

Основы теории радиосистем передачи информации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ № 1, 2
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Воронеж 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

**Основы теории радиосистем
передачи информации**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ № 1, 2
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Воронеж 2022

УДК 721:53(073)

ББК 38.113я7-5

Составитель канд. техн. наук Д. В. Журавлёв

Основы теории радиосистем передачи информации: методические указания к выполнению лабораторных работ № 1, 2 для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Д. В. Журавлёв. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022.– 27 с.

В методических указаниях изучаются вопросы передачи дискретных данных и моделирования каналов с шумами. Тематика лабораторных работ соответствует рабочей программе дисциплины «Основы теории радиосистем передачи информации».

Предназначены для студентов 5 курса специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ОTRСПИ_УМД_ЛР1, 2.pdf.

Ил. 15. Табл. 5. Библиогр.: 4 назв.

УДК 721:53(073)

ББК 38.113я7-5

Рецензент – А. В. Останков, д-р техн. наук, профессор
кафедры радиотехники ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания к выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с программой курса «Основы теории радиосистем передачи информации» для специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Лабораторные работы посвящены изучению методов передачи данных и воздействия различных видов шумов на сигнал. Моделирование осуществляется в программном обеспечении для математических расчетов Mathcad.

Каждая лабораторная работа описывается в отдельном разделе. Сначала излагаются краткие теоретические сведения, затем описывается задание и ход выполнения работы. В конце раздела размещены контрольные вопросы, предназначенные для подготовки к защите лабораторной работы.

Методические указания содержат авторские иллюстрации.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ ДАННЫХ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Цель работы: изучение методов цифрового и логического кодирования информации.

Задачи работы:

- изучить методы кодирования дискретных данных на физическом уровне;
- изучить методы логического кодирования информации;
- научиться определять результирующую последовательность исходных бит методами избыточных кодов 4В/5В и скремблирования.

1.1. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1.1. МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ДАННЫХ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ

В вычислительной технике для представления данных используется двоичный код. Внутри компьютера единицам и нулям данных соответствуют дискретные электрические сигналы. Представление данных в виде электрических или оптических сигналов называется кодированием.

Существуют различные способы кодирования двоичных цифр 1 и 0, например, потенциальный способ, при котором единице соответствует один уровень напряжения, а нулю – другой, или импульсный способ, когда для представления цифр используются импульсы различной или одной полярности.

Аналогичные подходы могут быть использованы для кодирования данных и при передаче их между компьютерами по линиям связи. Однако эти линии связи отличаются по своим электрическим характеристикам от тех,

которые существуют внутри компьютера. Главное отличие внешних линий связи от внутренних состоит в их гораздо большей протяженности, а также в том, что они проходят вне экранированного корпуса по пространствам, зачастую подверженным воздействию сильных электромагнитных помех. Все это приводит к большим искажениям прямоугольных импульсов (например, «заваливанию» фронтов), чем внутри компьютера. Поэтому для надежного распознавания импульсов на приемном конце линии связи при передаче данных внутри и вне компьютера не всегда можно использовать одни и те же скорости и способы кодирования.

В вычислительных сетях применяют как потенциальное, так и импульсное кодирование дискретных данных, а также специфический способ представления данных, который никогда не используется внутри компьютера, – модуляцию. При модуляции дискретная информация представляется синусоидальным сигналом той частоты, которую хорошо передает имеющаяся линия связи. Аналоговая модуляция применяется для передачи дискретных данных по каналам связи с узкой полосой частот, таким является канал тональной частоты общественных телефонных сетей. Этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, из чего следует, что полоса пропускания составляет 3100 Гц. Строгое ограничение полосы пропускания тонального канала связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях. Модуляцию (на пункте отправки) и демодуляцию (на пункте приема) выполняют модемы (отсюда и произошло название «модем»). При цифровом кодировании применяются различные потенциальные и импульсные коды. Рассмотрим их подробнее.

1.1.2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КОД БЕЗ ВОЗВРАЩЕНИЯ К НУЛЮ NRZ, NON RETURN TO ZERO

В потенциальных кодах для представления единиц и нулей используются разные значения потенциала сигнала: один уровень потенциала показывает единицу, другой – ноль (рис. 1).

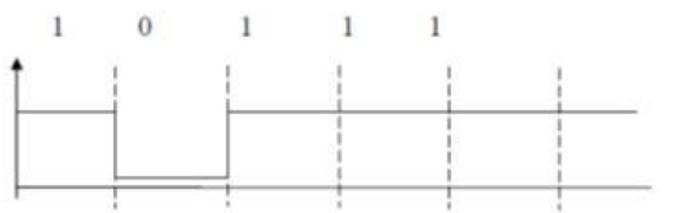


Рис. 1. Пример потенциального кода NRZ

Этот метод хорошо работает внутри компьютера, но для передачи информации по сети возникает ряд трудностей. При высоких скоростях обмена данными и длинных последовательностях единиц или нулей небольшое рассогласование тактовых частот генераторов приемника и передатчика может привести к ошибке в целый такт и, соответственно, к считыванию

некорректного значения бита. Для использования потенциального кодирования в компьютерных сетях этот метод был улучшен, новые методы потенциального кодирования исключают длительные последовательности единиц. Проблему с длинными последовательностями нулей решает логическое кодирование информации.

1.1.3. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КОД С ИНВЕРСИЕЙ ПРИ ЕДИНИЦЕ NRZI

При передаче нуля он передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (не меняет его), а при передаче единицы инвертирует его на противоположный (рис. 2).

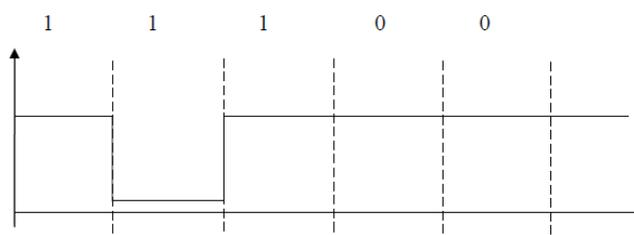


Рис. 2. Пример потенциального кода с инверсией при единице NRZI

1.1.4. МЕТОД БИПОЛЯРНОГО КОДИРОВАНИЯ С АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ИНВЕРСИЕЙ АМІ

В этом методе используются три уровня потенциала – положительный, нулевой и отрицательный. Потенциал каждой единицы противоположен потенциалу предыдущей (рис. 3).

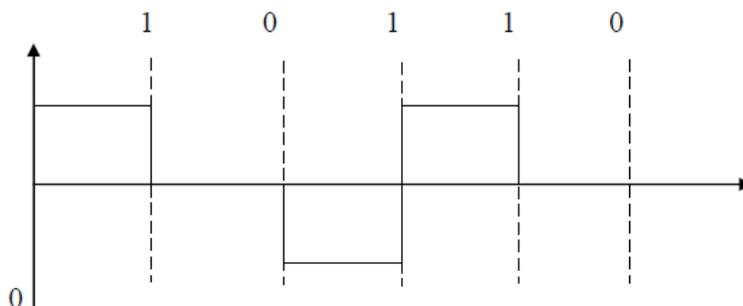


Рис. 3. Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией АМІ

1.1.5. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КОД 2В1Q

Потенциальный код с четырьмя уровнями сигнала. Каждые два бита информации (2В) передаются за один такт сигналом, имеющим четыре состояния (1Q): 00 – соответствует потенциал $-2,5$ В; 01 = $-0,833$ В; 11 = $+0,833$ В; 10 = $+2,5$ В.

1.1.6. БИПОЛЯРНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ КОД

Единица передается импульсом одной полярности, а ноль – другой. Каждый импульс длится половину такта (рис. 4).

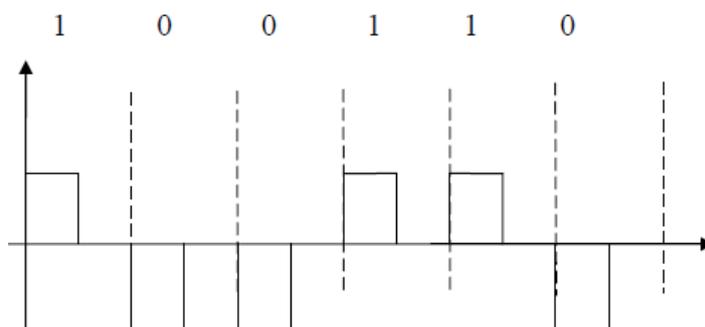


Рис. 4. Биполярный импульсный код

1.1.7. МАНЧЕСТЕРСКИЙ КОД

Для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала, который происходит в середине каждого такта (рис. 5). Единица кодируется перепадом от низкого потенциала к высокому, а ноль – наоборот. В начале каждого такта может происходить служебный перепад сигнала.

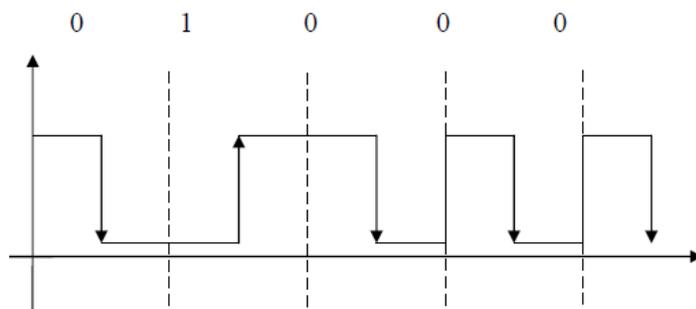


Рис. 5. Манчестерский код

1.1.8. ЛОГИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ

Логическое кодирование информации используется для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI или 2Q1B. Оно решает проблему с длинными последовательностями нулей. Логическое кодирование заменяет длинные последовательности нулей, приводящие к постоянному потенциалу, вкраплениями единиц. Улучшенные потенциальные коды обладают более узким спектром, чем импульсные, поэтому они находят применение в высокоскоростных технологиях, таких, как FDDI, FastEthernet, GigabitEthernet.

Два основных метода логического кодирования – это избыточные коды (основаны на введении избыточных бит в исходные данные) и скремблирование (перемешивание данных) исходных данных.

Метод избыточных кодов основан на разбиении исходной последовательности бит на порции, которые часто называют символами. Затем каждый исходный символ заменяется на новый, который имеет большее количество бит, чем исходный. Например, логический код 4B/5B, используемый в технологиях FDDI и FastEthernet, заменяет исходные символы длиной в 4 бита на символы длиной в 5 бит.

Символы кода 4В/5В длиной 5 бит гарантируют, что при любом их сочетании на линии не могут встретиться более трех нулей подряд. Использование таблицы перекодировки является очень простой операцией, поэтому этот подход не усложняет сетевые адаптеры и интерфейсные блоки коммутаторов и маршрутизаторов.

Для обеспечения заданной пропускной способности линии передатчик, использующий избыточный код, должен работать с повышенной тактовой частотой. Для передачи кодов 4В/5В со скоростью 100 Мбит/с передатчик должен работать с тактовой частотой 125 МГц. При этом спектр сигнала на линии расширяется, но, несмотря на это, он оказывается уже спектра манчестерского кода, что оправдывает этап логического кодирования.

Скрэмблирование (перемешивание данных скремблером) – это второй способ логического кодирования. Методы скрэмблирования заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода.

Скремблер может реализовать следующее соотношение:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}, \quad (1)$$

где B_i – двоичная цифра результирующего кода, полученная на i -м такте работы скремблера;

A_i – двоичная цифра исходного кода, поступающая на i -м такте на вход скремблера;

\oplus – операция исключающего ИЛИ (сложение по модулю 1).

Дескремблер восстанавливает исходную последовательность на основании обратного соотношения:

$$C_i = B_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = (A_i \otimes B_{i-3} \oplus B_{i-5}) \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = A_i. \quad (2)$$

Различные алгоритмы скрэмблирования отличаются количеством слагаемых, дающих цифру результирующего кода, и сдвигом между слагаемыми.

1.2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ

Изучить методы кодирования дискретной информации на физическом уровне. Выявить проблемы, возникающие при потенциальном кодировании и способы их разрешения.

Изучить методы логического кодирования информации:

- Избыточные коды (метод основан на введении избыточных бит в исходные данные);
- Скремблирование исходных данных (метод основан на перемешивании данных по определенному алгоритму).

По индивидуальным заданиям (приведены ниже) определить результирующую последовательность исходных бит кода сначала методом скрэмблирования, затем методом избыточных кодов 4В/5В, сравнить полученные результаты.

Индивидуальные задания:

- 1) 1000 1000 0000 0100 1100; 7) 11101110111110100000;

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 2) 1111 1001 0000 0000 0101; | 8) 10010000000001011111; |
| 3) 1001 1001 0100 0000 0000; | 9) 11111111000000000011; |
| 4) 11000000 0000 1010 1000; | 10) 10101010110000000010; |
| 5) 10000011011111100000; | 11) 11110100000000011011; |
| 6) 10100101000011111000; | 12) 11101111110000000101. |

1.3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Сначала необходимо изучить теоретический материал по теме лабораторной работы. Далее используя табл. 1, определить результирующую последовательность исходных бит, согласно своему варианту задания. Варианты заданий выдаются преподавателем.

Для решения задачи необходимо исходный код, например: 1101 0000 0001 0010, разбить на символы по четыре бита и заменить соответствующими символами результирующего кода из пяти бит: 11011 11110 10100 10100. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

В данном примере результирующий код не содержит более двух нулей подряд, что подтверждает эффективность метода избыточных кодов.

Таблица 1

Таблица соответствия исходных и результирующих кодов 4В/5В

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

Далее для той же последовательности исходных бит применить метод скремблирования, используя соотношение (1).

Для исходной последовательности 1101000000010010 скремблер даст следующий результирующий код:

$$B_1 = A_1 = 1$$

$$B_2 = A_2 = 1$$

$$B_3 = A_3 = 0$$

$$B_4 = A_4 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_5 = A_5 \oplus B_2 = 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_8 = A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_9 = A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{10} = A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_{11} = \dots\dots\dots$$

Таким образом, на выходе скрэмблера появится последовательность 1100111110011101, которая содержит не более двух нулей подряд. Для исходной последовательности бит 1101000000010010 оба метода логического кодирования показали хорошие результаты. Но следует отметить, что предложенный метод скрэмблирования не дает таких гарантий, как метод избыточных кодов. И в некоторых случаях скрэмблирование оказывается неэффективным методом логического кодирования.

1.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы цифрового кодирования используются в компьютерных сетях?
2. Для чего необходимо логическое кодирование?
3. Какие методы логического кодирования вам известны?
4. В чем заключается метод скремблирования?
5. Как выполняется кодирование методом избыточных кодов?
6. Какой из известных вам методов наиболее эффективен?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ С ШУМАМИ

Цель работы:

- получить навыки моделирования каналов с шумами в среде математического моделирования Mathcad;
- исследовать проблему прохождения импульсов в зашумленных каналах связи.

Задачи работы:

1. Реализовать модели каналов с помехами;
 - 1.1 с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ);
 - 1.2 с импульсной (сосредоточенной) помехой;
 2. Изучить с помощью созданных моделей влияние шумов на проходящий через данный канал сигнал;
 - 2.1 Изучить влияние показателя сигнал/шум на форму сигнала.
- Проанализировать полученные результаты;
- 2.2 Сделать выводы.

2.1. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Канал связи можно определить, как совокупность средств, предназначенных для передачи сигналов (сообщений) между различными точками системы связи. Под "средством" понимают и технические устройства, и линию связи — физическую среду, в которой распространяется сигнал между пунктами связи. Канал связи можно представить как последовательное соединение устройств (блоков), выполняющих различные функции в общей системе связи. Измерительные сигналы редко присутствуют в средствах измерений в чистом виде. Практически всегда на них накладываются помехи.

Под помехой понимается сигнал, однородный с измерительным и действующий одновременно с ним. Его присутствие приводит к появлению погрешности измерения. Классификация помех возможна по ряду признаков. По месту возникновения помехи делятся на внешние и внутренние. Причиной возникновения внешних помех являются природные процессы и работа различных технических устройств. Последние создают так называемые индустриальные помехи. Внутренние помехи обусловлены процессами, происходящими при работе самого средства измерений. В зависимости от вида включения источников помехи и измерительного сигнала в эквивалентных схемах средств измерений различают помехи общего вида (синфазные) и помехи нормального (последовательные) вида.

Источник помехи общего вида включен между общими точками (корпусами) схем объекта измерений и средства измерений (СИ). Источник помехи нормального вида включен последовательно во входную цепь СИ. По виду частотного спектра помехи делятся на белый и розовый шумы.

Спектральные составляющие белого шума равномерно распределены по всему частотному диапазону. У розового шума спектральная мощность, приходящаяся на декаду частоты, постоянна.

Стационарный шум — шум, который характеризуется постоянством средних параметров: интенсивности (мощности), распределения интенсивности по спектру (спектральная плотность), автокорреляционной функции. Практически наблюдаемый шум, возникающий в результате действия многих отдельных независимых источников (например, шум толпы людей, моря, производственных станков, шум вихревого воздушного потока, шум на выходе радиоприёмника и др.), является квазистационарным. Классической моделью стационарного шума является белый шум.

Белый шум — стационарный шум, спектральные составляющие которого равномерно распределены по всему диапазону задействованных частот. Название получил от белого света, содержащего электромагнитные волны частот всего видимого диапазона электромагнитного излучения. В природе и технике «чисто» белый шум (то есть белый шум, имеющий одинаковую спектральную мощность на всех частотах) не встречается (ввиду того, что такой сигнал имел бы бесконечную мощность), однако под категорию белых

шумов попадают любые шумы, спектральная плотность которых одинакова (или слабо отличается) в рассматриваемом диапазоне частот.

Белый шум находит множество применений в физике и технике. Одно из них — в архитектурной акустике. Для того, чтобы скрыть нежелательные шумы во внутренних пространствах зданий, генерируется постоянный белый шум низкой амплитуды. В электронной музыке белый шум используется как в качестве одного из инструментов музыкальной аранжировки, так и в качестве входного сигнала для специальных фильтров, формирующих шумовые сигналы других типов. Широко применяется также при синтезировании аудиосигналов, обычно для воссоздания звучания ударных инструментов, таких как тарелки. Белый шум используется для измерения частотных характеристик различных линейных динамических систем, таких как усилители, электронные фильтры, дискретные системы управления и т. д. При подаче на вход такой системы белого шума, на выходе получаем сигнал, являющийся откликом системы на приложенное воздействие. Ввиду того, что амплитудно-фазовая частотная характеристика линейной системы есть отношение преобразования Фурье выходного сигнала к преобразованию Фурье входного сигнала, получить эту характеристику математически достаточно просто, причём для всех частот, для которых входной сигнал можно считать белым шумом.

Во многих генераторах случайных чисел (как программных, так и аппаратных) белый шум используется для генерирования случайных чисел и случайных последовательностей.

Аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ, англ. AWGN) — вид мешающего воздействия в канале передачи информации. Характеризуется равномерной спектральной плотностью, нормально распределённым значением амплитуды и аддитивным способом воздействия на сигнал.

Наиболее распространённый вид шума, используемый для расчёта и моделирования систем радиосвязи. Термин «аддитивный» означает, что данный вид шума суммируется с полезным сигналом. В противоположность аддитивному, можно указать мультипликативный шум — шум, перемножающийся с сигналом. Нормальное распределение, также называемое гауссовским распределением — это распределение вероятностей, которое задается функцией плотности распределения.

По основным свойствам помехи можно разделить на три вида: флуктуационные, сосредоточенные и импульсные. Флуктуационные помехи представляют собой хаотическое, беспорядочное изменение во времени сигнала, однородного с измеряемым, в каком-либо месте средства измерений. Такие помехи часто называют шумом. Пример — внутренние шумы измерительных электронных усилителей.

Различают следующие виды шумов:

Тепловой (шум Джонсона), по своим свойствам близкий к белому шуму. Тепловой шум генерируется любым резистором, находящимся в измерительной цепи. Значение его состоит в том, что он устанавливает нижнюю границу

напряжения шумов любого измерительного преобразователя, имеющего выходное сопротивление;

Дробовый, обусловленный движением электронов — дискретных носителей электрического тока. Он имеет равномерный спектр, т.е. является белым;

Фликкер-шум. К данному виду относят шумы, у которых спектральная мощность на декаду частоты примерно постоянна, т.е. розовые шумы, например шум постоянного резистора, пропорциональный протекающему через него току, шум тока базы транзистора и др.

Влияние флуктуационной помехи уменьшается при усреднении суммы измерительного сигнала и помехи. Максимальное уменьшение влияния флуктуационной помехи на результат измерения возможно в том случае, когда спектральная плотность помехи постоянна в пределах полосы пропускания средства измерений, т.е. помеха имеет характер белого шума.

В каналах связи помимо флуктуационных помех, хорошо аппроксимируемых гауссовским шумом, часто встречаются аддитивные помехи другого характера. В радиоканалах, особенно средневолновых и коротковолновых, доминирующую роль играют сосредоточенные и импульсные помехи. Сосредоточенными помехами называют такие аддитивные помехи, у которых основная часть мощности сосредоточена в отдельных полосах частот, меньших или сравнимых с $1/T$, где T — длительность элемента сигнала. Они возникают чаще всего в радиоканалах в результате воздействия на приемное устройство сигналов, принадлежащих посторонним каналам связи. В этом случае сосредоточенные помехи называют также взаимными. Импульсными помехами называют такие аддитивные помехи, которые отличны от нуля лишь на отдельных интервалах времени, существенно меньших T разделенных значительно более длительными интервалами, свободными от помехи. Импульсная помеха является регулярной или случайной последовательностью мешающих импульсов.

Источники импульсных помех в радиоканалах весьма многообразны. К ним относятся атмосферные разряды, промышленные установки, в частности система зажигания в двигателях внутреннего сгорания, медицинские и бытовые электроприборы и т. д. Сосредоточенные и импульсные помехи наблюдаются и в других каналах связи, например, в кабельных, гидроакустических и т. п.

Радиоканалы в диапазонах длинных, средних и коротких волн всегда подвержены воздействию большого числа сосредоточенных помех. Это является следствием условий распространения радиоволн этих диапазонов, приводящих к тому, что всякое излучение создает заметную напряженность поля на значительных расстояниях от передатчика. Большая часть этих помех имеет относительно небольшую интенсивность. Складываясь, они образуют общий шумовой фон, который по своим характеристикам мало отличается от нормального белого шума.

С точки зрения механизма воздействия сосредоточенных помех на прием сигнала их можно разделить на три вида:

а) помехи, спектр которых сосредоточен в полосе частот, полностью или частично совпадающей с полосой частот, занимаемой сигналом;

б) помехи, спектр которых лежит вне полосы частот сигнала, их часто называют помехами «по соседним каналам»;

в) помехи, которые на входе приемного устройства имеют спектр, лежащий вне полосы частот сигнала, но в результате нелинейных преобразований в приемном устройстве образуют составляющие, попадающие в ту же полосу частот, что и сигнал.

Уменьшение возможностей такого нелинейного воздействия помех побочных каналов приема является одной из основных задач при разработке радиоприемных устройств.

2.2. ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Необходимо реализовать модели каналов с помехами:

а) с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ);

б) с импульсной (сосредоточенной) помехой.

Изучить с помощью созданных моделей влияние шумов на проходящий через данный канал сигнал. Изучить влияние показателя сигнал/шум на форму сигнала. С помощью пакета программ Mathcad построить графики согласно индивидуальным вариантам и параметрам (см. таблицы 2 – 5).

Таблица 2

Индивидуальные варианты для периодических импульсов прямоугольной и пилообразной формы

Прямоугольные и пилообразные сигналы					
№	signal(t)		№	signal(t)	
	Прямоугольные и пилообразные импульсы			Прямоугольные и пилообразные импульсы	
1	$\begin{cases} 1 & \text{if } \text{mod}(t, T1) \leq \frac{r}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$		11	$r \cdot \text{sign}\left(\cos\left(\frac{4t}{T1}\right)\right)$	
2	$\begin{cases} 2 & \text{if } 0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{r}{0.3} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$		12	$\left(\frac{r}{T1}\right) \cdot \left(t - T1 \cdot \text{floor}\left(\frac{t}{T1}\right)\right)$	
3	$\begin{cases} 3 & \text{if } \text{mod}(t, T1) \leq \frac{\pi}{2} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$		13	$\begin{cases} -2 & \text{if } 0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{r}{4} \\ 2 & \text{otherwise} \end{cases}$	
4	$r \cdot \text{sign}\left(\frac{\sin(3t)}{T1}\right)$		14	$\left(\frac{r}{2}\right) \cdot \left(t - T1 \cdot \text{floor}\left(\frac{t}{T1}\right)\right)$	
5	$\frac{r}{1.2} \cdot \text{sign}\left(\frac{\cos(2t)}{T1}\right)$		15	$\begin{cases} 2 & \text{if } 0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{r}{6} \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases}$	

Прямоугольные и пилообразные сигналы					
№	signal(t)		№	signal(t)	
	Прямоугольные и пилообразные импульсы			Прямоугольные и пилообразные импульсы	
6	$\begin{cases} -1 & \text{if } 0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{r}{3} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$		16	$\left(\frac{r \cdot \pi}{2}\right) \cdot \left(t - T1 \cdot \text{floor}\left(\frac{t}{T1}\right)\right)$	
7	$\begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{r}{5} \\ 2 & \text{otherwise} \end{cases}$		17	$\begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{\pi}{7} \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases}$	
8	$\frac{r}{T1} \cdot \text{sign}(\sin(t))$		18	$\left(\frac{r \cdot \pi}{\sqrt{8}}\right) \cdot \left(t - T1 \cdot \text{floor}\left(\frac{t}{T1}\right)\right)$	
9	$r \cdot \text{sign}\left(\frac{\tan(2.5t)}{T1}\right)$		19	$\frac{r}{2.4} \cdot \text{sign}\left(\frac{\sin(5t)}{T1}\right)$	
10	$r \cdot \text{sign}\left(\frac{\cos\left(e^{\sin(t)}\right)}{T1}\right)$		20	$\frac{r}{3} \cdot \text{sign}\left(\frac{\tan(1.5t)}{T1}\right)$	

Таблица 3

Индивидуальные параметры для каналов с аддитивным белым гауссовским шумом и импульсной сосредоточенной помехой

№	Длительность импульса	Период сигнала	Частота дискретизации	Частота сигнала	Период дискретизации		Дискретное время
	r	T1	Fd	Fs	Td	k	tds
1	0.7	1.5	$\frac{1}{r} \cdot 17$	$\frac{1}{T1}$	$\frac{1}{Fd}$	k=1024 k=0..K-1	td _k := 0 + k·Td
2	1	4	$\frac{1}{r} \cdot 19$				
3	1	2.5	$\frac{1}{r} \cdot 15$				
4	1.2	2	$F \frac{1}{r} \cdot 16$				
5	2.5	3.5	$\frac{1}{r} \cdot 14$				
6	1.3	2.2	$\frac{1}{r} \cdot 13$				
7	1.9	1.6	$\frac{1}{r} \cdot 12$				

№	Длительность импульса	Период сигнала	Частота дискретизации	Частота сигнала	Период дискретизации		Дискретное время
	r	$T1$	Fd	Fs	Td	k	tds
8	2.3	1.4	$\frac{1}{r} \cdot 11$	$\frac{1}{T1}$	$\frac{1}{Fd}$	$k=1024$ $k=0..K-1$	$td_k := 0 + k \cdot Td$
9	2.2	4	$\frac{1}{r} \cdot 20$				
10	3	0.4	$\frac{1}{r} \cdot 21$				
11	2	1.8	$\frac{1}{r} \cdot 22$				
12	3	2	$\frac{1}{r} \cdot 23$				
13	2	1.30	$\frac{1}{r} \cdot 24$				
14	2.7	1.7	$\frac{1}{r} \cdot 25$				
15	3	2.50	$\frac{1}{r} \cdot 26$				
16	2	1.2	$\frac{1}{r} \cdot 27$				
17	3.6	2.70	$\frac{1}{r} \cdot 28$				
18	1.5	1	$\frac{1}{r} \cdot 29$				
19	2.2	1.2	$\frac{1}{r} \cdot 30$				
20	4	3.1	$\frac{1}{r} \cdot 31$				

Таблица 4

Индивидуальные параметры для каналов с аддитивным белым гауссовским шумом

Канал с аддитивным белым гауссовским шумом						
№	Средняя мощность сигнала		Гауссовский шум с разными мощностями			
	Значение mp	mp	σ_{b1}	σ_{l1}	σ_{m1}	μ
1	0,733	$mp := \frac{1}{T1} \int_0^{T1} \text{signal}(t)^2 dt$	0,2	0,3	0,8	0
2	3,333		0,33	0,63	1,3	
3	6,025		0,33	0,7	2,5	
4	1,44		0,18	0,63	1,2	
5	4,34		0,41	1,2	2	
6	1		0,13	0,26	1,4	
7	3,287		0,216	0,37	1,6	
8	2,699		0,201	0,36	1,4	
9	4,84		0,24	0,45	2	
10	9		0,31	0,68	2,9	
11	4		0,2	1	2,1	
12	3		0,21	0,9	1,8	
13	4		2	0,19	0,8	
14	1,756		0,12	0,5	1,7	
15	13,6		0,32	0,67	2,1	
16	4,737		0,36	0,9	2,3	
17	6,426		0,21	0,8	2,6	
18	0,925		0,3	0,4	2,4	
19	0,84		0,104	0,3	0,9	
20	1,778		0,105	0,21	1,4	

Таблица 5

Индивидуальные параметры для каналов с импульсной (сосредоточенной) помехой

Канал с импульсной (сосредоточенной) помехой				
Частота	Период дискретизации	Сосредоточенная помеха - синусоида		
f_{imp}	T_{in}	ImpNoise_bl(t)	ImpNoise_l(t)	ImpNoise_ml(t)
$\frac{1,1}{T_1}$	$\frac{1}{f_{imp}}$	$0,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,5 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,5}{T_1}$		$0,47 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,7}{T_1}$		$0,47 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2}{T_1}$		$0,26 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,68 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,9}{T_1}$		$0,59 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,6 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,8}{T_1}$		$0,18 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,36 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,69 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,6}{T_1}$		$0,304 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,51 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{3}{T_1}$		$0,29 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,51 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{4}{T_1}$		$0,34 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,6 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{0,5}{T_1}$		$0,44 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$4,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2,1}{T_1}$		$0,28 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,38 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$4 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2,5}{T_1}$		$0,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,33 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,8 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2,7}{T_1}$		$0,27 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,77 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{3,2}{T_1}$		$0,17 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,7 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,77 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{3,7}{T_1}$		$0,46 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,75 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{3,4}{T_1}$		$0,5 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$3,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2,2}{T_1}$		$0,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$3,7 \sin(2\pi f_{imp} t)$

Канал с импульсной (сосредоточенной) помехой				
Частота	Период дискретизации	Сосредоточенная помеха - синусоида		
f_{imp}	T_{in}	ImpNoise_bl(t)	ImpNoise_l(t)	ImpNoise_ml(t)
$\frac{1}{T1}$	$\frac{1}{f_{imp}}$	$0,39\sin(2\pi f_{imp}t)$	$0,57\sin(2\pi f_{imp}t)$	$3 \sin(2\pi f_{imp}t)$
$\frac{1,4}{T1}$		$0,147\sin(2\pi f_{imp}t)$	$0,42\sin(2\pi f_{imp}t)$	$1,3\sin(2\pi f_{imp}t)$
$\frac{1,9}{T1}$		$0,149\sin(2\pi f_{imp}t)$	$0,3\sin(2\pi f_{imp}t)$	$1,9\sin(2\pi f_{imp}t)$

2.3. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ВАРИАНТОВ РАБОТЫ

Необходимо реализовать модель канала с аддитивным белым гауссовским шумом и канал с (сосредоточенной) импульсной помехой.

2.3.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА С АДДИТИВНЫМ ГАУССОВСКИМ ШУМОМ

В программе MathCad строим график модели канала с аддитивным белым Гауссовским шумом (АБГШ), для этого задав функцию:

$$\text{signal}(t) := \begin{cases} 1, & \text{if } 0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

На рис. 6 представлен полученный график сигнала. Далее задаём спектр сигнала (прямоугольные импульсы), используя БПФ (функция fft в MathCad), и строим его график (рис. 7).

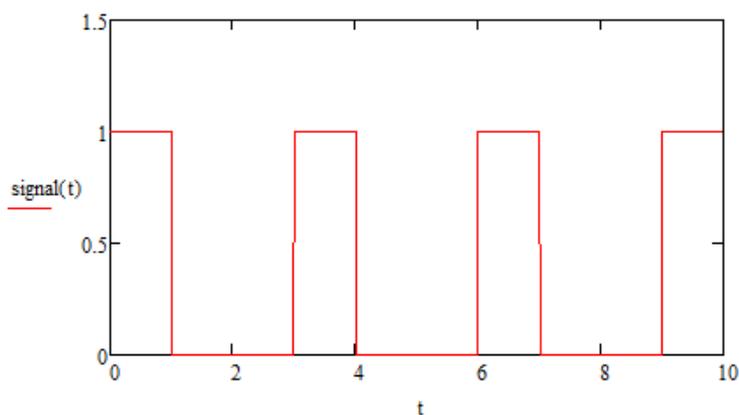


Рис. 6. График исходного сигнала

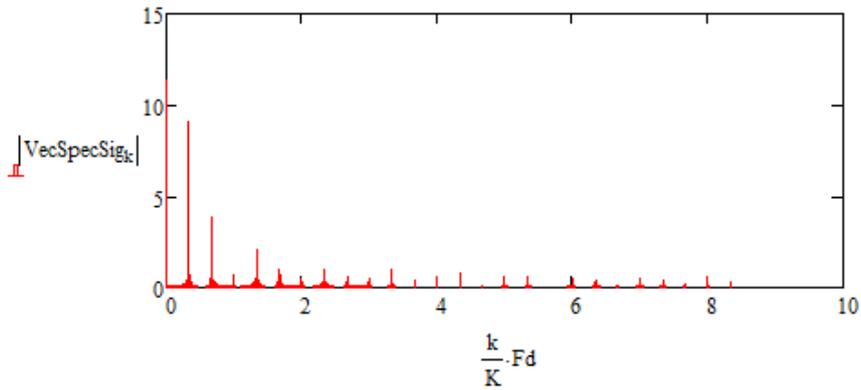


Рис. 7. Спектр сигнала

Далее нетрудно рассчитать среднюю мощность сигнала, вычислив интеграл от нашего сигнала в квадрате по времени:

$$mp := \frac{1}{T1} \cdot \int_0^{T1} \text{signal}(t)^2 dt. \quad (5)$$

Далее задаём белый гауссовский шум с разными средними мощностями и отношения сигнал/шум (рис. 8).

$$\text{sn_b1} := \frac{mp}{\sigma_b1^2}; \text{sn_m1} := \frac{mp}{\sigma_m1^2}; \text{sn_l} := \frac{mp}{\sigma_l^2} \quad (6)$$

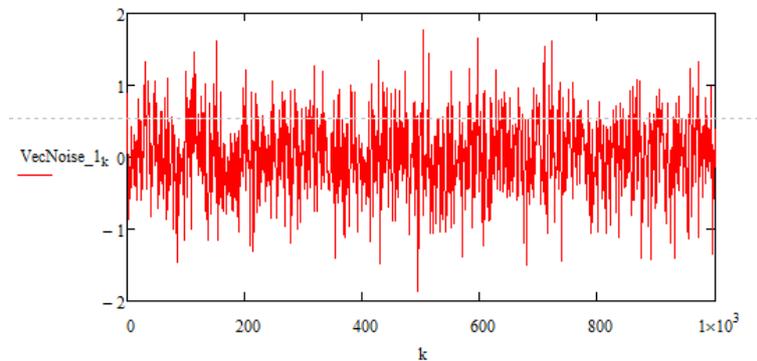


Рис. 8. График заданного Гауссовского шума

С помощью функции fft задаём спектр Гауссовского шума (рис. 9).

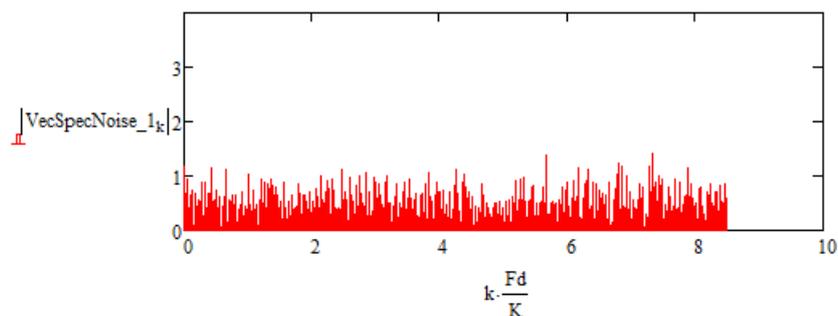
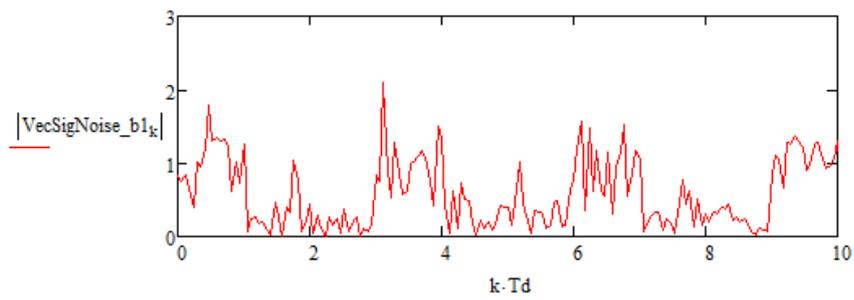


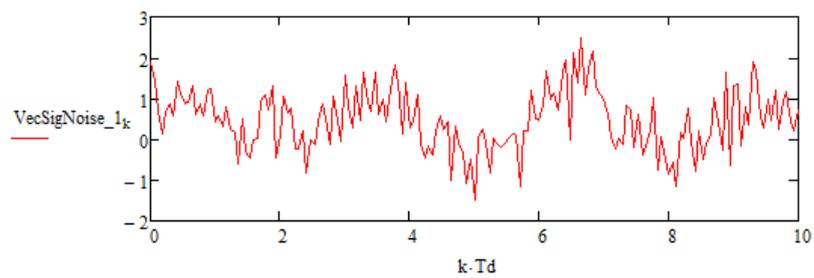
Рис. 9. Спектр Гауссовского шума

Далее строим графики для сигнала при разном отношении сигнал шум (рис. 10).



2) При отношении сигнал/шум примерно равным 1 $sn_1 = 1.001$

$$\text{VecSigNoise_1} := \text{VecSig} + \text{VecNoise_1}$$



3) При отношении сигнал/шум меньше 1 $sn_m1 = 0.302$

$$\text{VecSigNoise_m1} := \text{VecSig} + \text{VecNoise_m1}$$

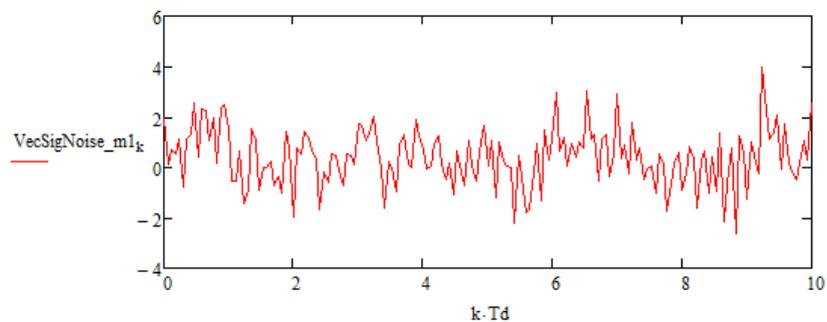


Рис. 10. Вид сигнала при разном отношении сигнал шум

Далее строим спектры полученных сигналов (рис. 11 и рис. 12).

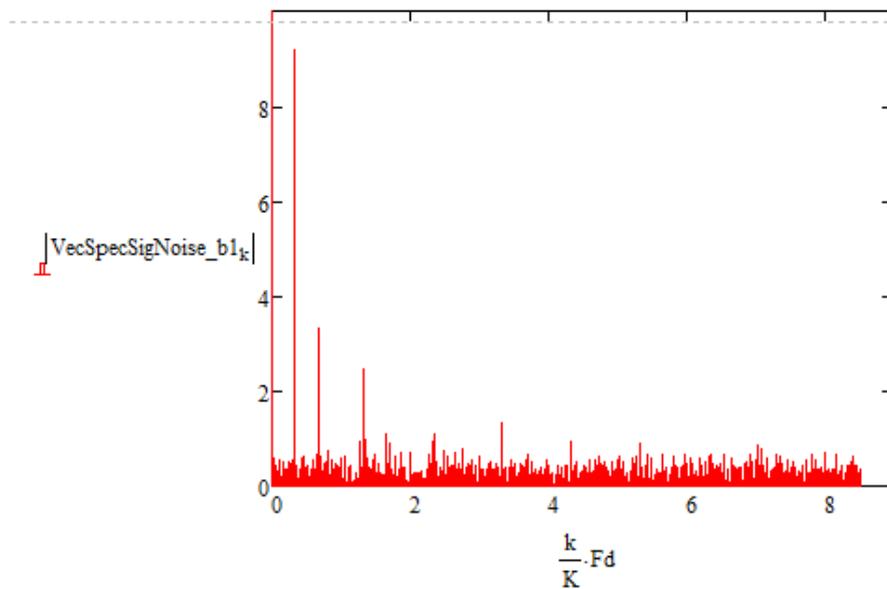
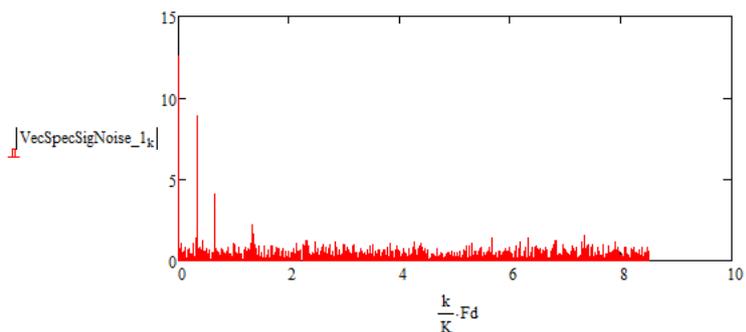


Рис.11. Спектр сигнала на выходе канала с АГБШ при отношении сигнал/шум больше 1

2) При отношении сигнал/шум примерно равным 1 $sn_1 = 1.001$

`VecSpecSigNoise_1 := fft(VecSigNoise_1)`



3) При отношении сигнал/шум меньше 1 $sn_m1 = 0.302$

`VecSpecSigNoise_m1 := fft(VecSigNoise_m1)`

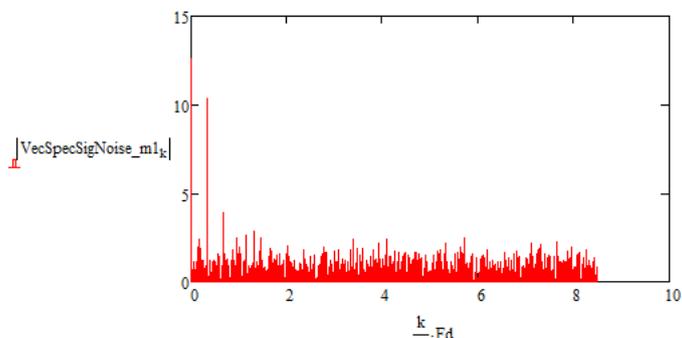


Рис.12. Спектр сигнала на выходе канала с АБГШ при отношении сигнал/шум равным 1 и меньше 1 соответственно

2.3.2 МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА С ИМПУЛЬСНОЙ (СОСРЕДОТОЧЕННОЙ) ПОМЕХОЙ

Задаём импульсную (сосредоточенную) помеху с разной мощностью. В качестве сосредоточенной помехи используем синусоиду. Средняя мощность помехи вычисляется по формулам:

$$mpin_m1 := \frac{1}{T_{in}} \cdot \int_0^{T_{in}} ImpNoise_m1(t)^2 dt, \quad (7)$$

$$mpin_1 := \frac{1}{T_{in}} \cdot \int_0^{T_{in}} ImpNoise_1(t)^2 dt, \quad (8)$$

$$mpin_b1 := \frac{1}{T_{in}} \cdot \int_0^{T_{in}} ImpNoise_b1(t)^2 dt. \quad (9)$$

Далее вычисляем отношение сигнал/шум по формулам:

$$snip_b1 := \frac{mp}{mpin_b1}, \quad (10)$$

$$snip_1 := \frac{mp}{mpin_1}, \quad (11)$$

$$snip_m1 := \frac{mp}{mpin_m1}. \quad (12)$$

Вид сигнала и помехи с различными значениями отношения сигнал/шум показан на рис. 13.

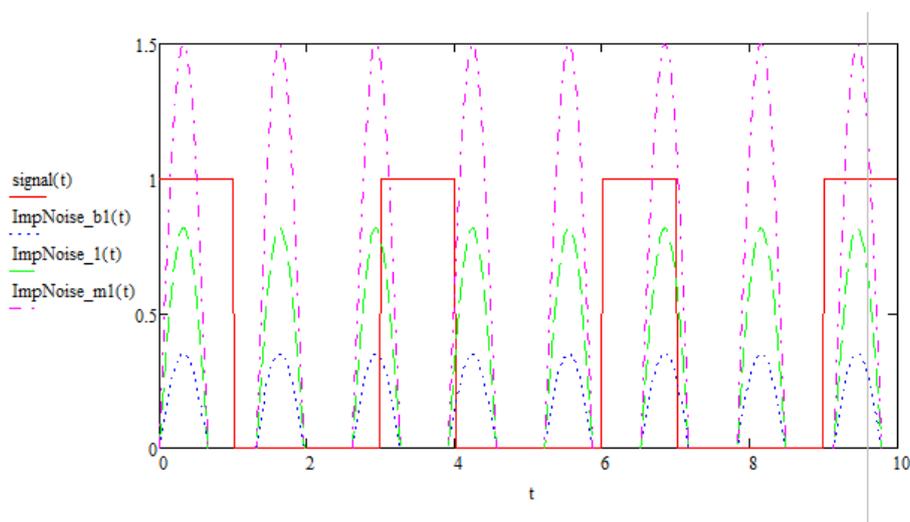


Рис. 13. Вид сигнала и помехи с различными значениями отношения сигнал/шум

На рис. 14 показаны сигналы на выходе из канала с импульсной помехой с различным значением отношения сигнал/шум.

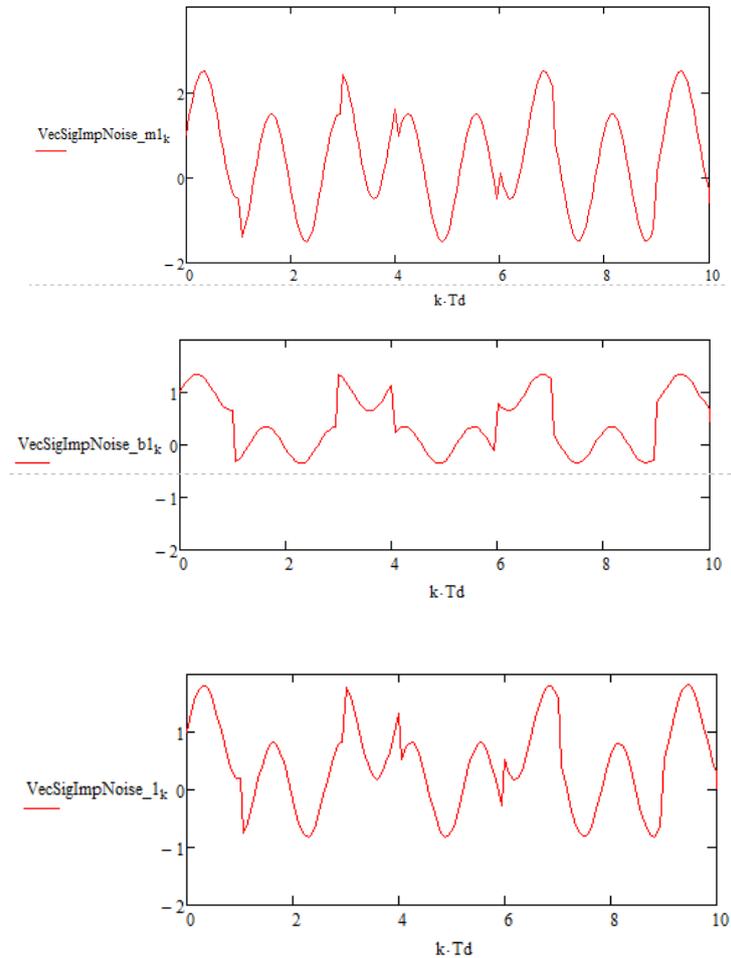


Рис. 14. Сигнал на выходе из канала с импульсной помехой с различным значением отношения сигнал/шум

На рис. 15 показаны спектры на выходе канала с импульсной помехой при разном отношении сигнал/шум.

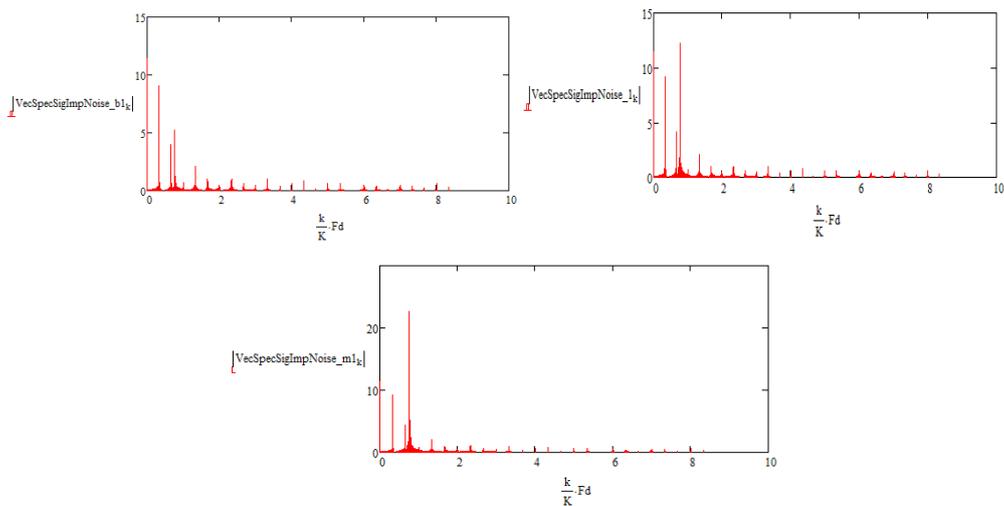


Рис. 15. Спектр на выходе канала с импульсной помехой при разном отношении сигнал/шум

2.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Что такое помеха?
2. Виды помех?
3. Виды аддитивных помех?
4. Виды мультипликативных помех?
5. Дайте определение аддитивному белому гауссовскому шуму.
6. Дайте определение сосредоточенной помехи.
7. Назовите известные вам источники импульсных помех.
8. Дайте определение импульсной помехи.
9. Радиоканалы каких диапазонов волн чаще других подвержены воздействию сосредоточенных помех?
10. Какие виды сосредоточенных помех существуют в зависимости от воздействия на прием сигнала?
11. Чем характеризуется АБГШ?
12. Что представляет собой канал связи?
13. Что такое стационарный шум?
14. Что такое белый шум?
15. Каково применение белого шума?
16. Каким образом классифицируются помехи по месту возникновения?
17. Каким образом классифицируются помехи в зависимости от вида включения источников помехи и измерительного сигнала в эквивалентных схемах средств измерений?
18. Каким образом классифицируются помехи в зависимости от вида частотного спектра?
19. Что такое флуктуационная помеха?
20. Что такое шум Джонсона?
21. Что такое дробовый шум?
22. Что такое фликер-шум?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные методические указания направлены на изучение принципов работы каналов передачи информации. Определения степени влияния на качество передачи различными типами помех. При необходимости углубить теоретические знания по рассмотренным темам следует обратиться к библиографическому списку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокис. Дж. Цифровая связь / пер. с англ. ред. Д. Д. Кловский – М.: Радио и связь, 2000.
2. Васильев К. К. Служивый М.Н. Математическое моделирование систем связи. / К. К. Васильев – Ульяновск, УЛГТУ, 2007.
3. Дьяконов В. П. Simulink 4. Специальный справочник. / Дьяконов В. П. – СПб.: Питер, 2002.
4. Дьяконов В.П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. / Дьяконов В. П. – СПб.: Питер, 2002.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ ДАННЫХ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ.....	3
1.1. Общие теоретические сведения.....	3
1.1.1. Методы кодирования дискретных данных на физическом уровне	3
1.1.2. Потенциальный код без возвращения к нулю NRZ, Non Return to Zero	4
1.1.3. Потенциальный код с инверсией при единице NRZI.....	5
1.1.4. Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией АМІ	5
1.1.5. Потенциальный код 2В1Q.....	5
1.1.6. Биполярный импульсный код.....	5
1.1.7. Манчестерский код	6
1.1.8. Логическое кодирование	6
1.2. Задания для выполнения	7
1.3. Выполнение работы	8
1.4. Контрольные вопросы	9
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ С ШУМАМИ	9
2.1. Общие теоретические сведения.....	10
2.2. Задачи работы.....	13
2.3. Примеры выполнения вариантов работы	18
2.3.1. Моделирование канала с аддитивным Гауссовским шумом.....	18
2.3.2. Моделирование канала с импульсной (сосредоточенной) помехой.....	22
2.4. Контрольные вопросы к работе	24
Заключение.....	24
Библиографический список.....	25

Основы теории радиосистем передачи информации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*К выполнению лабораторных работ №1, 2
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Составитель
Журавлёв Дмитрий Владимирович

В авторской редакции

Подписано к изданию 15.09.2022.
Уч.-изд. л. 1,4.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84