Заданы модели систем связи с:

* битовой скоростью передачи Rb, Мбит/с;
* модуляцией 4, 8 PSK, 16, 64, 256 QAM;
* фильтром с коэффициентом сглаживания ROF;
* каналом с шумом AWGN с отношением Eb/N0, dB.

Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ вар** | **Скорость**  **Rb, Мбит/с** | **Модуляция** | | **ROF** | |
| 5 | 0.4 | 8 PSK | 16-QAM | 0.35 | 0.75 |

1. Изучить структурные схемы моделей, пояснить назначение элементов схемы. Ознакомится с основными сведениями по работе с моделью.

Модель, представленная на рисунке 1, собрана из совокупности элементов, образующих упрощенную модель системы радиосвязи. Описание элементов модели приведено в лекционном материале по курсу.

В модели в соответствии с рассматриваемым вариантом задания должны быть установлены: скорость в Bernoulli binary generator – Sample time = 1/(R, bit/s); Rolloff factor в Raised Cosine Transmit and Receive Filter; Eb/N0 и Symbol period = 1/(R/log2M) в AWGN Channel.

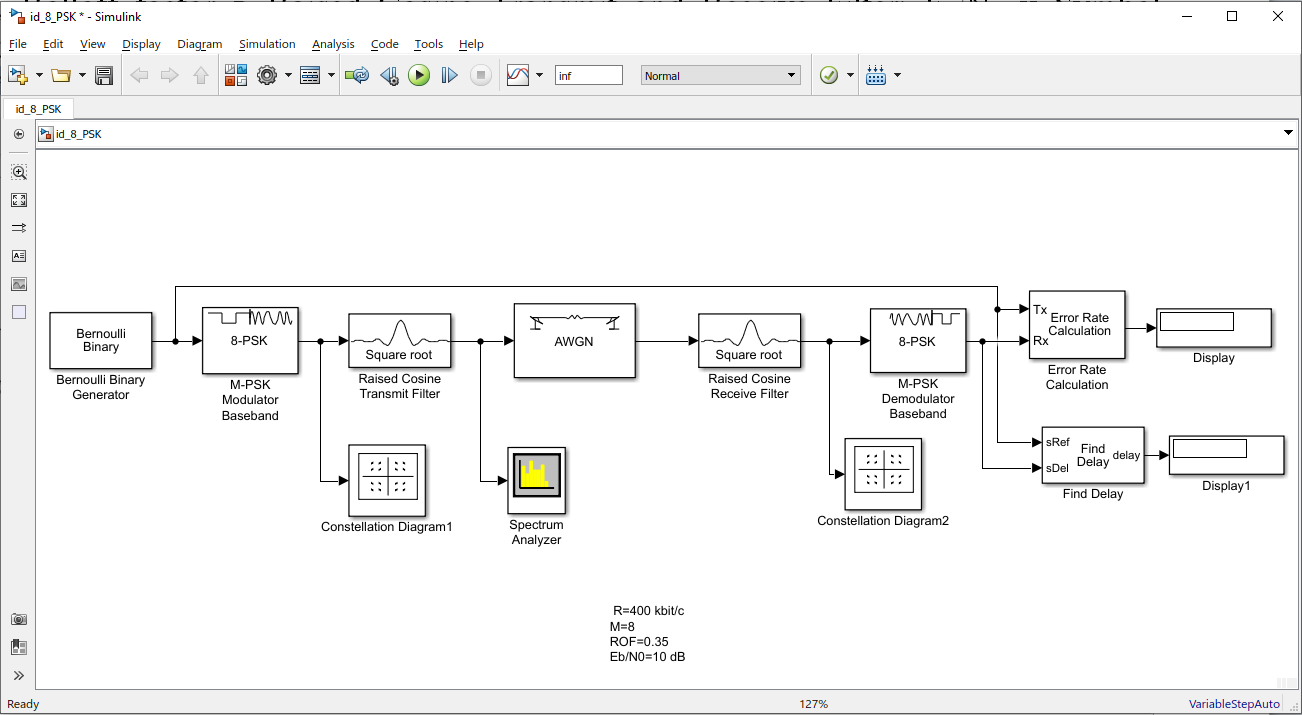


Рисунок 1 – Модель системы связи с модуляцией 8-PSK на панели Simulink

Цифровой сигнал, генерируемый блоком Bernoulli binary generator с заданной скоростью, поступает на вход фазового модулятора M-PSK Modulator Baseband. Далее осуществляется ограничение спектра модулированного сигнала в Raised Cosine Transmit Filter. После фильтрации модулированный сигнал поступает в канал AWGN Channel, где на него накладывается аддитивный белый гауссовский шум. Уровень шума в канале регулируется параметром Eb/N0. После прохождения канала сигнал подается на вход Raised Cosine Receive Filter. После фильтра сигнал подаётся на вход фазового демодулятора M-PSK Demodulator Baseband, где происходит обратное преобразование аналогового модулированного сигнала в цифровой; после чего производится подсчет вероятности ошибок в Error Rate Calculation.

Для наблюдения за сигналом в различных точках модели используются блоки графического отображения: дисплей Display, спектроскоп SpectrumAnalyzer и вектограф Constellation Diagram.

2. Пронаблюдать и привести скриншоты вектограмм (с заполненной легендой) на выходе модулятора для заданных видов модуляции. По вектограммам определить и записать расстояние между соседними точками созвездий. По полученным расстояниям сделать вывод, какая из двух систем более помехоустойчивая. Пояснить полученные результаты.

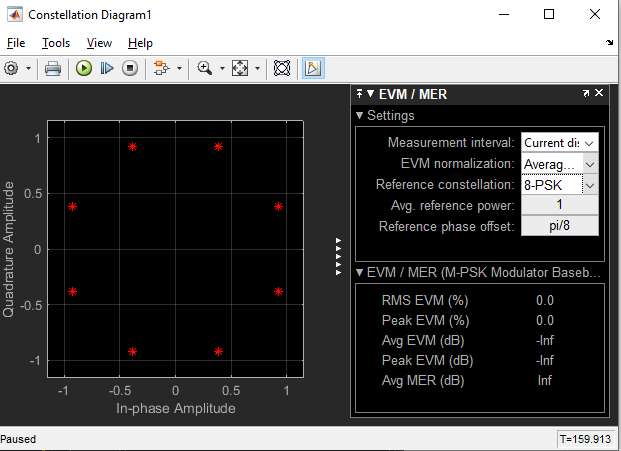


Рисунок 2 – Вектограмма на выходе модулятора QPSK (8-PSK)

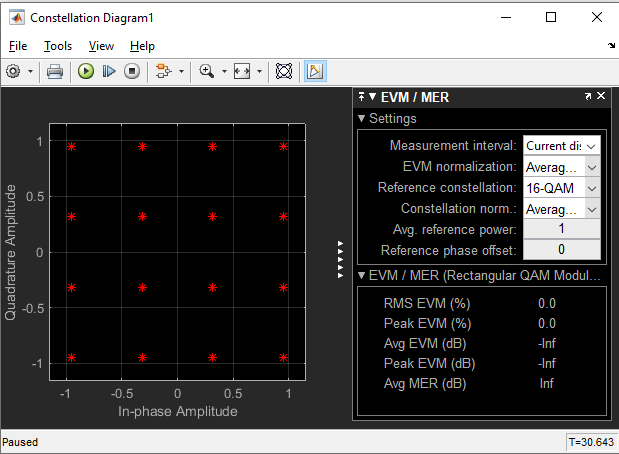


Рисунок. 3 – Вектограмма на выходе модулятора 16-QAM

Сравнивая полученные вектограммы, можно отметить, что расстояние между соседними точками созвездий при модуляции 8-PSK в три раза больше по сравнению с 16-QAM. При сильном зашумлении канала связи для модуляции 16-QAM различить сигнальные точки становится сложнее. Следовательно, можно сделать вывод, что 8-PSK является более помехоустойчивой.

3. Изучить влияние позиционности модуляции на полосу частот, занимаемую модулированным сигналом.

3.1 При одинаковых значениях Rolloff factor (любом из двух заданных) по спектрограммам (привести скриншоты с курсорами, установленными на уровне минус 20 дБ и с заполненной легендой) для двух видов модуляции определить и записать полосы частот, занимаемые модулированными сигналами.

3.2 Сравнить их с полосами частот, определёнными по теоретической формуле . Пояснить полученные результаты.

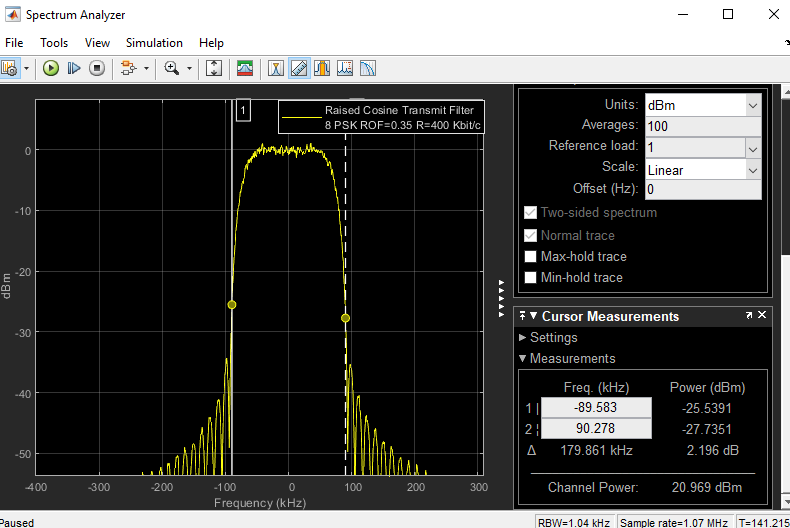


Рисунок 4 – Спектрограмма модулированного сигнала для 8-PSK



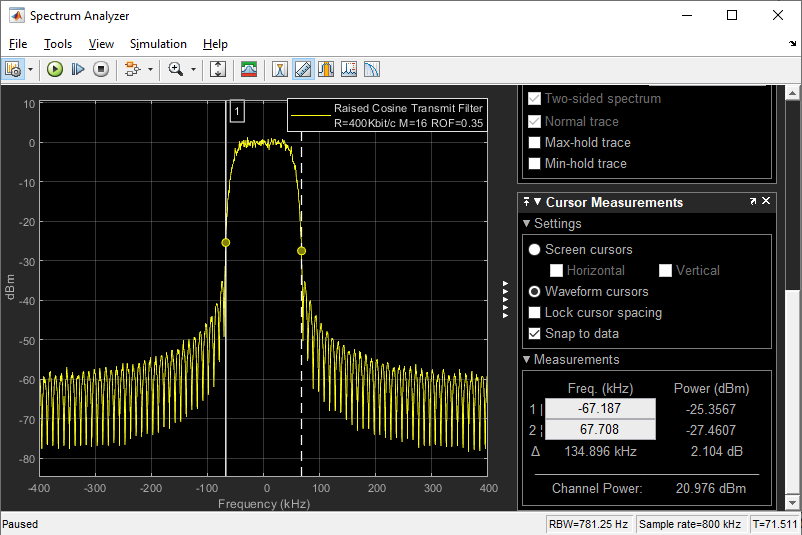


Рисунок 5 – Спектрограмма модулированного сигнала для 16-QAM



Сравнить полученные значения с полосами частот, определёнными по теоретической формуле





Полученные в результате моделирования полосы частот  и , занимаемые модулированными сигналами, соответствуют теоретическим сведениям.

4 Изучить влияние величины Rolloff factor (ROF) на полосу частот, занимаемую модулированным сигналом.

4.1 Для одного из двух заданных видов модуляции при двух заданных значениях Rolloff factor по спектрограммам (привести скриншоты с курсорами, установленными на уровне минус 20 дБ и с заполненной легендой) определить и записать полосы частот, занимаемые модулированными сигналами.

4.2 Сравнить их с полосами частот, определёнными по теоретической формуле . Пояснить полученные результаты.

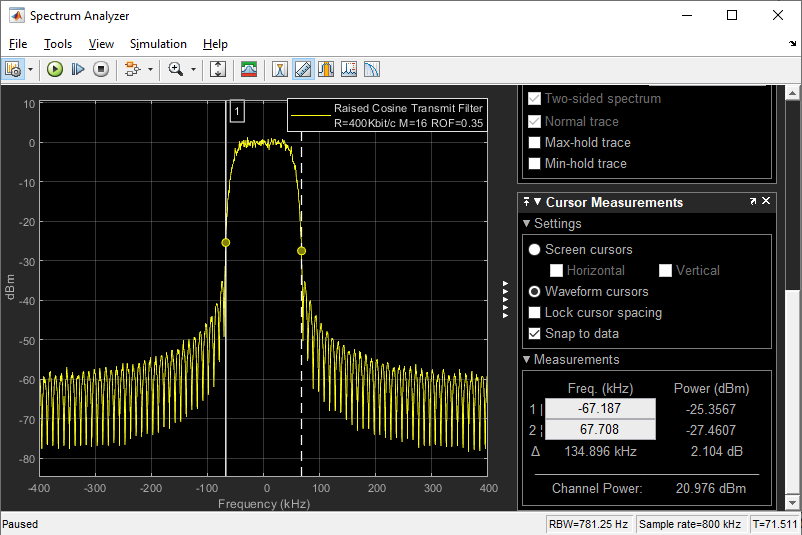


Рисунок 6 – Спектрограмма модулированного сигнала для 16-QAM

ROF = 0.35



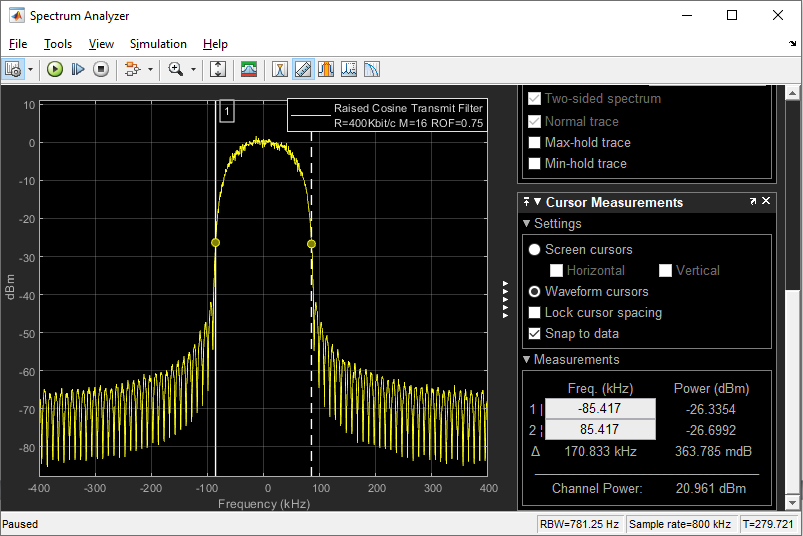


Рисунок 6 – Спектрограмма модулированного сигнала для 16-QAM

ROF = 0.75







Полученные в результате моделирования полосы частот  и , занимаемые модулированными сигналами, соответствуют теоретическим сведениям.

5 Изучить влияние аддитивного белого Гауссовского шума (AWGN) на параметры вектограмм. Вектограммы наблюдаются после блока AWGN Channel на выходе Raised Cosine Receive Filter.

5.1 Установите в блоке AWGN Channel Eb/N0 = 10 дБ и для двух заданных видов модуляции приведите скриншоты вектограмм с заполненной легендой. Для этих вектограмм запишите значения Avg MER (dB).

5.2 Измените установленный уровень шума в канале Eb/N0 = 20дБ и для двух заданных видов модуляции приведите скриншоты вектограмм с заполненной легендой. Для этих вектограмм запишите значения Avg MER (dB).

5.3 Сравните выполненные измерения и поясните полученные результаты.

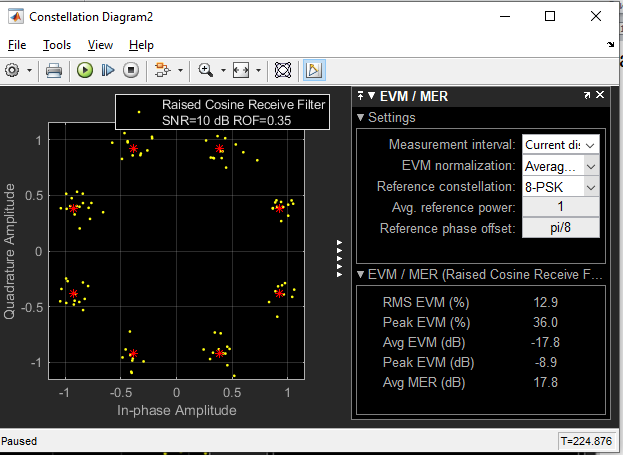


Рисунок 8 – Вектограмма модулированного сигнала для QPSK

при Eb/N0 = 10дБ

Avg MER =17.8 dB

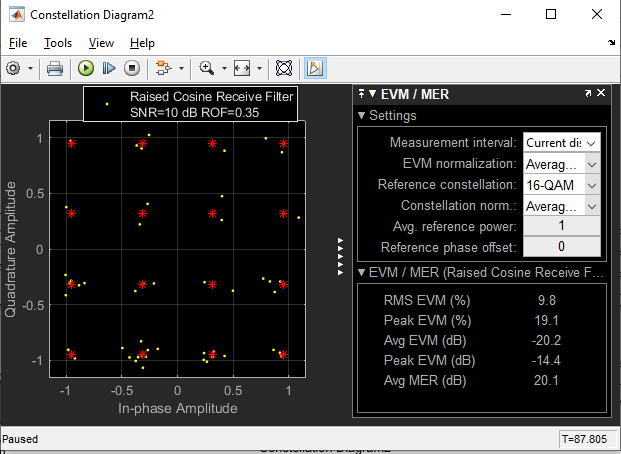


Рисунок 9 – Вектограмма модулированного сигнала для 16-QAM

при Eb/N0 = 10дБ

Avg MER =20.1 dB

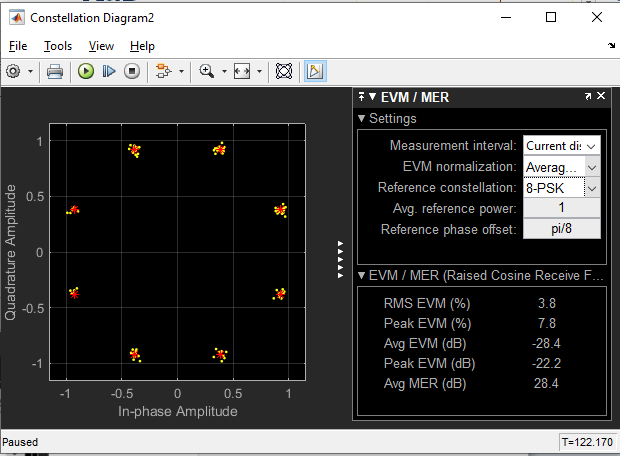


Рисунок 10 – Вектограмма модулированного сигнала для 8-PSK

при Eb/N0 = 20дБ

Avg MER =28.4 dB

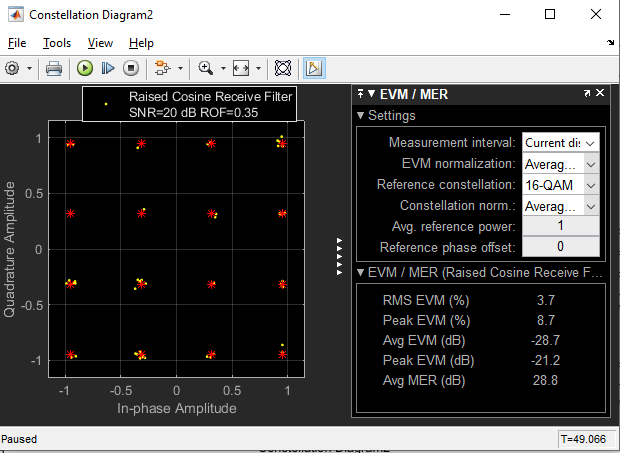


Рисунок 11 – Вектограмма модулированного сигнала для 16-QAM

при Eb/N0 = 20дБ

Avg MER =28.8 dB.

MER - Коэффициент ошибок модуляции. Чем выше значение C/N, тем больше значение Avg MER. Низкий уровень MER является показателем ухудшения сигнала. Чем выше значение MER, тем выше C/N и выше качество сигнала.

6 Построение зависимостей коэффициента ошибок (BER) от отношения Eb/N0.

6.1 Для определения исследуемого диапазона отношения Eb/N0 откройте специализированный графический пользовательский интерфейс Bit Error Rate Analysis и постройте графики для двух заданных видов модуляции, в режиме Theoretical путём нажатия кнопки Plot.

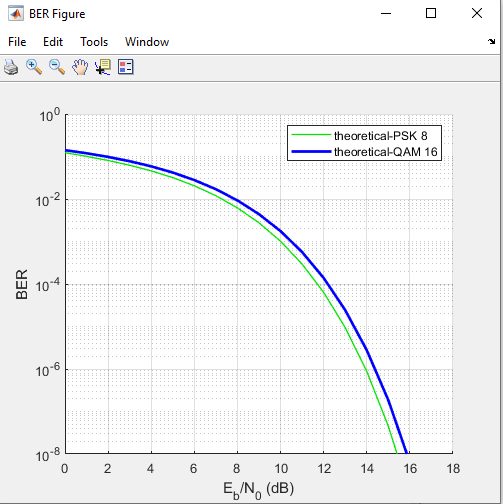


Рисунок 12 – Теоретическая зависимость BER от Eb/N0 для двух заданных видов модуляции

6.2 По полученным теоретическим графикам определить для значений BER = 10-2, 10-4 и 10-6 три значения Eb/N0 для каждого вида модуляции.

для 8-PSK это 4, 8, 10 дБ

для 16 - QAM это 8, 10, 12 дБ.

6.3 Откройте окно модели для первого вида модуляции 8-PSK, установите одно из заданных значений ROF = 0.35 и первое из определённых выше значение Eb/N0 = 4 дБ, заполните аннотацию на модели и запустите симуляцию. Симуляцию остановить при общем количестве бит не менее 107 (нижнее окно дисплея на выходе Error Rate Calculation). После окончания симуляции сделать скриншот модели

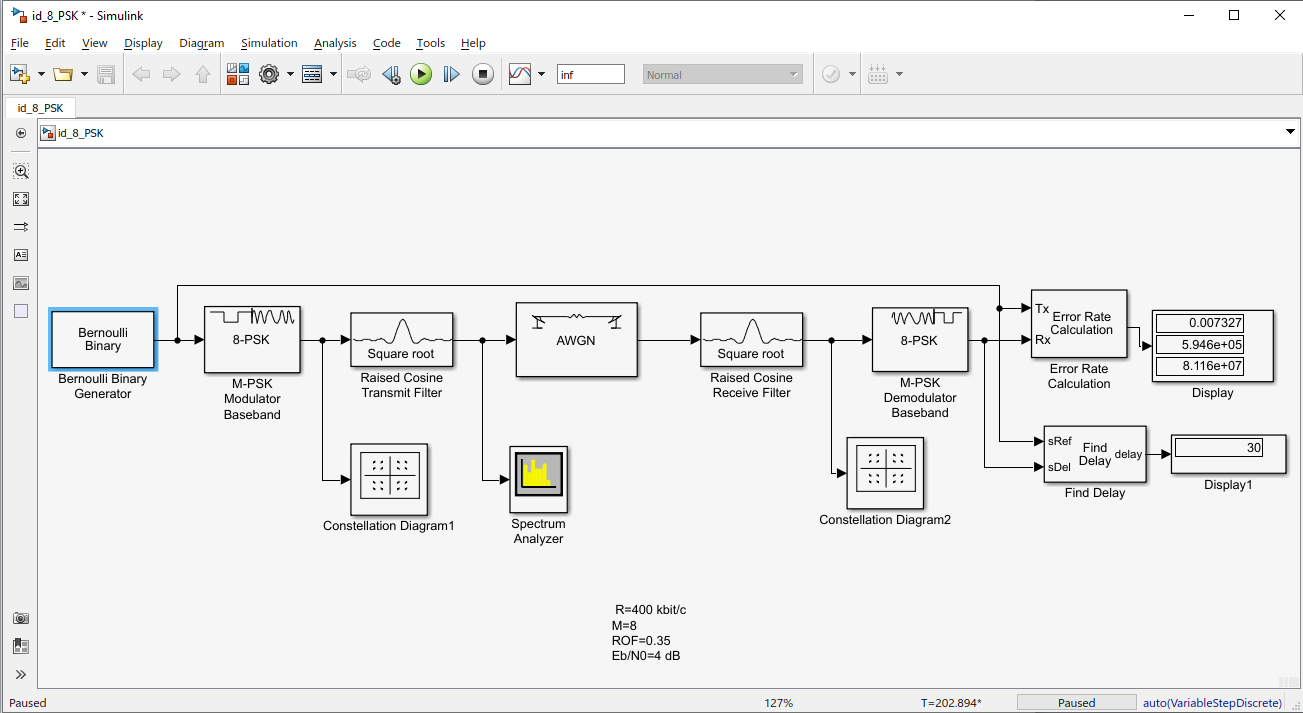


Рисунок 13 – Модель системы связи с модуляцией 8-PSK на панели Simulink

Таблица 1 – Зависимость BER от Eb/N0 при модуляции 8-PSK

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Eb/N0, дБ | 4 | 8 | 10 |
| BER | 7.32×10-3 | 1.4×10-4 | 3.1×10-6 |

6.5 Откройте окно модели для второго заданного вида модуляции, установите одно из заданных значений ROF и первое из определённых выше значение Eb/N0 , заполните аннотацию на модели и запустите симуляцию. Далее проделайте тоже, что и в п.п. 6.3 и 6.4.

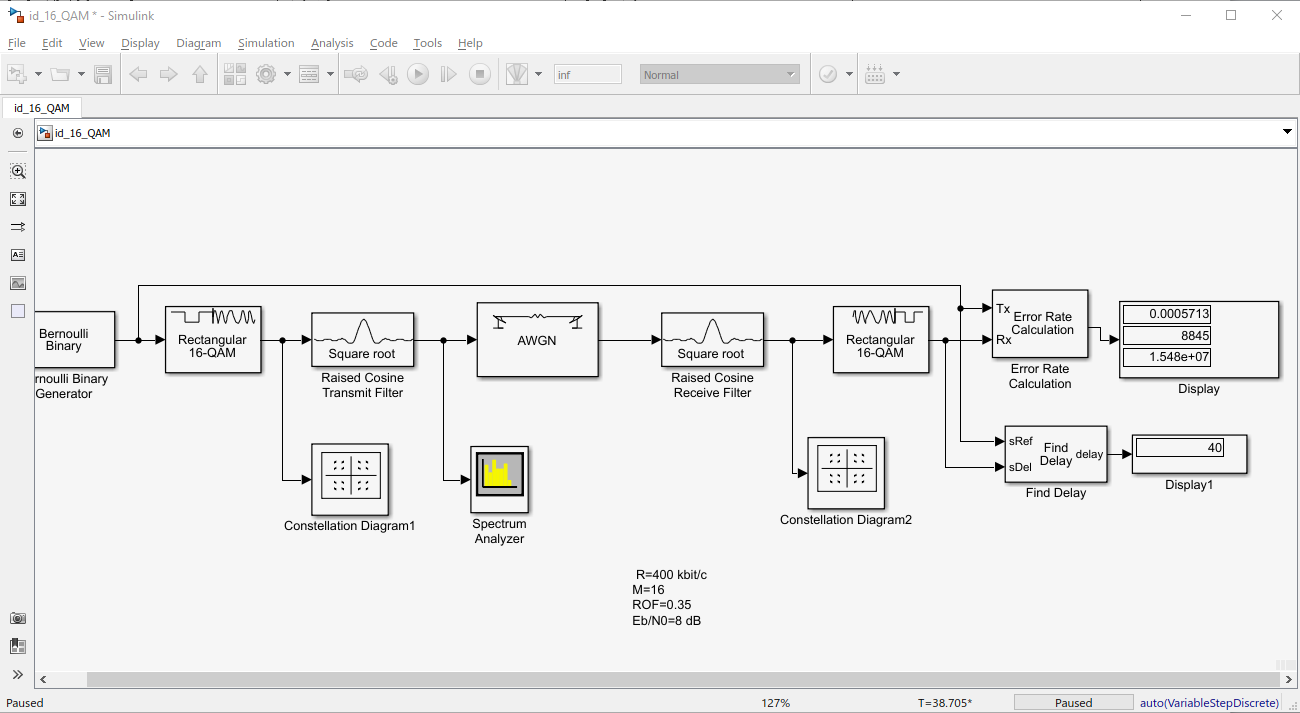


Рисунок 14 – Модель системы связи с модуляцией 16-QAM на панели Simulink

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Eb/N0, дБ | 8 | 10 | 12 |
| BER | 5.7×10-4 | 2.57×10-5 | 1.88×10-7 |

6.6 По трём точкам постройте графики зависимости BER от Eb/N0 , сравните их с теоретическими (п.6.1) и поясните полученные результаты.



Рисунок 15 – Графики зависимости BER от Eb/N0 для заданных видов модуляции

Результаты моделирования (рис.15) соответствуют теоретическим данным (рис. 12). Вероятность ошибки на бит при прочих равных условиях для модуляции 16-QAM выше, по сравнению с 8-PSK, которая является более помехоустойчивой.

Проведенное исследование на практике доказало теоретически полученные зависимости. Сигналы QAM являют собой пример более эффективного использования спектра, чем у сигналов 8-PSK. Для обеспечения наибольших скоростей передачи применяется модуляция вида 16-QAM. При этом, при увеличении позиционности, помехоустойчивость QAM модуляции понижается, что требует введения более мощного избыточного кодирования. Таким образом, применение QAM наиболее оправдано в высокоскоростных системах передачи данных, работающих в условиях малых помех.

Список литературы:

1. В.И. Носов Моделирование систем связи в среде MATLAB SIMULINK: Учебное пособие/СибГУТИ. – г. Новосибирск, 2019 г. – 158 стр.