

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Энергетический факультет
Кафедра энергетики

СПЕЦИАЛЬНЫЙ КУРС ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Методические указания к лабораторным работам

для направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Благовещенск, 2023

*Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Энергетического факультета
Амурского государственного
университета*

ББК 31.277я73

С 71

Специальный курс электрических станций: метод. указания к лаб. работам для направления подготовки 13.03.02 / сост.: И.А. Лисогурский, Е.Ю. Артюшевская, А.Г. Ротачева - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2023. – 68 с.

Лабораторный практикум предназначен для подготовки бакалавров по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроэнергетика».

Методические указания к лабораторным занятиям охватывает основные разделы специального курса электрических станций. В число тем, подлежащих изучению, включены: вопросы изучения электрического оборудования электрических станций и подстанций.

©Амурский государственный университет, 2023
©Энергетический факультет
© Кафедра энергетики, 2023
© Лисогурский И.А., составитель
© Артюшевская Е.Ю., составитель
© Ротачева А.Г. , составитель

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа №1 - Комплектные распределительные устройства	5
Лабораторная работа №2 - Вакуумные реклоузеры Rec15	22
Лабораторная работа №3 - Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией	32
Лабораторная работа №4 - Цифровые измерительные трансформаторы АО «ПРОФОТЕК»	48
Лабораторная работа №5 - Низковольтная защитно-коммутационная аппаратура	58
Библиографический список	67

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия позволяют интегрировать теоретические знания и формировать практические умения и навыки студентов в процессе учебной деятельности.

Важнейшие задачи, решаемые энергетиками и энергостроителями, состоят в непрерывном увеличении объёмов производства, в сокращении сроков строительства новых энергетических объектов и реконструкции старых, уменьшение удельных капиталовложений, повышении производительности труда. Современная энергетика характеризуется нарастающей централизацией производства и распределения электроэнергии.

Цель лабораторного практикума развить у обучающихся способность рассчитывать схемы и элементы основного оборудования электростанций и подстанций, используя современные методы, по проектированию новых электростанций и подстанций.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Комплектные распределительные устройства

Комплектное распределительное устройство (КРУ) – это распределительное устройство, состоящее из закрытых шкафов со встроенными в них аппаратами, измерительными и защитными приборами и вспомогательными устройствами. Шкафы КРУ изготавливаются на заводах, что позволяет добиться тщательной сборки всех узлов и обеспечения надежной работы электрооборудования.

Шкафы с полностью собранным и готовым к работе оборудованием поступают на место монтажа, где их устанавливают, соединяют сборные шины на стыках шкафов, подводят силовые и контрольные кабели. Применение КРУ позволяет ускорить монтаж распределительного устройства. КРУ безопасно в обслуживании, так как все части, находящиеся под напряжением, закрыты металлическим кожухом.

В качестве изоляции между токоведущими частями в КРУ могут быть использованы воздух, масло, пирален, твердая изоляция, инертные газы. КРУ с масляной и газовой изоляцией могут изготавливаться на высокие напряжения 220, 400 и 500 кВ. В КРУ могут применяться обычные аппараты или специально предназначенные для них, могут сочетаться и те, и другие. Например, для КРУ 6-10 кВ применяются выключатели обычной конструкции, а вместо разъединителей - втычные контакты. [1]

Рассмотрим более подробно шкафы КРУ серии D-12P производства электротехнического завода «Вектор».

Комплектные распределительные устройства «Классика» (далее КРУ) серии D-12P предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6(10) кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью.

КРУ «Классика» серии D-12P могут применяться в качестве распределительных устройств электросетевых трансформаторных подстанций ЕНЭС, объектов малой генерации, подстанций промышленных предприятий и нефтегазового комплекса, систем собственных нужд тепло- и гидроэлектростанций, а также иных объектов электроснабжения. Шкафы КРУ «Классика» серии D-12P могут быть использованы для расширения существующих распределительных устройств, находящихся в эксплуатации, и стыковаться с ними через переходные шкафы или без них. [2]



Рисунок 1.1 – Внешний вид КРУ «Классика» серии D-12P [3]

Шкафы КРУ «Классика» серии D-12P могут быть установлены в специальные электротехнические модули, представляющие собой готовое строительное решение полной заводской готовности, оборудованные системами освещения, обогрева, вентиляции и кондиционирования, охранной и пожарной сигнализации – модульные здания серии SKP. В одном модуле серии

СКР возможна установка до 20 шкафов КРУ, что позволяет доставлять их на место монтажа в составе одной секции со смонтированными в заводских условиях главными и вспомогательными цепями. Каждый модуль имеет в своем основании раму из прокатного швеллера или труб квадратного сечения, одновременно выполняющую роль ростверка, что позволяет минимизировать строительные работы по подготовке фундаментного основания на месте монтажа подстанции. [2]

Основные параметры и характеристики КРУ приведены в таблице 1.1. Структура условного обозначения шкафов КРУ представлена на рисунке 1.2.

Таблица 1.1 – Основные характеристики

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6.0; 10.0
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7.2; 12.0
Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000 ¹
Номинальный ток сборных шин, А	630; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000 ¹
Ток термической стойкости ² , кА	20; 25; 31.5; 40; 50
Время протекания тока термической стойкости, с: - для главных цепей - для цепей заземления	3 1
Ток электродинамической стойкости (амплитуда) ² , кА	51; 64; 81; 102; 128
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В	Любое стандартное напряжение до 220В постоянного, переменного или выпрямленного тока
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP4X (IP 41 ³ по требованию)
Габаритные размеры шкафов, мм: ширина глубина высота	600 ⁴ ; 650 ⁴ ; 750; 1000 ⁵ 1300; 1450 ⁶ 2320 – 2470 ^{3, 7}
Масса, кг	480 ÷ 1350

¹ С принудительной вентиляцией в шкафу.

² Термическая и электродинамическая стойкость шкафов КРУ может быть ограничена аналогичными параметрами встраиваемых трансформаторов тока.

³ По отдельному требованию для предотвращения попадания вертикально падающих капель воды на шкаф КРУ сверху устанавливается защитный кожух.

⁴ Шкафы на номинальный ток до 1250 А, ток термической стойкости не более 31,5 кА.

⁵ Шкафы с током термической стойкости до 31,5 кА и номинальным током 2500 ÷ 4000 А, шкаф с током термической стойкости 40(50) кА и номинальным током 2000 ÷ 4000 А.

⁶ Шкафы с выключателями LF.

⁷ В зависимости от высоты отсека вспомогательных цепей.

Структура условного обозначения шкафов КРУ

D- 12PX – X – X / X-У3

Шкаф КРУ серии D-12P _____

Исполнение: L – с электроприводами выдвижного элемента и заземлителя,
буква отсутствует – базовое исполнение (без электроприводов) _____

Номинальное напряжение, кВ _____

Ток термической стойкости, кА _____

Номинальный ток главных цепей, А _____

(для шкафов с ТН, ТСН – не указывается)

Климатическое исполнение и категория размещения _____

Рисунок 1.2 – Структура условного обозначения шкафов КРУ [3]

Корпус шкафа представляет собой сборную объемную самонесущую конструкцию, изготовленную на высокоточном оборудовании методом холодной штамповки из высококачественного стального листа с антикоррозионным покрытием. Крепление элементов корпуса между собой осуществляется при помощи стальных вытяжных заклепок. При изготовлении корпуса шкафов не используются сварные соединения, которые в процессе эксплуатации могут стать очагами появления коррозии. Наружные элементы корпуса (двери, боковые панели крайних шкафов секции и др.) окрашены порошковой краской, обладающей высокой устойчивостью к атмосферным и механическим воздействиям.

Общий вид внутреннего устройства шкафа КРУ с силовым вакуумным выключателем ВВ/TEL (ISM15_Shell) и вид с фасада изображен на рисунке 1.3. Внутренний объем шкафа заключен в металлическую оболочку и имеет внутреннее разделение перегородками на функциональные изолированные отсеки:

- вспомогательных цепей (А);
- кассетного выдвижного элемента (В);
- присоединений (С);
- сборных шин (D).

Каждый высоковольтный отсек имеет собственный канал для организации направленного сброса избыточного давления при возникновении

дугового короткого замыкания через специальные клапаны, расположенные в верхней части шкафа.

Отсек выдвижного элемента и отсек присоединений с фасадной стороны шкафа имеют двери с многоточечными ригельными замками, выполненными под единый ключ доступа. Для дополнительной защиты персонала от выбросов продуктов горения дуги в коридор обслуживания двери высоковольтных отсеков оснащаются защитными металлическими экранами, устанавливаемыми с внутренней стороны шкафа.

Шкаф КРУ двухстороннего обслуживания для организации доступа в отсек присоединений с тыльной стороны оснащается дополнительной дверью, конструктивно аналогичной фасадной двери данного отсека.

В шкафах предусмотрена система заземления конструкции и интегрированного оборудования. Все части аппаратов и приборов, подлежащие заземлению, установленные в шкафах, имеют электрический контакт с корпусом КРУ, который при монтаже непосредственно заземляется на металлические закладные элементы. Кроме того, каждый шкаф имеет в своем основании медную магистральную шину заземления сечением 3х30 мм, имеющую отличительную маркировку полосами желтого и зеленого цветов. При стыковке отдельных шкафов КРУ отрезки магистральных шин заземления соединяют между собой, образуя единую сквозную магистральную шину заземления секции, проходящую транзитом через все шкафы и подключаемую затем обоими концами к общему заземляющему контуру распределительного устройства в специально обозначенных местах на торцевых стенках или боковых декоративных панелях КРУ.

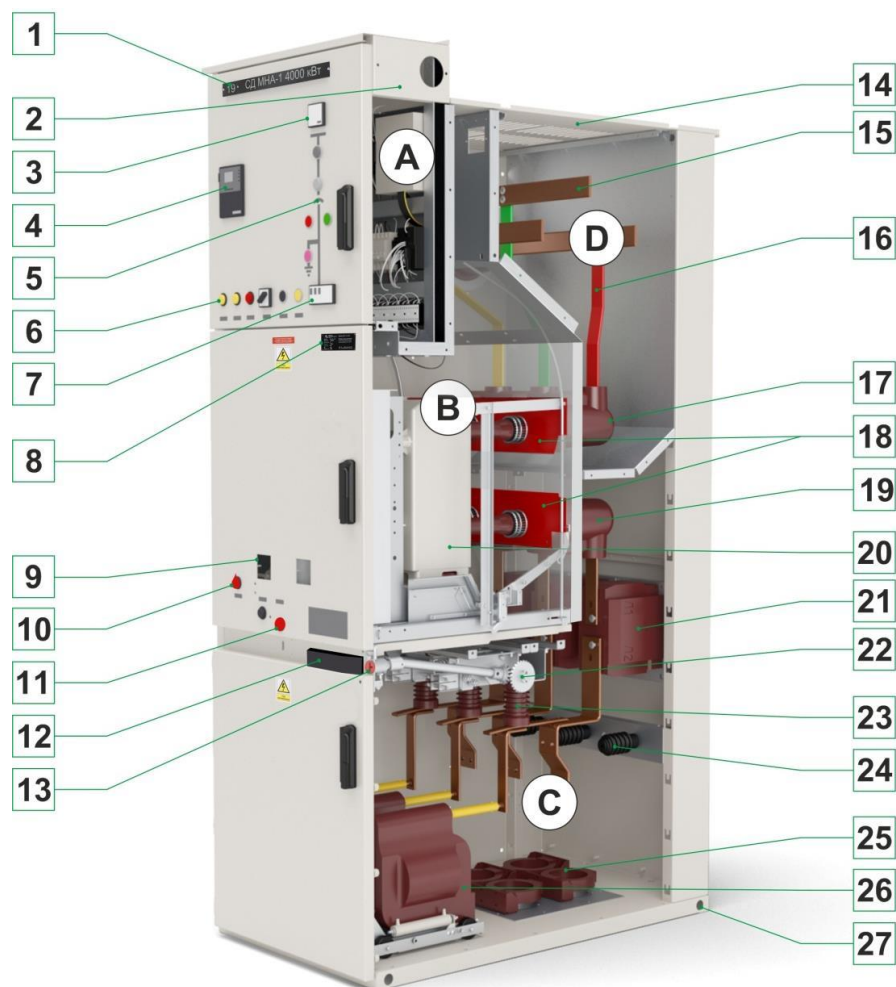


Рисунок 1.3 – Разрез шкафа с силовым выключателем и трансформаторами напряжения [3]

1 – информационная табличка с порядковым номером шкафа и диспетчерским наименованием присоединения;
 2 – релейный отсек;
 3 – индикаторные приборы (амперметр (1 или 3 шт.);
 4 – терминал МПУЗиА;
 5 – мнемосхема или интерактивный модуль индикации (опция);
 6 – органы управления и сигнализации;
 7 – указатель наличия напряжения;
 8 – маркировочная табличка;
 9 – смотровые окна отсека выдвижного элемента;
 10 – отверстие для ввода штока (ключа) аварийного отключения силового выключателя;
 11 – гнездо доступа к приводу КВЭ;
 12 – электромагнитная блокировка заземлителя (опция);
 13 – гнездо оперирования заземлителем;

14 – клапан сброса избыточного давления отсека сборных шин, сопряженный с концевыми выключателями;
 15 – сборные шины;
 16 – главные токоведущие цепи шкафа;
 17 – проходные (втычные) изоляторы от КВЭ в отсек сборных шин;
 18 – шторочный механизм;
 19 – проходные (втычные) изоляторы от КВЭ в отсек присоединений;
 20 – КВЭ с силовым выключателем;
 21 – измерительные трансформаторы тока;
 22 – заземлитель с пружинным приводом;
 23 – опорные изоляторы с интегрированными емкостными индикаторами;
 24 – нелинейные ограничители перенапряжений;
 25 – измерительные трансформаторы тока нулевой последовательности;
 26 – измерительные трансформаторы напряжения на собственной выдвижной конструкции;
 27 – отверстия для транспортировочных стержней.

В *отсеке сборных шин* размещается система сборных шин, объединяющая главные цепи всех шкафов КРУ в единую электрическую схему РУ и включающая в себя:

- плоские токоведущие шины (отрезки общей магистрали сборных шин);
- проходные изоляторы от КВЭ в отсек сборных шин;
- проходные и опорные изоляторы сборных шин совместно с панелями из немагнитного материала;
- клапан сброса избыточного давления, сопряженный с концевым выключателем;
- световой регистратор опциональной внешней дуговой защиты (фототиристор или оптический датчик).

В шкафах КРУ для сборных шин и шин главных цепей применяются плоские шины прямоугольного сечения, выполненные из высококачественной электротехнической меди, со скругленными углами, что обеспечивает выравнивание напряженности электрического поля на кромках токоведущих частей и значительно уменьшает эффект коронирования.

На сборные шины и ответвления от них в местах доступных для обозрения наносится маркировка поперечными полосами отличительные цвета шириной не менее 10мм: фаза А — желтый; фаза В — зеленый; фаза С — красный.

Расположение ответвлений от сборных шин в пределах шкафа выполняется, как правило, следующим: левая шина — фаза А; средняя шина — фаза В; правая шина — фаза С, если смотреть с фасада шкафа. Для соединений трансформаторов собственных нужд, трансформаторов напряжения со сборными шинами КРУ, а также в шкафах секционирования возможно выполнение отличного от стандартного расположение отпаек к сборным шинам, либо расположения выводов КРУ в случаях организации ввода или секционирования при двухрядном расположении шкафов: левая шина — фаза С; средняя шина — фаза В; правая шина — фаза А, если смотреть со стороны фасада шкафа. [3]

В *отсеке выдвижного элемента* размещаются кассетный выдвижной элемент (КВЭ), подвижные металлические шторки, автоматически ограничивающие несанкционированный доступ к неподвижным ответным частям главной цепи шкафа, клапан сброса избыточного давления совместно с концевым выключателем, лампа освещения и опциональный антиконденсатный нагревательный элемент. Отсек выдвижного элемента отделен от смежных металлической перегородкой с воздушным зазором с проходными изоляторами, в нижней части которой предусмотрена съемная ревизионная панель, закрывающая верхние контакты трансформаторов тока. Дополнительно в отсеке выдвижного элемента расположена съемная металлическая горизонтальная перегородка, демонтаж которой повышает удобство проведения регламентных работ в отсеке присоединений шкафа КРУ. [2]



Рисунок 1.4 – Отсек выдвижного элемента при извлеченном КВЭ [3]

Отсек выдвижного элемента оснащен отдельной фасадной дверью, которая имеет смотровые окна для визуального наблюдения за положением КВЭ, гнездо доступа к приводу выдвижного элемента и отверстие для ввода толкателя аварийного отключения выключателя. Кассетный выдвижной элемент представляет собой подвижное основание, на которое устанавливается оборудование, определяемое конкретной схемой электрических соединений главных цепей шкафа, и разъединяющие контакты. На КВЭ может быть

установлен силовой вакуумный выключатель, измерительные трансформаторы напряжения с литой изоляцией или секционный разъединитель. Для обеспечения надежного электрического контакта с главной цепью шкафа для КВЭ используются цилиндрические розеточные контакты, состоящие из множества подпружиненных ламелей, покрытых серебром. Однотипные по функциональности и номинальным параметрам КВЭ являются взаимозаменяемыми, например, КВЭ с выключателями на номинальный ток до 1000 А и т.п. Связь вспомогательных цепей КВЭ и релейного отсека осуществляется посредством гибкого экранированного многожильного кабеля со штепсельным разъемом. Для защиты вторичных цепей управления от воздействий возможного дугового замыкания на КВЭ с фасада предусмотрен стальной экран.

Основание КВЭ оснащено замковым устройством, обеспечивающим надежную фиксацию при нахождении выдвижного элемента в контрольном и рабочих положениях, а также исключающим его самопроизвольные перемещения, в том числе в режимах коротких замыканий или при транспортировании. Перемещение КВЭ внутри шкафа осуществляется при помощи привода с червячным механизмом, действующем на всем его ходу, посредством движения колес основания по металлическим направляющим, жестко зафиксированным по обеим сторонам боковых стенок КРУ. Реализованный механизм перемещения КВЭ позволяет исключить перекосы при стыковке контактной системы.

По специальному требованию КВЭ может быть оснащен электроприводом, который монтируется на подвижную раму-основание и позволяет производить перемещения дистанционно. При работе электродвигатель посредством цепной передачи воздействует напрямую (без дополнительных передаточных звеньев) на червячный вал механизма перемещения КВЭ. Такая кинематическая схема позволяет в случае выхода из строя электродвигателя или пропадания оперативного питания осуществлять

перемещение КВЭ при помощи базового механизма стандартного ручного оперирования, не прикладывая при этом дополнительных усилий.

КВЭ относительно корпуса шкафа КРУ может занимать следующие фиксированные положения:

- *рабочее*, при котором главные и вспомогательные цепи шкафа замкнуты;
- *контрольное*, при котором главные цепи шкафа разомкнуты, а вспомогательные замкнуты (в этом положении возможно в том числе размыкание вспомогательных цепей – такое положение называют разобщенным);
- *ремонтное (сервисное)*, при котором КВЭ находится вне корпуса шкафа и его главные и вспомогательные цепи разомкнуты. [2]

При перемещении КВЭ из рабочего в контрольное положение происходит автоматическое закрытие защитными шторками проходных изоляторов контактного узла и соответственно самих неподвижных контактов главной цепи шкафа КРУ, находящихся под напряжением. Конструкция шторочного механизма полностью исключает самопроизвольное открывание шторок при нахождении КВЭ в контрольном или ремонтном положении. С целью ограничения несанкционированного доступа обслуживающего персонала к токоведущим частям КРУ, а также для повышения безопасности при проведении работ, предусмотрена возможность запираания шторочного механизма на навесной замок после извлечения КВЭ в ремонтное положение. Все перемещения КВЭ из рабочего положения в контрольное и обратно производятся только при закрытой двери отсека, корректность и безопасность производимых операций обеспечивается интегрированной системой блокировок.

На КВЭ может быть установлен силовой вакуумный выключатель, измерительные трансформаторы напряжения с литой изоляцией или секционный разъединитель (рисунок 1.5).

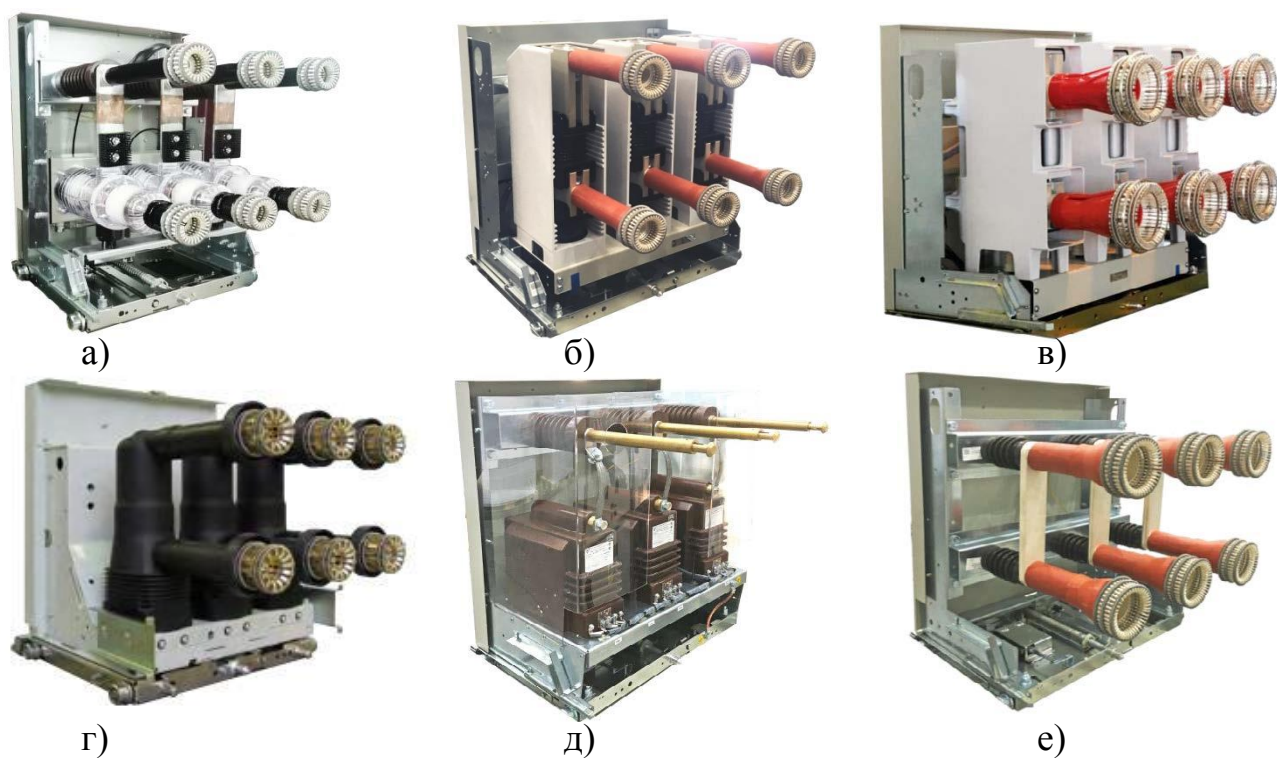


Рисунок 1.5 – Различные типы КВЭ:

- а) КВЭ с вакуумным выключателем ISM15_LD, б) КВЭ с вакуумным выключателем ISM15_Shell, в) КВЭ с вакуумным выключателем ISM15_HD, г) КВЭ вакуумным выключателем VD4, д) КВЭ с измерительными ТН, е) КВЭ с секционным разъединителем. [3]

В *отсеке присоединений* располагаются заземлитель, трансформаторы тока (одна или две группы), трансформаторы напряжения стационарно или на выдвигной конструкции (если это предусмотрено схемой шкафа), трансформаторы тока нулевой последовательности, опорные изоляторы со встроенными емкостными делителями напряжения, концевые заделки кабелей, клапан сброса избыточного давления с концевым выключателем, ограничители перенапряжений нелинейные, антиконденсатный нагревательный элемент и лампа освещения. В основании отсека, выполненном из сплошного металлического листа, по передней и задней стенке предусматриваются отверстия для крепления шкафа к фундаментной раме анкерными болтами, а также отверстия для прохода контрольных кабелей. [2]



Рисунок 1.6 – Отсек присоединений [3]

В основании отсека, выполненном из сплошного металлического листа, по передней и задней стенке предусматриваются отверстия для крепления шкафа к фундаментной раме. В левом углу основания отсека, если смотреть с фасада шкафа, предусмотрено отверстие прямоугольного сечения для прохода контрольных кабелей в нормальном режиме закрытое вертикальным металлическим лотком.

Подключения к главным цепям шкафа могут быть кабельными или шинными и подразделяются на следующие категории:

- *кабельное*: кабелем вниз; кабелем влево/вправо; кабелем вниз и влево/вправо; кабелем сверху через заднюю приставку;
- *шинное*: шинами назад; шинами влево/вправо; шинами назад и влево/вправо;
- *смешанное*: шинами назад и кабелем вниз; шинами назад и кабелем влево/вправо; кабелем вниз и шинами влево/вправо.

В качестве заземлителя в шкафах КРУ используется быстродействующий заземлитель с пружинным приводом и опциональной возможностью оснащения электроприводом. При необходимости ручное оперирование заземлителем, оснащенным электроприводом, осуществляется специальным ключом.

В *отсеке вспомогательных цепей* располагаются: блок управления выключателя ВВ/TEL (в случае его использования), микропроцессорные

устройства защиты, управления и автоматики, приборы контроля и учета электроэнергии, клеммные ряды и другая аппаратура вспомогательных цепей.

Реле, клеммные ряды, автоматические выключатели, преобразователи и другие устройства крепятся на DIN-рейках по задней стенке отсека, что облегчает монтаж или их замену в случае необходимости. На фасадную дверь отсека вынесены блоки индикации и управления микропроцессорными устройствами защиты и автоматики, мнемосхема, кнопки и ключи управления и аппаратура местной сигнализации, счетчик электрической энергии (при наличии). Взаимное расположение устройств на фасаде КРУ определяется ЗТД при создании трехмерной компоновочной модели релейного отсека. При открывании дверь отсека фиксируется в конечном положении. [3]



Рисунок 1.7 – Отсек вспомогательных цепей [3]

В шкафах КРУ «Классика» стандартно предусмотрена **система оперативных блокировок**, полностью отвечающая требованиям действующей нормативной документации и запрещающая неправильную последовательность операций с коммутационными аппаратами при проведении оперативных переключений или регламентных работ.

Блокировки, реализованные стандартно в рамках каждого функционального исполнения шкафа (Ввод, Отходящая линия, СВ, СР и т.п.), определяют алгоритм оперирования для заданного присоединения и по типу

воздействия на управляющие органы коммутационных аппаратов выполняются преимущественно механическими. Данный вид блокировок не содержит в своей конструкции элементов, нуждающихся в гарантированном питании, поэтому доступ в шкаф КРУ может быть осуществлен даже в случаях длительного пропадания оперативного питания.

Оперативные блокировки, определяющие взаимодействие ключевых элементов электрической схемы РУ в целом, устанавливаются только в отдельных шкафах (Ввод 1(2), узел СВ-СР, ТН с заземлителем сборных шин и т.п.) и по типу воздействия на управляющие органы коммутационных аппаратов выполняются стандартно электромагнитными, по желанию заказчика они могут быть заменены на замковые (не применимо к шкафам с электроприводом, в которых оперативные блокировки выполняются только электромагнитными). Электромагнитные или замковые блокировки опционально могут быть установлены и в других шкафах секции.

Наглядность коммутационных операций обеспечивается наличием на фасадах шкафов информативных *мнемосхем*. На двери отсека вспомогательных цепей стандартно аппликацией выполняется однолинейная схема главной цепи каждого шкафа КРУ, функциональные элементы в которой представлены в виде световых индикаторов, отражающих на основании соответствующих сигналов от концевых выключателей и микропереключателей, текущее положение КВЭ, контактов силового выключателя, заземлителя. По отдельному требованию шкаф КРУ может быть укомплектован интерактивными устройствами индикации состояния элементов, оснащенными ЖК-дисплеями, сторонних производителей.

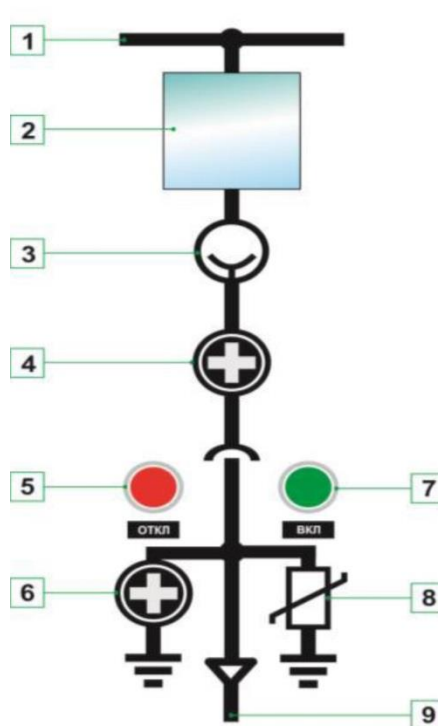


Рисунок 1.8 – Пример базовой мнемосхемы шкафа ввода/ОЛ [3]

Типовая мнемосхема шкафа ввода/отходящей линии, с силовым выключателем (ввод/вывод кабелем снизу) приведена на рисунке 1.8. На ней схематично отображены: 1 – магистраль сборных шин; 2 – опциональный амперметр (1 или 3 шт.); 3 – световой индикатор положения КВЭ; 4 – световой индикатор состояния контактов выключателя; 5 – кнопка местного отключения выключателя; 6 – световой индикатор положения ножей заземлителя; 7 – кнопка местного включения выключателя; 8 – нелинейный ограничитель перенапряжений; 9 – кабельная линия.

По дополнительному требованию в отсеке КВЭ (для контроля положения коммутационного аппарата) и отсеке присоединения (для контроля положения заземлителя) могут быть установлены *видеокамеры*. Они предназначены для визуального контроля в реальном времени за процессами перемещения КВЭ и за работой заземлителя внутри высоковольтных изолированных отсеков, что значительно повышает эксплуатационные преимущества КРУ, и дает возможность оперативному персоналу осуществлять удаленный визуальный

контроль выполнения команд дистанционного управления приводами КВЭ и заземлителя. [3]

Шкафы КРУ «Классика» серии D-12P могут быть установлены в специальные *электротехнические модули*, представляющие собой готовое строительное решение полной заводской готовности, выполненное на базе специального теплоизолированного электротехнического контейнера серии SKP, оснащенного системами освещения, обогрева и вентиляции.



Рисунок 1.9 – Комплектная трансформаторная подстанция модульная (KTPM) серии SKP [4]

Модульное здание серии SKP представляет собой утепленный контейнер, предназначенный для внутреннего размещения электротехнического оборудования и обеспечения защиты этого оборудования и обслуживающего персонала от климатических воздействий внешней среды. Внутри модуля в автоматическом или ручном режиме поддерживаются условия, соответствующие условиям эксплуатации распределительного устройства, сопутствующих систем и элементов. [2]

KTPM серии SKP применяются в качестве сетевых и потребительских подстанций на нефтегазопромыслах, рудниках, карьерах и других объектах, когда необходимо разместить подстанцию на ограниченной площади, максимально сократить сроки ее монтажа, а также обеспечить возможность ее демонтажа и перемещения на новое место эксплуатации. [4]

Вопросы для контроля:

1. Назвать типы ячеек из которых комплектуется КРУЭ.
2. Каким оборудованием комплектуется КРУЭ?
3. Назначение заземлителя в ячейке КРУЭ
4. Как выполняются в КРУЭ трансформаторы тока?
5. Как выполняются системы шин?
6. Назначение сильфонов.
7. Назначение и конструкция линейной ячейки. Нарисовать поясняющую схему.
8. Какое вспомогательное оборудование монтируется на ячейках КРУЭ?
9. Какие предохранительные устройства устанавливаются на ячейки и с какой целью?
10. Каким образом обеспечивается наглядность коммутационных операций?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Вакуумные реклоузеры Rec15

Реклоузер Rec15(25) — интеллектуальный коммутационный аппарат, объединяющий в одном устройстве силовой вакуумный выключатель наружного исполнения с интегрированной системой измерения токов и напряжений, и микропроцессорный шкаф управления с продвинутыми функциями защит и автоматики, специально адаптированными под нужды воздушных распределительных сетей. [5]

Реклоузер Rec15 разработан и производится отечественной компанией ООО «Таврида Электрик».

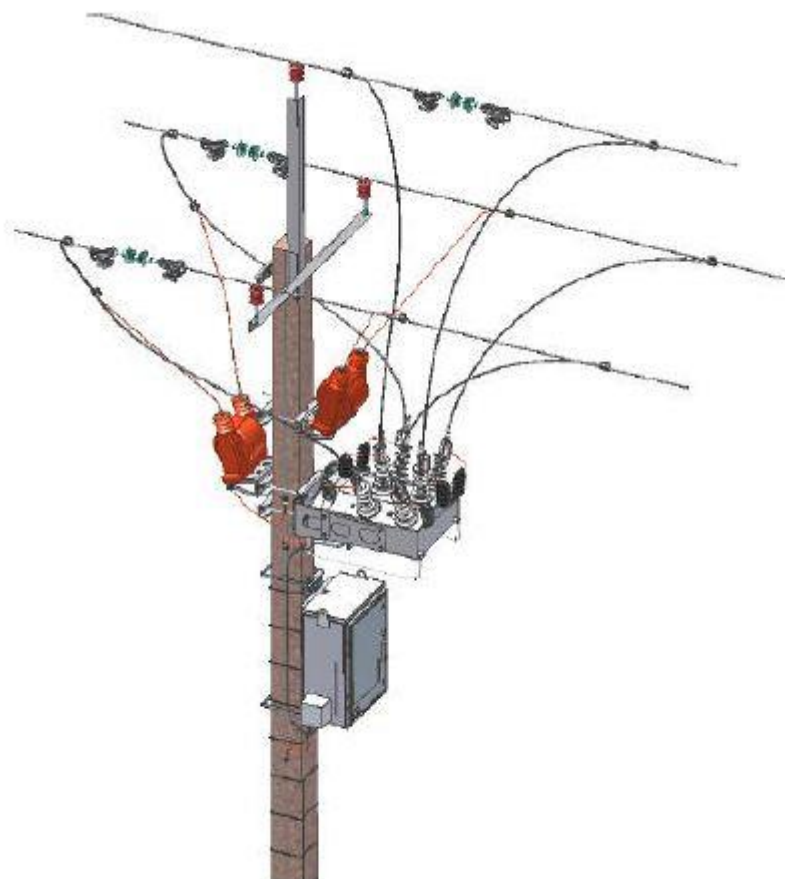


Рисунок 2.1 – Общий вид реклоузера TER_Rec15_A11_L5 [6]

Целевым применением реклоузеров является реализация децентрализованной автоматизации распределительных сетей с целью наиболее

эффективного способа повышения показателей надёжности электроснабжения потребителей (SAIFI и SAIDI) в воздушных сетях. Реклоузеры позволяют строить ОРУ 6 - 10 кВ для модернизации и нового строительства подстанций или распределительных пунктов, а также организовывать автоматизированные пункты местного резервирования электроснабжения потребителей I категории. Реклоузеры с функцией учёта позволяют оптимальным образом разграничивать балансовую принадлежность при подключении новых абонентов к сети, обеспечивая учет электроэнергии и предупреждение хищений электроэнергии для сокращения коммерческих потерь. [5]

Конструкция и принцип действия.

Коммутационный модуль OSM15_A1_1 состоит из вакуумного выключателя, размещенного в корпусе из коррозионностойкого алюминиевого сплава, в высоковольтные вводы которого встроены датчики тока и напряжения. Высоковольтные вводы имеют изоляцию из силиконовой резины. Корпус покрыт слоем порошковой краски.

Высоковольтные вводы маркируются X1X2X3 и X4X5X6.

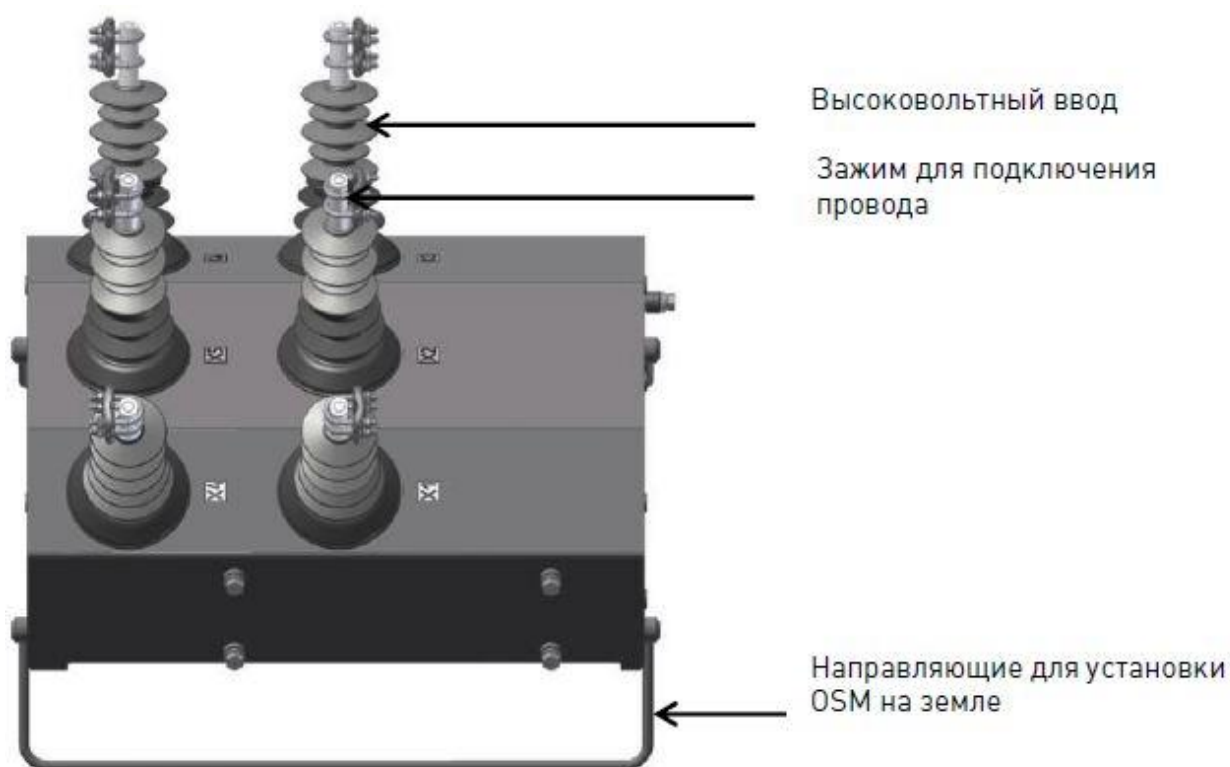


Рисунок 2.2 – Коммутационный модуль OSM15_A1_1. Вид сбоку [6]

На боковых и торцевых сторонах корпуса располагаются монтажные отверстия, болт заземления.

Снизу коммутационного модуля расположены:

- разъем для подключения соединительного устройства;
- кольцо ручного отключения;
- указатель положения главных контактов;
- дренажный фильтр.

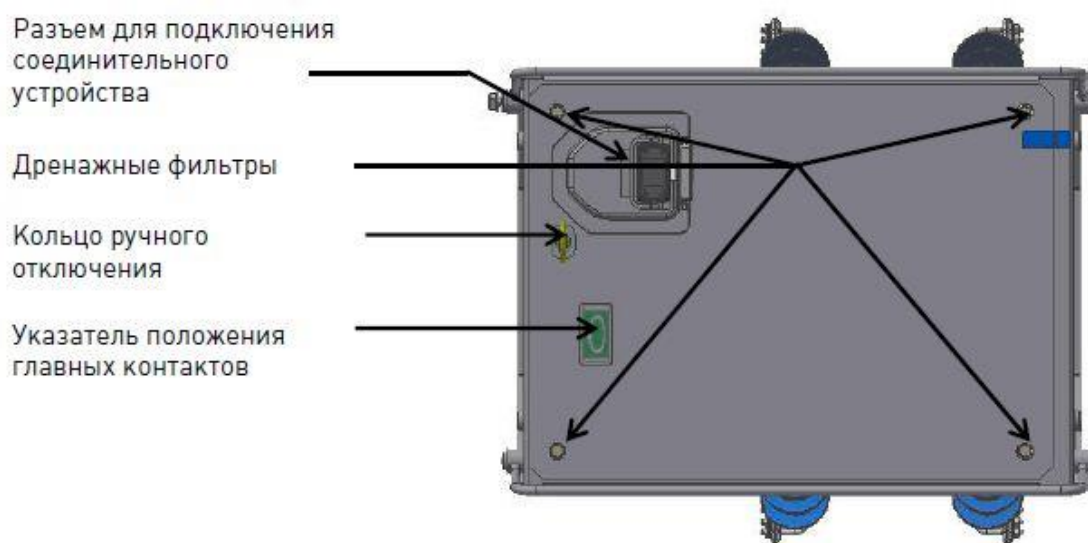


Рисунок 2.3 – Коммутационный модуль OSM15_A1_1. Вид снизу [6]

Шкаф управления выполнен из коррозионностойкого алюминиевого сплава, покрытым слоем порошковой краски. Шкаф имеет две двери: внешнюю и внутреннюю. На внешней двери расположен рычаг для ее открытия/закрытия. В закрытом состоянии обеспечивается установка навесного замка.

В открытом состоянии внешняя дверь имеет фиксатор, который препятствует ее закрытию. На внешней стороне внутренней двери расположена панель управления. При открытии появляется доступ к внутренним элементам шкафа управления. Чтобы открыть внутреннюю дверь, надо отвернуть два невыпадающих винта.

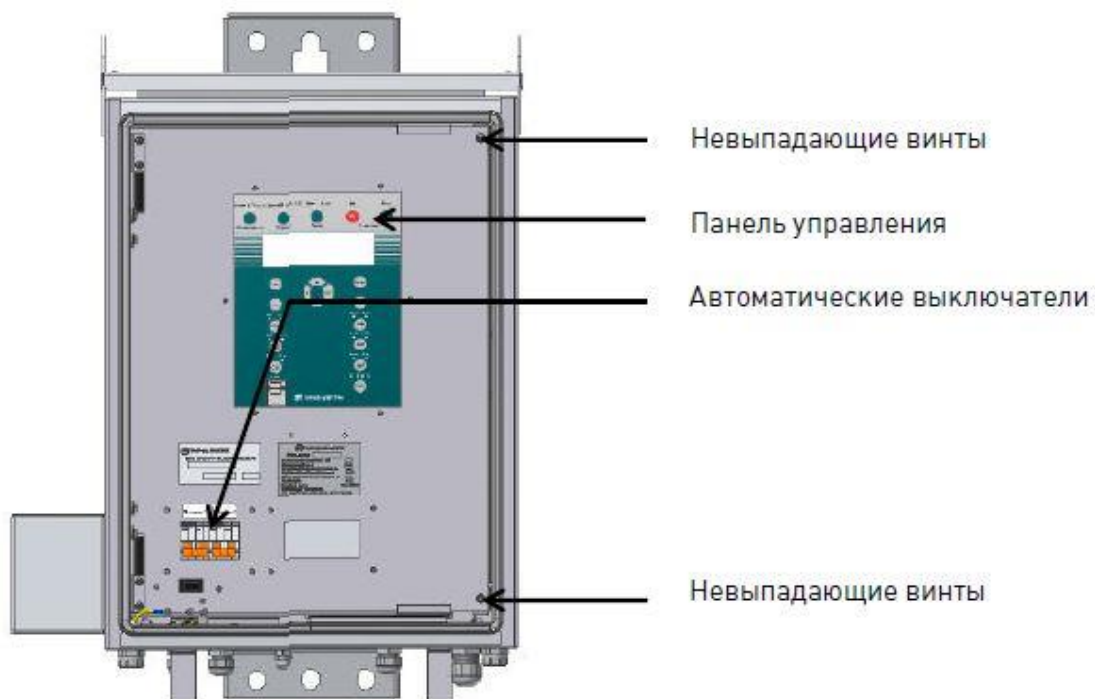


Рисунок 2.4 – Шкаф управления. Внутренняя дверь [6]

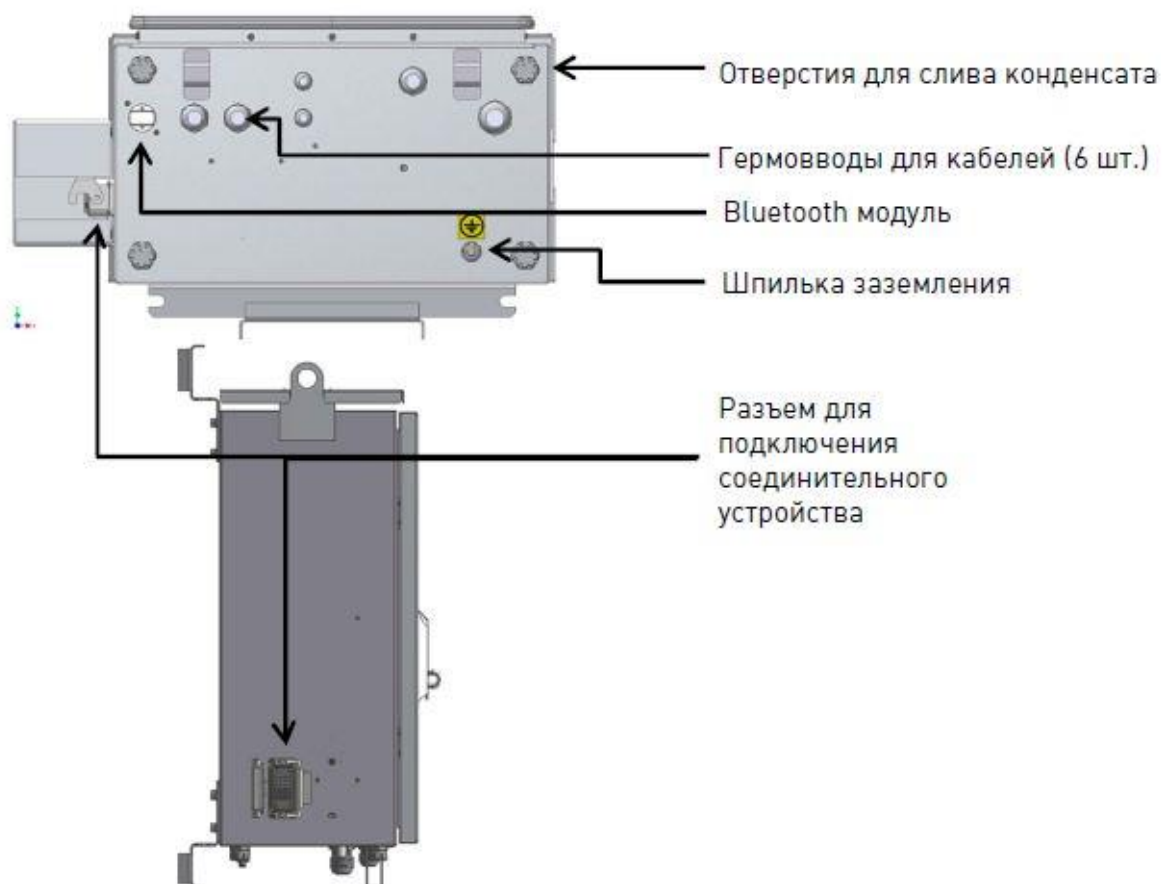


Рисунок 2.5 – Шкаф управления. Вид снизу и сбоку. [6]

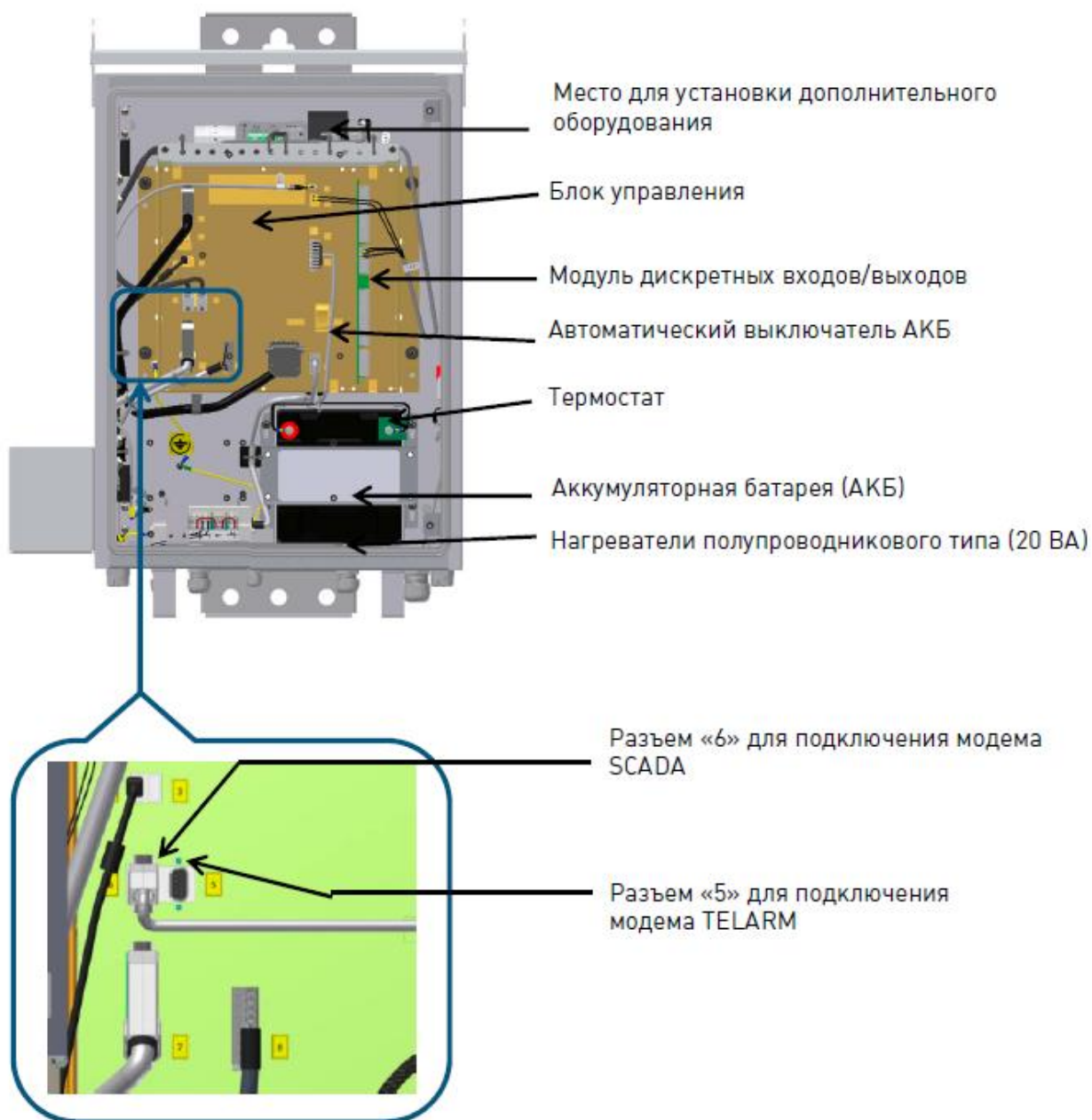


Рисунок 2.6 – Шкаф управления с роутером и УКВ приемопередатчиком [6]

В шкаф управления может быть установлено дополнительное оборудование. Перечень дополнительного оборудования определяют параметры кодировки Par4 и Par5.

Оперативное отключение и включение реклоузера можно выполнить различными способами в зависимости от режима его работы:

- из шкафа управления, стоя в непосредственной близости от реклоузера — местный режим управления;

- удаленно, командой диспетчера — дистанционный режим управления.

Встроенная система измерения коммутационного модуля непрерывно контролирует параметры сети. Измеренные значения параметров по соединительному устройству передаются в шкаф управления. В случае обнаружения аварии шкаф управления подает команду на отключение коммутационного модуля. Время подачи команды на отключение определяется уставками защиты по току ($I_{сз}$) и по времени, а также параметрами аварии.

Механическое отключение выполняется оперативной штангой. Чтобы произвести механическое отключение коммутационного модуля, кольцо ручного отключения необходимо потянуть вниз до упора.

В данном состоянии реклоузер находится в заблокированном на включение состоянии. Для того чтобы разрешить включение коммутационного модуля, кольцо ручного отключения необходимо перевести вверх.

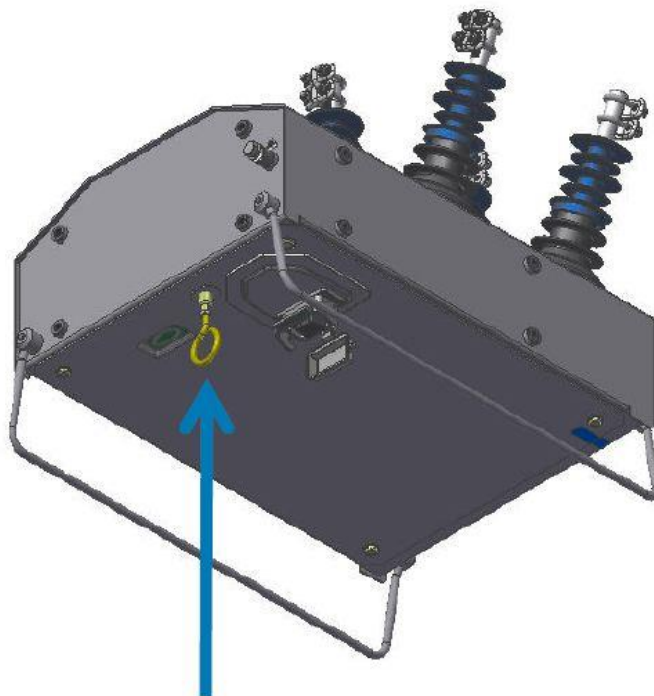


Рисунок 2.7 – Вывод из режима механической блокировки [6]

Если в уставках введено АПВ, то автоматическое повторное включение коммутационного модуля, отключенного от защит, произойдет через заданную выдержку времени согласно уставкам АПВ.

Если в проекте задействован АВР, то автоматическое включение коммутационного модуля, находящегося в «горячем» резерве, произойдет через заданную выдержку времени согласно уставкам АВР. [6]

Использование по назначению.

Работа с реклоузером может выполняться в местном и дистанционном режиме.

В режиме местного управления доступны интерфейсы:

- панель управления;
- TELARM Lite [7],

а также механическое отключение.

В режиме дистанционного управления доступны интерфейсы:

- Модуль дискретных входов/выходов;
- SCADA.

Панель управления предназначена для управления и снятия показаний в местном режиме работы.

На панели управления расположены:

- индикаторы состояния коммутационного модуля, защит;
- клавиши навигации по меню;
- кнопки ввода/вывода защит;
- разъем для подключения кабеля USB.

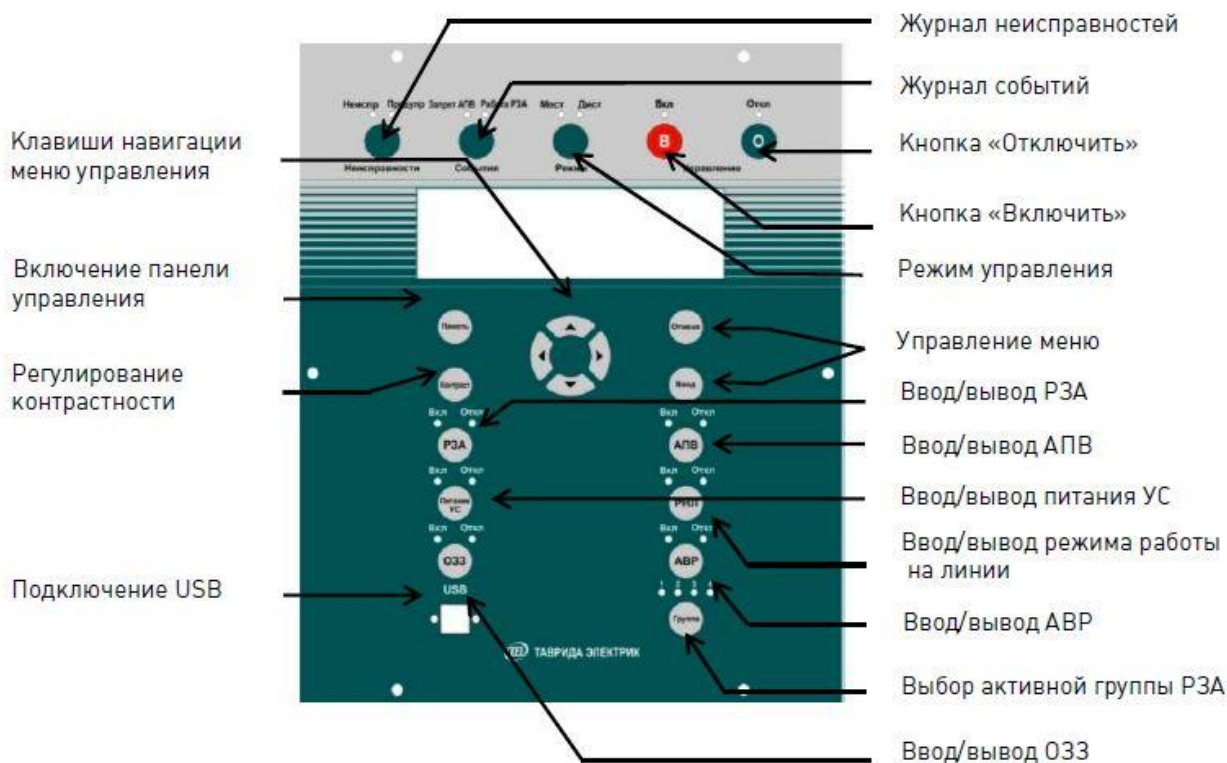


Рисунок 2.8 – Панель управления [6]

Структура меню панели управления построена по иерархическому принципу. Переход по меню осуществляется с помощью клавиш навигации. При нажатии на кнопку «Ввод» выполняется переход на один уровень вниз. При нажатии на кнопку «Отмена» выполняется переход на один уровень вверх.

TELARM Lite – сервисное программное обеспечение, предназначенное для выполнения функций в режиме местного управления (непосредственно рядом с реклоузером):

- управления;
- изменения настроек;
- просмотра и анализа журналов и данных измерений.

В качестве канала передачи данных *TELARM Lite* используются:

- USB-соединение;
- Bluetooth-соединение;
- RS232 (проводное соединение).

Интерфейс TELARM Lite представляет собой базу данных, в виде иерархического дерева фидеров и реклоузеров. Вид главного окна программы представлен на рисунке 2.9.

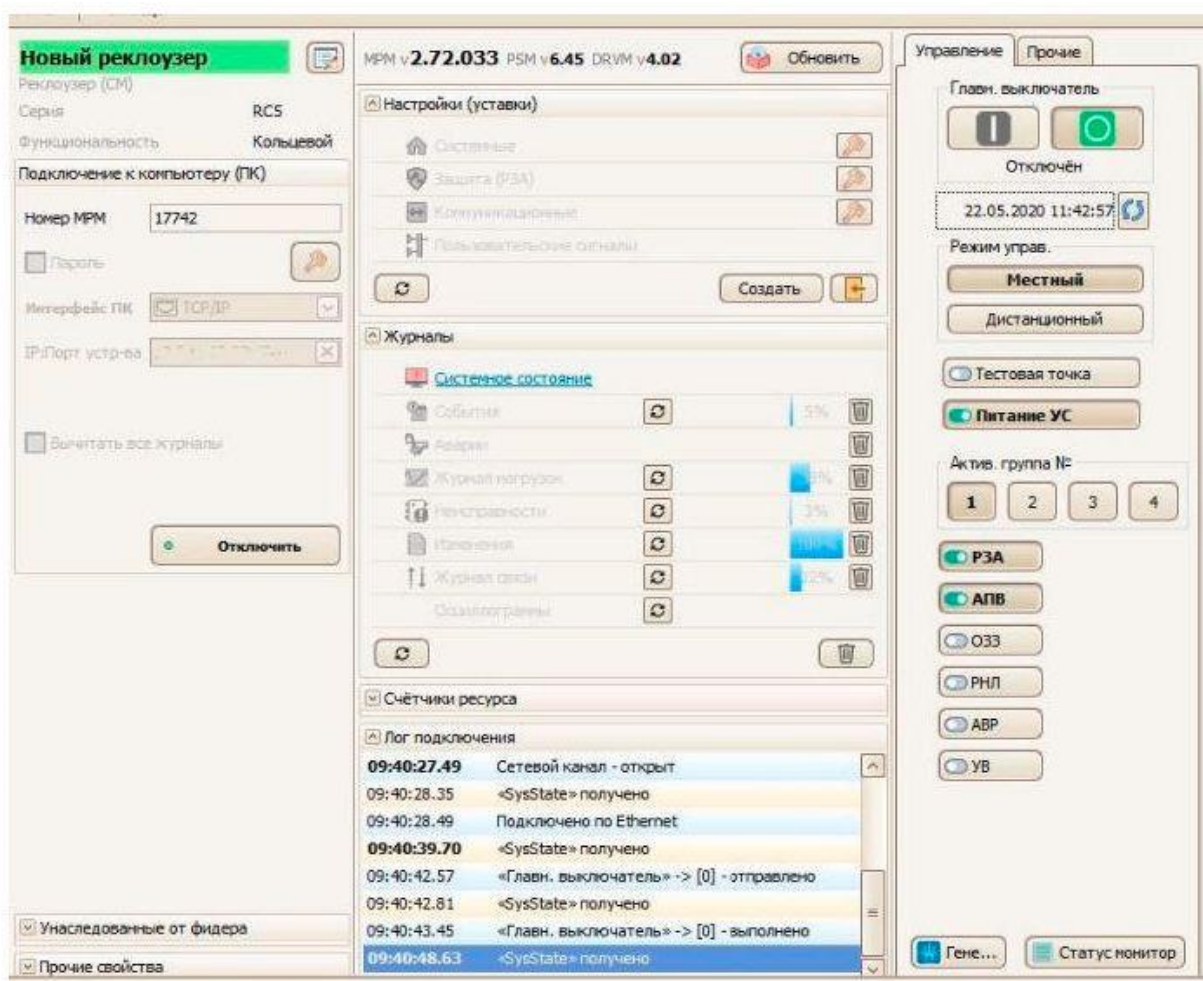


Рисунок 2.9 – Панель управления реклоузером [7]

Подробное описание программного обеспечения приведено в руководстве пользователя TELARM Lite [7].

Техническое обслуживание.

Реклоузер TER_Rec15_A11_L5 не требует проведения капитальных, средних и текущих ремонтов, а также не представляет опасности для окружающей среды и здоровья людей, не содержит драгоценных металлов и после окончания срока службы утилизируется как бытовые отходы.

Вопросы для контроля:

1. Правила заземления реклоузера.
2. Составные элементы реклоузера и функциональное назначение.
3. Какие защиты осуществляет реклоузер?
4. Каким образом осуществляется питание реклоузера?
5. Способы установки реклоузера?
6. Дать разъяснения времятоковой характеристики направленной токовой защиты.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией

Применение элегаза SF₆ в качестве изоляции позволяет создать КРУ на высокие напряжения (в мировой практике до 800 кВ). Элегаз обладает высокими электроизоляционными и дугогасительными свойствами, не токсичен, не горит, не образует взрывоопасных смесей. Выключатели, разъединители, трансформаторы тока с элегазовой изоляцией имеют значительно меньшие габариты, чем такие же аппараты с масляной и фарфоровой изоляцией. Каждый элемент в КРУ с элегазовой изоляцией (КРУЭ) заключают в металлический герметичный заземленный кожух, заполненный элегазом под избыточным давлением.

Отдельные элементы (блоки) соединяют с помощью газоплотных фланцев, а электрические соединения выполняют стержневыми шинами, размещенными в металлических корпусах с элегазом, и втычными контактами розеточного типа. Деление КРУЭ на блоки позволяет при замене одного из них сохранить газовое заполнение в остальной части. Ячейки КРУЭ серии ЯЭ на 110 и 220 кВ разработаны научно-исследовательским институтом высоковольтного аппаратостроения (НИИВА) для схем с одной и двумя системами шин. По функциональному назначению ячейки КРУЭ могут быть линейные, шиносоединительные, трансформаторов напряжения и секционные.

На рисунке 3.1 показана линейная ячейка ЯЭ-110Л-23У4 – ячейка элегазовая, на 110 кВ, линейная 2 – для схемы с двумя системами шин; 3 – разноименные фазы в ряду; У – климатическое исполнение; 4 – категория размещения (в закрытом отапливаемом помещении).

Три фазы сборных шин находятся в одном общем металлическом кожухе, что позволяет уменьшить габариты. Электрическая прочность элегаза позволяет это сделать. Ответвления от сборных шин входят в блок шинных разъединителей, которые соединены стержневым проводником. Последний может быть заземлен с помощью заземлителя. Далее следует блок

трансформатора тока и выключатель. Начиная с шинных разъединителей, фазы ячейки разделены. При выходе из выключателя установлен еще один блок трансформаторов тока. Через переходные блоки токоведущие части подходят к линейному разъединителю с двумя заземлителями. Ячейка присоединяется к кабельному вводу. Для каждого полюса предусмотрен шкаф управления, в котором находятся ключи управления разъединителями, электроконтактные манометры, ряды контактных зажимов всех вторичных цепей полюса, контакторы, аппаратура дистанционного привода, блокировок и др. Избыточное давление элегаза в выключателе составляет 0,6 МПа, в отсеке трансформатора напряжения – 0,4 МПа, в других элементах – 0,25 МПа. [1]

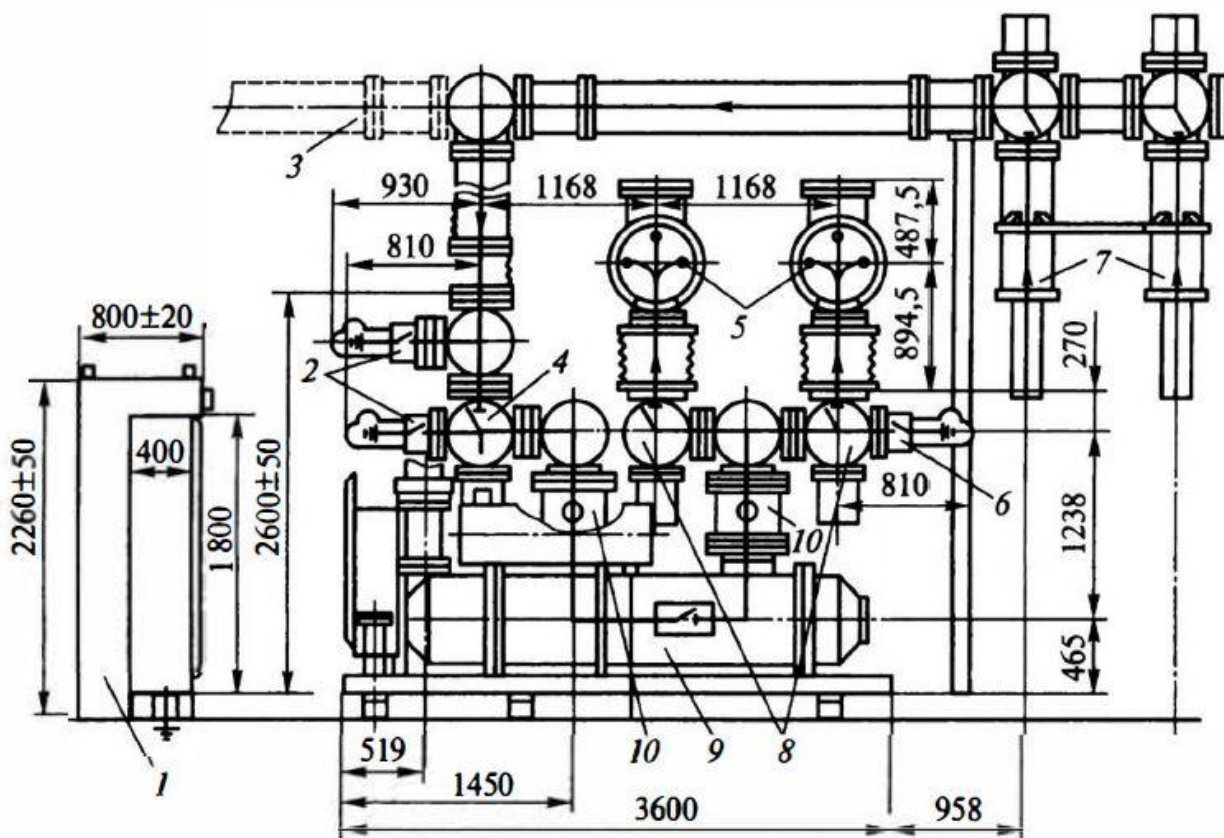


Рисунок 3.1 – КРУЭ 110 кВ с элегазовой изоляцией. Ячейка линейная ЯЭ-110Л-23У4: 1 – шкаф управления; 2, 6 – заземлители; 3 – вариант присоединения токопровода; 4 - линейный разъединитель; 5 - сборные шины; 7 – кабельные вводы; 8 - шинные разъединители; 9 - выключатель; 10 - трансформатор тока [1]

Если вывод к кабелям надо сделать влево, то токопровод присоединяется с другой стороны. На рисунке 3.1 условно изображены фазы сборных шин, разъединители, заземлители, выключатель на соответствующих блоках ячейки.

В КРУЭ на 220 кВ в отличие от КРУЭ на 110 кВ принято однофазное исполнение сборных шин. Каждая фаза расположена внутри заземленных металлических корпусов и крепится литыми эпоксидными изоляторами. Таким образом, ячейки КРУЭ выполняются с отдельными фазами, все оборудование, включая сборные шины, разнесено по фазам (рисунок 3.2). Блок сборных шин в ячейках ЯЭГ-220 расположен в нижней части, а выключатель – вертикально. Кабельные выводы присоединяются к блоку. Расположение всех остальных блоков можно проследить по схеме электрических соединений ячейки.

Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией имеют следующие *достоинства*:

- уменьшение требуемой площади в 10-15 раз;
- увеличение межремонтных периодов;
- полная автоматизация обслуживания;
- полная пожаро- и взрывобезопасность;
- биологическая безопасность для окружающей среды (отсутствие электрических и магнитных полей, низкий уровень шума, отсутствие радиопомех).

Недостатками являются:

- относительно высокая стоимость элегаза;
- ограничение нижних рабочих температур окружающего воздуха (не ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$), что приводит к необходимости установки КРУЭ в закрытых помещениях или под землей. [1]

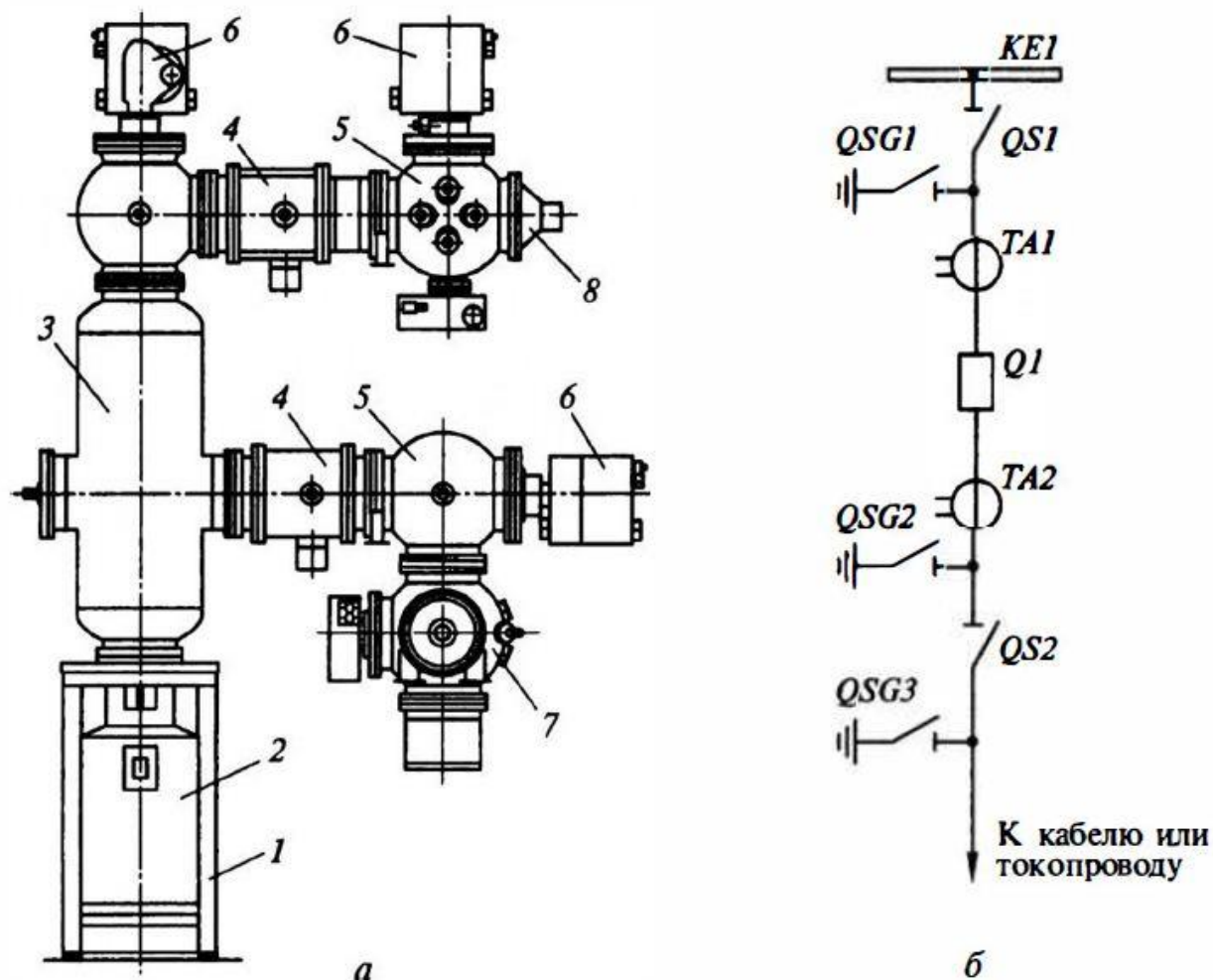


Рисунок 3.2 – Полос ячейки ЯЭГ-220Л-13УХЛ4:

- а – конструкция: 1 – металлоконструкция; 2 – привод; 3 – выключатель;
 4 – трансформаторы тока; 5 – разъединители; 6 – заземлители;
 7 – сборные шины; 8 – блок; б – электрическая схема ячейки [1]

Причиной ограничения нижних температур является сжижение элегаза при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, а следовательно, изменение в сторону ухудшения его изоляционных и дугогасительных свойств. Для открытой установки КРУЭ в местностях, где температура воздуха опускается ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, должен быть решен вопрос о возможности подогрева элегаза и всего выключателя.

Применение КРУЭ позволяет выполнить компактные городские понижающие подстанции 220/110/10 кВ в центре нагрузок, что очень важно в застройках большой плотности и на промышленных предприятиях.

КРУЭ находит применение:

- на объектах металлургии и химии, а также на ТЭЦ с сильно загрязненной атмосферой;
- в труднодоступных районах, особенно вечной мерзлоты, с полностью автоматизированными подстанциями;
- в береговых районах с солевыми туманами;
- на гидростанциях в скальном грунте, с ограниченными площадями для подстанции;
- на подстанциях 750 кВ и выше, где эксплуатация традиционного оборудования затруднена по соображениям экологии.

Строительство подстанций с КРУЭ дает экономию строительно-монтажных работ, в 7 - 8 раз сокращает расход металлоконструкций. Применение КРУЭ имеет большие перспективы.

Кроме рассмотренных выше серий КРУЭ, применяются герметизированные элегазовые РУ, выпускаемые фирмой АББ. КРУЭ серии ELK и EXK собираются из отдельных модулей по различным схемам. Достоинством этой серии являются: компактность; низкая чувствительность к внешним воздействиям; повышенная безопасность и надежность; небольшая масса (ячейка EXK с электронно-оптическим трансформатором напряжения имеет массу 2500 кг, а ячейка ЯЭ с трансформатором напряжения ЗНОГ-110 – 3600 кг); большой срок службы и др. [1]

Рассмотрим более подробно КРУЭ АББ типа ELK-04.

КРУЭ типа ELK-04 было разработано так, чтобы ячейка полностью помещалась в один стандартный контейнер. Ко времени запуска в производство в 1992 г., ELK-04 разрабатывалось на номинальный ток 3150 А, ток отключения 40 кА и номинальное напряжение 170 кВ. В зависимости от требований заказа на сегодняшний день стало возможным изготовление ячеек КРУЭ на максимальные или минимальные номинальные параметры с оптимизацией их стоимости на основе модульной системы. Различные решения по компоновке

КРУЭ возможны, в основном, за счет использования унифицированного диаметра фланца.

Система КРУЭ составлена из функциональных модулей, состоящих из различных первичных и вторичных устройств. Каждый функциональный модуль выполняет свои задачи оптимальным способом во взаимодействии с другими модулями. [8]

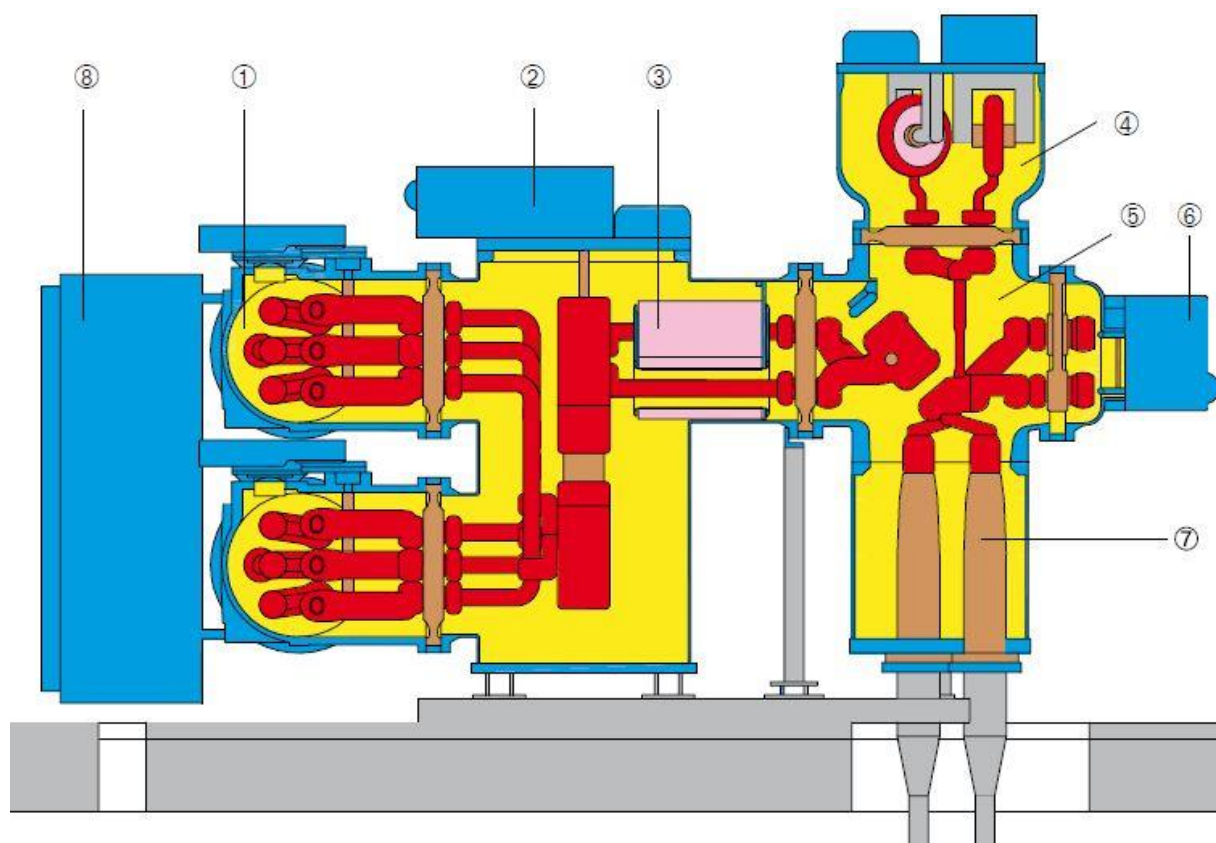


Рисунок 3.3 – Основные модули КРУЭ типа ELK-04:

- 1 – шина с комбинированным разъединителем-заземлителем;
- 2 – выключатель; 3 – трансформатор тока; 4 – трансформатор напряжения;
- 5 – линейный разъем – заземлитель; 6 – быстродействующий заземлитель; 7 – кабельный отсек; 8 – шкаф местного управления [8]

Выключатели являются самой важной частью КРУЭ. Их конструктивные особенности сильно влияют на компоновку и общие габариты всех распределительных устройств. В основном выключатели в КРУЭ типа ELK-04 оборудуются автокомпрессионными дугогасительными камерами, с одной

камерой на полюс. Эти камеры требуют минимального обслуживания и небольшой энергии для оперирования.

Пружинно-гидравлический привод типа НМВ является общим для всех вариантов выключателей. Благодаря малогабаритной и модульной конструкции, возможны варианты приводов для полюсного и трехполюсного управления выключателем. Сохраняемая в пружинах тарельчатого типа энергия позволяет производить различные циклы коммутации без их подзарядки.

Выключатели для КРУЭ типа ELK-04 являются универсальными и почти не требуют технического обслуживания.

Дугогасительные камеры для выключателей на 40, 50 и 63 кА являются унифицированными и многократно испытанными устройствами. Они не сильно различаются и используются не только в КРУЭ ELK-04, но и применяются в других высоковольтных коммутационных аппаратах производства АББ (например, в выключателях для ячеек обычных ОРУ).

Все дугогасительные камеры характеризуются надежным размыканием главных и дугогасительных контактов при гашении дуги. В результате применения износостойких материалов для дугогасительных контактов и малого

износа главных контактов достигнуто значительное снижение объема работ по их осмотру и обслуживанию. В большинстве случаев, осмотр и обслуживание не требуется в течение всего срока эксплуатации.

В отличие от обычных компрессионных камер, автокомпрессионные устройства гашения дуги имеют двухобъемную конструкцию камеры. Объемы отделены друг от друга посредством свободно посаженного невозвратного клапана. В объеме сжатия элегаз сжимается во время операции отключения. Сжатый газ гасит дугу от всех номинальных токов так же, как в обычной компрессионной камере. Размер камеры сжатия и геометрия контактов оптимизированы таким образом, чтобы снизить перенапряжения и обеспечить мягкое гашение дуги. В отличие от рабочих токов, при токах КЗ энергия дуги

быстро нагревает дугогасящий газ, увеличивая тем самым его давление. Давление газа обеспечивает отключение токов КЗ вплоть до номинальных. Поэтому, приводу выключателя не требуется развивать большое усилие для сжатия газа и создания давления необходимого для гашения дуги при отключении токов КЗ. Следовательно, необходимое давление газа создается приводом только в случае коммутации номинальных рабочих токов. При использовании пружинно-гидравлического привода, из-за легко настраиваемых рабочих характеристик, появляющиеся силы реакции практически ничтожны. Это относится ко всей системе в целом, состоящей из дугогасительной камеры, механической системы тяг и привода. Таким образом, конструкция выключателя может быть выполнена просто и надежно. Автокомпрессионное дугогасительное устройство и пружинно-гидравлический привод с малой силой реакции обеспечивают надежную коммутацию и мягкое гашение дуги.

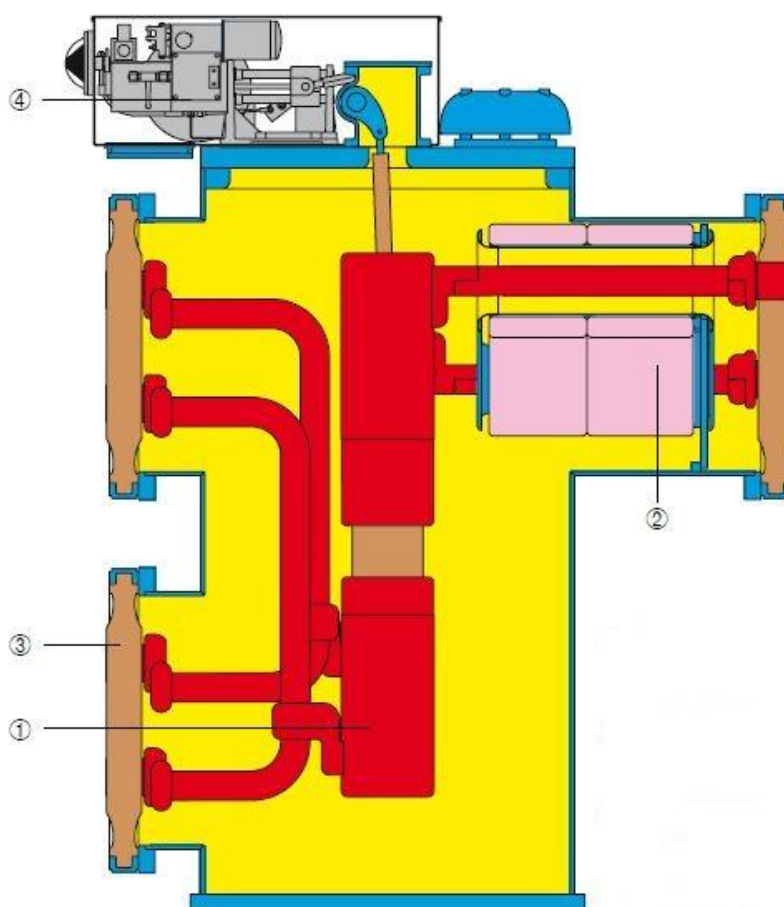


Рисунок 3.4 – Выключатель для КРУЭ типа ELK-04:

1 – дугогасительная камера; 2 – трансформатор тока; 3 – барьерный изолятор; 4 – привод [8]

Привод для трехполюсного управления состоит из нескольких функциональных модулей:

- модуль подзарядки;
- модуль хранения энергии в блоке пружин;
- рабочий модуль с поршнем и встроенным демпфером ограничения хода;
- модуль мониторинга с пружинным ограничителем хода;
- распределительный модуль с управляющими клапанами для операций Откл. – Вкл.

Вариант привода для полюсного управления состоит из трех рабочих и распределительных модулей. Передача и отключение потока энергии основаны на проверенных и испытанных компонентах гидравлики (переключающие клапаны, гидронасос с невозвратным клапаном).

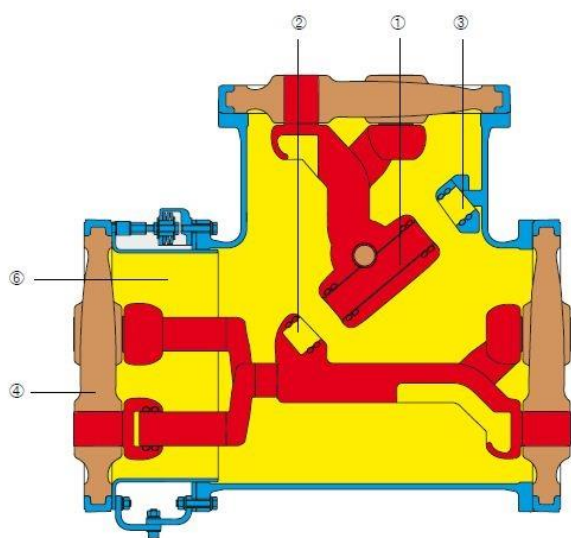
Комбинированный разъединитель-заземлитель. Существует два вида отсеков, с помощью которых можно встроить комбинированный разъединитель-заземлитель в модульную систему. На стороне шины обычно применяется корпус отсека с тремя фланцами. На стороне фидера, как правило, корпус содержит 4 фланца. Оба вида выполнены из одинаковых компонентов. Для максимальной безопасности, комбинированный разъединитель-заземлитель оборудуется отдельными блоками управления. Таким образом предупреждаются ложные электрические, либо механические операции.

Шинный модуль комбинированного разъединителя-заземлителя состоит из шинных токопроводов и дополнительно к ним поперечно установленного трехпозиционного механизма разъединителя-заземлителя. Таким образом, гарантируется надежное отсоединение и заземление выключателя. Для обеспечения надежного соединения ячеек комбинированный разъединитель-заземлитель оборудуется механизмом гибкого поперечного соединения.

Втычные контакты в поперечном соединительном сборочном узле соединяют проводники шин. Следовательно, компенсируются изменения длины вследствие температурных перепадов. Таким же образом можно также полностью избежать появления механических напряжений на изоляторах из-за различного уровня нагрева проводников и оболочек.

Фидерный модуль комбинированного разъединителя-заземлителя позволяет установку и подключение трансформатора напряжения. Электрическое присоединение можно выполнить как до, так и после изоляционного промежутка. Это означает, что напряжение можно измерить как со стороны КРУЭ, так и со стороны отходящей линии. Соединительный фланец ТН также служит в качестве испытательного фланца для высоковольтного испытания КРУЭ или кабеля. Обычно этот модуль комбинируется с ТН, быстродействующим заземлителем и кабельным отсеком. Дополнительно имеется и модуль с изолированными заземляющими контактами.

Шинный комбинированный разъединитель-заземлитель



Фидерный комбинированный разъединитель-заземлитель

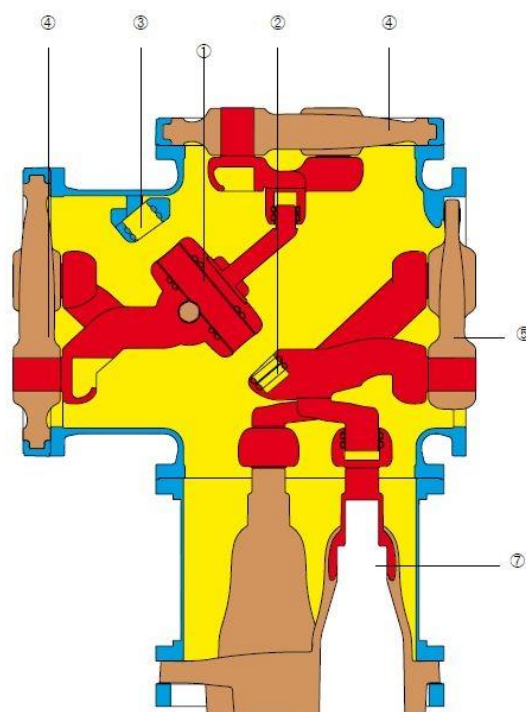


Рисунок 3.5 – Шинный и фидерный комбинированные разъединители-заземлители: 1 – трехпозиционный механизм; 2 – контакт разъединителя; 3 – контакт заземлителя; 4 – барьерный изолятор; 5 – опорный изолятор;

6 – поперечный сборочный элемент; 7 – ввод кабеля с эпоксидным изолятором
(МЭК) [8]

Быстродействующий заземлитель может надежно коммутировать токи КЗ. Данный модуль может устанавливаться как на стороне фидера, так со стороны шины. Это существенно снижает эффект от неправильного оперирования. Быстродействующий заземлитель оборудуется моторно-пружинным приводом для обеспечения очень быстрого срабатывания. Привод работает от электромотора и содержит все необходимые компоненты для обеспечения безопасного механического срабатывания и электрической блокировки.

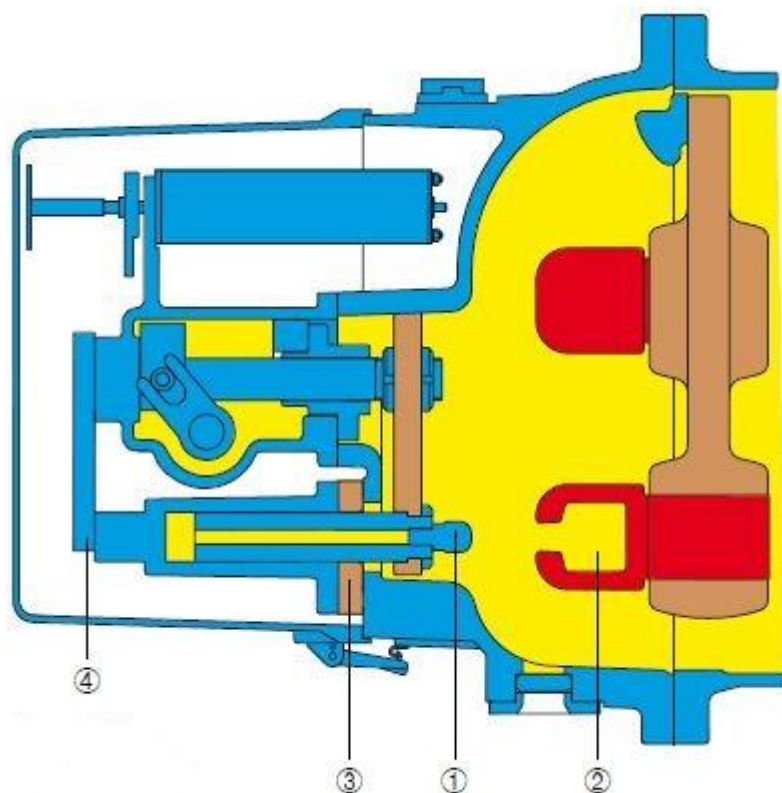


Рисунок 3.6 – Быстродействующий заземлитель:

1 – подвижный контакт; 2 – неподвижный контакт;
3 – изоляционный элемент; 4 – клемма заземления [8]

Для измерений и защиты используются *индуктивные однофазные трансформаторы тока* и *трехфазные трансформаторы напряжения*, иногда также используются современные трехфазные датчики тока и напряжения. Как правило, трансформаторы напряжения располагаются в одном отсеке, отделенным барьерным изолятором от остальной части ячейки. Трансформаторы тока обычно интегрированы с выключателем. В другом случае может быть применен отдельный отсек. Изоляция первичной стороны трансформаторов тока и напряжения осуществляется при помощи элегаза. Выводы вторичных обмоток подключаются в клеммную коробку на блоки зажимов через проходные изоляторы.

Трансформатор тока (ТТ) спроектирован как трансформатор низкого напряжения. Доступные коэффициенты трансформации, выходная нагрузка, классы точности и т. д. соответствуют нормативным требованиям современных технологий измерения и защиты. Трансформаторы тока имеют сердечники тороидальной формы. В зависимости от требований ТТ могут быть установлены перед или после дугогасительной камеры выключателя. Обычно ТТ встроены в корпус выключателя.

Трансформатор напряжения индуктивного типа. Кроме стандартных версий, имеются варианты ТН с демпфированием ферро-резонанса и ТН со встроенным разъединителем. Для второго варианта предусмотрено исполнение с моторным приводом или ручным приводом. Трансформаторы напряжения со встроенным разъединителем обычно применяются, когда ТН подключен со стороны кабеля и при выполнении испытаний кабеля высоким напряжением постоянного тока на стороне фидера требуется его отключение. На вторичной стороне трансформатора напряжения могут быть предусмотрены измерительные обмотки и обмотка по схеме разомкнутый треугольник для защиты от замыканий на землю. Обмотки трансформатора напряжения располагаются равноудалено друг от друга. Витки каждой обмотки высокого напряжения изолированы друг от друга пластиковой пленкой. Промежуточные полости заполнены элегазом по специальной технологии.

Для достижения полной конфигурации КРУЭ, в дополнение к основным модулям могут потребоваться *дополнительные сборные модули*. В основном это:

- адаптеры;
- секции шинпровода прямые и угловые;
- секции с 3 и 4-мя фланцами;
- узлы прямого присоединения к силовым трансформаторам;
- ОПН.

Адаптеры необходимы для расширения продукции, снятой с производства, которую когда-либо производила АББ на напряжение от 52 до 170 кВ. Кроме трехфазных переходников, доступны также адаптеры с одной на три фазы. Дополнительно существуют адаптеры для соединения фланцев большого и малого диаметров.

Секции шинпровода используются, как правило, для присоединения токопроводов к вводу «элегаз-воздух» или к вводу силового трансформатора. Для этих целей существуют секции шинпровода общей длиной 6 м на напряжение 170 кВ, 3150 А и 63 кА.

Секции с 3 и 4-мя фланцами в основном требуются в случае Т-образных ответвлений главных цепей тока. Корпуса секций идентичны тем, которые используются для комбинированного разъединителя-заземлителя.

С помощью *узла прямого присоединения* можно подключить силовой трансформатор прямо к КРУЭ через элегазовую изоляцию. В соединении через ввод «элегаз-воздух» больше нет необходимости. В зависимости от размера и типа автотрансформатора имеются трехфазные и трех-/однофазные типы узлов прямого присоединения.

ОПН используются для защиты самого КРУЭ, присоединенных кабелей и последующих, чувствительных к перенапряжениям устройств, таких как силовые трансформаторы. ОПН состоит из колонны варисторов ZnO в форме дисков, обладающих сильно выраженной нелинейной вольтамперной характеристикой. ОПН существуют на разные уровни защиты по напряжению и

классы линейных разрядов (LD3 и LD4). ОПН с элегазовой изоляцией устанавливаются в обычном отсеке шинпровода и подключаются к КРУЭ с помощью обычного барьерного изолятора.



Рисунок 3.7 – Прямое присоединение трехфазного трансформатора [8]

Система газовых отсеков. В отсеке выключателя элегаз служит дугогасящей и изолирующей средой. В остальных отсеках элегаз необходим как изолирующая среда. Газовые отсеки разделяются барьерными изоляторами. В каждом модульном отсеке плотность газа отслеживается термокомпенсированными мониторами плотности (давления). Все газовые отсеки оборудуются невозвратными клапанами.



Рисунок 3.8 – Термокомпенсированный монитор плотности (давления) со шкалой [8]

Управление и мониторинг. Все вспомогательные электрические устройства цепей контроля, сигнализации, блокировки и т. д. располагаются в шкафу местного управления.

Основными функциями шкафа являются:

- местное управление и отображение статуса коммутации при помощи кнопок управления и индикаторов положения;
- защита КРУЭ и обслуживающего персонала при помощи функций блокировки;
- сбор и отображение рабочих измеряемых параметров (напряжение, ток);
- отображение и обработка предупреждающих и аварийных сигналов и подсчет числа срабатываний.

На передней панели шкафа управления отображается однолинейная схема КРУЭ со встроенными индикаторами положения и соответствующими кнопками управления. Ключ «Режим Блокировки» позволяет деблокировать коммутационные аппараты ячейки. Ключ «Режим Управления» устанавливает возможность местного или дистанционного управления.

Возможна установка в шкафы местного управления КРУЭ цифровых устройств управления и защиты, которые можно настроить согласно выбранной философии управления и защиты. В случае использования цифровой технологии, однолинейная диаграмма с индикаторами положения и кнопками управления замещается цифровым интерфейсом оператора.

Цифровые устройства управления обеспечивают те же функции, что и обычные устройства. Более того, можно осуществить множество разносторонних дополнительных функций управления и защиты:

- проверка синхронизма;
- АПВ;
- отслеживание рабочей частоты;
- регистрация повреждения;
- резервная защита.

Для связи между устройствами самой ячейки и устройствами на уровне всего КРУЭ использует новый стандартный протокол связи МЭК 61850. Также доступны другие протоколы (например, LON) или МЭК 60870/5-103, а также Modbus или Profibus. [8]

Вопросы для контроля:

1. В чем преимущество КРУ с элегазовой изоляцией?
2. Опишите КРУЭ 110 кВ с элегазовой изоляцией?
3. Назовите ячейки КРУЭ по функциональному назначению.
4. Недостатки КРУ с элегазовой изоляцией?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Цифровые измерительные трансформаторы АО «ПРОФОТЕК»

АО «ПРОФОТЕК» – российская интегрированная компания – разработчик и производитель специального оптического волокна, измерительных оптических трансформаторов и комплексных решений для цифровых подстанций.

Продукция «ПРОФОТЕК» – это полностью цифровая и информационная основа для создания интеллектуальных сетей, которая является единственным источником данных для устройств автоматизации, контроля, коммерческого учета и релейной защиты цифровой подстанции, полностью соответствуя стандарту автоматизации IEC 61850 (МЭК). Область применения продукции «ПРОФОТЕК» – объекты электроэнергетики, среди которых сетевое хозяйство, генерирующие объекты, энергоемкие производства.

Технологии «ПРОФОТЕК» позволяют существенно повысить точность измерений и перейти на качественно новый уровень измерений с применением только цифровой обработки сигнала. Применение оптических технологий для релейных защит и противоаварийной автоматики позволит обеспечить наиболее точную и быструю работу этих систем. Вся продукция компании внесена в Государственный реестр средств измерений и прошла опытные испытания на объектах энергетики и энергоемкого производства.

Приборы "Профотек" могут быть сопряжены с вторичным цифровым оборудованием (РЗА, ПА и т.д.) как напрямую, так и с помощью коммутационного оборудования, в зависимости от структуры подстанции, количества «пользователей» исходной информации и конкретных задач. "Профотек" провел многочисленные испытания на совместимость собственного оборудования с вторичным (РЗА) различных производителей (Siemens, SEL, ABB, Nari, EFACES, Экра, Релематика и др.). Метрологическая точность такого подхода (один источник данных и много устройств-потребителей) гораздо выше, чем при использовании традиционных решений (соединённых по

принципу точка-точка, не обеспечивающему единство измерения, так как в классическом случае один и тот же источник оцифровывается различными устройствами с разной погрешностью). Объем потерь при цифровизации в разы меньше, чем в аналоговых цепях. [10]

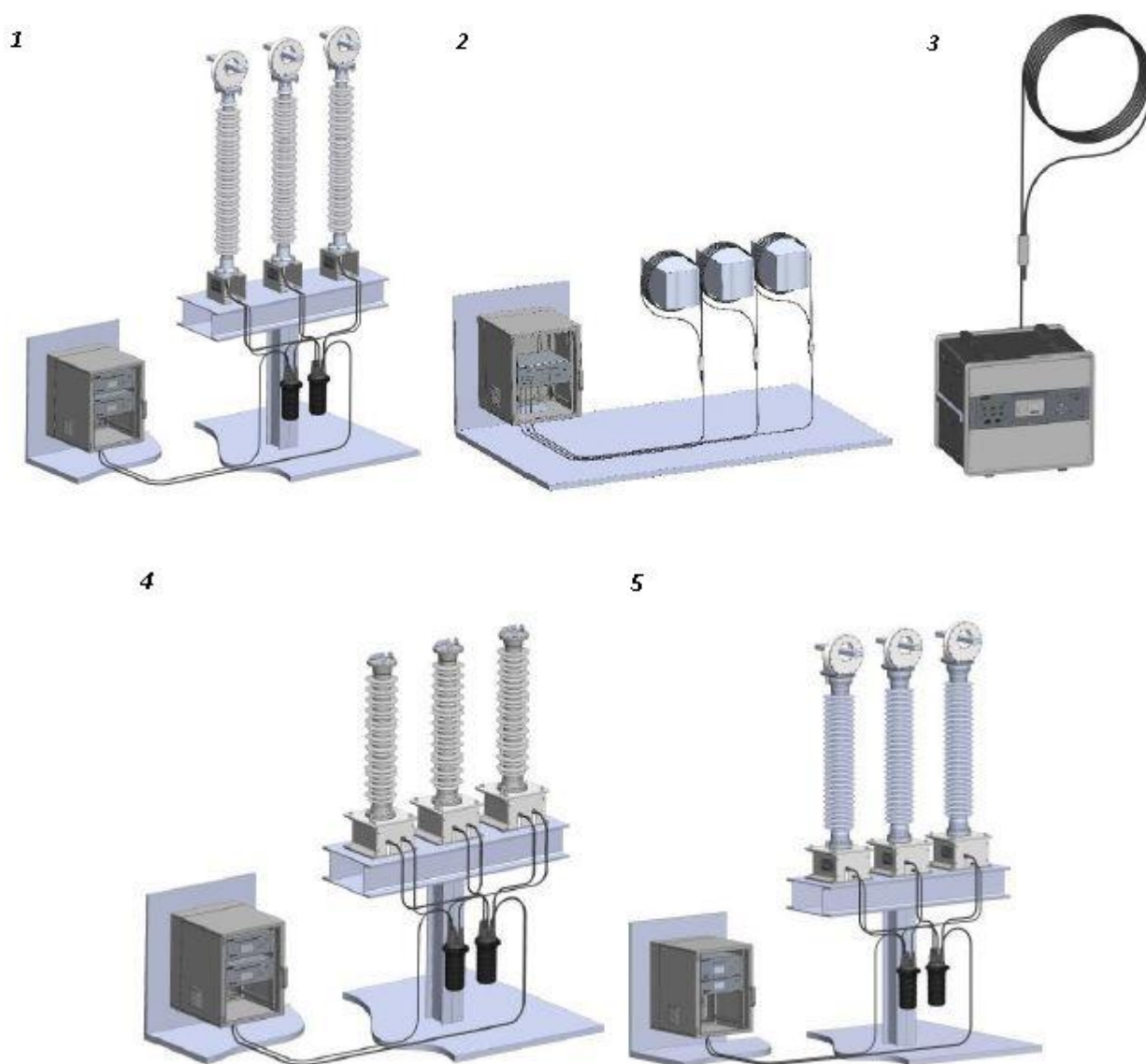


Рисунок 4.1 – Продуктовая линейка АО «ПРОФОТЕК»:

1 – трансформатор тока электронный оптический для измерения AC и DC (ТТЭО); 2 – трансформатор тока электронный оптический с гибким чувствительным элементом (ТТЭО-Г); 3 – трансформатор тока электронный оптический эталонный (ТТЭО-Г-(Э)); 4 – делитель напряжения емкостной электронный (ДНЕЭ); 5 – трансформатор тока и напряжения комбинированный (ТТНК) [11]

Трансформатор тока электронный оптический (ТТЭО).

ТТЭО предназначен для измерения АС / DC / АС+DC с высокой точностью при переходных процессах.

ТТЭО состоит из:

- чувствительных элементов, установленных на высоковольтном изоляторе;
- электронных оптических блоков, соединенных пассивным оптическим кабелем.

Для резервирования устанавливается независимый оптический контур внутри крышки и независимый электронно-оптический блок, соединенный собственным оптоволоконным кабелем. Каждая фаза измеряет ток самостоятельно, без влияния соседних фаз. Независимые, резервированные оптические контуры внутри крышки чувствительного элемента: оба подходят для коммерческого учета и защиты.

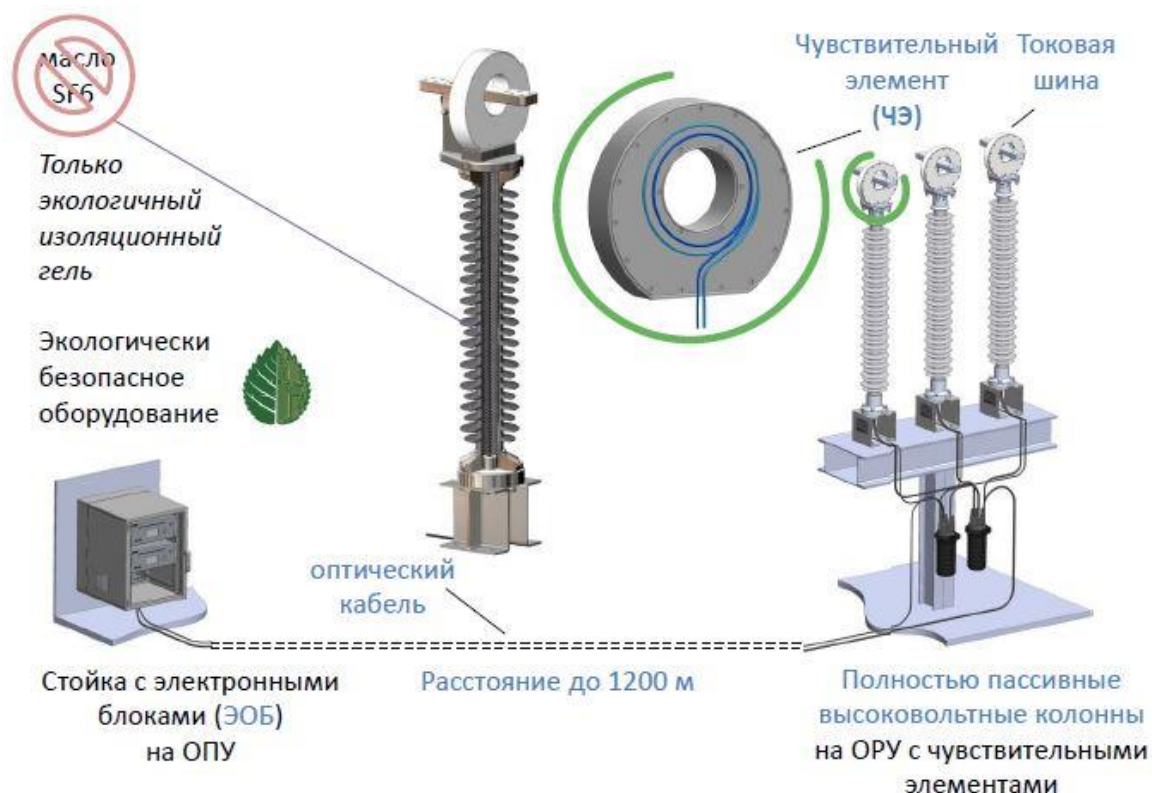


Рисунок 4.2 – Трансформатор тока электронный оптический [11]

Гибкий чувствительный элемент представляет собой бронированный кабель с изоляцией ПВХ с чувствительным оптическим волокном внутри. Для монтажа на шине используется специальный защитный корпус.

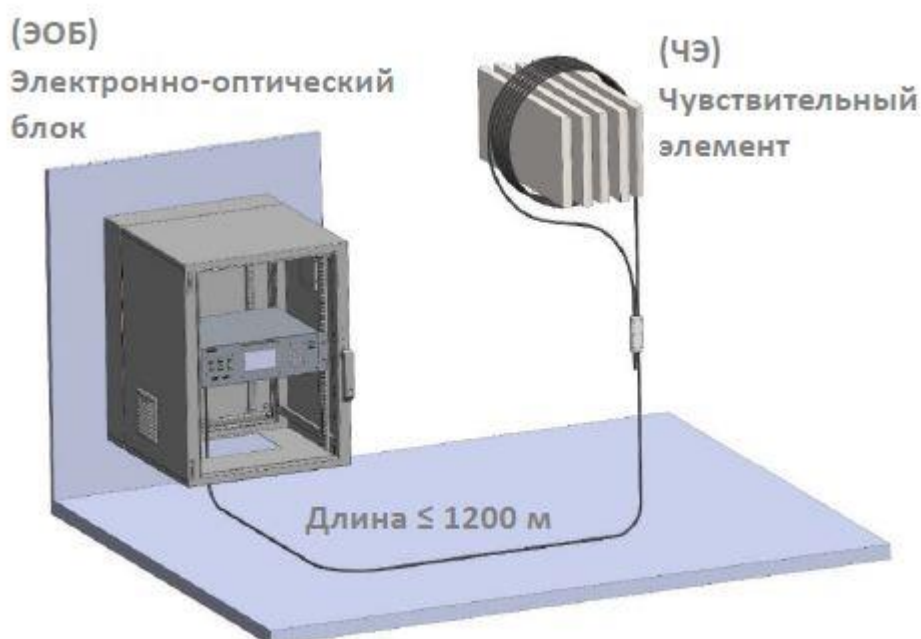


Рисунок 4.3 – Гибкий чувствительный элемент [11]

Принцип работы чувствительного элемента.

В основе измерения величины электрического тока прибором производства «Профотек» лежит применение эффекта Фарадея в кварцевом световоде. На рисунке 4.4 можно увидеть, как используется эффект Фарадея для измерения электрического тока. Две световые волны — одна с правой, другая с левой круговыми поляризациями (серая и зеленая на рисунке) — вводятся в многовитковый волоконный контур, который охватывает проводник с током. Если тока в проводе нет, световые волны распространяются с одинаковой скоростью и на выход приходят с нулевой относительной разностью фаз. При наличии электрического тока в проводнике световод оказывается в продольном магнитном поле протекающего тока. При этом в световоде наводится циркулярное двулучепреломление, и скорость распространения световых волн по контуру становится разной. Следовательно, между волнами возникает временная задержка и относительный фазовый сдвиг

φ. Если световод имеет однородную магнитооптическую чувствительность по длине, а волоконный контур замкнут (начало и конец чувствительного волокна в контуре совпадают), то связь фазового сдвига и тока выражается простой формулой

$$\varphi = 2VNI, \tag{4.1}$$

где V , N , I — магнитооптическая постоянная кварца, число витков и измеряемый ток соответственно.

Таким образом, измерив относительный фазовый сдвиг между световыми волнами, мы получим информацию о величине тока. Фазовый сдвиг измеряется с помощью низкокогерентного волоконного интерферометра, входящего в состав обсуждаемого прибора.

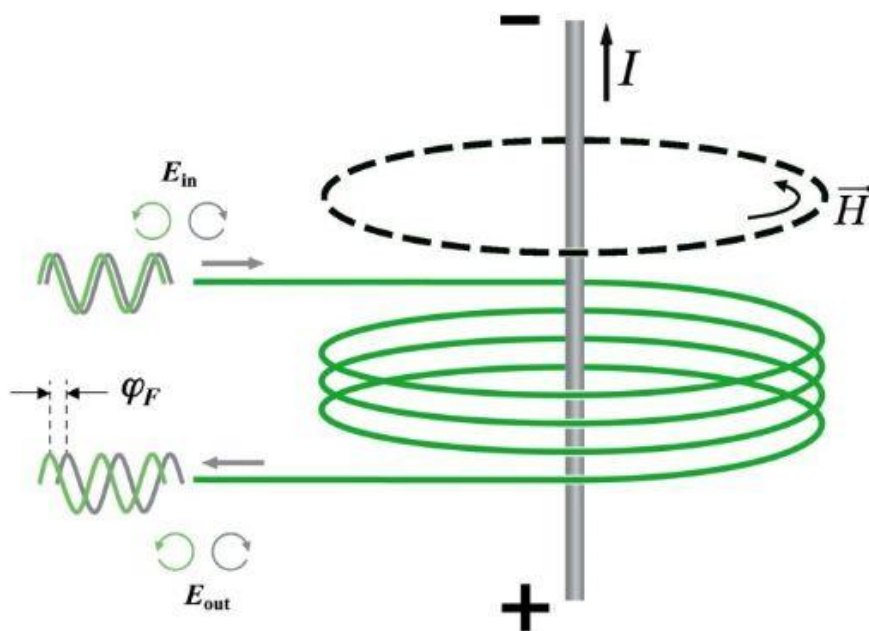


Рисунок 4.4 – Физический принцип измерения тока [10]

С точки зрения физического принципа действия разница между жестким чувствительным контуром (жесткой головой) и гибкой петлей отсутствует. Как жесткая голова, так и гибкая петля представляют собой замкнутый волоконный

контур (одно- или многовитковый), в который вводятся две световые волны с ортогональными циркулярными поляризациями. Отличие можно увидеть в количестве используемых витков и в нюансах установки на токовую шину. Так, количество волоконных витков чувствительного контура определяется величиной и диапазоном измеряемого электрического тока и классом точности трансформаторов тока электронных оптических (ТТЭО). При этом на практике жесткая голова может иметь от 1 до 100 волоконных витков, а гибкая петля — от 1 до 20 витков. [10]

Преимущества цифровых оптических трансформаторов тока:

- по сравнению с традиционными ТТ и ТН, в среднем они меньше на 24% и легче на 85%, что в совокупности упрощает монтаж, удешевляет доставку и позволяет устанавливать там, где традиционные не подходят;
- полностью исключена угроза жизни обслуживающего персонала; экспериментально доказано, что даже в случае аварии в основном первичном оборудовании оптические трансформаторы не имеют в своей конструкции повреждающих факторов и угрозы возгорания соседнего оборудования;
- оптические трансформаторы имеют функцию самодиагностики, а технологичность оборудования не требует ежемесячного контроля состояния давления газа SF₆, уровня масла, состояния вторичных соединений, как это требуется при эксплуатации традиционных трансформаторов;
- исключение электромагнитного насыщения;
- снижение затрат на возведение габаритных конструкций, сокращение строительно-монтажных и пусконаладочных работ;
- отсутствие необходимости в периодической проверке, обслуживании, контроле состояния клемм и медных кабелей.

Делитель напряжения емкостной электронный (ДНЕЭ).

ДНЕЭ предназначен для масштабирования преобразований переменного тока высокого напряжения с заземленной нейтралью в переменный ток низкого напряжения.

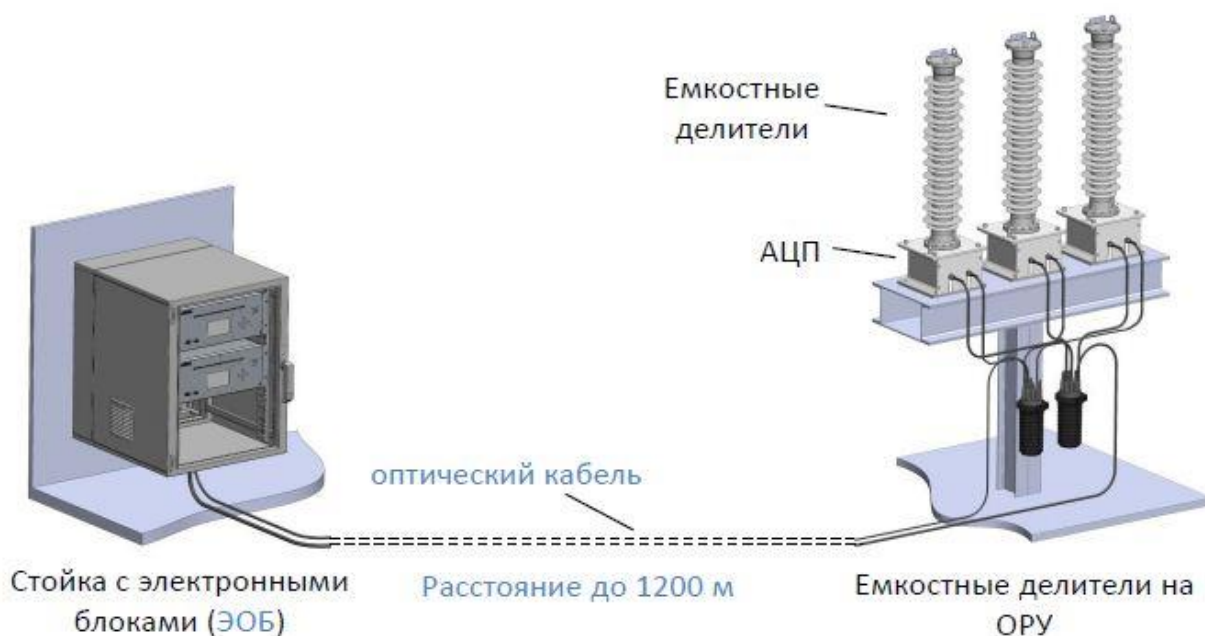


Рисунок 4.5 – Делитель напряжения емкостной электронный [11]

ДНЕЭ состоит из:

- емкостных делителей без индуктивных элементов, установленных на подставке со встроенной платой АЦП;
- электронных оптических блоков, соединенных оптическим кабелем.

Для резервирования устанавливают независимые платы АЦП внутри поста мента и независимый ЭОБ, соединенный собственным оптоволоконным кабелем. Каждая фаза измеряет напряжение самостоятельно, без влияния соседних фаз.

Трансформатор тока и напряжения комбинированный (ТТНК).

ТТНК – высокоточный комбинированный трансформатор тока и напряжения, который генерирует выходной сигнал в соответствии со стандартом IEC 61850-9-2.

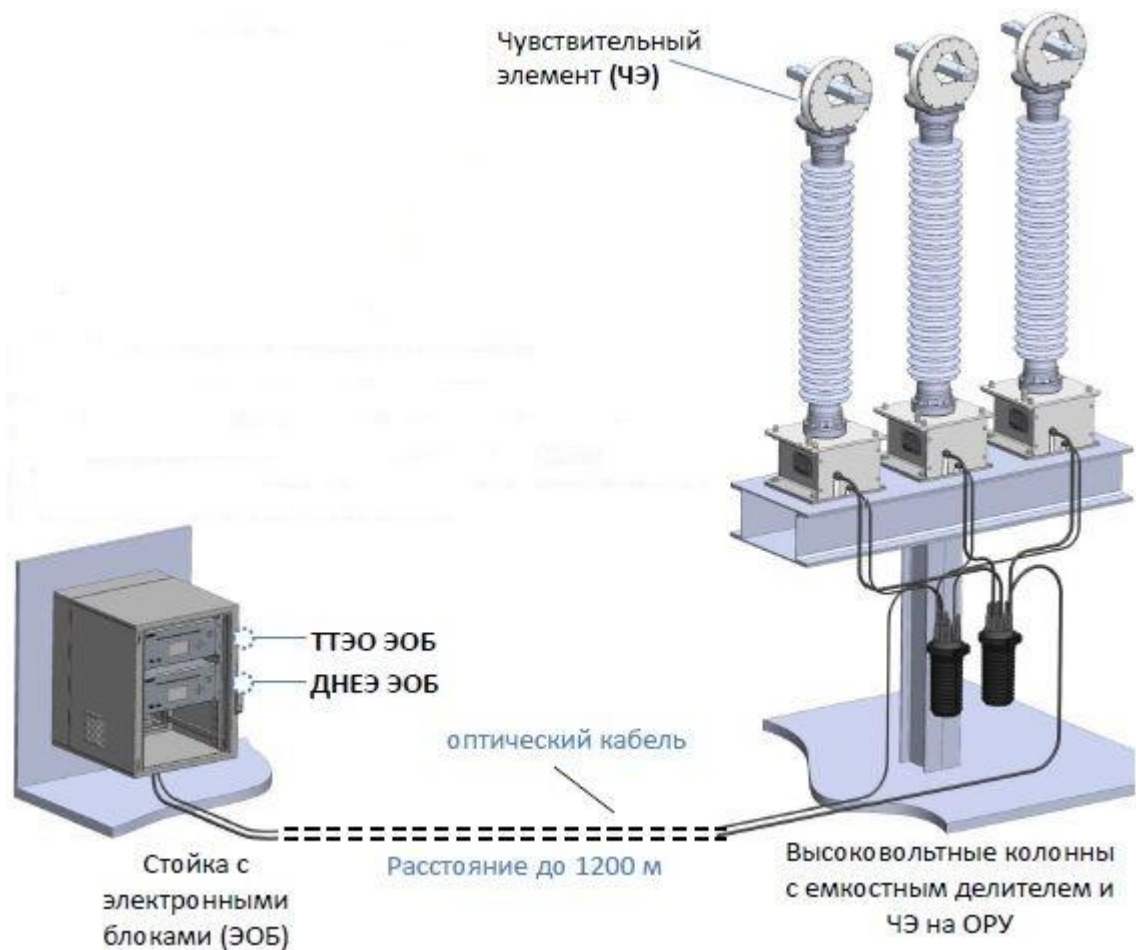


Рисунок 4.6 – Трансформатор тока и напряжения комбинированный [11]

ТТНК включает как минимум два электронных блока:

- один для измерения тока (ТТЭО ЭОБ),
- один для измерения напряжения (ДНЕЭ ЭОБ).

Для резервирования может быть использован дополнительный комплект электронных блоков.

ТТНК состоит из комбинации оптического датчика тока (ТТЭО), датчика напряжения (ДНЕЭ), волоконно-оптического кабеля, ЭОБ.

Внутри корпуса ЧЭ может быть до двух чувствительных контуров, способных перекрыть весь диапазон с точностью, необходимой для коммерческого учета и релейной защиты. Опционально может содержать встроенный измеритель мощности и качества.

Точки коммерческого учета для энергоемких производств.

Применение ОТТ и цифровых ТН позволяет создать систему учета электроэнергии, которая имеет преимущества перед существующими менее точными системами. Суть решения подразумевает реконструкцию или строительство системы коммерческого учета электроэнергии на основе оптических трансформаторов тока и электронных трансформаторов напряжения, чтобы значительно повысить точность этих систем. Для традиционных трансформаторов и счетчиков комплексная погрешность составляет до 2,5% (при использовании ТТ класса 0,2S, ТН 0,2 и счетчика 0,2S).

Для оптических трансформаторов тока и электронных трансформаторов напряжения с цифровым счетчиком общая ошибка ПС составляет 0,4%.

В среднем при подключении класса 220 кВ экономия за счет повышения класса точности может составить до 28000-55000 евро за год (в зависимости от потребляемой мощности). [11]

Калибровка и точные измерения для лабораторий.

Оптические трансформаторы тока производства АО «Профотек» широко используются в лабораториях для точного измерения при проведении испытаний. Всемирно известные испытательные центры оценили трансформаторы благодаря классу точности измерения 0,05, компактному портативному дизайну и простоте монтажа.

ТТЭО, ТТЭО-Г-(Э), ТТЭО-Г-П сертифицированы и внесены в реестр Государственного агентства средств измерений России и Казахстана, протестированы в российских и международных высоковольтных лабораториях.

Межповерочный интервал для оптоволоконных трансформаторов тока и напряжения составляет 8 лет. Трансформаторы производства "Профотек" проходят поверку в учреждениях, имеющих аккредитацию на право поверки средств измерений: ФГУП "ВНИИМС"; ВНИИМ имени Д.И. Менделеева; НПП "Марс-Энерго»; АО "Профотек". [10]

Вопросы для контроля:

1. Каковы основные характеристики мер и образцовых средств тока?
2. Какие существуют основные характеристики измерительных преобразователей тока?
3. В чем заключается принцип действия измерительных трансформаторов тока?
4. Назовите основные области применения фазочувствительных преобразователей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Низковольтная защитно-коммутационная аппаратура

К низковольтной (0,22 кВ; 0,4 кВ) защитно-коммутационной аппаратуре относятся: выключатели дифференциальные, автоматы дифференциальные, автоматические выключатели дифференциального тока. Учитывая, что все указанные защитные аппараты отключаются автоматически, обобщим их в одну группу «автоматические выключатели».

Выбор автоматических выключателей производится по номинальному току, характеристике срабатывания, отключающей способности, условиям монтажа и эксплуатации. Правильный выбор характеристики автоматического выключателя является залогом его своевременного срабатывания.

В соответствии со стандартами IEC 898 (стандарт международной электротехнической комиссии) и EN 60898 (европейская норма) по характеристикам срабатывания выключатели бывают трех типов: В, С, D. [12]

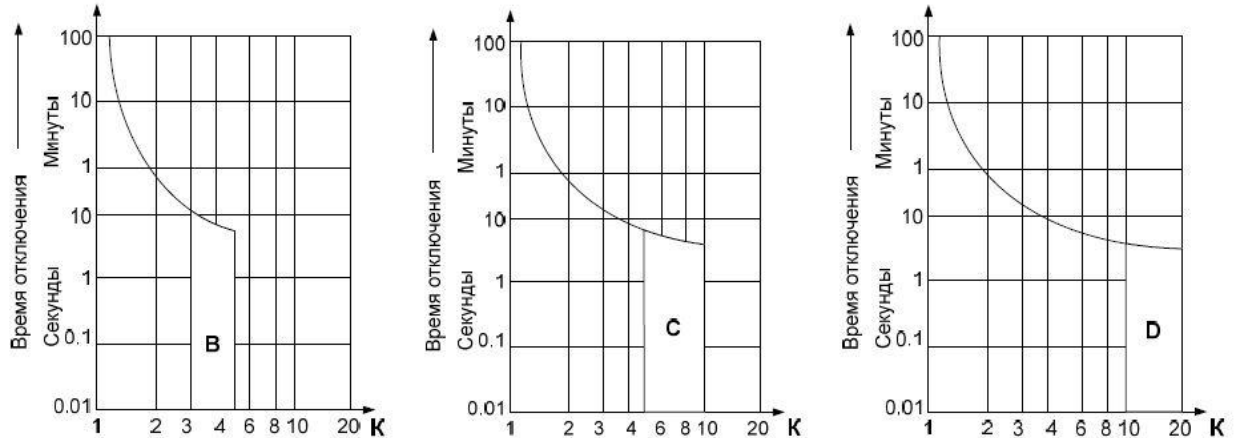


Рисунок 5.1 – Защитные характеристики автоматических выключателей:

t – время срабатывания электромагнитного расцепителя, сек-мин;

$K=I/I_N$ – кратность тока к номинальному значению. [12]

Тип В – величина тока срабатывания электромагнитного расцепителя равна $I_B = K \times I_{НОМ}$ при $K = 3 \div 6$. Назначение – для бытового применения, где

ток нагрузки невысокий и ток КЗ может попасть в зону работы теплового, а не электромагнитного расцепителя.

Тун С – величина тока срабатывания электромагнитного расцепителя равна $I_C = K \times I_{НОМ}$ при $K = 5 \div 10$. Для бытового и промышленного применения: для двигателей со временем пуска до 1 с, нагрузок с малыми индуктивными токами (холодильных машин и кондиционеров).

Тун D – величина тока срабатывания электромагнитного расцепителя $I_D = K \times I_{НОМ}$ – более $10 \cdot I_{НОМ}$. Применяется для мощных двигателей с длительным временем пуска.

Величина тока срабатывания защитного аппарата, может варьироваться в зависимости от температуры окружающей среды – таблица 5.1. Контрольная температура калибровки тепловых расцепителей 30°C.

Таблица 5.1 – Значения номинальных токов в зависимости от температуры окружающей среды

Номинальный ток, А	Температура окружающей среды, °C									
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
1	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1	0,93	0,88
2	2,70	2,60	2,50	2,40	2,30	2,20	2,10	2	1,90	1,80
3	4,05	3,90	3,75	3,60	3,45	3,30	3,15	3	2,80	2,60
4	5,40	5,20	5,00	4,80	4,60	4,40	4,20	4	3,70	3,50
5	6,75	6,50	6,25	6,00	5,75	5,50	5,25	5	4,70	4,50
6	8,10	7,80	7,50	7,20	6,90	6,60	6,30	6	5,60	5,30
8	11,20	10,60	10,00	9,60	9,20	8,80	8,40	8	7,40	7,00
10	13,50	13,00	12,50	12,00	11,50	11,00	10,50	10	9,30	8,80
13	17,70	17,00	16,30	15,60	15,00	14,30	13,70	13	12,00	11,40
16	21,60	20,80	20,00	19,20	18,40	17,60	16,80	16	14,90	14,00
20	27,00	26,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20	18,60	17,60
25	33,90	32,60	31,30	30,00	28,80	27,50	26,30	25	23,20	22,00
32	43,20	41,60	40,00	38,40	36,80	35,20	33,60	32	30,00	28,20
40	54,00	52,00	50,00	48,00	46,00	44,00	42,00	40	37,20	35,20
50	67,50	65,00	62,50	60,00	57,50	55,00	52,50	50	46,50	44,00
63	85,00	82,00	78,80	75,60	72,50	69,30	66,20	63	58,60	55,40

Нагрузочная характеристика большинства автоматических выключателей зависит от температуры окружающей среды: при ее снижении коэффициент нагрузки увеличивается, при повышении – падает. Это ограничивает возможность их использования в условиях жесткого температурного режима эксплуатации, особенно в горячих цехах или в условиях открытого воздуха.

Тепловые расцепители, используемые в автоматических выключателях, чувствительны к нагреву от посторонних источников. В практике нередко случается, что расцепитель промежуточного полюса при номинальном режиме отключается только из-за нагрева соседних полюсов, что приводит к ограничению области его работы и к коррекции номинального тока.

Ток неотключения для размещенных рядом друг с другом автоматических выключателей в зависимости от их количества (N) и температуры окружающего воздуха определяется по формуле:

$$I = 1,13 \cdot I_n \cdot K_N \cdot K_t, \quad (5.1)$$

где: I_n – номинальный ток при температуре настройки тепловых расцепителей 30°C (указан на маркировке);

K_N – коэффициент нагрузки в зависимости от количества полюсов – рисунок 5.2, б;

K_t – коэффициент нагрузки в зависимости от температуры окружающего воздуха – рисунок 5.2, а.

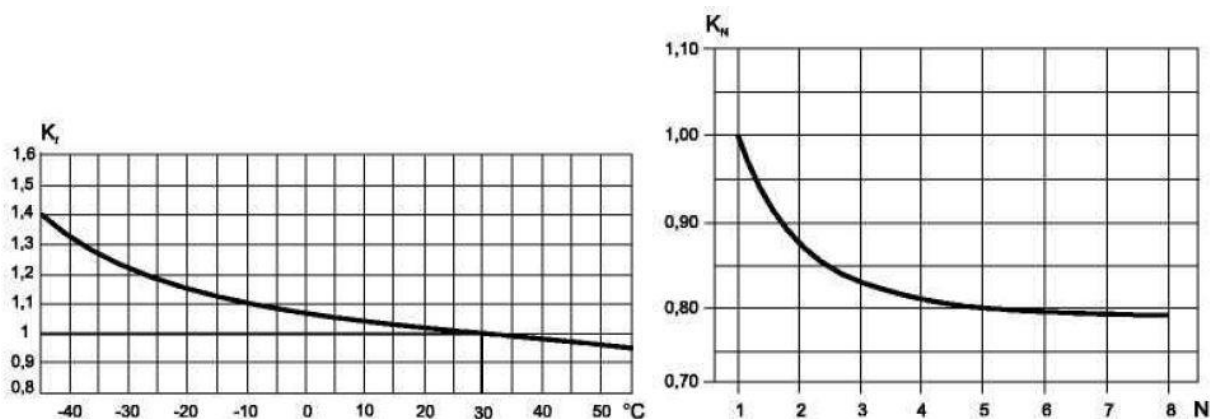


Рисунок 5.2 – Поправочные коэффициенты для определения тока неотключения [12]

Автоматические выключатели типа ВА широко применяются в быту и предназначены для автоматического отключения источника питания при появлении сверхтоков (перегрузка и токи короткого замыкания).

Рекомендуются к установке в групповых щитках (квартирных и этажных), щитах учетно-распределительных жилых, общественных, бытовых и административных зданий.



Рисунок 5.3 – Автоматические выключатели Schneider Electric [13]

Автоматические выключатели выпускаются мировой промышленностью в различном исполнении (однополюсные, двухполюсные, трехполюсные и четырехполюсные), но при этом габаритные размеры защитной аппаратуры строго определены. Принципиальные электрические схемы автоматических выключателей представлены на рисунке 5.4, а, габаритные размеры приведены на рисунке 5.4, б.

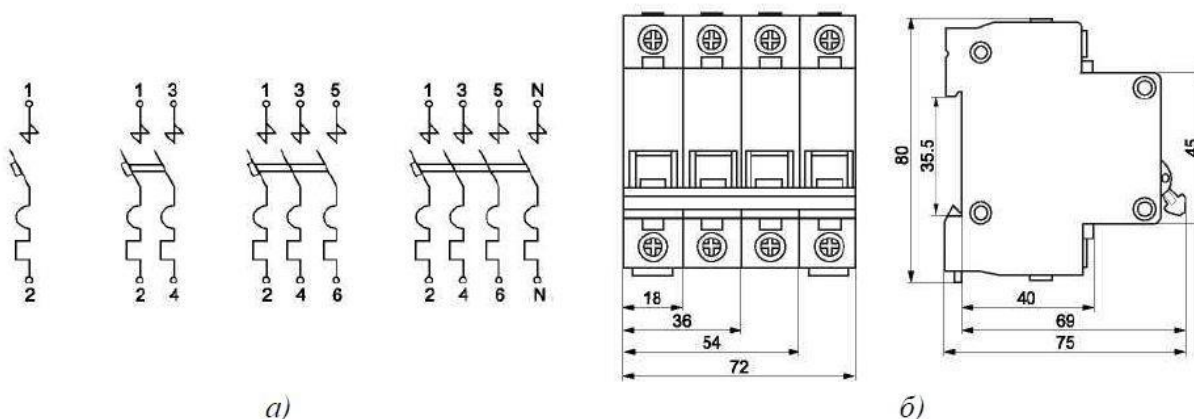


Рисунок 5.4 – Электрические схемы автоматических выключателей и их габаритные размеры [12]

Автоматические выключатели типа ВД (выключатель дифференциальный).

Выключатели данного типа называют еще устройством защитного отключения (УЗО); они предназначены для защиты людей от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования или при пробое изоляции. Используются для групповой защиты электрооборудования от пожара, вызванного возгоранием изоляции проводов и кабелей от дифференциального тока (ток утечки I_{Δ}).



Рисунок 5.5 – Устройство защитного отключения
УЗО ВД-100 4Р 100А/300мА [14]

Автоматические выключатели типа ВД срабатывают только в случае превышения номинального дифференциального тока 10, 30, 100 или 300 мА (в зависимости от марки выключателя). Эксплуатация выключателей допускается только при наличии включенного последовательно с ними автоматического выключателя с защитой от сверхтоков. Изделия сохраняют работоспособность при обрыве нулевого рабочего проводника.

Принцип действия УЗО дифференциального типа основан на применении электромагнитного векторного (по амплитуде и фазе) сумматора токов – дифференциального трансформатора тока (рисунок 5.6).

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока I , протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют встречно включенные первичные обмотки дифференциального трансформатора тока.

Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке, как I_1 , а от нагрузки как I_2 , то можно записать равенство: $I_1 = I_2$. Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пороговый элемент 2 находится в этом случае в состоянии покоя.

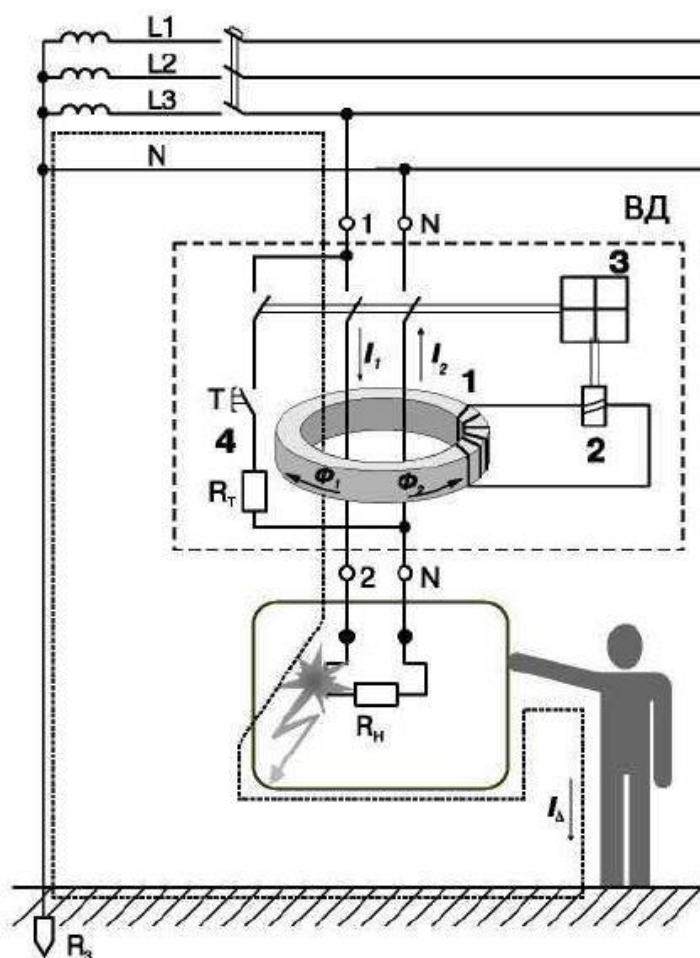


Рисунок 5.6 – Принципиальная схема работы УЗО [12]

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на который произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток – ток утечки (I_{Δ}), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным). Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 + I_{\Delta}$ в фазном проводнике и I_2 , равный I_1 , в нулевом рабочем проводнике) вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока.

Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3. Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4. При нажатии кнопки «ТЕСТ» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно исправно. [12]

Автоматы дифференциальные.

Кроме представленных выше коммутационных защитных аппаратов, существуют также устройства, объединяющие в себе принципы работы автоматических выключателей и выключателей дифференциальных (ВД или УЗО). Такие аппараты называют автоматическими выключателями дифференциального тока (АВДТ).

Подобные быстродействующие защитные выключатели обеспечивают защиту людей от поражения электрическим током при прямом непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования, а также защиту от перегрузки и короткого замыкания.



Рисунок 5.7 – АВДТ с защитой от сверхтоков
АВДТ32-22С6-А-УХЛ4-КЭАЗ (2Р, С6, 30mA) [15]

При монтаже выключателя необходимо строго соблюдать фазировку в соответствии с маркировкой, нанесенной на корпусе, т.к. тепловой и электромагнитный расцепители расположены в фазном полюсе аппарата.

На сегодняшний день практически в любых сферах деятельности человека присутствуют электроприборы, которые в свою очередь весьма требовательны к значениям уровня напряжения в питающей сети. Качество электрической энергии часто не соответствует установленным требованиям именно по уровням напряжения. В весьма широком ассортименте защитно-коммутационных аппаратов имеется также оборудование, защищающее электроприемники от повышенного или пониженного напряжения.

Быстродействующие защитные выключатели типа АД (автоматы дифференциальные) имеют возможность «контролировать» сразу несколько параметров сети и отключать напряжение питания в случае нарушения заданных уставок одним из «контролируемых» параметров:

- уставки срабатывания по току утечки, для защиты людей от поражения электрическим током при прямом непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- уставки срабатывания от перегрузки и короткого замыкания;
- уставки срабатывания от недопустимого отклонения напряжения сети (как при условии превышения, так и при условии недопустимо низкого уровня напряжения в зависимости от конкретных марок).

Данный защитный аппарат имеет электронный управляющий блок. Он весьма полезен в быту, так как нередко случаи, отгорания нулевого проводника в ВРУ жилых домов, что в свою очередь приводит к появлению в однофазной сети линейного напряжения. [12]

Вопросы для контроля:

1. Что относится к низковольтной защитно-коммутационной аппаратуре?
2. Как осуществляется выбор автоматических выключателей?
3. Электрические схемы автоматических выключателей
4. Принципиальная схема работы УЗО

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – 10-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Техническая информация. Комплектное распределительное устройство «Классика» серии D–12P. [Электронный ресурс]. – URL: https://etzvektor.ru/storage/document/file_39.pdf (11.01.2023)
3. Руководство по эксплуатации. Комплектное распределительное устройство «Классика» серии D–12P. [Электронный ресурс]. – URL: https://etzvektor.ru/storage/document/file_35.pdf (11.01.2023)
4. КТПМ. Комплектные трансформаторные подстанции модульные серии SKP напряжением 35/6(10) кВ, 35/0,4 кВ и 6(10)/0,4 кВ. Надежное электроснабжение в кратчайшие сроки [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tavrida.ru/upload/iblock/cc6/cc695634d79ba027907a2ed82d501d1f.pdf> (11.01.2023)
5. ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК. Реклоузеры 6 – 20 кВ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tavrida.ru/ter/solutions/REC15/> (11.01.2023)
6. Вакуумный реклоузер. Применение для секционирования ВЛ 10 кВ и на ОРУ 10 кВ подстанций. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tavrida.ru/upload/iblock/3d8/vauqq3qjk8enp0ddd3idofye0k6o5wxy/TER_RecDoc_UG_2.pdf (11.01.2023)
7. Telarm lite. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tavrida.ru/upload/iblock/ad3/TER_CSdoc_UG_2.pdf (11.01.2023)
8. Комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией (КРУЭ) типа ELK-04. [Электронный ресурс]. – URL: https://library.e.abb.com/public/4a7c6ebe9a61b9c4c1257703002df161/ABB_1HDX580101ru_ELK-04.pdf (11.01.2023)

9. Научно-производственное предприятие «Марс-Энерго». Оптические трансформаторы тока и напряжения для цифровой подстанции. Инвестиционный проект [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mars-energo.ru/assets/files/catalog/Transformatory.pdf> (11.01.2023)
10. АО «ПРОФОТЕК». Профессиональные волоконно-оптические технологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.profotech.ru/> (11.01.2023)
11. Измерительные трансформаторы АО «ПРОФОТЕК». Презентация продуктовой линейки [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.profotech.ru/upload/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BA.pdf> (11.01.2023)
12. Козлов, А.Н. Электротехническое оборудование последнего поколения. Учебное пособие / А.Н. Козлов, В.А. Козлов, А.Г. Ротачева. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2013. – 166 с.
13. Энергопрайм. Автоматические выключатели Schneider Electric [Электронный ресурс]. – URL: <https://energoprime.ru/manufactures/Schneider-Electric/avtomaticheskie-vyklyuchateli-schneider-electric/> (11.01.2023)
14. ЕКФ. УЗО ВД-100 4Р 100А/300мА [Электронный ресурс]. – URL: <https://ekfgroup.com/catalog/products/ustrojstvo-zashhitnogo-otklyucheniya-uzo-vd-100-4p-100a-300ma-elektrome-anicheskoe-ekf-proxima> (11.01.2023)
15. КЭАЗ. АВДТ с защитой от сверхтоков [Электронный ресурс]. – URL: <https://keaz.ru/catalog/product/228063> (11.01.2023)