



Возможные пути совершенствования релейной защиты неуправляемых шунтирующих реакторов 330-750 кВ

Нагай Владимир Владимирович – к.т.н., нач. ОРЗиПА

Нагай Иван Владимирович – к.т.н., вед. инженер ОРЗиПА

Филиал «ЭНЕКС» (ОАО) «Южэнергосетьпроект»

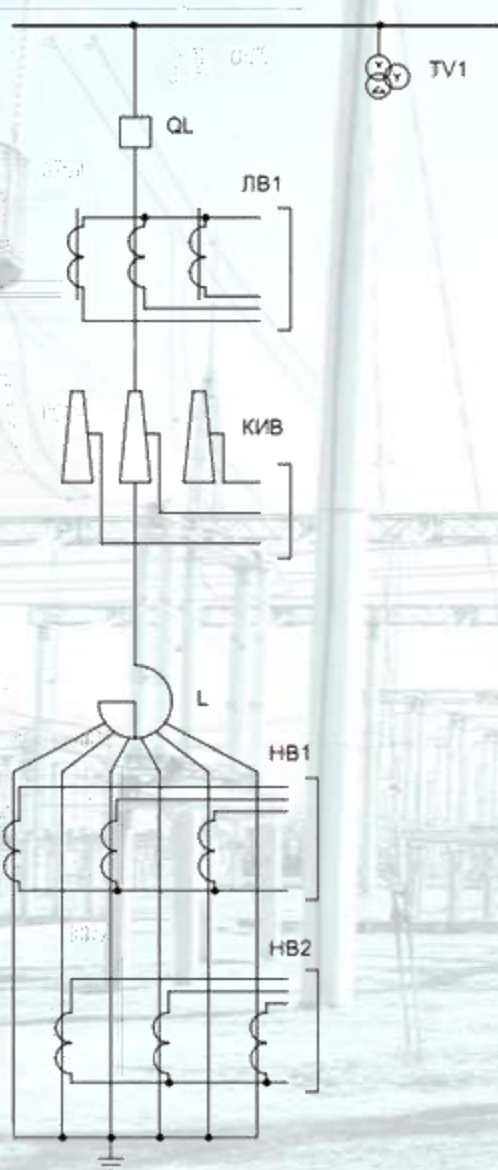
Введение

В данном докладе рассматриваются отдельные вопросы защиты неуправляемых шунтирующих реакторов (fixed shunt reactors).

Использование шунтирующих реакторов – один из наиболее компактных и экономически эффективных способов компенсации реактивной мощности высоковольтных линий электропередач. Они могут использоваться постоянно для стабилизации передачи электроэнергии или включаться в условиях низкой нагрузки только для контроля уровня напряжения. Сейчас шунтирующие реакторы широко внедряются в энергосистемах с протяженными ЛЭП напряжением 330 – 750 кВ. Подключение может быть различным: к линии или шинам, что обычно определяется режимными требованиями и экономической целесообразностью. На многих подстанциях и электростанциях установлено несколько групп ШР 330-750 кВ, например: на ПС 500 кВ «Шахты» – три группы линейных реакторов, на ПС 500 кВ «Буденновск» – две, на Ростовской АЭС после строительства четвертого энергоблока должны будут использоваться семь групп ШР.



Описание защищаемого объекта



Неуправляемые реакторы 330-750 кВ выполняются пофазными, с питанием только со стороны линейных вводов (ЛВ), а со стороны нейтрали (ШР заземляются) отсутствуют источники питания, обмотки, как правило расщепляются.

Современные ШР 330-750 кВ имеют большее количество встроенных в линейные вводы ШР трансформаторов тока (ТТ).

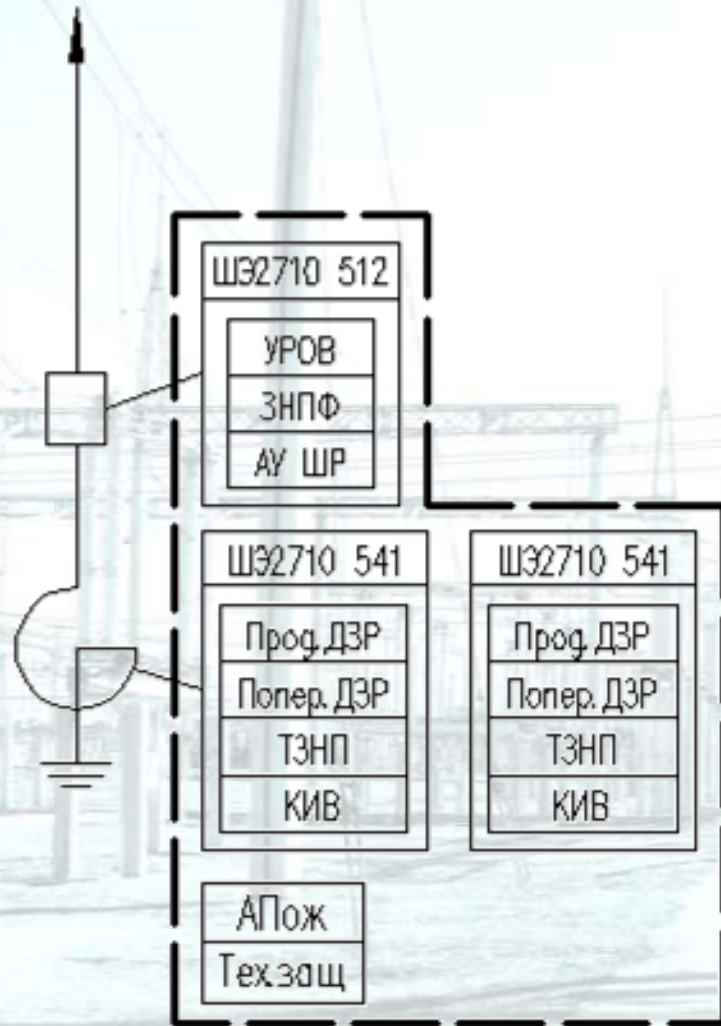
Шунтирующий реактор является тупиковым элементом сети, таким образом, для современных комплексов РЗА ШР не используются резервные защиты.

В настоящее время, использование ТЗНП для неуправляемых ШР 330-750 кВ признано ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «СО ЕЭС» не обязательным при наличии двух комплектов основных защит.

Максимальные токовые защиты (МТЗ), включенные на фазные токи или их разности, практически не используются для защиты ШР 330-750 кВ.

РЗ шунтирующего реактора

ВЛ 500 кВ



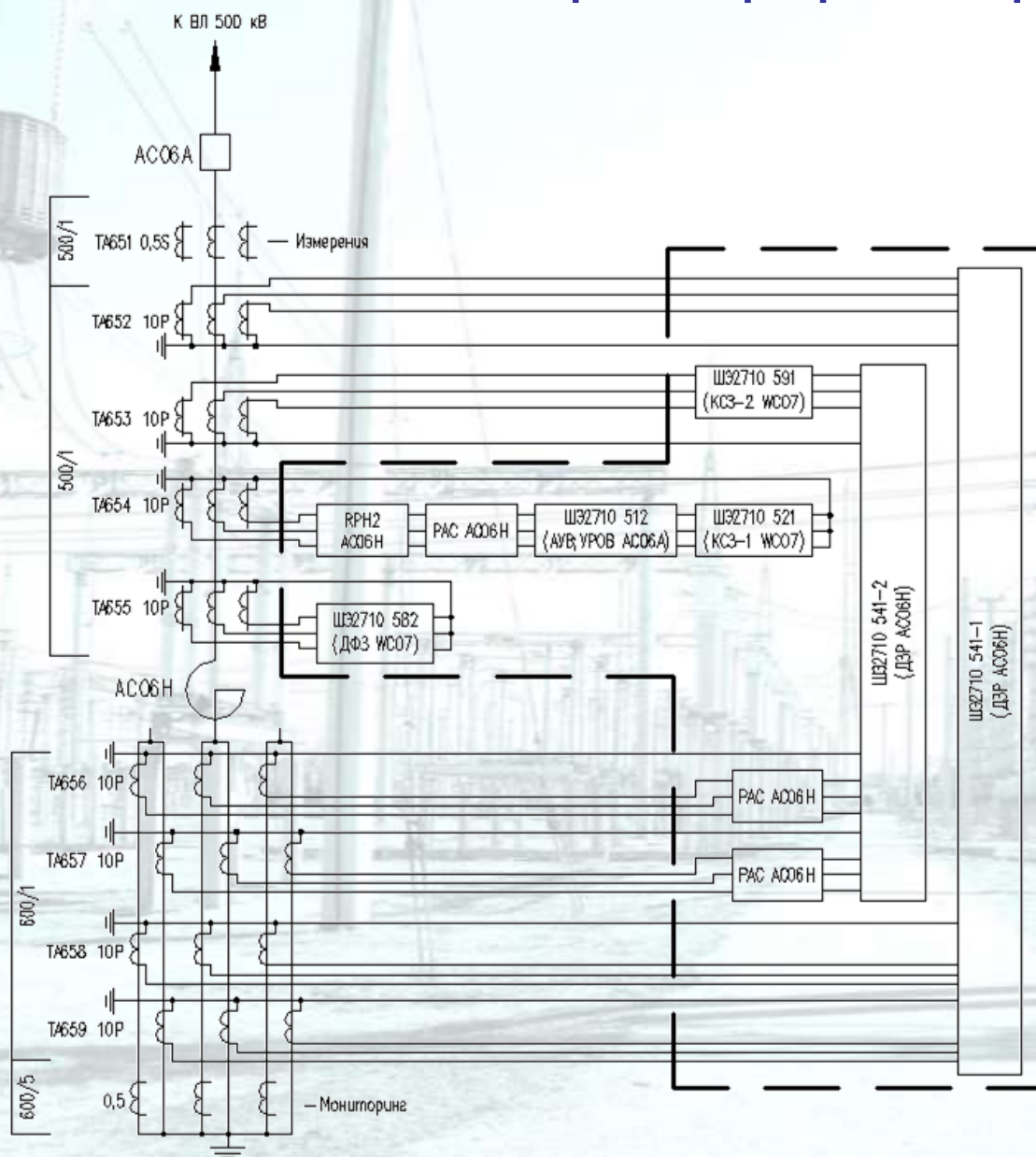
В качестве устройств релейной защиты ШР 330-750 кВ ранее применялись:

- дифференциальные токовые защиты (продольная и поперечная);
- газовые и технологические защиты;
- двухступенчатая резервная токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП);
- контроль изоляции вводов (КИВ) - для реакторов с номинальным напряжением 500 кВ и выше также использовался.

В настоящее время согласно действующим нормам технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ для таких реакторов предусматриваются следующие устройства РЗА:

- два комплекта продольной дифференциальной токовой защиты (ДЗР);
- два комплекта поперечной дифференциальной токовой защиты (ПДЗР);
- газовая защита (ГЗ);
- контроль изоляции вводов (КИВ) при использовании маслонаполненных высоковольтных вводов;
- технологические защиты.

Распределение защит линейного ШР 500 кВ по трансформаторам тока



1. На РЗ ШР серьезное влияние оказывают трансформаторы тока ШР, номинальные первичные токи которых могут определяться несколькими факторами.

2. Включение защиты реактора на ТТ с первичным номинальным током близким к номинальному току реактора позволяет выполнить продольную защиту более чувствительной, что особенно важно для ПДЗР, ток срабатывания которой (0,2-0,3)Iном.ШР.

3. Способ подключения цепей переменного тока с электрическим суммированием токов ВЛ и тока ШР для защит ВЛ может определять номинальный ток ТТ ШР с принятием последнего равным номинальному току ТТ ВЛ, что приводит к загромождению части защит ШР.

Формирование сигналов ДЗР

Формирование сигнала дифференциального тока традиционно:

$$I_D = |\dot{I}_{HB1} + \dot{I}_{HB2} + \dot{I}_{ЛВ}|,$$

Варианты формирования сигнала тормозного тока:

- 1) $I_T = |\dot{I}_{HB1} + \dot{I}_{HB2}|,$
- 2) $I_T = 0,5(|\dot{I}_{ЛВ1}| + |\dot{I}_{HB1}| + |\dot{I}_{HB2}|),$
- 3) $I_T = \max(|\dot{I}_{ЛВ1}|, |\dot{I}_{HB1}|, |\dot{I}_{HB2}|).$

Срабатывания РЗ ШР при включении ШР

Проблема: систематический характер излишних срабатываний в августе 2014 г. на Ростовской АЭС с современными микропроцессорными защитами линейного реактора 500 кВ ВЛ 500 кВ Ростовская АЭС – Буденновск.

Обстоятельства: Включение ШР 500 кВ сопровождалось переходным процессом, при котором срабатывала продольная дифференциальная токовая защита с начальным током срабатывания 0,3 $I_{ном.ШР}$.

Срабатывание происходило не в самом начале переходного процесса.

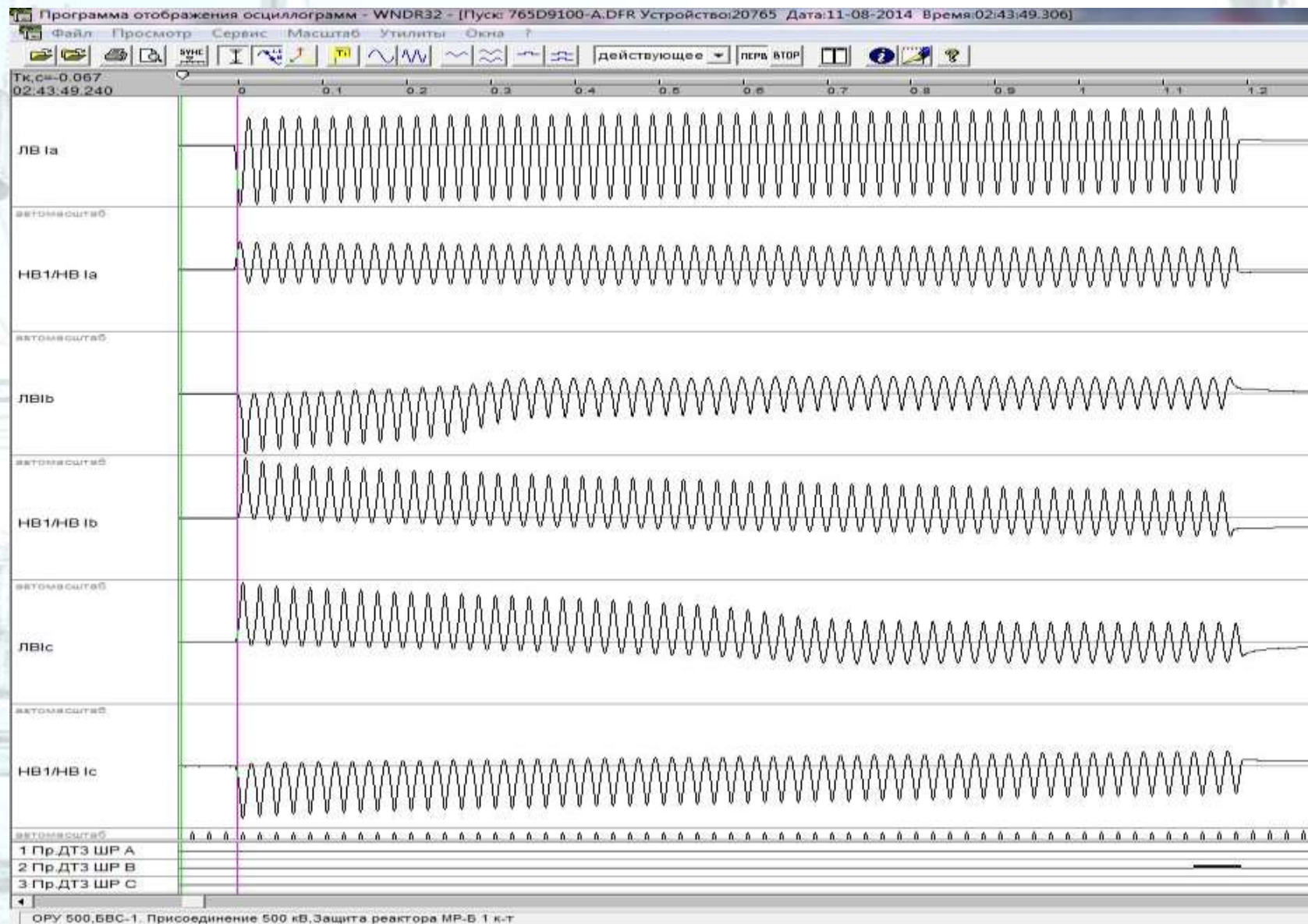
Различие характеристик измерительных ТТ в разных фазах. При этом более чувствительная ПДЗР (с начальным током срабатывания 0,15 $I_{ном.ШР}$) не срабатывала.

Срабатывание происходило одновременно в двух одинаковых по выполняемым функциям шкафах при практически всех оперативных включениях ШР 500 кВ.

Примечание. В описанном выше случае излишнего срабатывания свою роль сыграл также отказ Ростовской АЭС от использования для выключателей ШР 500 кВ устройств точной коммутации.

На подстанциях ОАО «ФСК ЕЭС» на новых реакторных элегазовых выключателях практически всегда устанавливаются устройства точной коммутации, которые, как правило, поставляются комплектно с выключателями.

Осциллограмма переходного процесса при включении ШР 500 кВ



Существующие решения

1. **Увеличение коэффициента трансформации для трансформаторов тока в линейных выводах** до Ктт ТТ ВЛ (2000/1 А) - предложено заводом-изготовителем.

Недостатки решения:

- установка промежуточного ТТ для обеспечения необходимого диапазона токов для РЗ;
- снижение надежности токовых цепей;
- уменьшение чувствительности защит.

2. **Применение загрузленных уставок ДЗР:**
начальный ток срабатывания $I_{d0*} = (0,8-1,0)I_{ном.ШР}$.

Недостатки решения:

- снижение чувствительности защит.

3. **Использование функции блокировки при бросках намагничивающего тока (БНТ)** – предложено заводами-изготовителями.

Недостатки решения:

- процессы включения ШР несколько отличаются от включения Т(АТ) на холостой ход, параметры переходного режима также отличаются – функция блокировки по $I_{2г}$ не является оптимальной;
- блокировка при БНТ в некоторых случаях может приводить к отказу защиты.

Несрабатывание РЗ ШР при пробое «фазы»

Проблема: несрабатывание продольной дифференциальной защиты реактора 07.02.2015г. на ПС 500 кВ Шахты с современными микропроцессорными защитами линейного реактора 500 кВ.

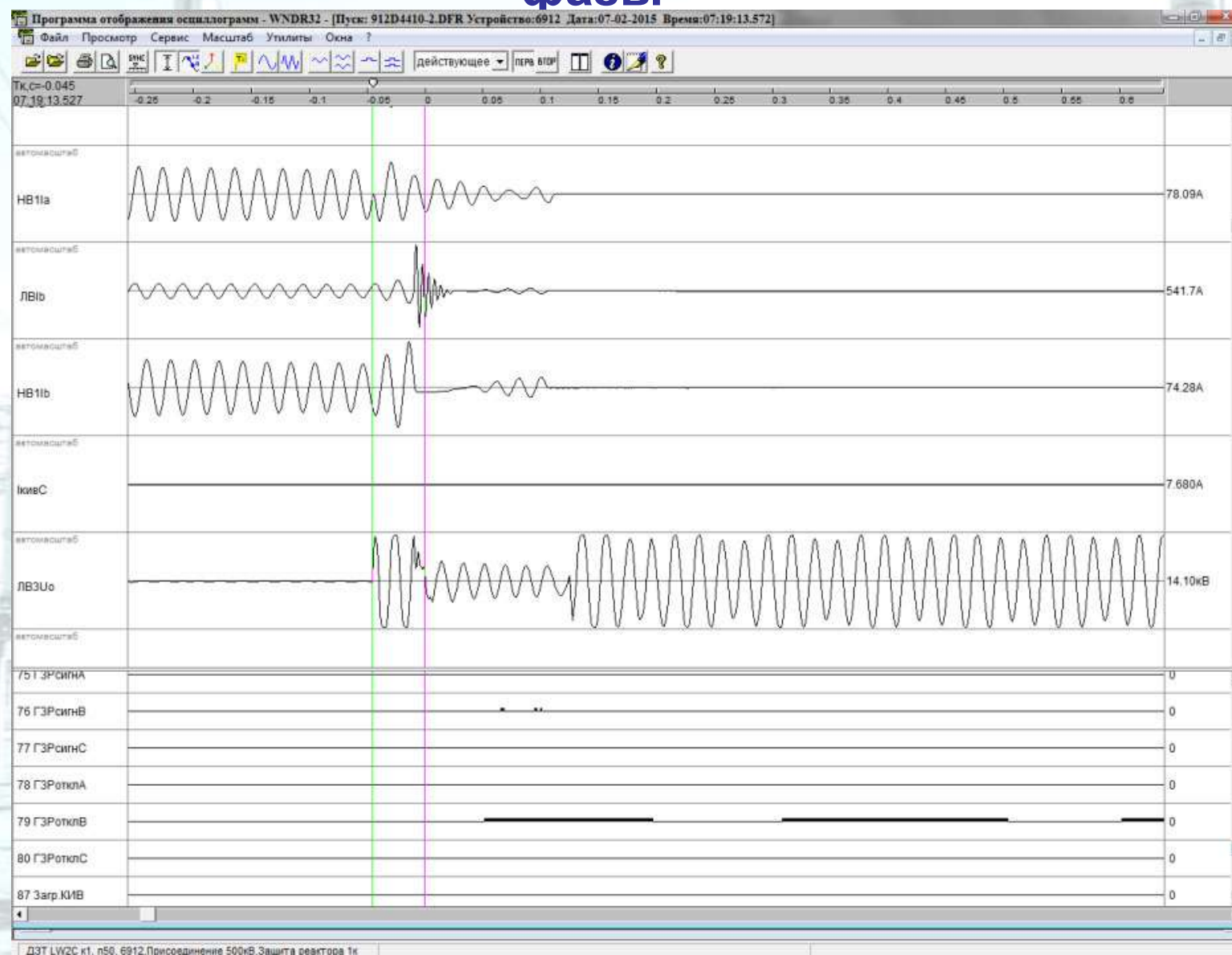
Причина: пробой основной изоляции линейного шунтирующего реактора 500 кВ в фазе «В» при пробое изоляции между контактами ранее отключенного линейного выключателя 500 кВ в фазе «А».

Несрабатывание продольной дифференциальной защиты реактора имело место из-за действия блокировки по $I_{2г}$.

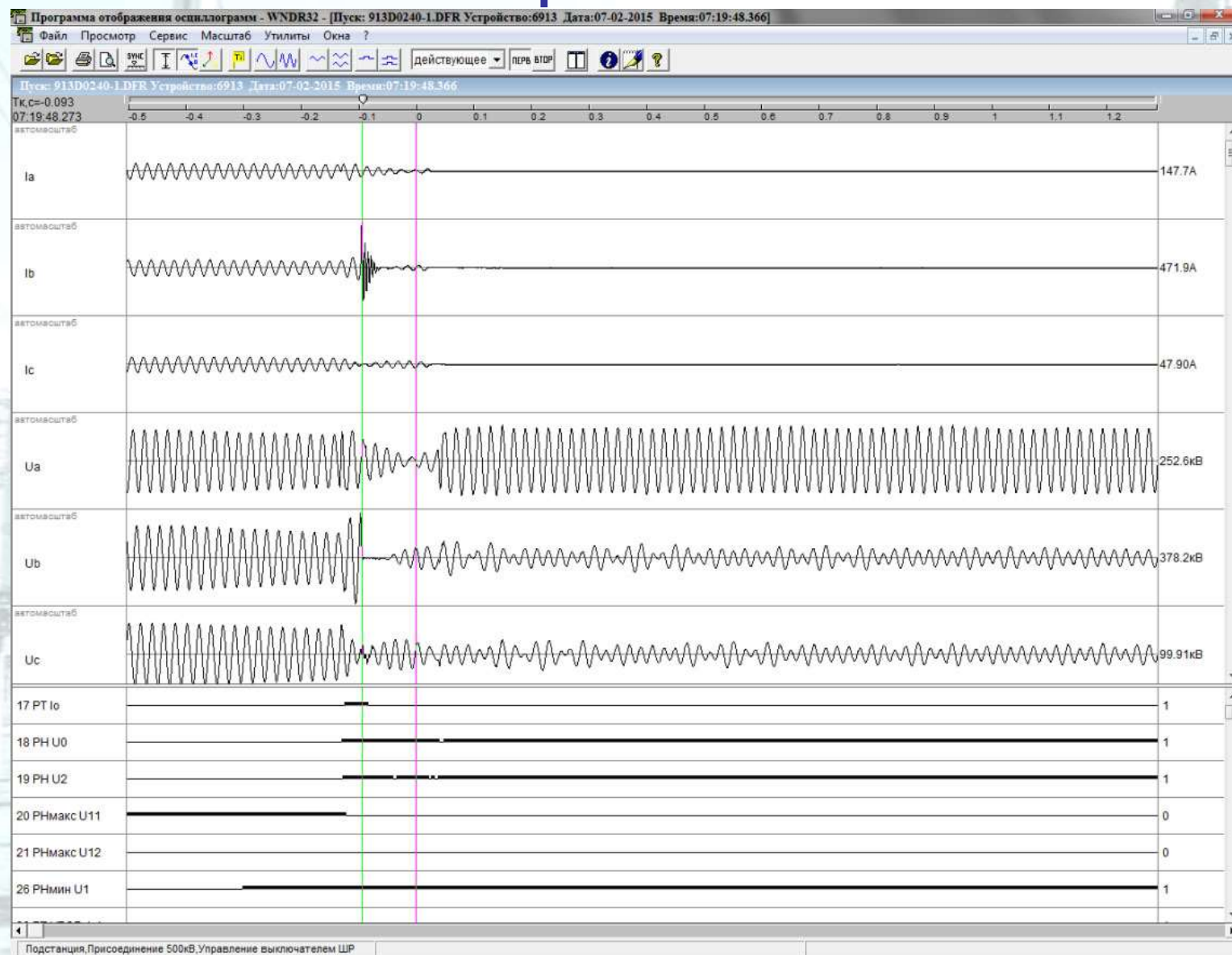
Примечание. Повреждение ШР 500 кВ было отключено в результате срабатывания газовой защиты.



Осциллограмма переходного процесса при пробое фазы



Осциллограмма переходного процесса при пробое фазы



Предлагаемые пути совершенствования защит ШР 330-750 кВ

1. Использование трансформаторов тока с номинальным первичным током, определяемым током нагрузки шунтирующего реактора.

- уставка начального тока срабатывания дифференциального органа определяется

$$I_{Д0*} = K_{отс.} \cdot (K_{одн.} \cdot K_{пер.} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР.} + \Delta f_{ПТТ}) \cdot I_{Т0*};$$

т.е. для ДЗР определяющим фактором является погрешность ТТ, расчетная величина которой при использовании ТТ таким образом снижается;

- упрощается подключение оборудования и снижается необходимость применения промежуточных ТТ для удовлетворения диапазона выравнивания токов плеч в РЗ.

Применение ПТТ сопряжено со значительным ухудшением условий функционирования устройств РЗА:

- уменьшается надежность токовых цепей;
- требуется учитывать дополнительные погрешности, вносимые ПТТ;
- увеличивается вторичная нагрузка на трансформаторы тока.

Предлагаемые пути совершенствования защит ШР 330-750 кВ

2. Формирование дифференциального тока как разности модулей тока в линейных выводах и тока в нулевых выводах.

$$I_D = \left| \dot{I}_{ЛВ} \right| - \left| \dot{I}_{НВ1} + \dot{I}_{НВ2} \right|.$$

В случаях, когда токи через вводы стороны нейтрали (НВ1 и НВ2) превышают ток, протекающий через линейные вводы, ДЗР не должна срабатывать, так как дифференциальный ток в приведенном выше выражении принимает отрицательное значение, что должно соответствовать области несрабатывания защиты.

Рассматриваемый способ формирования рабочего сигнала дает следующие преимущества:

- для ДЗР становится несущественной проблема правильной «фазировки» токовых плеч в линейных и нейтральных вводах относительно друг друга;
- минимизируется влияние угловых погрешностей ТТ и устройств РЗА на формирование дифференциального тока;
- обеспечивается отстройка от токов небаланса при включениях ШР.

Предлагаемые пути совершенствования защит ШР 330-750 кВ

3. Применение дифференциального тока как разности модулей тока в линейных выводах и тока в нулевых выводах в качестве пускового органа.

Предложенный ранее орган используется в качестве пускового органа для традиционного дифференциального органа, использующего геометрическую сумму токов всех плеч.

Это позволяет снизить уставку пускового органа до минимально возможной величины.

4. Разработка специальных цифровых фильтров, учитывающих насыщение ТТ при включении ШР, более оптимальных по сравнению с блокировкой при БНТ.

У реакторов, так как они представляют собой простую последовательную индуктивную цепь, при отсутствии внутренних повреждений токи, протекающие через ЛВ и вводы нейтрали (НВ1 и НВ2), равны.

Решение, аналогичное решению для (авто)трансформаторов, где при БНТ нарушается баланс токов не только в плечах защиты, но и в самих обмотках защищаемого оборудования, является не вполне эффективным.

Заключение

- 1. Необходим обоснованный выбор коэффициентов трансформации трансформаторов тока и их нагрузок (сечений контрольных кабелей);**
- 2. Необходимо отказаться для РЗА ШР от использования промежуточных трансформаторов тока;**
- 3. Для неуправляемых ШР необходимо применение специализированных устройств РЗА, учитывающих конструктивные особенности шунтирующих реакторов по сравнению с автотрансформаторами (трансформаторами);**
- 4. Применение универсальных терминалов РЗА для защиты ШР следует допускать в случае учета конструктивных особенностей реакторов и выполнения соответствующих мероприятий при конфигурации устройств;**
- 5. Необходимо пересмотреть концепцию блокировки дифференциальных защит ШР при БНТ с учетом конструктивного выполнения шунтирующих реакторов;**
- 6. Для РЗА ШР необходимо уточнение алгоритмов функционирования с учетом режимов их работы;**
- 7. Рекомендуется использование в качестве тормозного сигнала суммы токов ветвей со стороны нейтрали, а при формировании рабочего (дифференциального) сигнала – использование разности модулей токов со стороны линейных и нейтральных выводов.**



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!