Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА

Кафедра телекоммуникаций и инновационных технологий

ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов, обучающихся по образовательной программе 6В06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Алматы 2020

СОСТАВИТЕЛИ: К.С. Чежимбаева., Д.А. Абиров. Технологии цифровой связи. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов, обучающихся по образовательной программе 6В06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации». – Алматы: АУЭС, 2020. – 44 с.

Методические указания содержат материалы по подготовке и выполнению лабораторных работ с применением пакета моделирования «Matlab». В методических указаниях дано описание экспериментов и приведены методика проведения и обработки опытных данных, перечень рекомендуемой литературы и контрольные вопросы.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения по образовательной программе 6В06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации».

Ил. 47, табл.4, библиогр.– 17 назв.

Рецензент: Адилгажинова С.А.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2020 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2020 г.

Содержание

1Лабораторная работа № 1. Формирование дискретных сигналов…….. 4
1.1 Предварительная подготовка…….. 4
1.2 Задачи работы…….. 4
1.3 Рекомендации по работе……. 4
1.4 Листинг модели Simulink…… 6
1.5 Контрольные вопросы……. 14
2 Лабораторная работа № 2. Исследование модели простого идеального канала связи…… 14
2.1 Предварительная подготовка…….. 14
2.2 Задачи работы…….. 14
2.3 Рекомендации по работе……. 15
2.4 Листинг модели Simulink…… 19
2.5 Контрольные вопросы……. 21
3 Лабораторная работа № 3. Изучение дискретной двоичной модуляции.. 21
3.1 Предварительная подготовка…….. 21
3.2 Задачи работы…….. 21
3.3 Рекомендации по работе……. 21
3.4 Листинг модели Simulink…… 25
3.5 Контрольные вопросы……. 36
4 Лабораторная работа № 4. Исследование помехоустойчивых кодов..... 36
4.1 Предварительная подготовка…….. 36
4.2 Задачи работы…….. 36
4.3 Рекомендации по работе……. 37
4.4 Листинг модели Simulink…… 41
4.5 Контрольные вопросы……. 42
Список литературы…… 43

1 Лабораторная работа № 1. Формирование дискретных сигналов

Цель работы: изучение методов формирования и распространения дискретных сообщений, прицип алгоритмов цифрового кодированя.

1.1 Предварительная подготовка

Изучить формирование дискретных сигналов, первичных (цифровых кодов), провести работу с программой Матлаб и ознакомиться с функциями.

1.2 Задачи работы

1.2.1 Исследование изменений и параметров сигнала в программе MATLAB путем генерации сигналов.

1.2.2 Изучение появления первичных цифровых кодов «Манчестер II», RZ, ЧПИ.

1.3 Рекомендации по работе

Передача коротких импульсных сигналов. Формирование прямоугольных импульсных сигналов связи по линии.

Если мы отправим данные кратным коду (т. Е. 0 'и 1'), мы можем передать более короткий импульс с уровнем «+1», умноженным на 1 и -1 на «0».

Цифровая система связи дает скорость 1 / T символов в секунду. Однако пропускная способность для полосы пропускания значительно выше, чем скорость передачи, поскольку каждый бит представлен импульсным предупреждением, его длительность очень короткая. Специфический спектр импульсов описывается формулой:

$$S(\omega) = U\int_{-T/2}^{T/2} e^{-j\omega t}dt = UT\frac{\sin(T\omega/2)}{T\omega/2}.$$

В общем случае индивидуальный спектр импульсов имеет бесконечный диапазон бесконечных значений аргументов.

Чтобы уменьшить проводящую полосу, необходимо уменьшить уровень высоких гармоник в спектре импульсных данных. Поэтому перед использованием данных (импульсов) необходимо использовать регенеративный фильтр, который преобразуется в прямоугольную форму:

$$f(t) = \frac{AT}{T_0} + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{2A_0T}{T_0}\frac{\sin(\pi\, nT/T_0)}{\pi\, nT/T_0}\cos n\omega_p t$$

Откройте Simulink, используя Matlab. Соберите графику digital_communication_1.slx с помощью браузера библиотеки. Системные настройки указаны в Digital_communication.docx.

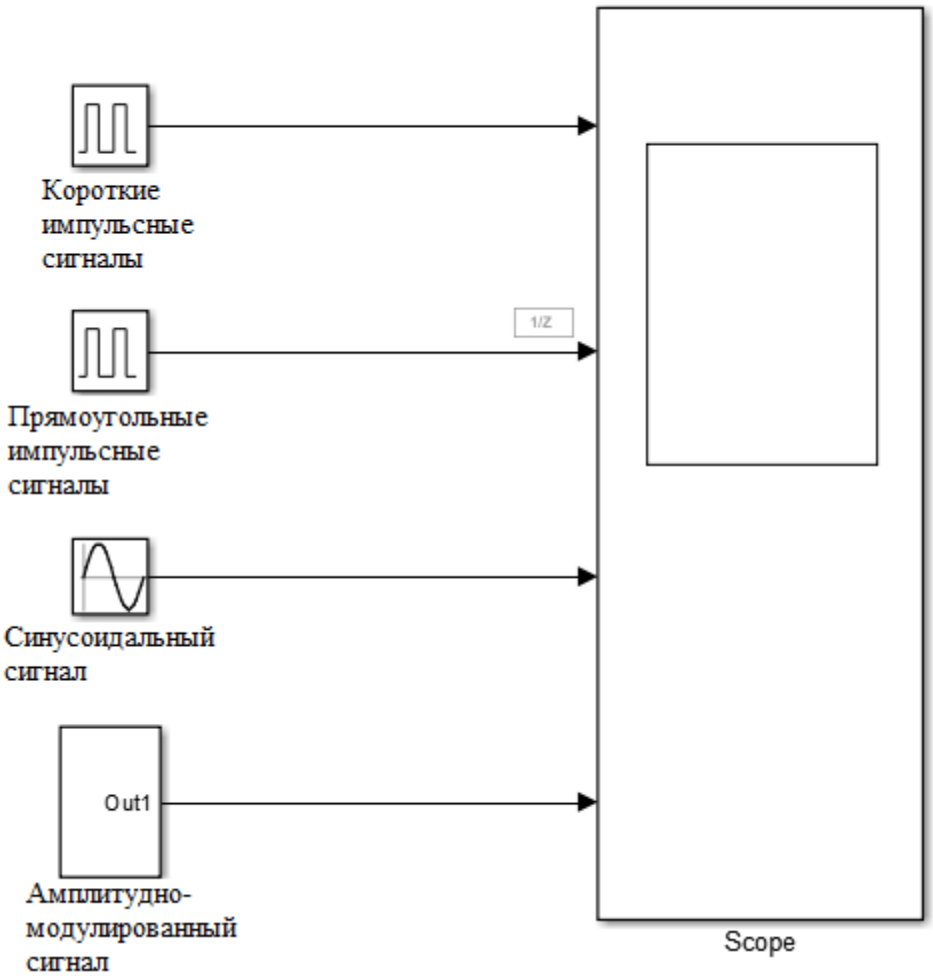

Рисунок 1.1 - Схема *Digital_communication_1.slx*

В этом примере скорость адресов всегда равна 2400 бит / с. Кроме того, длительность импульса равна:

$$T_s=1/2400=0{,}00041666\ (c).$$

Период синусоидального сигнала совпадает с периодом повторения импульса, а частота сигнала несущей принимается равной 40 кГц. Измените скорость передачи данных по опции (1000 бит / с ,10000 бит / с) и сохраните окно принятых сигналов.

Сетевые коды. Цифровые формы оповещения для связи по сети получили название сетевого кода. Сетевые коды предназначены для передачи данных без модуляции исходного частотного диапазона, начиная с нуля.

Другими словами, данные, представляющие обычную двоичную последовательность, будут преобразованы в соответствующую сеть связи до передачи в сеть связи. Наиболее широко используемые сетевые коды, невозвратный RZ (NRZ), ЧПИ (AMI), корреляционные коды («Манчестер II»).

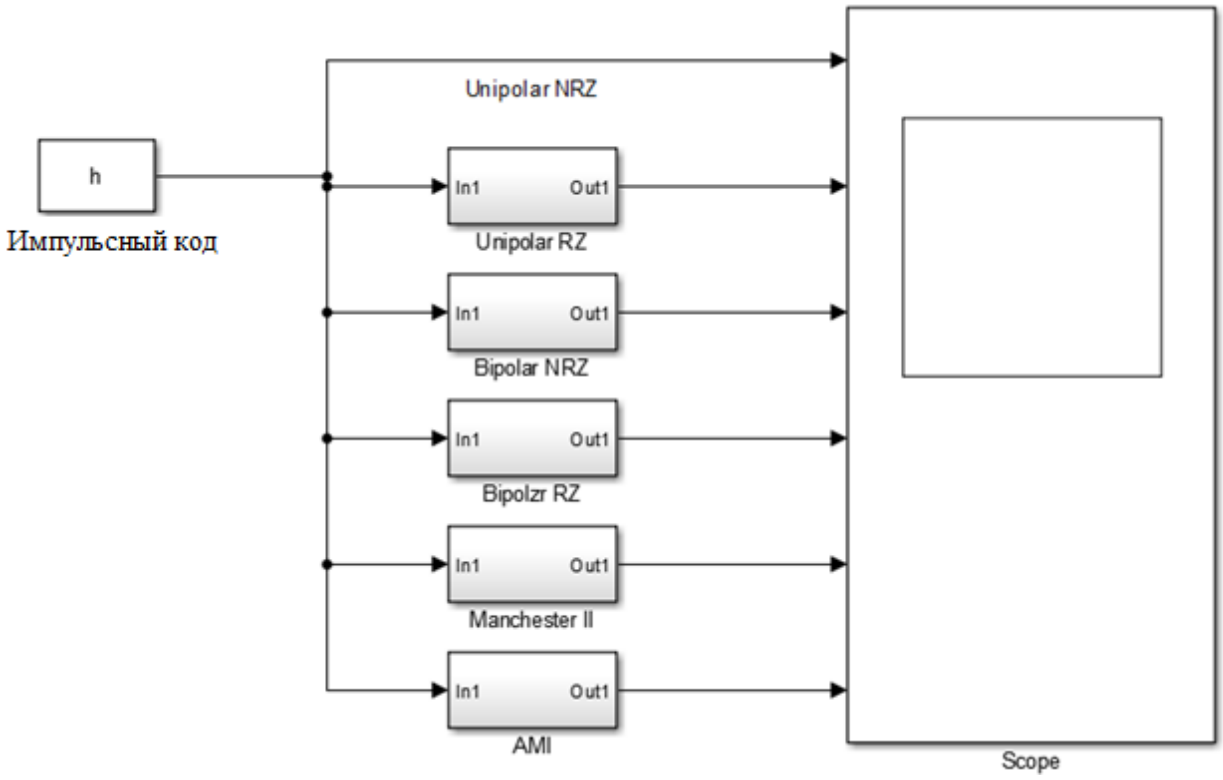

Рисунок 1.2 - Схема *Digital_communication_2.slx*

Здесь h - сумма из рабочей области. Чтобы ввести значение в рабочей области, мы добавляем переменную в поле команды Matlab.

Например: >> h=[1 0 1 1 1 1 1 0 0 1]

h = 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1.

Digital_communication_2.slx иллюстрирует примеры построения вышеуказанных кодов. Все коды генерируются Подсистемой.

Длительность импульса составляет 1 с, поэтому скорость передачи данных составляет 1 бит / с. Системное время составляет 10 с, один бит - 10 выборок. Источник данных представляет собой матричную переменную, состоящую из единиц «h» и ноль, а ее начальная последовательность получается по последним трем номерам студенческого билета.

Запустить процесс моделирования и сравнить различные последовательности сигналов в дифференциальном окне.

1.4 Листинг модели Simulink

Digital_communication_1.slx

Type: Fixed-step, Solver: discrete, Stop time:3e-3

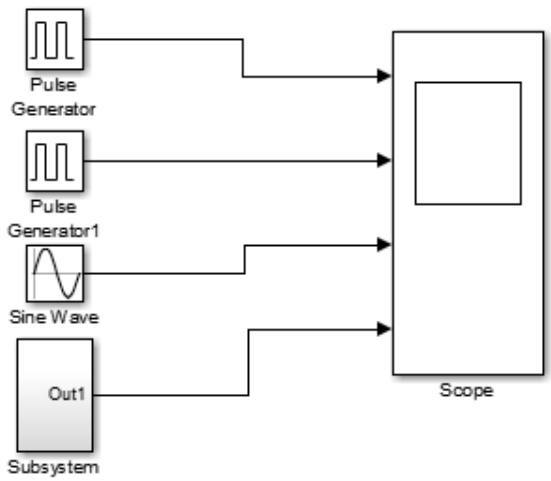

Рисунок 1.3 - Digital_communication_1

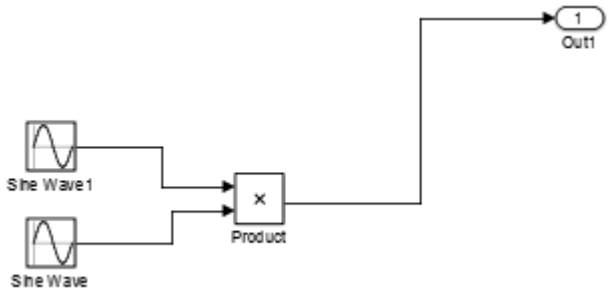

Рисунок 1.4 – Digital_communication_1,Subsystem

1. Pulse Generator

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude:1, Period:1/2400, Pulse Width:0.1, Phase delay:0

2. Pulse Generator

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude:1, Period:1/2400, Pulse Width:50, Phase delay:0

3. Sine wave

Sine type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude:1, Bias:0, Frequency:2400, Phase:0, Sample time:0

4. Subsystem:

4.1 Sine wave

Sine type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude:1, Bias:0, Frequency:2400, Phase:0, Sample time:0

4.2 Sine wave

Sine type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude:1, Bias:0, Frequency:40000, Phase:0, Sample time:0

4.3 Product

Number of inputs:2, Multiplication: Element-wise

5. Scope

Number of Input Ports: 4
Для модели Digital_communication_2.slx:
Type: Variable-step, Solver: auto, Stop time: 10

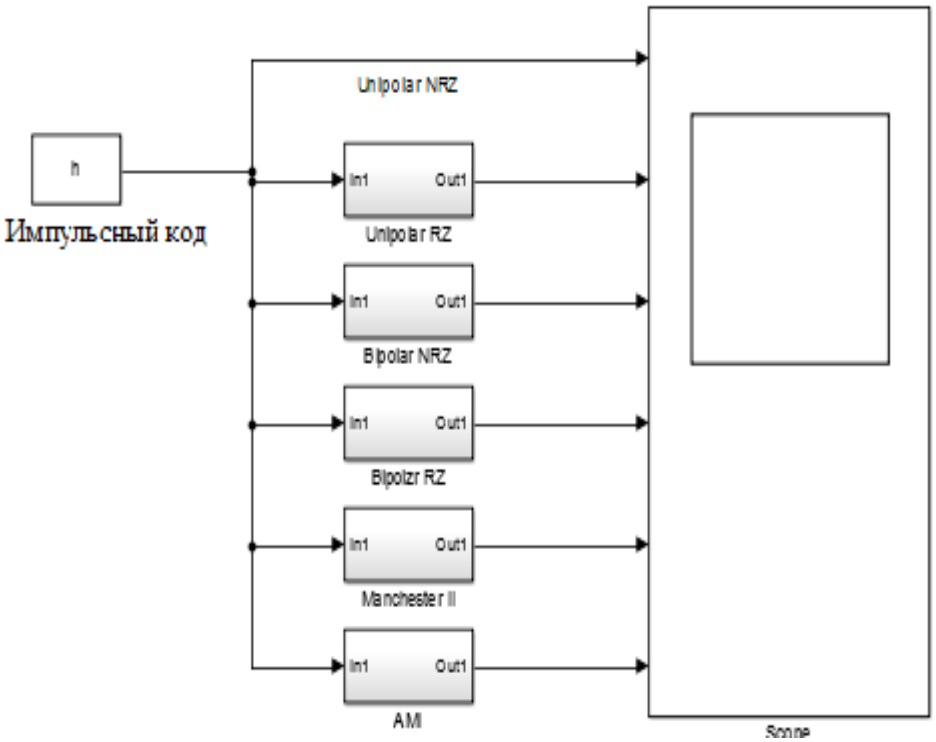

Рисунок 1.5 – Digital_communication_2

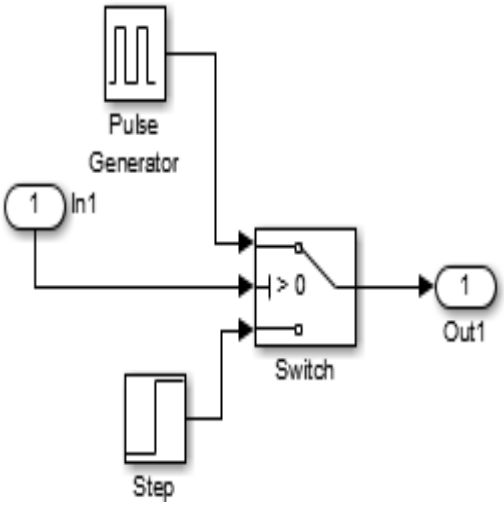

Рисунок 1.6 – Digital_communication_2, Unipolar RZ

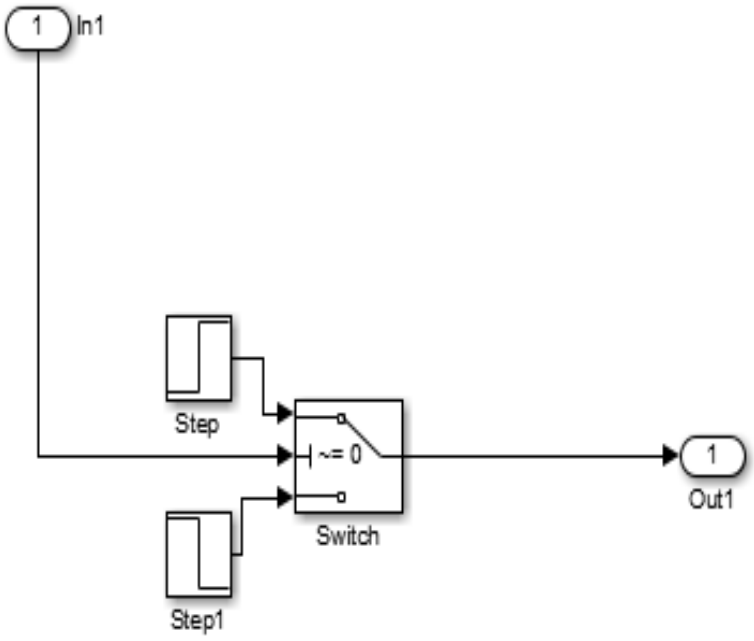

Рисунок 1.7 – Digital_communication_2,Bipolar NRZ

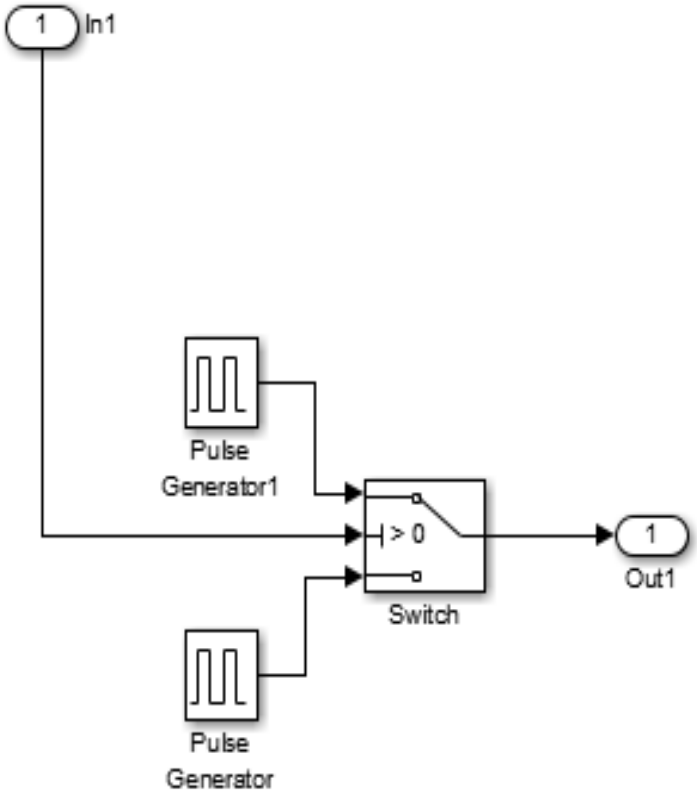

Рисунок 1.8 – Digital_communication_2, Bipolar RZ

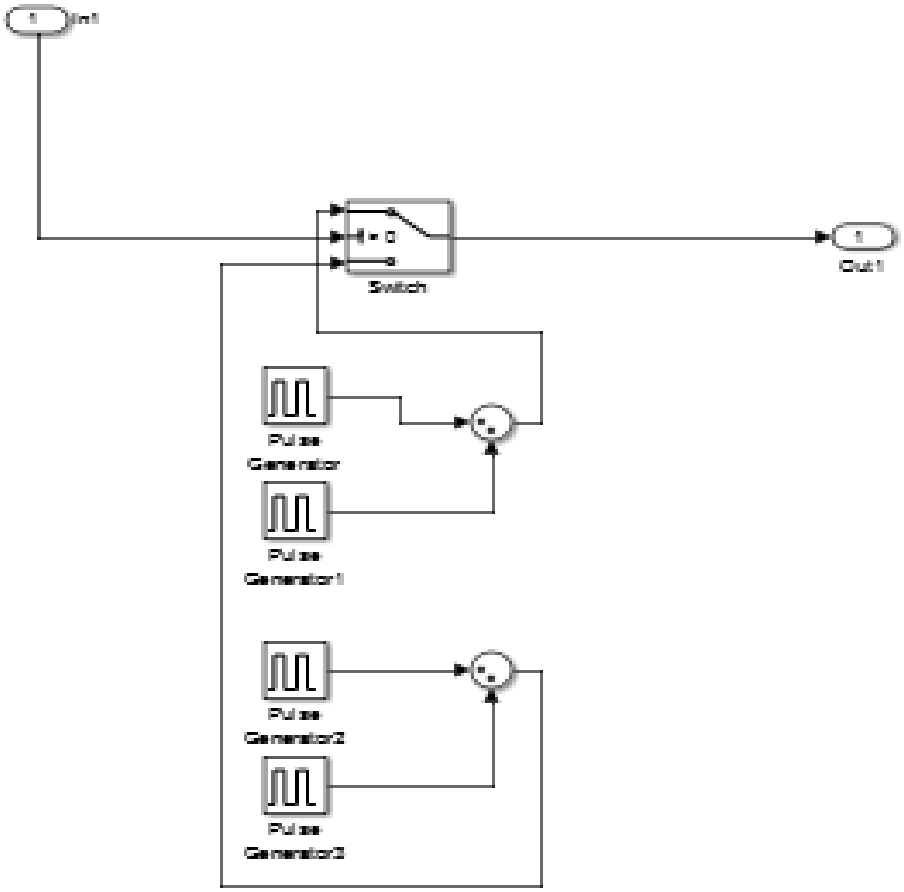

Рисунок 1.9 – Digital_communication_2, Manchester II

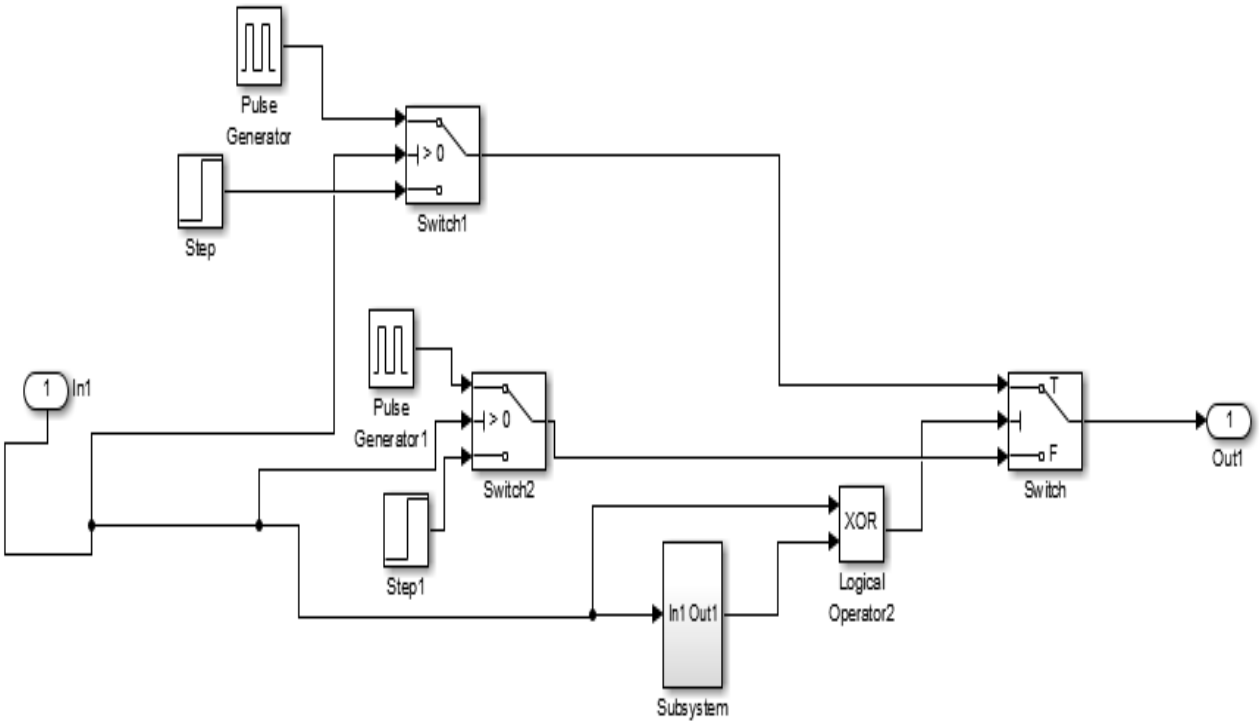

Рисунок 1.10 – Digital_communication_2, AMI

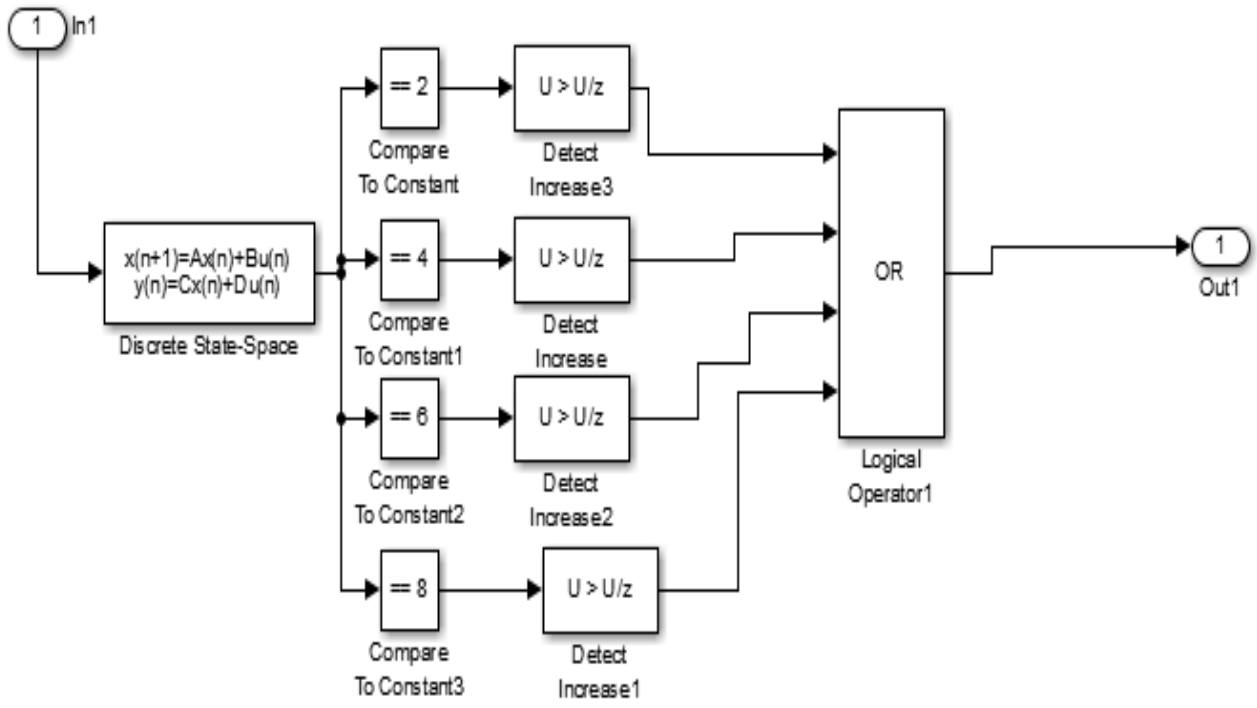

Рисунок 1.11 – Digital_communication_2, AMI,Subsystem

1. Signal From Workspace:
Signal: h, Sample time:1, Sample per frame:1
2. Scope
Number of Input Ports: 6
3. Subsystem Unipolar RZ:
3.1 Pulse Generator
Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: 1, Period:1, Pulse width: 50, Phase delay:0
3.2 Step
Step time: 0, Initial value: 0, Final value: 0, Sample time: 0
3.3 Switch
Criteria for passing first input: u2>Threshold, Threshold: 0
4. Subsystem Bipolar NRZ:
4.1 Step
Step time: 0, Initial value: 0, Final value: 1, Sample time: 0
4.2 Step
Step time: 0, Initial value: 0, Final value: -1, Sample time: 0
4.3 Switch
Criteria for passing first input: u2~ =0, Threshold: 0
5. Subsystem Bipolar RZ:
5.1 Pulse Generator1
Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: 1, Period:1, Pulse width: 50, Phase delay:0
5.2 Pulse Generator

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: -1, Period: 1, Pulse width: 50, Phase delay: 1

5.3 Switch

Criteria for passing first input: u2>Threshold, Threshold: 0

6. Subsystem Manchester II:

6.1 Pulse Generator

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: 1, Period: 1, Pulse width: 50, Phase delay: 0

6.2Pulse Generator1

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: -1, Period: 1, Pulse width: 50, Phase delay: 0.5

6.3 Pulse Generator2

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: 1, Period: 1, Pulse width: 50, Phase delay: 0.5

6.4Pulse Generator3

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: -1, Period: 1, Pulse width: 50, Phase delay: 0

6.5Sum

Icon shape: round, List of signs:|++

6.6 Sum

Icon shape: round, List of signs:|++

6.7 Switch

Criteria for passing first input: u2>Threshold, Threshold: 0

7. Subsystem AMI:

7.1 Pulse Generator

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: 1, Period: 1, Pulse width: 50, Phase delay: 0

7.2 Step

Step time: 0, Initial value: 0, Final value: 0, Sample time: 0

7.3 Switch

Criteria for passing first input: u2>Threshold, Threshold: 0

7.4 Pulse Generator1

Pulse type: Time based, Time: Use simulation time, Amplitude: -1, Period:1, Pulse width: 50, Phase delay:0

7.5 Step

Step time: 0, Initial value: 0, Final value: 0, Sample time: 0

7.6 Switch

Criteria for passing first input: u2>Threshold, Threshold: 0

7.7 Logical Operator

Operator: XOR, Number of input ports: 2, Icon shape: rectangular

7.8 Switch

Criteria for passing first input: u2>Threshold, Threshold: 0

7.9 Subsystem AMI Subsystem

7.9.1 Discrete State-Space

A: 1, B: 1, C: 1, D: 1, Initial conditions: 0, Sample time: 1

7.9.2 Compare to Constant

Operator: ==, Constant value: 2, Output data type: Boolean

7.9.3Compare to Constant

Operator: ==, Constant value: 4, Output data type: Boolean

7.9.4 Compare to Constant

Operator: ==, Constant value: 6, Output data type: Boolean

7.9.5 Compare to Constant

Operator: ==, Constant value: 8, Output data type: Boolean

7.9.6 Detect Increase

Initial condition: 0.0, Input processing: Elements as channels, Output data type: Boolean

7.9.7 Detect Increase

Initial condition: 0.0, Input processing: Elements as channels, Output data type: Boolean

7.9.8 Detect Increase

Initial condition: 0.0, Input processing: Elements as channels, Output data type: Boolean

7.9.9Detect Increase

Initial condition: 0.0, Input processing: Elements as channels, Output data type: Boolean

7.9.10Logical Operator

Operator: OR, Number of input ports: 4, Icon shape: rectangular

Результаты моделирования

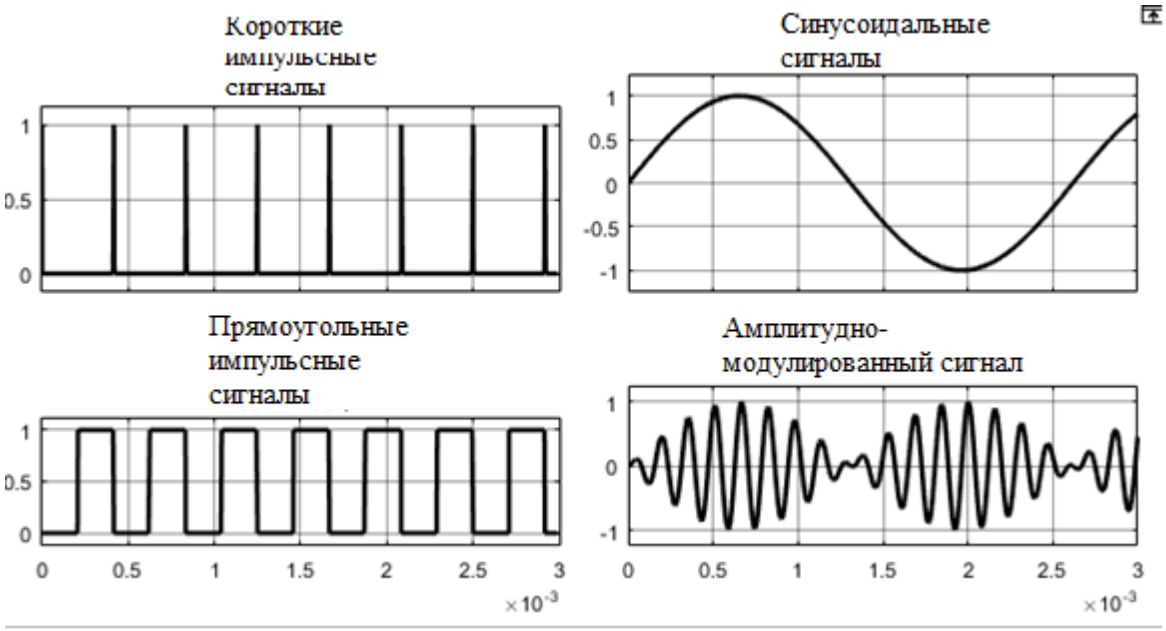

Рисунок 1.12 - Результаты в дифференциальном окнеScope

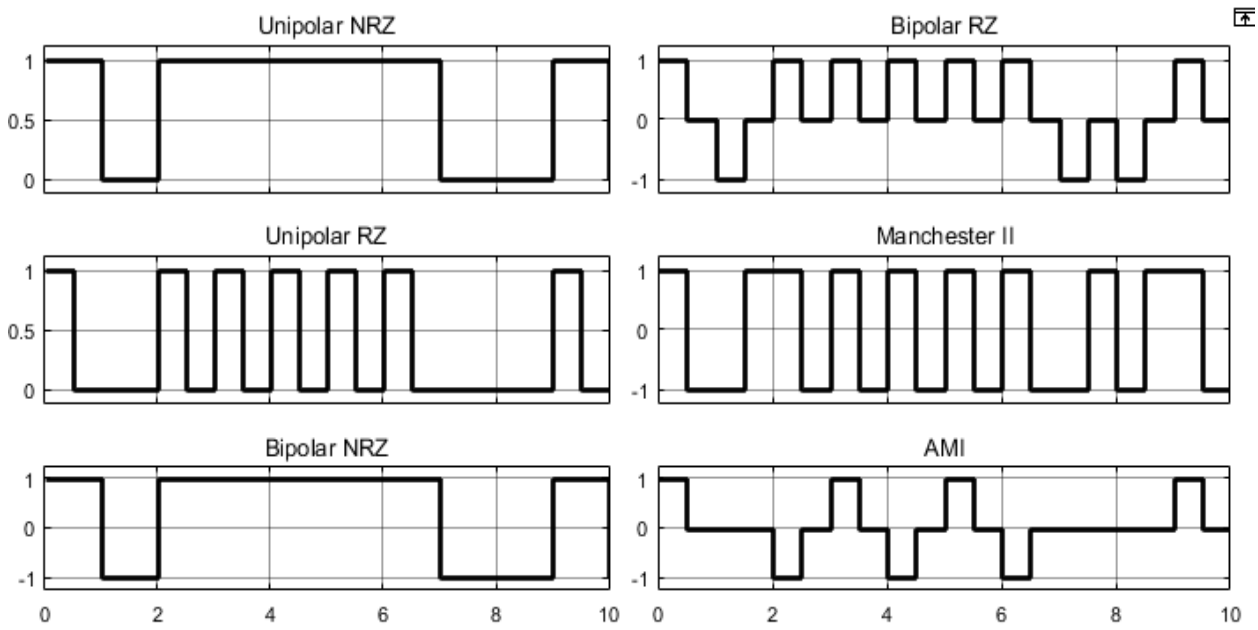

Рисунок 1.13 – Результаты в дифференциальном окне Scope 2

1.5 Контрольные вопросы

1.5.1 Объясните разницу между коротким импульсом в спектре сигнальной составляющей (t_i << TP) и прямоугольными сигналами.

1.5.2 Объясните процесс формирования прямоугольного сигнала в модели Digital_communication_2.slx.

1.5.3 Объясните формирование кодов RZ.

1.5.4 Объясните формирование кодов RZ,NRZ..

1.5.5 Объясните формирование кодов AMI (ЧПИ).

1.5.6 Объясните формирование кодов «Манчестер II».

1.5.7 Основные требования к линейным кодам.

2 Лабораторная работа № 2. Исследование модели простого идеального канала связи

Цель работы: изучение способа передачи дискретных сообщений и возникновения частоты ошибок в канале, влияния различных шумов на работу каналов связи.

2.1 Предварительная подготовка

Изучение основ каналов связи, ознакомление с основными видами модуляции и изучение работы каналов с шумом Гаусса.

2.2 Задачи работы

2.2.1 Создать идеальный канал связи.

2.2.2 Исследование битовых ошибок в канале связи.

2.3 Рекомендации по работе

Канал связи (канал передачи данных) представляет собой систему технических устройств и распределение сигналов, которая предоставляет отправителю одностороннюю информацию получателю. Любая система электросвязи должна иметь преобразователи: в источнике информации - информация в сообщении, сигнал сообщения, сигнал приемника, сигнал сообщения. Основными характеристиками выбора являются:

- удобная полоса частот;
- динамический диапазон;
- волновое сопротивление;
- пропускная способность;
- помехоустойчивость;
- обьем информации.

Модулятор преобразует первичный сигнал s (t) во второй сигнал, который может беспрепятственно перемещаться в передатчике s (t). На канале он имеет дополнительный кодер (декодер) и канальный кодер (декодер).

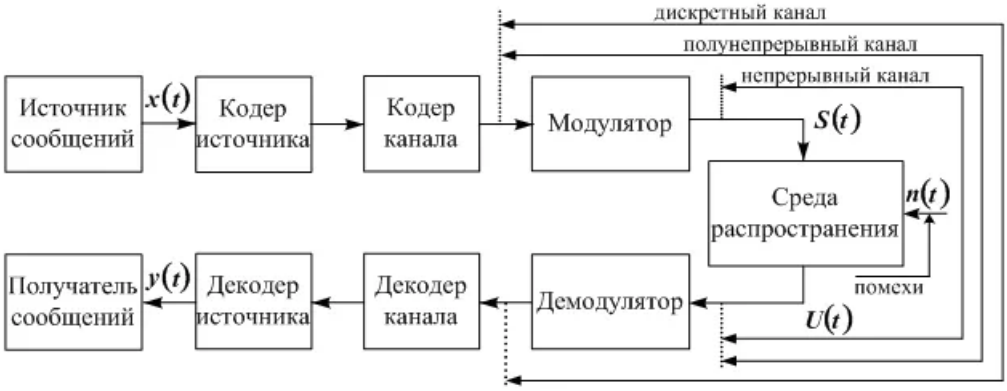

Рисунок 2.1 – Дискретный канал связи

Coder заменяет сообщение кодовыми символами, чтобы свести к минимуму объем информации, которую он может использовать для сжатия информации или предоставления информации в оптимальной форме (двоичные числа).

Channel Coder обеспечивает стабильность кодирования для кодированного шума сообщений.

Двоичный генератор Бернулли генерирует двоичные числа в случайной двоичной системе из положения Бернулли. Если вероятность положения Бернулли задается P, вероятность нуля P, вероятность появления еденицы 1-P. Дисперсия позиции Бернулли P (1-R).

Мы используем фазовую манипуляцию в качестве модулятора. Фазовая манипуляция - это тип фазовой модуляции, где фаза сигнала несущей изменяется резко.

Культивированная косинусная описательная фильтрация является наиболее распространенным электронным фильтром в телекоммуникационных системах, который может уменьшить флуктуацию (интерференция с интерфейсом MCI). Повышенный косинусный фильтр является реализацией низкочастотного фильтра NiCquist. Название наиболее распространенного частотного спектра фильтра β = 1 равно нулю; f приносит косинус, поднятый до горизонтальной оси.

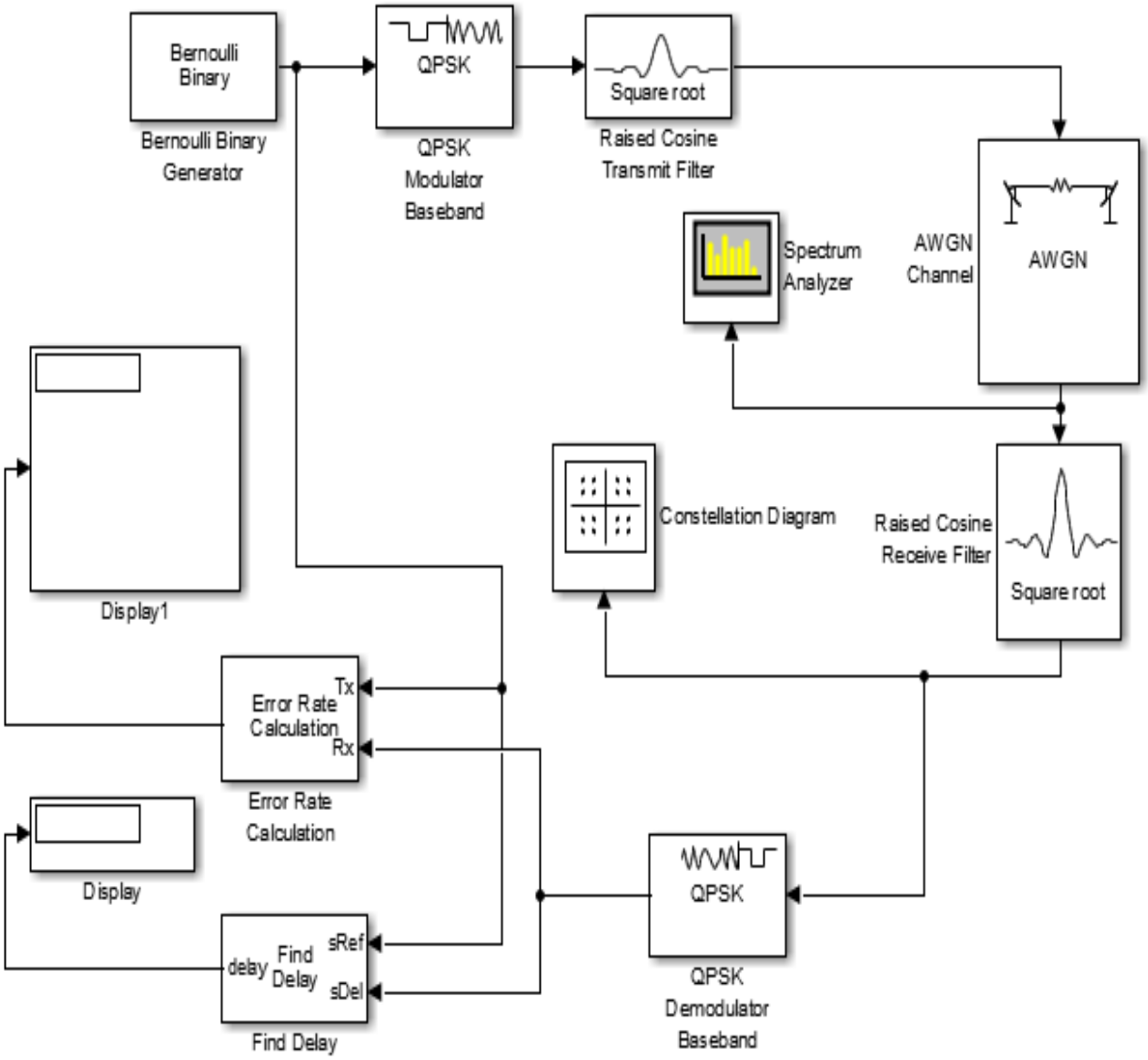

Рисунок 2.2 – Digital_communication_3.slx

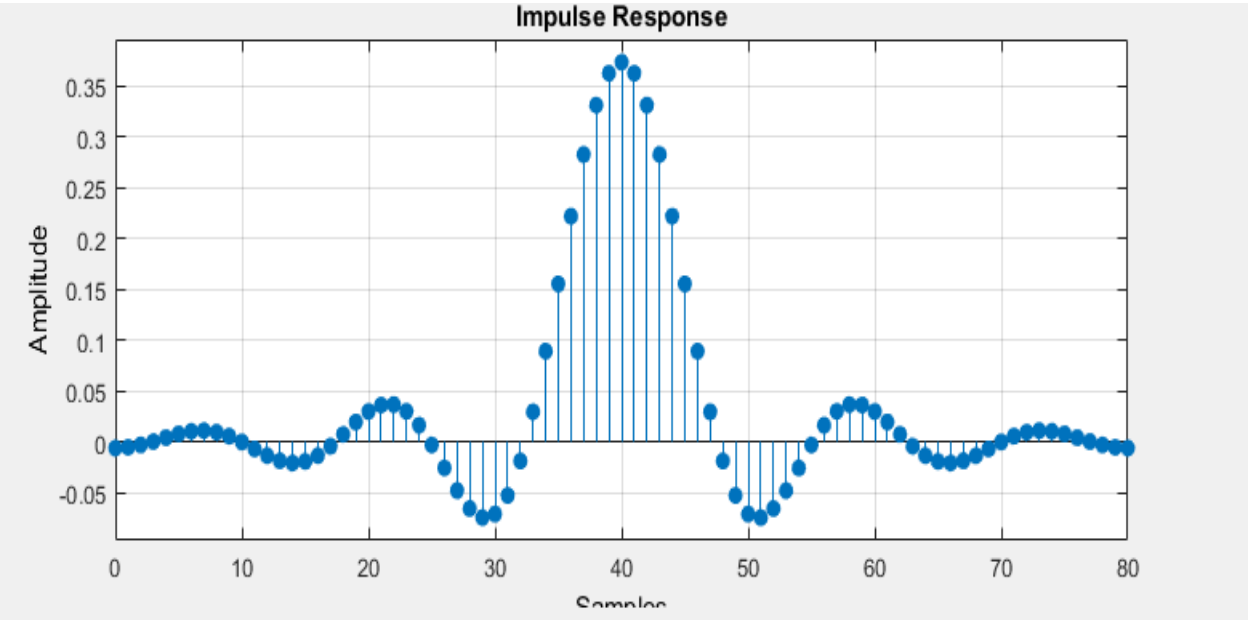

Рисунок 2.3 – Фильтр приподнятого косинуса

Аддитивный белый гауссовский шум (AWGN) - это условие, которое предотвращает передачу информации в фидере. Он имеет ту же спектральную плотность, что и нормальная на всех частотах, с умеренными значениями времени и мощностью сигнала. Аддитивный термин относится к шуму независимо от значения сигнала. Нет мультипликативного шума, а не аддитивного шума - шума, который растет с сигналом.

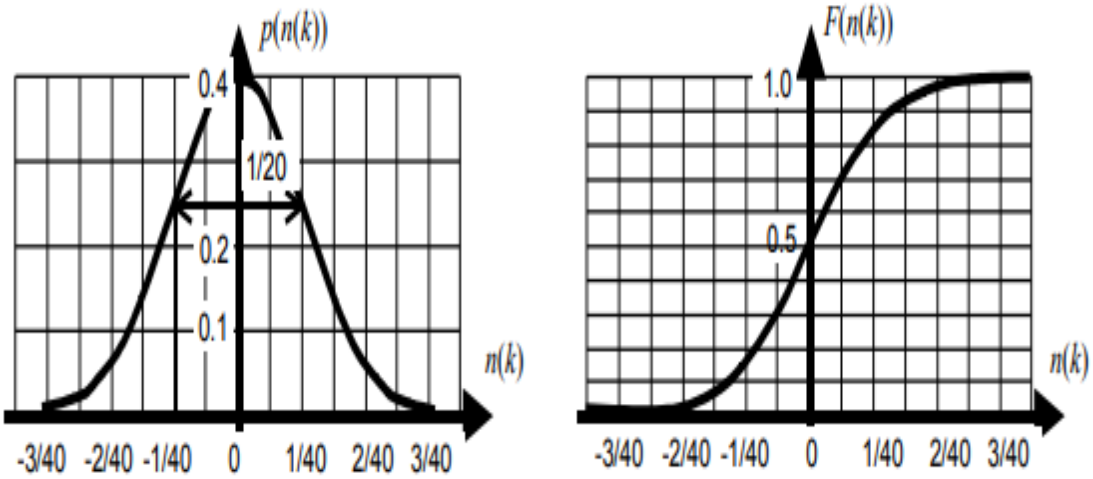

Рисунок 2.4 – Аддитивный белый гауссовский шум

Сигнальное созвездие представляет собой изображение управляемого сигнала в комплексной плоскости. В нашем случае диаграмма звездочки будет выглядеть на рисунке 2.4, потому что мы используем модуляцию QPSK.

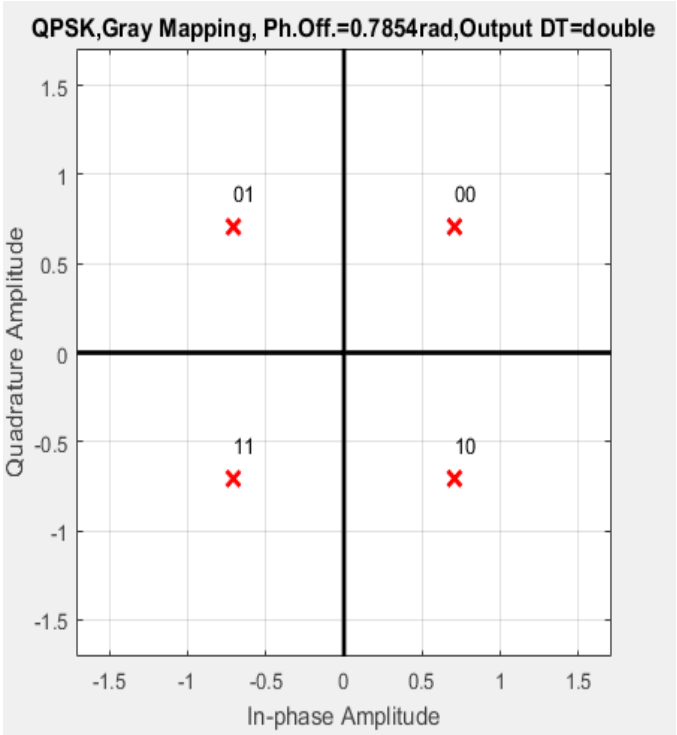

Рисунок 2.5 - Сигнальное созвездие

Запустите модель, выбрав опцию частоты генератора (0.1MHz-1MHz), и установите системный временной интервал. Захват самого экрана включает в себя саму модель, спектр и звездную диаграмму, которую вы хотите записать.

Известно, что существуют две основные причины надежности коммуникации из теории коммуникации. Первая причина - отношение сигнал / шум (S / N - сигнал к шуму или отношение сигнал / шум - сигнал). Вторая - искажение сигнала. Сигнальное искажение является феноменом межсимвольной интерференции в цифровых системах связи. В нашей работе мы учитываем только частоту ошибок (BER - Bit Error Rate) на основе отношения сигнал / шум, потому что мы использовали косинусный фильтр, который исключает блокировку помех в модели Digital_communication_3.slx.

Типично, отношения сигнал / шум в цифровых системах часто используется в E_b/N_o (E_b - бит энергии), а не S/N (отношение средней мощности к шуму сигнала). Вероятность ошибки и Q-фактор рассчитываются следующим образом:

$$P_{\text{ошибка}} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right);$$

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{t^2}{2}} dt.$$

Запишите ошибку изменения отношения сигнал/шум Digital_communication_3.slx по вариантам от 0 дБ до 20 дБ.

В приложении Matlab откройте Bit error rate analysis на панели инструментов приложений. Изменив соотношение сигнал / шум в программе, выделите тип модуляции и нажмите кнопку «Сюжет». Вычислите значения в полученном графике с вашими собственными значениями.

2.4 Листинг модели Simulink

Для модели Digital_communication_3.slx:

Type: Variable-step, Solver: discrete, Start time: 0, Stop time: inf,

1. Bernoulli binary generator

Probability of zero: 0.5, Source of initial seed: Auto, Sample time: (1/200e3)/2, Samples frame: 100, Output data type: double, Simulation using: Interpreted execution

2. QPSK Modulator Baseband

Input type: Bit, Constellation ordering: Gray, Phase offset(rad):pi/4

3. Raised Cosine Transmit Filter

Filter shape: Square root, Rolloff factor: 0.2, Filter span in symbols: 10, Output samples per symbol: 8, Linear amplitude filter gain: 1, Input processing: Columns as channel (frame based), Rate options: Enforce-rate processing

4. AWGN Channel

Input processing: Columns as channel, Initial seed: 67, E_b/N_o: 10, Number of bits per symbol: 2, Input signal power, referenced to 1 ohm (watts): 1/8, Symbol period (s): 1/200e3

5. Raised Cosine Receive Filter

Filter shape: Square root, Rolloff factor: 0.2, Filter span in symbols: 10, Input samples per symbol: 8, Decimation factor: 8, Decimation offset: 0, Linear amplitude filter gain: 1, Input processing: Columns as channel, Rate options: Enforce single rate processing

6. Spectrum Analyzer

7. QPSK Demodulator Baseband

Output type: Bit, Decision type: Hard decision, Constellation ordering: Gray, Phase offset (rad): pi/4,

8. Constellation Diagram

9. Error rate Calculation

Receive delay: 20, Computation delay: 0, Computation mode: Entire frame, Output data: Port

10. Find Delay

Correlation window length (samples): 200

11. Display

12. Display

Результаты моделирования

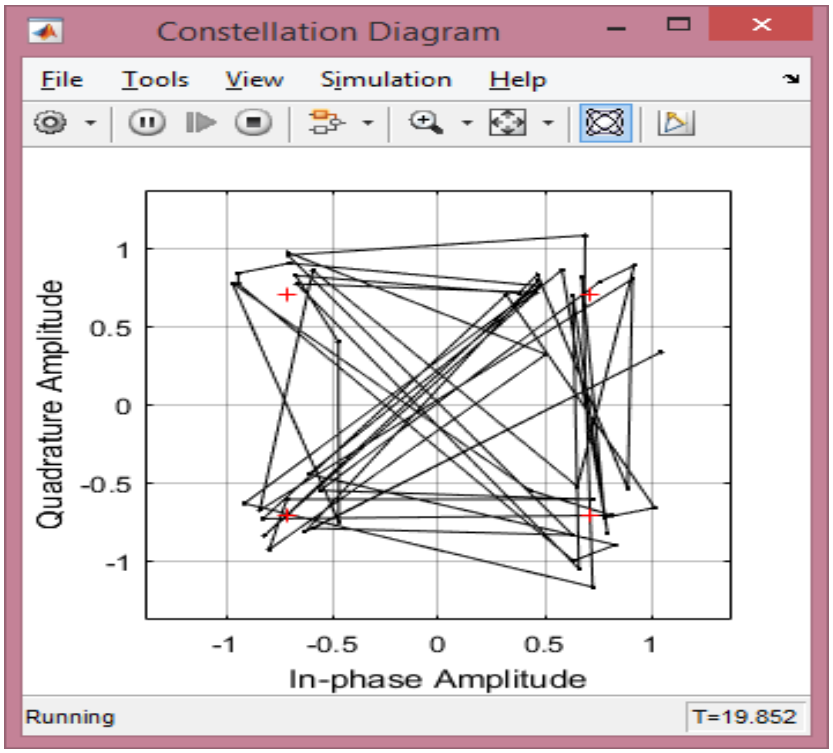

Рисунок 2.6 – Сигнальное созвездие

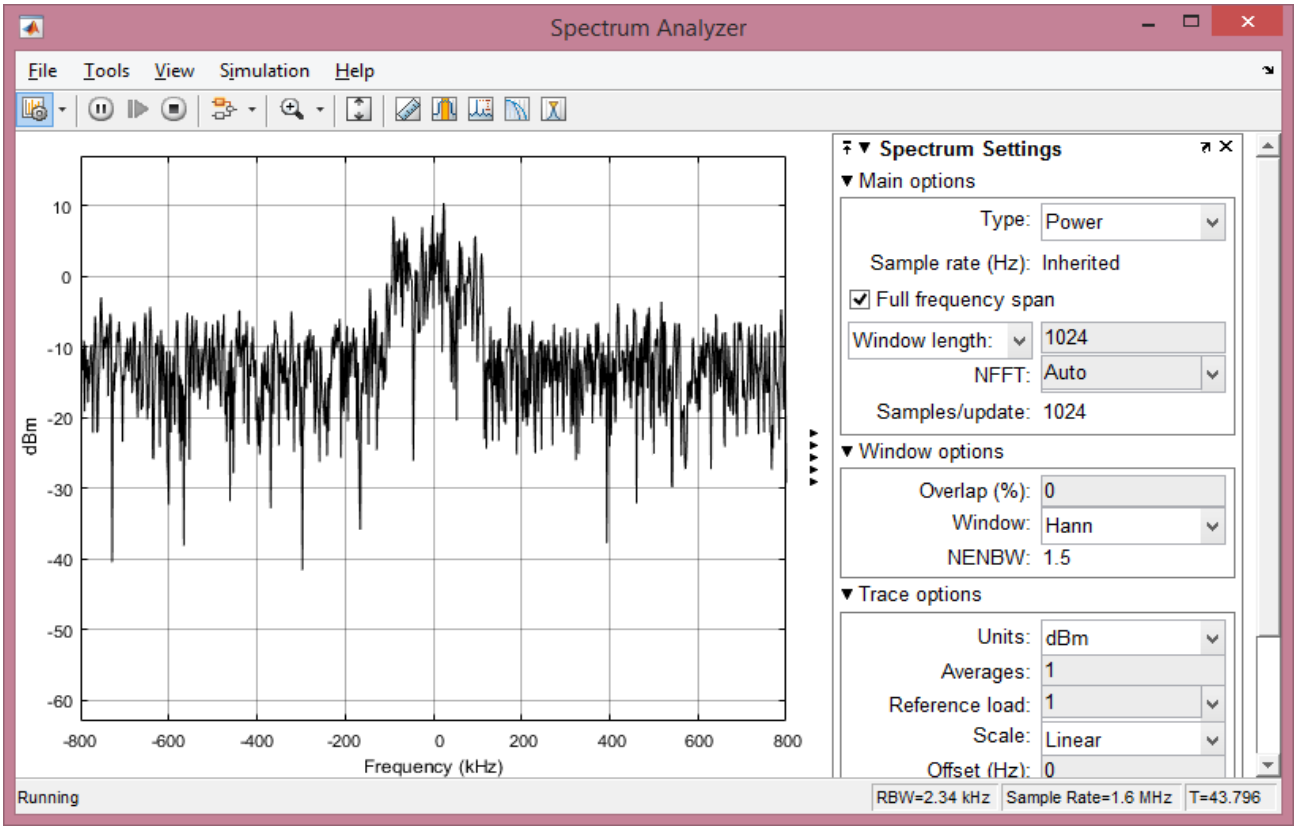

Рисунок 2.7 – Спекральный анализ

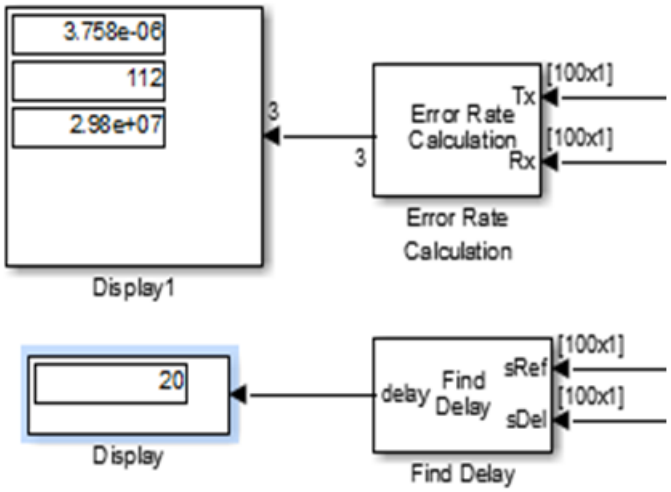

Рисунок 2.8 - Результаты вычислений

2.5 Контрольные вопросы

2.5.1 Какова функция блога Find Delay в модели?

2.5.2 В чем связь сигнального созвездия и модуляции сигнала?

2.5.3 Почему применяется манипуляция (фазовая, амплитудная) в дискретных каналах связи?

2.5.4 Какие методы модуляции следует использовать для получения минимальных ошибок в каналах связи?

2.5.5 Что такое пропускная способность канала связи?

2.5.6 Что такое помехоустойчивость канала?

2.5.7 Что такое SNR?

3 Лабораторная работа № 3. Изучение дискретной двоичной модуляции

Цель работы: знакомство с амплитудной и частотной манипуляций; знакомство с основными четырьмя типами фазовых манипуляций и их практическое применение.

3.1Предварительная подготовка

Изучить формирование устройств кодера и декодера в квадратной амплитудной модуляции, изучить восьмипозиционную фазовую модуляцию.

3.2Задачи работы

3.2.1 Сборка модели ASK и FSK в системе Simulink.

3.2.2 Изучение типов фазовых манипуляций.

3.3 Рекомендации по работе

Амплитудная манипуляция представляет собой радикальное изменение амплитуды сигнала из-за поступающей информации. Эта модуляция является самой простой цифровой модуляцией. Его основная цель - изменить уровень

сигнала на 0 и 1 в информационном канале, т. е. 0 имеем 5V, 1 - 1V. В то же время частота и фаза сигнала несущей остаются стабильными, а амплитудная манипуляция потребляет минимальную полосу пропускания.

Амплитудная манипуляция редко практикуется, поскольку модулированный сигнал нестабилен для помех. Любой импеданс короткого замыкания может вызвать много ошибок. Однако этот тип модуляции широко распространен в оптических каналах связи, поскольку оптическое волокно не подвергается воздействию внешних помех.

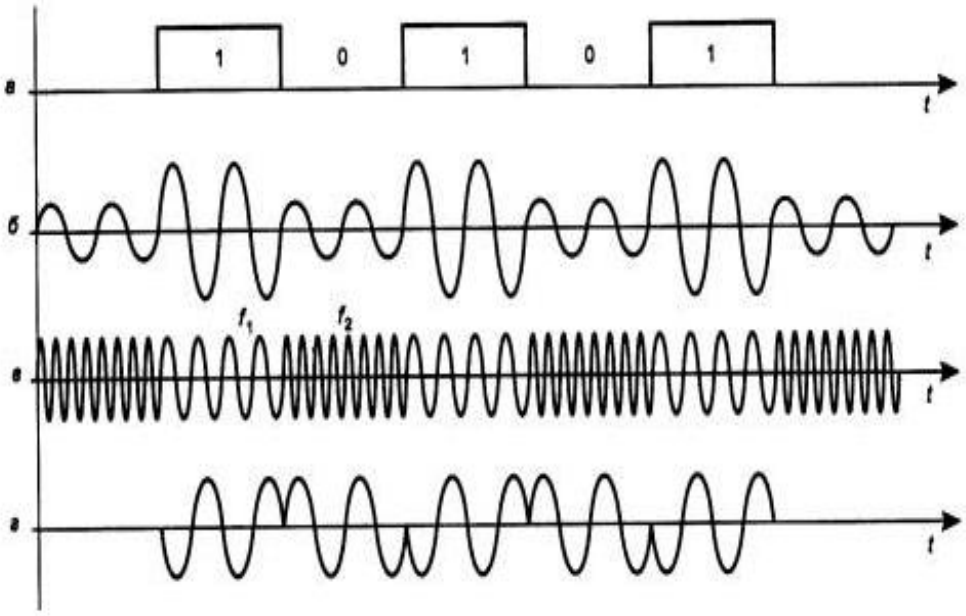

Рисунок 3.1 – Виды модуляции

Соберите схемы digital_communication_4.slx и Digital_communication_5.slx, взяв опцию h (опция последних трех цифр билета студента в системе бинарной переписи), и сохраните результаты работы системы.

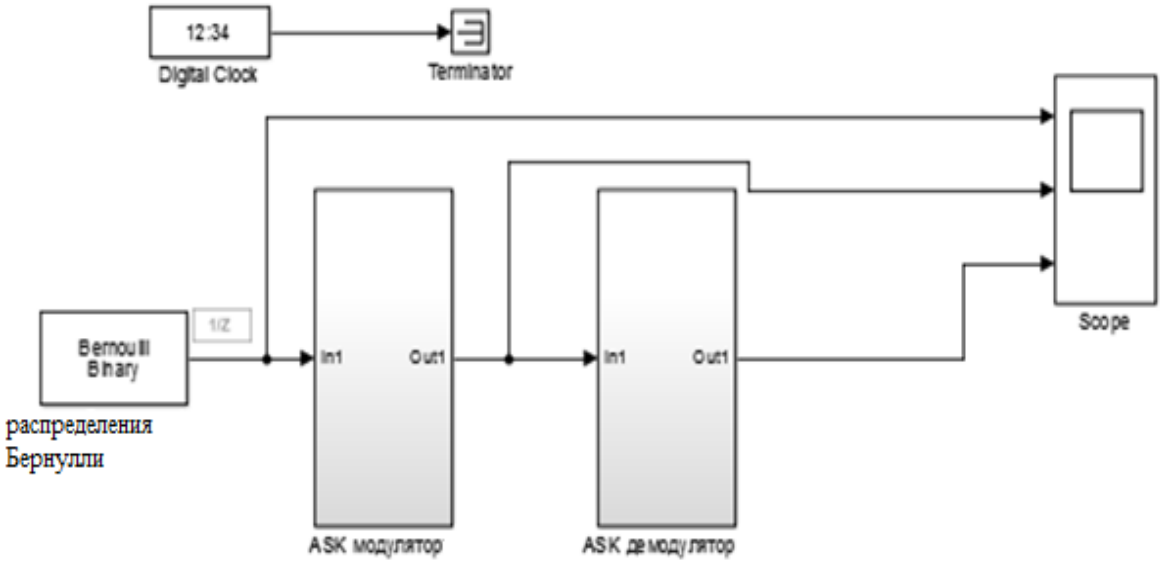

Рисунок 3.2 – Digital_communication_4.slx

Частотная манипуляция - это изменение частоты сигнала в зависимости от входной информации. Частотные манипуляции прерываются помехами, поскольку помехи могут быть только амплитудами.

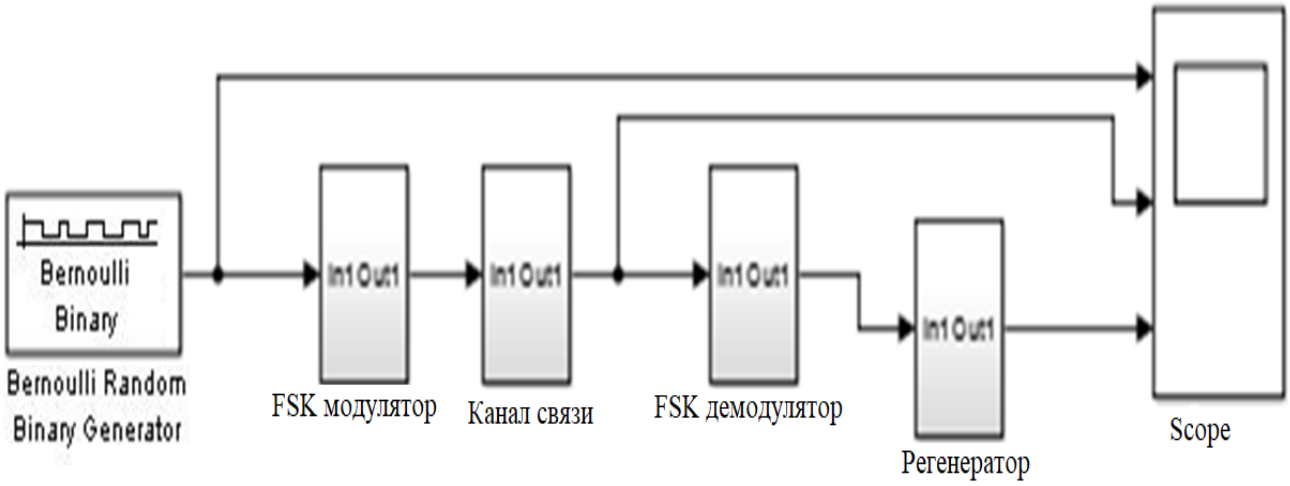

Рисунок 3.3 –Digital_communication_5.slx

Фазовая манипуляция - это резкое изменение фазы входного несущего сигнала. Сигнал фазовой манипуляции имеет следующий вид:

$$S_m(t) = g(t)\cos[2\pi f_c t + \varphi_m(t)].$$

где $\varphi_m(t) -$ модулирующие сигналы, могут принимать дискретные значения M;

$f_c -$ частота несушего сигнала.

Если M = 2, фазовая манипуляция называется бинарной фазовой манипуляцией (BPSK, B-Binary - 1 фазовая трансформация фазы).

Если M = 4, фазовая манипуляция называется квадратурной фазовой манипуляцией (QPSK, Q-Quadro - 2 битовое изменение фазы один раз), а когда M = 8 - однофазное изменение фазы, 8-PSK и т. д.

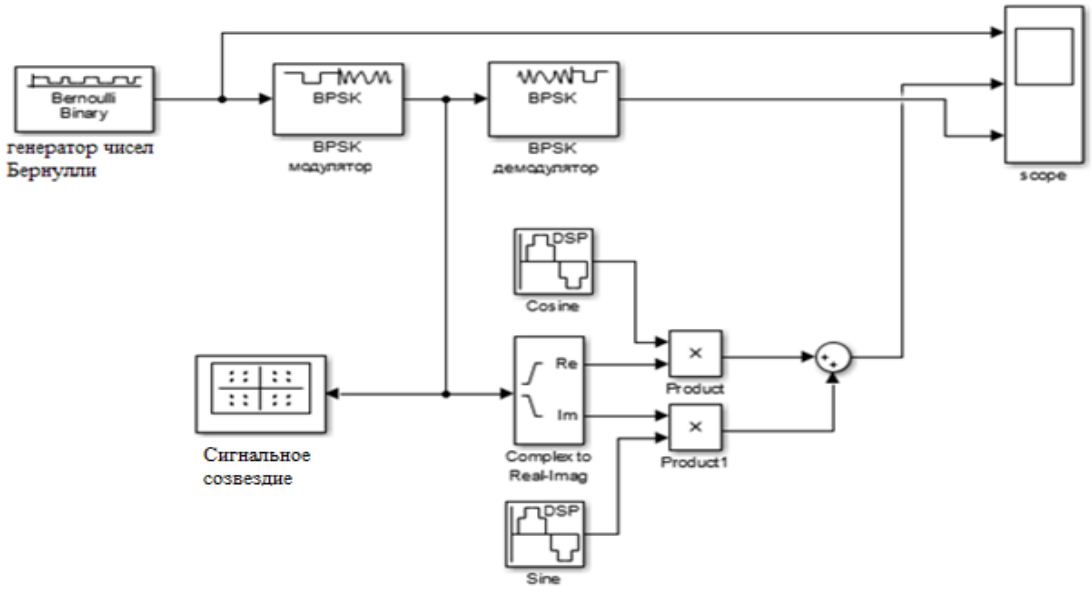

Рисунок 3.4 – Digital_communication_6.slx

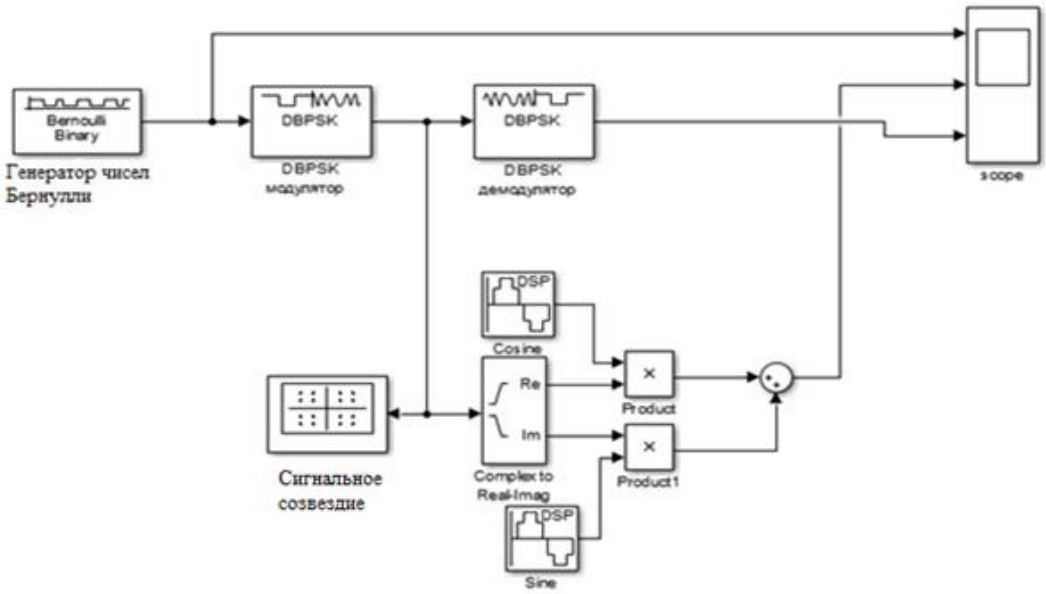

Рисунок 3.5 – Digital_communication_7.slx

Относительная фазовая манипуляция (DBPSK, D-Differential) представляет собой манипуляцию с фазовым изменением 180^0 при отправке информации. Причиной использования относительной фазовой манипуляции является то, что, когда FM распределяется посредством непрерывной синхронизации, кодирование DBPSK не изменяет поворот звездной диаграммы, а не фазовое изменение.

Многофазная фазовая манипуляция - это манипуляция, которая изменяется в зависимости от значения M. Использование многофазных манипуляций с фазой заключается в максимизации фазы сигнала и

увеличении информационной нагрузки. Наиболее распространенными типами являются фазовые манипуляции с позициями 4 и 8.

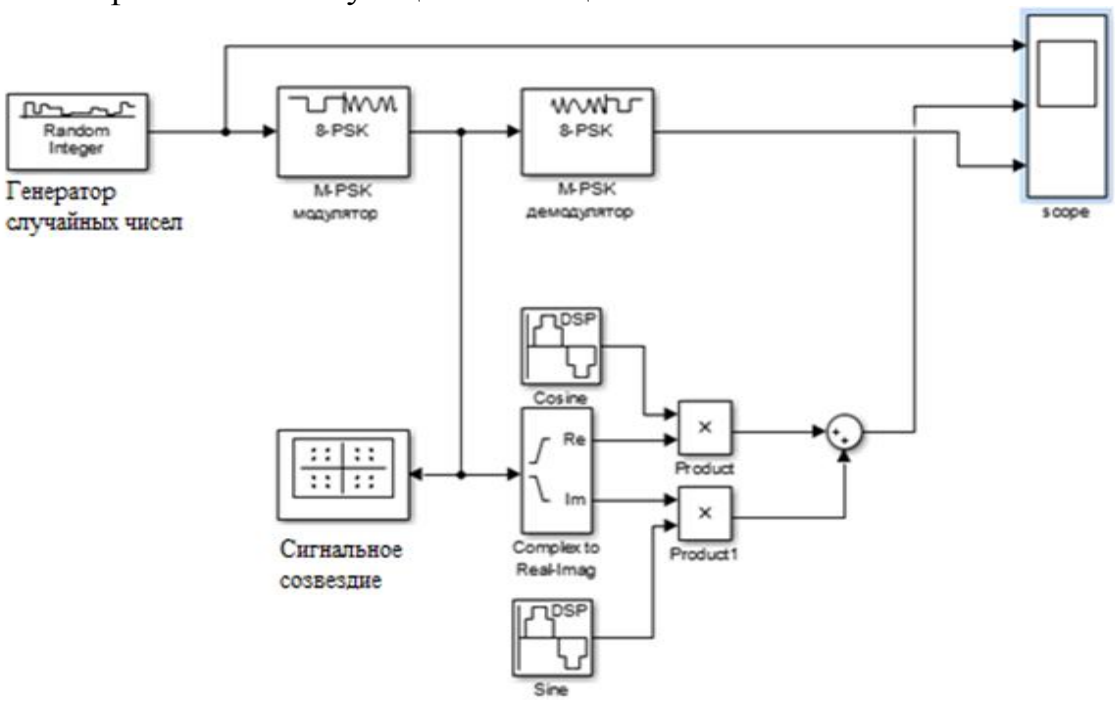

Рисунок 3.6 – Digital_communication_8.slx

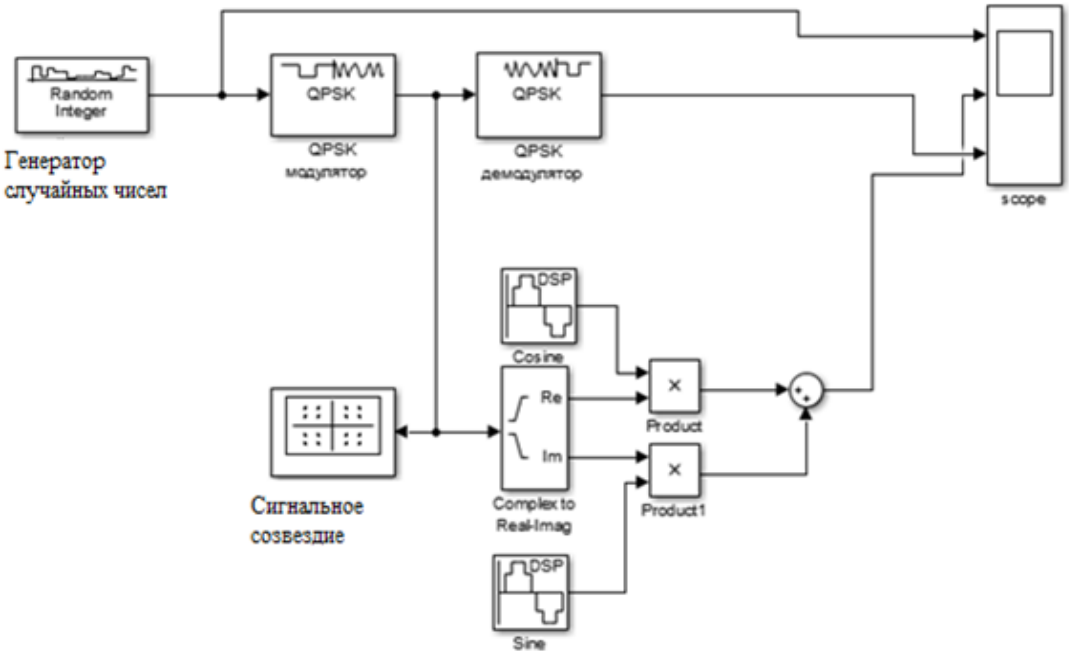

Рисунок 3.7 – Digital_communication_9.slx

3.4 Листинг модели Simulink

Digital_communication_4.slx:
Type: Variable-step, Solver: ode45 (Dormand-Prince)

Additional options/Relative tolerance: 1e-3, Shape preservation: Disable all, Number of consecutive min steps:1.

Zero-crossing options/Zero crossing control: Use local settings, Time tolerance: 10·128·eps, Number of consecutive zero crossings: 1000, Algorithm: Nonadaptive.

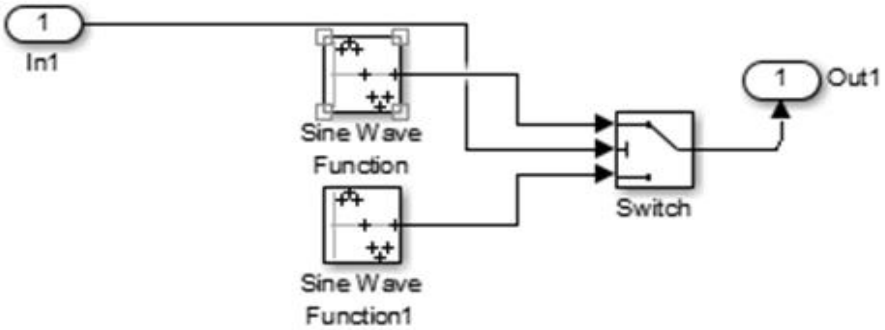

Рисунок 3.8 – Digital_communication_4.slxASK mod

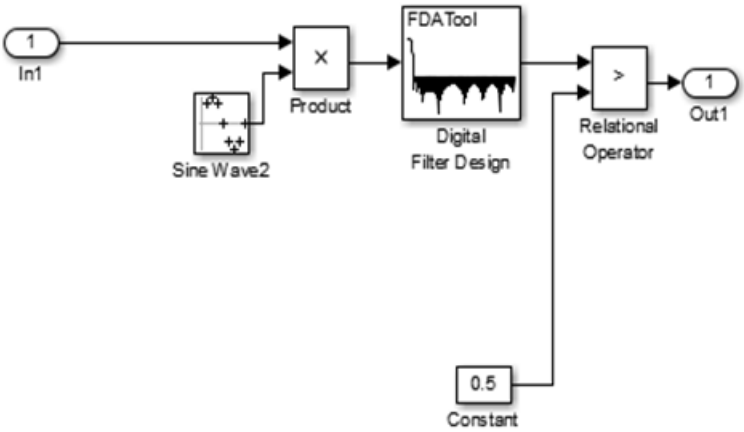

Рисунок 3.9 – Digital_communication_4.slxASK demod

1. Bernoulli Binary Generator

Probability of zero: 0.5, Source of initial seed: Parameter, Initial seed: 81, Sample time: 5, Samples per frame: 1, Output data type: double, Simulation using: Code generation

2. Scope

Number of Input Ports: 3

3. Digital Clock

Sample time:0.001

4. Terminator

5. Subsystem ASK mod

5.1 Sine Wave

Sine type: Sample based, Time(t): Use simulation time, Amplitude: 2, Bias: 0, Samples per priod:50, Number of offset samples: 0, Sample time: 1/20

5.2 Sine Wave

Sine type: Sample based, Time(t): Use simulation time, Amplitude: 0.5, Bias: 0, Samples per priod:50, Number of offset samples: 0, Sample time: 1/20

5.3 Switch

Criteria for passing first input:u2>=Threshold, Threshold=0.5

6. Subsystem ASK demod.

6.1 Sine Wave

Sine type: Sample based, Time(t): Use simulation time, Amplitude: 1, Bias: 0, Samples per priod:50, Number of offset samples: 0, Sample time: 1/20

6.2 Constant

Constant value: 0.5, Sample time: inf

6.3 Product

Number of inputs: 2, Multiplication: Element-wise(.*)

6.4 Relational Operator

Relational operator:>

6.5 Digital Filter Design:

Tools: Magnitude Response(dB), Response type: Low pass, Design method: FIR/Equiripple, Filter order: Specify order:127, Options/Density factor:16, Frequency Specifications/Units: Normalized(0 to 1),wpass:0.01,wstop: 0.05, Magnitude Specifications/Wpass:1,Wstop:1, Input processing: Inherited

Digital_communication_5.slx:

Type: Variable-step, Solver: ode45 (Dormand-Prince), Start Time: 0, Stop Time: 50

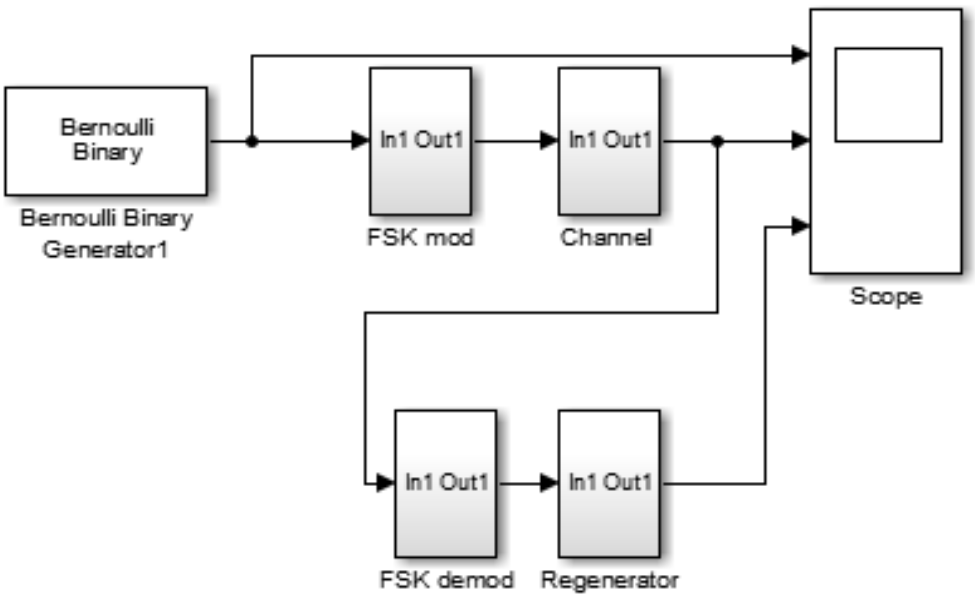

Рисунок 3.10 – Digital_communication_5.slx mod

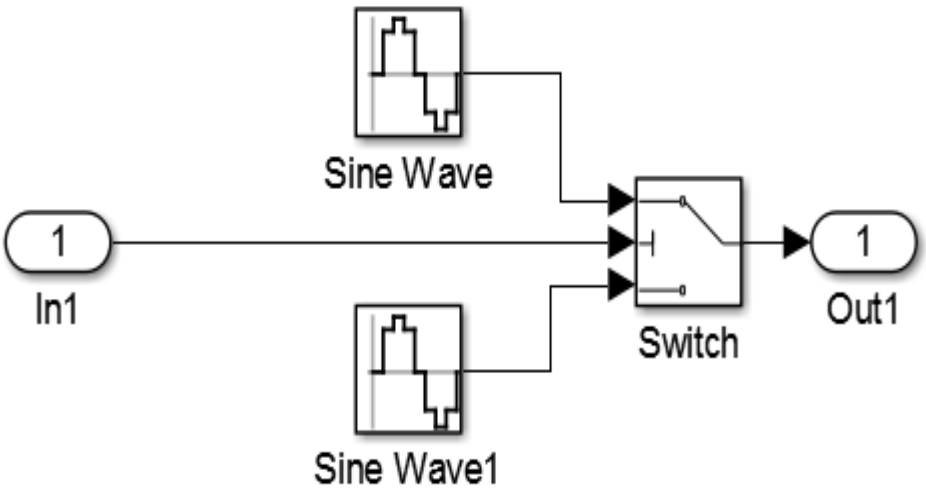

Рисунок 3.11 – Digital_communication_5.slxFSK mod

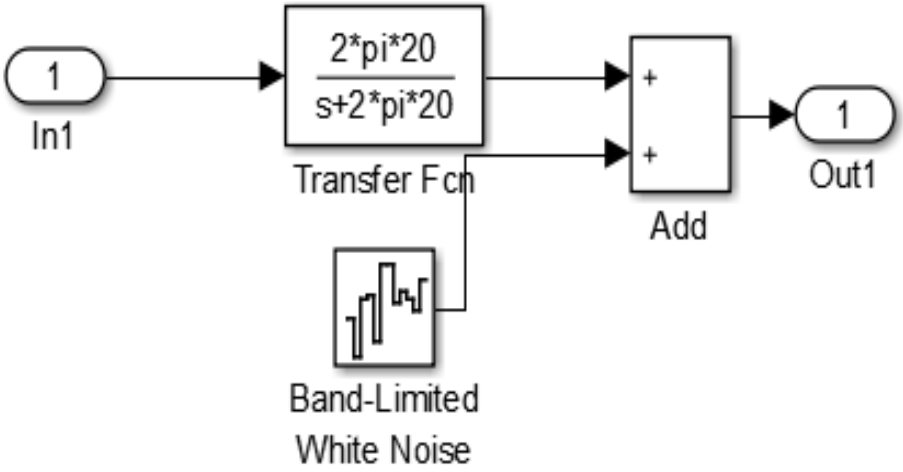

Рисунок 3.12 – Digital_communication_5.slxChannel

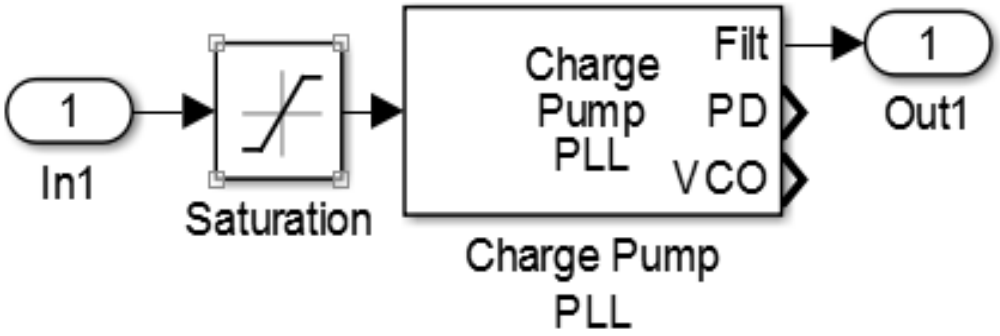

Рисунок 3.13 – Digital_communication_5.slxFSK demod

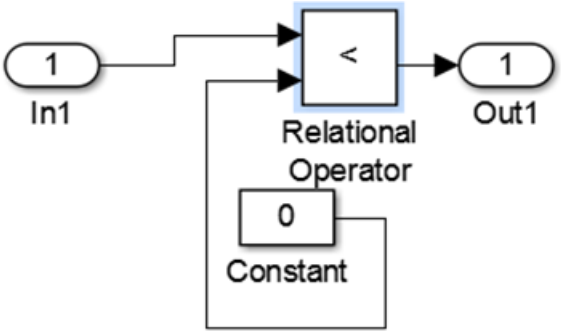

Рисунок 3.14 – Digital_communication_5.slxRegenerator

1. Bernoulli Binary Generator

Probability of zero: 0.3, Source of initial seed: Parameter, Initial seed: 61, Sample time: 5, Samples per frame: 1, Output data type: double, Simulation using: Interpreted execution

2. Scope

Number of Input Ports: 3

3. Subsystem FSK mod

3.1 Sine Wave

Sine type: Time based, Time(t): Use simulation time, Amplitude: 1, Bias: 0, Frequency(rad/sec):2*pi*4, Phase: 0, Sample time: 0.01

3.2 Sine Wave

Sine type: Time based, Time(t): Use simulation time, Amplitude: 1, Bias: 0, Frequency(rad/sec):2*pi*12, Phase: 0, Sample time: 0.01

3.3 Switch

Criteria for passing first input:u2>=Threshold, Threshold=0.5

4. Subsystem Channel

4.1 Transfer Fcn

Numerator coefficients:[2*pi*20], Denominator coefficients: [1 2*pi*20], Absolute tolerance: auto, State Name:"

4.2 Band-Limited White Noise

Noise power: [0.002], Sample time: 1, Seed: [23341]

4.3 Add

List of signs: ++

5. Subsystem FSK demod

5.1 Saturation

Upper limit: 0.5, Lower limit: -0.5

5.2 Charge Pump PLL

Lowpass filter numerator: [2*pi*1],Lowpass filter denomerator:[1 2*pi*1], VCO input sensitivity : 4, VCO quiescent frequency: 10, VCO initial phase: 0, VCO output amplitude: 1

6. Subsystem Regenerator
6.1 Constant
Constant value: 0, sample time: inf
6.2 Relational Operator
Relational operator: <

Digital_communication_6.slx:
Type : Variable-step, Solver: ode45, Start time 0.0, Stop time: 20
1. Bernoulli Binary Generator
Probability of a zero: 0.6, Initial seed: 61, Sample time : 1, Output data type: double
2. BPSK Modulator Baseband
Phase offset: 0
3. BPSK Demodulator Baseband
Decision type: Hard decision, Phase offset: 0
4. Constellation Diagram
5. Sine Wave Cosine
Amplitude: 1, Frequency(Hz): 2, Phase offset(rad): pi/2, sample mode: Discrete, Output complexity: Real, Computation method: Trigonometric fcn, Sample time: 1/1000, Samples per frame: 1, Resetting states when re-enabled: Restart at time zero
6. Sine Wave Sine
Amplitude: 1, Frequency(Hz): 2, Phase offset(rad): 0, sample mode: Discrete, Output complexity: Real, Computation method: Trigonometric fcn, Sample time: 1/1000, Samples per frame: 1, Resetting states when re-enabled: Restart at time zero
7. Complex to Real-Imag
Output: Real and imag
8. Product
Number of inputs: 2
9. Product
Number of inputs: 2
10. Sum
List of signs: ++
11. Scope
Number of inputs: 3

Digital_communication_7.slx:
Type: Variable-step, Solver: ode45, Start time 0.0, Stop time: 10
1. Bernoulli Binary Generator
Probability of a zero: 0.5, Initial seed: 61, Sample time : 1, Output data type: double
2. DBPSK Modulator Baseband
Phase Rotation: 0, Output data type: single
3. DBPSK Demodulator Baseband

Phase Rotation: 0, Output data type: Inherit via internal rule

4. Constellation Diagram

5. Sine Wave Cosine

Amplitude: 1, Frequency(Hz): 2, Phase offset(rad): pi/2, sample mode: Discrete, Output complexity: Real, Computation method: Trigonometric fcn, Sample time: 1/1000, Samples per frame: 1, Resetting states when re-enabled: Restart at time zero

6. Sine Wave Sine

Amplitude: 1, Frequency(Hz): 2, Phase offset(rad): 0, sample mode: Discrete, Output complexity: Real, Computation method: Trigonometric fcn, Sample time: 1/1000, Samples per frame: 1, Resetting states when re-enabled: Restart at time zero

7. Complex to Real-Imag

Output: Real and imag

8. Product

Number of inputs: 2

9. Product

Number of inputs: 2

10. Sum

List of signs: ++

11. Scope

Number of inputs: 3

Digital_communication_8.slx:

Type: Variable-step, Solver: ode45, Start time 0.0, Stop time: 10

1. Random Integer Generator

M-ary number: 8, Initial seed: 37, Sample time: 1

2. M-PSK Modulator Baseband

M-ary number: 8, Input type: Integer, Constellation ordering: Binary, Phase offset(rad): pi/8

3. M-PSK Demodulator Baseband

M-ary number: 8, Output type: Integer, Constellation ordering: Binary, Phase offset(rad): pi/8

4. Constellation Diagram

5. Sine Wave Cosine

Amplitude: 1, Frequency(Hz): 2, Phase offset(rad): pi/2, sample mode: Discrete, Output complexity: Real, Computation method: Trigonometric fcn, Sample time: 1/1000, Samples per frame: 1, Resetting states when re-enabled: Restart at time zero

6. Sine Wave Sine

Amplitude: 1, Frequency(Hz): 2, Phase offset(rad): 0, sample mode: Discrete, Output complexity: Real, Computation method: Trigonometric fcn, Sample time: 1/1000, Samples per frame: 1, Resetting states when re-enabled: Restart at time zero

7. Complex to Real-Imag

Output: Real and imag

8. Product
Number of inputs: 2
9. Product
Number of inputs: 2
10. Sum
List of signs: ++
11. Scope
Number of inputs: 3

Digital_communication_9.slx:
Type: Variable-step, Solver: ode45, Start time 0.0, Stop time: 20
1. Random Integer Generator
M-ary number: 4, Initial seed: 37, Sample time: 1
2. QPSK Modulator Baseband
Input type: Integer, Constellation ordering: Binary, Phase offset(rad): pi/4
3. QPSK Demodulator Baseband
Output type: Integer, Constellation ordering: Binary, Phase offset(rad): pi/4
4. Constellation Diagram
5. Sine Wave Cosine
Amplitude: 1, Frequency(Hz): 2, Phase offset(rad): pi/2, sample mode: Discrete, Output complexity: Real, Computation method: Trigonometric fcn, Sample time: 1/1000, Samples per frame: 1, Resetting states when re-enabled: Restart at time zero
6. Sine Wave Sine
Amplitude: 1, Frequency(Hz): 2, Phase offset(rad): 0, sample mode: Discrete, Output complexity: Real, Computation method: Trigonometric fcn, Sample time: 1/1000, Samples per frame: 1, Resetting states when re-enabled: Restart at time zero
7. Complex to Real-Imag
Output: Real and imag
8. Product
Number of inputs: 2
9. Product
Number of inputs: 2
10. Sum
List of signs: ++
11. Scope
Number of inputs: 3

Результаты моделирования

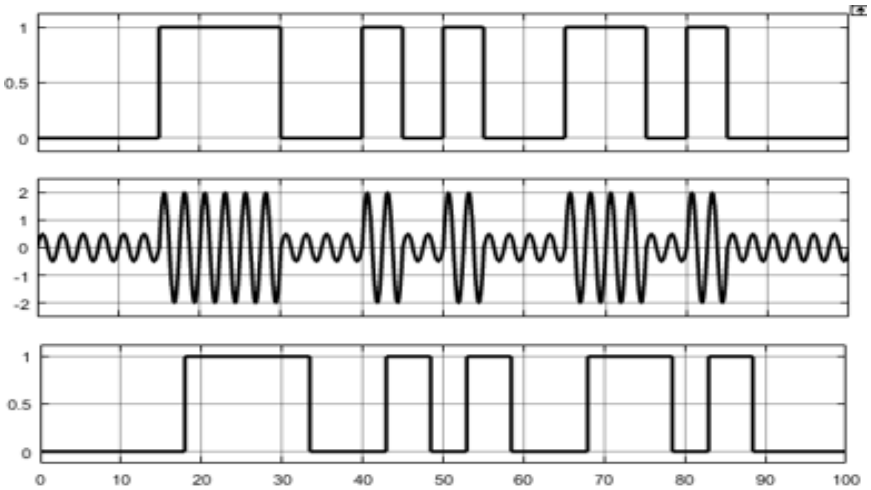

Рисунок 3.15 – ASK

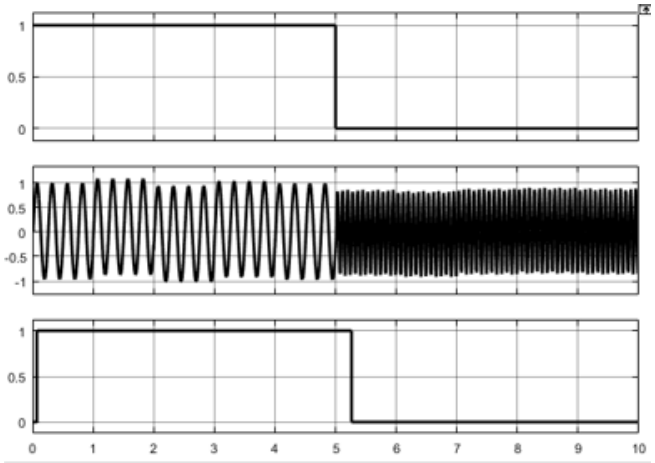

Рисунок 3.16 – FSK

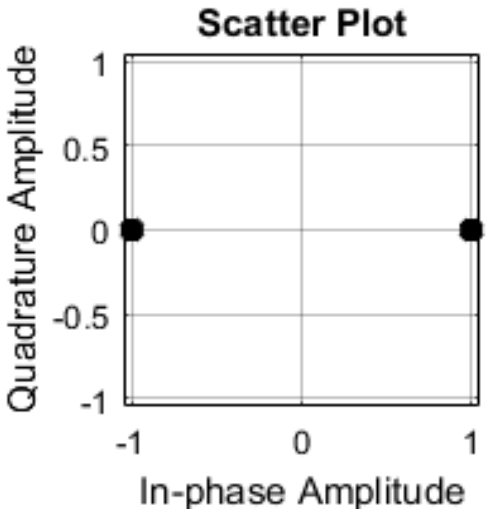

Рисунок 3.17 – BPSK созвездие

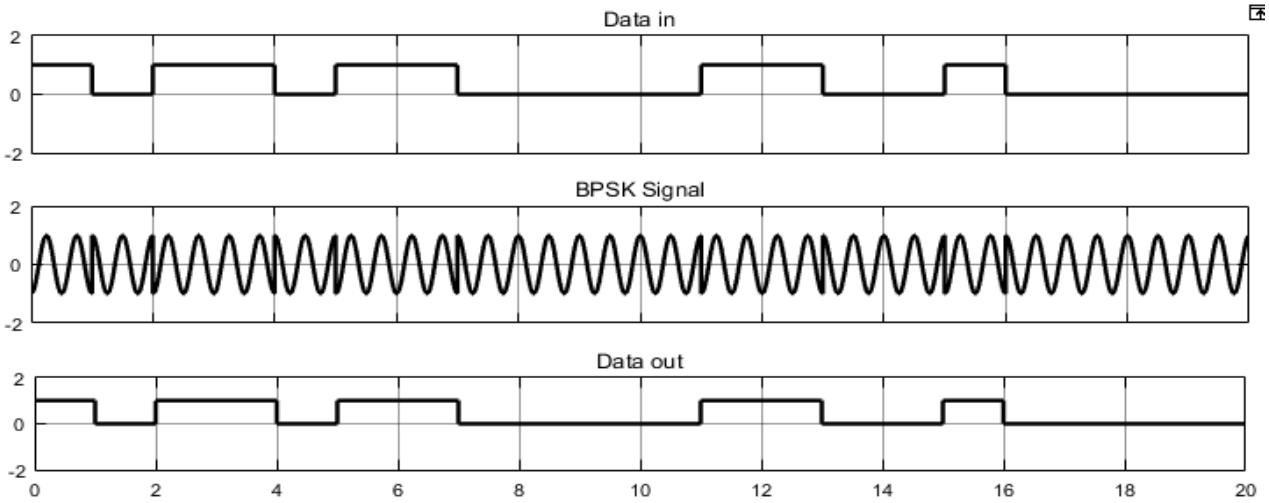

Рисунок 3.18 – BPSK

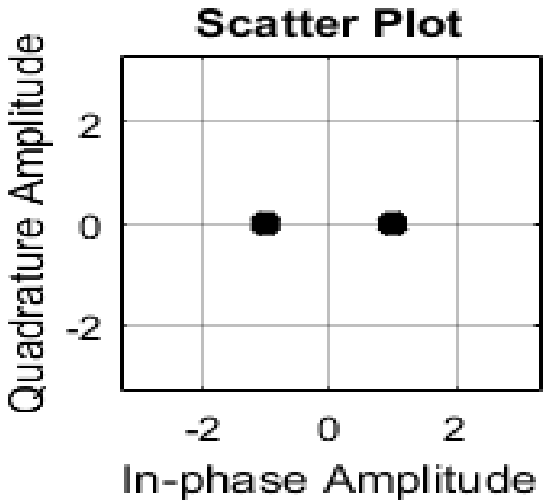

Рисунок 3.19 – DBPSK созвездие

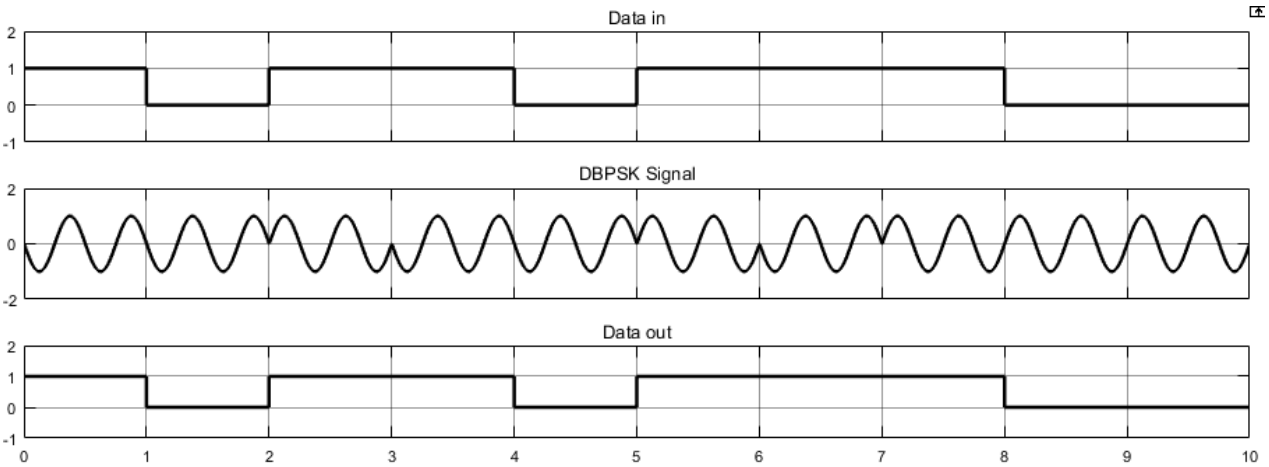

Рисунок 3.20 – DBPSK

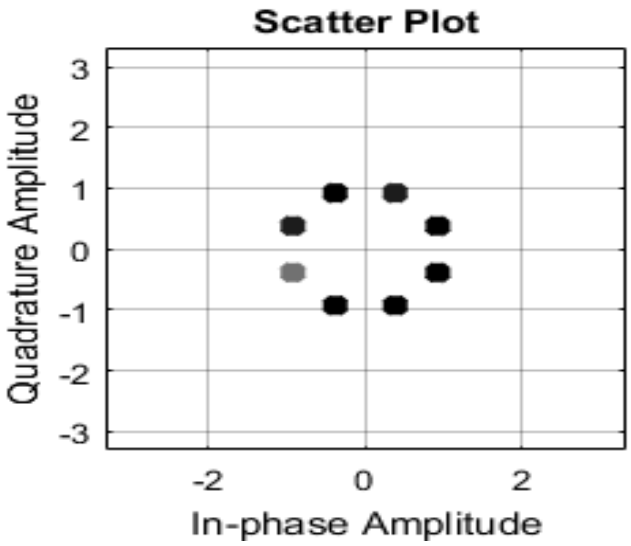

Рисунок 3.21– 8-PSK созвездие

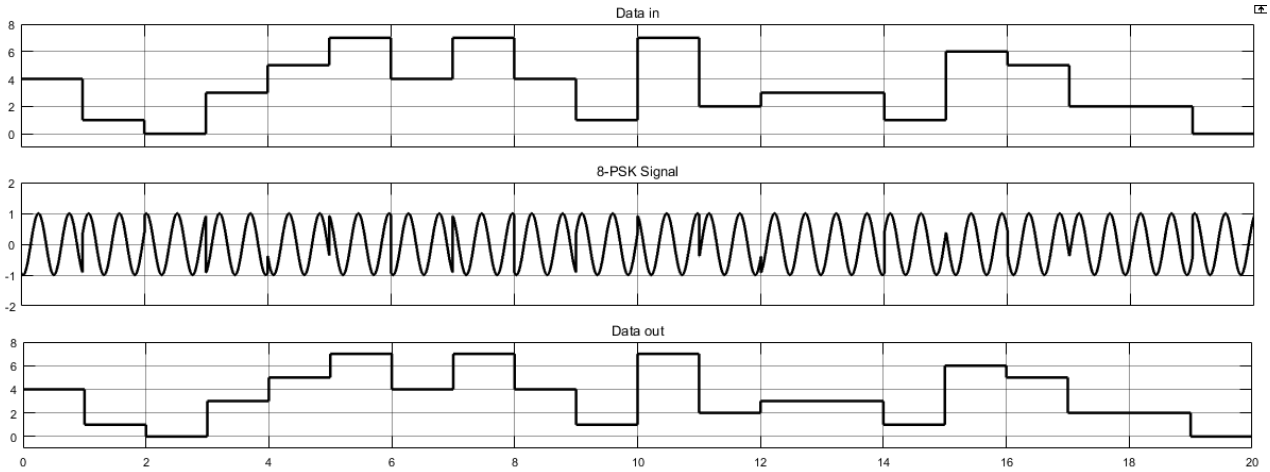

Рисунок 3.22– 8-PSK

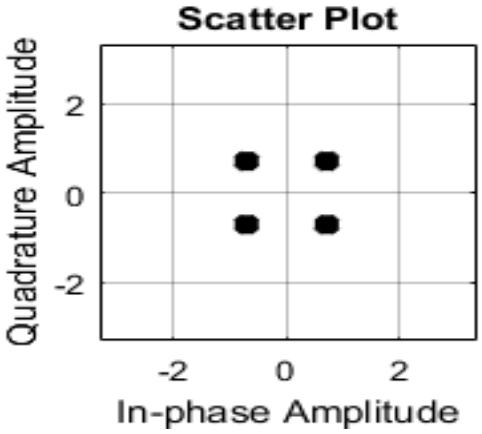

Рисунок 3.23 – QPSK созвездие

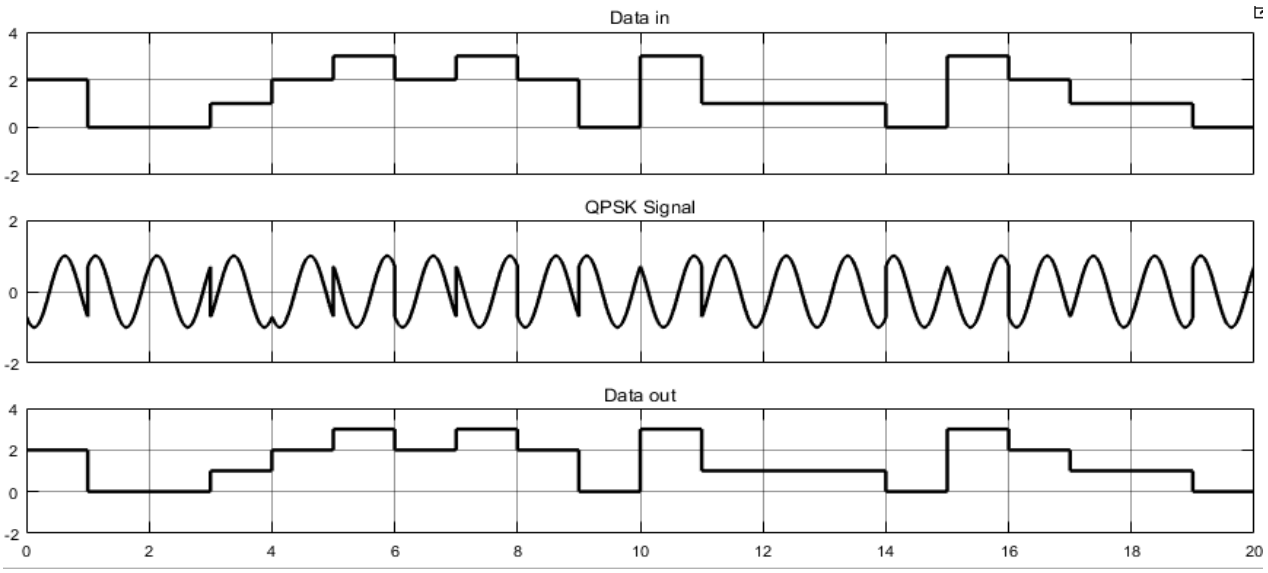

Рисунок 3.24 – QPSK

3.5 Контрольные вопросы

3.5.1 Какие виды манипуляции существуют?

3.5.2 Почему применяется манипуляция сигналов?

3.5.3 Что такое PSK, QPSK?

3.5.4 Что такое QAM?

3.5.5 Объясните сигналы, сосигнального созвездия возникающие в модуляции PSK. Как сигнальное созвездие определяет фазу сигнала?

3.5.6 Что такое ASK?

3.5.7 При каком методе приема PSK сигналов в условиях гауссовых помех обеспечивается меньшая вероятность ошибок?

4 Лабораторная работа № 4. Исследование помехоустойчивых кодов

Цель работы: изучение методов кодирования и декодирования БЧХ и циклических кодов.

4.1 Предварительная подготовка

4.1.1 Изучение методов кодирования и декодирования циклического кода.

4.1.2 Изучение методов кодирования и декодирования информации в БЧХ.

4.1.3 Изучение возможностей обнаружения и исправления ошибок циклических кодов и кодов БЧХ.

4.2 Задачи работы

4.2.1 Ознакомиться с циклическими кодами с помощью рабочей модели.

4.2.2 Изучение кодирования БЧХ.

4.2.3 Изучение кодирования Хемминга.

4.3 Рекомендации по работе

Помехостойчивый код называется кодом, который позволяет обнаруживать и исправлять ошибки в кодовых комбинациях.

Следовательно, эти коды делятся на два:

1) Обнаружение ошибок.

2) Обнаружение и исправление ошибок.

Расстояние кодирования - это минимальное количество элементов, которые могут отличаться от любой комбинации кода. Способность кодовой коррекции зависит от кодового расстояния:

$$d = r + s + 1,$$

где r –число ошибок

s – исправленное количество ошибок, r≥s.

Например:

а) d = 1 → r = s = 0;

б) d = 2 → r = 1 s = 0;

в) d = 3 → r = 1 s = 1; r = 2 s = 0;

г) d = 4 → r = 2 s = 1; r = 3 s = 0.

Циклический код - это блок кода с линейной циклической специфичностью, то есть циклически любой циклический ход. Циклический код относится к прерванным кодам.

Циклические коды. Каждая комбинация кодеков является частью кода системы шлюза. Где находятся символы информации k и проверочной части r.

Таблица 4.1 - Зависимость r от k при d = 3

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
r	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5

Если d = 4:

$$r_{d=4} = r_{d=3} + 1;$$

$$P(x)_{d=4} = P(x)_{d=3}.(x + 1).$$

Таблица 4.2 - Порождающий полином *P(x)*

r	*P(x)*	Порождающий полином
2	111	x^2+x+1
3	1011	x^3+x+1
3	1101	x^3+x^2+1
4	10011	x^4+x+1
5	100101	x^5+x^2+1
5	110111	$x^5+x^4+x^2+x+1$
5	111101	$x^5+x^4+x^3+x^2+1$

Чтобы найти циклический код, нам нужно выполнить следующий алгоритм:

- выведем G (x) xr и разделим его, разделив P (x), порождая многочлен R (x);

- циклический код G (x) xr и R (x) равны сумме остатка.

БЧХ коды - (Бойза - Чоудхури - Хокингема) - тип циклических кодов при d ≥ 5. Создание деструктивного полинома зависит от 2 основных параметров, остальные параметры выводятся с использованием специальных таблиц:

- n - длина кодирующей комбинации;

- s = t - количество ошибок, подлежащих исправлению.

Например: n = 63 и s = 3, производящий полином БЧХ, который исправляет ошибку, выглядит следующим образом:

$$x^{19}+x^{17}+x^{16}+ x^{13}+x^{10}+x^{9}+ x^{8}+x^{2}+1.$$

Если есть r = 19, то имеется 44 информационных потока (т.е. 63, 44).

Использование кодеков и модуляторов в цифровых каналах связи известно нам из второй лабораторной работы. В модели digital_communication_10 мы использовали двоичные циклические коды. Код представляет собой циклический код Затем мы использовали модулятор BPSK для передачи информации по каналу на канал. Эта модель является идеальным цифровым каналом связи.

Таблица 4.3 - Значение минимальных полиномов для степени L

	Степень L							
$M_i(X)$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	111	1011	10011	100101	1000011	10001001	100011101
3			1101	11111	111101	1010111	10001111	101110111
5			111	110111	1100111	10011101	111110011	1100110001
7				11001	101111	1001001	11110111	101101001
9					110111	1101	10111111	110111101
11					111011	1101101	11010101	111100111
13							10000011	100101011
15								111010111
17								010011
19							11001011	101100101
21							11100101	110001011
.								
.								111000011
43								
.								
.								011111
51								

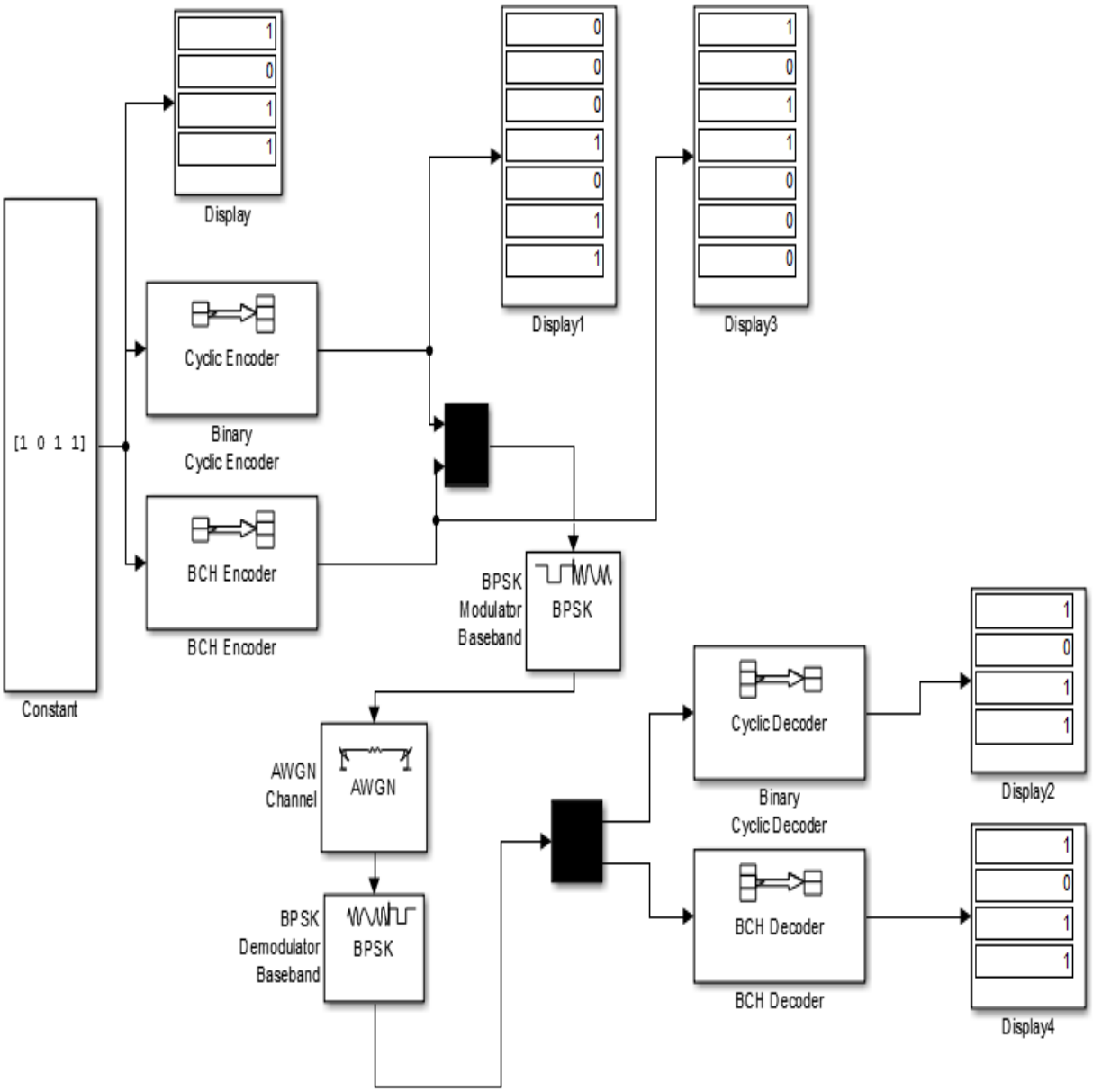

Рисунок 4.1 – Digital_communication_10.slx

Соберите Digital_communication_10.slx и используйте Signal from workspace вместо Binary Bernoulli Genrator в модели, чтобы ввести G (x) в своих вариантах. Перед запуском модели вычислите циклический код в варианте осуществления. После того, как вы нашли F (x), добавьте значения, которые вы только начали запускать модель.

Примечание. В двоичном кодеке длина кода должна быть 2m-1, m≥3, т.е. 7,15,31,63.tcs. В зависимости от длины кода G (x) должен соответствовать длине.

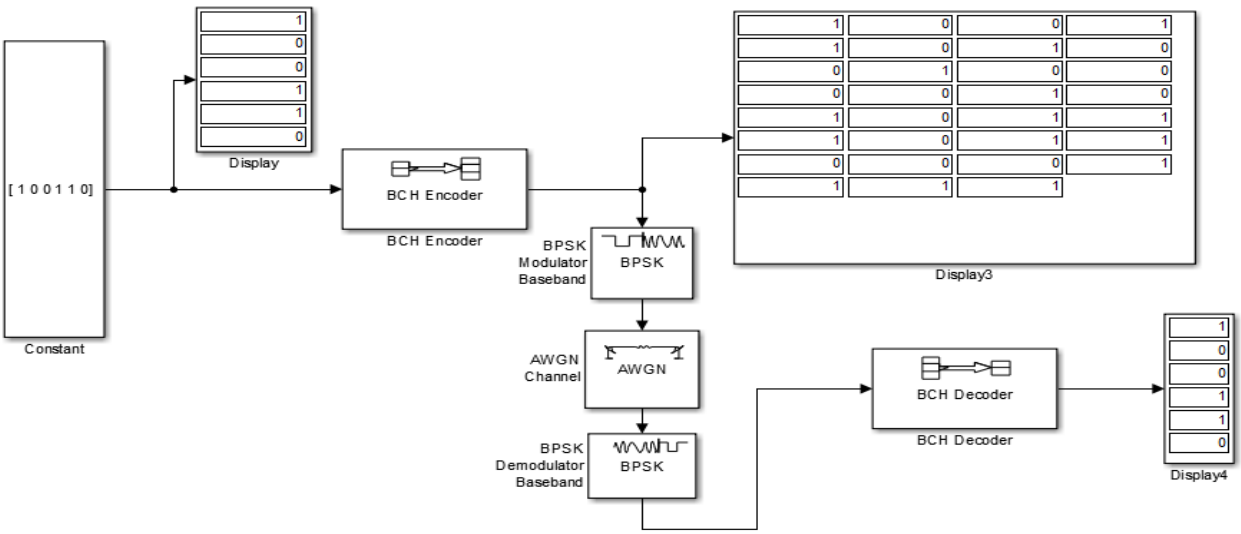

Рисунок 4.2 – Digital_communication_11.slx

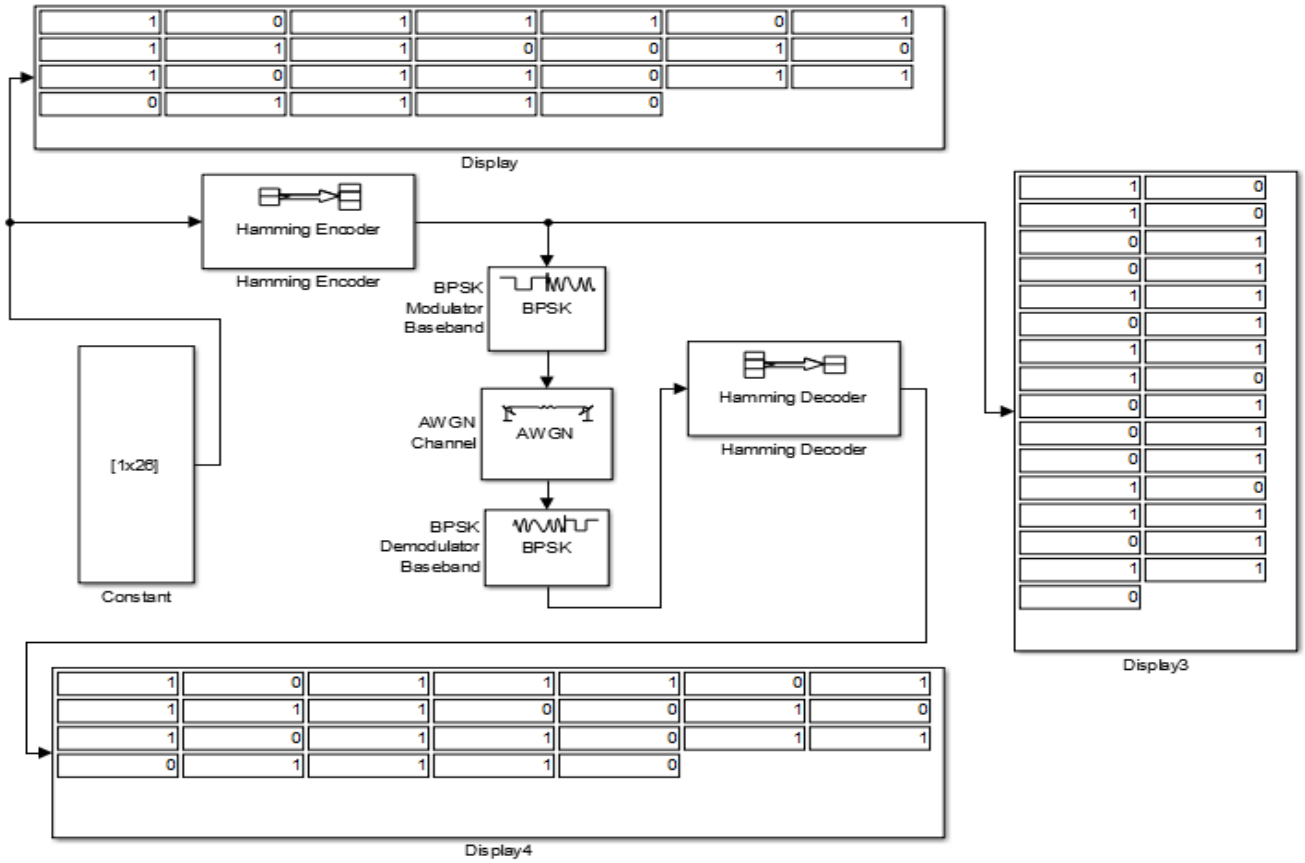

Рисунок 4.3 – Digital_communication_12.slx

Получить коды для Digital_communication_11 в соответствии с версией в таблице и выполнить ее в программе с учетом результата производительности.

Таблица 4.4 - Варианты для выполнения

n	k	t
7	4	1
15	11	1
15	7	2
15	5	3
31	26	1
31	21	2
31	16	3
31	11	5
31	6	7
63	57	1

Получите номер в версии журнала для модели Digital_communication_12 для кодера Хемминга. В кодере Хемминга длина кодового слова должна быть N = 2M-1, а M> = 3. Длина сообщения K = N-M.

4.4 Листинг модели Simulink

Digital_communication_10.slx:
Type: Variable-Step, Solver: ode45, Start time: 0.0, Stop time: 1
1. Constant
Constant value:[1 0 0 1], Sample time: 1
2. Binary Cyclic Encoder
Codeword length N: 7, Message length K: 4
3. BCH Encoder
Codeword length N: 7, Message length K: 4
4. Mux
Number of inputs: 2
5. Demux
Number of outputs: 2
6. BPSK modulator Baseband
Phase offset: 0
7. AWGN Channel
Input processing: Columns as channels, Initial seed: 67, Mode: Signal to noise ratio(Eb/No), Eb/No: 10, Number of bits per symbol: 4, Input signal power: 1, Symbol period: 7/4
8. BPSK demodulator Baseband
Phase offset: 0
9. Binary Cyclic Decoder
Codeword length N: 7, Message length K: 4
10. BCH Decoder
Codeword length N: 7, Message length K: 4
11. Display x5
Digital_communication_11.slx:

Type: Variable-Step, Solver: ode45, Start time: 0.0, Stop time: 1

1. Constant

Constant value :[1 0 0 1 1 0], Sample time: 1

2. BCH Encoder

Codewordlength N: 31, Message length K: 6

3. BPSK modulator Baseband

Phase offset: 0

4. AWGN Channel

Input processing: Columns as channels, Initial seed: 67, Mode: Signal to noise ratio (Eb/No), Eb/No: 10, Number of bits per symbol: 6, Input signal power: 1, Symbol period: 31/6

5. BPSK demodulator Baseband

Phase offset: 0

6. BCH Decoder

Codewordlength N: 31, Message length K: 6

7. Display x3

Digital_communication_11.slx:

Type: Variable-Step, Solver: ode45, Start time: 0.0, Stop time: 1

1. Constant

Constant value :[1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0] , Sample time: 1

2. Hamming Encoder

Codewordlength N: 31, Message length K: 26

3. BPSK modulator Baseband

Phase offset: 0

4. AWGN Channel

Input processing: Columns as channels, Initial seed: 67, Mode: Signal to noise ratio(Eb/No), Eb/No: 10, Number of bits per symbol: 6, Input signal power: 1, Symbol period: 31/6

5. BPSK demodulator Baseband

Phase offset: 0

6. Hamming Decoder

Codewordlength N: 31, Message length K: 26

7. Display x3

4.5 Контрольные вопросы

4.5.1 Что такое помехоустойчивое кодирование?

4.5.2 Что такое кодовое расстояние?

4.5.3 Основные параметры помехоустойчивых кодов?

4.5.4 Как выполняется процесс циклического кодирования?

4.5.5 Что такое код БЧХ?

4.5.6 Кратко объясните кодировку Хемминга?

4.5.7 Что такое сверточные коды?

Список литературы

1 Черных И.В. Simulink среда создания инженерных приложений. – Москва. «Диалог-Мифи», 2004.

2 Дьяконов В., Абрамеикова И., Круглов В. MATLAB с пакетами расширений. СПб: Нолидж, 2001.

3 Дьяконов В. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2011.

4 Дьяконов В. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.

5 Simulink. ModelBased and SystemBased Design. Using Simulink. The Math Works, Inc. USA, 2002.

6 Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB: Учебный курс. – СПб.: Питер; Киев: Изд. группа BHV, 2005.

7 MATLAB. The Language of Technical Computing. Using MATLAB. The Math Works, Inc. USA, 2000.

8 Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. 1-е издание, 2007.

9 Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7. Самоучитель. ДМК Пресс. 2008.

10 Поршнев С.В. MATLAB 7. Основы работы и программирования. «Бином. Лаборатория знаний». 2006.

11 William H. Tranter – Principles of communication systems simulation with wireless applications, 2004.

12 Чежимбаева Қ.С., Абиров Д.А. Цифрлық байланыс технологиясы. 5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар мамандығының студенттері үшін. - Алматы: АЭжБУ, 2016. – 73 б.

13 Чежимбаева К.С., АбировД.А. Цифрлық байланыс технологиялары. Дәрістер жинағы. - Алматы, АЭжБУ, 2011.

14 Гаранин М.В., Журавлев В.И., Кунегин С.В. Системы и сети передачи информации. - М.: Радио и связь, 2000.

15 Джангозин А.Д., Чежимбаева Қ.С. Оқу құралы «Цифрлық байланыс технологиялары». - А., 2006.

16 Скляр Б. Цифровая связь. - Киев: Изд. дом «Вильямс», 2007.

17 Стандарт организации СТ НАО 56023-1910-04-2014 Учебно-методические и учебные работы. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебно-методических и учебных работ. – Алматы: НАО АУЭС, 2014.

Сводный план 2020 г., поз. 88

Катипа Сламбаевна Чежимбаева
Джумахан Акылбаевич Абиров

ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по образовательной программе
6В06201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Редактор: Ахметова Э.Т.

Специалист по стандартизации: Данько Е.Т.

Подписано в печать_____ Формат 60х84 1/16.
Тираж 30 экз. Бумага типографическая №1.
Объем 2,7 уч.- изд.л. Заказ № Цена 1350 тенге.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинского университета энергетики и связи
имени Гумарбека Даукеева» 050013, Алматы,
Байтурсынова, 126/1