

## АКТИВНЫЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ для ЛВС и специализированных применений

Часть 1

Н.Варава, С.Пронин, М.Никоноров, компания "Оптоэлектронные технологии", info@optotech.ru

Рассматривается состояние рынка активной компонентной базы для локальных волоконно-оптических сетей связи, как информационных, так и используемых в различных технологических процессах. Дается анализ существующих решений приемных и передающих оптических модулей как импортного, так и отечественного производства. Представлены результаты практической реализации этих решений.

### Основные положения

Волоконно-оптические технологии, стремительное развитие которых во второй половине прошлого века привело к созданию систем связи альтернативных обычным "проводным", в настоящее время все чаще используются и в других областях электронной техники. В первую очередь, это различные объектовые системы межинтерфейсного обмена, организация управления технологическими процессами, прием и передача статусных сигналов и многие другие применения, в которых использование оптического волокна обеспечивает существенные преимущества по сравнению с традиционными средствами коммуникаций, как проводными, так и беспроводными. Основными преимуществами линий связи, выполненных с использованием оптических волокон, являются следующие:

- низкое собственное затухание и отсутствие внутренних помех;

- широкополосность;
- невосприимчивость к электромагнитным воздействиям и отсутствие собственного излучения;
- диэлектрические свойства волокон и их устойчивость к воздействию различных агрессивных сред;
- относительная сложность несанкционированного доступа;
- простота согласования с активными компонентами ВОЛС волоконно-оптических кабелей (ВОК).

Функционально ВОЛС для рассматриваемых применений состоит из пассивной части и активных компонентов. К пассивной части относятся непосредственно ВОК определенной протяженности и с различным типом оптических волокон, а также весь арсенал сопутствующих компонентов, таких как оптические разъемы, разветвители, оптические переключатели,

аттенюаторы, мультиплексоры, циркуляторы и др. Активную часть ВОЛС составляют приемные и передающие устройства, выпускаемые как в виде одиночных экземпляров полупроводниковых светодиодов, лазерных диодов, фотодиодов, так и законченных волоконно-оптических модулей. Они отличаются друг от друга различными длинами волн оптического спектра, выходной оптической мощностью, чувствительностью, быстродействием, форматом обрабатываемых сигналов, принципами обработки сигналов для решения задач конкретных применений.

Необходимо отметить, что для решения задач связи на большие расстояния существует достаточно большое количество активных компонентов, интегрирующих в своем составе оптические элементы и схемы, выполняющие функции согласования и сервиса. Как правило, рынок таких изделий очень обширен и по этой причине занят несколькими крупными импортными производителями, выпускающими весь спектр необходимых средств. Для решения же специализированных задач внутри ограниченного объекта с применением волоконных

технологий требуются, как правило, активные компоненты, способные работать в режимах, отличных от используемых в связных протоколах. Это может быть и передача статусных сигналов, информации в виде отдельных пакетов и других существенно неуравновешенных последовательностей. Задачи согласования электрического интерфейса с одиночными компонентами ВОЛС, такими как светодиоды (LED), лазерные диоды (LD), фотодиоды, интегральные приемники (фотодиод + предусилитель), для достижения определенного набора выходных оптических параметров решаются непосредственно разработчиком в процессе создания системы, что требует от него специальных знаний, а также наличия технологических и метрологических средств.

В тоже время для выполнения задач связи с использованием ВОЛС внутри ограниченных по протяженности объектов, как показывает анализ существующих конкретных систем, нет необходимости в активных компонентах отличающихся предельными значениями пороговой чувствительности у приемных устройств и максимальными значениями выходной оптической

мощности для передающих, так как затухание оптического излучения в современных волокнах в зависимости от их типа и используемой длины волны составляет от единиц до десятых долей децибел на километр.

По этой причине для большинства существующих систем вполне достаточен оптический бюджет около 20 дБ. При определении требований к компонентам ВОЛС данного класса необходимо отметить, что информация в таких системах, как правило, транслируется в виде пакетов, одиночных сигналов и даже уровней, то есть имеет неограниченный формат. Достаточно часто в этих системах существует потребность в минимизации собственного потребления, что, в свою очередь, определяет не только выбор типа активных компонентов ВОЛС, но и отказ от дополнительного кодирования транслируемой информации.

До недавнего времени решение подобных задач осуществлялось с помощью оптических компонентов, разработанных рядом компаний, таких как Hewlett-Packard, Avago Technologies и др., более 10 лет назад, и в настоящее время их использование в современных разработках не является, по нашему мнению, оптимальным. В изделиях вышеуказанных фирм в качестве источника оптического излучения используется светодиод с достаточно большим током накачки (десятки мА) для получения оптической мощности 10÷50 микроватт. А это, в свою очередь, требовало создания приемника с пороговой чувствительностью 0,1÷0,5 мкВт. С созданием новых VCSEL-лазерных структур, характеризующихся малыми значениями тока накачки (3÷15 мА) для получения оптической мощности в несколько мВт, появилась

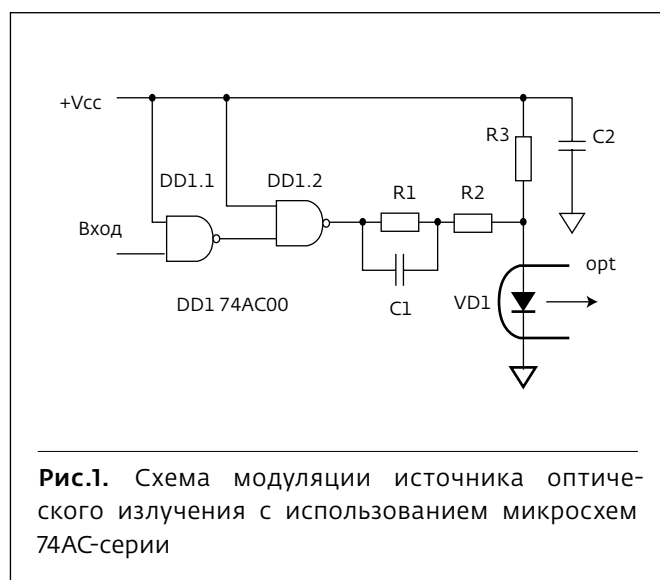
возможность создания приемников с низкой чувствительностью, но обладающих высокой помехоустойчивостью и низким потреблением. Анализ современных достижений в области полупроводниковой оптоэлектроники показывает, что в настоящее время для дальнейшего внедрения волоконно-оптических технологий в электронные системы связи и управления требуются функционально законченные активные компоненты ВОЛС с набором некоторых специфических свойств, а именно:

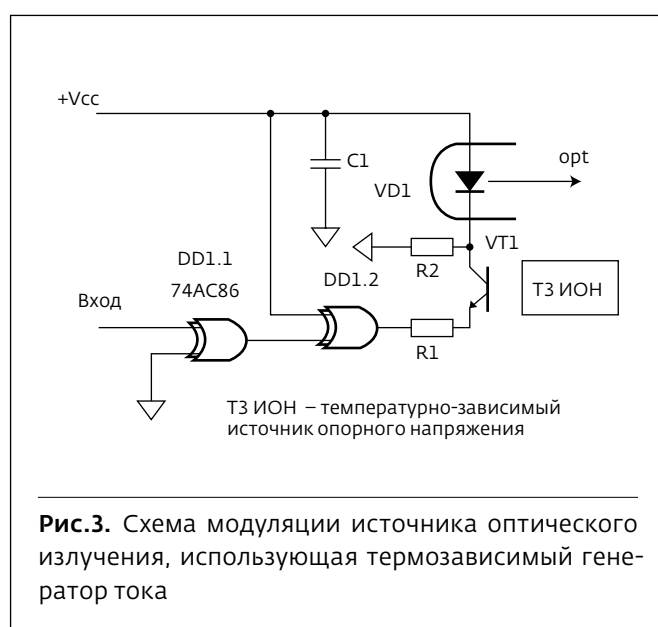
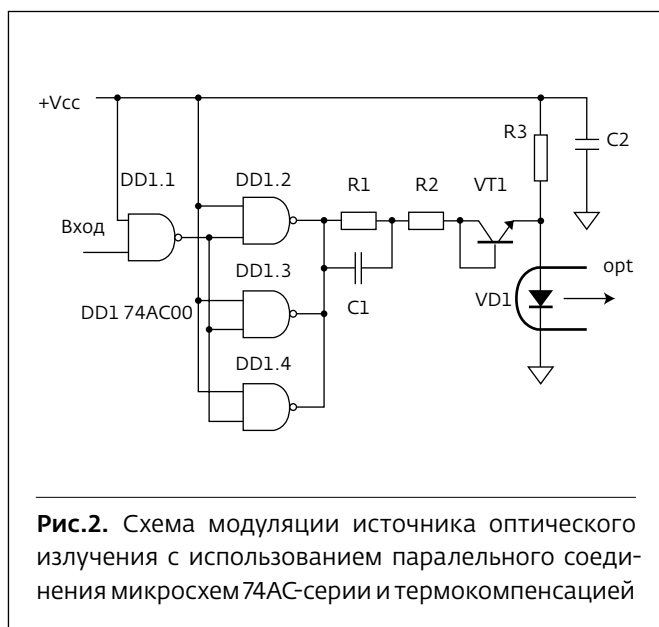
- отсутствием ограничения на формат транслируемых сигналов (одиночные, постоянные, пакетные сигналы, инверсные и др.);
- минимальным потреблением по цепям питания при реализации необходимой скорости передачи информации;
- согласованием как по электрическим, так и по оптическим стандартным интерфейсам (уровни стандартной логики, длина волны оптического излучения, характеристики ВОК, динамический диапазон и прочие);
- достаточной стабильностью основных параметров активных компонентов в указанных диапазонах эксплуатации;
- минимальными габаритными размерами корпусов компонентов, их коррозионностойкостью, высокой степенью электромагнитной защиты, возможностью применения различных типов стандартных оптических разъемов.

Поиск возможных решений при создании подобных компонентов, а также достаточно большой опыт конструирования специализированных изделий в этой области позволяет нам утверждать, что соединить вышеуказанные качества в одном комплекте, состоящем из приемного и передающего модулей, оптимальным способом не представляется возможным. Результаты анализа существующих решений и их конкретная реализация в разработанных нашим предприятием изделиях для использования в специализированных ВОЛС изложены в данной статье.

## Активные передающие модули для применения в специализированных ВОЛС

При создании активных передающих модулей для объектовых ВОЛС в настоящее время используются в основном светоизлучающие диоды (LED) и полупроводниковые лазерные диоды (LD) с длинами волн оптического излучения 0,85, 1,3, 1,55 мкм, что соответствует окнам "прозрачности" в кварцевых оптических волокнах используемых в системах передачи информации. Эти излучающие





элементы поставляются достаточно большим количеством фирм в герметичных микрокорпусах типа TO-18, TO-46, TO-56 и др., которые снабжены микрооптикой для целей эффективного и безопасного размещения их в оптическом разъеме. В технологическом процессе они юстируются в корпусе оптического разъема относительно накопника ВОР, входящего в состав ответной части разъема. После юстировки с точностью нескольких микрон оптический элемент фиксируется одним из возможных способов.

Так как лазерные диоды обладают сильной зависимостью своих параметров от температуры окружающей среды, то они часто поставляются со встроенным фотодиодом обратной связи, который используется для стабилизации уровня выходной оптической мощности. Это улучшает стабильность выходных параметров оптических модулей, но требует усложнения схемных решений и, соответственно, увеличения габаритных размеров и потребляемой мощности. Кроме этого, как правило, из-за разброса электро-оптических характеристик лазерных диодов требуется индивидуальная настройка каждого изделия.

Один из наиболее простых способов модуляции оптического излучения с достаточно большим быстродействием может быть реализован с помощью микросхем серий 74АС, 74АСТ или отечественных 1554, 1594. Упрощенная схема такого модулятора приведена на рис.1. Выход микросхемы подключен через резисторы R1, R2 непосредственно к аноду LED или LD. С помощью

резистора R3 осуществляется начальное смещение полупроводникового диода с целью выхода на линейный участок характеристики оптическая мощность – ток. Конденсатор C1 осуществляет высокочастотную коррекцию переходной характеристики. Так как прямое падение напряжения на диоде с увеличением температуры уменьшается, то происходит некоторая компенсация уменьшения оптической мощности за счет увеличения прямого тока.

Для увеличения значения модулирующего тока через светоизлучающий элемент возможно параллельное соединение выходов микросхем, а для более эффективной температурной компенсации последовательно со светоизлучающим элементом включается полупроводниковый диод или транзистор с малым временем восстановления. Пример такого включения приведен на рис.2.

К достоинствам такого способа модуляции можно отнести минимальное значение потребляемой энергии на единицу оптической мощности. Если не использовать начальное смещение для излучателя, то потребляемый ток в паузе определяется характеристиками применяемой логической микросхемы и может составлять при комнатной температуре несколько мкА. При этом полностью в паузе отсутствует оптическое излучение. К недостаткам данного метода относится зависимость тока модуляции от напряжения питания, что требует стабилизации последнего.

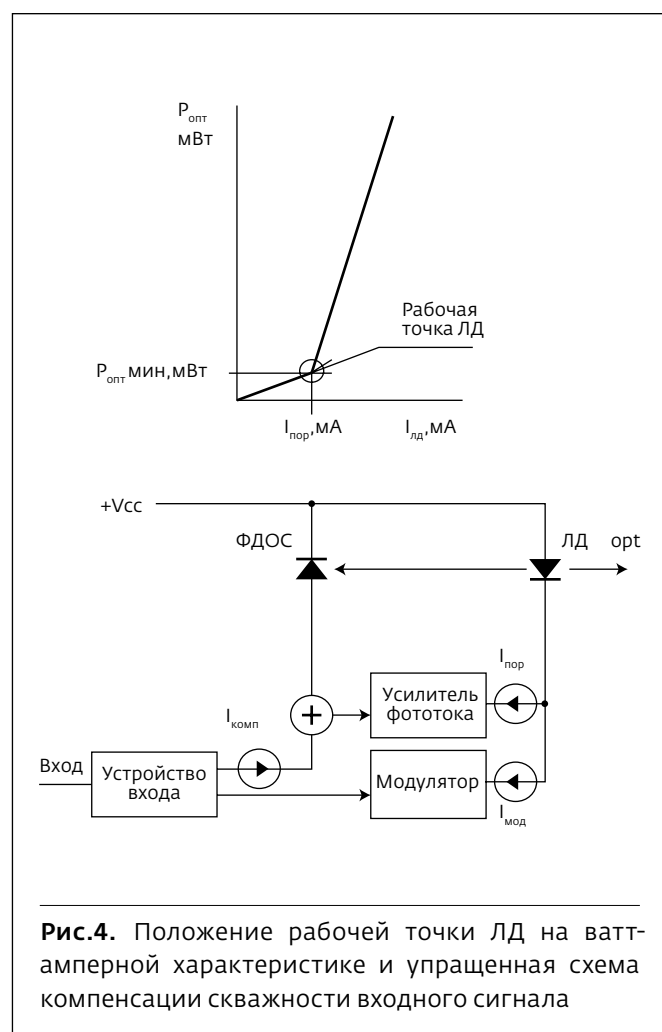
Способ модуляции по схеме, указанной на рис.2 использован в разработанном нами конкретном изделии ОМТД-03. В качестве оптического излучателя в нем использован лазерный высокоскоростной VCSEL диод с длиной оптического излучения 0,85 мкм. Модуль имеет оптический разъем типа ST и рассчитан для применения в системах, использующих многомодовое волокно (ММФ) с диаметром 62,5/125. Конструктивно модуль выполнен в металлическом корпусе с использованием стандартного основания типа 151.15-8 ПАЯ4.880.011-01. Данное изделие наиболее часто используется в качестве источника оптического излучения в волоконно-оптических оптронах, оптореле, а также в системах запуска и синхронизации.

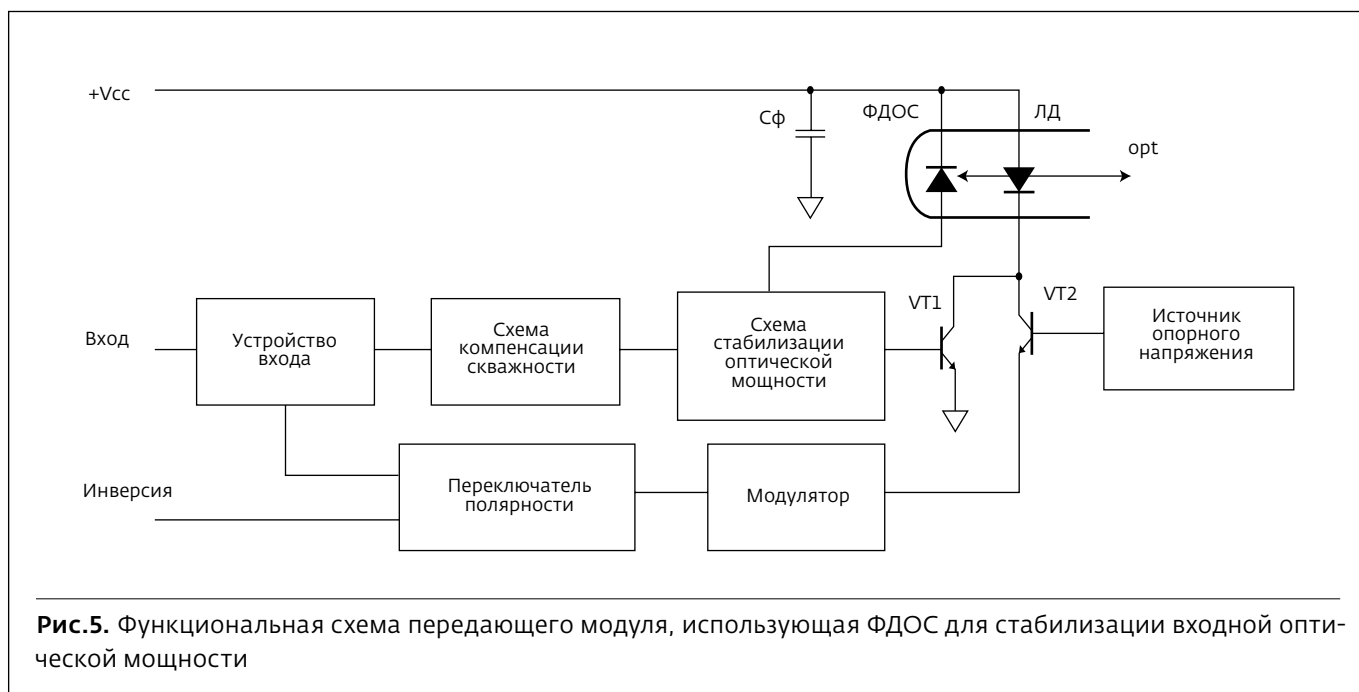
С целью снижения зависимости выходной оптической мощности от напряжения питания, а также для температурной компенсации при использовании различных типов оптических излучателей может быть использована

схема модуляции, изображенная на рис.3. Здесь ток через излучающий элемент стабилизирован с помощью генератора тока на транзисторе VT1 и не зависит от напряжения питания. Величина и характер температурной компенсации тока генератора в зависимости от типа используемого излучающего элемента определяется параметрами температурно-зависимого источника опорного напряжения (ТЗ ИОН).

Приведенная на рис.3 схема является наиболее приемлемой для модуляции как LED, так и LD, не использующих встроенные элементы в виде фотодиодов обратной связи (ФДОС) для стабилизации своих оптических характеристик. Для многих применений стабильность этих характеристик является приемлемой во всем диапазоне эксплуатации. Формат сигналов для модулей, построенных с использованием подобных схем неограничен, и поэтому они могут быть использованы как для целей связи, так и при передаче одиночных, пакетных сигналов и статусных сигналов. Подобное схемотехническое решение было нами применено при разработке электрооптического модуля ОМТД-01-м, использующего в качестве излучателя LED на длину волны 1.33 мкм. Передающий модуль ОМТД-02 разработан с применением таких же решений, но в качестве источника оптического излучения использован ЛД с длиной волны 0.85 мкм. Оба модуля предназначены для работы с многомодовым волокном с диаметром 62,5/125мкм. Конструкция их аналогична конструкции ОМТД-03. Так как в схеме используется дополнительно генератор тока и источник опорного напряжения то потребление по цепям питания по понятным причинам у этих изделий несколько выше. Модуль ОМТД-02 имеет оптический разъем типа ST, а ОМТД-01-м – типа FC.

Дальнейшее усложнение схемотехнических решений при создании передающих волоконно-оптических модулей связано с использованием ФДОС входящего в состав лазерных модулей. Применение этих элементов для целей стабилизации оптических параметров позволяет обеспечить их высокую стабильность, как в температурном диапазоне, так и во временном интервале (в течении срока службы). Однако вследствие существенного разброса параметров отдельных лазерных модулей (ЛД+ФДОС), поставляемых производителем, требуется их индивидуальная настройка в составе законченного изделия. Схемотехническое решение здесь

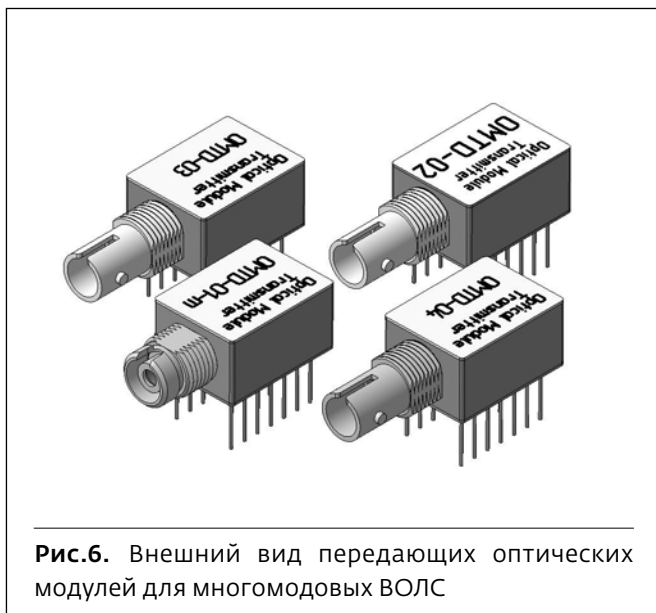




должно обеспечивать возможность автоматической компенсации изменения скважности входных сигналов, имеющих неограниченный

формат. По этой причине рабочая точка лазерного диода выбирается не в середине линейной части ватт-амперной характеристики,



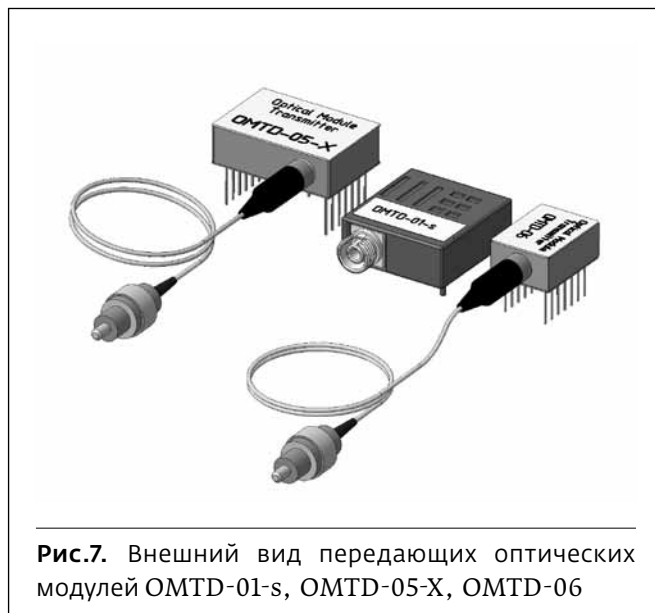


**Рис.6.** Внешний вид передающих оптических модулей для многомодовых ВОЛС

а в характерной точке, в которой происходит переход от "суперлюминесцентного" режима в "лазерный". В параметрах лазерных диодов это т.н. "пороговый ток". Фототок ФДОС и ток от схемы компенсации скважности суммируются с разными знаками на входе усилителя фототока, который включен в петлю отрицательной обратной связи между фотодиодом и лазерным диодом.

Такое решение обеспечивает возможность обработки сигналов любого формата с одновременной стабилизацией положения рабочей точки ЛД. Упрощенная схема поясняющая принцип компенсации скважности и положение рабочей точки на ватт- амперной характеристике представлена на рис.4. В некоторых, случая для ответственных решений, схемы модулей данного класса содержат устройства индикации и сервиса (пороговый ток ЛД, уровень оптической мощности, авария ЛД и др.), хотя надежность современных полупроводниковых лазеров в настоящее время достигла такого уровня, что необходимость в данных устройствах вызывает сомнение. Функциональная схема передающего оптического модуля, соответствующая вышеперечисленным требованиям приведена на рис.5. Примером конкретных изделий, в которых реализованы вышеперечисленные решения, могут служить оптические передающие модули OMTD-04, OMTD-06.

OMTD-04 предназначен для применения в системах передачи информации использующих многомодовые ОК с диаметром световода



**Рис.7.** Внешний вид передающих оптических модулей OMTD-01-s, OMTD-05-X, OMTD-06

62.5/125 мкм. В состав модуля входит полупроводниковый лазерный диод (VCSEL) со встроенным фотодиодом обратной связи. Длина волны оптического излучения  $\lambda=0.85$  мкм. Модуль снабжен оптическим разъемом типа ST и имеет герметичный металлический корпус со штырьковыми выводами.

Выходная оптическая мощность в данном типе модулей может составлять до 4 мВт (+6 дБм), время нарастания фронта оптического излучения – около 2,5 нс.

Волоконно-оптические передающие модули OMTD-01-m, OMTD-02, OMTD-03 и OMTD-04 выполнены в едином конструктиве и образуют группу изделий для использования в многомодовых применениях (MMF). Внешний вид их представлен на рис.6.

OMTD-06 разработан для систем, использующих одномодовые (SMF) ВОК 9/125 мкм, и содержит в своем составе полупроводниковый (Фабри-Перо) лазерный диод с длиной волны оптического излучения  $\lambda=1,3$  мкм и со встроенным ФДОС. Оптическое соединение осуществляется при помощи отрезка (пигтейла) оптического кабеля диаметром 0,9 мм, оконцованного вилкой типа FC. Конструктивно модуль оформлен в металлическом герметичном корпусе со штырьковыми выводами. Выходная мощность (амплитудное значение) составляет 1 мВт (0 дБм), время переходной характеристики составляет около 2,5 нс.

Еще два изделия, входящие в группу модулей для использования с волокнами SMF,

в которых используется стабилизация оптической мощности при помощи ФДОС, представлены модулями OMTD-01-s и OMTD-05. Оба модуля имеют встроенную систему контроля исправности ЛД, выход которой выполнен по схеме с открытым коллектором (ОК). Модуль OMTD-01-s работает на длине волны  $\lambda=1,3$  мкм и выполнен в пластиковом стандартном корпусе  $9 \times 1 \text{ pin}$  и имеет оптический разъем FC. Оптические характеристики аналогичны характеристикам передающего оптического модуля OMTD-06.

Оптический модуль OMTD-05 разработан для передачи сигналов без ограничения формата на большие расстояния. Модификация OMTD-05-15 в своем составе имеет ЛД с длиной волны  $\lambda=1,55$  мкм (возможно использование одночастотных ЛД (DBF)). Оптическая мощность (амплитудное значение) составляет 2 мВт (+3 дБм). Модуль имеет вход инверсии выходного оптического сигнала, что позволяет часто подключать к нему выход микроконтроллера без дополнительного согласования. Оптическое соединение с ВОЛС осуществляется с помощью пигтейла диаметром 0,9 мм, оконцованного вилкой типа FC. Конструктивно модуль

выполнен в металлическом корпусе с использованием стандартного основания типа 155.15-2 ПАЯ4.880.007-02. Внешний вид модулей OMTD-01-s, OMTD-05-X и OMTD-06 представлен на рис.7.

Более подробная информация по основным принципам функционирования и применению передающих модулей OMTD-01-s и OMTD-05 изложена в работах [1], [2]. В заключение отметим, что с помощью представленного ряда оптических передающих модулей в сочетании с приемными модулями, представленными в части 2 статьи, могут быть решены практически любые задачи при построении объектовых систем связи и управления с высокими эксплуатационными характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Варава Н., Никоноров М., Пронин С.** Активные компоненты ВОЛС для обработки сигналов произвольной длительности // Первая миля. 2011. № 2. С. 32–34.
2. **Варава Н., Пронин С., Никоноров М.** Активные компоненты ВОЛС для систем связи с пакетной передачей // Первая миля. 2013. № 2. С. 66–73.



