

Министерство образования и науки Российской Федерации  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего профессионального образования**  
**«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»**

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

Демидов А.Я.

**“ Многоканальные системы цифровой радиосвязи”**

Методическое пособие к лабораторным работам  
для студентов радиотехнического факультета  
210302 – “Радиотехника”

Томск 2012

**Многоканальные системы цифровой радиосвязи: Методическое пособие к лабораторным занятиям/ А.Я.Демидов. ТУСУР.-2012. 24 с.**

Подробно излагается методика и порядок выполнения работ, содержание отчета К каждой работе прилагаются контрольные вопросы, по которым преподаватель может оценить уровень освоения студентом материала. В пособии описаны состав лабораторных макетов, технические характеристики и режимы работы применяемых приборов и оборудования.

Разработано в соответствии с программой курса «Многоканальные системы цифровой радиосвязи» и предназначено для студентов радиотехнического факультета, по специальностям 210302 – “Радиотехника”

**© Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники, 2012**

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ .....	3
<u>Лабораторная работа № 1: «ИЗУЧЕНИЕ ИКМ КОДЕКА»</u> .....	4
1. Цель работы .....	4
2. Применяемые приборы и оборудование .....	4
3. Описание лабораторной установки .....	4
4. Подготовка к выполнению работы .....	5
5. Порядок выполнения работы .....	5
6. Содержание отчета .....	8
7. Контрольные вопросы .....	9
<u>Лабораторная работа № 2. «ДИСКРЕТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕНИ (теорема Котельникова)»</u> .....	9
1. Цель работы .....	9
2. Краткая характеристика исследуемых цепей и сигналов .....	9
3. Лабораторное задание .....	10
4. Порядок выполнения работы .....	10
5. Порядок оформления отчета .....	12
6. Контрольные вопросы .....	12
<u>Лабораторная работа №3. «ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С АМПЛИТУДНО - ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ»</u> .....	12
1. Цель работы .....	12
2. Применяемые приборы и оборудование .....	13
3. Описание лабораторной установки .....	13
4. Подготовка к выполнению работы .....	14
5. Порядок выполнения работы .....	14
6. Содержание отчета .....	17
7. Контрольные вопросы .....	17
<u>Лабораторная работа №4. «ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ СВЯЗИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ С ИМПУЛЬСНО - КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ (ИКМ)»</u> .....	17
1. Цель работы .....	17
2. Применяемые приборы и оборудование .....	17
3. Описание лабораторной установки .....	17
4. Подготовка к выполнению работы .....	18
5. Порядок выполнения работы .....	19
6. Содержание отчета .....	20
7. Контрольные вопросы .....	21
<u>Лабораторная работа № 5 «МОДУЛЯЦИЯ В КАНАЛАХ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ»</u> .....	21
1. Цель работы .....	21
2. Краткая характеристика исследуемых цепей и сигналов .....	21
3. Лабораторное задание .....	22
4. Порядок выполнения работы .....	22
6. Порядок оформления отчета .....	23
7. Контрольные вопросы .....	23

## Лабораторная работа № 1: «ИЗУЧЕНИЕ ИКМ КОДЕКА»

### 1. Цель работы

Изучить принципы кодирования и декодирования сигналов с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ), получить характеристики кодера и декодера, а также частотные характеристики фильтра, входящих в кодеки (или кофидеки), осуществляющие преобразования аналоговых сигналов в цифровые и обратно.

### 2. Применяемые приборы и оборудование

1. Учебная лабораторная установка «Изучение ИКМ кодека».
2. Осциллограф – двухканальный или одноканальный.
3. Цифровой вольтметр с режимом измерения постоянного напряжения.
4. Комплект гибких соединительных проводников – 4 шт.

### 3. Описание лабораторной установки

Согласно международным стандарта, частота дискретизации телефонного сигнала с полосой 300 – 3400 Гц установлена равной  $F_d = 8$  КГц. Мощность шумов квантования  $\sigma^2$  определяется шагом квантования  $\Delta$

$$\sigma^2 = \Delta^2/12$$

и не зависит от мощности сигнала, поэтому отношение сигнал/шум (SNR) уменьшается при уменьшении уровня сигнала. Согласно международным рекомендациям SNR не должно зависеть от уровня сигнала, для выполнения этого условия используется нелинейное квантование с компрессией (сжатием) сигнала. Стандартным законом командирования для Европы и России является  $A$  – закон командирования:

$$y = \frac{Ax}{1 + \ln A} \quad 0 \leq x \leq 1/A;$$
$$y = \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A} \quad 1/A \leq x \leq 1, \quad (1)$$

где  $x$  – амплитуда входного телефонного сигнала,  $A = 87.6$ .

Учебная лабораторная установка «Изучение ИКМ кодека» выполнена в виде лабораторного макета, размещаемого на столе. На её передней панели размещены функциональная схема кодека, контрольные гнезда и органы управления. На задней стенке установки выведен шнур для подключения к электрической сети 220в, 50 Гц. Включение установки в сеть производится красной клавишей «ВКЛ.-СЕТЬ».

На передней панели установки приведены схемы передающего и приемного фильтров, реализованных микросхемой 1146ФП1, а также кодека 1146ПП1. Кроме того, на передней панели выделены субпанели:

– «КОНТРОЛЬНЫЙ СИГНАЛ» с ручкой «АМПЛИТУДА» - для регулирования амплитуды гармоничного сигнала с частотой 1 Гц, применяемого для проверки работоспособности фильтров и кодека;

– «ИКМ» с кнопкой «РЕЖИМ» - для установления режима ИКМ: Кнопчным переключателем «РЕЖИМ» устанавливается скважность тактовых импульсов кодека из множества {8, 16, 32} и изменяется длительность импульсов кодов, вырабатываемых декодером.

– «ИСТОЧНИК ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ» с ручками «ГРУБО» и «ТОЧНО» - для установки уровня входного напряжения кодера в пределах от -3 В до +3 В.

На передней панели находятся также световые индикаторы контрольного регистра, по которому определяется выходной цифровой сигнал кодера, и регистра «УСТАНОВКА ВЫХОДНОГО КОДА».

Регистрируемый и устанавливаемый коды могут быть в прямой или инверсной кодировке. Выбор типа кодирования производится тумблером «КОД», находящимся в правом верхнем углу установки.

Кодовые слова кодера можно рассмотреть, подключая вход осциллографа к гнезду КТ10 «ИНД.КОДА», а кодовые слова декодера – при подключении к гнезду КТ17.

Применяемый в лабораторной установке кодек осуществляет неравномерное квантование уровней входного аналогового сигнала по  $A$ -закону (1). Этот закон аппроксимируется линейно-ломаной функцией. В телефонии применяют аппроксимацию тринадцатью отрезками прямых линий (сегментами).

При таком кодировании цифровой код для каждого отсчета состоит из знакового бита (1 при  $u_{ВХ} > 0$  и 0 при  $u_{ВХ} < 0$ ) трехразрядного кода сегмента (8 сегментов) и четырехразрядного кода шага (16 шагов) (см. табл.5.2). Код сегмента задает напряжение в начальной точке сегмента, а код шага – смещение внутри сегмента. Как правило, используются коды с инверсией четных битов. Так в табл.5.2 и далее вместо кода сегмента 000 используется код 101, вместо 001 код 100 и так далее. (Первый и третий разряды кода сегмента в полном цифровом коде - четные, так как первый бит знаковый). Аналогично инвертируются и четные биты кода шага смещения. Для первых двух сегментов шаг равен 1,2 мВ, для третьего 2,4 мВ. Для остальных пяти сегментов шаг удваивается при переходе от предыдущего

сегмента к последующему. Таким образом, разрешение выходного сигнала примерно пропорционально уровню входного сигнала.

В процессе кодирования квантованному сигналу с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ) ставится в соответствие двоичный код, который и передается в цифровую телекоммуникационную систему. В простейшем случае в качестве кода используется номер уровня квантования. При этом для используемых в телефонии 256 уровней квантования требуется 8 разрядный двоичный код для каждого отсчета. Таким образом, передача информации в одном цифровом телефонном канале осуществляется со скоростью  $8F_D = 64$  кбит/сек.

При декодировании ИКМ сигнала осуществляется обратное преобразование кода в АИМ сигнал. Для этого последовательный код преобразуется в параллельный и поступает в цифроаналоговый преобразователь. При этом сигналы, соответствующие единицам кодовой последовательности суммируются (каждый со своим весом) и на выходе возникает импульс с амплитудой  $u_{КВ}$ , соответствующей принятому коду. Весовые коэффициенты при декодировании такие же, как и при кодировании. Исходный аналоговый сигнал  $u_{ВЫХ}$  выделяется из АИМ сигнала с помощью фильтра низких частот.

#### 4. Подготовка к выполнению работы

1. Повторить по конспекту лекций и литературе, рекомендованной преподавателем, принципы и методы кодирования и декодирования сигналов с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ), а также характеристики кодеков.

2. Изучить структуру и состав лабораторной установки. Определить назначение блоков, органов управления и индикаторов.

3. Прочитать порядок проведения работы. Продумать необходимую последовательность действий, необходимых для выполнения работы.

4. Ответить на все перечисленные в методических указаниях к данной работе контрольные вопросы.

*Начальные положения органов управления.*

##### Лабораторная установка:

Клавиша «ВКЛ.-СЕТЬ» - в положении «0» («СЕТЬ»).

Ручка «КОНТРОЛЬНЫЙ СИГНАЛ. АМПЛИТУДА» - в крайнем левом положении.

Ручка субпанели «ИСТОЧНИК ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ» с названиями «ГРУБО» и «ТОЧНО» - в крайнем левом положении.

Переключатель П1 – в левом положении.

Переключатель «КОД» - в положении «ИНВ.», т.е. инверсный код.

##### Осциллограф:

Ручка переключателя «В/ДЕЛ.» - в положении «50mV» или «20mV».

Ручка переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» - в положении «0,1 ms».

Синхронизация – «авто» по каналу «Y1».

##### Цифровой вольтметр (мультиметр):

Переключатель «РОД РАБОТЫ» - в положении «U-» или «U — — — ».

Ручка переключателя «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» - в положении —

Измерительные приборы включены.

#### 5. Порядок выполнения работы

##### Упражнение 1.

##### Изучение преобразования сигналов в системе связи с ИКМ

1.1. Включить установку клавишей «ВКЛ.-СЕТЬ». При этом станет светиться сама клавиша, индикаторы «ИКМ» и «УСТАНОВКА ВХОДНОГО КОДА»

1.2. На субпанели «ИКМ» кнопкой «РЕЖИМ» установить скважность тактовых импульсов кодека из множества 8.

1.3. Подключить первый канал осциллографа к контрольной точке КТ10, установить синхронизацию осциллографа - «Внутр», «Y1», установить развертку осциллографа в положение 100 мкс/дел, чувствительность 1 - 2 В/дел и получить устойчивое изображение контрольного сигнала, задающего период дискретизации 125 мкс.

1.4. С помощью гибких перемычек подать контрольный сигнал с одноименных гнезд на вход передающего фильтра (КТ1).

1.5. К контрольной точке КТ1' подключить вход второго канала осциллографа. Установить амплитуду контрольного сигнала на входе передающего фильтра  $U_{вх.} = 50$  мВ, засинхронизировать сигнал и установить

развертку таким образом, чтобы на экране наблюдался один период контрольного сигнала. Зарисовать осциллограммы сигналов первого и второго каналов, соблюдая временные соотношения

1.6. Переключить второй канал осциллографа к выходу передающего фильтра (КТ3). Замерить амплитуду контрольного сигнала на выходе передающего фильтра (U<sub>вых.</sub>) при всех трех положениях переключателя П1. Полученные результаты записать в табл. 5.1.

Таблица 1

Амплитуда сигнала на входе передающего фильтра	Положение переключателя П1	Амплитуда сигнала на выходе передающего фильтра U <sub>вых.</sub> (В)
U <sub>вх.</sub> = 50 мВ	левое	
	среднее	
	правое	

1.7. Переключатель П2 поставить в верхнее положение. При этом положении переключателя контрольный сигнал с выхода передающего фильтра подключается на вход кодера.

1.8. Переключатель П4 поставить в верхнее положение. При этом цифровой выход кодера подключается ко входу декодера.

1.9. Подключить второй канал осциллографа к выходу декодера (КТ7). Зарисовать осциллограммы сигналов первого и второго каналов, соблюдая временные соотношения.

1.10. Переключить вход второго канала осциллографа к выходу приемного фильтра (КТ2). Зарисовать осциллограмму сигнала на выходе приемного фильтра.

## Упражнение 2.

### Снятие характеристики преобразования кодера

2.1. Установить переключатель П2 в нижнее положение. С помощью гибкой перемычки соединить выход источника постоянного напряжения с контрольной точкой КТ4'.

2.2. Подключить к контрольной точке КТ4 цифровой вольтметр. Подключить осциллограф к гнезду КТ10 «Индикатор кода».

2.3. Вращая ручки регулировки выходного напряжения источника и контролируя выходной код с помощью контрольного регистра и осциллографа, определить начальную точку характеристики, установив на контрольном регистре код 11010101 или 01010101. Этот код теоретически соответствует нулевому уровню входного напряжения. Однако на практике, за счет технологического разброса параметров микросхем, это напряжение отличается от нуля. Измерить напряжение на входе кодера (гнездо КТ4) и занести его в таблицу 5.2.

2.4. Подключить первый канал осциллографа к контрольной точке КТ10, установить синхронизацию осциллографа - «Внутр.», «Y1», установить развертку осциллографа в положение 20 мкс/дел, чувствительность по каналам 1 - 2 В/дел и получить устойчивое изображение контрольного сигнала, задающего период дискретизации 125 мкс.

Подключить второй канал осциллографа к контрольной точке КТ7. Расположить изображение сигнала первого канала в верхней части экрана осциллографа, а изображение второго канала - в нижней части экрана. Убедиться, что сигнал второго канала соответствует состоянию кода на контрольном регистре (11010101 или 01010101), рис.1.

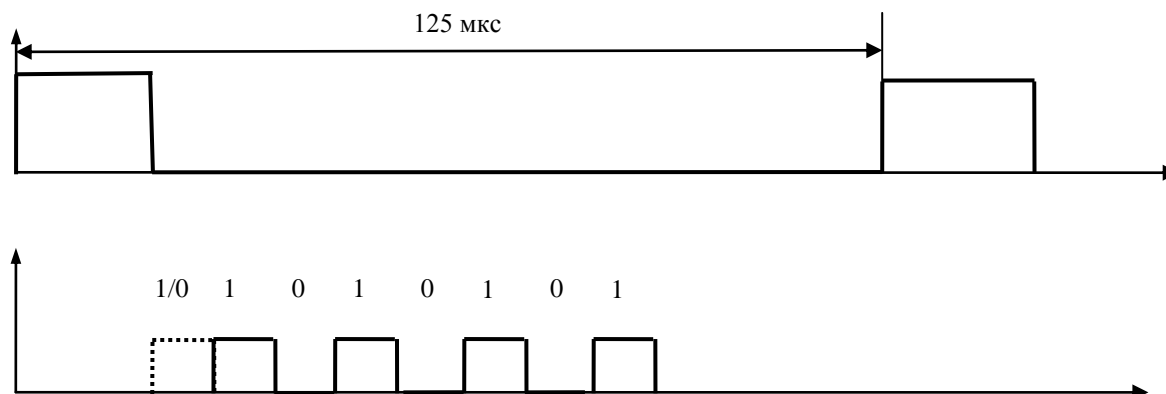


Рис.1

2.5. Изменяя постоянное напряжение на входе кодера установить последовательно коды, соответствующие началам сегментов передаточной характеристики кодера, фиксируя значения этих напряжений с помощью вольтметра. Полученные результаты и осциллограммы второго канала (NRZ код) осциллографа занести в таблицу 5.2

Таблица 2

Номер сегмента	Выходной код кодера			Напряжение на входе кодера, мВ	Шаг внутри сегмента, мВ	NRZ код
	Знак	Код сегмента	Код шага			
+7	1	010	1010			
	1	010	0101			
+6	1	011	0101			
+5	1	000	0101			
+4	1	001	0101			
+3	1	110	0101			
+2	1	111	0101			
+1	1	100	0101			
±0	1/0	101	0101			
-1	0	100	0101			
-2	0	111	0101			
-3	0	110	0101			
-4	0	001	0101			
-5	0	000	0101			
-6	0	011	0101			
	0	010	0101			
-7	0	010	0101			
	0	010	1010			

- **Примечание.** В первой и последней строках таблицы 5.2. указаны коды пятнадцатого шага. В остальных строках – коды нулевого шага.

2.6. Рассчитать шаг внутри сегментов, разделив разность напряжений между точками начала сегментов на 16 (число шагов внутри сегмента).

Например: коду 11000101 соответствует входное напряжение 20,1 мВ, а коду 11110101 соответствует входное напряжение 40,3 мВ, следовательно шаг внутри сегмента равен:

$$U_{\text{шаг}} = \frac{40,3 - 20,1}{16} = 1,26 \text{ мВ}$$

Результаты расчетов занести в таблицу 5.2.

2.7. Построить передаточную характеристику по результатам, полученным в результате измерений. Сравнить её с расчетной.

### Упражнение 3.

#### Снятие характеристики преобразования декодера

3.1. Включить установку клавишей «ВКЛ-СЕТЬ». При этом станет светиться сама клавиша, индикаторы «ИКМ» и «УСТАНОВКА ВХОДНОГО КОДА»

3.2. Установить переключатели П3 и П4 в нижнее положение. Подключить цифровой вольтметр к контрольной точке КТ6.

3.3. Для удобства наблюдения кодовых слов установить кнопкой «РЕЖИМ» субпанели «ИКМ» наибольшую длительность кодовых импульсов. Она будет в том случае, когда на индикаторе «ИКМ» будет высвечиваться цифра «8».

3.4. Подключить первый канал осциллографа к контрольной точке КТ10, установить синхронизацию осциллографа - «Внешн», «Y1», установить развертку осциллографа в положение 2 мкс/дел, чувствительность по каналам 1-2 В/дел и получить устойчивое изображение контрольного сигнала, задающего период дискретизации 125 мкс.

Подключить второй канал осциллографа к контрольной точке КТ13. С помощью кнопочных переключателей установки входного кода установить код 11010101 или 01010101. Расположить изображение сигнала первого канала в верхней части экрана осциллографа, а изображение второго канала - в нижней части экрана. Убедиться, что сигнал второго канала соответствует состоянию кода на контрольном регистре (11010101 или 01010101), рис.2.

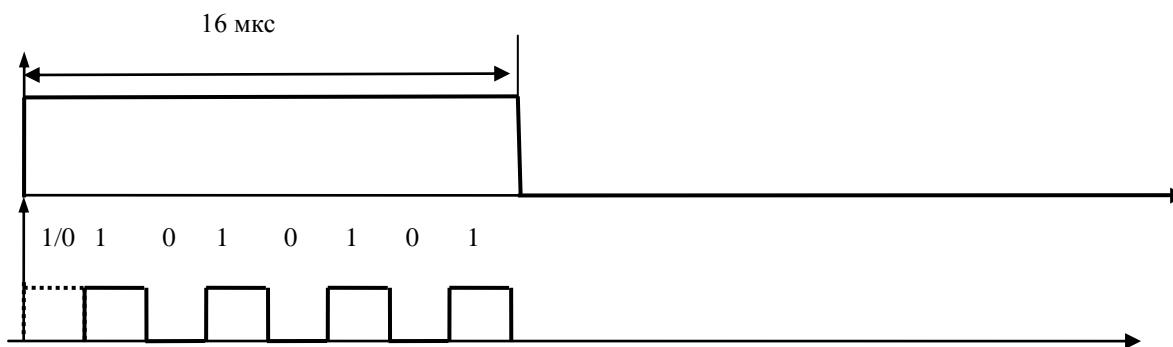


Рис 2.

Таблица 3

Номер сегмента	Выходной код кодера			Напряжение на выходе декодера, мВ	Шаг внутри сегмента, мВ	NRZ код
	Знак	Код сегмента	Код шага			
+7	1	010	1010			
	1	010	0101			
+6	1	011	0101			
+5	1	000	0101			
+4	1	001	0101			
+3	1	110	0101			
+2	1	111	0101			
+1	1	100	0101			
±0	1/0	101	0101			
-1	0	100	0101			
-2	0	111	0101			
-3	0	110	0101			
-4	0	001	0101			
-5	0	000	0101			
-6	0	011	0101			
-7	0	010	0101			
	0	010	1010			

3.5. С помощью кнопочных переключателей установки входного кода установить последовательно заданные в таблице 5.3. коды, фиксируя напряжения, соответствующие этим кодам на выходе декодера (КТ6). Проследить по экрану правильность установленных кодов.

Замеренные значения напряжений и осциллограммы NRZ кода занести в таблицу 3.

3.6. Рассчитать шаг внутри сегментов аналогично п.2.6. Расчетные данные занести в таблицу 5.3.

3.7. Построить передаточную характеристику по результатам, полученным в процессе измерений. Сравнить её с расчетной.

3.8. Выключить лабораторный стенд и измерительные приборы. Результаты показать преподавателю.

## 6. Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

- цель работы;
- структурную схему лабораторной установки, отметив на ней контрольные точки, в которых снимались осциллограммы;
- все снятые осциллограммы, расположенные таким образом, чтобы на них были отмечены все необходимые временные соотношения между исследуемыми сигналами;
- заполненную таблицу 1. с результатами исследования передающего фильтра;
- заполненные таблицы 2. и 3. характеристик преобразования кодера и декодера;
- графики характеристик преобразования, построенные в соответствии с данными таблиц 2. и 3. в одинаковых масштабах с результатами предварительного расчета;
- выводы по работе.



## 7. Контрольные вопросы

1. Что такое импульсно-кодовая модуляция?
2. Какова типовая последовательность операций при преобразовании аналогового сигнала в цифровой с импульсно-кодовой модуляцией?
3. Как производится преобразование сигнала с ИКМ в аналоговый сигнал?
4. Из каких соображений выбирается частота дискретизации?
5. Что такое квантование сигнала?
6. Что такое шум квантования? Каковы причины возникновения шума квантования?
7. Как уменьшить уровень шумов квантования при умеренном числе уровней квантования?
8. Какое квантование называют равномерным?
9. Какова зависимость между уровнями входного и выходного напряжения кодера при А-законе сжатия (командирования)?
10. Каковы особенности сжатия при квантовании по А-закону?
11. Из каких элементов состоит цифровой код при линейно-ломаной аппроксимации закона сжатия?
12. Чем отличается применяемый в лабораторной установке инверсный код от прямого?
13. Какова связь между числом уровней квантования и скоростью передачи информации в цифровом телефонном канале?
14. Как производится преобразование ИКМ сигнала в сигнал с АИМ?
15. Какие способы модуляции применяют в кодеках, кроме того, что применен в лабораторной установке? Какова их эффективность?

## Лабораторная работа № 2. «ДИСКРЕТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕНИ (теорема Котельникова)»

### 1. Цель работы

Исследование процессов дискретизации и восстановления непрерывных сигналов.

### 2. Краткая характеристика исследуемых цепей и сигналов

Исследуемое устройство 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).

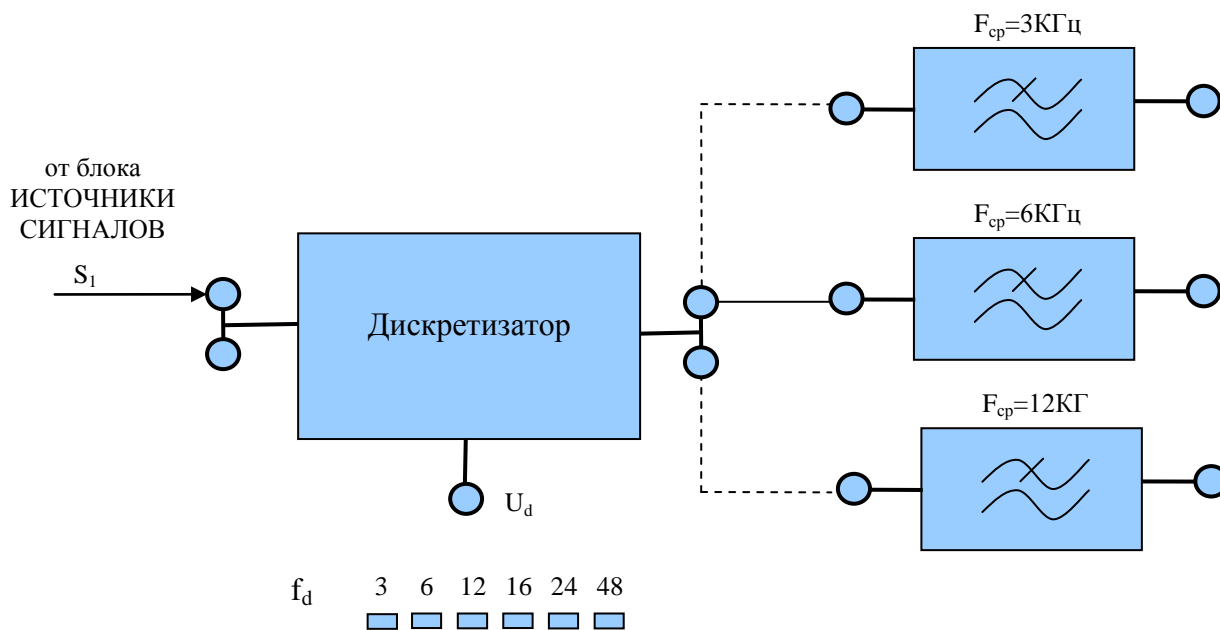


Рис. 1.

Дискретизатор, формирующий отсчеты  $S(k\Delta t)$  непрерывного сигнала  $S(t)$ , выполняет функцию множителя этого сигнала на короткие импульсы напряжения дискретизации (идискр). 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  $S(k\Delta t)$  зависит от выбора частоты дискретизации  $f_d$ :

$$\Delta t = 1/f_d.$$

Эта частота может изменяться дискретно при нажатии кнопки  $f_d$ , при этом выбранное значение этой частоты индицируется светодиодом ( $f_d=3,6,12,16,24$  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 "δ - функций" (гнезда  $\delta(t)$  в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ).

В соответствии с теоремой Котельникова отсчеты, следующие через интервалы времени  $\Delta t=1/2F_b$ , где  $F_b$  - верхняя частота сигнала, могут быть преобразованы в исходный сигнал после прохождения через идеальный ФНЧ с частотой среза  $F_{cp} = F_b$ . В работе используются реальные ФНЧ с достаточно крутыми спадами АЧХ после частоты среза. Поэтому на практике выбирают  $\Delta t$  несколько меньше (а иногда и в несколько раз меньше), чем требуется в теореме Котельникова с тем, чтобы реальный ФНЧ с АЧХ трапецевидной формы позволял выделить спектр исходного сигнала из спектра дискретизированного сигнала, что гарантирует отсутствие искажений при обратном преобразовании (восстановлении) сигнала.

В качестве измерительных приборов используются осциллограф и измерительная плата ПК, работающая в режиме анализатора спектра.

### 3. 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.

### 4. Порядок выполнения работы

#### Упражнение 1.

#### Дискретизация сигнала.

1.1. Собрать схему установки согласно рис.1

1.2. Включить лабораторный стенд, компьютер и осциллограф, провести настройку аппаратуры.

. На ПК запустить приложение «Bordo». На панели управления «Bordo» сделать следующие установки:

- на вкладке «Режим измерения» установить режим «Спектр», в боксе «Быстрое преобразование Фурье» установить Спектр- «Abs», Число отсчетов — 16384;
- на вкладке «Развертка»: Время/Деление — 10.0 мс;
- на вкладке «Усилитель» Вольт/Деление — 1.0 В, Пробник — 1 : 1.

Уставить режимы осциллографа:

- синхронизация: «Ждуш.» «+»;
- развертка: Время/Дел. — 50 мкс;
- чувствительность: Вольт/Дел. - 0.5

Вход «X» осциллографа соединить с гнездом **C1** в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ, это обеспечит устойчивую синхронизацию осциллографа в процессе измерений.

1.3. Выбрать один из трех сигналов (например,  $S_1$ ) в блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ и подать его на вход дискретизатора. К этой же точке подключить вход осциллографа, получить устойчивое изображение одного периода непрерывного сигнала и, соблюдая временной масштаб, зарисовать осциллограмму сигнала на рис.3.

1.4. Подключить ко входу дискретизатора спектроанализатор, получить спектр сигнала и определить его верхнюю частоту ( $F_b$ ). Соблюдая масштаб по частоте, перенести спектрограмму на рис.3, расположив его справа от осциллограммы.

1.5. Подключить к контрольной точке  $U_a$  спектроанализатор, установив на панели управления параметр Время/Деление равным 0.5 мс. Учитывая, что значения частот дискретизации ( $f_d$ ), указанные на сменном блоке,

являются ориентировочными, провести спектральный анализ сигналов  $U_d$  (гнездо под перемножителем). Определив частоты первых гармоник этих сигналов при установке  $f_d=3,6,12$  и  $16$  кГц, внести уточненные значения в таблицу 1.

Таблица 1

Уточненные частоты дискретизации ( $f_d$ ).

Обозначение на блоке	кГц	3	6	12	16	24	48
Измеренные величины	кГц						

1.6. Рассчитать требуемую частоту дискретизации  $f_d$  и установить ее на макете кнопкой "  $f_d$  ".

1.7. Подключить к контрольной точке  $U_d$  осциллограф и, соблюдая временной масштаб, зарисовать осциллограмму сигнала дискретизации на рис3. На рисунке справа поместить спектрограмму этого сигнала.

1.6. Последовательно подключая осциллограф и спектроанализатор к выходу дискретизатора, наблюдать выходной дискретизированный сигнал  $S(k\Delta t)$  сигнал и его спектр. Осциллограмму сигнала и его спектр перенести на рис3.

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

## Упражнение 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  $f_d$ , а импульсная реакция  $g(t)$  нужна для объяснения процесса восстановления сигнала.

2.1. Снятие АЧХ фильтра проводится 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  $F_C$ , на которой  $U_{ВЫХ}$  окажется в  $\sqrt{2}$  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 (рис.4) АЧХ трех фильтров и отметить на них уточненные значения частот среза  $F_C$ . Выбрать лучший фильтр – восстановитель для исследуемого сигнала.

2.2. Снятие импульсной реакции ФНЧ производится путем подачи на вход фильтра коротких импульсов (от гнезда « $\delta(t)$ » блока «ИСТОЧНИКИ»). Осциллограмма выходного сигнала будет соответствовать импульсной реакции фильтра  $g(t)$ . Зарисовать (рис.5) осциллограммы  $g(t)$  для трех фильтров, фиксируя на них значения «нулей» (рис.2) по шкале на экране осциллографа с учетом масштаба развертки (мкс/дел). Определив  $\Delta t^1$  для каждого ФНЧ, находим частоты среза по формуле:

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

2.3. По результатам измерений в пунктах 2.1 или 2.2 выбрать фильтр, наиболее пригодный для восстановления дискретизированного сигнала.

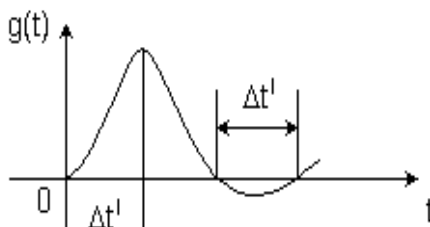


Рис.2

## Упражнение 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  $f_d^1$ . Подключая последовательно вход осциллографа ко входу дискретизатора, а затем – к выходу ФНЧ, зафиксировать в отчете осциллограммы исходного и восстановленного сигнала (рис.6).

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

3.4. Установив прежнее значение  $f_d^1$ , 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  $f_d$  и фильтр восстановитель. Зафиксируйте осциллограммы и спектры входного, дискретизированного и восстановленного сигналов.

## 5. Порядок оформления отчета

Отчет должен содержать следующие сведения.

Функциональную схему установки.

Осциллограммы, спектры и характеристики фильтров по всем пунктам задания.

Выводы по пунктам 3.3 и 3.5.

## 6. 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. Какую функцию выполняет ФНЧ?
8. С какой целью в работе исследовались спектры исходного и дискретизированного сигналов?
9. Можно ли произвольно увеличивать или уменьшать  $\Delta t$  между отсчетами? К чему это может привести?
10. В чем отличие идеального и реального ФНЧ?
11. С чем связана необходимость корректировать значение частоты дискретизации?
12. Как Вы представляете себе процесс дискретизации аналогового сигнала? Какие функциональные узлы для этого необходимы?
13. Все ли аналоговые сигналы могут быть:
  - дискретизированы во времени;
  - восстановлены после дискретизации.
14. Назовите причины, вызывающие искажения при восстановлении дискретизированных сигналов.

## Лабораторная работа №3. «ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С АМПЛИТУДНО - ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ»

### 1 Цель работы

1. Изучить процесс функционирования и освоить управление лабораторной установкой.
2. Сформировать заданное множество сигналов с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ), Изучить их особенности и определить параметры.
3. Получить и исследовать групповой сигнал из сигналов с АИМ, применяя временное разделение каналов.
4. Проконтролировать процесс разделения сигналов с АИМ в приемной части установки. Оценить качество разделения.
5. Оценить качество восстановления передаваемых сигналов с помощью фильтров низких частот.

## 2. Применяемые приборы и оборудование

1. Лабораторная установка «Изучение принципов временного разделения каналов (ЦСК-1)» - 1 шт.
2. Осциллограф, одноканальный – 1 шт.
3. Коаксиальный кабель с двумя байонетными разъемами BNC на концах – 1 шт.
4. Коаксиальный кабель с одним байонетным разъемом и с двумя штекерами на другом конце – 1 шт.
5. Соединительные провода - 6 шт.

## 3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка «Изучение принципов временного разделения каналов» (ЦСК-1) выполнена в настольном варианте. Она рассчитана на питание от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

На лицевой панели установки размещены:

- структурная схема четырехканальной линии связи с временным разделением каналов;
- субпанель «КОНТРОЛЬНЫЕ СИГНАЛЫ»;
- субпанель «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА»;
- субпанель «УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ».

Установка включается в сеть клавишей «ВКЛ-СЕТЬ» расположенной в правом нижнем углу макета.

На структурной схеме выделены передающая часть, линия связи и приемная часть. Передающая часть состоит из четырех ключей, четырех кодеров каналов и мультиплексора MUX. К линии связи может подключаться генератор шума ГШ. Уровень выходного сигнала этого генератора регулируется ручкой «УРОВЕНЬ ШУМА». Кроме того, в линию связи включается соответствующим тумблером пороговое устройство УР. На приемной стороне имеются демultipлексор DMUX, декодеры и фильтры каналов. На схеме выделены контрольные гнезда для подключения осциллографа и производства необходимых соединений.

С гнезд субпанели «КОНТРОЛЬНЫЕ СИГНАЛЫ» снимаются три различных по форме сигнала, которые после амплитудно-импульсной модуляции (АИМ) или импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) подаются в общую линию связи.

На субпанели «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА» размещены кнопки управления временными метками и байонетные гнезда I и II для подачи этих меток на входы осциллографа.

Субпанель «УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ» содержит кнопки управления и индикаторы. На ней имеются тумблер «32 Гц» - «2Гц» для выбора одной из двух частот следования импульсов, управляющих мультиплексором и демultipлексором.

При переключении тумблера в положение «2Гц» индикаторы приборов MUX и DMUX светившиеся ранее непрерывно, начинают периодически переключаться, указывая, какой из каналов включен для каждого интервала времени. При этом индикаторы А0, А1, и В0, В1 указывают двоичный код номера включенного канала.

Устройство управления мультиплексорами может быть в циклическом режиме или режиме программного управления. Выбор режима производится тумблером «ЦИКЛ»-«ПРОГРАМ». В циклическом режиме входы мультиплексора и демultipлексора переключаются синхронно и синфазно, в естественном порядке. При этом в любой момент времени оказываются связанными друг с другом каналы передающей и приемной части установки с одинаковыми номерами.

В режиме программного управления можно изменить порядок коммутации ключей мультиплексора и демultipлексора. Тогда, например, в один и то же момент времени сигнал с первого хода мультиплексора будет попадать на четвертый выход демultipлексора и т.п.

Для изменения порядка коммутации необходимо перевести тумблер «ЦИКЛ»-«ПРОГРАМ.» в положение «ПРОГРАМ» и ввести в оперативную память устройства управления номера входов и выходов, которые необходимо соединять одновременно. Это делается кнопками «ШАГ», «В0» и «В1». Результат настройки высвечивается на расположенных около этих кнопок индикаторах. При этом индикаторы «В0» и «В1» указывают в двоичном коде номер канала мультиплексора, который установлен на шаге программирования, указанном индикатором «ШАГ».

Установка устройства управления в исходный режим производится кнопкой «СБРОС».

При формировании АИМ-сигнала его дискретизация производится электронными каналами. Частота дискретизации  $f_0$  равна 8 кГц, т.е. период дискретизации  $T_0$  равен 125 мкс.

В лабораторной установке могут быть образованы четыре канала связи, на входы которых подаются контрольные сигналы  $F_1(t)$ ,  $F_2(t)$  и  $F_3(t)$ . Один из каналов остается свободным. Поскольку длительность стробирующих импульсов  $\tau_0 < T_0$ , оставшийся временной интервал между соседними отсчетами используется для размещения АИМ сигналов, соответствующих остальным каналам.

Объединение дискретных сигналов с АИМ, соответствующих этим каналам, осуществляется мультиплексором. Его основу составляют четыре электронных ключа, которые управляются последовательностями стробирующих импульсов  $S_{1i}$  -  $S_{4i}$ . На их входы поступают аналоговые сигналы  $F_1(t)$ ,  $F_2(t)$  и  $F_3(t)$ , а на выходах формируются последовательности отсчетов  $F_{1i}$ ,  $F_{2i}$  и  $F_{3i}$ . Стробирующие импульсы, поступающие на ключи соседних каналов, сдвинуты на временной интервал соответствующий  $\tau_0$ . В результате отсчеты отдельных каналов выстраиваются друг за другом и таким образом формируется групповой сигнал на выходе мультиплексора.

Он поступает в линию связи и, пройдя по ней, попадает на вход демультиплексора DMUX, в котором производится разделение дискретных сигналов. Оба устройства - мультиплексор и демультиплексор - управляются синхронно. Для этого в устройстве управления вырабатывается последовательность импульсов с частотой следования 32 кГц, которая поступает на эти элементы. Для визуального контроля осуществляющихся в лабораторной установке коммутаций эта частота может быть уменьшена до 2 Гц. Выбор ее значения осуществляется тумблером «32 кГц – 2Гц» на лицевой панели установки.

На последнем этапе происходит восстановление аналогового сигнала - формирование исходной функции времени  $F(t)$  по пришедшим по линии связи отсчетным импульсам. На практике для выполнения этих операций используется фильтр нижних частот (ФНЧ). Процесс восстановления сигналов целиком основан на выводах теоремы Котельникова.

В лабораторной установке предусмотрен узел, формирующий три различных по форме испытательных сигнала ( $F_1, F_2, F_3$ ). При проведении исследований они подаются на входы любых трех каналов связи. Вход одного из каналов остается свободным.

Все необходимые соединения между блоками выполняются с помощью соединительных шнуров и клемм, выведенных на лицевую панель.

Анализ осциллограмм на выходах отдельных блоков системы связи, смоделированной в данной лабораторной установке, производится с помощью двухлучевого осциллографа. Для удобства проведения измерений его входы подключаются к двум коаксиальным разъемам типа BNC на лицевой панели («ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА» I, II). Предусмотрено также формирование сигнала синхронизации для используемого осциллографа.

#### 4. Подготовка к выполнению работы

1. Изучить способы и устройства для получения сигналов с АИМ по конспекту лекций и литературе, рекомендованной преподавателем.
2. Повторить принцип и способы временного разделения (уплотнения) каналов связи с применением сигналов с АИМ.
3. Повторить принцип и способы разделения сигналов с АИМ.
4. Повторить принцип и способы восстановления аналоговых сигналов из сигналов с АИМ.
5. Изучить состав и структурную схему лабораторной установки. Определить назначение блоков индикаторов и органов управления установки по описанию, приведенному в указаниях к данной работе.
6. Прочитать в данных методических указаниях порядок проведения работы. Представить себе необходимую последовательность соединений, переключений и измерений, нужных для выполнения работы.
7. Подготовить черновик отчета по работе, разместив на нем поля и оси координат временных диаграмм сигналов, которые будут наблюдаться при выполнении работы.

#### 5 Порядок выполнения работы

1. Установить начальное положение органов управления осциллографом. Переключатель уровня чувствительности «ВОЛЬТ/ДЕЛ» установить в положение «0.2 В». Ручку переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» поставить в положение «20 мкс», ручку «ПЛАВНО» - в крайнее правое по часовой стрелке положение. Установить режим синхронизации осциллографа «АВТО», «ВНУТР.» Подключить вход «Y» осциллографа к разъемам «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА» на лицевой панели установки.

2. Подготовить лабораторную установку к проведению измерений. Для этого:

2.1. Включить осциллограф. Включить питание лабораторной установки клавишей «ВКЛ-СЕТЬ». При этом непрерывно начинают светиться клавиша «ВКЛ-СЕТЬ» и световые индикаторы установки.

2.2. Установить тумблеры на устройстве управления в положение «32 КГц» и «цикл». Подключить входы осциллографа к гнезду I субпанели «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА».

2.3. Нажать кратковременно кнопку «сброс» на устройстве управления.

2.4. Установить тумблер порогового устройства УР в линии связи в положение «выкл»

2.5. Установить потенциометр «уровень шума» в линии связи в крайнее положение против часовой стрелки.

3. Провести измерение двух интервалов между метками времени, которые используются в данном лабораторном макете. Для этого выполнить следующие операции:

3.1. Включить метки времени, нажав левую кнопку, находящуюся на субпанели «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА».

Проверить, что при этом правая кнопка находится в отжатом состоянии, рис. 1а.

3.2. Добиться устойчивого изображения меток на экране осциллографа, подобрав период развертки так, чтобы на экране осциллографа укладывалось не более двух меток. Измерить период меток. Записать измеренное значение в протокол отчета. Измеренный период меток определяет период дискретизации аналоговых сигналов  $T_d$ .

Установить развертку осциллографа в положение 50 мкс/Дел, с учетом временного масштаба перенести осциллограмму на рисунок 4 (метка 1)

3.3. Нажать правую кнопку на субпанели «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА» и отжать левую. Измерить период меток Зарисовать на рис.4 осциллограмму «метка 2».

3.4. Подключить «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА» на субпанели стенда ко входу «Х» осциллографа, рис.1б. Переключатель уровня чувствительности «ВОЛЬТ/ДЕЛ» установить в положение «2 В». Установить режим синхронизации осциллографа «ВНЕШН.», «+». Ручку переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» поставить в положение «50 мкс».

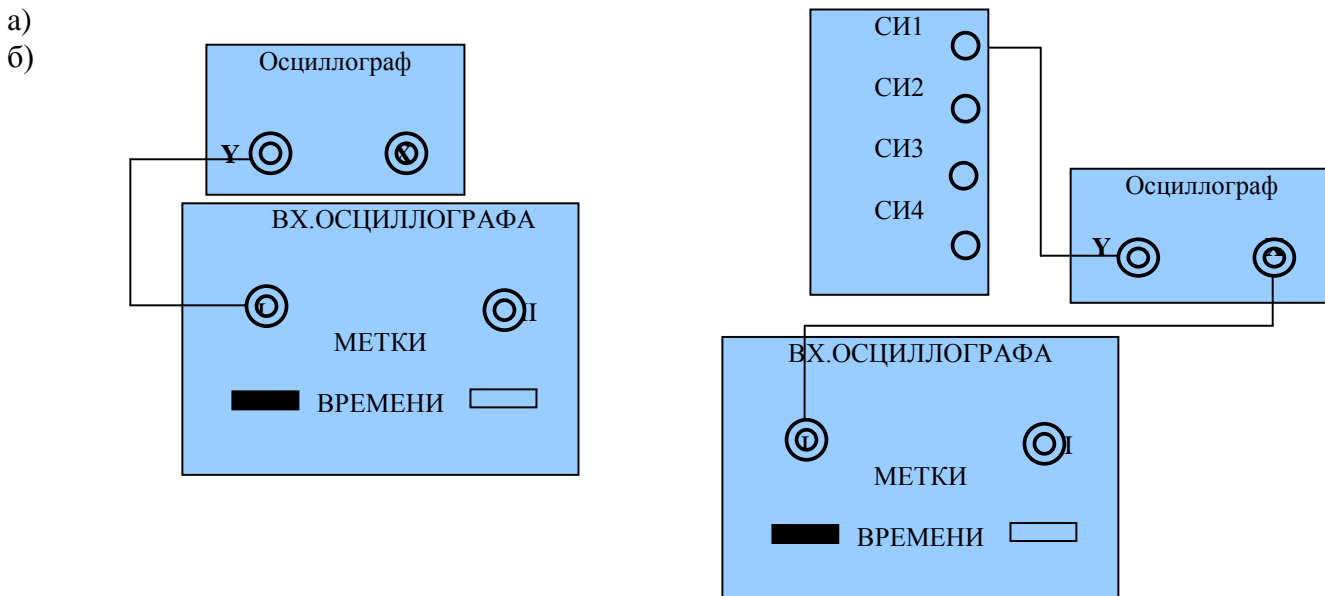


Рис1.

Последовательно подключая вход «Y» осциллографа к контрольным точкам «СИ1», «СИ2», «СИ3» наблюдать сигналы дискретизации первого, второго и третьего временных каналов, соответственно, точно фиксируя их временное положение относительно начала развертки. Осциллограммы перенести на рис.4 с соблюдением временного масштаба.

4. Провести измерение контрольных аналоговых сигналов, собрав схему согласно рис.2.

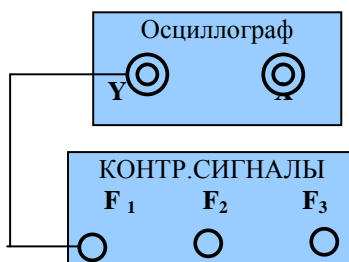


Рис.2.

Установить режим синхронизации осциллографа «АВТО», «ВНУТР.», а развертку в положение 0.1 мс/Дел.и получить устойчивое положение сигналов на экране.

Последовательно подключая вход «Y» осциллографа к гнездам F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, снять осциллограммы сигналов и перенести их на рис..5, точно соблюдая временной масштаб.

5. Изучить процесс дискретизации и временного уплотнения аналоговых сигналов, собрав схему согласно рис.3.

Установить режим синхронизации осциллографа «ВНЕШН.», «+». Ручку переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» поставить в положение «0.1 мс».

5.1. Сформировать дискретные сигналы с амплитудно-импульсной модуляцией. Для этого выполнить следующие операции:

С помощью соединительного кабеля с двумя штекерами подключить гнездо контрольного сигнала F1 к гнезду «0» мультиплектора, вход осциллографа «Y» подключить к контрольной точке КТ1. С помощью ручки «ПЛАВНО» добиться устойчивого положения дискретизированного АИМ сигнала на экране осциллографа. **Во всех последующих измерениях, выполняемых в данной лабораторной работе, положение переключателя, определяющего период развертки, не изменять!**

Зарисовать осциллограмму сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией, поступающего на вход осциллографа. Расположить ее под осциллограммой контрольных сигналов (рис.5), сохранив масштаб по временной оси.

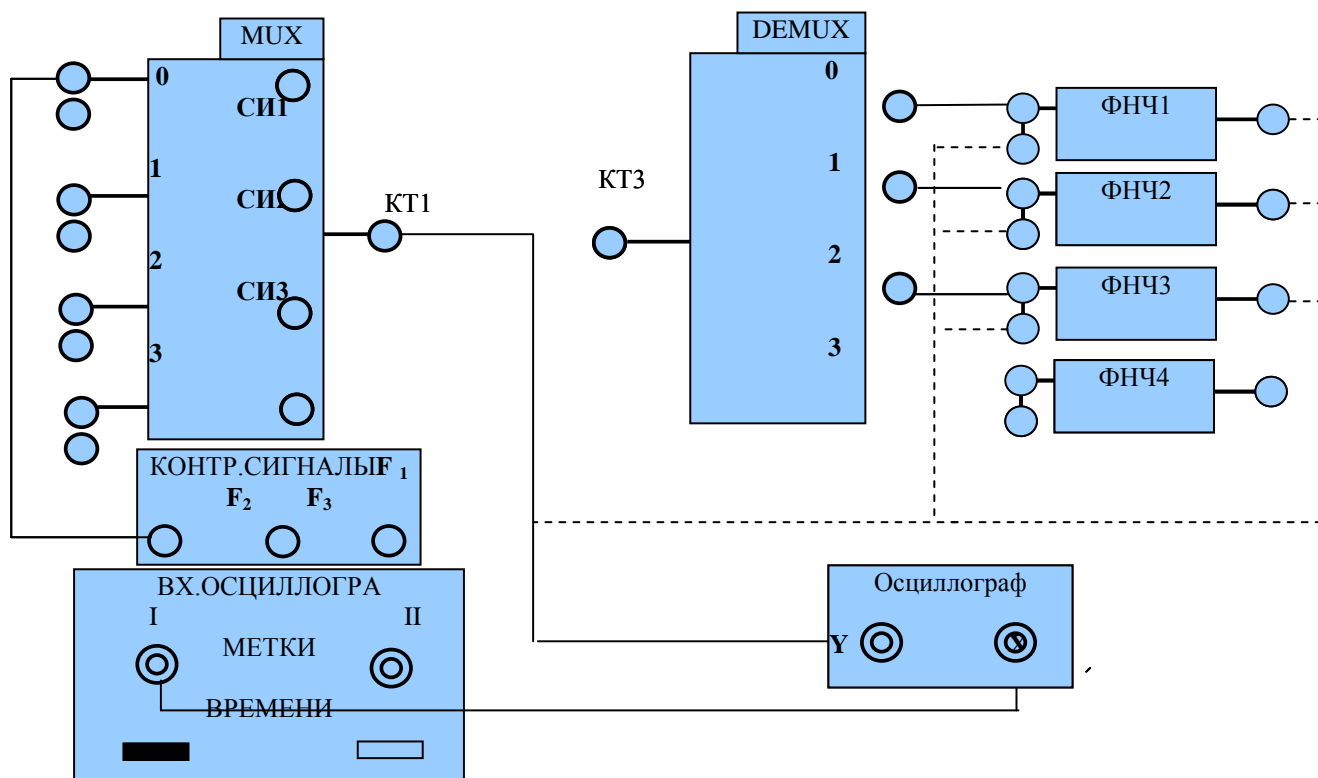


Рис.3.

5.2. Отключить контрольный сигнал F1, подключить гнездо контрольного сигнала F2 к гнезду «1» мультиплектора и повторить действия по п.5.1.

5.3. Отключить контрольный сигнал F2, подключить гнездо контрольного сигнала F3 к гнезду «2» мультиплектора и повторить действия по п.5.1.

5.4. Последовательно подключая контрольные сигналы F1, F2, F3 по осциллограмме на выходе мультиплектора наблюдать процесс формирования группового сигнала, который передается по линии связи.

6. Проконтролировать процесс разделения каналов с амплитудно-импульсной модуляцией. Для этого подключить вход осциллографа последовательно к выходам демультиплектора 0, 1, 2. При этом осциллограмма, наблюдаемая на экране осциллографа соответствует АИМ сигналу соответствующего канала.

На рис.6. зарисовать осциллограмму АИМ сигналов соответствующих каналов, сохранив масштаб по временной оси.

7. Оценить качество восстановления аналогового сигнала.

7.1. Подключить вход осциллографа к выходу ФНЧ1. При этом наблюдается восстановленный аналоговый сигнал F1. Зарисовать осциллограмму восстановленного сигнала на рис.6, сохранив все временные соотношения. Отметить на ней временную задержку восстановленного сигнала относительно исходного.

7.2. Повторить операцию для сигналов F2 и F3, подключая вход осциллографа к выходу ФНЧ2 и ФНЧ2, соответственно.

7.3. Сравнить по форме исходные сигналы и сигналы на выходах фильтров.



## 6. Содержание отчета

Итогом работы является серия осциллограмм, снятых в контрольных точках системы связи. Их следует расположить друг под другом, сохранив порядок, в котором они снимались, временной масштаб и метки. В отчете необходимо привести:

- цели работы;
- структурную схему той части установки, что применяется в работе, отметив на ней точки, в которых снимались осциллограммы;
- все снятые осциллограммы, расположенные таким образом, чтобы на них были отмечены все необходимые временные соотношения между исследуемыми сигналами;
- значения измеренных величин, с указанием единиц измерения;
- выводы по работе.

## 7. Контрольные вопросы

1. Какие сигналы называют дискретными?
2. Как производится дискретизация сигналов?
3. Из каких соображений выбирают частоту дискретизации?
4. Что такое амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)?
5. Как получить сигнал с АИМ из аналогового сигнала?
6. Как правильно объединить несколько сигналов с АИМ в одном частотном канале?
7. Как правильно разделить несколько сигналов с АИМ, следующих по одному частотному каналу?
8. Как производится восстановление аналогового сигнала из сигнала с АИМ?
9. Зачем нужны в лабораторной установке контрольные сигналы? Как они обрабатываются?
10. Каково назначение и функции субпанели «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА»?
11. В какое положение нужно установить тумблеры на субпанели «УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ» перед началом выполнения работы?
12. Как получить на экране осциллографа метки времени, вырабатываемые лабораторной установкой? Зачем они нужны при проведении эксперимента?
13. Как определить с помощью осциллографа период и частоту дискретизации сигналов?
14. Какова связь между сигналом на входе мультиплексора и сигналами с АИМ на его входах?
15. Каковы причины различия по форме исходного аналогового сигнала и сигнала, восстановленного из сигнала с АИМ?
16. Как повысить точность восстановления аналоговых сигналов из сигналов с АИМ?

## **Лабораторная работа №4. «ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ СВЯЗИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ С ИМПУЛЬСНО - КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ (ИКМ)»**

### 1. Цель работы

1. Ознакомиться с примером построения системы связи с временным разделением каналов и импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ).
2. Сформировать заданное множество сигналов с ИКМ. Изучить их особенности и определить параметры.
3. Получить и исследовать групповой сигнал из сигналов с ИКМ, применяя временное разделение каналов.
4. Проконтролировать процесс разделения сигналов с ИКМ в приемной части установки. Оценить качество разделения.
5. Оценить качество восстановления передаваемых сигналов с помощью фильтров низких частот.

### 2. Применяемые приборы и оборудование

1. Лабораторная установка «Изучение принципов временного разделения каналов (ЦСК-1)» - 1 шт.
2. Осциллограф одноканальный – 1 шт.
3. Коаксиальный кабель с байонетным разъемом BNC – 2 шт.
4. Соединительные провода - 16 шт.
- 5.

### 3. Описание лабораторной установки

В данной работе применяется лабораторная установка «Изучение принципов временного разделения каналов (ЦСК-1)». При формировании на этой установке сигналов с импульсно-кодовой модуляцией на первом этапе

производится дискретизация аналогового сигнала  $F_1(t_i)$ , поступающего на вход электронного ключа ЭК. В результате формируется последовательность амплитудно-модулированных импульсов (отсчетов)  $F_i$  на выходе ЭК. Требования к выбору частоты дискретизации  $f_d = 8$  кГц определены шириной спектра сигнала, передаваемого по каналу связи сигнала. Дискретизированный сигнал подается на кодер.

На втором этапе в кодере 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.

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.

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  $\tau_c$ , а нулям - 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 последовательность  $F_k$  носит название кодовой комбинации. В рассматриваемом случае она состоит из восьми кодовых символов (полярный NRZ код).

Сформированный таким образом цифровой сигнал поступает на вход мультиплексора, в котором происходит его объединение с аналогичными сигналами других каналов связи. Длительность всей кодовой комбинации  $T_k = 8\tau_c$ , где  $\tau_c$  - длительность кодовых импульсов, 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. Для осуществления временного уплотнения импульсные последовательности, управляющие электронными ключами ЭК1 - ЭК4, сдвинуты на временной интервал, соответствующий  $T_k$ . 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 работе по исследованию системы связи с АИМ, 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 УР, которое включается тумблером, выведенным на переднюю панель лабораторной установки. Оно позволяет повысить помехозащищенность каналов связи. 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. В результате на его вход поступает требуемая кодовая комбинация  $F_{k_j}$  (индекс  $j$  соответствует номеру канала).

В декодере происходит восстановление АИМ сигнала - каждой кодовой комбинации  $F_{k_j}$  ставится в соответствие отсчетный импульс  $F_j$  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  $F_j(t)$ .

#### 4. Подготовка к выполнению работы

1. Изучить способы и устройства для получения сигналов с ИКМ по конспекту лекций и литературе, рекомендованной преподавателем.
2. Повторить принцип и способы временного разделения (уплотнения) каналов с ИКМ.
3. Повторить принцип и способы разделения сигналов с ИКМ.
4. Повторить принцип и способы восстановления аналоговых сигналов и сигналов с ИКМ.
5. Изучить состав и структурную схему лабораторной установки. Определить назначение блоков, индикаторов и органов управления установки, необходимых для формирования, объединения и разделения сигналов с ИКМ.
6. Прочитать порядок проведения работы. Представить себе необходимую последовательность соединений, переключений и соединений при выполнении работы.
7. Ответить на все перечисленные в методических указаниях к данной работе контрольные вопросы.
8. Подготовить черновик отчета по работе, разместив на нем поля и оси координат временных диаграмм сигналов, которые будут наблюдаться при выполнении работы.

## 5. 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 «32кГц» и «ЦИКЛ».
- 1.3. Нажать кратковременно кнопку «СБРОС» на устройстве управления.
- 1.4. Установить тумблер порогового устройства УР 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. Собрать схему, согласно рис.1.

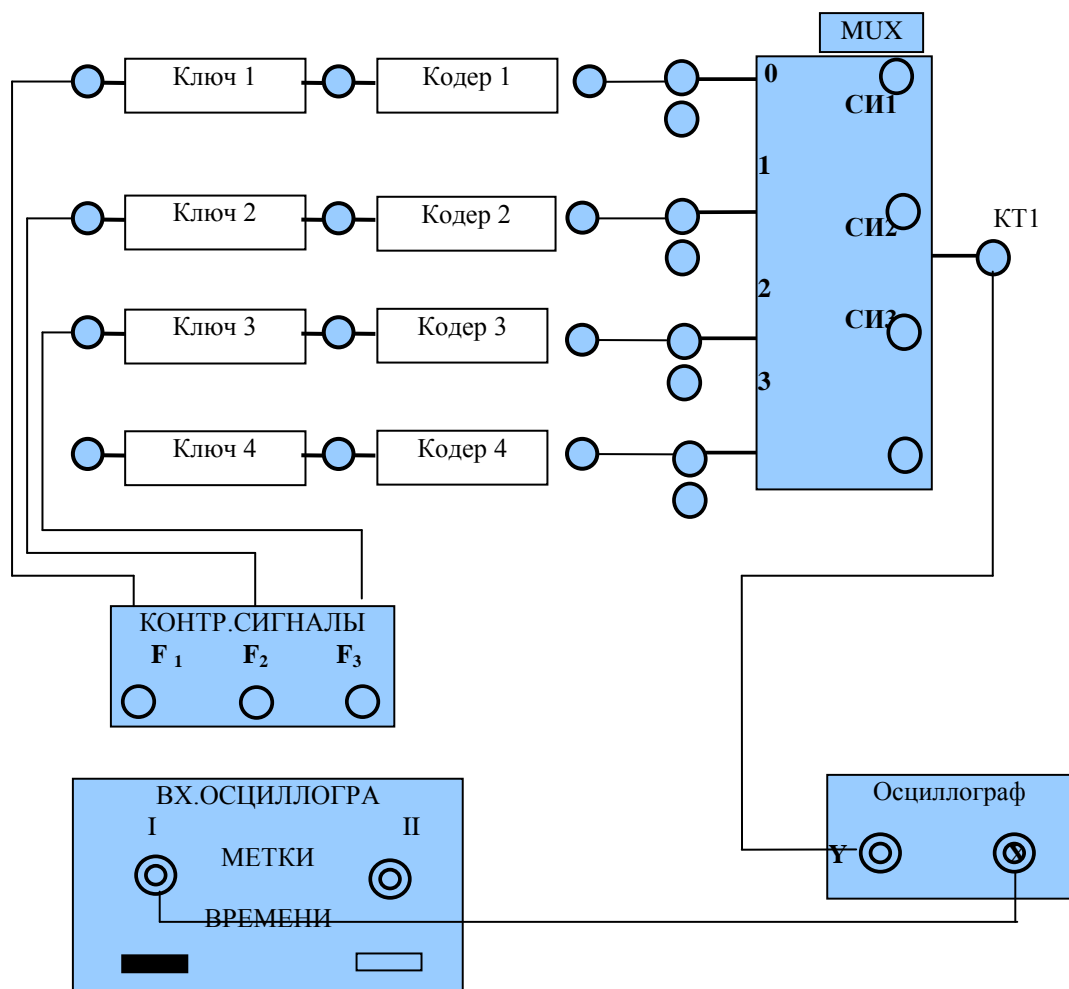


Рис.1.

Нажать левую кнопку на субпанели «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА».

Установить начальное положение органов управления осциллографом. Переключатель уровня чувствительности «ВОЛЬТ/ДЕЛ» установить в положение «2 В». Ручку переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» поставить в положение «0.1 мс», ручку «ПЛАВНО»-в крайнее правое по часовой стрелке положение. Установить режим синхронизации осциллографа «ЖДУЩ.», «ВНЕШН.» Подключить вход «X» осциллографа к разъемам «ВХ. ОСЦИЛЛОГРАФА» на лицевой панели установки.

2.2. Подключая последовательно вход осциллографа «Y» ко входам электронных ключей первого, второго, третьего каналов проконтролировать появление осциллограмм контрольных сигналов. Зарисовать осциллограммы контрольных аналоговых сигналов (рис.3).

2.3. Подключая последовательно вход осциллографа «Y» ко выходам электронных ключей первого, второго, третьего каналов проконтролировать появление на его экране сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией соответствующих каналов. Зарисовать осциллограммы АИМ сигналов на рис.3 справа от контрольных сигналов

2.4. Установить длительность развертки осциллографа 10 мкс/Дел. Подключая последовательно вход осциллографа к выходам кодера1, кодера2, кодера3 проконтролировать соответствующие осциллограммы ИКМ сигналов и, с соблюдением временного масштаба, перенести их на рис.3 справа от осциллограмм АИМ сигналов.

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.

2.5. Пользуясь шкалой на экране осциллографа и учитывая цену деления, соответствующую положению переключателя «Развертка-время/дел» на лицевой панели, определить длительность импульса, соответствующего кодовому символу.

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

3.1. Подключить вход осциллографа «Y» к контрольной точке КТ1. Установить длительность развертки осциллографа 20 мкс/Дел.

3.2. Проконтролировать осциллограммы группового ИКМ сигнала для трех комбинаций входных контрольных сигналов:

- включен только первый канал (F1);
- включены первый и третий каналы (F1 + F2);
- включены три канала (F1 + F2 + F3).

3.3. Зарисовать осциллограммы группового сигнала, наблюдаемую на выходе мультиплексора на рис.3. Их следует разместить одна под другой, сохранив выбранный временной масштаб.

*4.Проконтролировать процесс разделения сигналов с ИКМ. Для этого:*

4.1. Собрать схему, согласно рис.2. Установить длительность развертки осциллографа 20 мкс/Дел.

4.2.Подключить вход осциллографа последовательно к выходам мультиплексора 0, 1, 2, 3. При этом осциллограммы, наблюдаемые на экране осциллографа, соответствует ИКМ сигналу соответствующего канала

4.3. Перенести осциллограммы на рис.5.

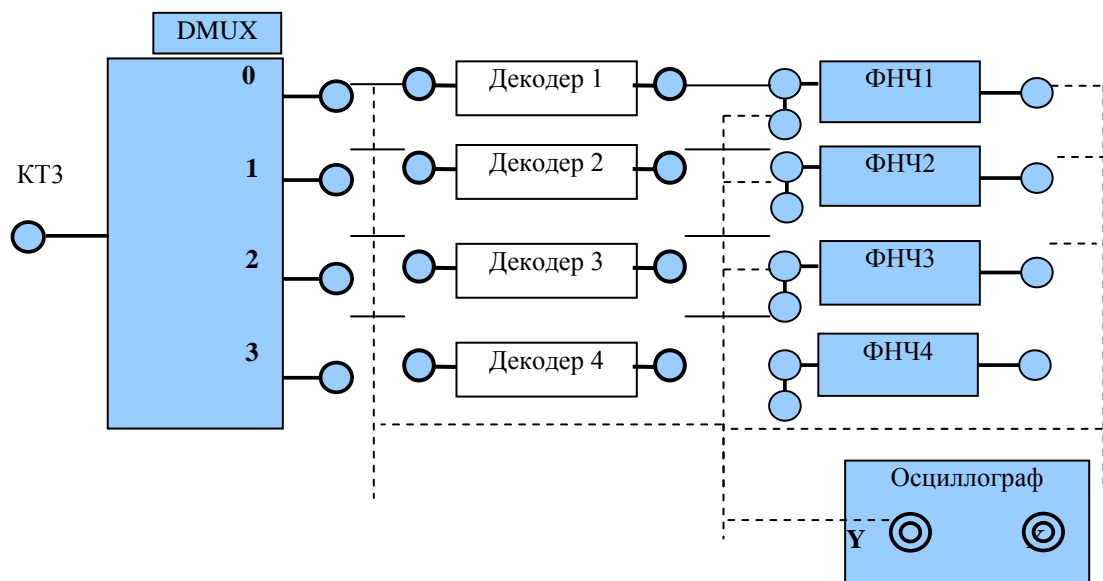


Рис.2.

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

5.1. Установить длительность развертки осциллографа 0.1 мс/Дел.

5.2. Последовательно подключая вход осциллографа ко выходу декодера1, декодера2, декодера3 проконтролировать АИМ сигнал по каждому каналу и зарисовать соответствующие осциллограммы на рис.5, сохранив между ними временные соотношения.

5.3. Последовательно подключая вход осциллографа на выходы ФНЧ, зарисовывать осциллограммы восстановленных сигналов. Отметить на них временную задержку восстановленных сигналов относительно исходных.

## 6. Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

- цели работы;

- структурную схему той части установки, что применяется в работе, отметив на ней точки, в которых снимались осциллограммы;
- все снятые осциллограммы, расположенные таким образом, чтобы на них были отмечены все необходимые временные соотношения между исследуемыми сигналами;
- значения измеренных величин, с указанием единиц измерения;
- выводы по работе.

## 7. Контрольные вопросы

1. Что такое сигнал с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ)? Чем отличается сигнал с ИКМ от сигнала с АИМ?
2. Какие преобразования производят над аналоговым сигналом, чтобы получить сигнал с импульсно-кодовой модуляцией?
3. Из каких операций состоит процесс кодирования сигнала?
4. Что такое квантование сигнала?
5. Какой способ преобразования уровня сигнала в двоичный код принят в лабораторной установке? Какие еще могут быть способы такого преобразования?
6. Что такое временное разделение каналов? Зачем ее применяют?
7. Как производится объединение ИКМ сигналов в линии связи, чтоб обеспечить их последующее разделение на приемном конце с минимальными искажениями?
8. Как производится разделение сигналов с ИКМ из группового сигнала, проходящего через линию связи?
9. Как получить сигнал с АИМ из сигнала с ИКМ?
10. Как производится восстановление аналогового сигнала из сигнала с ИКМ?
11. Какие исходные сигналы преобразуют в сигнал с ИКМ в данной лабораторной установке?
12. Какие блоки и органы управления лабораторной установкой минимально необходимы для формирования, объединения и разделения сигналов с ИКМ?
13. Какова связь между сигналами на входах и выходах мультиплексора?
14. Какова связь между сигналами на входе и выходах демультиплексора?
15. Каковы причины различия по форме исходного аналогового сигнала и сигнала, восстановленного из сигнала с ИКМ?

## Лабораторная работа № 5 «МОДУЛЯЦИЯ В КАНАЛАХ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ»

### 1. Цель работы.

Изучение модулированных сигналов в цифровых системах связи для разных видов модуляции (манипуляции) — амплитудная модуляция (АМ), двухпозиционная частотная манипуляция (ЧМ, FSK), двухпозиционная фазовая манипуляция (ФМ-2, BPSK) и двухпозиционная относительная фазовая манипуляция (ОФМ-2, DBPSK) при периодических модулирующих сигналах.

### 2. Краткая характеристика исследуемых цепей и сигналов

В работе используется универсальный лабораторный стенд со сменным блоком МОДУЛЯТОР - ДЕМОДУЛЯТОР. (При установке блока в стенд рекомендуется переключить тумблером несущие частоты для модулятора  $f_1$  и  $f_2$  на более низкие - 9 и 18 кГц.).

На вход МОДУЛЯТОРА подаются цифровые сигналы от КОДЕРА - 1 (КОДЕР ИСТОЧНИКА), либо от аналого-цифрового преобразователя (АЦП), расположенного ниже КОДЕРА-1. Кнопочный переключатель ВИД МОДУЛЯЦИИ, расположенный над МОДУЛЯТОРОМ, устанавливает один из четырех видов модуляции. Каждое нажатие кнопки приводит к смене вида модуляции последовательно: "0" (когда модуляция не производится и выход модулятора соединён с его входом), АМ, ЧМ, ФМ, ОФМ, снова "0", АМ ... и т. д.

Два гнезда, расположенные ниже МОДУЛЯТОРА -  $S_1$  и  $S_0$  - позволяют изучать сигналы несущих частот, соответствующих выбранному виду модуляции.

В качестве измерительных приборов используется осциллограф и измерительная плата ПК в режиме спектроанализатора.

Кодер формирует пятисимвольный NRZ код. Символ кода определен на интервале 450 мкс. Необходимо иметь ввиду, что код формируется с периодом 7.65 мс, поэтому на одном периоде укладывается 17 символов кода NRZ. Таким образом, периодическая кодовая последовательность на экране осциллографа будет иметь вид, показанный на рис.1.

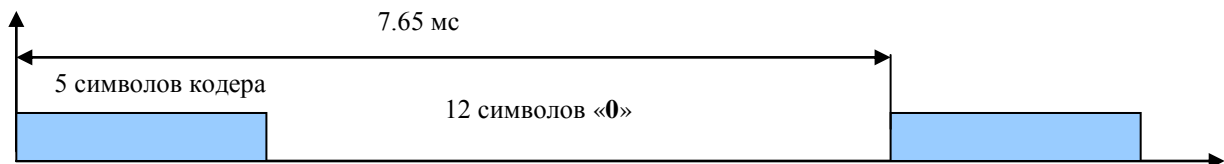


Рис.1.

Два гнезда, расположенные ниже МОДУЛЯТОРА -  $S_1$  и  $S_0$  - позволяют изучать сигналы несущих частот, соответствующих выбранному виду модуляции.

В качестве измерительных приборов используется осциллограф и ПК с измерительной платой в режиме спектроанализатора.

### 3. Лабораторное задание

1. Изучите спектральные характеристики цифровых сигналов
2. Исследуйте форму и спектр модулированных сигналов при АМ, ЧМ, ФМ и ОФМ.

### 4. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему установки согласно рис.2

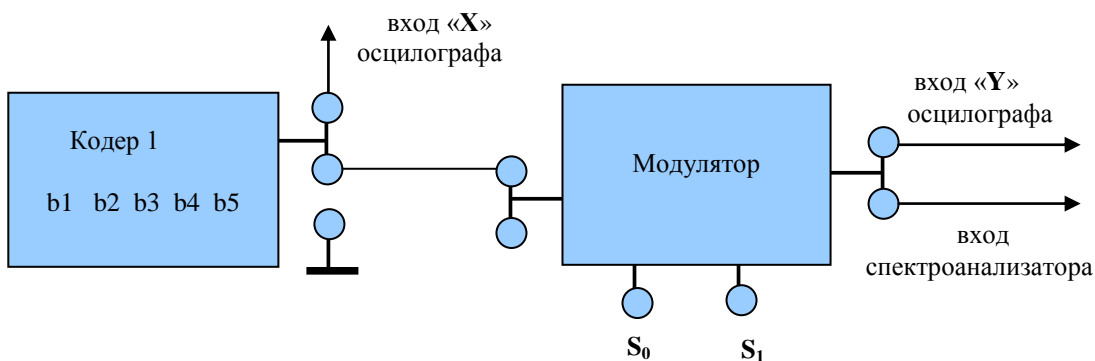


Рис.2.

Переключатель «Вид модуляции» установить в положение «0»

2. Включить лабораторный стенд, компьютер и осциллограф, провести настройку аппаратуры.
  - 2.1. На ПК запустить приложение «Bordo». На панели управления «Bordo» сделать следующие установки:
    - на вкладке «Режим измерения» установить режим «Спектр», в боксе «Быстрое преобразование Фурье» установить Спектр- «Abs», Число отсчетов — 32768;
    - на вкладке «Развертка»: Время/Деление — 2.0 мс;
    - на вкладке «Усилитель» Вольт/Деление — 1.0 В, Пробник — 1 : 1.
  - 2.2. Уставить режимы осциллографа:
    - синхронизация: «Ждущ.», «+»;
    - развертка: Время/Дел. - 0.1 мс;
    - чувствительность: Вольт/Дел.- 2.0 В
3. Установить код 10000 (переключатель «Вид модуляции» установлен в положение «0»)
  - 3.1. Ручкой «уровень» добиться устойчивого изображения сигнала на экране осциллографа. Зарисовать осциллограмму сигнала на выходе МОДУЛЯТОРА (рис.4) и рядом (на одной строке) спектр этого же сигнала, соблюдая временной и частотный масштабы осциллограмм, соответственно. Измерить длину символа кода и ширину спектра (по первому лепестку спектрограммы).
  - 3.2. Установить код 10101, ручкой «плавно» добиться того, чтобы на экране осциллографа были видны 5-6 символов кода NRZ. Повторить п. 3.1.

4. Подключить спектроанализатор к точке  $S_0$  ( $S_1$ ) измерить частоту несущих для всех видов модуляции, последовательно устанавливая вид модуляции в положения АМ, ЧМ, ФМ, ОФМ.

Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Частота КГц	Вид модуляции			
	АМ	ЧМ	ФМ	ОФМ

5. Подключить спектроанализатор к выходу модулятора (код 10101).

5.1. Установить вид модуляции АМ, зарисовать осциллограмму сигнала на выходе МОДУЛЯТОРА (рис.5) и рядом (на одной строке) спектр этого же сигнала, соблюдая временной и частотный масштабы осциллограмм, соответственно. Измерить ширину спектра модулированного сигнала.

5.2. Устанавливая последовательно вид модуляции ЧМ, ФМ, ОФМ повторить измерения по п.5.1.(при необходимости устойчивого сигнала на экране осциллографа можно добиться ручкой «плавно»). При наблюдении осциллограмм для ФМ и ОФМ обратить внимание на моменты появления скачков фазы.

6. Набрав в КОДЕРЕ-1 комбинацию 11000, повторить п.5, зарисовать осциллограмму сигнала на выходе рис.6

7. В качестве источника цифрового сигнала использовать АЦП, вход которого соединить с источником низкочастотного аналогового сигнала  $S_4$ , а выход – со входом МОДУЛЯТОРА (рис. 3). Установить переключатели разрядности АЦП в положение 3 (т. е. каждый отсчет сигнала кодируется в АЦП тремя двоичными символами).

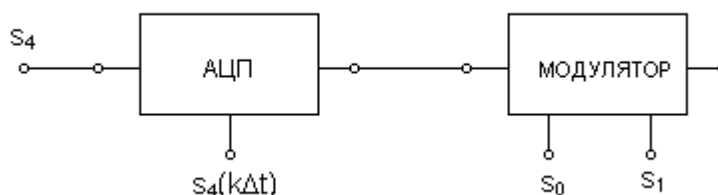


Рис. 3. Преобразование аналогового сигнала в цифровой модулированный сигнал

Установить на панели управления спектроанализатора Время/Деление — 5.0 мс;  
Зарисовать в одном масштабе времени следующие осциллограммы:

- аналоговый сигнал  $S_4$ ;
- цифровой сигнал с выхода АЦП (так называемый ИКМ - сигнал).Эту временную диаграмму удобнее получить с экрана монитора в процессе анализа спектра этого сигнала.
- модулированный сигнал (вид модуляции – АМ).

Зарисовать спектры сигналов:

- аналогового сигнала  $S_4$ ;
- ИКМ – сигнала;
- модулированного сигнала (АМ).

## 6. Порядок оформления отчета

Отчет должен содержать:

1. Выполненное домашнее задание.
2. Структурную схему измерений.
3. Осциллограммы и спектрограммы по всем пунктам.
5. Анализ результатов и выводы.

## 7. Контрольные вопросы

8. Изобразите спектр одиночного прямоугольного импульса. Как он изменится при увеличении длительности импульса?
9. От чего зависит огибающая спектра периодически повторяющегося прямоугольного импульса?
10. Изобразите модулированный сигнал (с одним из видов модуляции) при подаче на вход модулятора цифрового сигнала 01101.
11. Как изменится спектр модулированного сигнала при изменении несущей частоты на 1кГц?
12. Как изменится спектр амплитуд модулированного сигнала, если вместо периодического модулирующего сигнала подать случайный цифровой сигнал?
13. Как можно определить спектр случайного сигнала?
14. В чем отличие спектра амплитуд от спектральной плотности амплитуд?
15. Что такое спектральная плотность мощности?
9. Что такое энергетический спектр сигнала?
10. В чем отличие ФМ и ОФМ сигналов?
11. Что такое импульсно – кодовая модуляция (ИКМ)?
12. Какую функцию выполняет аналого-цифровой преобразователь?
13. Как связана ширина спектра модулированного сигнала и ширина спектра исходного низкочастотного сигнала при цифровой передаче?