



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ЭКРА»

**Функции продольной дифференциальной защиты линии и передачи команд**

Рекомендации по организации каналов связи

ЭКРА.650323.054-01Д7

Редакция от 18.06.2025 г.

ЭКРА.650323.054-01Д7

2

Редакция от 18.06.2025 г.

Авторские права на данную документацию  
принадлежат НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары).  
Снятие копий или перепечатка разрешаются  
только по согласованию с разработчиком.

Редакция от 18.06.2025 г.

ЭКРА.650323.054-01Д7

4

## Содержание

Обозначения и сокращения.....	6
1 Принцип действия ДЗЛ и общие требования к каналам связи .....	8
1.1 Оптические интерфейсы терминалов ДЗЛ .....	10
2 Организация каналов связи по выделенной ВОЛС .....	11
2.1 Выбор исполнения SFP модуля.....	11
2.2 Настройка параметров канала связи по выделенной ВОЛС .....	12
2.3 Проверка каналов связи по выделенной ВОЛС .....	15
3 Организация и проверка мультиплексированных каналов связи.....	18
3.1 Требования к мультиплексированному каналу связи.....	18
3.2 Подключение терминала ДЗЛ к мультиплексорам .....	19
3.3 Выбор SFP модуля для подключения к мультиплексору.....	19
3.4 Настройка параметров мультиплексированного канала связи .....	20
3.5 Определение параметра «Компенсация асимметрии» .....	23
3.5.1 Определение времени асимметрии мультиплексированного канала связи прямым методом.....	24
3.5.2 Определение времени асимметрии мультиплексированного канала связи косвенным методом.....	25
4 Принцип действия и требования к каналам связи ДЗЛ при работе в трехконцевом режиме. ....	27
5 Особенности устройств УПАСК и резервных защит с каналами связи.....	31
Список литературы.....	33

## Обозначения и сокращения

GPS	– Global Positioning System – спутниковая система синхронизации
ID	– идентификатор
PPS	– Pulse Per Second – импульс в секунду
SFP	– Small Form-factor Pluggable
WDM	– Wavelength-division multiplexing – мультиплексирование с разделением по длине волны
ВОЛС	– волоконно-оптическая линия связи
ДЗЛ	– дифференциальная защита линии
УПАСК	– устройство передачи аварийных сигналов и команд
ДТО	– дифференциальная токовая отсечка
ООО НПП «ЭКРА»	общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «ЭКРА»
ПО	– программное обеспечение
УТ	– удалённый терминал

В настоящем документе рассмотрены вопросы организации и проверки каналов связи, применяемых в устройствах дифференциальной защиты линии (ДЗЛ), реализованных в микропроцессорных терминалах БЭ2704 и БЭ2502Б, которые могут использоваться в шкафах устройств релейной защиты серий ШЭ2607, ШЭ2710 и ШЭТ производства ООО «НПП «ЭКРА».

В первом разделе приведено описание принципа действия ДЗЛ, общие требования к каналам связи, описание портов связи терминалов и топология их соединения для двухконцевых линий электропередачи.

Второй раздел содержит сведения по организации выделенных каналов связи, заданию соответствующих параметров и методам контроля.

Третий раздел документа посвящён организации и проверке мультиплексированных каналов связи.

Четвёртый раздел описывает особенности использования ДЗЛ в трехконцевом режиме.

Пятый раздел описывает особенности устройств УПАСК и резервных защит с каналами связи.

## 1 Принцип действия ДЗЛ и общие требования к каналам связи

Продольная ДЗЛ состоит из двух полукомплектов А и Б, установленных на разных концах защищаемой высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП) и соединённых цифровыми каналами связи (КС) (см. рисунок 1). В терминалах, установленных на разных концах ЛЭП осуществляется синхронизация цифровой обработки аналоговых сигналов токов линии. В результате терминалы разных полукомплектов, при наличии каналов связи, представляют собой одно устройство с единой системой векторов сигналов, что позволяет реализовать дифференциальную защиту линии.

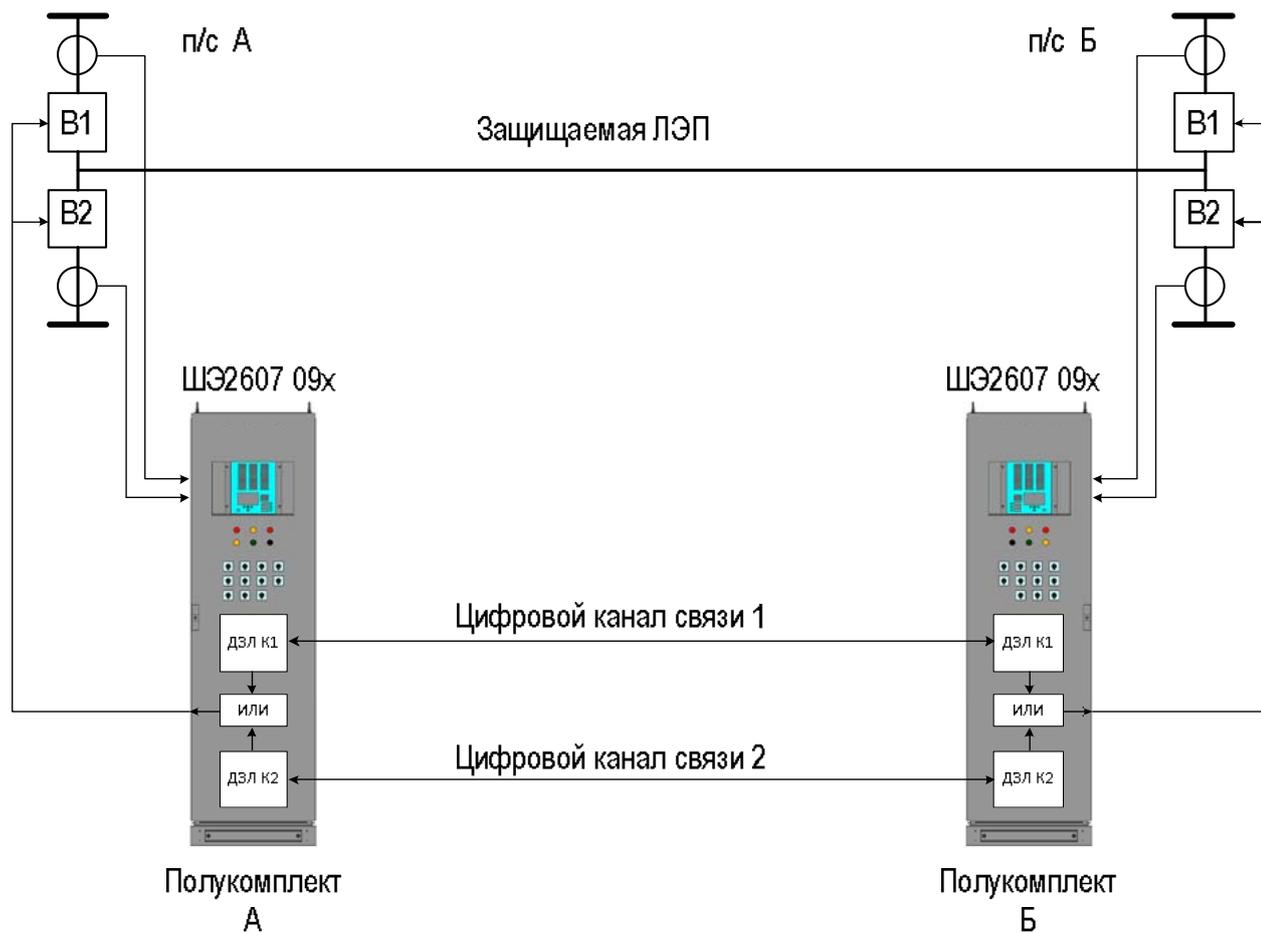


Рисунок 1 – Принцип действия ДЗЛ

Каждый полукомплект состоит из двух одинаковых параллельно работающих функций ДЗЛ К1 и ДЗЛ К2 с индивидуальными КС и выходными сигналами, объединёнными по схеме ИЛИ. Обе функции ДЗЛ имеют независимые пусковые органы, использующие общие установочные параметры (уставки). Параметры настройки каналов связи КС1 и КС2 независимы друг от друга.

Для наблюдения функций ДЗЛ и дифференциальной токовой отсечки (ДТО) используются дискретные выходы соответствующих пусковых органов (меню терминала **Текущие величины / Дискретные сигналы**) и аналоговые сигналы (меню **Текущие величины / Аналоговые величины**) с индексами КС1 и КС2. Наименования сигналов приведены в таблицах 1 и 2.

Т а б л и ц а 1 – Пусковые органы функций ДЗЛ

Выход пускового органа	Комплект ДЗЛ КС1	Комплект ДЗЛ КС2
Пусковой орган ДЗЛ фаза А	ПО ДЗЛ фаза А (КС1)	ПО ДЗЛ фаза А (КС2)
Пусковой орган ДЗЛ фаза В	ПО ДЗЛ фаза В (КС1)	ПО ДЗЛ фаза В (КС2)
Пусковой орган ДЗЛ фаза С	ПО ДЗЛ фаза С (КС1)	ПО ДЗЛ фаза С (КС2)
Пусковой орган ДТО фаза А	ПО ДТО фаза А (КС1)	ПО ДТО фаза А (КС2)
Пусковой орган ДТО фаза В	ПО ДТО фаза В (КС1)	ПО ДТО фаза В (КС2)
Пусковой орган ДТО фаза С	ПО ДТО фаза С (КС1)	ПО ДТО фаза С (КС2)
Пусковой орган контроля обрыва цепей тока	ПО контроля обрыва цепей тока (КС1)	ПО контроля обрыва цепей тока (КС2)

Т а б л и ц а 2 – Аналоговые сигналы, используемые в ДЗЛ

Аналоговый сигнал	Комплект ДЗЛ КС1	Комплект ДЗЛ КС2
Принимаемый ток Ia	Ia прм (КС1)	Ia прм (КС2)
Принимаемый ток Ib	Ib прм (КС1)	Ib прм (КС2)
Принимаемый ток Ic	Ic прм (КС1)	Ic прм (КС2)
Дифференциальный ток Ia	Ia дифф (КС1)	Ia дифф (КС2)
Дифференциальный ток Ib	Ib дифф (КС1)	Ib дифф (КС2)
Дифференциальный ток Ic	Ic дифф (КС1)	Ic дифф (КС2)
Тормозной ток Ia	Ia торм (КС1)	Ia торм (КС2)
Тормозной ток Ib	Ib торм (КС1)	Ib торм (КС2)
Тормозной ток Ic	Ic торм (КС1)	Ic торм (КС2)

Независимость цифровых каналов связи подразумевает их равноправность и отсутствие понятий основного или резервного КС. При этом обеспечивается их параллельная работа, не требуются какие-либо переключения или блокировки при неисправности одного из КС, соответственно отсутствуют дополнительные задержки в работе ДЗЛ, связанные с переключениями каналов связи.

Оба полукомплекта А и Б так же равноправны по отношению к синхронизации измерений функций ДЗЛ, а задаваемая роль терминала (ведущий или ведомый) используется только для исключения ошибок при задании компенсирующей величины времени асимметрии мультиплексированного канала связи.

Измерение аналоговых величин токов линии и синхронизация цифровой обработки сигналов в ДЗЛ производится с учетом времени задержки передачи информации по каналу связи. Измерение указанной задержки основано на определении среднего значения времени передачи данных по каналу связи в прямом и обратном направлении (метод «пинг– понг»).

Неодинаковость времени задержки передачи данных по каналам связи в прямом и обратном направлении (асимметрия или несимметричность времени задержки) приводит к фазовым погрешностям передаваемых векторов токов линии и к появлению дополнительных небалансов в дифференциальных токах (см. рекомендации ЭКРА.650323.037 Д7).

Если указанная асимметрия имеет стационарный характер, то она может быть скомпенсирована путём задания параметра (уставки) несимметричности канала. Изменение

несимметричности в процессе эксплуатации не может быть скомпенсировано, поэтому является одним из ограничений в требованиях к КС.

Коменсация небалансов в дифференциальных токах, вызванных несимметричностью КС, может быть произведена только путем определения величины реальной асимметрии прямым или косвенным методом.

При использовании в терминале ДЗЛ входа приема импульсов 1PPS от приемника GPS имеется возможность прямого измерения величины несимметричности КС. Косвенный метод основан на использовании GPS – синхронизации приборов, например типа РЕТОМ-51, генерирующих токи с нулевым фазовым сдвигом для устройств ДЗЛ разных полукомплектов.

Для работы ДЗЛ используются цифровые синхронные КС, организуемые по выделенным или мультиплексированным линиям связи, удовлетворяющие следующим требованиям:

- логическая скорость передачи данных 64, 128, 256 или 512 кбит/с;
- время передачи данных в одном направлении не более 30 мс;
- постоянная разница времени (асимметрия) передачи данных в прямом и обратном направлении не более 2500 мкс;
- изменение асимметрии (непостоянство) не более 500 мкс;
- статический маршрут при передаче данных через мультиплексированные КС (без автоматического перестроения маршрута).

### **1.1 Оптические интерфейсы терминалов ДЗЛ**

Обмен данными между терминалами производится посредством оптических интерфейсов КС1 и КС2 с использованием сменных SFP модулей, предназначенных для подключения оптоволоконна с LC разъёмами. Возможна установка SFP модулей для использования одномодового (9/125 мкм) или многомодового (50/125 мкм) оптоволоконна.

Для непосредственной связи на расстояние до 200 км, без использования дополнительных преобразователей или усилителей, используется одномодовое оптоволоконно. В зависимости от потерь оптоволоконной линии связи (ВОЛС) используется SFP модуль с соответствующим перекрываемым затуханием.

Для связи на более длинные дистанции возможно применение внешних регенераторов сигнала или усилителей, но ввиду большой стоимости дополнительного оборудования, его использование для организации только одного канала ДЗЛ нецелесообразно. Поэтому организация длинных и сверхдлинных каналов связи обычно производится для мультиплексированной передачи данных, позволяющей создать множество каналов связи для разных целей.

Для связи на небольшое расстояние в пределах от 2 до 4 км применяется многомодовое оптоволоконно. Такая связь преимущественно используется для подключения мультиплексоров или различных преобразователей по оптическому интерфейсу S37.94. Используемые для этих целей специальные SFP модули максимально близко соответствуют требованиям стандарта IEEE S37.94 по уровням сигналов и длине волны оптического излучения.

## 2 Организация каналов связи по выделенной ВОЛС

Для оптоволоконной линии связи каждого канала КС1 или КС2 нормально используется две оптические жилы: одна для передачи, другая для приёма. Приём и передача в таком случае осуществляются на одной длине волны оптического излучения 1310 или 1550 нм, определяемого используемым SFP модулем и характеристиками оптоволокна.

В ряде случаев возможно использование только одной оптической жилы для приёма и передачи одного канала связи. Для этого предназначены специальные SFP модули, осуществляющие передачу информации на одной длине волны, а приём на другой. Эта технология известна под обозначением WDM или CWDM для разного количества используемых длин волн. Такие SFP модули должны обязательно применяться в паре с модулями, имеющими разноимённые индексы в названии (S и M). Использование в одном канале связи SFP модулей с одноимённым индексом невозможно.

### 2.1 Выбор исполнения SFP модуля

При выборе исполнения SFP модуля следует руководствоваться требуемым перекрываемым затуханием для данной ВОЛС, которое определяется расчётным путём или измеряется непосредственными специальными приборами. Возможные варианты исполнений SFP модулей для выбора и заказа конкретного исполнения портов связи ДЗЛ приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Исполнение портов каналов связи ДЗЛ

Исполнение SFP-модуля	Длина волны**, нм	Перекрываемое затухание**, дБ	Диапазон длины линий, км
исполнения с двухволоконным ВОЛС			
0	820	9.6 (15)	0 – 2 (0 – 4)
1	1310	19	0 – 15
2*	1550	19	0 – 15
3	1310	29	15 – 40
4	1550	29	40 – 80
5	1550	31	80 - 100
6	1550	35	100 - 120
7	1550	37	120 - 140
8	1550	40	140 - 160
9	1550	46	160 - 200
исполнения с одноволоконным ВОЛС			
10-M	1310/1550	17	0 - 20
10-S	1550/1310		
11-M	1310/1550	24	20 - 40
11-S	1550/1310		
12-M	1310/1550	34	40 - 80
12-S	1550/1310		
13-M	1510/1590	32	80 - 100
13-S	1590/1510		
14-M	1510/1590	35	100 - 120
14-S	1590/1510		
<p>*Не рекомендуется для заказа, требует согласования с НПП «ЭКРА».</p> <p>**Параметры указаны для справки и зависят от конкретного производителя.</p> <p>П р и м е ч а н и е – Устойчивая работа устройств по концам ВОЛС гарантируется только при использовании модулей одинакового исполнения одного производителя.</p>			

Приведённые в таблице типовые диапазоны длины ВОЛС не являются определяющими при выборе конкретного исполнения, так как реальная ВОЛС может иметь иное затухание. Поэтому выбор исполнения SFP модуля должен производиться только по оценке перекрываемого затухания ВОЛС.

Использование модулей со значительно большим перекрываемым затуханием, чем это требуется для данной ВОЛС, не рекомендуется ввиду возможного повреждения модулей слишком мощным принимаемым сигналом. Использование SFP модулей с недостаточным перекрываемым затуханием приведёт либо к полной неработоспособности канала связи, либо к его неустойчивой работе и последующему отказу ввиду постепенного ухудшения свойств оптоволоконна.

Выбор конкретного исполнения SFP модуля производится индивидуально для каждого порта связи КС1 и КС2. Типовое исполнение OLC соответствует интерфейсу С37.94 для подключения мультимплексоров или иных преобразователей.

В общем случае, для работы в каналах связи могут использоваться стандартные SFP модули, предназначенные для работы в сетях SDH/SONET или Fast Ethernet (100BASE-FX) на скорости не более 155 Мбит/сек.

## 2.2 Настройка параметров канала связи по выделенной ВОЛС

Настройка канала связи для работы по выделенной ВОЛС заключается в установке перечисленных в таблице 4 параметров, индивидуально для каждого КС, через меню терминала **ДЗЛ/ Параметры КС1 (КС2)**.

Т а б л и ц а 4 – Задаваемые параметры канала связи (на примере КС1)

Наименование параметра (диапазон), размерность	Значение по умолчанию	Требуемое значение
Кодирование в канале связи КС1 (Манчестер, С37.94)	Манчестер	<b>Манчестер</b>
Генерация сигнала синхронизации канала связи КС1 (внутренняя, внешняя)	внутренняя	<b>внутренняя</b>
Скорость передачи по каналу связи КС1 (64 кбит/с, 128 кбит/с, 256 кбит/с, 512 кбит/с)	64 кбит/с	<b>512 кбит/с</b>
Время асимметрии КС1 (-2500 .. 2500), мкс [шаг 1]	0	<b>0</b>
Передаваемый ID КС1 (0 .. 15)	0	<b>N*</b>
Принимаемый ID КС1 (0 .. 15)	0	<b>N*</b>
ВЧ модуляция в КС1 (Не предусмотрена, Предусмотрена)	Не предусмотрена	<b>Предусмотрена</b>

Параметр **Кодирование в канале связи** указывает на метод кодирования оптического сигнала типа «Манчестер» или кодирование в соответствии со спецификацией протокола С37.94. Кодирование необходимо для передачи данных и синхронизирующего сигнала по одной оптической жиле ВОЛС в каждом направлении. Для выделенных каналов связи обычно используется метод кодирования «Манчестер» с логической скоростью от 64 до 512 кбит/с. При этом физическая скорость передачи кодированного сигнала находится в пределах от 128 до

1024 кбит/с. Параметр **Кодирование в канале связи** должен быть установлен одинаковым в обоих полуккомплектах защиты для одноименного КС.

Параметр **Генерация сигнала синхронизации канала связи** задаёт источник синхронизации передаваемых данных. Использование источника синхронизации для передаваемых данных поясняется блок схемой на рисунке 2.

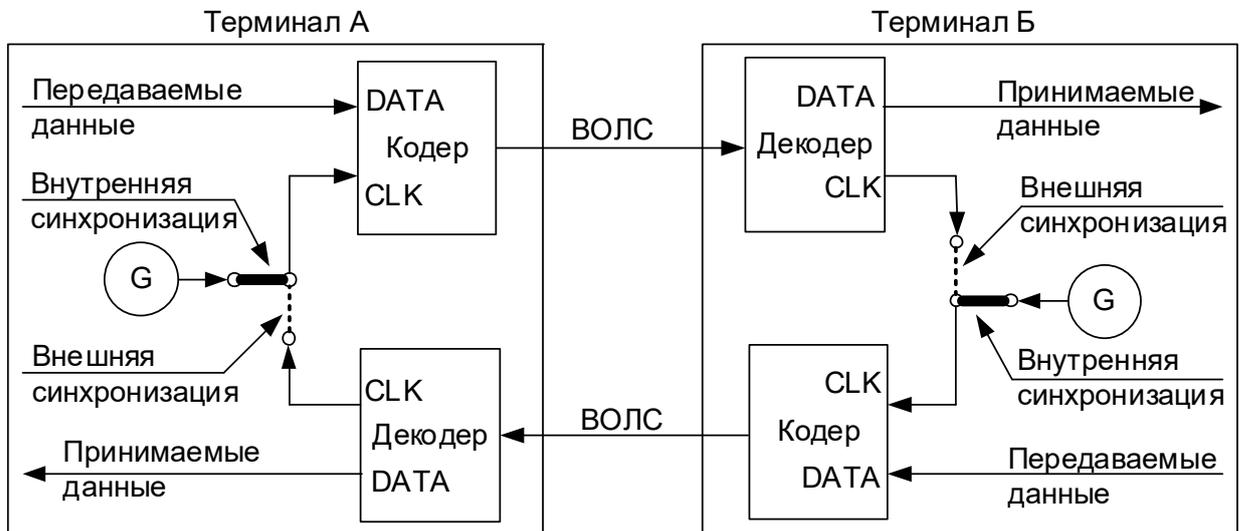


Рисунок 2 – Синхронизация при выделенном канале связи

В зависимости от значения параметра **Генерация сигнала синхронизации канала связи**, для синхронизации передаваемых данных может быть использован синхронизирующий сигнал от внутреннего генератора G или синхронизирующий сигнал, выделенный из принимаемых данных своего приёмника.

Для выделенных каналов связи нет необходимости использовать внешнюю синхронизацию по причине отсутствия каких-либо дополнительных устройств в канале связи, с которыми необходимо синхронизировать данные. Поэтому параметр **Генерация сигнала синхронизации канала связи** должен устанавливаться в значение **внутренняя**.

В этом случае, для каждого направления передаваемые данные сопровождаются собственным сигналом синхронизации и в каждом направлении данные асинхронны относительно друг друга. Такой способ синхронизации, когда направление передачи синхросигналов и передаваемых данных совпадают, называется сонаправленной или попутной синхронизацией. В тоже время, при использовании кодирования типа С37.94 на выделенной линии связи, возможно использование как внутренней, так и внешней синхронизации. При этом один из терминалов можно назначить задающим скорость обмена, то есть источником сигнала синхронизации является внутренний генератор, а другой терминал можно назначить приёмником сигнала синхронизации для которого устанавливается внешняя синхронизация.

Параметр **Скорость передачи по каналу связи** устанавливает логическую скорость при использовании внутренней синхронизации. При использовании кодирования С37.94

параметр игнорируется, если указан внешний источник синхронизации, которым может быть другой терминал или дополнительный преобразователь. Для выделенных каналов связи, при отсутствии дополнительных преобразователей, следует устанавливать максимально возможную скорость 512 кбит/с.

**ВНИМАНИЕ: При использовании двух одинаковых по длине ВОЛС для КС1 и КС2, с целью повышения надёжности работы каналов связи следует использовать разные скорости передачи, например, 512 кбит/с для КС1 и 256 кбит/с для КС2. В специальных случаях, когда используются дополнительные усилители или преобразователи, следует учитывать их максимально возможную скорость. Так, например, универсальные преобразователи оптического сигнала в электрический типа МОХА TCF-142 рассчитаны на максимальную физическую скорость 921.6 кбит/с, поэтому для таких каналов связи, с учётом удвоения физической скорости по отношению к логической за счёт кодирования, возможно использовать только кодирование Манчестер и логическую скорость не выше 256 кбит/с!**

Параметр **Время асимметрии** для выделенных каналов связи устанавливается в значение 0, так как длина ВОЛС в прямом и обратном направлении обычно одинакова, поэтому выделенные каналы связи принципиально симметричны.

Параметры **Передаваемый ID** и **Принимаемый ID** соответствуют задаваемым логическим адресам источников и приёмников цифровой информации для их идентификации. Идентификация необходима для исключения ошибок при подключении КС, особенно при использовании мультиплексированных каналов связи, так как в них используется логическая коммутация потоков данных и имеется вероятность неправильной коммутации вследствие изменений настроек мультиплексора. Использование отдельных идентификаторов (ID) канала связи в направлении приёма и передачи позволяет выявить подобные ошибки и исключить неправильную работу ДЗЛ при несанкционированном тестировании КС путём образования «петли» цифровых сигналов помимо приёмников и передатчиков терминалов ДЗЛ противоположного конца линии.

Параметры ID задаются числами в диапазоне от 0 до 15 и должны быть уникальными для каждого канала связи ДЗЛ. Так как фактически нумеруются отдельные жилы ВОЛС, которые на одном конце принадлежат передатчику, а на другом приёмнику, то должно соблюдаться соответствие принимаемого ID, передаваемому ID с противоположной стороны.

Пример установки идентификаторов для одного комплекта ДЗЛ приведён в таблице 5.

Т а б л и ц а 5 – Установка идентификаторов полукомплектов

Идентификатор	Полукомплект А	Полукомплект Б
Передаваемый ID КС1	0	1
Принимаемый ID КС1	1	0
Передаваемый ID КС2	2	3
Принимаемый ID КС2	3	2

Указанный принцип позволяет использовать уникальные номера каналов связи для четырёх полукомплектов ДЗЛ на одном объекте. Терминал ДЗЛ проверяет соответствие установленного и принимаемого с противоположной стороны идентификатора, а при их несоответствии формируется сигнал неготовности канала связи с блокировкой всех связанных с данным каналом функций. Информация о несоответствии ID можно увидеть в меню **Текущие величины / Каналы связи**.

Параметр **ВЧ модуляция в КС** определяет наличие дополнительной модуляции оптического сигнала для нормальной работы как самих SFP модулей, так и возможных усилителей, пассивных уплотнителей сигналов и других устройств выделенной ВОЛС, рассчитанных на более высокую скорость, чем используется в настройках канала связи. При использовании кодирования типа **Манчестер**, указанный параметр следует устанавливать в значение **«Предусмотрена»**.

**ВНИМАНИЕ:** При наличии в канале связи каких-либо преобразователей, например, SIEMENS или MOXA, дополнительная модуляция сигнала не требуется, так как производится самими преобразователями. В таких случаях параметр **ВЧ модуляция в КС** должен быть установлен в значение **«Не предусмотрена»!**

### 2.3 Проверка каналов связи по выделенной ВОЛС

Проверка канала связи по выделенной ВОЛС заключается в контроле отсутствия сигнализации неисправности, оценке времени задержки в канале связи и контроле отсутствию ошибок. Оценка состояния канала связи производится через меню **Текущие величины / Каналы связи**. Информация приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Меню **Каналы связи**

Параметр	Назначение
tзадерж. КС1, мкс	Время задержки канала связи 1, мкс
tзадерж. КС2, мкс	Время задержки канала связи 2, мкс
Текущ.асимм. КС1, мкс	Текущая асимметрия канала связи 1, мкс
Текущ.асимм. КС2, мкс	Текущая асимметрия канала связи 2, мкс
Ошиб. КС1	Количество ошибок в канале связи 1
Состояние КС1	Состояние канала связи 1, код состояния
Ошиб.КС2	Количество ошибок в канале связи 2
Состояние КС2	Состояние канала связи 2, код состояния
Гот. КС1	Готовность канала связи КС1
Гот. КС2	Готовность канала связи КС2
Прин.ID КС1	Принимаемый идентификатор канала связи КС1
Прин.ID КС2	Принимаемый идентификатор канала связи КС2
Версия обмена	Версия протокола обмена
Версия обмена УТ	Версия протокола обмена УТ

Параметр **Время задержки канала связи 1, 2 (tзадерж КС1 (КС2))** отображает измеряемую задержку передачи данных в одном направлении, в которую входит собственное время передачи пакета данных, зависимое от скорости (например, время передачи одного кадра на скорости 512 кбит/с составляет около 500 мкс) и время распространения сигнала по ВОЛС (примерно 5 мкс/км для выделенного КС). Время задержки КС позволяет примерно оценить длину ВОЛС, например, для линии 100 км при скорости 512 кбит/с наблюдаемая задержка в канале связи составит около 1000 мкс.

Если измеренное значение задержки превышает 30000 мкс (30 мс) в одну сторону, то такой канал считается неработоспособным и в данном поле отображается число 40000 мкс.

Параметр **Текущая асимметрия канала связи 1, 2 (Текущ.асимм. КС1 (КС2))** отражает измеряемую терминалом асимметрию времени передачи данных канала связи в прямом и обратном направлении. Измерения возможны только при наличии сигналов 1PPS от спутниковой системы синхронизации в терминалах обоих полукомплектов, что подтверждается наличием мигающей надписи «GPS» на главном экране.

Параметр **Количество ошибок в канале связи 1, 2 (Ошиб. КС1 (КС2))** отображает накопленное количество возникших ошибок в каждом канале связи после включения терминала или с начала каждого нового часа. В начале каждого часа предыдущее значение счетчика ошибок переносится в регистратор внутренних событий, а текущее значение обнуляется. При нормально работающем канале связи количество ошибок не должно изменяться, а при наличии ошибок увеличивается на единицу и при достижении значения 21 формируется сигнал неготовности канала связи с блокировкой всех связанных с данным каналом функций. В начале следующего часа счетчик ошибок сбрасывается, а канал связи автоматически вводится в работу.

Параметр **Состояние канала связи 1, 2, код состояния (Состояние КС1 (КС2))** отражает код ошибки в канале связи позволяющий диагностировать причину неисправности. Перечень кодов ошибок с расшифровкой возможных неисправностей приведён в таблице 7.

Т а б л и ц а 7 – Возможные неисправности и их коды

Неисправность	Код ошибки
Отсутствие неисправностей в канале связи	0
Несоответствие принимаемого ID заданному	4
Нет принимаемого сигнала, несоответствие кодека или скорости, большая задержка в канале связи	7, 15, 23
Нет приема на противоположной стороне	8, 10
Обрыв цепей приема Rx	7
Работа канала связи на «себя»	12
Задержка больше 30 мс	16

Код ошибки является десятичным представлением суммы разрядов сигналов диагностики с их двоичным весом в соответствии с таблицей 8.

Т а б л и ц а 8 – Коды диагностики

Сигнал диагностики	Двоичный разряд	Десятичный вес разряда
Неверная контрольная сумма принятых данных или данные не принимаются	0	1
Отсутствие Ping ответа от противоположного устройства или данные не принимаются	1	2
Принятый ID не соответствует заданному уставкой или ID не принимается.	2	4
Принят сигнал отсутствия приема на противоположной стороне	3	8
Задержка в КС превышает 30 мс или данные не принимаются	4	16

Например, при обрыве одной жилы ВОЛС, на передающей стороне будет диагностироваться состояние отсутствия приема на противоположной стороне кодом ошибки 8, а на принимаемой стороне, в зависимости от момента обрыва, будет код ошибки 7, 15 или 23.

Параметр **Готовность канала связи 1, 2 (Гот. КС1)** отражает статус исправности канала связи и его готовность к использованию. Готовность к работе канала связи отражается кодом 1, неготовность – кодом 0.

Параметр **Принимаемый идентификатор канала связи 1, 2 (Прин. ID КС1 (КС2))** отражает принимаемый от противоположного полуконтакта ДЗЛ идентификатор канала связи ID. Идентификатор канала связи ID источника (передатчика) устанавливается в регулируемых параметрах терминала на противоположном конце линии. При несоответствии ожидаемого на приемном конце и принимаемого с противоположной стороны идентификаторов формируется сигнал неготовности канала связи с блокировкой всех связанных с данным каналом функций.

Параметры **Версия протокола обмена** и **Версия протокола обмена УТ** отражают версию используемого протокола обмена в данном и удалённом терминале (УТ). В случае использования разных версий протокола обмена на панели управления терминала включается индикатор «Неготовность КС», а на главном экране дисплея отображается надпись: «Несоотв. версий ПО». Данное свойство предназначено для контроля совместимости версий программного обеспечения (ПО) терминалов и в случае несоответствия должно быть устранено обновлением ПО.

Как отмечалось в п.2.2, для нормальной работы SFP модулей должна применяться дополнительная модуляция оптического сигнала, которая должна быть включена как на передающей, так и на приёмной стороне. Возможность использования ВЧ модуляции определяется не только наличием настройки в параметрах канала связи, но и версией микропрограммы блока оптических интерфейсов (БОИ). Убедиться в возможности использования модуляции блоком оптических интерфейсов можно в пункте меню **Текущие величины / Служебные параметры / Версия БОИ**. Возможность модуляции соответствует версия микропрограммы БОИ с кодом **9**, а отсутствие возможности модуляции отображается кодом **80**.

### **3 Организация и проверка мультиплексированных каналов связи**

#### **3.1 Требования к мультиплексированному каналу связи**

Очень важным свойством мультиплексированных каналов связи является задержка при передаче данных. Этот параметр постоянно контролируется ДЗЛ путём измерения общего времени передачи данных в прямом и обратном направлении методом «пинг-понг». Алгоритмом ДЗЛ возможен учёт времени передачи данных в одном направлении не более 30 мс. Каждый мультиплексор в маршруте вносит задержку при передаче данных величиной до нескольких миллисекунд. Исходя из этого можно оценить предельное количество мультиплексоров в маршруте. Следует помнить, время действия ДЗЛ на отключение повреждения увеличивается на время передачи данных в одном направлении. Минимальная задержка обеспечивается только для выделенной ВОЛС и скорости 512 кбит/с.

Существенным требованием к мультиплексированному каналу связи ДЗЛ является постоянство его временных свойств. Для синхронизации моментов измерения аналоговых величин по концам ЛЭП устройствами ДЗЛ постоянно производится измерение времени передачи цифровых данных, основанное на определении половины суммарного времени передачи данных в прямом и обратном направлении. В реальности, мультиплексированные каналы связи имеют определённую разницу времени передачи данных в прямом и обратном направлении, которую невозможно автоматически учесть в работе ДЗЛ. Эта разница времени, делёная пополам, называется асимметрией КС. Асимметрия может быть измерена и скомпенсирована настройками канала связи только при наладке. Если определённое при наладке значение асимметрии будет иным в процессе эксплуатации или меняться от режима работы сети передачи данных, то это приведёт к неучтённому изменению небаланса.

Отклонение величины асимметрии от значения, измеренного при наладке и являющегося одним из источников небаланса в дифференциальном токе, не может быть определено и скомпенсировано автоматически. Поэтому вводится ограничение на величину допустимого изменения асимметрии (ее непостоянство) – не более 500 мкс, что учитывается при выборе уставок срабатывания ДЗЛ.

Таким образом, одним из требований предъявляемым к мультиплексированному КС, является непостоянство асимметрии в пределах 500 мкс при величине постоянной асимметрии не более 2500 мкс.

При использовании статических маршрутов передачи данных это требование обычно выполняется. Изменение асимметрии КС чаще всего связано со свойствами аппаратуры связи (буферизация данных) и проявляется при автоматических перестроениях маршрута передачи данных. Изменение асимметрии может привести к увеличению небаланса в дифференциальном токе в нормальном и аварийных режимах.

Данные о возможных задержках в передаче данных мультиплексора, как правило, содержатся в его технической документации, но асимметричность в большей степени

определяется условиями работы мультиплексора и не может быть заранее предсказана. Для грубой оценки пригодности мультиплексированного канала связи можно использовать предположение о величине максимальной асимметричности до 100 мкс на один узел с мультиплексором. Исходя из этого, можно ожидать пригодность мультиплексированного канала связи имеющего до 5 мультиплексоров в маршруте, но учитывая малую вероятность одновременного предельного значения асимметричности в одну сторону у всех мультиплексоров в маршруте, становится возможным использование каналов связи и с большим количеством мультиплексоров.

### **3.2 Подключение терминала ДЗЛ к мультиплексорам**

Для подключения к мультиплексированным каналам связи терминалы ДЗЛ имеют только оптические интерфейсы, соответствующие стандарту IEEE C37.94 / IEC 62843, что позволяет использовать непосредственное соединение с мультиплексорами при помощи многомодового оптоволокна 50/125 или 62,5/125 мкм на расстоянии до 2 км. При отсутствии в мультиплексорах оптического интерфейса типа C37.94 необходимо применение внешних преобразователей, устанавливаемых в непосредственной близости от мультиплексоров для исключения влияния возможных электромагнитных помех на электрические цепи.

Наиболее распространёнными в мультиплексорах являются электрические интерфейсы типа E1, X21 и G703.1. В зависимости от имеющегося электрического интерфейса мультиплексора и его производителя, в настоящее время рекомендуется использование преобразователей оптических интерфейсов C37.94 в электрический E1 типа Модуль ЭО1/ЭО2 производства компании Юнител Инжиниринг или преобразователя интерфейса C37.94 в E1/X21 MMX-CON производства компании Nateks. Технические решения по организации каналов связи ДЗЛ с использованием преобразователей SIEMENS 7XV5662 считаются устаревшими и не рекомендуются для новых проектов, так как указанный преобразователь не поддерживает стандарт C37.94 и требует специального кодирования.

### **3.3 Выбор SFP модуля для подключения к мультиплексору**

Интерфейс C37.94 в терминалах ДЗЛ образуется использованием специального SFP модуля, которому в картах заказа соответствует типовое исполнение OLC. При самостоятельном выборе SFP модулей для подключения к мультиплексорам следует учитывать соответствие модуля требованиям стандарта C37.94 по уровням оптического излучения и его длины волны.

Спецификой стандарта C37.94 является использование многомодового оптоволокна 50/125 мкм и длины оптического излучения 820-850 нм. На рынке SFP модулей имеется большое количество с подобными свойствами, но прежде всего необходимо обращать внимание на их максимальную рабочую скорость передачи данных. Как правило, такие многомодовые модули обозначаются как 1000BASE-SX и предназначены для скоростей 1000 Мбит/с и более, что не позволяет им работать с низкой, требуемой стандартом C37.94, скоростью 2048 кбит/с. Для использования в интерфейсе C37.94 предназначены

специализированные SFP модули с гарантированной поддержкой скорости 2048 кбит/с и требуемыми стандартом уровнями сигналов. Использование подходящих по скорости и длине волны других модулей, например, для сетей 100BASE-SX (100 Мбит/с, 850 нм), возможно только при их строгой одинаковости со стороны терминала и со стороны каналообразующего оборудования, чтобы исключить проблемы согласования уровней оптических сигналов.

Проблема согласования уровней оптических сигналов возникает при использовании разных SFP модулей при отклонении их свойств от требований стандарта С37.94 с одной из сторон. Например, используемые SFP модули в блоках интерфейсов С37.94 OPTIF мультимплексоров АBB FOX515 требуют ослабления их передаваемого сигнала на 10 дБм для приближения к рекомендуемому стандартом уровню, что указано в технической документации на блок OPTIF.

В соответствии с требованиями стандарта С37.94 необходимо обеспечить уровни сигналов:

RX = (-11...-32) dBm,

TX = (-11...-23) dBm,

ER = 9 dB.

В таблице 9 приведена сравнительная характеристика наиболее распространённых модулей SFP, возможных для использования в интерфейсе С37.94.

Т а б л и ц а 9 – SFP модули

№	Модуль	RX dBm	TX dBm	ER dB	Примечание
1	CT-0155NSP-SB2L-E Coretek Opto Corp.	-3 -32	-11 -23	12	Уровень TX согласован с требованиями С37.94
2	LM28-A3C-T APAC Opto Electronics Inc.	-8 -32	-11 -19	12	Уровень TX согласован с требованиями С37.94
3	LS-MM8503-02DI LINK-PP INT'L Technology Co.	-3 -23	-2 -10	9	Требуется аттенюатора 10 dB в передатчике (TX)
4	HSFP-03-383XM-12F Shenzhen Hi-Optel Technology Co.	-3 -24	-3 -9.5	8.2	Требуется аттенюатора 10 dB в передатчике (TX)

Из таблицы видно, что имеются модули не требующие согласования максимального уровня передачи TX (-11 dBm) с максимальным уровнем приёма RX по стандарту С37.94 не более -11dBm. Другие модули имеют уровень передачи более требуемого уровня -11dBm. Поэтому для них необходима установка аттенюатора 10 dB на выходе передатчика (TX) для согласования со стандартом, либо, при допустимости отклонения от стандарта, возможно использование аналогичного модуля со стороны каналообразующего оборудования.

### 3.4 Настройка параметров мультиплексированного канала связи

Настройка параметров мультиплексированного канала связи в терминале заключается в установке перечисленных в таблице 10 параметров для соответствия используемому оборудованию. Параметры каналов связи задаются через меню терминала **ДЗЛ / Параметры КС1 (КС2)**.

Таблица 10 – Задаваемые параметры каналов связи

Наименование параметра (диапазон), размерность	По умолчанию	Значения
Кодирование в канале связи КС1 (Манчестер, С37.94)	Манчестер	<b>С37.94</b>
Генерация сигнала синхронизации канала связи КС1 (внутренняя, внешняя)	внутренняя	<b>внешняя</b>
Скорость передачи по каналу связи КС1 (64 кбит/с, 128 кбит/с, 256 кбит/с, 512 кбит/с)	64 кбит/с	<b>512 кбит/с</b>
Компенсация асимметрии КС1 (-2500 .. 2500), мкс [шаг 1]	0	<b>0</b>
Передаваемый ID КС1 (0 .. 15)	0	<b>0*</b>
Принимаемый ID КС1 (0 .. 15)	0	<b>0*</b>
ВЧ модуляция в КС1 (Не предусмотрена, Предусмотрена)	Не предусмотрена	<b>Не предусмотрена</b>

Параметр **Кодирование в канале связи** (С37.94) указан для непосредственного подключения мультиплексоров через оптический интерфейс С37.94 или с использованием преобразователей из С37.94 в электрический интерфейс Е1 или Х21 для преобразователей производства Натекс, Юнител и др.

Для преобразователей производства фирмы SIEMENS в интерфейс G703.1, X.21 или Е1 используется специальное кодирование, обозначаемое в настройках как «Манчестер».

Параметр **Генерация сигнала синхронизации канала связи** для мультиплексированного канала всегда устанавливается в значение **внешняя**, независимо от способа подключения к мультиплексору. Особенностью мультиплексированных каналов является невозможность в общем случае синхронизации мультиплексоров от оконечного устройства, которым является терминал ДЗЛ. В мультиплексорах используется собственная система синхронизации с задаваемой ролью ведущий/ведомый и единый для множества мультиплексоров источник синхронизации.

В схеме распространения синхронизирующего сигнала, приведённой на рисунке 3, все мультиплексоры и терминалы ДЗЛ передают свои данные синхронно с единым источником.

Обязательным требованием к мультиплексированному КС является синхронность по каналу передачи и канала приёма, что обеспечивается соответствующими настройками связного оборудования в его системе управления.

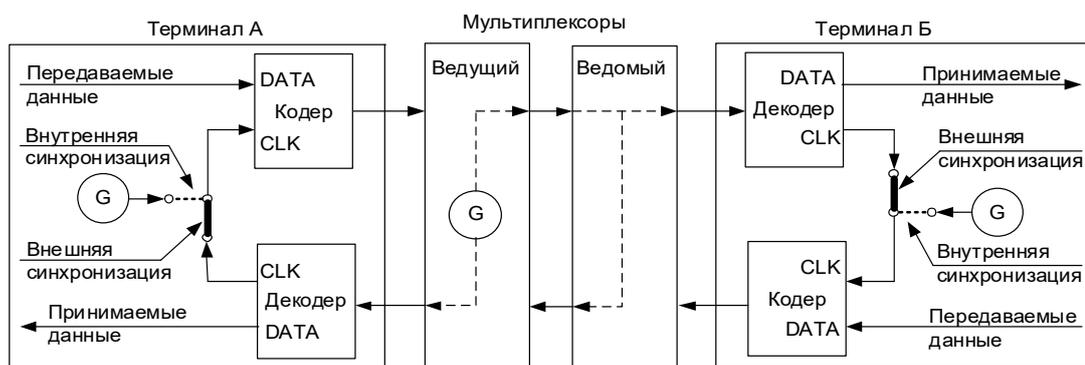


Рисунок 3 – Синхронизация при мультиплексированном канале связи

Параметр **Скорость передачи по каналу связи** при использовании кодирования С37.94 может быть выставлена произвольно, так как задаётся непосредственно в мультиплексоре или преобразователе установкой числа N (определяющего логическую скорость С37.94) в значение 1, 2, 4 или 8, соответствующее скорости 64, 128, 256 и 512 кбит/с.

В случае использования преобразователей SIEMENS параметр скорости должен соответствовать настройке преобразователя, определяемой состоянием его внутренних перемычек, которые в свою очередь устанавливаются в зависимости от используемого электрического интерфейса:

– для интерфейса G703.1 возможна только одна скорость - 64 кбит/с;

– для интерфейса X.21 возможно использовать скорости 64, 128, 256 или 512 кбит/с, которые должны соответствовать настройке интерфейса X.21 мультиплексора;

– для интерфейса E1 возможно использовать скорости 64, 128, 256 или 512 кбит/с.

Параметр **Компенсация асимметрии** можно определить только измерением. Этот параметр эффективен только на стороне терминала с ролью «Ведущий» и не используется терминалом с ролью «Ведомый». Роль терминала определяет, какое значение компенсирующей величины используется данным терминалом. Терминал с ролью «Ведущий» использует заданное значение параметра, а также передает его на противоположную сторону. Терминал с ролью «Ведомый» игнорирует данный параметр и всегда использует только принятое значение с противоположным знаком. В случае установки одинаковых ролей «Ведущий», каждый терминал будет использовать собственное значение параметра для компенсации, а в случае одинаковых ролей «Ведомый» компенсация асимметрии будет отсутствовать. Поэтому для правильной компенсации асимметрии необходимо правильное распределение ролей, так как при этом уменьшается возможность ошибки.

Параметры **Передаваемый ID** и **Принимаемый ID** предназначены для исключения ошибок при подключении каналов связи, особенно при использовании мультиплексированных каналов, так как в них используется логическая коммутация потоков данных и имеется вероятность неправильной коммутации вследствие изменений настроек мультиплексора. Использование отдельных идентификаторов (ID) канала связи в направлении приема и передачи позволяет выявить подобные ошибки и исключить неправильную работу ДЗЛ. Параметры ID задаются в диапазоне от 0 до 15 и должны быть уникальными для каждого КС ДЗЛ. Пример установки идентификаторов приведён в таблице 4.

Указанный принцип позволяет использовать уникальные номера каналов связи для четырёх полуккомплектов комплектов ДЗЛ на одном объекте. Терминал ДЗЛ проверяет соответствие установленного и принимаемого с противоположной стороны идентификатора, а при их несоответствии формируется сигнал неготовности канала связи с блокировкой всех связанных с данным каналом функций.

Параметр **ВЧ модуляция в КС** определяет наличие дополнительной модуляции оптического сигнала для нормальной работы SFP модулей и должна быть включена на

обоих концах линии связи. При подключении к мультиплексору через интерфейс С37.94, обратным концом линии связи является интерфейс мультиплексора, в котором невозможно использовать указанную модуляцию, поэтому параметр **ВЧ модуляция в КС** должен быть установлен в значение «**Не предусмотрена**».

### 3.5 Определение параметра «Компенсация асимметрии»

Время задержки передачи данных в канале связи, отображаемое в пункте меню **Текущие величины / Каналы связи / tзадерж. КС1**, определяется терминалами каждые 5 мс при обмене данными. Отображаемая в указанном пункте меню информация является половиной суммы задержек передачи данных в канале связи в прямом и обратном направлении с учетом времени передачи и приема информационного кадра.

Время приема информационного кадра по синхронному каналу связи равно времени его передачи и составляет:

- для скорости 64 кбит/с ..... 4062 ±16 мкс,
- для скорости 128 кбит/с ..... 2031 ±8 мкс,
- для скорости 256 кбит/с ..... 1015 ±4 мкс,
- для скорости 512 кбит/с ..... 508 ±2 мкс.

Симметричность канала связи достигается учетом каждым терминалом половины разницы времени передачи данных в прямом и обратном направлении, поэтому параметр «Компенсация асимметрии» равен половине разницы времени задержки в прямом и обратном направлении и в терминалах на разных концах линии задается значением с противоположным знаком.

Механизм компенсации асимметрии демонстрируется в примере для канала связи с задержкой 1000 мкс в прямом направлении и 140 мкс в обратном. Время передачи информационного кадра для скорости 64 кбит/с составляет 4062 мкс в одну сторону. Измеряемое время задержки в канале связи составляет половину всех задержек связи в прямом и обратном направлении. Измеряемое время включает собственное время передачи кадра в прямом направлении, задержку канала связи в прямом направлении, собственное время передачи кадра в обратном направлении и задержку канала связи в обратном направлении. В примере это  $(4062 + 1000 + 4062 + 140) / 2 = 4632$  мкс. Разность времени передачи данных в прямом и обратном направлении составляет  $1000 - 140 = 860$  мкс, половина которой (430 мкс) компенсируется терминалами с каждой стороны (добавляется с противоположным знаком). В итоге, в прямом направлении задержка передачи данных составит  $4062 + 1000 - 860 / 2 = 4632$  мкс, а в обратном направлении  $4062 + 140 + 860 / 2 = 4632$  мкс, что симметрично и соответствует общей измеряемой задержке.

Основным вопросом при настройке мультиплексированного канала связи является определение величины его текущей несимметрии для последующей компенсации. Определить это значение возможно двумя способами:

- прямое измерение асимметрии КС при использовании в терминале ДЗЛ входа приема импульсов 1PPS от приемника GPS Глобальной спутниковой системы синхронизации;

– косвенное измерение, по отклонению взаимного угла измеряемых и принимаемых величин от установленного значения с помощью двух источников тока, генерирующих токи с нулевым фазовым сдвигом при использовании спутниковой системы синхронизации или с использованием тока нагрузочного режима.

### **3.5.1 Определение времени асимметрии мультиплексированного канала связи прямым методом**

Метод прямого измерения асимметрии канала связи основан на использовании в терминале ДЗЛ входа приема импульсов 1PPS от приемника GPS спутниковой системы синхронизации при их строгой синхронности в обоих терминалах. Для проверки мультиплексированного канала связи требуется наличие сигналов 1PPS от одинаковых устройств GPS синхронизации на обоих полукомплектах ДЗЛ. Допускается использовать сигналы 1PPS от серверов системы синхронизации времени, но при этом необходимо убедиться в их синхронности между собой с помощью канала связи, организованного по выделенной ВОЛС.

При отсутствии выделенного канала связи, например, в случае организации обоих каналов через мультиплексоры, в качестве источника сигналов 1PPS необходимо использовать одинаковые устройства, генерирующие этот сигнал только при наличии синхронизации с GPS, например, «УС-GPS» производства ООО НПП «ЭКРА», что гарантирует их синхронность.

#### **3.5.1.1 Подготовка и проверка системы спутниковой синхронизации**

Перед измерением асимметрии прямым способом следует подключить и проверить пригодность системы спутниковой синхронизации.

Подключить источник сигналов 1PPS к терминалам на обоих полукомплектах ДЗЛ и убедиться, что они воспринимаются устройствами. Контроль наличия сигналов 1PPS производится в меню терминала «Уставки времени»/«Сигнал PPS без проверки». При правильном подключении системы спутниковой синхронизации и корректных настройках интерфейса сигнала PPS, в пункте «Сигнал PPS без проверки» счетчик импульсов должен увеличиваться один раз в секунду. Для обновления счетчика импульсов на экране необходимо удерживать в нажатом состоянии любую кнопку навигации, например, ↓ или ↑. Проверка присутствия сигналов 1PPS должна производиться на обоих полукомплектах ДЗЛ.

При наличии и исправной работе хотя бы одного КС на основном экране дисплея терминалов должна отображаться мигающая надпись «GPS», свидетельствующая о наличии сигналов 1PPS с двух сторон.

Далее проверяется синхронность сигналов 1PPS, так как в ряде случаев, например, при использовании в качестве источника сигналов синхронизации импульсов 1PPS, полученных от сервера времени, возможен режим формирования этих сигналов по внутренним часам сервера, не синхронизированных со спутниками, например, при потере их видимости приемником. Поэтому рекомендуется произвести контроль синхронности

сигналов 1PPS методом измерения несимметричности заведомо симметричного КС, например, организованного по выделенной ВОЛС.

Синхронность сигналов 1PPS контролируется по величине измеренной текущей асимметрии выделенного канала связи. Для выделенного канала связи измеренное значение текущей асимметрии в меню «Текущие величины / Каналы связи» / «Текущая асимметрия КС» не должно превышать  $\pm 20$  мкс для любой скорости передачи информации по КС.

### 3.5.1.2 Измерение времени асимметрии КС

В нормальном режиме работы терминала в меню «Текущие величины/Каналы связи/Текущая асимметрия КС» отображается значение асимметрии каналов связи при условии наличия сигналов синхронизации. При отсутствии сигналов синхронизации хотя бы с одной из сторон прямое измерение асимметрии мультиплексированного канала связи невозможно и в данных пунктах меню отражаются нулевые значения, что **не является признаком симметричности канала связи**.

Для компенсации асимметрии следует ввести в параметр «Компенсация асимметрии» измеренное значение с противоположным знаком. Для исключения ошибок при задании уставок/настройке, данный параметр задается только для терминала с ролью «Ведущий». В терминале с ролью «Ведомый» этот параметр игнорируется.

### 3.5.2 Определение времени асимметрии мультиплексированного канала связи косвенным методом

Для косвенного метода измерения времени асимметрии передачи и приема мультиплексированного канала связи на каждом конце линии необходимы источники тестового тока, синхронизированные между собой посредством GPS - спутниковой системы синхронизации. В качестве таких источников могут использоваться испытательные комплексы (например, Ретом или Omicron CMC-356) с подключенными приставками спутниковой синхронизации.

Суть метода заключается в измерении сдвига фаз  $\Delta\varphi$ , (°) между измеряемыми токами пропорционального времени асимметрии  $t_{AC}$ , (мкс) канала связи.

Для контроля асимметрии необходимо подать к терминалам противоположных концов строго в противофазе токи номинальной величины и определить асимметрию по наблюдаемой разности углов поданных величин  $\Delta\varphi$ , (°) по формуле:

$$t_{AC} = \frac{\Delta\varphi^\circ}{18 \cdot 10^{-3}} \text{ (мкс)}.$$

Уставка по компенсации асимметрии КС в «ведущем» терминале ДЗЛ перед началом измерения должна быть установлена в нулевое значение.

Разность углов поданных величин контролируется в пункте меню **Текущие величины / Аналоговые величины** в котором отображаются значения принимаемых с противоположного конца токов модулей токов  $I_{A \text{ ПРМ}}$ ,  $I_{B \text{ ПРМ}}$ ,  $I_{C \text{ ПРМ}}$  и их угол относительно одноименных величин на противоположном конце.

При симметричном канале связи, с одинаковыми задержками передачи данных в прямом и обратном направлении, углы одноименных величин токов на противоположных сторонах должны отличаться на  $180^\circ$  при условии сонаправленного включения (соответствующему току нагрузки), подаваемых токов к терминалам на противоположных концах линии. Асимметрия канала связи приводит к отклонению углов от  $180^\circ$ .

Для приведенного выше примера, с асимметрией КС со значением 430 мкс, будет наблюдаться отклонение принимаемого вектора фазного тока от  $180^\circ$  на  $7,74^\circ$ .

На одном из полукомплектов ДЗЛ указанный угол будет равен минус  $172,26^\circ$  (например, «ведущий»), на другом полукомплекте  $+172,26^\circ$ . На «ведущем» устройстве отклонение угла (против часовой стрелки от угла  $180^\circ$ ) составляет  $(180^\circ - 172,26^\circ) = +7,74^\circ$ , что соответствует асимметрии КС, равной плюс 430 мкс.

После введения в устройстве с ролью «ведущий» уставки по компенсации асимметрии КС равной минус 430 мкс, взаимные углы между векторами фазных токов по концам линии должны быть близки к  $180^\circ$ , а дифференциальные токи близки к нулю.

#### 4 Принцип действия и требования к каналам связи ДЗЛ при работе в трехконцевом режиме.

Трехконцевой режим работы ДЗЛ подразумевает возможность соединения трех терминалов ДЗЛ с помощью каналов связи в кольцо для их резервирования, см. рис.4. Имеющиеся в терминалах два порта связи КС1 и КС2 в данном режиме равноправны и имеют независимые друг от друга параметры настройки.

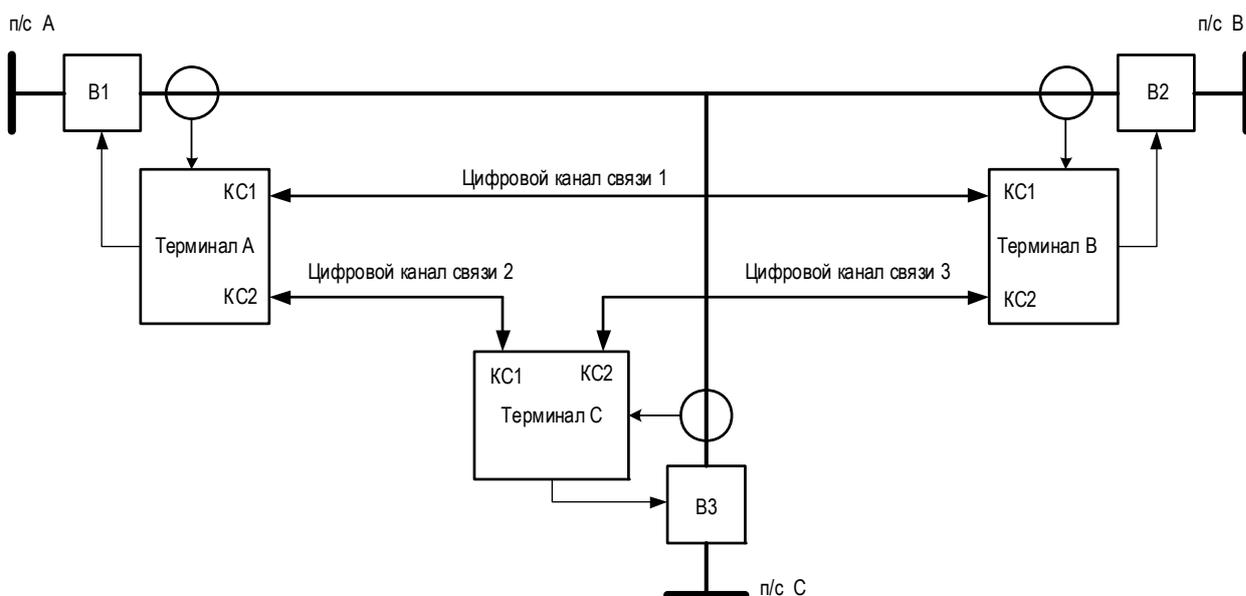


Рисунок 4 – Кольцевая схема соединения терминалов ДЗЛ

Для работы каналов связи в кольце используется специальный алгоритм взаимной синхронизации терминалов, поэтому все три терминала должны иметь одинаковую специальную версию программного обеспечения.

Для работы ДЗЛ в трехконцевом режиме используются цифровые синхронные каналы связи, организуемые по выделенным или мультиплексированным линиям связи, удовлетворяющие следующим требованиям:

- скорость передачи данных: 64, 128, 256 или 512 кбит/с;
- максимальная задержка передачи данных в одном направлении, в зависимости от установленной скорости обмена, должна быть не более:
  - 16 мс для 512 кбит/с,
  - 24 мс для 256 кбит/с,
  - 32 мс для 128 кбит/с,
  - 40 мс для 64 кбит/с;
- неодинаковость времени передачи данных в прямом и обратном направлении (асимметрия), должна быть не более 2500 мкс;
- изменение асимметрии после автоматических или ручных переключений в оборудовании связи (непостоянство асимметрии), должно быть не более 500 мкс.

При нормальной работе каналов связи каждый из трёх терминалов получает цифровую информацию о токах защищаемых участков ЛЭП от двух соседних аналогичных устройств. В соответствии с алгоритмом функции ДЗЛ, в каждом терминале вычисляются дифференциальные и тормозные величины по значениям «своего» тока линии и значениям токов, полученных со смежных концов. В случае выполнения условий срабатывания функции ДЗЛ, каждый терминал действует на свой выключатель, а также передаёт команду телеотключения на другие смежные концы.

В терминалах с одним исправным КС вычисление дифференциальных и тормозных величин невозможно ввиду отсутствия полных данных о всех токах трехконцевой линии. В случае отсутствия или отказа одного из КС в кольцевой схеме, вычисление дифференциальных и тормозных величин токов выполняется только в одном терминале, имеющем связь с двумя другими устройствами. В этом режиме, при выполнении условий срабатывания функции ДЗЛ, отключение выключателей оставшихся двух смежных концов линии производится посредством передачи команды телеотключения. Неисправность отказавшего канала связи сигнализируется и регистрируется немедленно.

Задержка передачи цифровых данных в КС  $T_{КС}$  увеличивает время действия ДЗЛ на отключение повреждения на ЛЭП. Максимальное дополнительное время задержки действия ДЗЛ на отключение  $\Delta t_{з\text{ДЗЛ}}$ , с учетом подтверждения факта срабатывания, определяется по формуле:

$$\Delta t_{з\text{ДЗЛ}} = 2 \cdot (T_{КС} + M \cdot t_{\text{инт}}), \text{ мкс.}$$

где:  $M$  – количество временных интервалов между посылками информации по КС,  
 $t_{\text{инт}}$  – временной интервал 833 мкс (обычное исполнение ДЗЛ) или 1000 мкс (исполнение ДЗЛ для ЦП по III архитектуре).

Минимальное дополнительное замедление действия ДЗЛ на отключение, связанное с задержками в КС, меньше максимального времени на величину  $M \cdot t_{\text{инт}}$ , мкс.

С целью уменьшения влияния задержки передачи цифровых данных в КС на время действия ДЗЛ, в терминалах имеется возможность регулировки количества временных интервалов между передаваемыми цифровыми пакетами при периодическом обмене информацией между устройствами. Периодичность посылки данных зависит от установленной скорости обмена по КС и определяется параметром «**Количество интервалов передачи по КС**». Указанный параметр должен иметь одинаковое значение для всех трёх терминалов. В случае разной установленной скорости КС, необходимо использовать большее значение, которое и будет определять общую периодичность обмена данными между всеми терминалами.

Для правильной работы необходимо использовать следующие значения параметра  $M$  «**Количество интервалов передачи по КС**» в зависимости от минимальной установленной скорости для всех трех терминалов (в скобках указан параметр для исполнения ДЗЛ ЦП по III архитектуре):

- «2» – для 512 кбит/с,
- «3» – для 256 кбит/с,
- «4» – для 128 кбит/с,
- «6(5)» – для 64 кбит/с.

**ВНИМАНИЕ:** При наличии в топологии каналов связи хотя бы одного мультиплексированного канала, для параметра «**Количество интервалов передачи по КС**», следует использовать значение «**6(5)**» для всех каналов, не зависимо от используемой скорости!

Для повышения быстродействия функции ДЗЛ следует использовать максимально возможную скорость передачи для всех трех КС, так как задержка действия ДЗЛ на отключение в трехконцевом режиме, связанная с временем передачи цифровых данных, определяется КС с наименьшей скоростью передачи данных.

Пример 1. Все три КС – выделенные, по оптическим линиям. Установленная скорость передачи по КС для всех трех терминалов - 512 кбит/с. Максимальное время задержки передачи цифровой информации (при длине КС 60 км и отсутствии дополнительных преобразователей сигналов) составит  $T_{КС} = (60 \cdot 5 + 408) = 708$  мкс. Количество интервалов передачи по КС  $M = 2$ . Максимальная задержка в действии ДЗЛ составит  $\Delta t_{з\ ДЗЛ} = 2 \cdot (708 + 2 \cdot 833) = 4748$  мкс или 4,75 мс. Минимально возможная задержка составит  $4,75 - 1,66 = 3,09$  мс.

Пример 2. Условия для двух КС такие же, как и в первом примере, но третий КС – мультиплексированный, установленная скорость передачи по третьему КС - 64 кбит/с. Для него реальное максимальное время задержки передачи цифровой информации  $T_{КС} = 4600$  мкс. В этом случае необходимо установить параметр  $M = 6$  для всех трех терминалов. Максимальная задержка в действии ДЗЛ составит  $\Delta t_{з\ ДЗЛ} = 2 \cdot (4600 + 6 \cdot 833) = 19200$  мкс или 19,2 мс. Минимально возможная задержка составляет  $19,2 - 5,0 = 14,2$  мс.

Таким образом, наличие всего лишь одного «медленного» КС существенно увеличивает время действия ДЗЛ.

Параметр «**Роль КС**» (ведущий или ведомый) используется только для исключения ошибок при задании компенсирующей величины времени асимметрии мультиплексированного канала связи. Этим параметром определяется, какое значение компенсирующей величины используется данным каналом связи. Канал связи с ролью «Ведущий» использует собственное заданное значение параметра, а также передаёт его на противоположную сторону. Канал связи с ролью «Ведомый» игнорирует собственное заданное значение параметра и использует принятое значение параметра с противоположным знаком. В случае установки одинаковых ролей «Ведущий», каждый канал будет использовать собственное значение параметра для компенсации, что не исключает ошибки, а в случае одинаковых ролей «Ведомый» компенсация асимметрии будет

Редакция от 18.06.2025 г.

отсутствовать. Поэтому для правильной компенсации асимметрии каждого канала связи необходимо правильное распределение ролей «ведущий-ведомый», так как при этом исключается возможность ошибки.

В остальном, при организации и проверке выделенных и мультиплексированных каналов связи для ДЗЛ в трехконцевом режиме следует руководствоваться сведениями из разделов 2 и 3.

## 5 Особенности устройств УПАСК и резервных защит с каналами связи

Для передачи информации в устройствах УПАСК не требуется взаимная синхронизация полуккомплектов, поэтому для них отсутствует требование симметричности канала связи, соответственно в настройках каналов связи исключён параметр «Время асимметрии». Остальные параметры настройки соответствуют п. 2.2 таблице 4 «Задаваемые параметры канала связи (на примере КС1)».

Передача всех команд производится параллельно, кадрами с периодичностью 2.5 мс, одновременно через оба канала связи. Требуемая надёжность при передаче команд обеспечивается подтверждением приёма двух последовательных кадров, поэтому длительность сигнала, формирующего команду, должна быть не менее 5 мс, а максимальная продолжительность не ограничена.

При приёме команды суммируются по схеме ИЛИ с обоих каналов связи. Достоверность принимаемой информации по каждому каналу связи подтверждается контрольной суммой, а также соответствием его логического идентификатора. При выявлении ошибки приёма очередного кадра немедленно сбрасывается сигнал готовности канала связи «Готовность КС1 (КС2)» и увеличивается счётчик его ошибок. Приём корректного кадра приводит к немедленной установке сигналов «Готовность КС1 (КС2)». Сигналы «Неготовность КС1 (КС2)» предназначены для действия на сигнализацию и снимаются через 1 сек. после восстановления работы канала связи.

Помимо указанных сигналов неисправности каналов связи, в устройствах имеются дополнительные информационные сигналы о состоянии каналов связи и удалённого терминала:

**Неверный ID КС1 (КС2)** – принимаемый идентификатор не соответствует ожидаемому значению, заданному в настройках таблицы 4.

**УТ в режиме тестирования** – устанавливается в значение 1 при нахождении удалённого терминала в режиме тестирования.

**УТ в режиме вывода** – устанавливается в значение 1 при нахождении удалённого терминала в режиме вывода.

**УТ выведен из действия** – устанавливается в значение 1 при нахождении удалённого терминала в режиме тестирования или вывода.

Эти сигналы, так же как и принимаемые команды, являются общими для обоих каналов связи, то есть собраны из принимаемых сигналов через КС1 и КС2 по схеме ИЛИ.

**Неисправность связи с УТ** – устанавливается в значение 1 при неготовности обоих каналов связи.

Поясняющая логическая схема приведена на рисунке 1.1 «Функциональная схема логической части узла КС» руководства по эксплуатации на шкаф ДЗЛ.

Указанные сигналы и счётчик ошибок являются информационным для системы регистрации и осциллографирования. Какие-либо предустановленные блокировки не предусмотрены, но возможно действие этих сигналов на сигнализацию или использования в программируемой логике. В начале каждого часа предыдущее значение счётчика ошибок переносится в регистратор внутренних событий, а текущее значение обнуляется.

Состояние каналов связи отображается кодом ошибки в меню **Текущие величины / Каналы связи / Состояние КС1 (КС2)**, расшифровка которого приведена в таблице 11.

Т а б л и ц а 11 – Коды диагностики каналов связи УПАСК

Неисправность	Код ошибки
Отсутствие неисправностей в канале связи	0
Обрыв цепей приёма Rx	1
Несоответствие принимаемого ID заданному	4
Нет принимаемого сигнала или несоответствие контрольной суммы	37

### **Список литературы**

1 Шкаф дифференциальной защиты линии типа ШЭ2607 091. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.871 РЭ. [Текст] – Чебоксары: ООО НПП «ЭКРА», 2018.