

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова»
(КБГУ)

Институт электроники, робототехники и искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП


Р.Ш. Тешев
«12» февраля 2026г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Б1.В.08.05 «ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАДИОСИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ
ИНФОРМАЦИИ»

Специальность
11.05.01 Радиозлектронные системы передачи информации

Специализация
Радиозлектронные системы передачи информации

Квалификация (степень) выпускника
Инженер

Нальчик 2025

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1

Код и формулировка компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУН)
<p>ПК-4. Способен к проведению диагностики, оценки качества и надежности в процессе эксплуатации радиоэлектронных систем и комплексов.</p>	<p>ПК-4.1. Способен учитывать специфику и особенности различного назначения радиоэлектронных систем и комплексов при оценке эффективности работы функциональных узлов и частей радиоэлектронной аппаратуры.</p> <p>ПК-4.2 Способен контролировать проведение диагностики и определять категории оценки качества на надежность, долговечность и безотказность работы радиоэлектронных систем и их составных частей.</p>	<p>Знать специфику и особенности различного назначения радиоэлектронных систем и комплексов при оценке эффективности работы функциональных узлов и частей радиоэлектронной аппаратуры.</p> <p>Уметь контролировать проведение диагностики радиоэлектронных систем и их составных частей.</p> <p>Владеть методами оценки качества на надежность, долговечность и безотказность работы радиоэлектронных систем и их составных частей. Исследований.</p>

2. Шкала оценивания планируемых результатов обучения

2.1 Текущий контроль

Оценка результатов текущей успеваемости в рамках контрольных точек осуществляется посредством 70-балльной системы, при этом за добросовестное посещение занятий обучающийся может набрать до 10 баллов, за качественное прохождение оценочных мероприятий - до 60 баллов.

Карта распределения рейтинговых баллов в рамках текущего контроля

Таблица 2

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Лабораторная работа №1 «Методы передачи дискретных данных на физическом уровне».	Письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами индивидуально.	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - задание выполнено верно, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов защиты; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
2	Лабораторная работа №2 «Моделирование каналов с шумами».	Письменная	Работа включает в себя три задания, выполняется	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы;

			студентами индивидуально		3÷2 - задание выполнено верно, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов защиты; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
3	Лабораторная работа №3 «Фазосдвигающий генератор».	Письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами индивидуально	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - задание выполнено верно, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов защиты; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
4	Лабораторная работа №4 «Амплитудная модуляция».	Письменная	Работа включает в себя три задания, выполняется студентами индивидуально	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - задание выполнено верно, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов защиты; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
5	Лабораторная работа №5 «Амплитудная демодуляция».	Письменная	Работа включает в себя четыре задания, выполняется студентами индивидуально	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - задание выполнено верно, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов защиты; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или выполнены неверно
6	Лабораторная работа №6 «Исследование сверточного кодирования и порогового декодирования».	Письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами индивидуально	4	4 - все задания выполнены верно и даны правильные ответы к контрольным вопросам защиты, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - задание выполнено верно, даны правильные ответы на большую часть контрольных вопросов защиты; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или выполнены неверно

7	Тесты по 1 контрольной точке	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	9	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
8	Тесты по 2 контрольной точке	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	9	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
9	Коллоквиум по 1 контрольной точке	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	9	9 – ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 7÷8 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 4÷6- ответы недостаточно полные; 1÷3 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные
10	Коллоквиум по 2 контрольной точке	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	9	9 – ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 7÷8 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 4÷6- ответы недостаточно полные; 1÷3 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные
	Итого:			60	

Карта распределения баллов в рамках промежуточной аттестации

Таблица 3

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Зачетная работа	Устный опрос	Из перечня вопросов к зачету, задаются 3 вопроса на которые студент должен	Теоретические вопросы - 30 баллов	Критерии оценивания теоретических вопросов: 25 до 30 баллов: Глубокий уровень владения материалом, точное знание ключевых концепций, способность анализировать и интерпретировать факты, грамотно строить высказывания, привести

			ответить устно.		<p>примеры, свободно оперировать терминологией.</p> <p>От 19 до 24 баллов: Базовое владение предметом, умение последовательно раскрыть основную мысль вопроса, грамотное применение терминов, наличие существенных элементов анализа и обобщений, но недостаточное развертывание или отдельные неточности.</p> <p>От 13 до 18 баллов: Частичное освоение материала, попытка объяснить основной смысл вопроса, использование некоторых базовых терминов, но отсутствие глубокого понимания сложных моментов, логические недостатки изложения, отсутствие выводов.</p> <p>От 7 до 12 баллов: Ошибочные представления, слабо выраженное владение основными понятиями, значительные затруднения в интерпретации вопросов, существенные фактологические ошибки, отсутствие обоснованных выводов и примеров.</p> <p>От 0 до 6 баллов: Полное непонимание темы, неспособность сформулировать адекватный ответ, грубые ошибки, несоответствие требованиям задания.</p>
--	--	--	-----------------	--	--

3. Оценочные материалы для текущего и промежуточного контроля успеваемости

3.1. Оценочные материалы для текущего контроля

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).

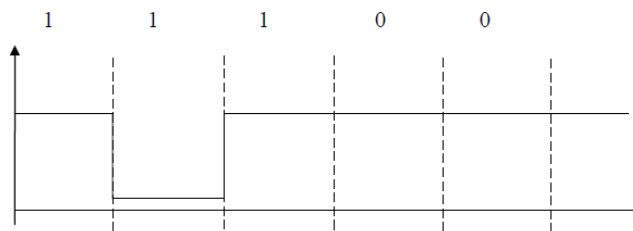


Рис. 2. Пример потенциального кода с инверсией при единице NRZI

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).

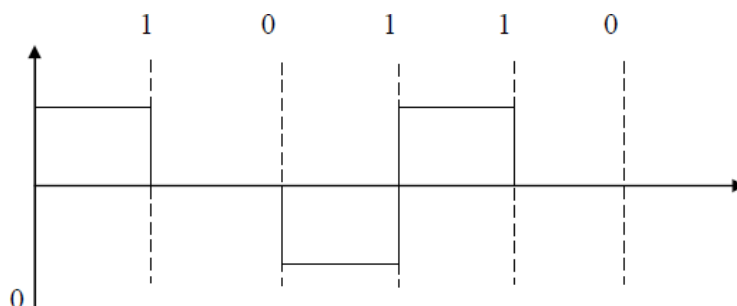


Рис. 3. Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией АМІ

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 $-2,5\text{ В}$; 01 = $-0,833\text{ В}$; 11 = $+0,833\text{ В}$; 10 = $+2,5\text{ В}$.

1.1.6. БИПОЛЯРНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ КОД

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

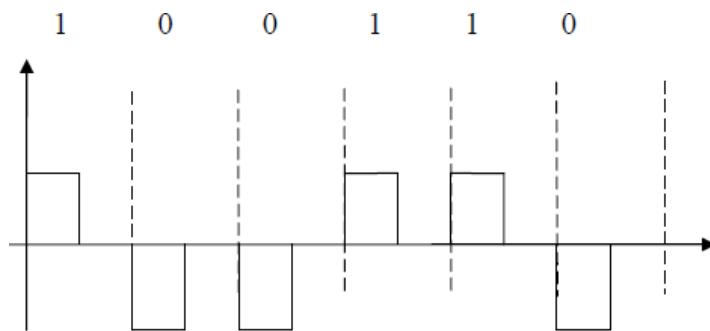


Рис. 4. Биполярный импульсный код

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.

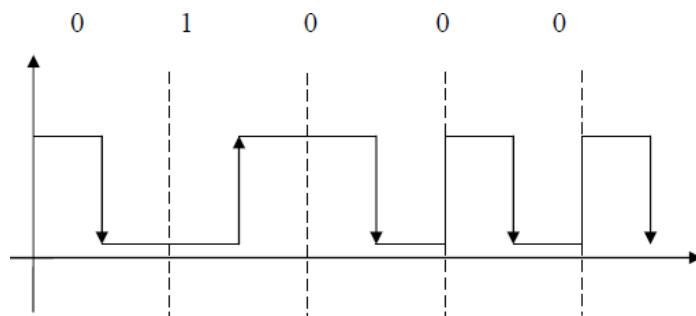


Рис. 5. Манчестерский код

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:

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

где V_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;

– операция исключающего ИЛИ (сложение по модулю 1).

Дескремблер восстанавливает исходную последовательность на основании обратного соотношения:

$$C_i = V_i \oplus V_{i-3} \oplus V_{i-5} = (A_i \oplus V_{i-3} \oplus V_{i-5}) \oplus V_{i-3} \oplus V_{i-5} = A_i. \quad (2)$$

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 лабора- торной работы. Далее используя табл. 1, определить результирующую после- довательность исходных бит, согласно своему варианту задания. Варианты за- даний 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:

$$B_1 = A_1 = 1$$

$$B_2 = A_2 = 1$$

$$B_3 = A_3 = 0$$

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

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

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

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 шум.

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	$\begin{cases} 1 & \text{if } \text{mod}(t, T1) \leq \frac{\pi \cdot r}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$		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	$\begin{cases} 3 & \text{if } \text{mod}(t, T1) \leq \frac{\pi r}{2} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$		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	-1	$0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{r}{3}$	16	$\left(\frac{r \cdot \pi}{2}\right)$	$\left(t - T1 \cdot \text{floor}\left(\frac{t}{T1}\right)\right)$
	1	otherwise			
7	1	$0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{r}{5}$	17	0	$0 \leq \text{mod}(t, T1) \leq \frac{\pi r}{7}$
	2	otherwise		4	otherwise
8	$\frac{r}{T1}$	$\text{sign}(\sin(t))$	18	$\left(\frac{r \cdot \pi}{\sqrt{8}}\right)$	$\left(t - T1 \cdot \text{floor}\left(\frac{t}{T1}\right)\right)$
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	$r \cdot \text{sign}\left(\frac{\cos(e^{\sin(t)})}{T1}\right)$		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	
1	0.7	1.5	$\frac{1}{r} \cdot 17$	$\frac{1}{T1}$	$\frac{1}{Fd}$	k =1024	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	$F \cdot \frac{1}{r} \cdot 16$				
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	$\frac{1}{r} \cdot 12$			-1	
---	-----	-----	------------------------	--	--	----	--

№	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 m_p	m_p	σ_{b1}	$\sigma_{_1}$	σ_{m1}	μ
1	0,733		0,2	0,3	0,8	
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	$m_p := \frac{1}{T1} \int_0^{T1} \text{signal}(t) dt$	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	

0

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)
$\frac{1,1}{T_1}$	$\frac{1}{f_{imp}}$	$0,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,5 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,5}{T_1}$		$0,47 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,7}{T_1}$		$0,47 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2}{T_1}$		$0,26 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,68 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,9}{T_1}$		$0,59 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,6 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,8}{T_1}$		$0,18 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,36 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,69 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{1,6}{T_1}$		$0,304 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,51 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{3}{T_1}$		$0,29 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,51 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{4}{T_1}$		$0,34 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,6 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{0,5}{T_1}$		$0,44 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$4,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2,1}{T_1}$		$0,28 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,38 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$4 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2,5}{T_1}$		$0,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,33 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,8 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{2,7}{T_1}$		$0,27 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,77 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{3,2}{T_1}$		$0,17 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,7 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,77 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{3,7}{T_1}$		$0,46 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$0,9 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$2,75 \sin(2\pi f_{imp} t)$
$\frac{3,4}{T_1}$		$0,5 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$1,3 \sin(2\pi f_{imp} t)$	$3,1 \sin(2\pi f_{imp} t)$

$\frac{2,2}{T1}$		$0,3 \sin(2\pi f i m p t)$	$1,1 \sin(2\pi f i m p t)$	$3,7 \sin(2\pi f i m p t)$
------------------	--	----------------------------	----------------------------	----------------------------

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).

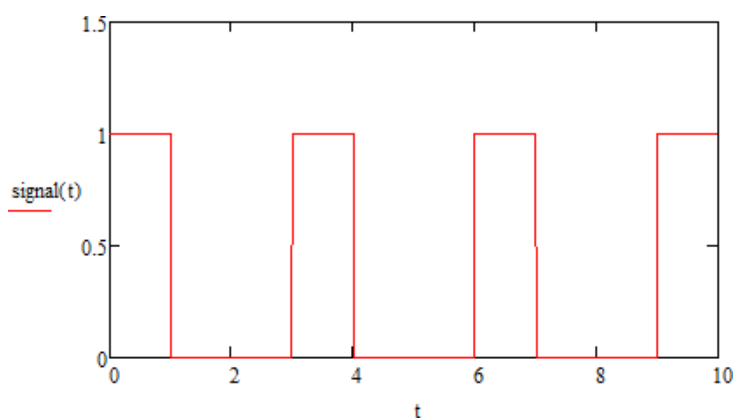


Рис. 6. График исходного сигнала

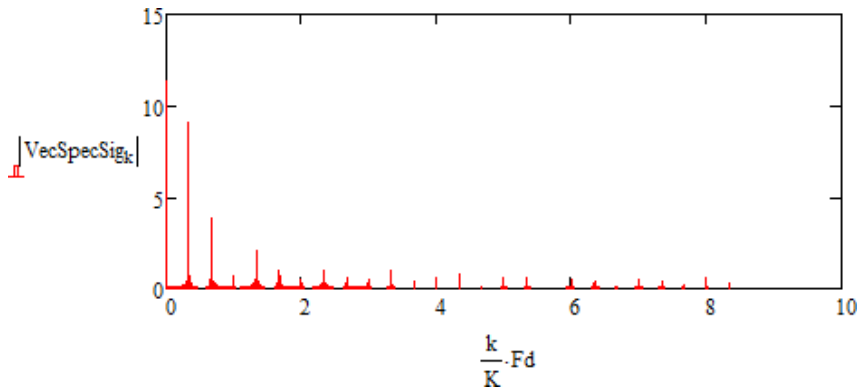


Рис. 7. Спектр сигнала

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).

$$sn_b1 := \frac{mp}{\sigma_b1^2}; sn_m1 := \frac{mp}{\sigma_m1^2}; sn_l1 := \frac{mp}{\sigma_l1^2} \quad (6)$$

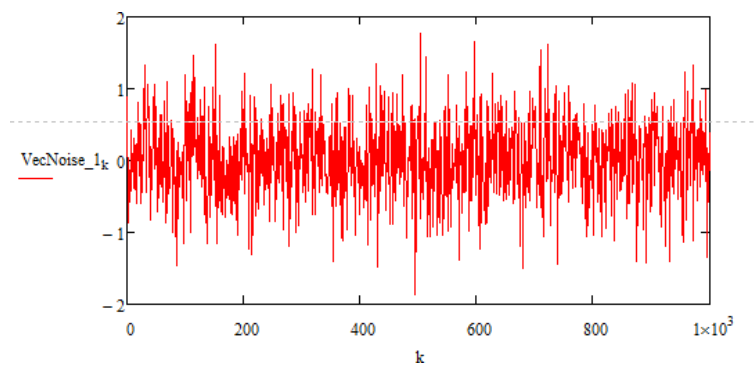


Рис. 8. График заданного Гауссовского шума

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

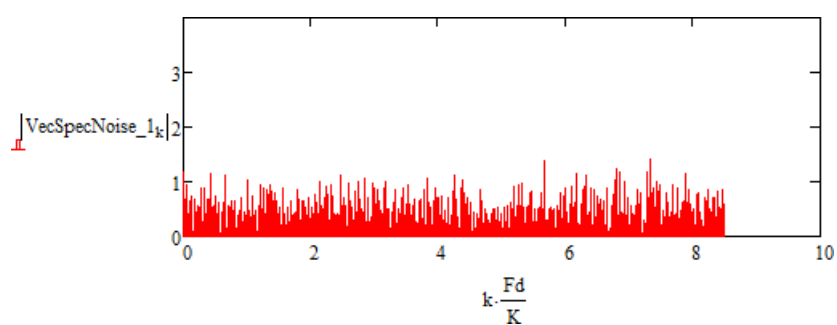
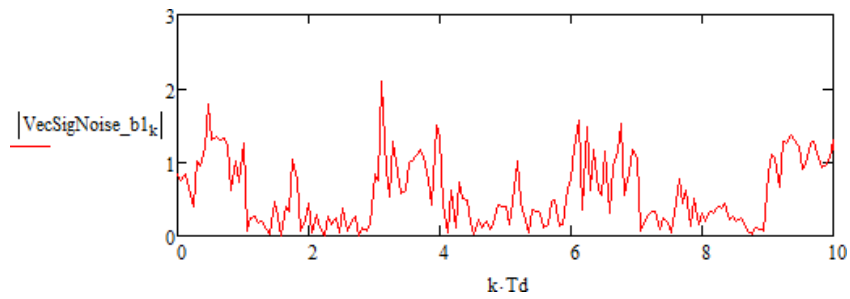


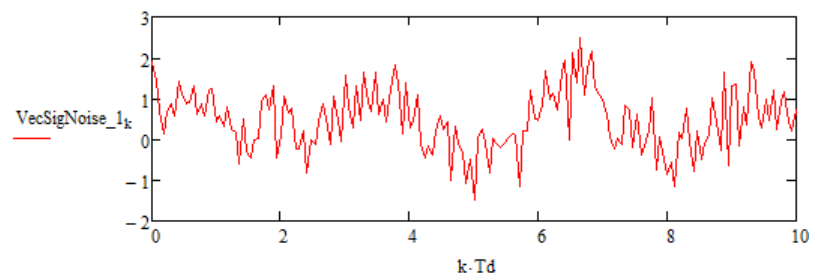
Рис. 9. Спектр Гауссовского шума

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 $sn_m1 = 0.302$

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

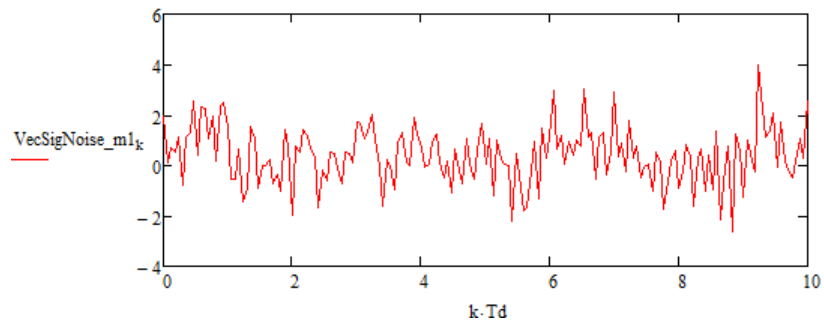


Рис. 10. Вид сигнала при разном отношении сигнал шум Далее строим спектры полученных сигналов (рис. 11 и рис. 12).

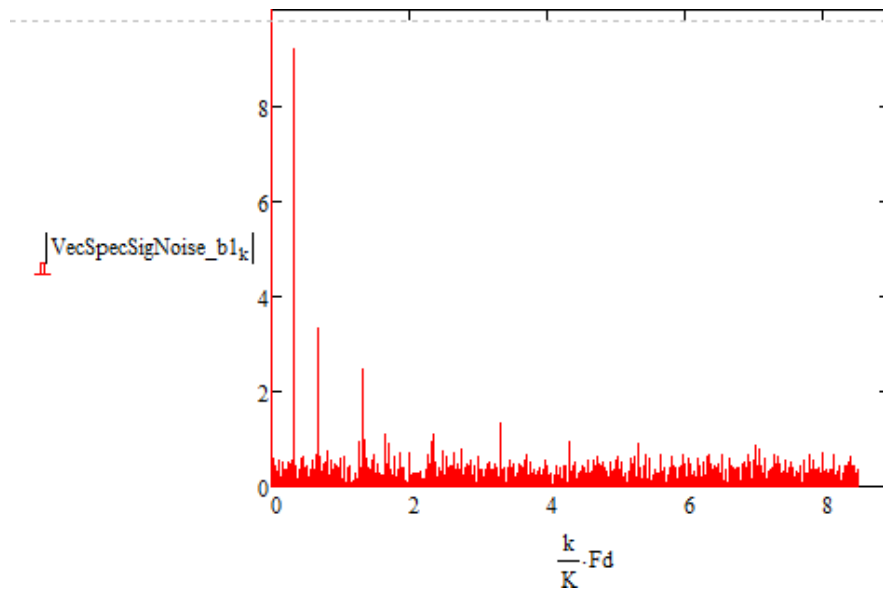
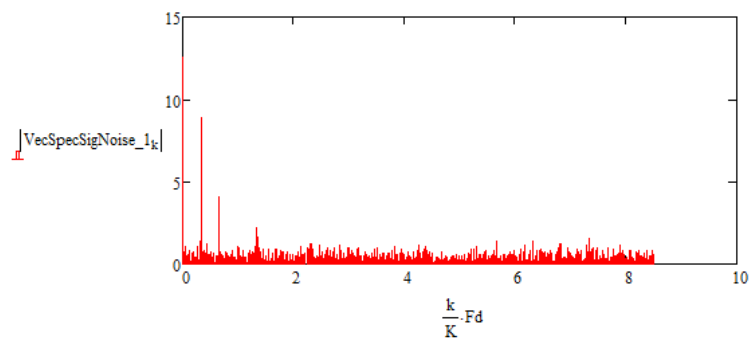


Рис.11. Спектр сигнала на выходе канала с АГБШ при отношении сигнал/шум больше 1

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)`

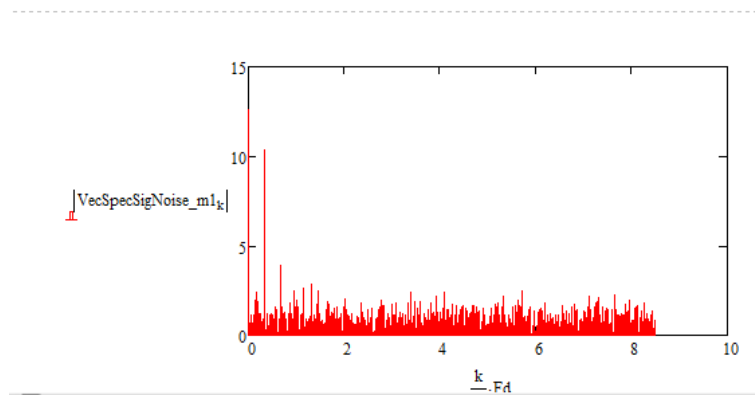


Рис.12. Спектр сигнала на выходе канала с АБГШ при отношении сигнал/шум равным 1 и меньше 1 соответственно

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:

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

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

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

$mpin_m1$

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

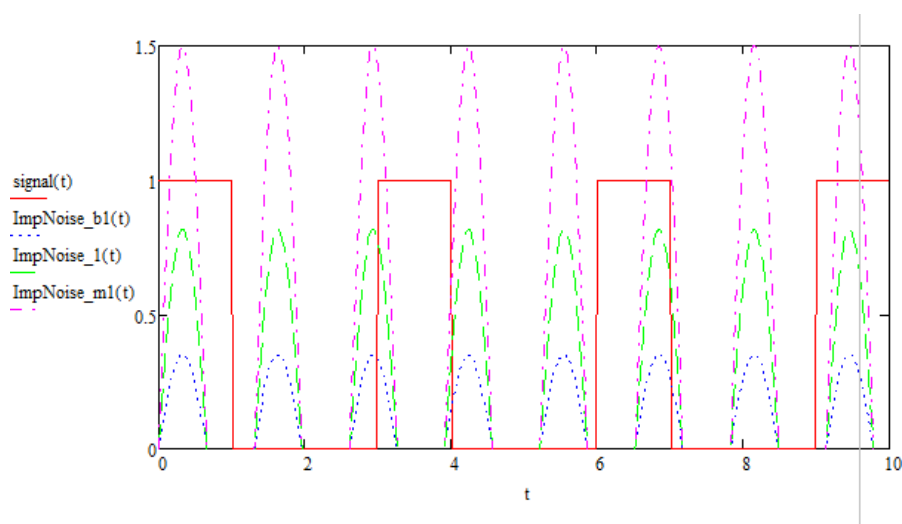


Рис. 13. Вид сигнала и помехи с различными значениями отношения сигнал/шум

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

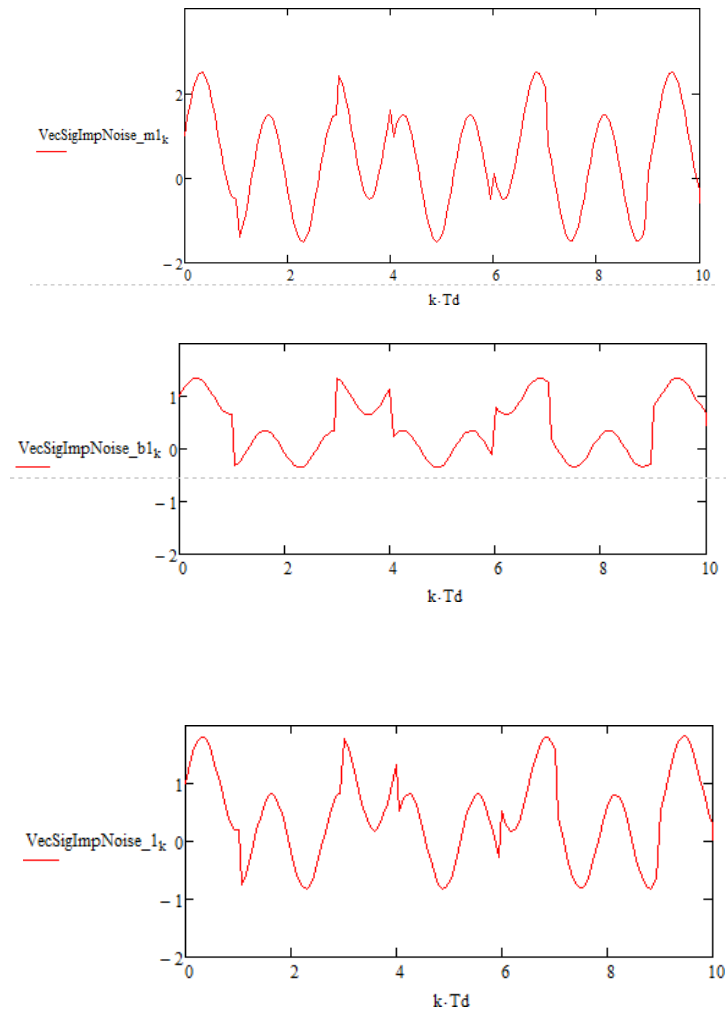


Рис. 14. Сигнал на выходе из канала с импульсной помехой с различным значением отношения сигнал/шум

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

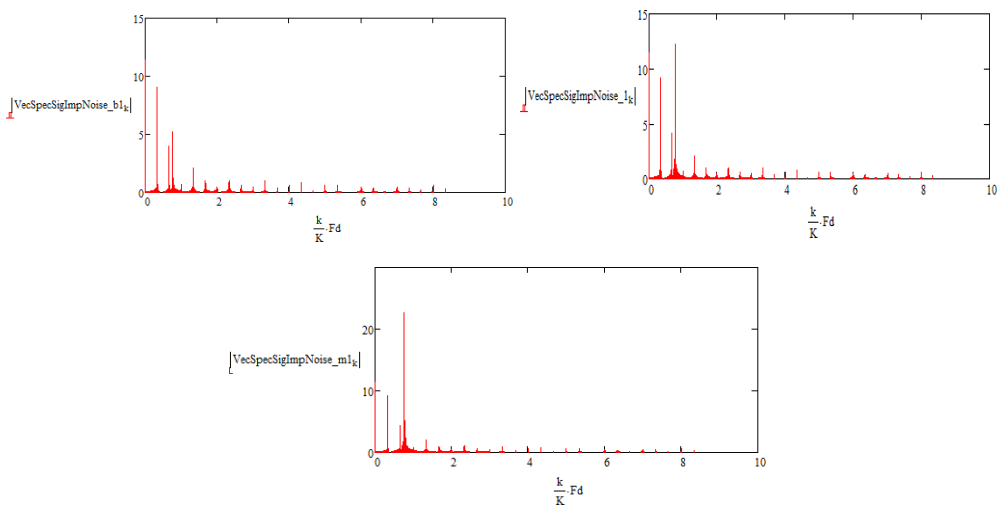


Рис. 15. Спектр на выходе канала с импульсной помехой при разном отношении сигнал/шум

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?

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ФАЗОСДВИГАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ И КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель состоит в демонстрации характеристик и принципа действия фазосдвигающего генератора в среде Multisim.

Генераторы используются как источники сигналов переменного тока. Они преобразуют мощность постоянного тока, получаемую от источника, в сигнал переменного тока. Генераторы порождают на выходе синусоидальные и несинусоидальные непрерывные формы сигналов, поддерживая желаемую частоту в пределах схемы. Известно, что нежелательные колебания встречаются в схемах, не предназначенных для колебательных сигналов. Таким образом, полное понимание основных принципов действия генераторов может помочь в предотвращении колебаний.

Генераторы играют важную роль в развитии любой коммуникационной системы. С их помощью генерируются сигналы с высокой несущей частотой, которые рассматриваются в разделе об АМ системах связи данного пособия. Низкочастотные модулирующие тестовые сигналы также получают с использованием колебательных контуров. Такие контуры лежат в основе импульсных генераторов, генераторов пилообразного сигнала и таймерных счетчиков. Будет рассмотрено несколько различных генераторов синусоидальных сигналов. Некоторые из

них названы в честь своего создателя.

Генераторы нуждаются в единичном усилении на входе и выходе, а также (для всех случаев) в нулевом фазовом сдвиге в контуре обратной связи. Перечисленные требования соответствуют критерию Баркгаузена. Входная мощность, полученная от источника переменного тока, требуется также для поддержания собственных колебаний. Генераторы не только поставляют мощность на нагрузку, но, по сути, и сами ее (мощность) потребляют. Генераторы обеспечивают положительную обратную связь и усиление. Усиление предназначено для компенсации затуханий в схеме. Малые начальные напряжения подаются на входные клеммы генератора, где происходит усиление и запуск колебаний. Как правило, такие напряжения появляются в результате всплесков, получаемых при первом включении источника постоянного тока. В Multisim подобные малые начальные напряжения воспроизведены искусственно.

Схема на рис.1 представляет собой высокочастотную RC-схему третьего порядка с обратной связью как точную модель генератора.

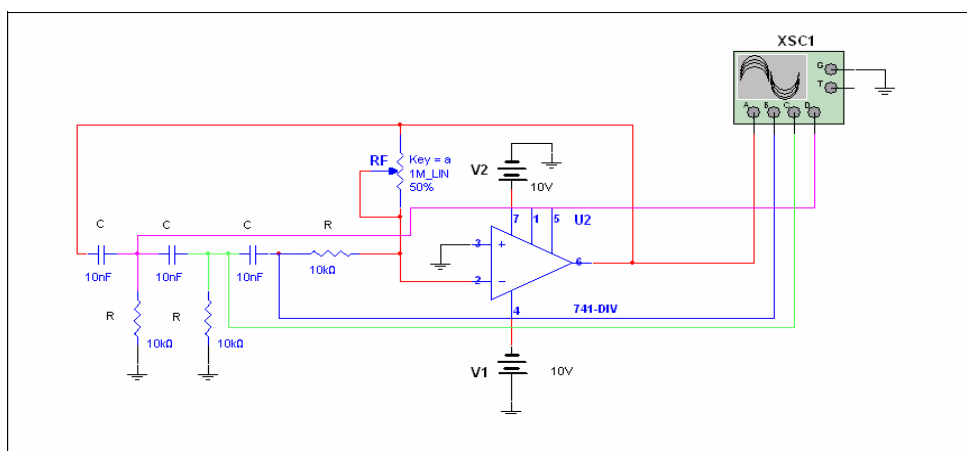


Рис. 1. Схема фазосдвигающего генератора

Также как и для любого другого генератора, критерий Баркгаузена определяет необходимость сдвига по фазе в 360 градусов между входным и выходным сигналами, а также общий коэффициент усиления в данной схеме должен быть не меньше единицы. На рис.1, инвертирующий операционный усилитель обеспечивает фазовый сдвиг в 180 градусов. RC-цепь должна обеспечивать дополнительные 180 градусов для итогового фазового сдвига со значением ноль градусов. Каждый из блоков схемы обеспечивает примерно по 60 требуемых для сдвига градусов. Часть фильтра, состоящая из RC-цепочки, вносит затухания, которые должны быть выровнены при помощи операционного усилителя для достижения единичного коэффициента усиления в схеме.

Минимальный необходимый коэффициент усиления операционного усилителя, который должен поддерживать колебания, равен 29. Поддержание коэффициента усиления в районе 29 (насколько это возможно) предотвратит попадание максимальных значений кривой в нелинейную область. Посредством этого достигается минимизация обрезания синусоидального сигнала на выходе.

Компоненты схемы:

- Источник питания: +10 В, -10В (DC Supplies);
- Операционный усилитель: 741-DIV (Opamp);
- Резисторы: 10 кОм (3), 1 МОм потенциометр (Resistors);
- Конденсатор: 10 нФ (3) (Capacitor);
- Осциллограф (Oscilloscope);

- Анализатор спектра (Spectrum Analyzer). Частота колебаний определяется по формуле:

$$f_c = \quad ; \quad \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} \quad (1)$$

Для поддержания колебаний необходимо выполнение равенства

$$\frac{RF}{R} = 29.$$

1.2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Далее представлен ход выполнения лабораторной работы.

1. Соедините элементы схемы как это показано на рис. 1.
2. Двойным щелчком мыши откройте экран осциллографа. Установите масштаб на временной оси 2 мс/дел, на амплитудной оси Channel A - 2 В/дел и Channel B - 10 мВ/дел.
3. Запустите процесс моделирования и измерьте частоту колебаний. Остановите процесс моделирования, разместите на рабочей области анализатор спектра и подсоедините его вход к проводу с выхода осциллятора (Вывод №6 на выходе Операционного усилителя).
4. Двойным щелчком мыши откройте анализатор спектра.
5. Выберите Set Span (установка диапазона измерений). Установите параметры Start = 0 кГц (начальная частота), End = 1 кГц (конечная частота), Amplitude = LIN (амплитуда) и Range = 0.01 В/дел (масштаб). Нажмите Enter.
6. Перезапустите процесс моделирования. Когда колебания станут устойчивыми, сдвиньте красный маркер на позицию наблюдаемой спектральной линии. Запишите значение частоты, указанное в левом нижнем углу окна анализатора спектра. $f_c = \underline{\hspace{2cm}}$.
7. При изменении значения сопротивления потенциометра посмотрите изменения осциллограммы и зафиксируйте их.

1.3. ПРЕДПОЛАГАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

При правильном выполнении задания лабораторной работы результат моделирования должен быть как на рис. 2.

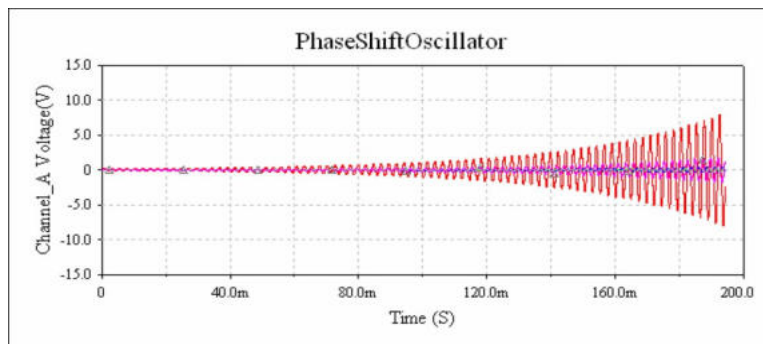


Рис. 2. График начальных колебаний фазосдвигающего генератора на экране осциллографа

1.4. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Для схемы на рис. 1 рассчитать необходимое значение емкости конденсатора C для обеспечения колебаний с частотой 900 Гц. Изменить текущие параметры моделирования, дважды щелкнув мышью на нужном виртуальном компоненте. Запустить моделирование и сравнить результаты с ожидаемыми теоретическими значениями.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ И КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель работы состоит в исследовании амплитудного модулятора в различных режимах работы в среде Multisim.

Для эффективной передачи сигналов с помощью радиоволн необходимо перенести спектр этих сигналов из низкочастотной области в диапазон достаточно высоких частот. Данная процедура в радиоэлектронике называется модуляцией.

Наиболее простым и распространённым видом модуляции является амплитудная модуляция (АМ), при которой по закону управляющего сигнала изменяется амплитуда высокочастотных колебаний, а частота и начальная фаза остаются постоянными:

$$u(t) = U(t)\cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2)$$

где $U(t)$ – амплитуда высокочастотного колебания; $\omega_0 = 2\pi f$ – частота несущего колебания; φ_0 – начальная фаза колебания.

Кривая, соответствующая изменению амплитуды высокочастотного колебания, называется огибающей.

Рассмотрим простейший случай АМ колебаний, когда огибающая является чисто гармоническим сигналом. Если для простоты принять, что начальные фазы высокочастотного колебания и огибающей равны нулю, то выражение для АМ колебания можно записать следующим образом:

$$u(t) = U(t)\cos\omega_0 t = (U_0 + \Delta U \cos\Omega t)\cos\omega_0 t = U_0(1 + m \cos\Omega t)\cos\omega_0 t, \quad (3)$$

где $\Omega = 2\pi F$ – частота сигнала; $m = \Delta U / U_0$ – коэффициент (или глубина) модуляции.

Для неискажённой передачи сигнала коэффициент модуляции не должен быть больше единицы $0 \leq m \leq 1$.

Если обозначить U_{\max} и U_{\min} максимальное и минимальное значения напряжений высокой частоты, то можно записать:

$$U_{\max} = U_0(1 + m); U_{\min} = U_0(1 - m). \quad (4)$$

Отсюда следует

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}. \quad (5)$$

Амплитуда высокочастотного колебания меняется по закону модулирующего сигнала. Из (1) следует, что процесс модуляции сводится к перемножению двух временных функций, одна из которых является управляющим (низкочастотным) сигналом, а другая – управляемым (высокочастотным) сигналом. Спектр АМ колебания легко определяется из выражения (3). Для этого раскроем скобки и выполним преобразования:

$$\begin{aligned}
 u(t) &= U_0(1 + m\cos\Omega t)\cos\omega_0 t = \\
 &= U_0[\cos\omega_0 t + 0.5m\cos(\omega_0 + \Omega)t + 0.5m\cos(\omega_0 - \Omega)t] = \\
 &= U_0 \cos\omega_0 t + 0.5m\cos(\omega_0 + \Omega)t + 0.5m\cos(\omega_0 - \Omega)t
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Первое слагаемое в правой части выражения (6) представляет собой исходное колебание несущей частоты, второе слагаемое называется верхней боковой частотой, третье слагаемое – нижней боковой частотой.

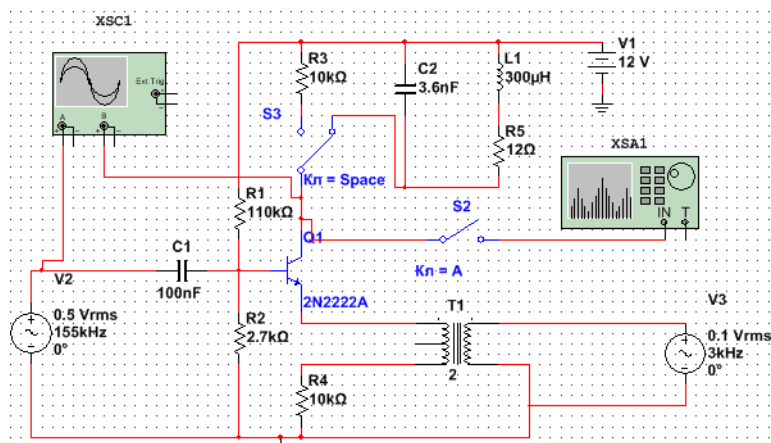
Таким образом, спектр АМ колебания при модуляции гармоническим сигналом состоит из трёх линий на частотах: ω_0 , $\omega_0 - \Omega$, $\omega_0 + \Omega$. Полная ширина спектра сигнала равна 2Ω .

2.2. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

2.3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является амплитудный модулятор, собранный на основе биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером. Его схема приведена на рис. 3.

Рис. 3. Схема для исследования амплитудного модулятора на биполярном



транзисторе

2.4. НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ

Q1 – транзистор, который служит в качестве нелинейного элемента. С его помощью происходит сложением колебаний от двух генераторов переменного напряжения. C1 – разделительный конденсатор, который развязывает по постоянному току вход каскада и выход источника сигнала (выход предыдущего каскада) и связывает их по переменному току. Он вызывает завал амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в области нижних частот. C2 – конденсатор, входящий в состав колебательного контура L1-C2 в цепи

коллектора. R1, R2 – резистивный делитель постоянного напряжения от источника V1. Делитель задаёт постоянное напряжение на базу транзистора, обеспечивая заданный рабочей точкой ток коллектора I_{OK} . От величины сопротивлений R1 и R2 зависит входное сопротивление каскада, низкочастотная постоянная времени входной цепи, а также стабильность рабочей точки (режима по постоянному току) каскада на биполярном транзисторе. R3 – резистор в цепи коллектора транзистора, который преобразует изменение тока коллектора, вызванное действием входного сигнала, в выходное напряжение сигнала. Он является нагрузкой каскада, от величины сопротивления которой зависит коэффициент усиления каскада. Он также определяет (при заданном токе I_{OK}) постоянное напряжение между коллектором и эмиттером. R4 – резистор в цепи эмиттера, который служит для стабилизации рабочей точки (режима по постоянному току), во многом определяя её положение на семействе выходных (стоковых) вольт-амперных характеристик транзистора.

Источники питания:

V1 – источник постоянного напряжения для питания транзистора;

V2 – источник переменного высокочастотного напряжения, используемого в качестве модулированного колебания;

V3 – источник переменного низкочастотного напряжения, которое используется в качестве модулирующего колебания.

Измерительные приборы:

XSC1 – осциллограф, который используется для контроля формы входного и выходного сигналов;

XSA1 – анализатор спектра, который используется для определения спектра выходного сигнала.

2.5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

2.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ ИСТОЧНИКА МОДУЛИРУЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ V3 НА КОЭФФИЦИЕНТ МОДУЛЯЦИИ

Создайте модель для исследования амплитудного модулятора в соответствии с принципиальной электрической схемой, приведённой на рис. 3.

Установите параметры источников сигналов V2, V3 и значения элементов L1, C2, R5 в соответствии с вариантом задания, указанным преподавателем и табл. 1.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Включить модель и наблюдать АМ-сигнал на входе В осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale).

2. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа. В результате должен получиться сигнал, показанный на рис. 4.

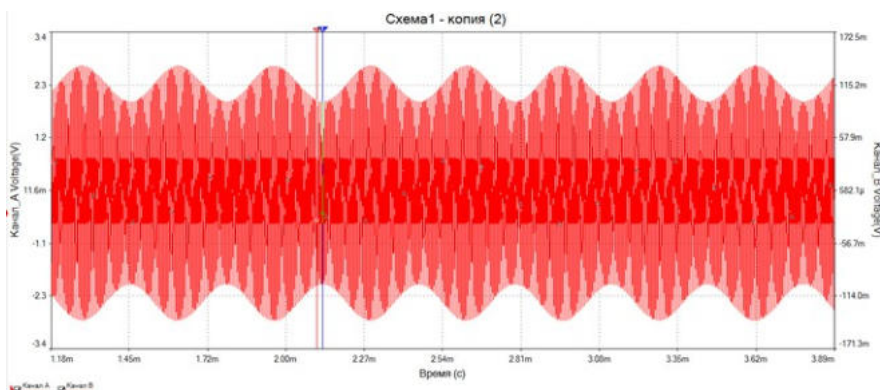


Рис. 4. График сигнала АМ, полученный в результате моделирования

Таблица 1

Варианты заданий

№	Амплитуда источника сигнала V2, В	Частота источника сигнала V2, кГц	Амплитуда источника сигнала V3, В	Частота источника сигнала V3, кГц	L1, мкГн	C2, нФ,	R5, Ом
1	0.5	155	0.1	3	300	3.6	12
2	0.5	200	0.1	5	620	1	51
3	0.5	450	0.1	7	62	2	3
4	0.5	610	0.1	3	30	2.2	1
5	0.5	255	0.1	7	300	1.3	27
6	0.5	185	0.1	4	620	1.2	47
7	0.5	515	0.1	8	62	1.5	2
8	0.5	405	0.1	6	150	1	6.2
9	0.5	180	0.1	2.5	150	5.1	1.5
10	0.5	295	0.1	2	62	47	1

3. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher).

4. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге).

5. Повторить измерения по п.п. 1–4, увеличивая амплитуду источника V3. Измерения проделать для следующих значений: V3 = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 и 5 В.

6. Провести расчёт коэффициентов модуляции по полученным данным (см. расчётные формулы в разделе «Теоретические сведения»). Результаты занести в табл. 2. Построить график зависимости $m = f(V3)$.

Таблица 2
Таблица результатов

	Опытные значения							
V_2 , В								
U_{\max}								
U_{\min}								
m								

2.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ ИСТОЧНИКА МОДУЛИРОВАННОГО НАПРЯЖЕНИЯ V_2 НА ФОРМУ АМ-СИГНАЛА

Ход исследования:

1. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V_3 = 0,5$ В;
2. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V_2 = 1$ В;
3. Включить модель и наблюдать АМ-сигнал на входе “В” осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale);
4. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа;
5. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher);
6. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге);
7. Повторить измерения по пп. 3–6, увеличивая амплитуду источника V_2 . Измерения проделать для следующих значений: $V_2 = 1,5; 2; 2,5$ В.

2.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЯ

Процедура исследования:

1. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V_2 = 0,5$ В;
2. Подключить резистор R_3 в коллекторную цепь транзистора при помощи ключа J_1 (это можно сделать, нажав клавишу Space);
3. Включить модель и наблюдать АМ-сигнал на входе “В” осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale);
4. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа;
5. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher);
6. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге);
7. Подключить к коллектору транзистора анализатор спектра при помощи ключа J_2 (это можно сделать, нажав клавишу A);
8. Включить модель и определить спектр выходного сигнала;
9. Выключить модель;
10. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher);
11. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге);

Виды сигналов, полученные в процессе выполнения данного задания показаны на рис. 5 и

рис. 6.

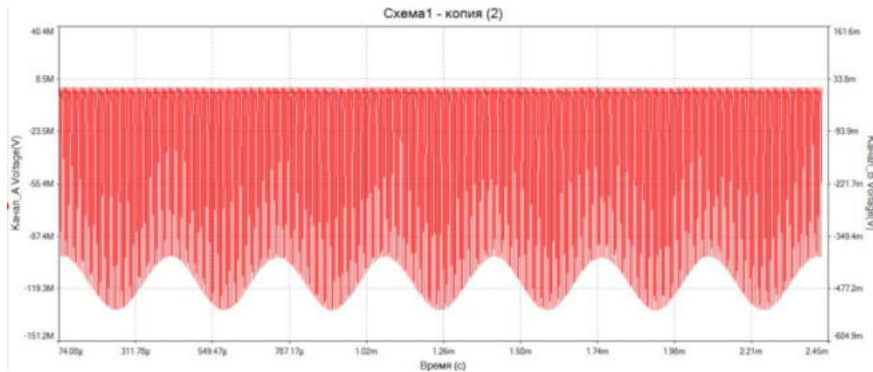


Рис. 5. График сигнала АМ при нелинейном режиме работы усилителя

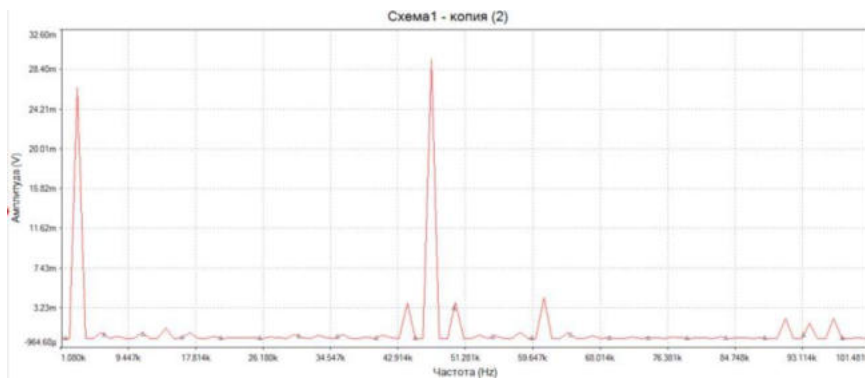


Рис. 6. График спектра АМ при нелинейном режиме работы усилителя

2.9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА МОДУЛЯТОРА

Процедура исследования:

1. Подключить контур L1-C2 в коллекторную цепь транзистора при помощи ключа J1 (это можно сделать, нажав клавишу Space);
2. Включить модель и определить спектр выходного сигнала;
3. Выключить модель;
4. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher);
5. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге);

1. Экспериментальное исследование при помощи встроенного в Multisim источника амплитудно-модулированного напряжения;

Используемые приборы:

- Амплитудный модулятор (AM Modulator)
- Осциллограф (Oscilloscope)

- Анализатор спектра (Spectrum Analyzer)

2.9.1.1. ОПЫТ № 1

1. Соберите схему, изображённую на рис. 7.

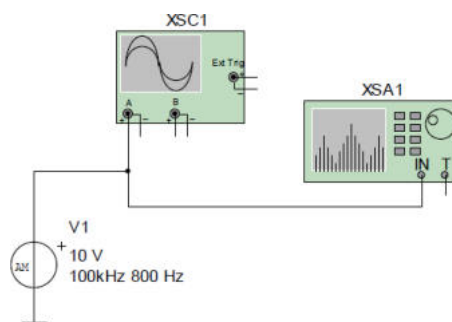


Рис. 7. Схема амплитудного модулятора

2. Кликните на пиктограмме амплитудного модулятора. Установите значение несущей амплитуды (Carrier Amplitude) 10 В, значение несущей частоты (Carrier Frequency) 100 кГц, частоту модуляции (Modulating Frequency) 800 Гц и коэффициент модуляции (Modulation Index) 0.6.

3. Кликните на пиктограмме осциллографа. Установите масштаб по оси времени 1 мс/дел., а канала А (Channel A) – 10 В/дел. Выберите автоматический пуск и связь по постоянному току.

4. Кликните на пиктограмме спектрального анализатора. Установите параметры масштаба: диапазон частот (Span) 10 кГц, центральная частота 100 кГц и амплитуду (Amplitude)= LIN.

5. Запустите процесс моделирования.

6. Кликните на пиктограмме осциллографа. Включите отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher). Измерьте частоты несущей и модулированного сигнала, сравните полученные результаты с частотами амплитудного модулятора.

7. Кликните на пиктограмме спектрального анализатора. Включите отображение спектра на плоттере (View-Grapher). Скопируйте, или нарисуйте спектр амплитудно-модулированного колебания. В открывшемся окне-экране, используя вертикальный маркер исследуйте амплитудный спектр, измерьте частоты нижней и верхней боковой полосы, а также частоту несущей. Сравните с теоретическими значениями, запишите полученные результаты в табл. 3.

Рабочие формулы для работы следующие:

- нижняя боковая частота: $f_{\text{ниж}} = f_{\text{ц}} - f_{\text{мод}}$
- верхняя боковая частота: $f_{\text{верх}} = f_{\text{ц}} + f_{\text{мод}}$

Таблица 3
Результаты измерений

	Опытные значения	Теоретические значения
Нижняя частота боковой полосы		
Верхняя частота боковой полосы		

2.9.1.2. ОПЫТ № 2

1. Кликните на пиктограмме амплитудного модулятора. Установите значение несущей частоты 200 кГц, частоту модуляции 500 Гц, коэффициент модуляции 1.

2. Запустите процесс моделирования и исследуйте полученные результаты во временной и частотной областях.

3. Получите осциллограмму и спектр амплитудно-модулированного колебания (для этого надо включить отображение осциллограммы и спектра на плоттере (View-Grapher). Скопируйте или нарисуйте осциллограмму и спектр АМ-колебания.

4. Установите коэффициент модуляции равным 1,2 и проанализируйте полученные результаты. Включите отображение осциллограммы и спектра на плоттере (View- Grapher). Скопируйте или нарисуйте осциллограмму и спектр АМ-колебания. Как изменилось изображение на осциллографе.

2.10. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

Содержание отчёта лабораторной работы:

- 1) цель работы;
- 2) схема амплитудного модулятора, собранного на основе биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером;
- 3) графики осциллограмм и спектров сигналов;
- 4) таблица измеренных и рассчитанных значений коэффициента модуляции;
- 5) график зависимости коэффициента модуляции от величины модулирующего напряжения: $m = f(V_3)$;
- 6) таблица опытных и теоретических значений нижней и верхней боковых частот (табл. 3);
- 7) графики осциллограмм и спектров сигналов, полученных в результате выполнения заданий;
- 8) выводы по результатам экспериментального исследования.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 АМПЛИТУДНАЯ ДЕМОДУЛЯЦИЯ

3.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ И КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель моделирования состоит в демонстрации характеристик и принципа действия детектора огибающей, а также в получении представления о стадиях воздействия которому подвергается модулированный сигнал в приемнике, вследствие чего восстанавливается исходная переданная информация.

Полученный приемником, АМ-сигнал подвергается нескольким стадиям обработки в процессе демодуляции. Далее рассмотрим стадию получения и фильтрации сигнала с использованием простого диодного детектора. Другие более сложные детекторы, использующие в большинстве своем ФАПЧ-схемы (с фазовой автоматической подстройкой частоты) обеспечивают, совместно с АРУ-схемами (автоматической регулировки усиления), индекс модуляции близкий к единице.

Поскольку схемы осуществляющие процесс детектирования неизменны, фундаментальное требование к сигналу на входе детектора заключается в том, что полоса частот должна лежать по другую сторону от фиксированной частоты. Эта фиксированная частота называется ПЧ или промежуточной частотой и получается в результате микширования частоты колебаний гетеродина с РЧ (радиочастотой) спектра, которая была отфильтрована на РЧ-стадии процесса демодуляции. Фиксированное значение промежуточной частоты равно 455 кГц. Этот сигнал с промежуточной частотой подается на вход тщательно подобранного усилителя промежуточной частоты (УПЧ).

Частота колебаний гетеродина (ГТ) в распространенных супергетеродинных приемниках регулируется при помощи управления настройкой на 455 кГц выше несущей РЧ, $f_{гд} = f_c + f_{пф}$. Зачем необходим гетеродин? Помните, что детектор требует, чтобы частота передаваемого сигнала была транслирована на другую сторону фиксированной промежуточной частоты. Пропускание РЧ спектра и частоты гетеродина через микшер в результате даст сумму или разность поданных на вход частот. Эта разность частот - именно та, которая требуется ПЧ спектром. Рассмотрим несущую частоту 1050 кГц передающую информационный сигнал с частотой 5 кГц.

Особенностью ПЧ-фильтра является крутой спад характеристик, что обеспечивает отсечение любых частот, отличных от ПЧ частоты транслированного спектра. Сигнал с выхода фильтра является входным сигналом для детектора. Детектор огибающей (рис. 7) предназначен главным образом для детектирования полуволны сигнала. Постоянная времени RC должна обеспечивать быстрое нарастание сигнала и медленный спад. Тем самым будет обеспечено регистрирование детектором колебаний амплитуды огибающей. Постоянную времени RC детектора огибающей следует определять так:

$$RC = \frac{1}{2\pi m f_m} \quad (7)$$

Для упрощения схема АРУ, помогающая контролировать уровень входного сигнала детектора, не показана на рис.5.

Одним из главных недостатков детектора огибающей является эффект падения напряжения на диоде V_d . Эти 0,7 В представляют собой задержку между точкой, где сигнал достигает входа и где конденсатор способен предоставить возможность выходному сигналу реагировать на входной сигнал. В конечном счете, это выражается в потере мощности, поскольку индекс модуляции не может достичь оптимального значения – единицы. Детектор, представленный на рис.6 будет регистрировать модулированные сигналы за границами полосы частот с использованием особого фильтра нижних частот, поддерживающего частоту среза на уровне 2 кГц (с целью ознакомления).

3.2 КОМПОНЕНТЫ СХЕМЫ И ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАБОТЫ

В схемах на рис. 7 и рис. 8 использованы устройства и электрорадиоэлементы следующих типов и номиналов:

- Резисторы: 330 Ом, 620 Ом, 3.3 кОм, 5.2 кОм, 15 кОм, 33 кОм (Resistors);
- Конденсаторы: 2 нФ, 4.7 нФ, 2.2 нФ, 12 нФ (Capacitors)
- Диод: 1N4148 (Diode);
- Идеальный (образцовый) операционный усилитель (Ideal Opamps);
- Амплитудный модулятор (AM Modulator);
- Осциллограф (Oscilloscope).

Постоянная времени RC цепи рассчитывается по формуле (7).

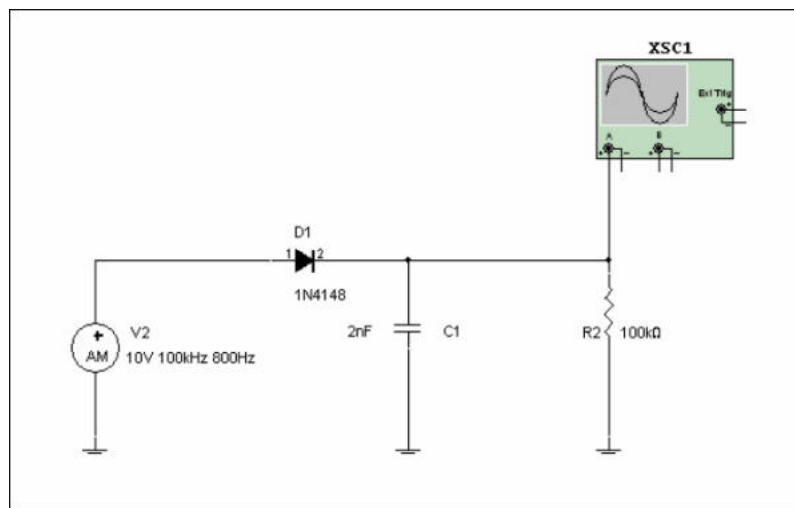


Рис. 8. Схема моделирования детектора огибающей

3.3. ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения лабораторной работы необходимо составить схему измерения, как показано на рис. 9.

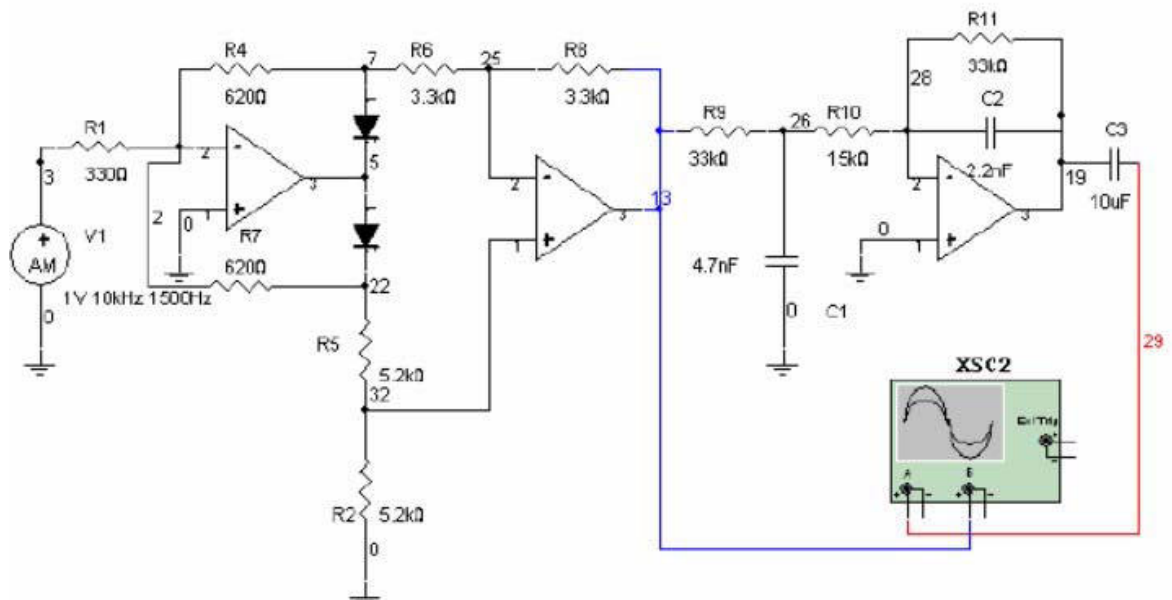


Рис.9. Схема моделирования диодного детектора

Далее выполнить следующие действия:

1. Двойным щелчком мыши откройте окно осциллографа. Установите масштаб на временной оси 10 мс/дел и на амплитудной оси Channel A - 10 В/дел. Выберите Auto triggering and DC coupling (автозапуск и связь по постоянному току).
 2. Дважды щелкните мышью по иконке источника АМ-сигналов для изменения его параметров. Установите carrier amplitude (амплитуду несущей) = 10 В, carrier frequency (несущую частоту) = 100 кГц, modulation index (показатель модуляции) = 0.6 и modulation frequency (частоту модуляции) = 800 Гц.
 3. Запустите процесс моделирования и измерьте частоту демодулированного сигнала, сравните это значение с предполагаемым. Запишите Ваши результаты в разделе Данные к лабораторной работе.
 4. Дважды щелкните мышью на резисторе для того, чтобы изменить его значение. Выберите резистор в 500 кОм. Запустите процесс моделирования заново. Зарисуйте форму сигнала, соответствующего слишком большому значению постоянной времени. Далее, замените сопротивление резистора с 500 кОм на 10 кОм. Запустите процесс моделирования и зарисуйте форму сигнала, соответствующего слишком низкому значению постоянной времени.
 5. Измените схему детектора так, чтобы обеспечить оптимальное детектирование 500 герцового модулированного сигнала. Замените компоненты, переустановите параметр частоты модуляции в источнике АМ-сигналов и запустите процесс моделирования.
 6. Соедините элементы схемы в соответствии с тем, что изображено на рис.
38. Подключите оба канала осциллографа так, как это показано. Установите масштаб 500 мкс/дел по временной оси, по амплитудной оси Channel A - на 500 мВ/дел и Channel B – на 5 В/дел. Установите источник АМ-сигналов как указано на рис.8. Запустите процесс моделирования. Запишите Ваши наблюдения.

3.2. ПРЕДПОЛАГАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ РАБОТЫ

В результате моделирования собранной схемы необходимо получить осциллограммы, показанные на рис. 10 и рис. 11.

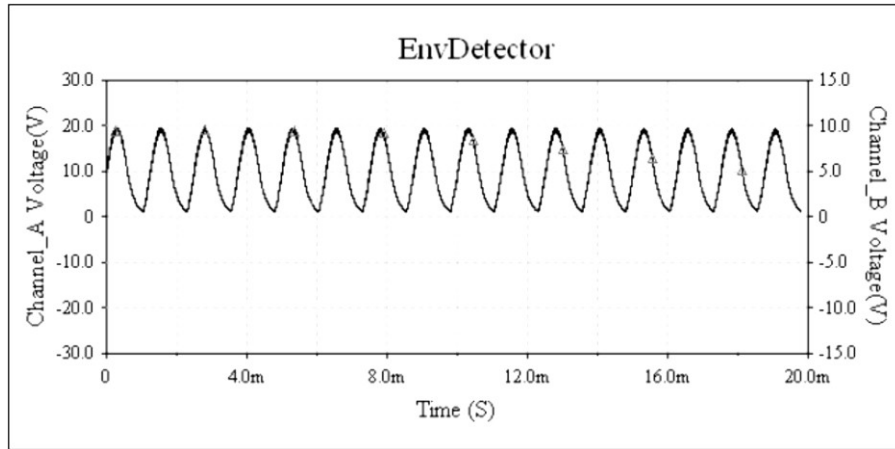


Рис. 10. Выходной сигнал детектора огибающей при $m=0.6$

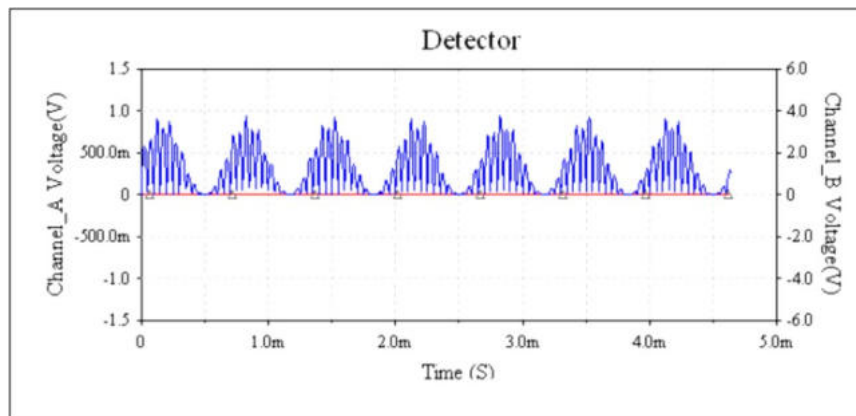


Рис. 11. Выходной сигнал на стадии детектирования детектором огибающей

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прохис. 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.

Вопросы для тестирования

1. В когерентной СПИ генераторы, несущей в передатчике и приемнике должны обладать такой стабильностью, чтобы при отключении ФАПЧ фазы выдаваемых колебаний не расходились заметно в течение:

- импульса;
- сеанса связи;
- нескольких сотен импульсов;
- одного периода несущей.

2. Некогерентной называется система передачи информации, в которой ожидаемые значения начальных фаз всех принимаемых импульсов:

- 1) известны;
- 2) неизвестны; 3)
- оцениваются в процессе приема;

3. Прием очередного импульса рассматривается как прием сигнала с известной начальной фазой в СПИ:

- когерентной;
- некогерентной;
- частично-когерентной;
- всегда.

4. Прием очередного импульса рассматривается как прием сигнала со случайной начальной фазой, равномерно распределенной в интервале $0-2\pi$, в СПИ:

- когерентной;
- некогерентной;
- частично-когерентной;
- всегда.

5. Битовая вероятность ошибки на выходе демодулятора в двоичной когерентной СПИ при наличии аддитивного белого шума зависит лишь от:

- величины разнесения несущих частот сигналов, соответствующих символам 0 и 1;
- отношения амплитуд полезного сигнала и шума;
- отношения энергии разностного сигнала к спектральной плотности мощности шума;
- отношения энергий сигналов, соответствующих символам 0 и 1.

6. Помехоустойчивость при корреляционном приеме определяется:

- величиной отношения средних мощностей сигнала и помехи на входе приемника в полосе сигнала;
- мощностью сигнала на входе приемника;
- мощностью шума на входе приемника;
- отношением мощности шума на выходе приемника к мощности шума на входе.

7. Необходимое условие возможности линейного разделения канальных сигналов без взаимных помех в многоканальной СПИ:

- сигналы должны быть аналоговыми;
- сигналы должны быть линейно независимыми;
- сигналы должны быть цифровыми;
- 4) сигналы должны быть случайными.

8. Синхронизация не требуется:

- в многоканальных СПИ с временным разделением каналов;
- в многоканальных СПИ с кодовым разделением каналов.
- в многоканальных цифровых СПИ с частотным разделением каналов;

- в многоканальных аналоговых СПИ с частотным разделением каналов.
9. Ортогональность канальных сигналов необходима:
- для уменьшения требуемой полосы частот;
 - для упрощения устройства разделения каналов;
 - для увеличения отношения сигнал/шум;
 - для увеличения скорости передачи информации.
10. При уплотнении каналов в системе с ВРК используют:
- мультиплексор;
 - набор полосовых фильтров;
 - блок генераторов N гармонических колебаний и смесителей;
 - блок N генераторов ортогональных двоичных последовательностей.
11. При уплотнении каналов в системе с ЧРК используют:
- мультиплексор;
 - набор полосовых фильтров;
 - блок генераторов N гармонических колебаний и смесителей;
 - блок N генераторов ортогональных двоичных последовательностей.
12. Причина появления мультипликативной помехи – это:
- 1) многолучевой механизм распространения волн на трассе;
 - 2) непрямоугольность частотных характеристик канальных полосовых фильтров;
 - 3) низкое отношение сигнал-шум;
 - 4) излучение посторонних источников.
13. Ожидаемое сообщение считается случайным:
- всегда;
 - лишь если имеются замирания;
 - лишь если имеются помехи; 4
 - только при передаче в канале без помех.
14. При передаче сигнала с понижением битовой скорости ширина его спектра:
- увеличивается;
 - уменьшается;
 - не меняется;
 - не меняется, но сам спектр сдвигается в область более низких частот.

Вопросы, выносимые на коллоквиум

Коллоквиум 1

1. Информация. Канал связи. Линия связи.
2. Дискретные и цифровые сигналы, их статистическое описание.
3. Код, алфавит кода, основание кода. Дискретный сигнал, как кодовая комбинация.
4. Аддитивные и мультипликативные помехи. Нормальный белый шум.
5. Методы аналитического и геометрического представления сигналов и помех. Энергии сигналов и расстояние между ними, независимость и ортогональность сигналов.
6. Модель системы передачи информации. Основная терминология в области цифровой связи.
7. Основные этапы преобразования сигнала в цифровых системах связи.
8. Дискретизация во времени непрерывного сигнала. Восстановление непрерывного сигнала из дискретного. Шум дискретизации.

9. Модуляция импульсной несущей непрерывным сигналом. АИМ, ШИМ, ВИМ, вид спектров.
10. АЦП и ЦАП. Основные характеристики, шум квантования, компандирование. Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ), основной цифровой сигнал.
11. Количество информации, единицы измерения, свойства. Собственная информация, энтропия, избыточность.
12. Энтропия последовательности символов. Условная энтропия, удельная энтропия, избыточность и причины ее появления.
13. Средняя взаимная информация. Скорость создания, скорость передачи и скорость потери информации. Техническая скорость передачи информации.
14. Информация в непрерывных сигналах. Дифференциальная энтропия непрерывного отсчета. Условная дифференциальная энтропия.
15. Пропускная способность дискретного канала связи, определение. Пропускная способность двоичного симметричного канала. Пропускная способность непрерывного канала. Энергетическая и частотная эффективность.
16. Согласование канала с источником информации. Код, алфавит кода, основание кода. Классификация кодов. Кодирование источника. Теорема Шеннона для канала без помех. Эффективные коды, принципы эффективного кодирования.
17. Код Хаффмана, пример кодирования алфавита из 4-х символов с вероятностями (1/8, 1/8, 1/4, 1/2), избыточность и эффективность до и после кодирования.
18. Код Шеннона - Фано, пример кодирования алфавита из 4-х символов с вероятностями (1/8, 1/8, 1/4, 1/2), избыточность и эффективность до и после кодирования. V19.
19. Сжатие информации. Алгоритм Лемпела –Зива.
20. Кодирование в канале с помехами. Прямая и обратная теоремы о кодировании. Основные принципы помехоустойчивого кодирования. Классификация кодов.
21. Линейные блочные коды. Геометрическое представление кода. Кодовое расстояние, кратность обнаруживаемых и исправляемых ошибок.
22. Линейные блочные коды с однократной проверкой на четность. Синдромные и проверочные соотношения. Схема кодера и декодера.
23. Линейные блочные коды с проверкой на четность. Производящая и проверочная матрицы. Приведение к каноническому виду. Определение кодового расстояния по матрицам G и H.
24. Код Хемминга. Свойства. Структура производящей и проверочной матриц. Систематический код Хэмминга (7,4). Кодер и декодер.
25. Неравенство Хэмминга. Его физический смысл и значение в теории кодирования.

Коллоквиум 2

1. Ортогональные и биортогональные коды. Матрица Адамара.
2. Циклические коды. Основные свойства. Полиномиальное представление, производящий и проверочный полиномы. Требования к производящему полиному.
3. Циклические коды. Алгоритмы кодирования циклического кода, схема кодера систематического кода.
4. Алгоритм декодирования циклического кода, схема декодера циклического кода. V30. Циклические коды Хэмминга, коды BCH.
5. Сверточные коды. Основные свойства, производящие полиномы, пример кодера со скоростью кода 1/2.
6. Понятие о матричных, каскадных и турбокодах.
7. Использование канала переспроса. Виды обратной связи. Определение вероятностей ошибок при работе декодера в режиме обнаружения ошибок при независимых ошибках. Битовая вероятность ошибки.
8. Определение вероятностей ошибок при работе декодера в режиме исправления ошибок при независимых ошибках. Битовая вероятность ошибки.
9. Модуляция гармонической несущей цифровым сигналом. АМ, ЧМ, ФМ, относительная или

- дифференциальная ФМ (ОФМ). Причина ее применения.
10. Модуляция гармонической несущей аналоговым сигналом. АМ, ЧМ, ФМ, однопослая АМ (АМОБП). Вид спектров модулированных сигналов и полоса частот, требуемая для передачи.
 11. Многопозиционные методы модуляции и причины их применения.
 12. Межсимвольная интерференция и методы ее устранения. Модуляция ортогональных несущих цифровым сигналом (ортогональные частотноразделенные сигналы, OFDM).
 13. Компромиссы при использовании модуляции и кодирования, цели разработчика систем связи, характеристика вероятности появления ошибки, минимальная ширина полосы по Найквисту, теорема Шеннона-Хартли о пропускной способности канала.
 14. Перемежение (интерливинг) символов, цели и методы применения. Варианты построения перемежителей.
 15. Скремблирование. Цели применения. Построение скремблера на базе рекурсивного цифрового фильтра.
 16. Множественный доступ с частотным разделением каналов. Достоинства и недостатки, междуканальные искажения.
 17. Множественный доступ с временным разделением каналов. Достоинства и недостатки, междуканальные искажения.
 18. Множественный доступ с кодовым разделением каналов.
 19. Расширение спектра. Прямое расширение (Метод прямой последовательности).
 20. Расширение спектра. Методы программной скачкообразной перестройки частоты.
 21. Ортогональное частотное уплотнение каналов (OFDMA)
 22. Демодуляция цифровых сигналов. Корреляционный приемник и согласованный фильтр.
 23. Демодуляция цифровых сигналов. Когерентность (синфазность). Когерентные, квазикогерентные и некогерентные системы. Синхронизация.
 24. Прием сигналов в условиях многолучевости. Методы борьбы с многолучевостью.
 25. Радиорелейные линии. Ретрансляция и регенерация сигналов

Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Зачет проводится по билетам. В каждом билете 2 теоретических вопроса.

Перечень вопросов на зачет

1. Информация. Канал связи. Линия связи.
2. Дискретные и цифровые сигналы, их статистическое описание.
3. Код, алфавит кода, основание кода. Дискретный сигнал, как кодовая комбинация.
4. Аддитивные и мультипликативные помехи. Нормальный белый шум.
5. Методы аналитического и геометрического представления сигналов и помех. Энергии сигналов и расстояние между ними, независимость и ортогональность сигналов.
6. Модель системы передачи информации. Основная терминология в области цифровой связи.
7. Основные этапы преобразования сигнала в цифровых системах связи.
8. Дискретизация во времени непрерывного сигнала. Восстановление непрерывного сигнала из дискретного. Шум дискретизации.
9. Модуляция импульсной несущей непрерывным сигналом. АИМ, ШИМ, ВИМ, вид спектров.
10. АЦП и ЦАП. Основные характеристики, шум квантования, компандирование. Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ), основной цифровой сигнал.
11. Количество информации, единицы измерения, свойства. Собственная информация, энтропия, избыточность.
12. Энтропия последовательности символов. Условная энтропия, удельная энтропия, избыточность и причины ее появления.
13. Средняя взаимная информация. Скорость создания, скорость передачи и скорость потери информации. Техническая скорость передачи информации.

14. Информация в непрерывных сигналах. Дифференциальная энтропия непрерывного отсчета. Условная дифференциальная энтропия.
15. Пропускная способность дискретного канала связи, определение. Пропускная способность двоичного симметричного канала. Пропускная способность непрерывного канала. Энергетическая и частотная эффективность.
16. Согласование канала с источником информации. Код, алфавит кода, основание кода. Классификация кодов. Кодирование источника. Теорема Шеннона для канала без помех. Эффективные коды, принципы эффективного кодирования.
17. Код Хаффмана, пример кодирования алфавита из 4-х символов с вероятностями (1/8, 1/8, 1/4, 1/2), избыточность и эффективность до и после кодирования.
18. Код Шеннона - Фано, пример кодирования алфавита из 4-х символов с вероятностями (1/8, 1/8, 1/4, 1/2), избыточность и эффективность до и после кодирования. V19.
19. Сжатие информации. Алгоритм Лемпела –Зива.
20. Кодирование в канале с помехами. Прямая и обратная теоремы о кодировании. Основные принципы помехоустойчивого кодирования. Классификация кодов.
21. Линейные блочные коды. Геометрическое представление кода. Кодовое расстояние, кратность обнаруживаемых и исправляемых ошибок.
22. Линейные блочные коды с однократной проверкой на четность. Синдромные и проверочные соотношения. Схема кодера и декодера.
23. Линейные блочные коды с проверкой на четность. Производящая и проверочная матрицы. Приведение к каноническому виду. Определение кодового расстояния по матрицам G и H.
24. Код Хемминга. Свойства. Структура производящей и проверочной матриц. Систематический код Хэмминга (7,4). Кодер и декодер.
25. Неравенство Хэмминга. Его физический смысл и значение в теории кодирования.
26. Ортогональные и биортогональные коды. Матрица Адамара.
27. Циклические коды. Основные свойства. Полиномиальное представление, производящий и проверочный полиномы. Требования к производящему полиному.
28. Циклические коды. Алгоритмы кодирования циклического кода, схема кодера систематического кода.
29. Алгоритм декодирования циклического кода, схема декодера циклического кода. V30. Циклические коды Хэмминга, коды BCH.
30. Сверточные коды. Основные свойства, производящие полиномы, пример кодера со скоростью кода 1/2.
31. Понятие о матричных, каскадных и турбокодах.
32. Использование канала переспроса. Виды обратной связи. Определение вероятностей ошибок при работе декодера в режиме обнаружения ошибок при независимых ошибках. Битовая вероятность ошибки.
33. Определение вероятностей ошибок при работе декодера в режиме исправления ошибок при независимых ошибках. Битовая вероятность ошибки.
34. Модуляция гармонической несущей цифровым сигналом. АМ, ЧМ, ФМ, относительная или дифференциальная ФМ (ОФМ). Причина ее применения.
35. Модуляция гармонической несущей аналоговым сигналом. АМ, ЧМ, ФМ, однополосная АМ (АМОБП). Вид спектров модулированных сигналов и полоса частот, требуемая для передачи.
36. Многопозиционные методы модуляции и причины их применения.
37. Межсимвольная интерференция и методы ее устранения. Модуляция ортогональных несущих цифровым сигналом (ортогональные частотноразделенные сигналы, OFDM).
38. Компромиссы при использовании модуляции и кодирования, цели разработчика систем связи, характеристика вероятности появления ошибки, минимальная ширина полосы по Найквисту, теорема Шеннона-Хартли о пропускной способности канала.
39. Перемежение (интерливинг) символов, цели и методы применения. Варианты построения перемежителей.
40. Скремблирование. Цели применения. Построение скремблера на базе рекурсивного цифрового

фильтра.

41. Множественный доступ с частотным разделением каналов. Достоинства и недостатки, междуканальные искажения.
42. Множественный доступ с временным разделением каналов. Достоинства и недостатки, междуканальные искажения.
43. Множественный доступ с кодовым разделением каналов.
44. Расширение спектра. Прямое расширение (Метод прямой последовательности).
45. Расширение спектра. Методы программной скачкообразной перестройки частоты.
46. Ортогональное частотное уплотнение каналов (OFDMA)
47. Демодуляция цифровых сигналов. Корреляционный приемник и согласованный фильтр.
48. Демодуляция цифровых сигналов. Когерентность (синфазность). Когерентные, квазикогерентные и некогерентные системы. Синхронизация.
49. Прием сигналов в условиях многолучевости. Методы борьбы с многолучевостью.
50. Радиорелейные линии. Ретрансляция и регенерация сигналов