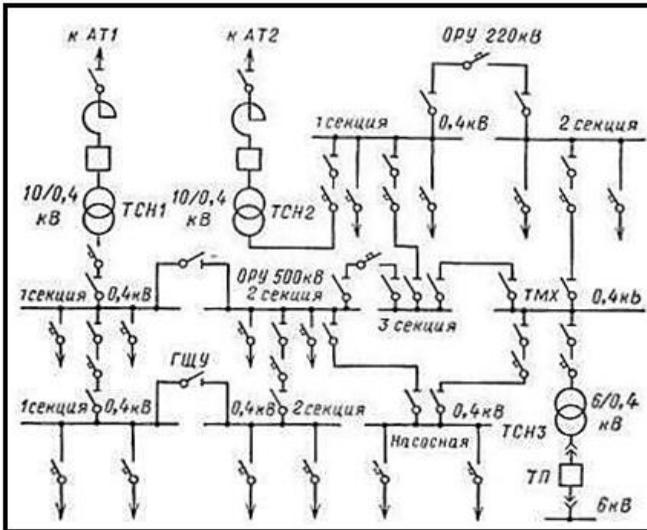


Рисунок 9.14 – Упрощенная схема собственных нужд подстанции 500 кВ

Содержание отчета

В краткой форме ответить на следующие вопросы:

1. Система собственных нужд электростанций назначение и источники энергоснабжения системы с.н. Потребители энергии собственных нужд электростанции. Номинальные напряжения собственных нужд.

2. Надежность электроснабжения системы с.н. электростанций и условия ее обеспечения.
3. Схема электроснабжения системы с.н. КЭС с выключателями у генераторов и ее особенности.
4. Основные и резервные источники электроснабжения системы с.н. КЭС и схемы их присоединения.
5. Особенности электроснабжения системы с.н. ГЭС.
6. Схема электроснабжения системы с.н. ТЭЦ с поперечными связями в теплосиловой части.
7. Схемы питания с.н. ПС с постоянным и переменным оперативным током.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев А.А.* Электрическая часть станций и подстанций / А.А. Васильев, И.П. Крючков и др.; под ред. А.А. Васильева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 562 с.
2. *Рожкова Л.Д.* Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 4-е изд., стереотип. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 448 с.
3. *Дроздовский Ю.В.* Новое электрооборудование подстанций и распределительных устройств электростанций: учебно-методическое пособие / Ю.В. Дроздовский, В.П. Куличенков, Р.В. Романов. – Минск: БНТУ, 2011.
4. *Старшинов В.А.* Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника» / В.А. Старшинов, М.В. Пираторов, М.А. Козина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 295, [1] с.: ил., табл.
5. *Коломиец Н.В.* Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие / Н.В. Коломиец, Н.Р. Пономарчук, В.В. Шестакова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 143 с.
6. *Макаров Е.Ф.* Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ. – М.: Издательский дом «Энергия», 2006.
7. Сайт www.forca.ru Электрические сети, оборудование электроустановок.
8. Сайт <https://electroshield.ru>, «Самара электрощит», Элегазовые выключатели.
9. Сайт <http://www.reshaem.net/tasks/t...>
10. Сайт <http://window.edu.ru/resource/...> *Кувайцев В.И.* Высоковольтные трансформаторы тока: методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 15 с.
11. Сайт https://studopedia.ru:443/13_1... Измерительные трансформаторы тока и напряжения.

12. Сайт <http://window.edu.ru/library/p...> Высоковольтные трансформаторы.
13. Сайт <http://bib.convdocs.org/v20500...> Закрытые распределительные устройства.
14. Сайт <http://window.edu.ru/resource/...>
15. Сайт <http://www.docme.ru/doc/115999...>
16. Сайт <http://bib.convdocs.org/v36943...> *Селиверстов Г.И.* Курс лекций по курсу «Электрооборудование станции и подстанции промышленных предприятий» для студентов дневного отделения специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций». – Гомель: Электронная библиотека УО ГГТУ им. П.О. Сухого, 2011. – 351 с.
17. Сайт <http://www.reshaem.net/tasks/t...>

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа 6	
1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА (ТТ)	4
1.1 Трансформатор Т-0,66М У3 (Ином. первичн. 5А-2000А)	10
1.2 Шинные трансформаторы тока	10
2. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА	11
2.1 Проходные трансформаторы тока	12
2.2 Трансформаторы тока встроенного типа	13
2.3 Шинные трансформаторы тока	14
2.4 Опорные трансформатора тока	16
2.5 Трансформаторы тока наружной установки	17
2.6 Трансформаторы тока масляные серии ПМВ 110–500 кВ.....	23
2.7 Измерительные трансформаторы тока с элегазовой изоляцияй серии ТГ\.....	24
2.8 Оптико-электронные измерительные трансформаторы тока.....	25
3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА	28
Лабораторная работа 7	
4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ. 30	
4.1 Сухие трансформаторы напряжения	34
4.2 Маслонаполненные ТН	38
4.3 Трансформаторы напряжения газонаполненные заземляемые	49
4.4 Трансформаторы напряжения емкостные НДЕ.....	52
4.5 Комбинированные измерительные трансформаторы	53
Лабораторная работа 8	
5. КОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ	62
Лабораторная работа 9	
6. СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	99

Составители:

*Юрий Павлович Симаков,
Татьяна Юрьевна Каплина*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Часть 2

Измерительные трансформаторы тока, измерительные трансформаторы напряжения, распределительные устройства, собственные нужды электростанций и подстанций

Методическое руководство
к выполнению лабораторных работ

Подписано в печать 15.02.2020
Печать офсетная. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Объем 6,5 п. л. Тираж 100 экз. Заказ 44

Издательство КРСУ
720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Анкара, 2а