

Дорошенко В. М.
Дрогайцева О. В.

Исследование процессов передачи информации в аналоговых и цифровых системах связи

Учебное пособие

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»

В. М. Дорошенко, О. В. Дрогайцева

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
В АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ**

Учебное пособие

Электронное издание
локального распространения

Санкт-Петербург
Наукоемкие технологии
2025

© Дорошенко В. М., Дрогайцева О. В., 2025
ISBN 978-5-907946-39-2

УДК 621.39:654(075.8)

ББК 32.88я73

Д69

Рецензент:

Марина Вячеславовна Сысоева, доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры физики института физики и математики Санкт-Петербургского
политехнического университета Петра Великого

Д69 Дорошенко В. М., Дрогайцева О. В. Исследование процессов передачи информации в аналоговых и цифровых системах связи [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. М. Дорошенко, О. В. Дрогайцева. – Электрон, текстовые дан. (6,5 Мб). – СПб.: Научное издание, 2025. – 96 с. – 1 электрон., опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-5-907946-39-2

В учебном пособии приведены теоретические основы принципов построения радиотехнических и инфокоммуникационных аналоговых и цифровых систем передачи информации. Изучаются процессы дискретизации аналоговых сигналов во времени и квантования по уровню, исследуются устройства кодирования и декодирования сигналов. Рассматриваются принципы передачи информации в волоконно-оптических линиях связи, формирования групповых сигналов, методы разделения каналов, анализируются процессы восстановления сигналов в многоканальных системах передачи.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи по дисциплинам «Общая теория связи», «Современные стандарты связи», «Информационные технологии в системах мобильной связи», «Сети и системы мобильной связи», «Вычислительная техника и информационные технологии».

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:

- процессор: Intel x86, x64, AMD x86, x64 не менее 1 ГГц;
- оперативная память RAM ОЗУ: не менее 512 МБайт;
- свободное место на жестком диске (HDD): не менее 120 МБайт;
- операционная система: Windows XP и выше;
- Adobe Acrobat Reader;
- дисковод CD-ROM;
- мышь.

УДК 621.39:654(075.8)

ББК 32.88я73

ISBN 978-5-907946-39-2

© Дорошенко В. М., Дрогайцева О. В., 2025

Учебное издание

Дорошенко Валентина Михайловна
Дрогайцева Ольга Викторовна

**Исследование процессов передачи информации
в аналоговых и цифровых системах связи**

Учебное пособие

Электронное издание
локального распространения

Издательство «Наукоемкие технологии»

ООО «Корпорация «Интел Групп»

<https://publishing.intelgr.com>

E-mail: publishing@intelgr.com

Тел.: +7 (812) 945-50-63

Интернет-магазин издательства

<https://shop.intelgr.com/>

Подписано к использованию 13.03.2025 г.

Объем издания – 6,5 Мб.

Комплектация издания – 1 CD.

Тираж 500 CD.

ISBN 978-5-907946-39-2



9 785907 946392 >

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Описание оборудования	6
Подготовка комплекса к работе	10
Практическая работа №1. Множественный доступ с временным разделением каналов	11
Методика проведения работы	20
Настройка ИКМ кодера.....	20
Реализация двухканальной системы РСМ-TDM	22
Временное уплотнение и частота дискретизации	26
Определение НЧ боковой составляющей на выходе ИКМ-декодера.....	27
Содержание отчета	29
Практическая работа №2. Линейное кодирование и восстановление сигнала битовой синхронизации	30
Линейный тракт и линейные сигналы	30
Восстановление сигнала битовой синхронизации	38
Методика проведения работы	39
Наблюдение линейных кодов во временной области.....	40
Наблюдение кодированных сигналов в частотной области.....	42
Восстановление сигнала битовой синхронизации	45
Содержание отчета	51
Практическая работа №3. Передача данных по оптоволокну	52
Волоконно-оптические линии передачи со спектральным уплотнением....	52
Передатчики FOTEx (Transmitter Modules).....	59
Приемники FOTEx (FOTEx Receiver Modules).....	61
Методика проведения работы	62
Использование приемника FOTEx для аналогового сигнала.....	66
Использование приемников FOTEx для цифровых сигналов.....	68
Содержание отчета	70
Практическая работа №4. Реализация метода РСМ-TDM «Т1» передачи данных	71
Т-система	78
Е-система	79
Методика проведения работы	83
Настройка системы ИКМ-кодирования и декодирования	84
Сборка двухканальной системы РСМ-TDM	86
Замена медного кабеля оптоволоконным.....	88
Восстановление сигнала битовой синхронизации	91
Содержание отчета	95
Список литературы.....	96

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии сформулированы цели практических работ, приведено описание используемого оборудования, порядок выполнения заданий, содержание отчета и представлены контрольные вопросы, на которые должен ответить студент при подготовке к выполнению практических работ.

В учебном пособии приводятся теоретические основы о принципах построения радиотехнических и инфокоммуникационных аналоговых и цифровых системах передачи информации. Изучаются процессы дискретизации аналоговых сигналов во времени и квантования по уровню, исследуются устройства кодирования и декодирования сигналов. Рассматриваются принципы передачи информации в волоконно-оптических линиях связи, формирования группового сигнала, методы разделения каналов, анализируются процессы восстановления сигнала в многоканальных системах передачи.

При выполнении работ студенты должны обладать базовым уровнем знаний по математике, физике и электротехнике, а также навыками работы с мультиметром (тестером) и осциллографом, полученными при выполнении лабораторных работ по дисциплинам «Физика» и «Основы теории цепей».

При подготовке к выполнению каждой практической работы студент должен:

- изучить соответствующие теоретические разделы по рекомендуемой преподавателем литературе;
- изучить правила техники безопасности при работе с приборами и устройствами;
- ознакомиться с методикой выполнения практических работ;
- изучить описание оборудования;
- составить схемы и таблицы для записей результатов работ.

Проверка готовности студента к выполнению работ проводится преподавателем при личном опросе, в ходе которого проверяется знание студентом основных теоретических сведений и порядка выполнения работы.

При проведении практических работ студент должен собрать схему, предъявить ее лаборанту или преподавателю и только после их разрешения выполнять задания согласно данному учебному пособию.

После завершения работ все органы управления стендом переводятся в исходное положение, а результаты работ предъявляются для проверки преподавателю.

Студенту запрещается:

- самостоятельно устранять неисправности;
- открывать корпуса приборов и устройств;
- класть посторонние предметы на рабочие места;
- включать и выключать приборы и устройства, не относящиеся к выполняемому заданию;
- участвовать в работах, выполняемых другими студентами на своих местах.

По каждой практической работе студент составляет отчет, который должен содержать схемы измерений, результаты исследований и расчетов в виде таблиц и графиков с необходимыми пояснениями и выводами. Отчет по лабораторной работе приводится на листах формата А4 на одной стороне листа.

ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Комплекс состоит из лабораторной станции «National Instruments (NI) ELVIS II» (далее по тексту – ELVIS) и панели «Emona FOTEx» (далее по тексту – FOTEx), являющейся практикумом по основам волоконно-оптических линии связи. Панель

FOTEx содержит специализированные функциональные волоконно-оптические блоки.

Лабораторная станция ELVIS представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для проведения лабораторных работ по общетехническим и специальным дисциплинам. Объединение аппаратных средств и программного обеспечения NI LabVIEW, NI ELVISmx, NI Circuit Design Suite делает лабораторную станцию ELVIS универсальной экспериментальной контрольно-измерительной платформой.

Аппаратная часть лабораторного комплекса (см. рис. 1) включает:

- лабораторную станцию ELVIS II;
- панель FOTEx (см. рис. 2), установленную в ELVIS II;
- персональный компьютер.

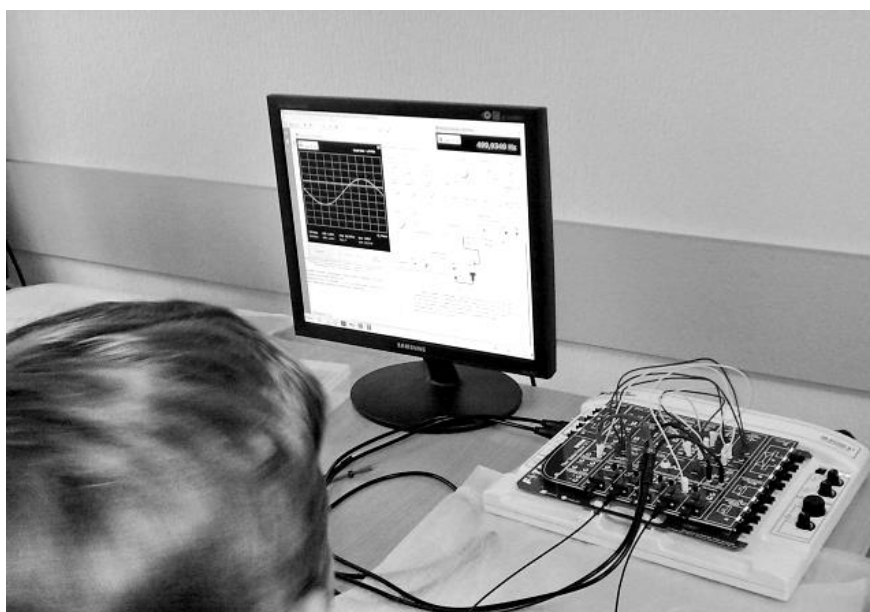
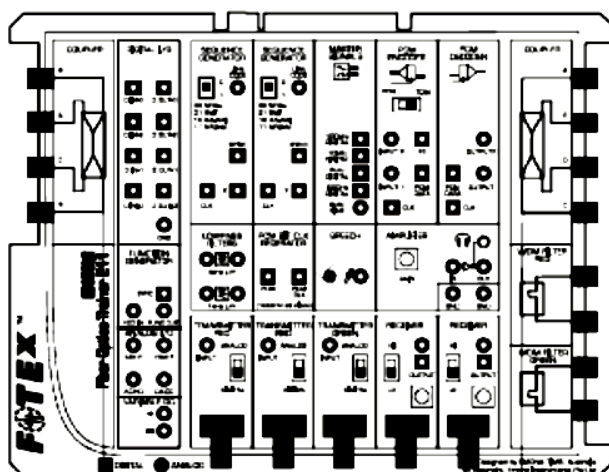


Рис. 1. Общий вид лабораторного комплекса



Рис. 2. Панель «Emona FOTEx»

Панель FOTEx состоит из набора функциональных блоков, называемых модулями, которые студенты могут соединять друг с другом, чтобы реализовывать различные блок-схемы. На рис. 3 показано, что есть соответствия блок-схем и функциональных модулей панели FOTEx. В дальнейшем будут даваться описания подключений для используемых модулей в контексте каждой работы.



Модуль расширения Emona FOTEx состоит из набора блоков (называемых модулями), которые соединяются друг с другом для выполнения экспериментов с цифровыми и оптоволоконными системами телекоммуникаций.

Рис. 3. Модули и блок-схемы

Подключение сигналов осуществляется проводниками со штекерными разъемами (типа «банан» 2 мм) и гнездами для разъемов, расположенных на панели FOTEx. Для подключения к вхо-

дам осциллографа (CH 0 и CH 1) и к выходу генератора (FGEN) предусмотрены кабели с байонетным разъёмом типа BNC.

Гнезда, расположенные слева на модулях – входы. Все входы обладают высоким импедансом, 10 кОм или 50 кОм, в зависимости от типа модуля, это уменьшает эффект, который может возникнуть при подключении или отключении источников сигналов.

Гнезда, расположенные справа на модулях – выходы. Все аналоговые выходы имеют низкий импеданс, как правило, 330 Ом. Также это необходимо, чтобы уменьшить эффект, возникающий при подключении или отключении нагрузки. Цифровые выходы, как правило, обладают сопротивлением 47 Ом.

Доступные входы и выходы панели FOTEx показаны на рис. 2 и 3.

Круглые гнезда «●» предназначены только для аналоговых сигналов. Размах амплитуд (peak-peak) аналоговых сигналов ограничивается диапазоном опорных уровней 4 В (± 2 В). Круглые гнезда «●» с обозначением GND относятся к цепи «Общий» или заземлению системы.

Квадратные гнезда «■» предназначены только для цифровых сигналов. Уровни цифровых сигналов соответствуют уровням ТТЛ (+5 В).

Регуляторы на панели не имеют градуировочных отметок, т.к. студенты настраивают и регулируют изучаемые системы путем наблюдения и измерения сигналов. Это помогает студенту намного лучше понимать суть операций, выполняющихся в реальных системах.

В FOTEx используются не лазерные, а светодиодные источники излучения.

Предупреждение: не смотрите на источники света для оптоволоконных соединителей.

Описания виртуальных (ВП) измерительных приборов (Цифровой мультиметр, Осциллограф, Функциональный генератор, Регулируемые источники питания, Анализатор частотных характеристик, Анализатор спектра, Генератор сигналов произвольной формы, Цифровой ввод данных, Цифровой вывод данных, Анализатор импеданса, Анализатор вольтамперных характеристик двухполюсных и трехполюсных цепей) даны в методических указаниях к лабораторной работе по основам цифровой обработке сигналов.

ПОДГОТОВКА КОМПЛЕКСА К РАБОТЕ

1. Убедитесь, что выключатель питания станции NI ELVIS II, расположенный на задней стенке устройства, выключен.

2. *Для преподавателя: осторожно вставьте плату панели Emona FOTex в разъем NI ELVIS II.*

3. Включите и загрузите компьютер.

4. Включите питание NI ELVIS II (выключатель расположен на задней стенке устройства), затем включите питание панели Emona FOTex (выключатель расположен справа вверху на станции NI ELVIS II).

5. Запустите из меню «Пуск», папка «National Instruments» программу «NI ELVISmx Instrument Launcher». Появится окно для запуска программ виртуальных измерительных приборов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

МНОЖЕСТВЕННЫЙ

ДОСТУП С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Любой сигнал, принимающий бесконечное множество значений в течение наблюдаемого непрерывного промежутка времени, называется *аналоговым* (звук, голос, видео) и для его преобразования в цифровой сигнал требуется применять аналого-цифровое на передаче (АЦП) и цифро-аналоговое на приеме (ЦАП) преобразования.

Для АЦП необходимо, чтобы выполнялась последовательность трех операций:

1. Дискретизация аналогового сигнала по времени (по теореме В.А. Котельникова), т.е. получение амплитудно-импульсно-модулированного (АИМ) сигнала.

2. Квантование полученных импульсов по амплитуде.

3. Кодирование полученных квантованных импульсов (в соответствии с «округлением» каждого отсчета до ближайшего разрешенного уровня).

Разрешенные для передачи установленные значения (например, измеряемые в вольтах) уровней сигналов называются *уровнями квантования*. Обычно в цифровых устройствах ограничивают число таких уровней и обозначают M :

$$M = \sum_{i=1}^m a_{m-i} 2^{m-i}, \quad (1.1)$$

где a_{m-i} – разрядная цифра; 2^{m-i} – «вес» числа, т.е. основание кода в изменяющейся степени.

Разность между двумя соседними разрешенными уровнями называется *шагом квантования* δ . При округлении значения отсчета до разрешенного уровня появляется ошибка квантования, которая присутствует при каждом округлении:

$$\zeta = U_{АИМ} - U_{кв.} \cdot \quad (1.2)$$

Любое число может быть представлено в виде суммы разрядных цифр, умноженных на «вес» числа, при этом основание такого «веса» как раз и будет той системой счисления, в которую мы переводим значение исходного числа. Например, десятичное число 115 может быть записано согласно формуле (1.1) в двоичной системе счисления:

$$115 = \sum_{i=1}^7 a_{7-i} 2^{7-i} = a_6 \cdot 2^6 + a_5 \cdot 2^5 + a_4 \cdot 2^4 + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0,$$

нам надо уравновесить значения слева и справа, т.е. там, где «вес» не следует оставлять, вместо разрядной цифры ставим 0, а если «вес» оставляем – 1:

$$115 = \sum_{i=1}^7 a_{7-i} 2^{7-i} = a_6 \cdot 2^6 + a_5 \cdot 2^5 + a_4 \cdot 2^4 + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0 = \\ 1 \cdot 64 + 1 \cdot 32 + 1 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 115.$$

Таким образом, можно представить перевод десятичного числа в любую систему счисления, заменяя только основание и разрядные цифры.

Выписываем все разрядные цифры и получаем запись числа 115 из десятичной формы в двоичную форму: 1110011.

Совокупность единиц и нулей между двумя квантованными отсчетами группового сигнала называется *кодовой группой*, а число единиц и нулей в кодовой группе определяет ее *разрядность* (m). Если кодовая группа содержит m разрядов, то с помощью такого m -разрядного кода можно закодировать $M = 2^m$ уровней (при $m = 5$ $M = 32$; при $m = 8$ $M = 256$ и т.д.). При известном количестве уровней квантования разрядность кодовой группы определяется соотношением $m = \log_2 M$.

В цифровых системах связи используется двоичная система счисления, т.к. передавать сигналы, содержащие 1 и 0 быстрее и проще, достаточно единицу передавать одним значением напряжения, а ноль – очень небольшим значением или нулем, а в опти-

ческих системах передачи вспышка света от источника излучения передает единицу, ее отсутствие – ноль.

Пронумеровав уровни квантования, можно передавать их значения в двоичном коде. Сигналы, полученные после всех преобразований, называются импульсно-кодированными (ИКМ), или цифровыми сигналами (англ. *binary digit* – «двоичная цифра» (0 или 1), отсюда появился и термин *бит*). Устройства, в которых происходит аналого-цифровое преобразование, называются *кодерами*, а цифро-аналоговое – *декодерами*. Объединение обоих устройств в одном – *кодеком*.

На рис. 4 приведен пример получения из непрерывного сигнала с амплитудами U_c АИМ сигнала ($U_{\text{АИМ}}$) и кодирование каждого из полученных АИМ-отсчетов с помощью четырехразрядной кодовой группы, т.е. получение ИКМ сигнала – цифрового ($U_{\text{ИКМ}}$).

В процессе преобразования сигналов исходное сообщение преобразуется в сигнал той или иной формы при изменении одного из параметров несущего сигнала (амплитуды, частоты, фазы – если несущим является гармонический сигнал; амплитуды, частоты следования, ширины импульсов, их фазы, если несущим колебанием является периодическая последовательность прямоугольных импульсов – ПППИ) по закону изменения сообщения.

Такое преобразование одного из параметров несущего колебания по закону изменения воздействующего сообщения называется *модуляцией*. В итоге получаем АМ – амплитудную модуляцию, ЧМ – частотную, ФМ – фазовую, АИМ – амплитудно-импульсную, ФИМ – фазово-импульсную, ЧИМ – частотно-импульсную, ШИМ – широтно-импульсную модуляции. Некоторые виды модулированных сигналов представлены на рис. 5.

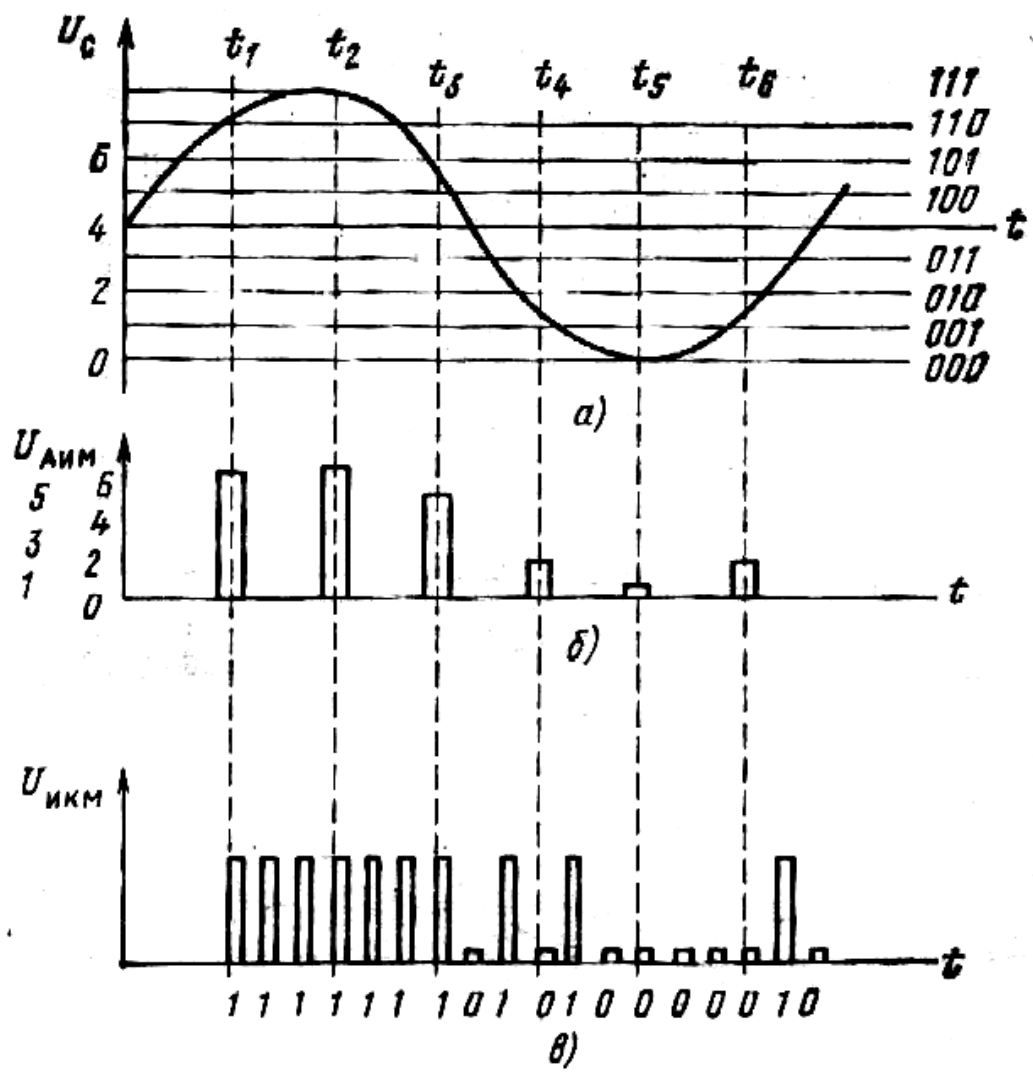


Рис. 4. Формирование ИКМ-сигнала

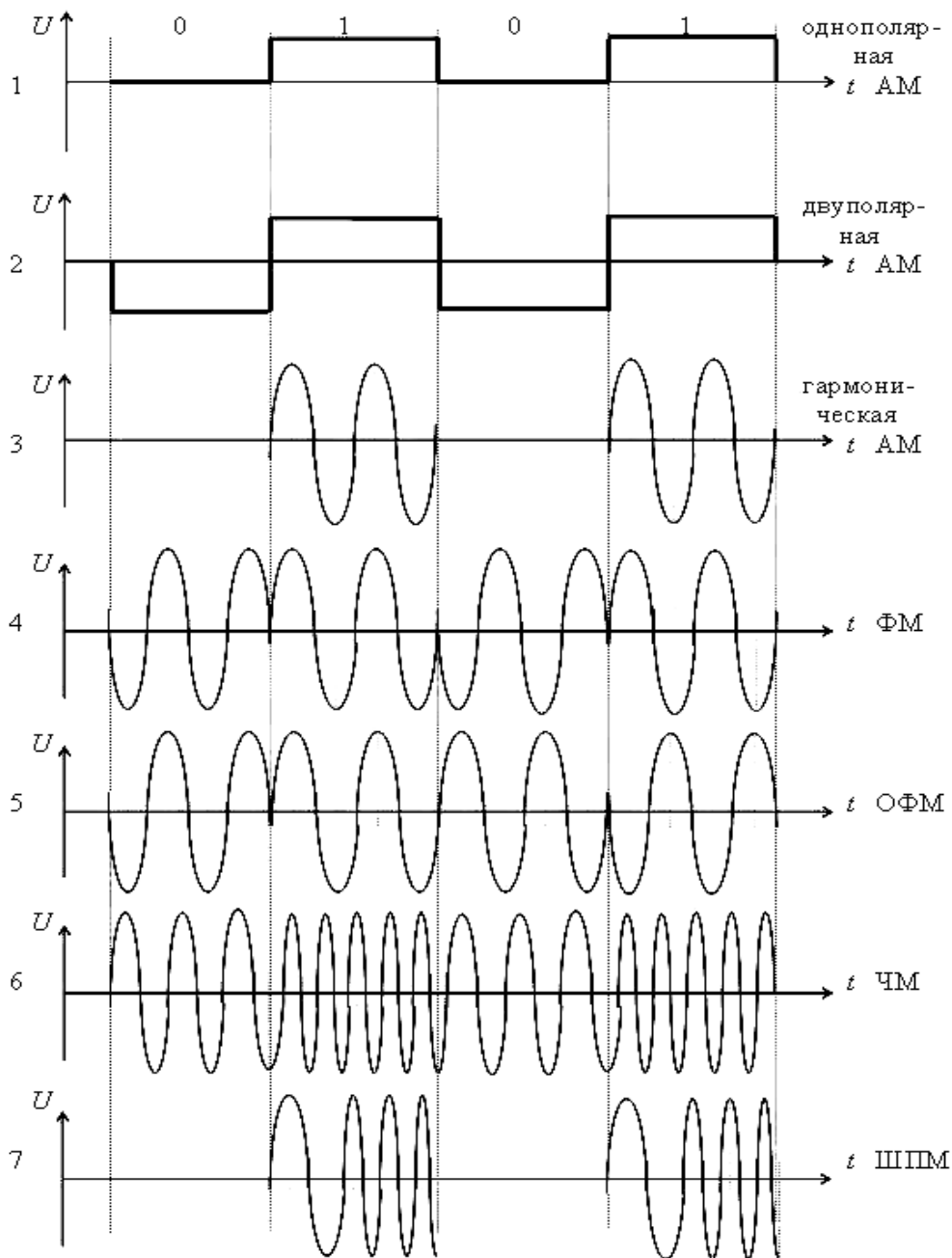


Рис. 5. Примеры модулированных сигналов

Сигналы несущих колебаний должны отличаться друг от друга, чтобы можно было создавать многоканальные системы передачи. Для этого применяются несовпадающие по полосам частот сигналы, или неперекрывающиеся во времени последовательности импульсов. Такие сигналы называются *ортогональными* и применяются в системах передачи с частотным (Frequency Division – FD) и временным (Time Division) разделением каналов.

Сочетание временного разделения каналов и импульсно-модулированных сигналов приводит к системам передачи ВРК ИКМ или в английской транскрипции TDM PCM. Для сотовых систем связи доступ к одной полосе частот возможен в разные промежутки времени для разных пользователей, соответственно, к множеству полос – также в определенные промежутки времени. Такой доступ называется *множественным* и объединяет временное и частотное распределение: TDMA-FDMA (time division multiple access – frequency division multiple access) – системы связи, использующие одновременно множественный доступ на основе временного и частотного разделения каналов.

Понятие *множественный доступ (multiple access)* связано с организацией совместного использования ограниченного участка спектра многими пользователями. Рассмотрим варианты.

1. *Множественный доступ с частотным разделением (FDMA – Frequency Division Multiple Access)*, или множественный доступ с разделением каналов связи по частоте. Каждому пользователю на время сеанса связи выделяется своя полоса частот Δf (частотный канал), которой он владеет безраздельно (рис. 6).

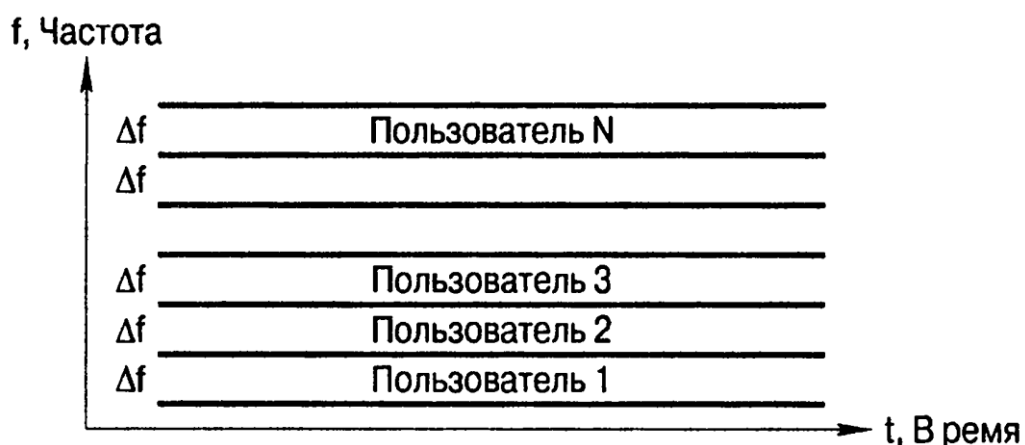


Рис. 6. Метод FDMA в координатах «время-частота»

Данный метод использовался в аналоговых системах сотовой связи (системах первого поколения NMT-450). Полоса составляла 10-30 кГц. При этом был существенный недостаток – неэффективное использование полосы частот – один абонент занимал полосу на время сеанса связи.

2. Множественный доступ с временным разделением каналов связи (TDM – Time Division Multiple Access) (рис. 7). Каждый частотный канал разделяется во времени между несколькими пользователями, по очереди предоставляется нескольким пользователям на определенный промежуток времени.

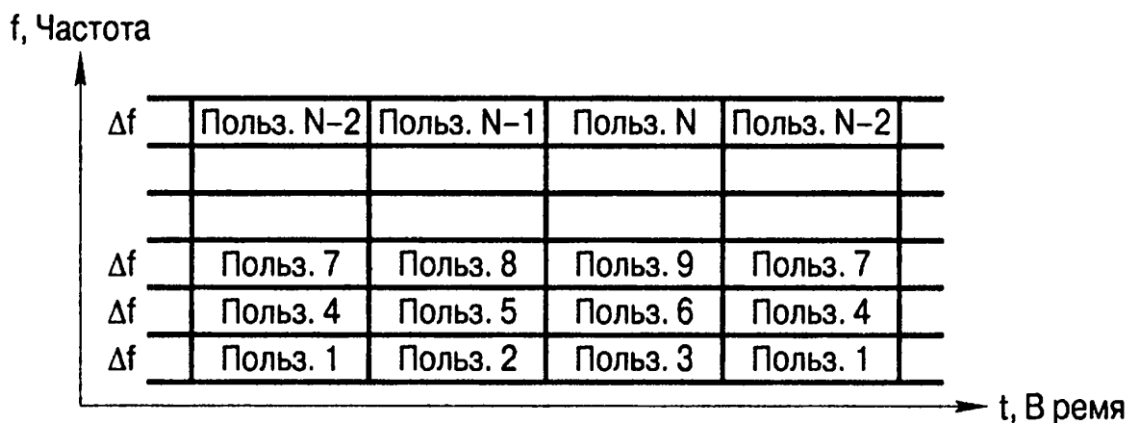


Рис. 7. Метод TDMA в координатах «время-частота»

Реализация метода TDMA требует преобразования сигналов в цифровую форму и «сжатия» информации во времени. Разделение во времени может использоваться для реализации прямых и обратных каналов дуплексной связи в одной и той же полосе частот (Time Division Duplex – TDD). В сотовой связи используется дуплексное разделение по частоте (Frequency Division Duplex – FDD), т.е. прямые и обратные каналы занимают разные полосы частот, смещенные одна относительно другой.

3. Множественный доступ с кодовым разделением (Code Division Multiple Access – CDMA) (рис. 8). Группе пользователей (от 30 до 50 человек) предоставляется общая полоса частот ши-

риной не менее 1 МГц. При этом информация каждого из физических каналов кодируется индивидуально, так что она может быть выделена из общей полосы частот, используемой одновременно всеми физическими каналами.

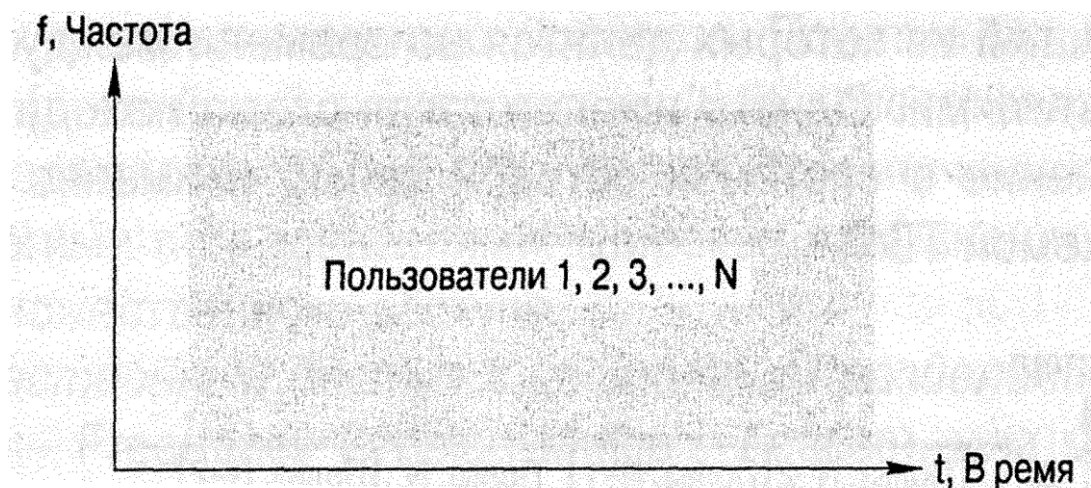


Рис. 8. Метод CDMA в координатах «время-частота»

В любой системе связи необходимо позволять совместное использование канала связи несколькими пользователями для эффективного распределения ресурсов. Давно известный метод разделения радиоволн в различных системах телекоммуникаций позволяет каждому пользователю эксклюзивный и непрерывный доступ к несущей частоте, на которой передается его информация (с применением амплитудной (AM) или частотной (FM) модуляции). Этот метод известен как частотное уплотнение (Frequency division multiplexing – FDM).

Другой метод использования канала называется временным уплотнением (Time division multiplexing – TDM) и заключается в поочередном выделении пользователям кратковременного эксклюзивного доступа ко всему спектру канала (или только несущей, когда временное уплотнение используется одновременно с частотным). Если предоставление коротких интервалов времени эксклюзивного доступа происходит доста-

точно часто, всем пользователям кажется, будто они имеют непрерывный доступ к каналу.

Временное уплотнение хорошо подходит для цифровых систем связи. В системах телекоммуникаций используется импульсно-кодовая модуляция (PCM), поэтому было бы естественно объединить эти два метода. Комбинация PCM-TDM широко распространена, и, используемая в системе с несколькими узлами, носит название множественный доступ с временным разделением каналов (Time division multiple access – TDMA).

ИКМ-кодер дискретизирует аналоговые сигналы и преобразует их в двоичный код. Далее двоичные числа последовательно передаются в виде кадров, которые обычно содержат добавочный бит (или биты) для кадровой синхронизации. ИКМ-декодер использует информацию о кадровой синхронизации, чтобы определить начало каждого нового кадра, после чего преобразует двоичные коды на входе в соответствующие значения напряжения (или тока). На выходе ИКМ – декодера получаем «ступенчатую» («дискретизированную») версию оригинального сообщения, которая состоит из копии сообщения плюс шумы квантования. Чтобы восстановить сигнал, шумы квантования необходимо отфильтровать.

Превратить ИКМ-систему в систему PCM-TDM не сложно. Если считать ИКМ-кадры временными промежутками, когда возможен ввод данных, то эти промежутки можно разделить между двумя или более пользователями вместо того, чтобы предоставлять их только одному. Если пользователей два, то каждый из них получает доступ поочередно к временному промежутку каждого второго кадра. Очевидно, если пользователей три, у каждого будет доступ к каждому третьему кадру и т.д.

Хотя идея довольно проста, но за ее реализацию приходится платить. Если тактовая частота системы остается прежней, при

разделении кадров между двумя пользователями каждому придется дискретизировать аналоговый входной сигнал с меньшей частотой, чем когда в системе только один пользователь. Подумайте, в самом деле, если пользователь имеет доступ ко всем кадрам, он может дискретизировать аналоговый входной сигнал с определенной частотой. Однако нет смысла проделывать это с той же частотой, если пользователь имеет доступ только к каждому второму кадру или еще реже. Важно отметить, что дискретизация на меньших частотах вызывает риск наложения спектра.

Методика проведения работы

В методике экспериментов использованы определенные значения напряжений и частот, которые должны быть заменены на заданные параметры. Задание по работе выдается преподавателем в виде таблицы исходных значений напряжений, частот для каждого студента.

В предстоящем эксперименте используется панель FOTEx, чтобы собрать одноканальную ИКМ-систему связи с аналоговым входом. После этого вы измените настройки для кодирования, передачи, декодирования и восстановления двух аналоговых сигналов, чтобы создать двухканальную систему PCM-TDM и смоделировать простую систему TDMA с двумя узлами. Наконец вы изучите, каким образом временное разделение (TDM) влияет на частоту дискретизации и создает возможность наложения спектров [1].

Настройка ИКМ кодера

До начала экспериментов по временному уплотнению сигналов с использованием импульсно-кодовой модуляции необходимо собрать одноканальную систему ИКМ кодирования-декодирования.

Включите и загрузите компьютер. Запустите программу NI ELVISmx. Включите питание NI ELVIS II, выключатель расположен на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, этот выключатель расположен в правом верхнем углу рядом с индикатором питания. Установите переключатель режимов Mode ИМК-декодера в положение РСМ.

Соберите схему, показанную на рис. 9.

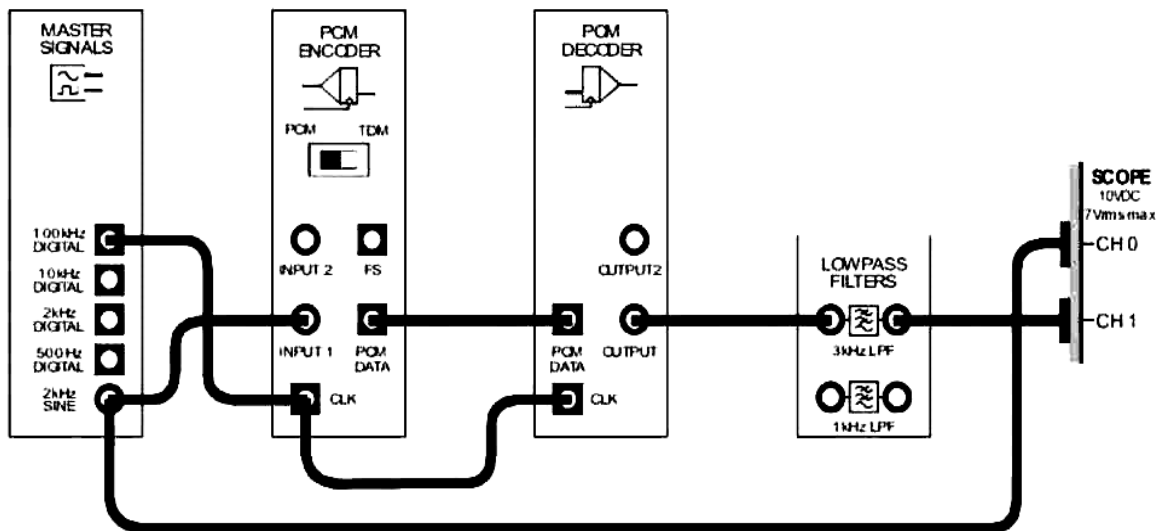


Рис. 9. Одноканальная система ИМК кодирования-декодирования.

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 10. Аналоговый сигнал (сообщение) с выхода «2 kHz SINE» генератора опорных сигналов (Master Signals) подается на вход ИМК-кодера. ИМК-кодер преобразует сообщение в цифровой ИМК-сигнал (дискретизированная версия оригинального сигнала). ФНЧ с частотой среза 3 кГц используется как восстанавливающий фильтр (также известный как антиалиазинговый фильтр) для восстановления исходного сообщения из выходного сигнала ИМК-декодера.

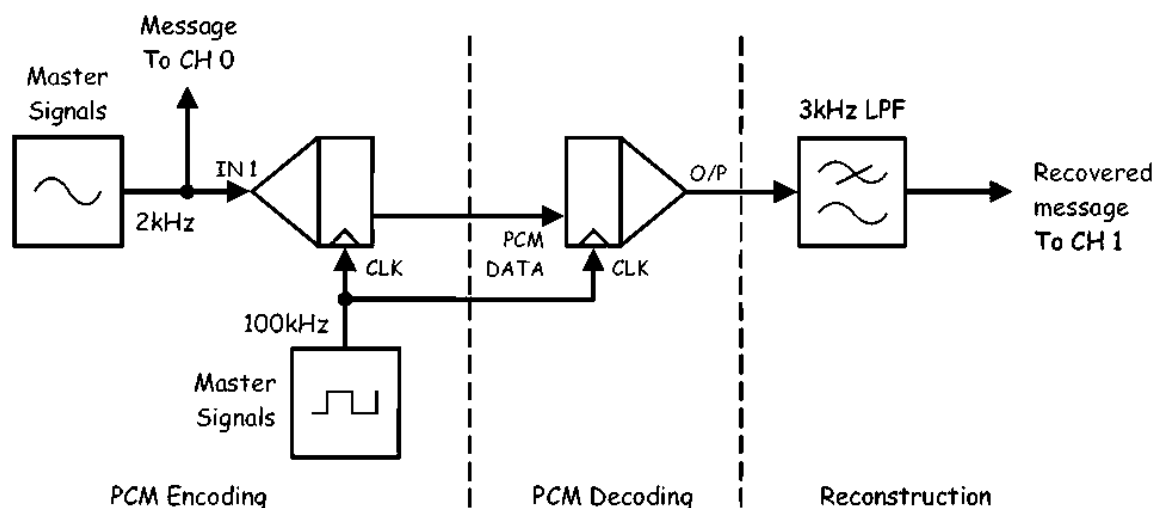


Рис. 10. Блок-схема: PCM Encoding – ИКМ кодирование: Master Signals – генератор опорных сигналов, Message To CH 0 – сообщение к каналу 0, IN – вход сигнала сообщения, CLK – вход синхронизации, PCM Decoding – ИКМ декодирование: PCM data – ИКМ сообщение, CLK – сигнал битовой синхронизации с ИКМ кодера, Reconstruction – восстановление: 3 kHz LPF – ФНЧ с частотой среза 3 кГц, Recovered message To CH 1 – восстановленное сообщение к каналу 1

Запустите и настройте ВП осциллограф NI ELVIS II.

Установите настройку Timebase (Масштаб по оси времени) таким образом, чтобы видеть на экране примерно два периода сообщения.

Активируйте канал 1 осциллографа, чтобы наблюдать восстановленное фильтром сообщение.

Примечание: вы должны увидеть копию оригинального сигнала, скорее всего, сдвинутую по фазе.

Реализация двухканальной системы PCM-TDM

Модули ИКМ-кодер и ИКМ-декодер Emona FOTEx разработаны с возможностью работы в режиме PCM-TDM. В этой части эксперимента вы подключите к собранной системе второй аналоговый сигнал и активируете режим PCM-TDM модулей, чтобы

с моделировать телекоммуникационную систему множественного доступа с временным разделением каналов (TDMA).

Запустите виртуальный прибор NI ELVIS II Function Generator (функциональный генератор).

Настройте функциональный генератор с помощью элементов управления для получения сигнала со следующими параметрами:

- Waveshape (Форма сигнала): Sine (Синусоидальная);
- Frequency (Частота): 500 Гц;
- Amplitude (Пиковая амплитуда): 4 В;
- DC Offset (Смещение по постоянному току): 0 В.

Установите переключатель режимов Mode ИКМ-кодера в положение TDM. Измените схему с учетом пунктиров, как показано на рис. 11.

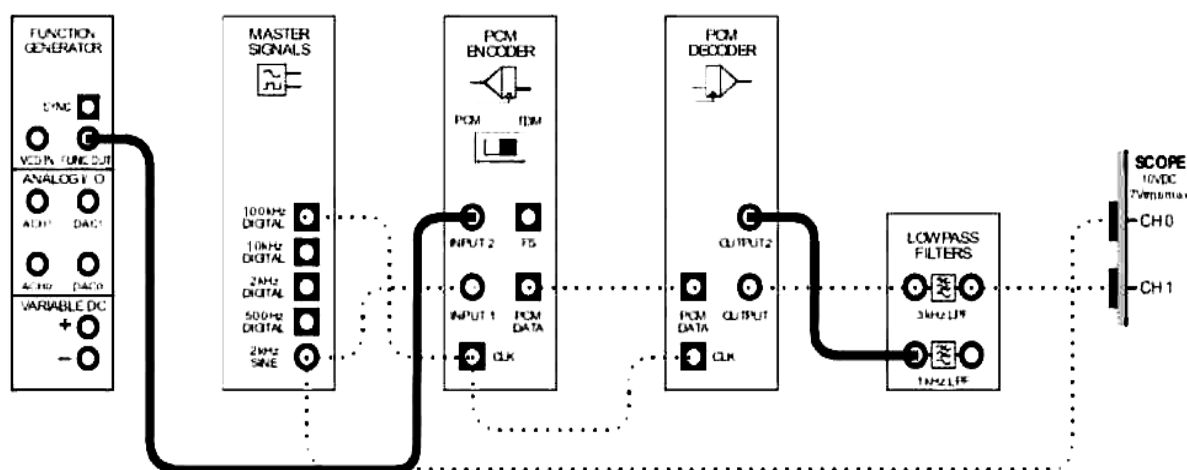


Рис. 11. Измененная схема

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 12. Синусоида частотой 2 кГц (Сообщение 1) поступает с генератора опорных сигналов на вход 1 (INPUT 1) ИКМ-кодера, а синусоида частотой 500 Гц (Сообщение 2) поступает с генератора функций на вход 2 (INPUT 2) ИКМ-кодера. ФНЧ с частотой среза 1 кГц используется для вос-

становления исходного сообщения на выходе 2 (OUTPUT2) ИКМ-декодера. Теперь система кодирует, передает, декодирует и восстанавливает вместо одного два аналоговых сигнала с использованием метода PCM-TDM.

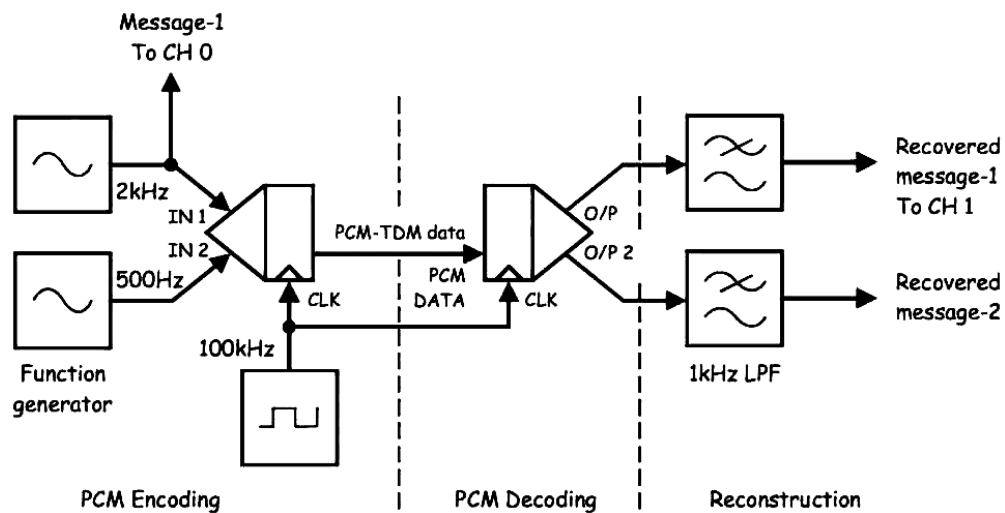


Рис. 12. Схема с выполненными соединениями

Убедитесь, что система кодирует, декодирует и восстанавливает Сообщение 1. Вы увидите, что восстановленное Сообщение 1 имеет искажения.

Измените подключение осциллографа, как показано на рис. 13.

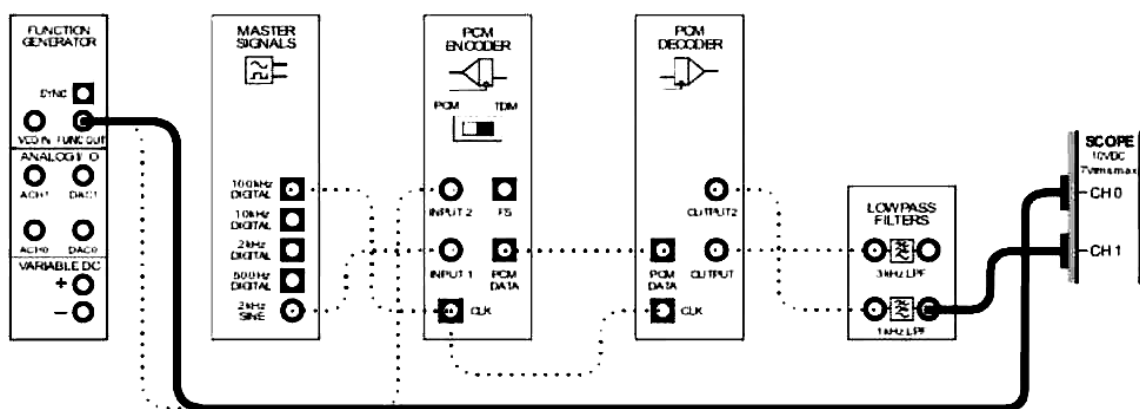


Рис. 13

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 14.

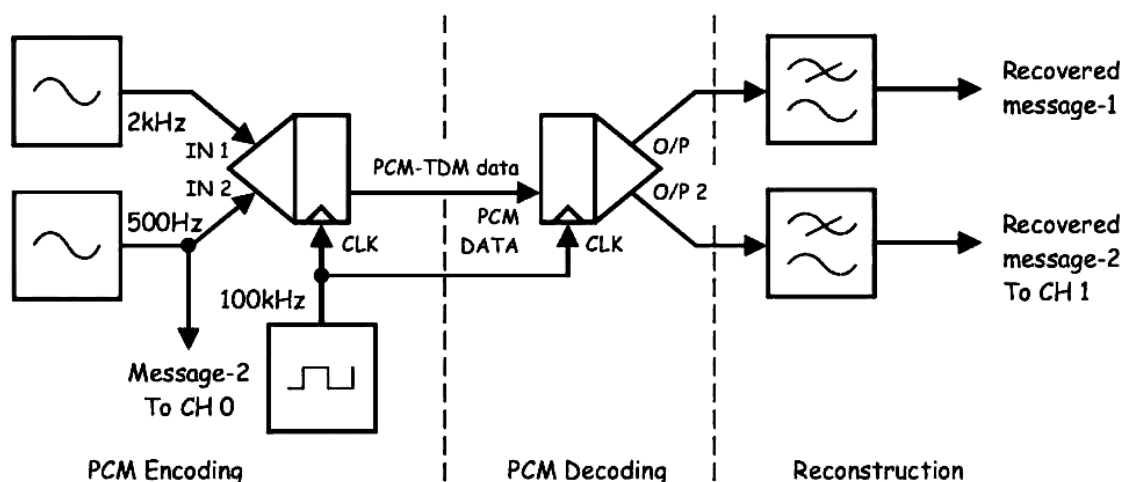


Рис. 14

Установите элемент управления осциллографа Timebase (Масштаб по оси времени) в положение 500 мкс/дел. Сравните оригинальное Сообщение 2 с его восстановленной версией. За исключением сдвига фаз, сигналы должны быть одинаковы. Подключив гарнитуру, убедитесь на слух, что на самом деле эти два сигнала различны. Измените схему в соответствии с рис. 15.

Поверните регулятор Gain коэффициента усиления усилителя Amplifier до упора против часовой стрелки, чтобы уменьшить усиление сигнала до минимума.

Наденьте наушники и, вращая регулятор коэффициента усиления Gain, добейтесь приемлемой слышимости восстановленного сообщения 2.

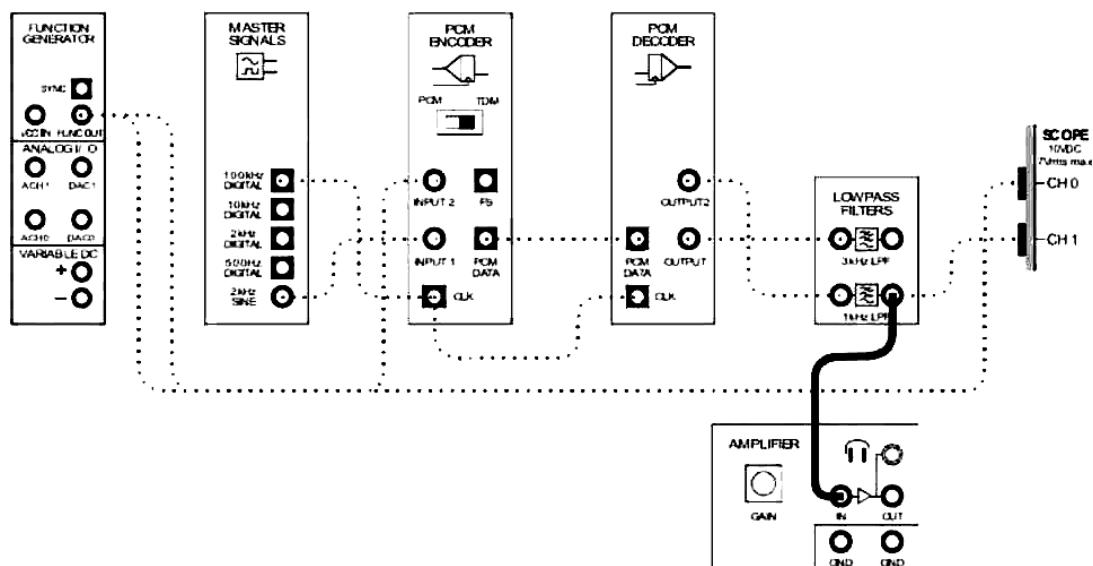


Рис. 15

Переключите вход модуля усилителя с выхода ФНЧ 1 кГц на выход ФНЧ 3 кГц и прослушайте Сообщение 1. Теперь вы слушаете восстановленное Сообщение 1, и оно должно звучать на более высокой частоте.

Временное уплотнение и частота дискретизации

Временное уплотнение подразумевает уменьшение частоты дискретизации сигнала отдельного канала в ИКМ-системе. Например, при прочих равных условиях частота дискретизации в двухканальной системе PCM-TDM будет в два раза меньше, чем в одноканальной PCM-системе.

Установите переключатель режимов Mode ИКМ-кодера в позицию PCM. Это превратит PCM-систему в одноканальную с частотой дискретизации 12500 Гц.

Измените подключение осциллографа, как показано на рис. 16.

Установите элемент управления осциллографа Timebase (Масштаб по оси времени) в положение 100 мкс/дел. Теперь вы должны видеть оригинальное Сообщение 1 и его восстановленную копию.

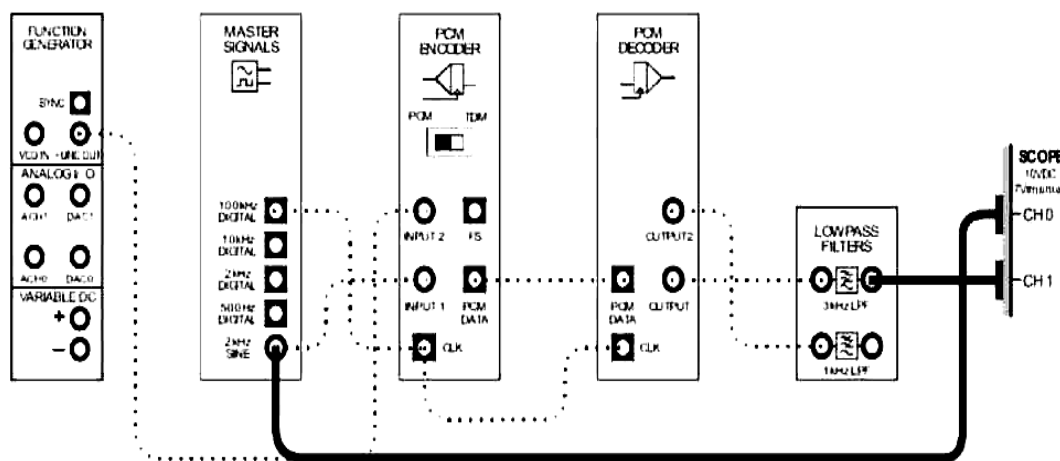


Рис. 16

Верните переключатель режимов Mode ИКМ-кодера в положение TDM. Это превратит систему PCM-TDM в двухканальную с частотой дискретизации 6250 отсчетов/с. Обратите внимание, что восстановленная версия Сообщения 1 теперь искажена.

Определение НЧ боковой составляющей на выходе ИКМ-декодера

Измените подключение осциллографа, как показано на рис. 17.

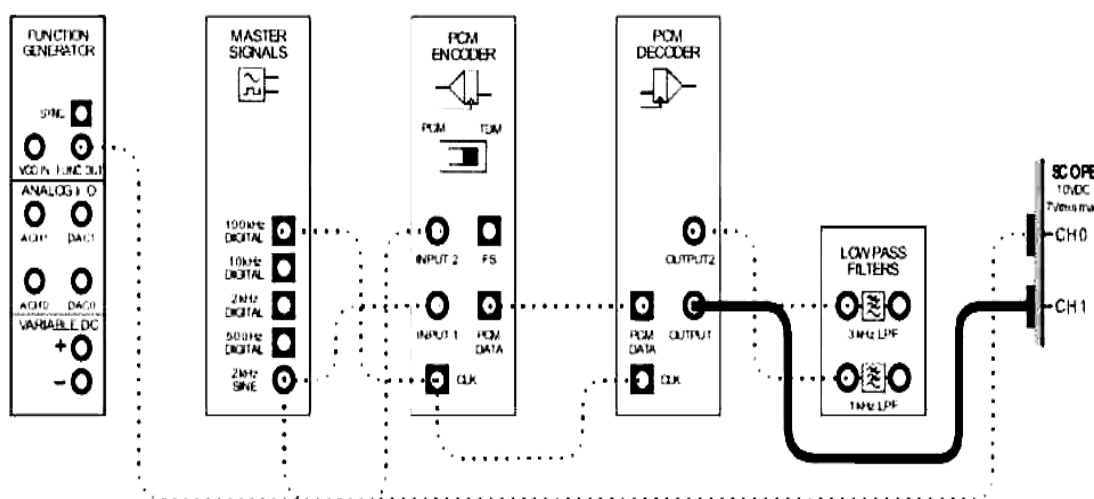


Рис. 17

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 18.

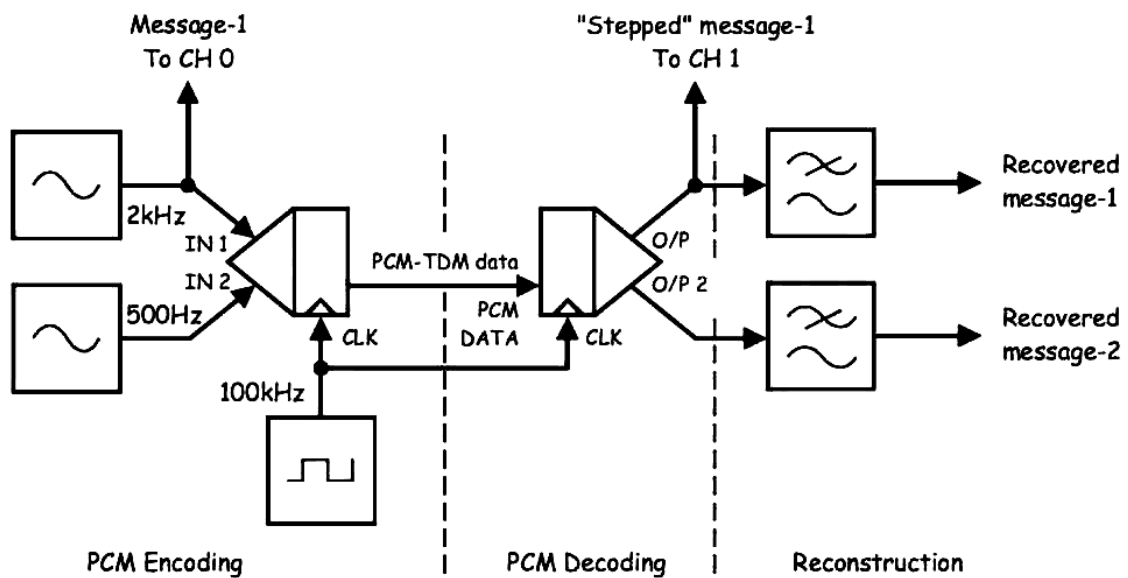


Рис. 18

Остановите осциллограф, щелчком по кнопке Stop (Стоп). Запустите ВП Анализатора динамических сигналов NI ELVIS II. Установите следующие настройки анализатора сигналов:

Input Settings (Настройки входов)

- *Source Channel (Канал источника сигнала)* - в положение *Scope CH1 (Канал 1 Осциллографа)*
- *Voltage Range* - $\pm 10V$ (Диапазон напряжений - $\pm 10 V$)

FFT Settings (Настройки быстрого преобразования Фурье - БПФ)

- *Frequency Span (Диапазон частот)* - 10,000
- *Resolution (Разрешение)* - 400
- *Window (Окно)* - 7 Term B-Harris (Блэкмана-Харриса 7-го порядка)

Averaging (Усреднение)

- *Mode(Режим)* - *RMS* (среднеквадратическое значение)
- *Weighting (Взвешивание)* - *Exponential (Экспоненциальное)*
- *# of Averages (выборок для усреднения)* - 3

Triggering (Запуск)

- *Type (Тип)* - *Edge (По фронту)*

Frequency Display (Режим отображения)

- *Units (Масштаб)* - *dB* (Логарифмический - дБ)
- *Mode (Режим)* - *RMS* (Среднеквадратический)
- *Scale* - *Auto* (Автомасштабирование)

Cursor Settings (Настройки курсоров)

- *Cursors On (курсоры включены)* - снимите флажок (пока)

Объясните, как побочная составляющая вызывает наблюдаемое вами во временной области искажение. Если вы не уверены, используйте анализатор спектра для изучения спектрального состава сигнала на выходе восстанавливающего фильтра. Назовите способы, позволяющие уменьшить искажение, не отключая режим TDM ИКМ-кодера и ИКМ-декодера.

Содержание отчета

В отчет включить описание работы и соответствующие структурные схемы экспериментов с полученными осциллограммами, а также:

- цель работы;
- блок-схемы измерений, осциллограммы;
- все снятые осциллограммы, расположенные таким образом, чтобы на них были отмечены все необходимые временные соотношения между исследуемыми сигналами;
- значения измеренных величин;
- выводы по выполненным исследованиям.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. ЛИНЕЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛА БИТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Линейный тракт и линейные сигналы

Передача сигналов в системах связи осуществляется после объединения канальных сигналов в один групповой сигнал, или нагрузочных сигналов (их иногда называют трибутарными) в агрегатный поток. В разных системах связи этот процесс может различаться, но в системах SDH (синхронной цифровой иерархии) применяют посимвольное объединение (побитовое), а для более высокоскоростных потоков – цикловое. При этом полученные биты информации имеют только положительную полярность, т.е. 1 представлена определенным значением напряжения, а 0 – когда значение амплитуды меньше $\frac{1}{2}$ значения амплитуды 1 или очень мало (рис. 19).

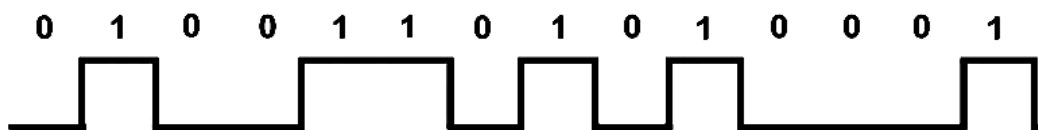


Рис. 19. Полярность битов информации

Передавать такой сигнал по линейному тракту без помех и искажений невозможно, поэтому необходимо соблюдать ряд требований к статистическим данным передаваемого линейного сигнала. Ниже приведены некоторые из них [8]:

1. Энергетический спектр линейного цифрового сигнала (ЛЦС) должен быть сосредоточен в относительно узкой полосе частот.

2. Структура ЛЦС должна позволять выделить на приеме тактовую частоту в каждом линейном регенераторе и на оконечной станции.

3. Должна быть обеспечена возможность постоянного и простого контроля коэффициента ошибок в линейном тракте без перерыва связи.

Линейный тракт цифровой системы передачи (ЦЛТ – цифровой линейный тракт) – это совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сигнала электросвязи в пределах одной цифровой системы передачи с импульсно-кодовой модуляцией и временным разделением каналов (ЦСП ИКМ-ВРК) со скоростью, определяемой номинальным числом основных цифровых каналов (ОЦК).

Групповой цифровой сигнал, который формируется каналобразующим оборудованием ЦСП, может передаваться по электрическим (симметричным или коаксиальным) и волоконно-оптическим кабелям, радиорелейным и спутниковым линиям передачи [7].

Линейные сигналы получают из групповых с помощью операции линейного кодирования, т.е. помимо получения цифрового сигнала необходимо дополнительное кодирование по определенным правилам. Самый простой вариант – применение чередования полярностей импульсов – код ЧПИ (AMI – Alternate Mark Inversion), рис. 20.

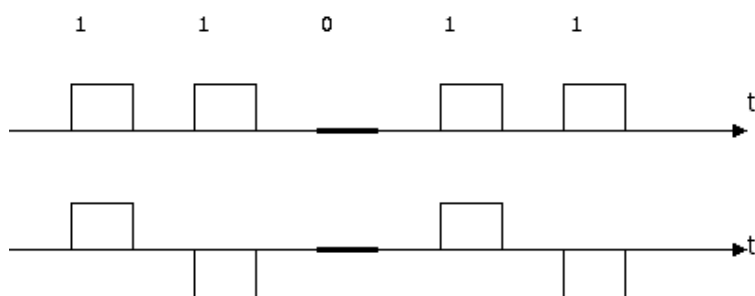


Рис. 20. Чередование полярности импульсов

Вариант такого кода – код с высокой плотностью единиц (КВП – N или HDB-N), когда последовательность подряд следующих нулей заменяется вставкой по определенному правилу.

При этом вместо нулей, количество которых больше трех, вставляют биты $V00V$ (1001) или $000V$ (0001) – код будет называться КВП-3 (HDB-3). Вставка 101 или 001 – код КВП-2 (HDB-2), рис. 21.

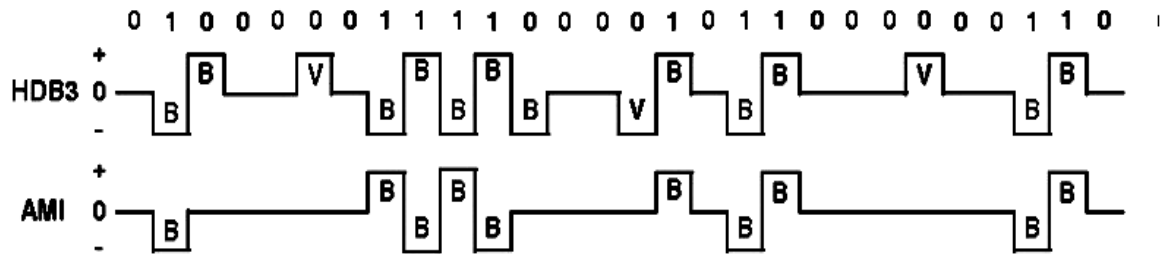


Рис. 21

Линейные коды класса $mBnV$, где $m = 2$, а $n > m$, называют алфавитными или табличными, т.к. при их формировании используются 2-3 таблицы кодирования, обеспечивающие балансировку числа логических символов «1» и «0».

В кодах этого класса последовательность исходного сигнала разбивается на отрезки (блоки), состоящие из m бит, и преобразуется в определенную последовательность (блок) кодовых символов n . Широкое применение получили коды $2B3V$, $2B4V$, $3B4V$, $5B6V$, $7B8V$. При формировании кодов со вставками предусмотрено разбиение исходной последовательности на блоки из m символов и присоединение к этим блокам дополнительных служебных символов. Примерами кодов со вставками являются: $mB1C$; $mB1P$; $mB1P1R$. При формировании кодов $mB1C$ к информационным символам m добавляется один дополнительный C , который имеет значение, инверсное последнему из m . Если последний из m будет «1», то символ C будет «0», и наоборот, если последним из m будет «0», то символ C будет «1» ($3B1C$, $8B1C$). В кодах $mB1P$ m – число информационных символов, P – дополнительный символ. Если число единиц в блоке m нечетное, то символ P

принимает значение «1», а если нечетное, то символ R равен «0» (10B1P, 17B1P).

Если требуется организация служебной связи в линейном тракте, то исходная двоичная последовательность кодируется по алгоритму mB1P, а затем добавляется еще один бит R – для служебной связи. Получается линейный код mB1P1R. Пример: 10B1P1R.

В цифровых системах передачи по *оптическим кабелям* также необходимо не просто передавать полученные информационные сигналы, а преобразовывать их в линейные сигналы для передачи по *оптическому линейному тракту* (ОЛТ). Совокупность технических устройств, предназначенных для передачи оптического излучения определенной длины волны и обеспечивающих компенсацию затухания светового потока, коррекцию искажений сигналов, требуемую защищенность или вероятность ошибки, называется *оптическим линейным трактом*.

К линейным сигналам ОСП предъявляются следующие основные требования:

- непрерывная часть энергетического спектра должна содержать минимальную спектральную плотность в низкочастотной области и иметь минимум высокочастотных составляющих;
- линейный сигнал должен содержать информацию о тактовой частоте;
- непрерывная часть спектра должна быть минимальной вблизи тактовой частоты;
- основная доля энергии спектра должна находиться в ограниченной области частот;
- процесс линейного кодирования не должен зависеть от статистики информационного сигнала;
- алгоритм формирования линейного сигнала должен обеспечить надежный контроль ошибок регенерации;

- линейный код не должен приводить к размножению ошибок и т.д.

Линейные коды ВОСП классифицируются по степени стандартизации и применению в существующих одноволновых системах передачи с аппаратурой мультиплексирования PDH, SDH и некоторой другой, например, оптических компьютерных сетей. На рис. 22 представлена классификация линейных кодов ВОСП.

NRZ – L: абсолютный код, где единицы передаются высоким логическим уровнем на весь тактовый интервал.

RZ – L: абсолютный код с возвращением к нулю (50%). Исключает длинную серию единичных импульсов, так как 50% – это возврат к нулю. Длительность импульсов в два раза уменьшается.

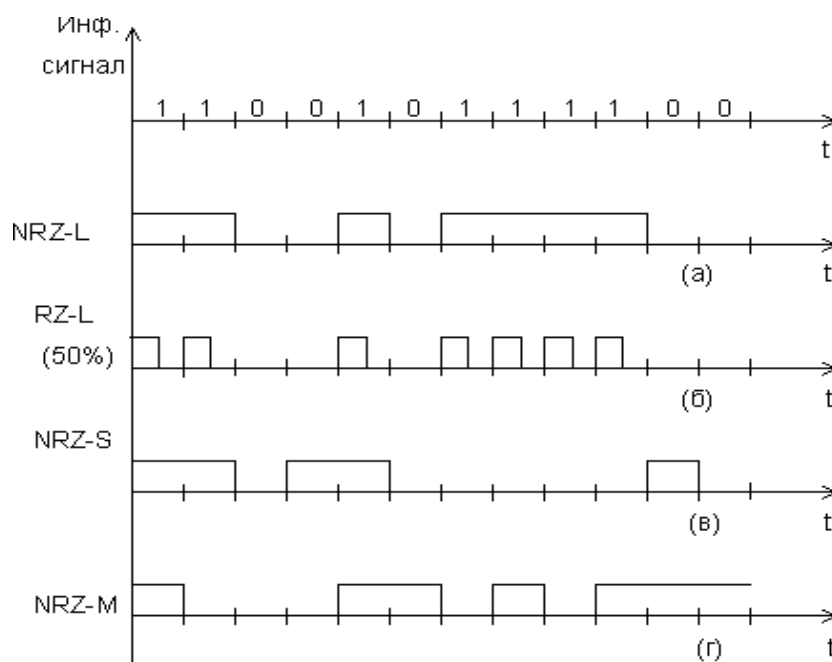


Рис. 22. Классификация линейных кодов ВОСП

Относительные коды: изменение состояния происходит только при низком уровне сигнала.

NRZ – S: в единичном состоянии не меняет состояние. Нуль меняет свой знак на противоположный.

NRZ – M: управление состоянием линейного кода высоким уровнем информационного сигнала и не зависит от низкого уровня информационного сигнала. Каждая информационная единица меняет свое состояние на выходе декодера. Это кодирование может передавать какую-нибудь однородность.

Линейные коды: скремблированный; коды без избытка; 1В2В; блочные mВnВ и со вставками; двухуровневые, т.е. имеют два логических состояния – высокий и низкий уровень оптической мощности.

Скремблированный линейный код в формате передачи NRZ (Non Return to Zero – без возврата к нулю на тактовом интервале) – является *первым глобальным стандартом линейного кодирования* для цифровых ВОСП SDH. Алгоритм его формирования рассмотрен в рекомендации МСЭ-Т G.707 (2004 года). Код обеспечивает выполнение требований, предъявляемых к линейным сигналам.

Коды без избытка NRZ-L (без возвращения к нулю на тактовом интервале – абсолютный) – точно повторяет информационную последовательность; NRZ-S и NRZ-M – относительные коды, т.е. изменяющие состояния в последовательности после логического нуля (S) или логической единицы (M) не получили широкого распространения из-за несоответствия требованиям к линейным сигналам.

Многоуровневые коды могут применяться в оптических системах передачи при внешней модуляции излучения и также в случае строго линейных модуляционных характеристик прямой модуляции. В качестве примера можно назвать линейное трехуровневое кодирование HDB-3 opt, предусмотренное рекомендацией МСЭ-Т G.703.

Как известно, в цифровых системах логический ноль и логическая единица представляются в виде напряжений. Например, в TTL логический «0» представляется напряжением 0 В, а логи-

ческая «1» представляется напряжением 5 В (или напряжениями, находящимися достаточно близко к 0 и 5 В). Вы также должны знать, что логические уровни в других семействах логических элементов (например, КМОП, ЭСЛ и др.) не обязательно соответствуют напряжениям 0 В и 5 В. То есть логические уровни могут быть представлены любой парой напряжений, какие нам нравятся. Конечно, на практике выбор используемых напряжений не настолько произволен, как может казаться, и объясняется инженерными решениями, обеспечивающими определенные преимущества.

Важно отметить, что это верно и при выборе уровней напряжений для передачи цифрового сигнала по медным телефонным кабелям (наподобие витой пары). Для этих целей стандартные напряжения ТТЛ и КМОП не слишком подходят. Более того, даже базовая предпосылка о необходимости удержания напряжения на данном уровне в течение всего времени, пока логический уровень не изменится, может вызывать затруднения. По этим причинам цифровые сигналы до передачи по медным телефонным кабелям, как правило, подвергаются преобразованию, называемому линейным кодированием.

На рис. 23 представлены несколько линейных кодов, среди них:

– *без возврата к нулю – по уровню (биполярный) (Non Return to Zero, NRZ-L)*. Этот код представляет собой просто отмасштабированную и сдвинутую по уровню копию оригинального цифрового сигнала;

– *бифазный код – по уровню (ViФ-L, также известный, как Манчестерский код)*. При этом методе кодирования уровни напряжения изменяются с отрицательного на положительный в середине периода при передаче «1» и с положительного на отрицательного при передаче нулевых бит. При последовательной пе-

передаче одинаковых битов напряжение должно инвертироваться после половины длины бита.

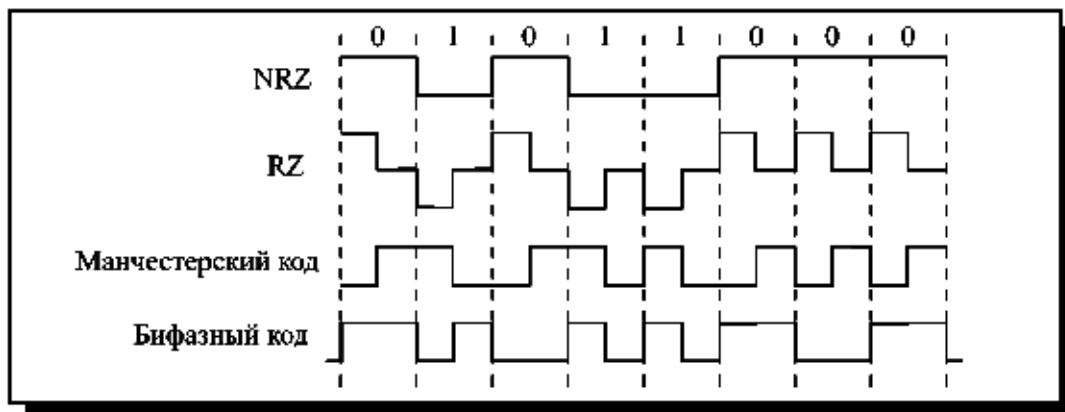


Рис. 23. Варианты линейных кодов

– с возвратом к нулю – метод кодирования с маркером инверсии (RZ-AMI). Как видно из рис. 23, при передаче 0 используется нулевое напряжение, а при передаче «1» – импульс длительностью в половину бита. Полярность импульса изменяется после каждой единицы;

– без возврата к нулю – с маркером (биполярный) (NRZ-M). Этот код изменяет уровень напряжения при передаче каждой новой логической «1» и не изменяет уровень при передаче любого логического «0».

Ниже в таблице представлены сравнительные требования по ширине полосе пропускания при передаче этих сигналов по линиям связи. Также показана пригодность разных методов кодирования для восстановления сигнала битовой синхронизации.

Метод кодирования	Минимальная полоса пропускания	Восстановление сигнала битовой
NRZ-L	$f_b/2$	Плохо
BiФ-L	f_b	Очень хорошо
RZ-AMI	$f_b/2$	Хорошо
NRZ-M	$f_b/2$	Плохо

Как видно, кодирование RZ-AMI является наилучшим компромиссом между шириной полосы пропускания и восстановлением сигнала битовой синхронизации среди этих четырех методов (другие характеристики линейных кодов здесь рассматривать не будем).

Восстановление сигнала битовой синхронизации

При любом методе цифровой связи переданные данные должны быть «прочитаны» приемником (как правило, после некой процедуры демодуляции сигнала и удаления шумов). Какое бы устройство не использовалось в качестве приемника, его синхроимпульсы должны быть синхронизированы с синхроимпульсами оригинального цифрового сигнала. Иначе некоторые биты будут прочтены дважды, а некоторые – не прочтены вообще. Обе проблемы вызывают ошибки передачи данных.

При выполнении предыдущих эксперименты с модулями FOTEx мы просто «заимствовали» сигнал битовой синхронизации из цепи синхронизации оригинального сигнала с помощью соединительного кабеля. На практике это неэффективно, поскольку дополнительный канал уменьшает количество пользователей на единицу. Поэтому были разработаны специальные методы для использования самого цифрового сигнала для получения локальных синхроимпульсов. Это называется восстановлением сигнала битовой синхронизации (Bit-clock regeneration, BCR).

Для понимания основных принципов, лежащих в основе восстановления сигнала битовой синхронизации следует знать, что цифровые сигналы состоят из множества синусоидальных сигналов. Один из них называется первой (основной) гармоникой, а остальные – гармониками. Важно, что в некоторых линейных кодах одна из гармоник синхронизирована с сигналом битовой синхронизации оригинального сигнала. Если она достаточно большая, в приемнике ее можно выделить при помощи фильтра

и либо использовать как локальный источник синхроимпульсов (после превращения ее в цифровой сигнал с использованием компаратора или иной схемы), либо для синхронизации локальных синхроимпульсов.

Наконец, вспомните, что в таблице содержатся сведения о пригодности четырех реализованных в FOTEx линейных кодов для восстановления сигнала битовой синхронизации. Это определяется размером синхронизированной гармонике в линейном коде. Лучше всего для восстановления сигнала битовой синхронизации подходят ВiФ-L код (Манчестерский код) и код RZ-AMI, имеющие большую по величине синхронизированную гармонику, чем другие.

Методика проведения работы

В методике экспериментов использованы определенные значения напряжений и частот, которые должны быть заменены на заданные параметры. Задание по работе выдается преподавателем в виде таблицы исходных значений напряжений, частот для каждого студента.

В этом эксперименте исследуются 4 метода линейного кодирования 31-разрядного TTL-сигнала данных во временной области, а также анализ сигналов в частотной области с использованием анализатора спектра NI ELVIS II. В ходе работы вы увидите, что один из линейных кодов значительно отличается от остальных по спектральному составу, а также то, что все четыре кода содержат гармонику, синхронизированную с сигналом битовой синхронизации исходного сигнала, которую можно использовать для восстановления сигнала битовой синхронизации.

С помощью блока PCM Bit-clock Regenerator (Восстановитель сигнала битовой синхронизации) будет исследована схема ИКМ-кодирования и декодирования без необходимости «заим-

ствовать» сигнал битовой синхронизации, как требовалось в предыдущих экспериментах.

Наблюдение линейных кодов во временной области

В первой части эксперимента вам предстоит пронаблюдать сигналы, представленные четырьмя линейными кодами, во временной области.

Запустите программу NI ELVISmx.

Найдите на панели FOTEx модуль Sequence Generator (Генератор последовательностей) с выходом X, и установите его переключатели в положение 00. Тем самым вы выбрали метод линейного кодирования NRZ-L для выхода LINE CODE генератора последовательностей.

Соберите схему, показанную на рис. 24.

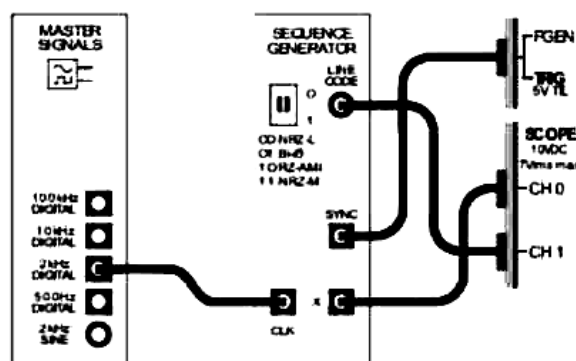


Рис. 24

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 25. Сигнал с выхода «2 kHz DIGITAL» генератора опорных сигналов используется для битовой синхронизации генератора последовательностей. На выходе X генератора последовательностей появляется последовательное 31-разрядное двоичное число, на выходе LINE CODE генератора последовательностей – копия сигнала с выхода X, преобразованного в определяемый переключателем DIP линейный код. Импульсы с

выхода SYNC генератора последовательностей соответствуют каждому первому биту последовательности при повторении кода и используются для запуска осциллографа.

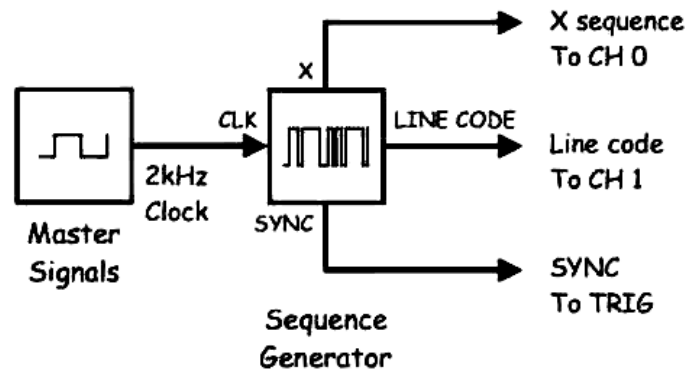


Рис. 25

Запустите ВП осциллографа NI ELVIS II. Настройте осциллограф:

- Coupling (связь с источником сигнала) для обоих каналов: DC (по постоянному току) вместо AC (по переменному току);
- Timebase (масштаб по оси времени): 1 мс/дел. вместо 500 мкс/дел.;
- Trigger Type (Тип запуска): Digital (цифровой).

Когда вы это сделаете, увидите фрагмент сигнала 31-битной последовательности с выхода X.

Активируйте канал 1 осциллографа (установив флажок Enabled), чтобы наблюдать одновременно сигналы на выходах X и LINE CODE генератора последовательностей. Сигналы должны перекрываться.

Установите элемент управления осциллографа Vertical Position (смещение по вертикали) канала 1 в положение -3 В, чтобы разделить сигналы для удобства их сравнения. Когда вы это сделаете, отметка 0 В канала 1 больше не будет совпадать со средней горизонтальной линией координатной сетки. Однако новое опорное положение будет отмечено пунктирной линией.

Обратите внимание, что линия 0 В канала 1 проходит посередине кодированного сигнала. Это значит, что сигнал является биполярным.

Нарисуйте два сигнала в масштабе и совпадающими по времени на графике. При этом оставьте место еще для трех сигналов.

Подпишите сигналы, чтобы не запутаться. Обозначьте на ваших графиках уровень 0В каждого сигнала.

Выберите код ViФ-L, установив DIP-переключатели Генератора последовательностей в положение 01.

Зарисуйте осциллограмму кодового сигнала рядом с двумя другими, отметив уровень 0 В.

Выберите код RZ-AMI, установив DIP-переключатели Генератора последовательностей в положение 10, и зарисуйте осциллограмму сигнала рядом с другими.

Выберите код NRZ-M, установив DIP-переключатель Генератора последовательностей в положение 11, и зарисуйте осциллограмму сигнала рядом с другими.

Сравните полученные вами осциллограммы с ожидаемыми результатами. Если вам кажется, что сигналы изменяют свое состояние не в соответствии с вашими предположениями, то проверьте правильность ваших экспериментов.

Определите, какой из четырех линейных кодов больше всего соответствует исходному сигналу и какой из четырех линейных кодов биполярный.

Наблюдение кодированных сигналов в частотной области

В следующей части эксперимента вы будете изучать четыре линейных кода в частотной области с помощью анализатора спектра NI ELVIS II.

Выберите код NRZ-L, установив DIP-переключатели Генератора последовательностей в положение 00.

Закройте осциллограф. Запустите ВП Анализатора динамических сигналов (DSA).

Установите следующие настройки анализатора сигналов:

– Input Settings: Source Channel (Канал источника сигнала) – в положение Scope CH1 (Канал 1 Осциллографа),

Voltage Range $\pm 10V$ (Диапазон напряжений $\pm 10 V$);

– FFT Settings (Настройки быстрого преобразования Фурье – БПФ):

Frequency Span (Диапазон частот) – 40 000,

Resolution (Разрешение) – 400,

Window (Окно) – 7 Term B-Harris (Блэкмана-Харриса 7-го порядка);

– Averaging (Усреднение):

Mode (Режим) RMS (среднеквадратическое значение),

Weighting (Взвешивание) – Exponential (Экспоненциальное),
выборок для усреднения – 3,

Trigger Type (Синхронизация) – Digital (Цифровая),

Cursors On (курсоры включены) – снимите галочку;

– Frequency Display:

Units (Масштаб) – dB (Логарифмический – дБ),

Mode (Режим) – RMS (Среднеквадратический),

Scale: Auto (Автомасштабирование).

Пример спектра показан на рис. 26. В вашем случае изображение может отличаться в соответствии с заданными параметрами сигналов.

Обратите внимание, что спектр линейного кода состоит из чередующихся пиков и впадин. Это общий вид спектра периодических импульсов, подобных последовательностям цифровых данных.

Пики (лепестки) часты, т.к. соответствуют областям, состоящим из большого числа гармоник, которые анализатор спектра не может показать отдельно (по крайней мере, при заданных

настройках). Впадины или «нули» – места отсутствия гармоник. Они возникают на множестве частот, кратных частоте битовой синхронизации.

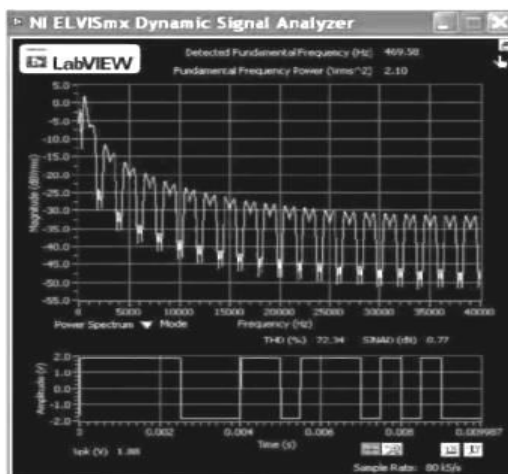


Рис. 26

Изучите и сравните спектральный состав четырех линейных кодов. Вы должны отметить, что в то время, как общий вид спектра сохраняется таким, как упомянуто выше, спектральный состав сигналов различается. Сделайте вывод о том, что это одна из причин выбора того или иного способа кодирования.

Один из недостатков кода ViФ-L (Манчестерского кода) заключается в том, что ему требуется в два раза большая ширина полосы пропускания для передачи по линиям связи, чем для трех других методов кодирования. Поскольку это ограничение нельзя продемонстрировать на модулях FOTEx непосредственно, мы можем более внимательно изучить спектры других трех сигналов, чтобы увидеть, насколько существенно сигнал ViФ-L от них отличается.

Выберите код NRZ-L, установив DIP-переключатели Генератора последовательностей в положение 00.

Подсчитайте количество «лепестков» в спектре сигнала (в пределах 40 кГц) и запишите в общую таблицу. Повторите это для других трех кодов.

Чтобы сравнить код ВiФ-L с другими кодами, мы используем курсоры анализатора спектра для изучения частот с нулевой амплитудой.

Установите генератор последовательностей на режим кодирования NRZ-L. Активируйте курсоры анализатора спектра (установив флажок в окне Cursors On – внизу слева).

Установите один из курсоров на первую частоту с нулевой амплитудой (между первым и вторым лепестками спектра).

Измерьте эту частоту и запишите в таблицу. Измерьте и запишите в таблицу первую частоту с нулевой амплитудой в спектре остальных трех сигналов.

Восстановление сигнала битовой синхронизации

Коды, содержащие спектральный компонент с частотой синхроимпульсов исходного сигнала, могут использоваться для восстановления сигнала битовой синхронизации. Четыре метода кодирования FOTEx пригодны для этого, однако они отличаются по значимости составляющей сигнала битовой синхронизации. Следующий эксперимент продемонстрирует это отличие.

Установите Генератор последовательностей в режим кодирования NRZ-L. Установите настройку Frequency Span (Диапазон частот) анализатора сигналов на 3000 Гц вместо 40 000 Гц.

С помощью курсора найдите в спектре кодированного сигнала гармонику с частотой сигнала битовой синхронизации.

Определите относительное значение этой составляющей и запишите в таблицу. Относительное значение компонента в децибелах можно определить по пересечению горизонтальной линии курсора оси Y. Это размер компоненты в децибелах относительно самой большой составляющей закодированного сигнала.

Определите относительный размер гармоник с частотой сигнала битовой синхронизации для других трех методов кодирования (в децибелах и как отношение).

Код NRZ-L содержит гармонику с частотой оригинального сигнала битовой синхронизации, которая может быть использована для восстановления сигнала битовой синхронизации. Нужно отметить, что это утверждение должно быть верно и для ТТЛ-сигналов, потому что, как вы уже видели, код NRZ-L – это просто биполярная версия ТТЛ. Однако оба этих сигнала все равно хуже подходят для восстановления сигнала битовой синхронизации, чем ВiФ-L или RZ-AMI, которые, соответственно, используются чаще.

Чтобы иметь возможность полностью моделировать медные и оптоволоконные системы связи, Emona FOTex содержит модуль восстановления сигнала битовой синхронизации, который выдает на выходе синхронизированный сигнал частотой 100 кГц для использования в качестве локальных синхроимпульсов ИКМ-декодера. В следующей части эксперимента изучается его работа с использованием ИКМ-системы кодирования и декодирования.

Полностью разберите собранную схему.

Закройте окно Анализатора спектра. Установите переключатель режимов Mode ИКМ-кодера в положение РСМ.

Соберите схему, как показано на рис. 27.

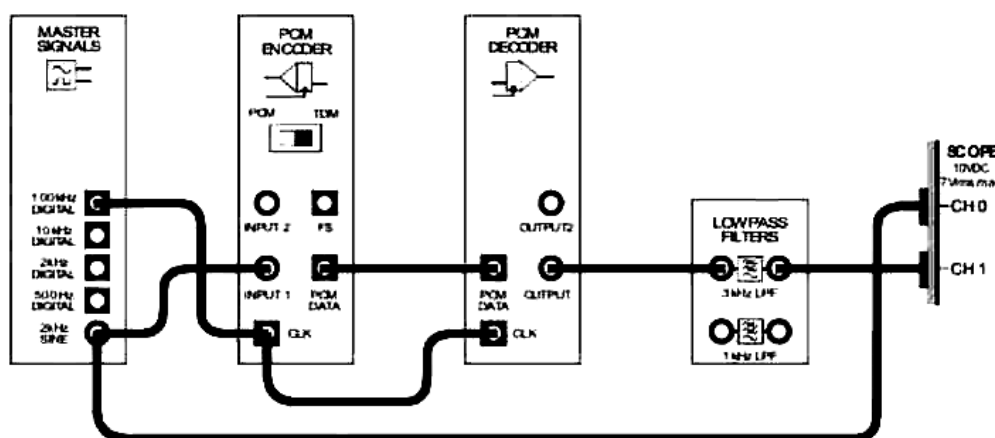


Рис. 27

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 28. Сигнал с выхода «2 kHz SINE» генератора опорных сигналов (Master Signals) как аналоговое сообщение подается на вход ИКМ-кодера. ИКМ-кодер преобразует сообщение в цифровой ИКМ-сигнал – дискретизированную версию оригинального сигнала. ФНЧ с частотой среза 3 кГц используется для восстановления исходного сообщения из выходного сигнала ИКМ-декодера. Важно отметить, что на этой стадии эксперимента сигнал битовой синхронизации ИКМ-декодера «заимствуется» с модуля ИКМ-кодера.

Запустите окно осциллографа NI ELVIS II. Настройте осциллограф.

Установите элемент управления осциллографа Timebase (Масштаб по оси времени) таким образом, чтобы видеть на экране примерно два периода сообщения.

Активируйте канал 1 осциллографа, чтобы наблюдать как сигнал на выходе восстанавливающего фильтра, так и само сообщение. Вы должны увидеть копию оригинального сигнала, скорее всего, сдвинутую по фазе.

Запустите ВП Генератора функций (FGEN) NI ELVIS II.

Установите частоту генератора функций равной 100 кГц. Нет необходимости устанавливать другие настройки, так как будет использоваться цифровой сигнал с выхода SYNC Генератора функций.

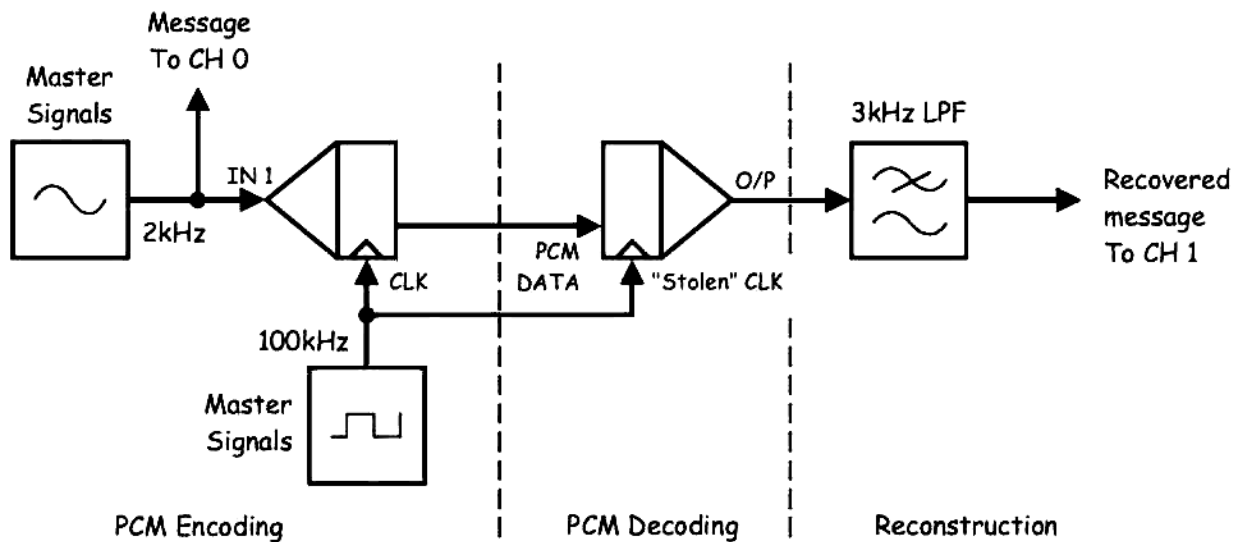


Рис. 28

Измените схему, как показано на рис. 29.

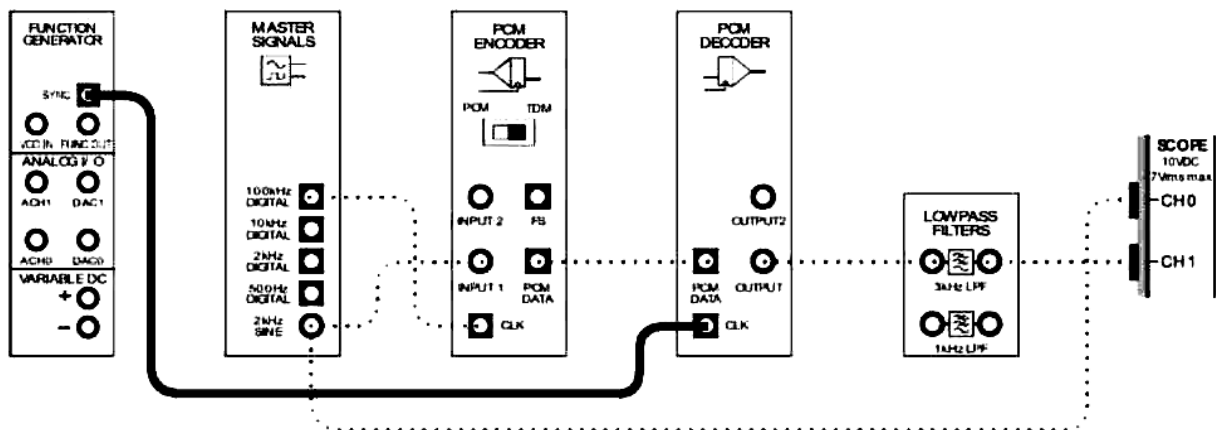


Рис. 29

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 30. Теперь сигнал битовой синхронизации ИКМ-декодера – независимый сигнал с частотой 100 кГц, формируемый генератором функций.

Внимательно рассмотрите восстановленный сигнал. Вы должны заметить периодические искажения сигнала.

Восстановление сигнала битовой синхронизации можно реализовать несколькими способами. При использовании метода без обратной связи (open-loop) происходит фильтрация гармоники с частотой сигнала битовой синхронизации из спектра линейного кода, с преобразованием ее в цифровой сигнал (например, с помощью компаратора) пригодный для тактирования ИКМ-декодера. При более сложном методе с обратной связью (closed-loop) отфильтрованная гармоника сигнала битовой синхронизации используется для синхронизации локальных синхроимпульсов. Иными словами, локальные синхроимпульсы генерируются с частотой, близкой к требуемой, а эта гармоника используется для точной калибровки их частоты и фазы. В модуле PCM Bit-clock Regenerator (Восстановитель сигнала битовой синхронизации) Emona FOTEch используется последний метод. Далее вы будете тактировать ИКМ-декодер с помощью этого модуля.

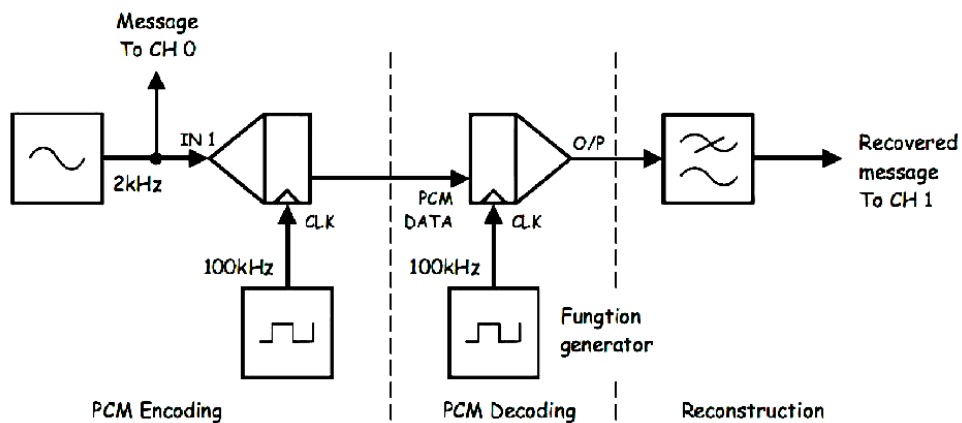


Рис. 30

Измените схему в соответствии с рис. 31.

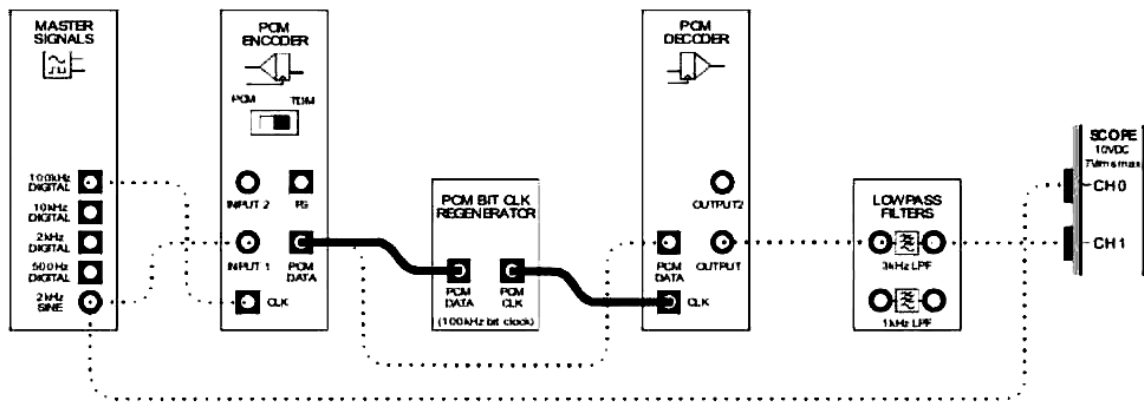


Рис. 31

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 32. Теперь сигнал битовой синхронизации ИКМ-декодера предоставляется с модуля Восстановителя сигнала битовой синхронизации, который использует ИКМ-данные для синхронизации своего выходного сигнала частотой 100 кГц с сигналом битовой синхронизации оригинального сигнала.

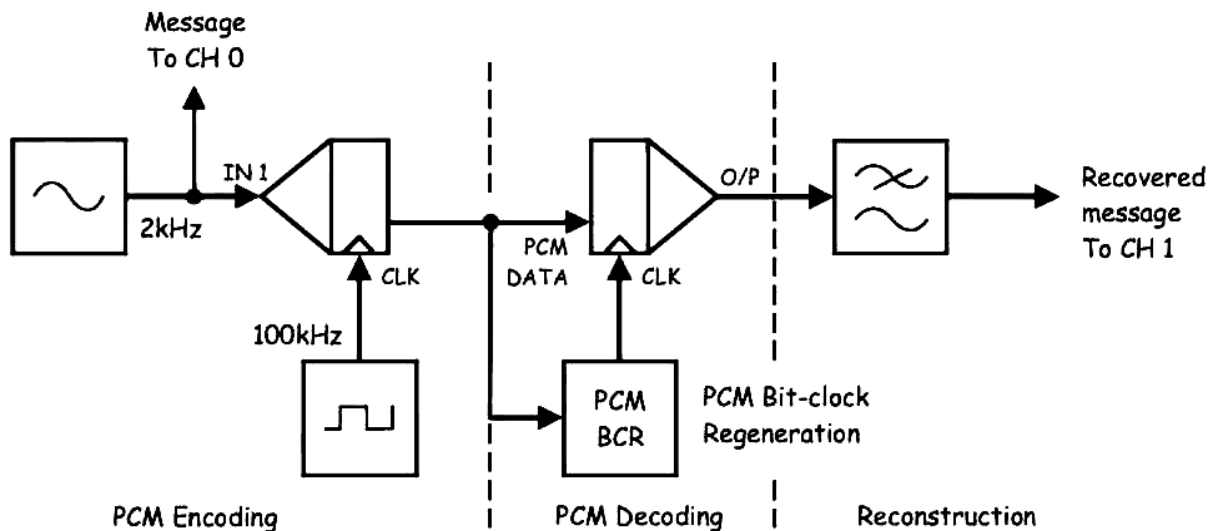


Рис. 32

Внимательно рассмотрите восстановленный сигнал. Вы должны заметить, что теперь в восстановленном сообщении не наблюдается ошибок, которые были, когда сигнал битовой синхронизации «заимствовался» с выхода ИКМ-кодера.

Объясните, почему эта схема не будет работать, если частота битовой синхронизации ИКМ-кодера будет отличаться от 100 кГц?

Содержание отчета

В отчет включить описание работы и соответствующие структурные схемы экспериментов с полученными осциллограммами, а также:

- цель работы;
- блок-схемы измерений, осциллограммы;
- все снятые осциллограммы, расположенные таким образом, чтобы на них были отмечены все необходимые временные соотношения между исследуемыми сигналами;
- значения измеренных величин;
- выводы по выполненным исследованиям.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ОПТОВОЛОКНУ

Волоконно-оптические линии передачи со спектральным уплотнением

Современные системы передачи информации ориентированы на высокие скорости, передачу требуемых видов информации с определенным уровнем качества и без ошибок. Выполнение этих требований с использованием цифровых оптических систем передачи стало реальным в настоящее время благодаря методам уплотнения, т.е. мультиплексирования – одновременной передачи нескольких потоков светового излучения по одному волокну (одной паре волокон). Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) по способу мультиплексирования подразделяются на ВОСП:

- с частотным, или гетеродинным уплотнением;
- временным уплотнением;
- со спектральным уплотнением.

Подробно о первых двух методах уплотнения можно прочитать в литературе [8], а вот о спектральном уплотнении (разделении) поговорим подробнее, т.к. этот метод используется на магистральных сетях связи и позволяет передавать с очень высокой скоростью огромное количество информации. На рис. 33 приведена схема построения волоконно-оптической системы передачи со спектральным уплотнением:

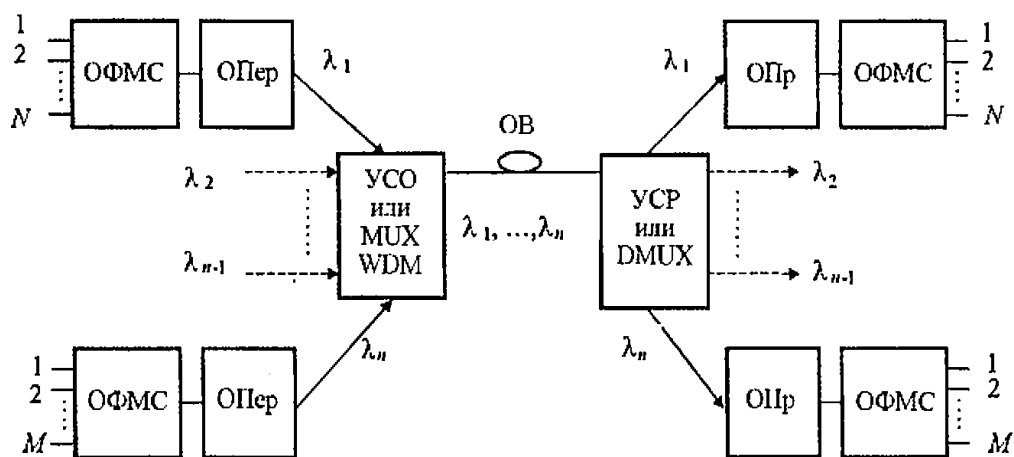


Рис. 33. Структурная схема ВОСП со спектральным разделением

Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) со спектральным уплотнением или мультиплексированием с разделением длин волн (Wavelength-Division Multiplexing. WDM) – это системы передачи, в которых по одному оптическому волокну (ОВ) одновременно передается несколько спектрально разнесенных оптических несущих, каждая из которых модулируется многоканальным сигналом, сформированным соответствующим каналобразующим оборудованием.

На рис. 35 представлено следующее оборудование: ОФМС – оборудование формирования многоканального сигнала (объединяет каналобразующее (КОО) оборудование и оборудование сопряжения (ОС), предназначенное для формирования электрического сигнала, параметры которого согласованы с оптическим передатчиком и оптическим приемником (Опер/ОПр); УСО – устройство спектрального объединения, осуществляющее ввод различных оптических несущих в одно оптическое волокно (или мультиплексор WDM – MUX); УСР – устройство оптического разделения (или демультиплексор WDM – DMUX), в котором оптические несущие разделяются в пространстве и поступают на оптические приемники.

Сущность метода спектрального уплотнения заключается в одновременной передаче по одному ОВ нескольких спектрально

разнесенных оптических несущих, каждая из которых модулируется многоканальным сигналом, сформированным соответствующим каналообразующим оборудованием. Каждая компонента с определенной длиной волны представляет собой отдельный оптический канал передачи информации со своим передатчиком и приемником. Добавление нового канала в линию связи сводится к введению новой компоненты светового пучка на незанятой длине волны и не влияет на работу существующих каналов передачи. Для передачи информации по разным каналам могут использоваться аналоговые и цифровые сигналы, различные протоколы и скорости передачи. При этом применяемые в качестве несущих оптические сигналы со своими длинами волн являются независимыми, иначе невозможно было объединять, передавать по волокну и разделять на приеме каналы передачи информации. Для объединения и разделения оптических несущих могут использоваться различные оптические спектральные устройства: мультиплексоры, демультиплексоры, работа которых основана на явлениях физической оптики: дисперсии, дифракции и интерференции (рис. 34).

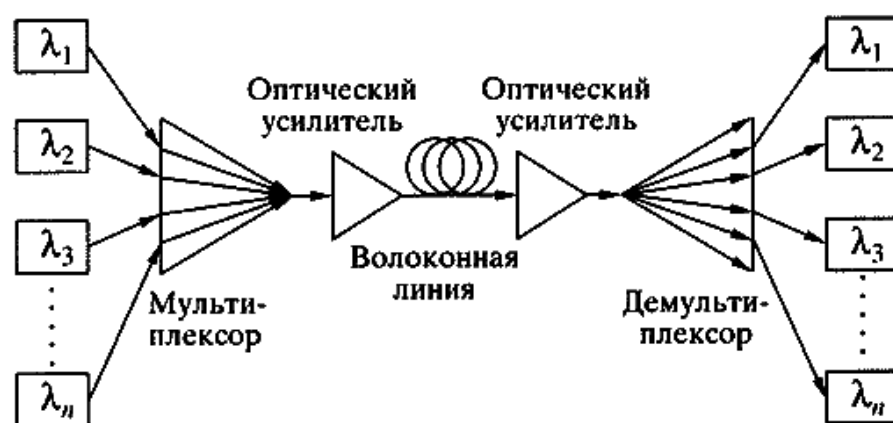


Рис. 34

Для организации двусторонней связи применяют следующую схему (рис. 35).

При формировании оптических сигналов используется модуляция оптической несущей. Оптическая несущая – электрическое поле монохроматического излучения, мгновенное значение которого при фиксированных пространственных координатах выражается формулой:

$$E(t) = E_M \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где E_M – амплитуда поля; ω_0 и φ_0 – частота и фаза оптической несущей.

Следовательно, оптическое излучение характеризуется амплитудой, частотой, мгновенной фазой или поляризацией. Мгновенная интенсивность оптического излучения выражается формулой:

$$E^2(t) = E_M^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

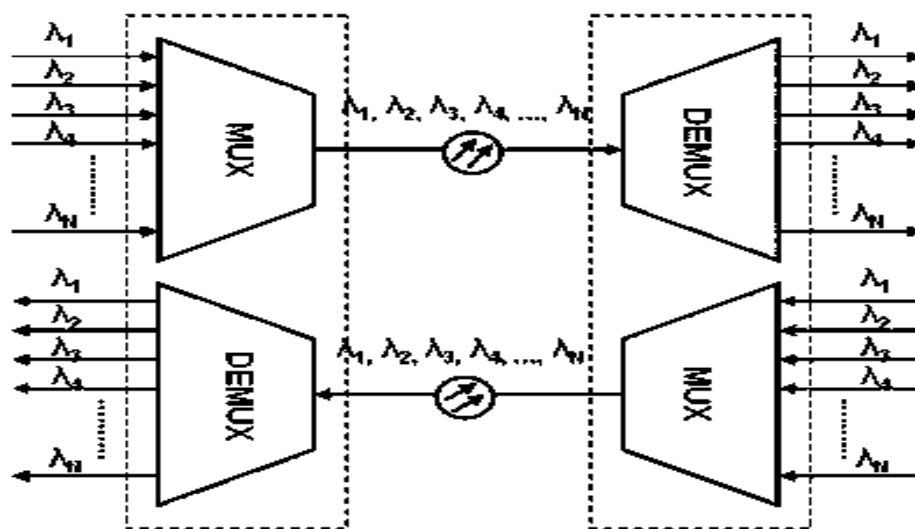


Рис. 35

Изменение амплитуды, частоты, фазы (или поляризации) и интенсивности оптического излучения под воздействием управляющего (модулирующего) сигнала называется *модуляцией*.

В оптическом диапазоне используется аналоговая, импульсная и цифровая модуляции: ИКМ, дельта-модуляция (ДМ) и их разновидности.

При аналоговой модуляции непрерывному изменению амплитуды информационного сигнала соответствует плавное изменение амплитуды (интенсивности), фазы оптической несущей частоты (аналоговая амплитудная модуляция – АМ, модуляция интенсивности – МИ, частотная модуляция – ЧМ, фазовая модуляция – ФМ). При импульсной модуляции происходят аналогичные изменения – параметры оптических импульсов изменяются пропорционально изменению параметров информационного сигнала, при этом существуют следующие виды модуляций: АИМ – амплитудно-импульсная; ИМИ – импульсная модуляция интенсивности; ШИМ – широтно-импульсная; частотно-Импульсная (ЧИМ) и фазоимпульсная (ФИМ), называемые также ПИМ – позиционно-импульсной модуляцией.

Цифровая модуляция означает в общем случае передачу двоичной последовательности импульсов одинаковой амплитуды, длительности и фазы методами ИКМ и ДМ. При этом различают следующие виды цифровой модуляции: ИКМ-АМ (ИКМ-МИ), когда передаче единицы или нуля информационной последовательности импульсов соответствует максимальная или минимальная, соответственно, интенсивности (амплитуды) оптической несущей; при ИКМ-ЧМ единице информационной последовательности соответствует одно значение частоты оптической несущей, а нулю – другое значение. При ИКМ-ФМ фаза оптической несущей изменяется по отношению к опорной фазе на фазовый угол, равной нулю или π в соответствии с единицей или нулем исходной информационной последовательности. ИКМ-ПМ – импульсно-кодированную поляризационную модуляцию (манипуляцию) можно осуществить в двух вариантах: линейно-ортогональном и циркулярно-ортогональном. В первом случае единица и нули исходной информационной последовательности различаются линейными ортогональными поляризациями оптического излучения (например, вертикальная поляризация соответствует единице, а горизонталь-

ная – нулю). Во втором случае единице соответствует правая круговая поляризация, а нулю – левая.

В современных ВОСП в основном применяются цифровые методы передачи с модуляцией интенсивности оптического излучения, а также виды модуляции с поднесущими колебаниями и гетеродинным методом приема. Модулирующий сигнал может быть электрическим (ток, напряжение), что редко сейчас встречается, акустическим, механическим и оптическим.

Фактическим переносчиком данных в оптическом волокне (ОВ) является оптическая несущая, излучаемая источником, модуляция которой может быть осуществлена следующими способами:

- непосредственной модуляцией оптической несущей кодовой последовательностью – ЛКП;
- модуляцией с использованием промежуточной поднесущей, которая затем непосредственно модулирует оптическую несущую;
- модуляцией несущей с использованием специального модулятора, сигнал которого и модулируется с помощью ЛКП;
- модуляцией с использованием поднесущей и модулятора.

Существуют различные способы модуляции параметров оптического излучения:

1. Прямая или непосредственная модуляция, при которой модуляция излучения лазерного (ЛД) или светоизлучающего (СИД) диода достигается изменением тока накачки или тока смещения.

2. Внешняя модуляция, при которой управляющий сигнал воздействует на оптическое излучение с помощью внешнего оптического модулятора.

3. Внутренняя модуляция, при которой преобразование излучения происходит в процессе его формирования непосредственно в источнике оптического излучения с помощью соответ-

ствующего оптического модулятора, помещаемого внутрь лазерного резонатора, например Фабри-Перо, и изменяющего его добротность.

Устройства, реализующие модуляцию оптической несущей, называются *оптическими модуляторами*, а устройства, восстанавливающие информационные сигналы на приеме – *оптическими демодуляторами*.

В оптических системах передачи используется два метода приема модулированного оптического сигнала:

– прямая или непосредственная демодуляция модулированного по интенсивности оптического излучения;

– когерентный прием оптических сигналов, при котором применяется гетеродинный способ преобразования частот. При когерентном приеме возможны синхронная и несинхронная демодуляции по промежуточной частоте сигналов с различными методами модуляции.

На рис. 36 приведена схема построения модулятора на основе управляемых источников оптического излучения.

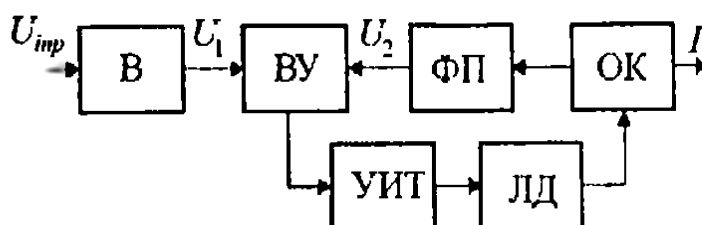


Рис. 36. Структурная схема управляемого источника оптического излучения с отрицательной обратной связью: В – выпрямитель; ВУ – вычитающее устройство; УИТ – управляемый источник тока; ЛД – лазерный диод; ФП – фотоприемник; ОК – оптический коллектор

Одним из многих преимуществ оптоволоконна над медным кабелем для передачи сигналов на большие расстояния является намного меньший уровень потерь данных. Это означает, что требуется меньше повторителей, что позволяет значительно сэконо-

мить деньги и энергию (особенно при прокладке кабелей под водой).

Для коммерческих оптоволоконных систем, используемых в телекоммуникациях, потери минимизируются путем использования света из инфракрасной области электромагнитного спектра (а именно, с длиной волны между 1300 нм и 1700 нм) и использования лазеров в качестве источников света. Однако инфракрасное излучение невидимо для людей, а свет лазера может вызвать повреждение глаз.

Для моделирования передачи данных по оптоволокну в телекоммуникационных системах и объяснения концепции передачи данных по оптоволокну при сохранении обучения безопасным, используется красный и зеленый свет, излучаемый светодиодами (LEDs) и стандартные датчики света. Это соответствует реальным оптическим экспериментам, описанным в руководстве, потому что подобные устройства с пластиковым оптоволоконным кабелем применяются в коммуникационных системах при передаче данных на короткие расстояния, когда потери незначительны (например, в оптических системах, которые заменяют медные провода в современных автомобилях).

Передатчики FOTEx (Transmitter Modules)

Устройство содержит три оптических модуля передачи, которые могут быть использованы для «загрузки» информации в оптоволоконные кабели. Другими словами, передатчики могут воспринимать аналоговую или цифровую информацию в электрической форме и преобразовывать в световую, которая может быть довольно эффективно передана в сердцевину пластикового оптоволоконного кабеля. Два модуля передачи используют в качестве источника света красные светодиоды, один использует зеленый.

Чтобы понять, как работают эти модули, представьте себе настольную лампу, которую можно только включать или выключать. Именно так работают передатчики Emona FOTEx в цифровом режиме (у каждого модуля есть переключатель режимов). Это позволяет им передавать цифровую информацию (например, ИКМ-сигнал) по оптоволоконному кабелю. Важно отметить, что в ключевом режиме (амплитудная манипуляция) не позволены никакие другие уровни света, потому что они могут восприниматься приемником как ложная информация о пересылаемом логическом уровне.

В аналоговом режиме передатчики FOTEx работают как настольная лампа с регулятором яркости света, т.е. могут быть установлены на любой уровень яркости между минимумом и максимумом. Яркость светодиодов модулей передачи управляется значением напряжения на аналоговом входе передатчика (амплитудная модуляция). Чем меньше аналоговое напряжение, тем ниже уровень яркости светодиода, чем больше напряжение, тем больше и яркость. Очевидно, что аналоговый режим позволяет модулю передачи передавать аналоговую информацию по оптоволоконному кабелю.

Необходимо знать два важных момента об аналоговом режиме работы передатчиков. Во-первых, аналоговые сигналы являются биполярными, т.е. изменяют напряжение между положительным и отрицательным значениями, как на левой синусоиде на рис. 37. Однако светодиоды могут работать с напряжением только одной полярности. Поэтому, чтобы весь период синусоиды мог быть преобразован в свет, модуль передачи сдвигает сигнал на входе на 2.5 В (как показано справа на рис. 37), прежде чем использовать его для управления светодиодами. Таким образом, в свет может быть преобразован аналоговый сигнал с амплитудными значениями до ± 2.5 В.

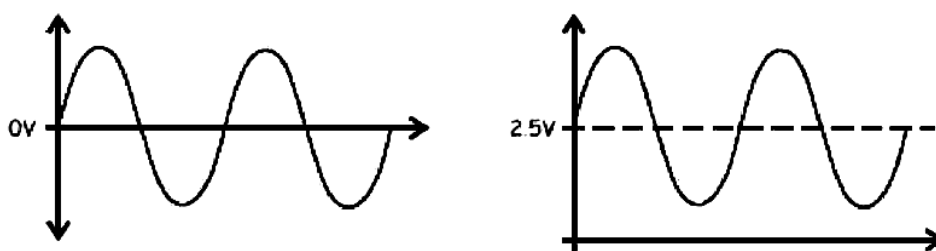


Рис. 37. Слева биполярный аналоговый сигнал, справа – униполярный аналоговый сигнал, сдвинутый на + 2.5 В

Второй важный момент вытекает из первого. Как только пиковая амплитуда входного сигнала превысит 5 В, будет достигнут предел возможностей светодиодов по излучаемой мощности. Результатом будет обрезание вершин сигнала (режим насыщения) на выходе приемника.

Приемники FOTEx (FOTEx Receiver Modules)

Емона FOTEx содержит два модуля приема, которые можно использовать для приема информации из оптоволоконных кабелей. Другими словами, эти устройства могут эффективно принимать световую информацию с сердцевины оптоволоконного кабеля на датчик света, который преобразует информацию в электрический сигнал. Используемые стандартные датчики света реагируют на весь спектр видимого света, поэтому приемники могут работать и с красными, и с зелеными световыми сигналами, передаваемыми по оптоволокну.

Как только информация преобразована из световой энергии в электрическую, уровень сигнала усиливается с помощью усилителя. Предусмотрена плавная и грубая регулировка усиления, что позволяет избежать насыщения сигнала, когда потери малы, и обеспечить достаточное усиление при значительных потерях.

Важно отметить, что при преобразовании информации из световой в электрическую форму получается биполярный сигнал. Этот сигнал после усиления доступен на аналоговом выходе мо-

дуля. Иными словами, если по оптоволокну передавался цифровой сигнал, то сигнал, полученный на выходе приемника, не подходит для цифровых входов со стандартной униполярной логикой ТТЛ (5 В для «1», 0 В для «0»). Чтобы исправить это, приемники также преобразуют полученный сигнал в стандартные уровни ТТЛ, которые требуются для подачи на цифровые выходы, например, ИКМ декодера.

Методика проведения работы

В методике экспериментов использованы определенные значения напряжений и частот, которые должны быть заменены на заданные параметры. Задание по работе выдается преподавателем в виде таблицы исходных значений напряжений, частот для каждого студента.

В этом эксперименте вы изучите работу передатчика Emona FOTEx в аналоговом и цифровом режимах. Далее при помощи одного из передатчиков вы передадите аналоговые и цифровые данные по оптоволоконному кабелю и изучите работу модуля приема [1].

Запустите виртуальный прибор (ВП) NI ELVIS II Variable Power Supply (Регулируемый источник питания).

Установите на выходе регулируемого источника питания положительного напряжения уровень, равный 0 В.

Выберите один из передатчиков с красным светодиодом и установите его переключатель режимов Mode в положение DIGITAL (Цифровой).

Соберите схему, показанную на рис. 38, используя выбранный вами на предыдущем шаге передатчик. При этом один конец оптического проводника пока ни к чему не подключен.

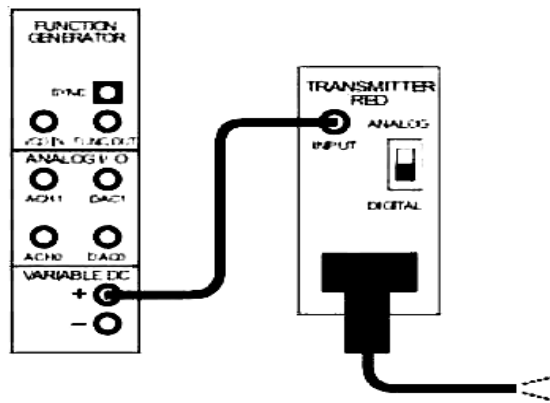


Рис. 38

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 39. На входе передатчика с красным светодиодом – регулируемое напряжение с выхода регулируемого источника питания.

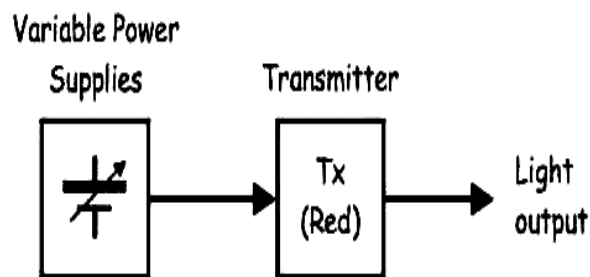


Рис. 39

Направьте свободный конец оптического проводника на стол, лист бумаги или свою ладонь, чтобы контролировать, исходит или нет свет из проводника.

Увеличивайте уровень напряжения на выходе регулируемого источника положительного питания, пока не включится светодиод передатчика.

Изменяйте уровень положительного напряжения на выходе регулируемого источника питания, оставаясь выше уровня, включившего светодиод. Вы должны увидеть, что интенсивность света светодиода передатчика не изменяется.

Верните уровень напряжения на выходе регулируемого источника положительного питания на 0 В.

Увеличивайте уровень напряжения на выходе регулируемого источника положительного питания с шагом 0.1 В и определите точное значение напряжения, при котором включается светодиод. Запишите это значение в таблицу.

Теперь уменьшайте уровень напряжения на выходе регулируемого источника положительного питания с шагом в 0.1 В и определите точное значение, при котором светодиод выключается. Запишите это значение в таблицу.

Обратите внимание, что пороговые напряжения для изменения логического уровня на «0» и на «1» различаются. Это сделано специально для получения эффекта гистерезиса с передатчиком работающим в цифровом режиме.

Закройте ВП Регулируемого источника питания.

Запустите виртуальный прибор Function Generator (FGEN).

Настройте функциональный генератор с помощью элементов управления для получения сигнала со следующими параметрами:

- Waveshape (Форма сигнала): Triangular (Треугольная);
- Frequency (Частота): 0.5 Гц;
- Amplitude (Пиковая амплитуда): 5 В;
- DC Offset (Смещение по постоянному току): 0 В.

Установите переключатель режимов Mode Передатчика в положение ANALOG (Аналоговый). Соберите схему, как показано на рис. 40.

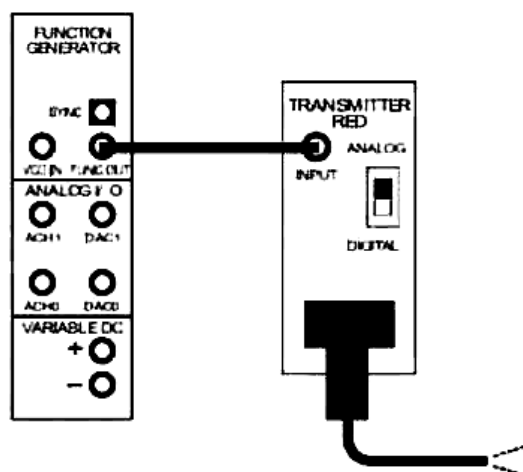


Рис. 40

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 41. Теперь на входе передатчика с красным светодиодом имеется низкочастотный треугольный сигнал.

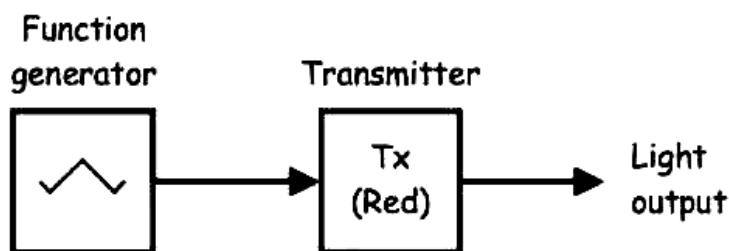


Рис. 41

Направьте свободный конец оптического проводника на стол или ладонь. Вы должны увидеть, что интенсивность света меняется между минимумом и максимумом с постоянной скоростью.

Увеличьте частоту сигнала на выходе генератора функций до 5 Гц, 10 Гц, 20 Гц, 30 Гц и 50 Гц. Наблюдайте эффект от этих изменений на поведение светодиода.

Верните частоту сигнала на выходе генератора функций на 0.5 Гц. Увеличьте амплитуду сигнала на выходе генератора функций до 10В. Подумайте, что должно измениться в режиме работы светодиода?

Верните амплитуду генератора функций на значение 5 В.

Замените передатчик с красным светодиодом на передатчик с зеленым светодиодом. Убедитесь, что переключатель режимов Mode передатчика с зеленым светодиодом стоит в положении ANALOG.

Повторите шаги эксперимента и обратите внимание на отличия между передатчиками с красным и зеленым светодиодом.

Использование приемника FOTEx для аналогового сигнала

В следующей части эксперимента вам предстоит изучать работу модулей приема FOTEx по извлечению аналоговой информации из оптоволоконной линии передачи.

Полностью разберите предыдущую схему.

Настройте функциональный генератор с помощью элементов управления для получения сигнала со следующими параметрами:

- Waveshape (Форма сигнала): Sine (Синусоидальная);
- Frequency (Частота): 1 Гц;
- Amplitude (Пиковая амплитуда): 5 В;
- DC Offset (Смещение по постоянному току): 0 В.

Выберите один из передатчиков с красным светодиодом и установите его переключатель режимов Mode в положение ANALOG.

Выберите один из приемников и установите его Gain Range (Диапазон усиления) на «LO».

Поверните ручку Variable Gain (Регулируемый коэффициент усиления) этого приемника против часовой стрелки до упора.

Соберите схему, как показано на рис. 42, используя настроенные вами модули. *Черные штекеры кабелей осциллографа* вставьте в гнезда заземления (GND).

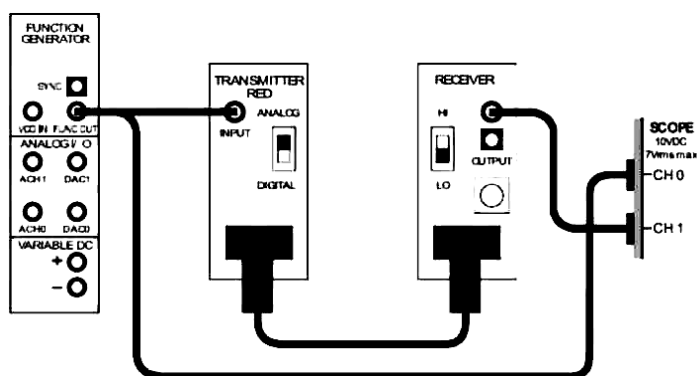


Рис. 42

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 43. Для моделирования аналогового сообщения используется FGEN. Передатчик с красным светодиодом преобразует сообщение в свет и передает по оптоволоконному кабелю на приемник, где он преобразуется обратно в электрический сигнал.

Обратите внимание на заднюю часть оптических разъемов приемника и передатчика, используемых вами. Хотя внешняя оболочка не даст вам увидеть свет в кабеле, вы можете зафиксировать визуально передаваемые и принимаемые сигналы на оптическом разъеме, т.к. часть сигнала освещает заднюю часть разъемов.

Запустите ВП осциллографа. Настройте осциллограф:

– Channel 1 Scale (Масштаб канала 1): 2 В/дел.;

– Timebase (Масштаб по оси времени): 200 мс/дел.

Активируйте канал 1 осциллографа, чтобы наблюдать одновременно сигнал на выходе приемника и исходное сообщение. Сигнал на выходе приемника должен представлять собой копию сообщения.

Увеличивайте частоту сигнала (частоту генератора) до следующих значений: 10 Гц, 20 кГц, 50 кГц, 100 кГц и 1000 кГц. После каждого изменения необходимо изменить настройку Timebase (масштаб по оси времени) так, чтобы на экране отображалось примерно два периода сигнала сообщения.

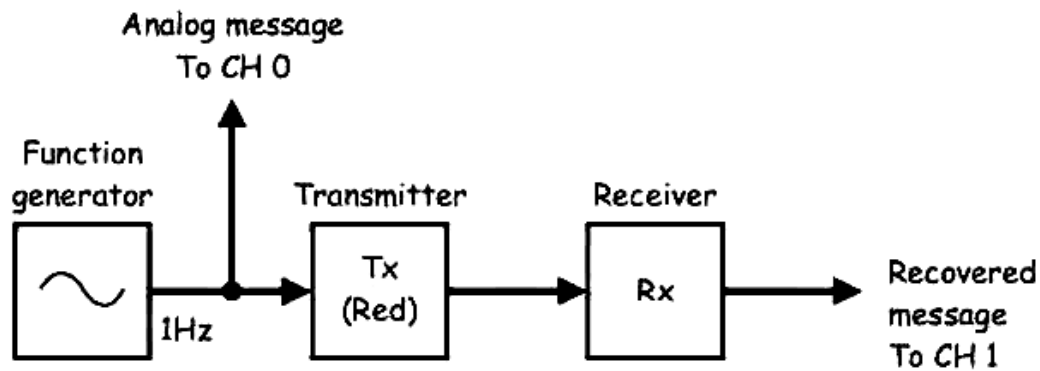


Рис. 43. Function Generator – генератор, Transmitter (Red) – передатчик (красный светодиод), Receiver – приемник, Analog Message To CH 0 – аналоговое сообщение к каналу 0, Recovered message To CH 1 – восстановленное сообщение к каналу 1

Увеличивайте амплитуду сообщения (т.е. напряжение на выходе генератора) с шагом в 1 В, пока не достигнете 10 В, и наблюдайте эффект. Объясните причину искажений, появляющихся на выходе приемника.

Использование приемников FOTEx для цифровых сигналов

В следующей части эксперимента вы изучите работу приемников FOTEx при получении цифровой информации с оптоволоконной линии связи.

Закройте ВП Генератора (FGEN). Разберите собранную схему.

Выберите один из передатчиков с красным светодиодом и установите его переключатель режимов Mode в положение DIGITAL (Цифровой).

Выберите один из приемников и установите его Gain Range (Диапазон усиления) на LO.

Поверните ручку Variable Gain (Регулируемый коэффициент усиления) этого приемника против часовой стрелки до упора.

Соберите схему, как показано на рис. 44.

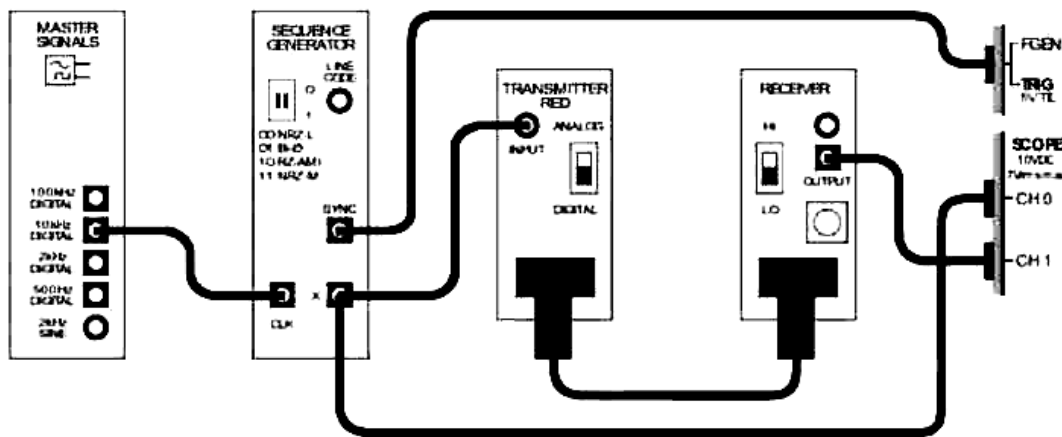


Рис. 44

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 45.

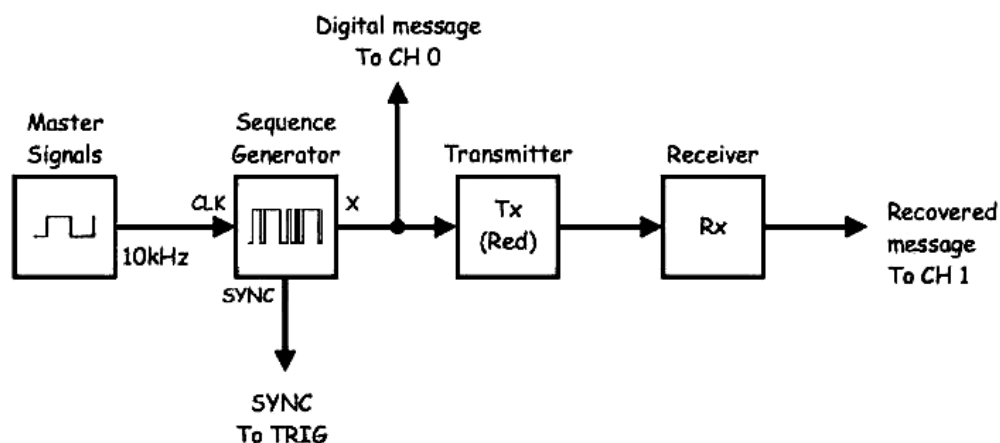


Рис. 45. Master Signals – генератор опорных сигналов, Sequence Generator – Генератор последовательностей, Digital Message To CH 0 – цифровое сообщение канала 0, Transmitter (Red) – передатчик, Receiver – приемник, Recovered message To CH 1 – Восстановленное сообщение к каналу 1

Сигнал «10 kHz DIGITAL» с выхода генератора опорных сигналов используется для тактирования Генератора последовательностей (Sequence Generator), который выдает цифровые ТТЛ-данные на выходе X. Этот генератор периодически подает на вы-

ход 31-разрядную последовательность данных, что позволяет наблюдать изображение на экране осциллографа, используя в качестве сигнала запуска осциллографа импульсы с выхода SYNC генератора последовательностей. Далее этот цифровой сигнал используется как сообщение для передатчика с красным светодиодом и передачей данных по оптоволоконному кабелю на приемник, преобразующий свет обратно в электрический сигнал.

Измените следующие настройки осциллографа:

- Coupling (связь с источником сигнала) для обоих каналов: DC (постоянный ток);
- Timebase (Масштаб по оси времени): 200 мкс/дел.;
- Vertical Position (Смещение по вертикали) канала 1: -5В;
- Trigger Type (Тип запуска): Digital (цифровой).

После настройки вы можете наблюдать на экране фрагмент 31-разрядной последовательности и ее копии на выходе приемника.

Содержание отчета

В отчет включить описание работы и соответствующие структурные схемы экспериментов с полученными осциллограммами, а также:

- цель работы;
- блок-схемы измерений, осциллограммы;
- все снятые осциллограммы, расположенные таким образом, чтобы на них были отмечены все необходимые временные соотношения между исследуемыми сигналами;
- значения измеренных величин;
- выводы по выполненным исследованиям.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА PCM-TDM «Т1» ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

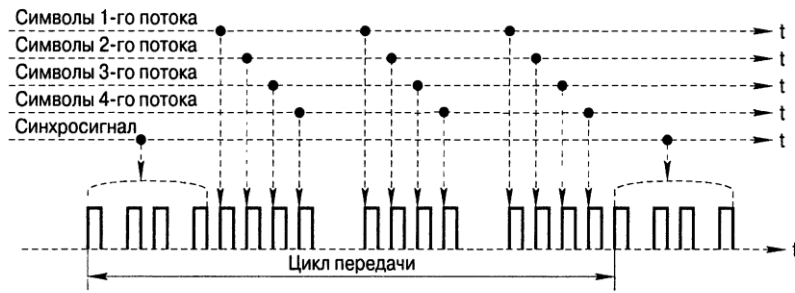
Цифровые системы передачи, используемые в телекоммуникационных сетях, строятся в соответствии с определенной иерархией, удовлетворяющей следующим требованиям:

- передача по каналам и трактам ЦСП всех видов аналоговых, дискретных и цифровых сигналов;
- соответствующая кратность скоростей обработки и передачи сигналов на различных ступенях иерархии;
- возможность достаточно простого объединения, разделения, выделения и транзита передаваемых цифровых потоков и т.д.

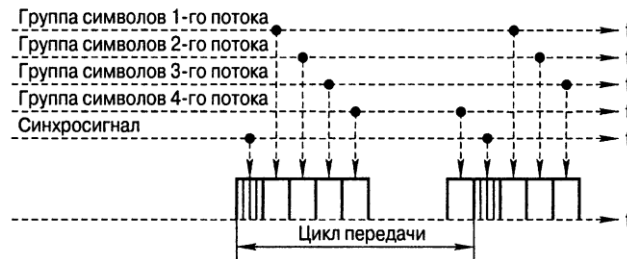
Формирование иерархии ЦСП осуществляется на основе объединения цифровых потоков низкого порядка, называемых *компонентными*, в единый цифровой, который называется *групповым* или *агрегатным*. Объединение потоков осуществляется посимвольно, т.е. каждый символ каждого канала объединяется в групповой сигнал, при этом группа символов отделяется от следующей группы синхросигналом (рис. 46). Таким образом, в групповой сигнал вводятся символы информационных каналов, служебная информация, синхросигналы.

Объединение цифровых потоков осуществляется в оборудовании временного группообразования или мультиплексирования, показанного на рис. 47.

Подробнее об основах построения систем передачи ИКМ-ВРК (PCM-TDM) можно узнать из литературы [7,8].



а)



б)

Рис. 46. Объединение цифровых потоков: а) – посимвольное;
б) – поканальное

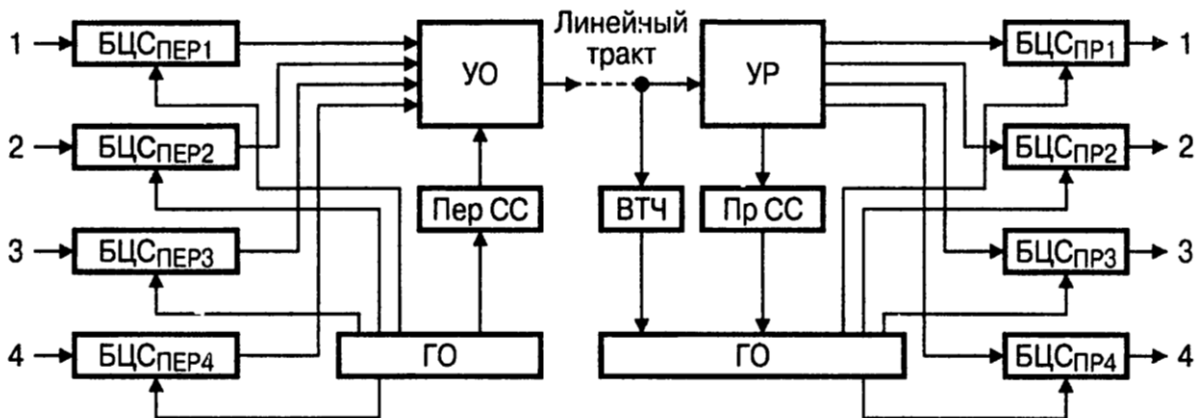


Рис. 47. Оборудование временного группообразования: БЦС пер./пр. –
блоки цифрового сопряжения передачи/приема; ГО – генераторное
оборудование; УО/УР – устройства объединения/разделения; ВТЧ –
выделитель тактовой частоты;
ПерСС/ПрСС – передатчик/приемник синхросигналов

Международный союз электросвязи в области телекомму-
никаций (ITU-T) стандартизировал скорости передачи цифро-

вой информации, при этом сначала была разработана плезियोхронная цифровая иерархия (ПЦИ), по-английски PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy, затем синхронная цифровая иерархия (СЦИ), по-английски SDH – Synchronous Digital Hierarchy.

В ПЦИ существует три стандарта: Северо-Американский, Европейский и Японский. Различие между ними заключается в разных коэффициентах мультиплексирования или объединения потоков. В северо-американском стандарте объединяются 24 информационных канала и два служебных. Скорость основного цифрового канала равна 64 кбит/с ($C_{ОЦК} = F_{\Delta} m$, где m – разрядность кодовой группы. При получении из телефонных сигналов (аналоговых) цифровых (аналого-цифровом преобразовании) разрядность кодовой группы равна 8, а частота дискретизации $F_{\Delta} = 8 \text{ кГц}$). В европейском стандарте объединяются 30 информационных и 2 служебных канала, тогда скорость цифрового потока равна $C_{ИКМ-30} = F_{\Delta} m N$, что соответствует скорости $8 \cdot 8 \cdot 32 \text{ кГц}$ или бит/с, т.е. $64 \cdot 32 = 2048 \text{ кбит/с}$ или $2,048 \text{ Мбит/с}$, что соответствует потоку под названием E1. Сравните со скоростью $1,5 \text{ Мбит/с}$ Северо-Американского стандарта. Потоки более высокого уровня получают объединением нескольких потоков более низкого уровня, что удобно при подсчете скоростей в европейской иерархии, где все время объединяются 4 потока; правда, надо помнить и о добавлении служебной информации. На рис. 48 приведена схема мультиплексирования потоков в трех иерархиях [7], скорости японской иерархии отличаются буквой J и своими коэффициентами мультиплексирования. DSN – цифровые сигналы уровня N (digital signal of level N). ОЦК (основной цифровой канал) – DS0.

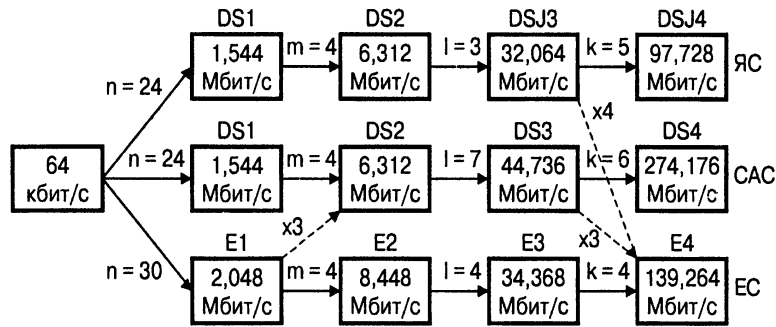


Рис. 48. Схема мультиплексирования в северо-американском (САС), японском (ЯС) и европейском (ЕС) стандартах ПЦИ

Мультисервисная сеть (МСС) представляет собой универсальную многоцелевую среду, предназначенную для передачи речи, изображения и данных с использованием технологии коммутации пакетов (IP). Мультисервисная сеть отличается степенью надежности, характерной для телефонных сетей (в противоположность негарантированному качеству связи через Интернет) и обеспечивает низкую стоимость передачи в расчете на единицу объема информации (приблизенную к стоимости передачи данных по Интернету).

Мультисервисные сети можно строить на базе самых разных технологий, как на платформе IP (IP VPN), так и на основе выделенных каналов связи. На магистральном уровне наиболее популярны сегодня технологии IP/MPLS, Packet over SONET/SDH – POS, ATM, xGE, DWDM, CWDM, RPR. Реально большая часть магистральных мультисервисных сетей сегодня строится на основе технологий POS, DWDM, которые получили заметное распространение в России, а также IP/MPLS, которые считаются особенно перспективными при значительной широте охвата и большом числе потребителей [9].

Интерактивные ММС предоставляют абонентам широкий спектр услуг: пакеты аналогового и цифрового телевидения, потоковое вещание, Интернет, телефонию, видеоконференция, го-

лосование и опрос населения, видеотелефонию, видео по требованию, дистанционное обучение, медицинские консультации, оплату коммунальных услуг с автоматическим съемом показаний со счетчиков воды, тепла и электроэнергии, охранную сигнализацию, видеонаблюдение и др.

Базовыми понятиями мультисервисных сетей являются QoS (Quality Of Service) и SLA (Service Level Agreement), т.е. качество обслуживания и соглашение об уровне (качестве) предоставления услуг сети.

Ниже приведены описания основных технологий мультисервисных сетей [10].

ATM (Asynchronous Transfer Mode) – асинхронный, пакетно-ориентированный метод скоростной коммутации данных, позволяющий передавать данные по одним и тем же физическим каналам, работать с постоянными и переменными потоками данных, интегрировать тексты, речь, изображения и видеофильмы, поддерживать соединения разных типов.

CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) – технология, занимающая промежуточное положение между технологиями WDM и DWDM. Технология CWDM позволяет передавать по оптическому волокну до 8 мультиплексных каналов в окне 1550 нм с промежутком между каналами 200 ГГц и более.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) – технология плотного волнового мультиплексирования с разделением по длине волны. Оптическая технология, используемая для увеличения полосы пропускания существующих оптоволоконных магистралей. Ключевое преимущество DWDM в том, что протокол и скорость для каждого канала (а по одному волокну можно передавать более сотни каналов) – независимы. Сети на технологии DWDM могут передавать данные IP, ATM, SONET/SDH и Ethernet со скоростями между 100 Мбит/с и 2,5 Гбит/с.

ISDN (Integrated Services Digital Network) – стандарт цифровой сети с интегрированными услугами, позволяющий передавать речь, видео и данные по цифровым телефонным линиям или обычным телефонным проводам. ISDN поддерживает скорости передачи данных от 64 Кбит/с.

MetroEthernet (сети Ethernet масштаба города) – технология на базе протокола Ethernet, позволяющая операторам связи предлагать наиболее широкий на сегодняшний день спектр услуг и быстро внедрять новые сервисы по мере их появления.

MPLS (Multi Protocol Label Switching) – технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях, основанная на использовании меток. MPLS сочетает в себе возможности, присущие технологиям канального уровня (Data Link Layer 2), масштабируемость и гибкость протоколов, управление трафиком, характерные для сетевого уровня (Network Link Layer 3). Выбор данной технологии обусловлен существующими сегодня требованиями по оказанию полного спектра современных услуг с обеспечением соответствующего сквозного качества обслуживания (QoS) и классов обслуживания (CoS) для приложений во всей сети, а также решения вопросов масштабируемости, управляемости и безопасности.

RPR (Resilient Packet Ring) – технология устойчивых пакетных колец, предназначенная для создания отказоустойчивых пакетно-ориентированных сетей класса Metro, которые могут обеспечить экономически эффективную транспортировку трафика, в первую очередь, Ethernet, через SDH-кольцевые топологии.

SONET (Synchronous Optical Network) – синхронная оптическая сеть, стандарт для соединения оптоволоконных систем передачи, определяющий иерархию скоростей, позволяющую мультиплексировать потоки данных с различными скоростями. SONET представляет собой транспортный уровень, определяющий механизмы передачи данных для локальных сетей, и под-

держивает ATM, ISDN, FDDI, DQDB и SMDS. Европейский эквивалент SONET, стандартизованный ITU, называется SDH.

VPLS (Virtual Private LAN Service) – услуги виртуальных частных локальных сетей или VPN уровня 2 дают возможность объединения распределенных локальных сетей в единую сеть. В основе концепции VPLS лежит идея передачи пакетов Ethernet из сети заказчика (включая информацию о внутренних VLAN) по операторской сети прозрачным образом, абсолютно без изменений. Для этого пакеты инкапсулируются с использованием технологии MPLS, которая обеспечивает создание в сети оператора связи туннелей, независимых от пользовательского трафика.

xDSL — семейство технологий, позволяющих значительно расширить пропускную способность абонентской линии местной телефонной сети. В аббревиатуре xDSL символ «x» используется для обозначения первого символа в названии конкретной технологии, а DSL означает «цифровая абонентская линия» (Digital Subscriber Line). К основным типам xDSL относятся ADSL, HDSL, RADSL, SDSL и VDSL.

NGN (Next Generation Network) – сети связи следующего поколения. Транспортная сеть NGN базируется на использовании IP технологии в качестве основной для реализации любых услуг мультисервисных сетей. Возможны различные комбинации магистральных транспортных технологий для реализации сети NGN. Наиболее перспективными транспортными технологиями являются 1/10 Gigabit Ethernet и xWDM для поддержки сети IP/MPLS [11].

Стандарт ATM не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня. Здесь он основывается на технологии SDH/SONET, принимая ее иерархию скоростей. В соответствии с этим начальная скорость доступа пользователя сети – это скорость STM-1 155 Мбит/с. Магистральное оборудование ATM работает и на более высоких скоростях STM-4 622 Мбит/с и STM-

16 2,5 Гбит/с. На скорости 155 Мбит/с можно использовать не только волоконно-оптический кабель, но и неэкранированную витую пару категории 5. На скорости 622 Мбит/с допустим только волоконно-оптический кабель. Работа на сверхвысоких скоростях существенно удорожает оборудование ATM из-за сложности реализации операций разбиения пакетов на ячейки и сборки ячеек в пакеты в заказных интерфейсных коммутаторах.

Имеются и другие физические интерфейсы к сетям ATM, отличные от SDH/SONET. К ним относятся интерфейсы T1/E1 и T3/E3, распространенные в глобальных сетях, и интерфейсы локальных сетей — интерфейс с кодировкой 4B5B со скоростью 100 Мбит/с (FDDI) и интерфейс со скоростью 25 Мбит/с, предложенный компанией IBM и утвержденный ATM Forum. Кроме того, для скорости 155,52 Мбит/с определен так называемый физический уровень «cell-based», т.е. уровень, основанный на ячейках, а не на кадрах SDH/SONET. Этот вариант физического уровня не использует кадры SDH/SONET, а отправляет по каналу связи непосредственно ячейки формата ATM, что сокращает накладные расходы на служебные данные, но несколько усложняет задачу синхронизации приемника с передатчиком на уровне ячеек.

T-система

Система с T-несущей для каналов передачи данных, предложенная американской компанией Bell System в 1960-е годы, была первой системой, поддерживающей цифровую передачу голоса. Изначальная скорость передачи в линии T1 (1.544 Мбит/с) и в наши дни активно используется для подключения компаний к сети Интернет. Другой уровень – T3 также часто применяется сервис-провайдерами. Еще один часто используемый сервис – дробные линии T1 (fractional T1), предполагающие аренду лишь

части из 24 каналов линии T1, при этом другая часть остается неиспользованной. Соотношение скоростей T1, -2 и -3 см. в табл. 1.

T-система является полностью цифровой, использующей импульсно-кодированную модуляцию и статическое временное мультиплексирование. Система использует четырехпроводные физические линии и предлагает сервис в режиме full-duplex (пара на прием и пара на передачу). Цифровой поток T1 состоит из 24-х 64-килобитных мультиплексирующихся каналов. Четырехпроводный кабель, используемый для работы по T1, изначально представлял собой две витые пары, однако сегодня могут быть использованы также коаксиальный кабель, оптоволокно и другие физические среды.

E-система

E-система представляет собой европейский формат цифровой передачи, разработанный ITU-T. Система является эквивалентом (точнее сказать, альтернативой) североамериканской T-системы. Фактически наиболее часто используемый формат – E1, который в отечественной терминологии именуется также ИКМ-30.

E1 передает данные со скоростью 2.048 Мбит/с и может состоять из 32-х 64-килобитных каналов. Может быть организована взаимосвязь между T1 и E1.

Более детально о соотношении скоростей в различных T- и E-линиях вы можете узнать из табл 1.

DS (Digital Signal, цифровой сигнал) X DS0, DS1...DS4 – это термины для серии стандартных скоростей (уровней) цифровой передачи. Базовым уровнем считается DS0 (скорость передачи в 64 Кбит/с (Kbps)), что является стандартной полосой пропускания для канала голосовой телефонии. DS1 – это сигнал с T1 несущей, представляет собой 24 сигналов DS0, передающихся с использованием импульсно-кодированной модуляции и мультиплексирования с временным разделением (PCM/TDM). DS2 есть 4 мульт-

типлексированных сигнала DS1, дающих общую полосу пропускания 6.312 Мегабит в секунду. Сигнал DS3 соответствует сигналу в линии T3 – 28 раз по DS1 или, соответственно, 672 по DS0, что дает скорость передачи 44.736 Мбит/с.

В европейской иерархии объединяются по 4 потока: $E2 = 4 * E1$, при этом поток E1 получается мультиплексированием 32 ОЦК (объединяются 30 информационных канала + 2 служебных), поток $E3 = 4 * E2$, соответственно, $E4 = 4 * E3$.

Таблица 1

Соответствие DS-, T- и E- скоростям передачи данных

Название канала	Скорость передачи	Число каналов	С-А иерархия	Европейская иерархия
DS0	64 Кбит/с	1	–	–
DS1 (C-A)	1.544 Мбит/с	24	T-1	–
DS1 (E)	2.048 Мбит/с	32	–	E1
DS1C	3.152 Мбит/с	48	–	–
DS2 (C-A)	6.312 Мбит/с	96	T-2	–
DS2 (E)	8.448 Мбит/с	128	–	E2
DS3 (E)	34.368 Мбит/с	512	–	E3
DS3 (C-A)	44.736 Мбит/с	672	T-3	–
DS4 (E)	139.264 Мбит/с	2048	–	E4
DS4 (C-A)	274.176 Мбит/с	4032	–	–
DS5	565.148 Мбит/с	4 E4 каналов	–	E5

Ниже представлена справочная табл. 2, которая в порядке возрастания скорости передачи выстраивает большинство популярных на сегодняшний день технологий (стандартов) передачи данных.

Таблица 2

<i>Система передачи</i>	<i>Скорость передачи</i>	<i>Вид соединения</i>
GSM	от 9.6 до 14.4 Кбит/с	беспроводное соединение
High-Speed Circuit-Switched Data service	до 56 Кбит/с	беспроводное соединение

<i>Система передачи</i>	<i>Скорость передачи</i>	<i>Вид соединения</i>
<i>(HSCSD)</i>		
<i>Традиционная телефония (POTS, ТфОП)</i>	до 56 Кбит/с	медная пара
<i>DS0 (ОЦК)</i>	64 Кбит/с	разное
<i>General Packet Radio System (GPRS)</i>	от 56 до 114 Кбит/с	беспроводное соединение
<i>ISDN</i>	ВRI: от 64 Кбит/с до 128 Кбит/с PRI: 23 (Т-1) или 30 (Е1) каналов по 64-Кбит/с плюс канал управления; до 1.544 Мбит/с (Т-1) или 2.048 Мбит/с (Е1)	ВRI: медная пара PRI: линии Т1 или Е1
<i>AppleTalk</i>	230.4 Кбит/с	медная витая пара
<i>Enhanced Data GSM Environment (EDGE)</i>	384 Кбит/с	беспроводное соединение
<i>Frame Relay</i>	от 56 Кбит/с до 1.544 Мбит/с	медная пара или коаксиальный кабель
<i>DS1/T-1</i>	1.544 Кбит/с	медная пара, коаксиальный кабель или оптоволокно
<i>Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)</i>	до 2 Мбит/с	беспроводное соединение
<i>E-1 (PDH)</i>	2.048 Мбит/с	медная пара, коаксиальный кабель или оптоволокно
<i>T-1C(DS1C)</i>	3.152 Мбит/с	медная пара, коаксиальный кабель или оптоволокно

<i>Система передачи</i>	<i>Скорость передачи</i>	<i>Вид соединения</i>
<i>IBM Token Ring/802.5</i>	4 Мбит/с (16 Мбит/с)	медная пара, коаксиальный ка- бель или оптово- локно
<i>DS2/T-2</i>	6.312 Мбит/с	медная пара, коаксиальный ка- бель или оптово- локно
<i>xDigital Subscriber Line (xDSL)</i>	от 128 Кбит/с до 8 Мбит/с	медная пара
<i>E-2 (PDH)</i>	8.448 Мбит/с	медная пара, коаксиальный ка- бель или оптово- локно
<i>Кабельный модем</i>	от 512 Кбит/с до 52 Мбит/с	коаксиальный ка- бель
<i>Ethernet</i>	10 Мбит/с	медная витая пара, коаксиальный ка- бель или оптово- локно
<i>E-3 (PDH)</i>	34.368 Мбит/с	медная витая пара или оптоволокно
<i>DS3/T-3</i>	44.736 Мбит/с	коаксиальный ка- бель
<i>OC-1 (SONET)</i>	51.84 Мбит/с	оптоволокно
<i>High-Speed Serial Inter- face (HSSI)</i>	до 53 Мбит/с	кабель HSSI
<i>Fast Ethernet</i>	100 Мбит/с	медная витая пара или оптоволокно
<i>Fiber Distributed-Data In- terface (FDDI)</i>	100 Мбит/с	оптоволокно
<i>T-3D(DS3D)</i>	135 Мбит/с	оптоволокно
<i>E-4</i>	139.264 Мбит/с	оптоволокно
<i>OC-3/ STM-1 (SONET/SDH)</i>	155.52 Мбит/с	оптоволокно
<i>E-5</i>	565.148 Мбит/с	оптоволокно

<i>Система передачи</i>	<i>Скорость передачи</i>	<i>Вид соединения</i>
<i>OC-12/STM-4 (SONET/SDH)</i>	622.08 Мбит/с	оптоволокно
<i>Gigabit Ethernet</i>	1 Гбит/с	медная витая пара или оптоволокно
<i>OC-24 (SONET)</i>	1.244 Гбит/с	оптоволокно
<i>SciNet (SONET)</i>	2.325 Гбит/с(15 линий OC-3)	оптоволокно
<i>OC-48/STM-16(SONET/SDH)</i>	2.488 Гбит/с	оптоволокно
<i>OC-192/STM-64 (SONET/SDH)</i>	10 Гбит/с	оптоволокно
<i>10 Gigabit Ethernet</i>	10 Гбит/с	оптоволокно
<i>OC-256 (SONET)</i>	13.271 Гбит/с	оптоволокно
<i>OC-768 (SONET)</i>	40 Гбит/с	оптоволокно

Известно, что импульсно-кодовая модуляция (PCM) может быть скомбинирована с временным разделением каналов (TDM) для увеличения количества пользователей цифрового канала и получения многоканального доступа с временным разделением каналов (TDMA).

В этом эксперименте создается двухканальная система PCM-TDM, которая передает данные по оптоволокну и использует восстановление сигнала битовой синхронизации для создания локальных синхроимпульсов ИКМ-декодера. Это соответствует модели системы Bell «T1» (но только с двумя каналами и ИКМ-данными вместо линейного кода).

Методика проведения работы

В методике экспериментов использованы определенные значения напряжений и частот, которые должны быть заменены на заданные параметры. Задание по работе выдается преподавателем в виде таблицы исходных значений напряжений, частот для каждого студента.

В ходе эксперимента сначала используется панель Emona FOTEx для создания одноканальной ИКМ-системы связи с аналоговым входом. После этого вы измените настройки для кодирования, передачи, декодирования и восстановления двух аналоговых сигналов, чтобы создать двухканальную систему PCM-TDM и смоделировать простую систему TDM. Далее вы замените медный кабель оптическим с использованием модулей передачи и приема. И, наконец, вы добавите в систему восстановитель сигнала битовой синхронизации для формирования локальных синхроимпульсов ИКМ-декодера [1].

Настройка системы ИКМ-кодирования и декодирования

Первый шаг в моделировании системы Bell «T1» – это настройка одноканальной системы ИКМ-кодирования и декодирования.

Запустите программу NI ELVISmx.

Установите переключатель режимов «Mode» ИКМ декодера в положение PCM. Соберите схему, показанную на рис. 49.

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 50. Сигнал (сообщение) с выхода «2 kHz SINE» генератора опорных сигналов (Master Signals) поступает на вход ИКМ-кодера. ИКМ-кодер преобразует сообщение в цифровой ИКМ-сигнал. ФНЧ с частотой среза 3 кГц используется как восстанавливающий фильтр для восстановления исходного сообщения из выходного сигнала ИКМ декодера. В данном случае сигнал битовой синхронизации ИКМ декодера подключен непосредственно от ИКМ кодера.

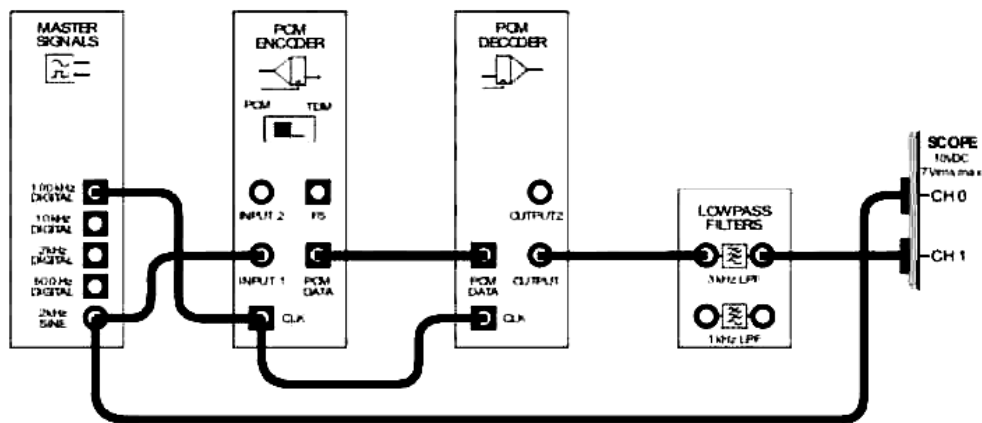


Рис. 49

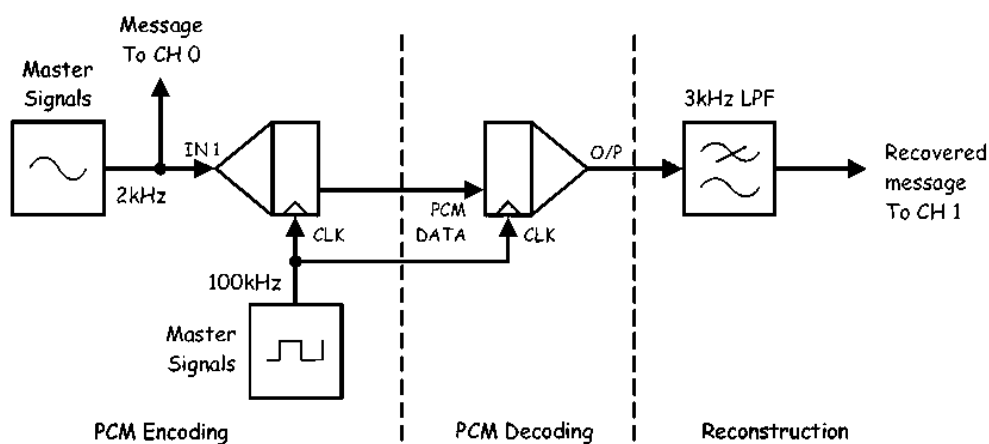


Рис. 50. PCM Encoding – ИКМ кодирование: Master Signals – Генератор опорных сигналов, Message To CH 0 – сообщение к каналу 0, IN 1 – вход сигнала сообщения, CLK – вход синхронизации, PCM Decoding – ИКМ декодирование: PCM data – ИКМ сообщение, CLK – сигнал битовой синхронизации, Reconstruction – восстановление: 3 kHz LPF – ФНЧ с частотой среза 3 кГц, Recovered message To CH 1 – восстановленное сообщение к каналу 1

Запустите ВП осциллографа NI ELVIS II. Установите элемент управления Timebase (Масштаб по оси времени) таким образом, чтобы видеть на экране примерно два периода сигнала сообщения.

Включите 1 канал осциллографа, чтобы наблюдать восстановленный фильтром сигнал сообщения. Вы должны увидеть копию исходного сигнала, скорее всего, сдвинутую по фазе.

Сборка двухканальной системы PCM-TDM

Следующая стадия моделирования системы Bell «T1» – преобразование собранной системы в двухканальную систему PCM-TDM.

Запустите виртуальный прибор Function Generator (FGEN).

Настройте генератор с помощью элементов управления для получения сигнала со следующими параметрами:

- Waveshape (Форма сигнала): Sine (Синусоидальная);
- Frequency (Частота): 500 Гц;
- Amplitude (Пиковая амплитуда): 4 В;
- DC Offset (Смещение по постоянному току): 0 В.

Установите переключатель режимов «Mode» ИКМ-кодера в положение TDM. Измените схему, как показано на рис. 51.

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 52. Синусоида частотой 2 кГц (Сообщение 1) поступает с генератора опорных сигналов на вход 1 (INPUT 1) ИКМ-кодера, а синусоида частотой 500 Гц (Сообщение 2) поступает с генератора функций на вход 2 (INPUT 2) ИКМ-кодера. ФНЧ с частотой среза 1 кГц используется для восстановления исходного сообщения на выходе 2 (OUTPUT 2) ИКМ-декодера. Теперь система с использованием метода PCM-TDM кодирует, передает, декодирует и восстанавливает два аналоговых сигнала вместо одного.

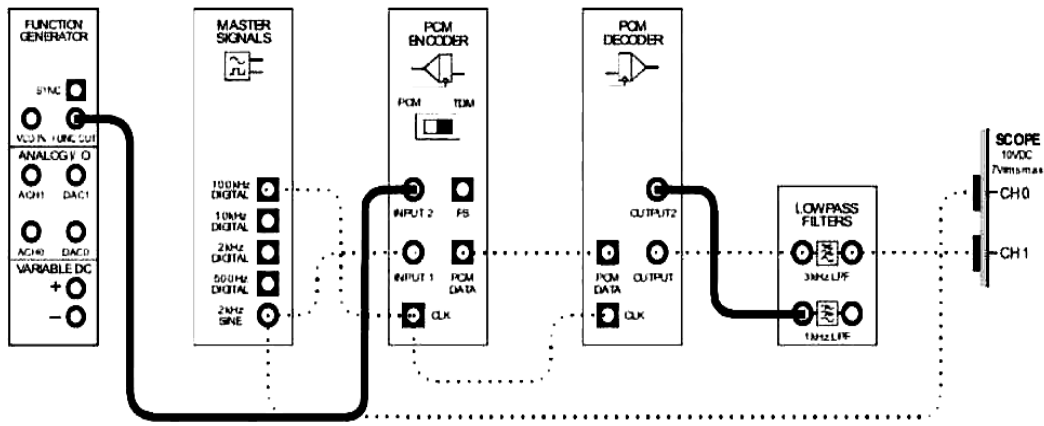


Рис. 51

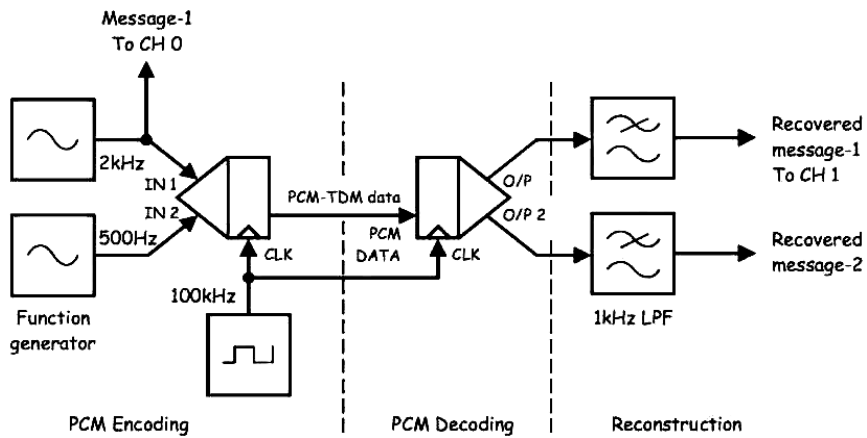


Рис. 52

Восстановленное Сообщение 1 может быть слегка искажено. Объясните это своими выводами.

Измените подключение осциллографа, как показано на рис. 53.

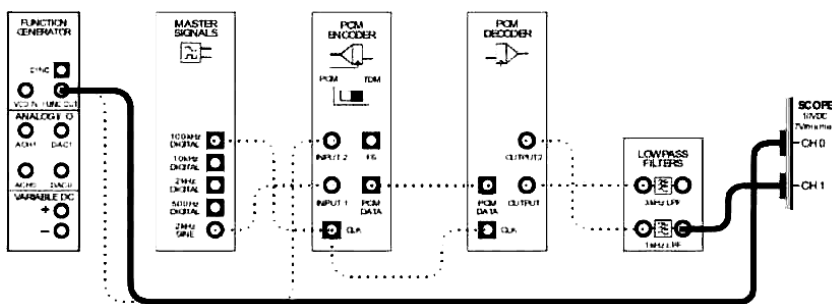


Рис. 53

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 54.

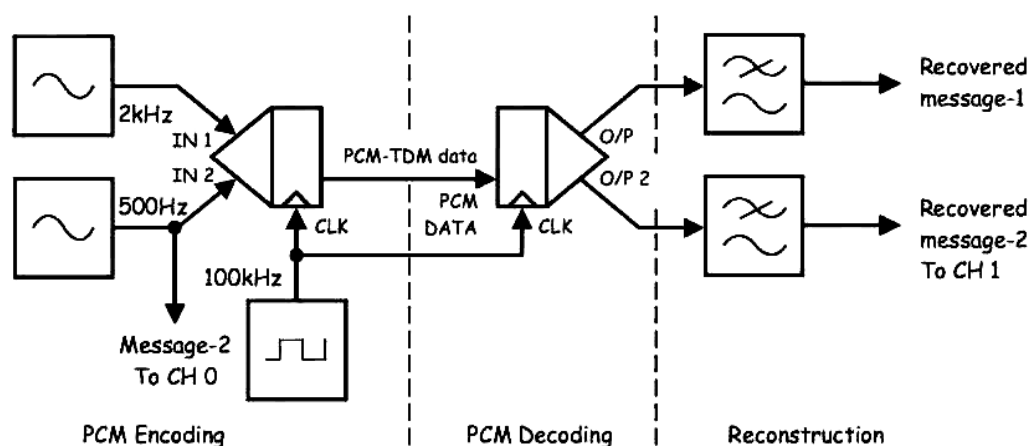


Рис. 54. PCM Encoding – ИКМ кодирование: Message-2 To CH 0 – сообщение 2 к каналу 0, IN 1 – вход сигнала сообщения 1, IN 2 – вход сигнала сообщения 2, CLK – вход синхронизации, PCM-TDM Data – данные PCM-TDM, PCM Decoding – ИКМ декодирование: PCM data – ИКМ сообщение, CLK – сигнал битовой синхронизации, Reconstruction – восстановление: Recovered message 1 – восстановленное сообщение 1, Recovered message 2 To CH 1 – восстановленное сообщение 2 к каналу 1

Установите элемент управления осциллографа Timebase (Масштаб по оси времени) в положение 500 мкс/дел.

Сравните исходное Сообщение 2 и его восстановленную версию. За исключением сдвига фаз сигналы должны быть одинаковы.

Замена медного кабеля оптоволоконным

Третьей стадией моделирования системы Bell «Т1» является переход с ранее используемого медного кабеля на оптоволоконный. Для этого потребуются оптические модули передачи и приема.

Выберите один из передатчиков и установите его переключатель режимов Mode в положение DIGITAL (Цифровой). На

следующих рисунках показан передатчик с красным светодиодом, но на самом деле не имеет значения, какой из трех передатчиков вы выберете.

Выберите один из приемников и установите его элемент управления Gain Range (Диапазон усиления) на LO.

Поверните регулятор Variable Gain (Регулируемый коэффициент усиления) этого приемника против часовой стрелки до упора.

Соберите схему, как показано на рис. 55.

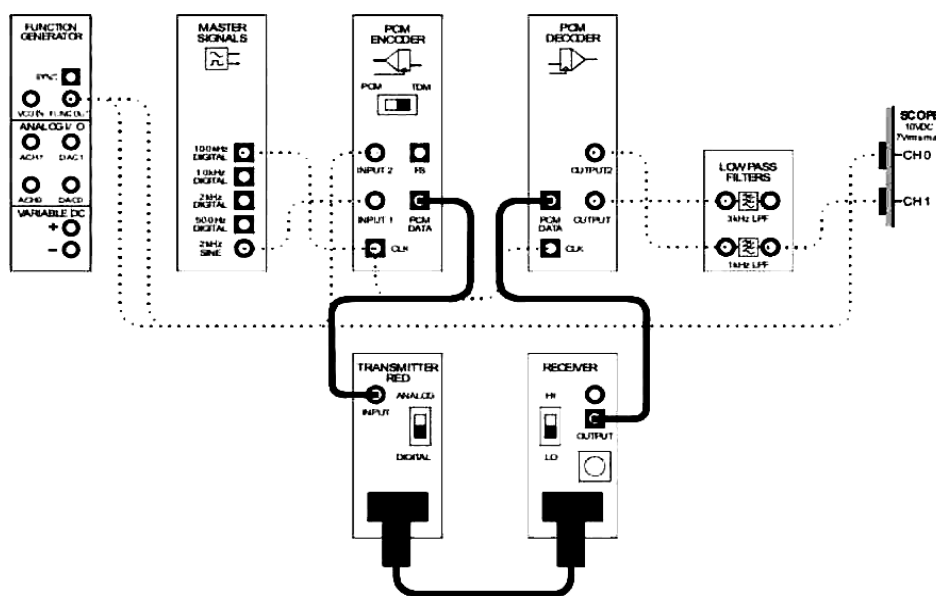


Рис. 55

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 56. Данные PCM-TDM с выхода ИКМ-кодера поступают на передатчик, который преобразует их в световые сигналы с последующей передачей по оптоволокну. Приемник считывает световой сигнал и преобразует его в электрический сигнал (с использованием стандартной логики ТТЛ), который поступает на ИКМ-декодер.

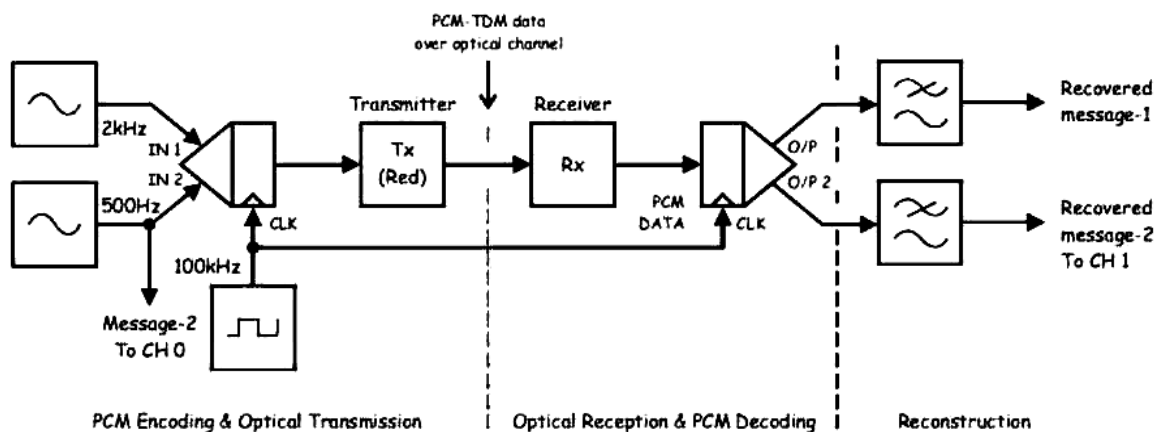


Рис. 56

Чтобы убедиться, что по оптоволоконному проводнику передаются данные PCM-TDM, на мгновение отсоедините любой его конец. Когда вы это сделаете, восстановленное сообщение должно пропасть с экрана. Не забудьте подключить проводник обратно, прежде чем продолжить. Измените подключение осциллографа, как показано на рис. 57.

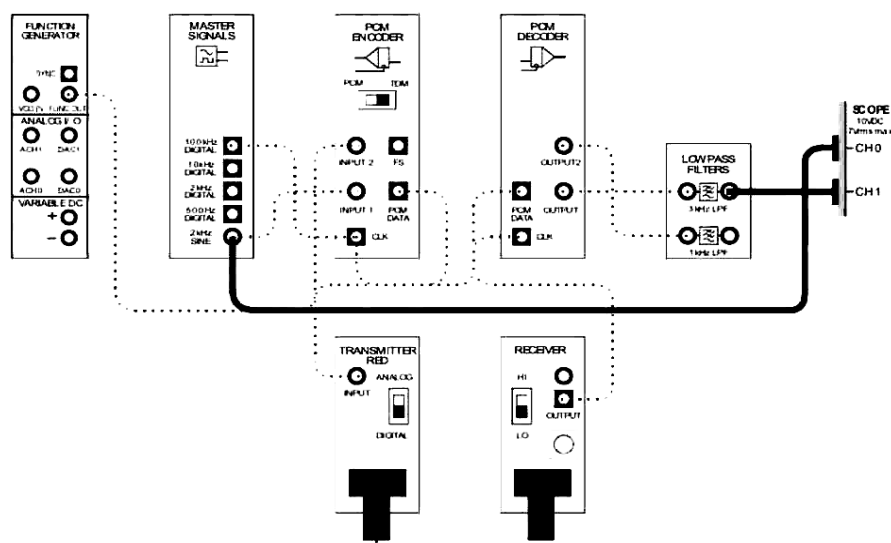


Рис. 57

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 58.

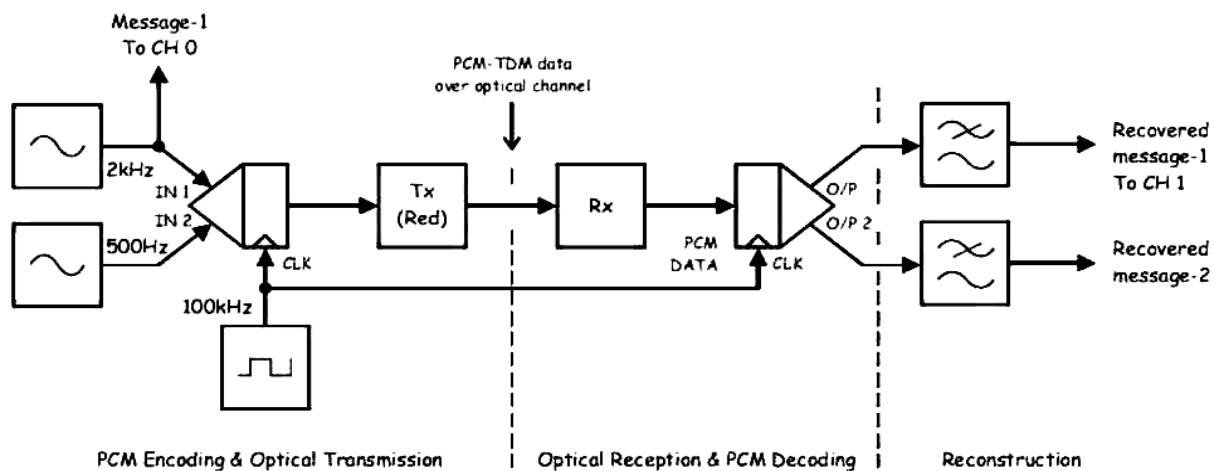


Рис. 58. PCM Encoding & Optical Transmission – ИКМ кодировщик с передачей оптического сигнала: Message-1 To CH 0 – сообщение 1 к каналу 0, IN 1 – вход сигнала сообщения 1, IN 2 – вход сигнала сообщения 2, CLK – вход синхронизации, Transmitter (Red) – передатчик (с красным светодиодом), PCM-TDM Data over optical channel – данные PCM-TDM, передаваемые по оптическому каналу, Optical Reception & PCM Decoding – Прием оптического сигнала ИКМ декодирование: Receiver – приемник, PCM data – ИКМ сообщение, CLK – сигнал битовой синхронизации, Reconstruction – восстановление: Recovered message 1 To CH 1 – восстановленное сообщение 1, Recovered message 2 – восстановленное сообщение 2

Установите элемент управления осциллографа Timebase (Масштаб по оси времени) в положение 100 мкс/дел.

Убедитесь, что система все еще кодирует, декодирует и восстанавливает Сообщение 1 (не обращайте внимания на искажения).

На мгновение отсоедините любой конец оптического проводника и убедитесь, что восстановленное сообщение исчезло с экрана.

Восстановление сигнала битовой синхронизации

Финальная стадия моделирования системы Bell «T1» посвящена восстановлению локального сигнала битовой синхронизации для ИКМ-декодера при помощи модуля Восстановителя

сигнала битовой синхронизации (PCM Bit-Clock Regenerator Module).

Измените схему, как показано на рис. 59.

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 60. Данные PCM-TDM, преобразованные из световой формы обратно в электрическую, поступают на вход модуля Восстановителя сигнала битовой синхронизации. Выходной сигнал этого модуля заменяет сигнал битовой синхронизации ИКМ-декодера, который ранее был заимствован с выхода ИКМ-кодера.

Убедитесь, что система все еще кодирует, декодирует и восстанавливает Сообщение 1.

Измените подключение осциллографа, как показано на рисунке 61.

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 62.

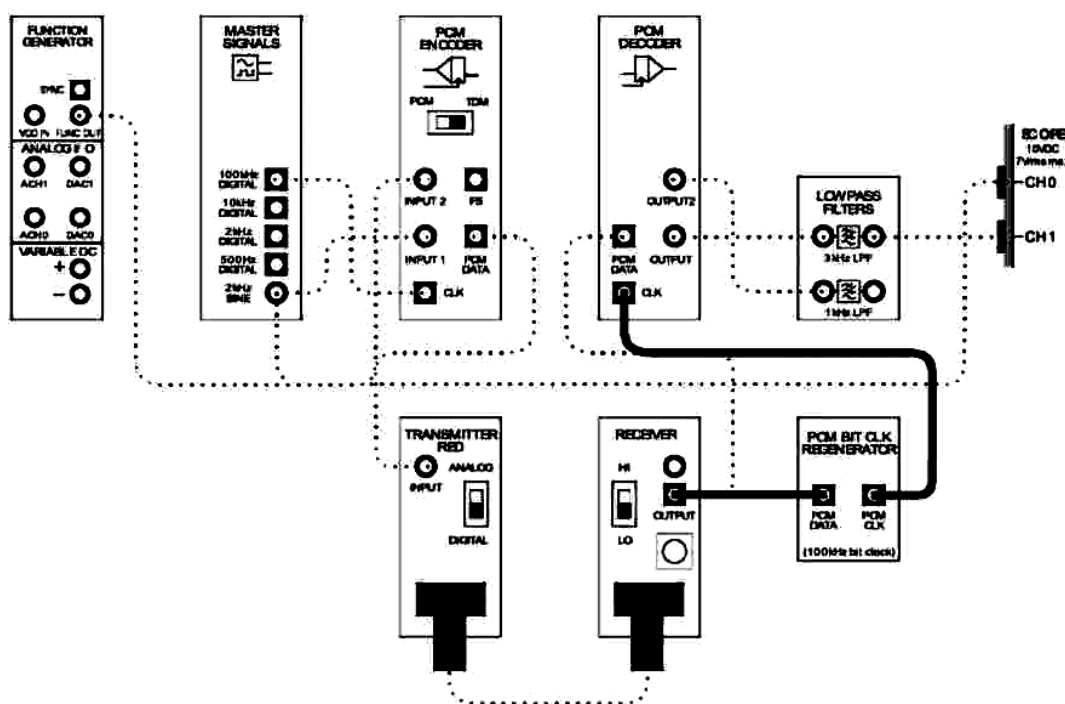


Рис. 59

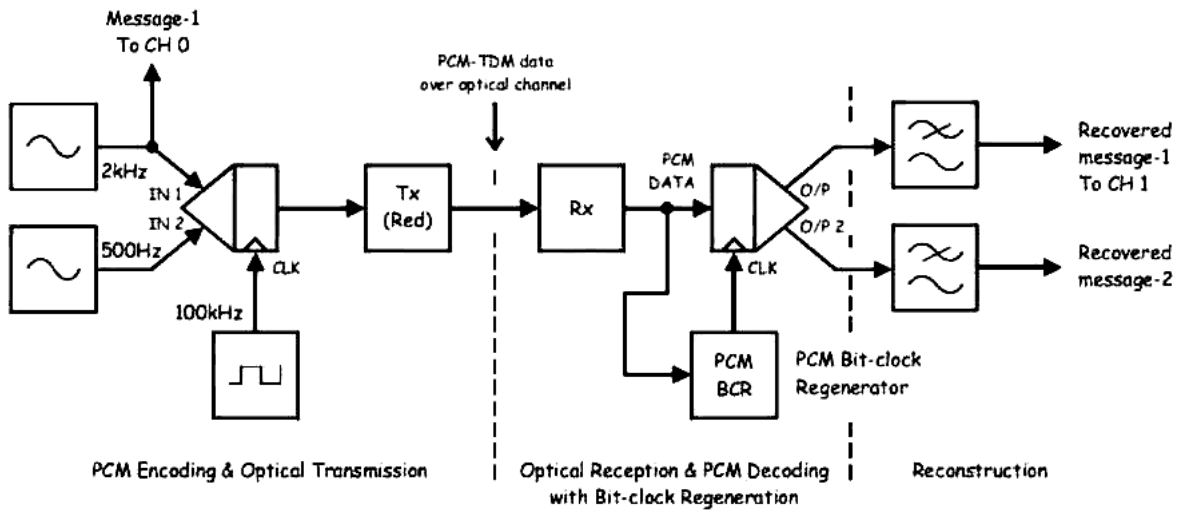


Рис. 60

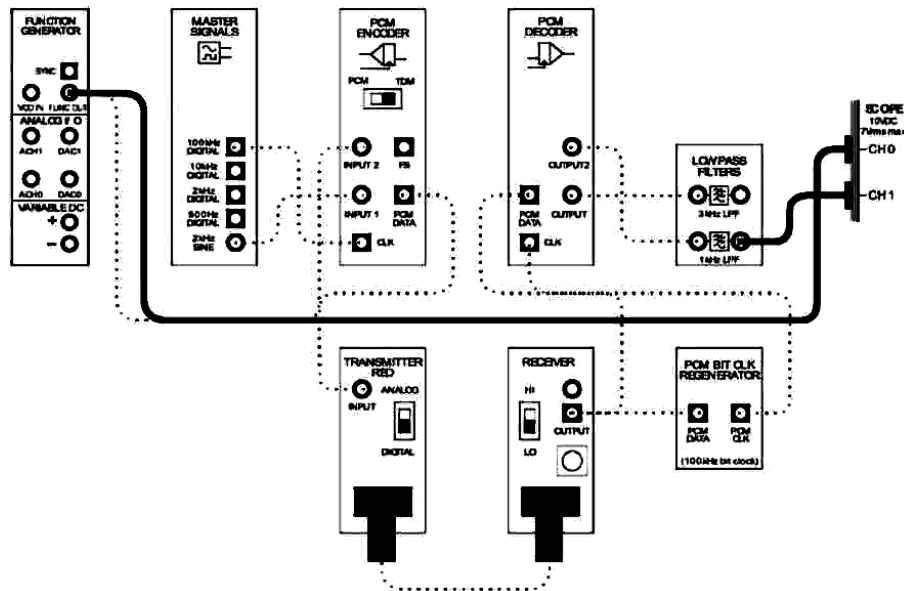


Рис. 61

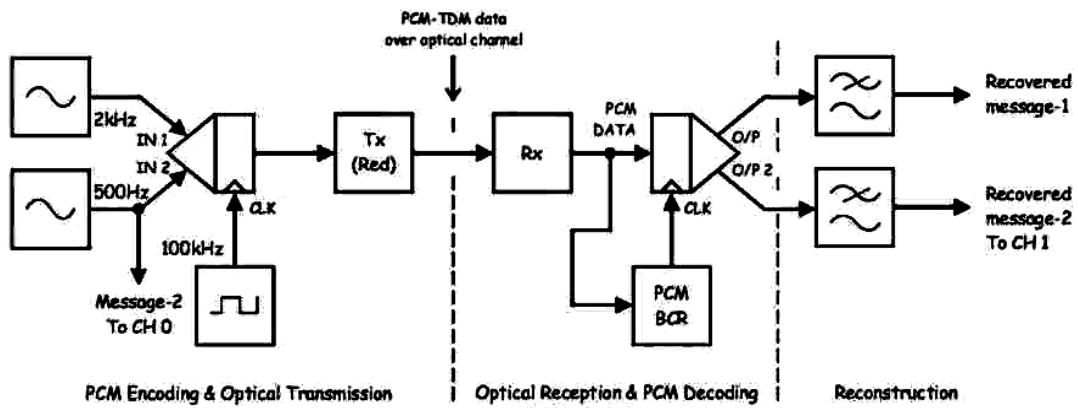


Рис. 62

Установите элемент управления осциллографа Timebase (Масштаб по оси времени) в положение 500 мкс/дел.

Убедитесь, что система все еще кодирует, декодирует и восстанавливает Сообщение 2. Теперь давайте проверим качество восстановленных сообщений на слух. Измените схему, как показано на рис. 63.

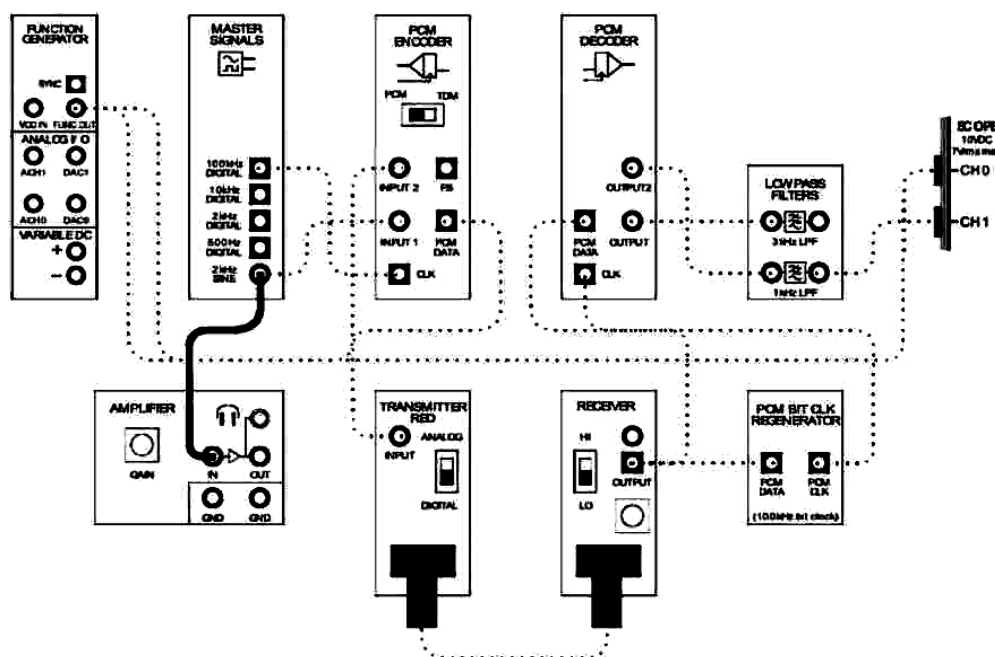


Рис. 63

Поверните регулятор коэффициента усиления усилителя Gain до упора против часовой стрелки. Не надевая наушников, подключите их к соответствующему разъему модуля усилителя.

Наденьте наушники. Вращайте регулятор коэффициента усиления «Gain» по часовой стрелке, пока не добьетесь приемлемой слышимости Сообщения 1. Прослушайте Сообщение 1 и запомните тон его звука.

Переключите вход модуля усилителя с выхода «2 kHz SINE» генератора опорных сигналов и переключите на выход ФНЧ с частотой среза 3 кГц.

Сравните звучание восстановленного и оригинального Сообщения 1. Они должны быть очень похожи, хотя вы должны услышать искажение, замеченное ранее визуально. Сделайте выводы о том, что вызывает это искажение?

Переключите вход модуля усилителя с выхода ФНЧ 3 кГц на выход генератора функций. Прослушайте оригинальное Сообщение 2 и запомните, как оно звучит.

Переключите вход модуля усилителя с выхода генератора функций на выход ФНЧ 1 кГц. Сравните звучание восстановленного и оригинального Сообщения 2. Сделайте выводы по эксперименту.

Содержание отчета

В отчет включить описание работы и соответствующие структурные схемы экспериментов с полученными осциллограммами, а также:

- цель работы;
- блок – схемы измерений, осциллограммы;
- все снятые осциллограммы, расположенные таким образом, чтобы на них были отмечены все необходимые временные соотношения между исследуемыми сигналами;
- значения измеренных величин;
- выводы по выполненным исследованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Emona FOTex: руководство к лабораторному практикуму» – Emona Instruments Pty Ltd, Camperdown NSW 2050.
2. Цифровые и аналоговые системы передачи: учеб. для вузов / под ред. В.И. Иванова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 232 с.
3. Исследование аналоговых схем в программно-аппаратной среде NI ELVIS: учеб. пособие / Э.И. Цимбалист, С.В. Силушкин; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
4. Многоканальные системы передачи: учеб. для вузов / под ред. Н.Н. Боевой и В.Н. Гордиенко. – М.: Радио и связь, 1997. 560 с.
5. Гуревич В.Э. Импульсно-Кодовая Модуляция в многоканальной телефонной связи. В.Э. Гуревич, Ю.Г. Лопушнян, Г.В. Рабинович – М.: Связь, 1973. 336 с.
6. <http://www.nestor.minsk.by/sr/2000/08/00809.html>
7. Крухмалев В.В. Цифровые системы передачи: учеб. пособие / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов. – М.: Горячая линия – Телеком. 2007. 350 с.
8. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учеб. для вузов / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов и др.; под. ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 510 с.
9. Сети и телекоммуникации. №6 (94), июнь, 2006.
10. Головин С. Журнал «СЮ» №10. 21 октября 2005 года. [Электронный ресурс] <http://www.computerra.ru/cio/old/offline/2005/41/234700/>
11. Росляков А.В. Мультисервисные сети связи: курс лекций / Росляков А.В. Лысиков А.А. Самара: ПГУТИ, 2013.
12. Никитюк Л.А. Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова. Кафедра сетей связи. Проектирование мультисервисной сети. Часть 2 / Никитюк Л.А., Тихонов В.И., Боярских П.В. Одесса: 2006.