

# Комплексные испытания дифференциальных защит линий электропередачи

Техническая политика ПАО «Россети» и ПАО «ФСК ЕЭС» предусматривает для защиты кабельных, воздушных и кабельно-воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше применение основных и резервных защит с целью повышения надежности функционирования энергосистемы. Качество функционирования основных защит линии проверяется комплексной проверкой – квалификационными испытаниями всех компонентов системы после пуско-наладочных работ (ПНР). К сожалению, до сих пор не существует утвержденной полноценной методики проведения комплексной проверки с учетом особенностей построения сети связи на объектах.

## Авторы:

Иванов А.Н.,  
Роддугин А.А.

**В** последнее время в новых проектах и в проектах реконструкции из всех известных основных защит наибольшее распространение получила продольная дифференциальная защита линии, основанная на измерении токов по концам линии электропередачи. Каждый из полу-комплектов защит проводит обработку аналоговых величин фазных токов и передает их векторные величины или мгновенные значения, а также необходимые дискретные сигналы, в другие полу-комплекты. Передача данных осуществляется с использованием имеющейся у заказчика цифровой системы передачи информации (ЦСПИ) с использованием мультиплексоров различных фирм и волоконно-оптических линий связи. Иногда применяют непосредственное подключение к терминалам волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) (по схеме «точка-точка») либо с использованием согласующего оборудования. Как правило, каналы связи дублируются для обеспечения высокой надежности функционирования системы защиты при выходе из строя (или при периодических проверках) одного из каналов.

Дифференциальная защита линий электропередачи (ДЗЛ) производит селективное отключение линии с обеих сторон при всех видах внутренних повреждений и не должна срабатывать при внешних КЗ, при качаниях и асинхронном ходе на линии электропередачи. Принцип действия защиты

основан на выявлении дифференциального тока в каждой фазе линии путем векторного сложения фазных токов своего конца линии (локальных токов) и аналогичных токов противоположного конца линии (удаленных токов). Для передачи по ВОЛС данных значений фазных токов (и напряжений) используется пакетная передача данных. Встроенное ПО каждого из терминалов обрабатывает данные каждого пакета и проводит вычисления дифференциальных фазных токов и так называемых тормозных токов. Внешние короткие замыкания (вне защищаемой линии), как правило, характеризуются большими тормозными токами и незначительными дифференциальными токами. Внутренние повреждения обычно имеют значительные дифференциальные и тормозные токи. Терминал защиты имеет характеристику срабатывания (называемую в релейном сообществе «тормозной характеристикой»), построенную с использованием обеих этих величин. Чем выше тормозной ток, тем больший дифференциальный ток должен быть, чтобы защита сработала на отключение. При выполнении необходимых условий срабатывания (попадание точки замера дифференциального тока в область срабатывания тормозной характеристики защиты) происходит селективное отключение от ДЗЛ.

Вполне очевидно, что в построении такого комплекса основной защиты линии задействован большой набор технических компонентов. Вкл-

чающий шкафы релейной защиты и автоматики, ВОЛС и оборудование связи. Каждый компонент комплекса основной защиты линии, как правило, имеет набор аппаратно-программных средств, функционирование которого нормируется рядом международных и российских стандартов. В связи с этим для создания полноценной работоспособной системы комплекса основной защиты линии, на стадиях проектирования, пуско-наладочных работ (ПНР) и эксплуатации комплекса ДЗЛ необходимо внимательно подходить к подбору компонентов аппаратно-программных средств системы ДЗЛ, ВОЛС и оборудования связи в части их полной совместимости.

Завершающим этапом для подтверждения качества функционирования всего комплекса основной защиты линии является проведение комплексной проверки – квалификационных испытаний всех компонентов системы после ПНР. Отсутствие комплексной проверки создает предпосылки для отказов комплекса основной защиты линии, которые проявляются либо ложным срабатыванием ДЗЛ, либо несрабатыванием при коротких замыканиях на защищаемой линии электропередачи. К сожалению, до сих пор не существует утвержденной полноценной методики проведения комплексной проверки с учетом особенностей построения сети связи на объектах. Проведение такого рода испытаний – это сложный процесс, требующий взаимодействия различных служб, а также достаточно длительной организационной подготовки с учетом того, что большая часть оборудования релейной защиты и связи находится в непрерывной работе. Скорее всего по этой причине во время ПНР и при периодическом обслуживании оборудования проверки проводятся только для подтверждения работоспособности технических компонентов, а если точнее, подтверждения работоспособности отдельных компонентов системы релейной защиты и связи.

В этом смысле, проведенные в начале 2016 года на одном из объектов АО «ОЭК» (ПС «Берсеневская») испытания комплекса основных защит линии и связи являются ярким примером подтверждения необходимости создания полноценной методики проведения испытаний для подтверждения функционирования

комплекса оборудования. Следует отметить, что специалисты АО «ОЭК» провели громадную подготовительную работу в рамках проведения испытаний, несмотря на сжатые сроки ввода оборудования в работу. Это еще раз доказывает, что при умелой организации работ проведение таких комплексных испытаний является необходимой составляющей ПНР и не приводит к замедлению сроков ввода оборудования в работу.

## КОМПЛЕКС ОСНОВНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ

В комплекс основной защиты линии вошли:

- сеть ЦСПИ АО «ОЭК», в которой для организации каналов связи для релейных защит используются мультиплексоры доступа FOX-515 (UMUX-1500) производства компании ABB;
- преобразователи интерфейсов ПКУС СР24 Модуль ЭО2 производства ООО «Юнител Инжиниринг», служащие для соединения терминала ДЗЛ и мультиплексоров UMAX 1500 (преобразования потока E1 и C37.94);
- терминалы ДЗЛ «TOP 300 ДЗЛ» производства ООО «Релематика» (г. Чебоксары).

Порты связи терминалов ДЗЛ работают с использованием стандарта IEEE C37.94 (C37.94-2002 – IEEE Standard for N Times 64 Kilobit Per Second Optical Fiber Interfaces Between Teleprotection and Multiplexer Equipment). Стандарт определяет физический интерфейс, скорость передачи и способ кодирования информации. Основу стандарта составляет протокол G704 с дополнениями, касающимися формирования и защиты передаваемой информации.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Цель проведения комплексных испытаний:

- подтверждение качества функционирования всего комплекса защит ДЗЛ при организации на одном полукомплекте основных и резервных каналов связи по различным маршрутам;
- проверка характеристик качества передачи информации по каналам связи, организованным с использованием оборудования ЦСПИ, на соответствие установленным нормам;

■ подтверждение работоспособности системы в целом и обеспечение нормируемых параметров работы защиты при имитации повреждения оборудования РЗ и связи.

Разработанная рабочая программа определила следующий состав и порядок проведения комплексных испытаний системы ДЗЛ:

1. Измерения показателей качества передачи информации по организованным цифровым каналам связи для РЗ.
2. Измерение времени прохождения сигналов по основному и резервному каналам связи.
3. Измерения уровней оптических сигналов на входах и выходах оптических модулей оборудования ПКУС СР24 Модуль ЭО2 и терминала ДЗЛ.
4. Измерение диапазона чувствительности оптических приемников.
5. Проверка работоспособности терминалов по организованным каналам связи с резервированием.
6. Отсутствие ошибочной работы терминалов при переключениях с основного на резервный канал связи.
7. Срабатывание терминалов в соответствии с ТУ на изделие при переключениях с основного на резервный канал связи с одновременной имитацией короткого замыкания на линии электропередачи.

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Методы измерения и требования к значениям параметров (для ввода в эксплуатацию) цифрового канала связи определены в «Нормах на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризоновой первичных сетей», утвержденных Приказом Министерства связи Российской Федерации от 10.08.96 № 92.

Ввод в эксплуатацию цифровых каналов и трактов предусматривает проведение измерений с помощью специализированных средств измерения (СИ) и/или встроенного контроля для оценки их соответствия установленным нормам по вводу оборудования в работу. Для оценки качества каналов связи используются измерители показателей ошибок, в которых предусматривается получение стандартизованного (для данного типа канала или тракта) измеритель-

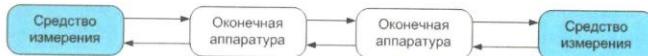


Рис. 1. Принцип измерения «по направлению»



Рис. 2. Принцип измерения «по шлейфу»

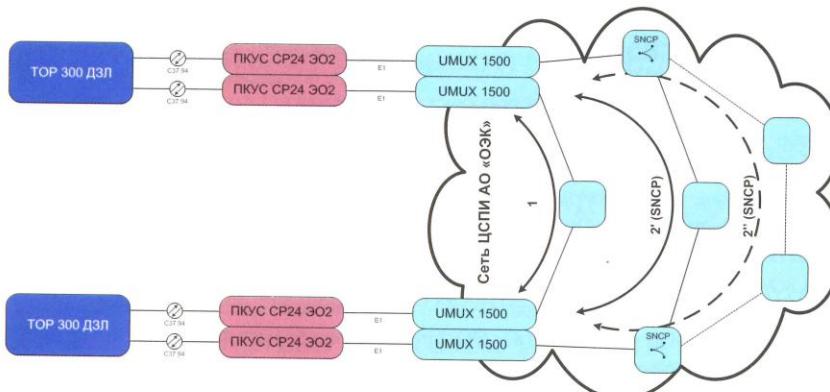


Рис. 3. Схема организации каналов связи



Рис. 4. Измерение каналов связи для РЗ (этап 1)

ногого сигнала в виде псевдослучайной последовательности в соответствии с Рекомендацией Международного союза электросвязи МСЭ-ТО.150 и анализ потока ошибок в соответствии с Рекомендациями МСЭ-Т М.2100.

Основные измерения цифровых каналов осуществлялись по двум схемам: измерений «по направлению» и «по шлейфу».

Измерения «по направлению» на подстанции (рис. 1) производились с применением двух средств измерения (СИ), каждое из которых оценивает качество принимаемого сигнала от противоположной стороны.

Измерения «по шлейфу» (рис. 2) производились одним СИ с организацией шлейфа на противоположной стороне. Оценивалось качество принимаемого сигнала, прошедшего путь по «кольцу». Кроме того, измерение по шлейфу позволило достаточно просто измерить задержку распространения сигнала.

Измерения каналов связи производились с помощью анализаторов потоков Е1

Acerna EDT-135 и AnComE-9. Подобные приборы для проверки цифровых каналов широко распространены и имеются в службах связи, эксплуатирующих ЦСПИ.

Приборы для цифровых каналов и трактов позволили провести измерения показателей ошибок потоков Е1 2048 кбит/с в соответствии с Рекомендациями ITU-T G.821, G.826, M.2100 и приказом Минсвязи РФ № 92 от 10.08.96 и измерения джиттера, задержки, формы импульса и других параметров потоков Е1, влияющих на качество передачи.

В ходе проведения испытаний проводились показатели ошибок и время прохождения сигнала (задержка) по сети ЦСПИ. В качестве основных показателей ошибок по цифровым каналам связи оценивались:

- коэффициент ошибок по битам BER (Bit Error Rate);
- секунды с ошибками ES (Errored Second);
- секунды, пораженные ошибками SES (Severely Errored Second).

Измерение параметров ошибок по протоколу С37.94 осуществлялось встроенными средствами диагностики канала связи терминала ДЗЛ.

## ЭТАПЫ КОМПЛЕКСНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Для оценки соответствия параметров работы нормативным требованиям, испытаниям подвергся каждый участок сети связи, включенный в цепь защиты. Для этого весь комплекс проверок был разбит на четыре этапа:

- этап 1 – сеть ЦСПИ;
- этап 2а – сеть ЦСПИ + ПКУС СР24 Модуль ЭО2 (вариант а);
- этап 2б – сеть ЦСПИ + ПКУС СР24 Модуль ЭО2 по «кольцу» (вариант б);
- этап 3 – полный комплекс оборудования защиты линии – сеть ЦСПИ + ПКУС СР24 Модуль ЭО2 (2 шт.) + терминалы ДЗЛ (2 шт.).

Помимо этих этапов были проведены измерения оптических параметров ПКУС СР24 Модуль ЭО2 и терминалов ДЗЛ и проверка работоспособности всего комплекса оборудования при имитации аварии каналов связи на различных участках сети.

Для измерений были организованы тестовые каналы связи на сети ЦСПИ. Схема организации каналов связи представлена на рис. 3.

## КОМПЛЕКСНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

### Измерение ошибок в каналах связи сети ЦСПИ

На первом этапе проверялись только каналы связи, организованные по сети ЦСПИ путем установки физического шлейфа на порту Е1 (плата Lomif) оборудования UMX 1500. Схема измерений приведена на рис. 4.

В результате проведенных измерений за время наблюдений 15-20 минут ошибок не зафиксировано, задержка сигнала составила 2,734 мс и 6,649 мс по каналу 1 и 2, соответственно.

Результаты измерений подтверждают, что каналы связи сети ЦСПИ АО «ОЭК» соответствуют нормам для ввода в эксплуатацию согласно приказу №92 Минсвязи РФ и требованиям, к построению основных защит линий с использованием ВОЛС. Результаты измерений показывают значительный запас по времени передачи сигналов как по каналу 1, так и по каналу 2 (длинный путь), так как требования ТУ предусматривают макси-



**Рис. 5.а.** Измерение каналов связи для РЗ. Этап 2 (вариант а).



**Рис. 5.б.** Измерение каналов связи для РЗ (этап 2, вариант б)



**Рис. 6.** Измерение каналов связи для РЗ (этап 3)

маленькую задержку передачи сигнала не более 10 мс.

#### Измерение каналов связи и оборудования преобразования интерфейсов

На втором этапе проверялись каналы связи и оборудование преобразования интерфейсов ПКУС СР24 Модуль ЭО2 путем установки физического шлейфа на оптическом порту С37.94 модуля ЭО2. Этап включал в себя два варианта проведения измерений:

1. С установкой на одной стороне шлейфа на порту С37.94 модуля ЭО2, подключение измерительного прибора на порту Lomif UMX – порт E1 (Rx) модуля ЭО2. Схема измерений приведена на рисунке 5.а;

2. С установкой на обоих сторонах канала шлейфа на порту С37.94 модулей ЭО2, подключение измерительного прибора в разрыв соединения порт Lomif (Tx) UMX – порт E1 (Rx) модуля ЭО2. Схема измерений приведена на рисунке 5.б.

Использовались те же измерительные приборы для проверки, что и по первому этапу.

В результате проведенных измерений по Этапу 2 (вариант а) за время наблюдений 15-20 минут ошибок не зафиксировано.

но, задержка сигнала составила от 3,481 до 3,359 мс по 1 каналу, от 6,649 до 5,400 мс по 2 каналу.

В результате проведенных измерений по этапу 2 (вариант б) за время наблюдений 20 часов ошибок не зафиксировано, задержка сигнала составила 4,186 мс по каналу 1 и 7,483 мс по каналу 2, соответственно.

Результаты измерений второго этапа подтверждают, что каналы связи сети ЦСПИ АО «ОЭК» для построения релейной защиты линии, организованные совместно с оборудованием преобразования интерфейсов ПКУС СР24 Модуль ЭО2, соответствуют нормам для ввода в эксплуатацию согласно приказу № 92 Минсвязи РФ. Введение в цепь измерений дополнительного оборудования незначительно увеличивает время задержки канала (не более 1 мс). Тем не менее, остается значительный запас по максимальной задержке передачи информации по каналам связи, который гарантирует работоспособность комплекса ДЗЛ.

#### Измерение с подключением терминалов

На третьем этапе была собрана полная схема с подключением терминалов. Качество каналов и время прохождения сигнала между терминалами на третьем

этапе оценивается внутренними средствами терминала ДЗЛ. Схема измерений приведена на рис. 6.

В результате проведенных измерений за время наблюдений 15–20 минут ошибок терминалами ДЗЛ не зафиксировано, задержка сигнала составила 2,19 мс по 1 каналу, от 4,25 мс по 2 каналу.

Вывод по результатам измерений третьего этапа: сеть ЦСПИ АО «ОЭК» соответствует требованиям, предъявляемым со стороны ДЗЛ к каналам связи.

### ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ТЕРМИНАЛОВ

Измерениям подвергались оптические интерфейсы оборудования ПКУС СР24 Модуль ЭО2 и терминала ДЗЛ на соответствие заявленным характеристикам.

Ввиду отсутствия прибора позволяющего «заглянуть» в поток С37.94 по многомодовому оптическому кабелю (оценить форму, провести анализ, измерения показателей ошибок потоков) пришлось ограничиться измерением оптической мощности передатчика и чувствительности приемника на соответствие нормам.

Измерения проводились при помощи оптического тестера FOT-300 и оптиче-

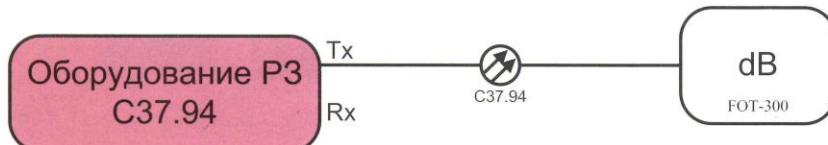


Рис. 7. Измерение оптической мощности передатчика

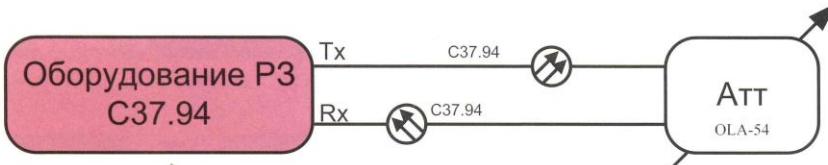


Рис. 8. Измерение чувствительности приемника

ского аттенюатора OLA-54 (рис. 7, 8). Результаты измерений приведены в таблице 1.

Результаты измерений подтверждают, что оптические интерфейсы оборудования ПКУС СР24 Модуль ЭО2 и терминалов ДЗЛ соответствуют заявленным характеристикам, обеспечивая при организации стыка необходимый запас (6 дБ).

### ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕРМИНАЛОВ ПРИ АВАРИЯХ В СЕТИ СВЯЗИ И НА ЛЭП

Терминалы ДЗЛ конфигурируются таким образом, чтобы была обеспечена индикация срабатывания защит на светодиодах (без выдержек времени).

Целью проверки работоспособности терминала были:

- подсчет ошибок каналов связи терминалов;
- проверка работоспособности комплекса оборудования при имитации аварии каналов связи на различных участках сети;
- проверка работоспособности оборудования связи, преобразователя и терминала при переключении каналов терминала

ДЗЛ на сети ЦСПИ с использованием схемы резервирования SNCP;

- проверка работоспособности комплекса при имитации аварии каналов связи и аварии на ЛЭП.

### Подсчет ошибок каналов связи терминалов

В течение 15–30 минут контролировалось состояние счетчиков ошибок каналов связи терминалов («Сч. ошибок кнл1», «Сч. ошибок кнл2»). Фиксировалась продолжительность и значения счетчика ошибок в начале и по окончании наблюдения.

Схема организации связи представлена на рис. 3.

Изменений счетчиков ошибок канала за время 20 минут не наблюдалось. Время передачи по каналам в обоих направлениях составило: канал 1 – 2,19 мс и канал 2 – 4,25 мс.

За время наблюдения значения счетчиков ошибок в терминале ДЗЛ не изменилось. В организованных каналах связи за время наблюдения ошибок не обнаружено. Постоянство времени задержек по каналам говорит о стабильности каналов ДЗЛ.

### Проверка комплекса основных защит при имитации аварии каналов связи

В ходе проверки выполнялось последовательное отключение различных участков каналов связи (обрыв между терминалом и ПКУС, ПКУС и UMUX) и фиксировалось состояние оборудования. Схема организации связи представлена на рис. 3. При дальнейшем восстановлении отключенных участков каналов связи также фиксировалось восстановление нормального функционирования каналов ДЗЛ.

Выполненные отключения одного из различных участков организованных каналов связи не приводили к нештатной работе оборудования. Аварийная сигнализация оборудования соответствовала ожидаемому состоянию в соответствии с описанием работы оборудования и технологическими стандартами.

### Проверка при переключении каналов связи для ДЗЛ

Выполнялось переключение SNCP на резервном канале связи с «длинного» пути на «короткий» и обратно. При проведении фиксировалось состояние оборудования и время необходимое для восстановления связи между терминалами.

Схема организации связи представлена на рис. 3. Основной канал связи подключен к порту «Канал связи 1» терминал ДЗЛ (1), резервный канал связи подключен к порту «Канал связи 2» терминал ДЗЛ (2).

При проведении проверки работоспособности оборудования с использованием схемы резервирования SNCP по данным терминалов время восстановления канала составило:

- при переключении SNCP с «длинного» на пути на «короткий» – 132–144 мс;

Таблица 1. Результаты измерений параметров оптических интерфейсов

Оборудование, порт	Нормированный уровень передачи, дБм	ММ волокно, мкм	Измеренный уровень на передаче, дБм*	Нормированный уровень на приеме, дБм	Измеренный уровень чувствительности приемника, дБм	Затухание аттенюатора, дБм
ПКУС СР24 ЭО2 №3, порт X2	-23...-11	50/125	-6,4	-32...-11	-31,13	24,7
ПКУС СР24 ЭО2 №3, порт X3	для ОВ		-8,6		-31,17	22,25
ПКУС СР24 ЭО2 №4, порт X2	50/125 мкм		-6,8		-29,7	23,15
ПКУС СР24 ЭО2 №4, порт X3			-6,8		-32,4	25,5
TOP 300 №1, порт 1	-19...-11	62,5/125	-16,7		-35,9	15,15
TOP 300 №1, порт 2	для ОВ		-15,09		-35,8	16,35
TOP 300 №2, порт 1	62,5/125		-16,41		-35,75	15,8
TOP 300 №2, порт 2			-15,56		-35,52	16,15

\* Для согласования уровней при подключении ПКУС СР 24 Модуль ЭО2 и терминалов ДЗЛ используется дополнительный аттенюатор на 10 дБ.

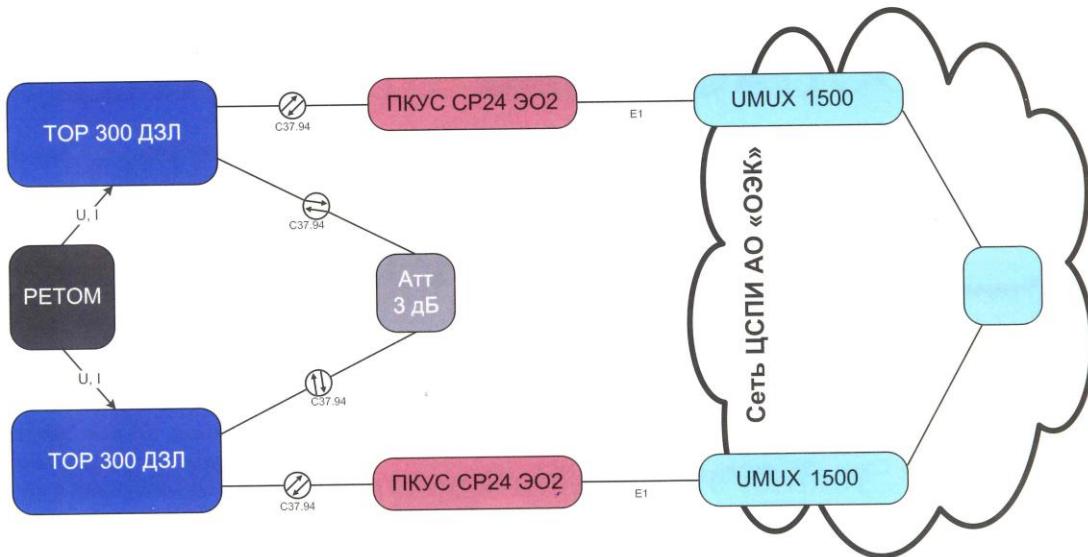


Рис. 9. Схема имитации повреждения каналов связи и имитации КЗ на ЛЭП

■ при переключении SNCP с «короткого» на пути на «длинный» – 46–142 мс.

Согласно «Рекомендаций ITU-T G.841/842» время переключения SNCP должно быть не более 50 мс. Превышение нормируемых параметров по времени переключения объясняется тем, что в терминалах ДЗЛ учитывается не только время переключения (пропадания) каналов связи, но и время необходимое для восстановления синхронизации данных между терминалами.

В настройках терминалов, используемых при нормальной эксплуатации, применяется задержка 500 мс на вывод и фиксацию аварийной сигнализации по каналам связи на АРМ дежурного подстанции («Терминал продольной дифференциальной защиты линии 110–220 кВ типа ТОП 300 дзЛ 52x. Руководства по эксплуатации. Описание функций защит. АИПБ. 656122.011-014 РЭ2»). Аварии продолжительностью менее указанной величины не будут отображены на терминале и переданы для регистрации. Поэтому при переключении каналов связи для ДЗЛ на сети ЦСПИ с использованием схемы резервирования SNCP замечаний к работе терминалов не возникает.

#### Проверка работоспособности при имитации аварии каналов связи и аварии на ЛЭП

При проверке работоспособности комплекса основной защиты линии имитировались повреждения на различных участках каналов как в нормальном режиме,

так и в режиме имитации КЗ на линии. Работоспособность комплекса ДЗЛ контролировалась посредством срабатывания аварийной сигнализации оборудования и отсутствия ложных срабатываний ДЗЛ. Схема имитации повреждения каналов связи и имитации КЗ на ЛЭП представлена на рис. 9. В отличие от предыдущих испытаний на данном этапе была произведена замена канала по сети ЦСПИ каналом по ВОЛС.

Устройство ДЗЛ реализует постоянный контроль параметров каналов связи. В случае обнаружения сбоев (недостоверности, пропадание данных) или неисправности (обрывы, выход из строя оборудования связи) одного из каналов защита переключается на другой, при этом формируются сигналы неисправности: «Неисп. 1 канала» или «Неисп. 2 канала». При полной потере связи с удаленным терминалом формируется активный сигнал «Неисп. связи» и ДЗЛ блокируется. При восстановлении хотя бы одного из каналов связи, автоматически происходит восстановление обмена данными между полукомплектами.

Методика испытаний подразумевала предварительную подачу от устройства Ретом-61 на терминалы тока и напряжения, соответствующих нагрузочному режиму линии (минимальному и максимальному). Контролируемый параметр – дифференциальный ток каждой фазы терминала защиты.

Полная работоспособность комплекса оборудования проверялась в ходе испы-

таний, имитирующих работу комплекса защит при КЗ на линии с поочередным повреждением каналов связи. Для этого от устройства Ретом-61 подавались аварийные величины токов и напряжений, соответствующие внутреннему повреждению на линии. В момент КЗ на линии проводилась имитация повреждения одного из каналов связи, при этом комплекс защит сохранял работоспособность и правильно действовал на отключение, что подтверждается осциллограммами процессов и индикацией терминала. Весьма важным оказалось подтверждение нормируемых по документации на защиту времен отключения в режиме повреждения линий связи с последующими переключениями путей передачи данных.

Вывод по результатам испытаний: при имитации аварии каналов связи и аварии ЛЭП ложных срабатываний терминалов ДЗЛ не происходило.

#### НЕОБХОДИМОСТЬ АНАЛИЗА ФОРМЫ ИМПУЛЬСА

При изучении сети чаще всего не уделяют должного внимания соответствуанию формы импульса требованиям стандарта. Хотя многие проблемы связи лежат практически на поверхности, стоит только провести анализ этой формы, и они обнаружатся.

Для наблюдения реальной формы импульсов сигнала С37.94 и оценки уровней мощности излучения нулевого и единичного состояний сигнала на осциллографе была собрана схема на преобразователе



Рис. 10. Схема для анализа формы импульса

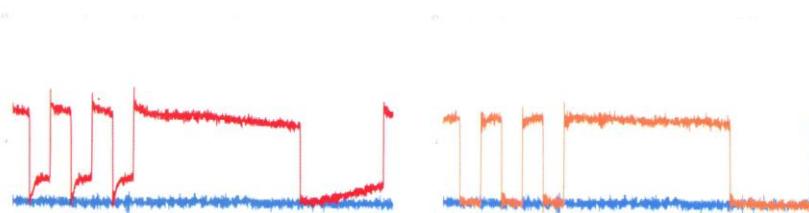


Рис. 11. С аттенюатором 10 дБ. Слева – SFP-модуль № 1, справа – № 2

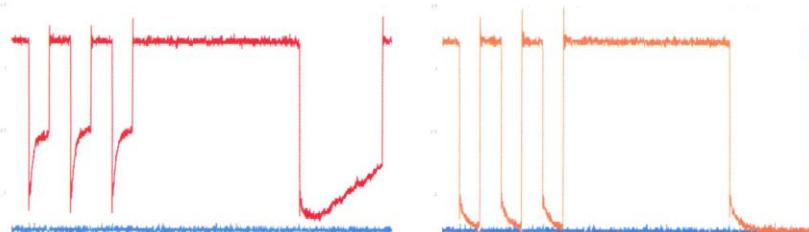


Рис. 12. Без аттенюатора. Слева – SFP-модуль № 1, справа – № 2

HFBR-2416MZ (Avago), имеющего линейный аналоговый выход (рис. 10).

Опыты проводились с двумя разными SFP-модулями. В первом опыте использовался одномодовый аттенюатор 10 дБ, устанавливаемый в канале между передатчиком SFP-модуля и приемником HFBR-2416MZ. С выхода приемника снимались осциллограммы. Для удобства на осциллограмме также приводится сигнал при отсутствии излучения на входе приемника (синий). Осциллограммы представлены на рис. 11.

Во втором опыте аттенюаторы не использовались. Вследствие чего выход приемника насыщался при единичном логическом состоянии сигнала, поэтому на следующих осциллограммах можно оценить только нулевые состояния сигнала (см. рис. 12).

Из приведенных осциллограмм отчетливо видно искажение формы импульса у SFP модуля № 1. Этот модуль позволил достичь нормальной работы с терминалом ДЗЛ только в узком диапазоне принимаемого оптического сигнала из-за плохого распознавания импульсов потока C37.94.

Возможно, на более высоких скоростях передачи имело бы место более

корректное распознавание. Ведь сигнал при передаче логического нуля за более короткий интервал времени не успевал бы нарастать до столь ощущимого уровня.

Следует отметить, что для SFP-модулей, как правило, нижняя граница скорости передачи находится на уровне 100–155 Мбит/с. Скорость же передачи по стандарту C37.94 нормируется на уровне 2,048 Мбит/с. На практике все это может привести к нестабильному взаимодействию между элементами комплекса и к невозможности организовать работу ДЗЛ.

## ВЫВОДЫ

- Испытания, проведенные на объекте, подтвердили полную функционирования комплекса основной защиты линии в целом.

- Объем проведенных испытаний позволил оценить работоспособность комплекса основной защиты линии при неисправностях отдельных компонентов, а также при плановых/неплановых изменениях топологии сети связи.

- Испытания подтвердили необходимость обращать особое внимание на обеспечения совместимости рабо-

ты коммуникационного оборудования и оборудования РЗА, ВОЛС (особенно в части аппаратной реализации) с целью исключения некорректной работы комплекса оборудования в нормальных и переходных режимах, а также для обеспечения необходимого запаса нормируемых параметров.

- Проведенные испытания выявили острую необходимость использования специализированных приборов для проведения работ по разработке, вводу и обслуживанию оборудования работающего по стандарту C37.94.

- Испытания выявили необходимость организации более развитой системы диагностики всех компонентов системы защиты с определением участка неисправности для сокращения времени поиска дефекта. Также проявилась необходимость определения более четких границ обслуживания оборудования различными службами.

- Приведенная методика испытаний может служить основой для разработки нормативного материала по вводу комплекса основной защиты линий ДЗЛ в работу после проведения ПНР и для проведения периодических проверок.

## ЛИТЕРАТУРА

- Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризоновых первичных сетей. Утверждены приказом Минсвязи России от 10.08.96 г. № 92.

- IEEE C37.94 IEEE Standard for N Times 64 Kilobit Per Second Optical Fiber Interfaces Between Teleprotection and Multiplexer Equipment.

- Терминал продольной дифференциальной защиты линии 110–220 кВ типа ТОР 300 ДЗЛ 52x. Руководства по эксплуатации. Описание функций защит. АИПБ. 656122.011-014 РЭ2.