

РУМ

РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Научно-технический журнал



6 КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ПРИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ЦИФРОВЫХ
ПОДСТАНЦИЙ

12 КОНТРОЛИРУЕМАЯ ДЕГРАДАЦИЯ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ КАК ВАРИАНТ ПРОАКТИВНОЙ
ЗАЩИТЫ ОТ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ АТАК

22 ИННОВАЦИОННАЯ КОНСТРУКЦИЯ
ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ, СОВМЕЩЁННОГО
С ФАЗНЫМ ПРОВОДОМ: ОПЫТ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СЕТЯХ
ПАО «ФСК ЕЭС»

28 ЕЩЕ ОДИН ШАГ НА ПУТИ ТИПИЗАЦИИ
ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ВЛИ 0,4 КВ



Дифференциально-фазная защита для цифровой подстанции: проблемы и решения*

*М.В. Мартынов,
В.А. Ефремов,
И.Н. Николаев,
А.В. Шевелев,
ООО «Релематика»*

* доклад будет представлен на международной конференции «Цифровая подстанция. Стандарт IEC 61850»

ВВЕДЕНИЕ

Устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) подстанции с аналоговыми измерительными цепями получают необходимую информацию на своих входах без задержки. Цифровая подстанция (ЦПС) подразумевает наличие устройств сопряжения с объектом (УСО), которые посредством сети передачи данных обмениваются информацией с устройствами РЗА. Сеть вносит свою задержку на передачу данных, которая может изменяться в зависимости от режима работы сети (например, в режиме «шторма» или перестроения сети), что требует учёта в устройствах РЗА, получающих выборки измерений по шине процесса по протоколу МЭК 61850-9-2 SV (далее – SV).

Особых трудностей не возникает при реализации защит с относительной селективностью, таких как дистанционная защита или токовая, поскольку для каждого измерительного органа защиты отсчёты приходят с одинаковыми задержками в пределах одного потока SV, что подтверждается опытом испытательных полигонов [1-5]. Даже если параметры режима разнесены по разным потокам, всегда имеется возможность их сопоставить по меткам времени, предоставляемым аналого-цифровым преобразователем (УСО или цифровым измерительным трансформатором).

Также нет принципиальных ограничений при реализации дифференциальной защиты линии (ДЗЛ) благодаря возможности передачи меток времени отсчетов SV по каналу связи между терминалами.

Для полукомплекта дифференциально-фазной защиты (ДФЗ) отсчёты SV и их метки удалённого полукомплекта неизвестны и нет возможности их сопоставить. В такой ситуации работа ДФЗ недопустима, поскольку задержка отсчётов на каждую миллисекунду приводит к появлению в сигнале ВЧ-приёма паузы в 18° в режиме внешних коротких замыканий (КЗ). В то же время, данная защита является распространённой в ЕНЭС, установлено множество микропроцессорных устройств ДФЗ.

Поэтому актуальной задачей является реализация в рамках ЦПС дифференциально-фазной защиты (ДФЗ) линии, работающей по существующему высокочастотному (ВЧ) каналу связи. Для данной защиты, реагирующей на величину паузы в ВЧ канале, особенно важной является точная компенсация возникающих задержек времени в шине процесса на противоположных подстанциях.

Актуальной задачей является обеспечение совместимости полукомплекта ДФЗ, реагирующего на выборки SV, и МП полукомплекта с традиционным измерением аналоговых сигналов. Следует отметить, что в данной статье не рассматривается совместная работа полукомплекта на ЦПС с электромеханическими полукомплектами (ДФЗ-201, ДФЗ-504, ДФЗ-503 и др.).

1. ТРАДИЦИОННАЯ ДФЗ

Чтобы понять особенности реализации цифровой ДФЗ необходимо рассмотреть свойства традиционной.

Надёжность несрабатывания дифференциально-фазной защиты при внешних КЗ определяется, в первую очередь, отсутствием паузы в сигнале ВЧ-приёма. Отсутствие пауз в сигнале ВЧ-приёма одно-

значно определяется идентичностью переходных процессов в полукомплектах при подаче одной и той же кривой тока и отсутствием задержек при передаче аналоговой информации от измерительных преобразователей к терминалу защиты. Для микропроцессорной ДФЗ указанные выше условия выполняются естественным образом, поскольку сигнал фазного тока на входе является синхронизирующим.

При подаче одного и того же сигнала на оба полукомплекта защиты импульсы ВЧ-манипуляции будут формироваться в один и тот же момент времени (рисунок 1).



Рисунок 1 – Манипуляции полукомплектов традиционной ДФЗ при подаче одинаковых сигналов тока

Несмотря на произвольный сдвиг между тактами АЦП терминалов импульсы манипуляции формируются в один и тот же момент времени. Какой бы ни была кривая тока линии при внешнем КЗ для терминалов с одинаковыми алгоритмами формирования тока манипуляции будет наблюдаться перекрытие ВЧ-импульсов. Таким образом, традиционная микропроцессорная ДФЗ не нуждается в дополнительных мероприятиях, обеспечивающих синхронизацию полукомплектов защиты (рисунок 2).

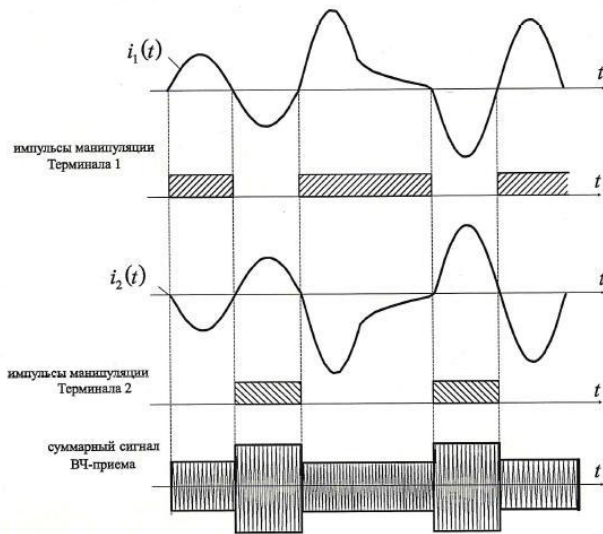


Рисунок 2 - Перекрывание импульсов манипуляции идентичных микропроцессорных терминалов ДФЗ в сложном переходном режиме внешнего КЗ

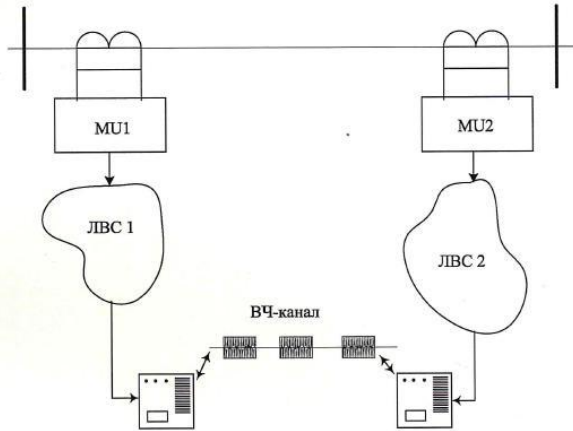


Рисунок 3 - Работа цифровых полукомплектов ДФЗ

2. ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ ДФЗ

Для линии электропередачи с двусторонним питанием схема работы цифровых полукомплектов ДФЗ может быть представлена так, как показано на рисунке 3.

Реализация цифровой ДФЗ требует решения нескольких проблем.

Задержки в шине процесса. Очевидно, что в общем случае в ЛВС1, ЛВС2 будут наблюдаться различные задержки передачи данных по SV-потокам. Без каких-либо дополнительных мер это приведёт к формированию пауз в общем сигнале ВЧ-приёма (рисунок 4).

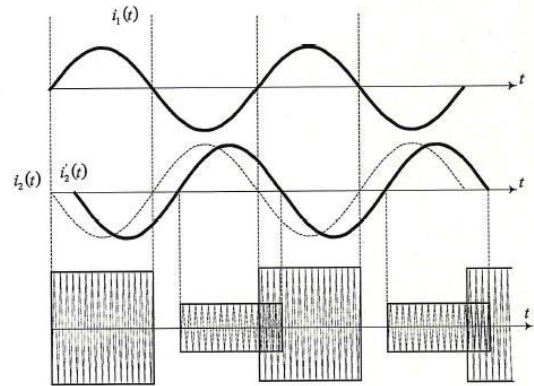


Рисунок 4 - Задержка в ЛВС полукомплекта 2 приводит к формированию пауз в сигнале ВЧ-приёма: $i_1(t)$ - сигнал тока на входе полукомплекта 1 без задержки в сети ЛВС1; $i_2(t)$ - сигнал тока в линии; $i_2'(t)$ - сигнал на входе терминала 2 после задержки в сети ЛВС2

Изменение величин задержек в шине процесса. Задержка распространения SV-пакета в сети в общем случае – величина изменяющаяся. Это означает, что картина получаемых отсчетов аналоговых величин может иметь вид в соответствии с рисунком 5.

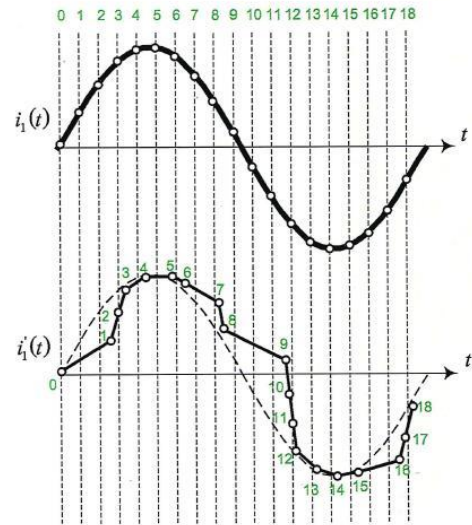


Рисунок 5 - SV-отсчёты на входе терминала при постоянном изменении задержки в сети

3. СИНХРОНИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ ДФЗ

Наличие источников точного времени, например, РТР (рисунок 6) для полукомплектов цифровой ДФЗ позволяет произвести расчёт времени прохождения пакета данных от АЦП цифрового преобразователя до терминала и синхронизировать выходные импульсы манипуляции полукомплектов (рисунок 7).

На рисунке 7 $i_1(t)$, $i_2(t)$ – исходные токи на входе АЦП цифровых ТТ MU1, MU2 (рисунок 6), $i_1'(t)$, $i_2'(t)$ – токи на входе терминалов ДФЗ

4. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ЦИФРОВОГО И АНАЛОГОВОГО ПОЛУКОМПЛЕКТА ДФЗ

Алгоритм задержки импульса манипуляции (***) позволяет функционировать защите верно в случае, если один из полукомплектов цифровой, а второй – традиционный микропроцессорный (рисунок 8). При этом уставка задержки импульса манипуляции традиционного полукомплекта должна быть принята равной $T_{задержка}$.

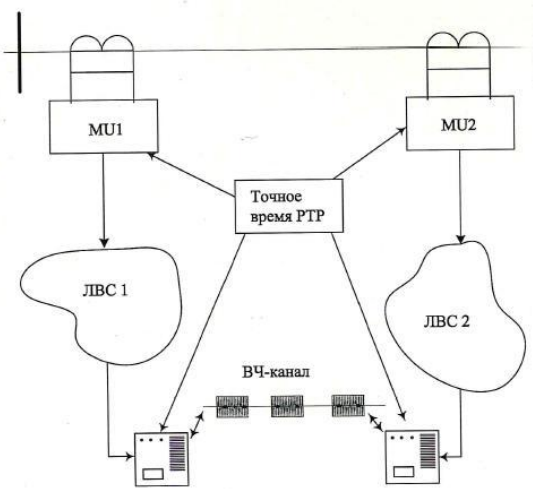


Рисунок 6 - Для цифровых полукомплектов ДФЗ должен быть доступен сервер точного времени

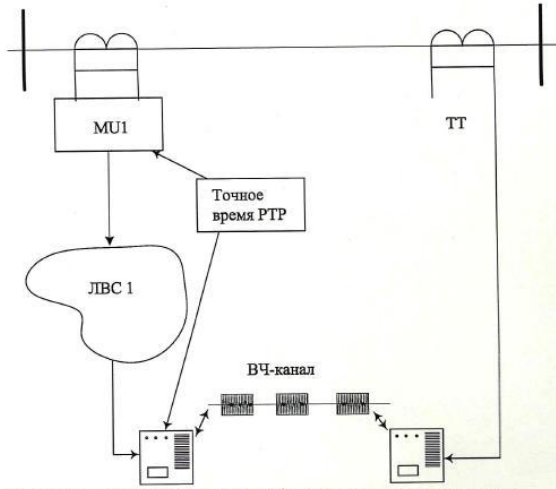


Рисунок 8 - Совместная работа цифрового и аналогового полукомплектов ДФЗ

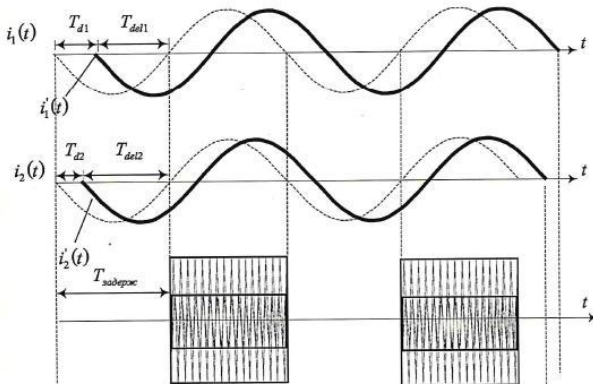


Рисунок 7 - Наличие источников времени РТР позволяет синхронизировать выходные импульсы манипуляции. Пример показан для случая, когда входной сигнал полукомплектов одинаков

Импульсы манипуляции в такой системе так же будут отставать от момента перехода кривой тока через ноль на фиксированное время (рисунок 9). При потере синхронизации времени цифровой полукомплект должен выдавать сплошной сигнал манипуляции и блокировать оба полукомплекта. Для аналогового полукомплекта синхронизация времени не требуется (рисунок 1), однако $T_{задержка}$ должна учитывать возможные внутренние задержки в аналоговом полукомплекте, вызванные обработкой отсчётов с его АЦП.

Следует отметить, что ввод задержки $T_{задержка}$ приводит к увеличению времени срабатывания защиты на величину данной задержки.

после задержки в сети передачи данных ЛВС1, ЛВС2. Каждым из терминалов по меткам времени РТР в SV-пакетах измеряется время прохождения пакета от АЦП ТТ до терминала $T_{di}, i = 1,2$. Для того, чтобы импульсы манипуляции в каждом полукомплекте отставали на одинаковое время от момента перехода через ноль кривой истинного тока на входе цифровых ТТ, их нужно задержать на время

$$T_{deli} = T_{задержка} - T_{di}, i = \overline{1,2}, \quad (**)$$

где $T_{задержка}$ – уставка задержки импульса манипуляции, выставляемая одинаковой для каждого полукомплекта, и учитывающая максимальную величину задержки в канале передачи данных от цифрового ТТ терминалу.

Следует отметить, что при пропадании данных от сервера времени на одном или всех полукомплектах ДФЗ защита должна выводиться из работы посылком сплошного ВЧ-сигнала.

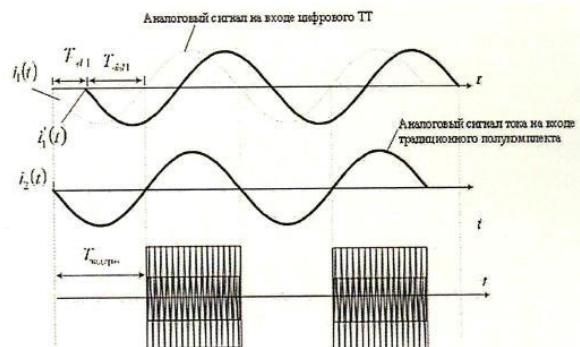


Рисунок 9 - Импульсы манипуляции цифрового и аналогового полукомплектов отстают на фиксированное время задержки



Рисунок 10 - Испытательный стенд, имитирующий работу цифровых полукомплектов ДФЗ

5. РЕАЛИЗАЦИЯ И ИСПЫТАНИЯ ДФЗ НА БАЗЕ ТЕРМИНАЛА TOP 300

ООО «Релематика» был подготовлен испытательный стенд, имитирующий работу цифровых полукомплектов ДФЗ (рисунок 10).

Испытательный стенд реализует схему взаимодействия полукомплектов ДФЗ, показанную на рисунке 11. Управляемый сетевой коммутатор HIRSCHMANN RSP25 является сетью передачи данных и одновременно сервером точного времени PTP. Ретом 61850 (производства ООО «НПП «Динамика») формирует SV-потоки данных для цифровых терминалов ДФЗ. Связь между терминалами реализована через двухчастотные приёмопередатчики АВАНТ РЗСК (производства ООО «Прософт-Системы»).

На испытательном стенде моделировались режимы внутренних КЗ и внешних КЗ, представляющие первоочередной интерес. При помощи ИК Ретом 61850 имитировались различные ситуации:

- статическое и динамическое изменение задержек в шине процесса;
- режим случайной перестановки пакетов местами при выдаче SV-отсчетов;
- пропадание связи с источником PTP и др.

Для улучшения наглядности и мониторинга процесса функционирования цифрового алгоритма манипуляции в терминале TOP 300 ДФЗ 6XX

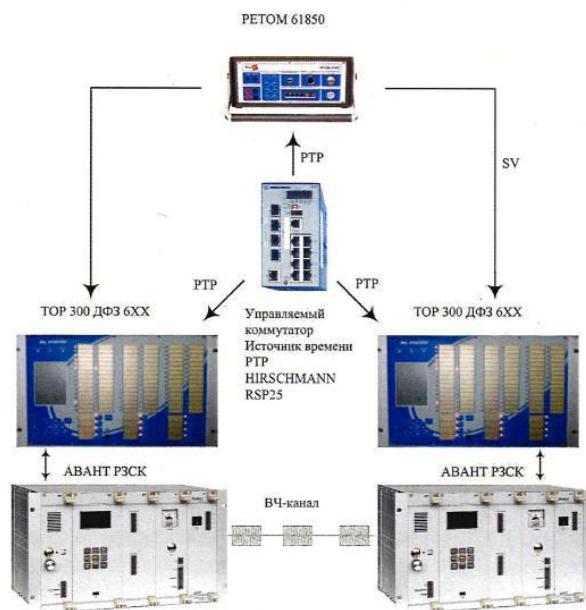


Рисунок 11 - Схема взаимодействия элементов стенда по рисунку 10

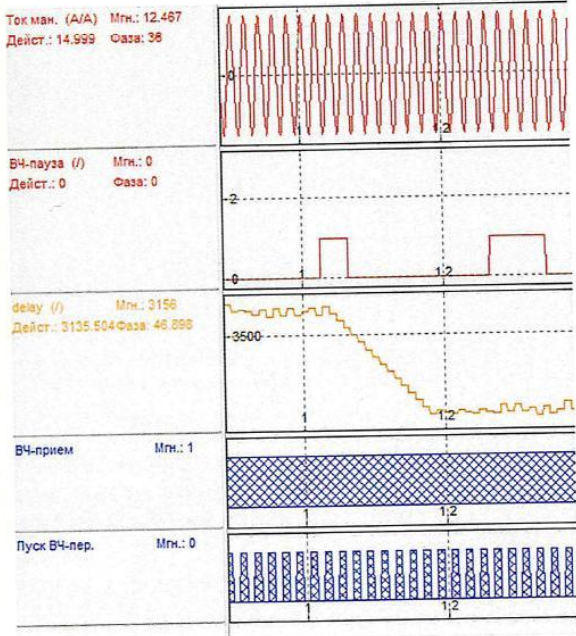


Рисунок 12 - Осциллограмма TOP 300 ДФЗ 6XX при постоянном изменении величины задержки в шине процесса в режиме устойчивого внешнего КЗ. ВЧ-пауза не превышает допустимые 3°

снимаются осциллограммы величины ВЧ-паузы в канале и величины задержки при прохождении SV-пакета по шине.

На рисунке 12 показана осциллограмма TOP 300 ДФЗ 6XX в режиме изменения величины задержки в шине процесса. На осциллограмме поле «Ток ман.» - кривая тока манипуляции, поле «ВЧ-пауза» - измеряемая терминалом ВЧ-пауза (в электрических градусах) с точностью до 1°, «delay» - измеряемая терминалом величина задержки прохождения пакетов по шине процесса (мкс), «ВЧ-приём» - входной сигнал ВЧ-приёма, «Пуск ВЧ-пер.» - сигнал манипуляции. Из рисунка 12 видно, что изменение величины задержки в шине процесса не приводит к возникновению ВЧ-пауз в сигнале ВЧ-приёма.

ИК Ретом 61850 позволяет выдавать SV-пакеты, меняя случайным образом места соседние пакеты на определенном интервале (рисунок 13). Такое искажение в SV-потоке не приводит к появлению пауз в сигнале ВЧ-приёма (рисунок 14).

Потеря связи с сервером синхронизации, отсутствие SV-потока и др. должно приводить к блокировке всех полуккомплектов защиты (рисунок 15). Такой алгоритм в TOP 300 ДФЗ 6XX реализован.

Таким образом, во всех сбоях при передаче данных по шине процесса наблюдается корректная работа цифровых полуккомплектов ДФЗ и отсутствие ВЧ-пауз в режиме устойчивого внешнего КЗ.

Отдельно следует отметить работу цифровых полуккомплектов с приёмопередатчиком АВАНТ РЗСК. Для полуккомплектов ДФЗ, работающих с традиционными одночастотными приёмопередатчи-

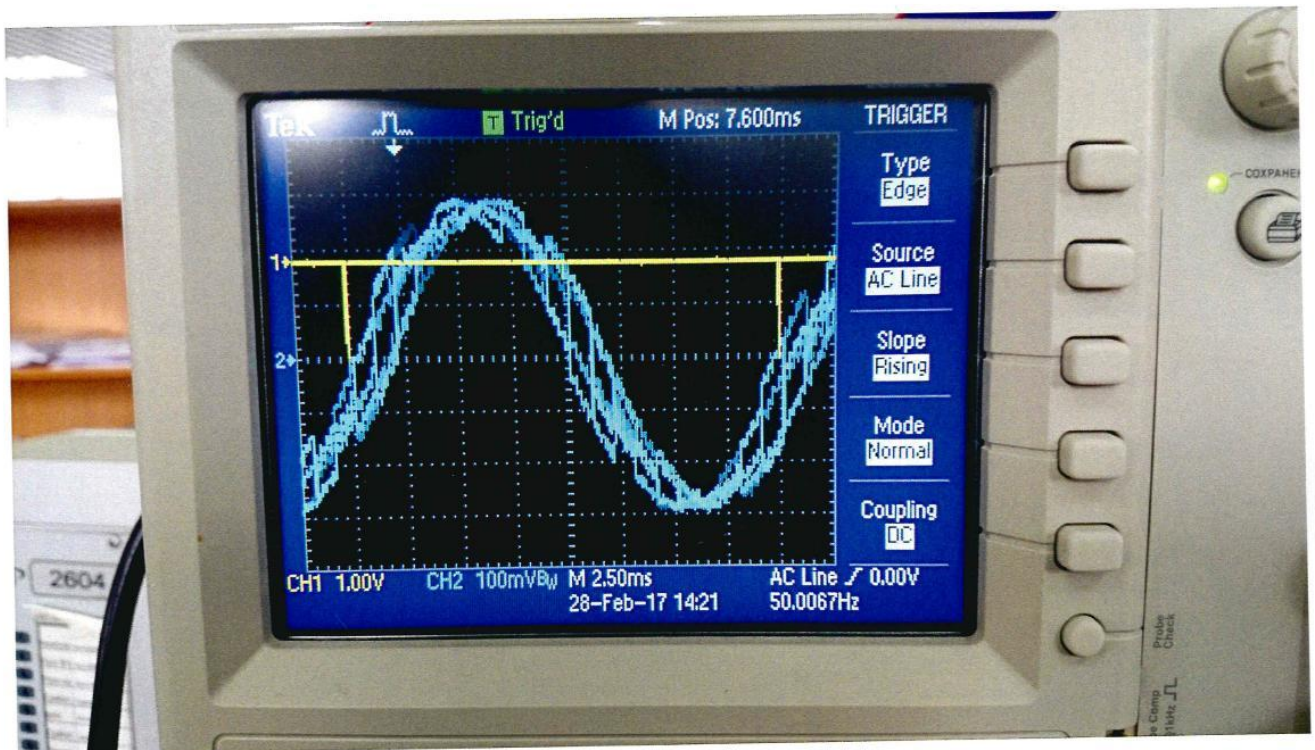


Рисунок 13 - Фотография режима случайной перестановки SV-пакетов при их визуализации на выходе ЦАП Ретом 61850. Соседние SV-пакеты меняются местами случайным образом на определенном интервале

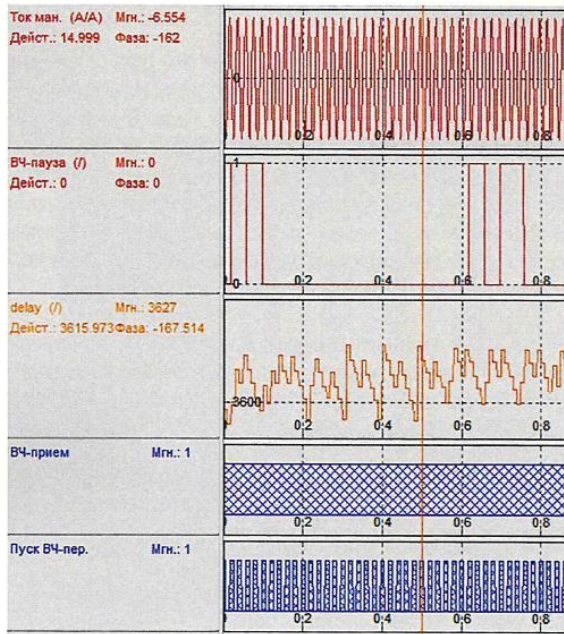


Рисунок 14 - Осциллограмма TOP 300 ДФЗ 6XX в режиме случайной перестановки SV-пакетов ИК Ретом 61850. ВЧ-пауза не превышает допустимые 3°

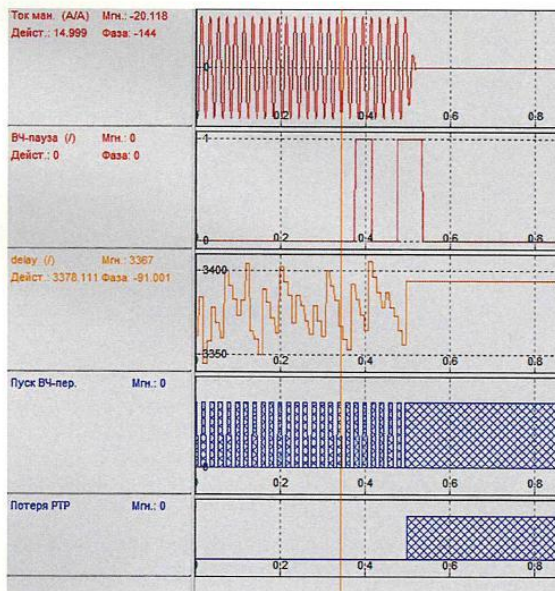


Рисунок 15 - Осциллограмма TOP 300 ДФЗ 6XX при потере синхронизации по РТР. Незамедлительно формируется сигнал сплошного пуска ВЧ-передатчика

ками, наблюдается затягивание действия защиты на 10 мс в том случае, если сигнал разрешения органа сравнения фаз приходится на начало ВЧ-импульса. АВАНТ РЗСК является двухчастотным при-

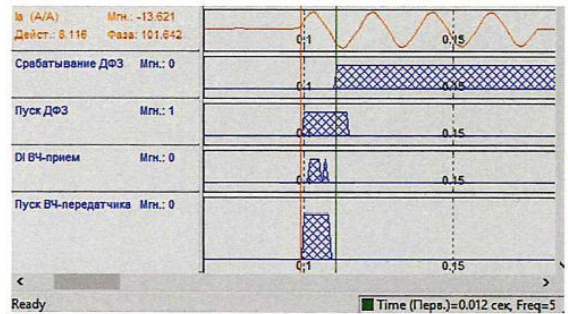


Рисунок 16 - Отсутствие импульсов манипуляции ДФЗ при внутренних КЗ позволяет добиться времени срабатывания логики защиты 12 мс

ёмопередатчиком и в режиме внутренних КЗ импульсы манипуляции не наблюдаются. Такое решение позволяет добиться времени срабатывания логики ДФЗ 12 мс при условии идентичности полуккомплектов защиты.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Принципиальных ограничений в реализации цифровой дифференциально-фазной защиты не просматривается. Наличие сервера точного времени, доступного всем устройствам цифровой подстанции, позволяет осуществить синхронизацию полуккомплектов ДФЗ.
- 2) Широкое внедрение цифровых устройств ДФЗ и ДЗЛ должно сопровождаться развитием цифровых испытательных устройств.
- 3) Применение двухчастотных приёмопередатчиков АВАНТ РЗСК позволяет уменьшить время срабатывания логики терминала ДФЗ до 12 мс.
- 4) ООО «Релематика» имеет набор готовых решений по реализации цифровых функций не только ступенчатых, но и дифференциальных защит.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексные испытания цифрового полигона на Нижегородской ГЭС. Новости ООО «Релематика» [Электронный ресурс] / relematika.ru: новости и события. Чебоксары, 2017. URL: http://relematika.ru/events/ispytaniya-cifrovogo-poligona/?sphrase_id=3431 (дата обращения: 27.02.2017).
2. Елов Н.Е., Кабанов П.В., Морозов А.П., Жуков Д.А. Результаты комплексных испытаний цифрового полигона Нижегородской ГЭС ПАО «РусГидро» // Релейная защита и автоматизация. – 2015. – №4. С.50-55.
3. В.А. Маслов. Опыт системной интеграции элементов цифровой подстанции на примере полигона «Цифровая подстанция» ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» // Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России РЕЛАВЭКСПО-2012: Сборник тезисов докладов. – Чебоксары, 2012. С.56-57.
4. Горелик Т.Г. (ОАО «НИИПТ»), Кириенко О.В. ООО «Энергопром-Автоматизация». Автоматизация энергообъектов с использованием технологии «Цифровая подстанция». Первый российский прототип // Релейная защита и автоматизация. – 2012. – №3. С. 86-89.
5. Моржин Ю.И., Попов С.Г., Румянцев А.А., Ильин М.Д. Опытный полигон ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» - «Цифровая подстанция» // Энергия единой сети. – 2014. №3. С.16-25.