

АБС Электро



СПЕЦИФИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТ ШИН В РЕЖИМАХ С НАСЫЩЕНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

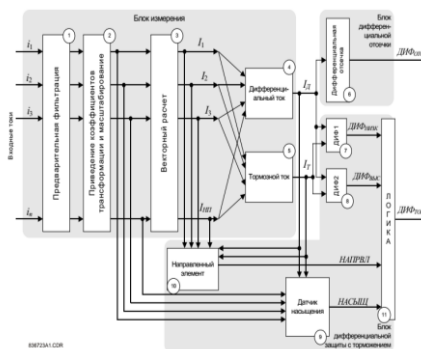
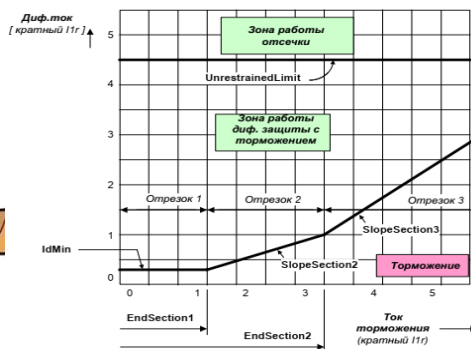
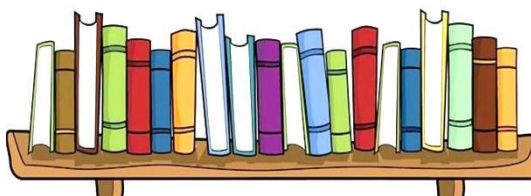
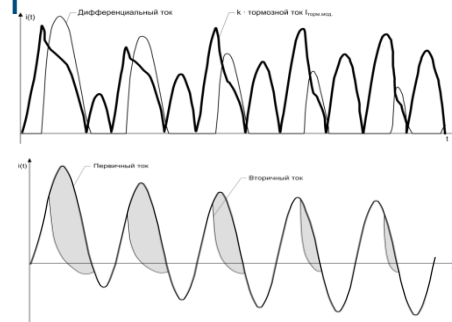
Г.С. Нудельман, Р.И. Игнатьев, Г.Ю. Тикушев, С.Е. Фролов (АО ВНИИР»)
 А.И. Расщепляев, В.В. Москаленко, В.С. Воробьёв (АО «СО ЕЭС»)

Цели и задачи работы

2



- ❑ Анализ имеющейся НД в части требований к работе защит шин с ТТ
- ❑ Обобщение опыта производителей МП устройств РЗ в решении проблемы влияния насыщения ТТ на работу дифференциальных защит
- ❑ Разработка программ и методик испытаний защит шин в режимах с насыщением ТТ
- ❑ Проведение тестовых испытаний устройств МП защит шин, представленных на объектах энергосистемы РФ
- ❑ Подготовка требований к устройствам МП РЗ шин при работе с ТТ в режимах с насыщением (проекта стандарта)



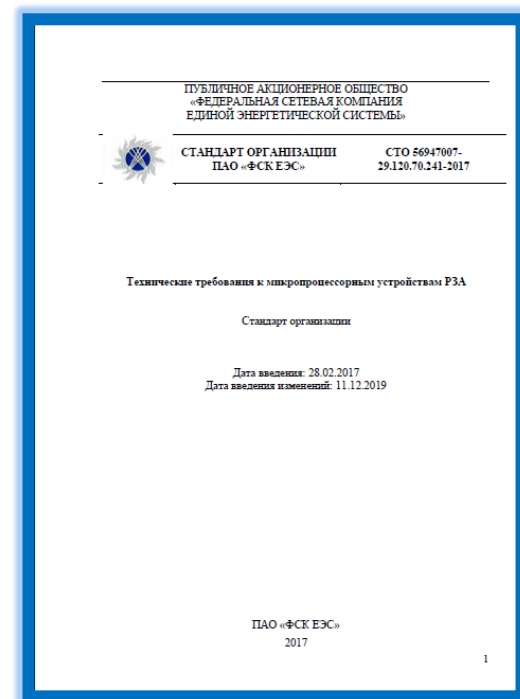
Основные требования к защитам сборных шин



СТО ФСК ЕЭС ТТ к МП РЗА (2017/2019 г.)

устанавливает, помимо количественных показателей и логики действия, **следующие основные требования к МП УРЗА, содержащим функцию ДЗШ или ДЗО класса напряжения 6 - 750 кВ:**

- ☐ Отсутствие излишних срабатываний ДЗШ при бросках тока намагничивания трансформатора (включение со стороны шин «с открытым плечом»)
- ☐ Отсутствие излишних срабатываний ДЗШ при внешних КЗ с насыщением трансформатором тока при выполнении заявленных производителем требований к ТТ
- ☐ Полное время срабатывания чувствительной ступени ДЗШ при дифференциальном токе более 2-х кратного тока уставки, с учетом наличия апериодической составляющей и времени срабатывания выходного реле не более - **50 мс**
- ☐ Время срабатывания чувствительной ступени ДЗШ при переходе внешнего КЗ во внутреннее в условиях наличия насыщения ТТ не более – **60 мс**



Действовавшая на 2021 г. отечественная НД по трансформаторам тока, в том числе затрагивающая возможность насыщения ТТ в переходных режимах



ГОСТ 18685-73. Межгосударственный стандарт. Трансформаторы тока и напряжения. Термины и определения

ГОСТ IEC 60044-1-2013. Трансформаторы измерительные. Часть 1. Трансформаторы тока

ГОСТ 7746-2015. Межгосударственный стандарт. Трансформаторы тока. Общие технические условия

ГОСТ Р МЭК 61869-2-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Трансформаторы измерительные. Часть 2. Дополнительные требования к ТТ

ПНСТ 283-2018. Предварительный национальный стандарт. Трансформаторы измерительные. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока

ГОСТ Р 58669-2019. ЕЭС и изолированно работающие энергосистемы. РЗ. ТТ измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. МУ по определению времени до насыщения при КЗ.

Министерство Энергетики РФ. Письмо ЧА-3440/10 от 02.04.2019 г. О мерах по недопущению неправильной работы устройств релейной защиты

Испытательные схемы объектов для проверки защит шин



Схема 220 кВ

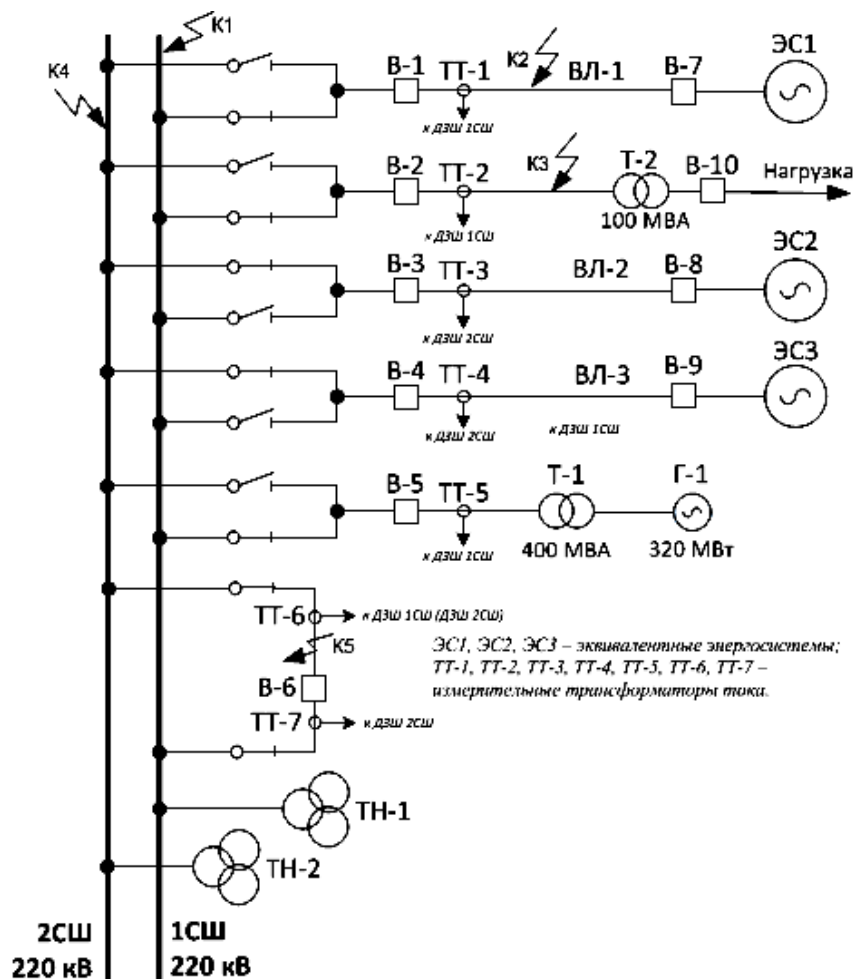
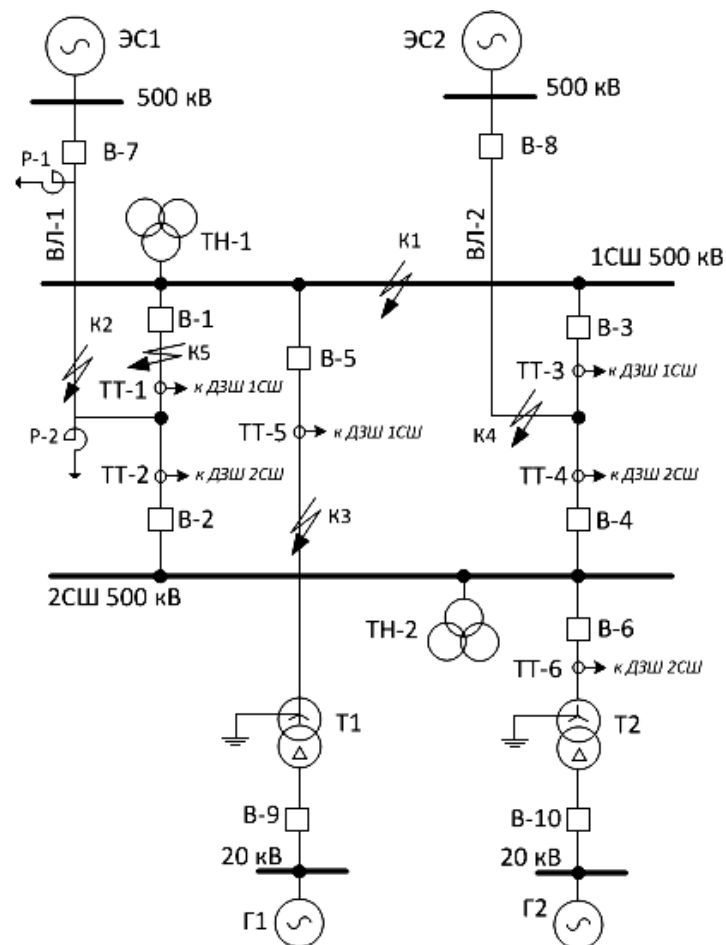


Схема 500 кВ



МП устройства РЗА, задействованные в тестовых испытаниях



Назначение устройств	Класс напряжения испытательной схемы, кВ	Испытуемое МП устройство РЗ
Защита сборных шин	220	ТОР 300 ДЗШ 541 версия ПО 21.1 (Релематика)
		SIPROTEC 5 7SS85 v.08.80 (Siemens)
	500	БЭ2704 403026 версия ПО 562 308 (ЭКРА)
		ТОР 300 ДЗО 602 версия ПО 19.1 (Релематика)
		REB 670 версия ПО 2.1 (ABB (Hitachi Energy))



Классы ТТ, задействованные в испытаниях



Класс точности	Предельные значения допускаемой погрешности				
	Погрешность при номинальном первичном токе			Полная погрешность при токе номинальной предельной кратности ϵ , %	Погрешность в переходном режиме в нормированном цикле, %
	Токовая, %	Угловая			
		град	срад		
10P	± 3	Не нормируется		10	Не нормируется
10PR	± 3	Не нормируется		10	Не нормируется
TPY	± 1	± 60	$\pm 1,8$	10	$\epsilon_{\text{макс}} \leq 10$
TPZ	± 1	180 ± 18	$5,3 \pm 0,6$	10	$\epsilon_{\text{ас макс}} \leq 10$

Общие особенности выбора параметров тестовых моделей ТТ для испытаний



1. Выбираются параметры базового ТТ (по наиболее тяжелому режиму установившегося КЗ в тестовой схеме без учёта «запаса на переходный режим»)
2. Следующие параметры тестового ТТ задаются равными параметрам базового ТТ:

Параметр	Описание	Единицы измерения
$I_{1ном}$	Номинальный первичный ток	А
$I_{2ном}$	Номинальный вторичный ток	А
R_2	Сопротивление вторичной обмотки	Ом
$R_{нг}$	Сопротивление нагрузки	Ом
$B(H)$	Характеристика намагничивания	Тл(А/м)

3. ВАХ моделей тестовых ТТ рассчитываются для каждого моделируемого режима отдельно, путем масштабирования ВАХ базового ТТ, с учётом требований к величине погрешности в переходном режиме (ТРУ, ТРЗ) или требований к времени до насыщения тестовых ТТ в переходном режиме (10Р, 10PR), что соответствует ГОСТ Р 70358-2022.

Основные группы испытательных режимов для защит шин



- ❑ **внутренние КЗ в зоне действия ДЗШ** (в том числе при частоте сети 45 и 55 Гц) - исследуется работа пусковых и отключающих органов в различных условиях и подрежимах (с успешным/неуспешным АПВ шин, в «мертвой зоне» выключателей, с нарушением фиксации), время работы устройства **при работе с «идеальными» ТТ**
- ❑ **внешние КЗ** (в том числе при частоте сети 45 и 55 Гц, а также режимы с АПВ присоединений линий, включение трансформатора или автотрансформатора с БТНТ) – проверяется отсутствие излишнего срабатывания функции ДЗШ **при работе с «идеальными» ТТ**
- ❑ **переход внешнего КЗ во внутреннее, возникновение внутреннего КЗ на фоне внешнего** - проверка правильности поведения функции ДЗШ устройства **при работе с «идеальными» ТТ**
- ❑ **режимы испытаний с насыщением ТТ** – включают в себя повторение перечисленных выше групп режимов, **с насыщением одного или более ТТ** в качестве утяжеляющего признака, а также **для комбинаций ТТ** – со всеми типами рассмотренных ТТ в «критическом» плече в сочетании с другими ТТ в остальных плечах

Обобщенные результаты испытаний устройств ДЗШ-220 и ДЗШ-500 кВ

Режимы внутренних КЗ – сводная информация по нештатному поведению



10

Группа по месту КЗ	Вид режима	Полученные результаты и особенности поведения испытуемого устройства	Причины
В зоне ДЗШ	Внутренние КЗ, с неуспешным АПВ шин	Случаи замедления работы ЧТО при опробовании в случае насыщения ТТ (10PR с $T_{нас}=3$ мс в «критическом» плече)	<input type="checkbox"/> Действие на ЧТО логики отстройки от БТНТ
		Случаи замедления действия ДЗШ при несимметричных КЗ, сочетании ТТ классов ТРУ и 10PR (в «критическом» плече и насыщении с $T_{нас}=5$ мс)	<input type="checkbox"/> Недостаточная чувствительность ИО
	Переход внешнего К(1) во внутреннее а) в той же фазе; б) в другой фазе, с сохранением исходного нешнего	Случаи замедления действия ДЗШ после возникновения внутреннего КЗ: а) , б) - при использовании в «критическом» плече как ненасыщающихся («идеальных», ТРУ, ТРЗ) так и насыщающихся ТТ (10Р, 10 PR с $T_{нас}$) в «критическом» плече (с КЗ), в. т.ч. при использовании совместно с ненасыщающимися ТТ	<input type="checkbox"/> Действие блокировок (детектора) при внешних КЗ при начальном КЗ <input type="checkbox"/> Недостаточная чувствительность ИО <input type="checkbox"/> Особенности работы ИО, заложенные производителям
	Внутренние КЗ, на фоне предшествующего БТНТ в плече с Т	Случаи замедление действия ДЗШ: а) характерные – для несимметричных КЗ при использовании любых типов ТТ и их сочетаний б) возможные – для симметричных КЗ при использовании насыщающихся типов ТТ (10Р, 10PR с $T_{нас}=5$ мс) в «критическом» плече (с КЗ)	<input type="checkbox"/> Отказ блокировки БТНТ при БТНТ <input type="checkbox"/> Срабатывание блокировки БТНТ при КЗ (включая длительное перекрестное блокирование при насыщении ТТ)

Обобщенные результаты испытаний устройств ДЗШ-220 и ДЗШ-500 кВ



Режимы внешних КЗ – сводная информация по нештатному поведению

Группа по месту КЗ	Вид режима	Полученные результаты и особенности поведения испытуемого устройства	Причины
Внешние	Несимметричные КЗ, в т.ч. при изменении частоты	Случаи излишнего отключения в режимах с сочетанием ТТ любых классов и ТТ класса 10 PR при насыщении ТТ (10 PR с $T_{нас}=3\text{мс}$) в «критическом» плече	Срабатывание ИО ДЗШ с сопутствующим <input type="checkbox"/> срабатыванием (активацией на заложенное время) и последующим возвратом блокировки (детектора) при внешних КЗ <i>либо</i> <input type="checkbox"/> отказом блокировки (детектора) при внешних КЗ <i>либо</i> <input type="checkbox"/> отказом блокировки БТНТ
	КЗ на присоединении ВЛ с неуспешным ТАПВ	Случаи излишнего отключения в режимах с сочетанием ТТ любых классов и ТТ класса 10PR при насыщении ТТ (10 PR с $T_{нас}=3\text{мс}$) в «критическом» плече (зафиксированы при первом КЗ или АПВ)	
	Длительные несимметричные КЗ на ВЛ, ликвидируемые защитами с ВВ	Случаи излишнего отключения в режимах с сочетанием ТТ любых классов и ТТ класса 10 PR при насыщении ТТ (10 PR с $T_{нас}=3\text{мс}$) в «критическом» плече	
	Длительные К(З) в плече с Т, с предшествующим включением с БТНТ	Случаи излишнего отключения ($t=409..563\text{мс}$) в сочетаниях ТТ классов TPZ и 10 PR (в «крит.» плече), TPY и 10PR (в «крит.» плече) и при насыщении ТТ (10 PR с $T_{нас}=3\text{мс}$) в «критическом» плече	

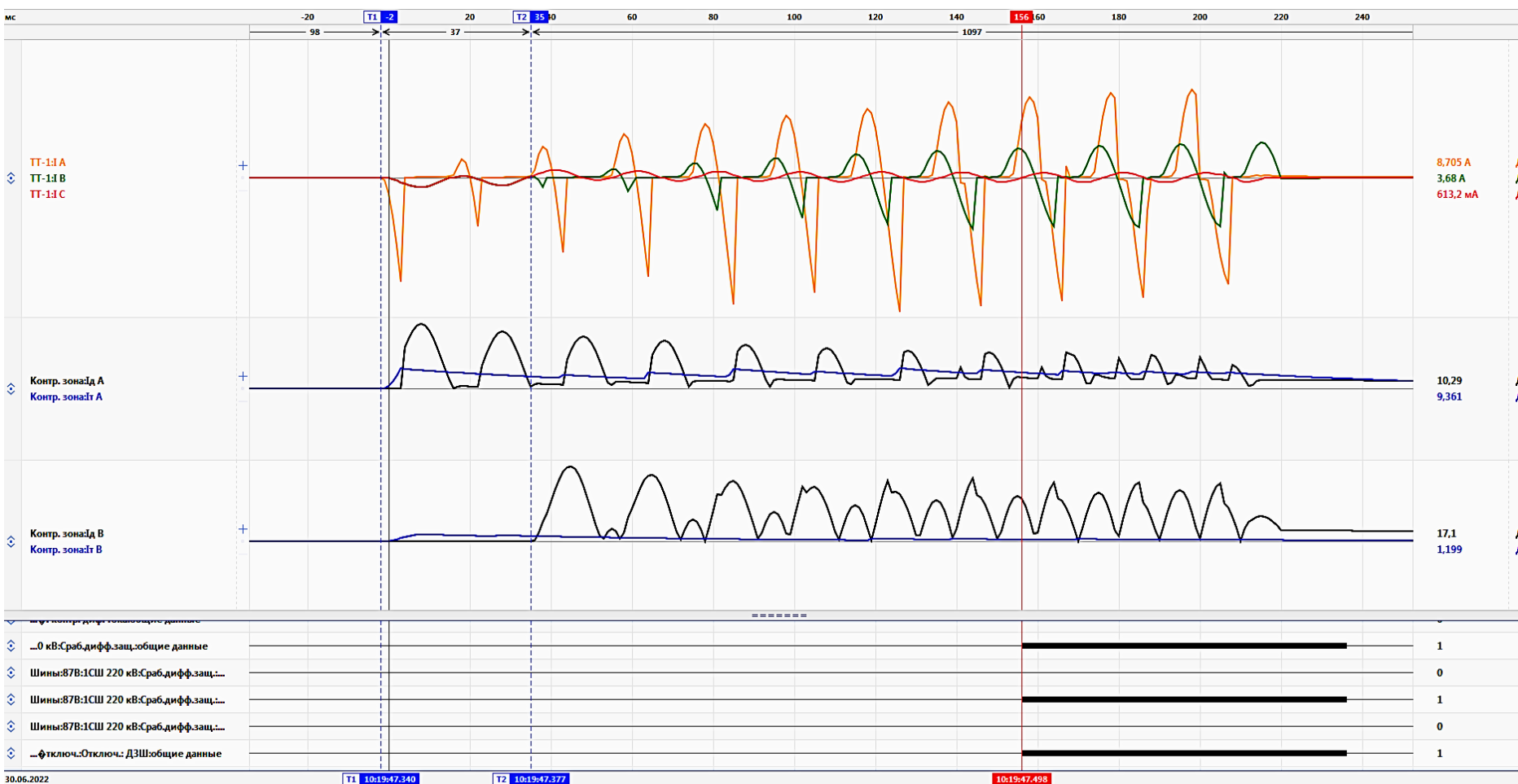
Обобщенные результаты испытаний устройств ДЗШ-220 и ДЗШ-500 кВ



12

Пример срабатывания ДЗШ с замедлением при внутреннем КЗ

Фрагмент осциллограммы с замедлением срабатывания устройства ДЗШ-220 кВ при возникновении **внутреннего 1-ф. КЗ** (в фазе В) на фоне внешнего (в фазе А) (в схеме с насыщающимся ТТ-1 класса 10PR в сочетании с остальными ТТ такого же класса)

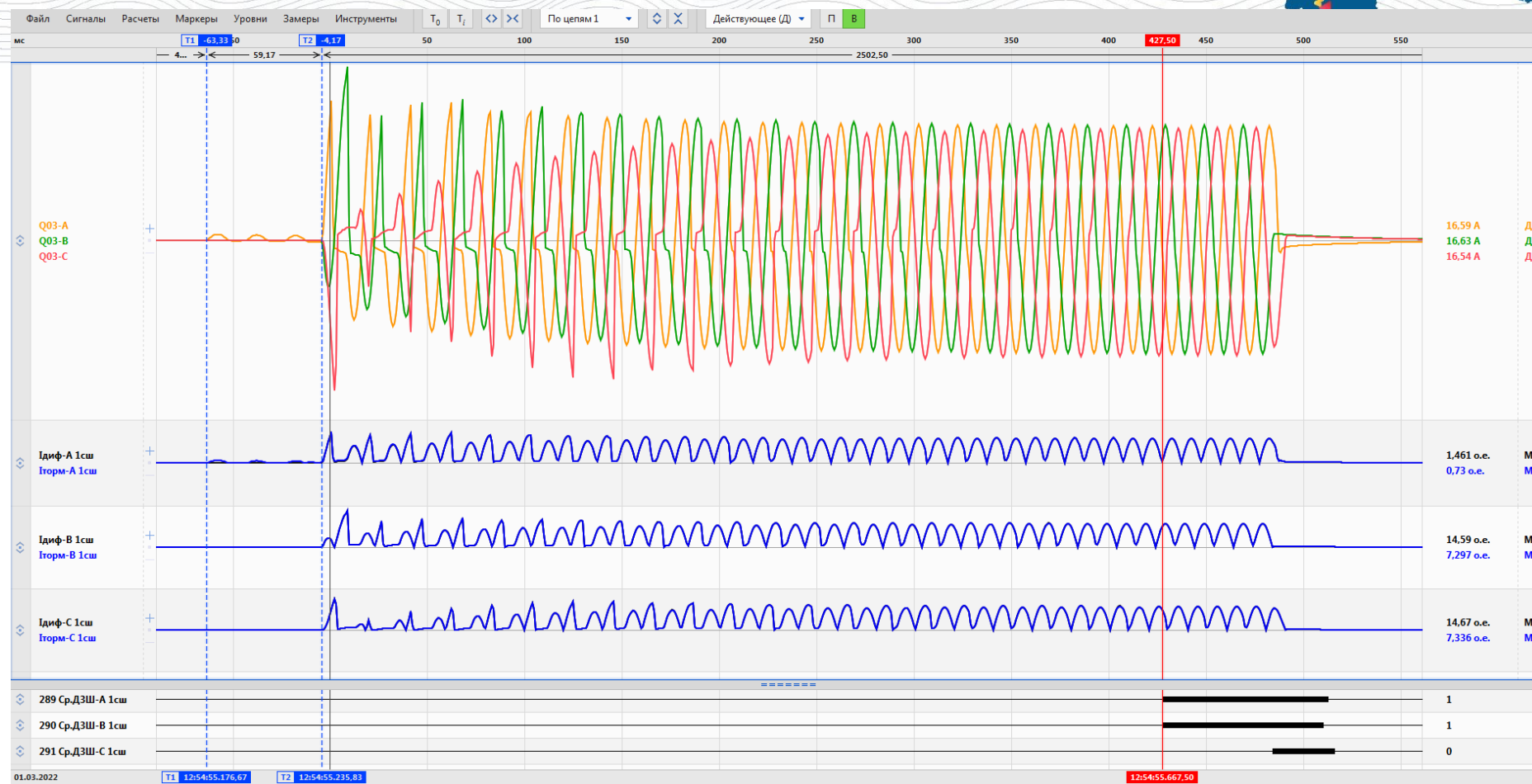


Обобщенные результаты испытаний устройств ДЗШ-220 и ДЗШ-500 кВ

Пример срабатывания ДЗШ с замедлением при внутреннем КЗ



13



Фрагмент осциллограммы **затянутого срабатывания** устройства ДЗШ 500 кВ при внутреннем КЗ вида «ABC» на фоне БТНТ (ТТ класса 10PR во всех плечах защиты)

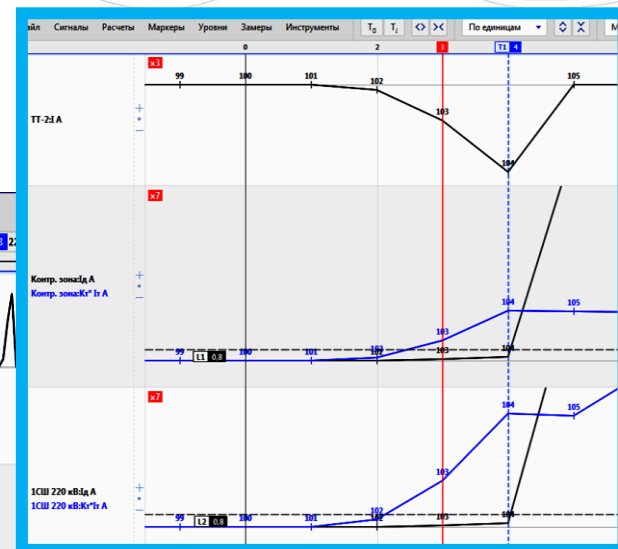
Обобщенные результаты испытаний устройств ДЗШ-220 и ДЗШ-500 кВ

Пример **излишнего срабатывания** ДЗШ при внешнем КЗ

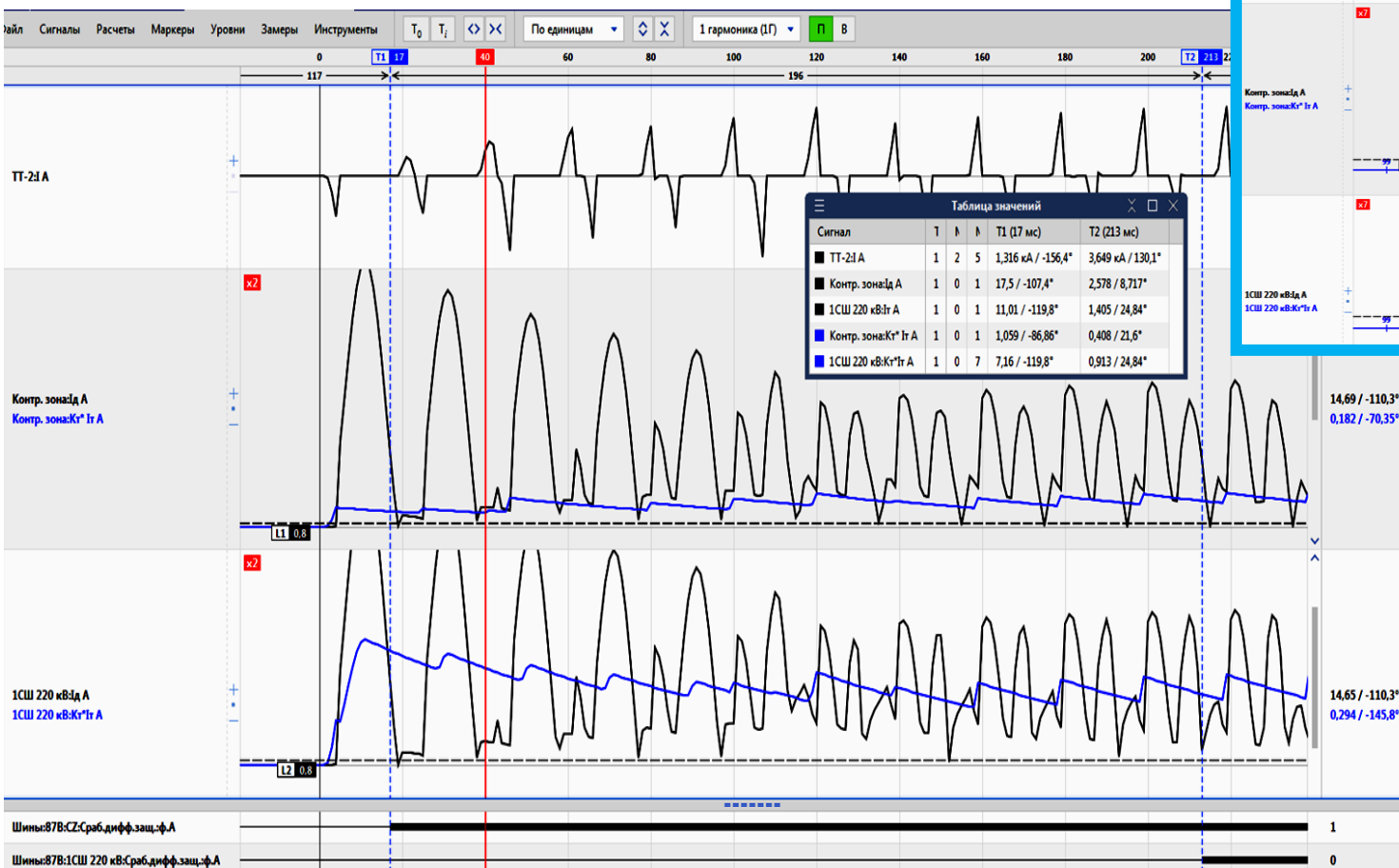


14

Фрагмент осциллограммы **излишнего срабатывания** ДЗШ-220 кВ при внешнем **1-ф. КЗ** (в схеме с насыщающимся ТТ-2 класса 10PR в сочетании с остальными ТТ класса 10P)



Характер изменения токов в поврежденной фазе А в начальный период аварии

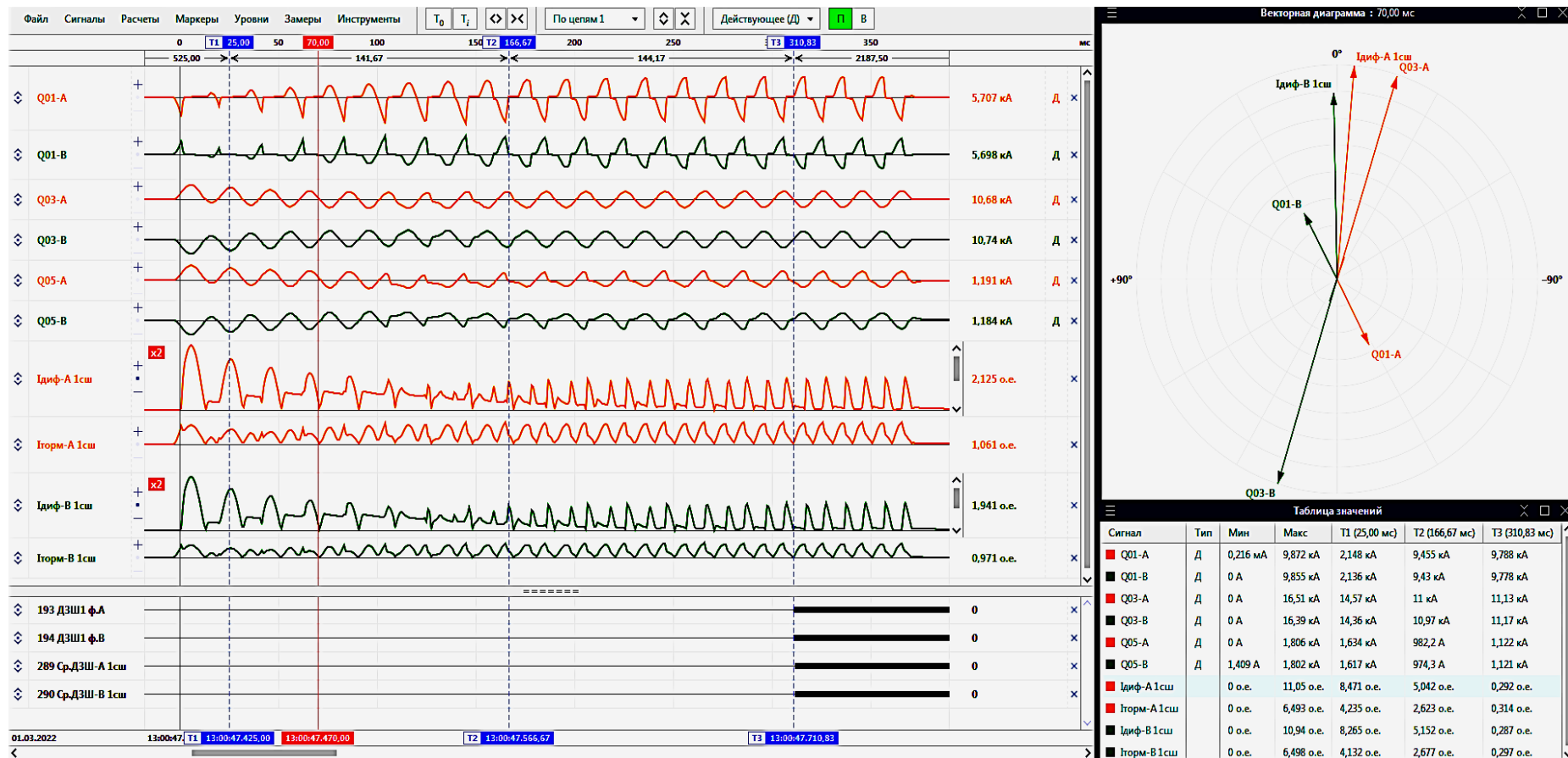


Обобщенные результаты испытаний устройств ДЗШ-220 и ДЗШ-500 кВ

Пример **излишнего срабатывания** ДЗШ при внешнем КЗ



15



Фрагмент осциллограммы **излишнего срабатывания** устройства ДЗШ 500 кВ при **внешнем КЗ вида «AB»** на смежной ВЛ (в цепи Q01) (ТТ класса 10PR во всех плечах защиты)

Испытания защит шин. Выводы



Обобщения по результатам испытаний устройств ДЗШ-220 и 500 кВ:

- ❑ проблема насыщения ТТ учитывается всеми производителями устройств ДЗШ в заложенных алгоритмах ДЗШ. В то же время в рассмотренных устройствах имеются, существенные различия по составу и уровню задействованных алгоритмических решений
- ❑ заложенные производителем функциональные возможности **не могут быть в достаточном объеме** проконтролированы и проанализированы ввиду ограниченного состава доступных выходных логических сигналов, характеризующих работу функций ДЗШ и её вспомогательных алгоритмов
- ❑ **излишняя** при внешних КЗ, либо **затянутая** при внутренних КЗ работа функции ДЗШ в отечественных и зарубежных устройствах **маловероятна** в случаях простых внешних или внутренних КЗ, сопровождающихся насыщением ТТ (когда $T_{нас}$ соответствовало времени, указанному производителем)
- ❑ **нештатная работа** ДЗШ наблюдается, в основном, в сложных режимах, когда насыщение ТТ (с $T_{нас}$, соответствующим времени, указанному производителем) дополнено **усложняющими факторами** (переход внешних КЗ во внутренние, предшествующий БТНТ, неуспешное ОАПВ/ТАПВ смежной линии, длительно существующее внешнее КЗ, медленный выход ТТ из глубокого насыщения)

Предложения по решениям, направленным на обеспечения правильности работы МП РЗА в переходных режимах, сопровождающихся насыщением ТТ



- ☐ Коррекция подхода производителями МП-устройств РЗА к оценке возможностей использования своих устройств применительно к имеющимся характеристикам ТТ разных классов (обеспечения большего запаса к величине быстродействия органов выявления внешнего КЗ)
- ☐ Оптимизация настроек и логики работы устройств (уточнение параметров срабатывания ИО защит, органов дополнительного торможения)
- ☐ Оптимизация состава, логики работы имеющихся дополнительных органов, обеспечивающих правильное поведение дифференциальной защиты в переходных режимах с насыщением (детектора внешнего КЗ/блокировки при внешних КЗ)
- ☐ Выполнение базовых требований - обеспечение требуемого (оптимального) режима работы ТТ



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

АО «ВНИИР»

 **АБС Электро**

пр. И.Я. Яковлева 4
428024, Чебоксары, Россия
Тел. : +7 (8352) 39-00-00
Факс: +7 (8352) 39-00-01
Email: vniiir@vniiir.ru



АО «СО ЕЭС»

