

АКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ВОЛС ДЛЯ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Н.Варава, С.Пронин, М.Никоноров info@optotech.ru

Волоконная оптика появилась в основном благодаря потребностям в решении связных задач. По этой причине усилия ведущих фирм, разрабатывающих как компоненты ВОЛС, так и сопутствующее оборудование и материалы, были направлены именно на реализацию телекоммуникационных проектов. Однако, несмотря на продолжающийся рост скоростей передачи, успехи в создании мультиплексных каналов и увеличении участков ВОЛС без регенерации, в последнее десятилетие идет не менее бурный рост других направлений, связанных с использованием волоконной оптики. В первую очередь, это область волоконно-оптических датчиков, использующих особенности распространения света в волокне.

Желание минимизировать потребляемую мощность активных компонентов для ВОЛС, а также отказ от дополнительных затрат на оборудование для кодирования исходных сигналов привели специалистов компании "Оптоэлектронные Технологии" к созданию комплекта волоконно-оптических модулей на новых принципах.

Достигнутый человечеством современный технологический уровень трудно представить без волоконной оптики. Волоконно-оптические системы связи сегодня безальтернативны для доставки больших информационных объемов с максимальной скоростью на значительные расстояния. Среди преимуществ таких систем – высокая помехоустойчивость, обеспечивающая достоверность транслируемых информационных потоков, невозможность несанкционированного доступа (без разрушения), а также в некоторых случаях диэлектрические свойства линий связи. Последнее качество

позволяет использовать существующие линии электропередачи как несущие конструкции для волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

С середины прошлого века потребности телекоммуникационных технологий в основном определили и направление развития компонентной базы для волоконно-оптических систем связи, как активной, так и пассивной. Сегодня достаточно широкий спектр компонентов для ВОЛС выпускает ряд известных фирм как из Европы, так и из Азии. Это и всевозможные трансиверы с отличающимися оптическими и электрическими интерфейсами, устройства

для оптического мультиплексирования (DWDM, CWDM), оптические переключатели и др.

Потребности телекоммуникаций определили основные характеристики и параметры компонентной базы. Здесь приоритетны, как и в самих системах связи, параметры быстродействия и длина участка линии связи без регенерации. На сегодня вполне освоенными можно считать скорости до 10 Гбит/с и участки без регенерации до 100 км. Существуют также компоненты для ВОЛС, работающих на скоростях до 40 Гбит/с и даже 100 Гбит/с. Конечно, область применения волоконно-оптических систем связи не ограничивается их использованием для информационного обмена на значительные расстояния.

Достижения волоконной оптики также используются при построении и создании информационных сетей, как бортовых и локальных, так и имеющих глобальный характер. Благодаря высокой помехоустойчивости и диэлектрическим свойствам, компонентная база для ВОЛС все чаще начинает использоваться в электроэнергетике, в системах автоматического регулирования, в системах контроля на взрывоопасных и химических производствах.

Наконец, в последнее десятилетие стремительно развивается направление волоконно-оптических датчиков и систем связи для их обслуживания. Основные их достоинства – это возможность установки непосредственно на опасных объектах, например, газо- и нефтепроводах, нефтяных скважинах, высоковольтных линиях передач и т.д. Сейчас выпускается и разрабатывается широкий спектр волоконно-оптических датчиков различного назначения. К ним относятся датчики температуры, использующие изменение параметров дифракционной решетки, нанесенной на торец волокна, а также датчики напряжения и тока на эффектах Поккельса и Фарадея. Особое место занимают волоконно-оптические гироскопы на эффекте Саньяка и датчики охраняемых систем, использующие рамановское рассеяние в волокне при его деформации.

Использование волоконно-оптических датчиков, как и в случае с телекоммуникационными задачами, требует и соответствующей компонентной базы для их обслуживания. Часто здесь, как, например, в случае с датчиками температуры, требуются фотоприемники с предельными параметрами чувствительности и излучатели с достаточно высокими значениями вводимой в многомодовое оптическое волокно (ОВ) мощности и нормированной шириной спектра излучения.

Насущна потребность и в средствах доставки информации от датчиков, и не только волоконно-оптических, к оконечным устройствам систем, использующих волоконно-оптические технологии. Эти средства должны обладать при достаточно умеренном быстродействии минимально возможным энергопотреблением и возможностью транслировать информацию без дополнительного преобразования. Передаваемый сигнал может быть как аналоговым, так и цифровым, с использованием существенно-неуравновешенного кода (неуравновешенный код (сигнал) – это код (сигнал), в котором суммарная длительность единиц не равна суммарной длительности нулей за характерный для системы период времени).

МЕТОД ОБРАБОТКИ ТРАНСЛИРУЕМЫХ СИГНАЛОВ

Стремление к увеличению пропускной способности канала связи привело к появлению достаточно широкого ассортимента активных компонентов для ВОЛС. Однако вместе с ростом пропускной способности росло и их потребление. Так, при обмене на скорости 155 Мбит/с потребляемый ток трансивера может составлять сотни миллиампер, а на скорости 10 Гбит/с уже достигать единиц ампер. Увеличению потребления также способствует использование дополнительного кодирования входящей информации с целью ее уплотнения и получения уравновешенных цифровых потоков, характеризующихся отсутствием постоянной составляющей в спектре транслируемых сигналов.

Однако в последнее время все чаще возникают задачи с использованием волоконной оптики, лежащие вне поля традиционных связанных задач. К таким задачам, в частности, относятся микроконтроллерные системы сбора информации на удаленных объектах с ограниченными возможностями по потреблению. Таким удаленным объектом может быть аккумуляторная или солнечная батарея, или их симбиоз. Также возможно применение волоконно-оптических систем для организации управления удаленными исполнительными устройствами, например, светофорами, прожекторами и другими, а также в бурно развивающихся в настоящее время охранных системах с большим периметром наблюдения. Желание минимизировать потребляемую мощность активных компонентов для ВОЛС, а также отказ от дополнительных затрат на оборудование для кодирования исходных сигналов привели нас к созданию комплекта волоконно-оптических модулей на новых принципах, во

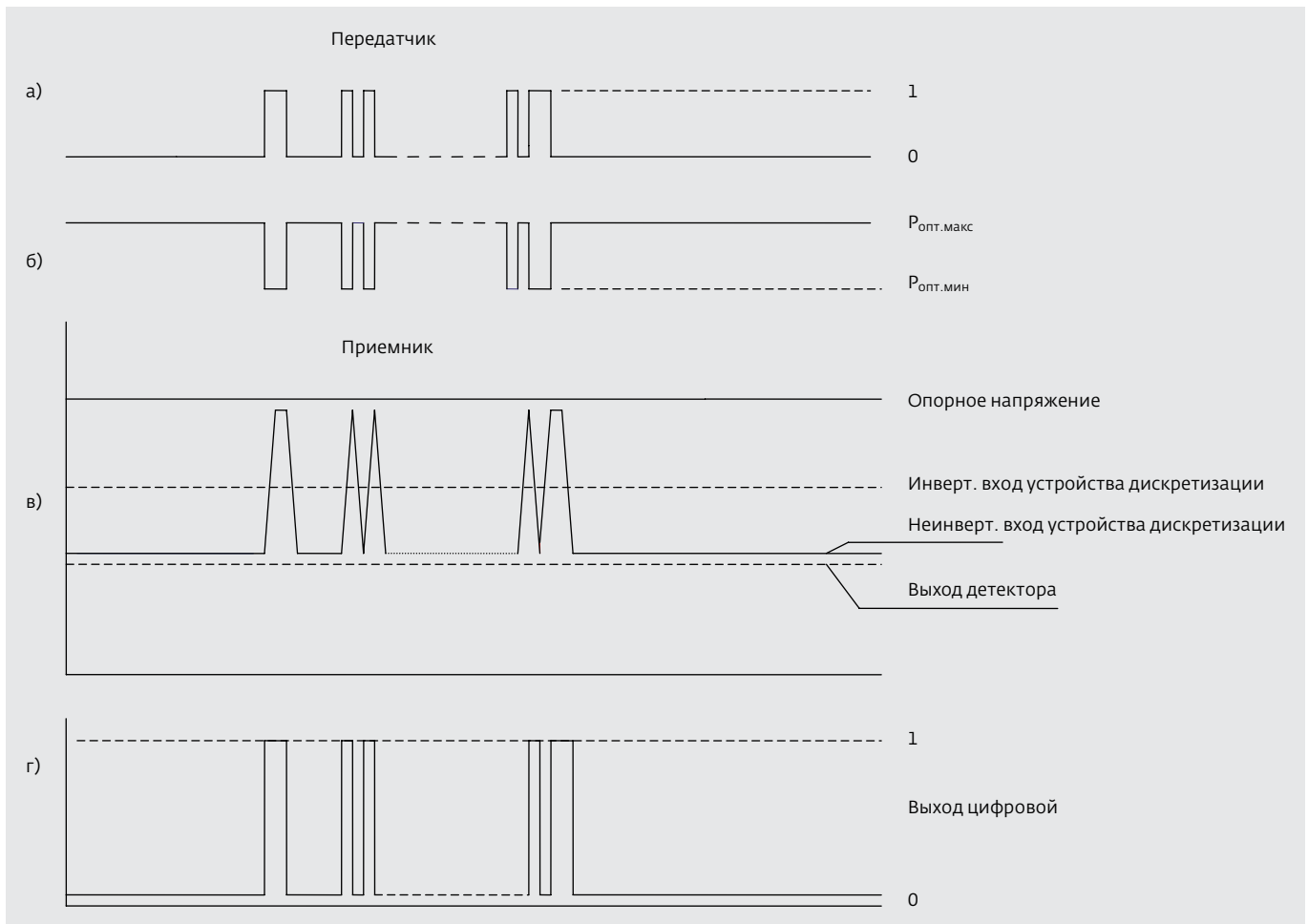


Рис.1. Эпюры входных и выходных электрических и оптических сигналов

всяком случае по отношению к волоконным технологиям. Основные требования к данному комплекту:

- минимальное потребление модулей с возможностью их отключения;
- стабильная работа в широком температурном диапазоне от -40 до 60°C;
- преобразование сигналов и их трансляция непосредственно от микроконтроллера (пакетный режим);
- энергетический бюджет, достаточный для организации устойчивой связи на расстоянии более 100 км;
- возможность использования модулей в комплекте с пассивным двухволновым мультиплексором для организации связи по одному волокну.

Из перечисленных требований следует, что комплект должен передавать неуравновешенные сигналы, в том числе одиночные, что определяет специфические требования к функционированию

как передающего, так и приемного модулей. Передающий модуль должен конвертировать электрические цифровые сигналы без ограничений их длительности и периода следования, т.е. без ограничения формата. Кроме того, он должен иметь возможность при необходимости производить инверсное преобразование, что важно для реализации выбранного и реализуемого здесь метода обработки сигнала. Приемный модуль должен определять амплитуду входного сигнала для правильной установки уровня срабатывания устройства дискретизации. Оно преобразует сигналы, искаженные за счет дисперсии волокна и ограниченной полосы пропускания аналоговой части приемника, в стандартные, с уровнями КМОП и допустимыми отклонениями по уширению.

Чтобы реализовать эти требования, наряду с определенными схемотехническими решениями был использован и особый способ передачи. Рассмотрим его основополагающие принципы (рис.1). Входной

прямой сигнал от исходного источника (эпюра "а") конвертируется в инверсный оптический в передатчике (эпюра "б") и далее транслируется через ВОЛС на вход приемника. Таким образом, уровень электрического "0" транслируется в ВОЛС в виде оптической "1". Это необходимо для определения амплитудного значения сигнала в период паузы на входе приемника с помощью входящего в его состав детектора. Сигналы поступают на входы устройства дискретизации (эпюра "в"), в котором происходит их преобразование к стандартному уровню на выходе приемника (эпюра "г").

ПЕРЕДАЮЩАЯ ЧАСТЬ

В связи с поставленной задачей передачи информации на расстояние более 100 км в качестве источника оптического излучения был выбран лазерный диод с длиной волны 1,55 мкм и выходной мощностью, не превышающей 1 мВт (0 дБм). В общем случае это не является принципиальным ограничением. Для задач с менее протяженными линиями связи можно использовать источники лазерного излучения с длиной волны 1,3 мкм, а для многомодовых линий – светодиоды. Если применяются пассивные мультиплексоры и еще более протяженные линии, возможно использовать одночастотные DFB-лазеры.

Отметим, что выпускаемая рядом фирм номенклатура интегральных микросхем для создания передающих устройств в основном предназначена

для связных задач. Как правило, они позволяют построить цифровые транслирующие устройства для уравниваемых кодированных последовательностей на скорости ≥ 155 Мбит/с и отличаются повышенным энергопотреблением. В нашем случае такой подход был неприемлем, так как заданный формат входных сигналов не ограничен.

Основной фактор, препятствующий построению передающих устройств без ограничения формата на базе стандартных интегральных решений, обусловлен необходимостью стабилизировать режим лазерного диода по мощности в некоторой рабочей точке $P_{\text{опт.}}$. Выходная мощность стабилизируется с помощью фотодиода обратной связи (ФДОС), входящего в состав лазерного излучателя, и цепи отрицательной обратной связи (ООС), которая имеет некоторую постоянную времени (рис.2). Так как изменение параметров лазерного диода (ЛД) в основном зависит от температуры, а тепловой процесс относительно медленный, цепь ООС имеет низкочастотный характер. Тем не менее, действие ООС приводит к дифференцированию выходного оптического сигнала при попытке модулировать ЛД электрическими сигналами с длительностью, близкой к значению постоянной времени ООС. Наличие ООС с некоторой постоянной времени ограничивает спектр модулирующих сигналов со стороны низких частот, что делает невозможным передачу статусных сигналов произвольной длительности.

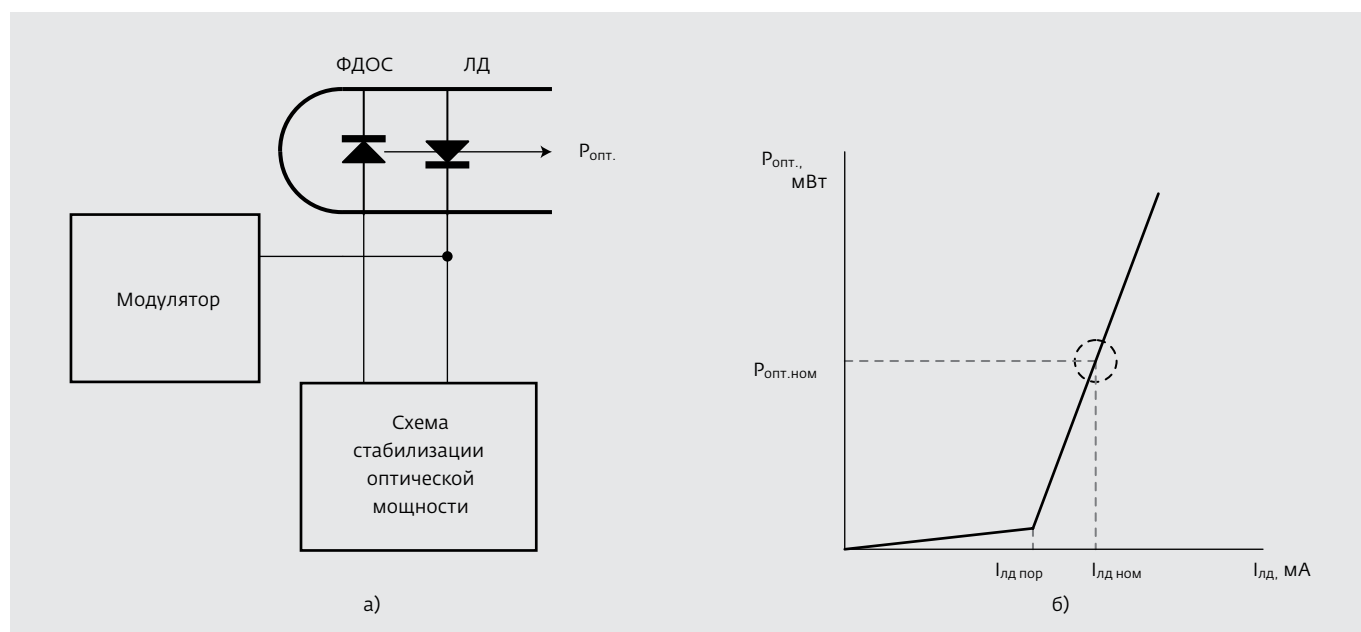


Рис.2. Функциональная схема оптического передающего устройства со стабилизацией среднего значения выходной оптической мощности (а) и выходная характеристика ЛД (б)

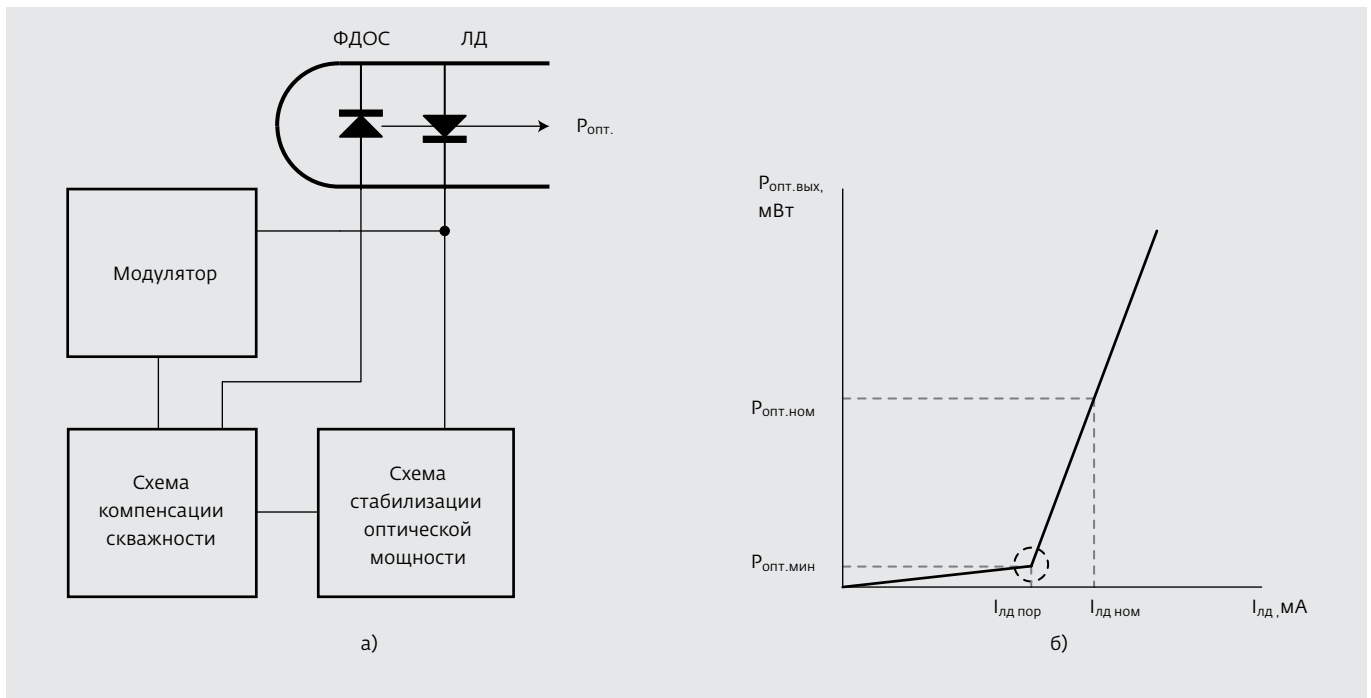


Рис.3. Функциональная схема оптического передающего устройства с компенсацией скважности входного сигнала (а) и выходная характеристика ЛД (б)

Лазерный диод с фотодиодом обратной связи и интегральная микросхема, модулирующая ток накачки ЛД и стабилизирующая выходную мощность (см. рис.2) входят в состав подавляющего числа стандартных решений передающих модулей для ВОЛС.

Основной отличительной чертой при построении лазерного оптического передающего модуля в нашем случае явилось изменение способа стабилизации выходной оптической мощности. Рабочая точка ЛД выбирается не в середине линейной части характеристики $P_{опт.}$ ($I_{лд}$), как в случае стандартных решений, а в районе порогового значения $I_{лд} = I_{пор.}$ (рис.3).

При этом значение выходной мощности составляет около $0,1 P_{опт. ном.}$. Для компенсации тока ФДОС в режимах передачи единичных уровней в состав устройства введена схема компенсации (СК), учитывающая скважность входного сигнала. Сигналы с ФДОС и СК вычитаются друг из друга, и результирующий сигнал на входе схемы стабилизации всегда равен значению, соответствующему оптической мощности $P_{опт. мин.}$.

Используя данный принцип, был разработан передающий модуль OMTD-05-C-s. В его состав (рис.4) входит буфер, в котором из входных уровней

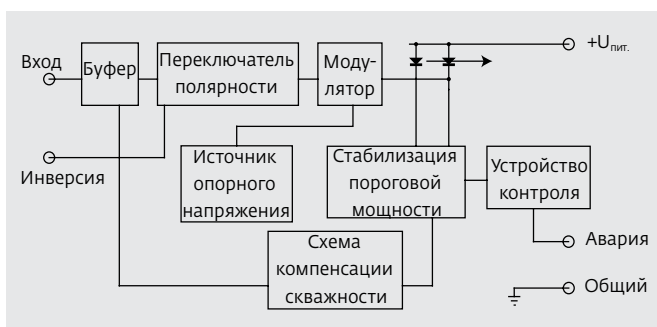


Рис.4. Функциональная схема волоконно-оптического передающего модуля OMTD-05-C-s

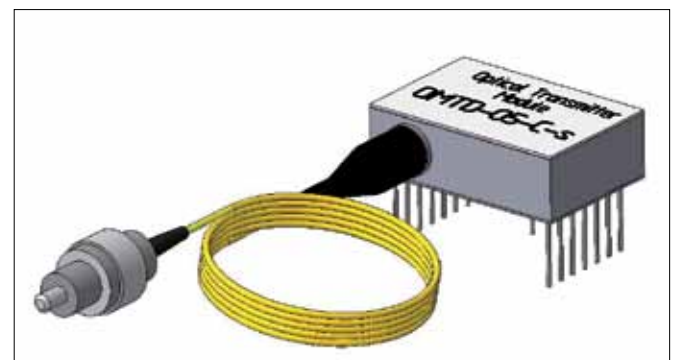


Рис.5. Волоконно-оптический передающий модуль OMTD-05-C-s

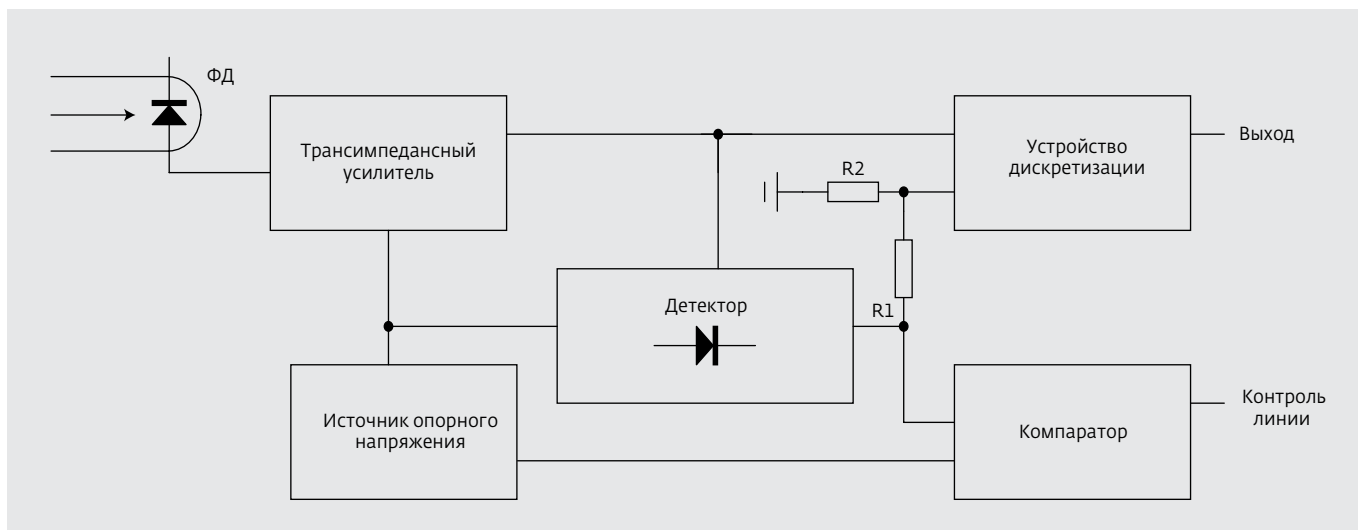


Рис.6. Функциональная схема волоконно-оптического приемника для приема одиночных оптических импульсов

формируются сигналы, управляющие работой быстродействующего модулятора и схемой компенсации скважности. Также модуль содержит переключатель полярности выходного оптического сигнала. Модулятор выполнен по схеме быстродействующего управляемого генератора тока. Амплитуда тока фиксируется с помощью термокомпенсированного источника опорного напряжения. Схема стабилизации пороговой мощности включает в себя ФДОС и управляемый генератор тока. Схема компенсации скважности управляется от входного буфера и связана со схемой стабилизации мощности для компенсации тока ФДОС. Такое построение передающего устройства позволило ввести переключение полярности выходного оптического сигнала, тем самым решив изначально поставленную задачу. В состав модуля введено также устройство контроля, сигнализирующее о неисправности лазерного диода.

Передающий модуль ОМТД-05-С-с конструктивно выполнен в металлокерамическом корпусе со штырьковыми выводами для эксплуатации в широком температурном диапазоне и снабжен волоконно-оптическим адаптером типа pigtail с оптическим разъемом FC/PC (рис.5). Основные параметры устройства:

- Выходная оптическая мощность, мВт $1 \pm 10\%$
- Длина волны оптического излучения, мкм... 1,55
- Время нарастания/спада выходного оптического импульса, нс ≤ 5
- Напряжение питания, В +5
- Ток потребления, мА..... ≤ 60
- Температурный диапазон, °С -40...60

ПРИЕМНАЯ ЧАСТЬ

Предлагаемая схема приемника для обработки неуравновешенных сигналов, на наш взгляд, обладает определенными преимуществами перед приемниками уравновешенных сигналов:

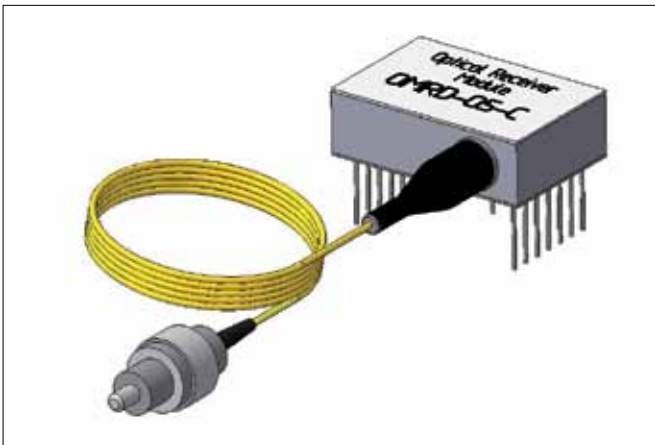


Рис.7. Волоконно-оптический приемный модуль OMRD-05-C

- минимальны требования к аналоговой полосе, что позволяет получить максимально возможное отношение сигнал/шум и, соответственно, максимальную чувствительность;
- в силу того, что порог срабатывания устройства дискретизации автоматически устанавливается ровно посередине между максимальным и минимальным уровнями сигнала, уширение обрабатываемых сигналов минимально;
- можно достичь минимального энергопотребления для обработки цифровых сигналов с определенной скоростью передачи.

К недостаткам данного метода по сравнению с другими можно отнести отсутствие универсальности применения, которое проявляется в использовании передающего устройства с инверсией входного сигнала, и его же повышенное потребление. Также у приемника более низкий (≤ 23 дБ) динамический диапазон входных сигналов по сравнению с системами с АРУ.

Предложенное решение реализовано в приемнике OMRD-05-C. Он предназначен для применения в комплекте с передающим модулем OMTD-05-C-s. В состав приемника (рис.6) входит pin-фотодиод, трансимпедансный линейный усилитель, детектор и устройство дискретизации по уровню. Дополнительно включен источник опорного сигнала и компаратор наличия сигнала в линии.

Для работы комплекта из OMTD-05-C-s и OMRD-05-C используется инверсное включение передатчика. Детектор приемника определяет уровень сигнала на входе относительно опорного уровня. Половина этого сигнала поступает на один из входов устройства дискретизации,

а на другой поступает информационный сигнал. Такое решение позволяет при минимальной полосе устройства получить минимальное искажение длительности обрабатываемых сигналов и максимальную чувствительность, что в свою очередь позволяет увеличить длину участка ВОЛС без регенерации.

Приемный модуль OMTD-05-C-s конструктивно выполнен в металлокерамическом корпусе со штырьковыми выводами для эксплуатации в широком температурном диапазоне и для защиты от внешних электромагнитных помех и наводок (рис.7). Последний фактор весьма существенен, так как минимальные входные токи могут не превышать 10 нА. Модуль снабжен волоконно-оптическим адаптером типа pigtail с оптическим разъемом FC/PC. Основные параметры устройства:

Максимальная скорость передачи, Мбит/с ...	≤ 1
Длина волны, мкм	1,1...1,6
Максимальная пороговая чувствительность, дБм (нВт)	-43 (50)
Динамический диапазон входных сигналов, дБ	≤ 23
Напряжение питания, В	5 \pm 5%
Потребляемый ток, мА	≤ 10
Формат обрабатываемых сигналов	пакетный, одиночные сигналы

Таким образом, несмотря на продолжающийся бурный рост ВОЛС в области телекоммуникаций, не менее интенсивное развитие можно наблюдать и в других направлениях, связанных с волоконной оптикой. В первую очередь, это волоконно-оптические датчики, использующие особенности распространения света в волокне. Это и полностью оптические локальные сети. Большой круг задач решается с помощью достижений волоконной оптики при создании новых технологических процессов, использующих высокоэнергетические установки для средств мониторинга и развязки между исполнительными устройствами и системами управления. И, наконец, это всевозможные применения, использующие диэлектрические свойства волокна, такие как доставка энергии в недоступные места, волоконно-оптические светильники, медицинское оборудование и др. Обозначенный круг задач требует создания специализированных компонентов, отличных от используемых в сфере телекоммуникаций. Одно из таких решений и описано в данной статье. ●