

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт инженерной физики и радиоэлектроники
Кафедра инфокоммуникаций

Методические указания
по проведению лабораторных работ
«КОДИРОВАНИЕ И МОДУЛЯЦИЯ
В СИСТЕМАХ СВЯЗИ»

Подготовили:

А.В.Кулаев, М.А.Лупачева
Д.Ю.Черников, А.С.Селиванов

КРАСНОЯРСК
2025

Содержание

1. Лабораторная работа №1. «Исследование бинарных кодов NRZ, NRZI, Манчестер, Дифференциальный Манчестер».
2. Лабораторная работа №2. «Исследование троичных кодов RZ, AMI, HDB3, MLT-3, 4B/3T».
3. Лабораторная работа №3. «Исследование тетрадного кодирования 2B1Q».
4. Лабораторная работа №4 «Исследование кодирования с использованием кодов замещения 4B/5B».
5. Лабораторная работа №5 «Исследование особенностей передачи информации методом амплитудной модуляции».
6. Лабораторная работа №6 «Исследование особенностей передачи информации методом частотной модуляции».
7. Лабораторная работа №7. ««Исследование особенностей передачи информации методом фазовой модуляции».
8. Лабораторная работа №8. ««Исследование особенностей квадратурной модуляции QAM».
9. Лабораторная работа № 9 «Исследование принципов работы кодера и декодера циклического кода».
- 10 Лабораторная работа №10. «Исследование помехоустойчивости циклического кода».

1 Лабораторная работа №1. Исследование бинарных кодов NRZ, NRZI, Манчестер,

Дифференциальный Манчестер.

Необходимые теоретические сведения:

Последовательность двоичных информационных комбинаций, представленных в параллельном виде, в процессе передачи преобразуется в последовательные коды в виде отдельных сигналов, например. видеоимпульсов. В настоящее время разработано значительное количество последовательных двоичных (бинарных) кодов, из которых наибольшее распространение получили следующие методы:

Код NRZ (non-return-to-zero) (рус. Без возврата к нулю). При передаче логического нуля устройство кодирования формирует напряжение низкого потенциала (0 В при однополярном сигнале, U при двуполярном).

В результате на выходе устройства кодирования формируется следующая последовательность [1]:

NRZ (прямой):

- биты 0 представляются нулевым напряжением 0 (В);
- биты 1 представляются значением U (В).

NRZ (перевернутый):

- биты 0 представляются значением U (В);
- биты 1 представляются нулевым напряжением 0 (В).

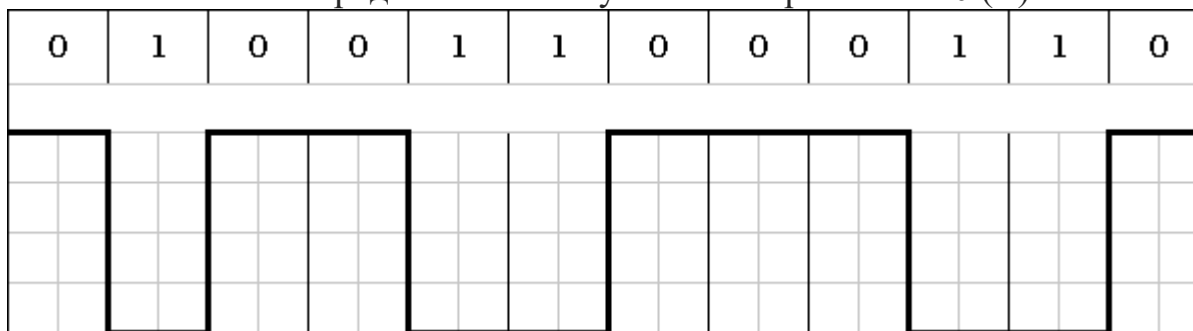


Рис. 2.1.1 Вид осциллограммы NRZ (перевернутого) кода (снизу) в зависимости от вида передаваемой информации (сверху).

Одной из разновидностей NRZ кода является **NRZI** (Non return to zero, inverted). Особенностью кода является то, что смена сигнала происходит только при передаче единицы, а при передаче нуля не происходит изменения текущего значения напряжения.

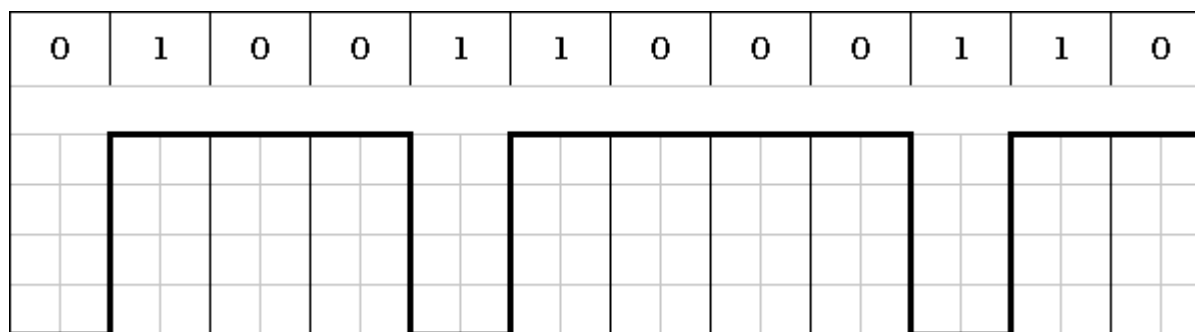


Рис. 2.1.2 Вид осциллограммы NRZI (потенциального) кода (снизу) в зависимости от вида передаваемой информации (сверху) [].

Согласно [1], NRZ код имеет следующие преимущества и недостатки:

Достоинства метода NRZ:

- Простота реализации.
- Метод обладает хорошей распознаваемостью ошибок (благодаря наличию двух резко отличающихся потенциалов).
- Основная гармоника f_0 имеет достаточно низкую частоту (равную $N/2$ Гц, где N - битовая скорость передачи дискретных данных (бит/с)), что приводит к узкому спектру.

Недостатки метода NRZ:

- Метод не обладает свойством самосинхронизации. Даже при наличии высокоточного тактового генератора приёмник может ошибиться с выбором момента съёма (выборки) данных, так как частоты двух генераторов никогда не бывают полностью идентичными. Поэтому при высоких скоростях обмена данными и длинных последовательностях единиц или нулей небольшое рассогласование тактовых частот может привести к ошибке в целый такт и, соответственно, считыванию некорректного значения бита.
- Наличие низкочастотной составляющей, которая приближается к постоянному потенциалу при передаче длинных последовательностей единиц и нулей. Из-за этого многие линии связи, не обеспечивающие прямого гальванического соединения между приёмником и источником, этот вид кодирования не поддерживают. Поэтому в сетях код NRZ в основном используется в виде различных его модификаций, в которых устранены как плохая самосинхронизация кода, так и проблемы постоянной составляющей.

Код Манчестер (Manchester encoding) [2].

При Манчестерском кодировании каждый такт делится на две части. Информация кодируется перепадами потенциала в середине каждого такта. Единица кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а ноль - обратным перепадом (в различных стандартах возможны отличия – прим. ред.). В начале

каждого такта может происходить служебный перепад сигнала, если нужно представить несколько единиц или нулей подряд.

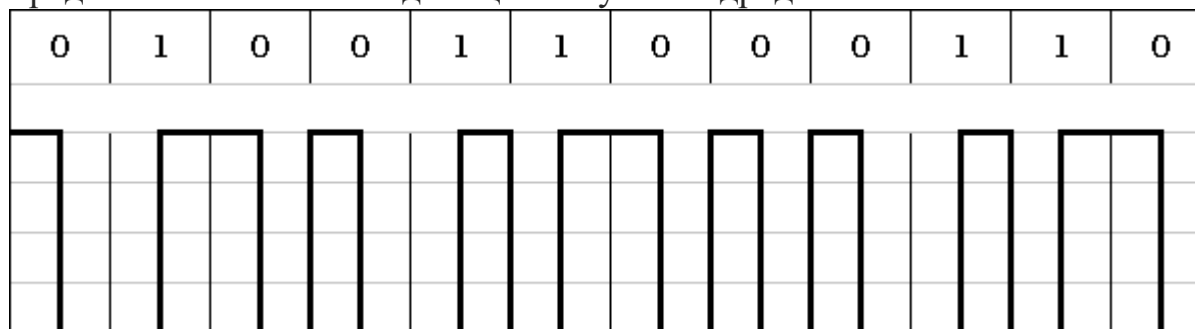


Рис. 2.1.3 Вид осциллограммы Кода Манчестер (снизу) в зависимости от вида передаваемой информации (сверху) [2].

Код Дифференциальный Манчестер (Differential Manchester encodin)

При дифференциальном манчестерском кодировании в течение битового интервала (времени передачи одного бита) уровень сигнала может меняться дважды. Обязательно происходит изменение уровня в середине интервала, этот перепад используется для синхронизации. Получается, что при передаче нуля в начале битового интервала происходит перепад уровней, а при передаче единицы такой перепад отсутствует.

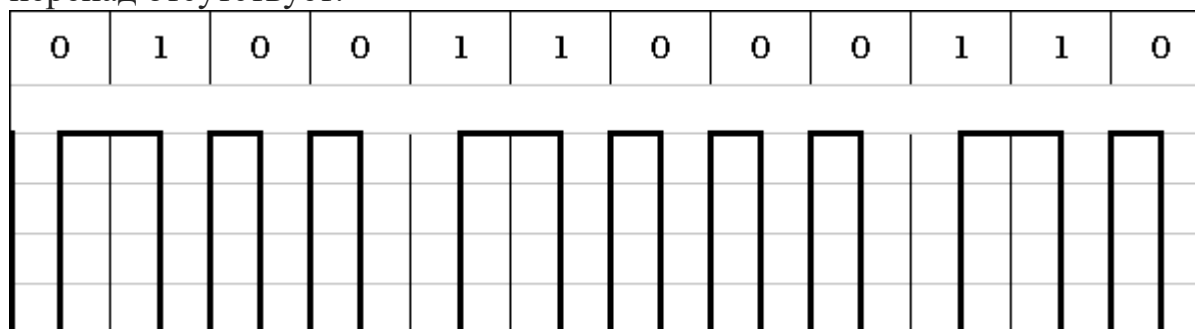


Рис. 2.1.4 Вид осциллограммы Кода Дифференциальный Манчестер (снизу) в зависимости от вида передаваемой информации (сверху) [2].

Так как сигнал изменяется, по крайней мере, один раз за такт передачи одного бита данных, то Манчестерский код обладает хорошими самосинхронизирующими свойствами. У манчестерского кода нет постоянной составляющей (меняется каждый такт), а основная гармоника в худшем случае (при передаче последовательности единиц или нулей) имеет частоту N Гц, а в лучшем случае (при передаче чередующихся единиц и нулей) - $N/2$ Гц, как и у NRZ.

Однако существуют и недостатки кода Манчестер: так, в среднем ширина спектра при манчестерском кодировании в два раза шире чем при NRZ кодировании.

Выполнение лабораторных заданий

Исследование методов кодирования.

Включить лабораторный стенд.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1).

Подключить второй канал осциллографа к коаксиальному контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока.

Установить режим синхронизации от первого канала осциллографа.

(Прим. ред. В случае применения одноканального осциллографа, подключить вход внешней синхронизации осциллографа к контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1), а канал входа осциллографа контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока. Установить режим внешней синхронизации осциллографа. Далее нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис.1.1, вызвать меню настроек. Выбрать пункт «А: Синхронизация», затем последовательным нажатием кнопки «А» клавиатуры (10 рис. 1.1). установить режим «Импульс», при котором синхронизация будет осуществляется импульсом, определяющего начало передачи, выбранной восьмибитной комбинации)).

Нажать кнопку Сброс (4 рис. 1.1) при этом произойдет обнуление всех оперативных триггеров кодирования.

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования (в данном разделе работы исследуются коды NRZ, NRZI, Манчестер, Дифференциальный Манчестер).

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) установить шестнадцатеричный код, подлежащий передаче (например, последнее число в номере зачетной книжки студента). Возможна также установка кода с помощью встроенного генератора случайных чисел. Для этого необходимо однократно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1).

На экране второго канала осциллографа наблюдать кодирующую последовательность, а на экране первого – синхронизирующие импульсы, совпадающие по времени с началом кодовой последовательности.

Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Исследование помехоустойчивости.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 (5 рис. 1.1) «Синхронизация».

Подключить второй контакт осциллографа к контакту X4 (15 рис 1.1).

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) или нажав кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), установить комбинацию, подлежащую передаче.

Последовательно устанавливая регулятор «Уровень шума» (14 рис. 1.1) в положения рисок «1-9» шкалы лимба. В каждом положении регулятора выполнить действия:

1. Нажать кнопку «Сброс» (4 рис. 1.1), при этом обнулятся показания статистических счетчиков Блока индикации (18 рис. 1.1).

2. При необходимости, последовательным нажатием кнопки «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый тип кода.

3. Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) Передача в цикле, при этом на экране осциллографа можно наблюдать передаваемый код, искаженный шумом Источника помех. На экране «Блок индикации» (18 рис. 1.1) наблюдать увеличение показаний статистических счетчиков «Передано» байт, «Получено» байт, и счетчика количества «Ошибок» бит. (Следует обратить внимание, что счетчики «Передано» и принятых комбинаций отображают количество **байт** информации, а счетчик «Ошибок» - количество **бит**).

4. Набрав достаточный объем статистических данных (например, 500 000 переданных байт), нажать кнопку «Стоп» (3 рис. 1.1). Показания счетчиков «Передано», «Получено» и «Ошибок» занести в таблицу.

Таблица 2.1 Оценка помехоустойчивости кода.

Положение регулятора «Уровень шума»				
Объем переданной информации (Показания счетчика «Передано»), $M_{\text{прд}}$ байт				
Объем принятой информации (Показания счетчика «Принято»), $M_{\text{прм}}$ байт				
Количество битовых ошибок (Показания счетчика «Ошибок»), $m_{\text{ош}}$ бит				
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}} = (m_{\text{ош}} / 8 \cdot M_{\text{прд}})$.				
Эффективное напряжение сигнала U_s (показания индикатора S), В				
Эффективное напряжение шума U_n (показания индикатора N), В				
Отношение мощности сигнала к мощности шума $h^2 = 10 \lg(U_s/U_n)^2$, дБ				

На основании данных таблицы, построить кривую помехоустойчивости кода как зависимость $P_{\text{ош}}$ от h^2 , при этом рекомендуется вероятность ошибок $P_{\text{ош}}$ откладывать в логарифмическом масштабе.

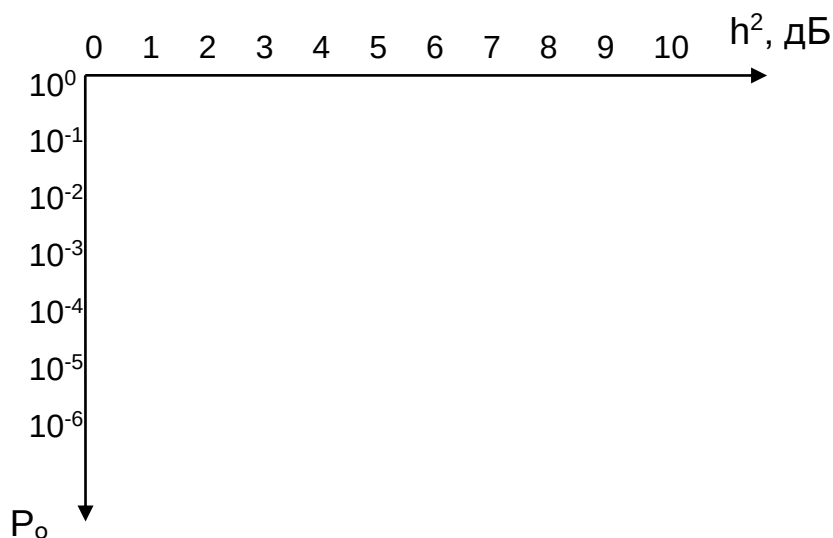


Рис. 2.1 Пример системы координат построения графиков помехоустойчивости кодов.

В процессе выполнения лабораторных работ следует для каждого кода (NRZ, NRZI, Манчестер, Дифференциальный Манчестер) исследовать осциллограммы кодирования и занести в отчет графики помехоустойчивости.

Тренировка навыков «ручного декодирования» передаваемой кодовой комбинации

Нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) вызвать контекстное меню установки параметров. Нажать кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна меню строка «С: Запуск генератора случайного числа». Последовательно нажимая кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Постоянно», при этом в каждом последующем цикле будет повторяться одно и тоже случайное число, сгенерированное в первом цикле.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Скрывать», при этом текущая кодовая комбинация не будет отображаться индикатором «Передаваемое число» (11 рис. 1.1).

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и выйти из контекстного меню.

Затем, кратковременно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), при этом будет проведена генерация случайного числа.

Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле».

На экране осциллографа наблюдать кодированную последовательность. Занести осциллограмму в отчет. По осциллограмме «декодировать» передаваемую кодовую комбинацию.

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и вызвать контекстное меню.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D»

клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Отображать», при этом на Индикаторе «Передаваемое число» (11 рис. 1.1) будет индицироваться переданная комбинация. Убедиться в верности (или ошибочности) проведения операции ручного «декодирования».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

2 Лабораторная работа №2. «Исследование троичных кодов RZ, AMI, HDB3, MLT-3, 4B/3T»

Необходимые теоретические сведения

Особенностью троичного кодирования является то, что каждый бит комбинации передается сигналом с тремя уровнями напряжения, (а не двумя, как у бинарных кодов) в следствии чего реализуется более высокая скорость передачи.

Код RZ (Return-to-zero) (рус: со сбросом в ноль). Относится к классу квазитроичных кодов, поскольку передаче логической «1» соответствует напряжение положительного потенциала «+U», а при передаче «0» - отрицательного «-U».

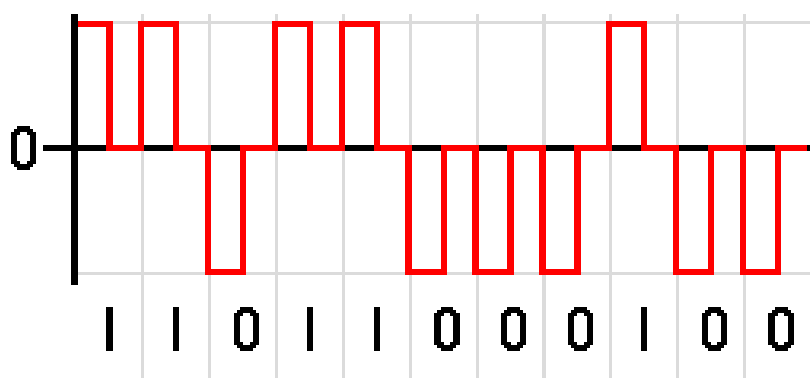


Рис. 2.2.1 Вид осциллограммы кода RZ (сверху) в зависимости от передаваемой информации (снизу) [1].

Код AMI реализует следующий алгоритм [2]:

- биты 0 представляются нулевым напряжением (0 В);
- биты 1 представляются поочередно значениями -U или +U (В).

AMI-код обладает хорошими синхронизирующими свойствами при передаче серий единиц и сравнительно прост в реализации. Недостатком кода является ограничение на плотность нулей в потоке данных, поскольку длинные последовательности нулей ведут к потере синхронизации.

Код HDB3 [3] является усовершенствованием AMI кода. Алгоритм аналогичен AMI за исключением кодирования последовательностей более четырех нулей, где каждые следующие четыре нуля заменяются последовательностью 000V, либо V00V. Где V - импульс по полярности противоположной предыдущему импульсу (отвечает правилу кодирования AMI), V (Violation) - импульс по полярности соответствующий предыдущему импульсу (нарушающий правило кодирования AMI). Выбор замены осуществляется таким образом, чтобы, во-первых, число импульсов V между двумя последовательно расположенными импульсами V было нечетным; и, во-вторых, чтобы полярности импульсов V чередовались.

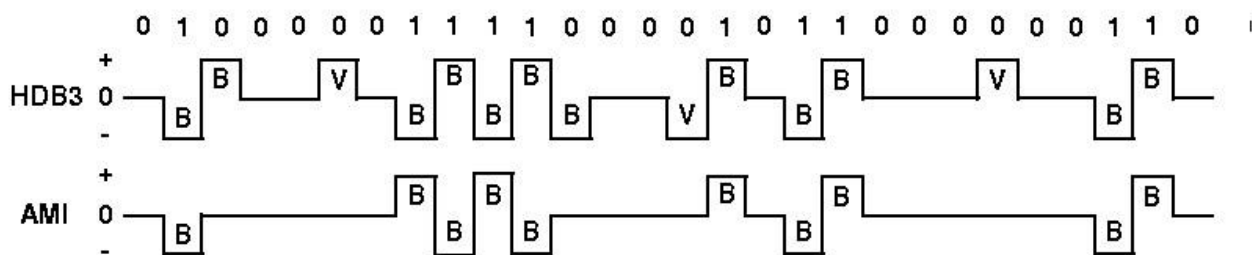


Рис. 2.2.2 Вид осциллограммы кода HDB3 и AMI в зависимости от передаваемой информации (сверху) [3].

Код MLT-3 (Multi Level Transmission) (многоуровневая передача) - метод кодирования, использующий три уровня сигнала. Метод основывается на циклическом переключении уровней $-U$, 0 , $+U$. Единице соответствует переход с одного уровня сигнала на следующий. Так же, как и в методе **NRZI** при передаче «нуля» сигнал не меняется. В случае наиболее частого переключения уровней (длинная последовательность единиц) для завершения цикла необходимо четыре перехода. Это позволяет вчетверо снизить частоту несущей относительно тактовой частоты, что делает **MLT-3** удобным методом при использовании медных проводов в качестве среды передачи.

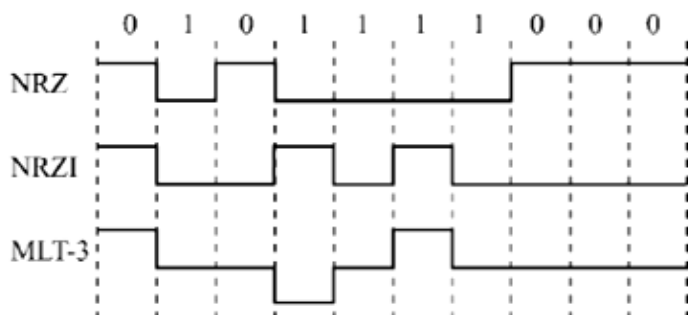


Рис. 2.2.3. Сравнение структуры кодов MLN3 с кодами NRZ и NRZI [в зависимости от передаваемой информации (сверху) [4].

Код 4В/3Т относится к классу линейных кодов с изменением тактовой частоты, при этом группа из 4-х двоичных символов преобразуется в соответствующую группу из 3-х троичных символов, что обеспечивает необходимую избыточность и помехоустойчивость.

Три троичных символа дают 27 комбинаций, а четыре двоичных - 16. Поэтому для передачи многим двоичным комбинациям можно сопоставить по две троичных комбинации. Это делается для несбалансированных кодов, т.е. тех, в которых преобладают сигналы положительной или отрицательной полярности. Тогда второй код выбирается с обратной балансировкой, и их попеременная передача обеспечивает отсутствие постоянной составляющей в линии.

Таблица 2.2.1 Таблица кодирования линейного кода 4В/3Т [4]

Двоичная комбинация	Троичная комбинация
0000	+ 0 +
0000	0 – 0
0001	0 – +
0010	+ – 0
0011	0 0 +
0011	– – 0
0100	– + 0
0101	0 + +
0000	+ 0 +
0000	0 – 0
0001	0 – +
0010	+ – 0
0011	0 0 +
0011	– – 0
0101	– 0 0
0110	– + +
0110	– – +
0111	– 0 +
1000	+ 0 0
1000	0 – –
1001	+ – +
1001	– – –
1010	+ + –
1011	+ 0 –
1100	+ + +
1100	– + –
1101	0 + 0
1101	– 0 –
1110	0 + –
1111	+ + 0
1111	0 0 –

Выполнение лабораторных заданий

Исследование методов кодирования.

Включить лабораторный стенд.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1).

Подключить второй канал осциллографа к коаксиальному контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока.

Установить режим синхронизации от первого канала осциллографа.

(Прим. ред. В случае применения одноканального осциллографа, подключить вход внешней синхронизации осциллографа к контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1), а канал входа осциллографа контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока. Установить режим внешней синхронизации осциллографа. Далее нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис.1.1.), вызвать меню настроек. Выбрать пункт «А:

Синхронизация», затем последовательным нажатием кнопки «А» клавиатуры (10 рис. 1.1). установить режим «Импульс», при котором синхронизация будет осуществляется импульсом, определяющим начало передачи, выбранной восьмибитной комбинации.

Нажать кнопку Сброс (4 рис. 1.1) при этом произойдет обнуление всех оперативных триггеров кодирования.

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования (в данном разделе работы исследуются коды NRZ, NRZI, Манчестер, Дифференциальный Манчестер).

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) установить шестнадцатеричный код, подлежащий передаче (например, последнее число в номере зачетной книжки студента). Возможна также установка кода с помощью встроенного генератора случайных чисел. Для этого необходимо однократно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1).

На экране второго канала осциллографа наблюдать кодирующую последовательность, а на экране первого – синхронизирующие импульсы, совпадающие по времени с началом кодовой последовательности.

Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Исследование помехоустойчивости.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 (5 рис. 1.1) «Синхронизация».

Подключить второй контакт осциллографа к контакту X4 (15 рис 1.1).

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) или нажав кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), установить комбинацию, подлежащую передаче.

Последовательно устанавливая регулятор «Уровень шума» (14 рис. 1.1) в положения рисок «1-9» шкалы лимба. В каждом положении регулятора выполнить действия:

1. Нажать кнопку «Сброс» (4 рис. 1.1), при этом обнулятся показания статистических счетчиков Блока индикации (18 рис. 1.1).

2. При необходимости, последовательным нажатием кнопки «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый тип кода.

3. Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле», при этом на экране осциллографа можно наблюдать передаваемый код, искаженный шумом Источника помех. На экране «Блок индикации» (18 рис. 1.1) наблюдать увеличение показаний статистических счетчиков «Передано» байт, «Получено» байт, и счетчика количества «Ошибок» бит. *(Следует обратить внимание, что счетчики «Передано» и принятых комбинаций отображают количество байт информации, а счетчик «Ошибок» - количество бит).*

4. Набрав достаточный объем статистических данных (например, 500 000 переданных байт), нажать кнопку «Стоп» (3 рис. 1.1). Показания счетчиков «Передано», «Получено» и «Ошибок» занести в таблицу.

Таблица 2.2 Оценка помехоустойчивости кода.

Положение регулятора «Уровень шума»				
Объем переданной информации (Показания счетчика «Передано»), $M_{\text{прд}}$ байт				
Объем принятой информации (Показания счетчика «Принято»), $M_{\text{прм}}$ байт				
Количество битовых ошибок (Показания счетчика «Ошибок»), $m_{\text{ош}}$ бит				
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}} = (m_{\text{ош}} / 8 \cdot M_{\text{прд}})$.				
Эффективное напряжение сигнала U_s (показания индикатора S), В				
Эффективное напряжение шума U_n (показания индикатора N), В				
Отношение мощности сигнала к мощности шума $h^2 = 10 \lg(U_s/U_n)^2$, дБ				

На основании данных таблицы, построить кривую помехоустойчивости кода как зависимость $P_{\text{ош}}$ от h^2 , при этом рекомендуется вероятность ошибок $P_{\text{ош}}$ откладывать в логарифмическом масштабе.

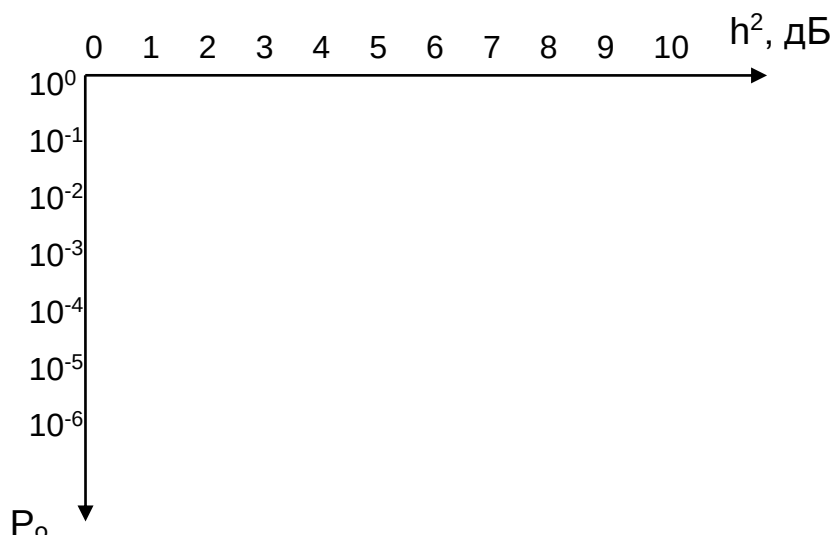


Рис. 2.1 Пример системы координат построения графиков помехоустойчивости кодов.

В процессе выполнения лабораторных работ следует для каждого кода исследовать осциллограммы кодирования и занести в отчет графики помехоустойчивости.

Тренировка навыков «ручного декодирования» передаваемой кодовой комбинации

Нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) вызвать контекстное меню установки параметров. Нажать кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка «С: Запуск генератора случайного числа».

Последовательно нажимая кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Постоянно», при этом в каждом последующем цикле будет повторяться одно и то же случайное число, сгенерированное в первом цикле.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Скрывать», при этом текущая кодовая комбинация не будет отображаться индикатором «Передаваемое число» (11 рис. 1.1).

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и выйти из контекстного меню.

Затем, кратковременно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), при этом будет проведена генерация случайного числа.

Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле».

На экране осциллографа наблюдать кодированную последовательность. Занести осциллограмму в отчет. По осциллограмме «декодировать» передаваемую кодовую комбинацию.

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и вызвать контекстное меню.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации».

Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Отображать», при этом на Индикаторе «Передаваемое число» (11 рис. 1.1) будет индицироваться переданная комбинация. Убедиться в верности (или ошибочности) проведения операции ручного «декодирования».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

3 Лабораторная работа №3. «Исследование тетрадного кодирования 2B1Q»

Необходимые теоретические сведения [5].

Линейное кодирование 2B1Q (2 Binary 1 Quandary) было разработано для использования в качестве протокола физического уровня в точке сопряжения UBR1-интерфейса сетей ISDN. Алгоритм 2B1Q представляет собой один из вариантов реализации амплитудно-импульсной модуляции с четырьмя уровнями выходного напряжения без возвращения к нулевому уровню (NRZ).

Таблица 2.3.1. Принцип тетрадного кодирования 2B1Q.

Кодовая группа	Кодовый символ	Кодовое напряжение
00	-3	-2,5В
01	-1	-0.833В
10	+3	2.5В
11	+1	0.833В

Для формирования линейного кода входной информационный поток делится на кодовые группы по два бита в каждой. В зависимости от комбинации значений битов кодовой группы ей ставится в соответствие один из четырёх кодовых символов, каждому из которых, в свою очередь, соответствует один из уровней напряжения.

Таким образом, закодированный в соответствии с правилами 2B1Q сигнал представляет собой последовательность скачкообразно изменяющихся напряжений с 4 возможными уровнями:

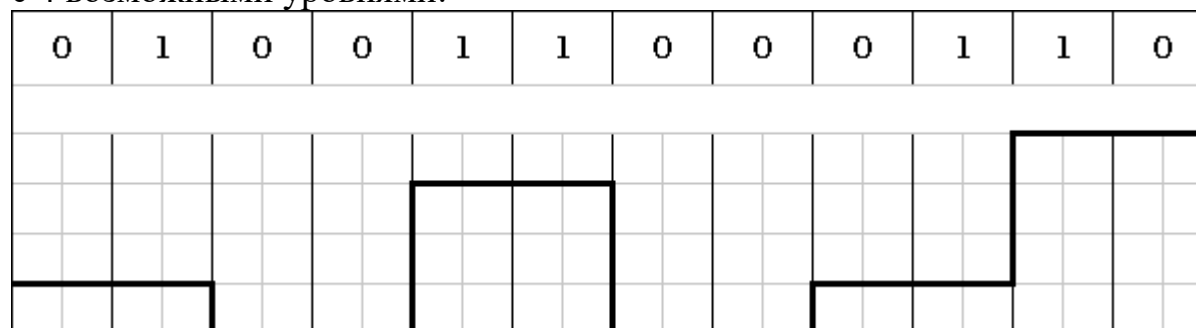


Рис. 2.3.1 Вид оциллограммы кода 2B1Q в зависимости от передаваемой информации (сверху) [1]

Поскольку в данном случае двум битам сигнала ставится в соответствие один кодовый символ, информационная скорость (data rate, скорость передачи данных) вдвое превышает символьную (symbol rate) - это означает, что модуляционная схема 2B1Q обеспечивает постоянную величину спектральной эффективности модулированного сигнала порядка 2бита/Гц.

Алгоритм 2B1Q не обеспечивает поддержание баланса положительных и отрицательных импульсов выходного напряжения и, следовательно, входной код 2B1Q должен быть предварительно обработан специальными процедурами, которые должны обеспечить подавление постоянной составляющей.

Достоинство кода 2B1Q: Сигнальная скорость у этого метода в два раза ниже, чем у кодов NRZ и AMI, а спектр сигнала в два раза уже. Следовательно, с помощью 2B1Q-кода можно по одной и той же линии передавать данные в два раза быстрее.

Недостаток метода 2B1Q: Реализация этого метода требует более мощного передатчика и более сложного приемника, который должен различать четыре уровня.

Выполнение лабораторных заданий

Исследование методов кодирования.

Включить лабораторный стенд.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1).

Подключить второй канал осциллографа к коаксиальному контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока.

Установить режим синхронизации от первого канала осциллографа.

(Прим. ред. В случае применения одноканального осциллографа, подключить вход внешней синхронизации осциллографа к контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1), а канал входа осциллографа контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока. Установить режим внешней синхронизации осциллографа. Далее нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис.1.1, вызвать меню настроек. Выбрать пункт «А: Синхронизация», затем последовательным нажатием кнопки «А» клавиатуры (10 рис. 1.1). установить режим «Импульс», при котором синхронизация будет осуществляется импульсом, определяющего начало передачи, выбранной восьмибитной комбинации.

Нажать кнопку Сброс (4 рис. 1.1) при этом произойдет обнуление всех оперативных триггеров кодирования.

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) установить шестнадцатеричный код, подлежащий передаче (например, последнее число в номере зачетной книжки студента). Возможна также установка кода с помощью встроенного генератора случайных чисел. Для этого необходимо однократно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1).

На экране второго канала осциллографа наблюдать кодирующую последовательность, а на экране первого – синхронизирующие импульсы, совпадающие по времени с началом кодовой последовательности.

Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Исследование помехоустойчивости.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 (5 рис. 1.1) «Синхронизация».

Подключить второй контакт осциллографа к контакту X4 (15 рис 1.1).

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) или нажав кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), установить комбинацию, подлежащую передаче.

Последовательно устанавливать регулятор «Уровень шума» (14 рис. 1.1) в положения рисок «1-9» шкалы лимба. В каждом положении регулятора выполнить действия:

1. Нажать кнопку «Сброс» (4 рис. 1.1), при этом обнулятся показания статистических счетчиков Блока индикации (18 рис. 1.1).

2. При необходимости, последовательным нажатием кнопки «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый тип кода.

3. Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле», при этом на экране осциллографа можно наблюдать передаваемый код, искаженный шумом Источника помех. На экране «Блок индикации» (18 рис. 1.1) наблюдать увеличение показаний статистических счетчиков «Передано» байт, «Получено» байт, и счетчика количества «Ошибок» бит. *(Следует обратить внимание, что счетчики «Передано» и принятых комбинаций отображают количество **байт** информации, а счетчик «Ошибок» - количество **бит**).*

4. Набрав достаточный объем статистических данных (например, 500 000 переданных байт), нажать кнопку «Стоп» (3 рис. 1.1). Показания счетчиков «Передано», «Получено» и «Ошибок» занести в таблицу.

Таблица 2.3.2 Оценка помехоустойчивости кода.

Положение регулятора «Уровень шума»				
Объем переданной информации (Показания счетчика «Передано»), $M_{\text{прд}}$ байт				
Объем принятой информации (Показания счетчика «Принято»), $M_{\text{прм}}$ байт				
Количество битовых ошибок (Показания счетчика «Ошибок»), $m_{\text{ош}}$ бит				
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}} = (m_{\text{ош}} / 8 \cdot M_{\text{прд}})$.				
Эффективное напряжение сигнала U_s (показания индикатора S), В				
Эффективное напряжение шума U_n (показания индикатора N), В				
Отношение мощности сигнала к мощности шума $h^2 = 10 \lg(U_s/U_n)^2$, дБ				

На основании данных таблицы, построить кривую помехоустойчивости кода как зависимость $P_{\text{ош}}$ от h^2 , при этом рекомендуется вероятность ошибок $P_{\text{ош}}$ откладывать в логарифмическом масштабе.

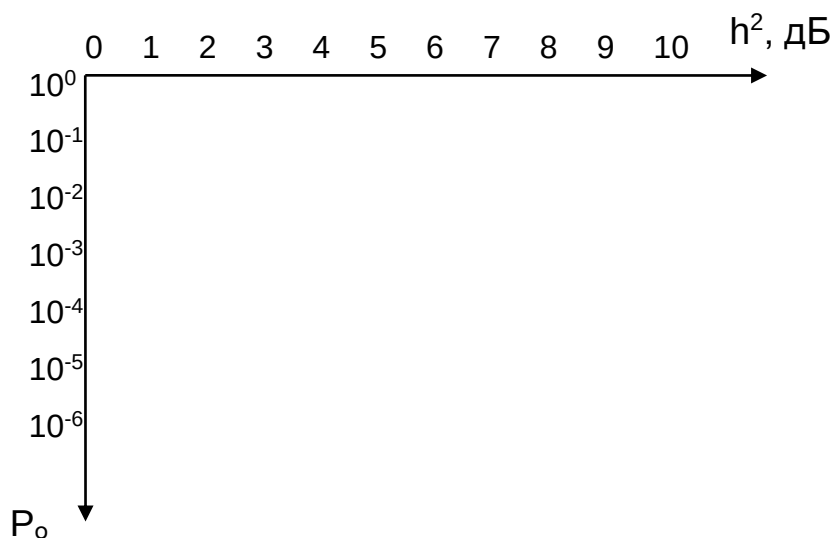


Рис. 2.3.2 Пример системы координат построения графиков помехоустойчивости кодов.

В процессе выполнения лабораторных работ следует для каждого кода исследовать осциллограммы кодирования и занести в отчет графики помехоустойчивости.

Тренировка навыков «ручного декодирования» передаваемой кодовой комбинации

Нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) вызвать контекстное меню установки параметров. Нажать кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка «С: Запуск генератора случайного числа».

Последовательно нажимая кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Постоянно», при этом в каждом последующем цикле будет повторяться одно и тоже случайное число, сгенерированное в первом цикле.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Скрывать», при этом текущая кодовая комбинация не будет отображаться индикатором «Передаваемое число» (11 рис. 1.1).

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и выйти из контекстного меню.

Затем, кратковременно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), при этом будет проведена генерация случайного числа.

Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле».

На экране осциллографа наблюдать кодированную последовательность. Занести осциллограмму в отчет. По осциллограмме «декодировать» передаваемую кодовую комбинацию.

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и вызвать контекстное меню.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Отображать», при этом на Индикаторе

«Передаваемое число» (11 рис. 1.1) будет индцироваться переданная комбинация. Убедиться в верности (или ошибочности) проведения операции ручного «декодирования».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

4. Лабораторная работа №4 «Исследование кодирования с использованием кодов замещения 4B/5B»

Необходимые теоретические сведения [5]:

Протоколы, использующие код NRZ, чаще всего дополняют кодированием данных типа 4B/5B. В отличие от кодирования сигналов, обеспечивающего переход от импульсов к битам и наоборот, кодирование данных преобразует одну последовательность битов в другую.

В передатчике четырехбитовый информационный сигнал перекодировается в пятибитовый. Преобразованный сигнал имеет 16 значений для передачи информации и 16 избыточных значений. В приемнике из пятибитового сигнала выделяются информационные и служебные символы.

Достоинства кодирования 4B/5B:

- улучшение синхронизации за счет исключения последовательности из трех нулей и более;
- улучшение помехоустойчивости за счет возможности обнаружения ошибок в приемнике.

Недостатки кодирования 4B/5B:

- В следствие внесения избыточности (один избыточный бит на четыре информационных) снижается эффективность использования полосы частот на 25%.

Таблица. 2.4.1 Таблица информационных кодов 4В/5В:

Исходный код 4В	Результирующий код 5В
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

Выполнение лабораторных заданий

Исследование методов кодирования.

Включить лабораторный стенд.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1).

Подключить второй канал осциллографа к коаксиальному контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока.

Установить режим синхронизации от первого канала осциллографа.

(Прим. ред. В случае применения одноканального осциллографа, подключить вход внешней синхронизации осциллографа к контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1), а канал входа осциллографа контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока. Установить режим внешней синхронизации осциллографа.

Далее нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис.1.1, вызвать меню настроек. Выбрать пункт «А: Синхронизация», затем последовательным нажатием кнопки «А» клавиатуры (10 рис. 1.1). установить режим «Импульс», при котором синхронизация будет осуществляется импульсом, определяющего начало передачи выбранной восьмибитной комбинации.

Нажать кнопку Сброс (4 рис. 1.1) при этом произойдет обнуление всех оперативных триггеров кодирования.

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) установить шестнадцатеричный код, подлежащий передаче (например, последнее число в номере зачетной книжки студента). Возможна также установка кода с помощью встроенного генератора случайных чисел. Для этого необходимо однократно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1).

На экране второго канала осциллографа наблюдать кодирующую последовательность, а на экране первого – синхронизирующие импульсы, совпадающие по времени с началом кодовой последовательности.

Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Исследование помехоустойчивости.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 (5 рис. 1.1) «Синхронизация».

Подключить второй контакт осциллографа к контакту X4 (15 рис. 1.1).

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) или нажав кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), установить комбинацию, подлежащую передаче.

Последовательно устанавливая регулятор «Уровень шума» (14 рис. 1.1) в положения рисок «1-9» шкалы лимба. В каждом положении регулятора выполнить действия:

1. Нажать кнопку «Сброс» (4 рис. 1.1), при этом обнулятся показания статистических счетчиков Блока индикации (18 рис. 1.1).

2. При необходимости, последовательным нажатием кнопки «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый тип кода.

3. Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) Передача в цикле, при этом на экране осциллографа можно наблюдать передаваемый код, искаженный шумом Источника помех. На экране «Блок индикации» (18 рис. 1.1) наблюдать увеличение показаний статистических счетчиков «Передано» байт, «Получено» байт, и счетчика количества «Ошибок» бит. *(Следует обратить внимание, что счетчики «Передано» и принятых комбинаций отображают количество **байт** информации, а счетчик «Ошибок» - количество **бит**).*

4. Набрав достаточный объем статистических данных (например 500 000 переданных байт), нажать кнопку «Стоп» (3 рис. 1.1). Показания счетчиков «Передано», «Получено» и «Ошибок» занести в таблицу.

Таблица 2.4.2 Оценка помехоустойчивости кода.

Положение регулятора «Уровень шума»				
Объем переданной информации (Показания счетчика «Передано»), M _{прд} байт				
Объем принятой информации (Показания счетчика «Принято»), M _{прм} байт				

Количество битовых ошибок (Показания счетчика «Ошибок»), $m_{\text{ош}}$ бит				
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}} = (m_{\text{ош}} / 8 \cdot M_{\text{прд}})$.				
Эффективное напряжение сигнала U_s (показания индикатора S), В				
Эффективное напряжение шума U_n (показания индикатора N), В				
Отношение мощности сигнала к мощности шума $h^2 = 10 \lg(U_s/U_n)^2$, дБ				

На основании данных таблицы, построить кривую помехоустойчивости кода как зависимость $P_{\text{ош}}$ от h^2 , при этом рекомендуется вероятность ошибок $P_{\text{ош}}$ откладывать в логарифмическом масштабе.

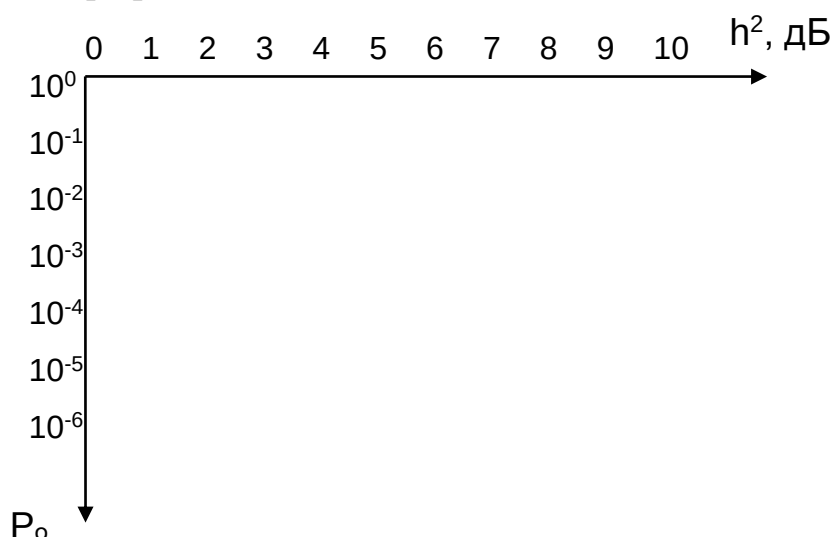


Рис. 2.4.1 Пример системы координат построения графиков помехоустойчивости кодов.

В процессе выполнения лабораторных работ следует для каждого кода исследовать осциллограммы кодирования и занести в отчет графики помехоустойчивости.

Тренировка навыков «ручного декодирования» передаваемой кодовой комбинации

Нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) вызвать контекстное меню установки параметров. Нажать кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна меню строка «С: Запуск генератора случайного числа».

Последовательно нажимая кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Постоянно», при этом в каждом последующем цикле будет повторяться одно и тоже случайное число, сгенерированное в первом цикле.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Скрывать», при этом текущая кодовая комбинация не будет отображаться индикатором «Передаваемое число» (11 рис. 1.1).

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и выйти из контекстного меню.

Затем, кратковременно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), при этом будет проведена генерация случайного числа.

Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле».

На экране осциллографа наблюдать кодированную последовательность. Занести осциллограмму в отчет. По осциллограмме «декодировать» передаваемую кодовую комбинацию.

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и вызвать контекстное меню.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Отображать», при этом на Индикаторе «Передаваемое число» (11 рис. 1.1) будет индцироваться переданная комбинация. Убедиться в верности (или ошибочности) проведения операции ручного «декодирования».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

5. Лабораторная работа №5 «Исследование особенностей передачи информации методом Амплитудной модуляции»

Необходимые теоретические сведения

Сущность метода Амплитудной модуляции заключается в изменении амплитуды сигнала в зависимости от передаваемой информации. В случае использования бинарного кода, когда информация может принимать только два значения «0» или «1», корректно использовать термин «Амплитудная манипуляция». В иностранной литературе такой метод получил название «Amplitude Shift Keying» (ASK) - изменение сигнала, при котором скачкообразно меняется амплитуда несущего колебания.

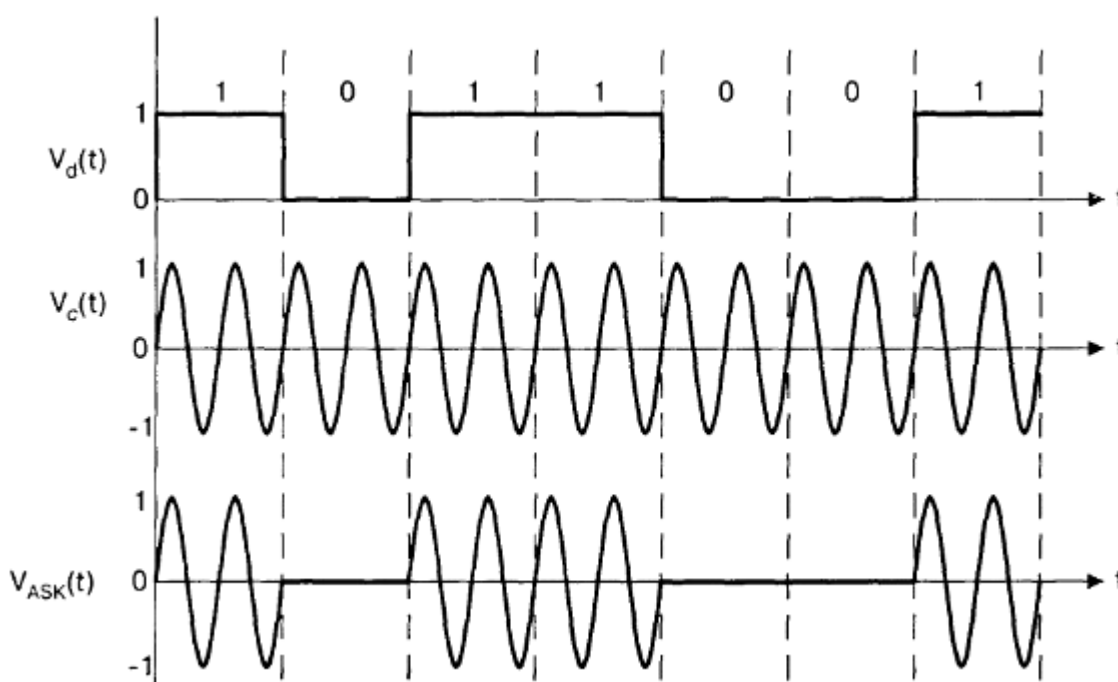


Рис. 2.5.1 Метод амплитудной модуляции [6]. Здесь $V_d(t)$ – кодирующая информационная последовательность, $V_c(t)$ – гармонический сигнал несущей частоты, $V_{ASK}(t)$ – амплитудно-модулированный сигнал.

На рис. 2.5.1 представлен процесс формирования Амплитудно-модулированного сигнала. В результате операции умножения двоичной информационной последовательности с сигналом гармонической несущей формируется амплитудно-манипулированный сигнал, представляющий собой последовательность радиоимпульсов конгруэнтной с кодируемой информационной последовательностью. Представленные на рисунке 2.5.1 сигналы относятся к классу сигналов с пассивной паузой и обладают относительно низкой (по сравнению с Частотной и Фазовой манипуляцией) помехоустойчивостью.

Выполнение лабораторных заданий

Исследование методов кодирования.

Включить лабораторный стенд.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1).

Подключить второй канал осциллографа к коаксиальному контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока.

Установить режим синхронизации от первого канала осциллографа.

(Прим. ред. В случае применения одноканального осциллографа, подключить вход внешней синхронизации осциллографа к контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1), а канал входа осциллографа контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока. Установить режим внешней синхронизации осциллографа. Далее нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис.1.1, вызвать меню настроек. Выбрать пункт «А: Синхронизация», затем последовательным нажатием кнопки «А» клавиатуры (10 рис. 1.1). установить режим «Импульс», при котором синхронизация будет осуществляется импульсом, определяющего начало передачи выбранной восьмибитной комбинации.

Нажать кнопку Сброс (4 рис. 1.1) при этом произойдет обнуление всех оперативных триггеров кодирования.

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) установить шестнадцатеричный код, подлежащий передаче (например, последнее число в номере зачетной книжки студента). Возможна также установка кода с помощью встроенного генератора случайных чисел. Для этого необходимо однократно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1).

На экране второго канала осциллографа наблюдать кодирующую последовательность, а на экране первого – синхронизирующие импульсы, совпадающие по времени с началом кодовой последовательности.

Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Исследование помехоустойчивости.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 (5 рис. 1.1) «Синхронизация».

Подключить второй контакт осциллографа к контакту X4 (15 рис 1.1).

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) или нажав кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), установить комбинацию, подлежащую передаче.

Последовательно устанавливая регулятор «Уровень шума» (14 рис. 1.1) в положения рисок «1-9» шкалы лимба. В каждом положении регулятора выполнить действия:

1. Нажать кнопку «Сброс» (4 рис. 1.1), при этом обнулятся показания статистических счетчиков Блока индикации (18 рис. 1.1).

2. При необходимости, последовательным нажатием кнопки «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый тип кода.

3. Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) Передача в цикле, при этом на экране осциллографа можно наблюдать передаваемый код, искаженный шумом Источника помех. На экране «Блок индикации» (18 рис. 1.1) наблюдать увеличение показаний статистических счетчиков «Передано» байт, «Получено» байт, и счетчика количества «Ошибок» бит. *(Следует обратить внимание, что счетчики «Передано» и принятых комбинаций отображают количество **байт** информации, а счетчик «Ошибок» - количество **бит**).*

4. Набрав достаточный объем статистических данных (например, 500 000 переданных байт), нажать кнопку «Стоп» (3 рис. 1.1). Показания счетчиков «Передано», «Получено» и «Ошибок» занести в таблицу.

Таблица 2.5.1 Оценка помехоустойчивости кода.

Положение регулятора «Уровень шума»				
Объем переданной информации (Показания счетчика «Передано»), $M_{\text{прд}}$ байт				
Объем принятой информации (Показания счетчика «Принято»), $M_{\text{прм}}$ байт				
Количество битовых ошибок (Показания счетчика «Ошибок»), $m_{\text{ош}}$ бит				
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}} = (m_{\text{ош}} / 8 \cdot M_{\text{прд}})$.				
Эффективное напряжение сигнала U_s (показания индикатора S), В				
Эффективное напряжение шума U_n (показания индикатора N), В				
Отношение мощности сигнала к мощности шума $h^2 = 10 \lg(U_s/U_n)^2$, дБ				

На основании данных таблицы, построить кривую помехоустойчивости кода как зависимость $P_{\text{ош}}$ от h^2 , при этом рекомендуется вероятность ошибок $P_{\text{ош}}$ откладывать в логарифмическом масштабе.

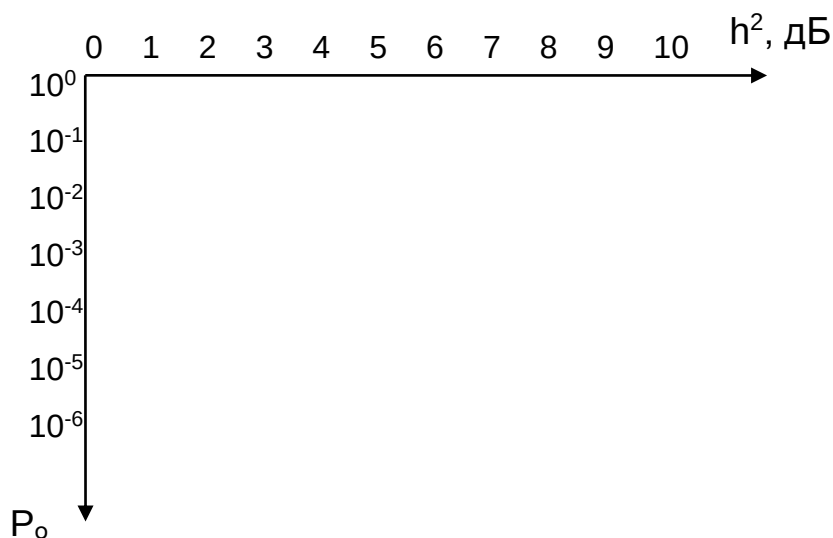


Рис. 2.5.2 Пример системы координат построения графиков помехоустойчивости кодов.

В процессе выполнения лабораторных работ следует для каждого кода исследовать осциллограммы кодирования и занести в отчет графики помехоустойчивости.

Тренировка навыков «ручного декодирования» передаваемой кодовой комбинации

Нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) вызвать контекстное меню установки параметров. Нажать кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка «С: Запуск генератора случайного числа». Последовательно нажимая кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Постоянно», при этом в каждом последующем цикле будет повторяться одно и тоже случайное число, сгенерированное в первом цикле.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Скрывать», при этом текущая кодовая комбинация не будет отображаться индикатором «Передаваемое число» (11 рис. 1.1).

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и выйти из контекстного меню.

Затем, кратковременно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), при этом будет проведена генерация случайного числа.

Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле».

На экране осциллографа наблюдать кодированную последовательность. Занести осциллограмму в отчет. По осциллограмме «декодировать» передаваемую кодовую комбинацию.

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и вызвать контекстное меню.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D»

клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Отображать», при этом на Индикаторе «Передаваемое число» (11 рис. 1.1) будет индицироваться переданная комбинация.

Убедиться в верности (или ошибочности) проведения операции ручного «декодирования».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

6. Лабораторная работа №6 «Исследование особенностей передачи информации методом Частотной модуляции»

Необходимые теоретические сведения.

Метод частотной модуляции дискретной кодом заключается в изменении частоты несущей сигнала по закону двоичной информации при неизменной амплитуде сигнала. В этом и других дискретных методах, применяется термин «Частотная манипуляция», (англ. Frequency Shift Keying (FSK)). Принцип формирования Частотно - манипулированного сигнала представлен на рис. 2.6.1 [6].

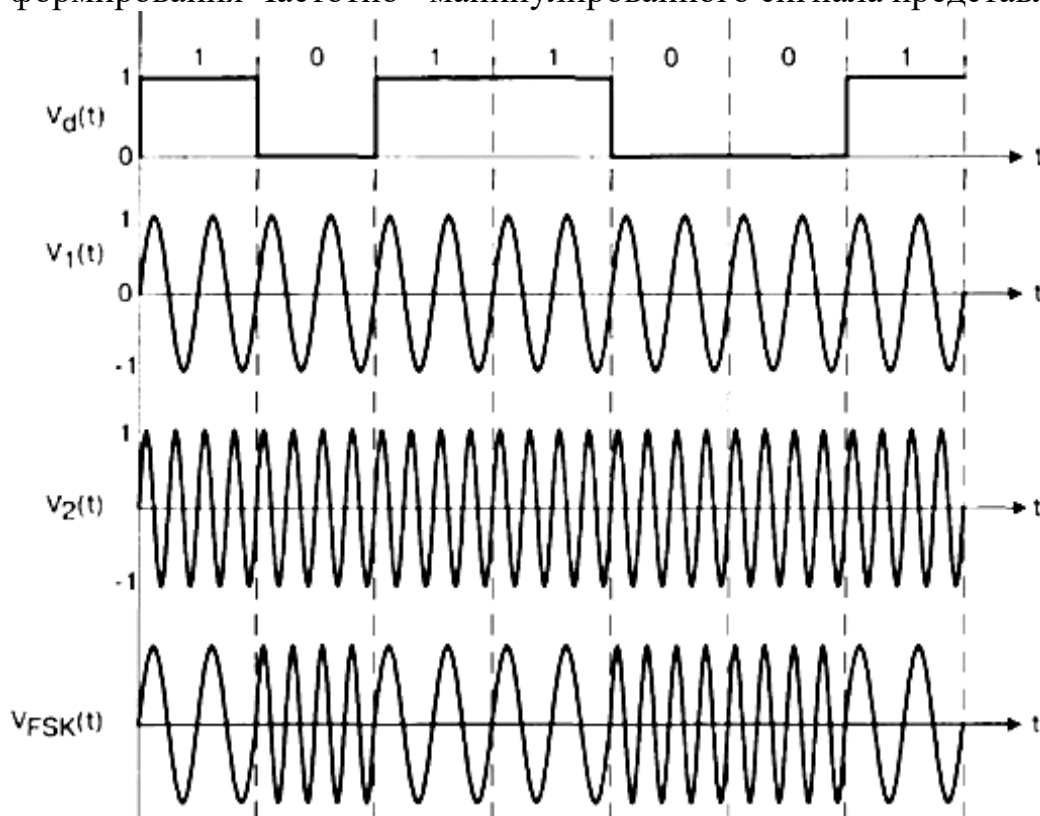


Рис. 2.6.1. Метод частотной модуляции [6]. Здесь $V_d(t)$ – кодирующая информационная последовательность, $V_1(t)$ – первая гармоническая несущая, $V_2(t)$ – вторая гармоническая несущая, $V_{FSK}(t)$ – частотно-манипулированный сигнал.

Согласно осциллограммам сигналов, представленных на рис. 2.6.1, модулятор сигнала выполняет функции мультиплексора, последовательно подключая на выход гармонический сигнал первой несущей $V_1(t)$, при наличии на информационном входе модулятора логической «1», и гармонический сигнал второй несущей $V_2(t)$ при логическом «0».

Частотно манипулированный сигнал обладает большей помехоустойчивостью, по сравнению с амплитудной манипуляцией. Это объясняется в первую очередь тем, что такой сигнал относится к классу сигналов с активной паузой, кроме того, сигналы с частотной манипуляцией образуют ортогональный базис ансамбля сигналов. В специальной литературе [7] отмечается, что подобные сигналы обладают (при прочих равных условиях) лучшей помехоустойчивостью по

сражению с методом Амплитудной модуляции, но худшей, по сравнению с Фазовой манипуляцией.

Выполнение лабораторных заданий

Исследование методов кодирования.

Включить лабораторный стенд.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1).

Подключить второй канал осциллографа к коаксиальному контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока.

Установить режим синхронизации от первого канала осциллографа.

(Прим. ред. В случае применения одноканального осциллографа, подключить вход внешней синхронизации осциллографа к контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1), а канал входа осциллографа контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока. Установить режим внешней синхронизации осциллографа. Далее нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис.1.1. вызвать меню настроек. Выбрать пункт «А: Синхронизация», затем последовательным нажатием кнопки «А» клавиатуры (10 рис. 1.1). установить режим «Импульс», при котором синхронизация будет осуществляется импульсом, определяющего начало передачи, выбранной восьмибитной комбинации.

Нажать кнопку Сброс (4 рис. 1.1) при этом произойдет обнуление всех оперативных триггеров кодирования.

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) установить шестнадцатеричный код, подлежащий передаче (например, последнее число в номере зачетной книжки студента). Возможна также установка кода с помощью встроенного генератора случайных чисел. Для этого необходимо однократно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1).

На экране второго канала осциллографа наблюдать кодирующую последовательность, а на экране первого – синхронизирующие импульсы, совпадающие по времени с началом кодовой последовательности.

Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Исследование помехоустойчивости.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 (5 рис. 1.1) «Синхронизация».

Подключить второй контакт осциллографа к контакту X4 (15 рис 1.1).

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) или нажав кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), установить комбинацию, подлежащую передаче.

Последовательно устанавливать регулятор «Уровень шума» (14 рис. 1.1) в положения рисок «1-9» шкалы лимба. В каждом положении регулятора выполнить действия:

1. Нажать кнопку «Сброс» (4 рис. 1.1), при этом обнулятся показания статистических счетчиков Блока индикации (18 рис. 1.1).

2. При необходимости, последовательным нажатием кнопки «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый тип кода.

3. Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) Передача в цикле, при этом на экране осциллографа можно наблюдать передаваемый код, искаженный шумом Источника помех. На экране «Блок индикации» (18 рис. 1.1) наблюдать увеличение показаний статистических счетчиков «Передано» байт, «Получено» байт, и счетчика количества «Ошибок» бит. *(Следует обратить внимание, что счетчики «Передано» и принятых комбинаций отображают количество **байт** информации, а счетчик «Ошибок» - количество **бит**).*

4. Набрав достаточный объем статистических данных (например, 500 000 переданных байт), нажать кнопку «Стоп» (3 рис. 1.1). Показания счетчиков «Передано», «Получено» и «Ошибок» занести в таблицу.

Таблица 2.6.1 Оценка помехоустойчивости кода.

Положение регулятора «Уровень шума»				
Объем переданной информации (Показания счетчика «Передано»), $M_{\text{прд}}$ байт				
Объем принятой информации (Показания счетчика «Принято»), $M_{\text{прм}}$ байт				
Количество битовых ошибок (Показания счетчика «Ошибок»), $m_{\text{ош}}$ бит				
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}} = (m_{\text{ош}} / 8 \cdot M_{\text{прд}})$.				
Эффективное напряжение сигнала U_s (показания индикатора S), В				
Эффективное напряжение шума U_n (показания индикатора N), В				
Отношение мощности сигнала к мощности шума $h^2 = 10 \lg(U_s/U_n)^2$, дБ				

На основании данных таблицы, построить кривую помехоустойчивости кода как зависимость $P_{\text{ош}}$ от h^2 , при этом рекомендуется вероятность ошибок $P_{\text{ош}}$ откладывать в логарифмическом масштабе.

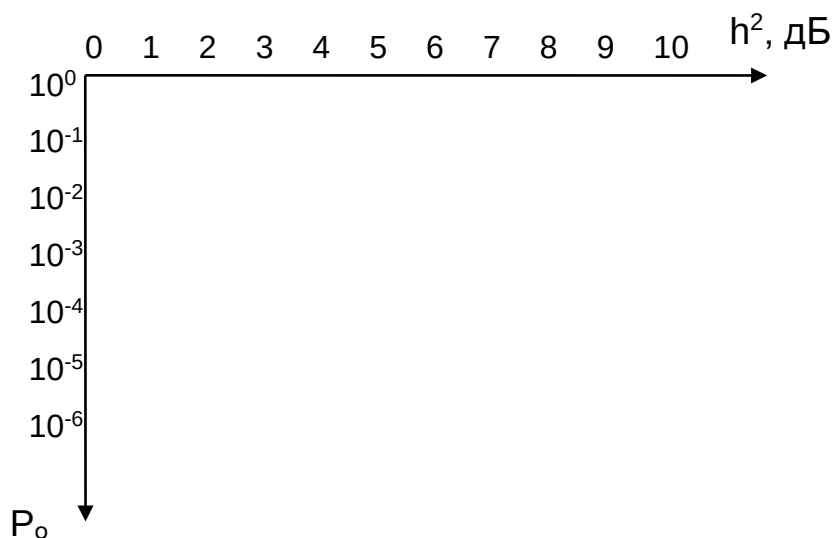


Рис. 2.6.2 Пример системы координат построения графиков помехоустойчивости кодов.

В процессе выполнения лабораторных работ следует для каждого кода исследовать осциллограммы кодирования и занести в отчет графики помехоустойчивости.

Тренировка навыков «ручного декодирования» передаваемой кодовой комбинации

Нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) вызвать контекстное меню установки параметров. Нажать кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка «С: Запуск генератора случайного числа».

Последовательно нажимая кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Постоянно», при этом в каждом последующем цикле будет повторяться одно и то же случайное число, сгенерированное в первом цикле.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Скрывать», при этом текущая кодовая комбинация не будет отображаться индикатором «Передаваемое число» (11 рис. 1.1).

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и выйти из контекстного меню.

Затем, кратковременно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), при этом будет проведена генерация случайного числа.

Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле».

На экране осциллографа наблюдать кодированную последовательность. Занести осциллограмму в отчет. По осциллограмме «декодировать» передаваемую кодовую комбинацию.

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и вызвать контекстное меню.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D»

клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Отображать», при этом на Индикаторе «Передаваемое число» (11 рис. 1.1) будет индицироваться переданная комбинация.

Убедиться в верности (или ошибочности) проведения операции ручного «декодирования».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

2.7. Лабораторная работа №7. «Исследование особенностей передачи информации методом Фазовой модуляции»

Необходимые теоретические сведения.

Фазовая модуляция двоичным сигналом формирует последовательность непрерывных радиоимпульсов с отличающейся начальной фазой (0 , $+\pi$). В отечественной литературе такой дискретный метод модуляции фазы нашел название «Фазовая манипуляция». Метод формирования Фазо - манипулированных сигналов представлен на рис. [8]

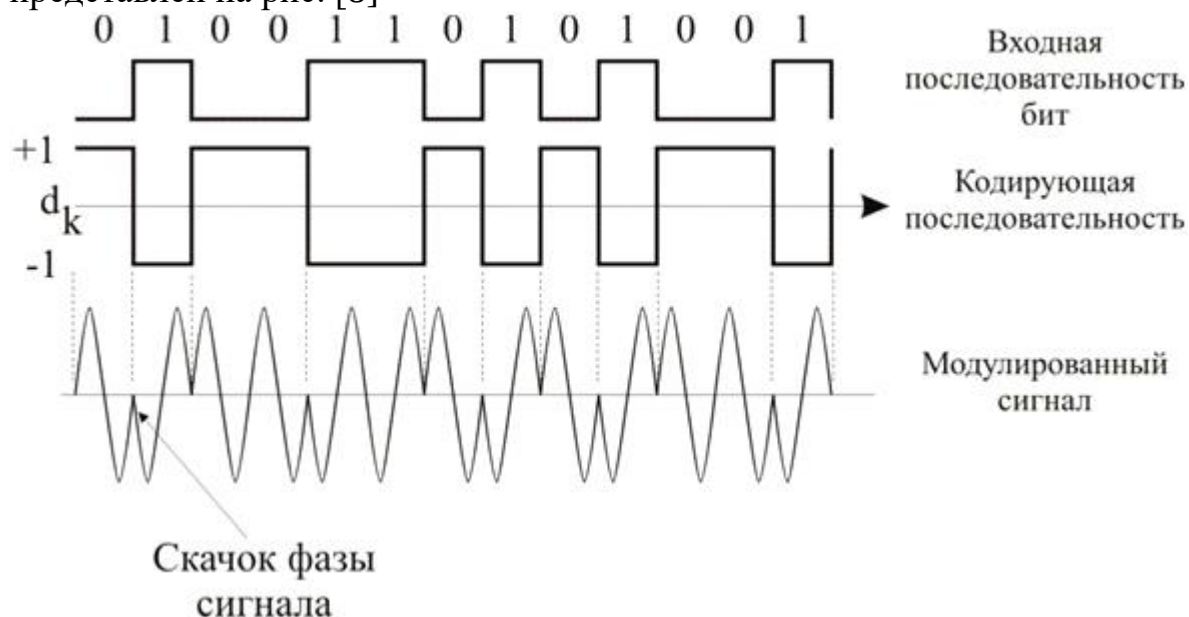


Рис. 2.7.1. Метод формирования Фазо - манипулированного сигнала [8].

Аппаратный метод манипуляции может быть реализован на базе линейного аналогового перемножителя, на первый вход которого подается непрерывный гармонический сигнал несущей, а на второй вход – управляющая двухполюсная кодирующая последовательность. В результате перемножения несущей с положительным импульсом кодирующей последовательности формируется радиоимпульс, совпадающий по фазе с несущей.

При умножении несущей на кодирующий импульс отрицательной полярности происходит «инверсия» несущей, в результате чего формируется радиоимпульс сдвинутый по фазе относительно несущей на $+\pi$ радиан.

Фазоманипулированный сигнал относится к классу сигналов с активной паузой и формирует ансамбль из двух противоположных сигналов. В специальной литературе [7] отмечается сигналы с фазовой манипуляцией обладают наилучшей помехоустойчивостью по сравнению с другими методами кодирования двоичной информации.

Выполнение лабораторных заданий

Исследование методов кодирования.

Включить лабораторный стенд.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1).

Подключить второй канал осциллографа к коаксиальному контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока.

Установить режим синхронизации от первого канала осциллографа.

(Прим. ред. В случае применения одноканального осциллографа, подключить вход внешней синхронизации осциллографа к контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1), а канал входа осциллографа контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока. Установить режим внешней синхронизации осциллографа. Далее нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис.1.1, вызвать меню настроек. Выбрать пункт «А: Синхронизация», затем последовательным нажатием кнопки «А» клавиатуры (10 рис. 1.1). установить режим «Импульс», при котором синхронизация будет осуществляется импульсом, определяющего начало передачи, выбранной восьмибитной комбинации.

Нажать кнопку Сброс (4 рис. 1.1) при этом произойдет обнуление всех оперативных триггеров кодирования.

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) установить шестнадцатеричный код, подлежащий передаче (например, последнее число в номере зачетной книжки студента). Возможна также установка кода с помощью встроенного генератора случайных чисел. Для этого необходимо однократно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1).

На экране второго канала осциллографа наблюдать кодирующую последовательность, а на экране первого – синхронизирующие импульсы, совпадающие по времени с началом кодовой последовательности.

Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Исследование помехоустойчивости.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 (5 рис. 1.1) «Синхронизация».

Подключить второй контакт осциллографа к контакту X4 (15 рис 1.1).

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) или нажав кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), установить комбинацию, подлежащую передаче.

Последовательно устанавливая регулятор «Уровень шума» (14 рис. 1.1) в положения рисок «1-9» шкалы лимба. В каждом положении регулятора выполнить действия:

1. Нажать кнопку «Сброс» (4 рис. 1.1), при этом обнулятся показания статистических счетчиков Блока индикации (18 рис. 1.1).

2. При необходимости, последовательным нажатием кнопки «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый тип кода.

3. Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) Передача в цикле, при этом на экране осциллографа можно наблюдать передаваемый код, искаженный шумом Источника помех. На экране «Блок индикации» (18 рис. 1.1) наблюдать увеличение показаний статистических счетчиков «Передано» байт, «Получено» байт, и счетчика количества «Ошибок» бит. (Следует обратить внимание, что счетчики «Передано» и принятых комбинаций отображают количество **байт** информации, а счетчик «Ошибок» - количество **бит**).

4. Набрав достаточный объем статистических данных (например, 500 000 переданных байт), нажать кнопку «Стоп» (3 рис. 1.1). Показания счетчиков «Передано», «Получено» и «Ошибок» занести в таблицу.

Таблица 2.7.1 Оценка помехоустойчивости кода.

Положение регулятора «Уровень шума»				
Объем переданной информации (Показания счетчика «Передано»), $M_{\text{прд}}$ байт				
Объем принятой информации (Показания счетчика «Принято»), $M_{\text{прм}}$ байт				
Количество битовых ошибок (Показания счетчика «Ошибок»), $m_{\text{ош}}$ бит				
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}} = (m_{\text{ош}} / 8 \cdot M_{\text{прд}})$.				
Эффективное напряжение сигнала U_s (показания индикатора S), В				
Эффективное напряжение шума U_n (показания индикатора N), В				
Отношение мощности сигнала к мощности шума $h^2 = 10 \lg(U_s/U_n)^2$, дБ				

На основании данных таблицы, построить кривую помехоустойчивости кода как зависимость $P_{\text{ош}}$ от h^2 , при этом рекомендуется вероятность ошибок $P_{\text{ош}}$ откладывать в логарифмическом масштабе.

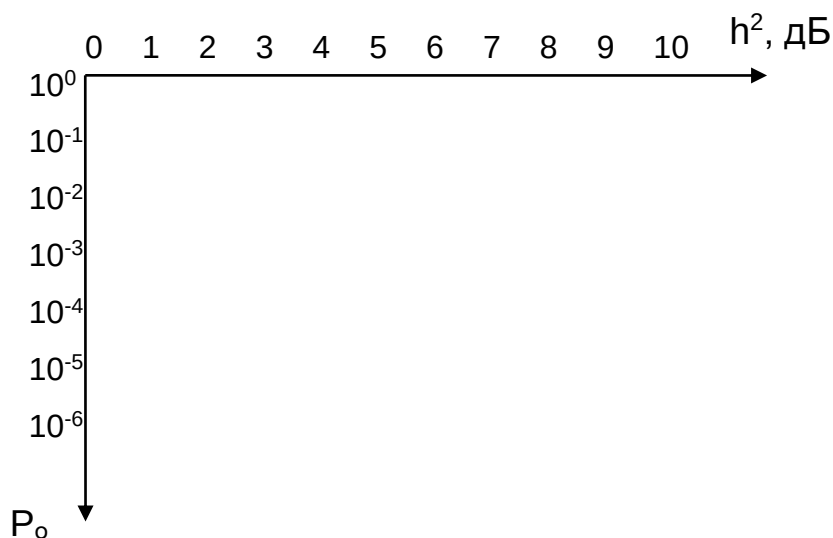


Рис. 2.7.2 Пример системы координат построения графиков помехоустойчивости кодов.

В процессе выполнения лабораторных работ следует для каждого кода исследовать осциллограммы кодирования и занести в отчет графики помехоустойчивости.

Тренировка навыков «ручного декодирования» передаваемой кодовой комбинации

Нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) вызвать контекстное меню установки параметров. Нажать кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка «С: Запуск генератора случайного числа».

Последовательно нажимая кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Постоянно», при этом в каждом последующем цикле будет повторяться одно и тоже случайное число, сгенерированное в первом цикле.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Скрывать», при этом текущая кодовая комбинация не будет отображаться индикатором «Передаваемое число» (11 рис. 1.1).

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и выйти из контекстного меню.

Затем, кратковременно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), при этом будет проведена генерация случайного числа.

Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле».

На экране осциллографа наблюдать кодированную последовательность. Занести осциллограмму в отчет. По осциллограмме «декодировать» передаваемую кодовую комбинацию.

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и вызвать контекстное меню.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D»

клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Отображать», при этом на Индикаторе «Передаваемое число» (11 рис. 1.1) будет индицироваться переданная комбинация.

Убедиться в верности (или ошибочности) проведения операции ручного «декодирования».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

8. Лабораторная работа №8. «Исследование особенностей квадратурной модуляции QAM».

Необходимые теоретические сведения[1].

Квадратурная амплитудная модуляция относится к классу многопозиционных сигналов. Известно, что с увеличением объема ансамбля сигналов увеличивается количество информации (энтропия сообщения) несущего каждым сигналом ансамбля. Так, классическая фазовая манипуляция $(0, \pi)$ составляет ансамбль двух сигналов, таким образом максимальное количество информации в расчете на один принятый сигнал составляет 1 бит (BPSK рис. 2.8. 1а). Объем ансамбля можно увеличить, например, снизив количество градаций фазы между сигналами ансамбля, например, до $\pi/2$ (QPSK рис. 2.8.1 б), где каждый сигнал потенциально может нести уже 2 бита информации, или же снизить количество градаций фазы до $\pi/4$ (8- PSK рис. 2.8.1.в), когда один принятый сигнал может нести до 3 бит информации. К сожалению, дальнейшее снижение градаций фазы между ансамблем сигнала приводит к резкому возрастанию взаимной корреляции и, как следствие, к снижению помехоустойчивости [7].

Одним из путей увеличения объема ансамбля сигналов является комбинация амплитудной и фазовой манипуляции, среди которых наибольшее распространение получила Квадратурная Амплитудная Модуляция (КАМ) или в иностранных источниках QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). При таком методе модуляции изменяется как фаза, так и амплитуда сигнала, что позволяет увеличить количество кодируемых бит и при этом существенно повысить помехоустойчивость. В настоящее время используются способы модуляции, в которых число кодируемых на одном бодовом интервале информационных бит может достигать 8...9, а число позиций сигнала в сигнальном пространстве - 256...512. Так на рисунке 2.8.1 представлен вид «фазового созвездия» сигнала 16 КАМ.

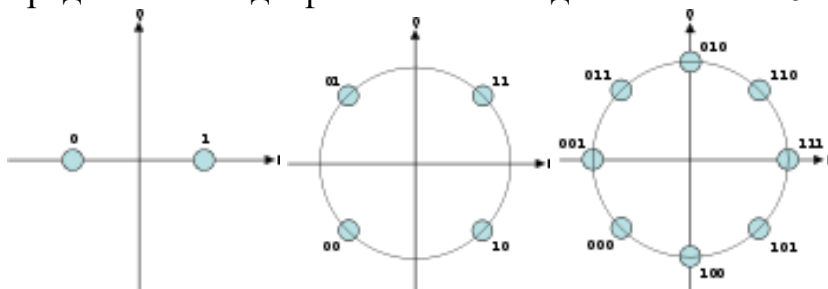


Рис. 2.8.1 Методы многократной фазовой модуляции [1]: а - Двоичная фазовая манипуляция (BPSK); б) -

Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK); в) - Восьмеричная фазовая манипуляция (8-PSK)

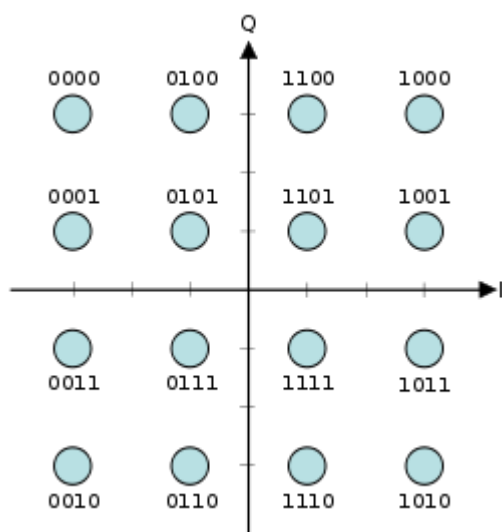


Рис. 2.8.2. Диаграмма структуры сигнала 16 QAM [1].

Широкое распространение ансамблей QAM – сигналов в первую очередь зиждется на относительной простоте их генерации. Так, согласно [1] сигнал амплитудно-фазовой манипуляции можно формировать методом взвешенного суммирования (с переменными коэффициентами) суммы ортогональных гармонических сигналов:

$$S(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t),$$

где $I(t)$ и $Q(t)$ – сигналы весовых коэффициентов (информационные сигналы).

Выполнение лабораторных заданий

Исследование методов кодирования.

Включить лабораторный стенд.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1).

Подключить второй канал осциллографа к коаксиальному контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока.

Установить режим синхронизации от первого канала осциллографа.

(Прим. ред. В случае применения одноканального осциллографа, подключить вход внешней синхронизации осциллографа к контакту X1 «Синхронизация» (5 рис. 1.1), а канал входа осциллографа контакту X2 (12 рис. 1.1) выхода Передающего блока. Установить режим внешней синхронизации осциллографа. Далее нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис.1.1, вызвать меню настроек. Выбрать пункт «А: Синхронизация», затем последовательным нажатием кнопки «А» клавиатуры (10 рис. 1.1). установить режим «Импульс», при котором синхронизация будет осуществляется импульсом, определяющего начало передачи. выбранной восьмибитной комбинации.

Нажать кнопку Сброс (4 рис. 1.1) при этом произойдет обнуление всех оперативных триггеров кодирования.

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) установить шестнадцатеричный код, подлежащий передаче (например, последнее число в номере зачетной книжки студента). Возможна также установка кода с помощью встроенного генератора случайных чисел. Для этого необходимо однократно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1).

На экране второго канала осциллографа наблюдать кодирующую последовательность, а на экране первого – синхронизирующие импульсы, совпадающие по времени с началом кодовой последовательности.

Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Исследование помехоустойчивости.

Подключить первый канал осциллографа к коаксиальному контакту X1 (5 рис. 1.1) «Синхронизация».

Подключить второй контакт осциллографа к контакту X4 (15 рис. 1.1).

Последовательно нажимая кнопку «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый вид кодирования.

С помощью клавиатуры (10 рис. 1.1) или нажав кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), установить комбинацию, подлежащую передаче.

Последовательно устанавливая регулятор «Уровень шума» (14 рис. 1.1) в положения рисок «1-9» шкалы лимба. В каждом положении регулятора выполнить действия:

1. Нажать кнопку «Сброс» (4 рис. 1.1), при этом обнулятся показания статистических счетчиков Блока индикации (18 рис. 1.1).

2. При необходимости, последовательным нажатием кнопки «Тип кодирования» (7 рис. 1.1), установить требуемый тип кода.

3. Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) Передача в цикле, при этом на экране осциллографа можно наблюдать передаваемый код, искаженный шумом Источника помех. На экране «Блок индикации» (18 рис. 1.1) наблюдать увеличение показаний статистических счетчиков «Передано» байт, «Получено» байт, и счетчика количества «Ошибок» бит. *(Следует обратить внимание, что счетчики «Передано» и принятых комбинаций отображают количество **байт** информации, а счетчик «Ошибок» - количество **бит**).*

4. Набрав достаточный объем статистических данных (например. 500 000 переданных байт), нажать кнопку «Стоп» (3 рис. 1.1). Показания счетчиков «Передано», «Получено» и «Ошибок» занести в таблицу.

Таблица 2.8.1 Оценка помехоустойчивости кода.

Положение регулятора «Уровень шума»				
Объем переданной информации (Показания счетчика «Передано»), M _{прд} байт				

Объем принятой информации (Показания счетчика «Принято»), $M_{\text{прм}}$ байт				
Количество битовых ошибок (Показания счетчика «Ошибок»), $m_{\text{ош}}$ бит				
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}} = (m_{\text{ош}} / 8 \cdot M_{\text{прд}})$.				
Эффективное напряжение сигнала U_s (показания индикатора S), В				
Эффективное напряжение шума U_n (показания индикатора N), В				
Отношение мощности сигнала к мощности шума $h^2 = 10 \lg(U_s/U_n)^2$, дБ				

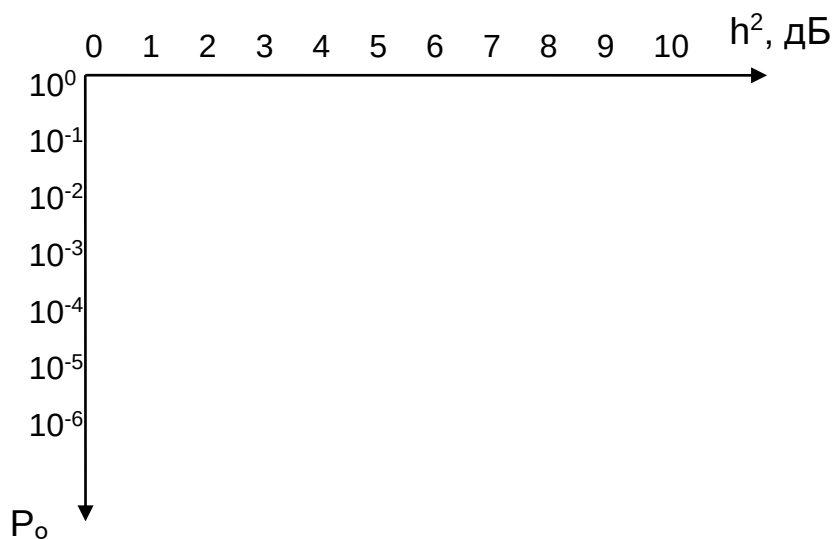


Рис. 2.8.3 Пример системы координат построения графиков помехоустойчивости кодов.

В процессе выполнения лабораторных работ следует для каждого кода исследовать осциллограммы кодирования и занести в отчет графики помехоустойчивости.

Тренировка навыков «ручного декодирования» передаваемой кодовой комбинации

Нажав кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) вызвать контекстное меню установки параметров. Нажать кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка «С: Запуск генератора случайного числа».

Последовательно нажимая кнопку «С» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Постоянно», при этом в каждом последующем цикле будет повторяться одно и тоже случайное число, сгенерированное в первом цикле.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Скрывать», при этом текущая кодовая комбинация не будет отображаться индикатором «Передаваемое число» (11 рис. 1.1).

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и выйти из контекстного меню.

Затем, кратковременно нажать кнопку «Случайное число» (6 рис. 1.1), при этом будет проведена генерация случайного числа.

Нажать кнопку «Старт» (2 рис. 1.1) «Передача в цикле».

На экране осциллографа наблюдать кодированную последовательность. Занести осциллограмму в отчет. По осциллограмме «декодировать» передаваемую кодовую комбинацию.

Нажать кнопку «#» клавиатуры (10 рис. 1.1) и вызвать контекстное меню.

Нажать кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1), при этом будет активна строка меню «D: режим отображения информации». Последовательно нажимая кнопку «D» клавиатуры (10 рис. 1.1) установить режим «Отображать», при этом на Индикаторе «Передаваемое число» (11 рис. 1.1) будет индицироваться переданная комбинация. Убедиться в верности (или ошибочности) проведения операции ручного «декодирования».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

Список цитируемых источников

1. Электронный ресурс <http://en.wikipedia.org/wiki/Non-return-to-zero>
2. Электронный ресурс http://www.ecolan.ru/imp_info/introduction/magest/
3. Электронный ресурс http://wiki.metrotek.spb.ru/wiki/CV_HDB3_&_AMI
4. Электронный ресурс <http://lib.znate.ru/docs/index-61151.html?page=8>
5. Электронный ресурс <http://www.protocols.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=73>
6. Электронный ресурс http://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=41016
7. Электронный ресурс <http://log-in.ru/books/fink-l-m-teoriya-peredachi-diskretnykh-soobsheniya-1-fink-l-m-tekhnicheskie/>
8. Электронный ресурс <http://compress.ru/article.aspx?id=11265&part=31ext1>