



ЭКРА

СОХРАНЯЯ ЭНЕРГИЮ

**ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАЩИТЫ ОТ
ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА
ЗЕМЛЮ В ОБМОТКЕ СТАТОРА
ГЕНЕРАТОРА С ФУНКЦИЕЙ
НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ
ИЗОЛЯЦИИ**

к.т.н. Воронов П.Л., НПП «ЭКРА», г. Чебоксары.

г. Новосибирск - 2025 г.

Челябинская ТЭЦ-3

Беловская ГРЭС

Назаровская ГРЭС

**Томь-Усинская
ГРЭС**

Троицкая ГРЭС

Северская ТЭЦ

С 1995 года НПП «ЭКРА» применяет защиту с наложением постоянного тока «Un(100)» в составе комплексной защиты генераторов, разработанную совместно с Томским политехническим университетом (ТПУ).

На сегодня известен ряд различных технических исполнений защиты, выполненной на принципе наложения постоянного тока на первичную сеть. Особенно большой опыт эксплуатации накоплен на объектах Кузбассэнерго, в энергосистемах Урала и Сибири, где такая защита установлена на нескольких десятках генераторов 12-ти электростанций со средним сроком эксплуатации около 35 лет.

В Кузбассэнерго генераторы ТВВ-200 с непосредственным водяным охлаждением обмоток статора до 70-х годов вводились с проектной защитой максимального напряжения нулевой последовательности (защита 3U₀), имеющей "мертвую" зону. Промышленность еще не выпускала защит со 100%-ным охватом обмотки статора.

С 1972 г. на Томь-Усинской ГРЭС (ТУ ГРЭС), а затем на Беловской ГРЭС (БГРЭС) вводились устройства 100%-ной защиты, разработанные Томским политехническим институтом (ТПИ) на принципе наложения постоянного тока. Принцип наложения позволил выполнить помимо защиты также чувствительный непрерывный контроль дефектов изоляции (КИ). Кузбассэнерго и ТПИ в ходе многолетней совместной работы проверили в эксплуатации ряд вариантов устройств на различной элементной базе.



Шкаф ИКТП-1
разработанный ТПУ



Шкаф ШНЭ 1151 разработанный
НПП «ЭКРА» совместно ТПУ

В 2021 году была завершена модернизация защиты «Un(100)», основным результатом которой является перевод источника наложения на современную микропроцессорную базу, что привело к созданию **системы защиты и мониторинга сопротивления** изоляции статора генератора с улучшенными характеристиками:

- расширен диапазон замера сопротивления до 200 МОм;
- повышена пожаробезопасность за счет исключения маслонаполненного оборудования;
- улучшена помехоустойчивость за счет передачи сигналов по цифровым оптическим каналам связи;
- добавлена возможность интеграции в системы АСУ ТП энергообъектов (решение по умолчанию – комплекс программ EKRASCADA).

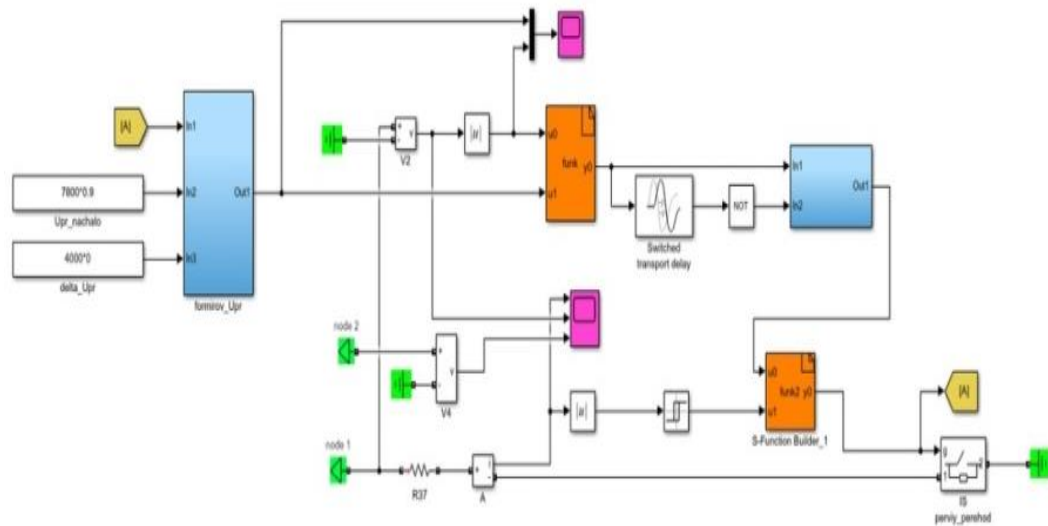
Модернизация защиты Un (100) была выполнена в рамках совместного НИОКР НПП «ЭКРА» и ТПУ. В процессе НИОКР были проведены исследования, позволившие добиться улучшенных свойств защиты и расширения диагностических возможностей.

Были рассмотрены следующие вопросы:

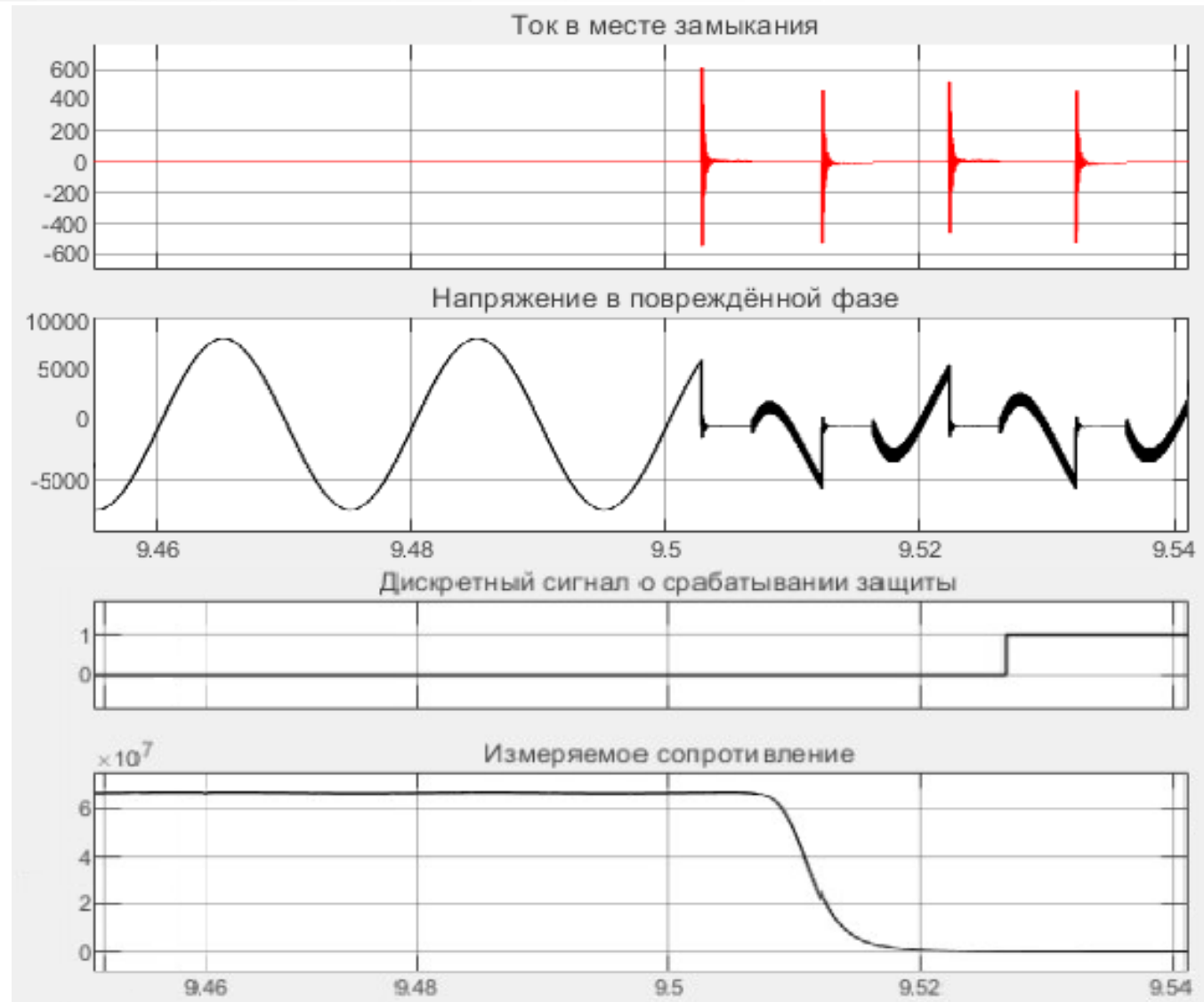
- Обеспечение непрерывного контроля целостности цепи наложения контрольного тока и цепи заземления трансформатора напряжения через разделительный конденсатор;
- Работа защиты при заряде, разряде или повреждении разделительных конденсаторов;
- Работа защиты при перемежающихся и металлических замыканиях.

Иллюстрация работы защиты при перемежающемся дуговом замыкании.

- По оси абсцисс указано время в секундах;
- По оси ординат (сверху вниз) ток в амперах, напряжение в вольтах, дискретный сигнал, сопротивление в омах.



Модель дугового перемежающегося замыкания



Система диагностики позволяет выявить следующие дефекты:

Трещины в изоляторах токопроводов генератора;

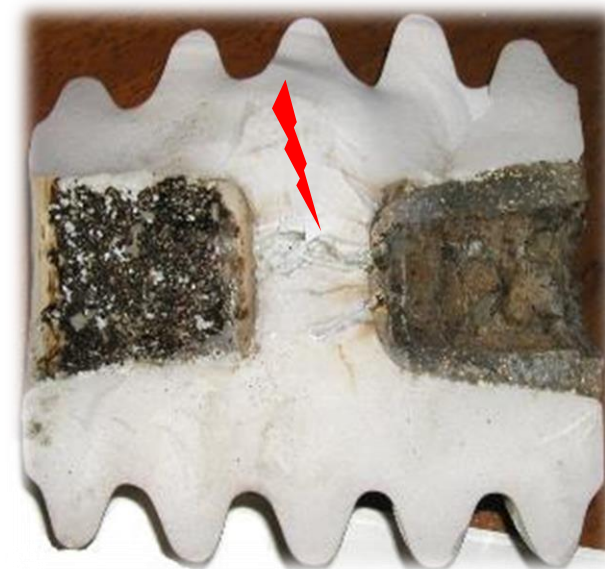
Трещины в изоляции стержня обмотки статора;

Увлажнение комплектных токопроводов из-за нарушения резиновых уплотнений;

Повреждение генераторного выключателя из-за ослабления и перегрева контактов;

Попадание в охлаждающую жидкость остатков щелочи после ремонта.

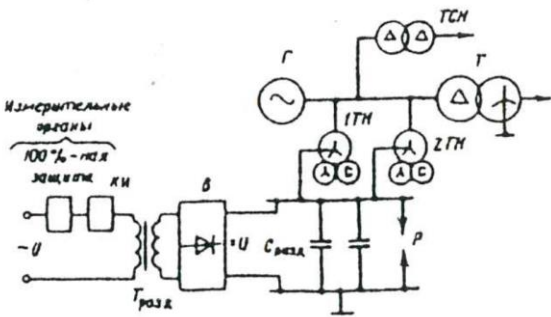
Повреждение опорного изолятора на Беловской ГРЭС



Причиной разрушения (электрического пробоя) опорного изолятора фазы "В" шинпровода 15,75кВ генератора блока №1 Беловской ГРЭС явилось старение фарфора изолятора в процессе длительной эксплуатации

Диагностические свойства

Таблицы из отчета
АО «Кузбассэнерго»
об опыте
эксплуатации защиты
на принципе
наложения
постоянного тока.
г. Кемерово, 1996 г.



Г — генератор; Т — блочный трансформатор; ТМН — трансформатор собственных нужд; Грозд — разделительный трансформатор; С_{розд} — разделительные конденсаторы; Р — разрядник; В — выпрямитель; U — выпрямленное наложенное напряжение

Таблица 1

Повреждения	Число срабатываний	
	защиты с наложением постоянного тока	проектной защиты (3U ₀)
Однофазные замыкания в обмотке статора генератора (в 1973-1974 гг.)	3	3
Трещины в изоляторах токопроводов	4	1 (защита 3U ₀ менее чувствительна, имеет выдержку времени)
Трещины в стержне обмотки статора (увлажнение изоляции)	1	Нечувствительна
Излом шпильки ввода в нейтрали ТН (замыкание на землю нейтрали первичных обмоток ТН)	1*	Не работает ("мертвая" зона)
Загрязнения дистиллята щелочами аммиаком, кислотами	6	Не работает по принципу действия
В с е г о	15	4

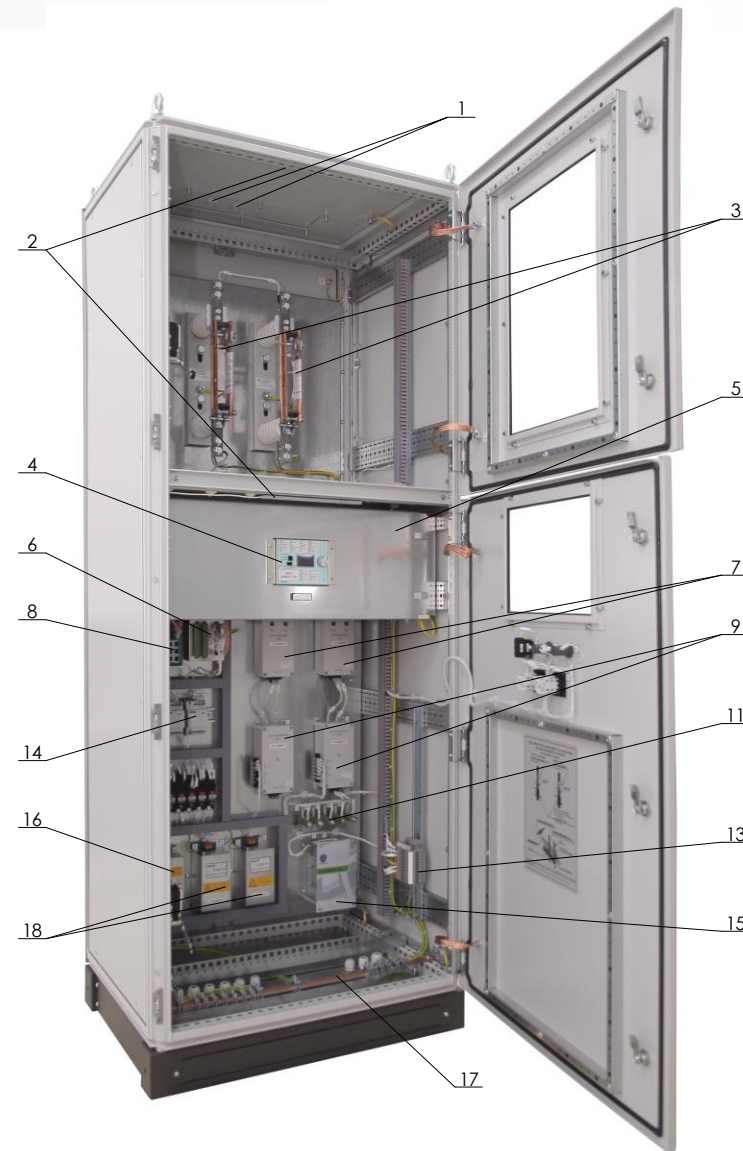
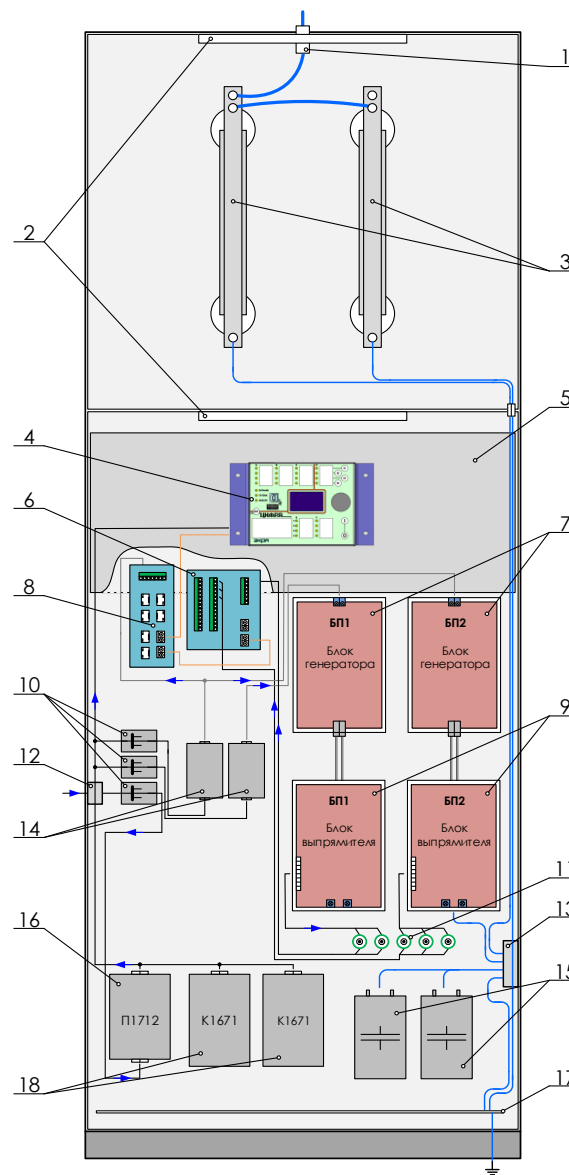
* Замыкание в нейтрали первичных обмоток ТН не представляло непосредственной угрозы для генератора (достаточно было бы сигнала КИ).

Таблица 2

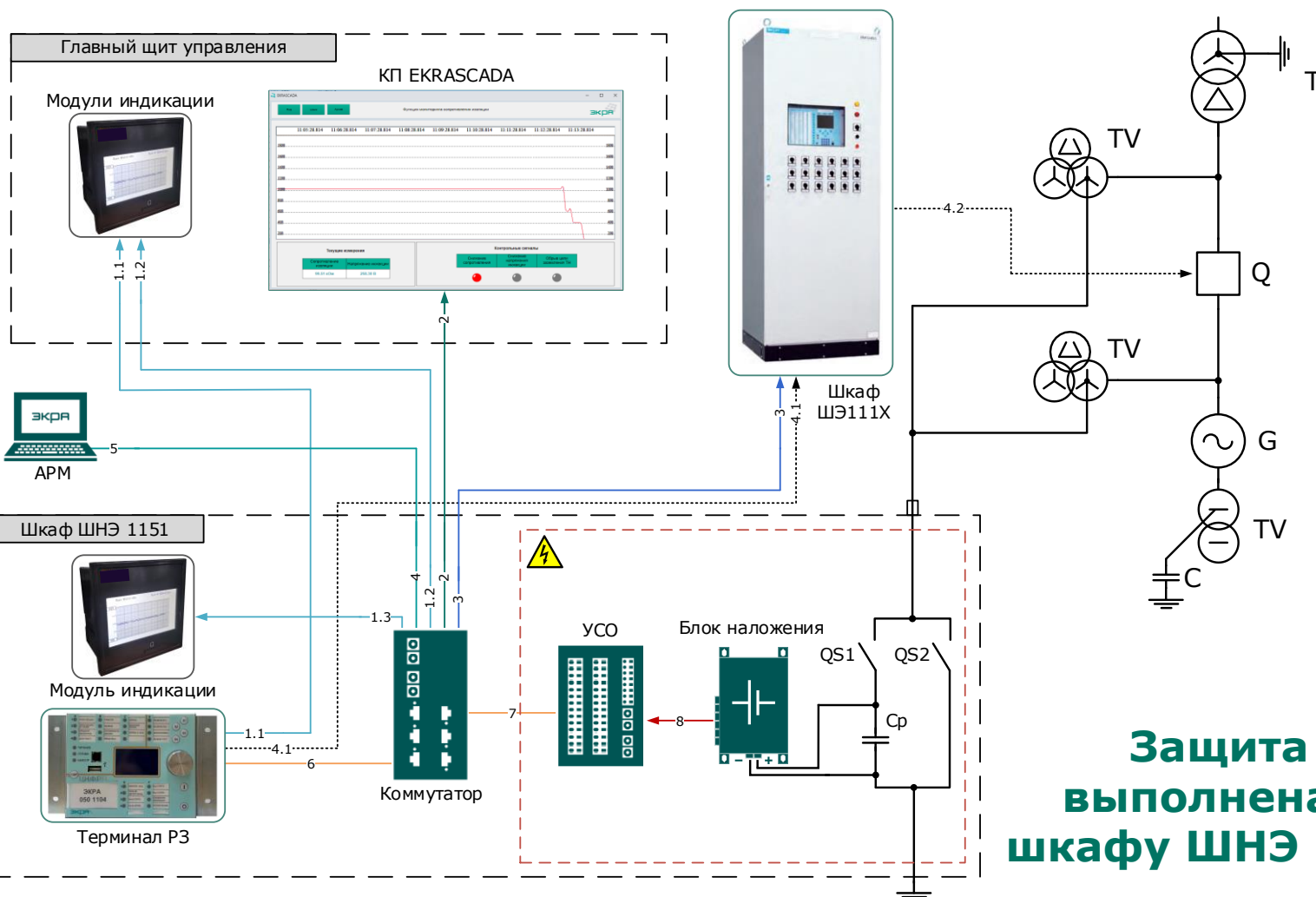
Повреждения	Число срабатываний КИ	Примеры срабатываний
Трещины в изоляторах токопроводов	11	КИ работал многократно в течение 3 мес. при дождях В кожухе токопровода обнаружены неплотности (вне здания) В изоляторах трещины (внутри здания)
		Многочисленные срабатывания КИ в течение 4 мес. предшествовали действию 100%-ной защиты
		После первого срабатывания КИ генератор выведен в ремонт Обнаружены трещины в изоляторе
Увлажнение комплектных токопроводов (нарушение уплотнений)	3	Многочисленные срабатывания КИ в течение 2 мес. предшествовали действию 100%-ной защиты
		Нарушены резиновые уплотнения, отсутствовали прокладки на болтах (в двух случаях)
		Резиновое уплотнение провисало внутри кожуха. С токоведущей шины происходили пробои на уплотнение
Дефекты изоляции стержней статора	2	КИ сработал за 1 мес. до действия 100%-ной защиты Изоляция стержня была перетерта при вибрации статора
		По ненормальным показаниям прибора КИ генератор выведен в ремонт Изоляция стержня, пробитая во время испытаний при 15 кВ, имела дефект (пятно диаметром 1-2 см с пробоем в центре)
		Трещина в стержне обмотки статора (увлажнение изоляции)
Загрязнение дистиллята	28	-
В с е г о:	45	

Структурная схема и общий вид шкафа ШНЭ 1151

- 1 – Кабельные вводы для подвода кабелей от нейтрали ТН;
- 2 – Лампы освещения шкафа;
- 3 – Разъединители;
- 4 – Терминал РЗА;
- 5 – Поворотная плита;
- 6 – Устройство сопряжения с объектом;
- 7,9 – Блоки питания-наложения (7 – блок генератора, 9 – блок выпрямителя);
- 8 – Коммутатор;
- 10 – Автоматические выключатели;
- 11 – Набор резисторов;
- 12 – Клеммник цепей питания шкафа;
- 13 – Клеммник цепей нейтрали ТН;
- 14 – Блоки преобразователи 220/24 В;
- 15 – Разделительные конденсаторы;
- 16 – Блок фильтра;
- 17 – Главная заземляющая шина шкафа;
- 18 – Блоки конденсаторов.



Оборудование для организации защиты статора от замыкания на землю на базе шкафа ШНЭ 1151



Условно-графические обозначения:

- - Первичные (силовые) цепи;
- ←1.1 - Цифровая цепь передачи измерений сопротивления и контрольных параметров источника наложения в модуль индикации (МИ), расположенный на ГЩУ, на расстояние более 100 м:
а) по протоколу ModBus TCP с использованием оптоволоконна и медиаконвертера «Оптоволоконно → Витая пара»*;
б) по протоколу ModBus RTU с использованием витой пары**;
- ←1.2 - Цифровая цепь передачи измерений сопротивления и контрольных параметров источника наложения в МИ, расположенный на ГЩУ, на расстояние менее 100 м по протоколу ModBus TCP с использованием витой пары;
- ←1.3 - Цифровая цепь передачи измерений сопротивления и контрольных параметров источника наложения в МИ, расположенный в шкафу ШНЭ 1151, по протоколу ModBus TCP;
- ←2 - Цифровые цепи для интеграции системы в SCADA;
- ←3 - Цепи передачи сигналов срабатывания функции Un(100)v2 по протоколу МЭК 61850 (GOOSE) с использованием:
а) витой пары; б) оптоволоконна**;
- ←4.1... - Цепи передачи сигналов срабатывания функции Un(100)v2 посредством «сухого контакта»;
- ←4.2... - Цепи воздействия на отключение генератора;
- ←5 - Цифровые цепи подключения ПК для работы с устройствами, расположенными в шкафу ШНЭ 1151;
- ←6 - Цепи обмена информацией по протоколу МЭК 61850 (GOOSE) с использованием:
а) оптоволоконна*; б) витой пары**;
- ←7 - Цепи обмена информацией по протоколу МЭК 61850 (GOOSE) с использованием оптоволоконна;
- ←8 - Цепи измерения аналоговых величин;

QS1, QS2 – разъединители;
C, Ср – разделительные конденсаторы;

* при использовании в терминале РЗ блока связи с двумя оптическими портами типа LC.

** при использовании в терминале РЗ блока связи с портами: эл. Ethernet (RJ-45) и RS485 (винтовой зажим).

**Защита
выполнена в
шкафу ШНЭ 1151**

Оборудование для организации защиты статора от замыкания на землю на базе шкафа ШНЭ 1151



Защита выполнена в шкафу ШЭ 111Х



- Условно-графические обозначения:**
- Первичные (силовые) цепи;
 - 1.A(Б) — Цифровые цепи передачи измерений сопротивления и контрольных параметров источника наложения в модуль индикации от комплектов защит А и Б соответственно*
 - 2 — Цепи для интеграции системы в SCADA*;
 - 3 — Цепи передачи в ШЭ111Х: а) измерений, необходимых для реализации функции Un(100)v2; б) служебных сигналов о состоянии источника наложения, расположенного в ШНЭ 1151, по протоколу МЭК 61850 (GOOSE)*;
 - 4 — Цепи воздействия на отключение генератора;
 - 5 — Цифровые цепи подключения ПК для работы с устройствами, расположенными в шкафах ШНЭ 1151 и ШЭ111Х.

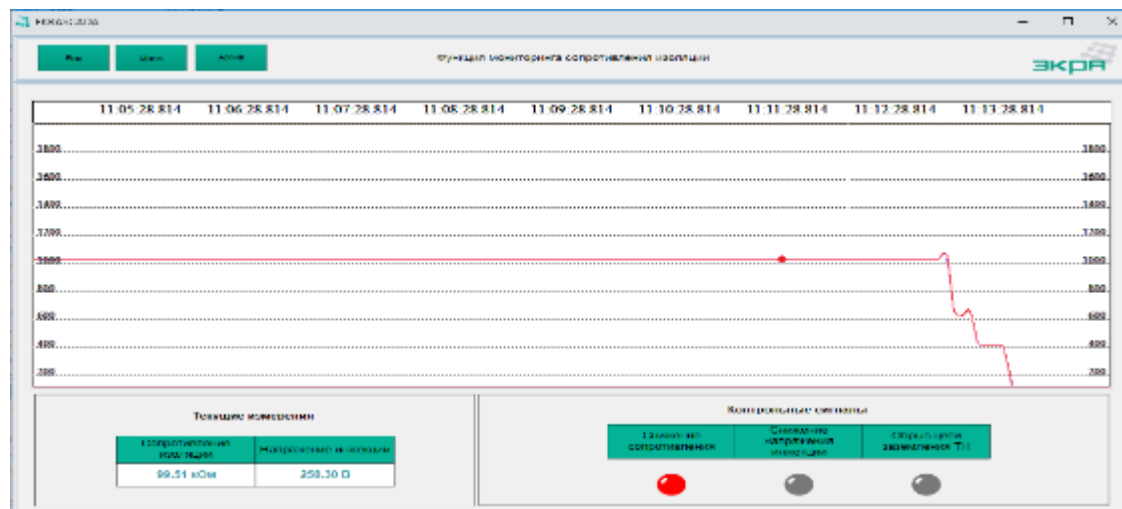
* (способы передачи аналогичны представленным на структурной схеме вар. 1).

Основные типовые технические характеристики шкафа

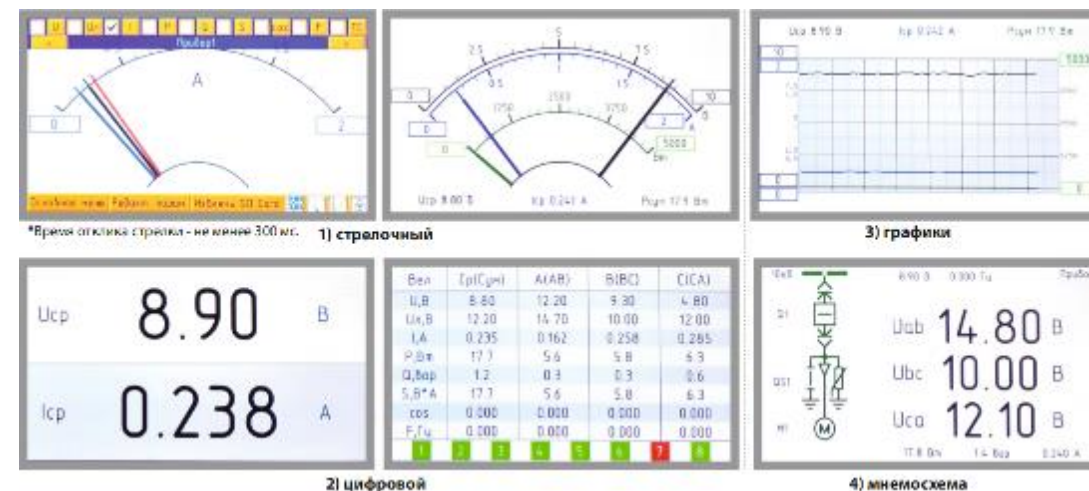
Наименование параметра		Величина		
Основные характеристики шкафа ШНЭ 1151				
Номинальное напряжение контролируемой сети, кВ		6 – 24		
Параметры защиты Un(100)v2				
Диапазон уставок сигнальной ступени, кОм		1 – 1000		
Диапазон уставок отключающей ступени, кОм		1 – 200		
Погрешность уставки срабатывания, %, не более		1		
Диагностические параметры				
Номинальное значение накладываемого напряжения, В		250		
Диапазон измерения, МОм		[0,001 – 1]	(1 – 50]	(50 – 200]
Погрешность измерения, %		±5	±10	±20
Обмен информацией внутри шкафа ШНЭ 1151 и со внешними устройствами				
Программная синхронизация времени устройств шкафа		SNTP		
Протокол связи с модулем индикации		Modbus TCP, Modbus RTU		
Протокол связи с SCADA		МЭК 60870-5-104, МЭК 61850 (MMS)		
Протокол связи с ШЭ111Х		МЭК 61850 (GOOSE)		
Сетевые интерфейсы коммутатора шкафа	Количество и разъёмы портов	2xST, 6xRJ-45		
	Скорость	10/100 Мб/с		
Количество дискретных выходов		1 реле: «Сигнализация»; 1 реле: «Отключение»; 1 реле: «Резерв»		
Количество дискретных входов шкафа, шт		3		

Функция мониторинга может быть реализована с помощью интеграции системы в SCADA (ПТК "ДиаМонт" от НПП «ЭКРА») и вывода на монитор дежурного персонала информации в виде графиков, трендов и в табличном виде или вывода измерений сопротивления изоляции статора и контрольных параметров источника наложения на модуль индикации с графическим дисплеем, установленным на щите дежурного или в шкафу ШНЭ 1151.

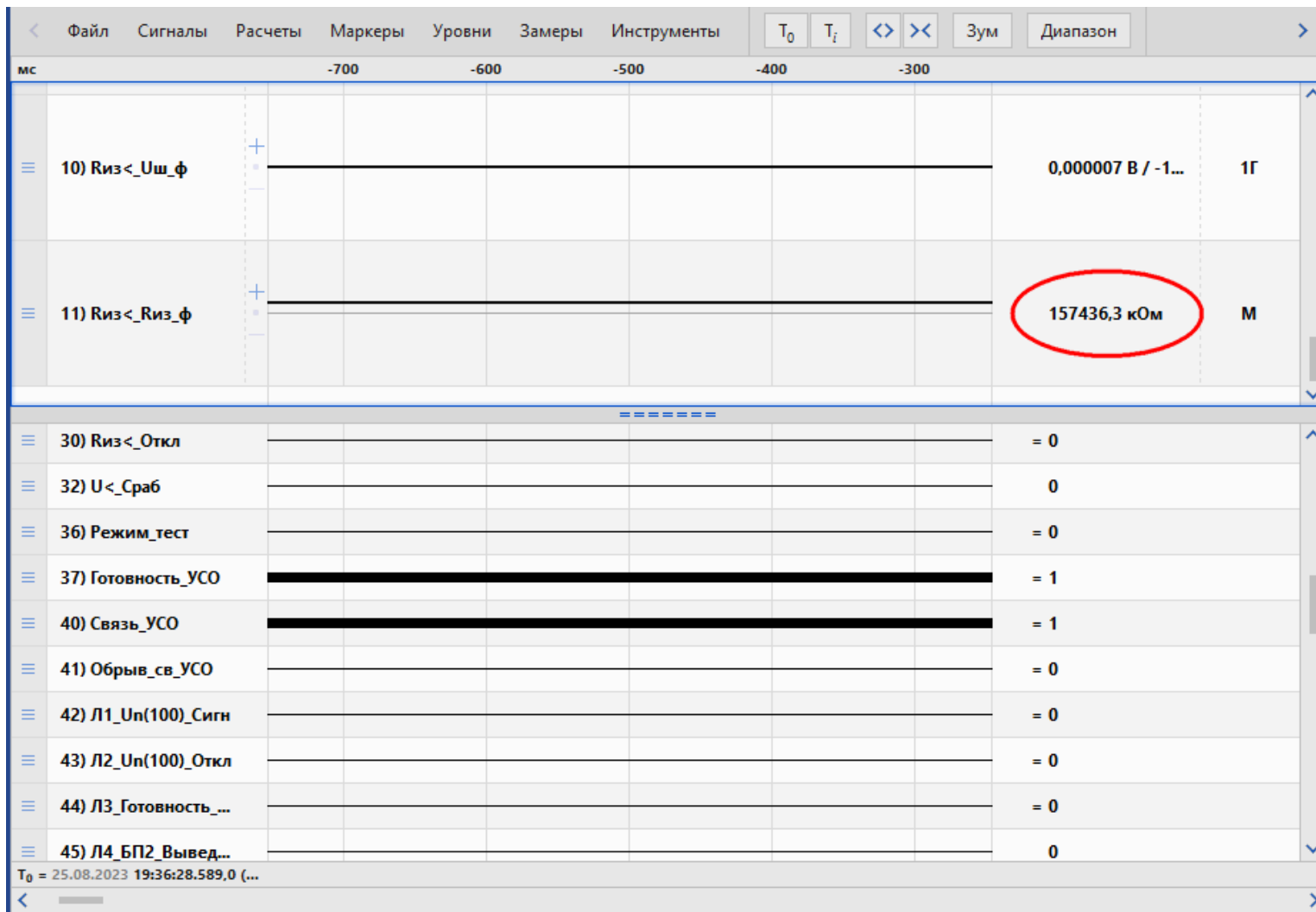
SCADA-система



Модуль индикации



Станция	Генератор	Тип	Тип системы охлаждения
Автовская ТЭЦ-15	ТА-6	ТФ-130-2УЗ	Воздушное охлаждение
Гусиноозерская ГРЭС	ГТ2	ТГВ-200-2МУЗ	Водородно-водяное охлаждение обмоток
Пермская ГРЭС	1ТГ	ТЗВ-800-2УЗ	Полное водяное охлаждение
Северсталь, ТЭЦ-ЭВС-2	ТГ-1	ТВФ-110-2Е-УЗ	Водородное охлаждение

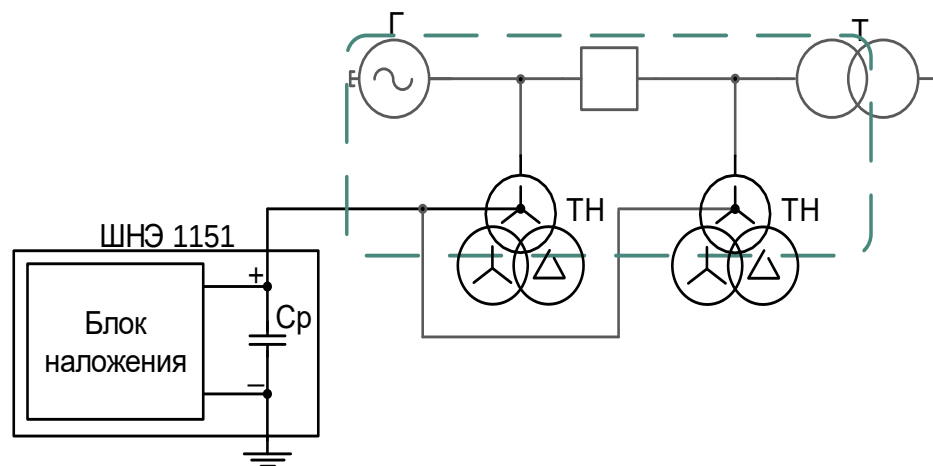


Осциллограмма нормального режима.

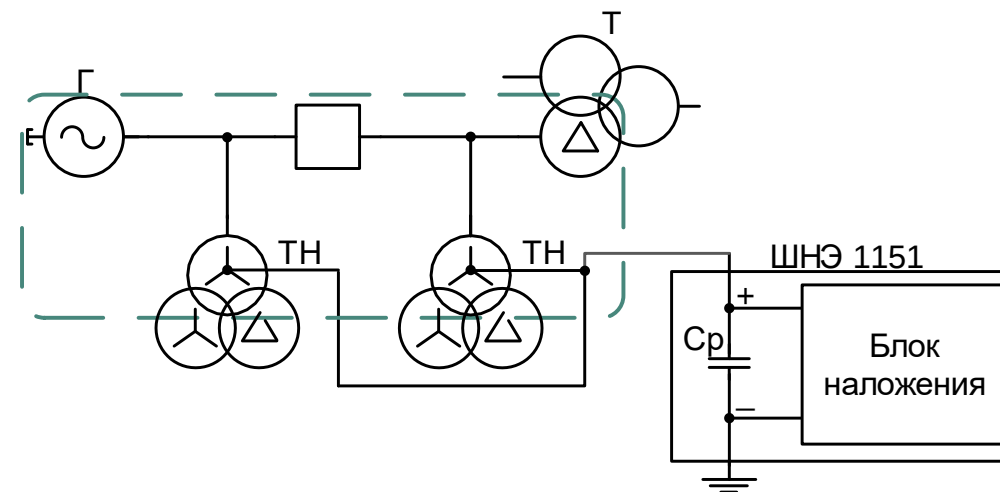
Измеряемое
сопротивление изоляции
157 МОм.

Шкаф предназначен для генератора, работающего:

- 1) в одиночном блоке с трансформатором и не имеющего гальванической связи с внешней сетью (Рисунок а);
- 2) в составе укрупнённого блока, в котором каждый из генераторов подключен к отдельной части расщепленной обмотки трансформатора блока (Рисунок б).



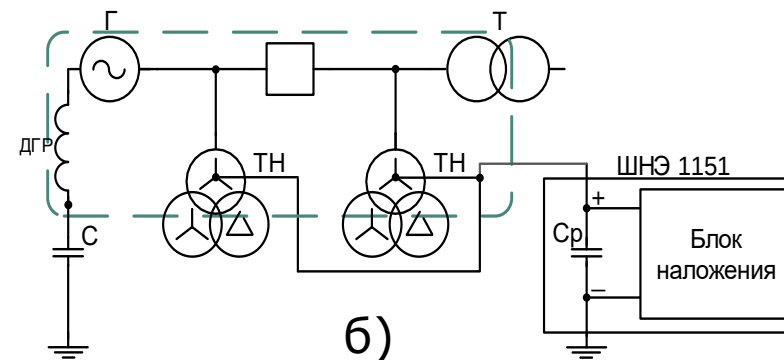
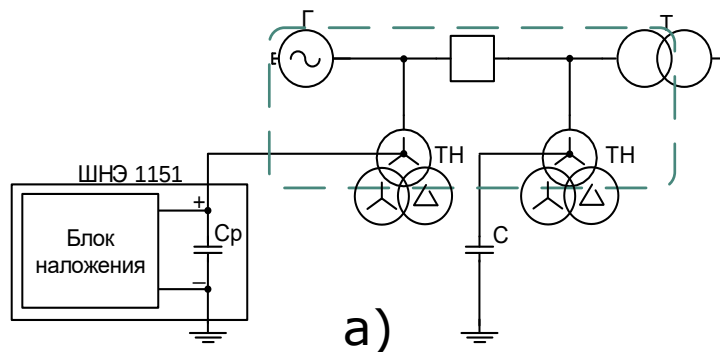
а)



б)

Особенности применения и установки шкафа ШНЭ 1151:

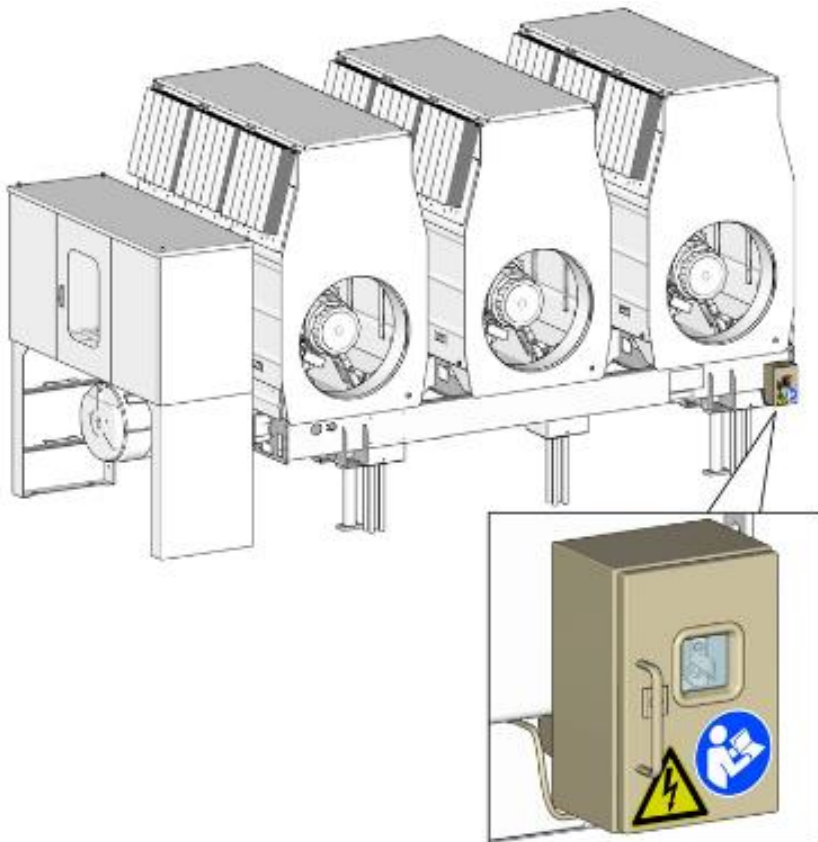
- на один блок генератор-трансформатор устанавливается один шкаф ШНЭ 1151 ;
- наложение контрольного постоянного тока осуществляется через нейтраль первичной обмотки ТН;
- шкаф ШНЭ 1151 должен быть размещён в непосредственной близости от точки наложения, рекомендуемое расстояние ≤ 50 м;
- в цепи нейтралей ТН, которые должны быть заземлены по их основному назначению (и в цепь ДГР при наличии), необходимо включить разделительные конденсаторы.



¹Конденсатор для ДГР отличается от конденсаторов для заземления нейтралей обмотки ВН трансформаторов напряжения и выбирается на этапе проектирования;

²Включение разделительных конденсаторов в цепи нейтралей ТН не вызывает нарушений в их работе.

Вопрос о заземление нейтралей ТН через разделительные конденсаторы должен быть проработан на этапе проектирования, поскольку могут возникнуть особенности при подключении к нейтральным выводам в элегазовом РУ.



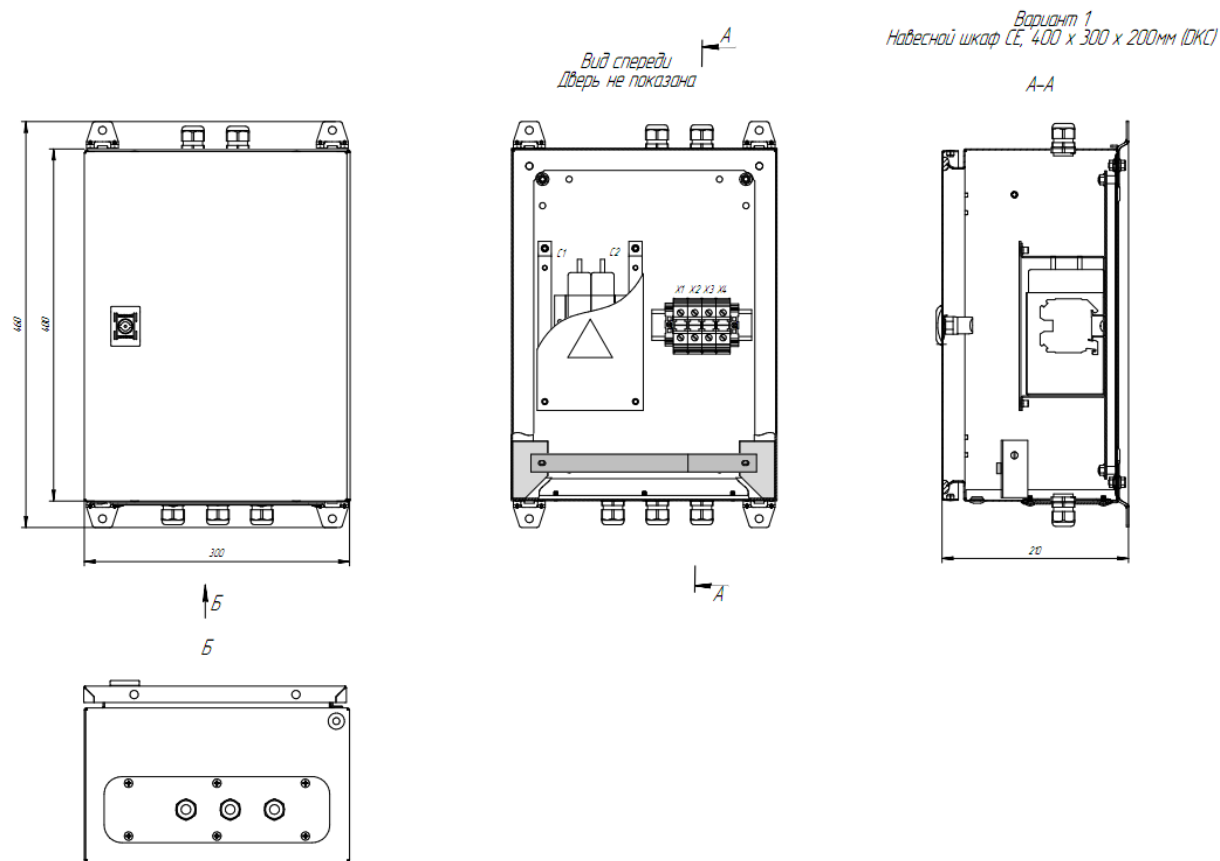
Например при заказе выключателя есть возможность предусмотреть шкаф заземления нейтрального вывода трансформатора напряжения, размещенный в элегазовом генераторном распределительном устройстве.

Заземление нейтралей первичных обмоток ТН через конденсаторы может быть, как индивидуальным с помощью отдельных разделительных конденсаторов, так и централизованным, путём объединения всех нейтралей в одной точке и заземления через разделительные конденсаторы, расположенные в шкафу ШНЭ 1151.

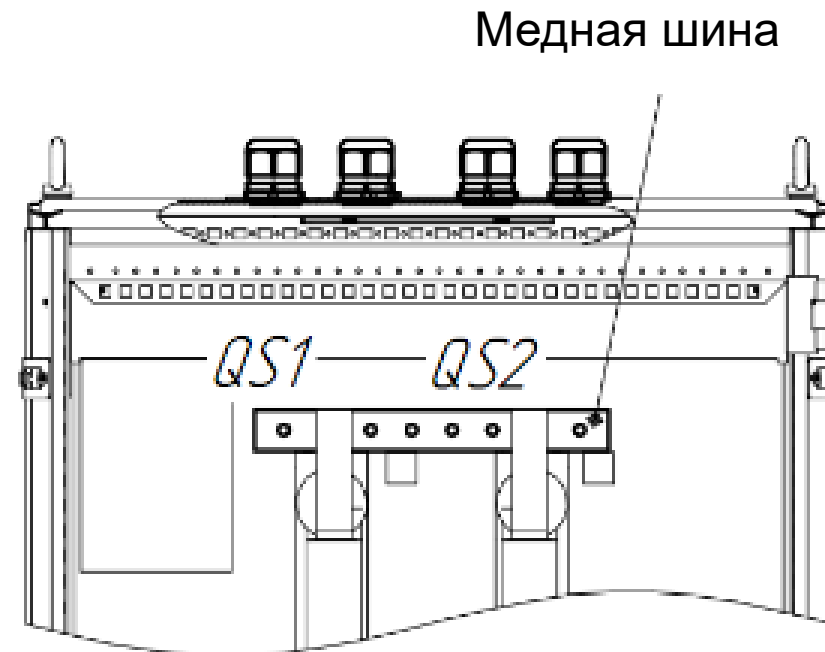
Индивидуальное заземление выполняется следующими способами:

- при «открытом» расположении ТН разделительные конденсаторы размещаются в отдельном шкафу;
- при расположении ТН в ячейке, конденсаторы также могут быть размещены непосредственно в ячейке, в таком случае конденсаторы и клеммник крепятся к кронштейну, который крепится внутри ячейки.

Рекомендации по применению шкафа ШНЭ 1150



Пример размещения разделительных конденсаторов в отдельном шкафу



Пример централизованного заземления нейтрали, подключением к общей шине



ЭКРА

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ