

К. т. н. А. А. МЕРЖВИНСКИЙ, д. т. н. В. И. ОСИНСКИЙ,
 д. т. н. А. В. ПАЛАГИН, к. т. н. В. Г. ВЕРБИЦКИЙ,
 А. А. ВОРОНЬКО, П. А. МЕРЖВИНСКИЙ, П. В. БЕЛАШ,
 Ю. И. СИБРИН, С. П. ОСТАПЧУК

Украина, г. Киев, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова,
 НИИ микроприборов, ОАО ЭЛМИС
 E-mail: merg@carrier.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
 03.09 2001 г.

Оппоненты
 д. т. н. В. А. БАГАЦКИЙ
 (ИК им. В. М. Глушкова, г. Киев),
 к. т. н. В. И. КОРНЕЙЧУК
 (ОНАС им. А. С. Попова, г. Одесса)

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

Приведены цели проектирования и альтернативные методы их достижения, показаны направления интеграции схемотехнических и конструктивных узлов.

Оптические передающие и приемные устройства находят все более широкое распространение в аппаратуре передачи информационных потоков. Применению их в украинских разработках препятствуют большая цена либо недостаточная надежность и большие габариты приемопередатчиков, доступных по цене. Выход — в разработке и производстве собственных конкурентоспособных изделий.

При синтезе волоконно-оптических модулей для применений в цифровых линиях телекоммуникаций и локальных компьютерных сетях должны быть определены:

- тип и параметры излучателей и фотоприемников;
- функции и параметры электронных аналоговой и цифровой частей;
- функции и параметры оптической части;
- параметры элементов применительно к передаваемым информационным потокам.

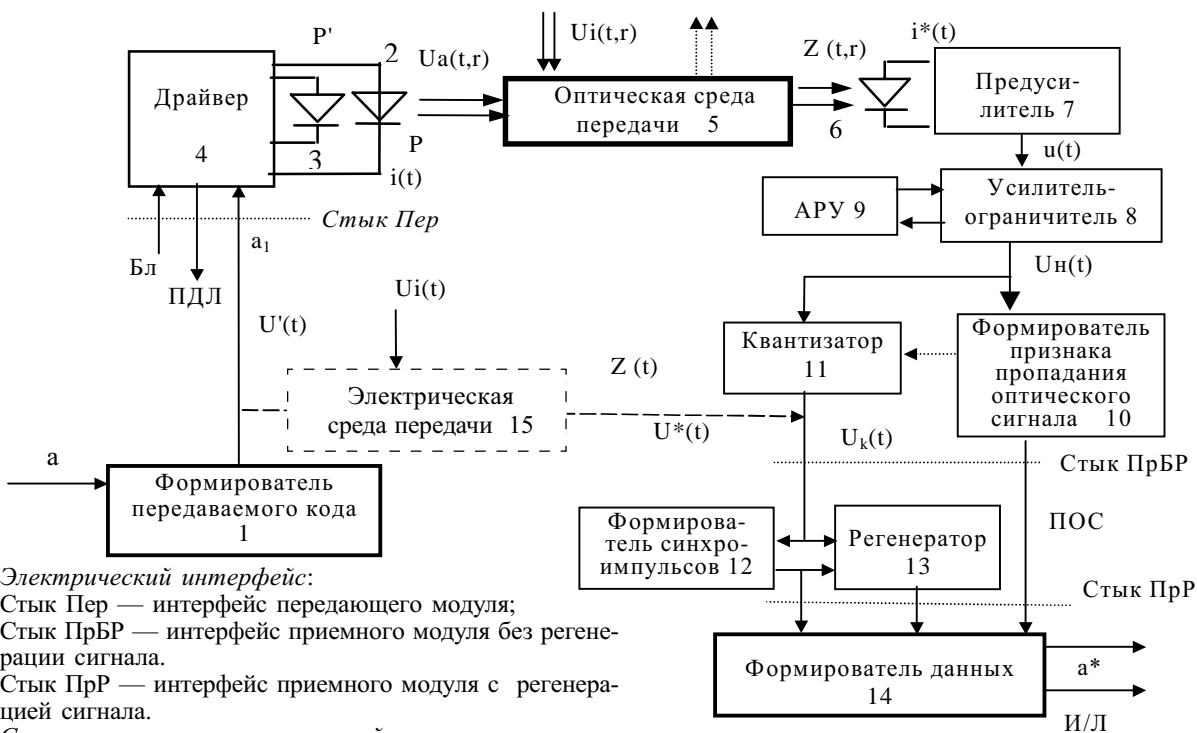
Базовые компоненты модулей ВОЛС

Базовые компоненты могут быть выделены из сравнительного рассмотрения последовательных электрического и оптического каналов передачи информации. На схеме **рис. 1** показаны следующие узлы.

Формирователь передаваемого кода (1).

Функции преобразования сообщения a , поступающего на вход формирователя:

- формирование кода, пригодного для передачи по линии связи;



Электрический интерфейс:

- Стык Пер — интерфейс передающего модуля;
- Стык ПрБР — интерфейс приемного модуля без регенерации сигнала.
- Стык ПрР — интерфейс приемного модуля с регенерацией сигнала.

Сигналы, используемые системой управления сетью:

- Бл — блокировка излучения;
- ПДЛ — признак деградации лазера;
- ПОС — признак отсутствия оптического сигнала;
- И/Л — сообщение истинно или ложно.

Рис. 1. Сравнительная схема передачи сообщений по оптическому и электрическому цифровым каналам связи

— обеспечение контроля ошибок при передаче сообщения;

— обеспечение передачи информации только к адресату.

Тип применяемого цифрового кода определяется особенностями драйвера (4), оптической среды передачи (5) и приемника.

Излучатель (2). Преобразование (ЭО) электрических сигналов $i_{\text{вх}}(t)$ в оптические $P_{\text{вых}}(t)$ реализуется с помощью лазерного диода (ЛД) либо светодиода.

Фотоприемник (3) контроля уровня оптической мощности излучателя 2. Осуществляет обратное (ОЭ) преобразование $i_{\text{вых}}(t)=f(P(t))$.

Драйвер (4) осуществляет преобразования выходных сигналов формирователя 1, представленных напряжениями стандартных электрических сигналов ТТЛ- либо ЭСЛ-уровней в сигналы в виде электрического тока, определяемого ватт-амперной характеристикой излучателя.

Оптическая среда передачи (5) включает оптические узел ввода излучения в оптоволокно, соединители, оптоволокно, узел вывода излучения в фотоприемник.

Оптические сигналы представляют собой электромагнитную волну. Таким образом, сигнал можно рассматривать как функцию $U_a(t, r)$ времени t и пространственной координаты $r=(r_1, \dots, r_n)$. Подобные сигналы, в отличие от электрических сигналов в виде функций одного аргумента (времени), получили название *пространственно-временных сигналов или полей* [1]. Сигнал в форме электромагнитного поля может также иметь несколько поляризационных компонент, по-разному взаимодействующих с оптической средой передачи, и его следует рассматривать как вектор:

$$U_a(t, r)=[u_{a1}(t, r), \dots, u_{am}(t, r)]^T. \quad (1)$$

В случае организации на одном оптоволокне цифрового тракта по принципу частотного уплотнения (WDM) в 5 присутствуют пассивные оптические смесители (мультиплексоры) и демультиплексоры. Введение этих блоков приводит к дополнительным затуханиям и отражениям, а сигналы других каналов по отношению к данному рассматриваются как помехи $U_i(t, r)$.

Фотоприемник (6) обычно выполнен на $p-i-n$ -диоде и обеспечивает преобразование $i_{\text{вых}}(t)=f(p_{\text{вх}}(t))$, где $p_{\text{вх}}$ — мощность оптического сигнала, попадающая на $p-i-n$ -диод.

Предусилитель (7) обеспечивает преобразование фототока в выходное напряжение $u(t)=f(i_{\text{вх}}(t))$. Основное назначение — обеспечение приемлемого соотношения сигнал/шум.

Усилитель-ограничитель (8) усиливает электрические сигналы до уровня, достаточного для обработки сигналов. Усилители могут отличаться пропускаемой полосой частот: усилители постоянного тока — от 0 до f (dc -усилители) и переменного тока — от f_1 до f_2 (ac -усилители).

Схема АРУ (автоматической регулировки усиления) (9) введена в связи с возможностью достаточно большого разброса уровней оптических сигналов на выходе линии. Предусилитель и усилитель-ограничитель должны обеспечивать работу с допустимым коэффициентом ошибок с учетом возможного их диапазона (определяемого разбросами мощности излучателя и затухания конкретной линии).

Формирователь признака пропадания оптического сигнала (10) используется для диагностики обрыва либо недопустимого увеличения затухания оптоволокна.

Квантизатор (11) осуществляет регенерацию двоичного сигнала по амплитуде, но не во времени. Решение о принятии нулевого либо единичного уровней осуществляется пороговой схемой квантизатора.

Формирователь синхроимпульсов (12) на основании последовательности информационных импульсов формирует синхроимпульсы (clock-recovery), определяющие положение тактовых интервалов. Синхроимпульсы поступают также в формирователь данных 14 и вонне.

Регенератор (13) по синхроимпульсам осуществляет стробирование информационных импульсов и восстанавливает их положение в пределах тактового интервала.

Формирователь данных (14) осуществляет декодирование сообщения соответственно алгоритмам кодирования в формирователе 1.

Электрический канал (15) приведен на рис. 1 как альтернатива оптическому. При отсутствии существенного ослабления в линии передачи электрические сигналы подаются непосредственно в 12 и 13. В противном случае могут устанавливаться выходные формирователи и входные усилители.

Обобщенные функциональные требования к приемному модулю

В среде распространения 5 сигналы также подвергаются действию различного рода искажений и помех, в результате чего на вход фотоприемника поступает поле

$$Z(t, r)=[z_1(t, r), \dots, z_p(t, r)]^T, \quad (2)$$

которое отличается от прямой части переданного $U_{\text{ап}}(t, r)$, т. е. в общем случае $a \neq a^*$. Правдоподобность может уменьшаться при увеличении скорости передачи из-за увеличивающегося влияния *отражений* от менее крупных оптических элементов. Принадлежность сигнала определенному сообщению в месте приема, в отличие от места передачи, априорно неизвестна. Установить его — вторая задача приемника ВОЛС.

В результате соответствующей обработки сигналов поля $Z(t, r)$ приемник должен выдать пользователю решение И/Л о принятом сообщении a^* (*истинно или ложно*). Достаточно информативным признаком, определяющим истинность или ложность сообщения, является уровень мощности оптического сигнала на входе приемника. В простейшем случае формируется логический сигнал: *признак пропадания оптического сигнала* (ПОС).

Сигнал ПОС может трактоваться двояко:

— как признак достоверности принимаемых данных (при превышении значения достоверности некоторого номинального уровня);

— как признак некоторого состояния устройства — наличия оптического сигнала на входе приемного модуля (при превышении оптическим сигналом некоторого минимального уровня).

При формировании ПОС, например, могут осуществляться, соответственно, следующие операции:

— блокировка сигналов выхода приемного модуля;

— формирование "сигнала прерывания" для системы управления сетью.

Методы улучшения параметров модулей ВОЛС

Расширение области применения выпускаемых модулей в существенной степени определяется возможностью улучшения их параметров. Характерные технические решения приведены в **табл. 1**.

Выбор элементной базы

Излучатель. Обычно в качестве излучателя используются лазерный диод AlGaAs/GaAs для $\lambda=0,85$ мкм (1-е окно прозрачности) и InGaAsP/InP для 1,3 мкм (2-е окно прозрачности). Также возможно использо-

вание суперлюминесцентных диодов до частот модуляции ~ 600 Мбит/с и для расстояний до 6—10 км.

Основные параметры, на которые следует обратить внимание при проектировании драйвера для передатчика ВОЛС:

$I_{пор}$ — пороговый ток лазерного диода, значение которого лежит в пределах 5—40 мА (для полосковых лазеров с шириной активного слоя 3—6 мкм и длиной резонатора $L=400—600$ мкм);

I_o — ток накачки лазерного диода, при котором мощность излучения лазера номинальная. Обычно $I_o \sim (2—3) I_{пор}$ (при $T=25^\circ\text{C}$).

Таблица 1

Цели проектирования и методы их достижения

Цели проектирования	Факторы, препятствующие достижению цели	Альтернативные методы достижения цели и технические решения
Снижение требований к волоконному тракту	Разброс уровней сигналов на входе приемника из-за различной длины тракта и величины затухания.	Нормализация уровня включением в тракт индивидуального оптического аттенюатора
	Детерминированные помехи от отражений оптического сигнала в различных компонентах ВОЛС	Увеличение динамического диапазона введением автоматической регулировки усиления
Повышение надежности функционирования	Сильная температурная зависимость ватт-амперной и спектральной характеристик лазера	Уменьшение плотности порогового тока, применение квантово-размерных структур
		Применение суперлюминесцентных торцевых светодиодов
		Управление начальным и рабочим токами при изменении температуры
		Стабилизация температуры лазера термоэлектрическим микроохладителем (ТЭМО)
Расширение области применения	Противоречивость требований к параметрам	Программирование и адаптация к условиям применения
	Усложнение оборудования при росте числа функций	Перенос части функций в категорию специальных и выполнение их в виде индивидуальных устройств
Уменьшение габаритов передатчика путем интеграции оптических и электронных компонентов, усложнение функций введением нового hardware, например, мультиплексирования	Нагрев излучателя	Применение лазеров и светодиодов на квантовых ямах
		Охлаждение лазера ТЭМО
		Охлаждение тепловыми трубами
		Управление положением рабочих точек на ватт-амперной характеристике при изменении температуры
		Дезинтеграция чипов излучателя и драйвера (размещение излучателя с контрольным фотодиодом в отдельном корпусе)
Улучшение параметров оптических импульсов излучателя	Сильная температурная зависимость ватт-амперной и спектральной характеристик лазера	Применение новейших лазерных структур, суперлюминесцентных торцевых светодиодов
		Стабилизация температуры лазера ТЭМО
Передача спектров сигналов с постоянной составляющей	Сложность реализации схемы приемника при широком диапазоне частот	Введение в канал передачи преобразователей, осуществляющих смещение или преобразование структуры спектра, в область, приемлемую для реализации
Передача нескольких информационных потоков по одному волокну	Увеличение частоты излучения и ширины спектра с ростом температуры, что ограничивает возможность частотного уплотнения	Применение лазеров с распределенной обратной связью и управление частотой излучения фиксацией температуры дифракционной решетки DFB-лазера, например, ТЭМО

Нужно отметить, что деградационные характеристики лазерного диода сильно зависят от тока инжекции. Поэтому для повышения сроков службы модулей актуально применение лазерных диодов с квантово-размерными структурами, у которых плотность порогового тока значительно ниже.

При проектировании передающих модулей также необходимо учесть температурную зависимость $I_{пор} = f(T)$, чтобы система управления средней мощностью излучения ЛД отслеживала изменение температурной зависимости при эксплуатации передающего модуля с сильным перепадом $T_{окр}$.

Драйвер. Зависимости порогового тока лазера $I_{пор}(T)$ и крутизны преобразования $S(T)$ от температуры могут быть приблизительно выражены уравнениями [2]

$$I_{пор}(T) = I_{пор0} + K_1 \cdot e^{T/T_1},$$

$$S(T) = S_0 - K_s \cdot e^{T/T_s},$$

где $I_{пор0}$, K_1 , T_1 , S_0 , K_s и T_s — характерные для применяемого лазера константы. Например, $I_{пор0} = 1,8$ мА, $K_1 = 3,85$ мА, $T_1 = 40^\circ\text{C}$, $S_0 = 0,485$ мВт/мА и $K_s = 0,033$ мВт/мА, $T_s = 40^\circ\text{C}$.

Величину излучаемой мощности можно представить как $P = S(I - I_{пор})$, где $I_{пор}$ — пороговый ток, S — крутизна преобразования. Вследствие изменения параметров лазера во времени необходим регулятор, который выполнял бы функции стабилизации уровня излучаемой мощности с учетом температурных зависимостей характеристик лазера (см. рис. 2).

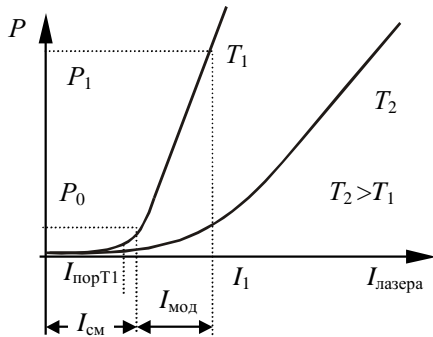


Рис. 2. Зависимость ватт-амперной характеристики лазера от температуры

Для управления лазером обычно используется два генератора тока: генератор, формирующий ток смещения $I_{см} > I_{пор}$, и генератор, формирующий ток $I_{мод}$ при формировании высокого уровня передаваемой мощности.

В качестве управляющего воздействия используется приращение тока смещения. Тогда схемой драйвера ток излучателя может формироваться в соответствии с выражением

$$I_{изл} = I_{см}(T) + I_{смкор} + I_{мод}(T),$$

где $I_{смкор}$ — корректирующий ток.

Формирование соответствующих температурных зависимостей $I_{см}(T)$ и $I_{мод}(T)$ может быть достигнуто схемотехнически введением температурно-зависимых компонент в цепи смещения.

Зависимость корректирующего тока от отклонения генерируемой мощности можно определить как

$$i_{смкор} = f(\Delta),$$

где $\Delta = P_{факт} - P_{ном}$ — разность между фактическим и номинальным усредненными значениями излучаемой мощности.

В простейшем случае $I_{см} = I_{см}(T) + k\Delta$, где k — коэффициент пропорциональности.

В общем случае для улучшения управления в переходном и установившемся режиме целесообразно использовать пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования —

$$i_{смкор} = k_1 \Delta + k_2 d\Delta/dt + k_3 1/T \int \Delta dt,$$

где T — постоянная времени интегрирования; k_1 , k_2 , k_3 — коэффициенты обратной связи, определяющие закон регулирования.

В более сложном случае (при необходимости стабилизации уровней мощностей "1" и "0", а не среднего уровня) схема должна иметь два контура управления и содержать высокочастотные элементы (требуется селекция импульсов тока контрольного фото диода).

Таким образом, драйвер должен отслеживать разброс и уход ватт-амперной характеристики при старении лазера и изменении температуры. Однако если в процессе регулирования ток лазера превысил некоторую контрольную величину, это свидетельствует о недопустимой деградации структуры лазера, и ситуация должна рассматриваться как предаварийная.

Фотоприемник ОС. Требования к фотоприемнику обратной связи (ФОС) не столь жестки, как для фотодиода в приемном модуле. Основное — это стабильность его параметров во времени, а также не сильная температурная зависимость темнового тока I_T (это особенно относится к Ge-фотодиодам из-за сильной зависимости $I_T = f(T)$). Поэтому в последнее время чаще используют InGaAs/InP-фотодиоды в качестве ФОС для диапазона 1,3 и 1,55 мкм. Кроме того, конструкция и размещение ФОС в лазерном передающем модуле должны исключать образование обратного отраженного оптического сигнала как от поверхности ФОС, так и от поверхности фокусирующей системы основного пучка.

Еще одно из основных требований к ФОС — это его необходимая чувствительность и линейность ампер-ваттной характеристики (в сравнительно небольшом диапазоне), которая обеспечила бы нужный $I_{ф}$ ФОС для нормальной работы схемы слежения за уровнем мощности ЛД. Обычно $I_{ф}$ составляет при рабочей мощности излучения P_0 примерно 100—600 мкА.

Фотоприемник сигнальный. В отличие от ФОС, к фотоприемникам, которые используются в приемных модулях ВОЛС, предъявляют более жесткие требования по динамическому диапазону, собственным шумам, токовой монохроматической чувствительности, стабильности параметров.

В настоящее время в приемных модулях широко используются $p-i-n$ -фотодиоды на Si, InGaAs/InP,

Ge, а также лавинные фотодиоды (ЛФД) на этих же материалах. Мы не будем останавливаться на сравнительных характеристиках данных фотоприемников (они достаточно полно описаны в литературе), отметим только, что в последнее время меньше используются неохлаждаемые Ge-фотодиоды из-за сравнительно сильной температурной зависимости, что существенно ухудшает параметр пороговой чувствительности.

Основное, что должны обеспечить конструкция фотодиода и его размещение в приемном модуле, — это свести к минимуму сигнал, отражаемый от поверхности фотодиода и фокусирующей оптики, а также надежную фиксацию всех оптических компонентов системы "фотоприемник—оптическое волокно" при разработке приемных модулей с оптоволоконным выходом (типа pigtaile).

Конструкция линий передачи между компонентами на рис. 1 зависит от соотношения длины линии и скорости передачи. Время переходных процессов не должно составлять больше нескольких процентов длительности передачи одного импульса.

Если несогласованная линия не обеспечивает таких значений, в линии передачи должен быть обеспечен режим бегущей волны, для чего она должна быть однородной и согласованной. Могут быть учтены также следующие особенности линий передачи.

Линия передачи данных "кодер—драйвер". На низких скоростях передачи возможно применение ТТЛ-сигналов. На высоких скоростях передачи и удаленном расположении кодера и драйвера из-за лучшей помехоустойчивости целесообразно применение согласованных дифференциальных линий. При передаче на большие расстояния уровень сигнала данных может ослабляться, поэтому требования к диапазону уровней данных по входу драйвера больше, чем к выходу кодера: входные цепи драйвера должны обеспечить прием как минимального, так и максимально уровня сигналов.

Линия передачи данных "драйвер—чип излучателя". При размещении излучателя и драйвера в различных корпусах и наличии неоднородностей на линиях передачи, а также из-за наличия индуктивности ввода в цепи могут возникать недопустимые колебания. Для их устранения в корпусе излучателя могут устанавливаться согласующие резисторы и компенсирующие емкости.

Оптическая линия передачи "излучатель—фотоприемник". Кроме волокна, содержит оптические соединители, смесители, разделители сигналов, фильтры. Применительно к работе одного приемника оптический сигнал на входе приемника характеризуется глаз-диаграммой оптических сигналов (глаз-диаграммы — осциллографические изображения импульсов, формируемые при передаче случайной последовательности импульсов). Для получения глаз-диаграммы оптического сигнала должен использоваться анализатор с полосой пропускания большей, чем полоса пропускания приемного тракта модуля. Уровни оптического сигнала определяются стандартами на оптические линии передачи. Для WDM-уплотнения требова-

ния к уровню сигнала на входе линии может составлять $\pm 5\%$.

Линия передачи "фотоприемник—предусилитель". Ввиду высокого выходного сопротивления фотоприемника реализация согласованных линий передачи невозможна, поэтому при высоких частотах передачи чип фотоприемника и чип предусилителя конструктивно располагаются в оптическом узле.

Линия передачи "предусилитель—усилитель—ограничитель" может быть как одно-, так и двухпроводной, как с передачей постоянной составляющей, так и без ее передачи.

Линия передачи "квантизатор—регенератор". По линии передаются сигналы стандартных уровней. При высоких скоростях должен быть обеспечен режим бегущей волны.

Унификация и возможности интеграции

Анализ рассмотренных функций модулей показывает возможность унификации схмотехнических и конструктивных решений. Из схемы рис. 1 можно выделить следующие характерные узлы и преобразования.

Передающая сторона:

- излучатель (i — O -преобразователь);
- драйвера (U — i -преобразователь, U , C — i -преобразователь, осуществляющий селекцию сигналов данных синхрои импульсами);
- кодер (выходной узел блока 1 на рис. 1).

Приемная сторона:

- фотоприемник (функция: O — i -преобразователь);
- предусилитель (функция: i — u -преобразователь);
- усилитель-ограничитель (функция: преобразование сигнала u до номинального значения U_n путем усиления и ограничения (u — U_n -преобразователь);
- квантизатор (дискретизация сигнала по амплитуде — принятие решения о "1" или "0" значении сигнала U_n);
- формирователь синхрои импульсов (анализ потока сигналов с целью выделения тактовых интервалов и корректировки временного положения формируемых синхрои импульсов);
- регенератор данных (восстановление временного положения сигналов данных по отношению к тактовым интервалам).

Приведенные электронные преобразования могут быть реализованы на основе:

- а) интегральных микросхем (ИМС) серийных операционных усилителей;
- б) специализированных ИМС.

Вариант а) приемлем для случая низких частот передачи (2 и 8 Мбит/с) в случае использования дешевых отечественных ИМС.

Для высоких скоростей более подходящим является вариант б), при котором приведенные электронные преобразования реализуются на отдельных чипах в виде специализированных ИМС. Их выпуск в виде корпусных либо бескорпусных интегральных микросхем налажен многими фирмами (см. табл. 2—4).

Ввод/вывод излучения в волокно осуществляются с помощью микролинз, а соответствующие узлы реализуются в виде прибора, обычно на основе корпуса типа ТО.

Таблица 2

ИМС — драйверы излучателя

Характеристики	Фирма-разработчик, тип микросхемы				
	MAXIM			VITESSE	Micro linear
	MAX3261	MAX3867	MAX3263	VSC7990	ML6633
Тип сигналов данных	ПЭСЛ	ПЭСЛ	ПЭСЛ	400—1500 мВ	
Диапазон установки тока смещения, мА	10—60	90	10—60	100	—
Диапазон установки тока модуляции, мА	5—30	60	5—30	100	20—82
Частота, Мбит/с	1250	622	155	10700	200
Наличие цепи АУМ* и диапазон установки тока контроля, мкА	*80—1000	Есть	*80—1000	—	Нет
Стоимость, \$	13,5	12		30	—

АУМ*—автоматическое управление мощностью.

Таблица 3

ИМС — предусилители

Характеристики	Фирма-разработчик, тип микросхемы			
	MAXIM		Analog devices	VITESSE
	MAX3260	MAX3267	AD8015	VSC7902
Полоса пропускания, МГц	1000	1900	240	130
Коэффициент передачи, В/А	2000	—	10000	5000
Пиковый входной ток, мкА	900	1000	350	2000
Выходной сигнал	Аналоговый	—	Аналоговый	Аналоговый
Выходной интерфейс	Однопроводный	Двухпроводный	Двухпроводный	Однопроводный
Стоимость, \$	Contact Factory	6,75	7	—

Таблица 4

ИМС — ограничивающие усилители (постусилители)

Характеристики	Фирма-разработчик				
	MAXIM			Philips Semiconductors	Analog devices
	ML4622/ML4624	MAX3262	MAX3269	TZA3034	AD807 (с регенерацией)
Полоса входных сигналов	45 МГц	900 МГц	2500 МГц	1кГц — 150 МГц	155—156 МГц
Выходной сигнал	ТТЛ, ЭСЛ	ПЭСЛ	ПЭСЛ	ПЭСЛ	ПЭСЛ
Уровень шума (среднеквадратичное значение), мкВ	25	80	40	40	50
Диапазон входных напряжений, В	0,002—1,6	0,006—1,8	0,002—1,5	0,002 — 1,5	0,002— ...
Схемная установка чувствительности	Нет	Есть	Нет	Нет	Нет
Схемная установка порога минимального сигнала, мВ	1—7	9—48	2—12	2—12	2—30
Стоимость, \$	12	13,5	7,7		23

В настоящее время практически используется интеграция излучающего и передающего модулей. Однако с увеличением скорости передачи перспективно монолитное изготовление всего приемопередающего узла (трансивера) на одном чипе, что упрощает проблему межсоединений, но обостряет тепловые проблемы. Последние частично решаются переходом на напряжение питания 3 В, что реализуется уже в современных ИМС. Осуществление интеграции возможно методами, описанными в [3, 4], и с помощью технических решений, приведенных в табл. 1.

Следующий шаг: технологическая интеграция оптической и электронной частей.

Особенности контроля

Контроль модулей направлен на выявление дефектных модулей в процессе их производства и передачи потребителю.

Применительно к задаче контроля внешние свойства модулей удобно представить следующими параметрами и характеристиками.

1) Оптический и электрический интерфейс (параметры сигналов и линий передачи).

2) Основные функциональные характеристики ЭО-и ОЭ-преобразования потока данных, представленных определенными кодами, применяемыми на под-

Таблица 5

Характеристики передающего модуля

Контролируемый параметр	Критерий оценки
Величина потребляемого тока I_{cc} , мА	$I_{min} < I_{cc} < I_{max}$
Амплитудно-временные характеристики входных электрических сигналов V , нс	Глаз-диаграмма соответствует эталонной
Усредненное значение выходной оптической мощности лазера, дБм	$P_{уизм} < P_{уизм} < P_{уизм}$
Временные характеристики оптических импульсов, нс	Глаз-диаграмма соответствует эталонной
Проверка коэффициента гашения оптической мощности, $lg(P_e/P_n)$, %	$K_{гизм} \approx K_r \pm \epsilon$
Длина волны излучения, нм	$\lambda_n - \lambda_c = \delta\lambda_{доп}$
Ширина спектра — FWHM nm RMS, нм	$\Delta\lambda \in \Delta\lambda_{доп}$
Коэффициент ошибок, BER	$K_{ош\ изм} < K_{ош\ ном}$
Диапазон предельных скоростей передачи данных, Мбит/с	$(F_{min} \dots F_{max})_{изм} \in (F_{min} \dots F_{max})_{ном}$
Величина дрожания оптического импульса, нс	Систематическая и случайная компоненты
Функционирование схемы формирования признака деградации лазера, В	Визуально по зажиганию контрольной лампочки
Блокировка излучения лазера, мВт	$P_{изм} < P_{урсmin}$
Плотность шума RIN, дБ/Гц	RIN_{max}

уровне физического кодирования, например, СМ1, DM1, типа "манчестер" и др. (диапазон скоростей передачи, коэффициент ошибок, величина и спектр дрожания фронтов импульсов).

3) Дополнительные функциональные характеристики, определяющие логические возможности определения состояний модуля и управления ими (возможность диагностики и локализации неисправности компонентов, возможность блокировки излучения лазера).

Эти характеристики приводятся в технических условиях (ТУ) и должны проверяться в процессе сдаточных и типовых испытаний модулей. С целью упрощения процедур контроля число контролируемых внешних характеристик может минимизироваться путем проверки комплексных характеристик, например, коэффициента ошибок, однако программа контроля должна обеспечивать соответствие прошедшего контроль модуля всем требованиям ТУ. Набор таких характеристик, разработанный для передающего

Таблица 6

Характеристики приемного модуля

Контролируемый параметр	Критерий оценки
Величина потребляемого тока I , мА	$I_{min} < I < I_{max}$
Амплитудно-временные характеристики выходных электрических импульсов, В, нс	Глаз-диаграмма соответствует эталонной
Чувствительность P_{min} и максимальная входная мощность P_{max} на средней длине волны, дБм	$(P_{min} \dots P_{max})_{изм} \in (P_{min} \dots P_{max})_{ном}$
Чувствительность на краях рабочего диапазона длин волн, дБм	$(P_{min} \dots P_{max})_{изм} \in (P_{min} \dots P_{max})_{ном}$ при $K_{ош\ изм} < K_{ош\ ном}$
Коэффициент отражения $K_{отр}$, дБ, %	$K_{отр\ изм} < K_{отр\ ном}$
Статические параметры сигнала ПОС, В	$U_0 < U_{0ном}$; $U_1 > U_{1ном}$
Коэффициент ошибок, BER	$K_{ош\ изм} < K_{ош\ ном}$
Диапазон скоростей передачи, Мбит/с	$(F_{min} \dots F_{max})_{изм} \in (F_{min} \dots F_{max})_{ном}$
Дрожание выходного сигнала данных, нс	Систематическая и случайная компоненты
Функционирование схем формирования признака «пропадание оптического сигнала», да/нет	Да
Порог оптической мощности и гистерезис формирования сигнала ПОС, дБм	$P_{пminизм} > P_{пminном}$; $P_{пmaxизм} > P_{пmaxном}$; $P_{пmaxизм} \dots P_{пminизм} < \Delta P$

и приемного модулей без регенерации данных (выход стук БР на рис. 1), приведен в табл. 5 и 6.

С учетом изложенного представляется также целесообразной разработка стандартов, определяющих функции и интерфейс волоконно-оптических модулей.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

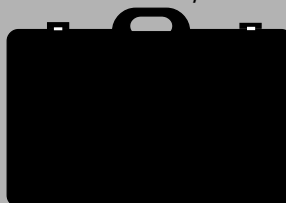
1. Klovsy D. D., Soyfer V. A. The space-time signals processing.— М.: Sv'jaz, 1976.
2. Maxim intgrated products. Customer applications. Interfacing Maxim laser drivers with laser diodes application note HFAN-2.0 (Rev. 0, 5/00).— Р. 1—12.
3. Осинский В. И., Олексенко П. Ф., Палагин А. В. и др. Проблемы интеграции структур гетероэлектроники с кремниевыми ИС // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 1999.— № 1.— С. 3—17.
4. Verbitsky V. Ion technologies in micro- and optoelectronics // Proceeding of SPIE "Optoelectronic Information Technologies".— N.-Y.— 2001.— V. 4425.— Р. 384—390.

в портфеле редакции


в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции



- Исследование контактов металл — полупроводник на основе HgMnTe. Л. А. Косяченко, А. В. Марков, С. Э. Остапов, И. М. Раренко (Украина, г. Черновцы)
- Однокристалльная микро-ЭВМ для систем с высокоразвитыми локальными сетями. В. Г. Вербицкий, Г. П. Липовецкий, Л. В. Проценко, П. В. Сивобород (Украина, г. Киев)
- Характеристики контурных тепловых труб с алюминиевым испарителем для комбинированных систем охлаждения РЭА. Ю. Е. Николаенко, Б. М. Рассамкин, С. М. Хайрмасов (Украина, г. Киев)



в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции