

## СИСТЕМА ЗАЩИТЫ И МОНИТОРИНГА СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА В СОСТАВЕ ШКАФА ШНЭ 1151



Шкаф типа ШНЭ 1151

### История разработки

Выполнение защиты от замыканий на землю в обмотке статора генератора, работающего в блоке с трансформатором, на принципе наложения на первичные цепи постоянного тока впервые предложено немецким инженером М. Райком в 1960 году.

На сегодня известен ряд различных технических исполнений защиты, выполненной на данном принципе. 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.

С 70-х годов XX века до 1995 года защита поставлялась Томским политехническим институтом (в настоящее время – университетом, ТПУ). С

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

Одной из основных задач, которая решается применением защиты на данном принципе – это устранение зоны нечувствительности при замыкании вблизи нейтрали обмотки статора генератора.

В дополнении к функции защиты, принцип наложения постоянного тока позволяет реализовать функцию мониторинга сопротивления изоляции обмотки статора генератора и электрических цепей, гальванически связанных с ней [без применения датчиков в генераторе!]. Данная функция позволяет отслеживать процесс физического старения изоляции, выявлять потенциальные проблемы и предупредить развитие дефектов на ранней стадии, что невозможно осуществить с помощью традиционно применяемых защит от замыкания на землю на прочих принципах. Мониторинг состояния оборудования выполняется непрерывно в режиме 24/7 как на работающем, так и на остановленном генераторе, в том числе при тиристорном пуске (ГТУ, ГАЭС). Это позволяет перейти от профилактического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию электрооборудования и делает систему защиты и мониторинга эффективным инструментом для анализа и прогнозирования текущего и будущего состояния оборудования. Установленным ПУЭ способом контроля изоляции обмотки статора являются портативные мегаомметры, которые для проведения измерений требуют остановки и вывода в ремонт генератора, а в некоторых случаях и частичной его разборки. В случае установки системы защиты и мониторинга может быть упрощена и автоматизирована процедура контроля сопротивления изоляции генератора перед его вводом в работу.

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 маслonaполненного оборудования;
- улучшена помехоустойчивость за счет передачи сигналов по цифровым оптическим каналам связи;

– добавлена возможность интеграции в цифровые системы энергообъектов (решение по умолчанию – комплекс программ EKRASCADA).

Предлагаемая система включает в себя функцию защиты от замыкания на землю обмотки статора блока генератор-трансформатор на принципе наложения постоянного тока «Un(100)v2», выполненная по умолчанию в шкафу ШНЭ 1151. Выходными воздействиями шкафа ШНЭ 1151 в таком случае являются “сигнал о снижении изоляции” и “команда на отключение генератора”, которые передаются в шкаф защит генератора (блока) или шкаф АВВ<sup>1</sup>. В случае сформирования и передачи “команды на отключение генератора”, в шкафу ШЭ111х формируются управляющие воздействия на генераторный (блочный) выключатель, останов турбины, отключение АГП и пр. (см. структурную схему системы защиты и мониторинга, вариант А).

Функционал шкафа ШНЭ 1151 при необходимости позволяет передать необходимые измерения для вычисления сопротивления изоляции в шкаф защит генератора (блока) ШЭ111х и заполнить в его комплектах защит дублирование функции защиты «Un(100)v2». В таком случае, сигнализация о снижении изоляции и команда на отключение генератора формируются непосредственно в шкафу защит генератора (блока) ШЭ111х, а функция «Un(100)v2», выполненная в шкафу ШНЭ 1151 может быть выведена из работы (см. структурную схему системы защиты и мониторинга, вариант Б).

### Функциональное назначение

1. Защита 100 % длины обмотки статора генератора, работающего с изолированной нейтралью, а также при наличии дугогасящего реактора (ДГР) в его нейтрали:

а) в одиночном блоке с трансформатором и не имеющим гальванической связи с внешней сетью;

б) в составе укрупнённого блока, в котором каждый генератор подключен к отдельной части расщепленной обмотке трансформатора блока.

2. Непрерывный мониторинг сопротивления изоляции статора генератора и оборудования, установленного в его цепях относительно земли. Система защиты и мониторинга фиксирует снижение сопротивления изоляции, происходящее по любым причинам, например:

– ухудшение изоляции обмоток статора генератора;

– появление трещин в изоляции стержня обмотки статора;

– появление трещин в изоляторах токопроводов генератора;

– увлажнение комплектных токопроводов из-за старения резиновых уплотнений;

– повреждение генераторного выключателя из-за ослабления и перегрева контактов и вытекания продуктов горения масла на поверхность изоляторов;

– загрязнение различными примесями охлаждающей жидкости, протекающей по водопроводящим шлангам системы водяного охлаждения генератора.

Функция мониторинга может быть реализована с помощью:

– интеграции системы в SCADA [ПТК “Диамонт” от НПП “ЭКРА”] и вывода на монитор ПК дежурного персонала информации в виде графиков, трендов и в табличном виде;

– вывода измерений сопротивления изоляции статора и контрольных параметров источника наложения на модуль индикации (МИ) с графическим дисплеем, установленным на щите дежурного или в шкафу ШНЭ 1151;

– формирования архива измерений сопротивления изоляции статора, для последующей оценки тенденции его изменения, скорости изменения, сопоставления с другими параметрами, характеризующими состояние изоляционной системы генератора.

### Особенности установки на объекте

– Один шкаф ШНЭ 1151 устанавливается на один блок генератор-трансформатор;

– наложение контрольного постоянного тока осуществляется через нейтраль первичной обмотки ТН;

– шкаф ШНЭ 1151 должен быть размещён в непосредственной близости от точки наложения, рекомендуемое расстояние  $\leq 50$  м;

– в цепи нейтралей ТН, которые должны быть заземлены по их основному назначению (и в цепь ДГР при наличии<sup>2</sup>), необходимо включить разделительные конденсаторы<sup>3</sup>.

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. При индивидуальном заземлении нейтралей шкафа ШНЭ 1151 необходимо подключить к ТН, установленному до генераторного выключателя.

Способ заземления нейтралей первичных обмоток ТН выбирается на этапе проектирования исходя из географического расположения ТН на станции.

<sup>1</sup> Передача сигналов может быть реализована посредством «сухого контакта» или GOOSE-сообщения;

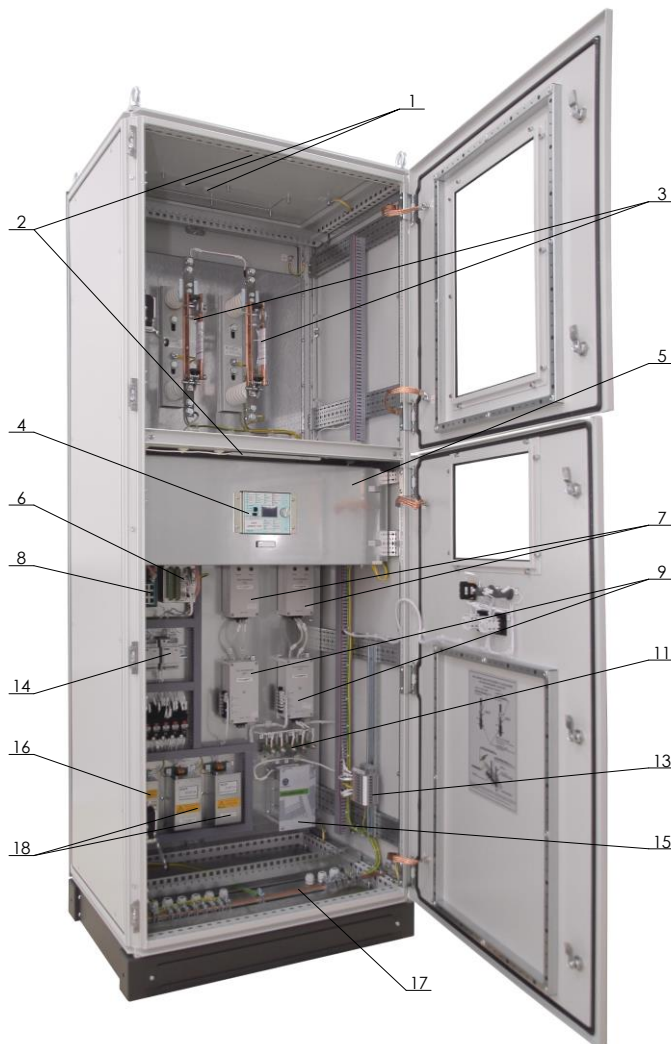
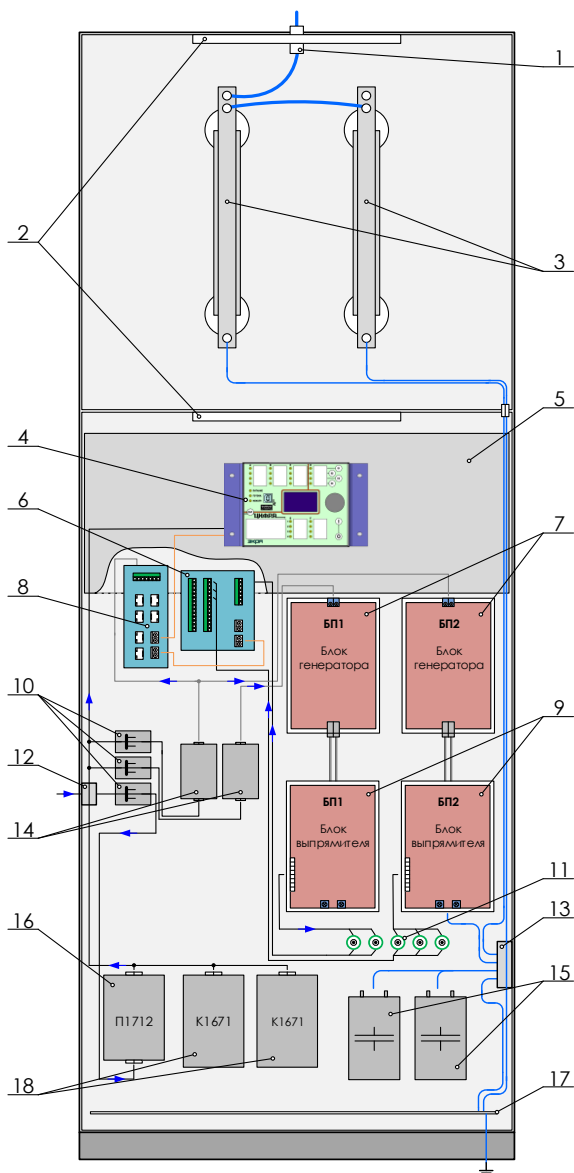
<sup>2</sup> Конденсатор для ДГР отличается от конденсаторов для заземления нейтралей обмотки ВН трансформаторов напряжения и выбирается на этапе проектирования;

<sup>3</sup> Включение разделительных конденсаторов в цепи нейтралей ТН не вызывает нарушений в их работе.

### Основные типовые технические характеристики

Наименование параметра	Величина		
Основные характеристики шкафа ШНЭ 1151			
Номинальное напряжение контролируемой сети, кВ	6 – 24		
Номинальное напряжение оперативного питания постоянного тока, В	220		
Допустимые колебания номинального напряжения оперативного питания постоянного тока	0,8 – 1,1		
Номинальные значения климатических факторов внешней среды соответствуют:	УХЛ4		
Группа механического исполнения	М40		
Степень защиты	IP41		
Средний срок службы, лет, не менее	25		
Потребляемая мощность, Вт, не более	50		
Параметры защиты Un(100)v2			
Диапазон уставок сигнальной ступени, кОм	1 – 1000		
Диапазон уставок отключающей ступени, кОм	1 – 200		
Погрешность установки 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 разъемы 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		
Конструктив шкафа ШНЭ 1151			
Конструктив	ШМЭ		
Обслуживание	Одностороннее		
Габариты каркаса шкафа, ШxВxГ, мм	808x600x2000	800x600x2000	
Масса шкафа, кг, не более	205		
Подвод кабелей от нейтрали ТН в отсек №1	Сверху		
Подвод кабелей в отсек №2	Снизу		

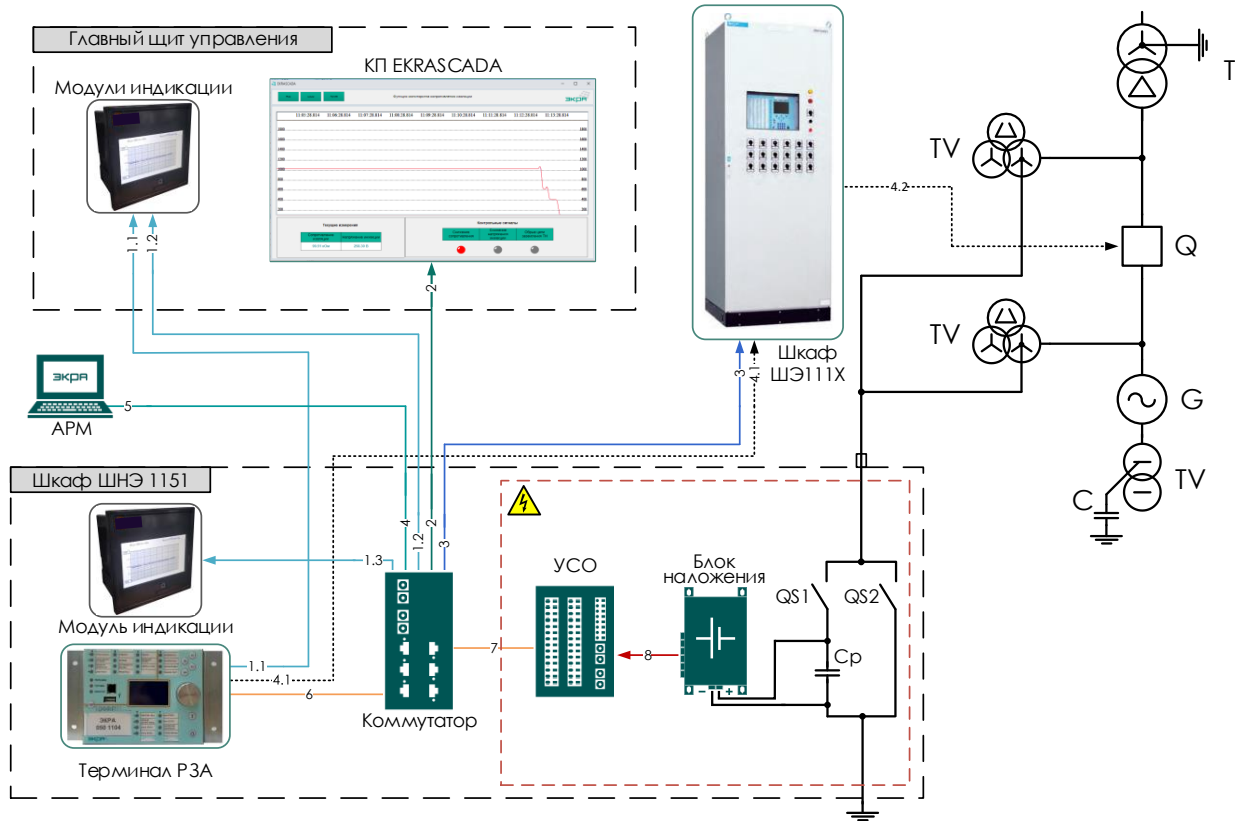
**Структурная схема и общий вид шкафа ШНЭ 1151 с открытыми дверями**



Структурная схема и общий вид шкафа ШНЭ 1151 с открытыми дверями:

- 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.

**Структурная схема системы. Вариант А (функция «Un(100)v2» в шкафу ШНЭ 1151)**



**Условно-графические обозначения:**

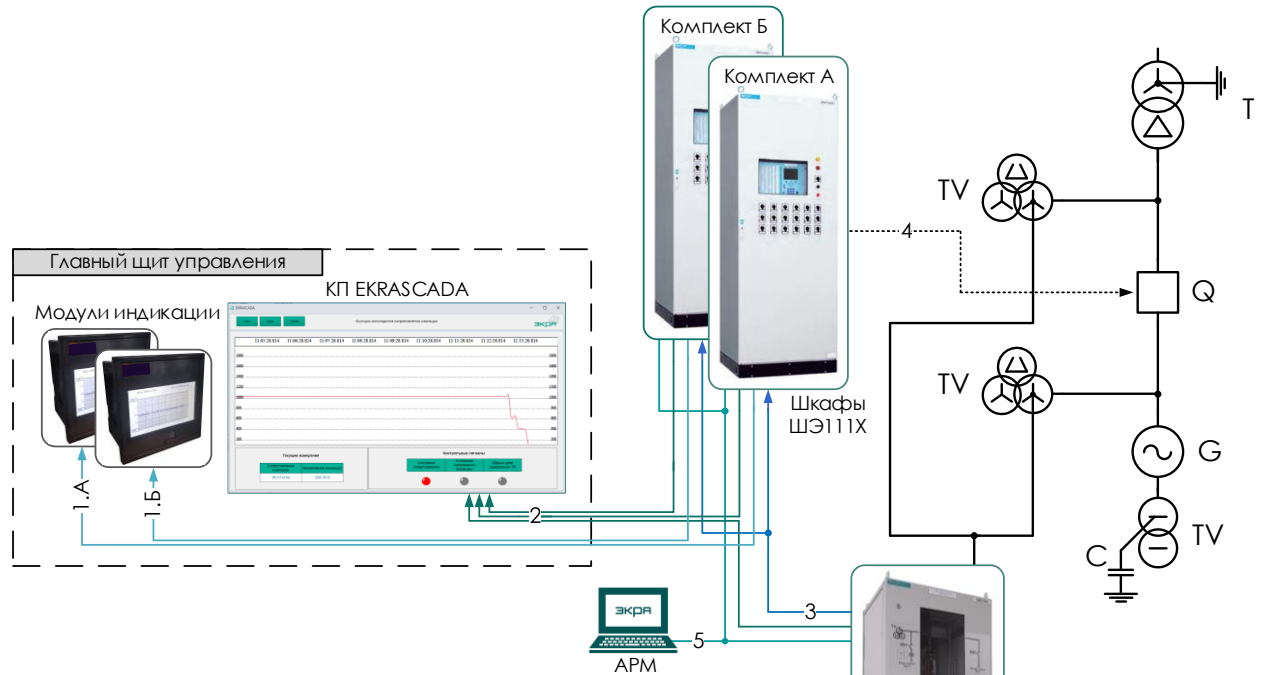
- - Первичные (силовые) цепи;
- ←-1.1— - Цифровая цепь передачи измерений сопротивления и контрольных параметров источника наложения в модуль индикации (МИ), расположенный на ГЩУ, на расстояние более 100 м:  
а) по протоколу ModBus TCP с использованием оптоволоконна и медиаконвертера «Оптоволконно → 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;

- G – Генератор;
- Q – Генераторный выключатель;
- T – Трансформатор блока;
- TV – трансформаторы напряжения;
- QS1, QS2 – разъединители;
- C, Cp – разделительные конденсаторы;
- АРМ (автоматизированное рабочее место) – программно-технический комплекс, предназначенный для работы с устройствами, расположенными в шкафу ШНЭ 1151;
- Шкаф ШНЭ 1151 – шкаф защиты и мониторинга сопротивления изоляции статора генератора;
- Шкаф ШЭ111Х – шкаф комплексной защиты генератора (блока) или шкаф АУВ.

\* при использовании в терминале РЗА блока связи с двумя оптическими портами типа LC.  
\*\* при использовании в терминале РЗА блока связи с портами: эл. Ethernet (RJ-45) и RS485 (винтовой зажим).



**Структурная схема системы. Вариант Б (функция «Un(100)v2» в шкафах ШЭ111Х)**



**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 варианта А).