МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Автономное профессиональное образовательное учреждение
Удмуртской Республики
«Техникум радиоэлектроники и информационных технологий
имени Александра Васильевича Воскресенского»

Практические и лабораторные работы по МДК 02.02 Монтаж и обслуживание оптических систем передачи транспортных сетей

специальность 11.02.15 Инфокоммуникационные сети и системы связи
квалификации выпускника – специалист по обслуживанию телекоммуникаций
Форма обучения - очная

Разработал преподаватель: Л.И. Лихачёва

2024 г.

Лабораторная работа № 1

Тема: Канал ТЧ, построенный по принципу ВРК - АИМ

1. Цель работы. Изучить вопросы дискретизации аналоговых сигналов в системе с ВРК, назначением АИМ и ВС.

2. Литература: Крухмалев В.В. и др., "Цифровые системы передачи", М. Горячая линия - Телеком". 2020 год., стр.4 - 21.

3.Подготовка к работе.

3.1. Разобраться с принципом временного разделения каналов, дискретизацией аналоговых сигналов, формированием сигналов АИМ.
3.2. Разобраться с определением частоты дискретизации.
3.3. Привести частотный спектр АИМ сигнала.
3.4. Подготовить бланк отчета (п.7)

4.Приборы.

4.1. Осциллограф С1-93.
4.2. Лабораторный макет.

5.Методические указания.

В лабораторном стенде смонтированы три канала с использованием принципа временного разделения. Исходным сигналом для всех трех каналов является синусоидальное напряжение. Сигналы первых двух каналов относительно друг друга смещены на 180 градусов, у третьего канала частота сигнала в 2 раза больше, чем у первого и второго.

На АИМ всех трех каналов подаются смещенные во времени относительно друг друга управляющие импульсные последовательности с частотой дискретизации от РКИ.

Управляющие импульсные последовательности вырабатываются генераторным оборудованием fg=16 кГц. С целью упрощения макета на передающем и приемных концах используется одно и тоже ГО. АИМ и ВС макета выполнены по однотипной схеме простейшего ключа. Восстановление исходного аналогового сигнала на приемном конце производится с помощью ФНЧ. Макет позволяет изучить основные принципы передачи непрерывных сигналов в системах с ВРК.

6.Порядок выполнения работы.

6.1. Зарисовать осциллограммы трех исходных сигналов. Определить частоты данных сигналов.
6.2. Снять осциллограммы импульсов дискретизации на выходе РКИ для всех сигналов. Определить частоту дискретизации.
6.3. Снять осциллограммы АИМ сигналов на выходе амплитудно-импульсных модуляторов каждого канала.
6.4. Зарисовать осциллограмму группового АИМ сигнала.
6.5. Наблюдать форму сигнала на выходе ВС в каждом канале. Определить их соответствие с осциллограммами п.3.
6.6. Наблюдать форму сигнала на выходе РКИ приема по каждому каналу. Определить их соответствие с осциллограммами п.2.
6.7. Зарисовать осциллограммы восстановленных исходных сигналов на выходе ФНЧ по каждому каналу.
Примечание: Все осциллограммы снимаются в одном и том же диапазоне развертки и вычерчиваются одна под другой. Для наблюдения временных сдвигов между сигналами разных каналов используются оба канала осциллографа.

7.Содержание отчета.

7.1. Упрощенная структурная схема системы передачи с ВРК.
7.2. Снятые осциллограммы сигналов.
7.3. Выводы.

8.Контрольные вопросы.

8.1. Теорема Котельникова.
8.2. Состав канала систем с ВРК. Назначение элементов.
8.3. Условие выбора частоты дискретизации.
8.4. Спектральный состав сигнала АИМ.
8.5. Различие сигналов АИМ-1 и АИМ-2.
8.6. Схемы для формирования сигнала АИМ-2.
8.7. Как влияет частота дискретизации на восстановление сигнала?

Практическая работа №2
Тема: Нелинейный кодер ЦСП

1. Цели работы:

1) Освоить назначение и принцип действия нелинейного кодера;
2) Приобрести навыки анализа работы нелинейного кодера.

2. Краткие теоретические сведения:

Кодек — устройство, сочетающее в себе кодер и декодер, выполняющее преобразование сигнала.

По принципам действия кодеры подразделяют на три основные группы:

- счетного типа;
- взвешивающего типа;
- матричные.

Наиболее просто двоичное кодирование осуществляется в кодерах взвешивающего типа. Принцип работы таких кодеров заключается в уравновешивании кодируемых отсчетов эталонными токами или просто эталонами с определенными весами (значениями). Кодирование в этом случае можно представить как процесс поэтапного взвешивания на чашечных весах, снабженных указателями «больше — меньше».

Процесс декодирования (восстановление передаваемой амплитуды отсчета) в этом случае может быть представлен как суммирование эталонов (гирь) с весовыми значениями тех разрядов, где в кодовой комбинации имеются единицы.

Главное достоинство взвешивающего кодера — низкое требуемое быстродействие элементов схемы. Основной недостаток — необходимы цепи генерации эталонных напряжений, от которых зависит точность работы кодера.

Квантование сигнала с линейной шкалой характеристики не позволяет получить высокое качество передачи сигнала с малой амплитудой. Поэтому в системах ИКМ-ВРК квантование с линейной шкалой практически не применяется. Необходимое качество передачи сигналов достигается при выполнении квантования с неравномерной шкалой.

В системах ИКМ-ВРК вместо плавной амплитудной характеристики, которую имеют аналоговые компандеры, применяются сегментные характеристики. Они представляют собой кусочно-ломаную аппроксимацию плавных характеристик, при которой изменение крутизны происходит дискретными ступенями. Наибольшее распространение получила сегментная характеристика компандирования типа А-87,6/13, где аппроксимация логарифмической характеристики производится по так называемому А-закону. Здесь А — коэффициент компрессии, равный 87,6, а сама характеристика строится из 13 сегментов. Такая характеристика показана на рисунке 1. Она содержит в положительной области сегменты $C_{1F}C_2$, C_3, ...,C_8, находящиеся между точками (узлами) 0-1, 1-2, 2-3,..., 7-8.

Аналогичным образом строится характеристика для отрицательной области значений входного сигнала. Четыре центральных сегмента (два в положительной и два в отрицательной областях) объединяются в один центральный сегмент, поэтому общее число сегментов на двухполярной характеристике равно 13. Каждый из 16 сегментов характеристики содержит по 16 шагов (уровней) квантования, а общее число уровней равно 256, из них 128 положительных и 128 отрицательных.

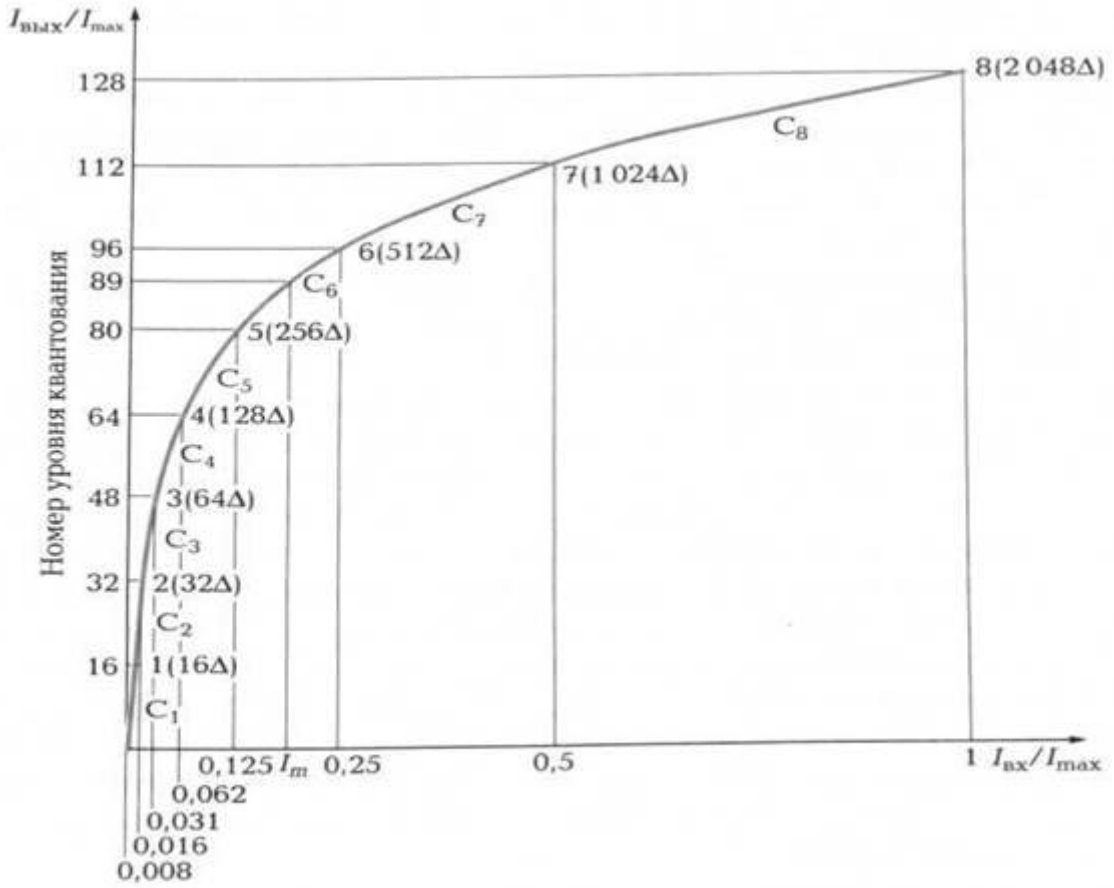


Рисунок 1. Характеристика компрессии типа А-87,6/13

Каждый сегмент начинается с основного эталона. Эти эталоны указаны в начале каждого сегмента. Шаг квантования внутри каждого сегмента равномерный, а при переходе от одного к другому сегменту изменяется в два раза, начиная с центрального сегмента 4 (128Д), куда входят C_4 и C_5.

Значения основных и дополнительных эталонов (табл. 1) даны в условных единицах по отношению к значению минимального шага квантования. Сочетание дополнительных эталонов позволяет получить любой из 16 уровней квантования в данном сегменте. При изменении шага квантования изменяется крутизна в точках (узлах) характеристики. Четыре центральных сегмента (два в положительной и два в отрицательной областях характеристики) имеют одинаковую крутизну и равные шаги квантования. При таком построении характеристики минимальный шаг квантования имеют сегменты C_1 и C_2, а максимальный — сегмент C_8.

Из таблицы видно, что для формирования всех уровней квантования достаточно иметь И эталонов (Δ, 2Δ, 4Δ, 8Δ, 16Δ, 32Δ, 64Δ, 128Δ, 256Δ, 512Δ, 1 024Δ). При кодировании в пределах одного сегмента требуется всего 5 эталонов: один для определения нижней границы сегмента, четыре для определения шага квантования в пределах сегмента.

Таблица 1

№ сегмента	Кодовая комбинация номера сегмента	Эталонные сигналы					Шаг квантования	Эталонные сигналы коррекции
		основной	дополнительные					
1	000	0	8	4	2	1	1	0,5
2	001	16	8	4	2	1	1	0,5
3	010	32	16	8	4	2	2	1
4	011	64	32	16	8	4	4	2

5	100	128	64	32	16	8	8	4
6	101	256	128	64	32	16	16	8
7	110	512	256	128	64	32	32	16
8	111	1024	512	256	128	64	64	32

Малое число эталонных сигналов, используемых при формировании одного квантованного отсчета, упрощает требования к точности источника эталонных сигналов в целом.

Кодирование включает три основных этапа:

1) *Определение полярности входного сигнала* — выполняется в первом разряде (P_1). Если импульс положительный, то в P_1 передается 1, если же импульс отрицательный, то в P_1 передается 0;

2) О*пределение номера сегмента основного эталонного тока* — выполняется во втором, третьем и четвертом разрядах (P_2...P_4). На данном этапе осуществляется грубое кодирование.

Во втором разряде кодирования значение I_C сравнивается с эталонным током $I_{эт4}$ (так как он расположен в середине характеристики). Если при сравнении окажется, что I_C больше $I_{эт4}$, то поиск уходит вверх по амплитудной характеристике до 6-го узла и включается ток $I_{эт6}$. Это означает, что на выходе компаратора будет 0, а на выходе кодера — 1. Если при сравнении окажется, что I_c меньше $I_{эт4}$, то поиск уходит вниз по амплитудной характеристике до 2-го узла и включается ток $I_{эт2}$. Это означает, что на выходе компаратора будет 1, а на выходе кодера — 0.

Далее в третьем разряде кодирования в зависимости от выбранного узла характеристики снова происходит сравнение I_C и $I_{эт}$, но поиск уходит вверх или вниз по амплитудной характеристике на один узел. В четвертом разряде аналогично производится сравнение, результат которого позволяет окончательно выбрать номер узла характеристики, определяющий начало сегмента. Результат будет представлен в двоичной системе счисления, занимая 2...4-й разряды кодовой группы. По полученной кодовой комбинации номера сегмента определяется основной эталонный сигнал;

3) О*пределение номера сегмента дополнительного эталонного тока* — выполняется в пятом, шестом, седьмом и восьмом разрядах (P_5...P_8). На данном этапе осуществляется точное кодирование.

Пример. *В качестве примера закодируем положительный отсчет с амплитудой $U_c = 205\Delta U_0$.*

Этот отсчет подается на первый вход компаратора. Вначале производится сравнение кодируемого отсчета с нулевым эталонным током. Так как отсчет положителен, то 1-й символ кодовой комбинации будет «1».

Далее, в три такта (разряда) осуществляется поиск сегмента, в котором находится кодируемый отсчет, т. е. находится нижняя граница этого сегмента.

На первом такте сигнал сравнивается с эталонным напряжением нижней границы 4-го сегмента (128Д). В зависимости от результата сравнения формируется символ 2-го разряда «О» или «1». Если сформирована «1», то на втором такте сравнивается с нижней границей 6-го сегмента (512Д); если же «О» — то с нижней границей второго сегмента (32Д). Далее аналогично — с нижней границей седьмого сегмента (1 024Д) или пятого (256Д), либо с нижней границей третьего сегмента (64Д) или первого (16Д).

В нашем примере кодирование будет производится следующим образом:

- *4-й такт: 205 > 128 —> «1»;*
- *5-й такт: 205 < 512 —> «О»;*
- *6-й такт: 205 < 256 —> «О».*

Следовательно, 2, 3 и 4-й символы кодовой комбинации — 100. Эталонное напряжение нижней границы четвертого сегмента составит 128Л.

Определение и кодирование номера уровня квантования в четвертом сегменте производится в четыре такта с помощью эталонных напряжений 64Д, 32Д, 16Д, 8Д, которые формируются в источнике эталонов и соответствуют четвертому сегменту.

5-й символ — на пятом выходе цифрового регистра «1», в источнике эталонов формируется сигнал 128Д + 64Д, так как 205 больше 192, на выходе компаратора формируется «О» и состояние пятого выхода цифрового регистра сохраняется.

6-й символ—на шестом выходе цифрового регистра устанавливается «1», источник эталонов формирует сигнал 128Д + 64Д + 32Д, который подается на второй вход компаратора, поскольку 205 меньше 224, то на выходе компаратора — «1» и шестой выход цифрового регистра изменяет свое состояние на «0», напряжение 32Д отключается.

7-й символ — на седьмом выходе цифрового регистра устанавливается «1», источник эталонов на второй вход компаратора подает сигнал 128Д + + 64Д + 16Д. Так как 205 меньше 208, на выходе компаратора формируется «1» и седьмой выход цифрового регистра обнуляется. Напряжение 16Д в источнике эталонов отключается.

8-й символ — на восьмом выходе цифрового регистра «1», на выходе источника эталонов формируется сигнал 128Д + 64Д + 8Д. Поскольку 205 больше 200, на выходе компаратора появляется «0» и на выходе цифрового регистра остается «1».

Таким образом, 5, 6, 7 и 8-й символы кодовой комбинации — «1001».

Полностью кодовая комбинация для отсчета 2О5Д[/₀ будет иметь вид «11001001».

Ошибка квантования составляет 5 усл. ед. (205 - 128 - 64 - 8). Расчет выполнен верно, так как ошибка не превышает шага квантования (5 < 8).

Принцип построения нелинейного кодера взвешивающего типа с цифровой компрессией эталонов показан на рисуноке 2. Кодер содержит компаратор (К), блок выбора и коммутации эталонных токов (БКЭ), генератор положительных ГЭТ$_1$ и отрицательных ГЭТ$_2$ эталонных токов, компрессирующую логику (КЛ), цифровой регистр (ЦР) и преобразователь кода (ПК).

Компаратор (взвешиватель) определяет полярность отсчета и знак разности между амплитудами токов кодируемого отсчета I_c и эталона $I_{ЭТ}$. В зависимости от знака этой разности на выходе компаратора формируется 1 ($I_C > I_{эт}$) или 0 ($I_C < I_{ЭТ}$).

Цифровой регистр предназначен для принятия решений компаратора и для управления узлами кодера, а также для формирования 8-разрядной комбинации в параллельном коде.

Компрессирующая логика осуществляет коммутацию семи входов (P_1 веса не имеет, он определяет полярность) и одиннадцати выходов (семь основных $I_{эт}$ и четыре дополнительных $I_{ЭТ}$).

Рисунок 2. Структурная схема нелинейного кодера

Блок коммутации эталонов выбирает для подключения нужный ГЭТ («+» или «-») и в выбранном ГЭТ подключает эталонные токи.

Генератор эталонных токов формирует полярность и величины эталонов. По построению он аналогичен ГЭТ линейного кодера, только количество формируемых эталонов равно 11, а значения этих эталонов равны 1, 2, 4,..., 1 024 усл. ед.

Преобразователь кода преобразует параллельный 8-разрядный код в последовательный.

Работой узлов кодера управляют импульсы от ГО. На кодер подается удвоенная тактовая частота, чтобы кодер успел закодировать сигнал и вернуть все узлы в исходное положение.

Достоинство схемы — высокая точность кодирования.

Недостаток схемы — сложная схема кодера.

Применяется во всех цифровых системах с плезиохронной иерархией (ЦСП).

3. Задание:

1) Произведите кодирование сигнала в нелинейном кодере взвешивающего типа. Значение сигнала $I_{АИМ}$ – согласно варианта (таблица 2). Опишите этапы кодирования. Результаты поэтапного кодирования заносятся в табл. 3,4.

Таблица 2

№ вар	Значение $I_{АИМ}$	№ вар	Значение $I_{АИМ}$	№ вар	Значение $I_{АИМ}$	№ вар	Значение $I_{АИМ}$
1	210	8	182	15	5	22	201
2	157	9	15	16	112	23	127
3	284	10	38	17	10	24	59
4	47	11	127	18	48	25	115
5	139	12	136	19	293		
6	203	13	229	20	300		
7	163	14	18	21	250		

Таблица 3

Основной эталонный ток	Дополнительные эталонные токи

Таблица 4

Этапы кодирования	Запись решения в регистре памяти							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1 этап								
2 этап								
3 этап								

2) Изобразите структурную схему нелинейного кодера. На схеме кодера укажите значения кодовых комбинаций в различных точках схемы: К, ЦР, ПК, замкнутые ключи в ГЭТ, значение АИМ-сигнала на входе кодера. Рассчитайте погрешность кодирования;

3) Сделайте выводы о достоинствах и недостатках нелинейных кодеров взвешивающего типа;

4) Ответьте на следующие вопросы: каково назначение кодеров?; какова характеристика компрессии А-87,6/13?; каковы преимущества и недостатки нелинейного кодера взвешивающего

типа по сравнению с линейным?; что такое погрешность кодирования?; каково назначение узлов кодера?; каковы этапы нелинейного кодирования?

Содержание отчета. Практическая работа должна быть выполнена в отдельной тетради в виде отчета, который должен содержать название и цель работы, исходные данные, таблицу с рассчитанными данными, описание этапов кодирования, определение погрешности работы нелинейного кодера, структурную схему нелинейного кодера, выводы, ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №3
Тема: Декодирование сигнала

Цели работы:

1) Освоить назначение и принцип действия нелинейного декодера;
2) Приобрести навыки анализа работы нелинейного декодера.

Краткие теоретические сведения

В *декодере* производится процесс преобразования 8-разрядной кодовой комбинации в квантованный АИМ-сигнал.

Декодирование, так же как и кодирование, может быть линейным и нелинейным. Линейные декодеры также бывают последовательного счета и поразрядного взвешивания. Декодеры последовательного счета требуют элементы с высоким быстродействием и поэтому применяются редко. В ЦСП с ИКМ наиболее часто применяют линейные цифроаналоговые преобразователи с поразрядным суммированием токов.

Процесс декодирования (восстановление передаваемой амплитуды отсчета) может быть представлен как суммирование эталонов (гирь) с весовыми значениями тех разрядов, где в кодовой комбинации имеются единицы.

Кодеры и декодеры с равномерным шагом квантования имеют реальную характеристику квантования. На этой характеристике можно отметить ее неравномерность в начале координат, точнее, первые ступеньки в положительной и отрицательной областях характеристики. Это приводит к отклонению реальной характеристики от идеальной, представляющей собой прямую линию, проходящую через начало координат. Обработка сигнала с такой характеристикой квантования вызывает его дополнительные искажения. Для уменьшения этих искажений при декодировании значение амплитуды отсчета положительной и отрицательной полярностей увеличиваются дополнительно на половину шага квантования. Для этого в реальных декодерах используются дополнительные эталонные токи со значениями +0,5Δ и -0,5Δ. Это равносильно смещению характеристики в положительной области вверх, а в отрицательной области вниз на половину шага квантования.

При декодировании с неравномерным шагом квантования осуществляется обратное цифроаналоговое преобразование. Обычно величины АИМ-отсчетов в нелинейных декодерах формируются путем суммирования весовых значений символов кодовой группы. Наиболее широко в технике связи используются нелинейные декодеры взвешивающего типа с цифровым экспандированием эталонов. Характеристика экспандирования нелинейного декодера должна быть обратной характеристике компрессии нелинейного кодера (Рисунок 1). Учитывая особенности построения нелинейной характеристики квантования декодера, которая аналогична характеристикам линейного декодера, для уменьшения искажений при декодировании используется 12-й эталон. Значение этого эталона для каждого сегмента свое и равно половине шага квантования в этом сегменте. Эталоны коррекции приведены в таблице 1.

Декодер осуществляет цифроаналоговое преобразование кодовых групп ИКМ-сигнала в АИМ-сигнал, т. е. в отсчеты нужной полярности и амплитуды. Принцип построения нелинейного декодера взвешивающего типа с цифровым экспандированием эталонов показан на рисунке 2. Декодер содержит цифровой регистр (ЦР), блок экспандирующей логики (ЭЛ), блок выбора и коммутации эталонных токов (БКЭ) и два генератора эталонных токов положительной $ГЭТ_1$, и отрицательной $ГЭТ_2$ полярностей.

Восьмиразрядная кодовая группа принятого ИКМ-сигнала записывается в ЦР, формируясь на его выходах 1 ...8 в виде параллельного 8-разрядного двоичного кода. Первый разряд этой кодовой комбинации определяет полярность включаемого ГЭТ, а 2... 4-й разряды — номер

сегмента, 5... 8-й разряды — номер уровня квантования. ЭЛ управляет работой БКЭ, формируя цепи подключения соответствующих эталонных сигналов, суммарный ток которых определяет величину (амплитуду) декодированного АИМ-от- счета

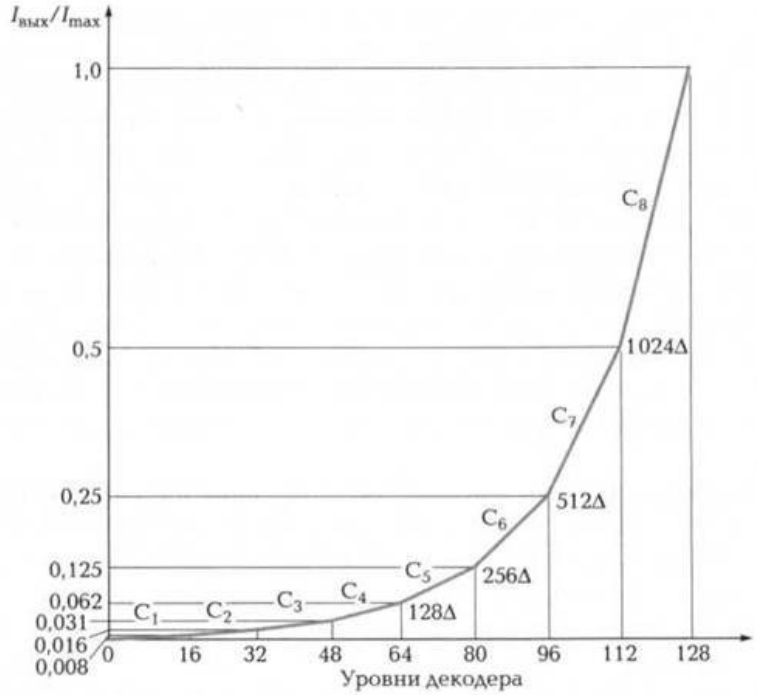


Рисунок 1. Характеристика экспандирования типа А-87,6/13

Рисунок 2. Структурная схема нелинейного декодера

Так, при декодировании кодовой комбинации 11001001 включается ГЭТ$_1$ положительной полярности (так как первый разряд 1). Следующие три разряда определяют номер сегмента «100» =4, для четвертого сегмента эталонное напряжение (см. таблицу 1) составляет 128Δ.

Следующие разряды 1001 определяют эталонные напряжения внутри сегмента, которые включатся при декодировании (см. таблицу 1) — 64Δ и 8Δ.

После суммирования всех эталонных напряжений значение отсчета составит

$U_{АИМ}$ = +(128Δ + 64Δ + 8Δ)= + 200Δ.

Как отмечалось ранее, для уменьшения искажений при декодировании используется 12-й корректирующий эталон, предназначенный для уменьшения погрешности, равный половине шага квантования данного сегмента. Для рассматриваемого примера корректирующий эталонный ток равен 4 усл. ед. и общее суммарное значение эталонных токов будет равно 204 усл. ед.

Таблица 1

№ сегмента	Кодовая комб	Эталонные сигналы		Шаг кванто-	Эталонные сигналы
		основной	дополнительные		

	инация номера						ва ния	кор- рекци
1	000	0	8	4	2	1	1	0,5
2	001	16	8	4	2	1	1	0,5
3	010	32	16	8	4	2	2	1
4	011	64	32	16	8	4	4	2
5	100	128	64	32	16	8	8	4
6	101	256	128	64	32	16	16	8
7	110	512	256	128	64	32	32	16
8	111	1024	512	256	128	64	64	32

Задание:

1) произведите декодирование сигнала в нелинейном декодере взвешивающего типа. Значение *ИКМ*-сигнала – согласно варианта (таблица 2).

Таблица 2

№ варианта	Значение ИКМ-сигнала	№ варианта	Значение ИКМ-сигнала	№ варианта	Значение ИКМ-сигнала
1	01001101	8	11001011	15	11100111
2	11101001	9	01011011	16	00100011
3	01001001	10	11101001	17	11000001
4	11011101	11	01001101	18	01101111
5	01010101	12	11101111	19	00010011
6	01101011	13	01001011	20	11111001
7	11111011	14	01100011	21	11011101

1) изобразите структурную схему нелинейного декодера. На схеме декодера укажите значения кодовых комбинаций в различных точках схемы: К, ЦР, ПК, замкнутые ключи в ГЭТ, значение АИМ-сигнала на выходе кодера.

2) Сделайте выводы о достоинствах и недостатках нелинейных декодеров взвешивающего типа;

3) ответьте на следующие вопросы:

а) каково назначение декодеров (?);

б) что такое эталонные сигналы коррекции (?);

в) каково назначение узлов декодера (?);

г) каковы этапы нелинейного декодирования?

Содержание отчета. Практическая работа должна быть выполнена в отдельной тетради в виде отчета, который должен содержать название и цель работы, исходные данные, описание

этапов декодирования, определение погрешности работы нелинейного декодера, структурную схему нелинейного декодера, выводы, ответы на контрольные вопросы.

Лабораторная работа № 4
Узлы генераторного оборудования ЦСП

Цель работы:

Изучить принцип построения генераторного оборудования аппаратуры многоканальной связи на примере ГО для ЦСП и ГО для АСП - СУГО -1-5М.

Генераторное оборудование СУГО-1-5М для АСП с ЧРК

Генераторное оборудование СП с ЧРК предназначено для получения колебаний индивидуальных и групповых несущих частот, а также контрольных частот.

Каждое из этих колебаний должно удовлетворять ряду требований, важнейшими из которых являются стабильность частоты, стабильность амплитуды, помехозащищенность, надежность.

В современных СП с ЧРК все колебания несущих и контрольных частот вырабатываются в стойках унифицированного генераторного оборудования (СУГО).

Все несущие и большая часть контрольных частот на стойках СУГО формируются на основе опорной частоты 128 кГц задающего генератора, стабилизированного кварцевым резонатором (ЗГ-128). Исключение составляют контрольные частоты 84,14 и 411,86 кГц, для получения которых, кроме гармоник частоты опорного генератора, используется кварцевый генератор с частотой колебания 8,14 кГц.

Относительная погрешность частоты задающего генератора 128 кГц составляет две десятимиллионных герц за две недели непрерывного действия в рабочих диапазонах температур и изменения напряжений, и такая величина гарантируется в течении трех месяцев непрерывной работы генератора после его первоначального включения. Указанная погрешность частоты обеспечивает нормальную работу системы К-1920.

Индивидуальные несущие частоты образуются с помощью гармонического генератора с частотой 4кГц (ГГ-4). В блоке делителя частоты (ДЧ-128/4;12) получаются токи с частотой 4 и 12 кГц. В генераторе гармоник 4 кГц (ГГ-4) с помощью магнитного умножителя частоты формируется импульс богатый гармониками, кратными частоте 4 кГц. ГГ-4 имеет два выхода: на один подается напряжение, состоящее из нечетных гармонических составляющих а на другой - напряжение, содержащее только четные гармоники. С помощью фильтров индивидуальных несущих частот ФИНЧ из спектра ГГ-4 выделяются все индивидуальные несущие частоты, за исключением частоты 108 кГц, которая поступает от от генератора гармоник 12 кГц (ГГ-12). Такой способ получения частоты 108 кГц позволяет значительно уменьшить помехи в тракте этой несущей частоты.

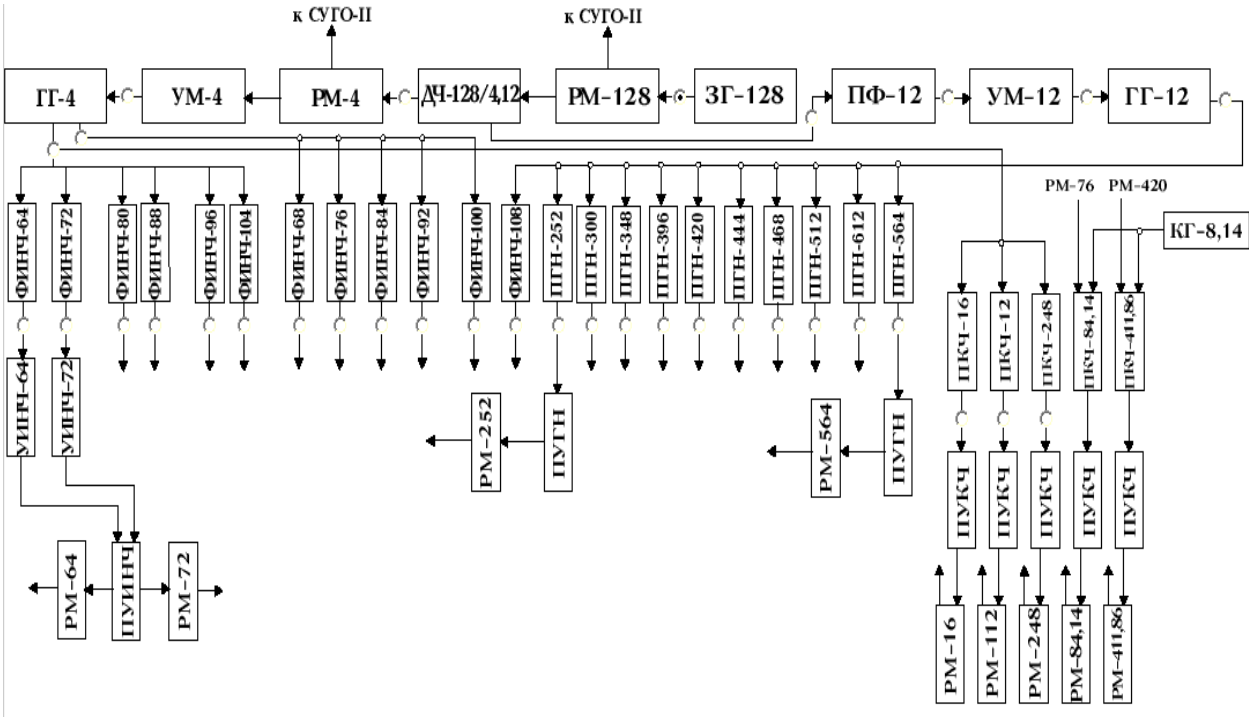
С выхода фильтров ФИНЧ напряжения индивидуальных несущих частот 64, 68, 72, 76, 80, 84, 88, 92, 96, 100, 104 и 108 кГц поступают на входы усилителей УИНЧ и далее через автоматические переключающие устройства ПУИНЧ подаются на распределители мощности РМ.

Несущие частоты первичного преобразования образуются от от генератора гармоник 12 кГц (ГГ-12). Фильтр ПФ-12 , установленный на входе усилителя УС-12, повышает защищенность сигнала с частотой 12 кГц от помех с частотой и кГц. С помощью фильтров групповых несущих частот (ПГН) из богатого нечетными гармониками переменного тока, поступающего на выход генератора гармоник ГГ-12, выделяются следующие групповые частоты несущие частоты - 252, 300, 348, 396, 420, 444, 516, 564 и 612 кГц. Далее токи групповых несущих частот через автоматические переключающие устройства ПУГН подаются на распределители мощности РМ.

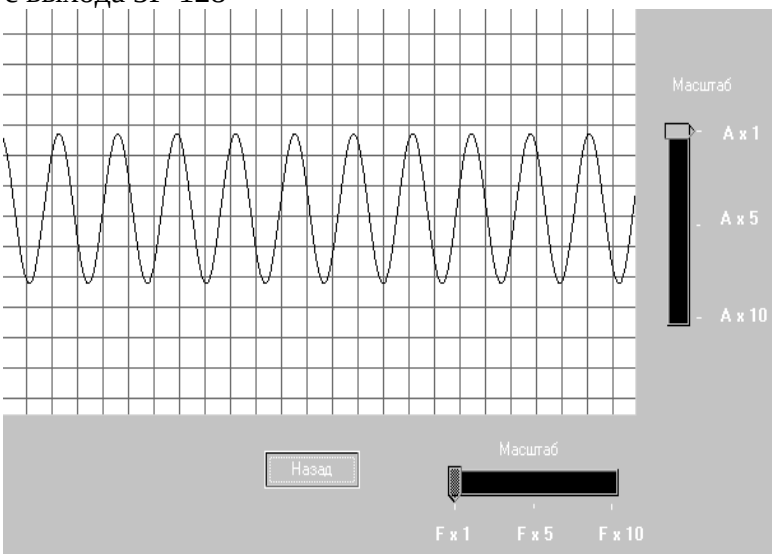
Токи контрольных частот 84,14 и 411,86 кГц получаются в результате преобразования токов индивидуальной несущей частоты 76 кГц и несущей частоты 420 кГц соответственно частотой кварцевого генератора 8,14 кГц (КГ-8,14).

Токи линейных контрольных частот 12, 16 и 248 кГц образуются от гармонического генератора ГГ-4 и выделяются соответствующими фильтрами (ПКЧ).

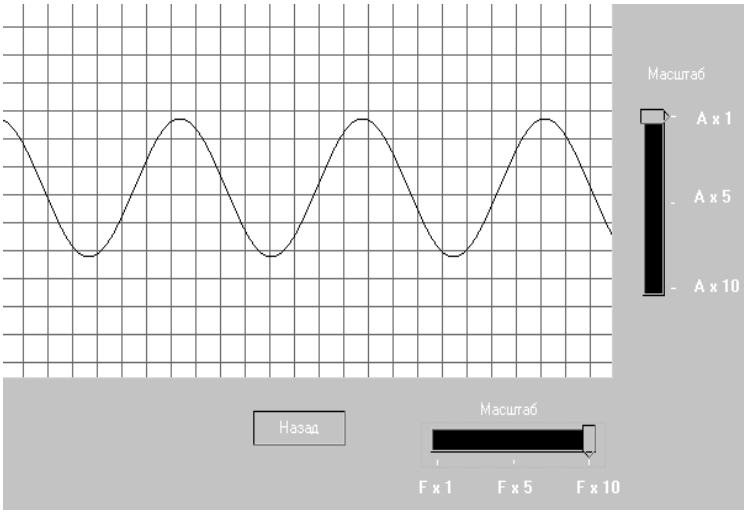
Структурная схема СУГО-1-5М:



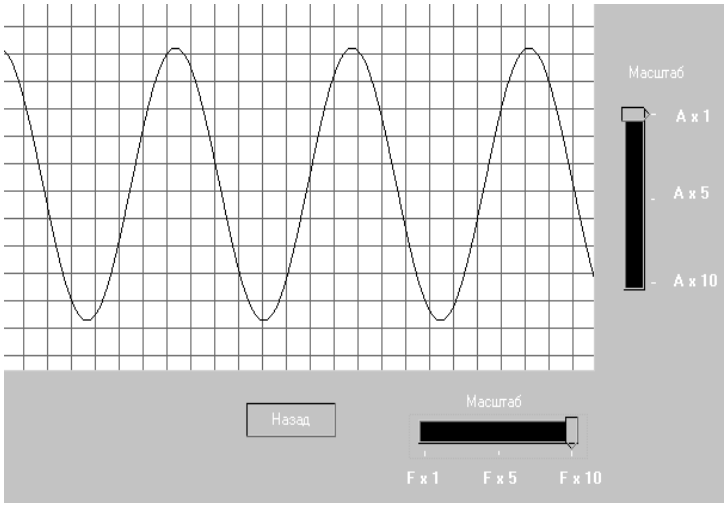
Осциллограммы сигналов в точках структурной схемы ГО:
с выхода ЗГ-128



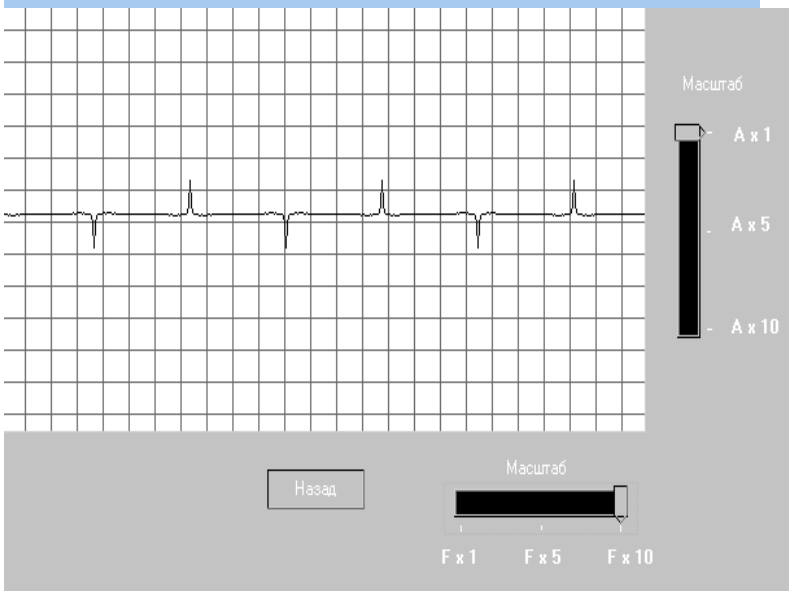
Сигнал частотой 4 кГц с выхода ДЧ-128/4;12



С выхода УМ-4

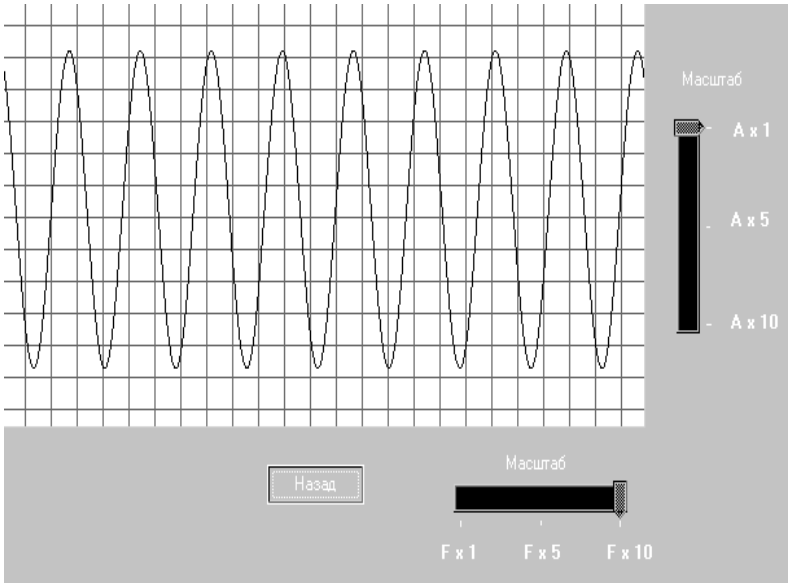


с выхода ГГ-4 (сигнал, состоящий из четных гармоник)

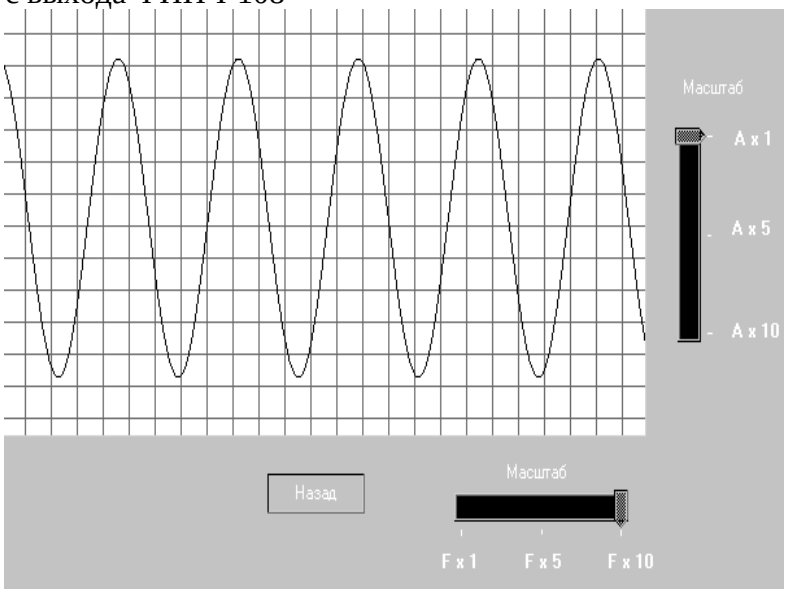


с выхода ГГ-4 (сигнал, состоящий из нечетных гармоник)

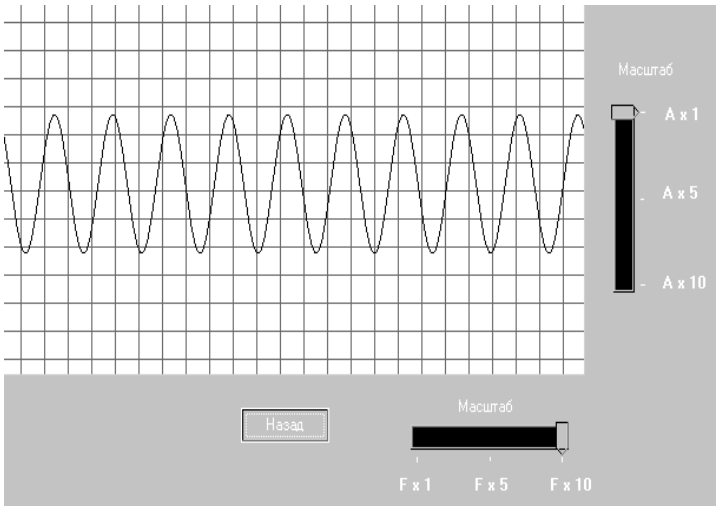
с выхода ФИНЧ-64



с выхода ФИНЧ-108

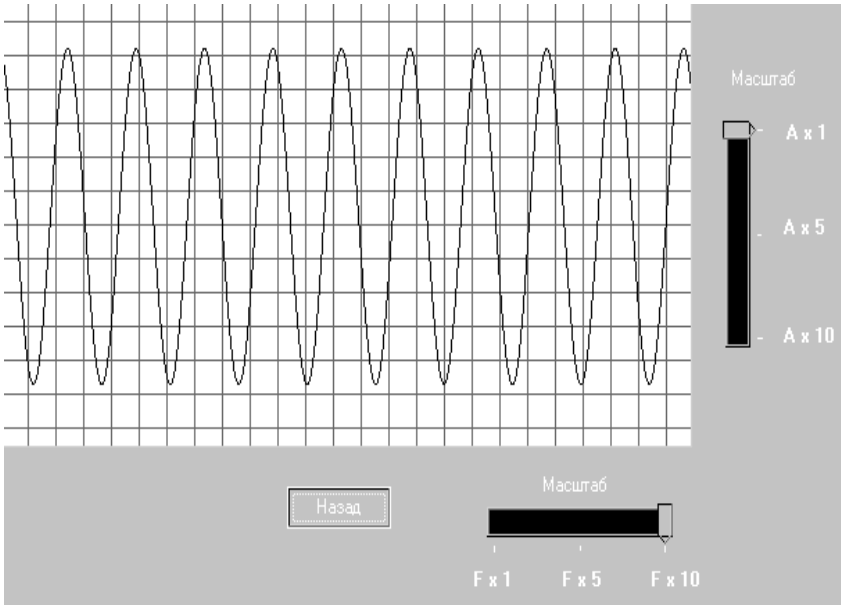


сигнал частотой 12 кГц

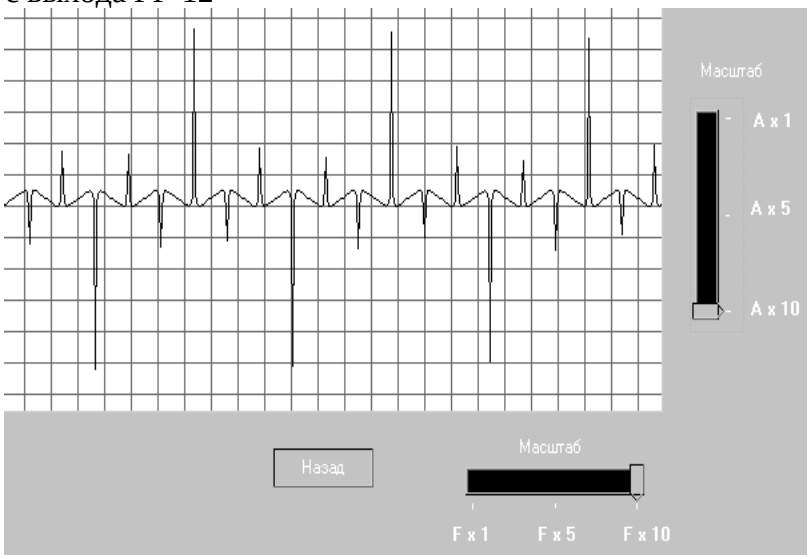


с выхода ДЧ-128/4;12 генераторный

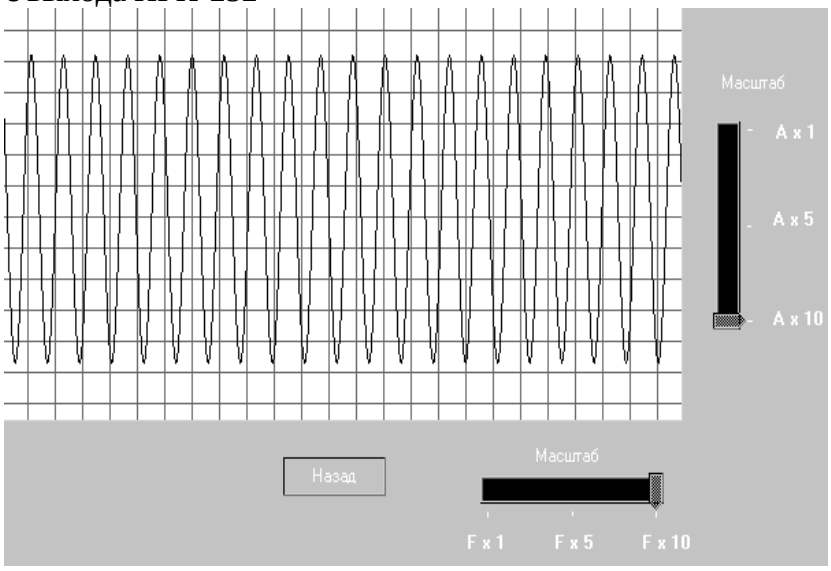
оборудование осциллограмма частота с выхода УМ-12



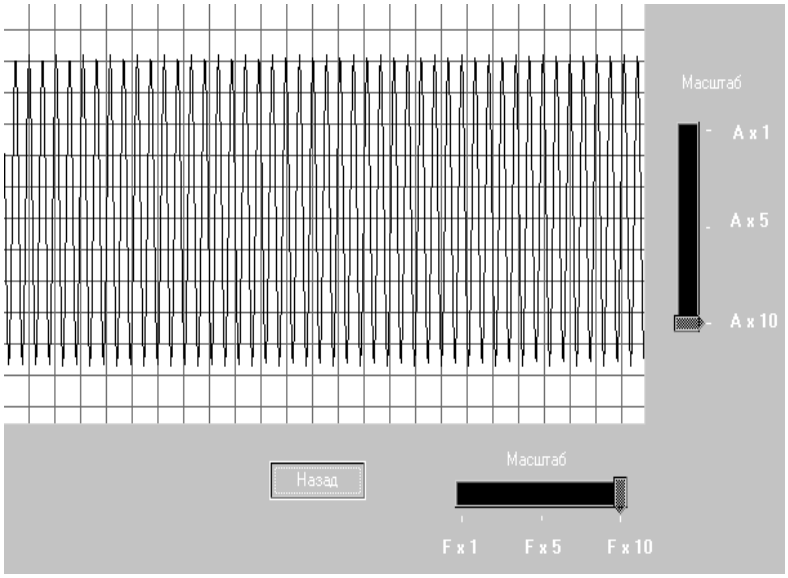
с выхода ГГ-12



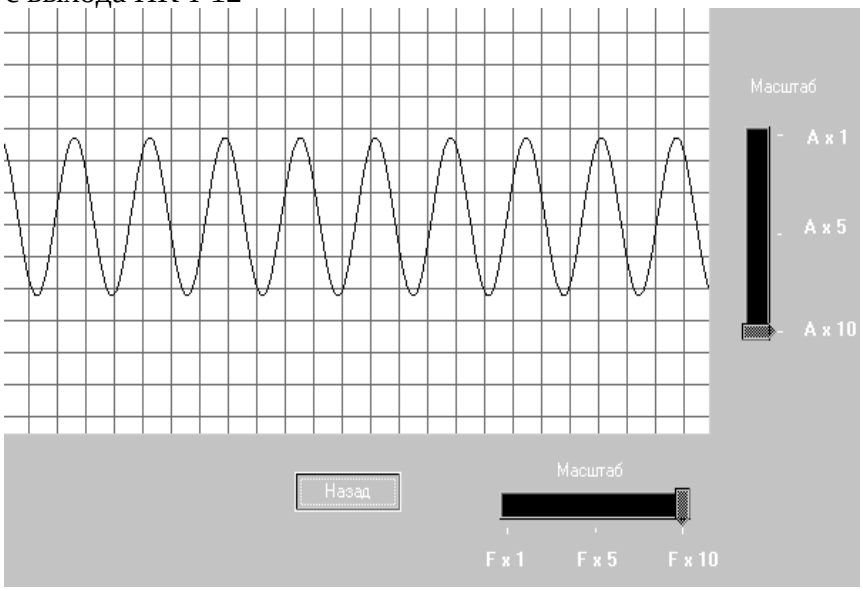
с выхода ПГН-252



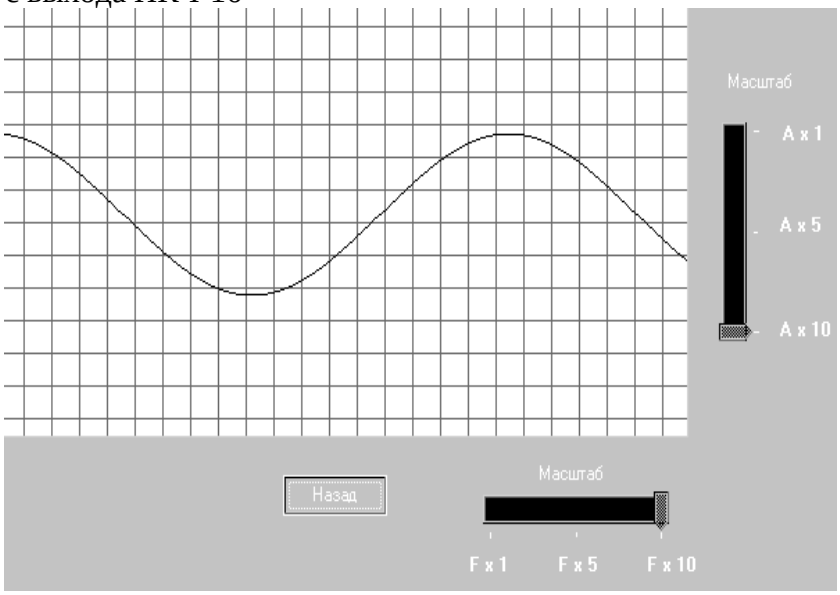
с выхода НГН-564



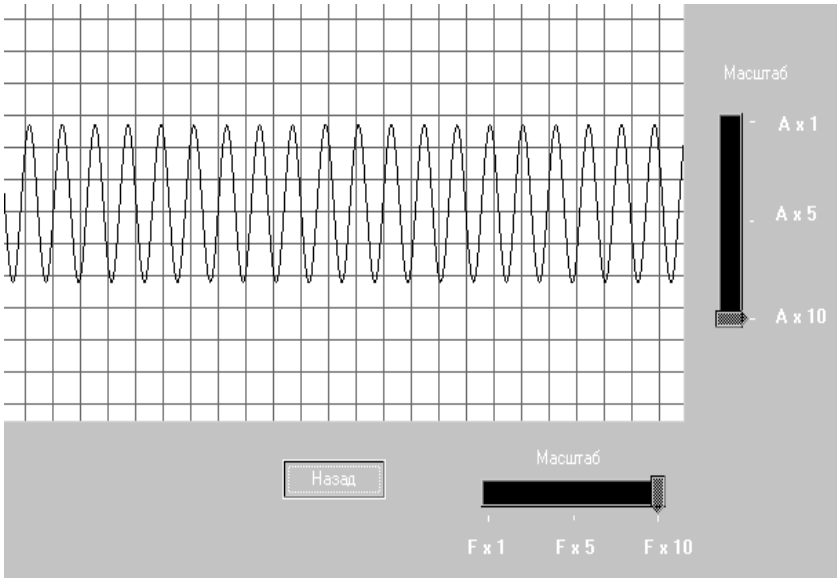
с выхода ПКЧ-12



с выхода ПКЧ-16



с выхода ПКЧ-248



Генераторное оборудование для ЦСП ИКМ-30

Генераторное оборудование ЦСП вырабатывает определенный набор импульсных последовательностей, которые используются для управления функциональными узлами аппаратуры и синхронизации соответствующих узлов оконечных и промежуточных станций, а также определяют порядок и скорость обработки сигналов в трактах передачи и приема. Структурная схема ГО во многом зависит от принципов формирования группового ИКМ сигнала и места конкретной системы в типовой иерархии ЦСП.

Рассмотрим построение ГО первичной ЦСП. Структура управляющих сигналов, вырабатываемых ГО, определяется структурами цикла и сверхцикла передачи. Так например тактовая частота первичной ЦСП Fт= 2048 кГц. Так как каждый символ цифрового потока занимает половину тактового интервала, то нужна последовательность импульсов с частотой следования и скважностью q =2. Все остальные управляющие импульсные последовательности могут быть сформированы путем деления тактовой частоты.

На выходе задающего генератора (ЗГ) формируется гармонический высокостабильный сигнал с частотой, обычно равной или кратной Fт. Формирователь тактовой последовательности (ФТП) вырабатывает основную импульсную последовательность с частотой следования Fт. Импульсы тактовой последовательности используются при выполнении операций кодирования и декодирования, формировании и обработке линейного сигнала.

Распределитель разрядный (РР) формирует m импульсных последовательностей (Р1, Р2, Р3,..., Рm).

Число разрядных импульсов, формируемых РР, равно числу разрядов в кодовой комбинации, а частота их следования (при m = 8) Fр=Fт/m . Эти импульсные последовательности используются для правильного определения каждого разряда комбинации, при выполнении операций кодирования и декодирования, а также при формировании группового цифрового сигнала, когда необходимо выделить временные интервалы для передачи соответствующих позиций синхроимпульса, СУВ, служебных сигналов.

Распределитель канальный (РК) формирует управляющие канальные импульсные последовательности КИ0, КИ1,...,КИn где n - общее число канальных интервалов в цикле.

Частота следования КИ равна частоте дискретизации. При числе КИ, равном 32, Fк=Fр/n=8кГц.

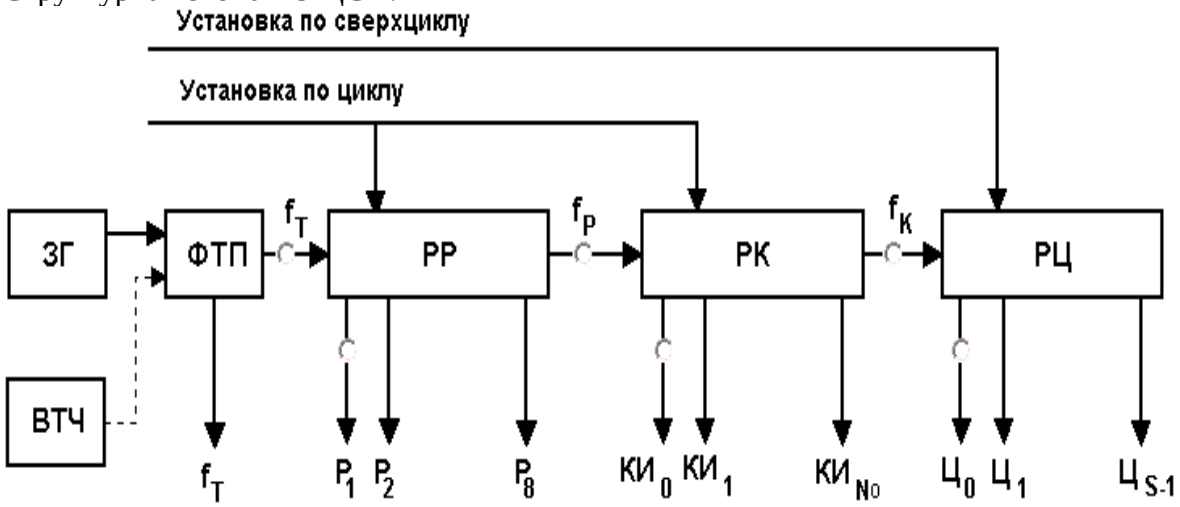
Если импульсы применяются для фиксации КИ в групповом ИКМ сигнале, то их длительность должна равняться длительности КИ. При использовании этих импульсов для управления ключевыми устройствами, формирующими АИМ сигнал на передаче, и распределения группового АИМ сигнала по каналам на приеме их длительность должна быть меньше.

Распределитель цикловой (РЦ) служит для формирования цикловых импульсных последовательностей Ц0, Ц1,..., Цs-1, где S - число циклов в сверхцикле. При S = 16, частота следования одноименных цикловых импульсов Fц=Fк/S=8000/16=500 Гц.

С целью обеспечения синхронной и синфазной работы передающей и приемной станций в ГО приемной станции вместо ЗГ используется ВТЧ системы устройств тактовой синхронизации.

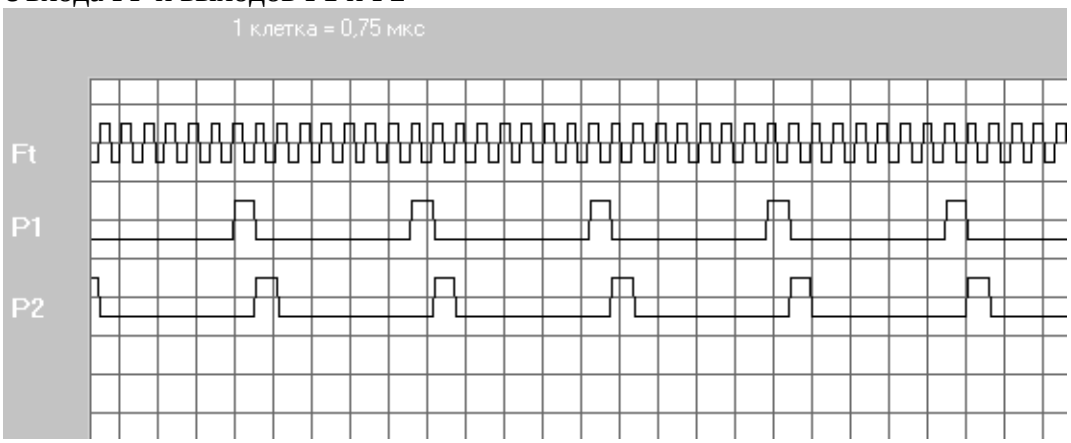
Для подстройки ГОпр по циклам и сверхциклам используются сигналы "Установка по циклу" и "Установка по сверхциклу". В ГОпр по сигналу "Установка по циклу" РР начинает работать с первого разряда, РК - с первого КИ, а по сигналу "Установка по сверхциклу" РЦ начинает работать с нулевого цикла.

Структурная схема ГО ЦСП:

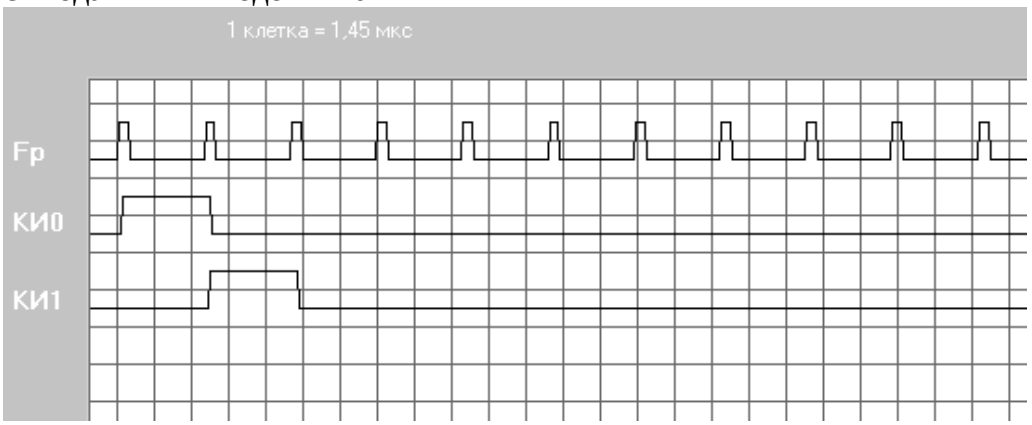


Осциллограммы сигналов в точках структурной схемы ГО:

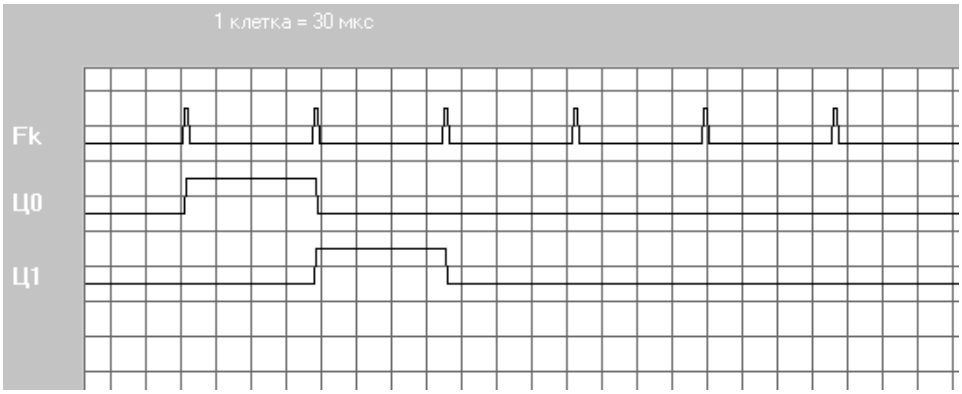
с входа РР и выходов Р1 и Р2



с входа РК и выходов КИ0 и КИ1



с входа РЦ и выходов Ц0 и Ц1



Вывод:

В результате выполнения лабораторной работы изучили принципы построения генераторного оборудования аналоговой и цифровой аппаратуры многоканальной связи, с помощью программы на ЭВМ получили осциллограммы сигналов в различных точках структурных схем ГО.

Практическое занятие 4
Тема: Узлы генераторного оборудования ЦСП

1. Цель работы: освоение навыков расчета частот генераторного оборудования цифровой системы передачи.

2. Задачи работы:

- приобрести навыки построения генераторного оборудования цифровой системы передачи;
- приобрести навыки расчета частот генераторного оборудования цифровой системы передачи;
- закрепить теоретические знания по теме Генераторное оборудование цифровой системы передачи.

3. Подготовка к работе

Повторите теоретический материал по теме Генераторное оборудование цифровой системы передачи.

4. Задание

4.1.Изобразите структурную схему генераторного оборудования цифровой системы передачи в соответствии с исходными данными (таблица 1).

4.2. Рассчитайте частоты генераторного оборудования цифровой системы передачи в соответствии с исходными данными (таблица 1).

4.3. Изобразите временные диаграммы периодической последовательности прямоугольных импульсов, формируемых генераторным оборудованием цифровой системы передачи.

Исходные данные

Таблица 1

вариант	Первая буква фамилии обучающегося	Тактовая частота, кГц	Количество разрядов	Количество канальных интервалов	Количество циклов
1	А, К, Ф	1024	8	5	4
2	Б, Л, Х	512	4	10	6
3	В, М, Ц	1024	4	12	3
4	Г, Н, Ч	512	8	6	4
5	Д, О, Ш	1024	4	24	6
6	Е, П, Щ	512	8	16	3
7	Ё, Р, Э	1024	8	10	4
8	Ж, С, Ю	512	4	12	6
9	З, Т, Я	1024	8	6	3

10	И, У	512	4	5	4
пример		256	8	32	16

5. Порядок выполнения работы

5.1. Изобразите структурную схему генераторного оборудования цифровой системы передачи. Пример, рис.1. Структурная схема генераторного оборудования цифровой системы передачи.

5.2. Рассчитайте частоты генераторного оборудования цифровой системы передачи по формулам 1, 2 и 3.

Fр=fт/Nр
Fк=Fр/Nки
Fц=Fк/Nц
Например:
fт=256 кГц
Fр=fт/Nр=256/8=32 кГц (1)
Fк=Fр/Nки=32/32= 1 кГц (2)
Fц=Fк/Nц=1/16=0,0625 кГц

5.3. Изобразите временные диаграммы периодической последовательности прямоугольных импульсов, формируемых генераторным оборудованием цифровой системы передачи. Пример, рис.2. Временные диаграммы периодической последовательности прямоугольных импульсов, формируемых генераторным оборудованием цифровой системы передачи.

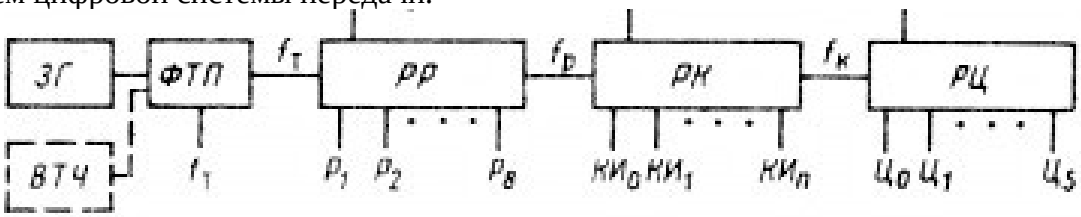


Рис.1. Структурная схема генераторного оборудования цифровой системы передачи.

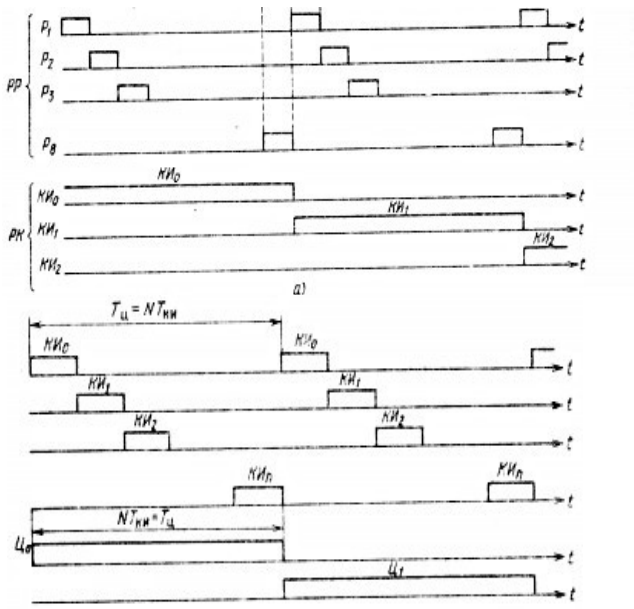


Рис.2. Временные диаграммы периодической последовательности прямоугольных импульсов, формируемых генераторным оборудованием цифровой системы передачи.

6. Содержание отчета

- Название работы
- Исходные данные
- Структурная схема генераторного оборудования цифровой системы передачи.
- Расчет параметров п.5.2
- Временные диаграммы периодической последовательности прямоугольных

импульсов, формируемых генераторным оборудованием цифровой системы передачи.

Практическая работа №5
Тема: Приемник цикловой синхронизации ЦСП

1. Цель работы: разобраться с синхронизацией в цифровых сетях PDH.Изучить принцип работы неадаптивного приемника циклового синхросигнала

2. Литература:

2.1 Попов Г.Н. Телекоммуникационные системы передачи. Часть 1, 2-ое изд. – Новосибирск: Веди. 2006.

2.2 Неудачина О.И. Элетронный учебник по ТМ и О ЦСП- Улан-Удэ: «БФ СибГУТИ», 2014.

2.3 Крухмалев В.В. Цифровые системы передачи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д.— Электрон. текстовые данные. — М.: Горячая линия - Телеком, 2012.— 376 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/12065. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.

2.4 Ю.В. Скалин и др. Цифровые системы передачи. Радио и связь. М. 1988.

2.5 http://www.unitest.com/pdf/sinhro_det.pdf.

2.6 http://studopedia.ru/6_147044_neadaptivnie-priemniki-sinhrosignala.html.

3. Подготовка к работе:

3.1 Повторить построение тактовой синхронизации в оборудовании сетей PDH.

3.2. Разобраться с работой неадаптивного приемника циклового синхросигнала во всех режимах.

3.3. Подготовить бланк отчета.

4.Основное оборудование.

Макет неадаптивного приемника циклового синхросигнала, питание которого осуществляется от сети переменного тока U=220 В.

В макете реализован трехразрядный неадаптивного приемника циклового синхросигнала. Синхросигнал передается кодовой комбинацией 111.

Назначение сигнальных диодов и кнопок управления макета:

Светодиоды «ИКМ» - отражают кодовую комбинацию ИКМ сигнала, повторяющегося циклично. Временное положение синхрогруппы соответствует 1,2,3 разрядам. Нумерация диодов – обратная порядку следования символов в кодовой комбинации.

Светодиоды «РС» - отражают запись символов группового ИКМ сигнала в разряды регистра сдвига.

Светодиод «СС» - соответствует проводящему состоянию схемы И1

Светодиоды «Н.ВЫХ» - отражают последовательность заполнения разрядов накопителя по выходу из синхронизма. Последний выполнен четырехразрядным.

Светодиоды «Н.ВХ» - отражают последовательность заполнения разрядов накопителя по входу в синхронизм. Последний выполнен трехразрядным. После полного заполнения разрядов накопителя по входу в синхронизм высвечивается светодиод на выходе Н.ВХ, отражающий сигнал «сброс» для трех разрядов накопителя по выходу из синхронизма.

Светодиоды «ГО» - отражают моменты подачи импульсов от генераторного оборудования.

Светодиоды «КИ» - отражают моменты контрольного импульса от генераторного оборудования, что соответствует моменту определения опознавателем сихрогруппы в групповом ИКМ сигнале.

Кнопка «СТОП-ПУСК» - нажимая и отпуская кнопку, можно поэтапно проследить работу приемника синхросигнала. При постоянно нажатой кнопке работа прослеживается в автоматическом режиме.

Кнопка «СБРОС» - приводит схему макета в исходное состояние. При этом должен светиться только восьмой светодиод ГО.

Кнопки «УСТ.0 УСТ.1» - для набора заданной преподавателем восьмиразрядной кодовой комбинации группового ИКМ сигнала.

Для схемы НЕТ анализатора справедлива следующая таблица истинности:

X1	X2	Y
1	0	1
0	1	1
0	0	1
1	1	0

5 Методические указания.

5.1 Необходимость синхронизации

Основные положения.

Синхронизация — это средство поддержания работы всего цифрового оборудования в сети связи на одной средней скорости. Для цифровой передачи информация преобразуется в дискретные импульсы. При передаче этих импульсов через линии и узлы связи цифровой сети все ее компоненты должны синхронизироваться. Синхронизация должна существовать на трех уровнях: битовая синхронизация (тактовая), синхронизация на уровне канальных интервалов (time slot) (цикловая) и кадровая синхронизация (сверхцикловая).

Битовая синхронизация заключается в том, что передающий и принимающий концы линии передачи работают на одной тактовой частоте, поэтому биты считываются правильно. Для достижения битовой синхронизации приемник может получать свои тактовые импульсы с входящей линии. Битовая синхронизация включает такие проблемы как джиттер линии передачи и плотность единиц. Эти проблемы поднимаются при предъявлении требований к синхронизации и системам передачи.

Синхронизация канального интервала (time slot) соединяет приемник и передатчик таким образом, чтобы канальные интервалы могли быть идентифицированы для извлечения данных. Это достигается путем использования фиксированного формата кадра для разделения байтов. Основными проблемами синхронизации на уровне канального интервала являются время изменения кадра и обнаружение потери кадра.

Кадровая синхронизация вызвана необходимостью согласования по фазе передатчика и приемника таким образом, чтобы можно было идентифицировать начало кадра. Кадром (сверхциклом) в сигнале DS1 или E1 является группа битов, состоящая из двадцати четырех (ANSI) или тридцати (ENSI) байтов (канальных интервалов) соответственно, и одного импульса кадровой синхронизации. Время кадра равно 125 микросекундам. Канальные

интервалы соответствуют пользователям конкретных (телефонных) каналов связи.

Тактовый генератор сети, расположенный в узле источника, управляет частотой передачи через этот узел битов, кадров и канальных интервалов. Вторичный генератор сети, расположенный в принимающем узле, предназначен для управления скоростью считывания информации. Целью тактовой сетевой синхронизации является согласованная работа первичного генератора и приемника с тем, чтобы принимающий узел мог правильно интерпретировать цифровой сигнал. Различие в синхронизации узлов, находящихся в одной сети, может привести к пропуску или к повторному считыванию принимающим узлом посланной на него информации. Это явление называется проскальзыванием.

Например, если оборудование, передающее информацию, работает на частоте, большей, чем частота принимающего оборудования, то приемник не может отслеживать поток информации. В этом случае приемник будет периодически пропускать часть передаваемой ему информации. Потеря информации называется проскальзыванием удаления или отрицательным проскальзыванием.

В случае, если приемник работает на частоте, превышающей частоту передатчика, приемник будет дублировать информацию, продолжая работать на своей частоте и все

еще осуществляя связь с передатчиком. Это дублирование информации называется проскальзыванием повторения или положительным проскальзыванием.

Основной целью сетевой синхронизации является ограничение возникновения управляемых проскальзываний. Существуют две основных причины возникновения проскальзываний. Первая причина- отсутствие частоты синхронизации из-за потери связи между генераторами, приводящее к различию тактовых частот. Вторая причина - фазовые сдвиги либо в линиях связи такие, как джиттер и вандер, либо между первичным и ведомым генераторами. Джиттер это быстрое (>10 Гц) изменение фазы сигнала («дрожание фазы»). Вандер — это медленное (<10Гц) изменение фазы сигнала («дрейф фазы»). Основной же причиной возникновения проскальзываний в сетях связи являются фазовые сдвиги между частотами первичного генератора и приемника,

Для управления проскальзываниями в потоках DS1 и E1 используются специальные буферы (рис.1). Данные записываются в буфер принимающего оборудования с частотой первичного генератора, а считываются из буфера тактовой частотой принимающего оборудования.

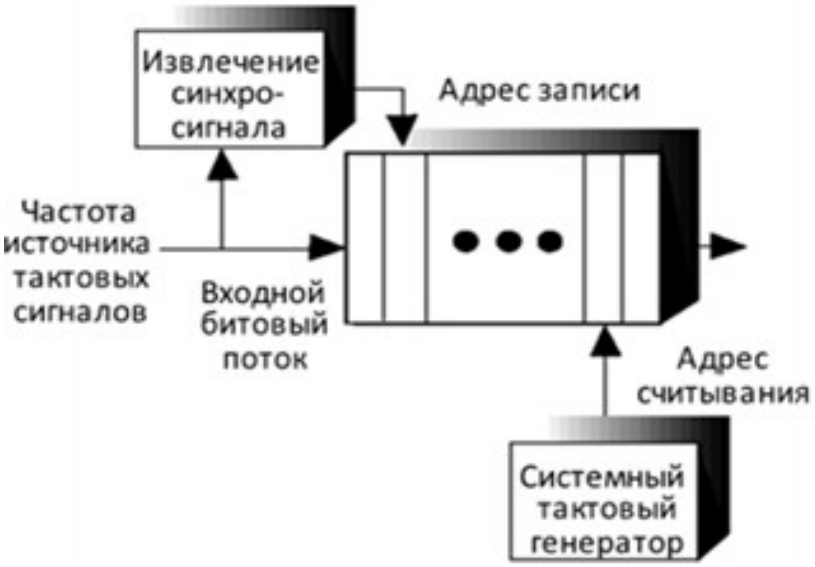


Рисунок 1. Буфер проскальзывания

На практике могут применяться различные размеры буферов. Обычно буфер содержит более одного кадра. В этом случае принимающее оборудование при проскальзывании будет пропускать или повторять целый кадр. Это называется управляемым проскальзыванием.

Влияние одного или более проскальзываний на качество предоставляемых услуг в цифровых сетях связи зависит от типа этих услуг. Рассмотрим влияние одиночных проскальзываний на различные виды услуг.

При предоставлении услуг телефонной (голосовой) связи проскальзывания могут вызвать случайные звуковые щелчки. Эти щелчки не всегда слышны и не приводят к серьезным искажениям речи. Поэтому услуги телефонной связи некритичны к проскальзываниям. Частота появления проскальзываний до нескольких проскальзываний в минуту считается допустимой.

При передаче факсимильных сообщений, одиночные проскальзывания приводят к искажению или пропаданию строк в принятом факсимильном сообщении. Проскальзывание может вызвать пропадание до 8 сканированных линий. Это соответствует пропуску 0,08 дюйма вертикального пространства. На стандартной отпечатанной странице проскальзывание выглядит как отсутствие верхней или нижней половины отпечатанной строки. Длительное появление проскальзываний приведет к необходимости повторной передачи страниц, подвергшихся их влиянию. Повторная передача не может быть автоматизирована и осуществляется пользователем вручную.

Влияние проскальзываний на передачу данных при помощи модемов проявляется в виде длинных пакетов ошибок. Продолжительность такого пакета ошибок зависит от скорости передачи данных и типа модема находится в диапазоне от10 миллисекунд до 1,5 секунд. В период появления этих ошибок оконечное приемное устройство, подключенное

к модему, принимает искаженные данные. В результате пользователь должен осуществить повторную передачу данных.

При возникновении проскальзываний во время сеанса видеотелефонной связи происходит пропадание изображения. Абонентов просят повторно установить связь для восстановления изображения.

Влияние проскальзываний на передачу цифровых данных зависит от используемого протокола. В протоколах, не предусматривающих возможности повторной передачи, возможны пропуски, повторения или искажения данных.

Возможна потеря кадровой синхронизации, вызывающая искажения множества кадров при возобновлении поступления импульсов кадровой синхронизации. Протоколы с повторной передачей имеют возможность обнаружить проскальзывания и инициировать повторную передачу. Для инициализации и выполнения такой ретрансляции обычно требуется одна секунда. Поэтому проскальзывания будут влиять на пропускную способность, обычно приводя к потере секунды времени передачи.

При цифровой передаче изображений (например, видеоконференция) проскальзывание обычно вызывает искажение части изображения или его «замораживание» на время до 6 секунд. Серьезность и длительность искажений зависит от применяемого оборудования кодирования и компрессии. Наиболее значительные искажения возникают при использовании низкоскоростного декодирующего оборудования.

Наибольшее влияние проскальзывания оказывают при предоставлении услуг по передаче шифрованных данных. Проскальзывание приводит к потере ключа кодирования. Потеря ключа приводит к недоступности переданных данных до повторной передачи ключа и повторного осуществления связи. Поэтому вся связь останавливается. Что более важно, необходимость в ретрансляции ключа значительно влияет на безопасность. Для многих приложений, связанных проблемами безопасности, число проскальзываний, превышающее 1 в день, считается неприемлемым.

5.2 Неадаптивный приемник синхросигнала

Структурная схема неадаптивного приемника синхросигнала показана на рис. 2. Групповой ИКМ сигнал поступает на вход опознавателя, содержащего регистр сдвига РС и схему совпадения $И_1$. Анализатор содержит схемы (элементы) НЕТ и $И_2$. Появление импульса на выходе схемы $И_2$ означает совпадение по времени синхросигнала и контрольного импульса от $ГО_{прм}$. Появление импульса на выходе схемы НЕТ означает отсутствие синхросигнала в момент появления контрольного импульса от $ГО_{прм}$.

Решающее устройство (РУ) содержит накопитель по выходу из синхронизма, накопитель по входу в синхронизм и схему $И_2$. Накопители по входу в синхронизм и выходу из синхронизма выполнены по схеме счетчика со сбросом. Накопитель по выходу из синхронизма необходим для исключения ложного выхода из синхронизма, когда в групповом ИКМ сигнале произошло изменение структуры синхросигнала. Обычно накопитель по выходу из синхронизма содержит четыре-шесть разрядов (на рис.2 накопитель содержит четыре разряда). Это обеспечивает помехозащищенность приемника синхросигнала от искажений синхрогруппы в групповом ИКМ сигнале по каким-либо причинам.

Накопитель по входу в синхронизм обеспечивает защиту приемника синхросигнала от ложного синхронизма в режиме поиска синхрогруппы, когда на вход опознавателя поступают случайные комбинации группового цифрового сигнала, совпадающие с синхросигналом. Обычно накопитель по входу в синхронизм содержит два-три разряда (на рис. 2 накопитель содержит три разряда).

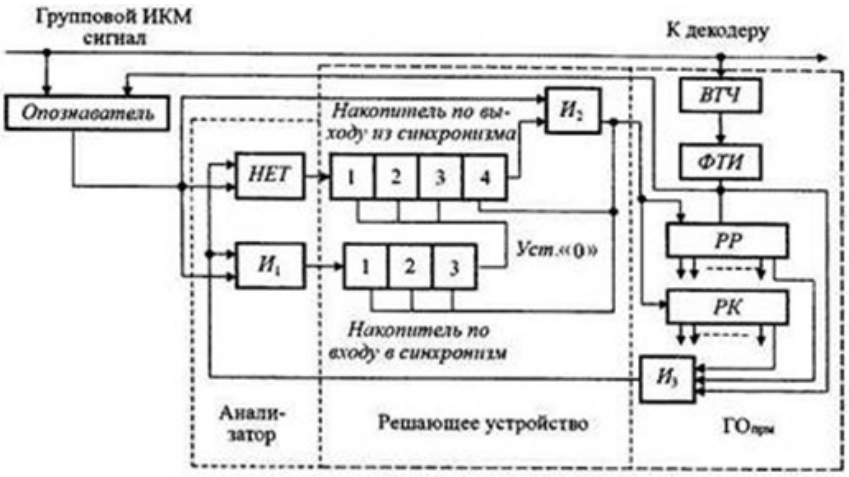


Рисунок 2. Структурная схема неадаптивного приемника синхросигнала

Управление работой $ГО_{прм}$ производится схемой $И_2$, которая в режиме поиска синхронизма при поступлении синхросигнала установит в начальное положение разрядный РР и канальный РК распределители, определяя тем самым начало их работы. На выходе схемы. Из формируется контрольный импульс синхронизма от $ГО_{прм}$. Появление этого импульса по времени должно произойти в определенный разрядный интервал определенного канального интервала в соответствии с тактовой частотой. Для этого используется схема $И_3$ с тремя входами.

Если система передачи находится в состоянии синхронизма, то сигнал с выхода опознавателя совпадает по времени с сигналом от $ГО_{прм}$ (выход схемы $И_1$). При этом на выходе схемы НЕТ, соединенной с накопителем по выходу из синхронизма, сигнал отсутствует, а на выходе схемы $И_1$, соединенной с накопителем по входу в синхронизм, формируется сигнал, соответствующий моменту опознания синхрогруппы. В результате накопитель по входу в синхронизм оказывается заполненным, а накопитель по выходу из синхронизма - разряженным до нулевого состояния. Ложные синхрогруппы, формируемые в групповом ИКМ сигнале, вследствие случайного сочетания 1 и 0 не совпадают по времени с сигналом на выходе $ГО_{прм}$, а, следовательно, и не участвуют в процессе накопления.

При кратковременных искажениях (один - три цикла подряд для данной схемы) синхросигнала, возникающих либо при сбоях синхронизации в цифровых потоках более высокого порядка, либо под действием помех, сигнал с выхода $ГО_{прм}$ проходит через схему НЕТ на вход накопителя по выходу из синхронизма, который не успеет заполниться. Сбоя синхронизации при этом не происходит, и первый же сигнал, с выхода накопителя по входу в синхронизм осуществляет сброс накопителя по выходу синхронизма в нулевое состояние. Таким образом, кратковременные искажения синхросигнала не нарушают работу $ГО_{прм}$.

При длительном нарушении синхронизма (синхросигнал отсутствует четыре цикла подряд для схемы рис.2) накопитель по выходу из синхронизма будет полностью заполнен и на его выходе появится 1, что является сигналом к поиску синхронизма. Теперь первый же импульс от опознавателя при появлении синхросигнала пройдет через схему $И_2$ и установит 0 в последнем разряде накопителя по выходу из синхронизма и во всех разрядах накопителя по входу в синхронизм, а также установит в начальное положение РР и РК генераторного оборудования приема. Следующее опознание синхросигнала будет произведено ровно через цикл. Если синхросигнал выделен, верно, то через цикл произойдет совпадение очередного синхросигнала и контрольного сигнала от $ГО_{прм}$. В этом случае в накопитель по входу в синхронизм поступает 1. Когда это произойдет три раза подряд (для схемы рис. 2), накопитель по входу в синхронизм заполнится и установит 0 в первых трех разрядах накопителя по выходу из синхронизма (в четвертом разряде 0 уже установлен сигналом со схемы $И_2$). Трехкратное совпадение синхросигнала и контрольного сигнала от схемы $И_1$ $ГО_{прм}$ подтверждает установление синхронного режима работы, передающей и приемной станций.

Возможно, но маловероятно, что в режиме поиска будет выделена опознавателем случайная кодовая группа, совпадающая с синхросигналом. В этом случае сигнал от опознавателя пройдет схему $И_2$ и также установит в начальное состояние РР и РК. Следующее опознавание синхросигнала произойдет через цикл. Так как кодовые группы ИКМ сигнала носят случайный характер, то через цикл синхросигнал не будет выделен. В накопитель по выходу из синхронизма поступит 1, а он уже заполнен, и опять начнется поиск синхросигнала. Процесс будет повторяться, пока не будет выделен истинный синхросигнал.Рассмотрим причины, вызывающие сбой цикловой синхронизации.

Основными из них являются выход из синхронизма по тактовой частоте, что приводит к изменению длительности цикла, так как в цикле появятся или пропадут один или несколько тактовых интервалов, и искажение символов синхросигнала в результате воздействия помех. Главным источником последнего является оборудование линейного тракта. На временных диаграммах (рисунок 3) показано возникновение сбоев синхронизации, вызванных различными причинами для цифрового потока Е1. На временной диаграмме 1 условно показан групповой сигнал, содержащий несколько циклов. Каждый цикл содержит 256 информационных и служебных символов. Синхросигнал, например, имеет кодовую группу вида 111. На временных диаграммах рисунка 2 показаны импульсы от опознавателя и контрольные импульсы от $ГО_{прм}$.

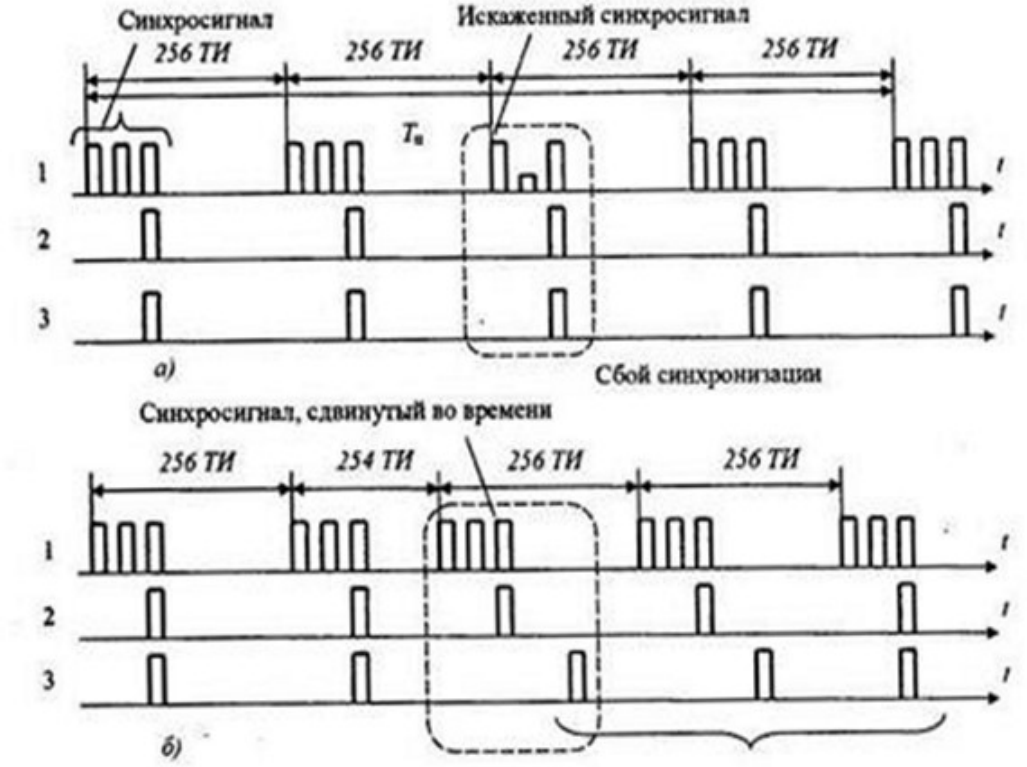


Рисунок 3. Временные диаграммы возникновения сбоев синхронизации

Из приведенных примеров можно сделать вывод, что в первом случае защиту приемника синхронизации от сбоя обеспечивает накопитель по выходу из синхронизма, тогда как во втором случае желательно начинать поиск синхросигнала по первому его пропаданию. В этом случае накопитель по выходу из синхронизма будет увеличивать время восстановления синхронизма, которое является одним из основных параметров системы цикловой синхронизации ЦСП.

При использовании ЦСП для организации соединительных линий между АТС время восстановления синхронизма ограничивается несколькими миллисекундами. При передаче телефонных сообщений абонент практически не заметит перерыва связи в несколько десятков миллисекунд, однако при сбое синхронизации нарушается работа каналов передачи СУВ, что может привести к разъединению абонентов

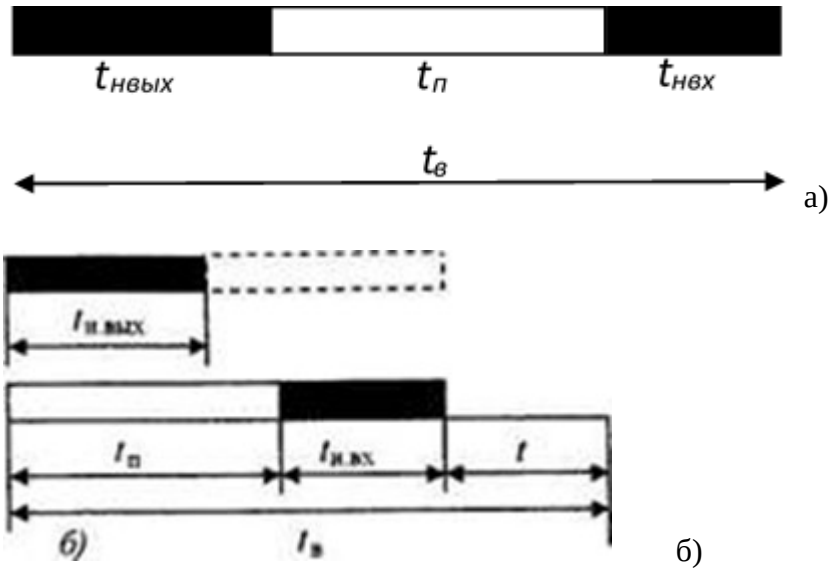


Рисунок 4. Диаграммы работы приемника синхросигнала

Допустимое время пропадания каналов передачи СУВ, которое не отражается на работе приборов АТС и определяет допустимое время восстановления синхронизма, обычно составляет около 2 мс. Для ЦСП более высокого порядка это время очень ограничено.

Диаграмма восстановления синхронизма tв неадаптивного приемника синхросигнала показана на рис.4а. Полное время восстановления синхронизма состоит из времени накопления по выходу из синхронизма tвых > времени поиска синхросигнала tn и времени накопления по входу в синхронизм tнвх.

Недостатки такого способа построения приемника циклового синхросигнала определяются прежде всего тем, что значения емкости накопителей по входу и выходу из синхронизма фиксированы, а поиск синхронизма при его сбое начинается только после времени накопления по выходу из синхронизма. При увеличении вероятности ошибок в линейном тракте, а, следовательно, и в групповом ИКМ сигнале время удержания синхронизма, определяемое емкостью накопителя по выходу из синхронизма, оказывается меньше требуемого значения, а при уменьшении вероятности ошибки имеет место запас по времени удержания синхронизма и, следовательно, необоснованное время восстановления синхронизма, определяемое емкостью накопителя по входу в синхронизм. Поскольку значение вероятности ошибки в линейном тракте ЦСП никогда не может быть точно установлено заранее, в неадаптивных приемниках синхросигнала практически никогда не могут быть получены оптимальные параметры времени восстановления синхронизма.

Указанный недостаток становится особо важным, когда передача группового ИКМ сигнала осуществляется не по отдельной, а по нескольким ЦСП, которые к тому же могут работать не только по кабельным, но и радиорелейным и спутниковым линиям передачи. При этом, если передача по кабельным линиям осуществляется обычно с достаточно низкой вероятностью ошибок (не более 10), то на радиорелейных и спутниковых линиях, характеризующихся наличием замираний, возможно временное повышение вероятности ошибок свыше 10^{-3}. Поэтому при организации составных трактов ЦСП с использованием линий передачи с высокой и низкой вероятностями ошибок емкость накопительных устройств приемника синхросигнала должна соответствовать режиму работы с высокой вероятностью ошибок. Очевидно, это требование не может быть реализовано при фиксированных значениях емкости накопителей. Кроме того, для неадаптивного приемника синхросигнала характерно сравнительно большое время восстановления синхронизма из-за того, что процессы накопления и поиска синхросигнала осуществляются последовательно (рис.4а).

Отмеченные недостатки практически устраняются при использовании адаптивных приемников циклового синхросигнала, в которых процессы накопления по выходу из синхронизма и поиска синхросигнала осуществляется параллельно. Временной график работы такого приемника показан на рис. 4б.

6. Порядок выполнения работы

6.1 Рассмотреть работу приемника в режиме синхронизма. Производим обнуление накопителей по входу и выходу из синхронизма. Кнопкой «СБРОС» приводим схему макета в исходное состояние, набираем кнопками «УСТ.0» и «УСТ.1» заданную кодовую комбинацию.

Далее нажимая и отпуская кнопку «СТОП-ПУСК» поэтапно прослеживаем работу опознавателя, анализатора и решающего устройства. Учитывая, что светящийся светодиод соответствует наличию единичного импульса, построить временные диаграммы для заданной кодовой комбинации (см. рис.5).

6.2 Исследовать работу приемника в режиме сбоя синхронизма. Производим обнуление накопителей по входу и выходу из синхронизма. Кнопкой «СБРОС» приводим схему макета в исходное состояние.

Набираем кнопками «УСТ.0» и «УСТ.1» заданную кодовую комбинацию. Далее, нажимая и отпуская кнопку «СТОП-ПУСК» поэтапно прослеживаем работу опознавателя, анализатора и решающего устройства. Порядок работы наглядно иллюстрируется временными диаграммами, изображенными на рисунке 6, согласно которым построить временные диаграммы для заданной кодовой комбинации.

6.3 Проследить режим вхождения в синхронизм после сбоя. Для этого заполнить полностью накопитель по выходу из синхронизма и кнопкой «СБРОС» произвести сброс схемы макета в исходное состояние. Набрать кнопками «УСТ.0» и «УСТ.1» комбинацию такую, в которой в первых трех разрядах будет содержаться синхрогруппа 111. После обнаружения опознавателем первой синхрогруппы, ИЗ придет в проводящее состояние и обнулит последний разряд накопителя по выходу. Накопитель по входу полностью заполнится за три такта опробования и обнулит разряды накопителя по выходу из синхронизма.

7. Содержание отчета

7.1 Схема неадаптивного приемника синхросигнала.

7.2 Временные диаграммы, построенные по пп. 6.1; 6.2.

7.3 Выводы.

8. Контрольные вопросы

8.1 Виды сетевой синхронизации.

8.2 Основная цель сетевой синхронизации.

8.3 Понятие проскальзований, Виды проскальзований.

8.4 Что такое джиттер и вандер?

8.5 Для чего используются буферы?

8.6 Влияние проскальзований на качество передачи информации.

8.7 В чем залючаются цикловая и сверхцикловая синхронизации передающей и приемной станций ЦСП?

8.8 Требования к системе цикловой синхронизации.

8.9 Работа приемника ЦСС в различных режимах.

8.10 Какой синхроприемник называется адаптивным?

Лабораторная работа № 6
Тема: Преобразователи кодов ЦСП

Цель занятия:

1.Изучить принципы работы дешифраторов.

2.Исследовать влияние управляющих сигналов на работу дешифраторов.

3.Исследовать функциональные модули на основе дешифраторов.

Краткие сведения из теории

Дешифратором (декодером) называется устройство, распознающее различные кодовые комбинации, т. е. преобразующее двоичное число в сигнал логической единицы на одном из выходов, соответствующем десятичной цифре поданной на вход двоичной комбинации. Число входов дешифратора определяется числом символов кодовой комбинации n, а число выходов $m = 2^n$.

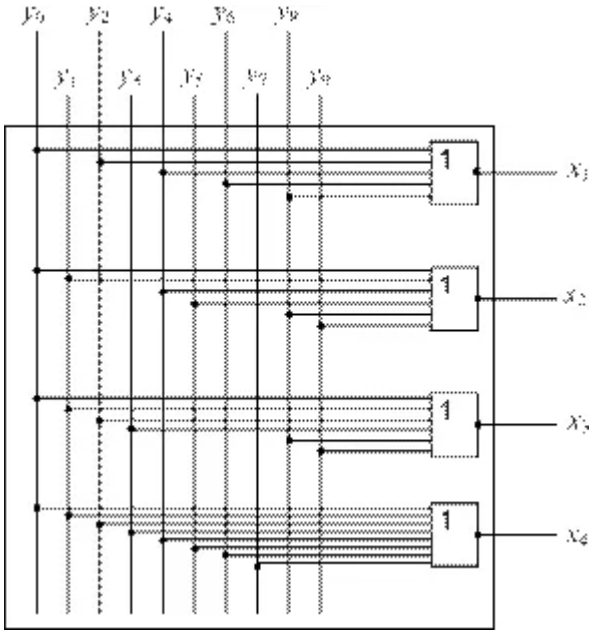


Рисунок 8.1 – Схема шифратора в базисе ИЛИ-НЕ

Дешифраторы по принципу построения делятся на *одноступенчатые (линейные) многоступенчатые*. Одноступенчатые дешифраторы выполняют прямое преобразование входных сигналов, поданных в двоичном (параллельном) коде, в выходной сигнал на одном из выходов.

С увеличением символов входной кодовой комбинации возрастает число возможных входных наборов (исходя из соотношения $m = 2^n$) и, соответственно, число входов. Напри- мер, если в кодовой комбинации будет два разряда, то количество входных наборов равно четырем, и дешифратор должен иметь два входа, а для его синтеза необходимо использовать двухвходовые логические элементы. Если же кодовая комбинация содержит три разряда, то количество комбинаций возрастает до восьми, и дешифратор будет иметь три входа. При этом в схеме потребуется использовать уже трехвходовые логические элементы.

В тех случаях, когда количество входов логических элементов, используемых для построения дешифраторов, меньше числа символов в кодовой комбинации, применяют многоступенчатые дешифраторы – *прямоугольные (матричные)* и *пирамидальные*, которые имеют ступенчатую структуру (рисунок 8.3).

Прямо угольные (матричные) дешифраторы (рисунок 8.4) содержат первую ступень из нескольких линейных дешифраторов и вторую ступень, представляющую собой схему в базисе И-НЕ

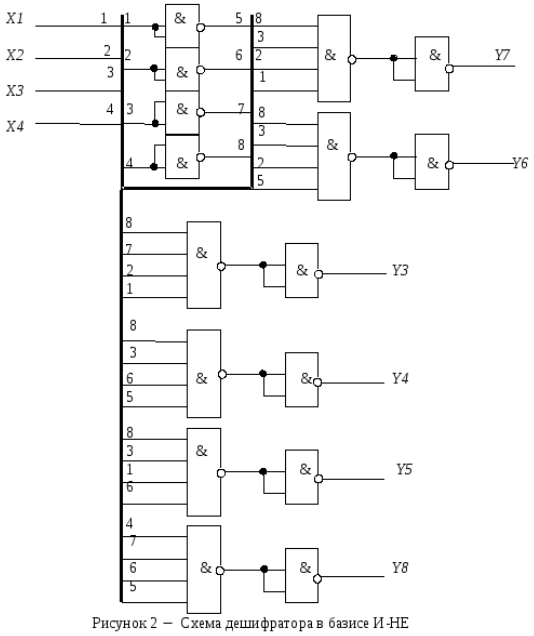


Рисунок 2 – Схема дешифратора в базисе И-НЕ

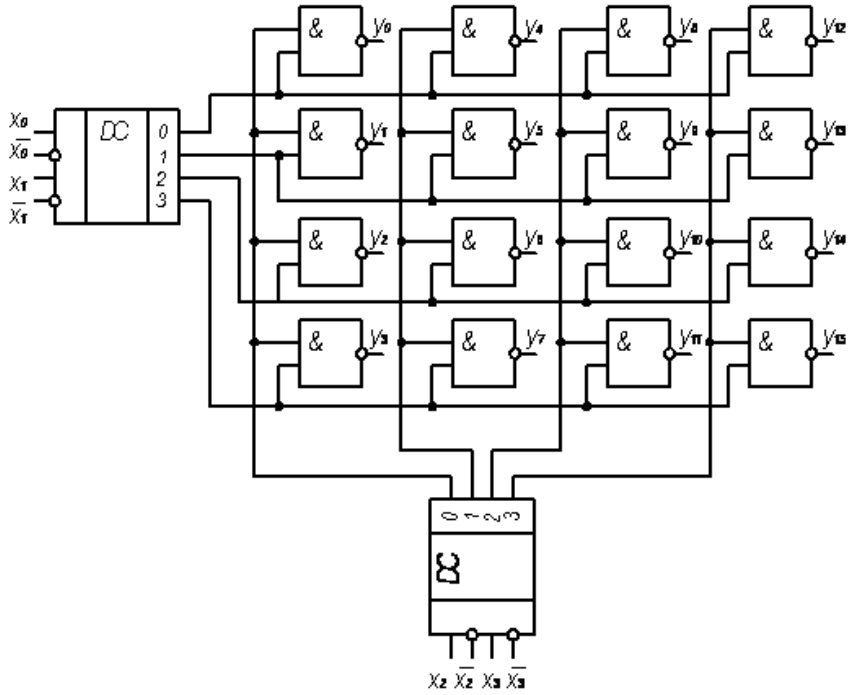


Рисунок 8.3 – Структура многоступенчатого дешифратора

Количество линейных дешифраторов определяется числом групп, на которые разбивается кодовая комбинация. В приведенном на рисунке 4 прямоугольном дешифраторе входная комбинация разбита на две группы: *X*1, *X*2 и *X*3, *X*4. Поэтому первая ступень содержит два линейных дешифратора – ДШ1 и ДШ2, которые имеют по четыре входа каждый. Вторая ступень – матричный дешифратор МД, собранный на двухвходовых элементах И, на первые входы которых подаются сигналы с линейного дешифратора ДШ1, а на вторые – с дешифратора ДШ2.

Недостатком подобных дешифраторов является большое число элементов И. Поэтому часто вторая ступень МД строится не на

логических элементах И, а на полупроводниковых диодах.

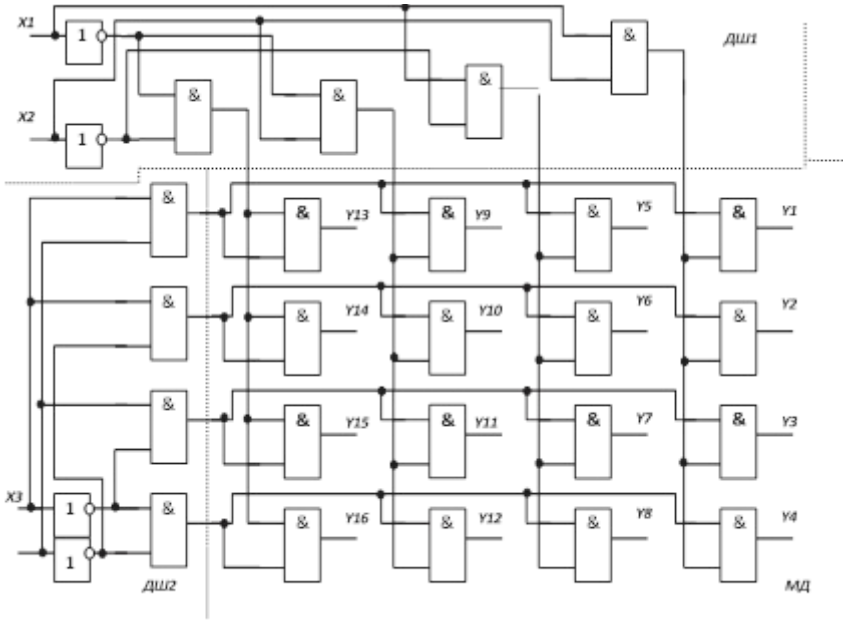


Рисунок 8.4 – Структура четырехразрядного матричного дешифратора на двухвходовых логических элементах

Пирамидальные дешифраторы (рисунок 8.5) имеют число ступеней на единицу меньше числа символов кодовой комбинации, а число элементов И в *i*-й ступени равно 2^{i+1}. В таких дешифраторах, как правило, используются двухвходовые элементы И.

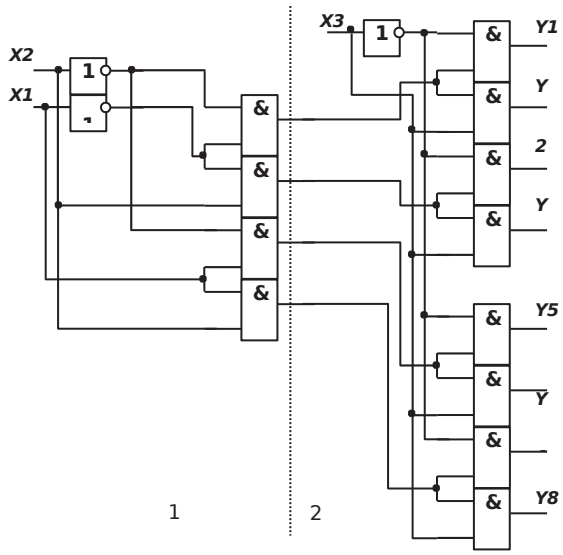


Рисунок 8.5 – Пирамидальный дешифратор

На рисунке 8.5 изображена схема пирамидального дешифратора трехсимвольного кода. Число ступеней будет две, так как число символов три (*X*1, *X*2, *X*3). Количество элементов И в первой ступени – $2^{1+1} = 4$, а во второй – $2^{2+1} = 8$. Недостатком пирамидальных дешифраторов является снижение быстродействия при большом количестве ступеней. Однако по количеству двухвходовых элементов И они экономичнее, чем прямоугольные дешифраторы.

На рис. 8.6 изображен дешифратор с n = 3, активным уровнем является уровень логического нуля (используется EWB 5.0).

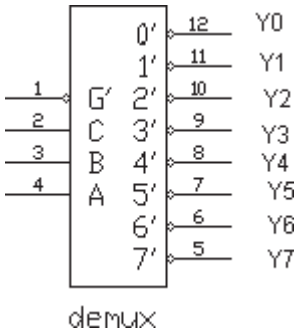


Рисунок 8.6 – Схема дешифратора

На входы С, В, А можно подать следующие комбинации логических уровней: 000, 001, 010. ..111, всего 8 комбинаций. Схема имеет 8 выходов, на одном из которых формиру- ется низкий потенциал, на остальных - высокий. Номер этого единственного выхода, на ко- тором формируется активный (нулевой) уровень, соответствует числу К, определяемому со- стоянием входов С, В, А следующим образом: $N = C \cdot 2^2 + B \cdot 2^1 + A \cdot 2^\circ$. Например, если на входы подана комбинация логических уровней 011, то из восьми выходов микросхемы (YO, Y1...Y7) на выходе с номером N=3 установится нулевой уровень сигнала (Y3=0), а все остальные выходы будут иметь уровень логической единицы. Этот принцип формирования выходного сигнала можно описать следующим образом:

Видно, что уровень сигнала на выходе Y3 описывается выражением:

$$Y3 = \overline{\overline{C} \cdot B \cdot A} = 0.^{k};$$

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i \neq k; \\ k = 2^2 \cdot C + 2^1 \cdot B + 2^0 \cdot A, \end{cases}$$

$$G = G1 \cdot \overline{G2A} \cdot \overline{G2B}.$$

В таком же виде можно записать выражения для каждого выхода дешифратора:

$$Y0 = \overline{\overline{C} \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}}, \qquad Y4 = \overline{C \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}},$$

$$Y1 = \overline{\overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A}, \qquad Y5 = \overline{C \cdot \overline{B} \cdot A},$$

$$Y2 = \overline{\overline{C} \cdot B \cdot \overline{A}}, \qquad Y6 = \overline{C \cdot B \cdot \overline{A}},$$

$$Y3 = \overline{\overline{C} \cdot B \cdot \overline{A}}, \qquad Y7 = \overline{C \cdot B \cdot A}.$$

Помимо информационных входов A,B,C дешифраторы обычно имеют дополнительные входы управления G. Сигналы на этих входах, например, разрешают функционирование дешифратора или переводят его в пассивное состояние, при котором, независимо от сигналов на информационных входах, на всех выходах установится уровень логической единицы. Можно сказать, что существует некоторая функция разрешения, значение которой определяется состояниями управляющих входов.

Разрешающий вход дешифратора может быть прямым или инверсным. У дешифраторов с прямым разрешающим входом активным уровнем является уровень логической единицы, у дешифраторов с инверсным входом - уровень логического нуля. На рис. 8.6 представлен дешифратор с одним инверсным входом управления. Принцип формирования выходного сигнала в этом дешифраторе с учетом сигнала управления описывается следующим образом

$$Y_i = \begin{cases} \overline{1 \cdot \overline{G}}, & \text{если} \quad i = k; \\ 1, & \text{если} \quad i \neq k; \\ k = 2^2 \cdot C + 2^1 \cdot B + 2^0 \cdot A. \end{cases}$$

У дешифратора с несколькими входами управления функция разрешения, как правило, представляет собой логическое произведение всех разрешающих сигналов управления. Например, для дешифратора 74138 с одним прямым входом управления и двумя инверсны- ми G2A и G2B (рис. 8.7) функции выхода Y_i и разрешения G имеют вид:

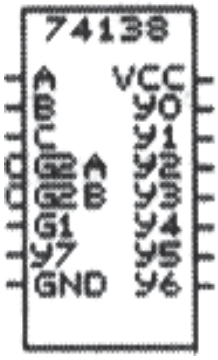


Рисунок 8. 7 – Дешифратор 74138

$$Y_i = \begin{cases} \overline{1 \cdot \overline{G}}, & \text{если} \quad i = k; \\ 1, & \text{если} \quad i \neq k; \\ k = 2^2 \cdot C + 2^1 \cdot B + 2^0 \cdot A, \end{cases}$$

$$G = G1 \cdot \overline{G2A} \cdot \overline{G2B}.$$

Обычно входы управления используются для каскадирования (увеличения разрядности) дешифраторов или при параллельной работе нескольких схем на общие выходные линии.

Использование дешифратора в качестве демультиплексора

Дешифратор может быть использован и как демультиплексор — логический коммутатор, подключающий входной сигнал к одному из выходов. В этом случае функцию информационного входа выполняет один из входов разрешения, а состояние входов C, B и A задает номер выхода, на который передается сигнал со входа разрешения.

Практическая часть

8.1. Исследование принципа работы дешифратора 3x8 в основном режиме.

8.2. Исследование принципа работы дешифратора 3x8 в режиме 2x4.

8.3. Исследование дешифратора 3x8 с логической схемой на выходе.

8.4. Исследование микросхемы 74138.

8.5. Исследование микросхемы 74138 с помощью логического анализатора.

8.6. Разработка схемы дешифратора.

8.1. Исследование принципа работы дешифратора 3x8 в основном режиме.

Соберите схему согласно рис. 8.8. Включите схему. Подайте на вход G уровень логической единицы. Для этого клавишей G ключ G установить в верхнее положение. Определите и запишите уровни сигналов на выходах YO...Y7 в таблицу истинности при G = 1.

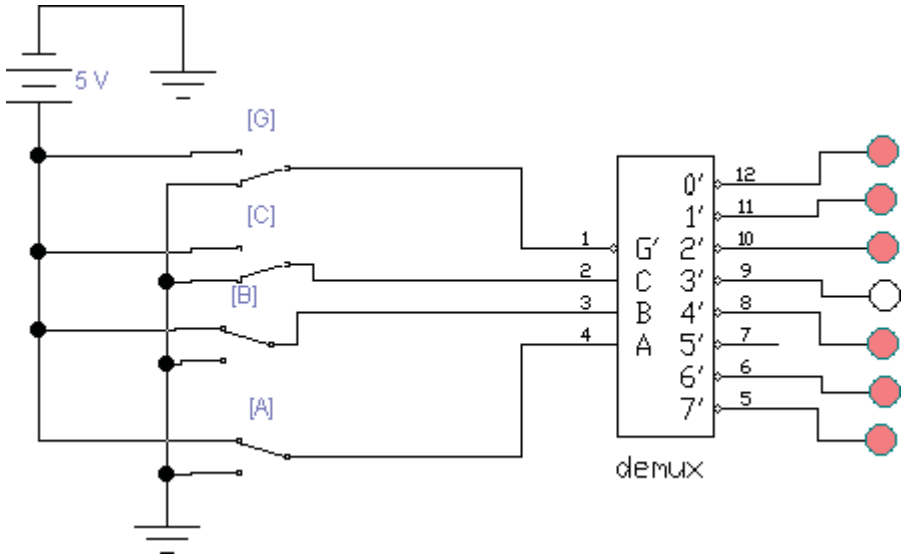


Рисунок 8.8. Схема для исследования принципа работы дешифратора 3x8 в основном режиме

Подайте на вход G уровень логического нуля (ключ G установите в нижнее положение).

Убедитесь, что дешифратор перешел в рабочий режим и на одном из выходов установился

уровень логического нуля. Подавая все возможные комбинации уровней логических сигналов на входы A, B, C с помощью одноименных ключей и определяя с помощью

логических пробников уровни логических сигналов на выходе схемы, заполните таблицу истинности дешифратора при G=0.

8.2. Исследование принципа работы дешифратора 3x8 в режиме 2x4.

а) В схеме рис. 8.8 подключите вход G к общему проводу (земле), задав C = 0.

Изменяя уровни сигналов на входах B и A и наблюдая уровни сигналов на выходах схемы, с помощью пробников заполните таблицу истинности дешифратора. Укажите выходы, на которых уровень сигнала не меняется.

б) Проделайте пункт а) при C = 1, для чего вход C подключите к источнику логической единицы. Заполните таблицу истинности дешифратора.

в) Проделайте пункт а), заземлив вход B (B=0), а на входы A и C подавая все возможные комбинации логических уровней. Заполните таблицу истинности, там же укажите номера выходов, на которых уровень логического сигнала не изменяется.

8.3. Исследование дешифратора 3x8 с логической схемой на выходе.

Соберите схему согласно рис. 8.9. Включите схему. Последовательно подавая слова от 000 до 111 на вход схемы и наблюдая уровень логического сигнала на выходе схемы с помощью логического пробника, составьте таблицу истинности функции F, реализуемой схемой на выходе. По таблице запишите аналитическое выражение функции.

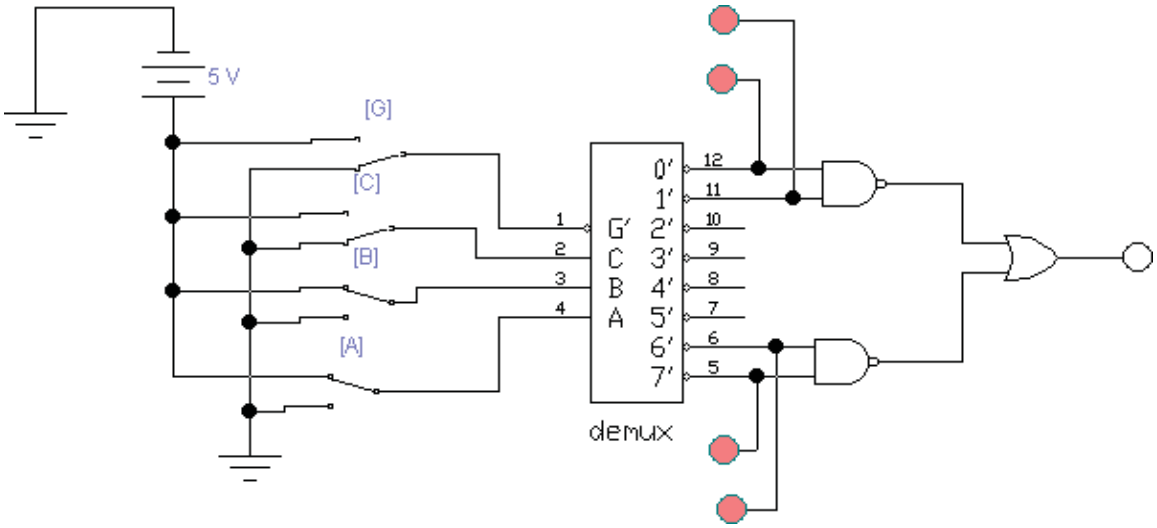


Рисунок 8.9 – Схема для исследования дешифратора 3x8 с логической схемой на выходе

8.4. Исследование микросхемы 74138

а). Соберите схему согласно рис. 8.10. Установите генератор слов в пошаговый режим. Включите схему. С помощью соответствующих ключей установите состояние управляющих входов G1=0, G2A = G2B = 1. Подавая на входы A, B, C слова от генератора слов и наблюдая состояние выходов с помощью логических пробников, заполните таблицу функционирования дешифратора 74138

б). Повторите операции пункта при G1=G2A=1, G2B=0. Заполните таблицу функционирования дешифратора 74138.

в) Повторите операции пункта а) при G1=1, G2A=G2B=0. Заполните таблицу функционирования дешифратора 74138.

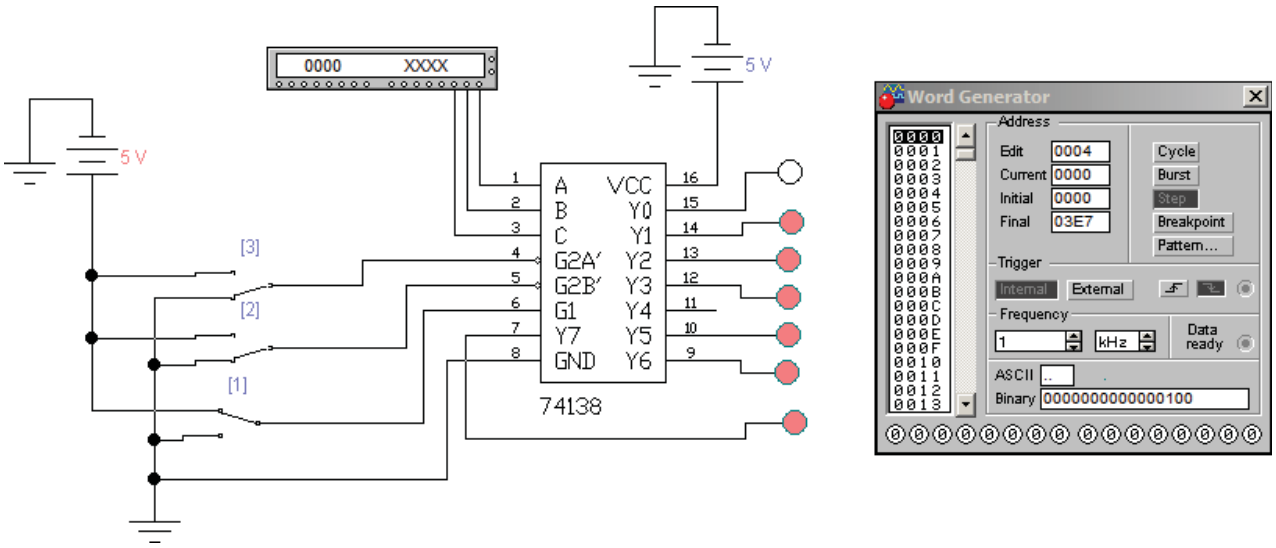


Рисунок 8.10 – Схема для исследования микросхемы 74138

8.5. Исследование микросхемы 74138 с помощью логического анализатора

Соберите схему согласно рис. 8.11. Установите генератор слов в пошаговый режим. Включите схему. С помощью соответствующих ключей установите состояние управляющих входов G1=1, G2A=G2B=0. Подавая слова от генератора слов, получите временные диаграммы работы дешифратора на экране логического анализатора и зарисуйте их. Сопоставьте временные диаграммы с таблицей, полученной при исследовании данной микросхемы.

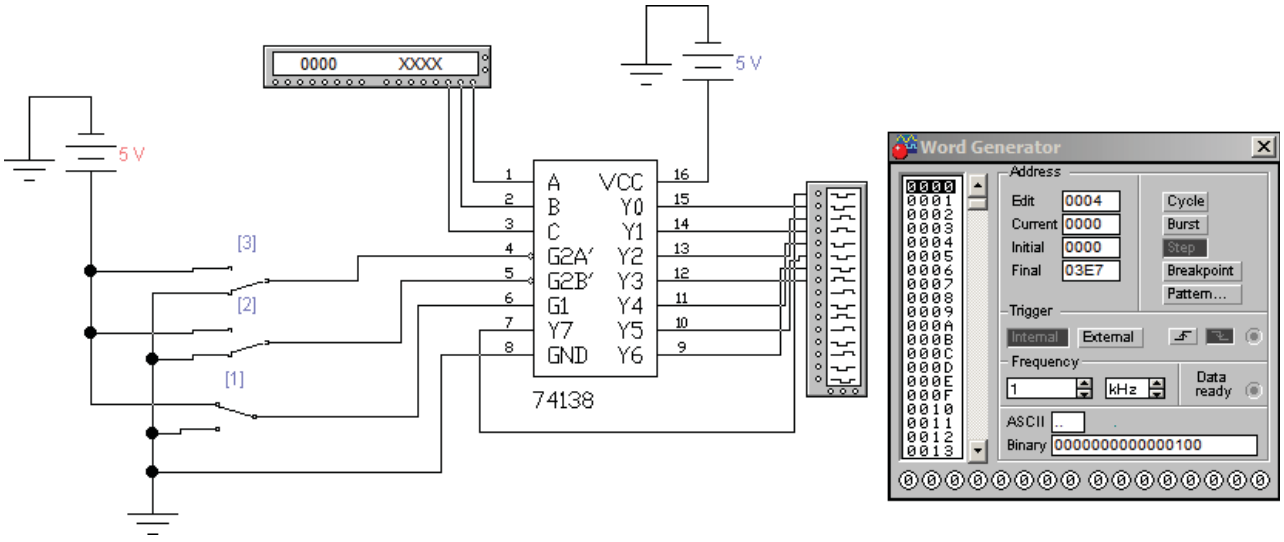


Рисунок 8.11 – Схема для исследования микросхемы 74138 с помощью логического анализатора

8.1. Разработка схемы дешифратора.

Разработать схему, согласно своего варианта.

А) Разработайте, соберите и испытайте схемы на основе базового дешифратора и элементов 2И-НЕ или 2И, реализующие заданную функцию F. На входе разрешения установить активный уровень. Варианты задач приведены ниже.

1) $F = \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot A \vee \overline{B} \cdot \overline{A}$;
2) $F = \overline{B} \cdot \overline{A} \vee C \cdot \overline{B} \vee \overline{C} \cdot B \cdot A$;
3) $F = \overline{C} \cdot A \vee C \cdot \overline{B}$;
4) $F = \overline{C} \cdot \overline{A} \vee B$;
5) $F = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee C \cdot \overline{B} \cdot \overline{A} \vee \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A}$;
6) $F = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee C \cdot \overline{B} \cdot A \vee C \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}$;
7) $F = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot \overline{A} \vee B \cdot A \vee C \cdot B$;
8) $F = C \cdot \overline{A} \vee \overline{B} \cdot A \vee \overline{C} \cdot A$.

Б) Разработайте, соберите и испытайте схемы на основе дешифратора 3х8 и элемента И-НЕ, реализующие заданную функцию F. Один из входов разрешения использовать для по- дачи аргумента одного из сигналов. Варианты задач приведены ниже.

9) $F = D \cdot \overline{C} \cdot \overline{A} \vee D \cdot C \cdot B \cdot A \vee D \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}$;
10) $F = \overline{D} \cdot \overline{B} \cdot \overline{A} \vee \overline{D} \cdot C \cdot B \vee \overline{D} \cdot \overline{C} \cdot B \cdot A$;
11) $F = D \cdot \overline{C} \cdot A \vee C \cdot \overline{B} \cdot A$;
12) $F = \overline{D} \cdot \overline{C} \cdot B \cdot A \vee \overline{D} \cdot C \cdot B \cdot \overline{A} \vee D \cdot \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A}$;
13) $F = \overline{D} \cdot C \cdot \overline{B} \cdot A \vee D \cdot C \cdot \overline{B} \cdot A \vee D \cdot C \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}$;
14) $F = \overline{D} \cdot \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee \overline{D} \cdot B \cdot A \vee \overline{D} \cdot C \cdot B$.

5.Оформите отчет о проделанной работе, подготовьтесь к защите.

Контрольные вопросы:

1. Какие логические функции выполняет дешифратор?
2. Каково назначение входов управления в дешифраторе, как влияет сигнал управления на выходные функции дешифратора?
3. Какие дополнительные логические элементы необходимы для реализации логических функций n аргументов на основе дешифратора с прямыми выходами? А с инверсными?
4. Как выглядит схема дешифратора 2х4, выполненная в базисе И, ИЛИ, НЕ? Входы дешифратора А, В, выходы Y0, Y1, Y2, Y3. Сколько элементов каждого типа для этого требуется?
5. Как надо видоизменить схему дешифратора 2х4 в предыдущем случае, чтобы оснастить её прямым управляющим входом? Инверсным? Обозначьте входы дешифратора А, В, управляющий вход *G* или $\overline{G}$, выходы Y0, YI, Y2, Y3.
6. Как из двух дешифраторов 2х4 сделать один дешифратор 3х8?
7. Как на основе нескольких дешифраторов 2х4 с управляющим входом сделать дешифратор 4х16? Сколько дешифраторов 2х4 потребуется для решения этой задачи, если не использовать другие элементы?

Лабораторная работа №7
Тема: Регенераторы цифровой линии передачи ЦСП

1.Цель работы. Разобраться с вопросами регенерации в цифровых системах передачи

2. Литература. Крухмалев В.В. и др., "Цифровые системы передачи", М.,"Горячая линия - Телеком".2007 год., стр. 256 - 280

3. Подготовка к работе.
   3.1.Разобраться с принципом регенерации цифровых сигналов.
   3.2.Начертить схему регенератора (стр.96, рис.4.14. Л 2.2.).
   3.3.Подготовить бланк отчета (п.7.).

4.Приборы.
   4.1.Макет регенератора ЦЛТ.
   4.2.Осциллограф С1-93.

5.Методические указания.

В лабораторном стенде смонтирован регенератор ЦЛТ, содержащий непосредственно регенератор биполярного сигнала Р., формирователь стробирующих последовательностей ФСП, вырабатывающий две последовательности прямоугольных импульсов, смещенных во времени относительно друг друга, которые управляют работой решающего устройства регенератора РУ.

Источником исходного сигнала является генератор прямоугольных импульсов со скважностью 2. Далее имитирован участок цепи, который вносит искажения формы прямоугольных импульсов, зашумление линейного цифрового сигнала достигается включением генератора шума, сигнал которого смешивается с искаженным ИКМ сигналом. В макете смонтирован АРУ, которая позволяет поддерживать постоянный уровень сигнала на выходе КУС. АРУ может быть включена или выключена. При выключенной АРУ можно наблюдать потерю сигнала на выходе КУС при максимальном затухании линии. Узел формирователя выходных ФВИ окончательно восстанавливает амплитуду и форму линейного сигнала.

Макет позволяет исследовать работу всех узлов регенератора, снять осциллограммы во всех контрольных точках.

6.Порядок выполнения работы.

6.1.Кнопками УСТ "1" и "О" набрать 8-ми разрядную кодовую комбинацию, заданную преподавателем.

6.2.Зарисовать повторяющуюся кодовую комбинацию на выходе ОП, пользуясь осциллографом.

6.3.Тумблер устройства АРУ в положении "ВКЛ". Зарисовать осциллограммы:

-на выходе линии (а = VAR);

-на выходе КУС;

-на обоих выходах устройства разделения УР (пользоваться обоими каналами осциллографа);

-на выходах ФСП осциллограммы двух хронирующих последовательностей. Меняя диапазон развертки, убедиться в наличии временного сдвига между стробирующими последовательностями;

-на выходах РУ 1 и РУ2;

-осциллограммы восстановленных сигналов на выходах ФВИ;

-биполярного сигнала ЦСП на выходе линейного трансформатора.

Примечание. При снятии осциллограмм пользоваться обоими каначами осциллографа, единым диапазоном развертки. Примеры временных диаграмм работы узлов регенератора приведены на рис. 4.15. стр. 97. Л. 2.2.

7.Содержание отчета.

7.1.Структурная схема регенератора.

7.2.Осциллограммы в контрольных точках, построенные одна под другой в одном диапазоне развертки.

7.3.Выводы.

8.Контрольные вопросы.

8.1.Какие причины вызывают искажения цифрового сигнала 1-го и 2-го рода?

8.2.Поясните принципы работы регенератора.

8.3.Как влияет на структуру регенератора число уровней цифрового кода? .

8.4.Каким образом в регенераторах осуществляется тактовая синхронизация?

8.5.Укажите причины, приводящие к появлению ошибок на выходе регенератора и к фазному дрожанию цифрового сигнала.

8.6. От чего зависит величина коэффициента ошибок регенератора?

8.7. От чего зависит величина фазовых дрожаний в линейном тракте?

Лабораторная работа № 8
Тема: Контрольно-измерительные приборы

Цель работы: Изучить цифровые измерительные приборы

Материально-техническое обеспечение работы:

Рекомендуемая литература:

Информационный лист

Указание к работе (инструкция):

Внимательно прочитайте задание.

Время выполнения задания – 90 мин.

Ход работы:

Задание 1.

Изучите информацию «Цифровые измерительные приборы», сравните характеристики приборов и заполните таблицу.

	Достоинства	Недостатки
Цифровой измерительный прибор		
Аналоговые приборы		

Задание 2.

Изучите информацию «Цифровые измерительные приборы» и ответьте на вопросы.

1. Опишите принцип действия цифрового измерительного прибора

«Цифровые измерительные приборы»

Цифровой измерительный прибор (ЦИП) - средство измерений, автоматически вырабатывающее сигналы измерительной информации в цифровой форме. Цифровой измерительный прибор имеет ряд преимуществ перед аналоговыми приборами: удобство отсчитывания значений измеряемой величины, возможность полной автоматизации процесса измерений, регистрация результатов измерения с помощью цифропечатающих устройств и перфораторов. Поскольку результат измерения в ЦИП выражен в цифровом коде, измерительную информацию можно вводить в цифровую ЭВМ.

Не следует считать, что ЦИП в будущем полностью вытесняет аналоговые приборы. Аналоговые приборы просты и надежны. В тех случаях, когда оператору необходимо следить за уровнями изменяющихся во времени сигналов, стрелочные указатели более удобны из-за наглядности представления об изменениях величины, о ее минимальном значении, приближении к порогу и т. п. По результатам, полученным на основе опыта производства и эксплуатации аналоговых и цифровых приборов, можно обобщенно сравнить аналоговые и цифровые приборы в координатах «точность» и «быстродействие», «стоимость» и «сложность».

В ЦИП происходит преобразование непрерывной измеряемой величины в цифровой код. Осуществляется этот процесс с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), в котором сигнал измерительной информации подвергается дискретизации, квантованию и кодированию. Дискретизация, т. е. процесс преобразования непрерывного сигнала измерительной информации в дискретный, может осуществляться как по времени, так и по уровню

Следующим преобразованием измерительного сигнала, является кодирование. Цифровым кодом называется последовательность цифр или сигналов, подчиняющаяся определенному закону, с помощью которой осуществляется условное представление численного значения величины.

Следующий этап преобразований в ЦИП заключается в превращении цифрового кода в показания цифрового отсчетного устройства. Для этого необходим дешифратор, который превращает кодовые группы в соответствующие напряжения, управляющие работой цифрового индикатора.

Результат измерений должен сохраняться на экране достаточно долго, например, до следующего цикла. Поэтому в состав ЦИП должно входить запоминающее устройство (ЗУ).

Критерии оценки работы:

Задания	Баллы	Примечание
Заполнение таблицы	4	За каждый правильный ответ - 1 балл
Ответ на вопрос	1	За каждый правильный ответ - 1 балл

Процент результативности (правильных ответов)	**Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений**		
	баллл	**отметка**	**вербальный аналог**
90 - 100	5	5	отлично

Лабораторная работа № 9

Тема: Исследование канала связи для передачи сигналов с импульсно - кодовой модуляцией

Цель работы:

1. Изучение принципов построения системы связи с временным разделением каналов и импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ).

2.Изучение формирования ИКМ сигнала.

3.Изучение принципов формирования группового сигнала при временном уплотнении линии связи с использованием ИКМ.

4. Изучение принципов разделения каналов в системе связи с ИКМ.

5. Изучение принципов восстановления аналогового сигнала.

Теоретические основы.

Использование импульсно - кодовой модуляции позволяет передавать сообщения (в частности - телефонные) с помощью комбинации импульсов одинаковой амплитуды. Это один из вариантов цифровой модуляции, позволяющий реализовать все преимущества такого способа передачи по сравнению с аналоговым.

На первом этапе производится дискретизация аналогового сигнала $F_1(t_i)$, поступающего на вход электронного ключа ЭК. Этот процесс рассматривался в предыдущей лабораторной работе. В результате формируется последовательность амплитудно-модулированных импульсов (отсчетов) F_{1i} на выходе ЭК (рис. 1). Требования к выбору частоты дискретизации $f_д$=8 КГц определены шириной спектра сигнала, передаваемого по каналу связи сигнала.

На втором этапе в кодере К происходит формирование ИКМ сигнала. Для этого производится аналого-цифровое преобразование (кодирование) отсчетов сформированных на выходе ЭК. Для кодирования информации об амплитуде отсчетных импульсов используется восьмиразрядный двоичный код, позволяющий образовать 256 различных комбинаций.

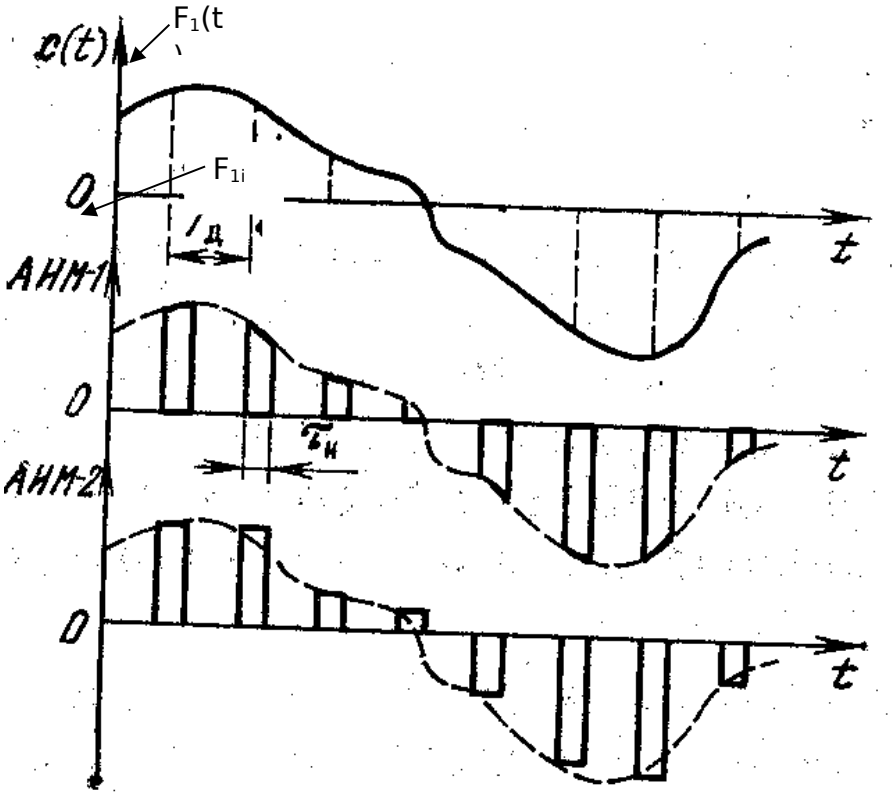


Рис. 1 Формирование АИМ сигнала

Кодирование АИМ сигнала предполагает выполнение следующих двух операций. Первая из них - квантование. Весь диапазон возможных значений аналогового сигнала разбивается дискретными уровнями на 256 квантовых интервалов, которые нумеруются от

-128 до -1 для отрицательных отсчетных импульсов и от +1 до +128 - для положительных. Каждому отсчету ставится в соответствие одно из значений квантового интервала, а если его величина не совпадает ни с одним из 256 уровней, то выбирается ближайший из них.

На рис. 2. показаны отсчеты, которым соответствуют квантовые интервалы.

В результате квантования из-за дискретной структуры уровней возникают ошибки при передаче, приводящие к искажению формы восстановленного на приемном конце сигнала. Они проявляются в виде шумов квантования, которые накладывается на полезный сигнал. Для уменьшения их уровня необходимо увеличивать количество интервалов.

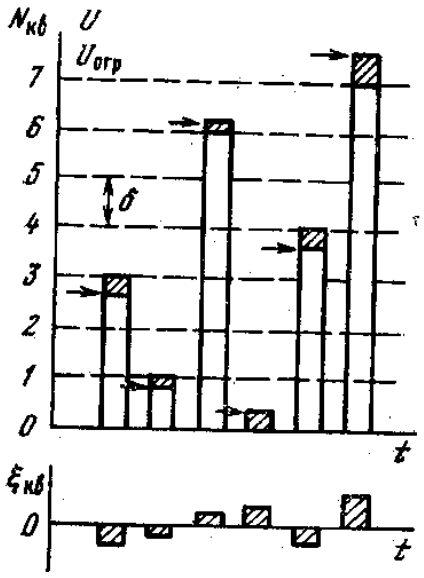


Рис. 2. Принцип равномерного квантования

Вторая операция, завершающая этап кодирования, ставит в соответствие номеру квантового интервала комбинацию единиц и нулей (кодовых символов) - цифровой код. Обычно единицам соответствуют положительные импульсы определенной амплитуды и длительности τ, а отрицательным - отсутствие импульса на этом временном интервале. В данной лабораторной установке использовано схемное решение, обеспечивающее на выходе кодера формирование ИКМ сигнала, в котором единицам соответствуют положительные, а нулям - отрицательные импульсы одинаковой амплитуды. Сформированная таким образом последовательность $Fк_{1i}$ носит название кодовой комбинации. В рассматриваемом случае она состоит из пяти кодовых символов.

На рис. 3 показаны кодовые комбинации для отсчетов, соответствующих квантовым интервалам.

Рис. 3. Кодовые комбинации для отсчетов, соответствующих квантовым интервалам

Сформированный таким образом цифровой сигнал поступает на вход мультиплексора, в котором происходит его объединение с аналогичными сигналами других каналов связи. Длительность всей кодовой комбинации $T_к=8\tau$ выбирается так, чтобы она не только уложилась во временной интервал между соседними отсчетными импульсами, но и позволила разместить в нем кодовые комбинации, поступающие на вход мультиплексора по другим каналам (рис. 4).

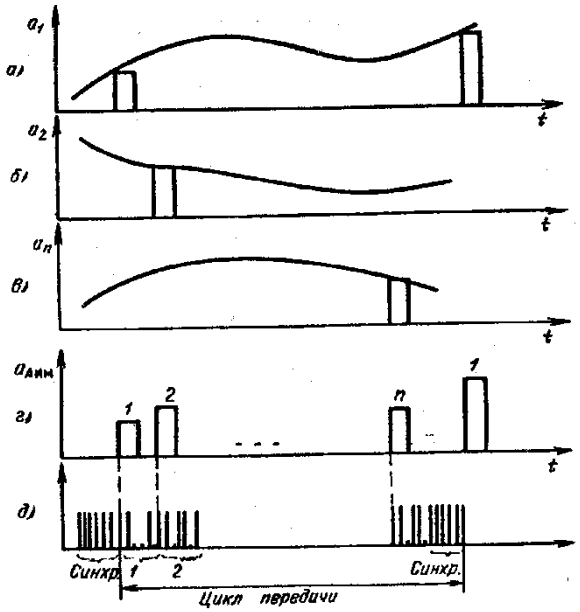


Рис. 4. Образование группового сигнала в системе ВРК-ИКМ
а – сигнал в 1-м канале, б – сигнал во 2-м канале, в – сигнал в n-м канале, г – групповой АИМ сигнал, д – групповой ИКМ сигнал

Для осуществления временного уплотнения импульсные последовательности, управляющие электронными ключами ЭК1 - ЭК4, сдвинуты на временной интервал, соответствующий $T_к$. В результате на выходе мультиплексора кодовые комбинации различных каналов (в данной лабораторной установке их четыре) выстраиваются друг за другом - формируется групповой сигнал. Таким образом, осуществляется временное уплотнение - одновременная передача по линии связи закодированных последовательностей отсчетов нескольких сигналов.

Как и в третьей работе, для проведения исследований в лабораторной установке используются три контрольных сигнала. При этом вход одного из каналов остается свободным. Это соответствует поступлению на кодер отсчета с нулевой амплитудой. Ему соответствует определенная кодовая комбинация, которая аналогично остальным присутствует в групповом сигнале.

На приемном конце линии связи расположено пороговое устройство ПУ, которое включается тумблером, выведенным на переднюю панель лабораторной установки. Оно позволяет повысить помехозащищенность каналов связи. Более подробно его роль анализируется в ходе выполнения третьей лабораторной работы. Следует помнить, что работа установки при использовании ИКМ сигналов возможна только при включенном пороговом устройстве.

На приемном конце групповой сигнал поступает на вход демультиплексора. В нем происходит разделение каналов. Электронные ключи демультиплексора управляются синхронно с ключами мультиплексора. На время действия одной из кодовых комбинаций соответствующий ключ демультиплексора соединяет линию связи со входом декодера ДК. В результате на его вход поступает требуемая кодовая комбинация $Fк_{ji}$ (индекс j соответствует номеру канала).

В декодере происходит восстановление АИМ сигнала - каждой кодовой комбинации $Fк_{ji}$ ставится в соответствие отсчетный импульс $F_{j\ i}$ определенной длительности и амплитуды. Положение отсчета во времени жестко связано с моментом окончания действия кодовой комбинации. Эта последовательность отсчетов поступает на ФНЧ, где происходит восстановление исходного аналогового сигнала $F_j(t)$.

Описание блок - схемы макета для проведения измерений.

Для проведения измерений используется:
- лабораторная установка "Изучение принципов временного разделения каналов";
- двухканальный осциллограф.

С помощью соединительных шнуров на лицевой панели установки производятся коммутации, в результате которых формируются четыре отдельных канала.

На передней панели установки приведена блок-схема системы связи с ИКМ, которая исследуется в данной лабораторной работе. Она включает в себя:

- электронный ключ ЭК;
- кодер К;
- декодер ДК;
- фильтр нижних частот ФНЧ.

На входы трех каналов (вход ЭК) подается один из испытательных сигналов F1 - F3. Вход одного из каналов остается свободным.

Порядок выполнения работы.

1. Подготовить лабораторную установку к проведению работы. Для этого:

1.1. Включить питание лабораторной установки и осциллографа.

1.2. Установить тумблеры на устройстве управления в положение "32 кГц" и "цикл".

1.3. Нажать кратковременно кнопку "сброс" на устройстве управления.

1.4. ***Установить тумблер порогового устройства ПУ в линии связи в положение "вкл".*** В данной лабораторной установке передача цифрового ИКМ сигнала осуществляется только при включенном пороговом устройстве.

1.5. Установить потенциометр "уровень шума" в линии связи в крайнее положение против часовой стрелки.

2. Исследовать процесс формирования цифрового ИКМ сигнала. Для этого выполнить следующие операции:

2.1. С помощью соединительного шнура подключить контрольный сигнал F1 ко входу электронного ключа первого канала. К этой же точке подключить вход I канала осциллографа. Проконтролировать появление осциллограммы контрольного сигнала.

2.2. Подобрать период развертки так, чтобы на экране укладывался приблизительно один период контрольного сигнала.

2.3. Зарисовать осциллограмму контрольного аналогового сигнала.

2.4. Подключить второй канал осциллографа к выходу электронного ключа. Проконтролировать появление на его экране сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией.

2.5. Включить метки, выбрав временной интервал между ними так, чтобы он соответствовал длительности отсчетного импульса, нажав соответствующую кнопку на лицевой панели установки.

2.6. Зарисовать осциллограмму сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией, поступающего на вход второго канала осциллографа. Расположить ее под осциллограммой контрольного сигнала, сохранив масштаб по временной оси и метки.

2.7. Подключить вход II осциллографа к выходу кодера 1 и зарисовать соответствующую осциллограмму. Следует учесть, что в данной лабораторной установке использовано схемное решение, обеспечивающее на выходе кодера формирование ИКМ сигнала, в котором единицам соответствуют положительные, а нулям - отрицательные импульсы одинаковой амплитуды. При выбранном значении периода развертки осциллографа подробная структура наблюдаемых кодовых комбинаций не может быть проанализирована детально. Поэтому следует отметить только ее длительность, сохранив временные соотношения с предыдущими и метки времени.

2.8. Выключить метки времени и уменьшить период развертки осциллографа так, чтобы на его экране по второму каналу высветилась одна из кодовых комбинаций. Пользуясь шкалой на экране осциллографа и учитывая цену деления, соответствующую положению переключателя "Развертка-время/дел" на лицевой панели, определить длительность импульса, соответствующего кодовому символу.

2.9. Зарисовать осциллограмму кодовой комбинации. Установить прежнее значение периода развертки осциллографа и включить метки времени с интервалом, соответствующим длительности отсчетного импульса. Обратить внимание на то, что в данном случае он соответствует длительности кодовой комбинации.

3. Исследовать процесс формирования группового сигнала на выходе мультиплексора. Для этого выполнить следующие операции.

3.1. Соединить с помощью шнура выход кодера первого канала со входом 0 мультиплексора. Подключить вход II осциллографа к выходу мультиплексора и проконтролировать появление кодовой комбинации на его выходе.

3.2. Не снимая установленных ранее соединений, подключить контрольный сигнал F2 и вход I осциллографа ко входу ЭК2 второго канала. Выход кодера 2 соединить со входом 1 мультиплексора. Проконтролировать наличие сигнала на входе канала по осциллограмме, соответствующей первому входу осциллографа.

3.3. Проконтролировать по осциллограмме появление на выходе мультиплексора кодовой комбинации, соответствующей сигналу, передаваемому по второму каналу связи. Она должна занять временной интервал в промежутке между двумя кодовыми комбинациями, соответствующими первому каналу.

3.4. Повторить две предыдущие операции для третьего канала, использовав контрольный сигнал F3.

3.5. Соединить выход четвертого кодера со входом 3 мультиплексора. Вход электронного ключа четвертого канала при этом остается свободным.

3.6. Зарисовать осциллограмму группового сигнала, наблюдаемую на выходе мультиплексора. Ее следует разместить под предыдущими, сохранив выбранный временной масштаб и метки.

4. Проконтролировать процесс разделения сигналов с ИКМ. Для этого подключить первый вход осциллографа к клемме КТ3 (ко входу демультиплексора), а второй - последовательно к его выходам 0, 1, 2, 3 . При этом осциллограмма, наблюдаемая по первому каналу осциллографа соответствует групповому сигналу, а по второму - ИКМ сигналу соответствующего канала.

5. Проанализировать процесс восстановления аналогового сигнала. Для этого выполнить следующие операции.

5.1. Подключить выходы 0, 1, 2, 3 демультиплексора к соответствующим входам декодеров, а выходы декодеров - ко входам фильтров нижних частот.

5.2. Для контроля временных соотношений подключить вход I осциллографа ко входу электронного ключа первого канала. При этом на экране наблюдается исходный аналоговый сигнал.

5.3. Последовательно подключая вход II осциллографа ко входу декодера 1, входу ФНЧ1 и его выходу зарисовать осциллограммы сохранив временные соотношения с предыдущими и временные метки. Подключить вход II осциллографа к выходу ФНЧ1. При этом, соответственно, наблюдаются исходный и восстановленный аналоговые сигналы.

5.4. Зарисовать осциллограмму восстановленного сигнала, сохранив все временные соотношения, масштаб и временные метки. Отметить на ней временную задержку восстановленного сигнала относительно исходного.

5.5. Аналогичным образом, подключая для контроля временных соотношений вход I осциллографа ко входу второго и третьего каналов, проконтролировать наличие соответствующих сигналов на входе и выходе декодеров, на входе и выходе ФНЧ, подключая в соответствующие контрольные точки вход II осциллографа. Зарисовывать осциллограммы только восстановленных сигналов. Отметить на них временную задержку восстановленных сигналов относительно исходных.

Содержание отчета:

В отчете необходимо привести:

- цель работы
- блок - схему измерений, отметив на ней точки , которых снимались осциллограммы;
- все снятые осциллограммы, расположенные таким образом, чтобы на них были отмечены все необходимые временные соотношения между исследуемыми сигналами;
- выводы по выполненным исследованиям.

Контрольные вопросы

1. Поясните, как осуществляется квантование сигнала по уровню.
2. В чем отличие равномерного квантования от неравномерного?
3. Поясните, что такое “ошибка квантования”, “мощность шумов квантования”.
4. Поясните, что такое “защищенность от шумов квантования”, приведите формулу.

5. Поясните процесс кодирования квантованного по уровню АИМ отсчета.

6. Для кодирования каких сигналов используют симметричный двоичный код? Приведите пример представления такого кода.

7. Для кодирования каких сигналов используют натуральный двоичный код? Приведите пример представления такого кода.

8. Влияет ли ошибка и как, если она произошла в самом младшем или самом старшем разряде?

9. Почему в системах связи при передаче сигналов телефонной связи применяют неравномерную шкалу квантования?

Литература

1. Многоканальные системы передачи. Под. ред. Н.Н. Баевой и В.И. Гордиенко. – М.: Радио и связь, 1997. – 559 с.

2. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов/ В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попова и др.; Под ред. В.И. Иванова. – 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 232 с. (1995 г. – первое издание)

Практическая работа № 9
Тема: Исследование канала связи для передачи сигналов с импульсно - кодовой модуляцией

Цель работы: изучить процесс преобразования непрерывного сигнала с ограниченным спектром в сигнал ИКМ.

Задание: построить график непрерывного сигнала, провести дискретизацию по времени, квантование по уровню и кодирование, определить ошибку квантования.

Литература: П.А. Ушаков «Цепи и сигналы электросвязи». М.: Издательский центр «Академия», 2010, с.302-305.

Оснащение.

1. ПК.
2. Описание практической работы

Теоретический материал

Импульсно – кодовая модуляция используется в системах связи с временным разделением каналов. Процесс формирования сигнал с ИКМ состоит из трех частей:

-дискретизации сигнала со временем;

-квантования сигнала по амплитуде (уровню);

-кодирования.

Процесс дискретизации непрерывного сигнала согласно теореме Котельникова сводится к замене непрерывного сигнала его мгновенными значениями, взятыми через интервалы времени Δt ½ Fmax, где Fmax – максимальная частота частотного спектра непрерывного сигнала. Интервал времени Δt называется шагом дискретизации. Частота следования импульсов дискретизированного сигнала называется частотой дискретизации и, согласно теореме Котельникова определяется из неравенства:

fд 1 / Δt = 2Fmax

Процесс квантования заключается в формировании уровней сигнала, разрешенных для передачи, и округлении мгновенных значений непрерывного сигнала до ближайшего разрешенного уровня. Разница между ближайшими разрешенными уровнями называется шагом квантования **ΔU.** В процессе квантования возникает погрешность квантования, которая приводит к помехе, называемой шумом квантования.

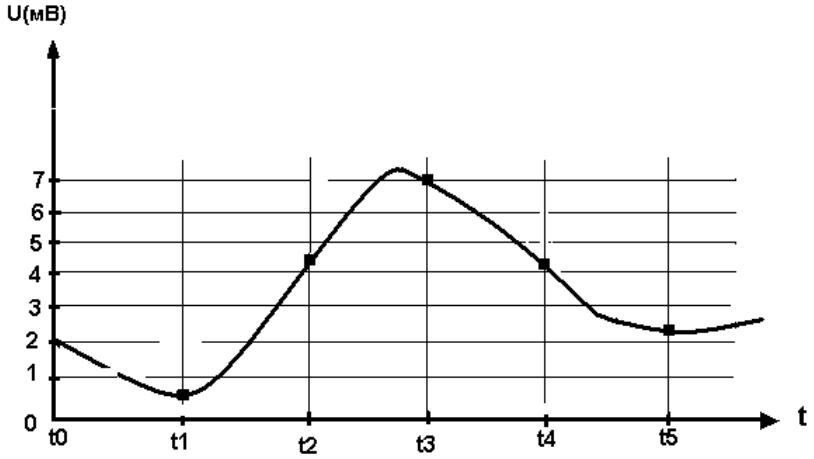
Процесс кодирования заключается в определении номера разрешенного уровня квантования в двоичной системе счисления.

Пример расчета

1. Непрерывный сигнал задан мгновенными значениями:

$U_0 = 2$ мВ, $U_1 = 0.6$ мВ, $U_2 = 4.3$ мВ, $U_3 = 7$ мВ , $U_4 = 4.2$ мВ, $U_5 = 2{,}3$ мВ

Построим график непрерывного сигнала по заданным значениям (смотри рис. 1)



2. Проведем дискретизацию по времени (смотри рис.2)

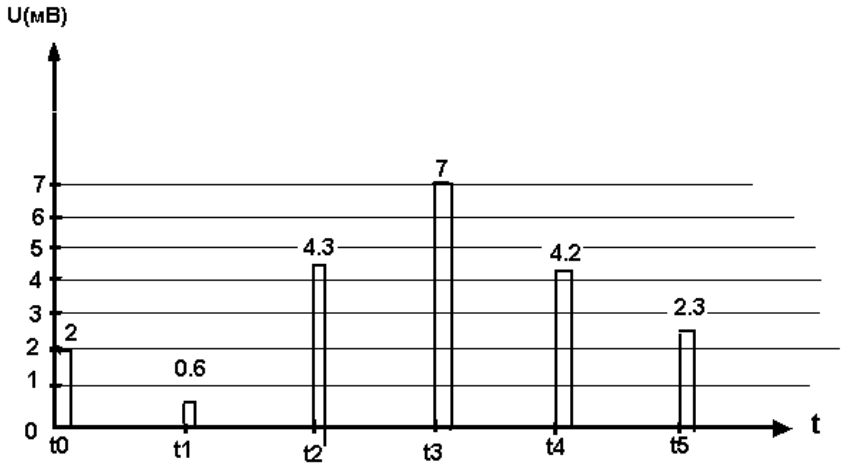


рис. 2

3.Определим число разрешенных уровней:

$M = U_{max}/\Delta U + 1$

Полученное значение округлить до ближайшего большего целого числа.

4. Проведем квантование по уровню.

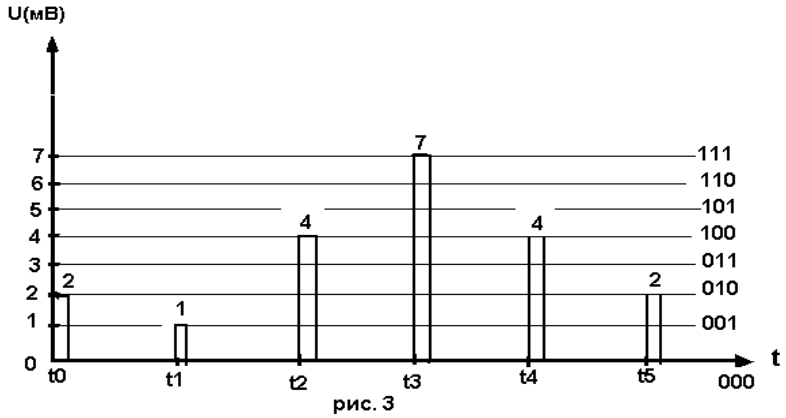


рис. 3

5.Определим ошибку квантования как разность между амплитудами дискретного и квантованного сигнала:

έ0=2-2=0

έ1=0,6-1=-0,4

έ2=4,3-4=0,3

έ3=7-7=0
έ4=4,2-4=0,2
έ5=2,3-2=0,3
6.Определим разряд кода
m=lgM/lg2 m=lg8/lg2=0.903/0.301=3
Полученное значение округлить до ближайшего большего целого числа.
7.Выполним кодирование сигнала

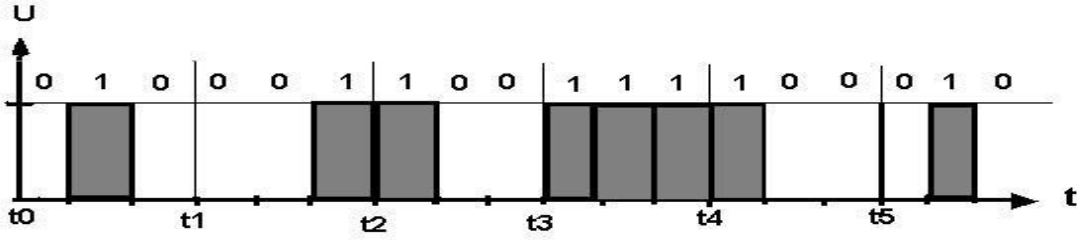


рис. 4

.
8.Заполним таблицу. Номер уровня будем определять, как частное от деления амплитуда квантованного сигнала на шаг квантования.

Номер отсчета		0	1	2	3	4	5
Амплитуда дискретного сигнала, мВ		2,6	0	4,3	7	4,2	2,3
Амплитуда квантованного сигнала, мВ		2	1	4	7	4	2
Ошибка квантования, мВ		0	-0.4	0,3	0	0,2	0,3
Номер уровня		2	1	4	7	4,2	2,3
Кодовая комбинация	10	01	0	100	111	100	010

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под несущим и модулирующим колебаниями? В чём заключается процесс модуляции?
2. Как записать АМ колебание при модуляции:
   а) гармоническим колебанием;
   б) произвольным периодическим колебанием;
   в) непериодическим сигналом?
3. Как определяется коэффициент модуляции АМ колебаний?
4. Какой вид имеет векторная диаграмма АМ колебания при тональной модуляции,
5. Как формируется спектр АМ колебания при модуляции:
   а) гармоническим колебанием;
   б) произвольным периодическим колебанием;
   в) непериодическим сигналом?
6. Как выражается пиковая и средняя мощность АМ колебания?
7. В чём состоит отличие БМ и ??? от АМ колебания?
8. Запишите выражение для колебания с угловой модуляцией. Какими соотношениями связаны полная фаза и мгновенная частота колебания?
9. Как определяются и чем отличаются ЧМ и ФМ колебания?
10. Какой физический смысл имеют понятия «девиация частоты» ω_g и «индекс модуляции» m? Как они определяются при частотной и фазовой модуляции гармоническим сигналом?

11. Изобразите векторную диаграмму колебания с угловой модуляцией.
12. От каких параметров модулирующего гармонического сигнала и как зависят спектры ЧМ, ФМ и АМ колебаний?
13. По каким приближённым формулам можно определить ширину спектра ЧМ и ФМ колебаний при гармонической модуляции в случаях m<<1 и m>1?
14. Чем отличаются спектральные и векторные диаграммы АМ и ЧМ колебаний при m<<1?
15. Чему равна средняя мощность колебания с угловой модуляцией?

Лабораторная работа № 10
Тема: Демодуляция АМ сигналов

Теоретический материал:

Предварительное обсуждение

Получение исходного сигнала сообщения из АМ сигнала называется демодуляцией. Демодуляция является основной функцией связных и телекоммуникационных приемников. Электронная схема, которая широко применяется для демодуляции АМ сигналов, называется детектором огибающей. Блок-схема детектора огибающей показана на рис. 1.

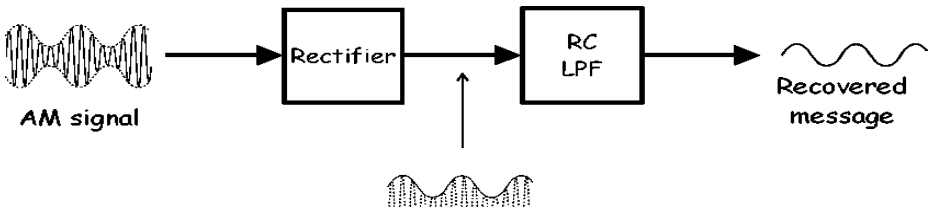


Рис. 1. Блок-схема детектора огибающей

Выпрямитель (Rectifier) «обрезает» половину АМ сигнала, пропуская только одну огибающую (в данном случае верхнюю, но нижняя ничем не отличается). Выпрямленный сигнал (Rectified AM signal) поступает на RC фильтр низкой частоты (RCLPF), который выделяет пики сигнала. Так как входным для фильтра является выпрямленный АМ сигнал, то на выходе фильтра будет огибающая АМ сигнала. Поскольку огибающая имеет такую же форму, что и сигнал сообщения, то и напряжение на выходе фильтра (Recovered message) является сигналом сообщения, т.е. АМ сигнал можно считать демодулированным.

Ограничением детектора огибающей, показанного на рис. 1, является то, что он не может правильно восстановить перемодулированный АМ сигнал сообщения. Чтобы понять почему, вспомните, что огибающая перемодулированного АМ сигнала уже не повторяет форму исходного сигнала. Поскольку огибающая искажена, то и детектор огибающей будет восстанавливать сигнал сообщения с искажениями.

Эксперимент

В этом эксперименте для получения АМ сигнала путем реализации математической модели используется модуль Emona DATEx. Детектор огибающей собирается на модуле тренажера и состоит из выпрямителя и фильтра НЧ.

Далее необходимо подать АМ сигнал на вход детектора огибающей и сравнить демодулированный выходной сигнал с исходным сообщением и с огибающей АМ сигнала, а также пронаблюдать, какой эффект оказывает перемодуляция АМ сигнала на выходной сигнал детектора огибающей.

В завершение, если позволяет время, проводится демодуляция АМ сигнала путем умножения его на локальную несущую вместо использования детектора огибающей.

Оборудование

- Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением.
- NI ELVIS I или II плюс соединительные проводники.
- Только для NI ELVIS I: устройство сбора данных типа NI USB-6251 (или двухканальный осциллограф с полосой 20 МГц).
- Модуль расширения Emona DATEx для выполнения экспериментов.
- Два проводника с разъемами типа BNC и типа «банан» (2 мм).

- Набор соединительных проводников с разъемами типа «банан» (2 мм).

Стереонаушники. **Напоминание: это руководство составлено для ELVIS I. В ELVIS II имеются следующие отличия.**

- CH A (Канал A) и CH B (Канал B) осциллографа в ELVIS II обозначены CH0 (Канал 0) и CH1 (Канал 1) соответственно.
- В ELVIS II режим Manual (Ручной) выбирается на панели виртуального прибора, отображаемой на экране.
- При использовании функционального генератора устанавливайте необходимую частоту на экране приблизительно, а затем переключитесь в режим Manual (Ручной). Если функциональный генератор применяете для частотной модуляции (FM), установите элемент управления Modulation (Модуляция) в положение FM, чтобы можно было использовать вход DATEx VCO IN (вход генератора, управляемого напряжением)

Порядок выполнения (знак «*» означает, что данный пункт относится только к NI ELVIS I)

Часть А – Сборка схемы АМ модулятора

Чтобы выполнить эксперименты по демодуляции, вначале соберите схему для получения АМ сигнала.

1. Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.
2. Осторожно вставьте модуль расширения Emona DATEx в слот NI ELVIS.
3. Установите переключатель Control Mode (Режим управления) на модуле DATEx (в верхнем правом углу) в положение Manual (Ручной).
4. (*)Убедитесь, что модуль ввода-вывода NI DAQ выключен.
5. (*)Подключите NI ELVIS к модулю ввода-вывода NI DAQ и персональному компьютеру.

Примечание. Все эти действия могли быть выполнены ранее.

6. Включите питание NI ELVIS с помощью выключателя, расположенного на задней стенке устройства, затем включите питание макетной платы, выключатель которой находится на передней стенке устройства.
7. Включите компьютер и дайте ему загрузиться.
8. (*)Когда загрузка завершится, включите модуль ввода-вывода NIDAQ.

Примечание. Если всё пройдет нормально, вы получите визуальный или звуковой сигнал о том, что компьютер обнаружил модуль NIDAQ. Если нет – позовите преподавателя, чтобы он вам помог.

9. Запустите программу NI ELVIS.
10. Запустите программную лицевую панель DATEx и убедитесь, что можете программно управлять панелью DATEx.
11. Переведите переключатель Control Mode (Режим управления) выхода регулируемого источника отрицательного напряжения питания в положение, противоположное позиции Manual (Ручной).
12. Запустите программу (VI) виртуального прибора Variable Power Supplies (Регулируемые источники питания) NI ELVIS.
13. Установите виртуальный элемент управления Voltage (Напряжение) регулируемого источника отрицательного напряжения питания в среднее положение, а затем сверните окно.
14. Найдите модуль Adder (Сумматор) на программной лицевой панели DATEx и поверните его виртуальные элементы управления G и g против часовой стрелки до упора.
15. Соберите схему, изображенную на рис. 2.

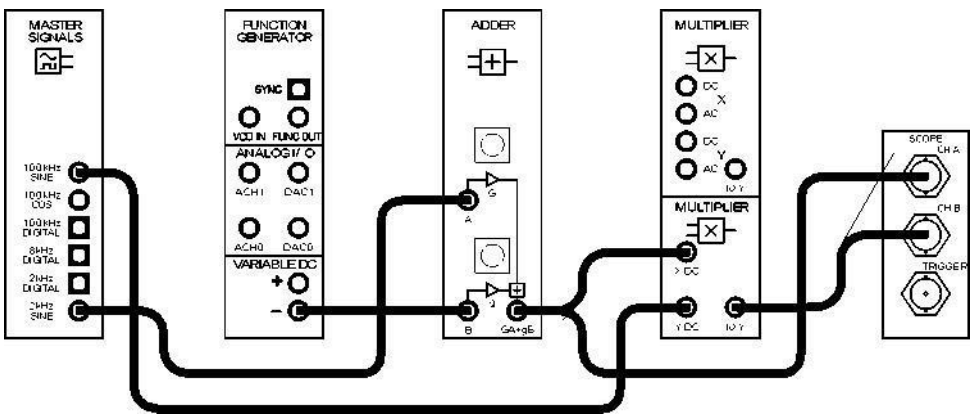


Рис. 2. Схема для получения AM сигнала

16. Запустите программу (VI) NI ELVIS DMM виртуального мультиметра (не обращайте внимание на сообщение о максимальной точности, просто нажмите кнопку OK).
17. Переключите цифровой мультиметр в режим DC (измерение постоянного напряжения).
18. Подсоедините выход модуля Adder (Сумматор) ко входу HI цифрового мультиметра и отрегулируйте виртуальный элемент управления G так, чтобы получить показания в 1 В.
19. Закройте программу виртуального цифрового мультиметра.
20. Запустите программу (VI) Oscilloscope NI ELVIS (Осциллограф).
21. Настройте осциллограф согласно инструкции в эксперименте 1, но со следующими изменениями.

- Элемент управления Trigger Source (Источник сигнала запуска) переведите из положения CH A в положение Immediate (Непрерывный).
- Элемент управления Coupling (Связь с источником сигнала) канала A – в положение DC вместо AC.
- Элемент управления Scale (Масштаб) канала A – в положение 500 мВ/дел.

22. Отрегулируйте виртуальный элемент управления G модуля Adder (Сумматор) так, чтобы получить синусоиду с пиковой амплитудой 1 В.
23. Установите элемент управления Trigger Source (Источник сигнала запуска) осциллографа в положение CH A, а элемент управления Trigger Level (Уровень сигнала запуска) – в положение 1 В.
24. Активируйте вход канала B осциллографа для того, чтобы видеть и сигнал сообщения, и промодулированный сигнал.

Проверьте себя: если элемент управления Scale (Масштаб) осциллографа установлен в положение 1 В/дел., то осциллограф должен показывать AM сигнал с огибающей, повторяющей форму и размах сигнала сообщения. Если это не так, повторите действия, начиная с п. 11.

Схема на рис. 2 может быть показана в виде блок-схемы, изображенной на рис. 3. Эта схема генерирует несущую 100 кГц (100 kHz carrier), которая модулируется по амплитуде сигналом сообщения в виде синусоиды 2 кГц.

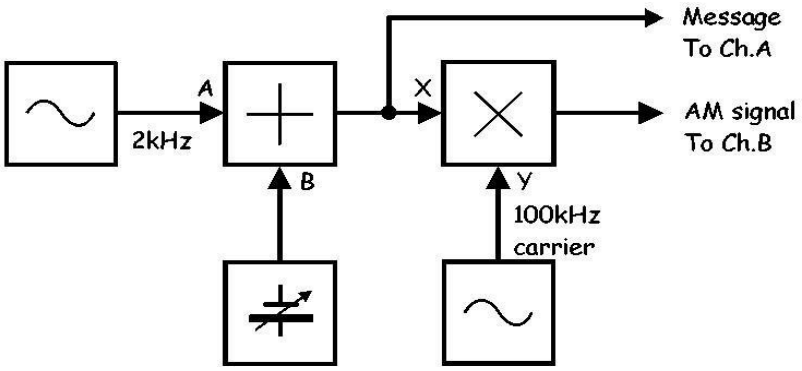


Рис. 3. Блок-схема получения AM сигнала

Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить

Часть B – Восстановление сигнала сообщения с помощью детектора огибающей

25. Измените схему, как показано на рис. 4.

Напоминание: пунктирные линии показывают уже подключенные проводники.

С реализованными изменениями схема на рис. 4 может быть представлена в виде блок-схемы, изображенной на рис. 5. Это схема детектора огибающей, который рассматривался в разделе предварительного обсуждения.

26. Сделайте нужные для наблюдения сигналов настройки элементов управления Scale (Масштаб) и Timebase (Масштаб по оси времени).
27. Зарисуйте с соблюдением масштаба две осциллограммы сигналов на расположенном ниже

поле графика, оставив место, чтобы можно было нарисовать третий сигнал.

Совет: нарисуйте сигнал сообщения в верхней трети графика, а выпрямленный АМ сигнал – в середине.

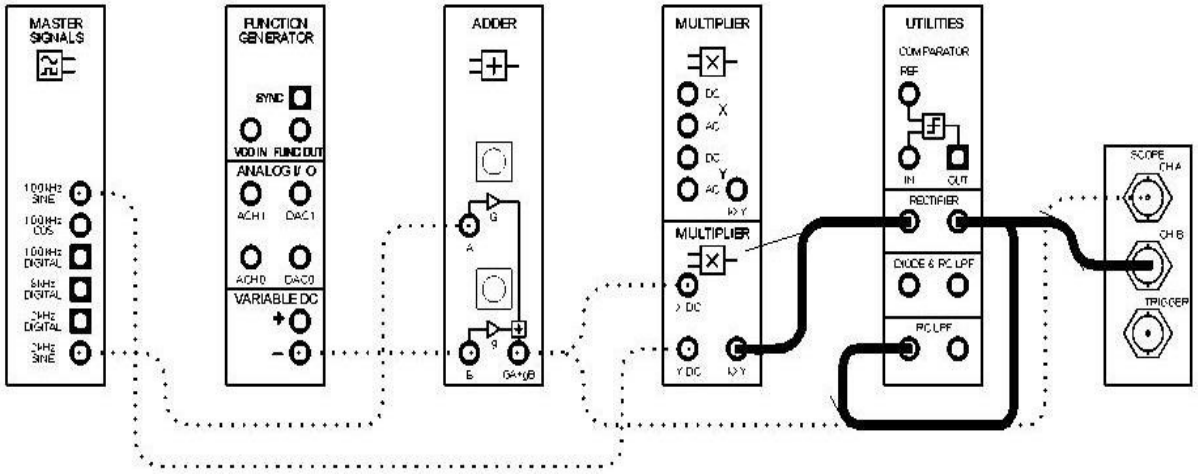


Рис. 4. Схема АМ детектора с подключенными проводниками

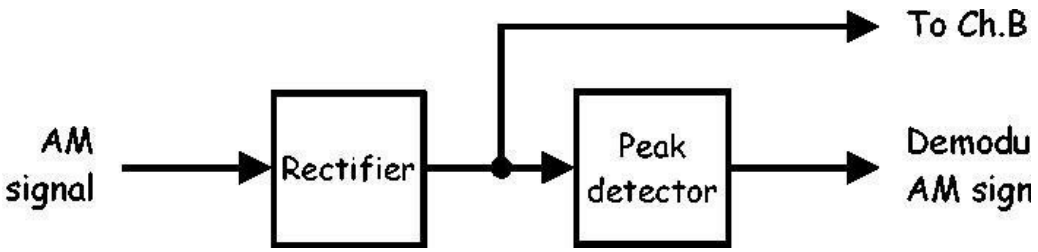


Рис. 5. Блок-схема детектора огибающей:

AM signal – АМ сигнал, Rectifier – выпрямитель, Peak detector – пиковый детектор, RC LPF – низко- частотный RC фильтр, To Ch. B – к каналу B, Demodulated AM signal – демодулированный АМ сиг- нал

28. Отсоедините вход Channel B (Канал B) осциллографа от выхода модуля Rectifier (Выпрямитель) и подсоедините его к выходу RC LPF (ФНЧ).

29. Зарисуйте с соблюдением масштаба демодулированный АМ сигнал на свободном месте графика.

Вопрос 1

Что можно сказать об исходном и восстановленном сигналах сообщения?

Ответ: они одинаковые (если не учитывать небольшой сдвиг по фазе).

Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить

Часть C – Исследование амплитуды восстановленного сигнала сообщения

30. Увеличивайте и уменьшайте понемногу амплитуду сигнала сообщения (поворачивая виртуальный элемент управления G модуля Adder (Сумматор) немного влево и вправо), наблюдая при этом за демодулированным сигналом.

Вопрос 2

Какова зависимость между амплитудами двух сигналов сообщения?

Ответ: с увеличением амплитуды исходного сигнала сообщения увеличивается и амплитуда восстановленного сигнала.

Медленно увеличивайте амплитуду сигнала сообщения до максимума, наблюдая за демодулированным сигналом.

Вопрос 3

Каковы причины искажений демодулированного сигнала?

Совет: если вы не уверены в ответе, подсоедините вход канала A осциллографа к вы-

ходу АМ модулятора.

Ответ: перемодуляция.

Вопрос 4

Почему перемодуляция вызывает искажение?

Ответ: перемодуляция искажает огибающую АМ сигнала, и поэтому детектор не может правильно восстановить сигнал сообщения.

Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент

Часть D – Передача и восстановление речи при помощи АМ

Ранее была собрана система связи с амплитудной модуляцией для того, чтобы «передать» синусоиду 2 кГц в качестве сигнала сообщения. Следующая часть эксперимента позво- лит использовать эту систему для модуляции, передачи, демодуляции и прослушивания речи.

31. Если вы отключали вход канала A осциллографа для того, чтобы ответить на Во- прос 4, восстановите подключение этого канала к выходу модуля Adder (Сумматор).

32. Установите значение пиковой амплитуды сигнала сообщения равным 200 мВ (регулируя виртуальный элемент управления G модуля Adder).

33. Измените схему соединений в соответствии с рис. 6.

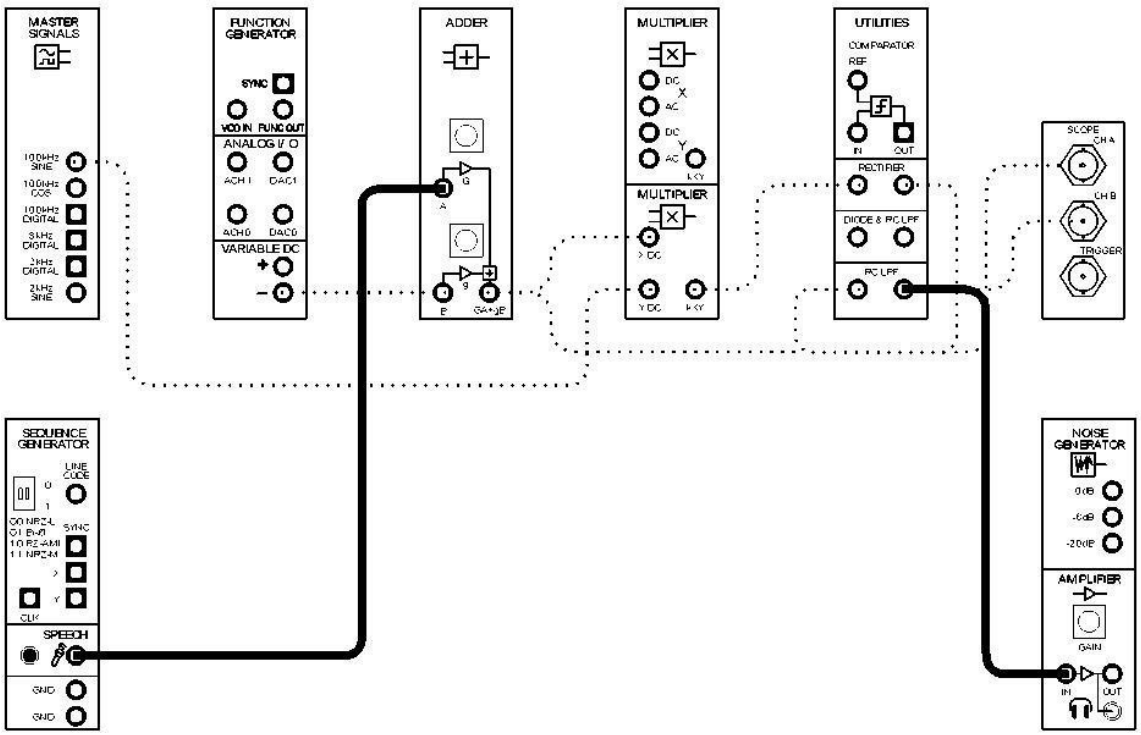


Рис. 6. Схема системы связи с амплитудной модуляцией

34. Установите элемент управления Timebase (Масштаб по оси времени) осциллографа в положение 5 ms/div (5 мс/дел.).

35. Поверните виртуальный элемент управления Gain (Усиление) модуля Amplifier (Усилитель) против часовой стрелки до упора.

36. Не надевая наушников, подключите их к соответствующему гнезду модуля Amplifier (Усилитель).

37. Наденьте наушники.

38. Когда будете выполнять следующий шаг, установите виртуальный элемент управления Gain (Усиление) модуля Amplifier (Усилитель) так, чтобы получить комфортный уровень громкости.

39. Шумите и говорите в микрофон, наблюдая при этом осциллограммы на экране

осциллографа и слушая звук в наушниках.

Продемонстрируйте преподавателю результаты вашей работы, прежде чем продолжить эксперимент

Часть Е – Математическая трактовка демодуляции АМ сигнала

Процесс АМ демодуляции можно объяснить математически, потому что он основан на умножении для восстановления исходного сигнала сообщения. Чтобы было понятнее, вспомним, что когда перемножаются две синусоиды, то в результате получаются две новые синусоиды: одна – с частотой, равной сумме частот двух сигналов, вторая – с частотой, равной разности частот двух сигналов (см. свойства тригонометрических функций).

Детектор выделяет огибающую, так как выпрямитель – это устройство, которое перемножает все составляющие входного сигнала. Обычно это является помехой, но только не для таких приложений, как АМ демодуляция. Вспомним, что АМ сигнал состоит из несущей, несущей плюс сообщение и несущей минус сообщение. Таким образом, когда АМ сигнал поступает на вход выпрямителя, то с точки зрения математики выпрямитель перемножает все синусоиды, и это выглядит как

Rectifier’s output = carrier × (carrier + message) × (carrier – message)

(Выход выпрямителя = несущая × (несущая + сообщение) × (несущая – сообщение)).

Если сигнал сообщения, используемый для получения АМ сигнала, является простой синусоидой, то после решения приведенного выше уравнения получим, что на выходе выпрямителя будет шесть синусоид с частотами:

- несущая + (несущая + сообщение);
- несущая + (несущая – сообщение);
- (несущая + сообщение) + (несущая – сообщение);
- несущая – (несущая + сообщение) = сообщение;
- несущая – (несущая – сообщение) = сообщение;
- (несущая + сообщение) – (несущая – сообщение).

Чтобы сделать данные выкладки более понятными, приведем пример с числами. АМ модулятор, который был собран в начале этого эксперимента, использует несущую 100 кГц, а сигналом сообщения является синусоида 2 кГц (со смещением по постоянному напряжению). Таким образом, результирующий АМ сигнал состоит из трех синусоид: одна частотой 100, другая – 102 и третья – 98 кГц. В табл. 1 показано, что происходит, когда эти синусоиды перемножаются выпрямителем.

Таблица 1

Таблица результирующих АМ сигналов, кГц

Частота	**100×102**	**100×98**	**98×102**
Сумма	202	198	200
Разность	2	2	4

Заметим, что частоты двух синусоид равны частоте сигнала сообщения. Другими словами, сообщение было восстановлено. А так как два сообщения находятся в фазе, они просто складываются, и получается один сигнал с большей амплитудой.

Отметим, что синусоиды, не являющиеся сигналом сообщения, не используются, поэтому, чтобы их подавить, сохранив сигнал сообщения, выходной сигнал выпрямителя посылается на фильтр низкой частоты (ФНЧ). В идеале выходной сигнал фильтра будет состоять только из сигнала сообщения. Вероятность этого можно увеличить, сделав частоту несущей намного выше, чем самая высокая частота в сигнале сообщения. В результате частота «просуммированных» сигналов станет более высокой, что упростит их подавление в ФНЧ.

Примечание. Синусоида 4 кГц, которая также получается на выходе выпрямителя, пройдет через ФНЧ и будет присутствовать на его выходе наравне с сигналом 2 кГц. Это, конечно, мешает, так как этого сигнала не было в исходном сигнале сообщения.

Но поскольку данный сигнал генерируется в результате умножения боковых частот, то

его амплитуда намного меньше, чем амплитуда восстановленного сигнала сообщения, и может быть проигнорирована.

Почти идентичный математический процесс может быть смоделирован при помощи модуля Multiplier (Умножитель) Emona DATEx. Однако вместо того чтобы перемножать составляющие АМ сигнала (умножитель не может этого делать), данный модуль перемножает их с локально сгенерированной синусоидой, имеющей частоту 100 кГц. Следующая часть эксперимента позволит демодулировать АМ сигнал подобным способом.

40. Верните элемент управления Timebase (Масштаб по оси времени) осциллографа в его прежнее положение (вероятно, 200 μs/div).

41. Измените схему соединений, как показано на рис. 7, чтобы опять работать с АМ модулятором и синусоидой 2 кГц в качестве сигнала сообщения.

42. Установите значение пиковой амплитуды сигнала сообщения, равное 0,5 В (используйте виртуальный элемент управления G модуля Adder (Сумматор)).

43. Измените схему, как показано на рис. 8.

Модифицированная схема может быть представлена в виде блок-схемы, изображенной на рис. 9. Модуль Multiplier (Умножитель) математически моделирует процесс демодуляции АМ сигнала, а RC LPF модуля Utilities (Вспомогательный модуль) выделяет сигнал сообщения, подавляя при этом другие генерируемые синусоиды.

44. Сравните выходной сигнал модуля умножителя с выходным сигналом выпрямителя, который вы зарисовывали раньше.

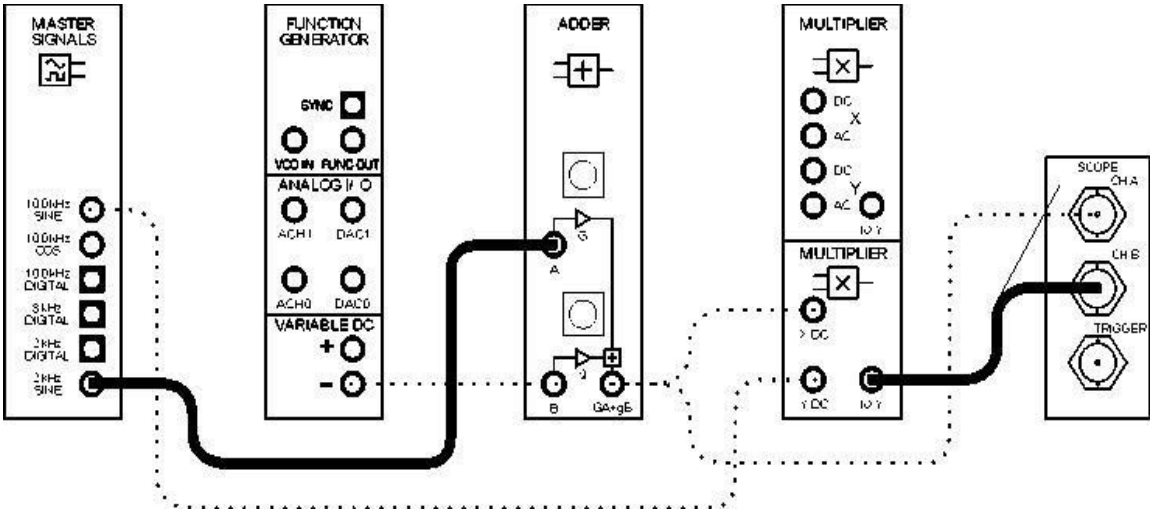


Рис. 7. Схема соединений для получения АМ сигнала

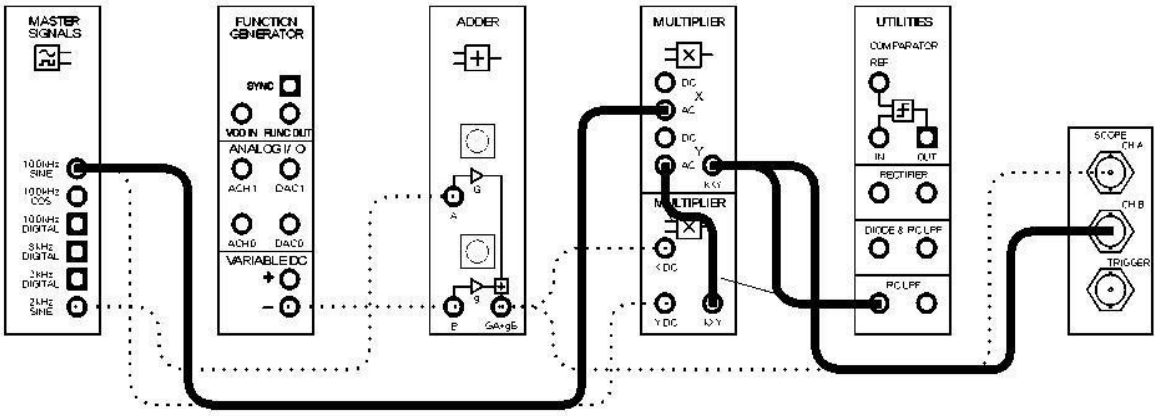


Рис. 8. Схема для детектирования АМ сигнала методом произведения

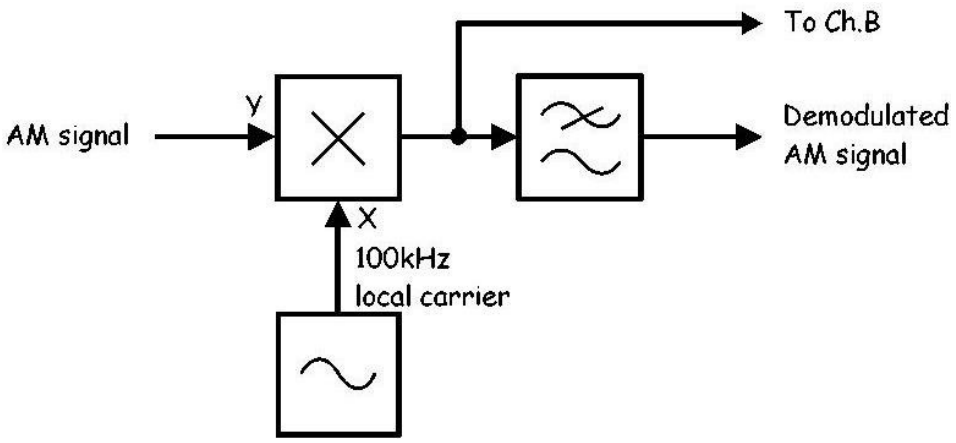


Рис. 9. Модифицированная блок-схема для демодуляции АМ сигнала:

AM signal – АМ сигнал, 100 kHz local carrier – местный сигнал несущей частотой 100 кГц, To Ch. B – к каналу B, Demodulated AM signal – демодулированный АМ сигнал

Вопрос 5

Пусть АМ сигнал (состоящий из синусоид с частотами 100, 102 и 98 кГц) умножается на синусоидальный сигнал частотой 100 кГц:

a) сколько частот будет содержать выходной сигнал модуля умножителя?
b) каковы их частоты?

a. Ответ: пять.

*b. Ответ: одна с частотой 198, вторая – 200, третья – 202 кГц и две синусоиды с частотой по 2 кГц. Эти две последние синусоиды находятся в фазе и складываются, образуя одну с большей амплитудой. Таким образом, чисто технически вы можете утверждать, что всего синусоид четыре. (**Примечание**. Синусоида с частотой 4 кГц не генерируется.)*

45. Отсоедините вход Channel B (Канала B) осциллографа от выхода модуля Multiplier (Умножитель) и подключите его к выходу RC LPF (RC ФНЧ).

46. Сравните выходной сигнал RC ФНЧ с сигналом сообщения и выходным сигналом RC ФНЧ, который зарисовывали ранее.

Обычным заблуждением по поводу АМ сигнала является мнение, что если он перемодулирован, то исходное сообщение восстановить невозможно. Однако когда АМ сигнал получен при помощи идеального или почти идеального модулятора (подобного изображенному на рис. 3), это верно только для детектора огибающей.

Методу демодуляции АМ сигнала, реализованному в этой части эксперимента (называемому детектированием произведения, хотя точнее называть это демодуляцией произведения) не свойственна такая проблема, так как при восстановлении сигнала сообщения не производится отслеживание огибающей АМ сигнала. Заключительная часть эксперимента наглядно это демонстрирует.

47. Подключите Channel A (Канал A) осциллографа к выходу АМ модулятора.

48. Установите элемент управления Trigger Source (Источник сигнала запуска) осциллографа в положение CHB.

49. Медленно увеличивайте амплитуду сигнала сообщения, регулируя виртуальный элемент управления G модуля Adder (Сумматор), чтобы получить АМ сигнал, модулированный примерно на 100%.

Примечание. Измените, если нужно, размер осциллограмм АМ сигнала и демодулированного сигнала.

50. Медленно увеличивайте амплитуду сигнала сообщения, чтобы получить АМ сигнал, который промодулирован больше, чем на 100%, при этом внимательно наблюдайте за демодулированным сигналом сообщения.

В дополнение можно сказать, что в промышленных устройствах с амплитудной модуляцией для большей эффективности обычно используют усилитель класса C (имеется в виду минимизация потерь мощности). Когда усилитель класса C работает с глубиной модуляции

больше 100%, функционирование электрической схемы не соответствует модели АМ модулятора, изображенной на рис. 3. Кроме того, важно отметить, что при этом получается огибающая, не совпадающая с исходным сигналом сообщения, а электрическая схема усилителя класса С при перемодуляции генерирует дополнительные частотные компоненты в спектре. Это значит, что ни детектирование огибающей, ни демодуляция с перемножением сигналов не смогут восстановить сигнал сообщения без искажений.

Лабораторная работа №11

Тема: Дискретизация непрерывных сигналов во времени (теорема Котельникова)

Цель работы: Исследование процессов дискретизации и восстановления непрерывных сигналов.

Схема работы и измерительная аппаратура

Исследуемое устройство (рис. 3.1) размещено на сменном блоке ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА и представляет собой дискретизатор (обозначенный на макете как перемножитель сигналов) и набор из трех фильтров - восстановителей с разными частотами среза. Источники исследуемых сигналов - S_1, S_2 и S_3 находятся в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ, а сами сигналы представляют собой суммы гармоник с частотами 2, 4 и 6кГц. (При необходимости исследуемый сигнал может быть усложнен добавлением еще одного гармонического сигнала с частотой 1кГц с помощью сумматора стенда).

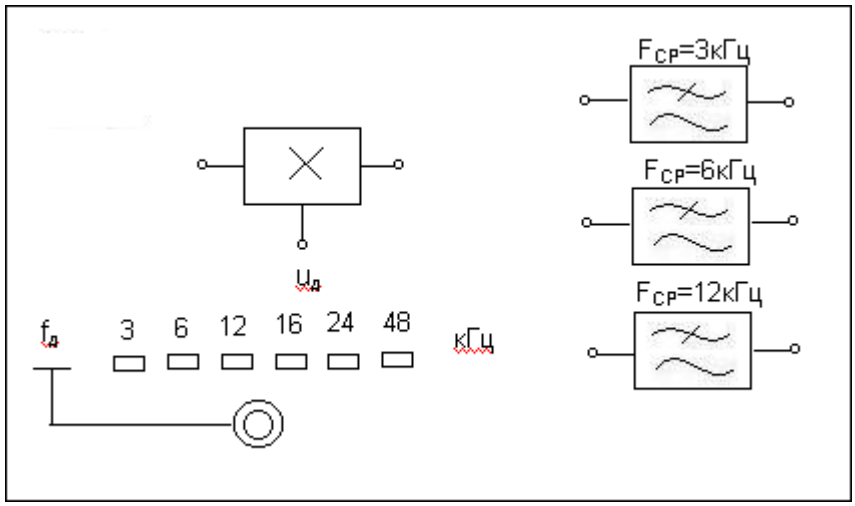


Рис. 3.1.

Дискретизатор, формирующий отсчеты s(kΔt) непрерывного сигнала s(t), выполняет функцию перемножителя этого сигнала на короткие импульсы напряжения дискретизации ($u_{дискр}$). В данном случае дискретизатор выполнен по схеме аналогового коммутатора, пропускающего входной сигнал s(t) на выход в течение короткого времени существования импульсов дискретизации. Временной интервал между соседними отсчетами дискретизированного сигнала s(kΔt) зависит от выбора частоты дискретизации $f_д$:

$$\Delta t = 1/ f_д.$$

Эта частота может изменяться дискретно при нажатии кнопки $f_д$, при этом выбранное значение этой частоты индицируется светодиодом ($f_д$=3,6,12,16,24 и 48 кГц). Все упомянутые выше частоты (частоты дискретизации и частоты гармоник исследуемых сигналов) жестко синхронизированы, что упрощает наблюдение процессов на осциллографе.

В качестве фильтров - восстановителей используются три активных ФНЧ четвертого порядка с частотами среза 3, 6 и 12 кГц. Для снятия импульсных характеристик фильтров используется генератор коротких импульсов "6 - функций" (гнезда 6(t) в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ).

В соответствии с теоремой Котельникова отсчеты, следующие через интервалы времени $\Delta t = 1/2F_В$, где $F_В$ - верхняя частота сигнала, могут быть преобразованы в исходный сигнал после

прохождения через **идеальный** ФНЧ с частотой среза $F_{СР} = F_В$. В работе используются **реальные** ФНЧ с достаточно крутыми спадами АЧХ после частоты среза. Поэтому на практике выбирают Δt несколько меньше (а иногда и в несколько раз меньше), чем требуется в теореме Котельникова с тем, чтобы реальный ФНЧ с АЧХ трапециевидной формы позволял выделить спектр исходного сигнала из спектра дискретизированного сигнала, что гарантирует отсутствие искажений при обратном преобразовании (восстановлении) сигнала.

В качестве измерительных приборов используются двухлучевой осциллограф и ПК, работающий в режиме анализатора спектра.

Лабораторное задание

1. Произвести дискретизацию одного из сложных сигналов (s_1, s_2 или s_3).
2. Исследовать спектры исходного и дискретизированного сигналов.
3. Исследовать частотные и импульсные характеристики фильтров – восстановителей.
4. Исследовать процесс восстановления дискретизированных сигналов.

Методические указания

1. Дискретизация сигнала.

1.1. Выбрать один из трех сигналов (например, s_1) в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ и подать его на вход "А" ПК, работающего в режиме спектроанализатора. (Входы ПК находятся в нижней части стенда справа).

1.2. С помощью спектроанализатора (ПК) получить спектр сигнала и определить его верхнюю частоту ($F_В$).

1.3. Рассчитать требуемую частоту дискретизации $f_д$ и установить ее на макете кнопкой " $f_д$ ".

1.4. Соединить входы двухлучевого осциллографа со входом и выходом дискретизатора, установить режим внешней синхронизации осциллографа (от гнезда С1 блока ИСТОЧНИКИ). Вход спектроанализатора подключить к выходу дискретизатора.

1.5. Зафиксировать в отчете временные диаграммы в следующем порядке (с сохранением масштаба по оси времени)

- исследуемый сигнал s(t);
- напряжение дискретизации (гнездо нижнего входа перемножителя);
- выходной дискретизированный сигнал s(kΔt).

С экрана монитора ПК зарисовать спектры перечисленных выше сигналов.

1.6. Переключая кнопкой частоту дискретизации $f_д$ на 1-2 шага выше и ниже выбранного значения $f_д$, наблюдать изменения в осциллограммах и спектрах на выходе дискретизатора. Наиболее характерные случаи зафиксировать в отчете.

2. Исследование фильтров.

С целью выбора наилучшего из трех ФНЧ в качестве фильтра - восстановителя необходимо определить частоту среза каждого из них по АЧХ либо по импульсной характеристике g(t). Кроме того, АЧХ фильтров необходима для последующей коррекции $f_д$, а импульсная реакция g(t) нужна для объяснения процесса восстановления сигнала.

2.1. Снятие АЧХ фильтра проводиться путем подачи на его вход гармонического сигнала с напряжением 1В и с частотой 1кГц от встроенного генератора в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ. К выходу фильтра подключить встроенный цифровой вольтметр переменного напряжения. Плавно увеличивая частоту генератора, снять частотную характеристику $U_{ВЫХ}=\varphi(f)$ с шагом 1-2кГц так, чтобы зафиксировать частоту среза $F_С$,

на которой $U_{ВЫХ}$ окажется в 2 раз меньше, чем на частоте 1кГц, а также частоты, на которых $U_{ВЫХ}$ уменьшится до 0,1 и 0,05 от $U_{ВЫХ}$(1кГц). Построить на одном графике АЧХ трех фильтров и отметить на них уточненные значения частот среза $F_С$. Выбрать лучший фильтр - восстановитель для исследуемого сигнала.

2.2. Снятие импульсной реакции ФНЧ производится путем подачи на вход фильтра коротких импульсов (от гнезда "6(t)" блока "ИСТОЧНИКИ"). Осциллограмма выходного сигнала будет соответствовать импульсной реакции фильтра g(t). Зарисовать осциллограммы

g(t) для трех фильтров, фиксируя на них значения "нулей" (рис. 3.2) по шкале на экране осциллографа с учетом масштаба развертки (мкс/дел). Определив Δt для каждого ФНЧ, находим частоты среза по формуле:

$F_C = 1/(2\,\Delta t)$.

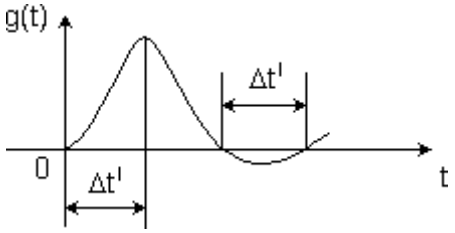


Рис. 3.2.

2.3. По пунктам 2.1 или 2.2 выбрать фильтр, наиболее пригодный для восстановления дискретизированного сигнала.

3. Восстановление дискретизированного сигнала.

3.1. Сопоставляя спектры, снятые по п.1.6 с частотной характеристикой выбранного фильтра - восстановителя, скорректировать частоту дискретизации, увеличив ее на 1 - 2 шага от расчетного значения с тем, чтобы спектр исходного сигнала s(t) можно было выделить из спектра дискретизированного сигнала с помощью выбранного реального ФНЧ.

3.2. Соединить выход дискретизатора со входом выбранного ФНЧ, установить на макете уточненное в п.3.1. значение $f_д$. Подключив один из входов осциллографа ко входу дискретизатора, а второй - к выходу ФНЧ, зафиксировать в отчете осциллограммы исходного и восстановленного сигнала.

3.3. Изменяя частоту дискретизации на 1 - 2 шага от скорректированного значения $f_д$, зафиксировать наиболее характерные осциллограммы восстановленных сигналов. В отчете привести заключение о том, допустимо ли изменять интервал между отсчетами дискретизированного сигнала (Δt).

3.4. Установив прежнее значение $f_д$, заменить выбранный ФНЧ на другой, а затем и на третий фильтр, фиксируя в отчете осциллограммы восстановленных сигналов с указанием F_C ФНЧ.

3.5. Соедините вход дискретизатора с источником периодической последовательности прямоугольных импульсов, в качестве которого используется КОДЕР-1. Установите тумблерами КОДЕРА-1 любую комбинацию из одной единицы и четырех нулей. При этом на выходе КОДЕРА-1 формируются прямоугольные импульсы длительностью 450 мкс с периодом 7650 мкс. Проведя анализ спектра этого сигнала, выберите $f_д$ и фильтр восстановитель. Зафиксируйте осциллограммы и спектры входного, дискретизированного и восстановленного сигналов.

Отчет

Отчет должен содержать:

1. Функциональную схему установки.
2. Осциллограммы, спектры и характеристики фильтров по всем пунктам задания.
3. Выводы по пунктам 3.3 и 3.5.

Контрольные вопросы

1. Каков практический смысл в дискретизации аналоговых сигналов?
2. Сформулируйте теорему Котельникова.
3. При каких условиях теорема Котельникова гарантирует двойное преобразование сигналов (дискретизация и восстановление) без искажений?
4. Могут ли быть дискретизированы и затем восстановлены импульсы прямоугольной формы?
5. Каков алгоритм восстановления дискретизированного сигнала?
6. Какова роль ряда Котельникова в объяснении процесса восстановления сигнала?
7. Что такое базисная функция?
8. Какую функцию выполняет ФНЧ?

9. С какой целью в работе исследовались спектры исходного и дискретизированного сигналов?

10. Можно ли произвольно увеличивать или уменьшать Δt между отсчетами? К чему это может привести?
11. В чем отличие идеального и реального ФНЧ?
12. С чем связана необходимость корректировать значение частоты дискретизации?
13. Как Вы представляете себе процесс дискретизации аналогового сигнала? Какие функциональные узлы для этого необходимы?
14. Все ли аналоговые сигналы могут быть:
- дискретизированы во времени;
- восстановлены после дискретизации.

15. Назовите причины, вызывающие искажения при восстановлении дискретизированных сигналов.

Практическая работа №12
Тема: Моделирование системы передачи с временным разделением каналов TDM

Цель:

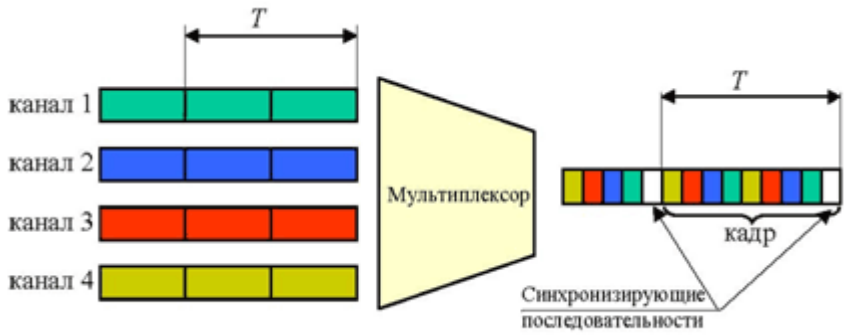
Изучите, что такое АИМ-сигнал и вспомните методы мультиплексирования в Приложении к практической работе №4 (pdf-файл на \\edis6)

Задание:

Разобраться в принципе работы системы с временным разделением каналов (мультиплексированием)

Суть задания: нам необходимо в одной линии связи передавать множество цифровых потоков данных. Для этого надо понять принцип передачи сигналов от множества абонентов по одной линии связи. Исследуем образование группового сигнала, но в упрощенном виде – не на основе передачи в одной линии связи цифровых потоков как на рисунке справа, а на основе передачи в одной линии связи нескольких АИМ-сигналов

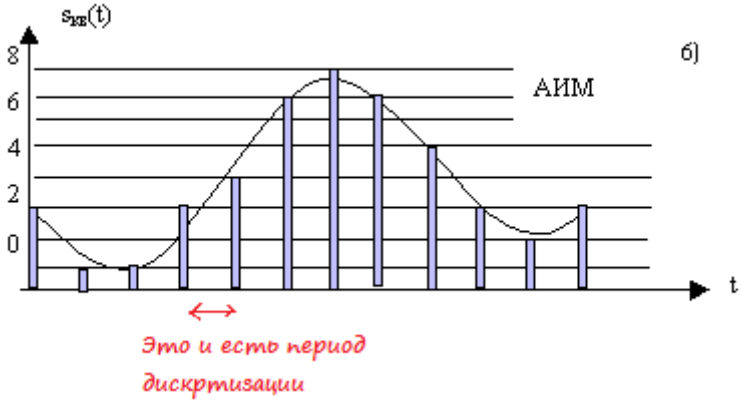
Передача цифровых потоков с ВРК



Порядок действий:

1) Рассчитать частоту дискретизации для аналоговых сигналов s1(t), s2(t), s3(t) с заданными по варианту частотами с помощью теоремы о дискретизации.

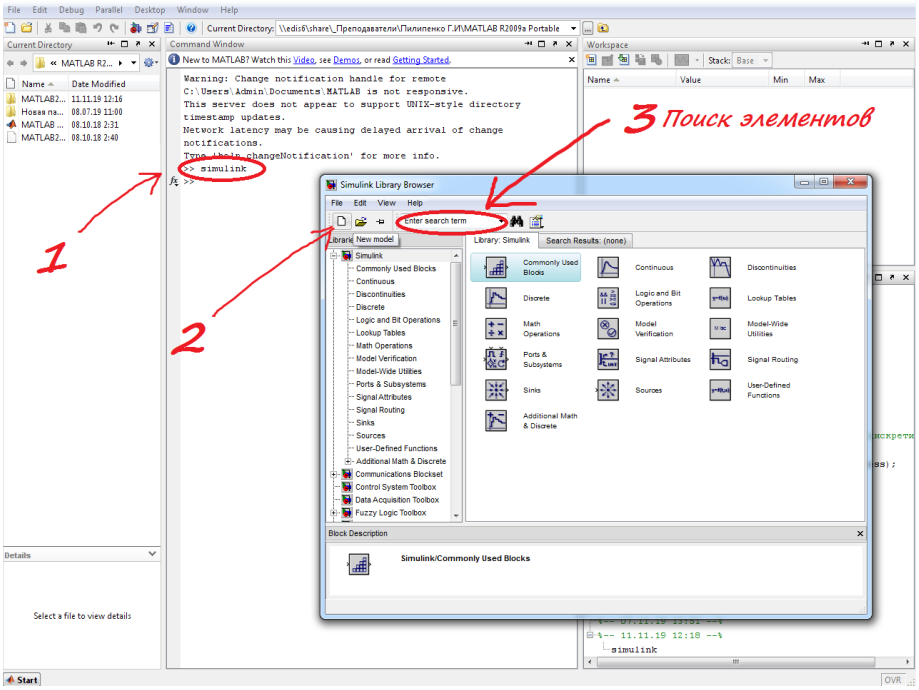
2) Вычислить период дискретизации



3) В программном пакете MATLAB SIMULINK собрать модель многоканальной системы передачи

3.1) Запустить программу MATLAB

3.2) В открывшейся программе в окне Command Window после >> написать simulink и нажать клавишу Enter (Шаг №1 на рисунке).



3.3) В открывшемся спустя некоторое время окне Simulink Library Browser выбрать New Model (как на рисунке выше Шаг №2)

3.4) Используя поиск элементов (Шаг №3 на рисунке), собрать следующую схему (блоки надо просто перетаскивать из библиотеки на рабочее поле)

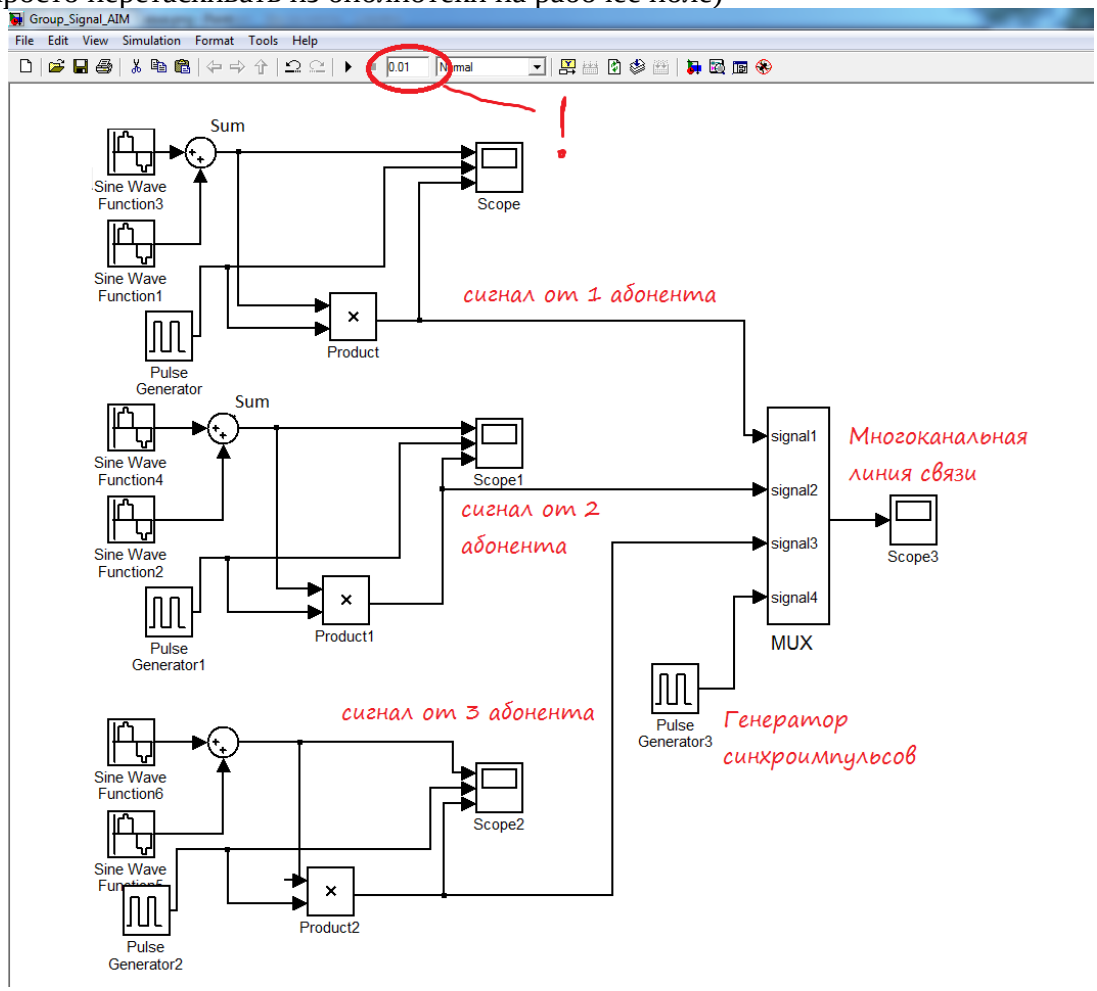


Рис. Модель многоканальной системы передачи в MATLAB SIMULINK

3.5) Настроить параметры блоков в соответствии со своими значениями сигналов — Как сделать 3 входа у Scope? —

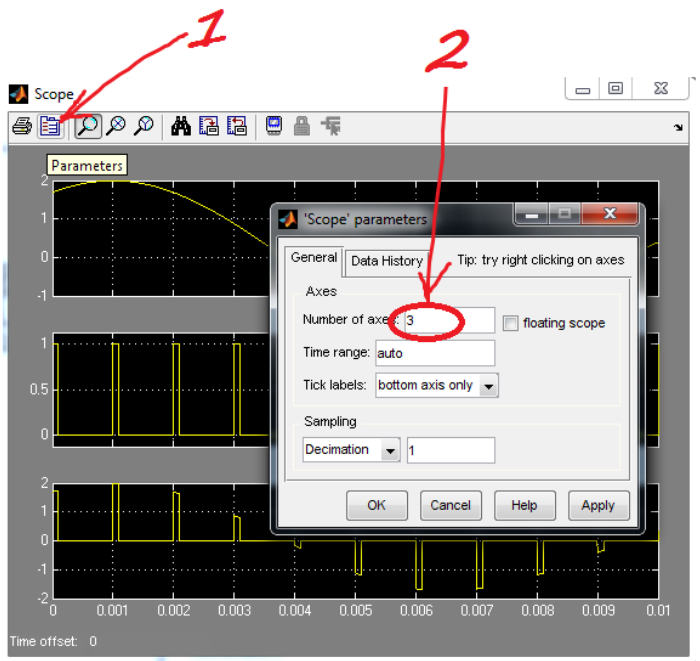


Рис. Пример настройки 3 входов для Scope

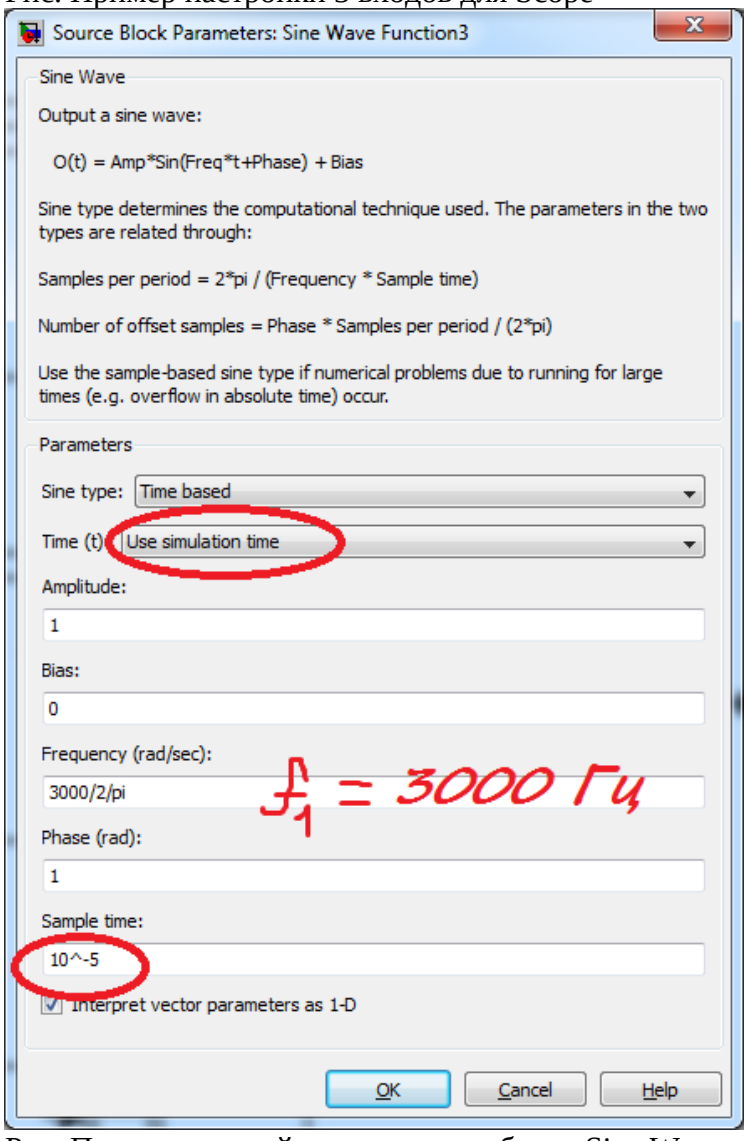


Рис. Пример настройки параметров блока Sine Wave для первого сигнала

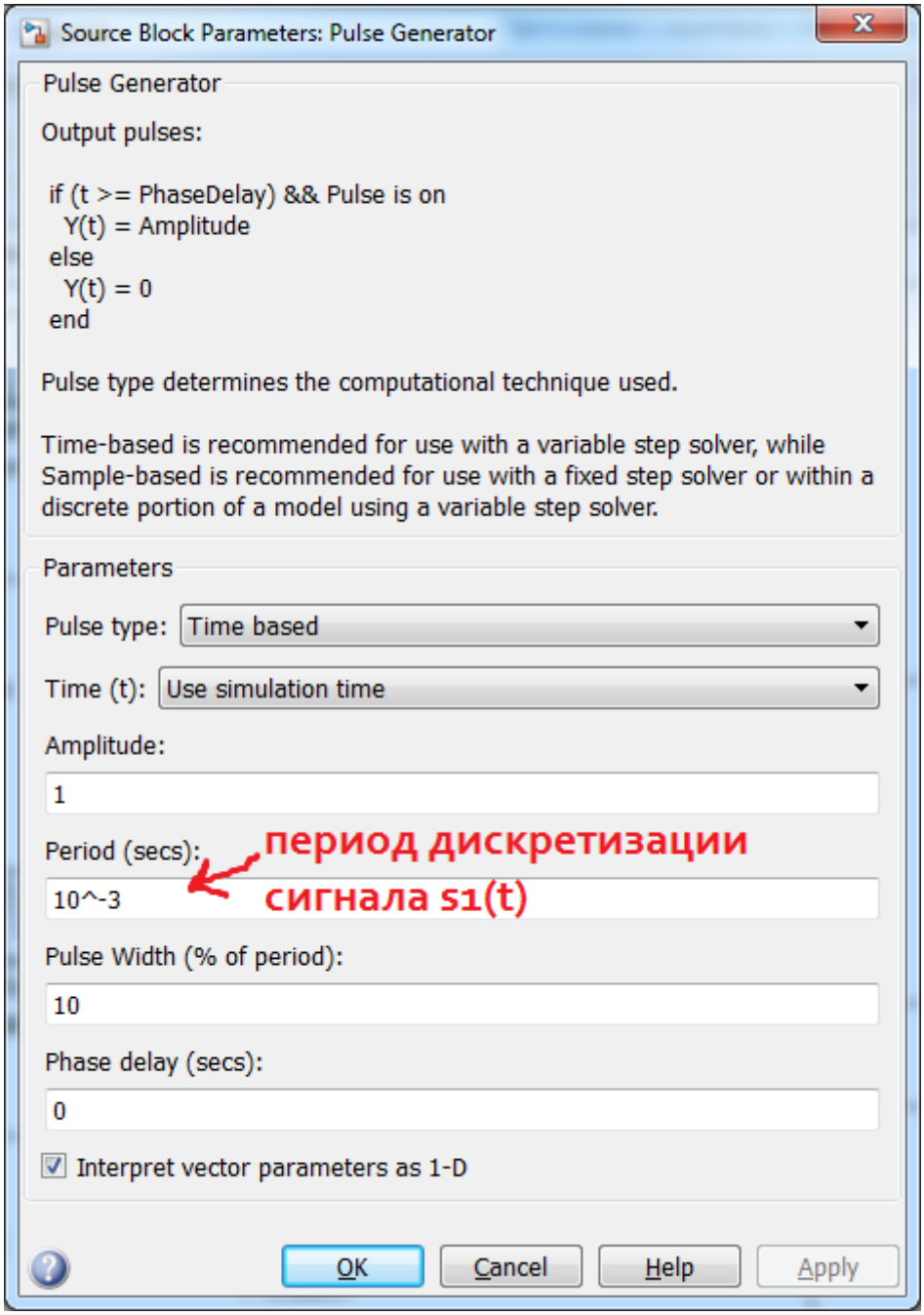
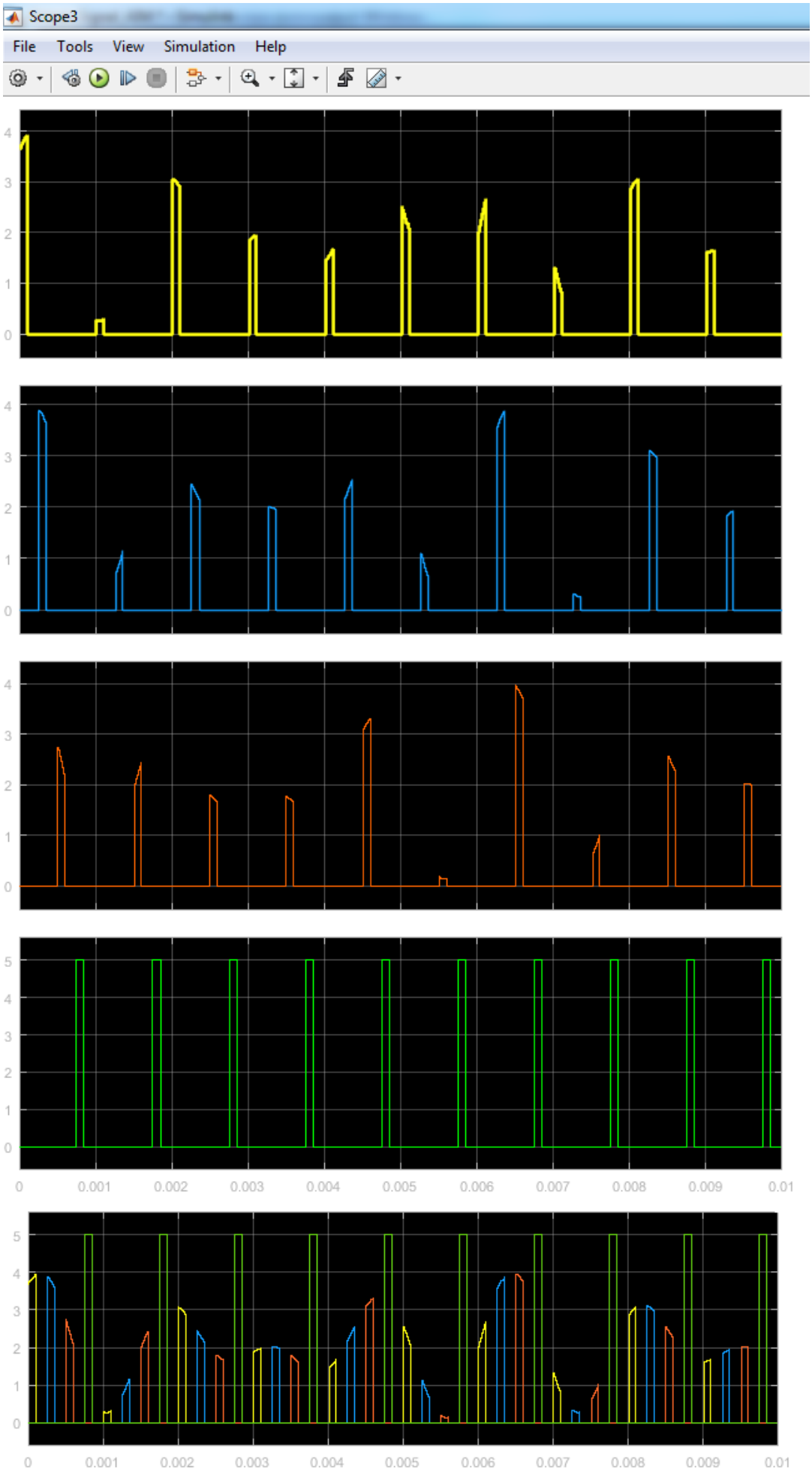
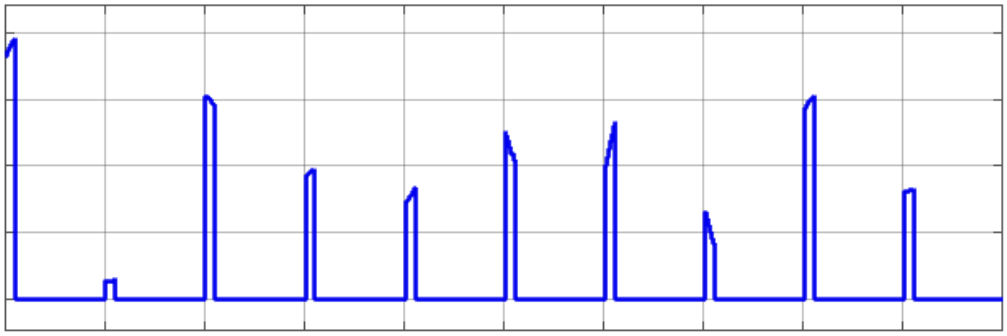
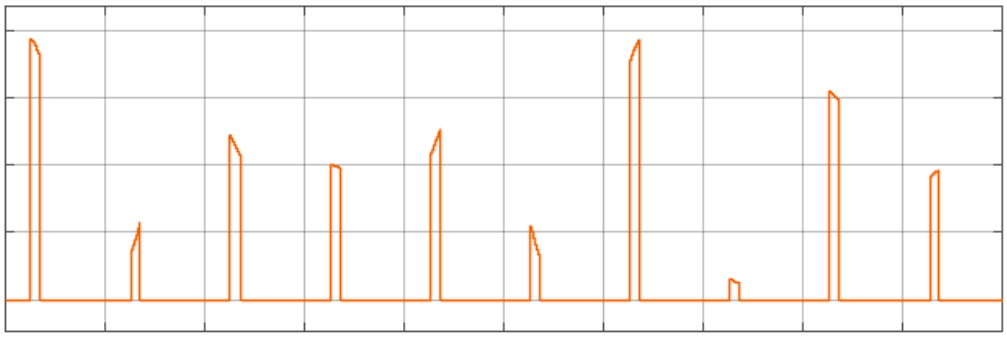


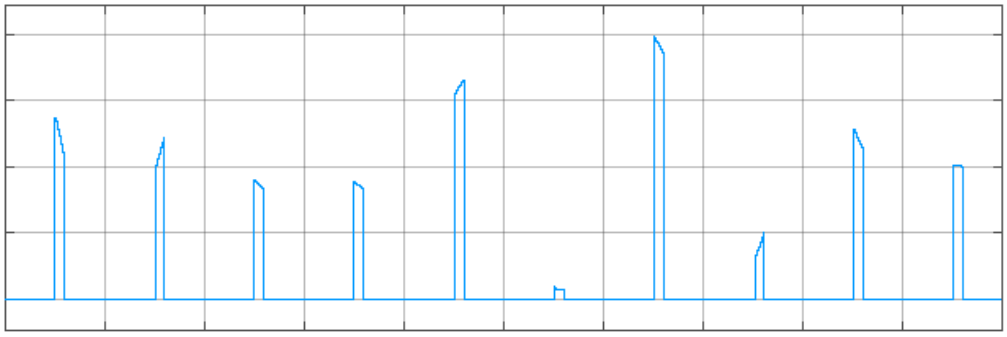
Рис. Пример настройки параметров блока Pulse Generator для первого сигнала

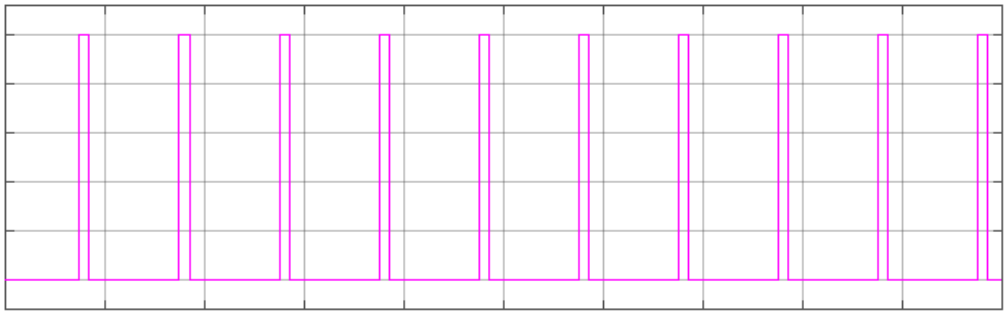
4) Привести в отчёте скриншот полученного в результате компьютерного моделирования группового АИМ сигнала, полученного на самом правом Scope, но подписать на нем все обозначения как на Рисунке 2 из методички. Чтобы рационально с экономией тонера принтера распечатать рисунок (осциллограммы), необходимо в стандартной программе Paint инвертировать цвета, как показано на рисунках ниже

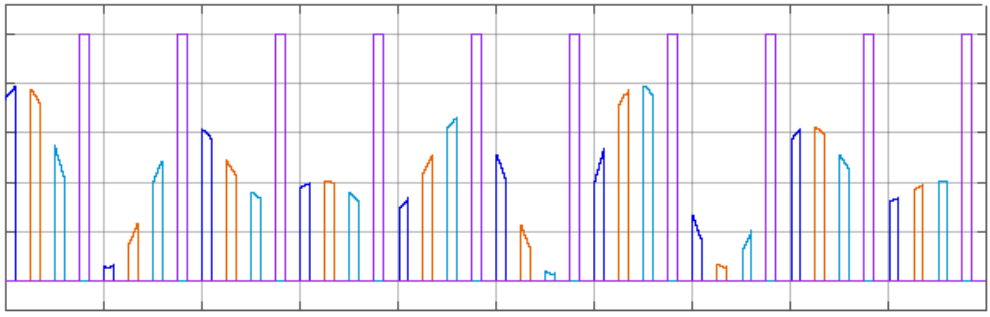

Scope3
File
Tools
View
Simulation
Help
0
1
2
3
4
5
0
0.001
0.002
0.003
0.004
0.005
0.006
0.007
0.008
0.009
0.01











К заданию

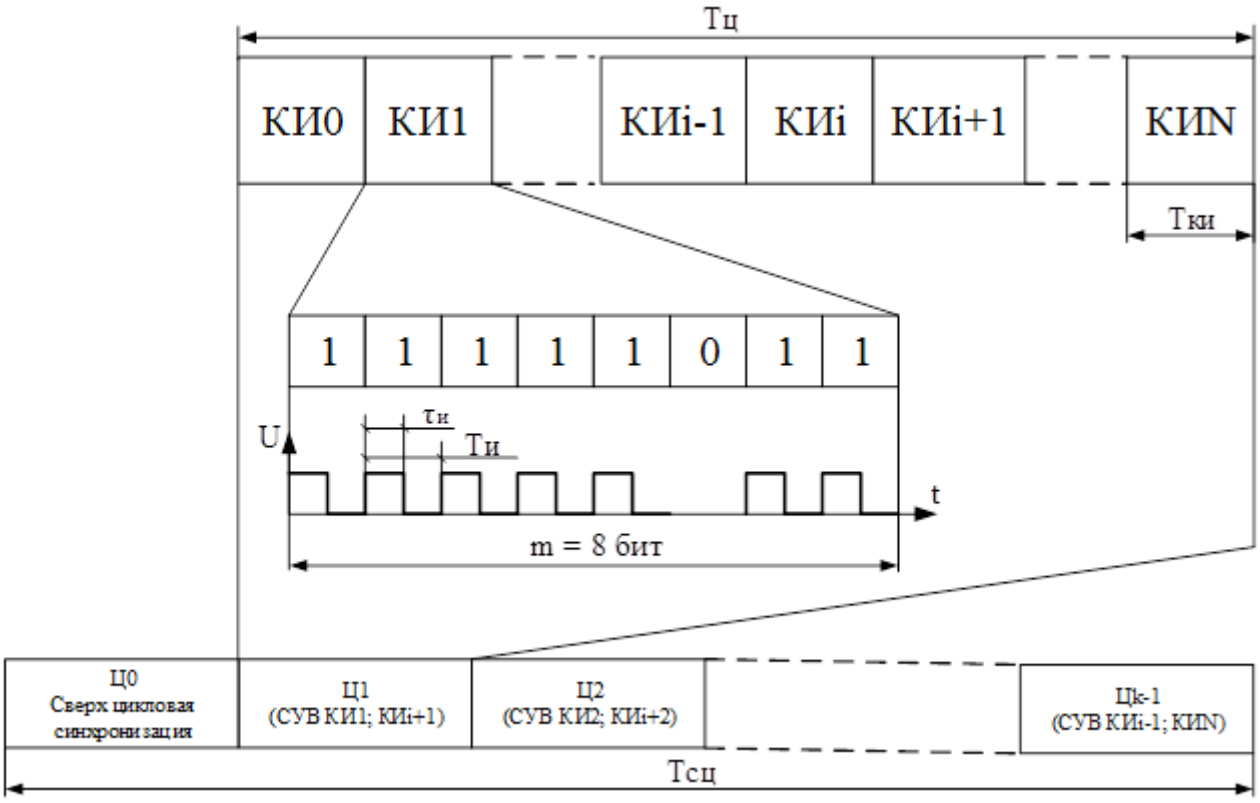


Рисунок 5 – Обобщенная структура группового цифрового потока (КИ – это канальные интервалы, в которых передаются биты информации; Ц – это циклы (в каждом цикле передается N каналов; СЦ – это сверхциклы).

Лабораторная работа №13
Тема: Линейное кодирование и восстановление сигнала битовой синхронизации

Теоретический материал

Корректирующий код (также **помехоустойчивый код**) — код, предназначенный для обнаружения и исправления ошибок.

Основная техника — добавление при записи (передаче) в полезные данные специальным образом структурированной избыточной информации (например, контрольного числа), а при чтении (приёме) использование такой избыточной информации для обнаружения и исправления ошибки. Число ошибок, которое можно исправить, ограничено и зависит от конкретного применяемого кода.

Коды обнаружения ошибок (которые могут только установить факт ошибки) принадлежат к тем же классам кодов, что и коды, исправляющие ошибки. Фактически любой код, исправляющий ошибки, может быть также использован для обнаружения ошибок (при этом он будет способен обнаружить бóльшее число ошибок, чем был способен исправить). Коды, исправляющие ошибки, применяются в системах цифровой связи, в том числе: спутниковой, радиорелейной, сотовой, передаче данных по телефонным каналам, а также в системах хранения информации, в том числе магнитных и оптических. Коды, обнаруживающие ошибки, применяются в сетевых протоколах различных уровней. По способу работы с данными коды, исправляющие ошибки, делятся на блоковые[⇨], делящие информацию на фрагменты постоянной длины и обрабатывающие каждый из них в отдельности, и свёрточные

1 Цель работы:

1.1 Исследовать параметры и характеристики линейных кодов Bi-0, RZ- AMI, NRZ-M, NRZ-L.

2 Подготовка к работе:

2.1 Изучить теоретический материал, относящийся к данной работе по электронной лабораторной работе, литературе и приложению к работе.

2.2 Подготовить бланк отчета.

3 Порядок выполнения работы:

Часть 1

1 Пройдите тест электронной лабораторной работы.

2 Используя любые специализированные программные среды (MathCad, MATLAB, LabView или др.) или языки программирования, сгенерируйте импульсный сигнал с тактовой частотой синхронизации 10 ГГц в соответствии с линейными кодами Bi-0 (Manchester), RZ-AMI, NRZ-M, NRZ-

L. Определите спектр сигнала и ширину спектра сигнала. Заполните таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры спектра линейного кода

Метод кодирования	Ширина спектра
NRZ-L	
Bi_0-L (Manchester)	
RZ-AMI	
NRZ-M	

3 Измерьте и запишите в таблицу 2 первую частоту гармоники с нулевой амплитудой сигнала (нуль после первого «лепестка» спектра) для каждого кода.

Таблица 2 – Значения параметров первой гармонии

Метод кодирования	Частота первого нуля (частота сигнала битовой синхронизации)
NRZ-L	
Bi_0-L	
RZ-AMI	
NRZ-M	

4 Определите относительное значение амплитуды гармоники с частотой сигнала битовой синхронизации в спектре кодированного сигнала (относительно максимума спектра).

Таблица 3 – Частота синхроимпульсов

Метод кодирования	Относительное значение амплитуды сигнала битовой синхронизации (в дБ)
NRZ-L	
Bi_0-L	
RZ-AMI	
NRZ-M	

5Сделайте выводы по результатам полученных значений по каждой таблице.

Часть 2

1 Запустите программу OptiSystem.

Целью задания будет собрать и исследовать схему 16 канальной системы WDM, которая приведена на рисунке 1.

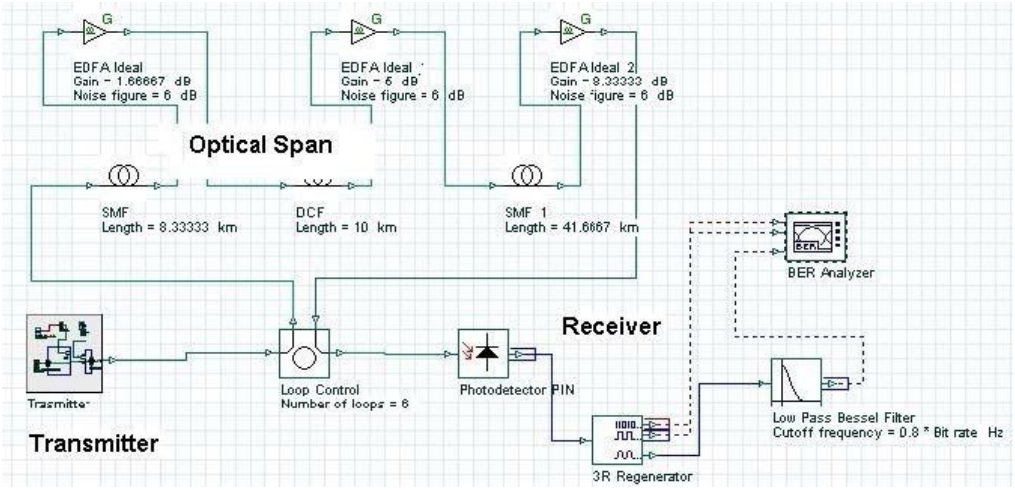
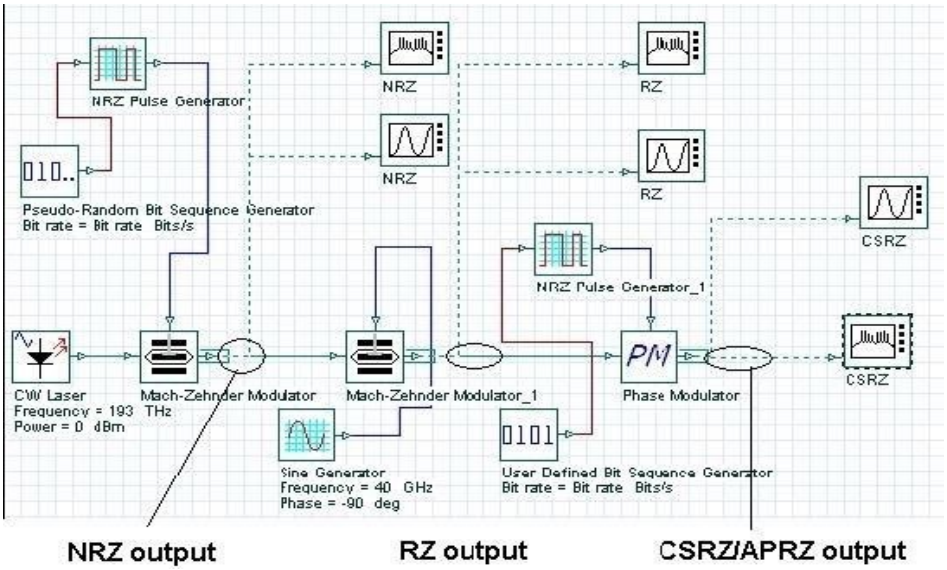


Рис. 1 Схема 16 канальной системы WDM

Тремя основными блоками системы связи являются передатчик (Transmitter), участок ВОЛС (Optical Span) и приемник (Receiver). Сначала соберем эти три составляющие по отдельности.

2 Соберите схему оптического передатчика (Transmitter), которая приведена на рисунке 2.



Процесс преобразования потока цифровых данных в последовательность световых импульсов (где наличие импульса соответствует “1”, а отсутствие импульса соответствует “0”) известен как модуляция. При скорости передачи данных до 40 Гбит/с (рассматриваемой здесь) прямое включение и выключение лазера (известное как прямая

модуляция) невозможно из-за переходных эффектов, происходящих внутри лазера. Поэтому мы используем внешнюю модуляцию, что означает, что лазер будет работать в режиме постоянной амплитуды волны излучения, а внешнее устройство (модулятор) преобразует это излучение в последовательность оптических импульсов.

Параметр отклонения фазы фазового модулятора установлен на 180°. Модулятор, показанный на рисунке 1, имеет три ступени. После каждого этапа создаются форматы модуляции, известные как форматы модуляции NRZ (без возвращения к нулю), RZ (с возвращением к нулю) и CSRZ (подавление несущей – с возвращением к нулю).

В отчет вставьте осциллограмму каждого из трех линейных кодов и их справа от нее спектрограмму соответствующего кода.

ЗСоберите схему участка ВОЛС (Optical Span), которая приведена на рисунке 3.

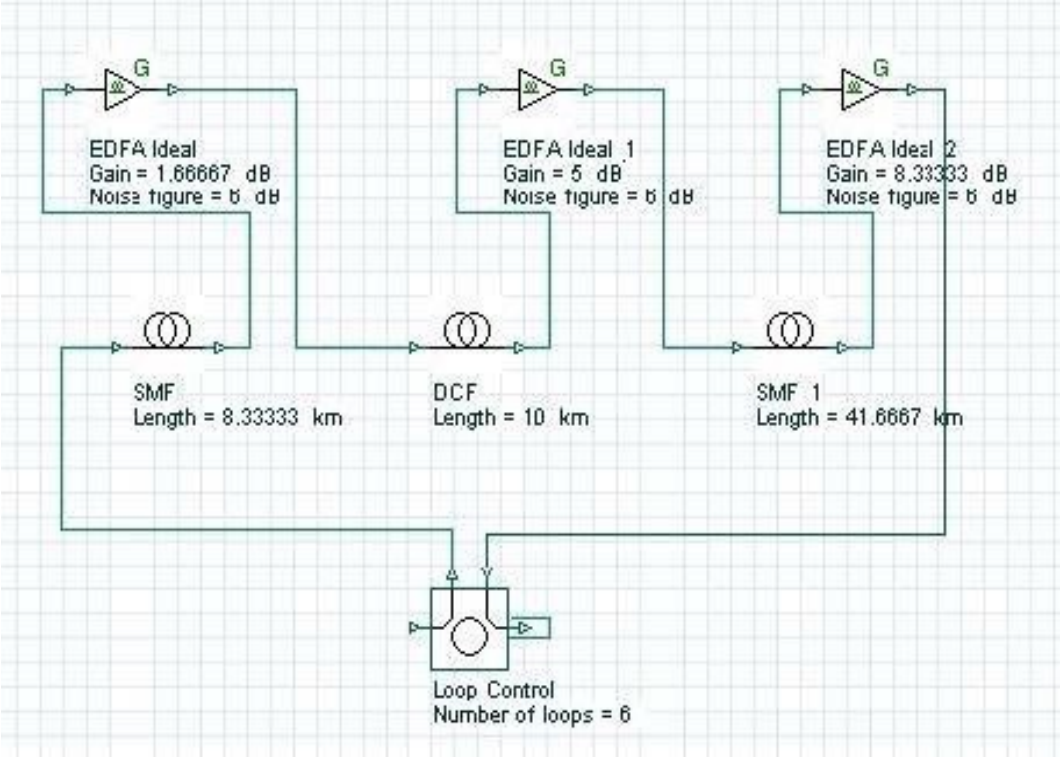
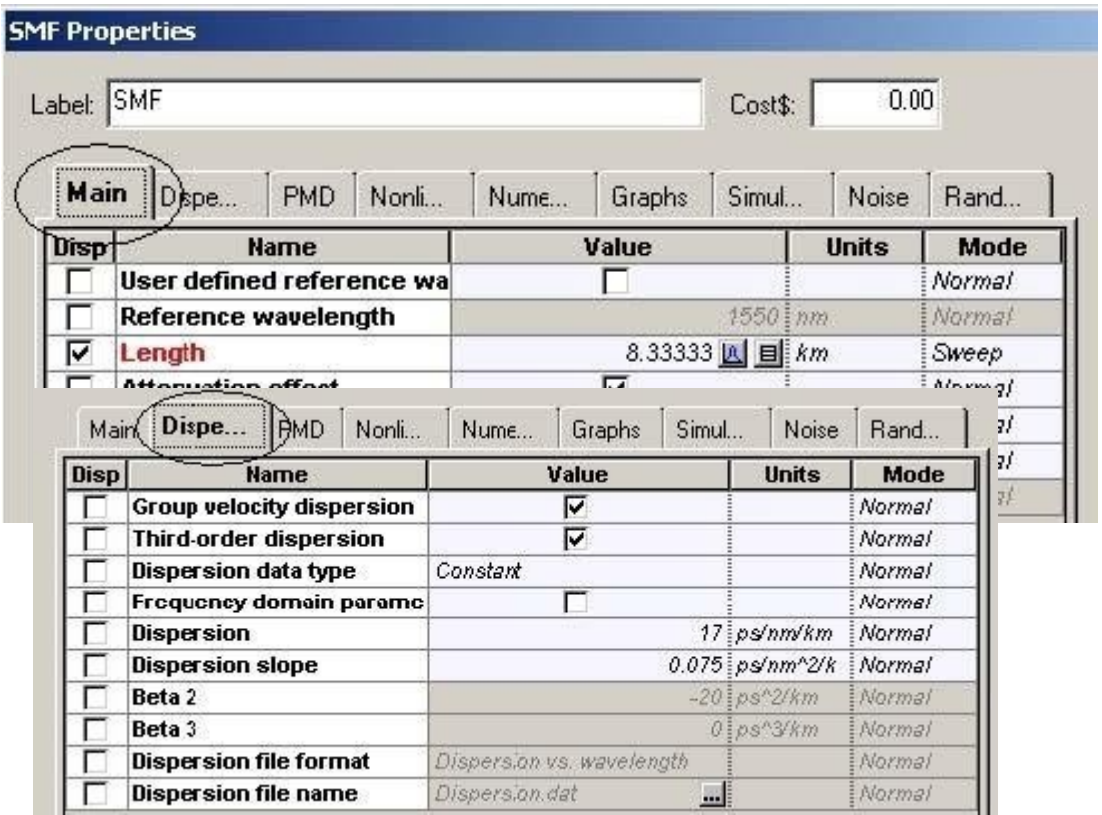
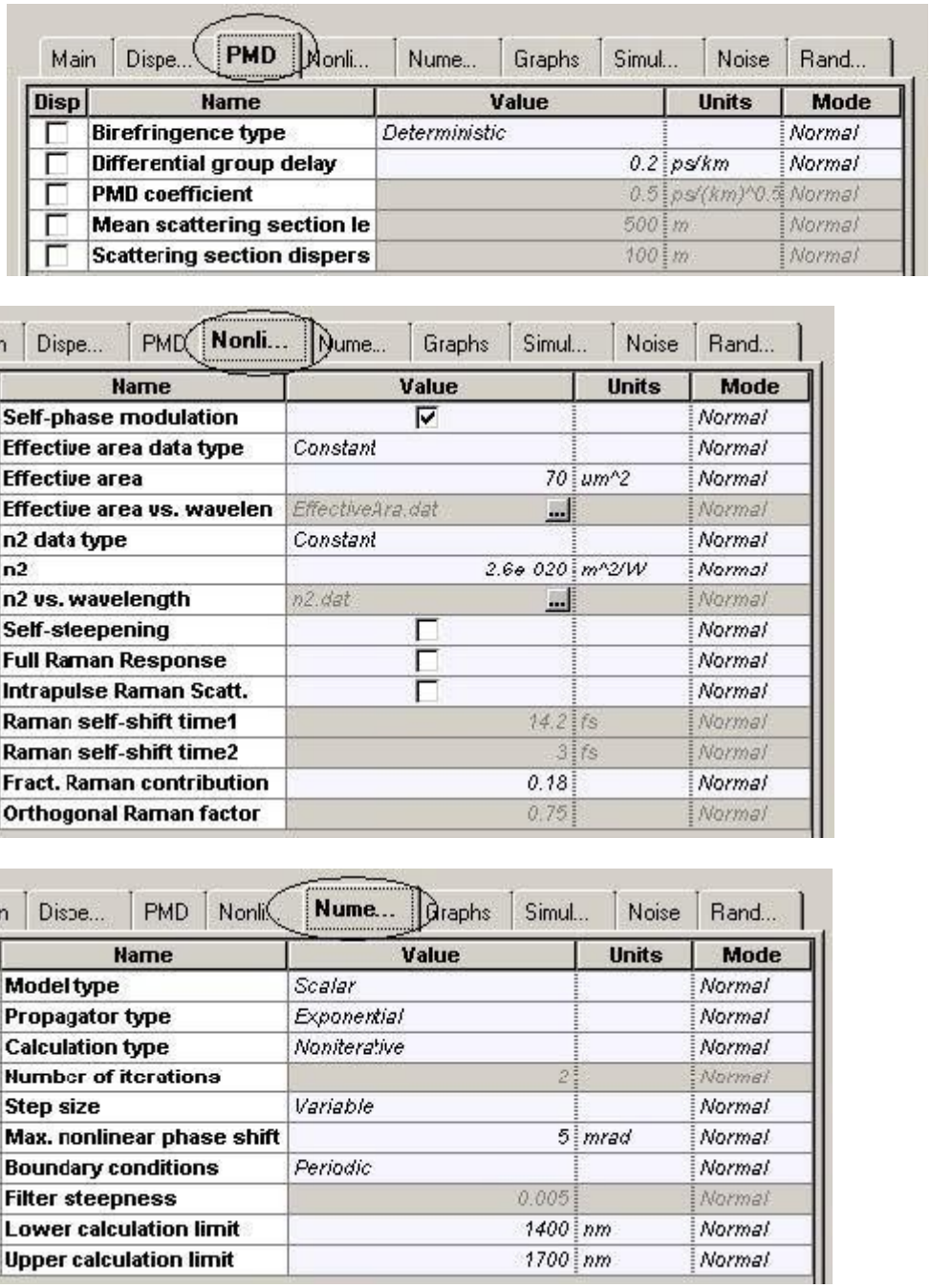


Рис 3. Схема оптической секции

Параметры блоков выставите в соответствии с рисунками ниже. Показатель шума усилителей должен быть установлен на уровне 6 дБ.





Main | Dispe... | PMD | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Birefringence type	Deterministic		Normal
☐	Differential group delay	0.2	ps/km	Normal
☐	PMD coefficient	0.5	ps/(km)^0.5	Normal
☐	Mean scattering section le	500	m	Normal
☐	Scattering section dispers	100	m	Normal

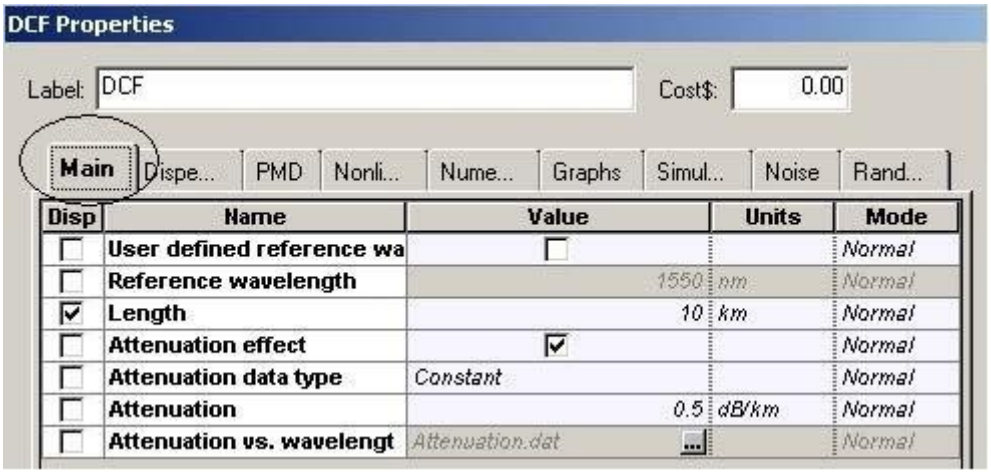
Main | Dispe... | PMD | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

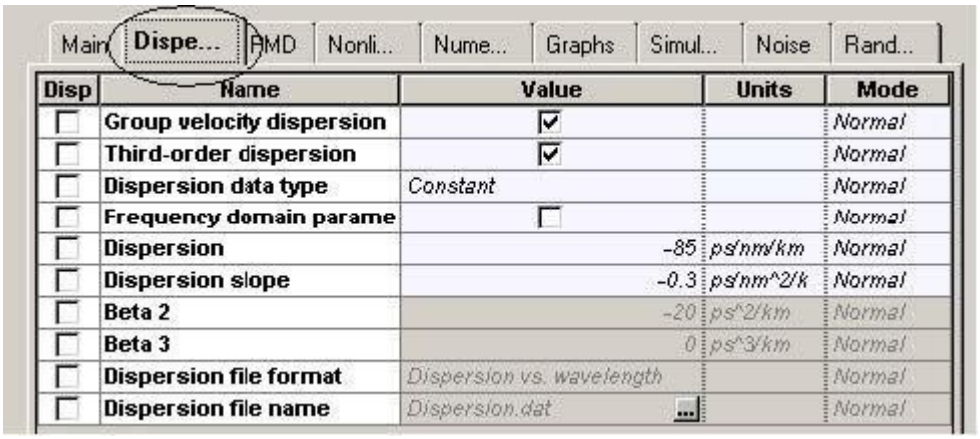
Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Self-phase modulation	☑		Normal
☐	Effective area data type	Constant		Normal
☐	Effective area	70	um^2	Normal
☐	Effective area vs. wavelen	EffectiveAra.dat ...		Normal
☐	n2 data type	Constant		Normal
☐	n2	2.6e 020	m^2/W	Normal
☐	n2 vs. wavelength	n2.dat ...		Normal
☐	Self-steepening	☐		Normal
☐	Full Raman Response	☐		Normal
☐	Intrapulse Raman Scatt.	☐		Normal
☐	Raman self-shift time1	14.2	fs	Normal
☐	Raman self-shift time2	3	fs	Normal
☐	Fract. Raman contribution	0.18		Normal
☐	Orthogonal Raman factor	0.75		Normal

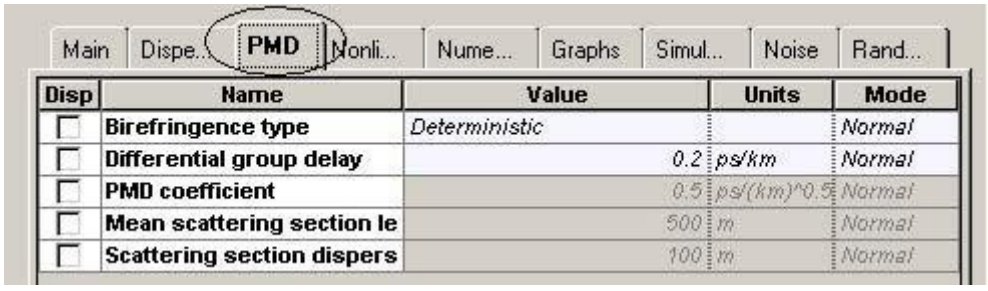
Main | Dispe... | PMD | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

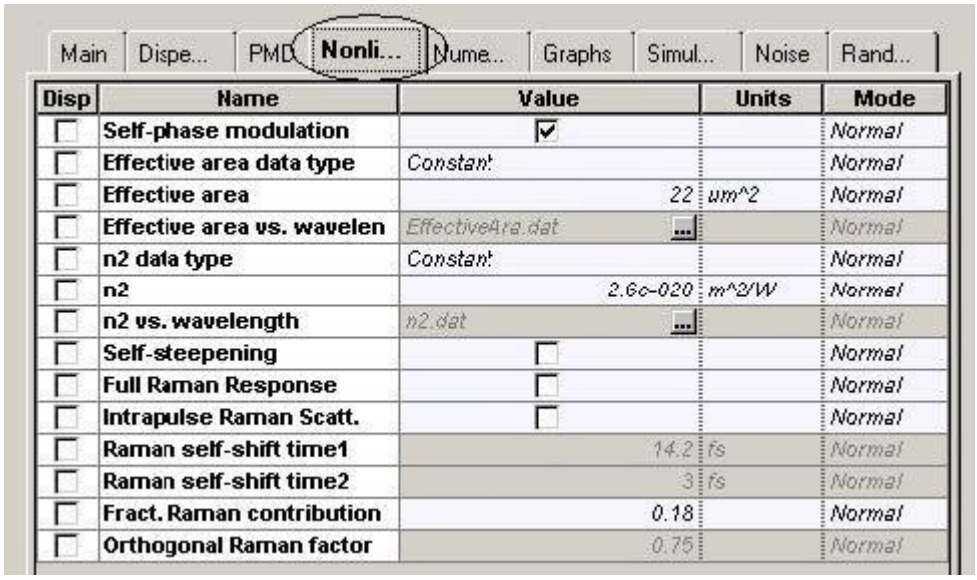
Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Model type	Scalar		Normal
☐	Propagator type	Exponential		Normal
☐	Calculation type	Noniterative		Normal
☐	Number of iterations	2		Normal
☐	Step size	Variable		Normal
☐	Max. nonlinear phase shift	5	mrad	Normal
☐	Boundary conditions	Periodic		Normal
☐	Filter steepness	0.005		Normal
☐	Lower calculation limit	1400	nm	Normal
☐	Upper calculation limit	1700	nm	Normal

Рис. 4. – Параметры SMF


DCF Properties
Label: DCF
Cost$: 0.00
Main
Dispe...
PMD
Nonli...
Nume...
Graphs
Simul...
Noise
Rand...
Disp | Name | Value | Units | Mode
User defined reference wa | Normal
Reference wavelength | 1550 | nm | Normal
Length | 10 | km | Normal
Attenuation effect | Normal
Attenuation data type | Constant | Normal
Attenuation | 0.5 | dB/km | Normal
Attenuation vs. wavelengt | Attenuation.dat | Normal


Main
Dispe...
PMD
Nonli...
Nume...
Graphs
Simul...
Noise
Rand...
Disp | Name | Value | Units | Mode
Group velocity dispersion | Normal
Third-order dispersion | Normal
Dispersion data type | Constant | Normal
Frequency domain parame | Normal
Dispersion | -85 | ps/nm/km | Normal
Dispersion slope | -0.3 | ps/nm^2/k | Normal
Beta 2 | -20 | ps^2/km | Normal
Beta 3 | 0 | ps^3/km | Normal
Dispersion file format | Dispersion vs. wavelength | Normal
Dispersion file name | Dispersion.dat | Normal


Main
Dispe...
PMD
Nonli...
Nume...
Graphs
Simul...
Noise
Rand...
Disp | Name | Value | Units | Mode
Birefringence type | Deterministic | Normal
Differential group delay | 0.2 | ps/km | Normal
PMD coefficient | 0.5 | ps/(km)^0.5 | Normal
Mean scattering section le | 500 | m | Normal
Scattering section dispers | 100 | m | Normal


Main
Dispe...
PMD
Nonli...
Nume...
Graphs
Simul...
Noise
Rand...
Disp | Name | Value | Units | Mode
Self-phase modulation | Normal
Effective area data type | Constant | Normal
Effective area | 22 | um^2 | Normal
Effective area vs. wavelen | EffectiveAra.dat | Normal
n2 data type | Constant | Normal
n2 | 2.6e-020 | m^2/W | Normal
n2 vs. wavelength | n2.dat | Normal
Self-steepening | Normal
Full Raman Response | Normal
Intrapulse Raman Scatt. | Normal
Raman self-shift time1 | 14.2 | fs | Normal
Raman self-shift time2 | 3 | fs | Normal
Fract. Raman contribution | 0.18 | Normal
Orthogonal Raman factor | 0.75 | Normal

Main | Dispe... | PMD | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

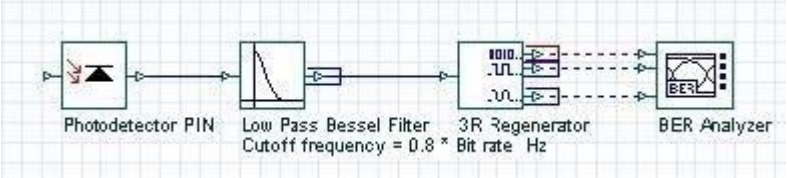
Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Model type	Scalar		Normal
☐	Propagator type	Exponential		Normal
☐	Calculation type	Noniterative		Normal
☐	Number of iterations	2		Normal
☐	Step size	Variable		Normal
☐	Max. nonlinear phase shift	5	mrad	Normal
☐	Boundary conditions	Periodic		Normal
☐	Filter steepness	0.005		Normal
☐	Lower calculation limit	1400	nm	Normal
☐	Upper calculation limit	1700	nm	Normal

Рис. 5. – Параметры DCF

При скорости передачи данных 40 Гбит/с при длине волны 1.55 мкм, при условии стандартных одномодовых волокон (SMF) и гауссовых импульсов с коэффициентом заполнения 0.5, ограничение длины ВОЛС по дисперсии будет порядка 3 км. Длина линии составляет 50 км (длина волокна, компенсирующего рассеивание (DCF), не включена). Это означает, что во время распространения в пределах одной ячейки не только наблюдается сильное перекрытие между соседними импульсами, но и исходный поток битов будет полностью скремблирован из-за расширения импульса, вызванного дисперсией. Этот режим распространения, известный как

«наложение импульсов», имеет очень большое практическое значение, поскольку в этом случае влияние нелинейных эффектов, возникающих из-за взаимодействия перекрывающихся импульсов, принадлежащих одному и тому же информационному каналу (известных как внутриканальные нелинейности), уменьшается. Такая концепция предполагает создать картину быстро меняющейся интенсивности света, чтобы бороться с воздействием нелинейности.

4 Соберите схему приемника, которая приведена на рисунке 6. Он состоит из PIN-фотодиода, электрического фильтра Бесселя нижних частот четвертого порядка с частотой среза 32 ГГц (скорость передачи 0,8 *бит) и анализатора BER с сохранением настроек по умолчанию. Тепловой шум фотодетектора не принимается во внимание.



5 В отчет вставьте глаз-диаграммы для каждого вида линейного кода. Постройте графики зависимости BER от величины мощности сигнала на входе ОВ. Определите наиболее эффективный метод линейного кодирования в рассматриваемом случае.

6 Уберите из линии ОВ с компенсацией дисперсии DCF и исследуйте, как изменились результаты, в том числе BER.

ЗАДАНИЕ

1. Дайте определение понятия «кодирование сообщений». Поясните: какие коды называются «корректирующими». Поясните принципы построения корректирующих кодов.
2. Приведите классификацию корректирующих кодов.
3. Дайте краткую характеристику циклических кодов.
4. На вход декодера поступили кодовые комбинации: B'_1, B'_2 , B'_3, B'_4 , B'_5 циклического кода (7, 4). Определить: число информационных символов k, число проверочных символов r. Обнаружить и исправить ошибки в принятых комбинациях, если таковые имеются. Исходные данные приведены в Таблице 5.

Для нечетных вариантов используется порождающий полином $G_1 = x^3 + x^2 + 1$, а для четных - порождающий полином $G_2 = x^3 + x^1 + 1$

Таблица 5 – Исходные данные

№ варианта	Принятые кодовые комбинации				
	B'_1	B'_2	B'_3,	B'_4	B'_5
1	1100111	1110011	1000111	0011100	0111001
2	1010101	1100110	1001101	1011010	0010101
3	0011100	0101010	1010111	0110011	1001100
4	1100110	1100100	0010101	1010100	1111100
5	0011111	0101010	1010101	0011011	0111010
6	1110011	1100111	0011011	0111001	0011100
7	1010101	1110100	1011101	1111011	0110011
8	0011010	1100101	0000111	0111001	0110011
9	0111001	0010101	1001100	1111111	0001100
10	1110111	0110011	1100100	1101010	1010101

Методические указания по выполнению задания

Под кодированием понимают преобразование сообщений дискретного источника для передачи их по дискретному каналу. Реализация кодирования на передающей стороне всегда предполагает применение обратной процедуры – декодирования для восстановления принятого сообщения Устройства, осуществляющие кодирование и декодирование, называются соответственно кодер и декодер.

По своему назначению кодирование подразделяется на примитивное, экономное и помехоустойчивое.

Помехоустойчивое, или избыточное, кодирование применяется для обнаружения и (или) исправления ошибок, возникающих при передаче по дискретному каналу, и, следовательно, такие коды являются корректирующими.

Принцип построения корректирующих кодов заключается в том, что из общего числа возможных кодовых комбинаций M_0 используются только часть комбинаций M_P , $M_P<M_0$. Остальные комбинации являются запрещенными и их появление свидетельствует о возникновении ошибки. Таким образом, любой корректирующий код является кодом с избыточностью.

Исходя из основных параметров и способов кодирования, корректирующие коды можно подразделить на блоковые и непрерывные.

В блоковых кодах каждому знаку алфавита соответствует кодовая комбинация (блок) из n элементов. Операции кодирования и декодирования в каждом блоке производятся отдельно.

В непрерывных кодах информационная последовательность не разделяется на блоки, а проверочные символы размещаются определенным образом между информационными символами.

И блоковые, и непрерывные коды могут быть разделимыми и неразделимыми.

В разделимых кодах всегда можно выделить информационные и проверочные символы, а в неразделимых – нет.

Разделимые коды, в свою очередь, делятся на систематические и несистематические. Систематическими называются коды, у которых сумма «по модулю 2» двух разрешенных кодовых комбинаций снова дает разрешенную комбинацию.

Циклические коды являются блоковыми разделимыми кодами. Обозначение «(n, k) – код» указывает на общее количество символов в комбинации - n , информационных символов - k , число проверочных символов r определяется по формуле r = n – k.

Циклические коды относятся к систематическим. Они получили название благодаря своему свойству: циклическая перестановка символов разрешенной кодовой комбинации дает снова разрешенную комбинацию. В теории циклических кодов все преобразования производятся в виде математических операций над полиномами (многочленами). В частности, для

обнаружения ошибочно принятого символа достаточно разделить полином, представляющий принятую кодовую комбинацию *B'(x)*, на порождающий полином *G(x)*. Остаток от деления *R(x)* будет являться синдромом кода *C*, который укажет на расположение ошибки в кодовой комбинации. Взаимосвязь между синдромом и искаженным символом приведена в Таблице 6.

Например, принята комбинация циклического кода B' = 1101111. Тогда степенной полином, отображающий заданную двоичную комбинацию, будет иметь вид:

$B'(x) = 1 \quad x^6 + 1 \quad x^5 + 0 \quad x^4 + 1 \quad x^3 + 1 \quad x^2 + 1 \quad x^1 + 1 \quad x^0 = x^6 + x^5 + x^3 + \quad x^2 + x^1 + 1.$

Если порождающий полином $G_2 = x^3 + x^1 + 1$, то в результате деления получается остаток $R(x) = x^2 + x^1 + 0$, следовательно, синдром кода C = 110

Полученное значение синдрома C = 110 свидетельствует о том, что ошибка произошла при приеме символа разряда x^4 , и исправленная комбинация будет иметь вид $B_p' = 1111111$.

Таблица 6 - Взаимосвязь между синдромом и искаженным символом кода (7,4)

Ошибочный символ	X^6	X^5	X^4	X^3	X^2	X^1	X^0
Синдром при $G_1 = x^3 + x^2 + 1$	110	011	111	101	100	010	001
Синдром при $G_2 = x^3 + x^1 + 1$	101	111	110	011	100	010	001

4 Содержание отчета:

4.1 Цель работы.
4.2 Результаты прохождения теста.
4.3 Осциллограммы линейных кодов.
4.4 Спектральные диаграммы линейных кодов.
4.5 Заполненные таблицы. Выводы по результатам.
4.6 Схема модели ВОСП в OptiSystem
4.7 Результаты исследования
4.8 Выводы
4.9 Ответы на контрольные вопросы.

5 Контрольные вопросы:

5.1 Каково значение ширины спектра главного лепестка кода Bi-0, RZ- AMI, NRZ-M, NRZ-L?

5.2 На каких сетях применяется линейный код Bi-0, RZ-AMI, NRZ-M, NRZ-L?

5.3 У какого из линейных кодов гармоника, соответствующая частоте сигнала битовой синхронизации, наибольшая?

5.4 Какой из линейных кодов имеет вторую по величине гармонику, соответствующую частоте сигнала битовой синхронизации?

5.5 Какой из линейных кодов имеет наименьшую по величине гармонику, соответствующую частоте сигнала битовой синхронизации?

5.6 Рассчитайте разность величин гармоник (в децибелах) между наилучшим и наихудшим линейным кодом.

Лабораторная работа № 14
Тема: Передача данных по оптоволокну

1.Цель работы.

1.1. Исследовать работу передатчиков Emona FOTEx.
1.2. Исследовать работу модулей аналогового приемника Emona FOTEx.

1.3. Исследовать работу модулей цифрового приемника Emona FOTEx.

2. Основное оборудование.

2.1. Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением.

2.2. NI ELVIS II с USB-Кабелем и блоком питания.

2.3. Модуль расширения Emona FOTEx для выполнения экспериментов.

2.4. Два проводника с разъёмами BNC - "банан" (2 мм).

2.5. Набор соединительных оптических проводников.

2.6. Набор соединительных проводников с разъёмами типа "банан" (2 мм).

3. Выполнение работы.

3.1. Модули передачи Emona FOTEx.

3.1.1. Схема измерений в режиме «DIGITAL»

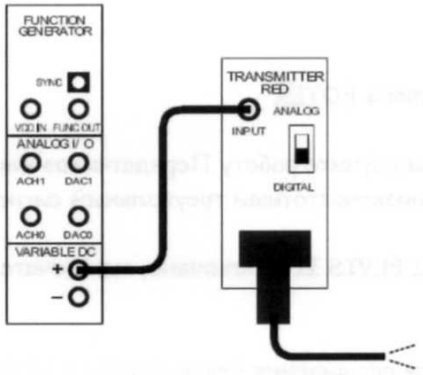


Рисунок 2

Вопрос 1. Почему при передаче цифровых данных по оптоволокну важно, чтобы интенсивность света не изменялась (за исключением полного отключения)?

_____

_____

Таблица 1

Пороговое напряжение для перехода в "1",В	Пороговое напряжение для перехода в "0",В

Вопрос 2. Обратите внимание, что пороговые напряжения для изменения логического уровня на 0 и на 1 различаются. Это называется *эффект гистерезиса*, и сделано специально (когда передатчик работает в цифровом режиме). Почему это полезно?

_____

_____

3.1.2. Схема измерений в режиме «ANALOG»

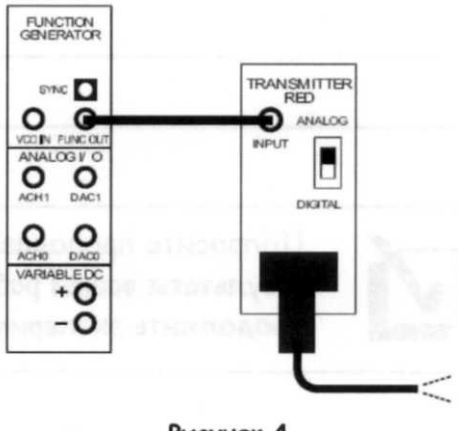


Рисунок 4

Вопрос 3. Сколько уровней интенсивности между минимумом и максимумом имеет светодиод?

Вопрос 4. Почему на высоких частотах кажется, будто светодиод перестает вспыхивать?

Вопрос 5. Что изменилось в поведении светодиода при увеличении амплитуды сигнала?

Вопрос 6. Какое искажение эта проблема вызовет на стороне приемника?

3.2. Использование приемника FOTEx для получения аналогового сигнала.

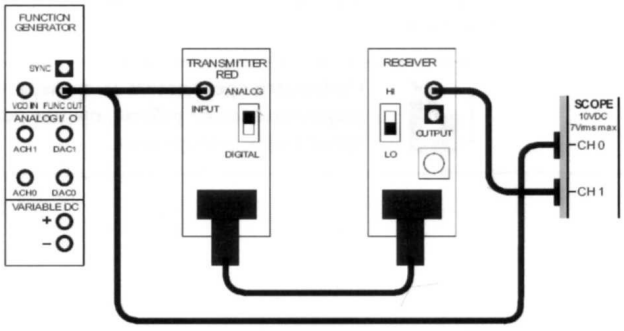


Рисунок 6

Вопрос 7. Как называется искажение, появляющееся на выходе приемника?

Вопрос 8. Что вызывает искажение нижних пиков сигнала?

Вопрос 9. Что вызывает искажение верхних пиков сигнала?

Вопрос 10. Как вы считаете, будет ли приемник с зеленым светодиодом вести себя по-другому, чем приемник с красным светодиодом при выполнении тестов, описанных в части 3.2.? Поясните ваш ответ.

3.3. Использование приемников FOTEx для получения цифровых сигналов.

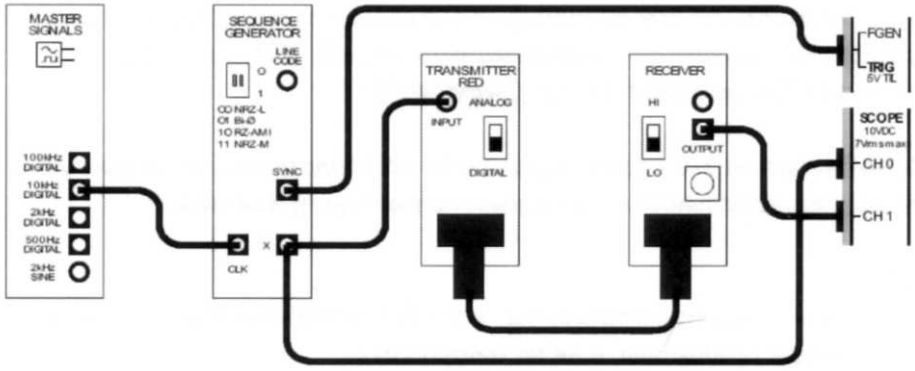


Рисунок 8

Вопрос 11. По вашему мнению, что изменилось бы, если бы вы наблюдали сигнал на аналоговом выходе приемника, а не на цифровом?

Вывод:

Лабораторная работа № 16
Тема: Фильтрация, разделение и объединение оптических сигналов

Цель работы: освоить метод фильтрации сигнала на фоне шумов с использованием преобразования Фурье и средств системы MathCAD.

1.1 Теоретическая часть

Фильтрация сигнала является одной из важных технических задач. Одним из методов ее решения является спектральный метод с применением Фурье-преобразований.

В работе принимаем, что сигнал ***V*** описывается следующей формулой:

$$V(t) = S(t) + d(t), \quad (4.1)$$

где ***S*(*t*)** – полезный сигнал;

***d*(*t*)** – аддитивная помеха, которая представляет собой белый шум. Особенностью белого шума является, что его амплитудные характеристики спектра присутствуют на всех частотах, но при этом их значения незначительны (рисунок 4.1.) Для полезного сигнала характерны относительно большие значения спектра амплитудных оценок, соответствующие отдельным информативным частотным составляющим.

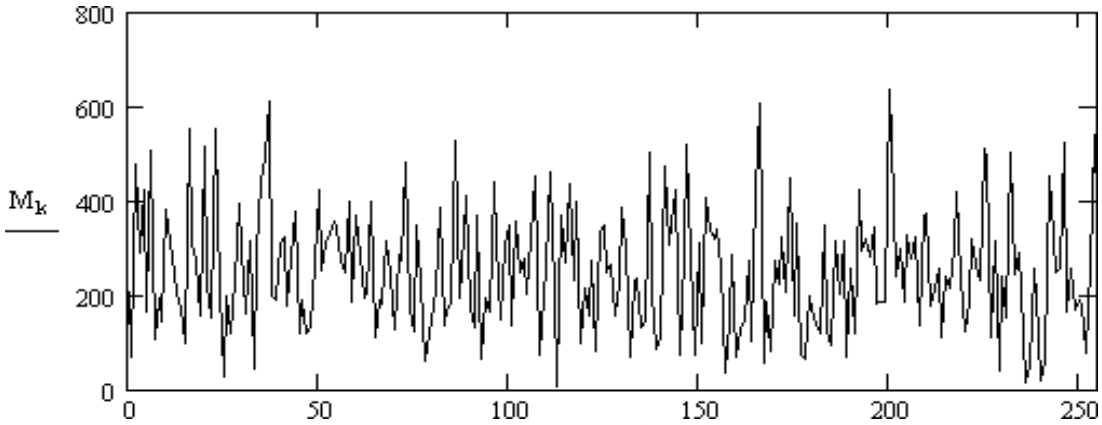


Рисунок 4.1 – Спектр «белого шума»

Эта особенность используется для фильтрации сигналов с использованием пороговых значений. Процесс фильтрации включает следующие шаги:

- выполнение преобразования Фурье;
- присвоение нулевых значений амплитудным оценкам (АО) гармоник, имеющих АО, меньше порогового значения.
- выполнение обратного преобразования Фурье.

1.2 Постановка задачи

Произвести зашумление и фильтрацию звукового файла формата WAV (одноканального, 16-битного, с частотой дискретизации 44,1 КГц).

1.3 Порядок выполнения работы

1. Получите от преподавателя или создайте свой звуковой файл форма- та WAV (длительностью не более 5 секунд);
2. Запустите систему MathCad и прочитайте звуковой файл. Пример приведен ниже:

S:=***READWAV***(“***Name***”), (4.2)

где ***S***- вектор с данными файла;

Name – имя файла.

3. Смоделируйте белый шум ***D***:

m:=***floor***(***max***(***S***)·0.1), (4.3)

n:=0…(***L***-1), (4.4)

D_n:=***rnd***(***m***)-***m***/2, (4.5)

где ***L*** –количество элементов вектора ***S***;

max – функция возвращает максимальное значение вектора;

rnd –генератор случайных чисел;

4. Зашумите звуковой сигнал следующей командой:

$$V_n := S_n + D_n, \quad (4.6)$$

Зашумленный сигнал сохраните в файл командой:

$$WRITEWAV(\text{“lab4_sh.wav”}, 44, 1\cdot 10^3, 16) := V. \quad (4.7)$$

5. Прослушайте исходный файл и зашумленный и убедитесь в наличии помех;
6. Отобразите на графиках векторы ***S*** и ***V***;
7. Дополните вектор ***V*** нулевыми значениями, чтобы количество элементов стало кратным 2:

$$k := L..2^{ceil(log(L,2))},\ V_k := 0, \quad (4.8)$$

где ***ceil***-оператор округления в большую сторону;

8. Выполните операцию БПФ над вектором ***V***. Постройте график спектра с указанием уровня шума ***h***, значение которого определяется следующим выражением:

$$h = 2.5\cdot\sigma, \quad (4.9)$$

где σ –среднеквадратичное отклонение (СКО) шума. Для вычисления СКО используйте функцию ***stdev***.

9. Произведите фильтрацию сигнала с использованием следующей команды:

$$Q_k := C_k \cdot \Phi(M_k - h) \quad (4.10)$$

где Φ – оператор фильтрации системы MathCAD (греческая буква «Фи»);
M_k - модуль амплитудной оценки спектра для ***k*** - ой гармоники.
В результате фильтрации получается вектор ***Q***;

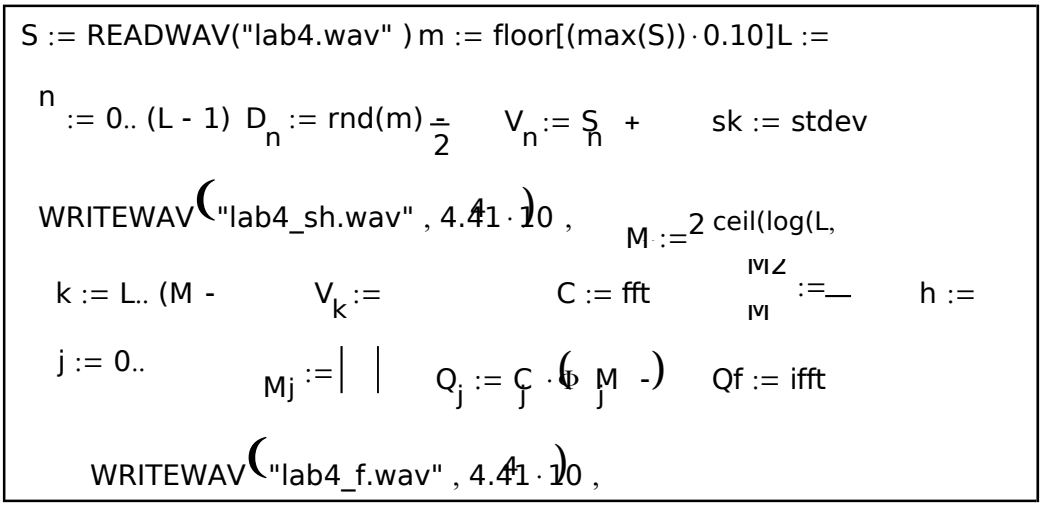
10. Произведите обратное преобразование Фурье и получите вектор ***Qf***, соответствующий отфильтрованному от шума сигналу:

$$Q_f := ifft(Q). \quad (4.10)$$

11. Сохраните значения вектора ***Qf*** в звуковой файл формата WAV.
12. Сделайте выводы по работе и составьте отчет.

На рисунке 4.2 представлен возможный вариант документа Mathcad, а на рисунке 4.3 и 4.4 – пример графиков.

Рисунок 4.2 –Документ MathCad



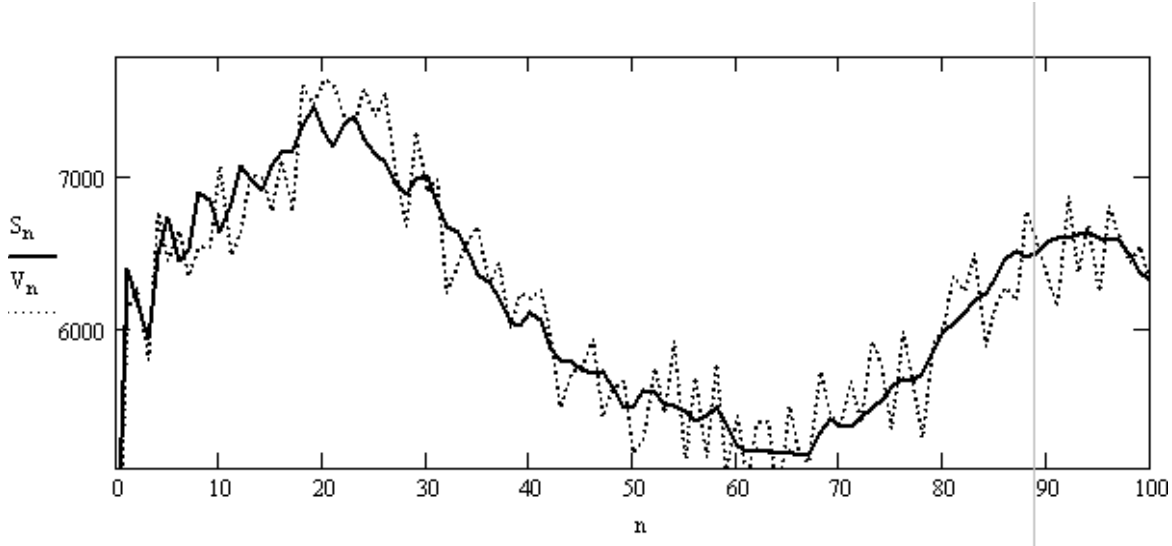


Рисунок 4.3 - Графики полезного (сплошная линия) и зашумленного сигналов

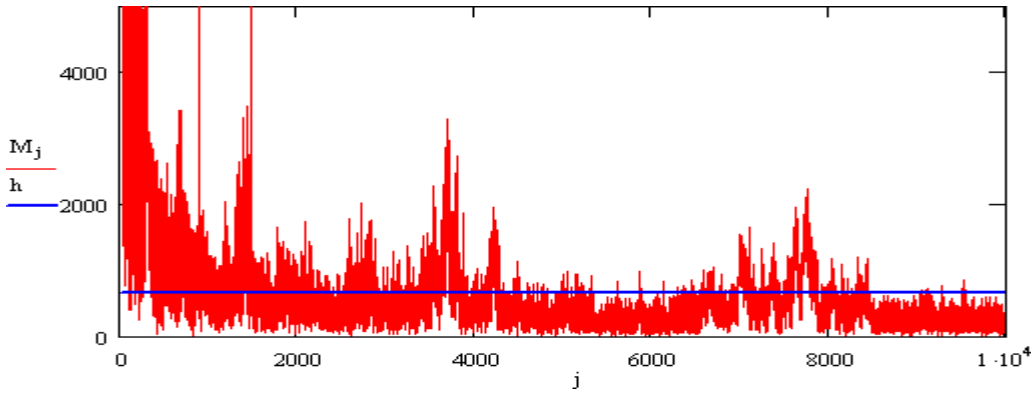


Рисунок 4.4 – Амплитудный спектр зашумленного сигнала

1.4 Контрольные вопросы

1. Какими особенностями обладает спектр белого шума?
2. Какими особенностями обладает спектр полезного сигнала?
3. Объясните алгоритм фильтрации сигнала, рассмотренный в данной работе.
4. Как повлияет на результат фильтрации неправильный выбор порогового значения ***h*** ?

Лабораторная работа № 17

Тема: Исследование локальных волоконно-оптических сетей передачи данных

Цель работы: изучить принципы построения сетей Ethernet, FDDI и ATM, FastEthernet, научиться моделировать сети передачи данных для предприятия на основе указанных технологий.

Краткие сведения из теории

Ethernet – наиболее популярное во всем мире семейство стандартов для локальных сетей, которое охватывает физический и канальный уровень модели OSI. Стандарты Ethernet отличаются поддерживаемой скоростью. Широко распространены сегодня скорости 10, 100 Мбит/с, 1, 10, 100 Гбит/с. Различные варианты технологии также отличаются типом используемой среды передачи данных, например, в наиболее популярных стандартах Ethernet используется недорогой тип кабеля, а именно – неэкранированная витая пара (Unshielded Twisted-Pair – UTP), в то время как в других – более дорогой волоконно-оптический кабель. Использование волоконно-оптического кабеля оправдано в том случае, если необходимо подключить устройства, которые находятся на большом расстоянии друг от друга. Или в случае повышенных требований к безопасности сети.

Ethernet использует алгоритм CSMA/CD (от англ. *Carrier Sense Multiple Access with*

Collision Detection – множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов) для прослушивания линии, распознавания коллизии и прерывания передачи. CSMA/CD является «светофором» технологии Ethernet и служит для предотвращения беспорядочных столкновений кадров в сети.

Технология Ethernet использует общую среду передачи, поэтому все устройства локальной сети Ethernet получают все сообщения, а затем проверяют, совпадает ли адрес назначения с собственным адресом устройства. Если адреса совпадают, то сообщение принимается, в противном случае сообщение отбрасывается.

Реализация коммутируемой архитектуры сети Ethernet имеет преимущество в том, что линии, связывающие коммутатор с устройствами, подключенными к сети, получают полосу пропускания максимальной ширины. Это объясняется тем, что передаваемые пакеты не отправляются широковещанием ко всем устройствам сети, а передаются от коммутатора к пункту назначения.

Для сети Ethernet, работающей на скорости 10 Мбит/с, стандарт определяет четыре основных типа интерфейсов сети, ориентированных на различные среды передачи информации:

- 10BASE5 (толстый коаксиальный кабель);
- 10BASE2 (тонкий коаксиальный кабель);
- 10BASE-T (витая пара);
- 10BASE-FL (оптоволоконный кабель).

Наименование сегмента включает в себя три элемента: цифра «10» означает скорость передачи 10 Мбит/с, слово «BASE» – передачу в основной полосе частот (то есть без модуляции высокочастотного сигнала), а последний элемент – допустимую длину сегмента: «5» – 500 м, «2» – 200 м (точнее, 185 м), или тип линии связи: «T» – витая пара (от англ. *Twisted-pair*),

«F» – оптоволоконный кабель (от англ. *Fiber optic*).

Применение оптоволоконного кабеля в сетях Ethernet позволило сразу же значительно увеличить допустимую длину сегмента и помехоустойчивость передачи. Немаловажна также и полная гальваническая развязка компьютеров сети, которая достигается здесь без всякой дополнительной аппаратуры, в силу специфики среды передачи. Еще одно преимущество оптоволоконных кабелей состоит в возможности постепенного перехода на новые технологии без замены кабелей, так как пропускная способность оптоволокна позволяет достигнуть не только 100 Мбит/с, но и более высоких скоростей передачи.

Передача информации в данном случае идет по двум оптоволоконным кабелям, передающим сигналы в разные стороны. Иногда используются двухпроводные оптоволоконные кабели, содержащие оптические волокна в общей внешней оболочке, но чаще – два одиночных кабеля.

В аппаратуре 10BASE-FL применяются внешние трансиверы. Схема соединения сетевого адаптера и концентратора показана на рисунке 1.

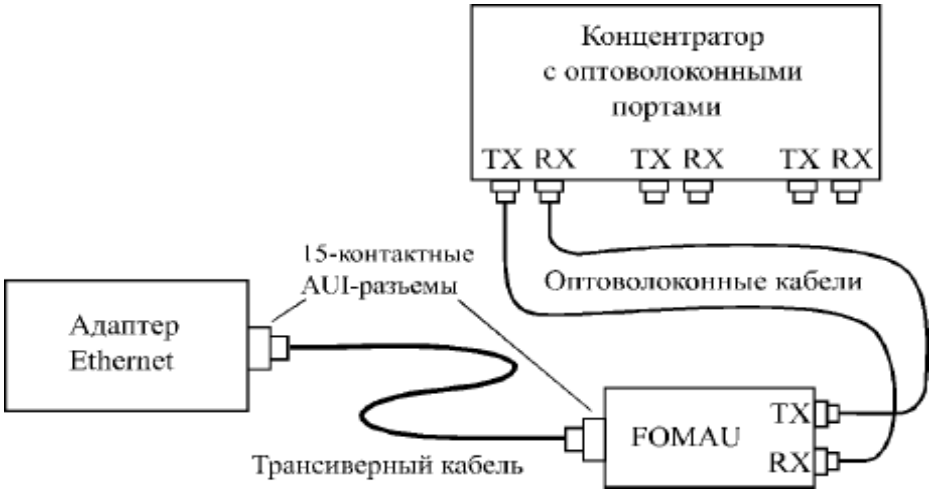


Рисунок 1 – Соединение адаптера и концентратора в 10BASE-FL

Оптоволоконный трансивер называется FOMAU (Fiber Optic MAU). Он выполняет все функции обычного трансивера (MAU), но, кроме того, преобразует электрический сигнал в оптический при передаче и обратно при приеме. FOMAU также формирует и контролирует сигнал целостности линии связи, передаваемый в паузах между пакетами. Целостность линии связи индицируется светодиодами «Link» и определяется по наличию между передаваемыми пакетами сигнала «Idle» с частотой 1 МГц. Для присоединения трансивера к адаптеру применяется стандартный AUI-кабель, но длина его не должна превышать 25 м.

Имеются также сетевые адаптеры со встроенными трансиверами FOMAU, которые имеют только внешние оптоволоконные разъемы и не нуждаются в трансиверных кабелях.

Длина оптоволоконных кабелей, соединяющих трансивер и концентратор, может достигать 2 км без применения каких бы то ни было ретрансляторов. Таким образом, возможно объединение в локальную сеть компьютеров, находящихся в разных зданиях, разнесенных территориально.

В 10BASE-FL применяется многомодовый кабель и свет с длиной волны 850 нм, однако имеется аппаратура и для использования одномодового кабеля (с предельной длиной до 5 км).

Стандартный оптоволоконный кабель 10BASE-FL должен иметь на обоих концах оптоволоконные байонетные ST-разъемы, показанные на рисунке 2, *а*.

а) *б*) *в*)

Рисунок 2 – Типы разъемов для оптоволоконного кабеля:
а – ST-разъем, *б* – SC-разъем, *в* – MIC FDDI-разъем

Используются также оптоволоконные разъемы типа SC, присоединяемые подобно RJ-45 путем простого вставления в гнездо. Разъемы SC обычно жестко соединены по два для двух кабелей (рисунок 2, *б*).

Существуют также разъемы типа MIC FDDI (рисунок 2, *в*), аналогичные разъемам SC, вставляемым в гнездо.

Минимальный набор оборудования для соединения оптоволоконным кабелем двух компьютеров включает в себя следующие элементы:

- два сетевых адаптера с трансиверными разъемами;
- два оптоволоконных трансивера (FOMAU);
- два трансиверных кабеля;
- два оптоволоконных кабеля с ST-разъемами (или с SC-разъемами).

Если требуется соединить больше двух компьютеров, то надо использовать концентратор, имеющий оптоволоконные порты. Каждый компьютер снабжается своим трансивером и трансиверным кабелем, а также двумя оптоволоконными кабелями с соответствующими разъемами для подключения к концентратору (рисунок 3).

Создание технологии Fast Ethernet было обусловлено необходимостью увеличения скорости передачи данных до 100 Мбит/с. Технология Fast Ethernet выиграла в конкурентной борьбе с другими новыми высокоскоростными технологиями, поскольку обеспечила преемственность и согласованность с широко распространенными сетями Ethernet. При этом вся сеть остается работоспособной, в старых сегментах сети Ethernet скорость передачи данных будет 10 Мбит/с, в новых (Fast Ethernet) – 100 Мбит/с, между старыми и новыми сегментами – 10 Мбит/с.

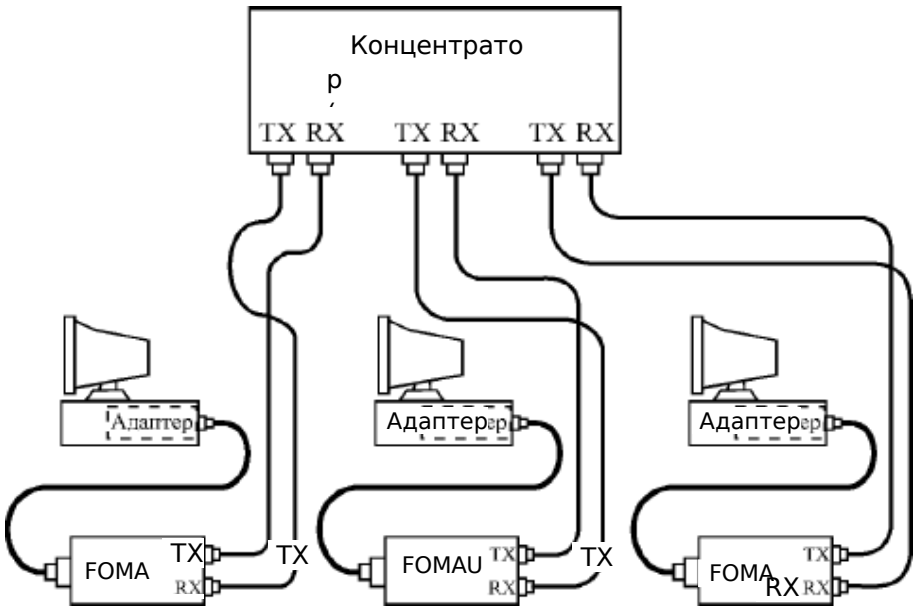


Рисунок 3 – Объединение компьютеров в сеть по стандарту 10BASE-FL

Преемственность и согласованность с сетями Ethernet обусловили ряд принципов построения новых сетей Fast Ethernet (стандарт 802.3u). Так, в технологии Fast Ethernet сохранился принцип использования общей разделяемой среды. Поскольку скорость передачи по сравнению с Ethernet увеличилась на порядок, то на порядок уменьшилось и время двойного оборота PDV. Поэтому, чтобы не потерять кадры при возникновении коллизий, диаметр сети уменьшился также на порядок – до 200 м. Однако при использовании коммутаторов в полнодуплексном режиме возникновение коллизий исключено, поэтому существуют ограничения только на длину физических сегментов, которые соединяют два соседних устройства: сетевой адаптер с коммутатором или два соседних коммутатора.

Спектр сигналов при использовании манчестерского кодирования значительно шире спектра потенциальных избыточных кодов. Поэтому, несмотря на то, что применяемый в Ethernet манчестерский код обладает очень хорошими свойствами самосинхронизации, разработчики технологии Fast Ethernet и других технологий отказались от него. На уровне логического кодирования в Fast Ethernet используются избыточные коды 4B/5B или 8B/6T, а на физическом уровне – код NRZI.

Точно так же для сети Ethernet, работающей на скорости 100 Мбит/с (Fast Ethernet) стандарт определяет три типа интерфейса, отличающихся типами среды передачи:

- 100BASE-T4 (счетверенная витая пара);
- 100BASE-TX (сдвоенная витая пара);
- 100BASE-FX (оптоволоконный кабель).

Здесь цифра «100» означает скорость передачи 100 Мбит/с, буква «T» – витую пару, буква «F» – оптоволоконный кабель. Типы 100BASE-TX и 100BASE-FX иногда объединяют под именем 100BASE-X, а 100BASE-T4 и 100BASE-TX – под именем 100BASE-T.

Fast Ethernet – спецификация 100BASE-FX – предусматривает работу по двум волокнам оптического многомодового кабеля 62,5/125 мкм в полудуплексном или полнодуплексном режиме. Максимальная длина сегмента в полудуплексном режиме составляет 412 м, а в полнодуплексном – 2000 м. Метод логического кодирования – 4B/5B, физического кодирования – NRZI.

Аппаратура 100BASE-FX очень близка к аппаратуре 10BASE-FL. Точно так же здесь используется топология «звезда» с подключением компьютеров к концентратору с помощью двух разнонаправленных оптоволоконных кабелей.

Между сетевыми адаптерами и кабелями возможно включение выносных трансиверов. Как и в случае сегмента 10BASE-FL, оптоволоконные кабели подключаются к адаптеру (трансиверу) и к концентратору с помощью разъемов типа SC, ST или FDDI. Для

присоединения разъемов SC и FDDI достаточно просто вставить их в гнездо, а разъемы ST имеют байонетный механизм.

Максимальная длина кабеля между компьютером и концентратором составляет 412 м, причем это ограничение определяется не качеством кабеля, а установленными временными соотношениями. Согласно стандарту, применяется многомодовый или одномодовый кабель с длиной волны света 1,35 мкм. В последнем случае потери мощности сигнала в сегменте (в кабеле и разъемах) не должны превышать 11 дБ. При этом надо учитывать, что потери в кабеле составляют 1–2 дБ/км, а потери в разъеме – от 0,5 до 2 дБ.

Как и в других сегментах Fast Ethernet, в 100BASE-FX предусмотрен контроль целостности сети, для чего в промежутках между сетевыми пакетами по кабелю передается специальный сигнал.

Сеть FDDI (от англ. – *Fiber Distributed Data Interface*, оптоволоконный распределенный интерфейс данных) – это одна из новейших разработок стандартов локальных сетей.

В отличие от других стандартных локальных сетей, стандарт FDDI изначально ориентировался на высокую скорость передачи (100 Мбит/с) и на применение наиболее перспективного оптоволоконного кабеля. Поэтому в данном случае разработчики не были стеснены рамками старых стандартов, ориентировавшихся на низкие скорости и электрический кабель.

Выбор оптоволокна в качестве среды передачи определил такие преимущества новой сети, как высокая помехозащищенность, максимальная секретность передачи информации и прекрасная гальваническая развязка абонентов. Высокая скорость передачи, которая в случае оптоволоконного кабеля достигается гораздо проще, позволяет решать многие задачи, недоступные менее скоростным сетям, например, передачу изображений в реальном масштабе времени. Кроме того, оптоволоконный кабель легко решает проблему передачи данных на расстояние нескольких километров без ретрансляции, что позволяет строить большие по размерам сети, охватывающие даже целые города и имеющие при этом все преимущества локальных сетей (в частности, низкий уровень ошибок).

За основу стандарта FDDI был взят метод маркерного доступа, предусмотренный международным стандартом IEEE 802.5 (Token Ring). Несущественные отличия от этого стандарта определяются необходимостью обеспечить высокую скорость передачи информации на большие расстояния.

Топология сети FDDI – это кольцо, наиболее подходящая топология для оптоволоконного кабеля. В сети применяются два разнонаправленных оптоволоконных кабеля, один из которых обычно находится в резерве, однако такое решение позволяет использовать и полнодуплексную передачу информации (одновременно в двух направлениях) с удвоенной эффективной скоростью в 200 Мбит/с, при этом каждый из двух каналов работает на скорости 100 Мбит/с. Применяется и звездно-кольцевая топология с концентраторами, включенными в кольцо.

Основные технические характеристики сети FDDI:

- максимальное количество абонентов сети – 1000;
- максимальная протяженность кольца сети – 20 км;
- максимальное расстояние между абонентами сети – 2 км;
- среда передачи – многомодовый оптоволоконный кабель (возможно применение электрической витой пары);
- метод доступа – маркерный;
- скорость передачи информации – 100 Мбит/с (200 Мбит/с для дуплексного режима передачи).

Стандарт FDDI имеет значительные преимущества по сравнению со всеми рассмотренными ранее технологиями. Например, сеть Fast Ethernet, имеющая такую же пропускную способность (100 Мбит/с), не может сравниться с FDDI по допустимым размерам сети. К тому же маркерный метод доступа FDDI обеспечивает в отличие от CSMA/CD гарантированное время доступа и отсутствие конфликтов при любом уровне нагрузки.

Для передачи данных в FDDI применяется код 4B/5B, специально разработанный для этого стандарта. Главный принцип кода – избежать длинных последовательностей нулей и

единиц. Это позволяет приемнику восстанавливать синхронизацию приходящих данных один раз на четыре принятых бита. Таким образом, достигается компромисс между простейшим кодом NRZ и самосинхронизирующимся на каждом бите манчестерским кодом.

Стандарт FDDI для достижения высокой гибкости сети предусматривает включение в кольцо абонентов двух типов:

– абоненты *класса А* (абоненты двойного подключения, DAS – Dual- Attachment Stations) подключаются к обоим (внутреннему и внешнему) кольцам сети. При этом реализуется возможность обмена со скоростью до 200 Мбит/с или резервирования кабеля сети. Аппаратура этого класса применяется в самых критичных с точки зрения быстродействия частях сети;

– абоненты *класса В* (абоненты одинарного подключения, SAS – Single- Attachment Stations) подключаются только к одному (внешнему) кольцу сети. Они более простые и дешевые по сравнению с абонентами класса А, но не имеют их возможностей. В сеть они могут включаться только через концентратор или обходной коммутатор, отключающий их в случае аварии.

Технология асинхронного режима передачи (ATM – Asynchronous Transfer Mode) отличается от других сетевых технологий тем, что для передачи используются 53-байтовые ячейки – блоки фиксированной длины.

Сетевые соединения, использующие ячейки, наиболее эффективно работают в режиме двухточечного соединения (point-to-point), когда принимающая станция находится в состоянии активности и готова к приему и обработке ячеек. Благодаря одинаковой величине ячеек устройства, обслуживающие технологию ATM, могут точно определить заголовок ячейки и начало блока данных. Это ускоряет процесс обработки и позволяет ATM-сетям работать со скоростью до 622 Мбит/с. Прогнозируемые скорости передачи данных и виртуальные каналы позволяют гарантировать высокий уровень обслуживания для большей части трафика.

ATM-технология отличается от технологии Ethernet тем, что является коммутируемой технологией, в которой виртуальные каналы устанавливаются до начала передачи. Ethernet не создает виртуальных каналов, более того, они отсылают сообщение без предварительного уведомления. Совокупность виртуальных каналов образует маршрут, или виртуальный путь.

Виртуальный канал представляет собой фрагмент логического соединения, по которому производится передача данных одного пользовательского процесса. Виртуальный путь представляет собой группу виртуальных каналов, которые в пределах данного интерфейса имеют одинаковое направление передачи данных.

ATM обеспечивает оказание двух видов услуг в области соединения виртуальных каналов: коммутируемые виртуальные каналы (SVC) и постоянные виртуальные каналы (PVC). Коммутируемые виртуальные каналы (SVC) – кратковременное соединение, требующее установки и прекращения вызова. Постоянные виртуальные каналы (PVC) подобны выделенным частным каналам, поскольку соединение в них устанавливается на постоянной основе.

Основные свойства метода ATM:

– исходное сообщение после представления в цифровой форме и перед передачей в сеть связи разделяется на протокольные блоки фиксированной длины, равной 48 байтам;

– каждый протокольный блок дополняется служебной частью – заголовком размером 5 байт, образуя ячейку ATM размером 53 байта; заголовок со- держит адресную часть, элементы защиты заголовка от ошибок и другую служебную информацию, необходимую для гарантированной доставки ячеек через сеть;

– последовательность ячеек ATM, принадлежащих одному сообщению, передается через виртуальные соединения (постоянные или коммутируемые), поддерживаемые коммутаторами ATM, в которых обрабатываются только заголовки ячеек;

– при прохождении ячеек через коммутатор ATM ячейки накапливаются в промежуточных буферах коммутатора, что обеспечивает возможность статистического использования сетевых ресурсов;

– на стороне адресата ячейки ATM освобождаются от заголовков и собираются в

единую последовательность, из которой затем формируется исходное сообщение.

Задача коммутатора ATM – найти соответствующее соединение в таблице коммутации, чтобы определить выходной порт (или порты), а также новые виртуальные каналы и пути.

Порядок выполнения работы

1 Изучите краткие сведения из теории и ответьте на контрольный вопрос, заданный преподавателем.

2 В данной работе изучаются принципы построения локальных сетей на основе оптоволоконных систем в пакете NetCracker. Необходимо смоделировать сеть передачи данных для главного офиса (Main office) и трех филиалов (Branch 1, Branch 2, Branch 3). В правом окне «Device» пакета NetCracker в разделе «Buildings, campuses and LAN workgroups» необходимо выбрать зда- ния и перетащить их на рабочую область, как это показано на рисунке 4.

При нажатии правой клавишей на знаке здания и выборе пункта «Expand» открывается окно локальной сети здания. В каждом здании необходимо установить маршрутизатор (Router) из пункта «Routers and Bridges», коммутатор (Switch) из пункта «Switchs», абонентские устройства (PC, Notebook) из пункта «LAN workstation», сервера (Server) из пункта «LAN Servers». Количество абонентских устройств и серверов в каждом из зданий определяется по варианту, выданному преподавателем из таблицы 1.

В программном пакете NetCracker возможно создание серверов разных видов:

– файловый сервер (File Server) – серверное программное обеспечение управления доступом к файлам и другим дисковым ресурсам сети. Устанавливается, как правило, на выделенном мощном компьютере, который помимо управления доступом к файлам и другим дисковым ресурсам ЛВС обеспечивает безопасность и синхронизацию. Безопасность понимается в том смысле, что доступ к отдельным файлам могут получить только авторизованные пользователи, обладающие соответствующими правами. Синхронизация заключается в блокировке доступа к файлам и записям и предназначена для защиты данных от повреждения при одновременной попытке их изменения несколькими пользователями;

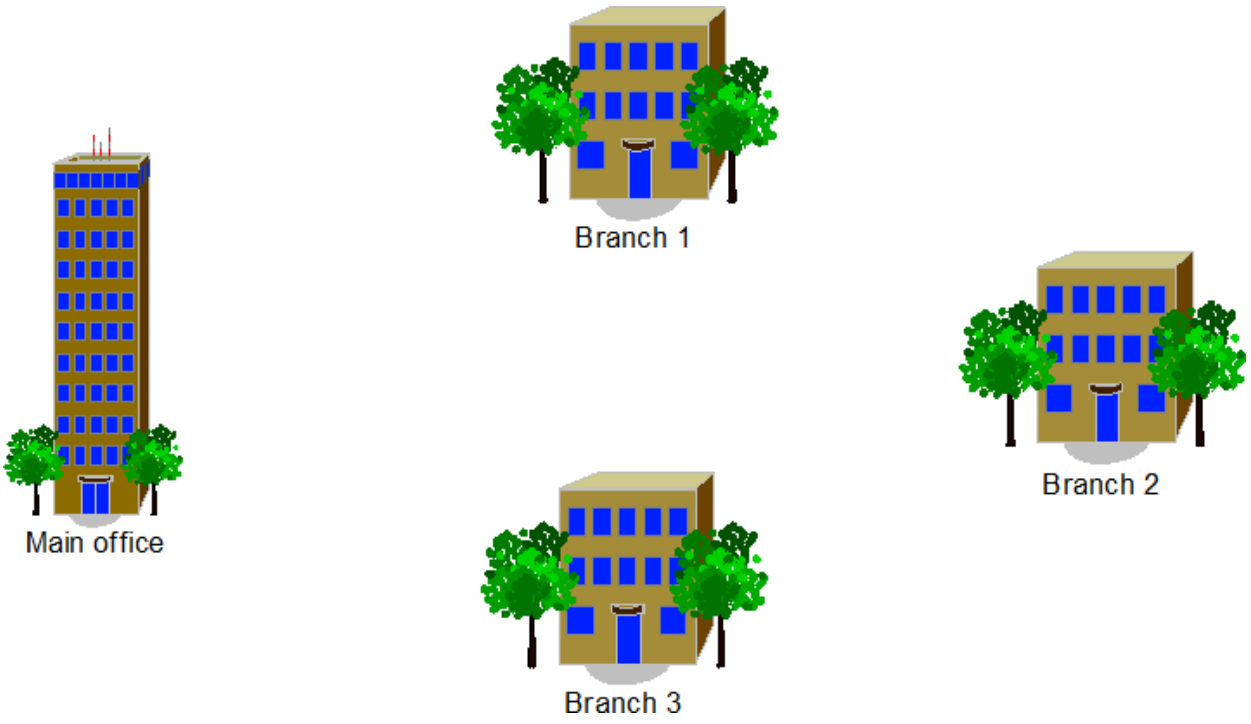


Рисунок 4 – Сеть зданий для установления соединения

Исходные данные для моделирования сети

Номер варианта	Количество компьютеров / тип сервера			
	Главный офис	Филиал 1	Филиал 2	Филиал 3
1	3 / File сервер	1 / E-mail сервер	2 / HTTP сервер	2 / Database
2	2 / E-mail сервер	2 / File сервер	1 / Database	1 / HTTP сервер
3	3 / HTTP сервер	1 / E-mail сервер	3 / File сервер	2 / Database
4	2 / HTTP сервер	2 / Database	2 / E-mail сервер	1 / File сервер
5	3 / File сервер	1 / HTTP сервер	1 / Database	2 / E-mail сервер
6	2 / File сервер	3 / E-mail сервер	3 / Database	1 / HTTP сервер
7	2 / Database	2 / File сервер	2 / E-mail сервер	2 / HTTP сервер
8	3 / E-mail сервер	2 / Database	1 / HTTP сервер	1 / File сервер
9	1 / Database	2 / HTTP сервер	3 / E-mail сервер	1 / File сервер
0	1 2 / Database	1 / E-mail сервер	2 / File сервер	2 / HTTP сервер
1	1 2 / File сервер	2 / Database	1 / HTTP сервер	1 / E-mail сервер
2	1 1 / E-mail сервер	2 / HTTP сервер	3 / Database	2 / File сервер
3	1 2 / HTTP сервер	3 / E-mail сервер	2 / File сервер	1 / Database
4	1 3 / File сервер	3 / Database	1 / E-mail сервер	2 / HTTP сервер

– SQL сервер (SQL Server) – серверная специализированная программа обращения к БД, поддерживающая язык структурированных запросов. Для работы не требует выделенного компьютера;

– сервер БД малого офиса (Small office database server) – программное обеспечение, с помощью которого можно организовать доступ нескольких узлов сети к записям файла БД. Не требует выделенного компьютера. Используется в ЛВС, поддерживающих архитектуру «клиент-сервер»;

– FTP сервер (FTP Server) – сервер, предоставляющий ресурсы БД удаленным узлам интерсети, взаимодействующим с ним в режиме «терминал-хост». В работе использует протокол передачи файлов (File Transfer Protocol – FTP), реализуемый приложением для работы в Internet. Он позволяет передавать файлы между разнотипными узлами, поскольку использует общую файловую структуру, независимую от операционных систем;

– сервер электронной почты (E-mail Server) – программа, которая управляет доставкой электронной почты и другой информации. Для работы почтового сервера выделенный компьютер не требуется;

– HTTP сервер (HTTP Server) – сервер, предоставляющий ресурсы web-сайтов. Взаимодействует с HTTP клиентом по протоколу передачи гипертекста (Hyper Text Transfer Protocol – HTTP). Используется в сетях, поддерживающих архитектуру «клиент-сервер».

Для задания типа сервера на него необходимо установить специализированное программное обеспечение, для этого в разделе «Network and enterprise software» → «Sever software» выбирите соответствующее программное обеспечение в виде диска и перетяните его на сервер. Так, например, для создания Email-сервера выбирается диск с названием «E-mail server» и устанавливается на сервер. Для соединения абонентских устройств необходимо установить на них интерфейсные платы. В разделе «LAN adapters» следует выбрать интерфейсные платы для разных технологий (Ethernet, Fast Ethernet, FDDI, ATM). Для установки платы ее необходимо перетянуть на абонентское устройство.

Для соединения элементов между собой необходимо выбрать отмеченную под номером 1 кнопку на рисунке 5 и нажать на устройства, которые необходимо соединить, в результате чего откроется окно задания параметров соединения (рисунок 6). В данной лабораторной работе соединения между устройствами должны быть одинаковой технологии (Ethernet, Fast

Ethernet, FDDI, ATM). Установите соединение по технологии FDDI. В нижнем левом углу в пункте «Media» выберите «Fiber Optic Cable».

При соединении маршрутизаторов между собой необходимо установить в окне задания параметров соединения длину кабеля «Cable Length» – 2 км.

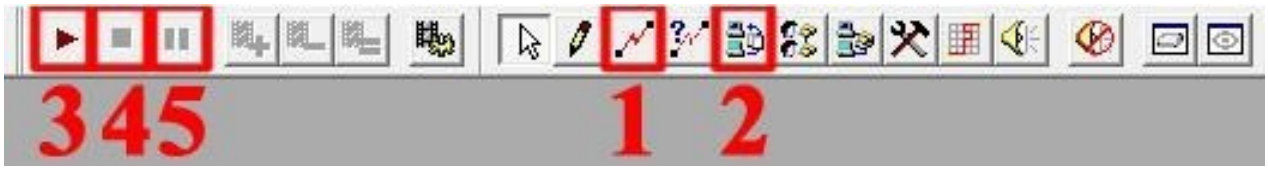


Рисунок 5 – Панель инструментов пакета NetCracker

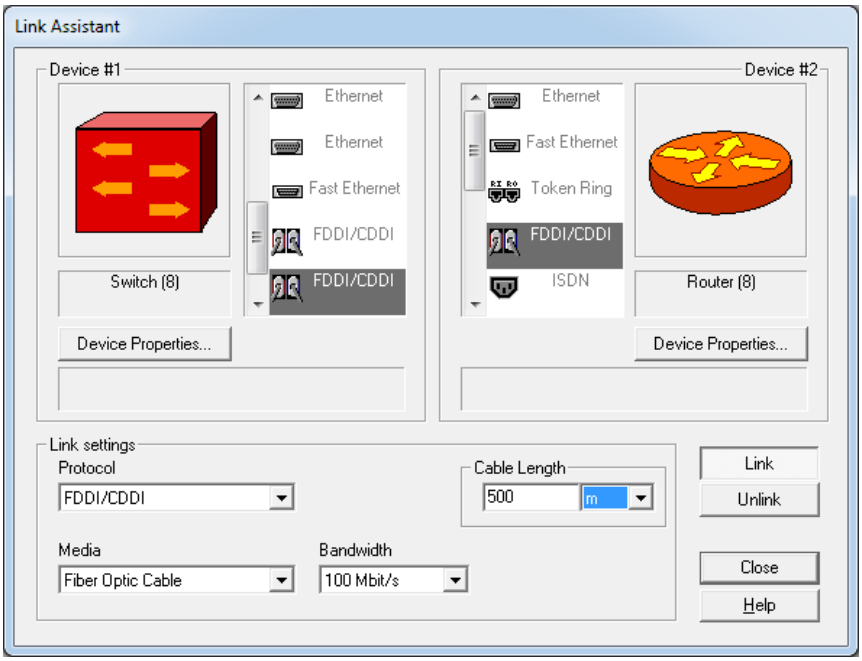


Рисунок 6 – Окно задания параметров соединения

3 Организовать передачу данных между следующими устройствами:

1-й, 2-й компьютеры главного офиса → сервер филиала 1;

2-й, 3-й компьютеры главного офиса → сервер филиала 2;

1- й компьютер главного офиса → 1-й компьютер филиала 1;

2- й компьютер главного офиса → 2-й компьютер филиала 2;

3- й компьютер главного офиса → 1-й или 2-й компьютер филиала 3; 1-й, 2-й компьютеры филиала 1 → сервер главного офиса;

2-й, 3-й компьютеры филиала 1 → сервер филиала 2;

3-й или 1-й компьютер филиала 1 → сервер филиала 3;

2-й или 3-й компьютер филиала 1 → 1-й компьютер филиала 2;

1- й или 3-й компьютер филиала 2 → сервер главного офиса;

2- й или 3-й компьютер филиала 2 → сервер филиала 1; 2-й или 1-й компьютер филиала 2 → сервер филиала 3;

1- й или 3-й компьютер филиала 2 → 1-й или 2-й компьютер филиала 3; 1-й или 2-й компьютер филиала 3 → сервер главного офиса;

1- й компьютер филиала 3 → сервер филиала 1;

2- й или 1-й компьютер филиала 3 → сервер филиала 2;

1- й компьютер филиала 3 → 1-й или 2-й компьютер главного офиса.

В результате сеть приобретет вид, показанный для примера на рисунке 7. При нажатии кнопки задания трафика (см. рисунок 5, кнопка 2) необходимо выбрать источник и приемник трафика. Далее в появившемся окне выбрать тип трафика (рисунок 8, *а*). При соединении компьютеров с серверами необходимо выбирать профиль, соответствующий типу сервера. Так,

при соединении компьютера с File сервером профиль трафика выбирается File server’s client. При соединении компьютера с E-mail сервером – профиль трафика E-mail (POP) или E-mail (SMTP). При соединении компьютера с Database сервером – профиль трафика Database. При соединении компьютеров разных филиалов необходимо выбрать тип профиля Small InterLAN traffic.

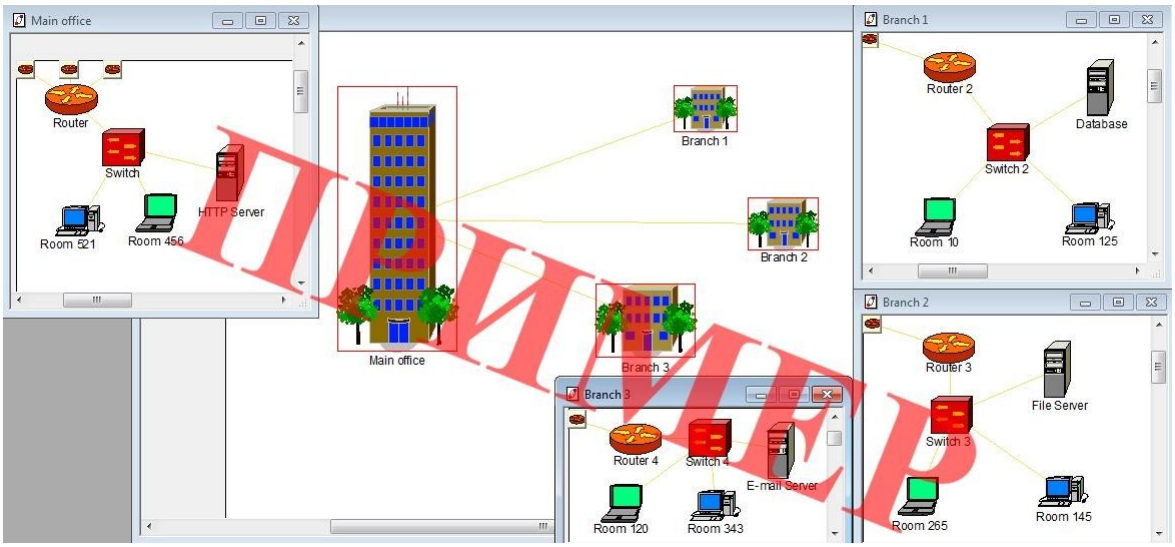


Рисунок 7 – Сеть передачи данных по технологии FDDI

Для передачи данных в NetCracker Professional есть возможность задавать разные типы профилей трафика:

- CAM/CAD – графические файлы;
- Database – данные разделяемых ресурсов;
- E-mail – электронная почта в ЛВС;
- FTP client – передача файлов;
- Small office – данные документооборота малого офиса;
- HTTP client – данные гипертекстов (web-страниц);
- LAN peer-to-peer traffic – передача данных в одноранговом режиме (точка – точка);
- InterLAN traffic – внешний трафик ЛВС;
- Small InterLAN traffic – внешний трафик малого офиса;
- File Server’s client – трафик клиента файлового сервера;
- Small office database server’s client – трафик клиента сервера для БД малого офиса;
- SQL server’s client – трафик клиента SQL сервера;
- Small office peer-to-peer – передача данных малого офиса в одноранговом режиме;
- Voice over IP peer-to-peer – передача голосового трафика IP-пакетами;
- E-mail (SMTP) – трафик приложения электронной почты стека TCP/IP.

Для задания параметров трафика необходимо в окне на рисунке 8, *а* нажать на кнопку «Edit», в результате чего появится окно для ввода параметров трафика (рисунок 8, *б*).

Для каждого вида передачи данных может быть задан закон распределения:

- постоянная величина (Constant);
- экспоненциальное распределение (Exponential) – между независимыми событиями, появляющимися с постоянной интенсивностью;
- равномерное распределение (Uniform);
- нормальное распределение (Normal);
- логарифмически-нормальное распределение (Lognormal);

– гамма-распределение (Gamma);
– распределение Эрланга (Erlang);
– распределение Вейбулла (Weibull).

а) *б*)

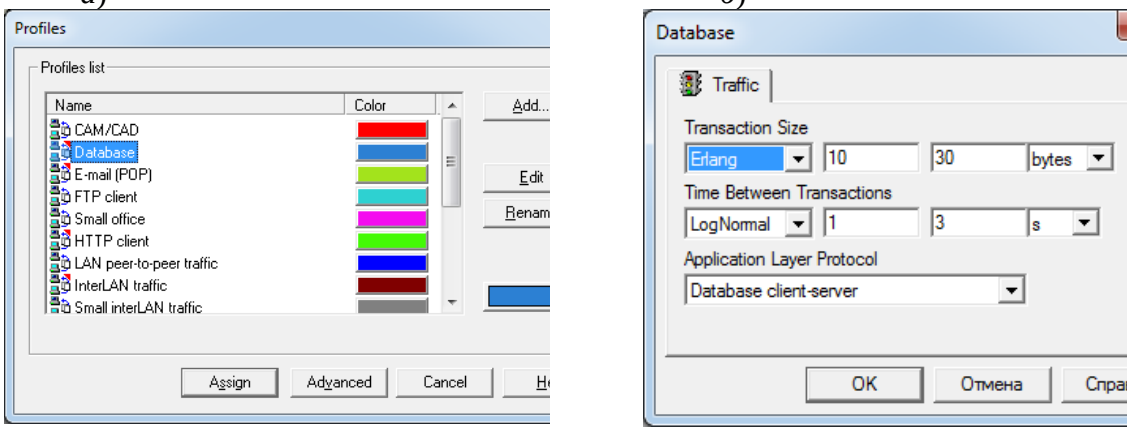


Рисунок 8 – Задание типа трафика

Законы распределения и их параметры выбираются из таблицы 2.

4Для запуска процесса моделирования необходимо нажать кнопку запуска моделирования (см. рисунок 5, кнопка 3). В смоделированной сети начнется передача пакетов данных, которые представлены в виде цветных прямо- угольников (рисунок 9). По истечению некоторого времени моделирование можно остановить, нажав на соответствующую кнопку (см. рисунок 5, кнопка 4), и собрать статистические данные о работе сети. Для этого в меню «Tool» → «Reports» → «Wizard» необходимо выбрать раздел «Statistical» → «Data flows» → «Application statistics». В результате появится отчет о времени передачи данных (рисунок 10). Информацию о количестве переданных и принятых пакетов каждым из устройств можно получить, выбрав пункт меню «Tool» → «Reports» → «Network Device statistic».

Таблица 2 – **Параметры для типов профилей трафика**

Тип профиля трафика	Объем переданных данных (Transaction size)		Время между передачами данных, с (Time between transactions, s)	
	Закон распределения	Значение параметров	Закон распределения	Значение параметров
CAM/CAD	Uniform	5–10	Uniform	5–10
Database	Erlang	10–30	Lognormal	1–3
E-mail(POP)	Normal	8–10	Normal	2–8
FTP client	Lognormal	1–2	Normal	3–5
Small office	Lognormal	5–10	Uniform	3–8
HTTP client	Uniform	1–2	Constant	2
LAN peer-to-peer traffic	Exponential	5–10	Exponential	3–10
InterLAN traffic	Exponential	1–3	Exponential	5–8
Small InterLAN traffic	Exponential	4–10	Exponential	8–10
File Server’s client	Uniform	5–10	Exponential	2–5
Small office data-base server’s client	Erlang	5–20	Normal	5–9
SQL server’s client	Erlang	0,1–0,5	Exponential	3–5
Small office peer-to-peer	Exponential	6–10	Normal	5–10

E-mail (SMTP)	Uniform	1–5	Exponential	5–8

Рисунок 9 – Процесс моделирования передачи данных

5 Поменяйте соединения между устройствами на соединения, выполнен- ные для технологии Ethernet и повторите пункт 4, сделав два отчета о времени доставки данных и нагрузке устройств.

6 Повторите выполнение пункта 5 для технологий Fast Ethernet и ATM.

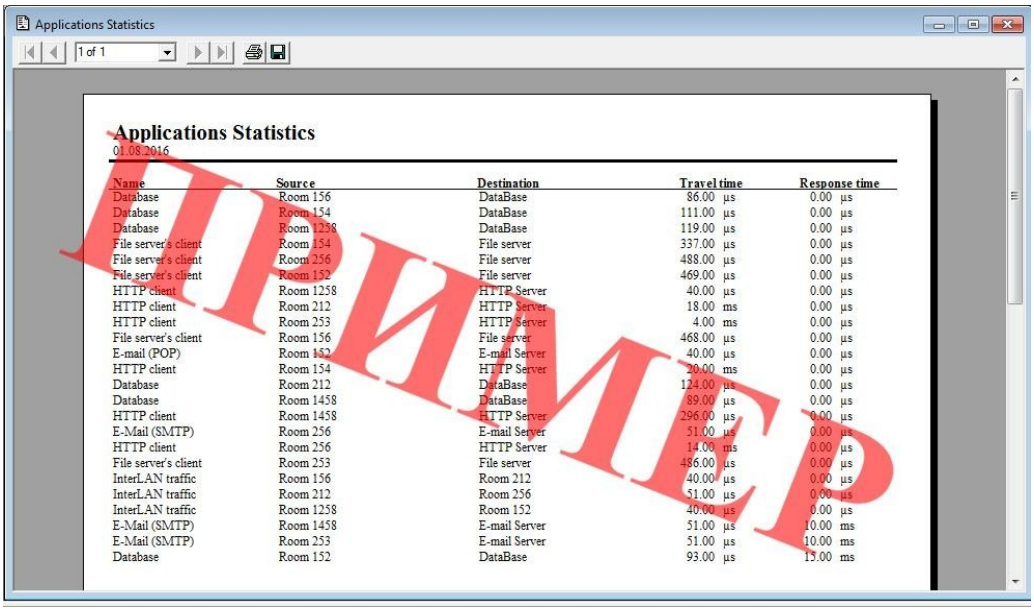


Рисунок 10 – Отчет о времени передачи данных

7 По результатам моделирования сетей сделайте вывод об изменении вре- мени передачи данных при использовании разных технологий передачи.

Содержание отчета

1 Ответ на контрольный вопрос.
2 Исходные данные для моделирования сети.
3 Модели сетей передачи данных по технологии FDDI, Ethernet, Fast Ethernet и ATM.
4 Отчеты о результатах моделирования по каждой технологии.
5 Вывод.

Контрольные вопросы

1 Методы кодирования, используемые в технологиях Ethernet, Fast Ethernet и FDDI.
2 Преимущества FDDI.
3 Причины ограничения общей длины сети в технологии FDDI.
4 Типы интерфейсов Ethernet и их расшифровка.
5 Типы интерфейсов Fast Ethernet и их расшифровка.

6 Типы оптических разъемов и их отличия.
7 Недостатки технологии Ethernet.
8 Методы кодирования по технологии FDDI.
9 Типы абонентов в технологии FDDI.
10 Определение виртуального канала и виртуального пути.
11 Типы виртуальных каналов.
12 Свойства технологии ATM.
13 Отличия ATM и Ethernet.
14 Необходимые элементы сети для соединения устройств оптоволоконным ка- белем по технологии Fast Ethernet.

Лабораторная работа № 18
Тема: Спектральное уплотнение

Теоретический материал

Ранее было показано, как единственный источник света может быть использован для совместного использования оптоволоконного канала несколькими пользователями. Это достигается с использованием временного уплотнения каналов (TDM) и импульсно-кодовой модуляции (PCM).

Увеличить число пользователей оптоволоконного канала можно и другим способом, заменив (а точнее сказать, дополнив) TDM. Этот способ подразумевает подключение нескольких пользователей к каналу с помощью независимых источников света с различной длиной волны, и называется спектральным уплотнением (WDM). Естественно, к другому концу проводника должно быть подключено такое же количество приемников. Однако, поскольку оптические приемники реагируют на свет любой длины волны, сначала световой сигнал должен быть разделен по длине волны при помощи оптических фильтров, прежде чем направлен на соответствующий приемник.

В реальных телекоммуникационных системах загрузка и прием сигналов происходит при помощи инфракрасных источников света для коммерческого использования. Поскольку подобные устройства недоступны в Emona FOTEx, спектральное уплотнение можно смоделировать при помощи двух оптических разветвителей, как показано на рисунке 1.

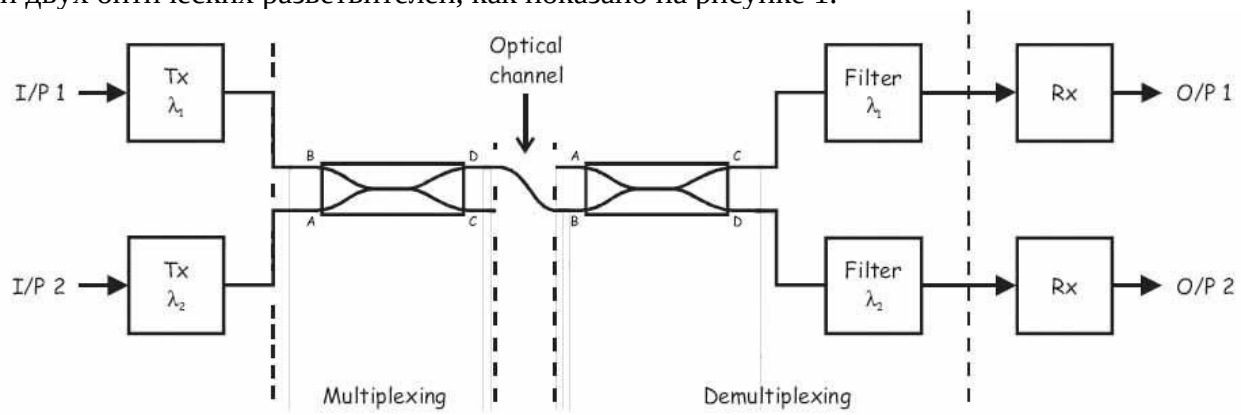


Рисунок 1

Tx – передатчик, Multiplexing – мультиплексирование, Optical Channel – оптический канал, Demultiplexing – демультиплексирование, Filter – фильтр, Rx – приемник

Как вы видите, один передатчик подключает пользователя к порту B, а другой передатчик подключает второго пользователя к порту A разветвителя. Как вы уже знаете, свет от обоих сигналов появляется одновременно на портах C и D, т.к. разветвителя обладает свойством объединения оптических сигналов.

Важно отметить, что какой бы порт (C или D) не был подключен к каналу (на рисунке 1 показан порт D, но можно использовать и порт C), сигнал в канал не может считаться уплотненным по спектру, если передатчики используют свет разной длины волны, а приемники способны различать длину волны. Это и реализовано в показанной выше схеме, поскольку после второго разветвителя, передающего объединенный световой сигнал на порты C и D, используются

оптические фильтры, который пропускают только сигнал с определенной длиной волны на соответствующий ему приемник.

Если вы внимательно изучите схему на рисунке 1, то заметите, что два световых сигнала проходят по сильному пути одного из разветвителей и по слабому пути другого. Прохождение света по слабому пути разветвителя приводит к потерям, большим, чем в устройствах с WDM, используемых в коммерческих приложениях.

Эксперимент

В этом эксперименте вы используете модули Emona FOTEx, чтобы передать два разных сигнала сообщения по оптоволокну в одном направлении с использованием спектрального уплотнения. Вы изучите, как используются фильтры для восстановления только одного из сообщений. Далее вы измените схему для создания полной двухканальной системы связи со спектральным уплотнением, и изучите ее работу. И, наконец, вы преобразуете собранную систему для комбинации спектрального уплотнения с временным - для передачи и приема информации по трем каналам.

Вам потребуется около 40 минут на выполнение частей A и B эксперимента и еще 10 минут на выполнение части C.

Предварительно выполненные работы

Части A и B:
Эксперимент 1: Контрольно-измерительные приборы NI ELVIS II
Эксперимент 2: Введение в модуль расширения DATEX для выполнения экспериментов
Эксперимент 8: Передача данных по оптоволокну
Эксперимент 10: Фильтрация, разделение и объединение оптических сигналов
Эксперимент 11: Двусторонняя оптоволоконная связь

Часть C:
Эксперимент 3: Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
Эксперимент 4: Демодуляция ИКМ-сигнала
Эксперимент 5: Дискретизация при импульсно-кодовой модуляции и частота Найквиста
Эксперимент 6: Множественный доступ с временным разделением каналов
Эксперимент 7: Линейное кодирование и восстановление сигнала битовой синхронизации
Эксперимент 9: Реализация метода PCM-TDM "T1" передачи данных

Меры предосторожности

Используйте этот эксперимент для приобретения привычки не заглядывать в торец оптического проводника.

Оборудование

Персональный компьютер с соответствующим установленным программным обеспечением NI ELVIS II с USB-Кабелем и блоком питания
- Модуль расширения Emona FOTEx для выполнения экспериментов
- Три проводника с разъѐмами BNC - "банан" (2 мм)
- Набор соединительных оптических проводников
- Набор соединительных проводников с разъѐмами типа "банан" (2 мм)

Порядок действий

Часть A – Изучение спектрального уплотнения

В первой части эксперимента вам предстоит передать два отдельных сигнала сообщения по оптоволоконному кабелю в одном направлении с использованием спектрального уплотнения. На этой стадии двухканальная система связи со спектральным уплотнением моделируется **не полностью**.

1 Убедитесь, что питание NI ELVIS выключено, выключатель расположен на задней стенке устройства.

2 Осторожно вставьте модуль расширения Emona FOTEx в NI ELVIS.

3 Вставьте крепежные винты для фиксации модуля Emona FOTEx в NI ELVIS II.

Примечание: Для предотвращения повреждения FOTEx эти действия должны выполняться при выключенном питании.

4 Подключите NI ELVIS II к ПК при помощи кабеля USB.

Примечание: Это может быть уже сделано.

5 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.

6 Включите компьютер и дайте ему загрузиться.

7 Запустите программу NI ELVISmx.

8 Выберите один из передатчиков с **красным** светодиодом и установите его переключатель режимов Mode в положение ANALOG (Аналоговый).

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

10 Поверните ручку Variable Gain (Регулируемый коэффициент усиления) этого приемника по часовой стрелке до упора.

11 Соберите схему, как показано на рисунке 2, используя приемник и передатчик, настроенные вами в п.п. 8-10.

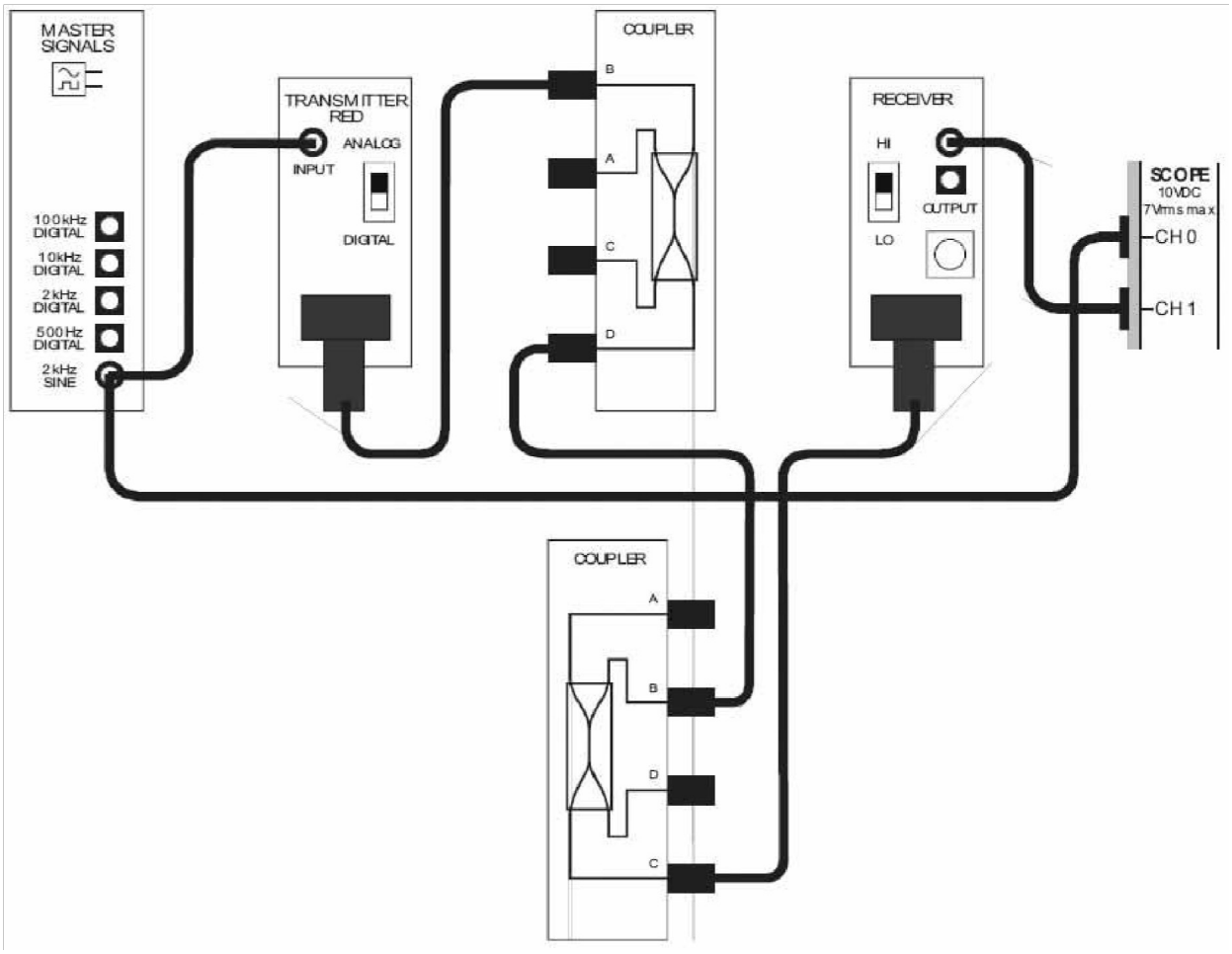


Рисунок 2

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рисунке 3. Мы имеем одноканальную оптоволоконную систему передачи данных. Аналоговое сообщение генерируется на выходе 2 kHz SINE генератора опорных сигналов. Модули разветвителей используются, т.к. они потребуются в последующих частях эксперимента.

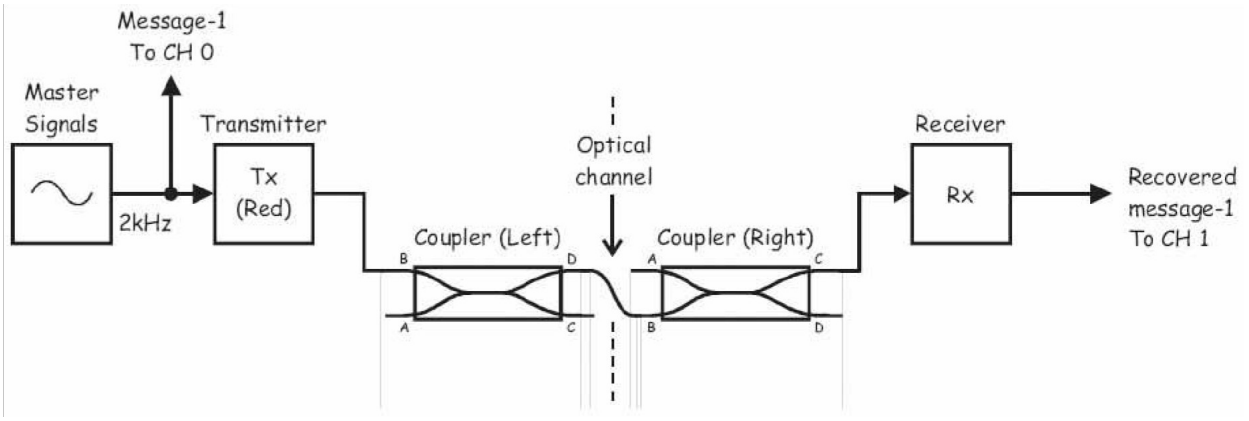


Рисунок 3

Master Signals – генератор опорных сигналов, Message-1 To CH 0 – сообщение 1 к каналу 0,
Transmitter (Red) – передатчик (с красным светодиодом), Coupler (Left) – разветвитель (левосторонний),
Optical Channel – оптический канал, Coupler (Right) – разветвитель (правосторонний),
Receiver – приемник, Recovered message-1 To CH 1 – восстановленное сообщение 1 к каналу 1

1. Запустите ВП осциллографа NI ELVIS II.
2. Убедитесь, что осциллограф настроен согласно инструкции, описанной в Эксперименте 1 (стр. 1-13), со следующими изменениями:

   Timebase (Масштаб по оси времени): 100 мкс/дел. вместо 500 мкс/дел.
3. Активируйте канал 1 осциллографа, чтобы наблюдать как восстановленное Сообщение 1, так и его исходную версию.

Примечание: Если вы правильно собрали схему, сигналы должны быть одинаковой амплитуды и фазы.

4. Установите переключатель режимов Mode передатчика с **зеленым** светодиодом в положение DIGITAL (Цифровой).
5. Измените схему, как показано на рисунке 4.

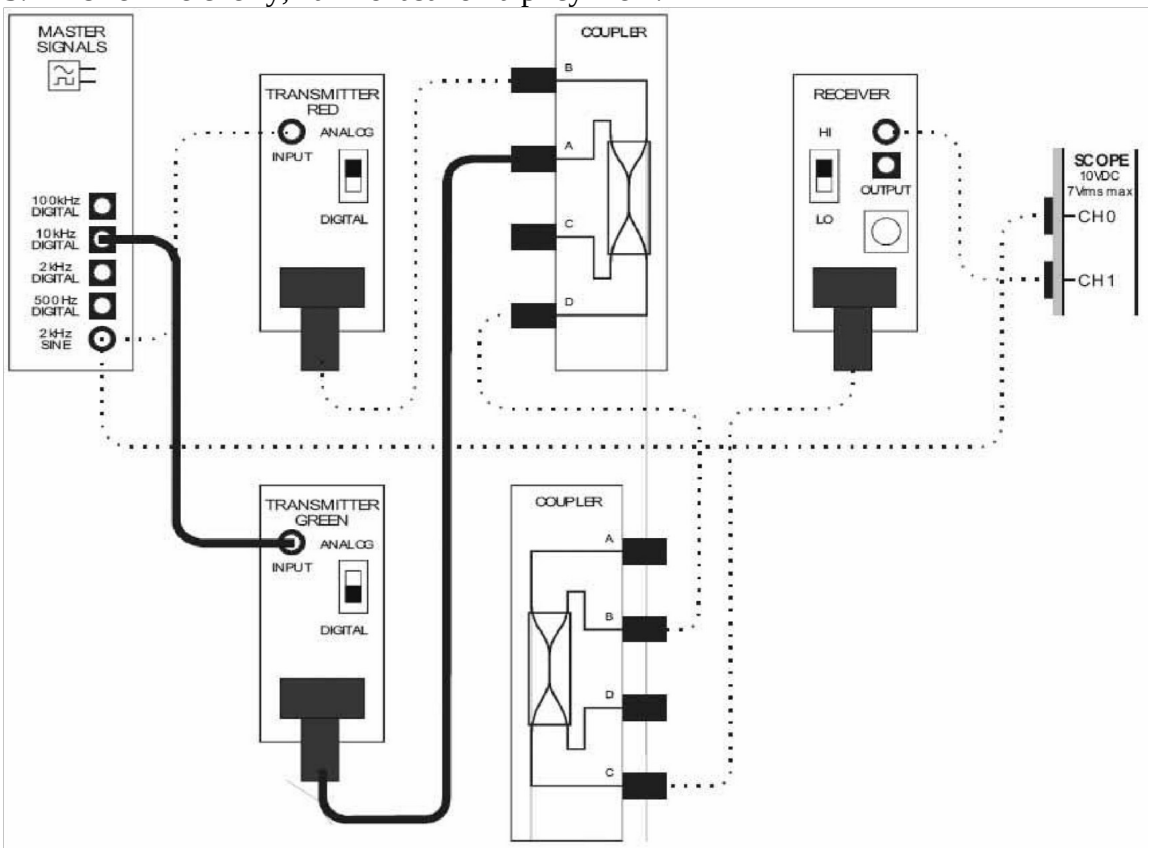


Рисунок 4

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рисунке 5. Теперь по оптическому каналу передаются два сигнала – аналогового сообщения и цифрового сообщения (сигнал с выхода 10 kHz DIGITAL генератора опорных сигналов).

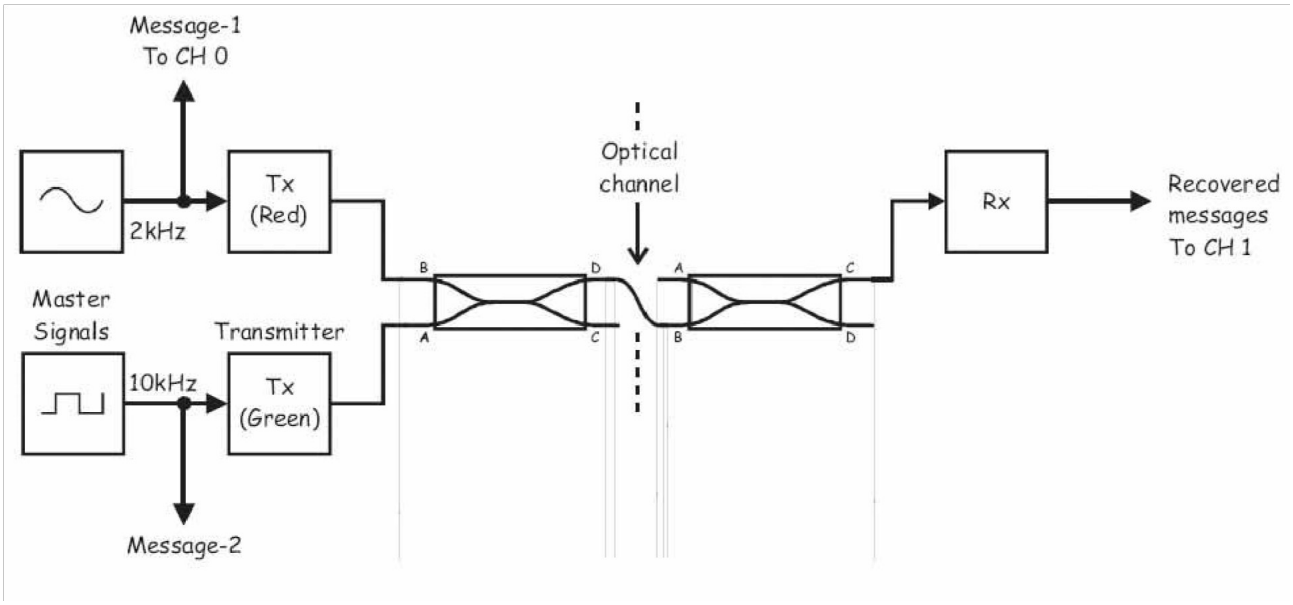


Рисунок 5

Master Signals – генератор опорных сигналов, Message-1 To CH 0 – сообщение 1 к каналу 0, Message-2 – сообщение 2, Transmitter (Red) – передатчик (с красным светодиодом), Transmitter (Green) – передатчик (с зеленым светодиодом), Coupler (Left) – разветвитель (левосторонний), Optical Channel – оптический канал, Coupler (Right) – разветвитель (правосторонний), Receiver – приемник, Recovered messages To CH 1 – восстановленные сообщения к каналу 1.

17. Изучите сигнал на выходе приемника.

Примечание: Вы должны увидеть искаженную версию сигнала, ранее наблюдаемого при выполнении п. 14.

Вопрос 1
Опишите увиденный вами сигнал.

_____

Вопрос 2
Каким образом разветвители вызвали это искажение?

_____

_____ _____

Чтобы подтвердить свой ответ на вопрос 2.

Отсоедините оптический проводник от приемника.

1. Направьте свободный конец оптического проводника на стол, стену, белую бумагу и т.п., чтобы увидеть световой сигнал, исходящий из световода.

На мгновение отсоедините оптический проводник, ведущий к передатчику с красным светодиодом, и пронаблюдайте за эффектом.

Примечание: Будьте внимательны, изменения довольно сложно заметить.

На мгновение отсоедините оптический проводник, ведущий к передатчику с зеленым светодиодом, и пронаблюдайте за эффектом.

Подключите обратно проводник, ведущий к передатчику, и не забудьте вернуть на место и два других.

Вопрос 3
Почему приемник не может просто выбрать один из двух сигналов и подавить другой?

_____
_____

Вопрос 4
Какой модуль нужно использовать, чтобы приемник преобразовывал в электрический только один световой сигнал, а не оба сразу?

_____
_____

Чтобы проверить ваш ответ на вопрос 4…

Измените схему, как показано на рисунке 6.

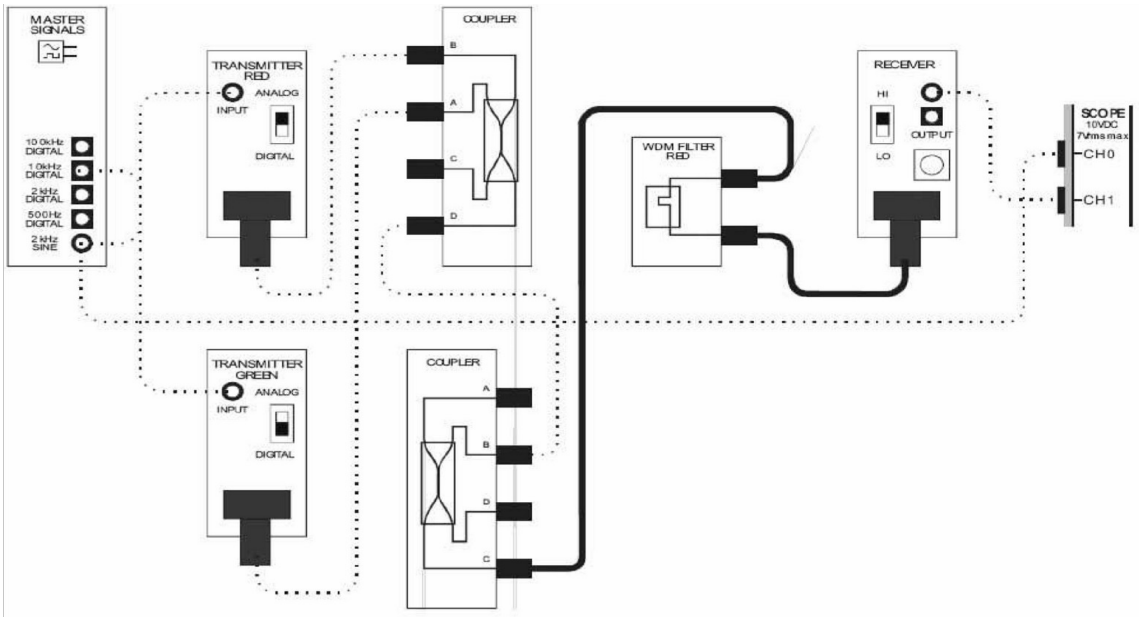


Рисунок 6

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рисунке 7. Между портом C правого разветвителя и входом приемника появился фильтр. Это сделано, чтобы приемник мог восстанавливать только аналоговое сообщение (Сообщение 1).

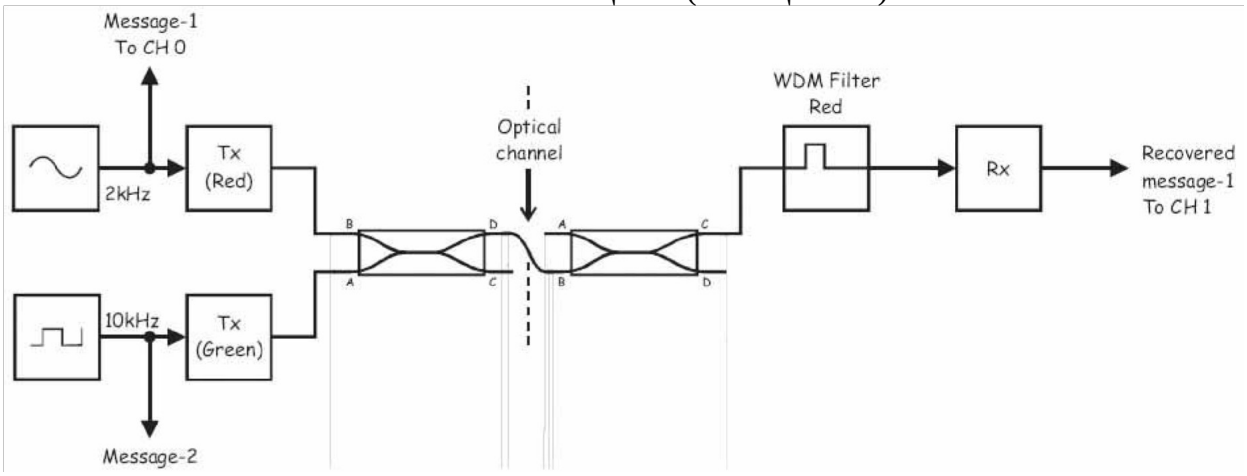


Рисунок 7

Message-1 To CH 0 – сообщение 1 к каналу 0, Message-2 – сообщение 2, Tx (Red) – передатчик (с красным светодиодом), Tx (Green) – передатчик (с зеленым светодиодом), Coupler (Left) –

разветвитель (левосторонний), Optical Channel – оптический канал, Coupler (Right) – разветвитель (правосторонний), WDM Filter Red – красный WDM-Фильтр, Rx – приемник, Recovered message-1 To CH 1 – восстановленное сообщение 1 к каналу 1

Установите элемент управления Channel 1 Scale (Масштаб канала 1) осциллографа в положение 200мВ/дел.

Наблюдайте сигнал на выходе приемника.

Примечание: Вы должны увидеть только восстановленное Сообщение 1.

Часть B – Преобразование схемы в двухканальную систему со спектральным уплотнением

Для преобразования собранной схемы в двухканальную систему со спектральным уплотнением потребуются дополнительный фильтр и приемник. Фильтр, используемый для приема на втором канале, должен блокировать красный свет и пропускать на приемник только зеленый свет. В следующей части эксперимента вы это проделаете.

Возьмите неиспользуемый приемник и установите его элемент управления Gain Range (Диапазон усиления) на HI.

Поверните регуляторVariable Gain (Регулируемый коэффициент усиления) этого приемника по часовой стрелке до упора.

Измените следующие настройки осциллографа:

Input Coupling (Связь с источником сигнала) для обоих каналов: DC (постоянный ток) вместо AC (переменный ток)
Channel 1 Vertical Position (Смещение по вертикали канала 1): -5В вместо 0В Channel 1 Scale (Масштаб канала 1): 1 В/дел. вместо 200 мВ/дел.
Trigger Level (Уровень запуска): 2 В вместо 0 В.

Измените схему, как показано на рисунке 4.

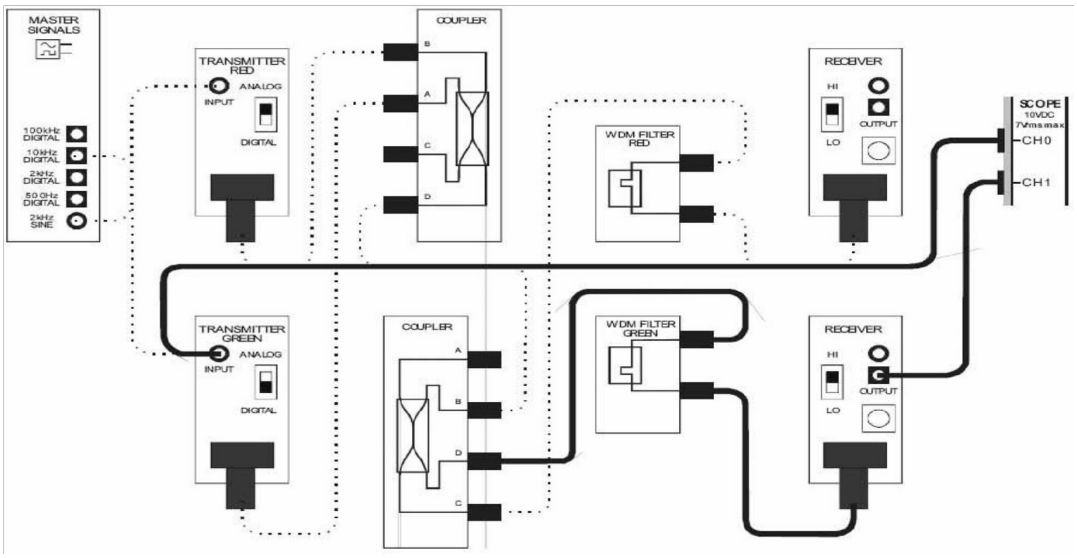


Рисунок 8

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рисунке 9. Прежде не использовавшийся порт D правого разветвителя подключен к зеленому WDM-Фильтру, который пропускает на второй приемник только зеленый свет. На выходе этого приемника будет копия Сообщения 2.

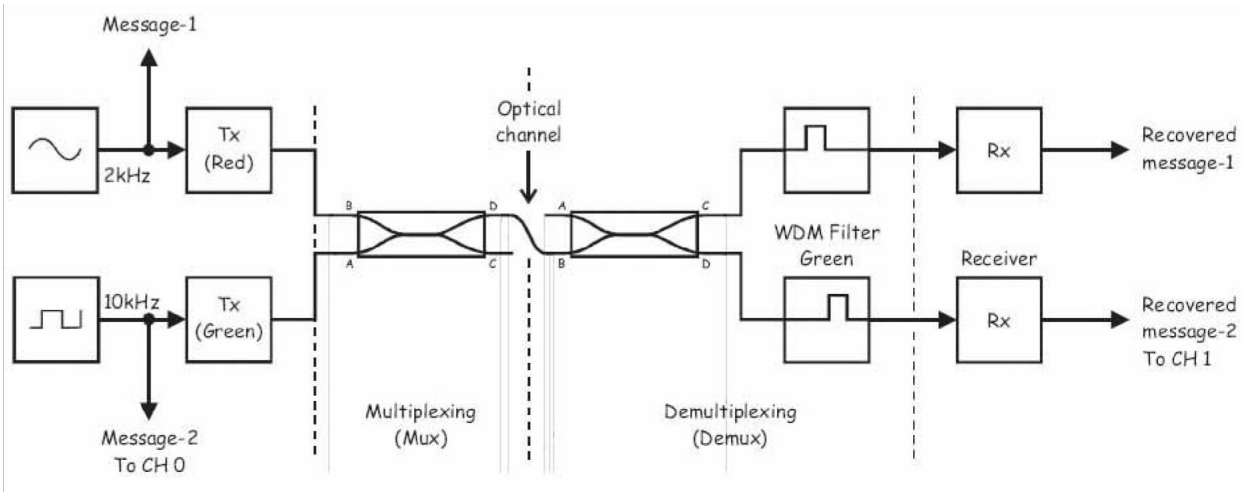


Рисунок 9

Message-2 To CH 0 – сообщение 2 к каналу 0, Message-2 – сообщение 2, Tx (Red) – передатчик (с красным светодиодом), Tx (Green) – передатчик (с зеленым светодиодом), Multiplexing – мультиплексирование, Optical Channel – оптический канал, Demultiplexing – демультиплексирование, WDM Filter Green – зеленый WDM-Фильтр, Receiver – приемник, Recovered message-1 - восстановленное сообщение 1 Recovered message-2 To CH 1 – восстановленное сообщение 2 к каналу 1

Наблюдайте осциллограммы сообщения 2 и его восстановленной копии на выходе второго приемника.

Примечание: Если схема была собрана верно, вы должны увидеть два сигнала прямоугольной формы частотой 10 кГц одинаковой амплитуды.

Измените следующие настройки осциллографа:

Input Coupling (Связь с источником сигнала) для обоих каналов: AC (переменный ток)
Channel 1 Vertical Position (Смещение по вертикали канала 1): 0B Channel 1
Scale (Масштаб канала 1): 200 мВ/дел. Trigger Level (Уровень запуска): 0 В.

Измените подключение осциллографа, как показано на рисунке 10.

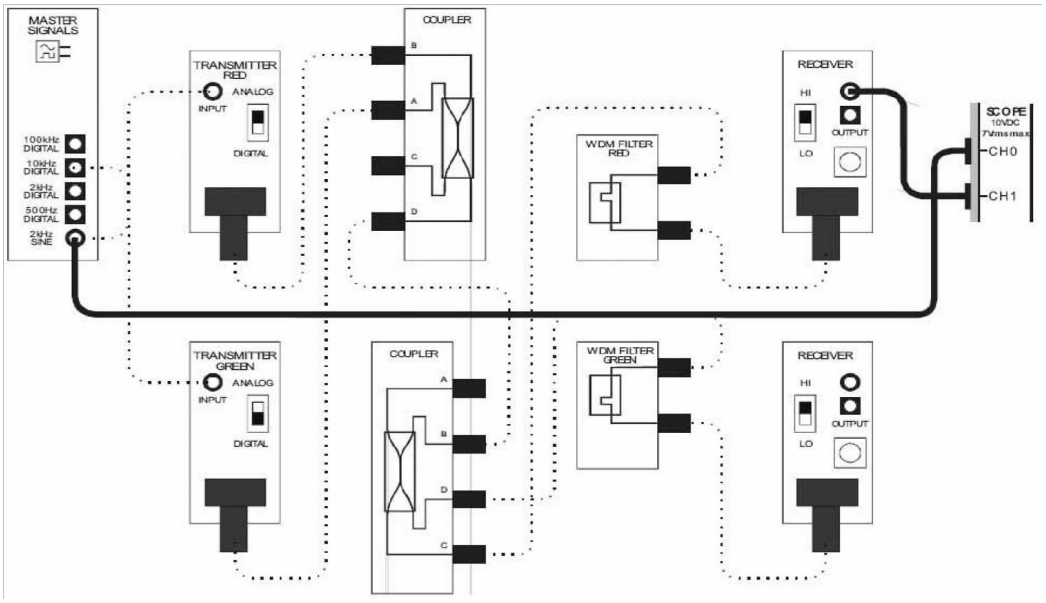


Рисунок 10

1. Отключите оптический проводник от выхода передатчика с **красным** светодиодом.

Установите элемент управления Channel 1 Scale (Масштаб канала 1) на 50 мВ/дел.

Наблюдайте сигнал на выходе приемника.
Примечание: Вы должны увидеть ослабленную копию сообщения 2.

Вопрос 5
Почему присутствует этот сигнал?

_____
_____

Вопрос 6
Какую потенциальную проблему может вызвать присутствие Сообщения 2 на выходе приемника Сообщения 1?

_____
_____

Вопрос 7
Хотя на выходе приемника Сообщения 2 также появляется ослабленная копия сообщения 1, это вряд ли вызовет ту же проблему для цифровых сигналов. Почему?

_____
_____

Часть C – Преобразование схемы в трехканальную TDM-WDM систему связи

Как было упомянуто в предварительном обсуждении, WDM используется для увеличения количества пользователей канала. Вспомните, что и TDM используется для той же самой цели. Неудивительно, что эти два метода можно комбинировать, что широко применяется в коммерческих телекоммуникационных системах. В следующей части эксперимента вы преобразуете собранную схему в трехканальную систему TDM-WDM.

Снова подключите оптический проводник к выходу передатчика с **красным** светодиодом.

Запустите ВП NI ELVIS II Function Generator (Генератор функций).

Настройте функциональный генератор с помощью виртуальных элементов управления для получения сигнала со следующими параметрами:
Waveshape (Форма сигнала): Sine (Синусоидальная)

1. Frequency (Частота): 1 кГц
2. Amplitude (Пиковая амплитуда): 4 В
3. DC Offset (Смещение по постоянному току): 0 В

Установите переключатель режимов Mode используемого передатчика с красным светодиодом в положение DIGITAL (Цифровой).

Измените следующие настройки осциллографа:
Input Coupling (Связь с источником сигнала) для обоих каналов: DC (постоянный ток)

4. Channel 1 Vertical Position (Смещение по вертикали канала 1): -5В Channel 1 Scale (Масштаб канала 1): 1 В/дел.
5. Trigger Level (Уровень запуска): 2 В.

Измените схему, как показано на рисунке 11.

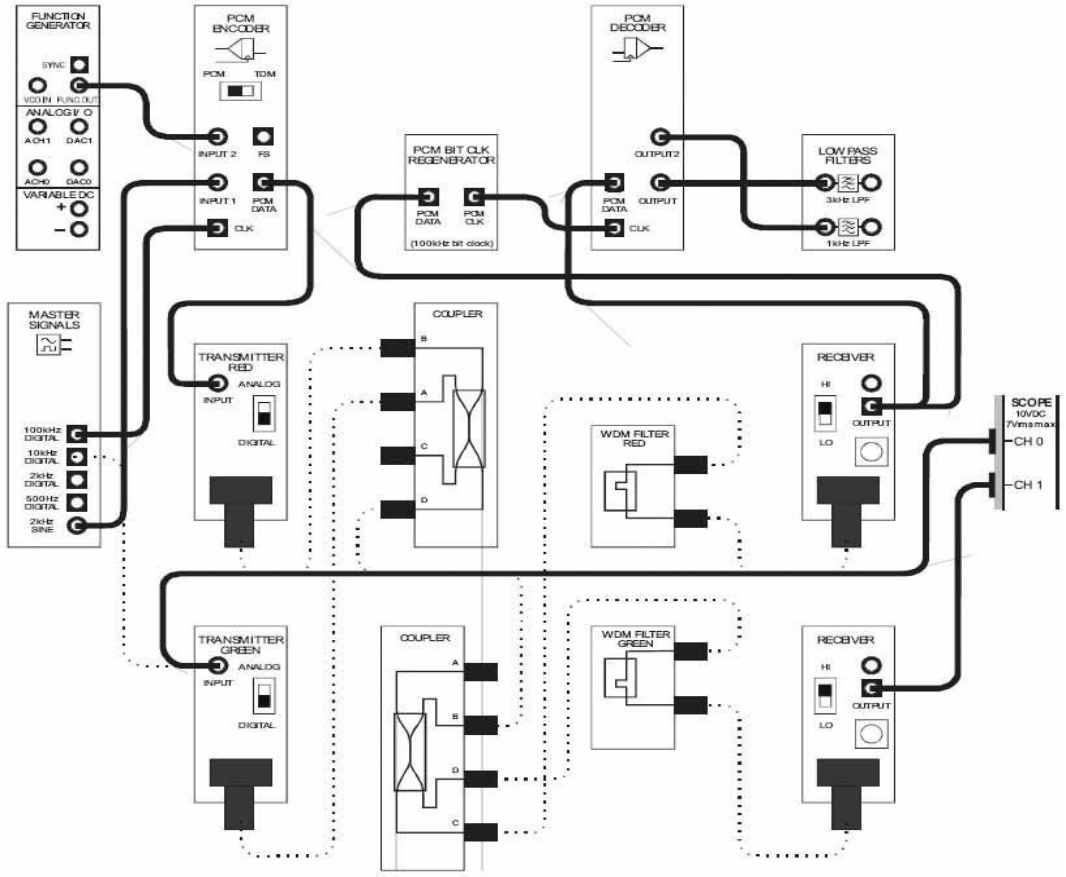


Рисунок 11

Выполненные соединения можно представить блок-схемой, изображенной на рисунке 12. Теперь по оптическому каналу передаются три сообщения. Сообщения 1 и 2 – аналоговые сигналы с выхода 2 kHz SINE генератора опорных сигналов и генератора функций (настроенного на синусоиду с частотой 1 кГц) соответственно. Эти сообщения кодируются методом PCM-TDM ИКМкодером, и цифровые данные посылаются по каналу с использованием красного света. Третье сообщение моделируется на выходе 10kHz DIGITAL генератора опорных сигналов и посылается по каналу с использованием зеленого света, как и раньше.

На принимающем конце красный свет, содержащий данные PCM-TDM, проходит через красный WDM-фильтр и посылается на ИКМ-декодер, где демультиплексируется и декодируется, после чего посылается на фильтр для восстановления исходных аналоговых сообщений. Локальные синхроимпульсы ИКМ-декодера извлекаются из сигнала ИКМ-данных с помощью Восстановителя битовой синхронизации.

Зеленый свет, содержащий Сообщение 3, фильтруется зеленым WDM-фильтром и доступен на выходе подключенного к нему приемника.

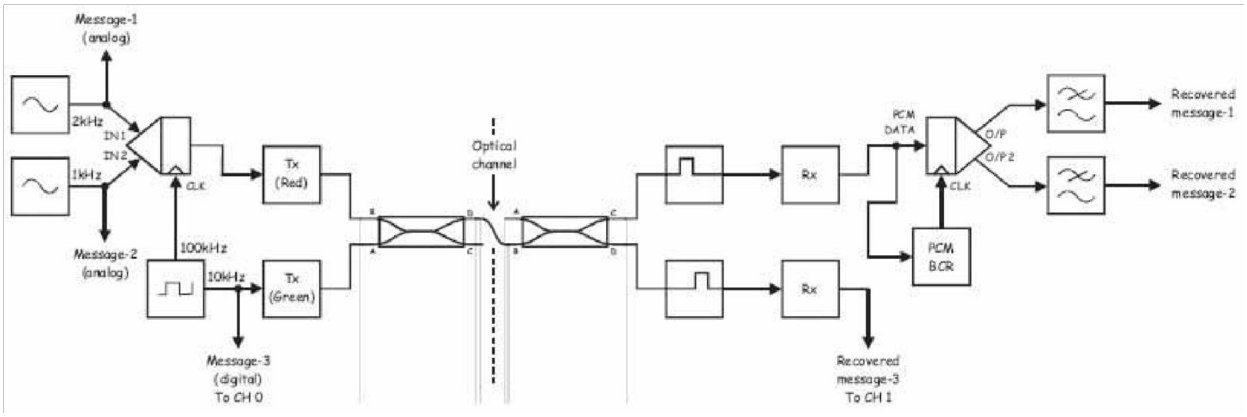


Рисунок 12

Message-1 (analog) - сообщение 1 (аналоговое), Message-2 (analog) - сообщение 2 (аналоговое),
Message-3 (Digital) To CH 0 – сообщение 3 (цифровое) к каналу 0, IN 1– вход сигнала сообщения 1,
IN 2– вход сигнала сообщения 2, CLK – вход синхронизации, Tx (Red) – передатчик (с красным светодиодом),
Tx (Green) – передатчик (с зеленым светодиодом), Optical Channel – оптический канал, Rx – приемник,
PCM data - ИКМ сообщение, PCM BCR – восстановитель сигнала битовой синхронизации,
Recovered message-1 - восстановленное сообщение 1, Recovered message-2 - восстановленное сообщение 2,
Recovered message-3 To CH 1 - восстановленное сообщение 3 к каналу 1

1. Проверьте, продолжает ли система восстанавливать цифровое сообщение (Сообщение 3).
2. Измените следующие настройки осциллографа:

Input Coupling (Связь с источником сигнала) для обоих каналов: AC (переменный ток)
Channel 1 Vertical Position (Смещение по вертикали канала 1): 0B Timebase (Масштаб по оси времени): 200 мкс/дел.
Trigger Level (Уровень запуска): 0 В.

3. Измените подключение осциллографа, как показано на рисунке 13.

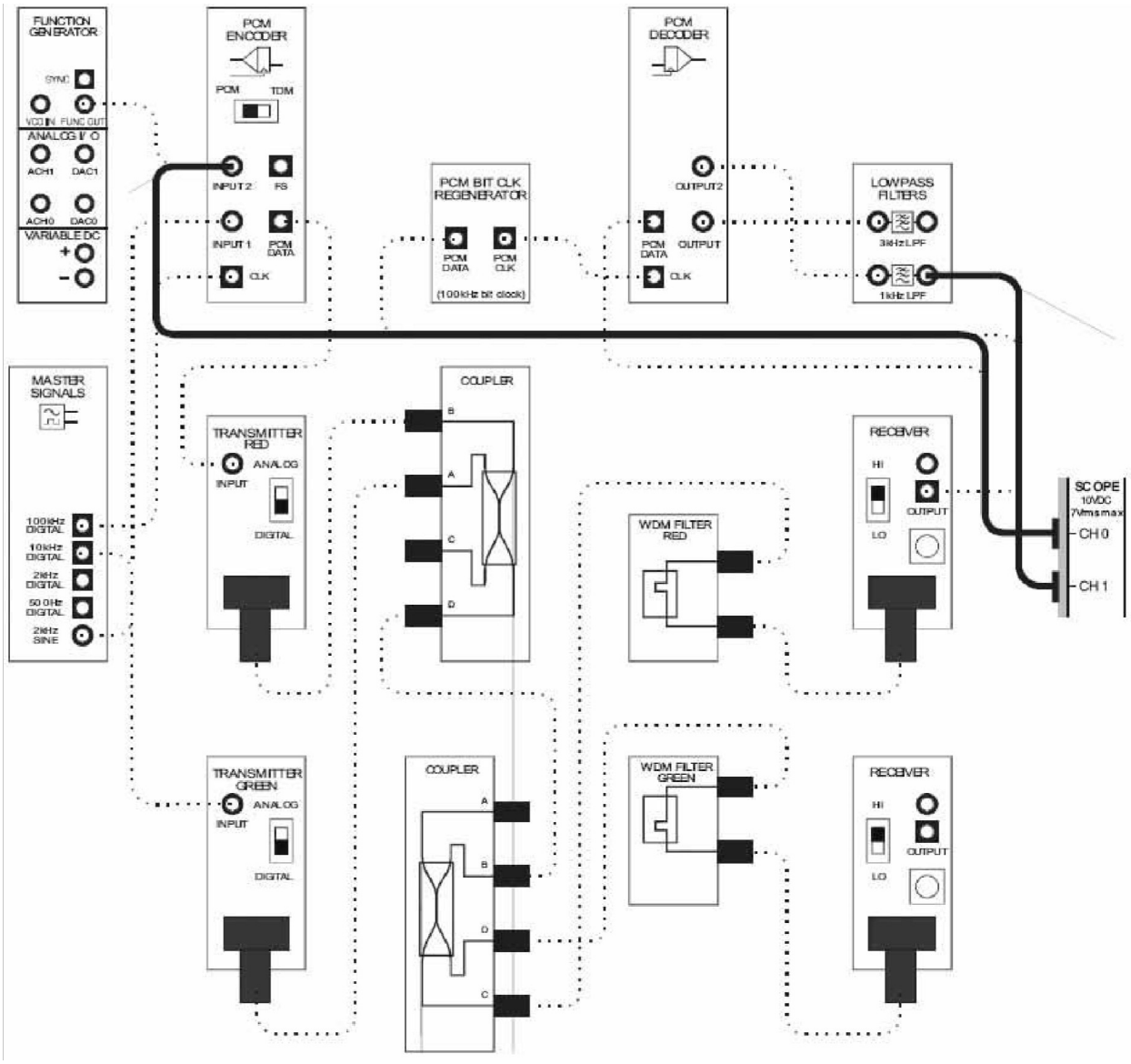


Рисунок 13

4. Наблюдайте аналоговое Сообщение 2 и его восстановленную версию на выходе ФНЧ с частотой среза 1 кГц.

Примечание: Если вы правильно собрали схему и настроили осциллограф, вы должны увидеть две синусоиды частотой 1 кГц.

5. Измените подключение осциллографа, как показано на рисунке 14.

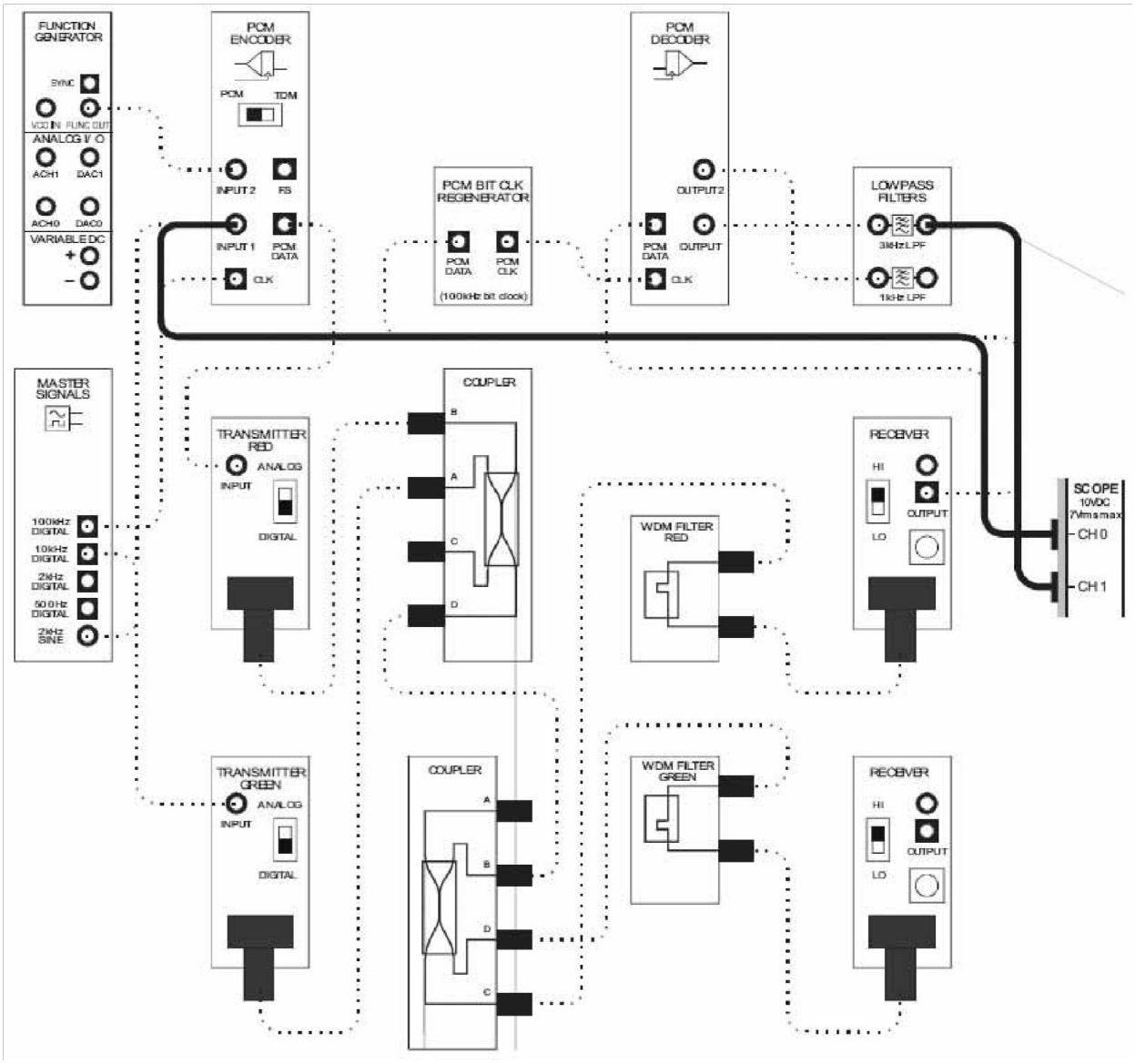


Рисунок 14

6. Наблюдайте аналоговое Сообщение 1 и его восстановленную версию на выходе ФНЧ с частотой среза 3 кГц.

Примечание: Если вы правильно собрали схему и настроили осциллограф, вы должны увидеть две синусоиды частотой 2 кГц (хотя восстановленный сигнал будет слегка искажен).

Лабораторная работа № 19
Тема: Изучение источников оптического излучения

Цель работы: изучить принципы действия оптоволоконных лазеров и диодов, научиться определять апертуру оптического волокна, нормированную частоту, количество мод и эффективность ввода оптического излучения в волокно.

Краткие сведения из теории

Оптические передатчики (ОП), применяемые в ВОСП, предназначены для преобразования электрических сигналов в оптические. С этой целью выходное излучение оптического источника модулируется в соответствии с входными электрическими сигналами, поступающими от передающего источника сообщений.

По характеру модуляции оптические передатчики делятся на передатчики с *прямой* (внутренней) и *внешней модуляцией* (рисунок 1).

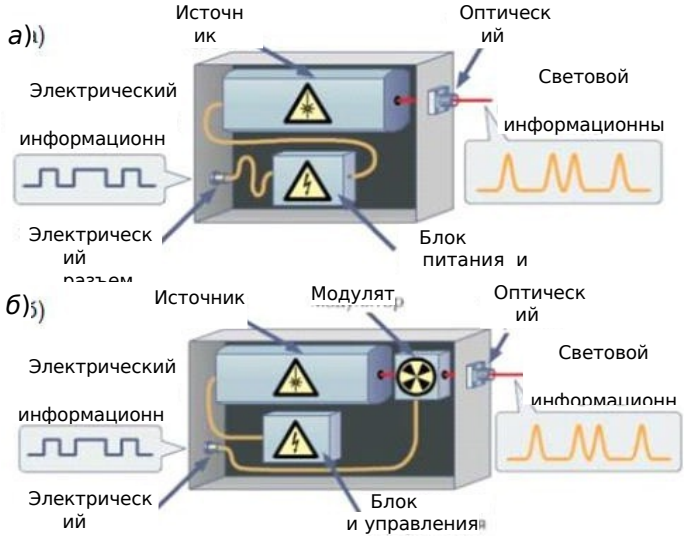


Рисунок 1 – Схемы оптических передатчиков с прямой (*а*) и внешней (*б*) модуляцией

В оптических передатчиках с *прямой* модуляцией мощность излучения источника света модулируется внешним электрическим током питания. В цифровых системах связи на основе передатчиков с прямой модуляцией используется простейший оптический формат передачи данных, при котором логическому нулю соответствует выключенное состояние источника излучения, а логической единице – включенное.

При скоростях передачи 10 Гбит/с и выше используются передатчики с *внешней* модуляцией. Источниками излучения в таких передатчиках, как правило, являются узкополосные одномодовые непрерывные полупроводниковые лазеры. Непрерывное оптическое излучение модулируется внешним модулятором, что обеспечивает формирование оптического сигнала с минимальной спектральной шириной. Кроме того, применение внешней модуляции позволяет использовать более сложные форматы модуляции и применять поляризационное разделение сигналов. Передатчики с внешней модуляцией используются в системах дальней связи, в которых требования к качеству оптического сигнала особенно высоки. Максимальная скорость передачи ин- формации, ограниченная быстродействием модулятора, составляет 40 Гбит/с. Для увеличения скорости передачи по одному каналу свыше 40 Гбит/с была предложена техника оптического временного уплотнения (OTDM). Такие системы работают со специальными источниками излучения – лазерами с синхронизацией мод, которые генерируют непрерывную последовательность ультракоротких импульсов (УКИ) света.

Источниками излучения в оптических передатчиках с прямой модуляцией являются полупроводниковые светоизлучающие диоды (светодиоды) или лазеры. Передатчики на основе светодиодов используются совместно с многомодовым волокном в низкоскоростных системах передачи информации на короткие расстояния, но постепенно вытесняются лазерными передатчиками. Основными недостатками светодиодов являются малая скорость передачи информации, малая выходная мощность, широкая полоса спектра и большая расходимость излучения. С другой стороны, светодиоды – более дешевые и неприхотливые приборы, которые вполне подходят для ряда систем небольшой протяженности или средней протяженности, но с малой скоростью передачи информации (менее 1 Гбит/с). Поэтому они широко используются в замкнутых системах видеонаблюдения, в локальных вычислительных сетях (ЛВС), в измерительных и других сетях, построенных на основе многомодового

оптического волокна. Применение светодиодов в аппаратуре связи позволяет существенно удешевить приемопередающее оборудование, что и является причиной использования кабелей с многомодовым волокном при строительстве ЛВС. В настоящее время с учетом снижения стоимости лазеров целесообразно применять вместо многомодового оптического волокна со светодиодами одномодовое оптическое волокно с лазерами в качестве оптических передатчиков. В городских сетях связи и системах дальней связи в качестве источников излучения используются полупроводниковые лазеры, обеспечивающие существенно большую вводимую в одномодовое волокно мощность, максимальную скорость передачи информации, обладающие существенно более узким спектром излучения по сравнению со светодиодами.

В системах передачи при скоростях до 2,5 Гбит/с применяются многомодовые **лазеры с резонатором Фабри – Перо** (рисунок 2). Роль зеркал- отражателей выполняют торцы полупроводникового кристалла.

Данный тип лазеров позволяет получить излучение на желаемой длине волны, а также боковые моды меньшей амплитуды, отделенные промежутками порядка 1 нм. Полная выходная мощность стабильна, однако имеет место изменение мощности отдельных мод, что, в свою очередь, приводит к возрастанию хроматической дисперсии, и, как следствие, к возрастанию уровня шумов в выходном сигнале. Следует отметить чувствительность данного типа лазеров к отражениям от внешних поверхностей оптических разъемов. Данное свойство также влияет на распределение мощности сигнала по отдельным модам.

Рисунок 2 – Структура лазеров с резонатором Фабри – Перо

При скоростях передачи 2,5 Гбит/с и выше применяются **лазеры с распределенной обратной связью** (Distributed Feed Back – DFB). В их структуре используется брэгговская дифракционная решетка для дополнительного уменьшения ширины линии генерации, которая служит механизмом обратной связи. Формируется она в активной зоне между двумя слоями лазерной структуры (рисунок 3).

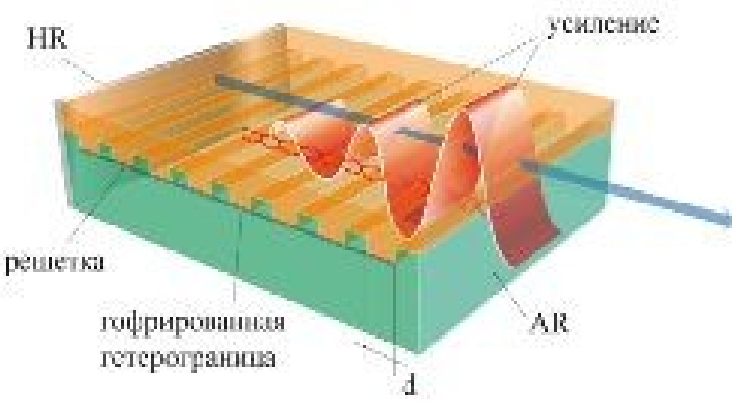


Рисунок 3 – Структура DFB-лазеров

Таким образом, DFB-лазер имеет встроенные возможности выбора длины волны благодаря механизму обратной связи. Обратная связь не локализована в одном месте, а распределена по длине резонаторной полости.

Лазеры с распределенной обратной связью позволяют ослабить влияние хроматической дисперсии, т. к. они работают в одномодовом одночастотном режиме, а в этом случае достигается минимальная ширина спектра излучения. Достигается данный эффект размещением зеркал на концах усиливающей области. В ней самой создается периодическая решетка показателя преломления. Период решетки d подобран так, чтобы условие Брэгга выполнялось для отражения в обратном направлении. С учетом показателя преломления n условие Брэгга имеет вид:

$$2nd \quad \lambda . \qquad (1)$$

Условие отражения от периодической структуры выполняется для лучей обоих направлений. Таким образом, периодическая решетка создает обратную связь в обоих направлениях, распределенную по всей длине лазера. Поскольку обратная связь, создаваемая периодической решеткой, является селективной, то в DFB-лазерах обеспечивается режим одномодовой генерации. Еще одно преимущество DFB-лазеров – возможность размещать их непосредственно на поверхности полупроводниковой подложки и подключать к ОВ на поверхности этой подложки, создавая интегральные оптические устройства.

В процессе работы параметры брэгговской решетки могут изменяться (нагрев, изменение тока накачки, влияние отражений от оптических разъемов и т. д.), что приводит к существенному изменению длины волны излучения лазера. Данные проблемы решаются путем добавления некоторых компонентов в структуру лазера: фотодиода для мониторинга выхода, термоэлектрического охладителя, схемы обратной связи для управления выходом и поддержания желаемой частоты.

Лазер с распределенными брэгговскими отражателями (Distributed Brag Reflector – DBR) содержит селективный элемент – брэгговскую решетку, расположенную в неактивной зоне (рисунок 4).

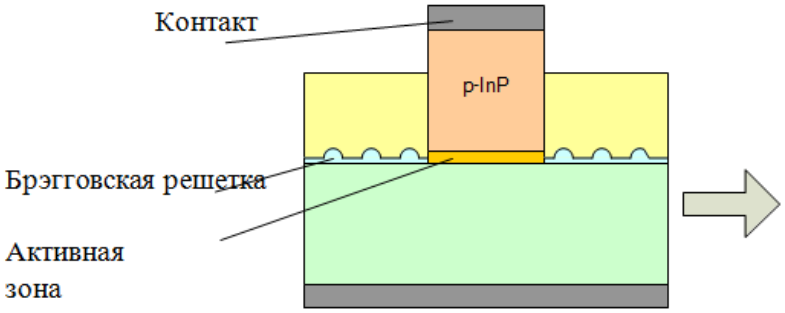


Рисунок 4 – Структура DBR-лазеров

Таким лазером обеспечивается более узкая, по сравнению с предыдущими типами, ширина спектра. Спектр отражения брэгговского отражателя определяется числом интерферирующих отраженных пучков, которое равно числу штрихов решетки. С увеличением числа интерферирующих пучков ширина спектра отражения уменьшается. Поэтому увеличением числа штрихов можно добиться того, что условия генерации будут выполняться только для одноймоды. Это обеспечивает поддержание режима одночастотной одномодовой генерации.

В **лазерах с вертикальным резонатором и поверхностным излучением** (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser – VCSEL) излучение направлено перпендикулярно *p*-*n*-слою (рисунок 5).

Вертикальная структура состоит из ряда слоев *p*-типа, активной области и ряда слоев *n*-типа. Сверху и снизу от активной среды расположены слои полупроводников с периодически изменяющейся величиной показателя преломления, которые изготавливаются из комбинации In + Ga + As + (Al или P). Слои выполняют функции лазерных зеркал, и излучение лазера направлено вертикально вверх, то есть перпендикулярно плоскости слоев. Число слоев зависит

от желаемой длины волны излучения. Например, комбинация In + Ga + As + P используется для лазеров с оптическим излучением в окне длин волн 1310–1550 нм.

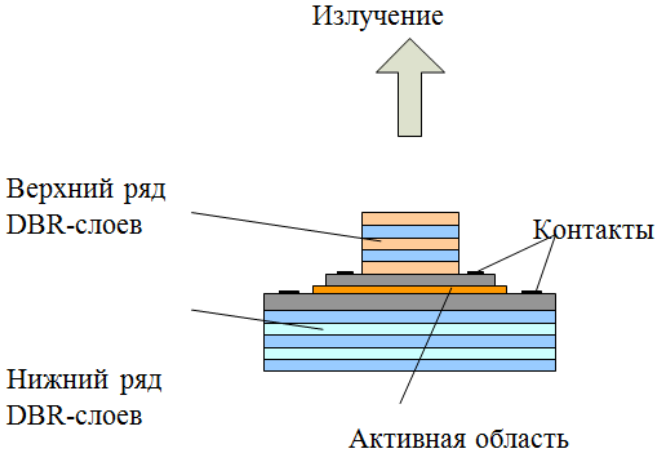


Рисунок 5 – Структура VCSEL-лазеров

Лазеры работают в одномодовом (продольная мода) режиме, используя резонатор исключительно малой длины (порядка 1 мкм), для которого разнесение мод превышает полосу частот усиления. Они излучают свет в направлении, перпендикулярном плоскости активного слоя, аналогично тому, как это делается в СИД с излучающей поверхностью. Работа такого лазера в одномодовом (поперечная мода) режиме может быть реализована путем уменьшения диаметра VCSEL до 2–3 мкм. Выходная мощность и ширина полосы лазеров типа VCSEL, как правило, ниже, чем аналогичные показатели DFB-лазеров.

Важнейшее преимущество VCSEL-лазеров состоит в их технологичности, так как на одном чипе можно разместить матрицу лазеров, каждый из которых может излучать заданную длину волны согласно сетке частот. Еще одним достоинством подобных систем является более простая технология стабилизации параметров, осуществляемая для всех лазеров массива одновременно.

Принципы работы **перестраиваемых лазеров** такие же, как и у лазеров с фиксированной длинной волны генерации. Основными элементами любого лазера являются усилитель и резонатор. В перестраиваемых лазерах применяются те же активные элементы, что и в обычных, поэтому свойства таких лазеров определяются конструкциями используемых перестраиваемых селективных резонаторов.

Перестраиваемые лазеры характеризуются двумя особенностями. Во- первых, спектр усиления их активного вещества должен быть достаточно широким для того, чтобы обеспечить генерацию во всем требуемом диапазоне перестройки. Во-вторых, резонатор лазера должен обладать высокой селективностью для выделения одной длины волны и его конструкция должна обеспечивать возможность перестройки в заданном диапазоне.

Простейший резонатор для создания обратной связи – резонатор Фабри – Перо, образованный двумя плоскопараллельными зеркалами или отражателями любого другого типа (рисунок 6). На длине резонатора L_{opt} расположено целое число q периодов стоячей волны, равных $\lambda_{рез}/2$. В частности, в простейшем полу проводниковом лазере роль отражателей играют торцы активного элемента – полупроводникового кристалла.

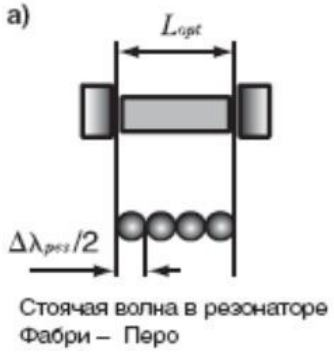


Рисунок 6 – Схема лазера с резонатором Фабри – Перо

Сами отражатели в таких лазерах являются неселективными, поэтому резонансные частоты νq определяются резонансными свойствами интерферометра Фабри – Перо.

Оптическая длина резонатора с расстоянием между зеркалами L (геометрическая длина), заполненного однородным прозрачным материалом, с показателем преломления n определяется выражением $L_{opt} = nL$.

Частотный интервал $\Delta\nu_{mm}$ между соседними резонансами (межмодовый интервал)

Только в лазерах с вертикальным резонатором обеспечивается одномодовый режим генерации, так как типичные размеры резонатора имеют величину несколько микрометров.

Перестраиваемый лазер с селектором на основе дифракционной решетки. Широкое применение для перестройки полупроводниковых лазеров нашли селекторы на основе дифракционной решетки, используемой по модифицированной схеме Литтмана-Меткалфа, так как такие селекторы обладают уникальным сочетанием узкополосности фильтра с широким диапазоном перестройки. В лазере с внешним резонатором из-за большой длины резонатора и плотного расположения продольных мод для обеспечения одномодового режима требуется достаточно узкополосный селектор, обеспечивающий необходимый уровень вносимых потерь для нерабочих продольных мод. Механизм селекции частоты лазера с внешним резонатором и комбинированным селектором на основе дифракционной решетки приведен на рисунке 7.

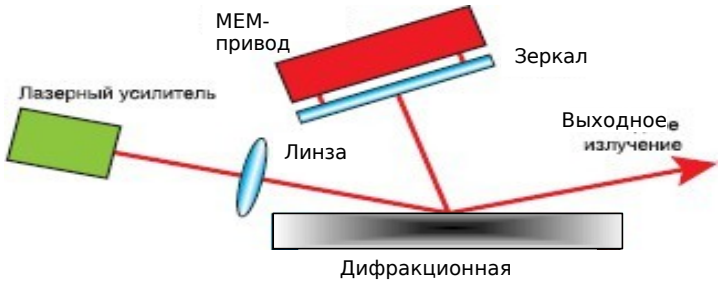


Рисунок 7 – Схема перестраиваемого лазера с селектором на основе дифракционной решетки

Резонатор лазера образован одним из торцов лазерного чипа, дифракционной решеткой и перестраиваемым зеркалом. Дифракционная решетка работает на одном из больших порядков дифракции, что обеспечивает ее высокую дисперсию и, следовательно, селективность. Различные спектральные компоненты отражаются от решетки под разными углами. Генерация осуществляется на той длине волны, для которой дифрагированный на решетке луч перпендикулярен поверхности зеркала. Перестройка частоты достигается изменением наклона зеркала с помощью микроэлектромеханического привода.

Перестраиваемые лазеры с брэгговскими решетками. Активная среда полупроводниковых лазеров представляет собой диэлектрический волновод, ограничивающий световой пучок в поперечном к оптической оси сечении. Для создания перестраиваемых волноводных лазеров необходимо использовать волноводные перестраиваемые селекторы. Роль селекторов играют периодические отражающие структуры с пространственным периодом порядка половины длины световой волны. Такие резонансные периодические структуры используются для создания обратной связи (брэгговские решетки). Они наносятся на поверхность волновода либо вытравливаются в них.

В лазерах с распределенной обратной связью (DFB-лазеры) решетка создается в активной среде. Обратная связь возникает вследствие брэгговского отражения, распределенного равномерно по всей активной области (рисунок 8, *а*). В лазерах с распределенными брэгговскими отражателями (DBR- лазеры) периодические структуры используются в качестве резонансных отражателей, размещенных вне активной среды (рисунок 8, *б*). Поскольку селективно отражающая и активная (усиливающая) области пространственно разделены, такие лазеры предоставляют больше возможностей для управления спектром излучения.

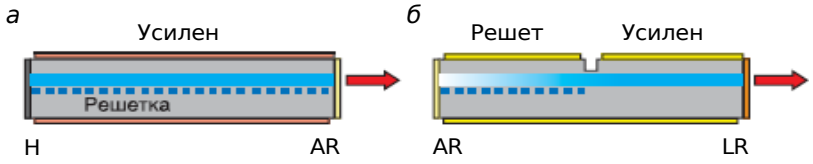


Рисунок 8 – Структурные схемы волноводных лазеров с периодическими структурами (решетками), используемыми для создания обратной связи: *а* – DFB-лазер; *б* – DBR-лазер

На основе DFB- или DBR-лазеров можно создавать интегрированные на одной планарной структуре фотонные устройства, включающие в себя пере- страиваемый лазер, модулятор и усилитель.

Перестраиваемые лазеры с вертикальными резонаторами. В лазерах с вертикальным резонатором (VCSEL) ось резонатора перпендикулярна плоскости слоев гетероструктуры, выполняющей роль активной усиливающей области. Поперечный размер активного слоя – доли микрометра, поэтому длина резонатора VCSEL тоже очень мала. Благодаря этому, во-первых, обеспечивается селекция одной продольной моды, а во-вторых, перестройка длины волны может быть осуществлена изменением оптической длины резонатора. Наиболее простой способ изменения оптической длины резонатора состоит в механическом перемещении одного из зеркал резонатора.

На рисунке 9 приведен перестраиваемый VCSEL мембранного типа, а на рисунке 10 – VCSEL консольного типа. Перестройка осуществляется перемещением верхнего подвижного зеркала, отделенного от пассивной *n*-области небольшим воздушным зазором. Перемещение зеркала, как и в других типах микроэлектромеханических устройств, осуществляется электростатическими силами при создании разности потенциалов между перемещающимся зеркалом и верхней частью полупроводниковой гетероструктуры. Для крепления зеркала используются механические устройства консольного или мембранного типа. Область перестройки VCSEL может достигать сотен нанометров и совпадать с шириной полосы усиления активного элемента.

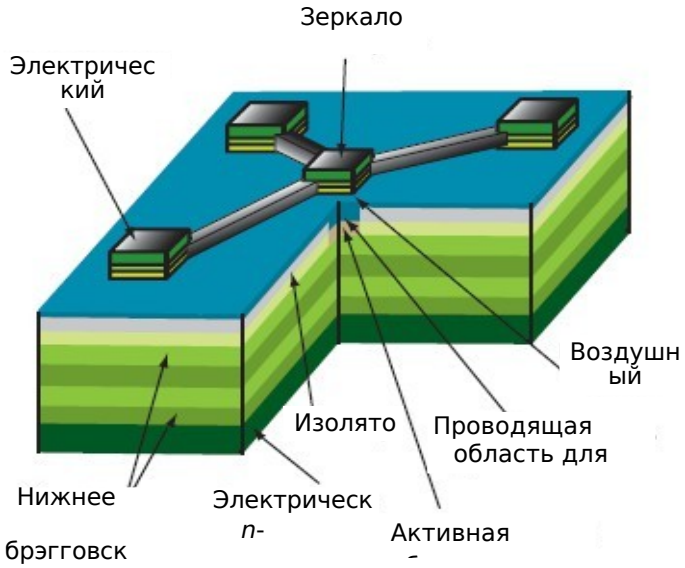


Рисунок 9 – Структурная схема перестраиваемого лазера с вертикальным резонатором мембранного типа (диапазон настройки – 30 нм)

Скорость перестройки и диапазон управляющих напряжений определяются конструкцией подвижного зеркала. Перемещение подвижного зеркала перестраиваемого VCSEL осуществляется за счет изменения электростатического притяжения подвижного зеркала и подстилающей области полупроводника при изменении разности потенциалов между ними. Типичные значения времени перестройки лежат в диапазоне от сотен микросекунд до единиц миллисекунд, включая время срабатывания цепи обратной связи для точной подстройки

частоты.

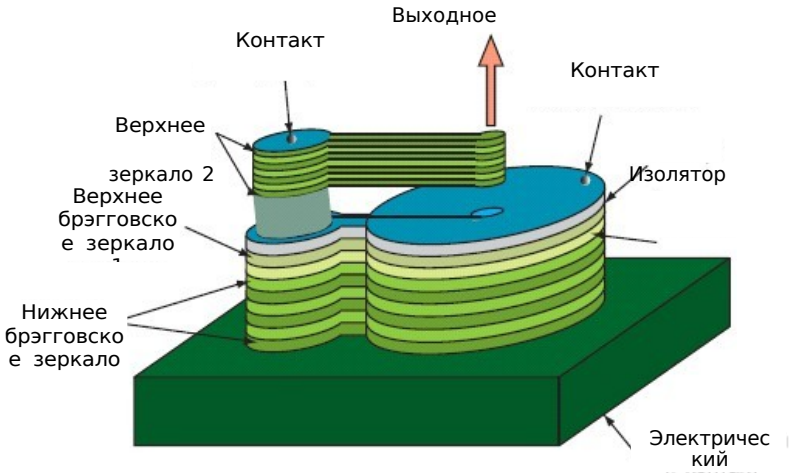


Рисунок 10 – Структурная схема перестраиваемого лазера консольного типа

Диапазон перестройки VCSEL равен минимальному из четырех спектральных диапазонов:

13. диапазона перестройки резонатора, определяемого конструкцией крепления перемещаемого зеркала;
14. области свободной дисперсии резонатора;
15. ширины спектра усиления активного вещества;
16. спектра отражения брэгговского зеркала.

Так же, как и в VCSEL с фиксированной длиной волны, в перестраиваемых VCSEL удается выделить одну поперечную моду с коэффициентом по- давления боковых мод более 20 дБ за счет уменьшения апертуры рабочей области до относительно малых размеров. Уменьшение рабочей области ограничивает достижимую выходную мощность, типичные значения которой лежат в диапазоне десятых долей милливатта.

При падении луча света на границу раздела двух сред в общем случае появляются эффекты отражения и преломления волны. Среда, у которой показатель преломления больше, называется оптически более плотной, а вторая – менее плотной. В соответствии с законом Снеллиуса углы падения α, отражения β и преломления γ (рисунок 11) связаны следующими соотношениями:

17. закон отражения – $\alpha = \beta$;
18. закон преломления – $n_c \sin\alpha = n_o \sin\gamma$.

Если луч переходит из оптически более плотной среды в менее плотную $n_c > n_o$, то $\gamma > \alpha$. Путем увеличения угла падения можно достичь состояния, при котором преломленный луч будет скользить по границе раздела сред, не переходя в другую среду.

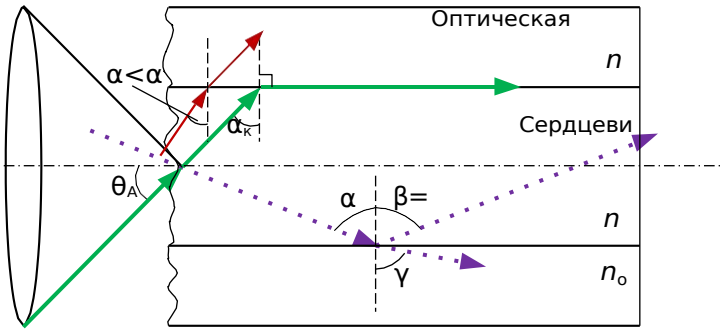


Рисунок 11 – Прохождение луча через границу раздела двух сред

Угол падения, при котором имеет место данный эффект, называется критическим углом $\alpha_{кр}$ полного внутреннего отражения (см. рисунок 11). Для критического угла $\alpha_{кр}$ имеет место следующее отношение:

$$\sin\alpha_{кр} = \frac{n_o}{n_c}. \quad (4)$$

Для всех углов падения, больших критического ($\alpha > \alpha_{кр}$), будут наблюдаться явления полного внутреннего отражения. Вся мощность светового луча практически полностью возвращается в область более плотной среды. На этом эффекте основан принцип передачи оптического излучения по ОВ.

Свет, попадающий на границу под углом меньше критического, будет проникать в оптическую оболочку и затухать по мере распространения в ней. Оптическая оболочка обычно не предназначена для переноса света, и свет в ней достаточно быстро затухает.

Таким образом, для обеспечения условия полного внутреннего отражения при распространении световых лучей необходимо обеспечить ввод излучения в торец ОВ под углом меньше θ_A (см. рисунок 11).

Угол θ_A между оптической осью и одним из лучей, образующих световой конус, для которого в дальнейшем выполняется условие полного внутреннего отражения, носит название апертуры ОВ.

Физически апертура характеризует эффективность ввода оптического излучения в ОВ, а для ее числовой оценки используется понятие числовой апертуры *NA*

$NA = \sin \theta_A$. (5)

Для теоретических расчетов числовой апертуры ступенчатого ОВ используется следующая формула:

$$NA \approx \sqrt{n_c^2 - n_o^2}. \quad (6)$$

Для практических расчетов числовой апертуры учитывается коэффициент *k*, который в соответствии со стандартом EIA-455-29 и EIA-455-44 равен 0,98 и 0,94 соответственно

$$NA \approx k\sqrt{n_c^2 - n_o^2}. \quad (7)$$

Для градиентных ОВ вводится понятие локальной числовой апертуры, которая показывает, что максимальный угол ввода оптического излучения в этом случае определяется тем, в какой точке сердцевины ОВ находится вер- шина конуса, иными словами, захват ОВ вводимого луча света зависит от того, в какой точке сердечника он вводится в градиентное ОВ.

Для градиентного волокна с параболическим профилем показателя преломления локальная числовая апертура определяется выражением

$$NA \approx \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{n_c^2 - n_o^2}. \quad (8)$$

Фактически количество оптической мощности, воспринимаемой ОВ, изменяется пропорционально квадрату *NA*. Числовая апертура ОВ не зависит от его физических размеров.

Из последнего выражения видно, что с увеличением разности показателей преломления сердечника и оболочки значение *NA* возрастает и, следовательно, улучшается эффективность ввода излучения в ОВ.

От значения *NA* зависят эффективность ввода излучения лазера или светодиода в волоконный световод, потери на микроизгибах, дисперсия импульсов, число распространяющихся мод.

Внутреннее отражение служит основой для распространения света вдоль обычного ОВ. Однако при анализе происходящих процессов учитываются только меридианные лучи, проходящие через центральную ось волокна после каждого отражения. Другие лучи, называемые асимметричными, движутся вдоль волокна, не проходя через его центральную ось. Траектория асиммет- ричных лучей представляет собой спираль, накручивающуюся вокруг цен- тральной оси. Асимметричные лучи, как правило, игнорируются в анализе большинства волоконно-оптических процессов.

Если рассматривать показатель преломления *n* как функцию радиуса *r*, то используется термин **профиль показателя преломления**. С его помощью описывается радиальное изменение показателя преломления сердечника от оси ОВ в направлении стекла оболочки.

Распространение мод в ОВ зависит от распределения профиля показателя преломления.

У ОВ со ступенчатым профилем показатель преломления $n(r) = n_1$ в стекле сердечника остается постоянным. Световоды с параболическим профилем называются градиентными (рисунок 12).

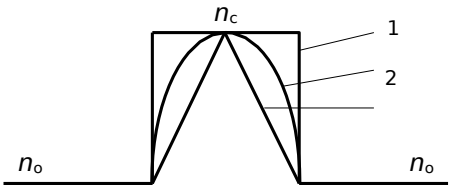


Рисунок 12 – Зависимость формы профиля от показателя степени профиля:
1 – ступенчатый профиль ($g \to \infty$); *2* – параболический профиль ($g = 2$);
3 – треугольный профиль ($g = 1$)

Другой важной величиной для описания волоконного световода является структурный параметр, или нормированная частота *V*:

$$V = \frac{\pi d}{NA, \lambda} \qquad (10)$$

где d – диаметр сердечника;

– длина волны;

NA – числовая апертура.

В случае, если рассчитанное значение $V < 2{,}405$ (для ступенчатого про- филя) или $V < 3{,}53$ (для параболического профиля), возможно распростра- нение единственной моды. Величина 2,405 равна функции Бесселя $I_0(x)$ при ее первом нулевом значении. Кривые функций Бесселя $I_n(x)$ выглядят как затухающие синусоидальные колебания. Это математическая функция для описания электрического поля в цилиндрических волноводах, таких как волоконные световоды. Минимальная длина волны, при которой в волокне распространяется фундаментальная мода, называется длиной волны отсеч- ки, значение которой легко определяется из условия одномодовости. Для ступенчатого профиля минимальная длина волны

$$\lambda_{\text{мин}} = \frac{\pi d}{2{,}405 NA.} \qquad (11)$$

Минимальная длина волны для параболического профиля

$$\lambda_{\text{мин}} = \frac{\pi d}{3{,}53 NA.} \qquad (12)$$

В случае, если рассчитанное значение $V > 2{,}405$ (для ступенчатого профи- ля) или $V > 3{,}53$ (для параболического профиля), возможно распространение нескольких мод. Тогда значение нормированной частоты округляется до большего целого числа и минимальная длина волны определяется:

$$\lambda_{\text{мин}} = \frac{\pi d}{V NA.} \qquad (13)$$

Оценить частоту можно при помощи формулы:

$$\lambda_{\text{мин}} = \frac{c}{f_{\text{мин}}}, \qquad (14)$$

где c – скорость света в вакууме, $c = 2{,}9979 \cdot 10^8$ м/с,

$f_{\text{мин}}$ – частота, Гц.

При стыковке одномодовых ОВ между собой важную роль играет диаметр модового поля, который более точно оценивает размеры поперечного распре- деления энергии основной моды. В многомодовых ОВ размер сердцевины принято оценивать ее диаметром, однако в одномодовых волокнах применяется понятие диаметра модового поля. Это связано с тем, что

энергия основ- ной моды в ОВ распространяется не только в сердцевине, но и частично в оболочке, захватывая ее приграничную область.

В случае если $V > 2{,}405$ или $V > 3{,}53$, рассчитывается количество мод N, распространяемых в сердечнике, для любого профиля показателя преломления, описываемого по степенному закону

$$N \approx \frac{V^2}{2}\cdot\frac{g}{g+2}, \qquad (17)$$

где g – показатель степени профиля;

V – нормированная частота.

В лабораторной работе исследуется эффективность ввода когерентного излучения с помощью линзы в многомодовое волокно со ступенчатым профилем показателя преломления. Излучение лазера с диаметром пучка a вводится в волокно с помощью линзы с фокусным расстоянием F. Представим фокальное пятно, формируемое этой линзой, как вторичный источник, излучающий с постоянной мощностью в пределах конуса излучения с углом при вершине θ (угол между осью конуса и крайним лучом) (рисунок 13).

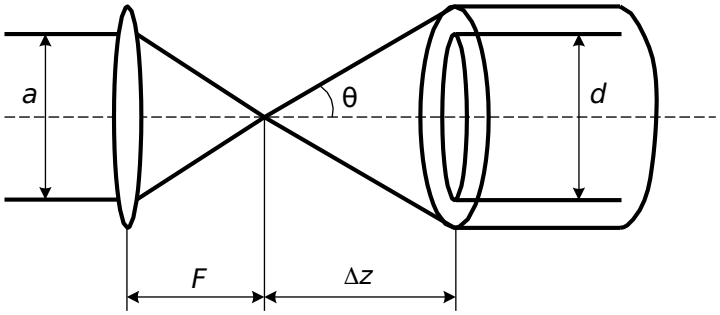


Рисунок 13 – Ввод излучения в оптоволокно

Угол θ, как видно из рисунка 13, зависит от фокусного расстояния и диаметра пучка.

Если оси светового конуса и оптического волокна совпадают, а фокальное пятно смещено на расстояние Δz относительно входного торца световода, то в плоскости входного торца источником будет освещаться круг диаметром a.

Однако следует иметь в виду, что количество введенной в волокно оптической мощности существенно зависит от числовой апертуры волокна NA.

Световод захватывает только те лучи, которые заключены внутри конуса с максимальным углом θ_A, определяемым полным внутренним отражением на границе сердечник – оболочка. Поэтому для ввода в волоконный световод всей оптической мощности излучателя (без учета потерь на отражение) должно выполняться условие $\theta < \theta_A$.

Подставив в условие $\theta < \theta_A$ выражение для θ и θ_A из (5) и (18), получаем условие максимальной эффективности возбуждения световода:

$$\operatorname{arctg}\frac{a}{2F} \approx \arcsin NA. \qquad (19)$$

Эффективностью ввода η называют отношение оптической мощности излучения, введенной в световод $P_{ов}$, к оптической мощности источника излучения $P_и$:

$$\eta = \frac{P_{ов}}{P_и}. \qquad (20)$$

Эффективность ввода находится в пределах $0 \le \eta \le 1$.

Из рисунка 13 следует, что источником излучения является вторичный источник, мощности которого $P_и$ соответствует максимальное напряжение на выходе фотоприемника U_{max}. Величина мощности $P_{ов}$ зависит от осевого смещения Δz, поперечного и углового смещений источника света. Этой мощности соответствует напряжение U на выходе фотоприемника.

Порядок выполнения работы

1. Изучите краткие сведения из теории и ответьте на контрольный вопрос, заданный преподавателем.
2. Выберите и запишите исходные данные для расчета из таблицы 1 в соответствии с заданным вариантом.
3. Используя формулы (4)–(8), определите критические углы. Изобразите рисунок 11 и отметьте на нем рассчитанные значения углов.
4. Используя выражения (10)–(17), определите нормированную частоту, минимальную длину волны, частоту, радиус и диаметр модового поля, количество мод. Результаты расчета сведите в таблицу 2.

Таблица 1 – **Исходные данные**

Номер варианта	Рабочая длина волны , мкм	Диаметр сердцевины d, мкм	k	n_C	n_O	Профиль показателя преломления	F, a, мкм	мкм
1	1,31	8,3	0,98	1,468	1,462	С*	90	20
2	1,55	62,5		1,464	1,457	П	150	30
3	1,31	50,0		3,600	3,550	П	200	100
4	1,55	50,0		1,464	1,457	П	150	30
5	1,31	8,7	0,98	1,467	1,460	С	110	30
6	1,55	8,8	0,94	3,580	3,450	С	200	150
7	1,31	8,5	0,94	1,469	1,463	С	100	20
8	1,55	62,5		1,470	1,439	П	150	50
9	1,31	50,0		1,460	1,442	П	200	50
10	1,55	8,3	0,94	1,468	1,463	С	110	20
11	1,31	8,0	0,98	1,500	1,495	С	300	50
12	1,55	50,0		1,474	1,468	П	150	20
13	1,31	50,0		1,450	1,449	П	300	20
14	1,55	50,0		1,493	1,450	П	300	20
* С – ступенчатый, П – параболический профиль показателя преломления								

5. С помощью выражения (18) определите угол ввода оптического излуче- ния в волокно. Используя выражение (22), постройте график зависимости $\eta(\Delta z)$ и по нему определите оптимальное смещение и эффективность ввода. Изобразите рисунок 13 и отметьте на нем рассчитанные значения.
6. Сделайте вывод по результатам расчета.

Таблица 2 – **Результаты расчета**

Номер варианта	
Значение критического угла $\alpha_{кр}$, град	
Угол полного отражения θ_A, град	
Нормированная частота V	
Минимальная длина волны $\lambda_{мин}$, мкм	
Диаметр модового поля D, мкм	
Количество мод N	
Угол ввода оптического излучения θ, град	

Содержание отчета

1. Ответ на контрольный вопрос.
2. Исходные данные для выполнения расчета.
3. Подробные расчеты.
4. График зависимости η(Δz).
5. Рисунок с отмеченными на нем рассчитанными значениями.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Отличие передатчиков с прямой и внешней модуляцией.
2. Виды источников излучения и их отличия.
3. Принцип действия лазера с резонатором Фабри-Перо.
4. Лазер с распределенной обратной связью.
5. Лазер с распределенными брэгговскими отражателями.
6. Лазер с вертикальным резонатором и поверхностным излучением.
7. Особенности перестраиваемых лазеров.
8. Перестраиваемый лазер с селектором на основе дифракционной решетки.
9. Перестраиваемые лазеры с брэгговскими решетками.
10. Перестраиваемые лазеры с вертикальными резонаторами мембранного типа.
11. VCSEL консольного типа.
12. Понятие апертуры оптического волокна.
13. Профили показателя преломления.
14. Эффективность ввода излучения в оптическое волокно.

Часть 2.Краткие сведения из теории

Приемные оптические модули (ПРОМ) являются важными элементами ВОСП, предназначенными для преобразования оптического сигнала, принятого из волокна, в электрический, который обрабатывается далее электронными устройствами.

Основными элементами ПРОМ являются фотодетектор, преобразующий полученный оптический сигнал в электрический, и каскад электрических усилителей, усиливающих сигнал и преобразующих его в форму, пригодную для обработки.

Фотодетектор, как и источник оптического излучения, должен отвечать определенным требованиям: обладать высокой чувствительностью и быстродействием, вносить минимальные шумы в приемную систему, отличаться стабильностью рабочих характеристик, иметь небольшие размеры, быть высоконадежным и недорогим.

Среди полупроводниковых фотодетекторов наибольшее применение в ВОСП получили PIN-фотодиоды и лавинные фотодиоды. В основе работы фотодетектора лежит явление внутреннего фотоэффекта, при котором в результате поглощения фотонов с энергией, превышающей энергию запрещенной зоны, происходит переход электронов из валентной зоны в зону проводимости (генерация электронно-дырочных пар). Если к полупроводнику приложить напряжение, то появится электрический ток, обусловленный движением электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне.

Эффективная регистрация генерируемых в полупроводнике электронно- дырочных пар обеспечивается путем разделения носителей заряда. Для этого используется полупроводниковая конструкция с *p*-*n*-переходом, которая называется фотодиодом.

PIN-фотодиоды. Наиболее распространены фотодетекторы на основе **кремниевых** и **InGaAs PIN-фотодиодов**. Пик чувствительности кремниевых фотодиодов находится в районе длины волны 900 нм, фотодиоды типа InGaAs имеют наибольшую чувствительность в диапазоне длин волн 1300–1500 нм.

Отличительной особенностью *PIN-фотодиода* является наличие *i*-слоя (слаболегированного полупроводника *n*-типа) между слоями *p*+- и *n*+-типа (рисунок 1).

Такой *i*-слой называется обедненным, поскольку в нем нет свободных носителей. Сильное легирование крайних слоев делает их проводящими, поэтому все напряжение падает на *i*-слой и в нем создается максимальное значение электрического поля. Но поскольку в *i*-слое нет свободных носителей, то в нем нет и электрического тока.

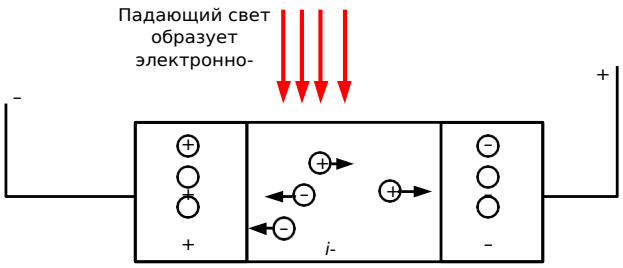


Рисунок 1 – Схема структуры *p*-*i*-*n*-фотодиода

При наличии падающего на *i*-слой излучения в нем образуются свободные электронно-дырочные пары, которые под воздействием электрического поля быстро разделяются и двигаются в противоположных направлениях к своим электродам, образуя электрический ток. Электрический ток идет до тех пор, пока образуются электронно-дырочные пары, то есть пока на фотодиод падает свет. Эффективным является взаимодействие излучения только с *i*-слоем, поэтому его делают протяженным, а крайние слои – узкими.

На рисунке 2 показано поперечное сечение *кремниевого фотодиода*. Его основным материалом является кремний *n*-типа. Фотодиодные переходы, по сравнению с обычными *p*-*n*-переходами, необычны тем, что верхний слой *p*-типа очень тонок. Кремний имеет обедненный слой электрических зарядов вблизи *p*-*n*-перехода. Прикладывая обратное напряжение смещения на такой переход, можно изменять глубину обедненного слоя, и, как следствие, емкость обедненного слоя. С увеличением степени обеднения эта емкость уменьшается до тех пор, пока не будет достигнуто состояние полного обеднения. Обедненный слой особенно важен для характеристик фотодиода благодаря тому, что он в большей степени определяет чувствительность к световому излучению.

Пары электрон-дырка формируются, когда свет поглощается в активной области. В ней электроны отделяются и проходят в область *n*-типа, а дырки – в область *p*-типа. Это приводит к возникновению тока, генерируемого падающим светом. Такая миграция электронов и дырок в области их пред- почтения называется фотогальваническим эффектом. Генерируемый ток, обычно определяемый как ток короткого замыкания, линейно зависит от света, излучаемого на активную область. Этот ток может изменяться в достаточно широком диапазоне.

На рисунке 3 приведена обобщенная схема фотодетектора на основе InGaAs. Так как ширина запрещенной зоны для InP равна 1,35 эВ, *p*-слой и *n*-слой прозрачны для света с длиной волны более 0,92 мкм. Ширина запрещенной зоны для *i*-слоя, состоящего из материала InGaAs, равна 0,75 эВ. Эта величина соответствует длине волны отсечки 1650 нм. Следовательно, средний слой из материала InGaAs поглощает длины волн в области 1300–1600 нм.

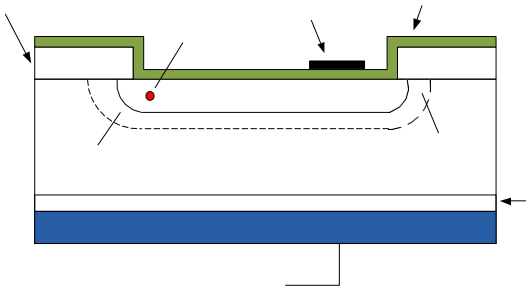


Рисунок 2 – Поперечное сечение кремниевого фотодиода

Этот тип PIN-фотодиодов имеет очень хорошие характеристики во втором и третьем окнах прозрачности.

Детекторы на основе лавинных фотодиодов (Avalanche Photo Diode – APD) представляют из себя PIN-диоды с усилением благодаря лавинному умножению в обратно смещенном *p*-*n*-переходе, за счет которого повышается его квантовая эффективность. На рисунке 4 схематически представлено поперечное сечение типичной структуры APD, сочетающей преимущества лавинного и PIN-фотодиода.

На рисунке 4 показаны зоны поглощения и умножения. Поперек зоны приложено электрическое поле, которое разделяет фотогенерируемые дырки и электроны и забрасывает

один тип носителей в зону умножения. Эта зона умножения представляет собой область высокой электрической напряженности, способной обеспечить усиление внутреннему фототоку за счет ударной ионизации. Кроме того, способность данного поля к умножению носителей должна позволить достичь эффективного усиления и при напряженности поля ниже напряжения пробоя для данного диода.

Требование высоких значений внутреннего усиления накладывает достаточно жесткие ограничения на качество и однородность полупроводникового материала, поскольку коэффициент умножения экспоненциально сильно зависит от напряженности электрического поля.

Лавинному фотодиоду требуется снабжение стабильным высоким напряжением и более сложная схема смещения, что повышает стоимость и снижает надежность. Из этого следует, что PIN- фотодиоды обычно являются более предпочтительными устройствами для нормального использования. У лавинных диодов чувствительность повышена от 5 до 10 дБ, а время ответа снижено вдвое по сравнению со стандартными PIN-фотодиодами.

Такие лавинные диоды необходимы, когда у системы большие потери и она должна работать при низких отношениях уровня сигнал/шум, как в линиях связи на больших расстояниях. В таких системах экономия за счет дополнительных повторителей перевешивает недостатки.

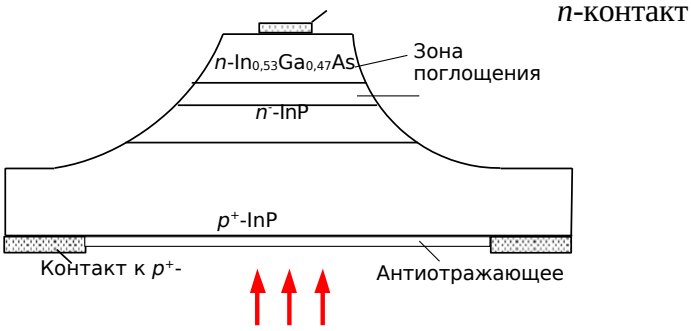


Рисунок 4 – Поперечное сечение типичной гетероструктуры лавинного фотодиода

Глаз-диаграммы применяются для оценки параметров цифровых сигналов как при проведении лабораторных (системных) измерений, так и эксплуатационных.

По своей структуре глаз-диаграммы являются модификацией осциллограмм и отличаются от последних тем, что используют периодическую структуру цифрового сигнала.

Для построения двухуровневой глаз-диаграммы битовый поток подается на осциллограф, в то время как синхронизация внешней развертки производится от битового потока с частотой f.

В случае построения многоуровневых диаграмм сигнал должен проходить через многоуровневый конвертер, а синхронизация производится от символь- ного потока с частотой f_s.

Для калибровки глаз-диаграммы сигнал подают непосредственно на вход осциллографа. В этом случае глаз-диаграмма имеет вид прямоугольника.

Фильтр (тестируемая система), ограничивающий полосу передаваемого сигнала, вносит существенные изменения в форму импульса, в результате диаграмма приобретает форму «глаза». Глаз-диаграммы используют перио- дическую структуру цифрового сигнала.

За счет внешней синхронизации развертки получаемые осциллограммы волнового фронта накладываются друг на друга с периодом одного отсчета.

В результате проведения измерений с накоплением получается глаз- диаграмма (рисунок 5), при этом по оси ординат откладывается амплитуда сигналов, по оси абсцисс – время.

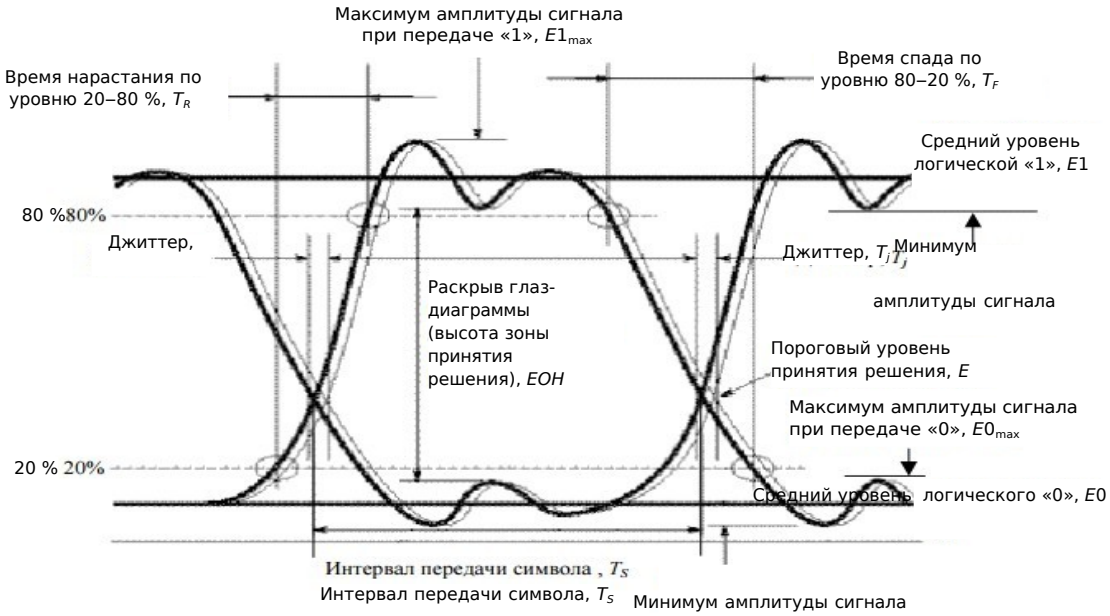


Рисунок 5 – Идентификация глаз-диаграммы

Реальная осциллограмма сигнала «разрезается» посимвольно в соответствии с тактовыми импульсами синхронизирующего генератора, а затем глаз-диаграмма «складывается» из полученных кусков.

В идеальном случае при отсутствии цепей фильтрации в результате такого сложения получится квадрат («квадратный глаз»).

Однако глаз-диаграмма реального сигнала будет значительно отличаться от квадрата, поскольку будет содержать в себе составляющие нарастания фронта сигнала и спада фронта; прямоугольный импульс будет иметь форму колокола.

Исследование глаз-диаграмм позволяет провести детальный анализ цифрового сигнала по параметрам, непосредственно связанным с формой волнового фронта: параметра межсимвольной интерференции, передачи данных, синхронизации и других характеристик.

Глаз-диаграмма представляет собой результат многократного наложения битовых последовательностей с выхода генератора, отображаемый на экране осциллографа в виде диаграммы распределения амплитуды сигнала по времени (рисунок 6).

Эффекты уширения импульса, а также фазовое дрожание сигнала вызывают появление взаимных искажений между символами, что приводит к пересечению глаз-диаграммы с временной осью в разные промежутки времени. Максимальная ширина области пересечения с временной осью определяется как пиковое фазовое дрожание, или джиттер передачи данных T_j. Джиттер измеряется обычно в единицах времени или как отношение к интервалу передачи символа T_j/T_s.

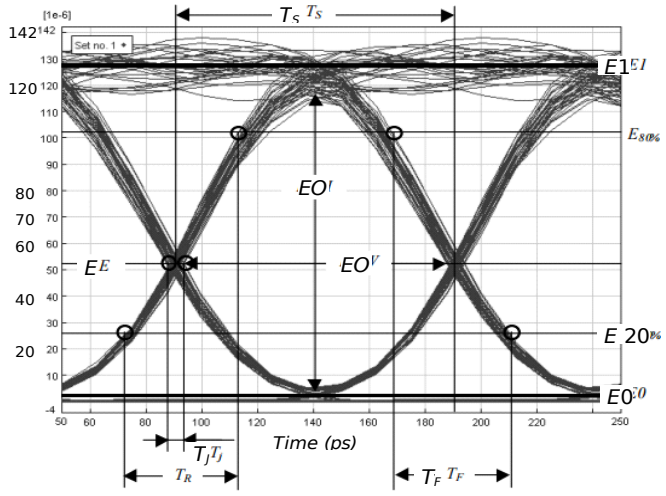


Рисунок 6 – Глаз-диаграмма на экране осциллографа

Эффекты уширения импульса, а также фазовое дрожание сигнала вызывают появление взаимных искажений между символами, что приводит к пересечению глаз-диаграммы с временной осью в разные промежутки времени.

Суммарные потери оптического волокна (ОВ) на заданном участке A складываются из собственных потерь ОВ и потерь в неразъемных соединениях:

$A = \alpha L + \alpha_н N_н + \alpha_р N_р$, дБ, (1) где α – коэффициент затухания ОВ на рабочей длине волны λ, дБ/км;

L – заданная протяженность кабельного участка, км;

$\alpha_н$ – максимальное значение потерь в неразъемном соединении на задан- ной рабочей длине волны λ. Для 1310 нм $\alpha_н = 0{,}2$ дБ, для 1550 нм $\alpha_н = 0{,}1$ дБ;

$\alpha_р$ – потери мощности сигнала в разъемных соединениях, предполагая использование оптических разъемов типа FC/PC ($\alpha_р = 0{,}5$ дБ);

$N_р$ – количество разъемных соединений на участке ($N_р = 4$, т. е. по два разъемных соединения на приеме и передаче, в том числе по одному на оптическом кроссе и на приемопередающем модуле оптической системы передачи);

$N_н$ – количество неразъемных соединений

Дисперсией ОВ называют увеличение длительности оптических импульсов при их распространении по ОВ. Неодинаковая скорость распространения отдельных составляющих оптического сигнала является основной причиной дисперсии. Одномодовые ОВ характеризуются хроматической и поляризационной модовой дисперсией (ПМД). Дисперсия ОВ создает переходные помехи, приводит к межсимвольным искажениям и, как следствие, ограничивает скорость передачи в линии.

Данный фактор искажения учитывается путем расчета дополнительных потерь (приращения уровня помех) из-за шумов межсимвольной интерференции (ISI – Intersymbol Interference), которые включают в себя перекрестные помехи и шумы синхронизации.

Таблица 1 – **Уровни плезиахронной и синхронной цифровых иерархий**

Уровень цифровой иерархии	Поток	Скорость передачи информации B, Мбит/с	Тип линейного кода
Плезиахронная цифровая иерархия (PDH)	E1	2,048	1B2B
	E2	8,448	
	E3	34,368	5B6B
Синхронная цифровая иерархия (SDH)	STM-1	155,520	10B11B

Уровень мощности оптического сигнала на выходе фотоприемника ОСП определяется суммарными потерями в ОВ на участке ВОЛС, а также суммарным значением дополнительных потерь, обусловленных дисперсией ОВ:

$$p_L \quad p_0 \quad A \quad \alpha_{ISI}.$$

Мощность оптического сигнала на выходе фотоприемника

$$P \quad 10^{(0{,}1\, pL \quad 3)},$$

где p_L – уровень мощности оптического сигнала на выходе фотоприемника, дБ.

Для расчета помехозащищенности цифрового канала необходимо вычислить уровень мощности оптического шума, создаваемого фотоприемником p_{noise}.

Фотоприемные устройства высокоскоростных ВОСП проектируются таким образом, чтобы логарифм отношения полосы пропускания электрического фильтра к полосе пропускания оптического фильтра составлял не менее 2 дБ. С учетом вышесказанного, максимальный уровень мощности шума фотоприемника, дБ,

$$p_{noise} \quad p_R \quad 20 \quad \lg(Q) \quad 2 ,$$

где p_R – заданный уровень чувствительности фотоприемника, дБ;

$Q_{ном}$ – номинальное значение Q-фактора, соответствующее нормированному коэффициенту ошибок $BER_{ном}$ в цифровом канале связи (таблица 2).

Таблица 2 – **Соответствие допустимых значений коэффициента битовых ошибок ($BER_{ном}$) и номинальных значений Q-фактора ($Q_{ном}$)**

Стандарт	E1, E2, E3	STM-1	STM-4
$BER_{ном}$	10^{-9}	10^{-10}	10^{-12}
$Q_{ном}$	5,99	6,63	7,04

Построение глаз-диаграммы осуществляется путем наложения отклика системы в предположении гауссовой формы импульса на передачу «изолированного» логического «0» в последовательности логических «1» (например, комбинация 101 – при трехсимвольной последовательности) и отклика системы на передачу «изолированной» логической «1» в последовательности логических «0» (например, комбинация 010 – при трехсимвольной последовательности)Фундаментальным показателем качества цифровых систем передачи является коэффициент ошибок *BER*. Работа цифровых систем передачи считается нормальной только в том случае, если *BER* не превышает определенное допустимое значение, соответствующее используемому сетевому стандарту. Известна методика оценки коэффициента ошибок *BER* на основе определения *Q*-фактора. *Q*-фактор – это параметр, который непосредственно отражает качество сигнала цифровой системы передачи. Существует определенная функциональная зависимость *Q*-фактора сигнала и измеряемого коэффициента ошибок *BER*. *Q*-фактор определяется путем статистической обработки результатов измерения амплитуды и фазы сигнала на электрическом уровне, а именно – непосредственно по глаз-диаграмме. При этом выполняется построение функции распределения состояний «1» и «0», а для этих распределений, в предположении их Гауссовой формы, оцениваются математические ожидания состояний $E1$ и $E0$ и их среднеквадратические отклонения σ_1 и σ_0. Предварительно для оценки параметров распределений состояний «1» и «0» определяется точка максимального раскрытия глаз-диаграммы

Порядок выполнения работы

1 Изучите краткие сведения из теории и ответьте на контрольный вопрос, заданный преподавателем.

2 Выберите и запишите исходные данные для расчета из таблицы 3 в со- ответствии с заданным вариантом. Из таблиц в приложении А выпишите па- раметры для заданных типов приемника, источника и оптического кабеля.

3

4 Используя формулы (1)–(2), рассчитайте суммарные потери в ОВ на заданном участке.

5 Определите значения дисперсии на заданном участке с помощью формул (3)–(10).

Таблица 3 – **Исходные данные**

	Длина	Рабочая	Тип	Ширина			Уровень

Вариант	кабельного участка L, км	длина волны λ, нм	источника	спектра излучения источника Δλ, нм	Тип приемника	Марка ОВ	цифровой иерархии
1	110	1310	ЛД-1300-10	2	ATAV2400	Hitachi cable G.652	E1
2	120	1550	ЛД-1550-5	4	PP-10G	OFS MC-SM 332	E2
3	130	1310	ЛД-1300-20	3	MDRI	Alcatel 6901	E3
4	100	1550	ЛД-1550-20	5	DRP2S	Corning SMF-28	STM-1
5	100	1310	ПОМ-470	10	PROM-50	Alcatel 6900	STM-1
6	150	1550	ТСД-1500	8	PROM-34	Corning SMF- 28e	E1
7	160	1310	ЛД-1300-5	1,5	DRP2 43	YOFC 68WY	E2
8	200	1550	ЛД-1550-30	2	ПРОМ-367	Pure-Band	E3
9	190	1310	ПОМ-460М	8	PTAV2400	Sumitomo lectric G.652	STM-1
10	140	1550	ЛД-1550-10	1	ПРОМ-367	SF-SMF-x	E1
11	100	1310	ТСД-1300	7	ПРОМ-364	OFS MC-SM 332	E2
12	120	1550	ТСД-1500	5	PROM-155	Alcatel 6900	E3
13	170	1310	ИЛПН-360	1	MD(C)RL	Alcatel 6901	E1
14	120	1550	ЛД-1550-20	3	PTAV155C	Hitachi cable G.652	STM-1

6 Рассчитайте параметры глаз-диаграммы по формулам и выполните ее построение в диапазоне (–2T; 2T). На диаграмме укажите мощность шума фотоприемника, а также, по возможности, чувствительность фотоприемника (если мощность сигнала на выходе фотоприемника (P_L) и чувствительность фотоприемника (P_R) – одного порядка).

7 Определите показатели качества канала цифровой передачи по формулам Результаты расчета сведите в таблицу 4.

8 Сделайте вывод по результатам расчета.

Таблица 4 – **Результаты расчета**

Номер варианта	
Суммарные потери ОВ A, дБ	
Среднеквадратическое значение дисперсии σ, с	
Потери из-за межсимвольной интерференции α_{ISI}, дБ	
Мощность оптического сигнала на выходе фотоприемника P_L, мВт	
Мощность шума P_{noise}, мВт	
Среднеквадратическая длительность гауссова импульса на выходе фотоприемника ОСП s_L, с	
Значение точки максимального раскрыва глаз-диаграммы τ_{open}, с	

Среднеквадратическое отклонение σ_1 и σ_0, мВт	
Q-фактор	
Коэффициент ошибок *BER*	

Содержание отчета

1 Ответ на контрольный вопрос.
2 Исходные данные для выполнения расчета.
3 Подробные расчеты.
4 Глаз-диаграмма.
5 Вывод.

Контрольные вопросы

1 Джиттер.
2 Принцип действия *PIN*-фотодиодов.
3 Назначение глаз-диаграммы.
4 Отличие кремниевых фотодиодов.
5 Потери из-за межсимвольной интерференции.
6 Структура *PIN*-фотодиода на основе InGaAs.
7 Отличия лавинных фотодиодов.
8 Дисперсия.
9 Принцип действия лавинных фотодиодов.
10 Структура *PIN*-фотодиодов.
11 Параметры глаз-диаграммы.
12 Назначение фотодетекторов и требования к ним.
13 Структура лавинных фотодиодов.
14 Структура кремниевых фотодиодов.

Лабораторная работа № 20
Тема: Линейные коды оптических систем передачи

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить линейные коды, применяемые в оптических системах пере- дачи (ОСП).

1.2. Исследовать временные и спектральные характеристики линейных кодов оптических систем передачи.

2. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

2.1. Изучить инструкцию по технике безопасности.

2.2 Изучить схему лабораторной установки, ознакомиться с правилами эксплуатации приборов.

2.3 Ознакомиться с линейными кодами, применяемыми в ОСП, с требованиями к ним и характеристиками кодов.

2.4 Исследовать временные характеристики линейных кодов.

2.5 Исследовать спектральные характеристики линейных кодов ОСП.

2.6 Рассчитать избыточность, диспаритетность, цифровую длину кодового слова, максимальное значение последовательных одинаковых по амплитуде символов, ширину спектра линейных кодов.

3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Оптическое волокно как среда передачи сигнала, а также оптоэлектронные компоненты оптического передающего и приемного устройств налагают ограничения на характеристики цифрового сигнала, поступающего в линейный тракт волоконно-оптической системы передачи (ВОСП), поэтому этот сигнал подвергается перекодированию с помощью преобразователя кода в так называемый «код в линии» (линейный код).

Выбор кода – сложная и чрезвычайно важная проблема, от правильного решения которой зависят технико-экономические показатели приемопередающей аппаратуры и проектируемой системы в целом.

К кодам цифровых ВОСП предъявляются следующие требования:

1. Энергетический спектр кода в линии должен иметь минимальное содержание НЧ- и ВЧ-

компонентов. Ограничение спектра в области нижних частот вызвано требованием безыскаженной передачи в усилителе переменного тока фотоприемника принимаемого сигнала. В противном случае для реализации оптимальных условий приема перед решающим устройством регенератора необходимо вводить дополнительное устройство, предназначенное для восстановления НЧ-составляющей. Это усложняет оборудование линейного тракта и увеличивает его стоимость. Существует еще одна причина, по которой необходимо уменьшить уровень НЧ-составляющей спектра. Оптическая мощность, излучаемая полупроводниковым лазерным диодом, зависит от окружающей температуры, но ее можно стабилизировать введением отрицательной обратной связи по среднему значению излучаемой мощности только в том случае, когда отсутствует НЧ-часть спектра, изменяющаяся во времени под действием пере- даваемого информационного сигнала. В ином случае в цепи отрицательной обратной связи должно быть предусмотрено специальное устройство, компенсирующее эти изменения. Это также приводит к усложнению и удорожанию схемы оптического передатчика.

2. Код не должен налагать какие-либо ограничения на передаваемое сообщение и обеспечивать однозначную передачу любой последовательности единиц и нулей. Это требование формулируется как «независимость процесса кодирования источника информации».

3. Код в линии должен содержать информацию о тактовой частоте передаваемого сигнала. В приемнике эта информация используется для восстановления фазы и частоты колебания, необходимого для управления процессом принятия решения пороговыми устройствами регенераторов. Осуществить вы- деление тактовой частоты тем проще, чем больше число переходов уровня в цифровом сигнале, т. е. 10 или 01. В наилучшем случае энергетический спектр цифрового сигнала должен иметь дискретную составляющую на тактовой частоте. Если это условие не выполняется, то приходится вводить предварительную нелинейную обработку информационной цифровой последовательности.

4. Статистические характеристики цифровых сигналов в линиях не должны быть произвольными для обеспечения устойчивой работы регенераторов, в частности, должно быть ограничено максимальное число последовательностей символов одного уровня или одной амплитуды.

5. Структура цифрового сигнала в линии должна позволять организовывать контроль ошибок в регенераторах. Кодеры и линейного тракта, а также устройства контроля ошибок должны быть простыми в схемном отношении, иметь низкое потребление электроэнергии.

6. Код в линии должен иметь ограниченное число уровней передачи, что вызвано нелинейностью модуляционных характеристик и температурной зависимостью излучаемой оптической мощности лазерных диодов.

7. Желательно, чтобы код в линии позволял обеспечить передачу сервисных сигналов.

Для улучшения статистических свойств цифровых сигналов в ВОСП всегда используется скремблирование.

Реализация всех перечисленных требований к кодам в линиях осуществляется введением избыточности. Для двухуровневых кодов введение избыточности осуществляется увеличением тактовой частоты. При сохранении значений тактовой частоты или ее снижении избыточность вводится увеличением числа уровней передаваемого сигнала, т. е. использованием многоуровневых кодов.

Для анализа бинарных сигналов в ряде работ используется «диспаритетность», которая определяется разностью единиц и нулей цифрового сигнала в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т. При расчете диспаритетности бинарных сигналов следует число единиц умножать на вес одной единицы, равный +0,5, а число нулей – на вес одного нуля, равный –0,5. При таком расчете диспаритетности циф- рового сигнала, содержащего нули и единицы, ее значение совпадает со значением цифровой суммы реализации этого же цифрового сигнала, содержащего –1 и +1.

Для анализа бинарных сигналов используется диспаритетность кодовых слов.

Цифровая сумма *d* кодового слова или кодовой группы определяется по формуле

$$d_k = \sum_{n=1}^{l} D_{nk},$$

где n – число элементов блока;

l – порядковый индекс;

k – индекс текущего блока.

Число значений текущей диспаритетности S(*D*). Чем больше эта величина, тем больше НЧ-составляющая спектральной плотности мощности цифрового сигнала.

Максимальное число l последовательных одинаковых по амплитуде символов. Для бинарных сигналов это максимальное число l (1) последовательных единиц и максимальное число l (0) последовательных нулей.

Все коды в линиях могут быть реализованы последовательностями импульсов определенной амплитуды, формы (прямоугольной и др.) и длительности (формат *RZ* – с возвращением к нулю и формат *NRZ* – с невозвращением к нулю).

В цифровых оптических системах с модуляцией по интенсивности в основном используются двухуровневые коды. Предложен целый ряд кодов класса *mBnB*, предназначенных для передачи в линиях связи со скоростями несколько десятков мегабит в секунду. Некоторые из них были разработаны специально для оптических систем передачи 2, 8, 34 Мбит/с. К таким кодам относятся:

CMI, *CMI*-2 (ДМІ), *CMI*-3, Код Миллера, *IB*2*B*, *BIF*. *CMI*-1 или просто *CMI* (*coded marh inversion*) *CMI*-2 или *DMI* (*differential mark inversion*) и *CMI*-3. Они характеризуются увеличением скорости передачи в линии в 2 раза. Их особенностью является то, что единицы информационного сигнала передаются чередованием комбинаций символов 11 и 00. Различие алгоритмов формирования кодов *CM*, *DM* и *CMI*-3 состоит в особенности передачи нулей информационного сигнала. В *CMI*-I нули информационного сигнала всегда передаются комбинацией символов 01; в *DMI* – комбинацией 01, если предшествующий символ I и 10, если 0; в *CMI*-3 – комбинацией 01, если предшествующий символ был 0 и 10, если I. Цифровые последовательности указанных кодов приведены в табл. 1 (вероятность ну- ля или единицы во всех кодах одинакова).

Таблица 1

Порядок формирования последовательностей сигналов в ВОСП

Наименование кода	Входная последовательность											
	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1
	Последовательности сигналов в линии											
CMI	11	01	01	00	11	00	01	01	01	11	01	00
CMI-2 (*DMI*)	11	01	01	00	11	00	10	10	10	11	01	00
CMI-3	11	10	01	00	11	00	01	10	01	11	10	00
Код Миллера	10	00	11	10	01	10	00	11	00	01	11	10
1*B*2*B*	11	01	01	00	11	00	10	10	10	11	01	00
BIF	10	01	01	10	10	01	01	01	10	01	01	10
BI-4	10	01	01	10	10	10	01	01	01	10	01	10

Коды *AMI* удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к кодам в линии цифровой ВОСП. Единственным недостатком является увеличение тактовой частоты в линии вдвое, поэтому обычно они применяются в низкоскоростных системах передачи на небольшие расстояния.

При использовании кода Миллера скорость передачи увеличивается вдвое из-за увеличения в 2 раза тактовой частоты. В коде Миллера единица передается кодовой комбинацией 01, если предыдущий символ в цифровом сигнале в линии был нулем, и 10, если единицей. Таким образом, передача единицы всегда сопровождается изменением состояния сигнала в линии. Нуль передается группой «00», если предшествующий символ в цифровом сигнале в линии был нулем (при передаче I), и II, если единицей. Два нуля передаются группами 0011 или 1100 и т. д., т. е. при передаче серии последовательных нулей

изменение состояния выходного сигнала возможно только в конце периода действия входного сигнала. Код Миллера так же, как *CMI*-3, характеризуется более узким энергетическим спектром (рис. 1). Цифровая последовательность для кода Миллера приведена в табл. 1.*S*

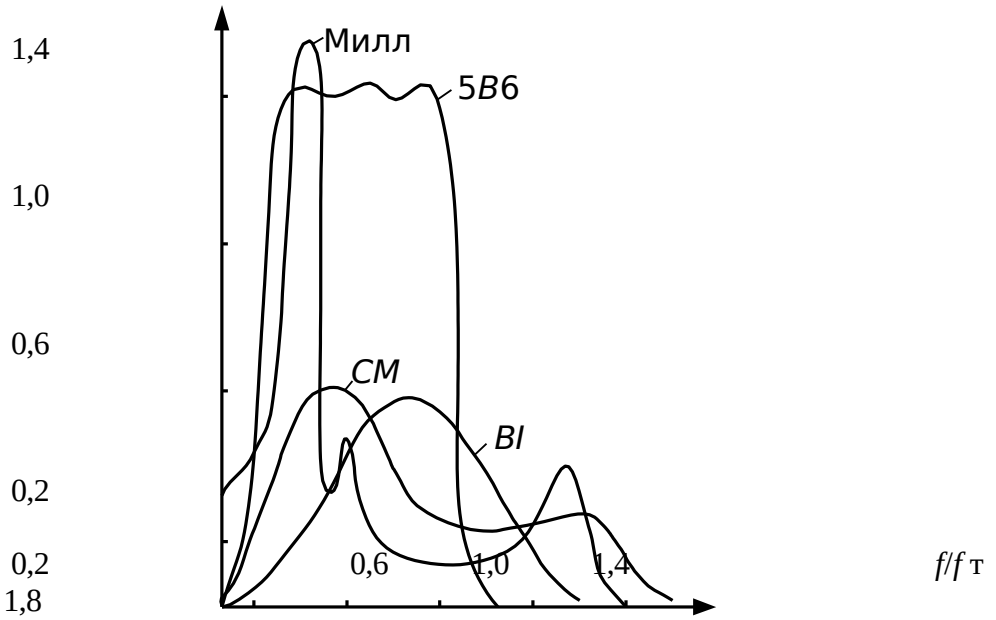


Рис. 1. Энергетические спектры линейных кодов

Код 1*B*2*B* относится к так называемым блочным кодам, он имеет по сравнению с другими блочными кодами наибольшую избыточность. Примером реализации цифровой последовательности этого кода может служить табл. 1, т. к. код 1*B*2*B* имеет такой же порядок формирования кода в линии, как и код *CMI*-II (*DMI*), поэтому основные параметры этих кодов также совпадают. При формировании кода 1*B*2*B* переключение состояний кодера линейного тракта, соответствующих различным алфавитам, осуществляется в том случае, когда диспаритетность кодовой группы кода 1*B*2*B* не равна нулю. Контроль ошибок в регенераторах можно осуществить по контролю величины текущей диспаритетности.

В цифровых ВОСП большой скорости получили применение блочные коды, такие, как 2*B*3*B*, 5*B*6*B*, 7*B*8*B* и другие, в которых $m > 1$, а $n = m + 1$ или $n = m + 2$. Эти коды формируют более сложные кодеры, чем кодеры кода 1*B*2*B*, но вводи- мая избыточность при этом меньше 0,5, т. е. эти коды не требуют увеличения тактовой частоты в линии в 2 раза, что позволяет при тех же требованиях к сигналам на входе решающих устройств регенераторов увеличить длины регенерационных участков. Таким образом, за счет усложнения кодеров и декодеров линейного тракта можно снизить стоимость ВОСП, уменьшая стоимость аппаратуры линейных трактов.

В табл. 2 и 3 приведены кодовые карты модификаций кодов 2*B*3*B* (альтернативного и *low density* соответственно), предназначенных для цифровых ВОСП. Представляет интерес код 2*B*3*B*, разработанный с целью снижения мощности излучения передатчика, поскольку вероятность появления единиц у этого кода равна 0,33.

Таблица 2

Карта альтернативного кода 2*B*3*B*

a	Алфавит 1		Алфавит 2	
	b	*d*	*b*	*d*
00	001	–0,5	110	+0,5
01	010	–0,5	011	+0,5
10	100	–0,5	101	+0,5
11	000	–1,5	111	+1,5

Таблица 3

Карта кода low density 2*B*3*B*

a	Алфавит 1		Алфавит 2	
	b	*d*	*b*	*d*
00	001	–0,5	001	–0,5
01	010	–0,5	010	–0,5
10	100	–0,5	100	–0,5
11	110	+0,5	000	–1,5

Одиночные ошибки в цифровых линейных трактах при использовании блочных кодов *mBnB* при $m > 2$ приводят к появлению одной, а иногда и большего числа ошибок в информационном сигнале на выходе декодера линейного тракта. Для кода 3*B*4*B* коэффициент размножения ошибок равен 1,5. Контроль ошибок в регенераторах может быть реализован по контролю величины текущей дискретности или по контролю величины спектральных составляющих ко- да на частотах вблизи нуля.

В табл. 4 приведены кодовые карты модификаций кодов 5*B*6*B*, составленным по двум алгоритмам (1 и 2). Кодовая карта кода 5*B*6*B* по алгоритму 1 получена по правилам составления альтернативных кодов, а в другом случае 2 – произвольно. Однако выходные группы для этих кодов одинаковы, поэтому приведенные далее параметры кодов идентичны.

Таблица 4

Карты кодов 5*B*6*B*

a	По алгоритму [19]				По алгоритму [11]			
	Алфавит 1		Алфавит 2		Алфавит 1		Алфавит 2	
	b	d	b	d	c	d	c	d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00000	010100	–1	101011	1	101000	–1	010111	+1
00001	011100	0	011100	0	011000	–1	100111	+1
00010	110001	0	110001	0	100100	–1	011011	+1
00011	101001	0	101001	0	000111	0	000111	0
00100	011010	0	011010	0	010100	–1	101011	+1
00101	010011	0	010011	0	001011	0	001011	0
00110	101100	0	011010	0	001101	0	001101	0
00111	000110	–1	111001	+1	001110	0	001110	0
01000	100110	0	100110	0	001100	–1	110011	+1
01001	010101	0	010101	0	010011	0	010010	0
01010	101000	–1	010111	+1	010101	0	010101	0
01011	011000	–1	100111	+1	010110	0	010110	0
01100	000111	0	000111	0	011001	0	011001	0
01101	100001	–1	011110	+1	011010	0	011010	0
01110	010001	–1	101110	+1	011100	0	011100	0
01111	110100	0	110100	0	010010	–1	101101	+1
10000	001011	0	001011	0	100010	–1	011101	+1
10001	100010	–1	011101	+1	100011	0	100011	0
10010	100100	–1	011011	+1	100101	0	100101	0
10011	111000	0	111000	0	100110	0	100110	0

10100	001001	–1	110110	+1	101001	0	101001	0
10101	000101	–1	111010	+1	101010	0	101010	0
10110	101010	0	101010	0	101100	0	101100	0
10111	011001	0	011001	0	001010	–1	110101	+1
11000	010010	–1	101101	+1	110001	0	110001	0
11001	001101	0	001101	0	110010	0	110010	0
11010	110010	0	110010	0	110100	0	11100	0
11011	010110	0	010110	0	000110	–1	111000	+1
11100	100101	0	100101	0	111000	0	111000	0
11101	100011	0	100011	0	010001	–1	101110	+1
11110	001110	0	001110	0	001001	–1	110110	+1
11111	001010	–1	110101	+1	000101	–1	111010	+1

Код 6*B*8*B* содержит только один алфавит, куда включены кодовые группы с нулевой диспаритетностью. Это приводит к более простому схемному решению кодера линейного тракта, чем для кодов с двумя алфавитами. Однако в алфавит кода включены все кодовые группы с нулевой диспаритетностью, которые могут быть составлены из восьми символов. Поэтому код 6*B*8*B* оказался неперспективным для передачи сервисных сигналов, кроме того, он характеризуется высокой избыточностью (несколько более высокой, чем коды 5*B*6*B*). В связи с этим код не получил практического применения в высокоскоростных системах передачи. Код 7*B*8*B* относится к блочным кодам и несомненно имеет некоторые параметры лучше, чем параметры кода 5*B*6*B*. В частности его избыточность меньше, чем для кодов 5*B*6*B*; большое число свободных кодовых групп, не входящих в алфавиты, могут быть использованы для передачи сервисных сигналов.

В некоторых высокоскоростных системах используется коды *mBIC*. При формировании кодов *mBIC* к *m* информационным символам добавляется один, дополнительный, обозначаемый IC (*complimentary*). Дополнительный символ принимает значение 1 или 0 в зависимости от последнего (*m*-го) информационного символа. Если информационный символ был 1, то *C*-символ принимает значение 0, если же *m*-й символ, имел значение 0, то символ *C* принимает значение 1. К кодам *mBIC*, используемым в цифровых ВОСП, относятся коды бифазный (или *Manchester*-2), а также коды 8*BIC* и 10*BIC*.

Бифазный код в терминах кодов *mBIC* можно записать как код *IBIC*. Его избыточность равна 0,5, т. е. тактовая частота сигналов в линии при использовании этого кода увеличивается в 2 раза. Примером реализации цифровой последовательности бифазного кода может служить последовательность, приведенная в табл. 1.

Для снижения избыточности кода значение *m* следует увеличивать, но при этом увеличивается и максимальное число последовательных одинаковых символов, поскольку для кодов *mBIC* оно равно (*m* + 1). Если устойчивая работа регенераторов при формировании тактового синхросигнала обеспечивается при числе одинаковых символов не более II, то в цифровых ВОСП применяются коды с $m \leq 10$, такие как 8*BIC* и 10*BIC*. Цифровые последовательности этих кодов приведены в табл. 5. При условии предварительного скремблирования вероятность появления единиц и нулей одинакова и равна 0,5 для кодов 8*BIC* и 10*BIC*. Избыточность кодов 8*BIC* равна 0,111, а кода 10*BIC* – 0,09. Контроль ошибок в регенераторах для кодов *mBIC* может быть реализован по величине текущей диспаритетности или по контролю двух символов: *m*-го информационного или *C*-символа, поскольку эти символы всегда противоположны. Второй способ проще в схемной

реализации, но вероятность ошибок в линии будет больше, чем вероятность ошибок, определяемая по двум символам в ((m + 1) / 2) раза.

Таблица 5

Порядок формирования последовательностей сигналов в ВОСП для кодов 8*BIC* и 10*BIC*

Наименование кодов	Входная последовательность		
	0000000	11110001	11110
	Последовательность сигналов в линии		
8*BIC*	000000001	111100010	1111…
10*BIC*	00000000110	11000111110	0…

Схемная реализация кодеров линейного тракта для кодов *mBIC* более проста, чем для кодов *B* с небольшой избыточностью.

В высокоскоростных ВОСП используются также коды *mBIP*, где m – количество информационных символов, *P* – дополнительный символ. Предварительно информационный сигнал скремблируется, а затем формируются сигналы *mBIP*. При этом, если слово m – нечетное число, символ *P* принимает значение 1, если слово *m*-четное, то символ *P* принимает значение 0. Тогда диспаритетность кодового слова (m + *P*) с вероятностью, близкой к единице, будет равна, нулю, поэтому символ Р называют паритетным символом. Как правило, в кодах *mBIP* число информационных символов достаточно велико. В цифровых ВОСП используются коды 17*BIP* и 24*BIP*. Иногда эти коды называют без упоминания символа *P*: например, код 17*BIP* чаще известен под названием I7*BI*8*B*.

Коды *mBIP* характеризуются небольшой избыточностью, например, избыточность кода 17*BI*8*B* равна 0,055, а кода 24*B*25*B* – 0,04; они позволяют осуществить контроль ошибок в регенераторах и применяются в высокочастотных цифровых ОСП.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схема установки (рис. 2) для использования характеристик линейных кодов состоит из генератора оптических сигналов Г (0Г5-87), осциллографа ОС, селективного вольтметра (СВ) или осциллографа, совмещенного с автоматическим анализатором спектра (например TDS 1000B), приемного оптического модуля (ПОМ). Осциллограф синхронизируется от генератора 0Г5-87.

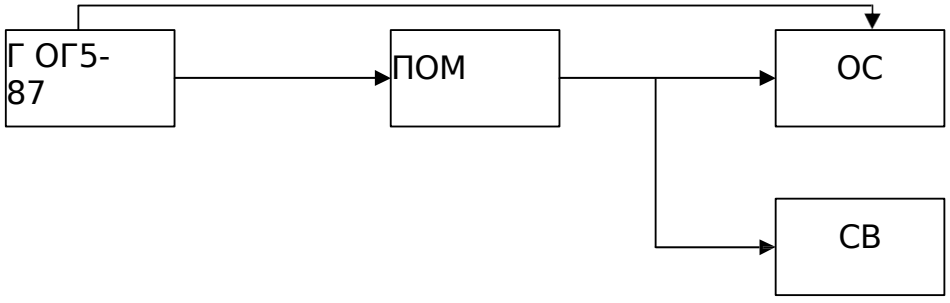


Рис. 2. Структурная схема лабораторной установки

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Исследовать временные характеристики кодов *NRZ* (бинарный, без возвращения к нулю), *IBIC* (бифазный, Манчестер, *BI-L*), *CMI*.

3.2 Собрать установку согласно схеме.

3.3. Включить приборы и подать питание на фотодиод.

3.3.1. На 0Г5-87 включить тактовую частоту 2,048, длину последовательности установить равной 15, выбрать кодовое слово кнопочным переключателем РП.

3.3.2 Нажать кнопку «Пуск».

3.3.3 Установить выходную мощность на выходе генератора (*P*/4).

3.3.4 Засинхронизировать осциллограф синхросигналом с генератора: выход «Синхр».

3.3.5 Выбирая кнопками «Режим» вид кода, снять временные диаграммы указанных выше кодов при различных длительностях импульсов (*T*/2, *T*/4).

3.3.6 На основании измерений определить характеристики кодов, исполь- зуя определения, данные в разд. 3.

3.4.Исследовать спектральные характеристики кодов *NRZ, IBIC, CMI*.

3.4.1. Подключить к выходу фотоприемника селективный вольтметр или осциллограф, имеющий

уровни дискретных спектральных составляющих на тактовой частоте ($F_т$ = 2,048 МГц, 2fТ, 2fТ)

3.4.2 Снять спектральные характеристики кодов. Определить ширину спектральной плотности на уровне 0,1. Оценить коды с позиции полосы про- пускания приемника, необходимой для приема без искажений.

2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема установки для исследований характеристик линейных кодов.
2. Результаты исследования временных диаграмм кодов.
3. Таблица с характеристиками кодов.
4. Спектральные характеристики исследованных кодов.
5. Результаты расчета ширины спектральной плотности.
6. Выводы по работе.
7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким характеристикам оцениваются линейные коды ВОСП?
2. Какие требования предъявляются к линейным кодам ВОСП?
3. Чем отличается формат *NRZ* от формата *RZ*?
4. Дайте определения кодов *CMI*, Миллера, *BI-L* и т. д. Какие они имеют характеристики и почему?
5. Какие коды применяются в высокоскоростных ВОСП?
6. Определите основные характеристики кодов 2*B*3*B*, 5*B*6*B*, 7*B*8*B*.
7. Дайте определение кодов типа *mBIC, mBIP*. Назовите их различия.

Практическая работа № 21

Тема: Паспортизация каналов, групповых и сетевых трактов

Цель:

Изучить документацию по паспортизации аппаратуры спектрального анализа и синхронной цифровой иерархии.

Теоретический материал

Нормативные сдокументы

- Правила технической эксплуатации первичных сетей Взаимоувязанной сети связи РФ (приказ Минсвязи России №187 от 19.10.98);
- Правила применения цифровых систем передачи синхронной цифровой иерархии (приказ Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации №151 от 23.11.06);
- Рекомендация отрасли Р45.12-2001 «Эксплуатация первичных эталонных генераторов на взаимоувязанной сети связи Российской Федерации»;
- Рекомендация отрасли Р45.09-2001 «Присоединение сетей операторов связи к базовой сети тактовой сетевой синхронизации»;
- Рекомендации МСЭ-Т: M.1380, M.2100, M.2101, M.2110, M.2301, G.114, G.691, G.692, G.703, G.707, G.709, G.783, G.821, G.826, G.828, G.841, G.957, G.959.1, Y.1540.

1. Технический учет и паспортизация ВОЛС

Основной задачей технического учета на ВОЛС является обеспечение полного соответствия действующих сооружений технической документации и паспортизации. Работы по техническому учету и паспортизации линейных сооружений выполняет группа (отдел) технического учета, которая подчиняется непосредственно главному инженеру (техническому директору) соответствующего предприятия связи.

В составе группы (отдела) технического учета, как правило, организуются две подгруппы: учета загрузки линейных сооружений и фиксации линейных сооружений. Например, на ГТС первая подгруппа производит: учет загрузки ОК; подготовку данных для включения новой аппаратуры МСП и перестановок; выдачу справок о возможности включения и перестановок ВОСП на оптических кабелях; предоставление свободных исправных ОВ для замены поврежденных и организации обходных связей; составление списков (ведомостей) переключений кабельных сооружений на новые линейные сооружения; плановые сверки соответствия заведенной документации с натурой и обновление износившейся технической документации.

Вторая группа осуществляет: ведение технической документации по учету и паспортизации линейных сооружений ВОСП; внесение изменений в формы документации, происшедших в процессе эксплуатации; плановую (профилактическую) сверку имеющейся на ГТС технической документации и паспортизации с фактическим положением (натурой) на линейных сооружениях; участие в приемке новых линейных сооружений ВОЛС и фиксацию их в соответствующих формах паспортизации и технической документации; подготовку и выдачу данных для проектирования, а также согласование проектов на выполнение работ по расширению линейных сооружений ВОСП, подготовку и выдачу условий проведения земляных работ посторонними организациями в охранных зонах, где имеются линейные сооружения ГТС, выдачу линейному персоналу необходимых сведений о линейных сооружениях; обновление износившейся технической документации и форм паспортизации.

Работники группы (отдела) техучета несут ответственность за качество заполнения форм технического учета и паспортизации, их полное соответствие натуре, а также правильность проводимых согласований. Группа техучета обеспечивается специальными шкафами для хранения технической

документации, необходимым количеством форм технической документации и паспортизации, чертежными приспособлениями и рулетками.

Выдача чертежей и другой документации производится только с разрешения технического директора сети (узла).

При сдаче в эксплуатацию вновь построенных линейных сооружений ГТС строительная организация передает телефонной сети исполнительную документацию, технический проект и рабочие чертежи на строительство с внесенными в них в период строительства изменениями и дополнениями, которые были ранее согласованы с ГТС. Соответствие выполненных работ представленным чертежам заверяется подписью ответственных лиц и штампом строительной организации. Работники группы техучета сверяют полученную исполнительную документацию с натурой и ставят печать о соответствии чертежей построенным сооружениям. На основании сверенной с натурой документации работники группы технического учета заводят техническую документацию и паспорта. Техническая документация и паспорт на линии заводятся в течение одного месяца, а на канализационные сооружения — в течение двух месяцев.

При сдаче в эксплуатацию результатов работ по устройству или переустройству линейных сооружений, проведению ремонтных работ, вызвавших изменение состава сооружений, составляется инвентарная справка. На ее основании группа техучета вносит коррекцию в техническую документацию.

2. Виды документации и требования к ним.

1. Паспорта на каналы, групповые и сетевые кракты, которая включает в себя составление и утверждение паспортов, в которых указываются различные параметры.

2. Паспорт на канал передачи составляется каждой ГРС данного канала в одном экземпляре. После сверки с паспортом, утверждённым ГРС-Д, в паспорт записываются дата утверждения, срок действия, должность и фамилия лица, утвердившего паспорт. Запись визируется лицом, производившим сверку.

3. В паспорт аппаратуры линейного тракта ЦСП ПЦИ на коаксиальном и симметричном кабелях вносятся, например, такие параметры: скорость передачи, допуск на скорость передачи, код и тип линейного сигнала, результаты измерения амплитуды линейного сигнала на каждом участке регенерации и другие. 2

4. В паспорт сетевого тракта ЦСП вносятся, в частности, скорость передачи, результаты измерения допуска на скорость передачи, допустимых пределов фазового дрожания и показателей ошибок для ввода в эксплуатацию и технического обслуживания сетевого тракта.

5. Паспорта составляются в двух экземплярах. В утверждающую инстанцию направляется один экземпляр паспорта без таблиц измерений для АСП и с таблицами измерений для ЦСП, а второй остаётся в ГРС-Д. Утверждающая инстанция регистрирует поступивший паспорт, утверждает его и направляет утверждённый паспорт предприятию, в ведении которого находится ГРС-Д. Последнее делает отметку об утверждении во втором экземпляре паспорта и передаёт его ГРС. 1

6. Оригиналы всех паспортов хранятся на пунктах сети, ответственных за паспортизацию.

7. Оригиналы всех паспортов хранятся на пунктах сети, ответственных за паспортизацию

Задание.

Изучить нормативные документы, список которых приложен к работе. Ответить на контрольные вопросы теста.

Тест. Параметры ОЦК, групповых и сетевых цифровых трактов.

1. Что обозначает ESRk?

Секунда с ошибками

Секунда, пораженные ошибками

Коэффициент ошибок по секундам с ошибками

2. Основной для определения норм на качественные являются нормы для международного соединения протяженостью:

1. 26000

2. 27000

3. 2750

3. Секунда пораженная ошибками это?

1. Период в 1С, в течение которого наблюдалась хотя бы одна ошибка

2. Период в 1С, в течение которого коэффициент ошибок был более 10^-3

3. Период в 1С, в течение которого превышена норма ошибок на международное соединения

4. Период в 1С, в течение которого коэффициент ошибок был меньше 10^-3

4. Секунда с ошибками это?

1. Период в 1С, в течение которого наблюдалась хотя бы одна ошибка

2. Период в 1С, в течение которого коэффициент ошибок был более 10^-3

3. Период В 1С, в течение которого превышена норма ошибок на международное соединение

4. Период в 1С, в течение которого коэффициент ошибок был меньше 10^-3

5. Укажите предельное значение показателей ошибок(ES:SES) по отношению к долговременной эталонной норме для вывода из эксплуатации.

1. >10

2. >12

3. >6

6. Укажите предельное значение показателей ошибок (ES:SES) по отношению к долговременной эталонной норме для ввода после ремонтных работ.

1. 0,5

2. 0,7

3. 10

7. На период наблюдения T по результатам эксплуатационного контроля получено число SES, равное S=S, то

1. Тракт принимается в эксплуатацию
2. Тракт не принимается в эксплуатацию
3. Тракт принимается условно с проведением дальнейших испытаний за более длительные сроки

8. На период наблюдения T по результатам эксплуатационного контроля получено число SES, равное S1<="" strong="">

1. Тракт принимается в эксплуатацию
2. Тракт не принимается в эксплуатацию
3. Тракт принимается условно с проведением дальнейших испытаний за более
длительные сроки

9. На период наблюдения T по результатам эксплуатационного контроля получено число SES, равное S1<s<="" strong=""></s

1. Тракт принимается в эксплуатацию
2. Тракт не принимается в эксплуатацию
3. Тракт принимается условно с проведением дальнейших испытаний за более длительный срок

10. Что такое RPO?

1. Пороговое значение ES и SES за период наблюдения T=7 суток
2. Среднее допустимое число ES и SES за период наблюдения
3. Пороговое значение ES и SES за период наблюдения T=<1 сутки

11. Что такое BISO?

1. Пороговое значение ES и SES за период наблюдения T=7 суток
2. Среднее допустимое число ES и SES за период наблюдения
3. Пороговое значение ES и SES за период наблюдения T=<1 сутки

Практическая работа № 22
Тема: Производственная документация. Перечень оформляемой производственной документации

До монтажа ОК:

1. Договор на строительство ВОЛС-ВЛ
2. Согласованный список замечаний и изменений к проектно-сметной документации.
3. График поставки оборудования заказчиком.
4. График выполнения строительно-монтажных работ.
5.

6. Протокол согласования с организацией, эксплуатирующей ВЛ, на которой будет осуществляться монтаж ОК.

7. Протоколы взаимного согласования с владельцами пересекаемых объектов (переходы через ВЛ, линии связи, железные и автомобильные дороги, внутренние водные пути).

8. Акт готовности участка ВЛ для монтажа ВОЛС-ВЛ.

9. Акты передачи оборудования.

10. Акт приемочного контроля ОК.

11. Акт-допуск для производства строительно-монтажных работ в охранной зоне действующих ВЛ (на территории действующих ПС).

12. Протокол входного контроля оптических параметров кабеля, поставляемого на ВОЛС-ВЛ.

В процессе монтажа ОК:

13. Наряд-допуск на производство работ повышенной опасности.

14. Журнал производства работ по монтажу ВОЛС-ВЛ.

15. Журнал авторского надзора за строительством ВОЛС-ВЛ.

По окончании монтажных работ:

16. Протокол измерений оптического кабеля на регенерационном участке ВОЛС-ВЛ.

17. Укладочная ведомость строительных длин ОК.

18. Уведомление об окончании работ и готовности ВОЛС-ВЛ (участка между пунктами регенерации).

319. Протокол обследования законченной строительством ВОЛС-ВЛ.

20. Паспорт магистральной ВОЛС-ВЛ.

21. Акт рабочей комиссии о готовности законченной строительством ВОЛС-ВЛ для предъявления приемочной комиссии.

22. Справка об устранении недоделок, выявленных рабочей комиссией по приемке ВОЛС-ВЛ.

23. Акт приемочной комиссии о приемке в эксплуатацию законченной строительством ВОЛС-ВЛ.

24. Рекомендуемые документы, имеющих шифр ВОЛС-ВЛ, приведены в Пособиях к настоящим Правилам.

25. Остальные документы составляются по произвольной форме.

Задание.

Изучить производственную документацию

Форма отчета.

1. Сделать шаблоны производственной документации.
2. Описать назначение и состав каждого из них.

Лабораторная работа №23
Тема: Источники оптического излучения ВОСП

Цель работы: Расширение знаний о принципах работы полупроводниковых источников излучения - лазерных диодов (ЛД) и светоизлучательных диодов (СИД), экспериментальное изучение основных рабочих характеристик ЛД и СИД - Вт/А характеристик, спектра излучения и диаграммы направленности, приобретение навыков практической работы с источниками излучения ВОСП.

Измерение Вт/А характеристик ЛД и СИД производится на установке, схема которой приведена на рис.1.

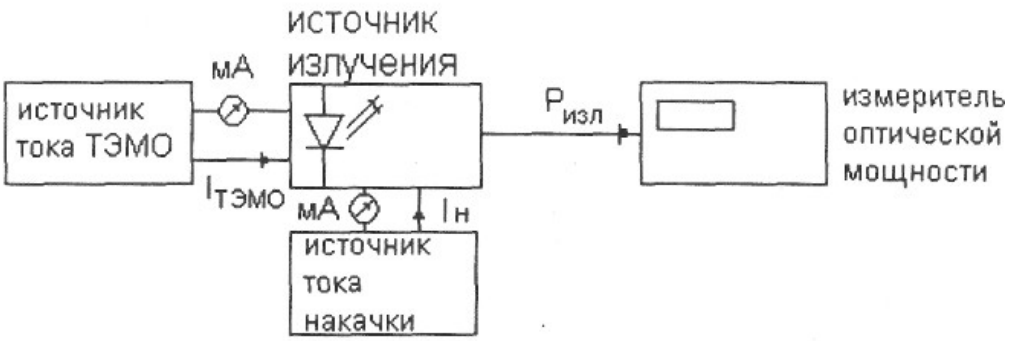


Рис.1. Структурная схема установки для измерения Вт/А характеристики

Измерение спектра излучения производится на установке, схема которой приведена на рис.2.

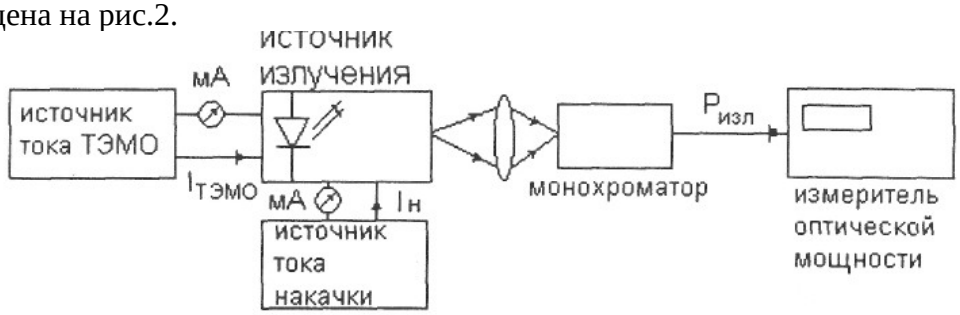


Рис.2. Структурная схема установки для измерения спектральной характеристики

Измерение диаграммы направленности, т.е. пространственной излучения проводится на установке, схема которой приведена на рис.3.

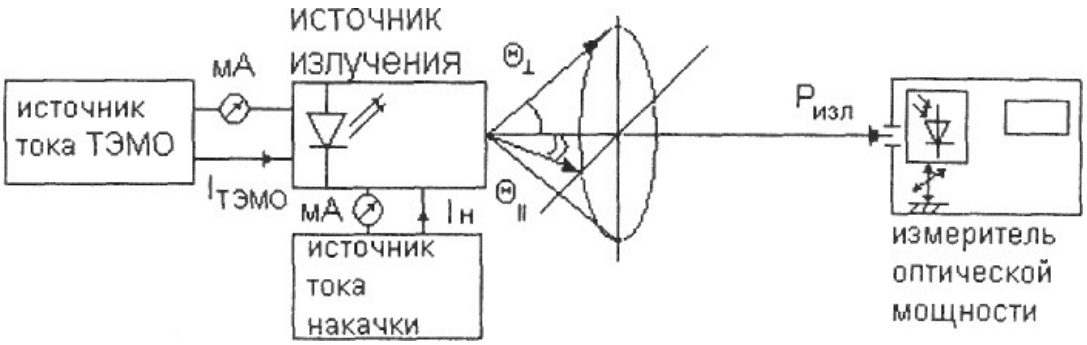


Рис.3. Структурная схема установки для измерения диаграммы направленности

Порядок выполнения работы

I. Вольт-амперная характеристика

1.1. Собрать установку в соответствии со схемой рис.1. В качестве источника излучения установить светоизлучающий диод (СИД). Изменяя ток накачки $I_Н$ и регистрируя мощность излучения $P_{изл}$, снять зависимость $P_{изл}(I_н)$ для СИД.

1.2. Установить вместо СИД лазерный диод (ЛД). Установить ток термоэлектрического микроохладителя $I_{тэмо}$, соответствующий температуре

н

T=20 °С. Изменяя ток накачки $I_н$, снять зависимость $P_{изл}(I_н)$ для ЛД при T=20 °С. По измеренной зависимости определить величину порогового $I^{пор}$ при T=20 °С. Установить $I_{тэмо}$, соответствующий температуре T=50 °С. Снять зависимость $P_{изл}(I_н)$, определить $I^{пор}$ для T=50°С.

1.3. Провести сравнение Вт/А характеристик для СИД и ЛД (по величине мощности $P_{ИЗЛ}$ и характеру зависимости $P_{изл}(I_н)$).

II. Спектральная характеристика

2.1. Собрать установку в соответствии со схемой рис.2. В качестве источника излучения установить СИД. С помощью линзы сфокусировать излучение на входную щель монохроматора.

Изменяя настройку монохроматора, измерить зависимость мощности излучения $P_{изл}$ от длины волны λ.

По измеренной характеристике $P_{изл}(\lambda)$ определить центральную длину волны λ_0 и ширину спектра излучения $\Delta\lambda$, по уровню 0,5.

2.2. Установить в схеме ЛД вместо СИД.

Провести измерение спектральной характеристики ЛД аналогично п.2.1.

2.3. Провести значение спектральных характеристик излучения СИД и ЛД по ширине спектра и характеру излучения.

III. Диаграмма направленности

Собрать установку в соответствии со схемой рис.3. В качестве источника излучения установить светоизлучающий диод (СИД). При помощи микропозиционера фотодиод) по максимальному сигналу.

При помощи микропозиционера изменять положение приемной части в горизонтальной и вертикальной плоскости (углы и ||) с соответствующей регистрацией величины принятого сигнала. Измерить зависимости $P_{изл}($) и $P_{изл}($ ||). По измеренным зависимостям ширину диаграммы направленности в ортогональных плоскостях.

1.1. Установить в схеме ЛД вместо СИД. Провести измерение диаграммы направленности ЛД аналогично п.3.1.

1.2. Провести сравнение пространственных характеристик излучения P( ) для СИД и ЛД.

Контрольные вопросы

1. Каковы механизмы генерации излучения в СИД и ЛД?
2. Пояснить различие Вт/А СИД и ЛД?
3. В чем различие спектров излучения СИД и ЛД?
4. Объяснить различную направленность излучения СИД и ЛД.

Лабораторная работа №25
Тема: Тестирование оборудования с помощью прибора ОТ-2-6

Цель работы: получение знаний о конструкции и метрологических характеристиках приборов для генерации оптического излучения и измерения средней мощности оптического сигнала в световоде, методах измерений затухания; приобретение умений и навыков работы с генераторами и приемниками оптическими тестерами.

Краткая теория

1. Оптические генераторы и средства измерений средней мощности

1.1. ОПТИЧЕСКИЕ ТЕСТЕРЫ

Измерение оптической мощности и затухания может производиться с помощью универсальных измерительных приборов – оптических тестеров. Обычно оптический тестер

– это измерительный прибор, который включает в себя два независимых прибора: генератор оптического излучения (ГОИ) и измеритель оптической мощности (ИОМ). Простейшая схема оптического тестера представлена на рис. 4.

Оптический тестер применяется для измерения мощности оптического излучения в абсолютных и относительных единицах и определения потерь в волоконно-оптических световодах и оптических элементах. Тестер используется при входном контроле параметров оптического кабеля, его монтаже, приемо-сдаточных испытаниях кабельной системы, контроле выходных параметров активного оборудования, при обслуживании действующей линии. Преимущества тестера: простота использования, малые габариты и вес, автономное питание, сравнительно низкая стоимость приборов.

По конструктивному исполнению тестеры подразделяются на два типа: первый – это комплекты из двух приборов – генератора и измерителя, второй совмещает в одном корпусе генератор и измеритель.

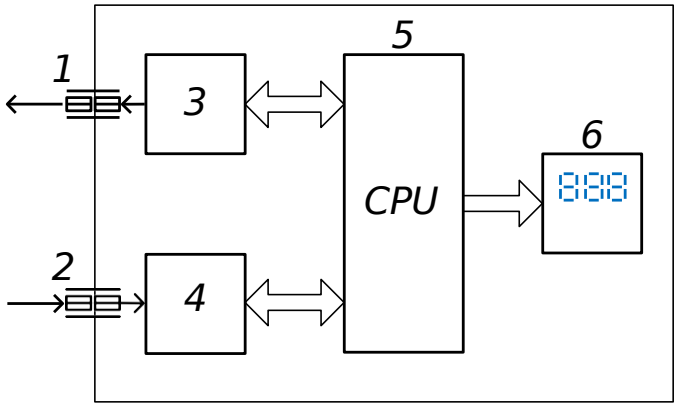


Рис. 4. Упрощенная структурная схема оптического тестера:
1 – волоконно-оптический соединитель – порт выхода оптического излучения ГОИ; 2 – волоконно-оптический соединитель – порт входа оптического излучения ИОМ; 3 – ГОИ; 4 – ИОМ; 5 – блок управления; 6 – дисплей

Оптический тестер ОТ-2-6

Универсальный оптический тестер ОТ-2-6 относится к новому поколению цифровых оптических приборов для измерения уровня оптической мощности и затухания в волоконно-оптических линиях связи и компонентах волоконно-оптической техники. В тестере ОТ-2-6 в одном малогабаритном корпусе объединены источник оптического излучения и измеритель мощности, что позволяет при помощи одного устройства измерить целый ряд оптических параметров.

Прибор обладает широким набором сервисных функций, в числе которых:
— хранение результатов измерений в энергонезависимой памяти с привязкой ко времени и дате проведения измерений;
— считывание и просмотр результатов измерений на ПЭВМ;
— календарь и часы реального времени;
— регулировка контрастности индикатора;
— индикация состояния аккумулятора;
— автоматическое отключение.

Оптический тестер ОТ-2-6 обеспечивает измерения в трех диапазонах с центральными длинами волн 850, 1310 и 1550 нм. В процессе измерения можно изменить значение длины волны измеряемого оптического излучения на ±40 нм с шагом 10 нм вблизи выбранной центральной длины волны.

Прибор имеет интуитивно понятный интерфейс, удобную клавиатуру и прочный, соответствующий IP-65, корпус. Оптический тестер ОТ-2-6 является идеальным средством для проведения измерений в полевых условиях.

Технические характеристики

Блок источника оптического излучения				
Тип волокна	ММ		ОМ	
Длина волны излучения, нм	830..870	1290..1330	1290..1330	1520..1580
Уровень мощности, дБм	>0	>0	>-5	>-5
Нестабильность (15 мин.), дБ	± 0.05			

Блок измерителя оптической мощности		
Длины волн калибровки, нм	850	1310,1550
Диапазон измерения оптич. мощности, дБм	+3 .. -60	+3 .. -65
Погрешность измерения мощности, дБ	0.33	0.22
Погрешность измерения относительных уровней мощности, дБ	0.17	0,11
Разрешающая способность, дБм	0,01	0,01

2. Испы тания волоконно-оптической кабельной системы СКС

2.1. Требования к полевым тестерам

Сертификационное тестирование вносимых потерь волоконно-оптических кабель- ных систем должно быть выполнено с помощью измерителя мощности и источника света или полевых тестеров, имеющих в своих комплектах волоконно-оптические датчики, обеспечивающие возможность тестирования вносимых потерь.

Заводская калибровка

Источник света и измеритель мощности, используемые для тестирования волоконно-оптической кабельной системы, должны регулярно проходить калибровку на предпри- ятии-изготовителе или в уполномоченном производителем агентстве на соответствие требованиям своих рабочих характеристик.

Результаты тестирования, полученные с помощью полевого тестера с просроченным калибровочным сертификатом, являются недействительными и могут быть не приняты при сертификации СКС.

Тестовые шнуры

Качество тестовых шнуров, с помощью которых измерительное оборудование соединяется с тестируемой системой, в определенной степени влияет на результаты тестирования вносимых потерь. Шнур должен быть терминирован коннекторами с высоким качеством отполированной поверхности. Кроме того, большое значение имеют материал оболочки и конструкция кабеля шнура.

Результаты ряда испытаний, выполненных на большом числе образцов, показали, что точность изготовления волокна и коннектора оказывают весьма незначительное влияние на параметры сопряженных кабелей. Наилучшие результаты показали кабели с самыми жесткими оболочками, что обусловлено более высокой степенью механической защиты волокон и снижением потерь вследствие изгиба кабеля в области входа в корпус коннектора.

Таким образом, рекомендуется выбирать тестовые шнуры не на основе наилучших значений точности изготовления коннекторов, а на основе показателей потерь при

сопряжении кабелей. Кроме этого, возможно более важным будет аккуратное хранение и использование тестовых шнуров, а также регулярная проверка контактных поверхностей на предмет появления царапин и грязи.

Диаметр ядра (сердечника) и цифровая апертура волоконно-оптических тестовых шнуров, используемых для тестирования линий волоконно-оптической кабельной системы, должны совпадать с соответствующими параметрами тестируемой кабельной системы.

Длина шнуров должна составлять от 1 до 5 м.

Коннекторы, используемые для подключения к источнику света, измерителю мощности и кабельной системе, должны быть совместимы с ними.

Для полевого тестирования волоконно-оптических кабельных систем разрешается использовать тестовые шнуры:

- приобретенные у изготовителя тестирующего оборудования;
- изготовленные монтажником;
- приобретенные у третьих изготовителей.

Измерители мощности

Измерители оптической мощности измеряют среднее значение оптической мощности на выходе из волокна. Обычно они состоят из твердотельного детектора (кремниевого

- для коротковолновых систем и германиевого или арсенидгалиевого (InGaAs) - для длинноволновых систем), электронных схем обработки сигнала и цифрового дисплея для индикации результатов измерений. Для обеспечения возможности подключения к различным типам волоконно-оптических коннекторов тестеры обычно оснащаются съемными адаптерами.

Измерители мощности калиброваны на представление результатов измерений в линейных единицах измерения (милливатты, микроватты, нановатты) или в дБ по отношению к уровням оптической мощности в один милливатт или один микроватт.

Волоконно-оптические измерители мощности характеризуются погрешностью измерений в пределах +/- 5%, которая устанавливается в процессе калибровки, выполняемой тестирующими лабораториями. Источниками погрешности являются переменные условия качества соединения детектора и коннектора, отражателя от поверхности коннекторов, отклонения в длинах волн источников (детекторы чувствительны к определенной длине волны), нелинейные процессы в электронных схемах обработки сигналов и собственные шумы детектора на низких уровнях мощности. Поскольку большинство описанных выше факторов оказывает влияние на все виды тестеров, независимо от уровня их сложности, лабораторные измерители не обладают более высокой точностью по сравнению с ручными портативными устройствами.

Измерители мощности, используемые для тестирования вносимых потерь многомодовых и одномодовых оптических волокон, должны обладать линейностью измерений не хуже +/- 0,2 дБ при температуре 20 °С во всем динамическом диапазоне.

Источники света

Для того чтобы выполнить измерения потерь оптической мощности или затухания в волокнах, кабелях и коннекторах, кроме измерителя оптической мощности, требуется стандартный источник сигнала. Источник выбирается на основе совместимости типов волокон (одномодовое или многомодовое, диаметр ядра) и рабочих длин волн. Большинство источников построены на основе LED (светодиодов) или лазеров, широко используемых в качестве передатчиков в практических волоконно-оптических системах, что позволяет воспроизводить условия работы реальных приложений и, таким образом, повысить достоверность результатов тестирования.

Типовые рабочие длины волн источников - 665 нм (пластиковые волокна), 820, 850 и 870 нм (коротковолновые стеклянные волокна), 1300 и 1550 нм (длинные волны). Источники на основе LED обычно используются для тестирования многомодового волокна, а лазеры-одномодового, хотя в некоторых случаях их области применения могут перекрывать друг друга, особенно в старых телекоммуникационных системах, использующих многомодовые волокна с лазерами, а также при тестировании коротких одномодовых перемычек с

помощью LED. Длина волны источника может оказаться критичным параметром при обеспечении точности измерения потерь, так как затухание в волокне чувствительно к длине волны в коротковолновом диапазоне. Вследствие этого, все источники должны быть калиброваны на рабочую длину волны.

Совместимость тестеров с различными видами волоконно-оптических коннекторов также имеет большое значение, поскольку на сегодняшний день промышленностью используется свыше 70 типов конструкций коннекторов. Большинство приборов на основе LED используют модульные адаптеры различных типов, на основе лазеров, как правило, - фиксированные коннекторы. В этом случае можно использовать гибридные тестовые перемычки, имеющие на одном конце коннектор, совместимый с тестируемой системой.

Источники света, используемые для тестирования вносимых потерь многомодовых и одномодовых оптических волокон, должны обладать стабильностью инжектируемой мощности в пределах +/- 0,2 дБ при температуре 20 °С на протяжении всего времени и мерений (не менее 8 ч), а также минимальными спектральными характеристиками, приведенными в таблице 2.

Таблица 2

Центральная длина волны источника света, нм	Ширина спектра (FWHM) источника света, нм
850 +/- 30	30 - 60
1300 +/- 20	100 - 140

2.2. ТЕСТИРОВАНИЕ ВНОСИМЫХ ПОТЕРЬ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Тестирование вносимых потерь линии основано на так называемом "методе одной эталонной перемычки". Предел вносимых потерь в горизонтальной кабельной подсистеме рассчитан для максимально допустимой длины линии 90 м.

Определение максимально допустимого предела рабочих характеристик передачи многомодовых и одномодовых магистральных кабельных подсистем, а также линий длиной свыше 90 м (например, линий СОА) представлено ниже.

Тестирование вносимых потерь линии не подразумевает присутствие в ней каких- либо активных или пассивных устройств (оптических переключателей, разветвителей, повторителей или усилителей), кроме кабелей, коннекторов и муфт.

Все волоконно-оптические линии горизонтальной и магистральной кабельных подсистем должны пройти тестирование вносимых потерь.

Тестирование вносимых потерь должно быть выполнено с помощью "метода одной эталонной перемычки".

Все результаты измерений вносимых потерь рекомендуется регистрировать с одной значащей десятичной цифрой в дробной части измеренного значения (например, "-14,3 дБм").

Тестирование линии горизонтальной кабельной подсистемы

Тестирование линий горизонтальной кабельной подсистемы проводится, как правило, только на одной длине волны. Вследствие их небольшой длины (90 м и менее) зависимость затухания от длины волны пренебрежимо мала.

Волоконно-оптические линии горизонтальной кабельной подсистемы должны проходить тестирование вносимых потерь при длине волны 850 или 1300 нм, по крайней мере, в одном направлении. Результаты тестирования не должны превышать:

2,00 дБ - для непрерывного сегмента горизонтальной подсистемы;

2,75 дБ - для кабельной системы открытого офиса и использования консолидационной точки.

Предельное значение вносимых потерь основано на потерях на двух парах коннекторов (одна пара в телекоммуникационной розетке и одна пара в горизонтальном кроссе) и в 90 м волоконно-оптического кабеля. В случае тестирования кабельной системы открытого офиса

с использованием консолидационной точки, значение результатов тестирования не должно быть более 2,75 дБ, поскольку СР вносит дополнительные потери значением до 0,75 дБ. При использовании кабельной системы открытого офиса и многопользовательской телекоммуникационной розетки значение результатов тестирования должно быть не более 2,00 дБ.

Тестирование линии магистральной кабельной подсистемы

Волоконно-оптические линии магистральной кабельной подсистемы должны прохо- дить тестирование вносимых потерь, по крайней мере, в одном направлении на длинах волн:

850 и 1300 нм - для многомодового волокна; 1310 и 1550 нм - для одномодового волокна.

Результаты тестирования не должны превышать значений, рассчитываемых по пра- вилам, приведенным ниже.

Вследствие того, что длина сегментов магистральной кабельной подсистемы и по- тенциальное число муфт в ней могут меняться в зависимости от конкретных условий про- екта, вносимые потери линии перед проведением сертификационного тестирования рас- считывают с помощью формул, приведенных в 2.3. для каждой используемой длины вол- ны.

Тестирование линии СОА

Волоконно-оптические линии СОА должны проходить тестирование вносимых потерь на длине волны 850 или 1300 нм, по крайней мере, в одном направлении. При этом вносимые потери не должны превышать:

3,3 дБ - для сегмента СОА, соединяющего централизованный кросс с телекоммуникационной розеткой на рабочем месте;

4,1 дБ - для сочетания СОА с кабельной системой открытого офиса, содержащей консолидационную точку.

Рекомендуется тестировать волоконно-оптические линии СОА на длине волны 850 нм. Тестирование линий СОА проводится, как правило, только на одной длине волны, так как вследствие небольшой длины линий (до 300 м) зависимость затухания от длины волны является незначительной.

Предельные значения вносимых потерь измеряют:

для СОА - на трех парах коннекторов (одна пара в телекоммуникационной розетке, вторая - в телекоммуникационной и третья - в централизованном кроссе) и в 300 м волоконно-оптического кабеля;

для сочетания СОА с кабельной системой открытого офиса, содержащей консолидационную точку, - на четырех парах коннекторов (одна пара в телекоммуникационной розетке, вторая - в консолидационной точке, третья - в телекоммуникационной и четвертая - в централизованном кроссе) и в 300 м волоконно-оптического кабеля.

2.3. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛОВ ВНОСИМЫХ ПОТЕРЬ ЛИНИИ

Пределы вносимых потерь волоконно-оптических линий магистральной кабельной подсистемы и линий длиной свыше 90 м рассчитывают по формулам

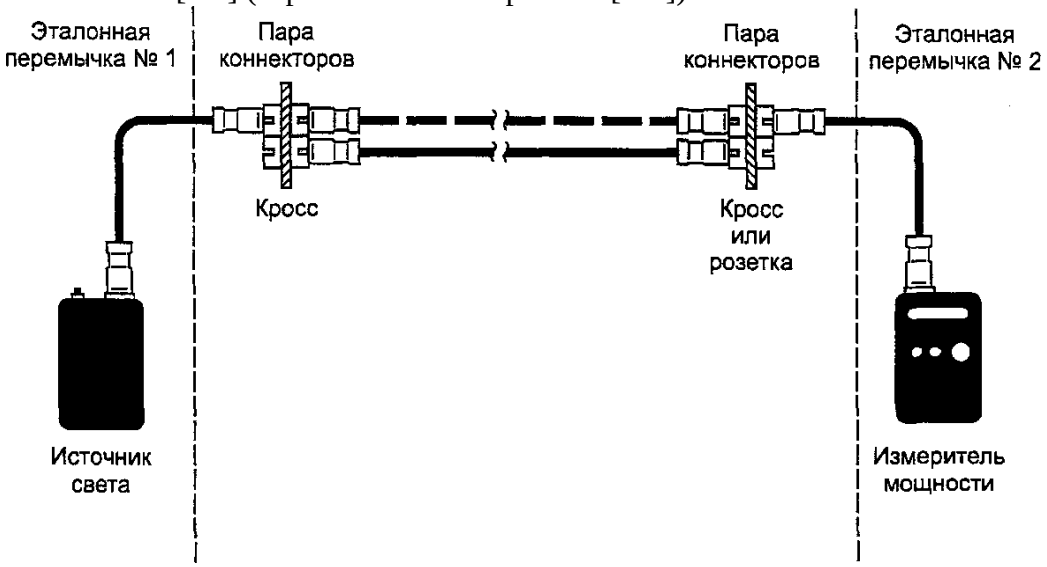
В случае, когда тестируемая линия состоит из кабелей внутреннего и внешнего применения (магистральная система кампуса), в используемой формуле должны присутствовать расчеты вносимых потерь для каждого из сегментов.

2.4. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Волоконно-оптическая линия - часть кабельной системы, состоящая из кабеля, коннекторов и муфт и соединяющая две точки терминирования, представляющие собой воло- конно-оптическое коммутационное оборудование, приведена на рисунке 5. В качестве примера линии можно привести горизонтальную кабельную подсистему, начинающуюся на коннекторе телекоммуникационной розетки и заканчивающуюся на распределителе этажа

(горизонтальном кроссе). В магистральной подсистеме могу быть волоконно- оптические линии трех видов:

- соединяющие распределитель кампуса [CD] (главный кросс [MC]) с распределителем здания [BD] (промежуточным кроссом [IC]);
- соединяющие распределитель здания [BD] (промежуточный кросс [IC]) с распределителем этажа [FD] (горизонтальным кроссом [HC]);
- соединяющие распределитель кампуса [CD] (главный кросс [MC]) с распределителем этажа [FD] (горизонтальным кроссом [HC]).



Условные обозначения:

- позиция "А";
- позиция "В";
- волокна с нечетными номерами;
- волокна с четными номерами.

Рисунок 5. Модель волоконно-оптической линии

Топология СОА также построена на линии, соединяющей телекоммуникационную розетку с централизованным кроссом с проходом через муфту или межсоединение в телекоммуникационной.

На рисунке 5 показано, что конфигурация тестирования линии включает в себя коннектор коммутационного оборудования, служащего для подключения коммутационных/аппаратных шнуров. Тем не менее, рабочие характеристики передачи коннектора на стороне интерфейса активного оборудования не учитываются при тестировании.

Метод одной эталонной перемычки

Существует несколько методов тестирования вносимых потерь в волоконно-оптических линиях. Наиболее популярный из них "метод одной (двух, трех и т.д.) эталонной перемычки". Наиболее удобным и обеспечивающим приемлемые результаты с точки зрения тестирования волоконно-оптических кабельных систем зданий и кампусов является "метод одной эталонной перемычки", описанный ниже.

Калибровка 1

Соединяют источник света и измеритель мощности с помощью эталонной перемычки *N*1 (рисунок 6). Измеряют уровень мощности и записывают как мощность.

Калибровка 2

Отсоединяют от измерителя мощности эталонную перемычку *N*1. Соединяют с измерителем мощности эталонную перемычку *N*2. С помощью любого подходящего коммутационного оборудования (адаптера) соединяют эталонную перемычку *N*1 с эталонной

перемычкой *N*2 (рисунок 7). Измеряют уровень мощности - P_2 .

Калибровка 3

Измеряют мощность и записывают как $P_3 = P_1 - P_2$. Измеренные значения должны быть не более 0,75 дБ. Превышение уровня мощности 0,75 дБ означает, что одна или обе эталонные перемычки имеют дефекты.

Измерение потерь волоконно-оптической линии

Во время проведения измерений не следует отсоединять эталонную перемычку *N*1 от источника света и эталонную перемычку *N*2 от измерителя мощности, а также выключать питание источника света и измерителя мощности. Если это произошло, следует повторить процедуры калибровки с 1 по 3.

Разъединяют эталонные перемычки. Подключают эталонные перемычки *N*1 и *N*2 к соответствующим концам тестируемой волоконно-оптической линии (рисунок 8).

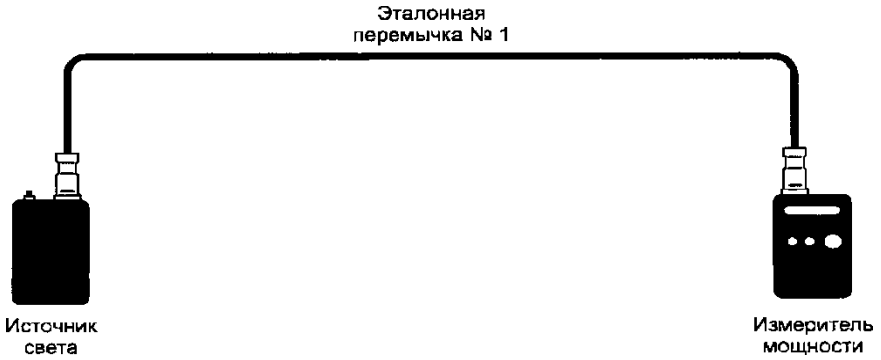


Рисунок 6. Калибровка 1 - измерение уровня мощности, инжектируемой в волокно источником света

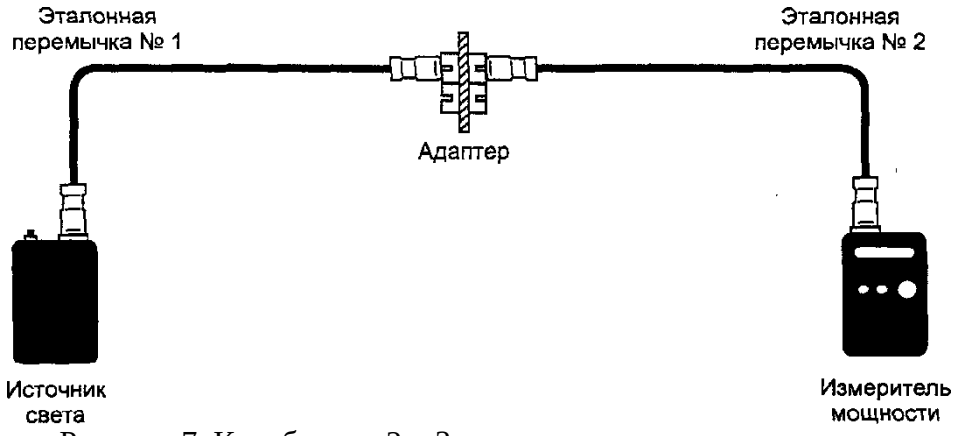


Рисунок 7. Калибровки 2 и 3 - проверка качества тестовых шнуров

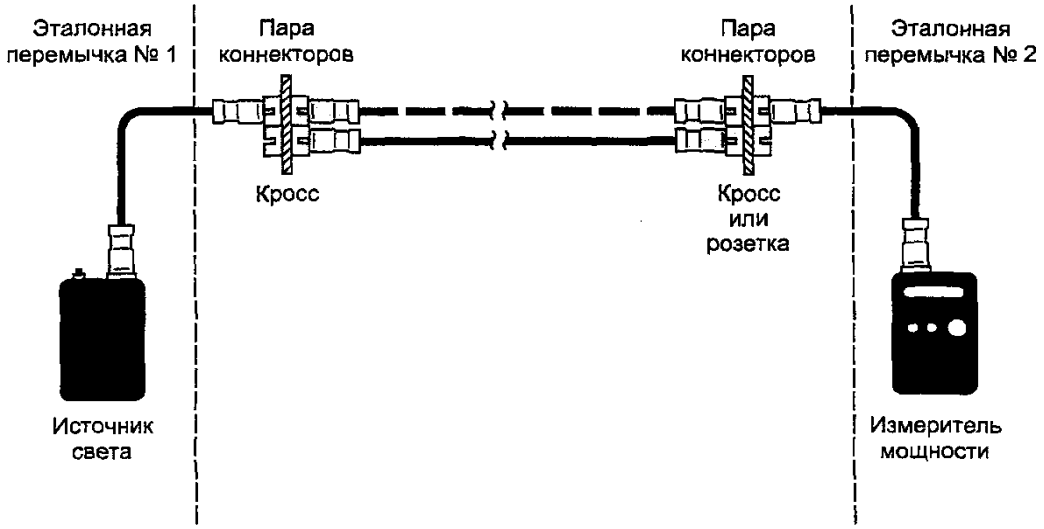


Рисунок 8. Калибровка 4 - измерение значения мощности затухания

В методе одной эталонной перемычки в калибровках 2 и 3 выполняется проверка качества тестовых шнуров, используемых для тестирования волоконно-оптической линии. При использовании сертифицированных тестовых волоконно-оптических шнуров, а также измерителя мощности и источника света, оборудованных функцией запоминания значения калибровочной мощности (функция автокалибровки), некоторые описанные выше процедуры могут быть исключены из общей схемы измерений.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Изучите принцип работы ГОИ, ИОМ, ознакомьтесь с интерфейсом и руководствами пользователя приборов.
2. Проведите расчет пределов вносимых потерь волоконно-оптической линии длиной 1 км с оптическими разъемными соединителями на концах в соответствии с уравнениями 1-3.
3. Проведите тестирование вносимых потерь и длины волоконно-оптической линии одномодового волокна магистральной кабельной подсистемы методом одной эталонной перемычки в двух направлениях на трех длинах волн: 1310, 1550, 1625 нм. Для этого соедините патч-корды ГОИ и ИОМ с помощью эталонного шнура *N*1 (рис. 6).

ВНИМАНИЕ! Варианты полировки PC, SPC и UPC при соединении совместимы в любых сочетаниях. Тип полировки APC (зеленый цвет кожуха) совместим только с APC и несовместим с PC, SPC и UPC. При подключении коннектора с полировкой APC к любому

Установите уровень выходной мощности ГОИ равным 0 дБ последовательно для всех трех длин волн. Измерьте уровень оптической мощности P_1 на входе ИОМ для длины волны 1310 нм. Занесите в память ИОМ значение P_1 как опорное, запишите его в отчет. Повторите процедуру для длин волн 1550 и 1652 нм.

Отключите от ИОМ эталонный шнур *N*1, оставив его подключенным к ГОИ. Соедините с измерителем мощности эталонную перемычку *N*2. С помощью адаптера соедините эталонную перемычку *N*1 с эталонной перемычкой *N*2 (рисунок 7). Измерьте уровень потерь IL_3, запишите его в отчет. Измеренные значения должны быть не более 0,75 дБ. Превышение уровня потерь свыше 0,75 дБ означает, что одна или обе эталонные перемычки имеют дефекты.

Далее, во время проведения измерений потерь линии не следует отсоединять эталонную перемычку *N*1 от ГОИ и эталонную перемычку *N*2 от ИОМ, а также выключать питание ИОМ и ГОИ.

Разъедините эталонные перемычки. Подключите эталонные перемычки *N*1 и *N*2 к соответствующим концам тестируемой волоконно-оптической линии (рисунок 8).

Измерьте значение потерь IL_2 в двух направлениях (восток – запад и запад – восток) для каждой длины волны, результаты отобразите в табл. 3. Получите средний результат для каждой из трех длин волн, также занесите его в таблицу 3.

Таблица 3

λ, нм	IL_2, восток – запад,дБ	IL_2, запад – восток, дБ	$IL_{2ср}$, дБ
1310			
1550			
1625			

4. Проведите определение потерь для другой волоконно-оптической линии в соответствии с п.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены ГОИ?
2. Из каких основных функциональных блоков состоит ГОИ?
3. Каковы основные технические требования к ГОИ?
4. Проведите сравнительный анализ характеристик LED и LD.
5. Возможна ли регулировка уровня выходной оптической мощности ГОИ? Если да, то каким образом?
6. Какие параметры контролируемой ВОЛС (прямо и косвенно) связаны с динамическим диапазоном ИОМ?
7. Что служит приемником оптического излучения ИОМ?
8. Какие основные типы приемников оптического излучения вы знаете?
9. Какие преимущества обеспечивает применение приемников оптического излуче- ния с более широким спектром по длинам волн?
10. Какие преимущества обеспечивает применение приемников оптического излучения с большей чувствительностью?
11. Как соотносятся между собой уровень собственных шумов и динамический диапазон измерений ОТ?
12. Перечислите значения основных метрологических характеристик СИ, использованных в работе.
13. Каким уровням оптического излучения в ваттах соответствуют уровни 3; 0; –20; –30; –60; –75 дБм?
14. На каких длинах волн проводится длинах тестирование волн для одномодовых волокон? Для многомодовых?
15. Что может включать в себя волоконно-оптическая линия СКС?
16. Каковы предельные значения вносимых потерь для элементов волоконно- оптических линий СКС?
17. Каковы предельные значения вносимых потерь для сегментов СОА?
18. Какие виды волоконно-оптических линий могу быть в магистральной подсистеме?
19. Что дополнительно позволяет обнаружить тестирование на длине волны 1550 нм?
20. Как рассчитать пределы вносимых потерь волоконно-оптических линий магистральной кабельной подсистемы?
21. В чем заключается сущность метода одной, двух, трех эталонных перемычек?

Общие характеристики приборов

- питание прибора осуществляется от встроенных аккумуляторов или от блока питания подключаемого к сети напряжением ~220 В, поставляемого в комплекте с прибором;
- возможна поставка соединительных кабелей и программного обеспечения для связи с компьютером;
- габаритные размеры — 85*170*35 мм;
- масса — 0,5 кг;
- температура эксплуатации — 0° ... +40°С.

Лабораторная работа №27
Тема: Измерение основных параметров оптического волокна

Цель работы: Изучение физических параметров оптического волокна по прямым геометрическим и оптическим измерениям, которые демонстрируют структуру оптического волокна, что позволяет понять назначение и физический смысл вводимых физических параметров.

Описание

Передача оптического излучения в кабельных системах производится по световодам - оптическим волокнам (optical fiber, OF), представляющие гибкий

оптический волновод в виде тонкой нити из оптически прозрачного материала, в котором свет направляется сердцевиной. Направляющие свойства оптического волокна обусловлены полным внутренним отражением света на границе между сердцевиной и оболочкой, в которой показатель преломления сердцевины больше, чем показатель преломления оболочки. В зависимости от диаметра сердцевины и разности показателей преломления сердцевины и оболочки, волокна делятся на два основных типа: многомодовые (multi mode fiber, MMF) и одномодовые (single mode fiber, SMF).

Наиболее распространенный класс оптических волокон представляет собой тонкую кварцевую нить, профиль показателя преломления (refractive index profile, RIP) сердцевины которой имеет ступенчатый вид (step index, SI). Одномодовые кварцевые волокна обладают уникально малыми потерями ~ 0,16 дБ/км на длине волны = 1,55 мкм. В оптических сетях доступа и локальных сетях связи используются также более простые в эксплуатации многомодовые полимерные оптические волокна.

Основная область применений оптических волокон — оптические телекоммуникации. Параметры телекоммуникационных волокон регламентируются международными стандартами: G.652, G.653, G.655 и др. Для всех типов телекоммуникационных волокон диаметр кварцевой оболочки имеет стандартный размер 125 мкм (см. рис.1). В градиентных (gradient index, GI) многомодовых волокнах диаметр сердцевины может принимать два значения: 50 или 62,5 мкм. В стандартных одномодовых волокнах нормируемым параметром является диаметр модового пятна. Другими важнейшими характеристиками оптических волокон являются оптические потери, хроматическая и поляризационная модовая дисперсия, оптическая нелинейность и механическая прочность.

Оптические волокна применяются также для передачи мощного лазерного излучения в технологических и медицинских применениях; в волоконно- оптических датчиках; устройствах обработки оптических сигналов и т. д. В этих приложениях наряду со стандартными телекоммуникационными волокнами используются волокна специального назначения. В них диаметр сердцевины может изменяться от нескольких мкм до сотен мкм.

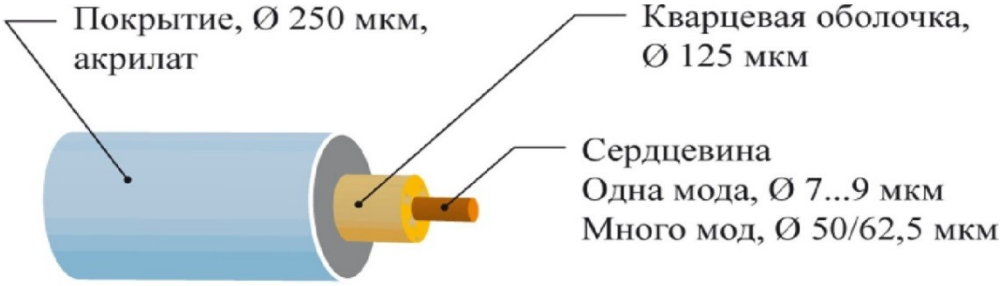


Рис.1. Структура стандартных телекоммуникационных волокон

Геометрические и оптические параметры оптических волокон

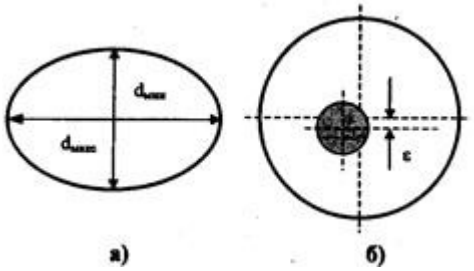


Рис.2. Примеры неоднородностей в оптических волокнах: а – некруглость; б – неконцентричность сердцевины и оболочки ОВ

Основными геометрическими параметрами оптических волокон являются:

- диаметр сердцевины;
- диаметр оболочки;
- диаметр защитного покрытия;
- некруглость (эллиптичность) сердцевины;
- некруглость оболочки;
- неконцентричность сердцевины и оболочки.

Некруглость сердцевины оптического волокна определяется как разность максимального и минимального диаметров сердцевины, деленная на номинальный диаметр сердцевины, и определяется только в многомодовых волокнах, некруглость оболочки — в многомодовых и одномодовых волокнах. Некруглость сердцевины оптического волокна (рис. 2а) определяется из выражения:

$$H_{c/o} = C_o - C_c \quad (2)$$

где $H_{c/o}$ — неконцентричность сердцевины относительно оболочки, мкм; C_c — координаты центра сердцевины, мкм; C_o — координата центра оболочки, мкм.

Геометрические параметры стандартизированы для разных типов оптических волокон, поэтому остановимся более подробно на оптических параметрах волокон.

Основными оптическими параметрами волокна являются:

- относительная разность показателей преломления (Δ);
- числовая апертура (NA);
- нормированная частота (V);
- число распространяющихся мод (M);
- диаметр модового поля (d_{mf});
- длина волны отсечки (критическая длина волны λ_{cr}).

Относительная разность показателей преломления. Относительная разность показателя преломления сердцевины и оболочки оптического волокна определяется выражением

Геометрические параметры стандартизированы для разных типов оптических волокон, поэтому остановимся более подробно на оптических параметрах волокон.

Основными оптическими параметрами волокна являются:

- относительная разность показателей преломления (Δ);
- числовая апертура (NA);
- нормированная частота (V);
- число распространяющихся мод (M);
- диаметр модового поля (d_{mf});
- длина волны отсечки (критическая длина волны λ_{cr}).

Относительная разность показателей преломления. Относительная разность показателя преломления сердцевины и оболочки оптического волокна определяется выражением

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (3)$$

здесь n_1 - показатель преломления сердцевины, n_2 - показатель преломления оболочки оптического волокна

Числовая апертура. Одной из основных характеристик, определяющих условия ввода оптических сигналов и процессы их распространения в оптических волокнах, является числовая апертура, определяемая для:

- оптических волокон со ступенчатым профилем показателя преломления сердцевины

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1\sqrt{2\Delta}$$

- оптического волокна с градиентным профилем показателя преломления

$$NA = \sqrt{\frac{n_1^2(r) - n_2^2}{2}}$$

В градиентных оптических волокнах используется понятие локальной числовой апертуры. Ее значение максимально на оси волокна и равно 0 на границе раздела *сердцевина — оболочка*.

Нормированная частота. Этот параметр, определяющий число мод, равен:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} NA$$

где λ — длина волны, мкм, $d=2a$ — диаметр сердцевины, мкм.

Если 0<V<2,405, то режим работы волокна одномодовый, если V>2,405 — многомодовый. Чем меньше диаметр сердцевины оптического волокна, тем меньшее число мод может распространяться по нему и тем меньшее расширение получают оптические импульсы. Соответственно увеличивается коэффициент широкополосности волокна. Таким образом, одномодовое оптическое волокно может передавать более широкополосные сигналы, чем многомодовое оптическое волокно.

Число мод в многомодовом оптическом волокне.

Общее число мод в многомодовом оптическом волокне с диаметром сердцевины $2a$, заданной числовой апертурой на рабочей длине волны λ определяется через нормированную частоту выражением вида:

$$M \approx \begin{cases} \dfrac{V^2}{4} & for \\ V^2 - RIP & \end{cases} \qquad (7)$$

где RIP (refractive index profile) - профиль показателя преломления.

В расчетах M может оказаться дробным числом, в то время как число мод в волокне бывает только целым и составляет от одной до тысячи мод. В волокне с градиентным профиль показателя преломления и теми же значениями диаметра сердцевины, показателей преломления n_1 и n_2 число мод примерно в 2 раза меньше, чем в оптических волокнах со ступенчатым профилем показателя преломления. Количество мод (с учетом всех вырожденных мод) в случае градиентного профиля показателя преломления определяется выражением вида:

$$M = \frac{V^2}{1(1+2/u)^2} \qquad (8)$$

где u — показатель степени, описывающий изменения профиля показателя преломления.

Диаметр модового поля в одномодовом оптическом волокне.

Важным интегральным параметром одномодового оптического волокна является диаметр модового поля. Этот параметр используется при анализе одномодовых волокон.

В многомодовых оптических волокнах размер сердцевины принято оценивать диаметром ($d=2a$), в одномодовых волокнах — с помощью диаметра модового поля (d_{mf}). Это связано с тем, что энергия основной моды в одномодовом оптическом волокне распространяется не только в сердцевине, но и частично в оболочке, захватывая ее

приграничную область. Поэтому d_{mf} более точно оценивает размеры поперечного распределения энергии основной моды. Величина d_{mf} является важной при стыковке волокон между собой, а также при стыковке источника излучения с волокном.

Рис. 3. Зависимость распределения интенсивности излучения основной моды одномодового оптического волокна в ближней зоне от радиуса

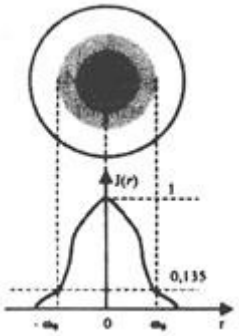
Зависимость распределения интенсивности (мощности) излучения основной моды одномодового волокна в ближней зоне от радиуса (рис. 3).

Длина волны отсечки в одномодовом оптическом волокне.

Минимальная длина волны, при которой оптическое волокно поддерживает только одну распространяющуюся моду, называется длиной волны отсечки. Этот параметр характерен для одномодового оптического волокна. Если λ_{cr} меньше, чем длина волны отсечки, то имеет место многомодовый режим распространения света.

Различают длину волны отсечки в волокне λ_c и длину волны отсечки в проложенном кабеле λ_{cc}. Первая (λ_c) соответствует слабо напряженному волокну.

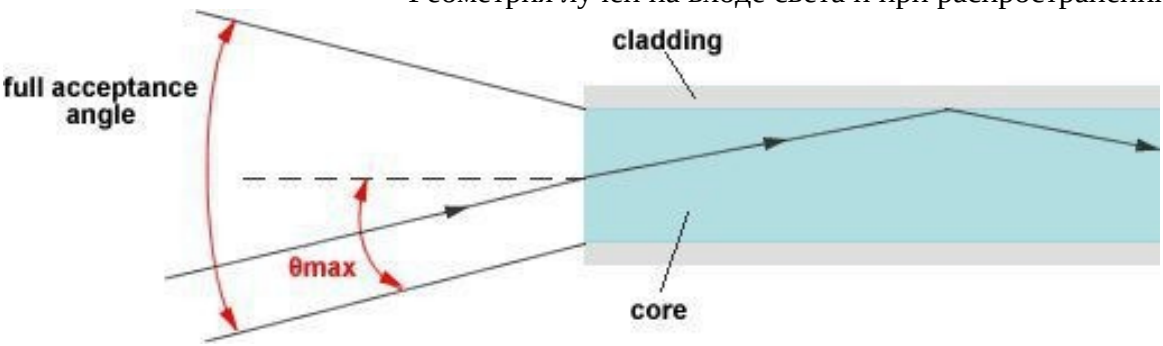
Длина отсечки в проложенном кабеле λ_{cc} соответствует напряженному оптическому волокну. На практике оптическое волокно в проложенном или подвешенном на опорах кабеле имеет большое число изгибов. Кроме того, сильные искривления имеются в оптических волокнах, уложенных в кассеты муфт и



промежуточных соединителях на объектах связи (сплайс-боксах). Все это ведет к подавлению побочных мод и сдвигу λ_{cc} в сторону коротких длин волн в сравнении с λ_c. Разницу между λ_{cc} и λ_c можно оценить только экспериментальным путем.

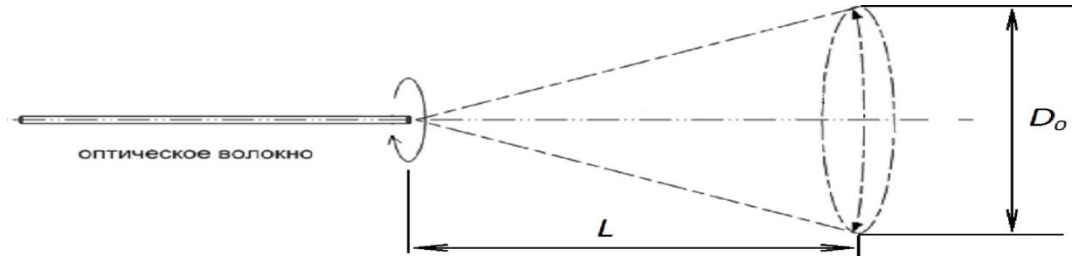
Экспериментальная установка.

Геометрия лучей на входе света и при распространении в сердцевине в ОВ



Геометрия эксперимента по измерению параметров выходного конуса оптического луча

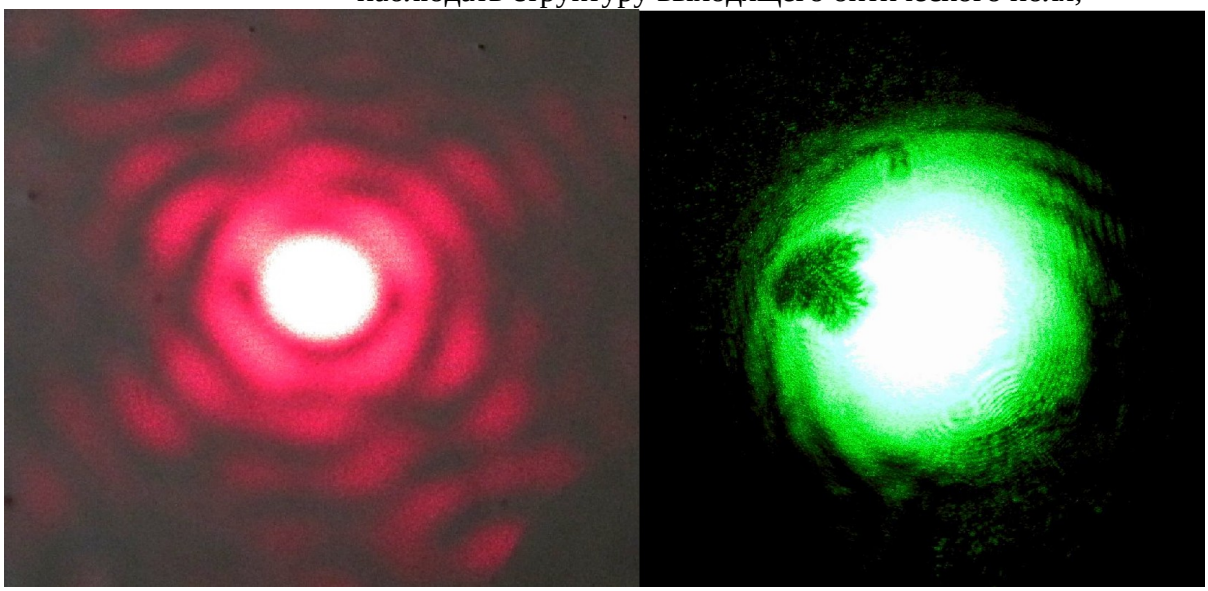
излучения (атор дефектов VFL-250 с длиной волны видимого



Вид лазерного луча

красного излучения 650 нм);

Вывести излучение на экран (белый лист бумаги) и наблюдать структуру выходящего оптического поля;



Получить одномодовое и многомодовое излучение, путем манипуляций с оптическим волокном.

Упражнение 2*. Измерение геометрических параметров выходного оптического излучения.*

Вывести излучение на экран, получить однородное оптическое поле;

Разместить торец волокна на расстоянии *L* от экрана и измерить диаметр выходного модового поля *D*, предварительно обведя его на экране карандашом, результаты занести в таблицу:

Номер измерения *i*	Расстояние от экрана *L, мм*	Диаметр светового поля *D, мм*	
1	30		
2	50		
3	70		
4	90		
5	110		

Измерение диаметра сердцевины производится с помощью микроскопа.

Порядок выполнения роботы

Упражнение 1*. Изучение работы экспериментальной установки и наблюдение модового состава излучения многомодового волокна.*

Подсоединить оптическое волокно к источнику видимого

Упражнение 3. *Измерение диаметра оболочки и сердцевины волокна с помощью микроскопа.*

Откалибровать микроскоп по микрометрическому эталону;

Поместить волокно торцом в поле наблюдения микроскопа, наблюдать поперечную структуру волокна, определить профиль

показателя преломления;

Измерить диаметр сердцевины $d=2a$ или принять значение $d=2a$=10 мкм.

Упражнение 4. *Обработка результатов измерений.*

На основе экспериментальной полученной в упражнении 2 числовой апертуры $NA=<NA>\pm\Delta NA$ (E_{NA}, %)

Определить:

- нормированную частоту

$$V=\frac{2\pi a}{\lambda}$$

где λ=0,650 мкм

- длину волны осечки в волокне со ступенчатым профилем показателя преломления

$$\lambda_c=2\pi a\ \frac{}{2,}$$

- тип волокна: одномодовое или многомодовое волокно
- число мод в волокне со ступенчатым профилем показателя преломления

Написать выводы о проделанной работе, где указать полученные параметры оптического волокна.

Контрольные вопросы

1. Структура оптического волокна и его характерные размеры
2. Оптические характеристики оптического волокна
3. Что определяет числовая апертура волокна
4. Какие волокна называются одно- и многомодовым волокном, отчего зависит число мод в волокне.

Дополнительные вопросы

5. По какому признаку световоды подразделяются на одномодовые и многомодовые?
6. Почему одномодовые оптические волокна применяются для организации каналов дальней связи?
7. Что такое градиентные световоды и почему они так называются?
8. Для каких целей применяются оптические волокна со смещенной ненулевой дисперсией?
9. Для чего выпускаются одномодовые волоконные световоды с вдавленной оболочкой?
10. Что такое диаметр поля моды?
11. Приведите определение апертурного угла.
12. Что характеризует числовая апертура?
13. Как зависит число мод в световоде от числовой апертуры?
14. Как зависит дисперсия импульсов от числовой апертуры?
15. Как зависит затухание в световоде от числовой апертуры?
16. Что отличает числовую апертуру градиентного световода от ступенчатого?

Лабораторная работа №29
Тема: Измерение оптических потерь оптических разветвителей

Цель работы: Изучение характеристик волоконно-оптического ответвителя, приобретение навыков практического использования ответвителей.

Схема установки для измерения вносимых потерь и коэффициента усиления ответвителя приведена на рис.1.

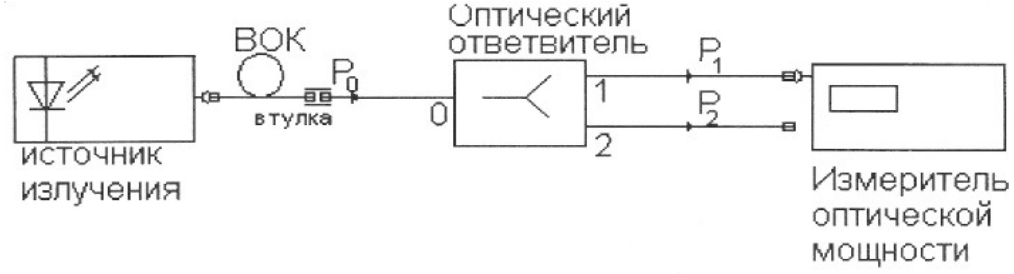


Рис.1. Структурная схема установки для измерения вносимых потерь и коэффициента оптического усиления

оптического ответвителя

Схема установки для измерений направленности ответвителя приведена на рис.2.

Рис.2. Структурная схема установки для измерения направленности ответвителя

<u>Порядок выполнения работы</u>

1. Собрать установку в соответствии со схемой рис.1. Оптическое излучение от источника падает через катушку ВОК и соединительную втулку на порт О исследуемого оптического ответвителя. К выходному порту 1 присоединен измеритель оптической мощности.

2. Измерить величину выходной мощности P_1 в порту 1. Отсоединить измеритель мощности от порта 1 и присоединить его к порту 2. Измерить величину выходной мощности P_2 в порте 2.

3. Отсоединить измеритель мощности от порта 2 ответвителя. Отсоединить порт 0 от катушки ВОК. Присоединить измеритель мощности к выходному концу катушки ВОК и измерить величину входной мощности P_0.

4. Собрать установку в соответствии со схемой рис.2. Присоединить источник излучения через катушку ВОК и втулку к порту 1 ответвителя. Присоединить измеритель мощности к порту 2. Волоконный световод порта 0 поместить в иммерсионную жидкость, чтобы убрать отражение от торца волокна.

5. Измерить величину выходной мощности P_2*. Отсоединить порт 1 от катушки ВОК. Измерить величину мощности на выходе катушки ВОК P_1. Поменять местами порты 1 и 2 и измерить аналогично величины выходной мощности из порта 1 P_1** и мощности на входе

6. Рассчитать параметры оптического ответвителя.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные технические характеристики оптического ответвителя.

2. Как определить потери сигнала в каждом из портов ответвителя?

3. Где в аппаратуре ВОСП используется свойство направленности ответвителя?