

## АКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ВОЛС для систем связи с пакетной передачей

Н.Варава, С.Пронин, М.Никонов, НПФ "Оптоэлектронные технологии"

В ряде случаев возникает необходимость в передаче по ВОЛС сигналов на основе неуравновешенных кодов с неограниченным форматом. В статье представлен комплект волоконно-оптических модулей, предназначенных для решения этой задачи.

Достигнутый человечеством современный технологический уровень трудно представить без такого направления научно-технического прогресса, как волоконная оптика. Позволяя осуществить доставку больших информационных объемов с максимальной скоростью на значительные расстояния, волоконно-оптические системы связи в настоящее время, пожалуй, не имеют реальной альтернативы. К преимуществам данного типа систем необходимо отнести также высокую помехоустойчивость, обеспечивающую 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).

Начиная 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. В настоящее время существует достаточно широкий спектр компонентов для использования в ВОЛС, выпускаемых рядом 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.

Вышеуказанные телекоммуникационные потребности определили основные характеристики и параметры компонентной базы. Приоритетными здесь являются, как и в самих системах связи, параметры быстродействия и длина участка линии связи без регенерации. На сегодняшний день вполне освоенными можно считать скорости до 10 Гбит/с и участки без регенерации до 100 км. На сегодняшний день существуют 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 (LAN), так и имеющих глобальный характер (WAN). 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 охранных систем, использующие рамановское рассеяние в волокне при его деформации.

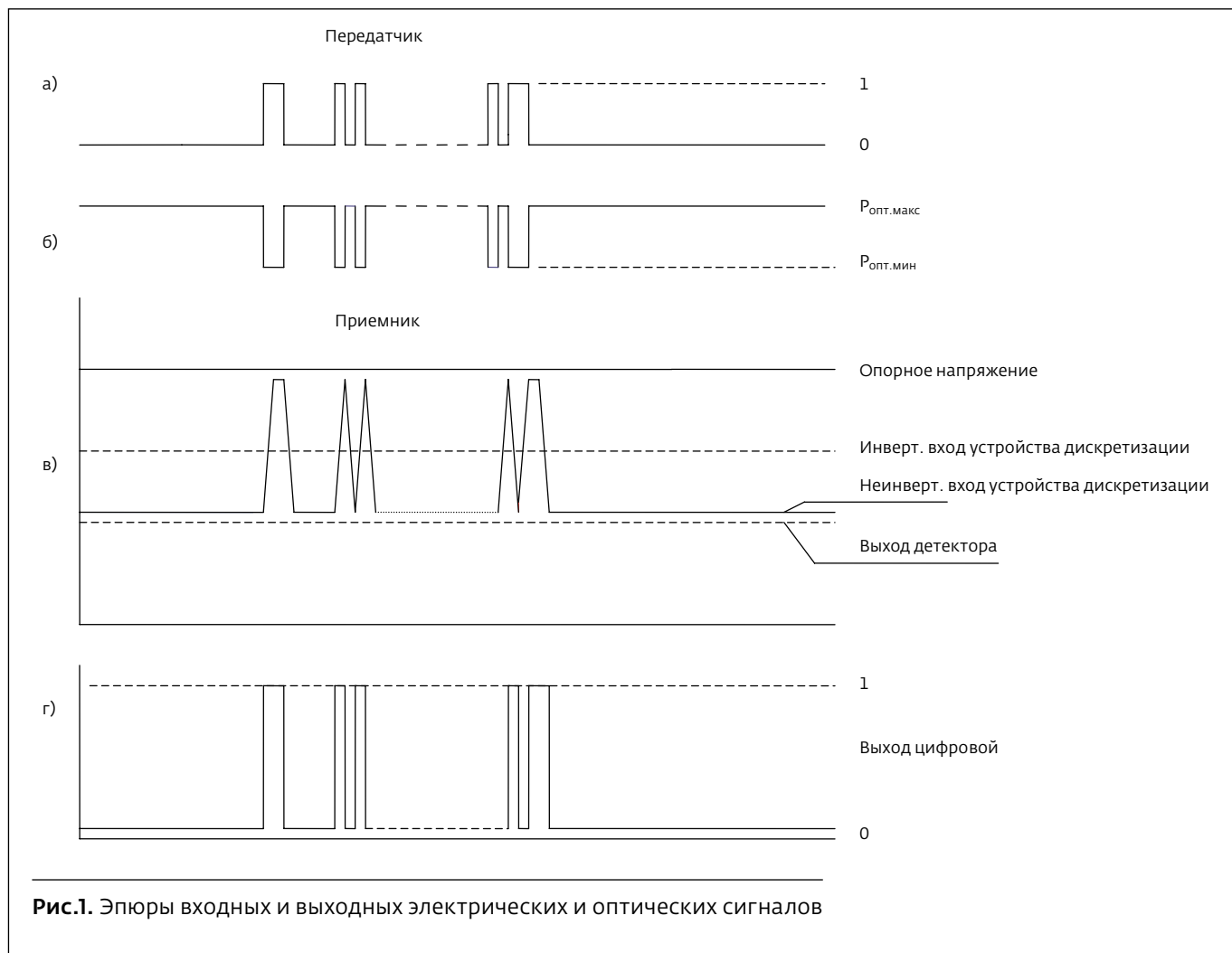
Использование вышеуказанных датчиков, как и в случае с телекоммуникационными задачами, требует и соответствующей компонентной базы для их обслуживания. Часто здесь, как, например, в случае с датчиками температуры, требуются фотоприемники с предельными параметрами чувствительности и излучатели с достаточно высокими значениями вводимой

в многомодовое оптическое волокно (ОВ) мощности и нормированной шириной спектра излучения. В настоящее время существует также насущная потребность 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 потреблением и возможностью транслировать информацию без дополнительного преобразования. Передаваемый сигнал может быть как аналоговым, так и цифровым, с использованием существенно-неуравновешенного кода. В данной статье описаны основные особенности разработки и практической реализации одного из вышеуказанных средств.

#### **МЕТОД ОБРАБОТКИ ТРАНСЛИРУЕМЫХ СИГНАЛОВ**

Как было отмечено в начале статьи, стремление к увеличению пропускной способности канала связи привело к появлению достаточно широкого ассортимента активных компонентов для ВОЛС, обеспечивающих данные требования. 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 связных 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 к созданию комплекта волоконно-оптических модулей на принципах, до этого не применявшихся в конкретных разработках, во всяком случае при использовании волоконных технологий.

Основными требованиями к данному комплекту являлись следующие:

- минимальное потребление модулей с возможностью их отключения;
- стабильная работа в широком температурном диапазоне от  $-40$  до  $60^{\circ}\text{C}$ ;
- 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 вышеперечисленных требований следует, что комплект должен осуществлять передачу неуравновешенных сигналов, в том числе одиночных, что определяет специфические требования к функционированию как передающего, так и приемного

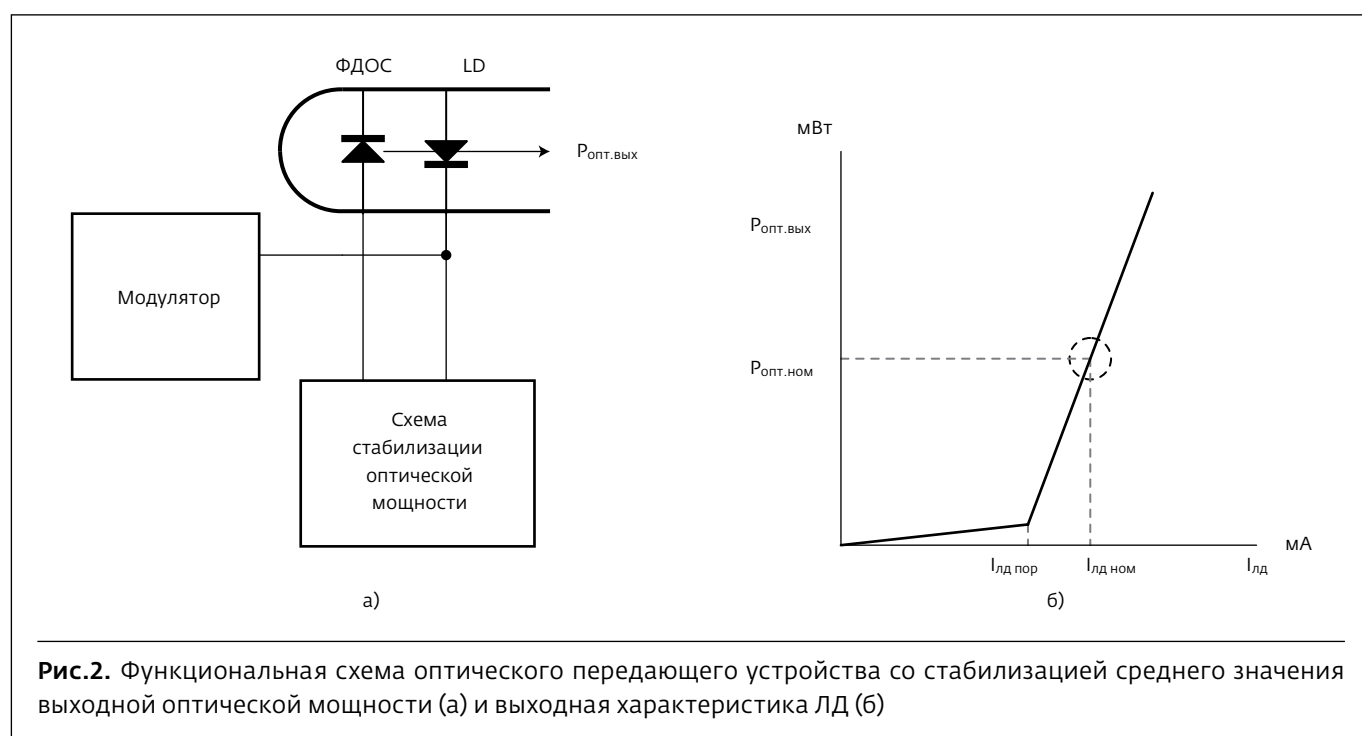
модулей. Передающий модуль должен осуществлять конвертирование электрических цифровых сигналов без ограничений их длительности и периода следования, т.е. без ограничения формата. Кроме этого, он должен иметь возможность при необходимости производить инверсное преобразование, что важно для реализации выбранного и реализуемого здесь метода обработки сигнала. Приемный модуль должен обладать способностью определять амплитуду сигнала на входе с целью правильной установки уровня срабатывания устройства дискретизации. Оно преобразует искаженные за счет дисперсии волокна и ограниченной полосы пропускания аналоговой части приемника сигналы в стандартные, с уровнями CMOS и допустимыми отклонениями по уширению. Чтобы реализовать вышеуказанные требования, наряду с определенными схемотехническими решениями был использован и определенный способ передачи. Основопологающие принципы выбранного метода обработки рассмотрим с помощью эппюра на рис.1.

Как видно из рис.1, входной прямой сигнал от исходного источника (эппюра "а") конвертируется в инверсный оптический в передатчике (эппюра "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

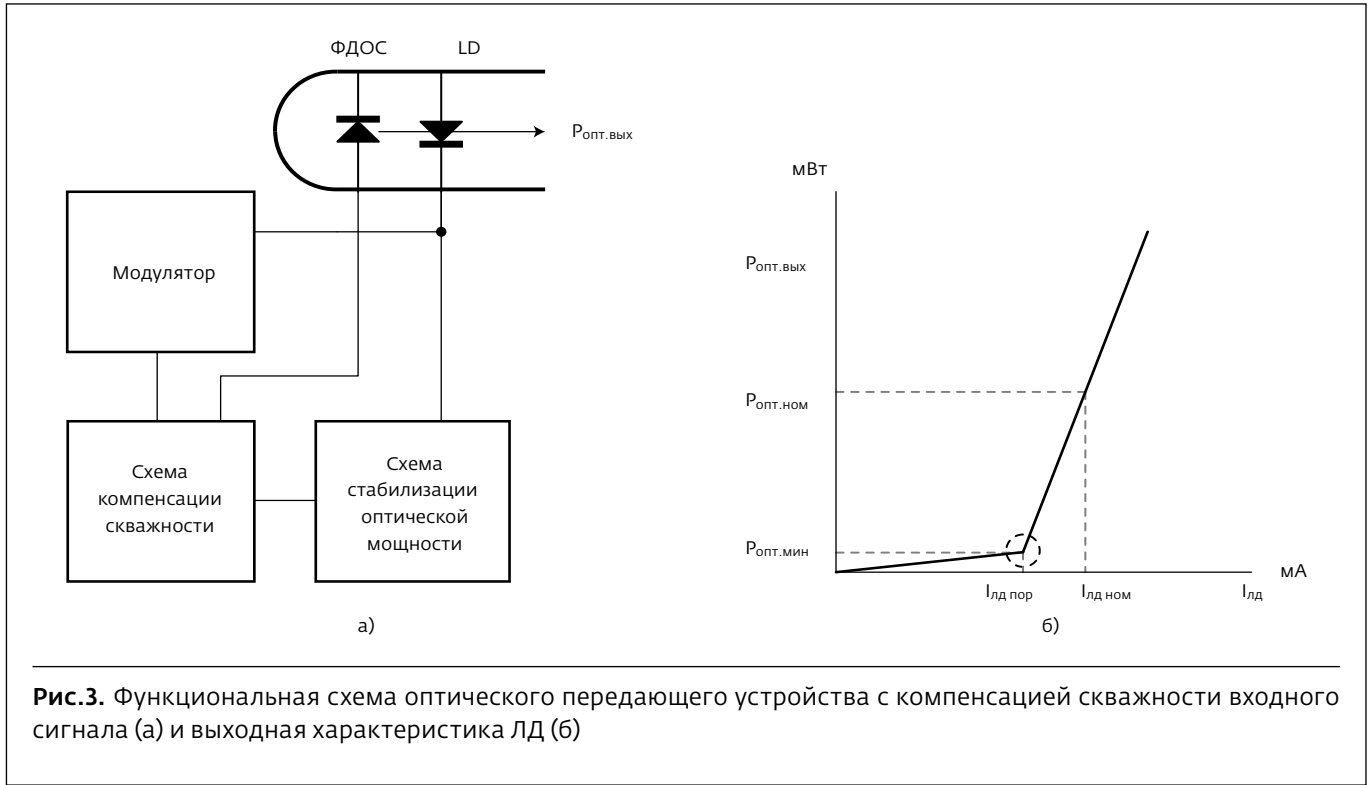
на входе приемника с помощью входящего в его состав детектора. На рис.1 изображены сигналы (эппюра "в"), поступающие на входы устройства дискретизации, с помощью которого происходит их преобразование к стандартному уровню. Эппюра "г" отображает сигнал на выходе приемника. Далее рассмотрим принципиально важные решения, принятые в процессе разработки составляющих частей комплекта.

### ПЕРЕДАЮЩАЯ ЧАСТЬ КОМПЛЕКТА

В первую очередь здесь необходимо отметить, что 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  $\geq 1$  мВт (0 дБм). В общем случае это не является принципиальным ограничением для выбранного способа функционирования. Для менее протяженных задач можно использовать источники лазерного излучения с длиной волны 1,3 мкм, а для многомодовых линий – светодиоды (LED). При использовании пассивных мультиплексоров и еще более протяженных линий возможно использовать одночастотные DFB-лазеры. Отметим также, что выпускаемая рядом фирм номенклатура интегральных микросхем для создания передающих устройств в основном предназначена для их использования в связанных задачах. Как правило, они дают возможность построения



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



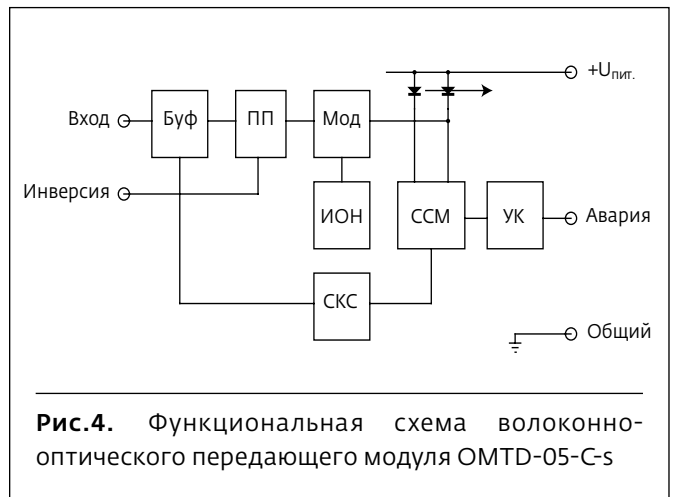
**Рис.3.** Функциональная схема оптического передающего устройства с компенсацией скважности входного сигнала (а) и выходная характеристика ЛД (б)

цифровых транслирующих устройств с использованием уравновешенных кодированных последовательностей на скорости  $\geq 155$  Мбит/с и отличаются повышенным потреблением по питанию. В нашем случае такой подход был неприемлем, так как заданный формат входных сигналов не ограничен.

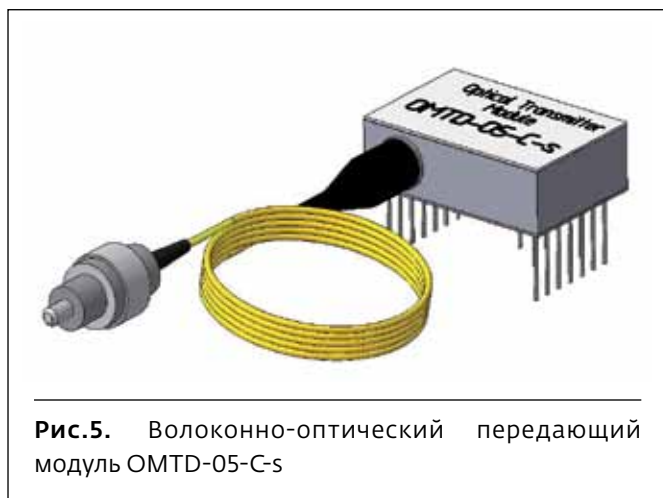
Основной фактор, препятствующий построению передающих устройств без ограничения формата на базе стандартных интегральных решений, обусловлен необходимостью стабилизировать режим лазерного диода в некоторой рабочей точке. Стабилизация осуществляется с помощью фотодиода обратной связи (ФДОС), входящего в состав лазерного излучателя и цепи отрицательной обратной связи (ООС), которая имеет некоторую постоянную времени. Так как изменение параметров лазерного диода (ЛД) в основном зависит от температуры, а тепловой процесс относительно медленный, цепь ООС имеет низкочастотный характер. Но, 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. В состав подавляющего числа стандартных решений передающих модулей для ВОЛС входит лазерный диод с фотодиодом обратной связи и интегральная микросхема, осуществляющая модуляцию тока накачки ЛД и стабилизацию выходной мощности. Упрощенная функциональная схема такого устройства и выходная характеристика ЛД, входящего в его состав, приведены на рис.2. Стабилизация выходной мощности осуществляется через ФДОС около некоторого среднего уровня  $P_{\text{опт.}}$  за счет отрицательной обратной связи.

Основной отличительной чертой при построении лазерного оптического передающего модуля



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



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

в нашем случае явилось изменение способа стабилизации выходной оптической мощности. Рабочая точка ЛД выбирается не в середине линейной части характеристики  $P_{\text{опт.}}(I_{\text{лд}})$ , как в случае стандартных решений, а в районе порогового значения  $I_{\text{лд}} = I_{\text{пор}}$ . При этом значение выходной мощности составляет около  $0,1 P_{\text{опт. ном}}$ . Упрощенная функциональная схема данного устройства и выходная характеристика ЛД представлены на рис.3. 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  $P_{\text{опт. мин}}$ .

Полная функциональная схема разработанного передающего модуля, имеющего товарное наименование OMTD-05-C-s, приведена на рис.4. В его состав входит буфер (Буф), в котором из входных уровней формируются сигналы, управляющие работой быстродействующего модулятора (Мод) и схемой компенсации скважности (СКС).

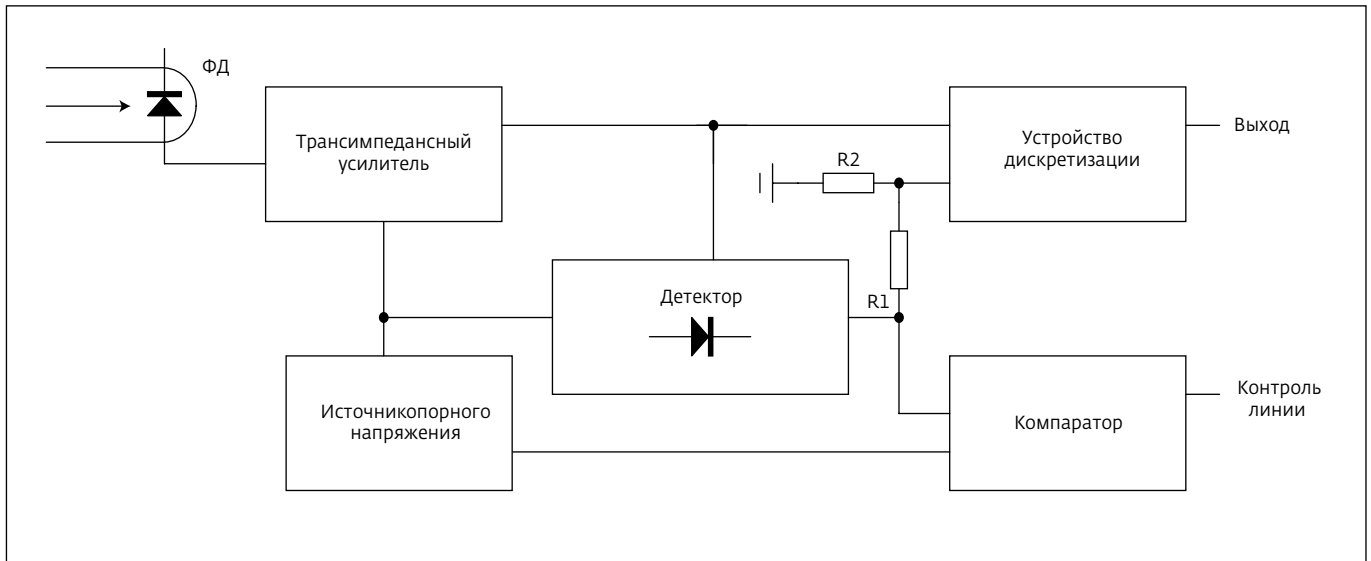
Также в его состав входит переключатель полярности (ПП) выходного оптического сигнала. Модулятор выполнен по схеме быстродействующего управляемого генератора тока. Амплитуда тока фиксируется с помощью термокомпенсированного источника опорного напряжения (ИОН). Схема стабилизации пороговой мощности (ССМ) 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, что позволило решить изначально поставленную задачу. В состав модуля введено также устройство контроля (УК), сигнализирующее о неисправности лазерного диода.

Передающий модуль OMTD-05-C-s 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. Внешний вид устройства приведен на 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 .....	$\leq 5$
Напряжение питания, В .....	+5
Ток потребления, мА .....	$\leq 60$
Температурный диапазон, °C .....	-40...60

#### ПРИЕМНАЯ ЧАСТЬ КОМПЛЕКТА

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



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

- 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 уровнем 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. Сюда же можно отнести также несколько меньший, чем у систем с АРУ, динамический диапазон входных сигналов приемника, составляющий  $\leq 23$  дБ.

Реализованное схемное решение фотоприемника для использования его в комплекте с передающим модулем OMTD-05-C-s имеет коммерческое название OMRD-05-C. Функциональная схема представлена на рис.6.

В его состав входит pin-фотодиод, трансимпедансный линейный усилитель, детектор и устройство дискретизации по уровню. Дополнительно включен источник опорного сигнала (ИОН) и компаратор наличия сигнала в линии. Как уже отмечалось, для работы комплекта, состоящего 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 металлостеклянном корпусе



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

со штырьковыми выводами для эксплуатации в широком температурном диапазоне и для защиты от внешних электромагнитных помех и наводок. Последний фактор имеет существенное значение, так как минимальные входные токи могут составлять величину  $\leq 10$  нА. Модуль снабжен волоконно-оптическим адаптером типа pigtail с оптическим разъемом FC/PC. Внешний вид устройства приведены на рис.7. Основные параметры устройства:

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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. Это также построение полностью оптических локальных сетей. 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. ■