

# **ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ ДАННЫХ ПО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧИ**

М.Я. Яковлев, В.Н. Цуканов, В.А. Кузнецов

## ***ВВЕДЕНИЕ***

Рассматриваются системы сбора данных и управления, предназначенные для обслуживания телеуправляемых устройств, систем и комплексов. Обмен информацией осуществляется в двух направлениях. От системы управления поступают команды на выполнение различных действий. От телеуправляемого устройства на систему управления - телеметрическая информация, видео- и аудио- данные, специальные сигналы. Как правило, такие системы подвержены влиянию различных внешних факторов, таких как климатические и механические воздействия, электромагнитные помехи и др. Объем передаваемой информации может быть значительным, как правило, передаваемые данные представлены в цифровом виде.

Проанализируем существующие интерфейсы передачи дискретных данных для рассматриваемых систем.

## ***АНАЛИЗ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ***

Интерфейс представляет собой формально определенную логическую и физическую границу между взаимодействующими независимыми объектами [1]. Интерфейс задает параметры, процедуры и характеристики взаимодействия объектов. На физическом уровне интерфейс определяется набором электрических связей и характеристиками сигналов. На логическом уровне интерфейс представляет собой набор информационных сообщений определенного формата, которыми обмениваются два абонента (два устройства, две программы), а также набор правил, определяющих логику обмена этими сообщениями.

Суть рассматриваемых интерфейсов заключается в том, что информация от различных источников информации объединяется временными мультиплексорами в один структурированный поток. Цифровые потоки имеют различную степень иерархии. Цифровые потоки высшей степени иерархии объединяют потоки низшей степени иерархии.

В настоящее время в рассматриваемом классе систем широко используются интерфейсы для передачи дискретной (цифровой) информации по оптическим каналам, такие как:

- MIL-STD-1553B (ГОСТ 26765.52-87);
- IEEE 1394 (Firewire);
- FDDI (IEEE 802.2);
- Fibre Channel (FC);
- ATM;
- Ethernet (IEEE 802.3);
- Fast Ethernet (IEEE 802.3u);
- Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z);
- 100VG-AnyLAN.

Суть интерфейсов заключается в том, что информация от различных источников информации объединяется временными мультиплексорами в один структурированный поток. Цифровые потоки имеют различную степень иерархии. Цифровые потоки высшей степени иерархии объединяют потоки низшей степени иерархии.

Развитие интерфейсов связано с увеличением скорости передачи. Необходимость такого интенсивного развития диктуется быстрым ростом объемов передаваемой информации. Увеличение скорости передачи достигается за счет разработки новых высокоскоростных интегральных микросхем. Однако при переходе от скорости 2,5 Гбит/с

до 10 Гбит/с появляются серьезные проблемы. С одной стороны возникают технологические трудности в создании электронных компонентов для этого диапазона частот. С другой стороны волоконно-оптические кабели не обеспечивают требуемую надежность систем передачи информации благодаря возрастающему влиянию дисперсии поляризованной моды.

Выходом из создавшегося положения является использование технологии спектрального мультиплексирования (WDM). При этом снижаются требования по быстродействию к электронным узлам при тех же скоростях передачи информации. Потоки информации передаются параллельно на разных длинах волн.

Технология WDM нашла широкое применение за рубежом.

На базе WDM создается система военно-морского флота США Cooperative Engagement Capability CEC ("Коллективная обороноспособность"), являющаяся развитием концепции сетевой войны. Систему CEC планируется развертывать на всех боевых судах и самолетах морской авиации, и эта система вполне может стать фундаментом Национальной системы противоракетной обороны. [2]. К 2010 году системы CEC будут установлены на всех авианосных группах. Как было установлено выше, информация в системах WDM передается параллельными структурированными цифровыми потоками. Однако, для формирования этих потоков также необходимы быстродействующие интегральные микросхемы, такие как мультиплексоры, демультимплексоры, сериалайзеры, десериалайзеры и др. Для разработки отечественных быстродействующих микросхем необходима соответствующая технологическая база, отсутствующая в России. Решить задачу формирования последовательных структурированных цифровых потоков с требуемой скоростью можно на базе интегрально-оптических интерфейсных элементов, таких как оптические линии задержки, многоканальные оптические разветвители и объединители.

Рассмотрим аналоги предлагаемого интерфейса, основанные на передаче структурированных цифровых потоков, с точки зрения применения их в объектах сбора данных и управления.

#### **MIL-STD-1553B.**

MIL-STD-1553 за последние 20 лет превратился в самый широко используемый интерфейс военных систем. Долгая жизнь этого интерфейса объясняется следующими факторами:

- линейной архитектурой;
- возможностью резервирования;
- высокой электрической защищённостью.

Несмотря на все привлекательные стороны MIL-STD-1553, применение этого интерфейса в более требовательных системах сдерживается довольно низкой скоростью последовательной передачи данных, всего 1 Мбит/с.

За право заменить собой MIL-STD-1553B борются такие интерфейсы, как IEEE 1394 (Firewire), Fiber Distributed Data Interface (FDDI), Fibre Channel, ATM, Ethernet (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet), 100VG-AnyLAN.

**IEEE 1394 (Firewire)** это высокоскоростной (от 100 до 400 Мбит/с) последовательный интерфейс. Достоинства интерфейса:

- поддержка "горячей" замены подключенных устройств;
- автоконфигурируемость.

Максимальное удаление между узлами системы составляет несколько десятков метров. Это ограничение значительно усложняет как кабельное хозяйство, так и обслуживание бортовых электронных систем, ограничивает область применения рассматриваемого интерфейса.

Основным недостатком рассматриваемого интерфейса является недостаточность элементной базы и несоответствие характеристик существующей элементной базы требованиям, предъявляемым к системам сбора данных.

### **Интерфейс Fiber Distributed Data Interface (FDDI).**

FDDI нашла свое применение в некоторых бортовых системах военно-морского флота США, работающих в благоприятных условиях (например, на командном посту или в контрольных помещениях), где, как правило, не бывает предельных температур. Примерами военно-морских программ, в которых FDDI используется или планируется к использованию, являются следующие [2]:

- Trident;
- ARCI (Acoustic Rapid COTS Insertion);
- NSSL (новая наступательная программа боевых подлодок);
- SQQ-00 (программа противолодочной защиты с использованием эхолокации).

Сеть FDDI строится на основе двух оптоволоконных колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети.

Интерфейс имеет следующие преимущества:

- обеспечивает скорость передачи информации до 100 Мбит/с;
- высокая отказоустойчивость сети за счет стандартных процедур восстановления ее после отказов различного рода - повреждения кабеля, некорректной работы узла, возникновения высокого уровня помех и т.п.

К недостаткам интерфейса следует отнести:

- недостаточно высокую скорость передачи информации;
- высокую стоимость компонентной базы.

### **Интерфейс Fibre Channel (FC).**

FC это один из стандартов американского национального института стандартов, American National Standards Institute (ANSI), определяющий целое семейство протоколов для высокопроизводительных линий связи с малыми задержками. В отличие от всех остальных технологий, FC поддерживает каналы как между управляющим и периферийным устройствам, так и между двумя управляющими устройствами.

FC может поддерживать самые разные физические линии, включая:

- коаксиальный кабель с медной жилой; витую пару;
- оптоволоконный кабель. В настоящее время межузловой обмен происходит по полнодуплексным последовательным соединениям со скоростью 1,0625 Гбит/с.

Реальная скорость передачи данных значительно отличается от аппаратной скорости компонентов. Для передачи потока пользовательских данных в 100 Мбит/с, необходима аппаратная скорость 1,0625 Гбит/с. Таким образом, одним из недостатков интерфейса FC является сравнительно невысокая скорость передачи потока информации. Другой недостаток связан с отсутствием компонентной базы, микросхем с высокой степенью интеграции, реализующими протокол обмена, хотя перспективы появления микросхем FC для расширенного температурного диапазона выглядят обнадеживающе.

Примерами военных объектов, в которых FC используется или планируется к использованию, являются следующие [2]:

- система дальнего радиолокационного обнаружения и предупреждения AWACS Extend Sentry;

- стратегический бомбардировщик B-1 Lancer;
- истребитель-бомбардировщик F/A-18 Hornet.

Доработкой существующего стандарта FC для применения в военной и авиационной областях занимается рабочая группа Fibre Channel Avionics Environment (FC-AE). Цель этой работы обеспечение ограниченных по длительности задержек и предсказуемой реакции. Эти цели могут быть достигнуты путем введения пакетов фиксированного размера и гарантии доступа к контуру в течение определенного времени. В результате должна появиться система с детерминированностью, как у MIL-STD-1553, но с пропускной способностью до 1 Гбит/с.

Третий недостаток интерфейса FC связан с требованиями доработки для жестких условий эксплуатации.

**ATM (Asynchronous Transfer Mode)** широко применяется как средство цифровой глобальной связи в области телекоммуникаций. Этот интерфейс еще не пробился на рынок систем сбора данных и систем телеуправления. Поскольку протокол ATM был разработан прежде всего для обслуживания нужд телекоммуникационной связи, то его основным предназначением являлась передача речевых сообщений с допустимыми потерями пакетов данных. Подобный протокол доставки пакетов "вовремя и по порядку" вполне адекватен его назначению, поскольку при такой передаче речевых сигналов случайные потери какого-либо пакета остаются незаметными человеческому уху. Для передачи же цифровых данных этот протокол неприемлем, поскольку эта операция требует надежной безошибочной доставки без каких-либо потерь. При пропаже пакетов в середине передаваемого блока в системе могут возникнуть довольно серьезные проблемы.

**Ethernet** лидирует при передаче больших объемов данных, обеспечивая при этом высокую скорость взаимодействия, но, не всегда эффективен для объединения большого количества простых устройств с малым передаваемым объемом информации.

В Ethernet любое устройство, подключенное к сети, может попытаться начать передачу пакета (кадра), если кабельный сегмент, к которому оно подключено, свободен. Свободен ли сегмент, интерфейс определяет по отсутствию "несущей" в течение 9,6 мкс. Так как первый бит пакета достигает остальных устройств сети не одновременно, может случиться, что попытку передачи совершат два или более устройств. Такие совпадения попыток называются столкновениями (коллизиями). При обнаружении столкновения устройство прерывает передачу. Возобновление попытки может быть произведено после выдержки (кратной 51,2 мкс), значения которой является псевдослучайной величиной и вычисляется каждой станцией независимо.

Недетерминированность и склонность к конфликтам передачи снижают надежность систем, использующих Ethernet, и делают невозможным их применение в авиационных, транспортных, военных системах с "жестким" реальным временем.

В качестве альтернативы Fast Ethernet, фирмы AT&T и HP выдвинули проект новой технологии со скоростью передачи данных 100 Мб/с - 100Base-VG. В этом проекте было предложено усовершенствовать метод доступа, при этом сохранить совместимость формата пакета с форматом пакета сетей 802.3. Новый интерфейс получил название 100VG-AnyLAN.

В **100VG-AnyLAN** определен новый метод доступа Demand Priority. Метод доступа Demand Priority основан на передаче устройствам сети функций арбитра, решающего проблему доступа к разделяемой среде.

Система управления имеет связь с каждым устройством с использованием топологии типа "звезда". Интерфейс 100VG-AnyLAN позволяет значительно сократить конфликты передачи, но не устраняет их полностью. Недетерминированность делает невозможным применение этого интерфейса в системах с "жестким" реальным временем.

Все рассмотренные интерфейсы поддерживают физическую среду в виде одномодового или многомодового волоконно-оптического кабеля.

К общим недостаткам рассмотренных интерфейсов можно отнести:

- избыточность передаваемых сообщений, реальная скорость передачи информации всегда меньше технической скорости;
- отсутствие отечественной компонентной базы.

## **ИНТЕРФЕЙС, СОВМЕЩАЮЩИЙ ПРЕИМУЩЕСТВА ВОЛНОВОГО И ВРЕМЕННОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ**

Предлагаемый интерфейс [3] решает одновременно две задачи:

- формирование структурированного оптического цифрового потока на базе интегрально-оптических элементов;
- объединение сформированных потоков в единый канал передачи за счет спектрального уплотнения (технология WDM).

Предлагаемый интерфейс предусматривают использование для передачи информации нескольких дискретных длин волн оптического излучения. При этом обеспечивается более высокое быстродействие, так как исключается электронное преобразование параллельного кода в последовательный и обратное преобразование, а также исключается избыточность передаваемых сообщений. Все информационные данные и сигнал синхронизации передаются параллельно.

Интерфейс основан на детерминированном способе передачи данных от источников к приемникам информации. Другими словами, система сбора, передачи данных и управления построена таким образом, что имеет ряд входных и выходных портов. Причем каждому входному порту соответствует свой выходной порт. В качестве тракта передачи может быть использован одноволоконный оптический кабель. Рассмотрим структурную схему системы, построенной с использованием рассматриваемого интерфейса, см. рис. 1.

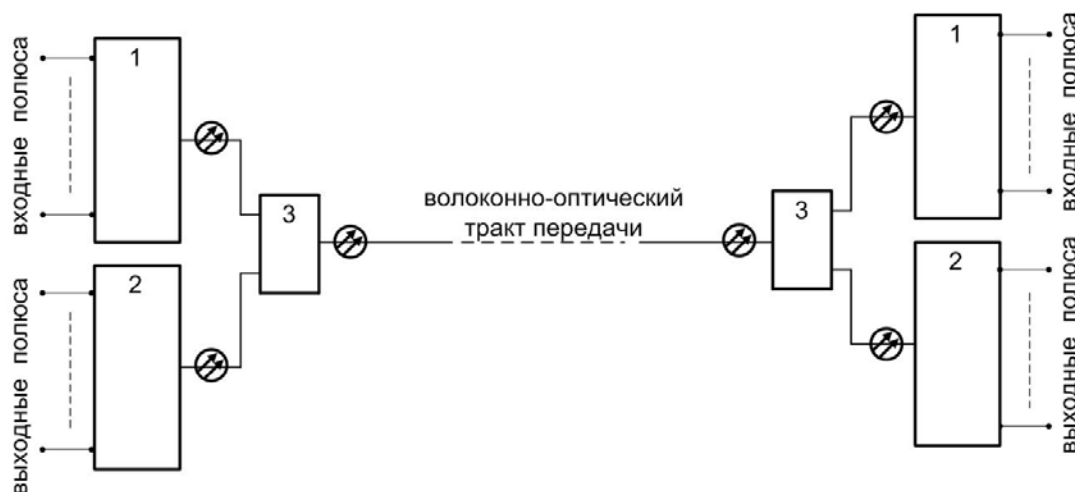


Рис.1. Структурная схема системы сбора и передачи данных и управления

- 1 – формирователи группового оптического сигнала;
- 2 – приемники группового оптического сигнала;
- 3 – спектрально-селективные разветвители - объединители

Система состоит из следующих основных узлов:

- формирователей группового оптического сигнала;
- приемников группового оптического сигнала;
- спектрально-селективных разветвителей-объединителей;
- волоконно-оптического тракта передачи.

Структурная схема **формирователя группового оптического сигнала и приемника группового оптического сигнала** представлена на рис. 2.

Формирователь группового оптического сигнала состоит из следующих основных узлов:

- $m$  – передающих оптоэлектронных блоков;
- $m$  – приемо-передающих оптоэлектронных модулей;
- оптического объединителя с матрицей передачи  $m \times 1$ .

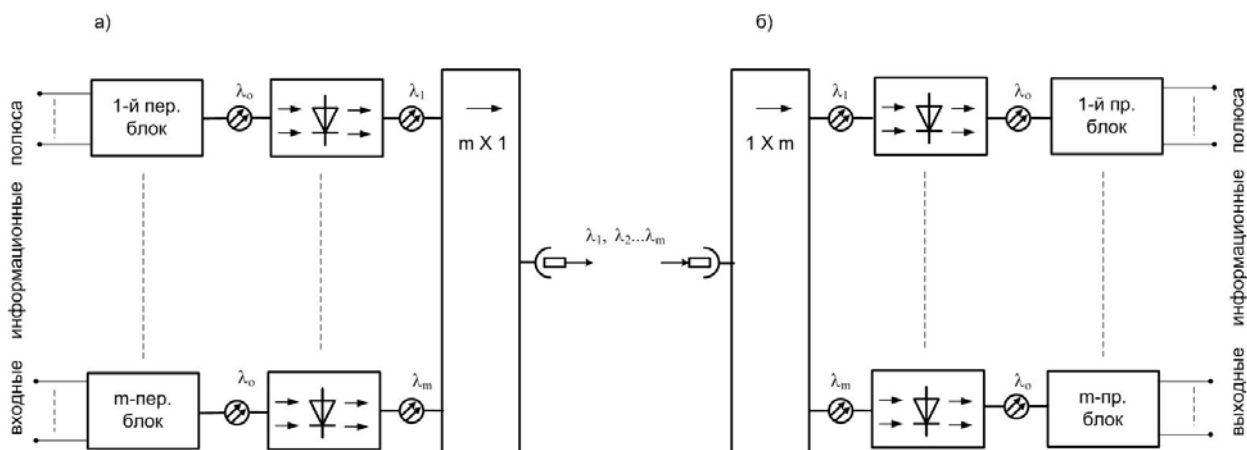


Рис. 2. Структурная схема формирователя группового оптического сигнала (а) и приемника группового оптического сигнала (б)

Приемник группового оптического сигнала состоит из следующих основных узлов:

- спектрально-селективного разветвителя с матрицей передачи  $1 \times m$ ;
- $m$  – приемно-передающих оптоэлектронных модулей;
- $m$  – приемных оптоэлектронных блоков.

Групповые цифровые оптические потоки информации от  $m$  передающих блоков, поступают на входные оптические полюса  $m$  приемно-передающих полупроводниковых оптических модулей. Работа передающих блоков будет рассмотрена ниже. Каждый приемно-передающий модуль состоит из приемного и передающего оптических модулей, причем, выход приемного оптического модуля соединен с входом передающего оптического модуля. Принимается оптический сигнал с одной длиной волны излучения, а передается с другой, характерной для каждого из  $m$  потоков данных. Выходные оптические полюса приемно-передающих модулей соединены с входными оптическими полюсами оптического объединителя, объединяющего их в единый информационный поток. Спектр этого потока состоит из  $m$  спектральных каналов, соответствующих стандартному ряду. Единый информационный поток направляется в волоконно-оптический тракт, и далее, на входной оптический полюс спектрально-селективного разветвителя. Спектрально-селективный разветвитель выполняет роль коммутатора, распределяющего единый информационный поток между потребителями (абонентами) в зависимости от длины волны оптического сигнала. Локальные оптические информационные потоки направляются на входы  $m$  приемно-передающих оптических модулей, необходимых для восстановления требуемого отношения сигнал/шум (восстановления энергетического баланса). Выходные оптические полюса приемно-передающих модулей соединены с входными оптическими полюсами  $m$  приемных блоков, работа которых также будет рассмотрена ниже. Выходное излучение приемно-передающих оптических модулей в приемном блоке группового оптического излучения может быть с одной и той же длиной волны.

Рассмотрим подробно схему работы передающего и приемного блоков.

Структурная схема одного из передающих оптоэлектронных блоков показана на рис. 3.

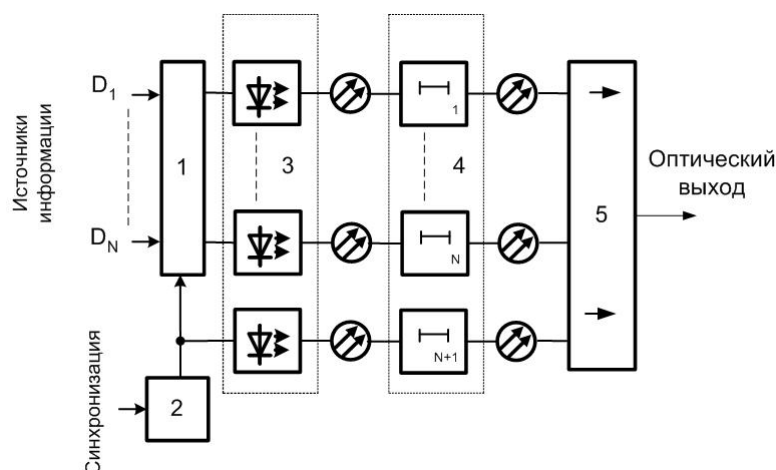


Рис. 3. Структурная схема передающего оптоэлектронного блока  
 1 – входной буферный  $n$  – разрядный регистр;  
 2 – устройство синхронизации;  
 3 –  $(N+1)$  оптоэлектронных передающих модулей;  
 4 –  $(N+1)$  – волоконно-оптических линий задержки;  
 5 – оптический объединитель с матрицей передачи  $(N+1) \times 1$

Передающий оптоэлектронный блок работает следующим образом:

Цифровые данные, подготовленные для передачи по волоконно-оптическому каналу передачи в виде  $n$  – разрядного слова подаются на входной порт входного буферного регистра 1. Запись данных, вывод сохраненных данных в выходной порт и отключение состояния высокого импеданса выходного порта регистра 1 производится выходным сигналом устройства синхронизации 2, причем запись производится по переднему фронту импульса, отключение третьего состояния и вывод данных по уровню сигнала синхронизации. Сигнал синхронизации подается от устройства предварительной подготовки данных, которое не показано на структурной схеме. По этому сигналу осуществляется чтение данных параллельных АЦП, если они присутствуют в системе сбора данных. В этом случае на входной буферный регистр 1 подаются данные в параллельном коде. По сигналу синхронизации может осуществляться преобразование параллельных данных в последовательный код с помощью сдвиговых регистров или чтение АЦП с последовательным выходом. В этом случае на линии входного порта буферного регистра поступают данные в последовательном коде от разных источников информации.

Выводы выходного порта регистра 1 и выход устройства синхронизации 2 подключены к управляющим входам оптоэлектронных передающих модулей 3. Первые  $n$  передающих модулей управляются данными выходного порта регистра 1.  $(n+1)$  – ый модуль управляется устройством синхронизации. Все оптоэлектронные передающие модули могут работать на одной и той же длине волны оптического излучения  $\lambda$ .

Оптоэлектронные передающие модули 3 преобразуют электрические сигналы в оптические и направляют эти сигналы на входные полюса набора волоконно-оптических задержек 4. Оптический сигнал синхронизации ( $I_c$ ) поступает на  $(n+1)$  – ую линию, имеющую минимальное значение задержки, определяемую длиной соединительных кабелей. Будем считать её равной 0. Оптический сигнал, промодулированный первым (младшим) битом информации ( $I_1$ ) задерживается первой линией задержки на время  $\Delta t$ , второй бит информации задерживается второй линией задержки – на время  $2\Delta t$  и так далее. Оптический сигнал, промодулированный последним (самым старшим)  $n$  – ым битом

информации, задерживается на время  $n \cdot \Delta t$ .

Выходные полюса набора волоконно-оптических линий задержки 4 подключены к входным полюсам оптического объединителя 5. Объединитель формирует групповой оптический сигнал рассматриваемого оптоэлектронного передающего блока и направляет его на вход одного из оптоэлектронных приемо-передающих модулей, см. рис. 2.

Эпюры сигналов в различных точках передающего оптоэлектронного блока представлены на рис. 4.

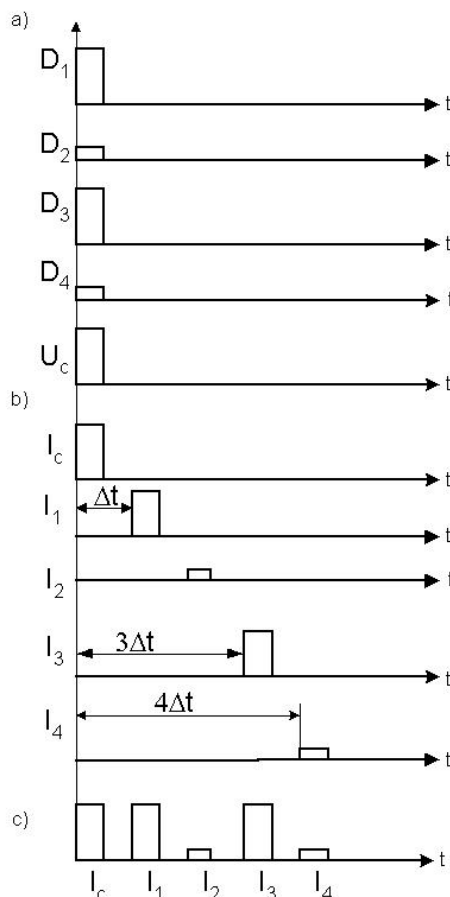


Рис. 4. Эпюры сигналов оптоэлектронного передающего блока

На эпюрах, представленных на рис. 4, проиллюстрирован процесс формирования группового оптического сигнала одного из передающих оптоэлектронных блоков на примере передачи 4-х разрядного шестнадцатеричного числа  $0AH = 1010B$ .

Электрические информационные сигналы ( $D_1 \dots D_4$ ) и сигнал синхронизации ( $U_c$ ) поступающие на входы оптоэлектронных передающих модулей представлены на эпюрах "a". Оптические информационные сигналы ( $I_1 \dots I_4$ ) и оптический сигнал синхронизации ( $I_c$ ) на выходах набора волоконно-оптических задержек представлены на эпюрах "b". Сигнал синхронизации ( $I_c$ ) имеют минимальную задержку, её принимаем равной 0. Первый бит информации ( $I_1$ ) задерживается на время  $\Delta t$ . Второй бит информации ( $I_2$ ) задерживается на время  $2\Delta t$ , третий – на время  $3\Delta t$ , четвертый – на время  $4\Delta t$ . На эпюре "c" представлен групповой оптический сигнал рассматриваемого передающего оптоэлектронного модуля на выходном полюсе объединителя. Все составляющие группового оптического сигнала передающего оптоэлектронного блока имеют одну длину волны излучения.

Групповые сигналы оптоэлектронных передающих блоков направляются на оптоэлектронные приемо-передающие модули, см. рис. 2, которые необходимы для:

- выравнивания мощности оптических сигналов, направляемых на входные полюса объединителя формирователя общего группового оптического сигнала;



- преобразования длины волны выходных оптических сигналов оптоэлектронных передающих блоков, причем каждому оптоэлектронному передающему блоку, установленному в систему соответствует своя длина волны излучения.

Структурная схема одного приемника группового оптического сигнала показана на рис 5.

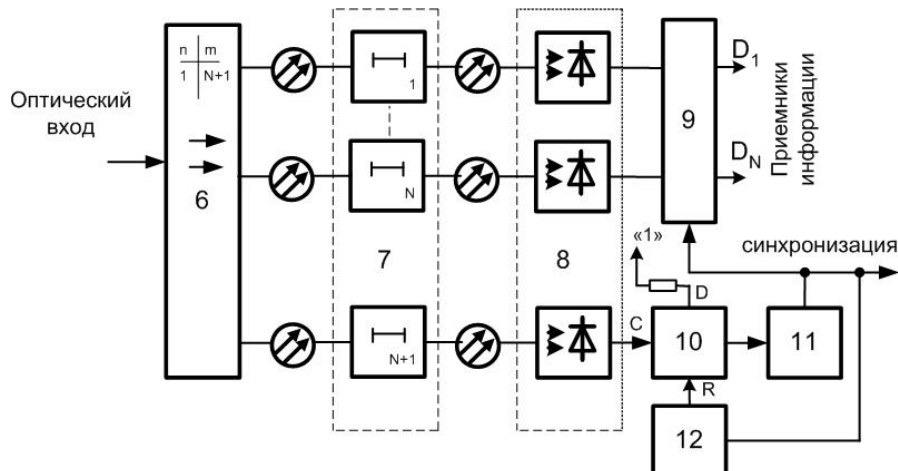


Рис. 5. Структурная схема приемника группового оптического сигнала

- 6 – оптический разветвитель с матрицей передачи  $1 \times (N+1)$ ;
- 7 –  $(N+1)$  – волоконно-оптических линий задержки;
- 8 –  $(N+1)$  фотоприемных модуля;
- 9 – выходной двухпортовый  $N$  – разрядный буферный регистр;
- 10 – D – триггер;
- 11 – формирователь импульсов;
- 12 – устройство временной задержки.

Приемный блок работает следующим образом:

Групповой оптический сигнал попадает на входной оптический полюс разветвителя с матрицей передачи  $1 \times (N+1)$ . Выходные полюса оптического разветвителя подключены к входным оптическим полюсам набора волоконно-оптических линий задержки, состоящего из  $(N+1)$  линий задержки. Набор линий задержки находящийся в приемном блоке конструктивно аналогичен набору линий задержки, находящемуся в передающем блоке, но в канале синхронизации задержка максимальна и равна  $(\Delta t \cdot N - \tau)$ , где  $\tau$  – интервал времени, учитывающий быстродействие используемой компонентной базы. В канале передачи первого бита информации ( $I_1$ ) задержка равна  $\Delta t \cdot (N-1)$ , второго –  $\Delta t \cdot (N-2)$  и так далее. Старший бит информации имеет минимальную задержку, которую принимаем равной 0. Выходные полюсы линий задержки подключены к оптическим входам набора фотоприемных модулей. Электрические выходы фотоприемных модулей ( $1 \div N$ ) соединены с линиями входного порта буферного регистра 9. Выход  $(N+1)$ -ого фотоприемного модуля подключен к тактовому входу D – триггера, вход данных которого подключен к напряжению с уровнем логической единицы. По фронту сигнала на тактовом входе на выходе триггера появляется ступенька напряжения. Эта ступенька подается на формирователь импульсов, который по переднему фронту сигнала на своем входе вырабатывает импульс, длительностью равной длительности сигнала синхронизации. Этот импульс направляется на вход синхронизации, управления выходом и отключения высокоимпедансного (третьего) состояния выходов выходного порта регистра 9 и на устройство временной задержки.

Регистр, находящийся в приемном блоке аналогичен по своей конструкции регистру из передающего блока. Запись информации в регистр производится по переднему фронту импульса, вырабатываемого формирователем импульсов, а отключение

третьего состояния выходного порта и вывод в выходной порт записанных данных по его уровню. В момент наличия сигнала синхронизации с выхода формирователя на управляющем входе регистра на его выходах устанавливаются данные, которые считываются потребителями информации.

Импульс с выхода устройства временной задержки спустя интервал времени больший, чем  $N(2\Delta t + t_c)$ , где  $t_c$  – длительность импульса синхронизации, сбрасывает D-триггер в исходное состояние, для приема нового блока информации.

Эпюры сигналов по приему 4-х разрядного слова данных из примера рассмотренного выше представлены на рисунке 6.

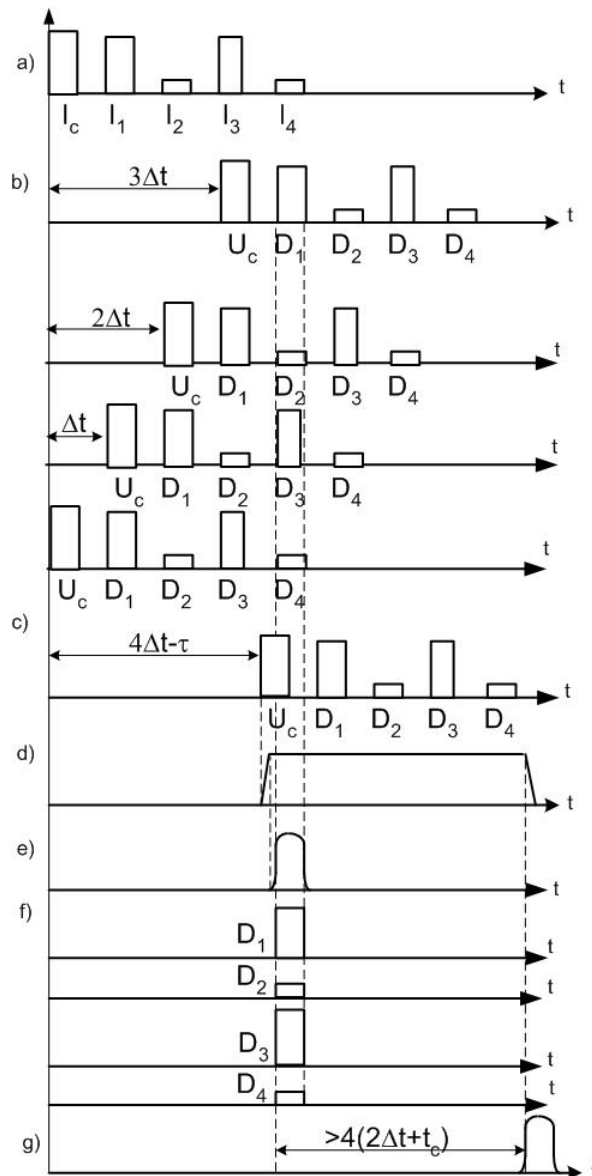


Рис. 6. Эпюры сигналов оптоэлектронного приемного блока

Оптический групповой сигнал на входе разветвителя 6 повторяет сигнал на выходе объединителя 5 (см. эпюру "с" на рис. 4) и изображен на эпюре "а" см. рис. 6. Форма выходных сигналов разветвителя 6 повторяет форму группового оптического сигнала на его входе. Оптические групповые сигналы с выхода разветвителя преобразуются фотоприемными модулями в электрическую форму. Эпюры электрических сигналов на выходе фотоприемных модулей представлены на эпюрах "b" и "c". На эпюрах "b" изображены сигналы в информационных каналах, на эпюре "c" сигналы в тракте синхронизации. В канале передачи первого бита информации, сигналы задерживаются на

время  $3\Delta t$ , второго бита –  $2\Delta t$ , третьего бита –  $\Delta t$ . В канале передачи четвертого бита информации сигналы практически не задерживаются. Сигналы в тракте синхронизации задерживаются на время  $(4\Delta t - \tau)$ . Первым в групповом сигнале следует импульс синхронизации, этот импульс передним фронтом устанавливает на выходе D-триггера сигнал логической единицы. Форма этого сигнала приведена на эюре "d". Выходной сигнал D-триггера запускает своим фронтом формирователь импульсов 11, управляющий записью данных в регистр 9 и состоянием выходных линий этого регистра. Форма выходного импульса формирователя импульсов представлена на эюре "e". Время срабатывания триггера 10 и формирователя импульсов 11 учитывается составляющей времени задержки в тракте синхронизации –  $\tau$ .

Как следует из эюр "b" и "e" импульс на выходе формирователя импульсов "защелкивает" в регистре 9 полубайт информации, см. эюру "f". Этот полубайт устанавливается на выходных линиях регистра и может быть считан. Как следует из эюр, выходные данные буферного регистра 9, полученные по оптическому каналу передачи, совпадают с отправленными (см. эюру "a" на рис. 4).

Импульс, задержанный устройством временной задержки 12, после окончания группового оптического сигнала сбрасывает триггер 10 в исходное состояние.

### ***ЗАКЛЮЧЕНИЕ***

Предложен интерфейс, отличающийся по сравнению с ранее рассмотренными

- бóльшей помехозащищенностью при наличии импульсных помех;
- отсутствием избыточности;
- простотой конструкции узлов и составных частей;
- более низкими требованиями по быстродействию к электронным компонентам.

Литература:

1. В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 3-е издание. –СПб.:Питер,2006.
2. Информация с сайта <http://www.asutp.ru>.
3. Яковлев М.Я., Цуканов В.Н. Интерфейс для передачи дискретной информации по оптическому каналу. Патент на изобретение России №2289207 от 13.05.2005г., бюл. №34 от 10.12.2006г.