

Лабораторная работа №3.

Моделирование модема

Цели работы

Изучение процессов моделирования устройств модуляции и демодуляции с помощью пакета компьютерного моделирования Matlab.

Модемы

Предмет исследования

При передаче сигналов по линиям связи прямая передача не всегда возможна, так как физическая среда распространения не согласуется с сигналом. Поэтому для передачи используется более высокочастотное колебание – переносчик (несущая - carrier). Параметры переносчика меняются по закону первичного сигнала. Процесс изменения называется модуляцией.

В зависимости от того, какой параметр несущей модулируется, различают амплитудную (АМ), частотную (ЧМ) и фазовую (ФМ) модуляцию. Устройство, исполняющее этот процесс, называется *модулятором*.

При приеме первичный сигнал извлекается из принятого сигнала. Процесс извлечения называется *демодуляцией*, модуляцию. Устройство, исполняющее этот процесс, называется *демодулятором*.

Модулятор и демодулятор образуют комплекс, который называется *модемом*. Известны аналоговые и цифровые модемы.

Цифровые ФМ (PSK = Phase Shift Keying) модемы используют фазовую модуляцию с несколькими значениями фазы. Применяются разновидности PSK:

- BPSK (Binary PSK). Использует 2 фазы. Кодовая комбинация, передаваемая на одном такте - 1 бит со значениями 0 или 1. Это означает самую низкую скорость передачи, но самую высокую помехозащищенность.
- QPSK (Quadro PSK). Использует 4 фазы. Кодовая комбинация, передаваемая на одном такте - 2 бита со значениями 0 или 1. Скорость передачи в 2 раза выше, чем для BPSK, но помехозащищенность ниже.
- MPSK (Multiple PSK). Использует M фаз.. Кодовая комбинация, передаваемая на одном такте, имеет длину K, зависящую от M ($M=2^K$). При $M>4$ скорость передачи выше, чем для BPSK или QPSK, но помехозащищенность ниже.

Для каждого метода возможны 2 реализации модема:

- обычная (BPSK, QPSK, MPSK). В них кодовым словом определяется значение фазы передаваемого сигнала. В демодуляторе нужна начальная фаза, иначе возможна «обратная работа», когда все принятые биты инвертированы.
- дифференциальная (DBPSK, DQPSK, DMPSK). В них кодовым словом определяется приращение фазы передаваемого сигнала.

Цифровой модем Rectangular_QAM использует *квадратурную амплитудную модуляцию* (КАМ). Модулированный сигнал содержит квадратурные компоненты. Это косинусная (или синфазная) и синусная (или противофазная). При их суммировании получается амплитудно-фазовая модуляция.

На каждом такте передаваемый сигнал можно представить как вектор определенной амплитуды и фазы. Концы векторов могут попадать в точки, которые образуют созвездие. Количество точек в созвездии $M=2K$, K – длина кодовой комбинации (КК).

Длина кодовой комбинации K , передаваемой на одном такте, зависит от числа точек в созвездии $M=2K$. Например, при $K=4$ $M=16$. Скорость передачи в модеме КАМ выше, чем в модемах QPSK и BPSK, так как у них M выше.

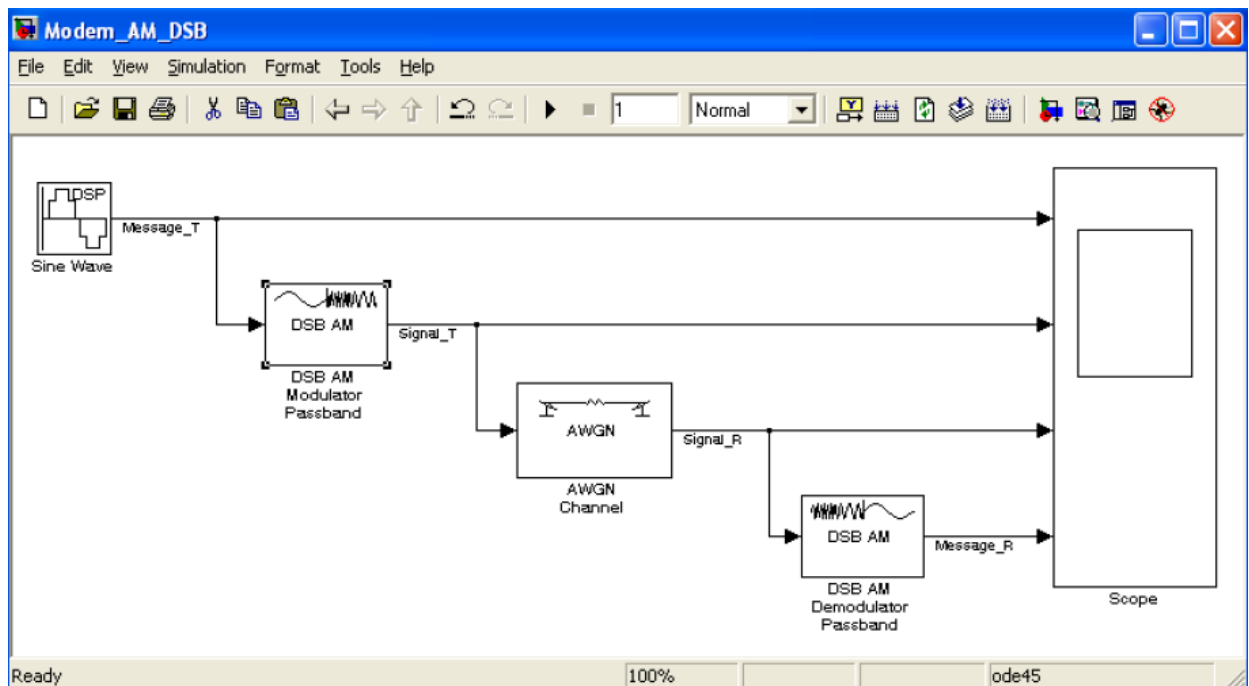
Помехозащищенность зависит от расстояния между точками в созвездии. Например, при одном и том же высоком M , КАМ лучше, чем M-PSK, так как точки в созвездии более разнесены.

Наиболее распространен модем Rectangular_QAM, в котором созвездие – это набор точек на прямоугольной решетке.

1.1. Аналоговый модем DSB AM

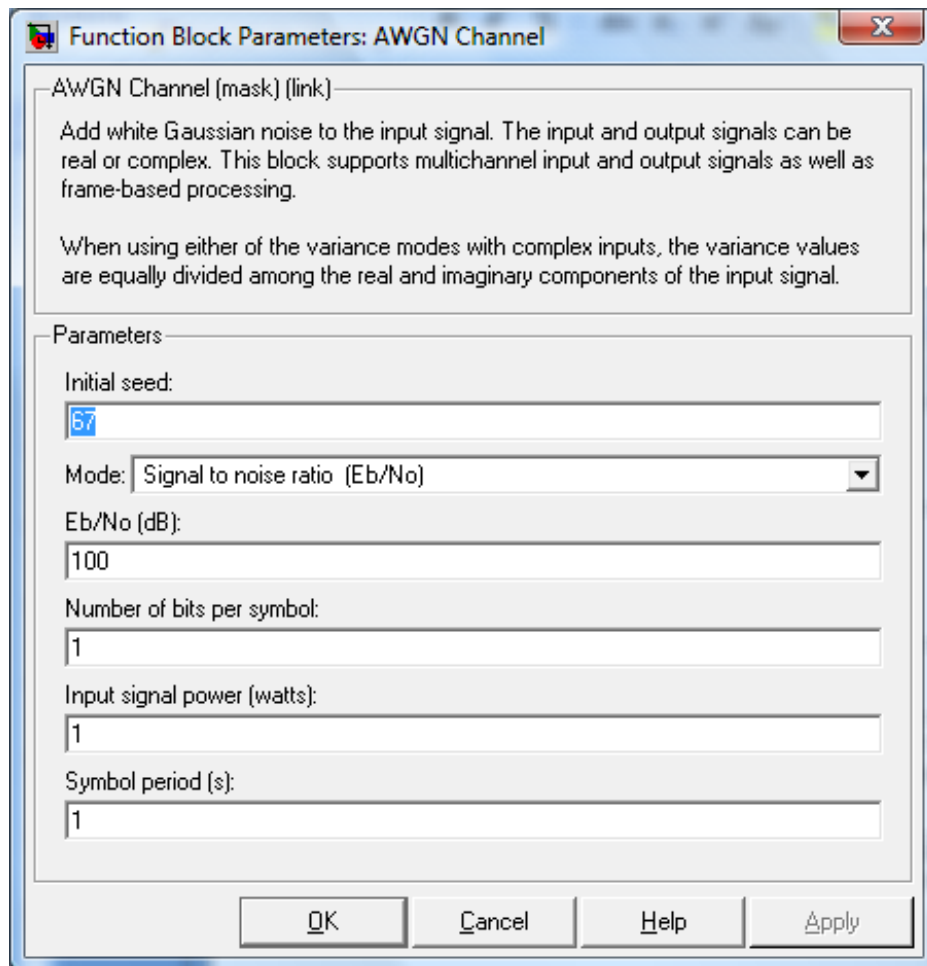
Выполнить моделирование аналогового модема с двухполосной АМ – DSB AM. $F=5$, $F_s=50$.

Создаем модель в среде Simulink.



В модель включаем:

- Источник данных, генератор синусоиды – Sine Wave, вырабатывающий модулирующий сигнал. Блок находится в Signal Processing Blockset => Signal Processing Sources. В окне параметров блока зададим амплитуду 1 и частоту $F=5$.
- Модулятор - DSB AM Modulator Passband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Analog Passband Modulation. В окне его параметров задаем частоту несущей $F_c=50$, которая должна быть значительно выше F .
- Канал связи с добавлением гауссовского шума AWGN Channel. Блок находится в Communications Blockset => Channels. В окне его параметров выбирается отношение сигнал/шум C/Π .



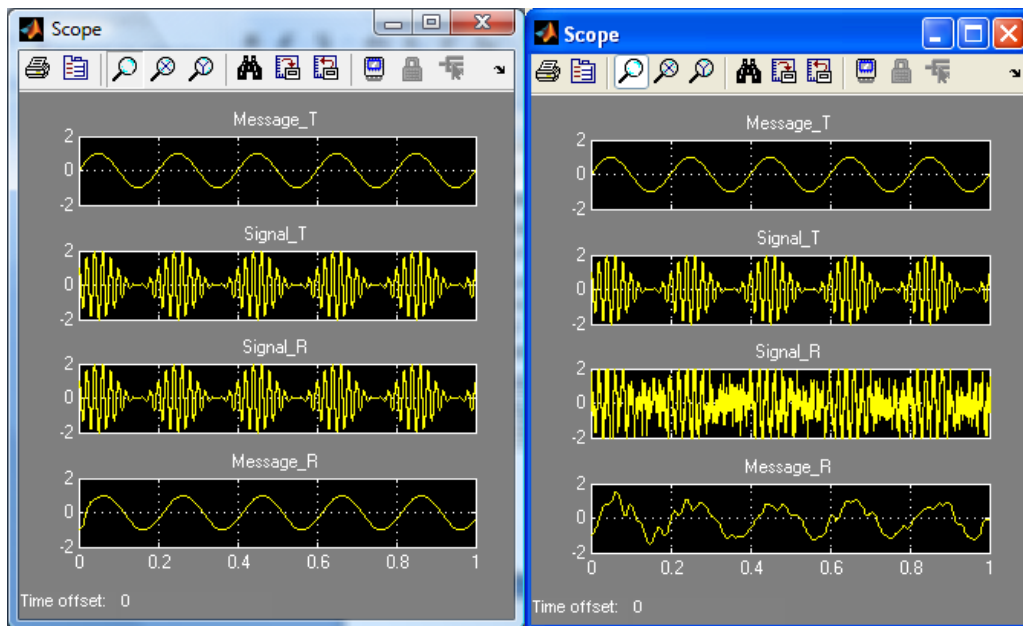
- Демодулятор - DSB AM Demodulator Passband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Analog Passband Modulation. В окне его параметров задаем частоту несущей $F_c=100$, которая должна быть как в модуляторе.

- Виртуальный наблюдатель Scope. Блок находится в Simulink => Sinks. Используется для просмотра в одинаковом масштабе 4-х сигналов (исходного сообщения Message_T, передаваемого Signal_T, принимаемого Signal_R и принятого сообщения Message_R). Назначим входам блока перечисленные имена.

При моделировании с разными уровнями шума получим:

- Слева $C/\text{Ш}=100$ дБ, шума практически нет. Сигнал демодулирован, но в нем может быть замечен остаток несущей. Причина неэффективный фильтр в демодуляторе. В этом случае можно выбрать в окне демодулятора более качественный фильтр.

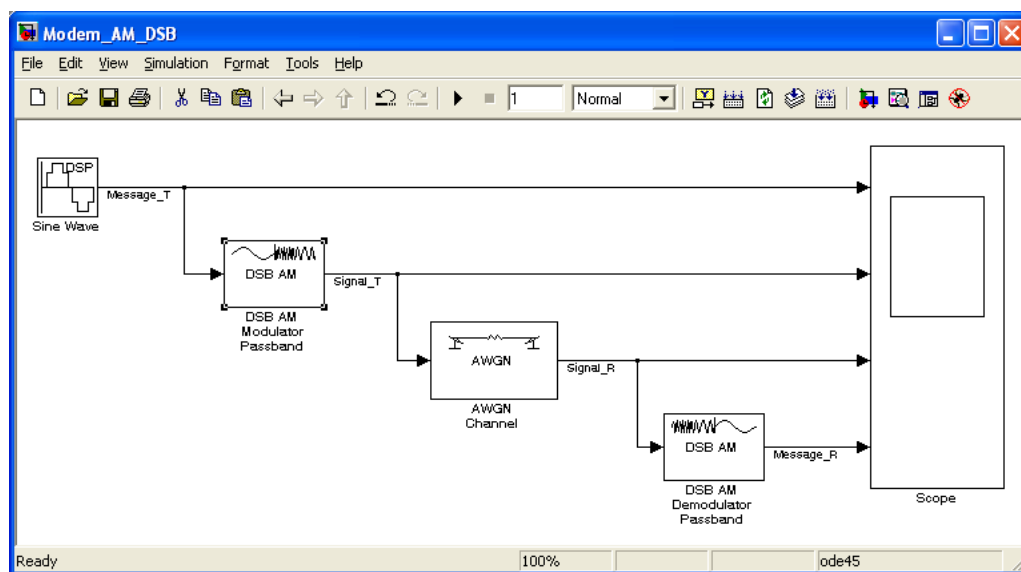
- Справа $C/\text{Ш}=30$ дБ. Шум заметен.



1.2. Аналоговый модем с ЧМ

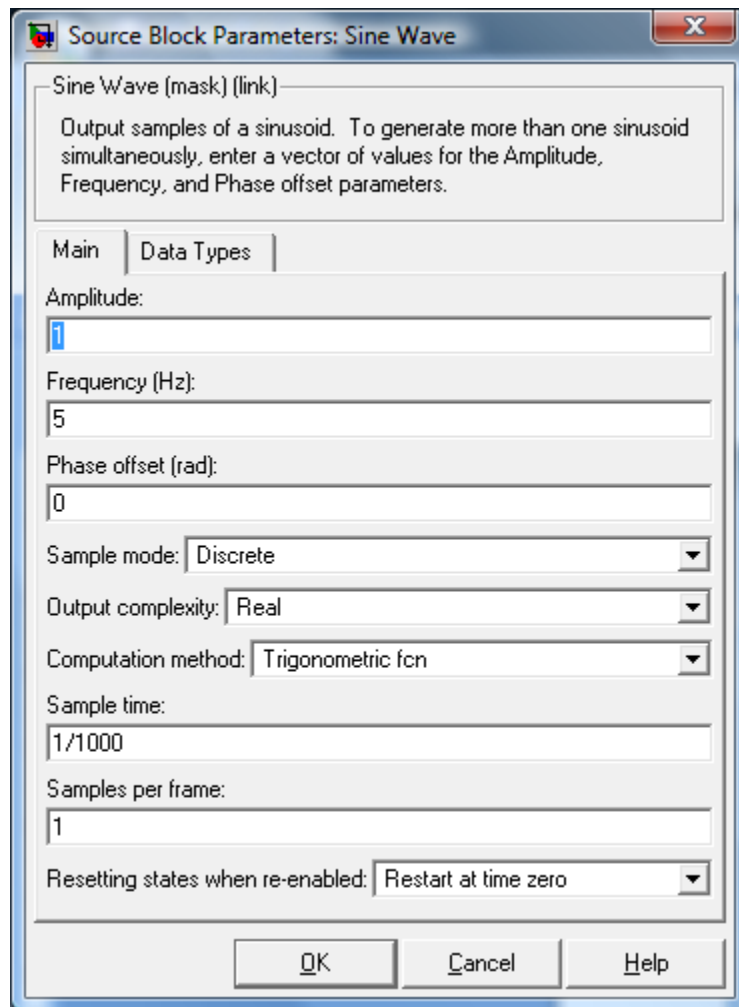
Выполнить моделирование аналогового модема с ЧМ. $F=5$, $F_s=50$, девиация частоты 20.

Создаем модель в среде Simulink.



В модель включаем:

- Источник данных, генератор синусоиды – Sine Wave, вырабатывающий модулирующий сигнал. Блок находится в Signal Processing Blockset => Signal Processing Sources. В окне параметров блока зададим амплитуду 1, частоту $F=5$ и период дискретизации $1/1000$ (Sample Time).



Source Block Parameters: Sine Wave

Sine Wave (mask) (link)

Output samples of a sinusoid. To generate more than one sinusoid simultaneously, enter a vector of values for the Amplitude, Frequency, and Phase offset parameters.

Main | Data Types

Amplitude: 1

Frequency (Hz): 5

Phase offset (rad): 0

Sample mode: Discrete

Output complexity: Real

Computation method: Trigonometric fcn

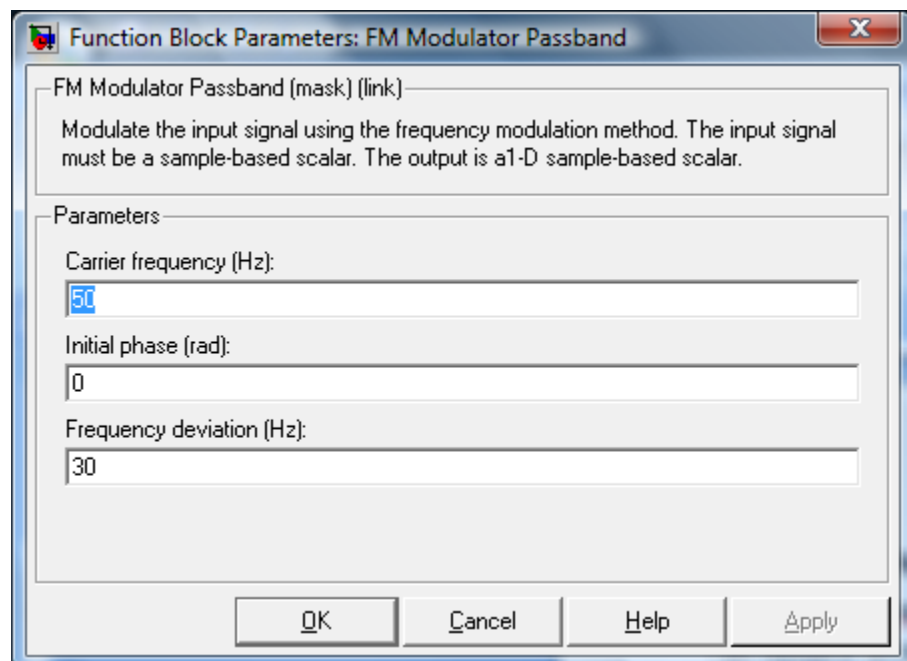
Sample time: 1/1000

Samples per frame: 1

Resetting states when re-enabled: Restart at time zero

OK Cancel Help

- Модулятор - DSB AM Modulator Passband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Analog Passband Modulation. В окне его параметров задаем частоту несущей $F_c=50$, которая должна быть значительно выше F , девиацию частоты 30.



Function Block Parameters: FM Modulator Passband

FM Modulator Passband (mask) (link)

Modulate the input signal using the frequency modulation method. The input signal must be a sample-based scalar. The output is a 1-D sample-based scalar.

Parameters

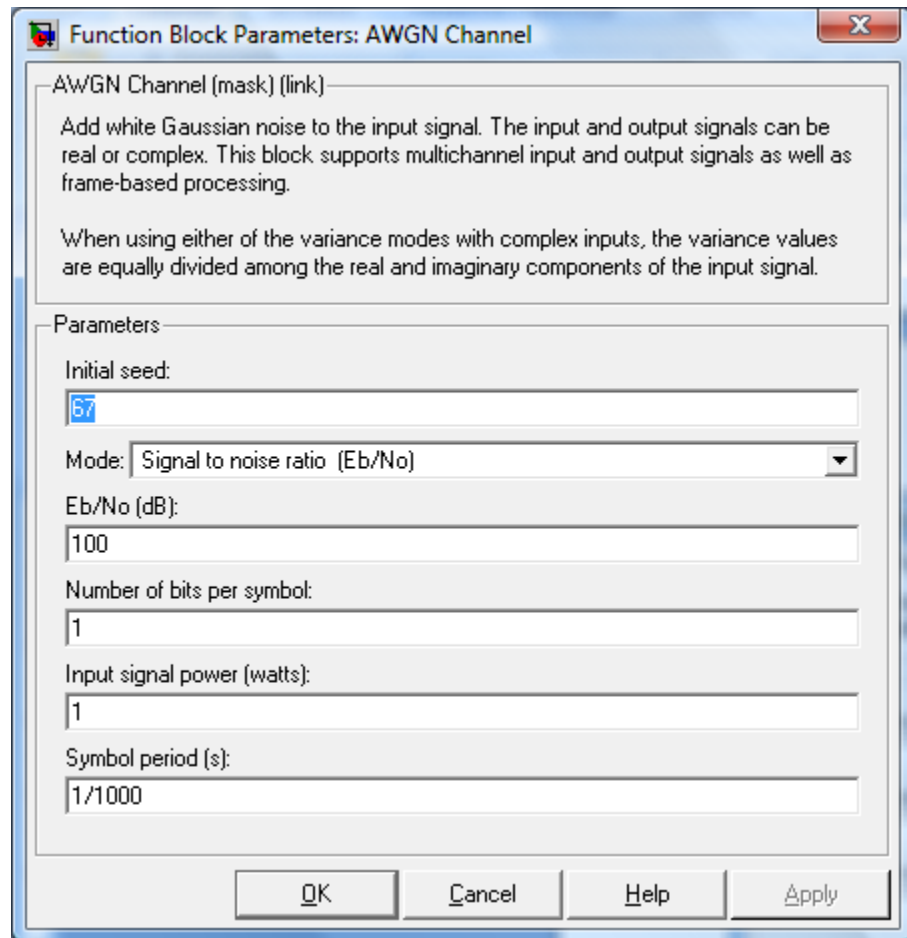
Carrier frequency (Hz): 50

Initial phase (rad): 0

Frequency deviation (Hz): 30

OK Cancel Help Apply

- Канал связи с добавлением гауссовского шума AWGN Channel. Блок находится в Communications Blockset => Channels. В окне его параметров выбирается отношение сигнал/шум С/Ш. Дополнительно нужно задать период символов (Symbol period) такой же, как у генератора синусоиды.



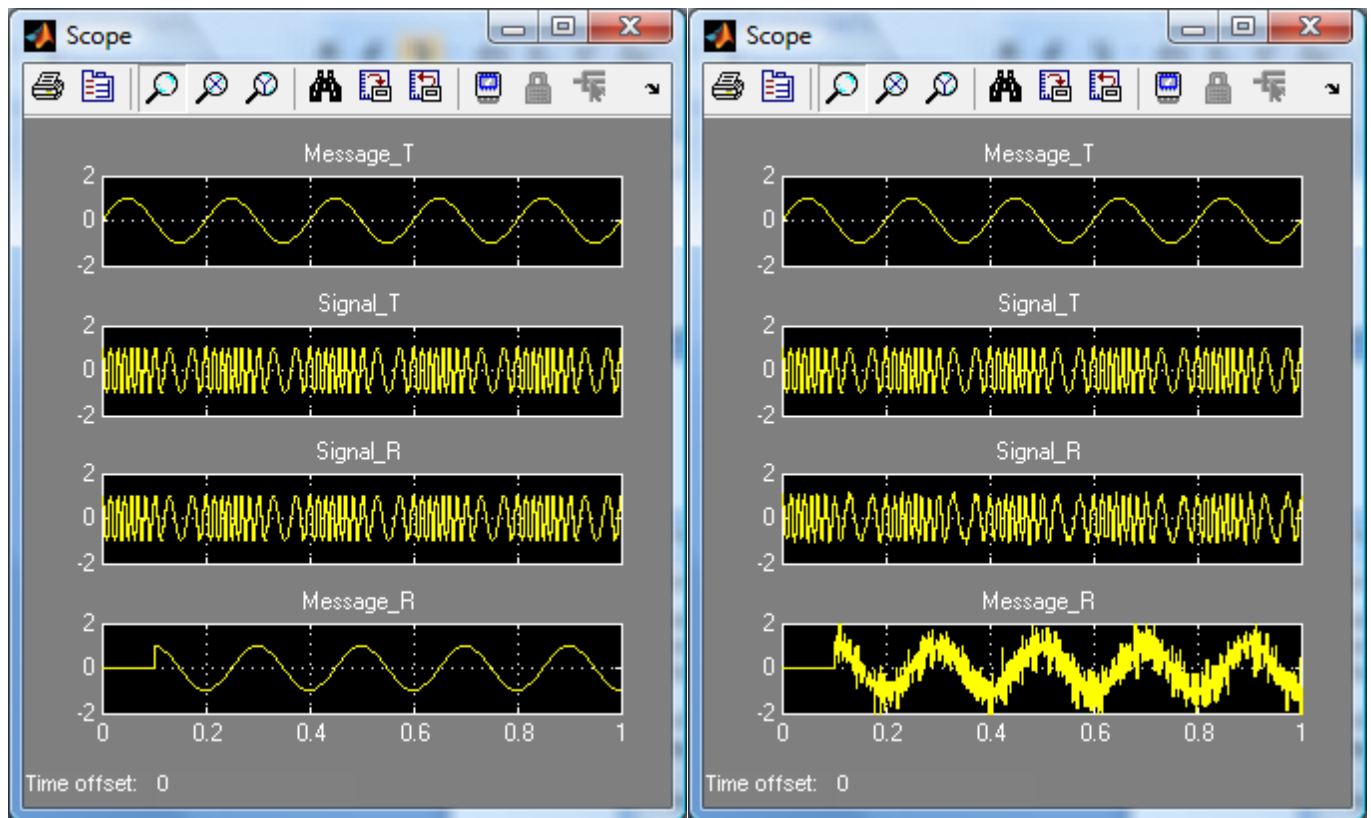
- Демодулятор - FM Demodulator Passband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Analog Passband Modulation. В окне его параметров задаем то же, что для модулятора.

- Виртуальный наблюдатель Scope. Блок находится в Simulink => Sinks. Используется для просмотра в одинаковом масштабе 4-х сигналов (исходного сообщения Message_T, передаваемого Signal_T, принимаемого Signal_R и принятого сообщения Message_R). Назначим входам блока перечисленные имена.

При моделировании с разными уровнями шума получим:

- Слева С/Ш=100 дБ, шума практически нет. Сигнал демодулирован, но в нем может быть замечен остаток несущей. Причина неэффективный фильтр в демодуляторе. В этом случае можно выбрать в окне демодулятора более качественный фильтр.

- Справа С/Ш=20 дБ. Шум заметен.



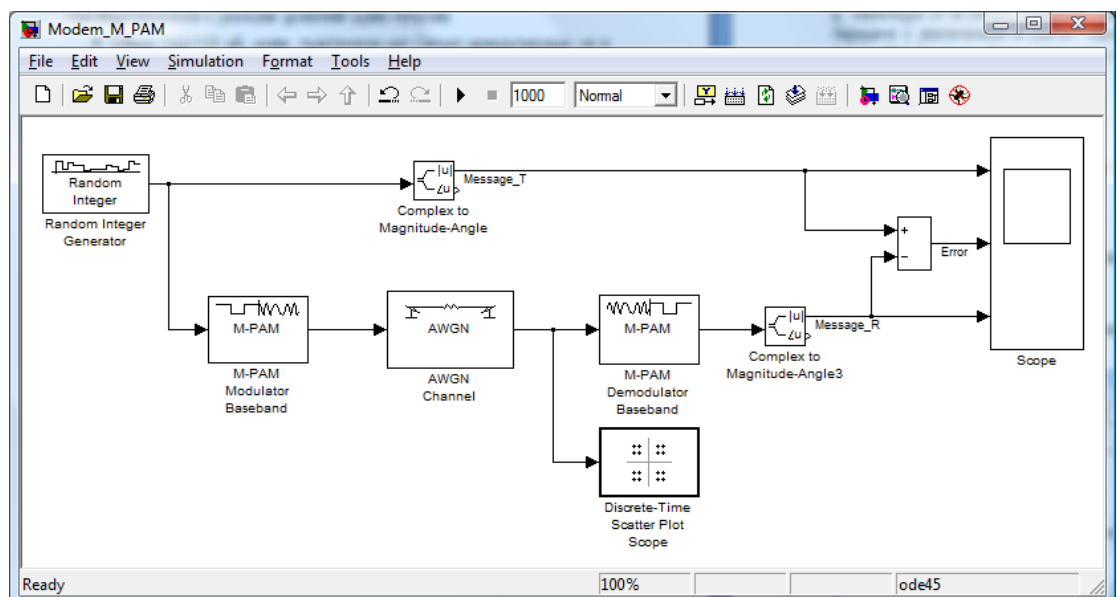
1.3. Цифровой модем M-PAM

Выполнить моделирование цифрового модема M-PAM с $M=N+3$, N – номер варианта.

Пример выполнения

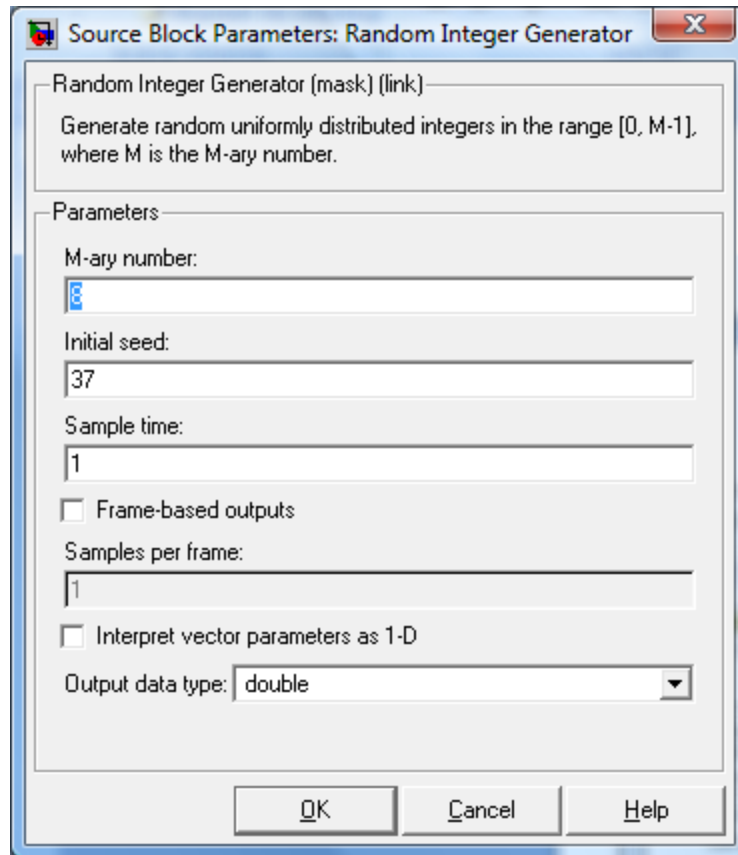
Выполнить моделирование цифрового модема M-PAM с $M=8$.

Создаем модель в среде Simulink.

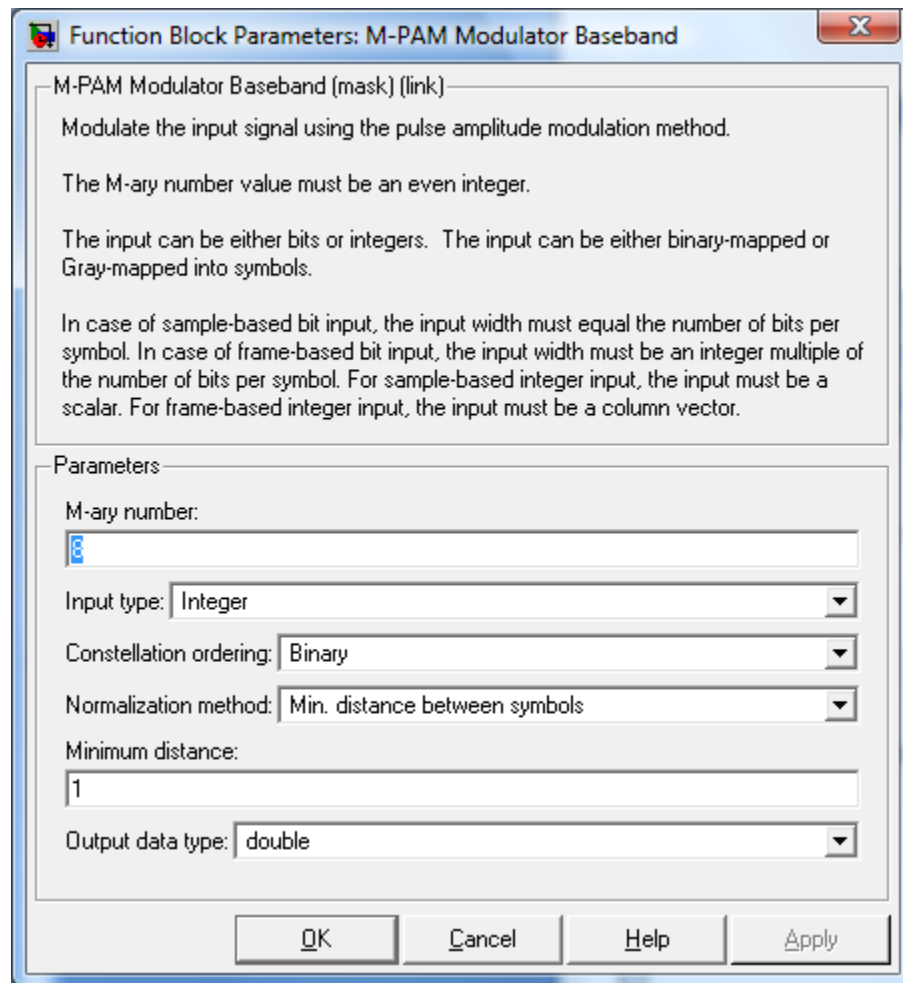


В модель включаем:

- Источник данных, генератор случайных целых чисел – Random-Integer Generator. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sources => Random Data Sources. Блок вырабатывает случайные числа в интервале $0 \dots M-1$. Для М-РАМ примера $M=8$.



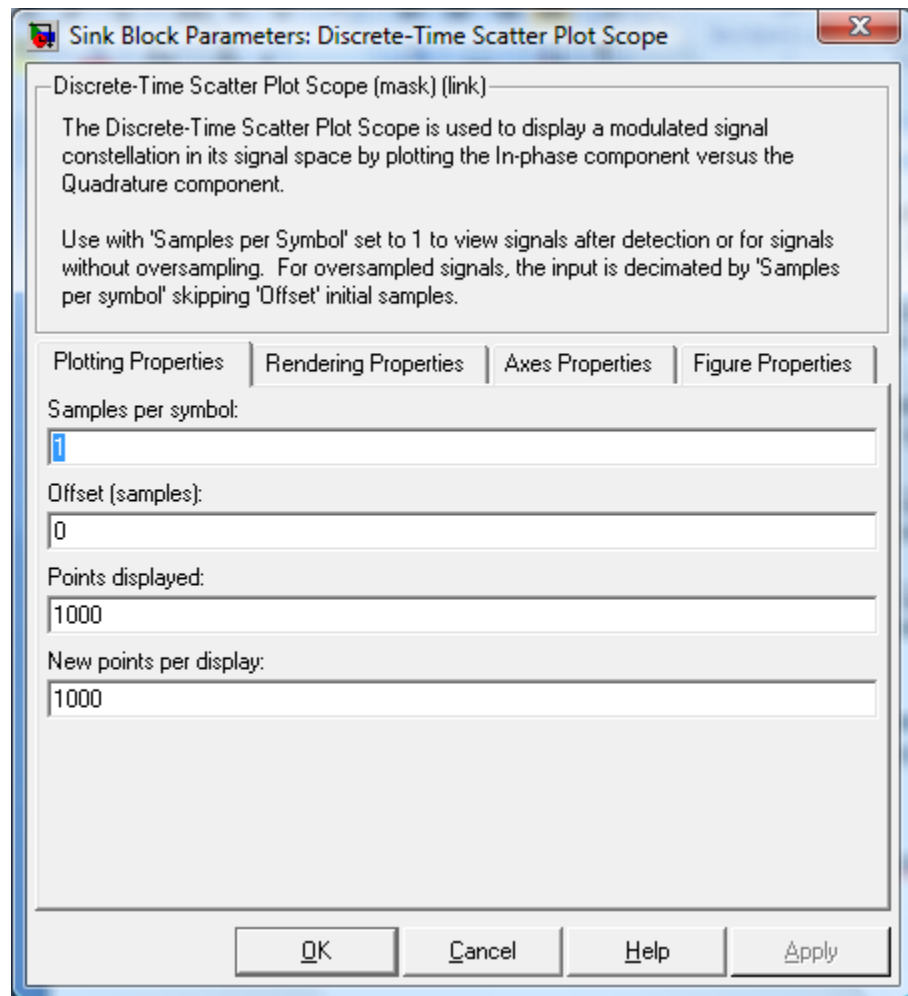
- Модулятор – Modulator M-PAM Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => AM. В окне его параметров задаем $M=8$ и минимальное расстояние между КК в созвездии, равным 1.



- Канал связи с добавлением гауссовского шума AWGN Channel. Блок находится в Communications Blockset => Channels. В окне его параметров выбирается отношение сигнал/шум С/Ш.

- Демодулятор – Demodulator M-PAM Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => AM. В окне его параметров задаем то же, что в модуляторе.

- Карта рассеяния Discret-Time Scatter Plot. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sinks. Блок используется для просмотра карты созвездий кодовых комбинаций сигналов. В окне надо задать достаточно большое число отображаемых точек (Point Displayed).



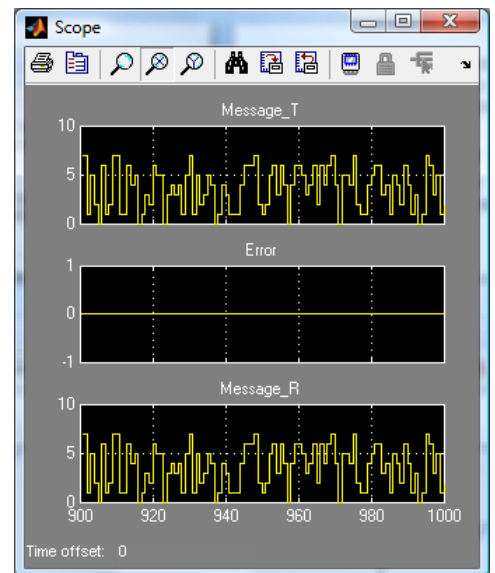
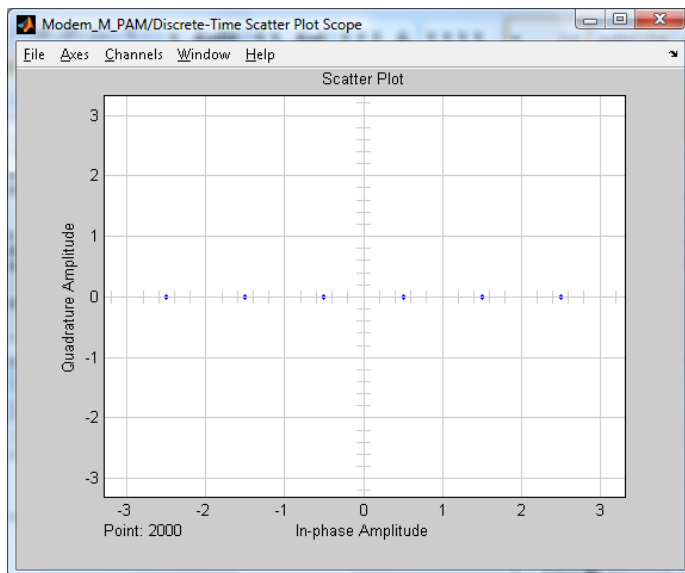
- Виртуальный наблюдатель Scope для просмотра в одинаковом масштабе 3-х сигналов (передаваемого и принятого сообщений, ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks. Зададим имена входов блока (Message_T –переданное сообщение, Message_R - принятое сообщение, Error - ошибка).

- Блоки преобразования комплексных чисел в формат амплитуда-фаза Complex to Magnitude-Angle. Блок находится в Simulink => Math Operations. Вещественные сигналы с выходов амплитуда $|u|$ этих блоков передаем на входы наблюдателя Scope.

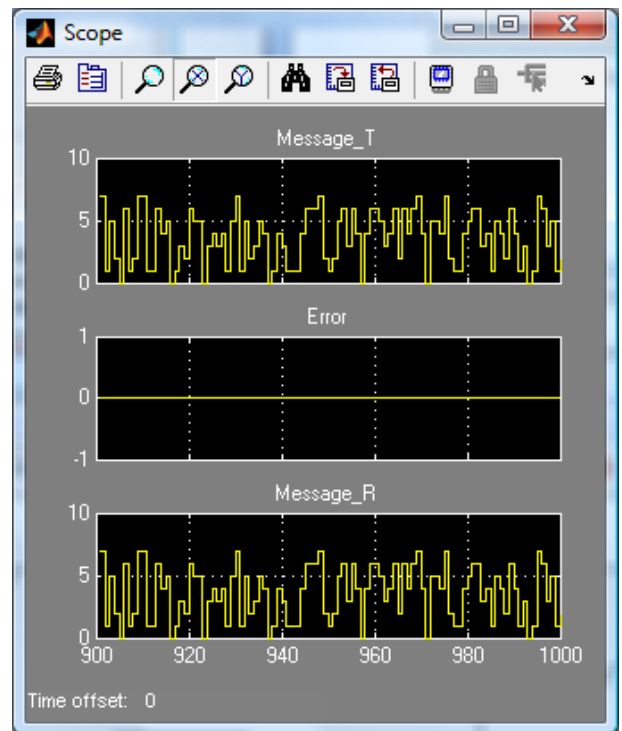
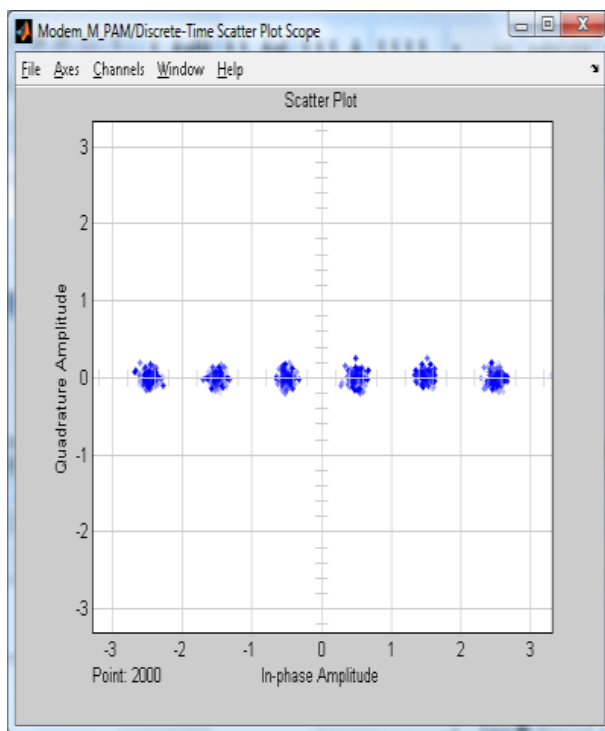
- Сумматор Sum. Блок находится в Simulink => Commonly Used Blocks. Блок ставим в режим вычитания, чтобы определить сигнал ошибки Error, разницу передаваемого и принятого сообщений.

При моделировании с разными уровнями шума получим.

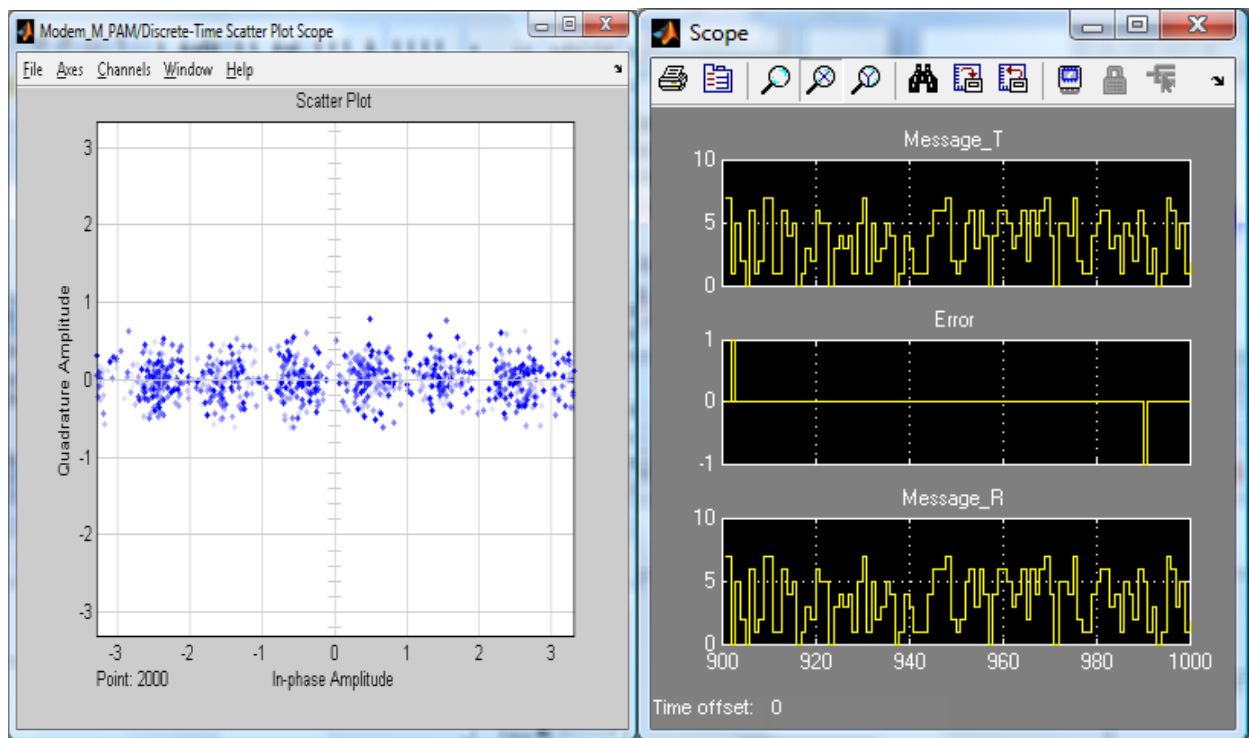
- С/Ш=100 дБ, шума практически нет. На карте рассеяния сигнала помех не заметно. Передаваемое и принятое сообщения совпадают.



- $C/\text{Ш}=20$ дБ, шум есть. На карте рассеяния сигнала помехи заметны. Однако КК не перекрываются. Демодулятор формирует правильное сообщение. Сигнал ошибки равен 0.



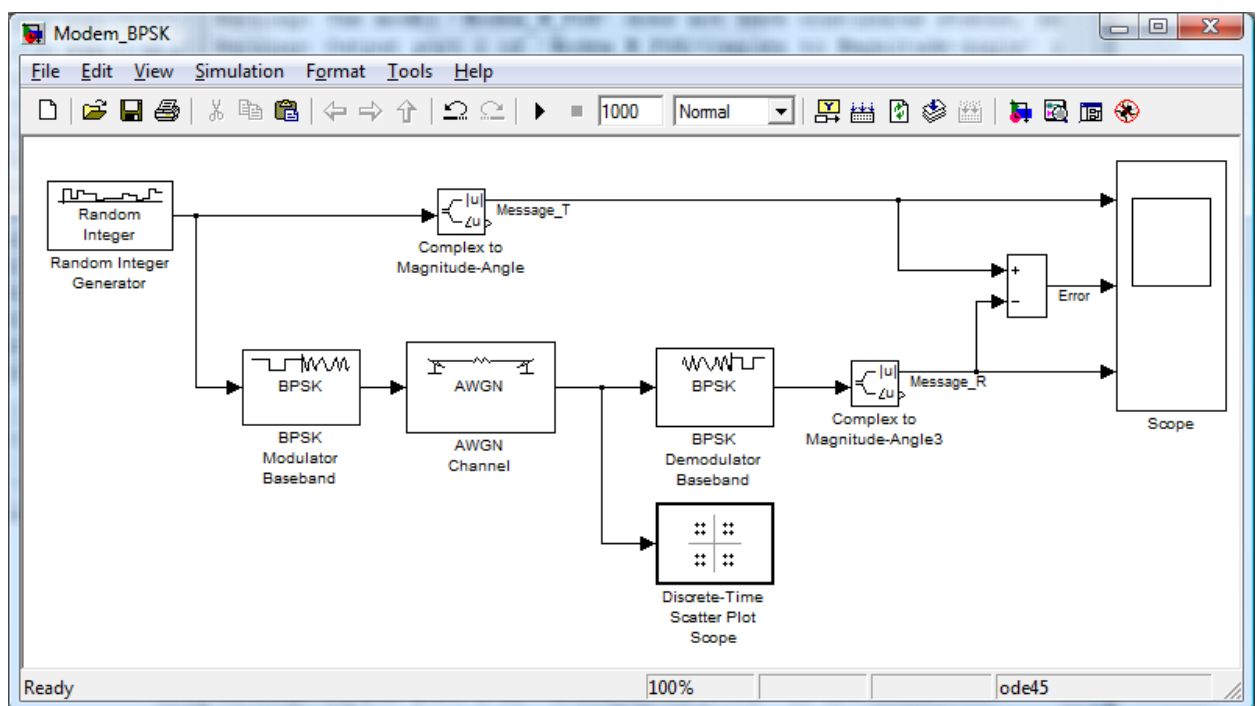
- $C/\text{Ш}=10$ дБ, интенсивный шум. На карте рассеяния сигнала помехи велики, КК не перекрываются. Демодулятор формирует сообщение с ошибками. Сигнал ошибки не равен 0.



1.4. Цифровой модем BPSK

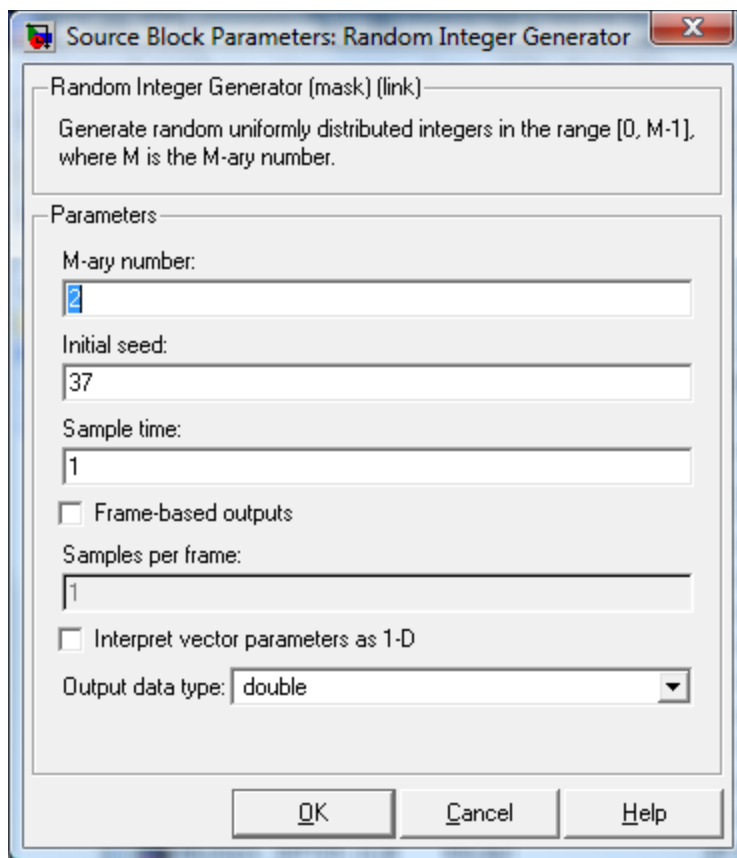
Выполнить моделирование цифрового модема BPSK.

Создаем модель в среде Simulink.

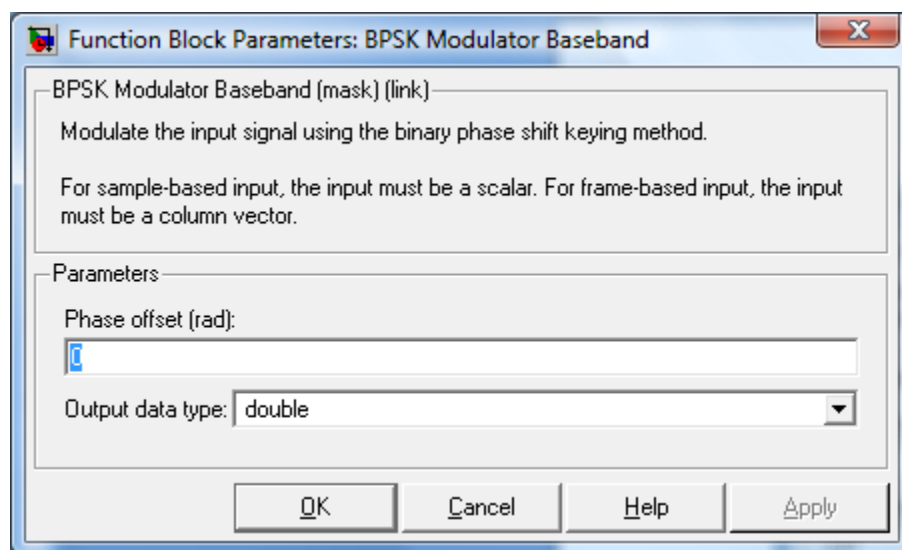


В модель включаем:

- Источник данных, генератор случайных целых чисел – Random-Integer Generator. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sources => Random Data Sources. Блок вырабатывает случайные числа в интервале $0 \dots M-1$. Для BPSK $M=2$.



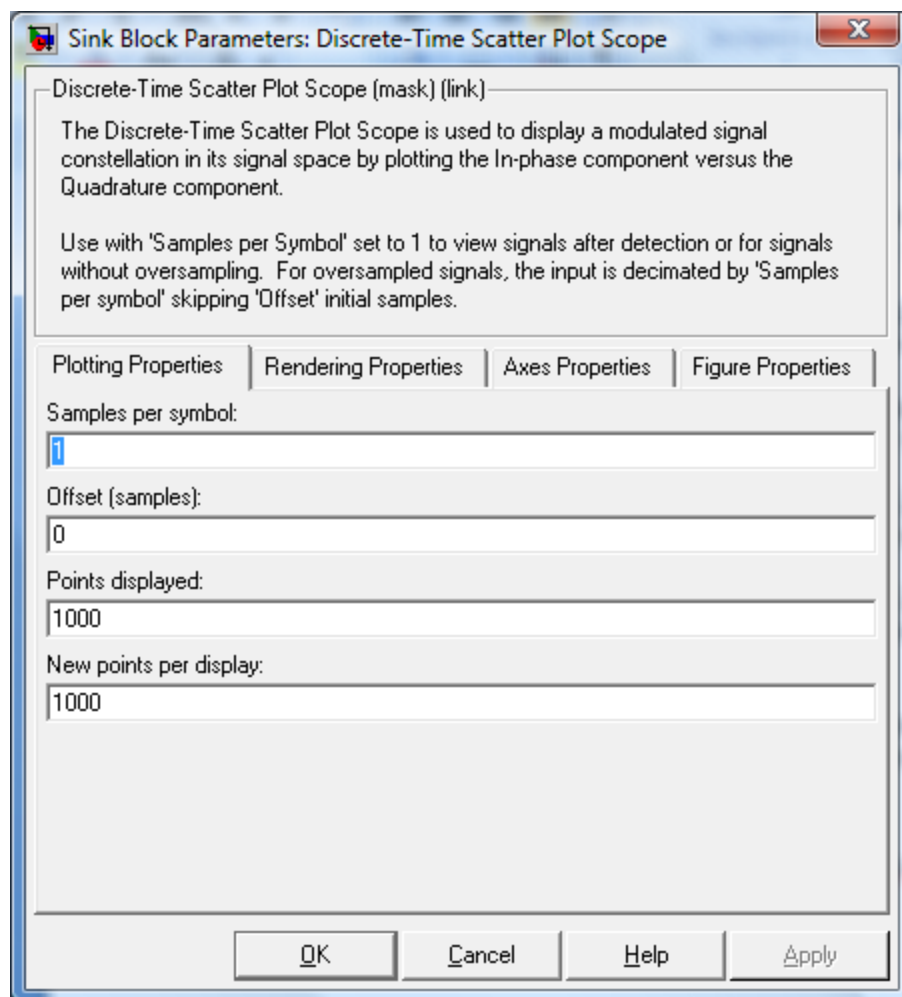
- Модулятор – Modulator BPSK Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => PM. В окне его параметров задаем фазовое смещение (Phase Offset), равным 0, чтобы КК размещались на оси X на карте созвездий.



- Канал связи с добавлением гауссовского шума AWGN Channel. Блок находится в Communications Blockset => Channels. В окне его параметров выбирается отношение сигнал/шум С/Ш.

- Демодулятор – Demodulator BPSK Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => PM. В окне его параметров задаем то же, что в модуляторе.

- Карта рассеяния Discret-Time Scatter Plot. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sinks. Блок используется для просмотра карты созвездий кодовых комбинаций сигналов. В окне надо задать достаточно большое число отображаемых точек (Point Displayed).



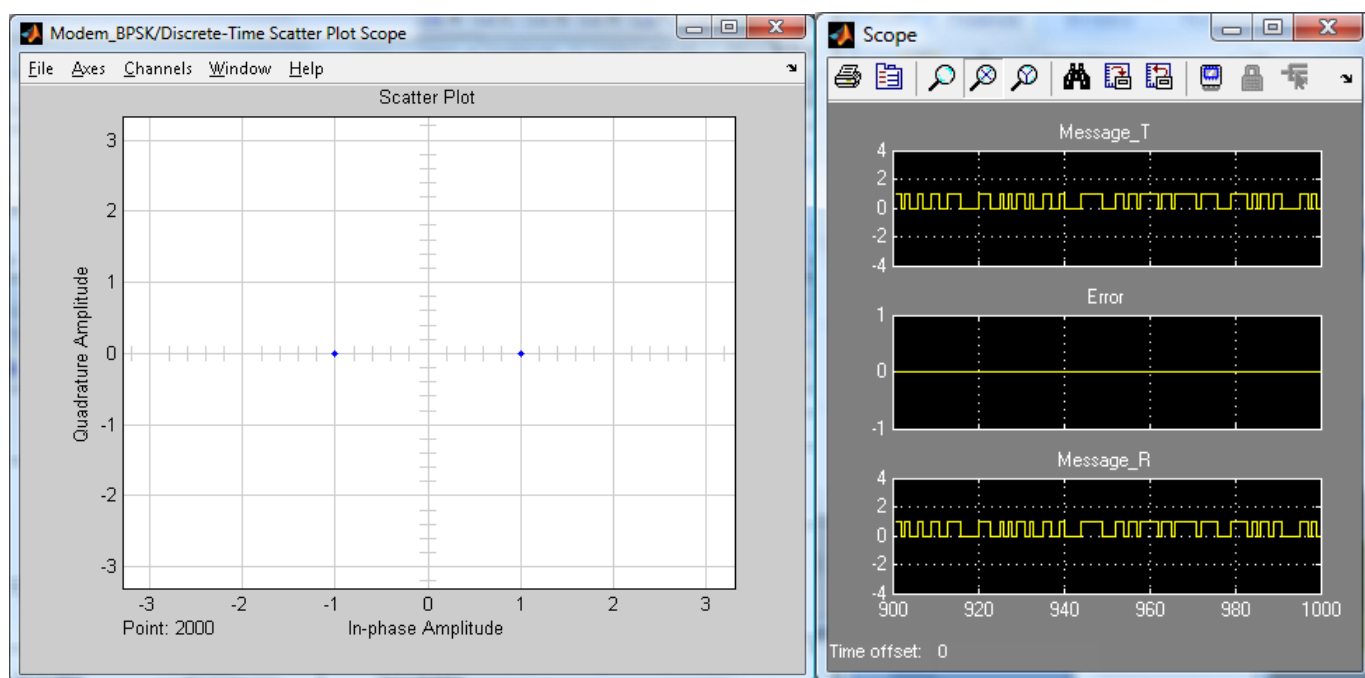
- Виртуальный наблюдатель Scope для просмотра в одинаковом масштабе 3-х сигналов (передаваемого и принятого сообщений, ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks. Зададим имена входов блока (Message_T –переданное сообщение, Message_R - принятое сообщение, Error - ошиб-ка).

- Блоки преобразования комплексных чисел в формат амплитуда-фаза Complex to Magnitude-Angle. Блок находится в Simulink => Math Operations. Вещественные сигналы с выходов амплитуда |u| этих блоков передаем на входы наблюдателя Scope.

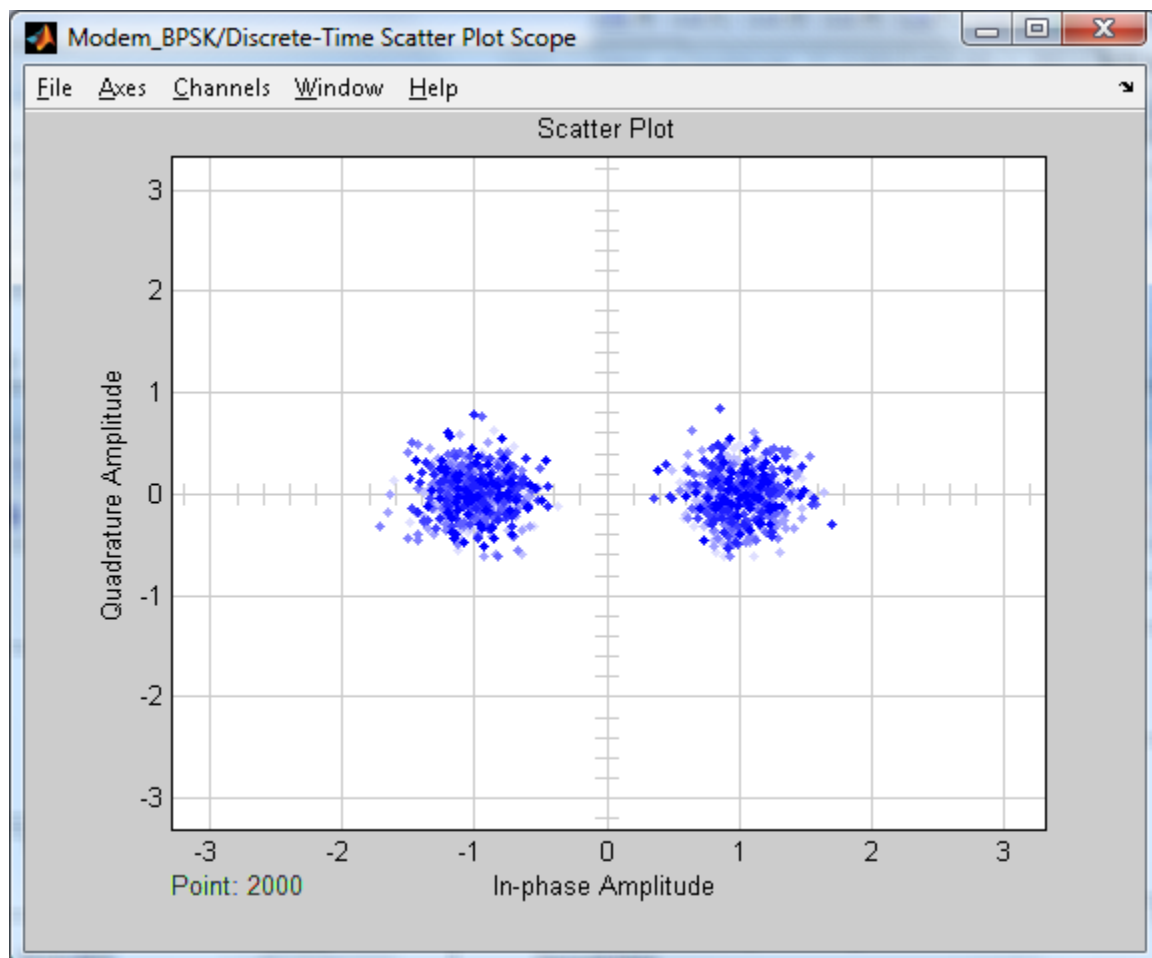
- Сумматор Sum. Блок находится в Simulink => Commonly Used Blocks. Блок ставим в режим вычитания, чтобы определить сигнал ошибки Error, разницу передаваемого и принятого сообщений.

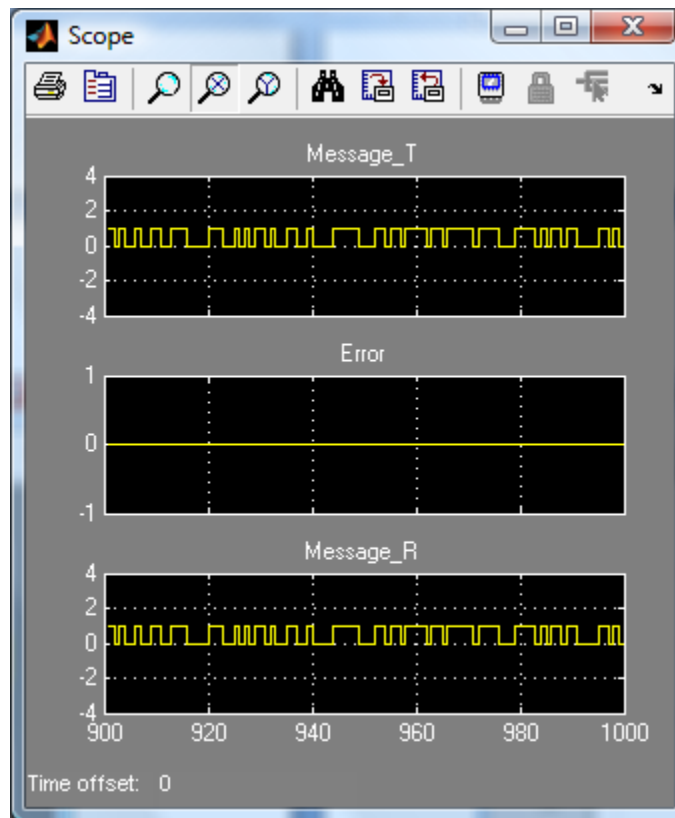
При моделировании с разными уровнями шума получим.

- $C/\Pi=100$ дБ, шума практически нет. На карте рассеяния сигнала помех не заметно. Передаваемое и принятое сообщения совпадают.

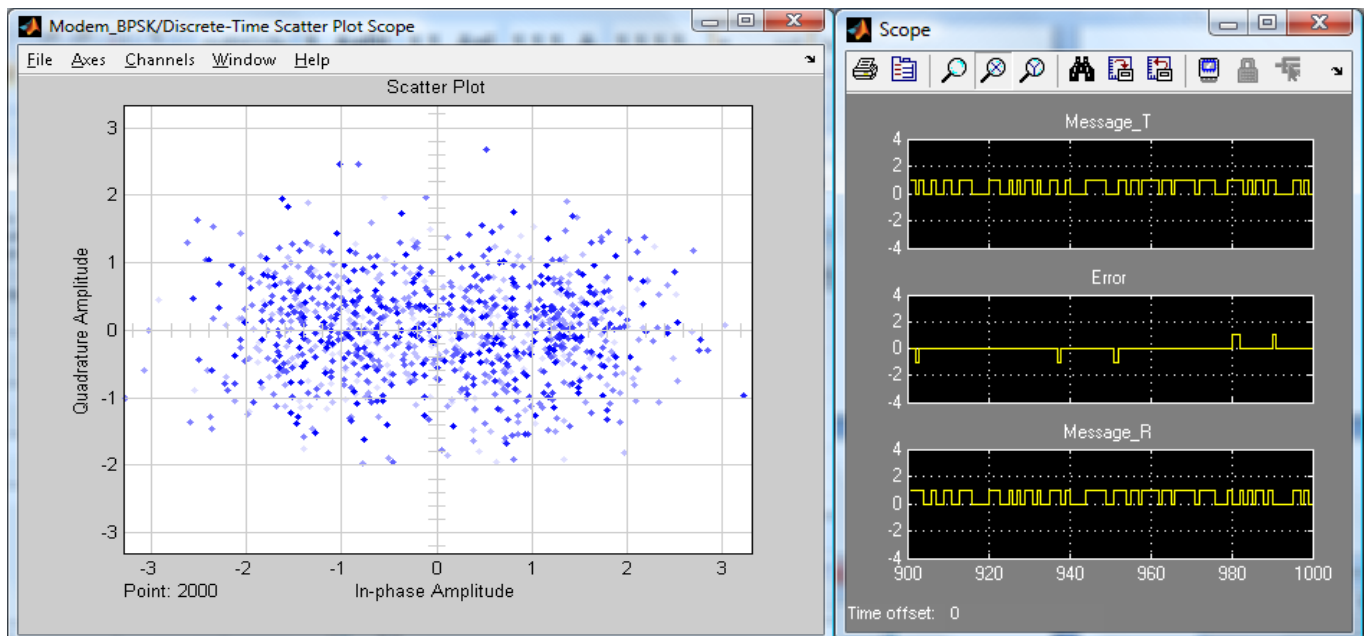


- $C/\Pi=10$ дБ, шум есть. На карте рассеяния сигнала помехи заметны. Однако КК не перекрываются. Демодулятор формирует правильное сообщение. Сигнал ошибки равен 0.





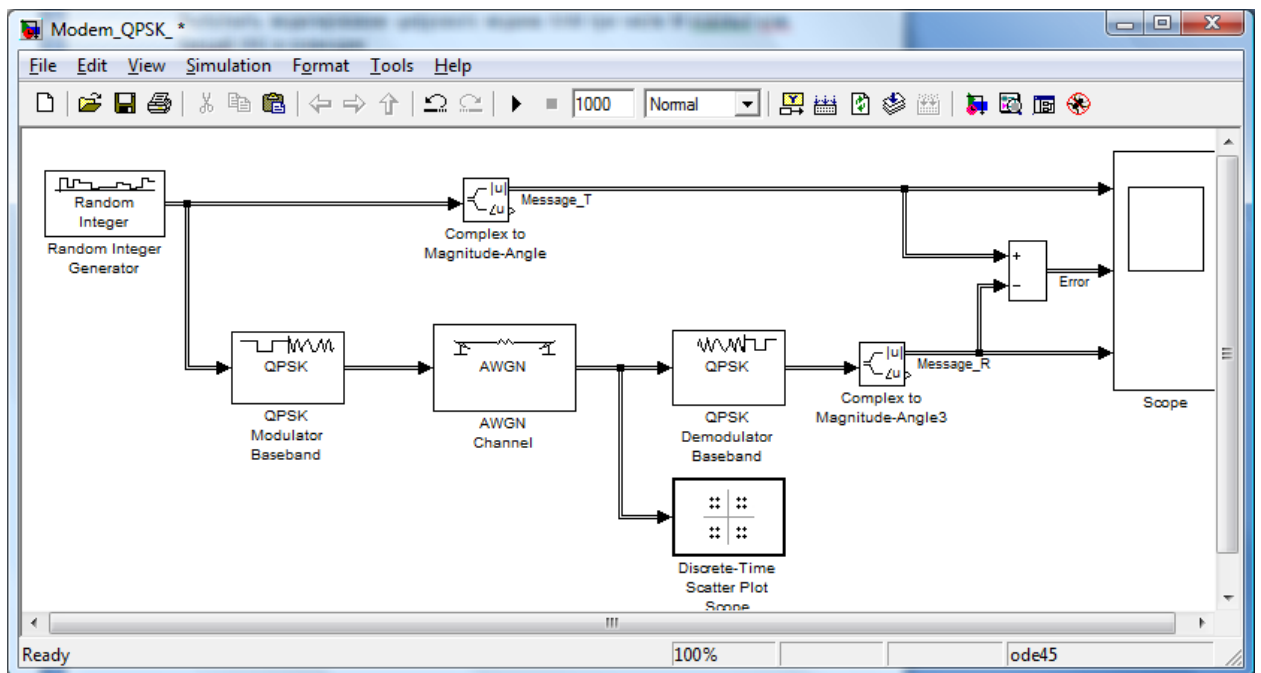
- $C/\text{Ш}=0$ дБ, интенсивный шум. На карте рассеяния сигнала помехи велики, КК не перекрываются. Демодулятор формирует сообщение с ошибками. Сигнал ошибки не равен 0.



1.5. Цифровой модем QPSK

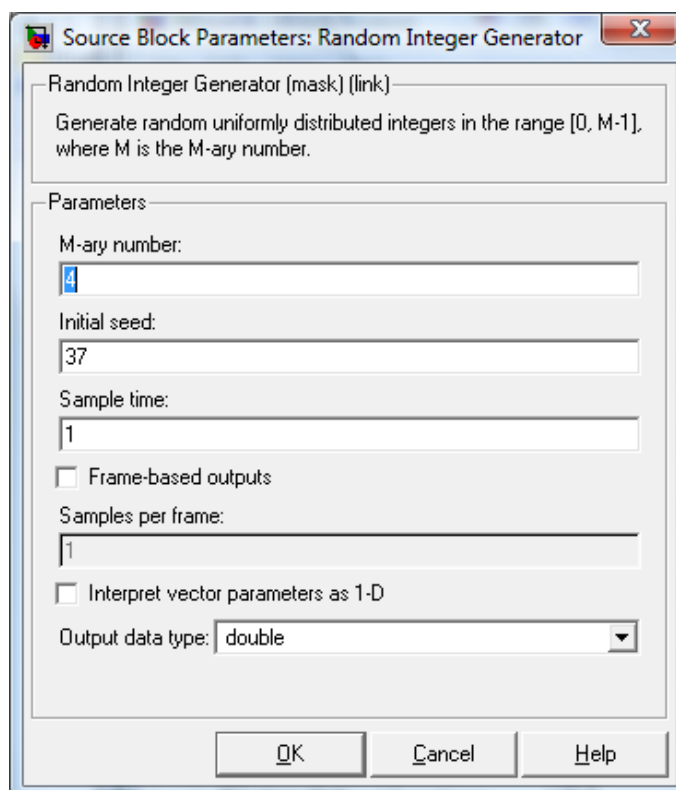
Выполнить моделирование цифрового модема QPSK.

Создаем модель в среде Simulink.

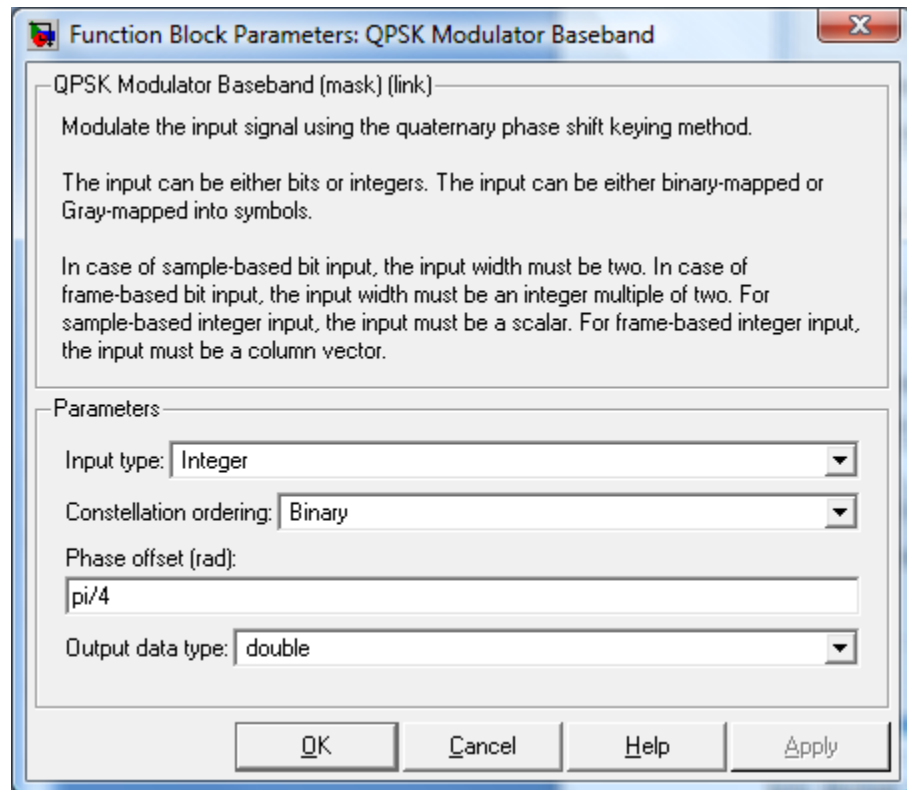


В модель включаем:

- Источник данных, генератор случайных целых чисел – Random-Integer Generator. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sources => Random Data Sources. Блок вырабатывает случайные числа в интервале $0 \dots M-1$. Для QPSK $M=4$.



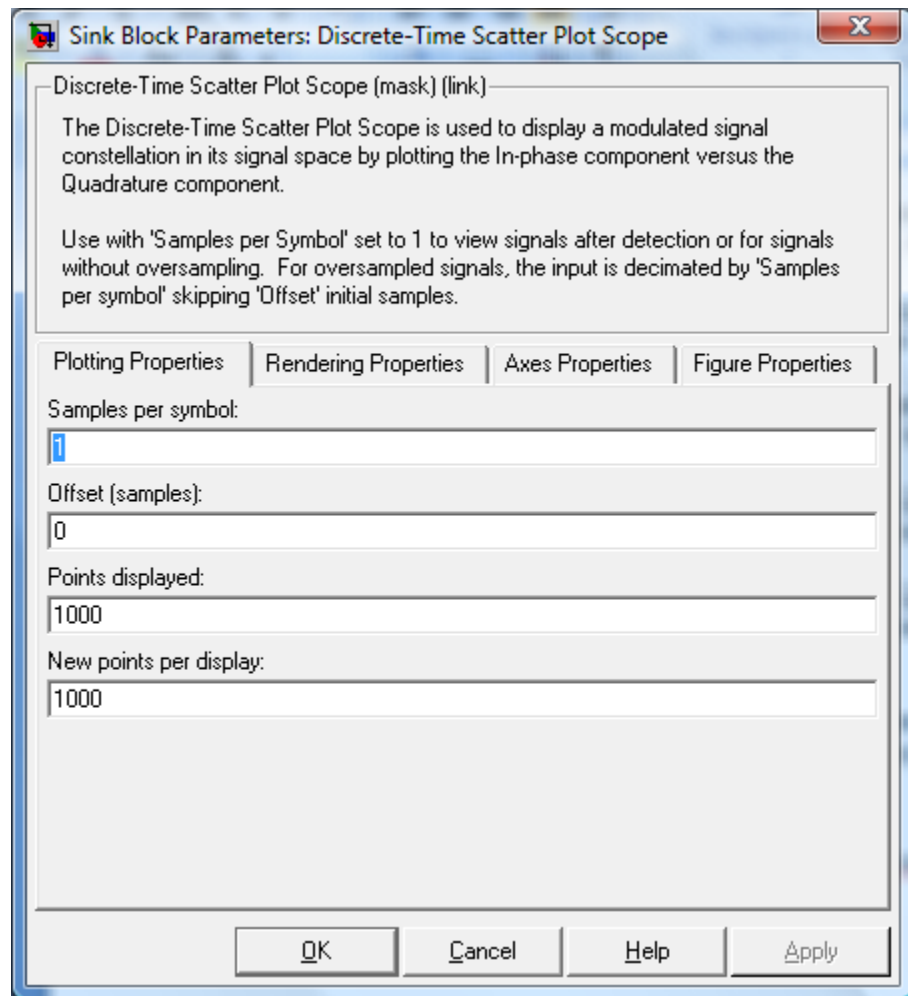
- Модулятор – Modulator QPSK Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => PM. В окне его параметров задаем фазовое смещение (Phase Offset), равным $\pi/4$, чтобы КК размещались в серединах квадрантов на карте созвездий.



- Канал связи с добавлением гауссовского шума AWGN Channel. Блок находится в Communications Blockset => Channels. В окне его параметров выбирается отношение сигнал/шум С/Ш.

- Демодулятор – Demodulator QPSK Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => PM. В окне его параметров задаем то же, что в модуляторе.

- Карта рассеяния Discret-Time Scatter Plot. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sinks. Блок используется для просмотра карты созвездий кодовых комбинаций сигналов. В окне надо задать достаточно большое число отображаемых точек (Point Displayed).



- Виртуальный наблюдатель Scope для просмотра в одинаковом масштабе 3-х сигналов (передаваемого и принятого сообщений, ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks. Зададим имена входов блока (Message_T –переданное сообщение, Message_R - принятое сообщение, Error - ошиб-ка).

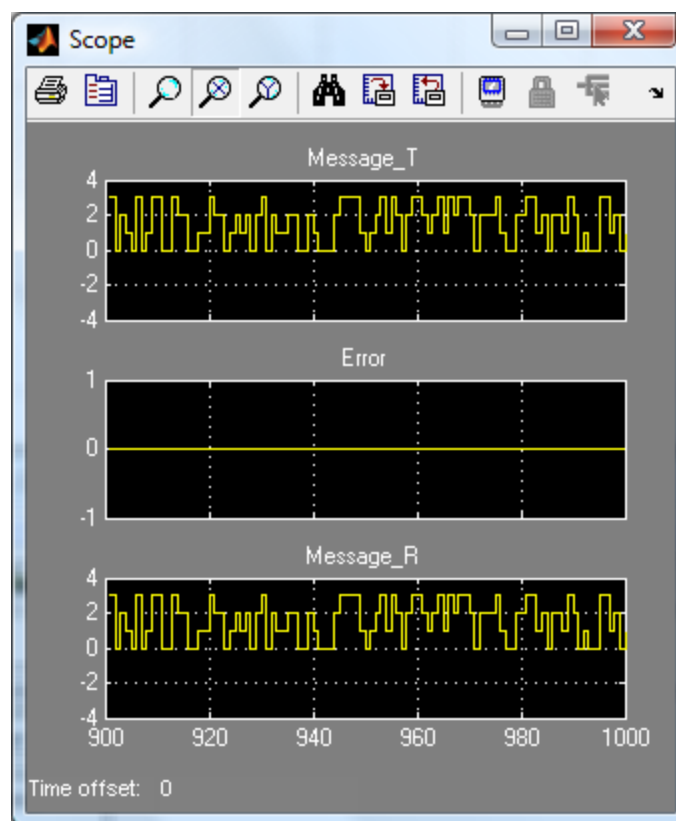
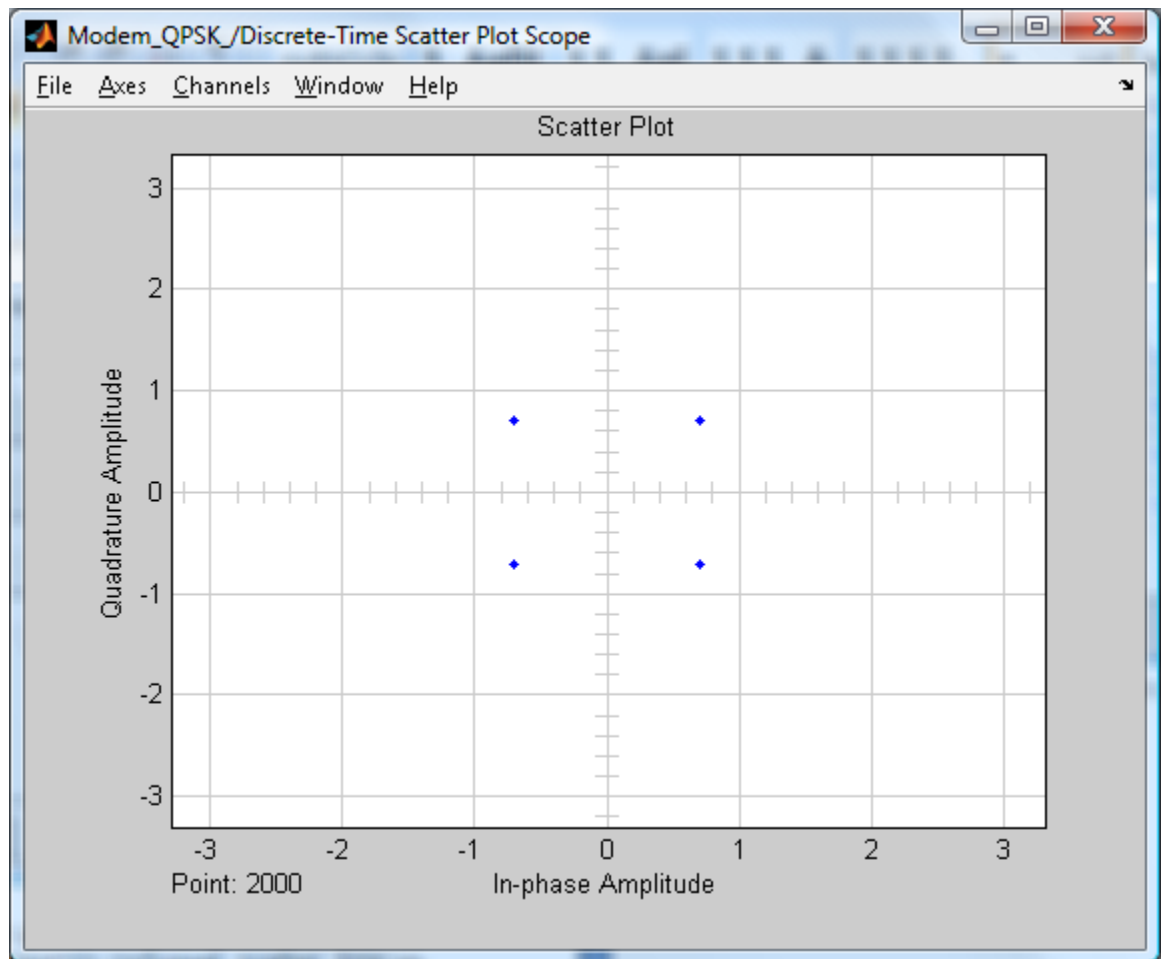
- Блоки преобразования комплексных чисел в формат амплитуда-фаза Complex to Magnitude-Angle. Блок находится в Simulink => Math Operations. Вещественные сигналы с выходов амплитуда $|u|$ этих блоков передаем на входы наблюдателя Scope.

- Сумматор Sum. Блок находится в Simulink => Commonly Used Blocks. Блок ставим в режим вычитания, чтобы определить сигнал ошибки Error, разницу передаваемого и принятого сообщений.

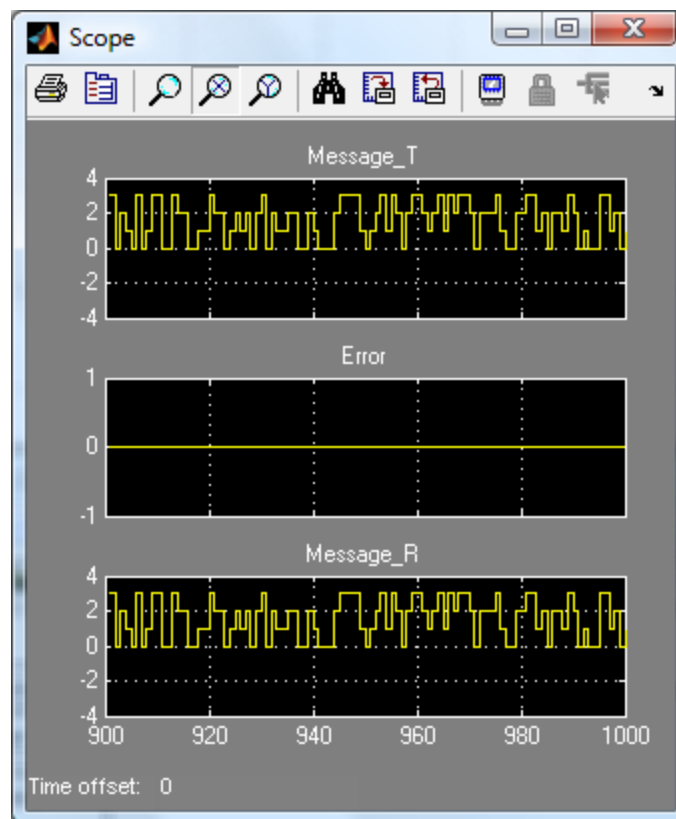
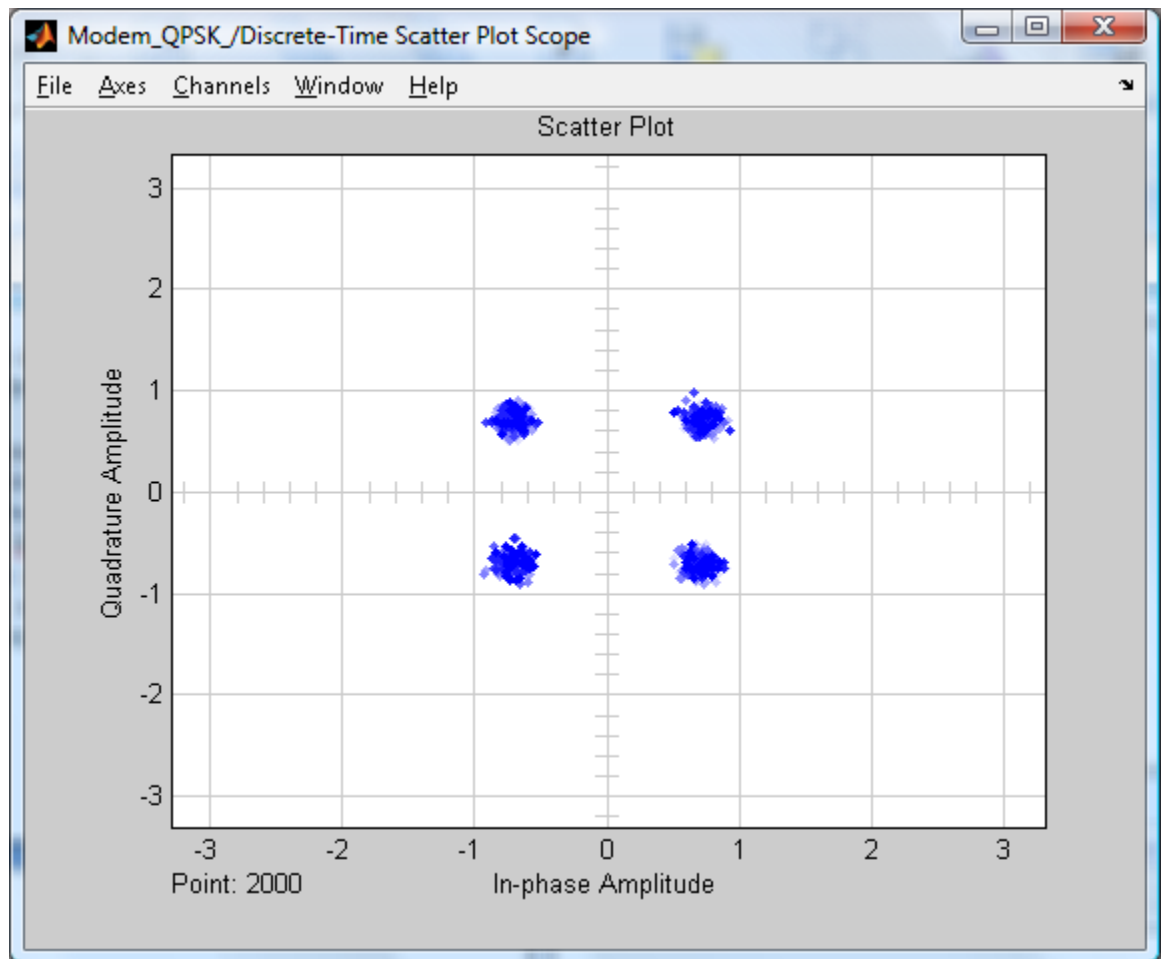
- Scope для просмотра в одинаковом масштабе 3-х сигналов (передаваемого и принятого сообщений, ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks.

При моделировании с разными уровнями шума получим.

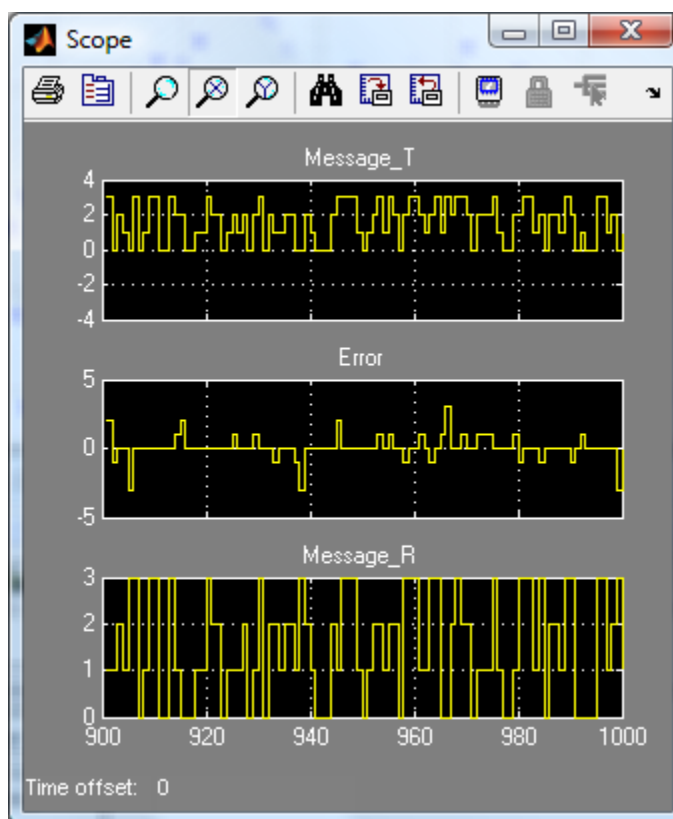
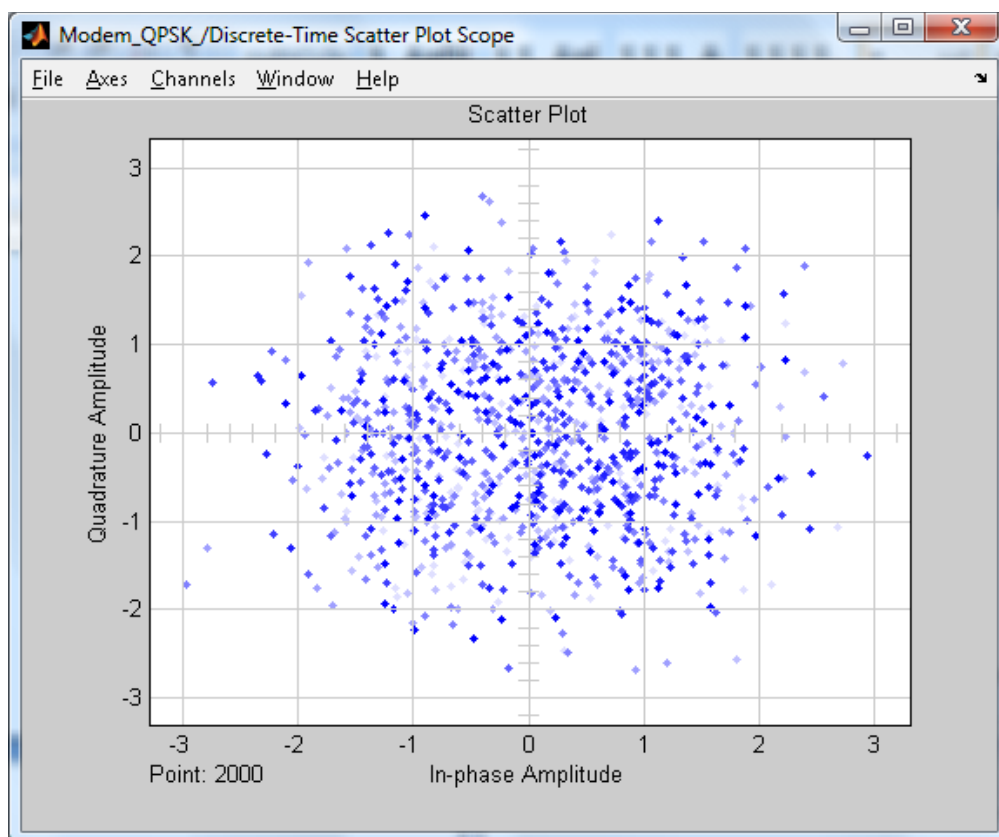
- $C/\text{Ш}=100$ дБ, шума практически нет. На карте рассеяния сигнала помех не заметно. Передаваемое и принятое сообщения совпадают.



- $C/\text{Ш}=20$ дБ, шум есть. На карте рассеяния сигнала помехи заметны. Однако КК не перекрываются. Демодулятор формирует правильное сообщение. Сигнал ошибки равен 0.



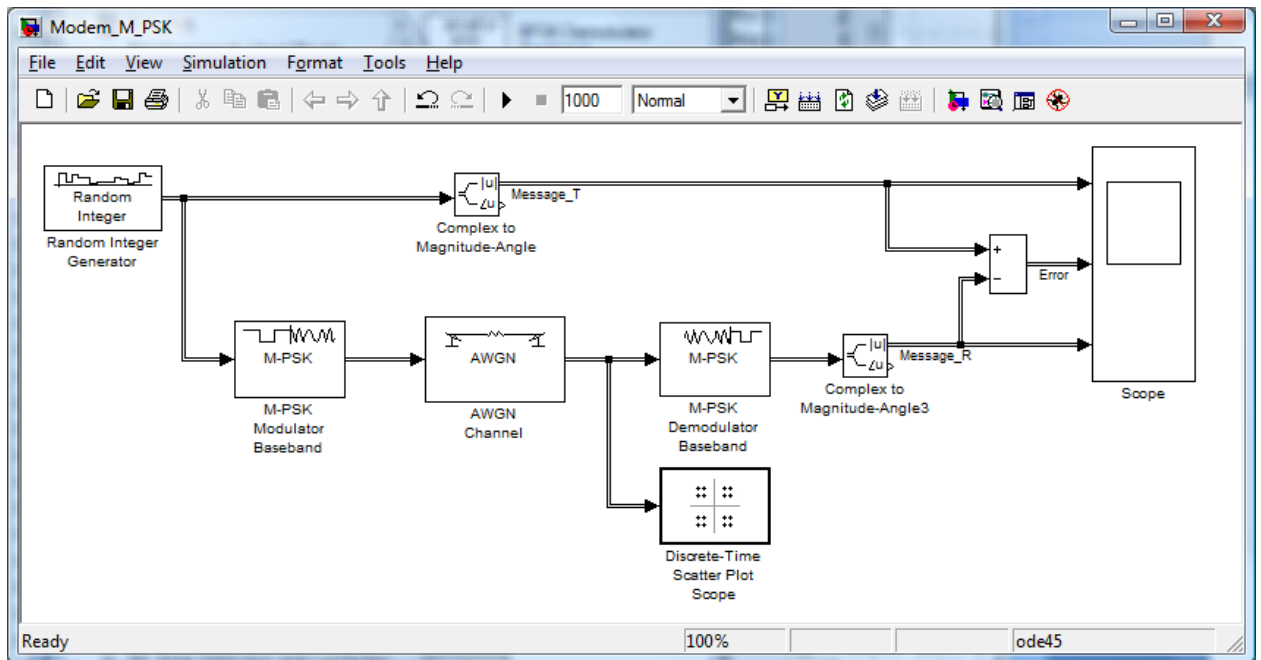
- $C/\text{Ш}=0$ дБ, интенсивный шум. На карте рассеяния сигнала помехи велики, КК не перекрываются. Демодулятор формирует сообщение с ошибками. Сигнал ошибки не равен 0.



1.6. Цифровой модем M-PSK

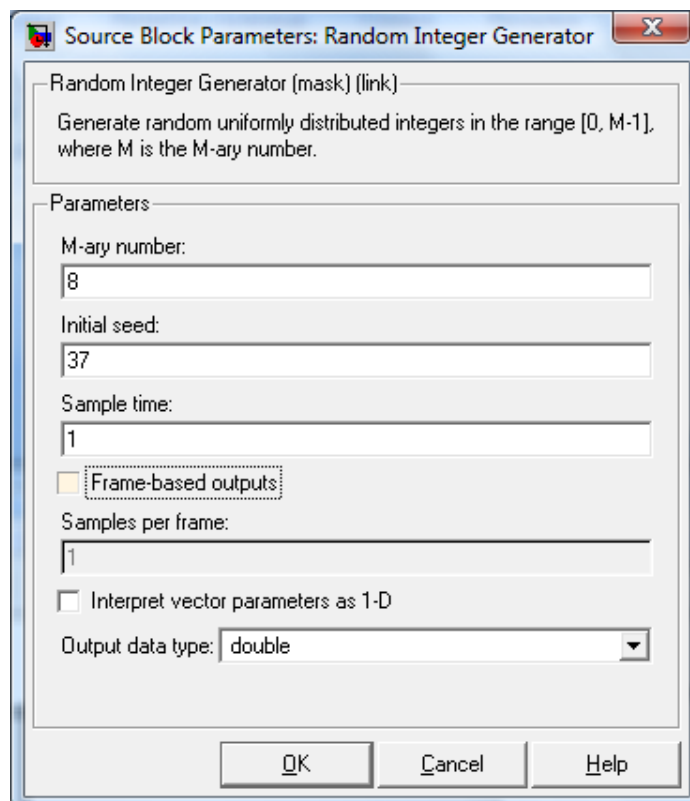
Выполнить моделирование цифрового модема M-PSK с $M=8$.

Создаем модель в среде Simulink.

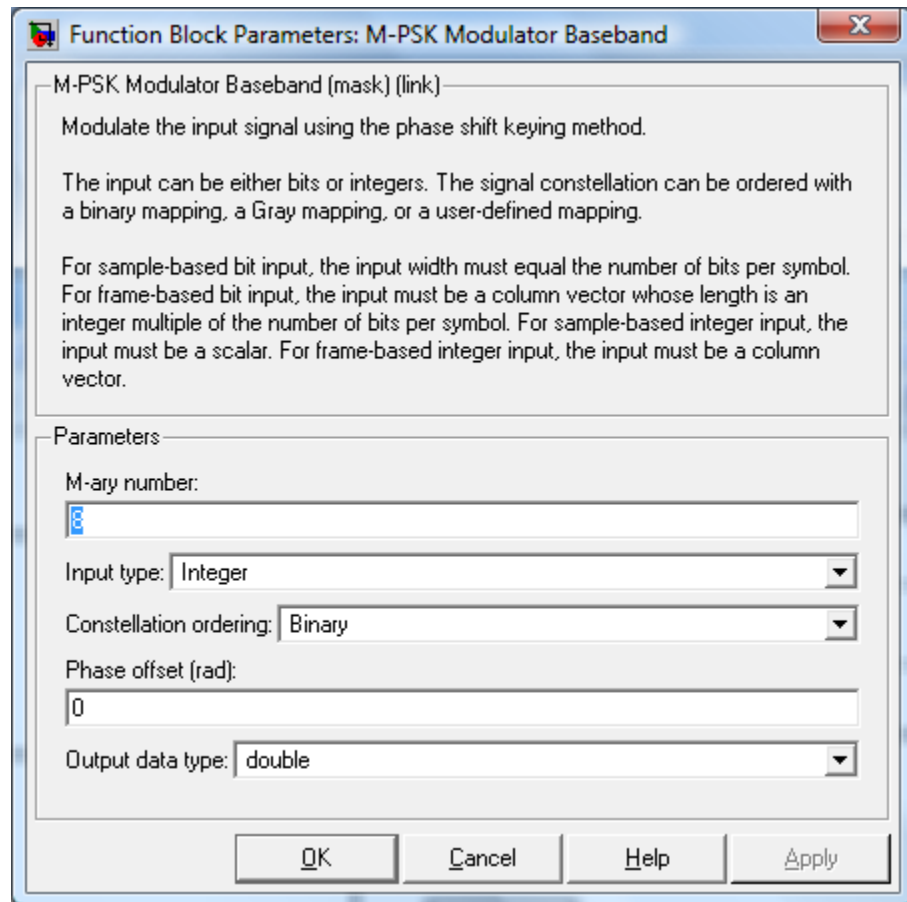


В модель включаем:

- Источник данных, генератор случайных целых чисел – Random-Integer Generator. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sources => Random Data Sources. Блок вырабатывает случайные числа в интервале $0 \dots M-1$. Для M-PSK в примере $M=8$.



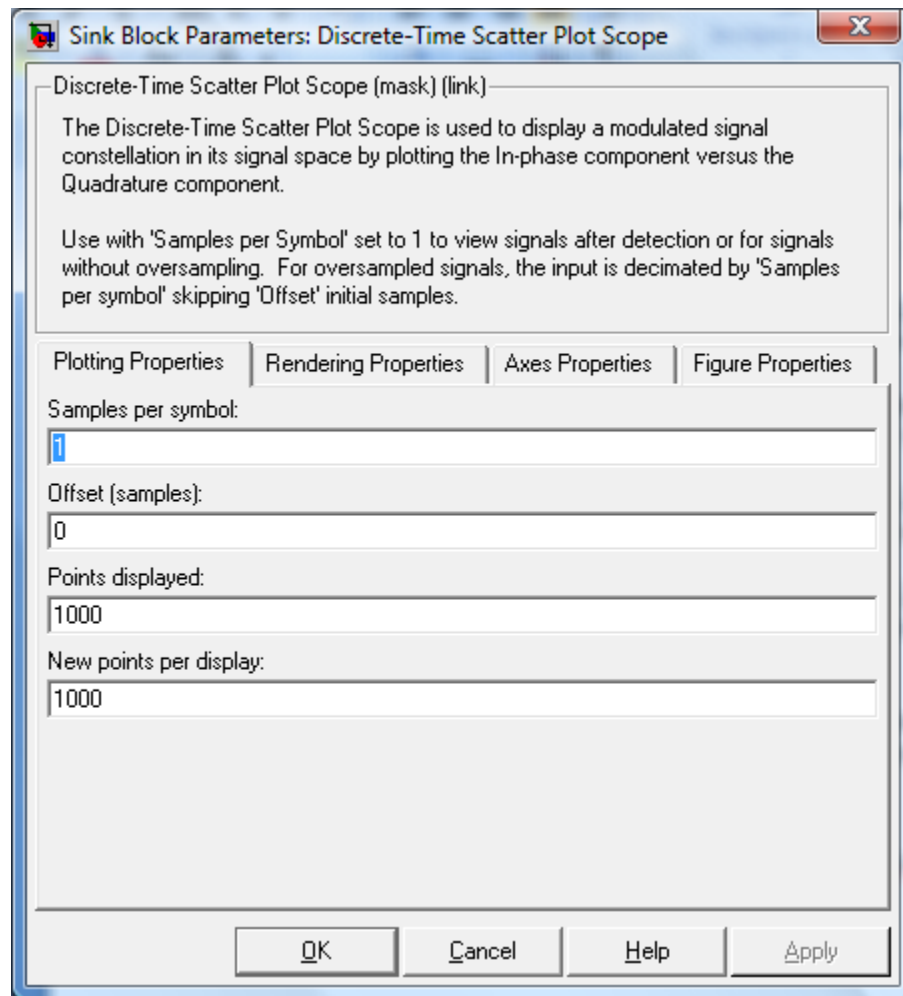
- Модулятор – Modulator M-PSK Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => PM. В окне его параметров задаем фазовое смещение (Phase Offset), равным $\pi/4$, чтобы КК размещались в серединах квадрантов на карте созвездий.



- Канал связи с добавлением гауссовского шума AWGN Channel. Блок находится в Communications Blockset => Channels. В окне его параметров выбирается отношение сигнал/шум С/Ш.

- Демодулятор – Demodulator QPSK Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => PM. В окне его параметров задаем то же, что в модуляторе.

- Карта рассеяния Discret-Time Scatter Plot. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sinks. Блок используется для просмотра карты созвездий кодовых комбинаций сигналов. В окне надо задать достаточно большое число отображаемых точек (Point Displayed).



- Виртуальный наблюдатель Scope для просмотра в одинаковом масштабе 3-х сигналов (передаваемого и принятого сообщений, ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks. Зададим имена входов блока (Message_T –переданное сообщение, Message_R - принятое сообщение, Error - ошиб-ка).

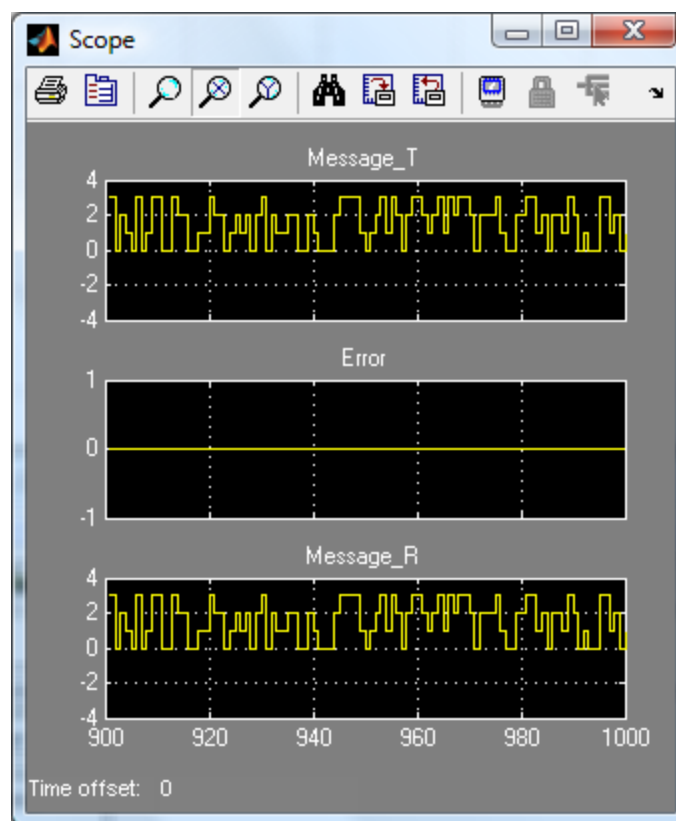
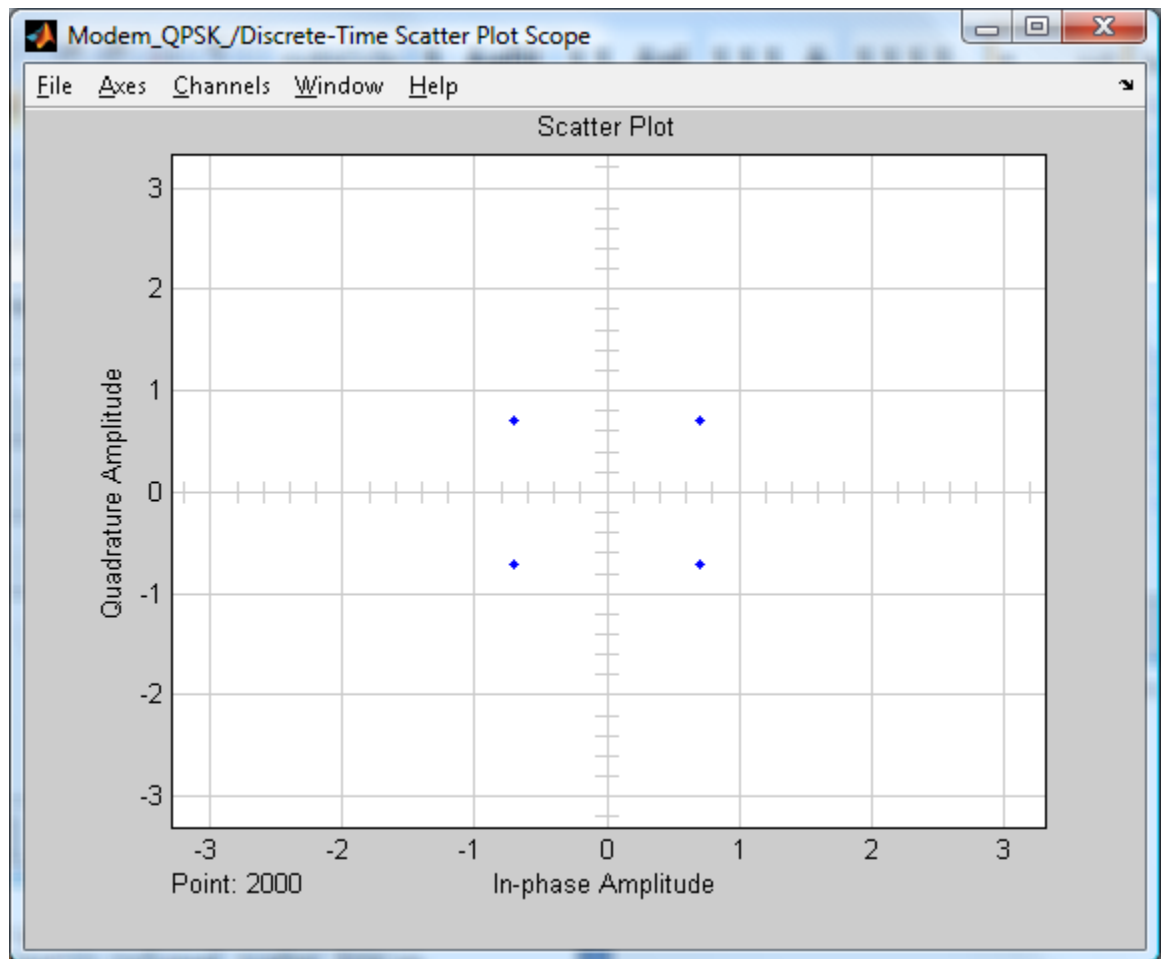
- Блоки преобразования комплексных чисел в формат амплитуда-фаза Complex to Magnitude-Angle. Блок находится в Simulink => Math Operations. Вещественные сигналы с выходов амплитуда $|u|$ этих блоков передаем на входы наблюдателя Scope.

- Сумматор Sum. Блок находится в Simulink => Commonly Used Blocks. Блок ставим в режим вычитания, чтобы определить сигнал ошибки Error, разницу передаваемого и принятого сообщений.

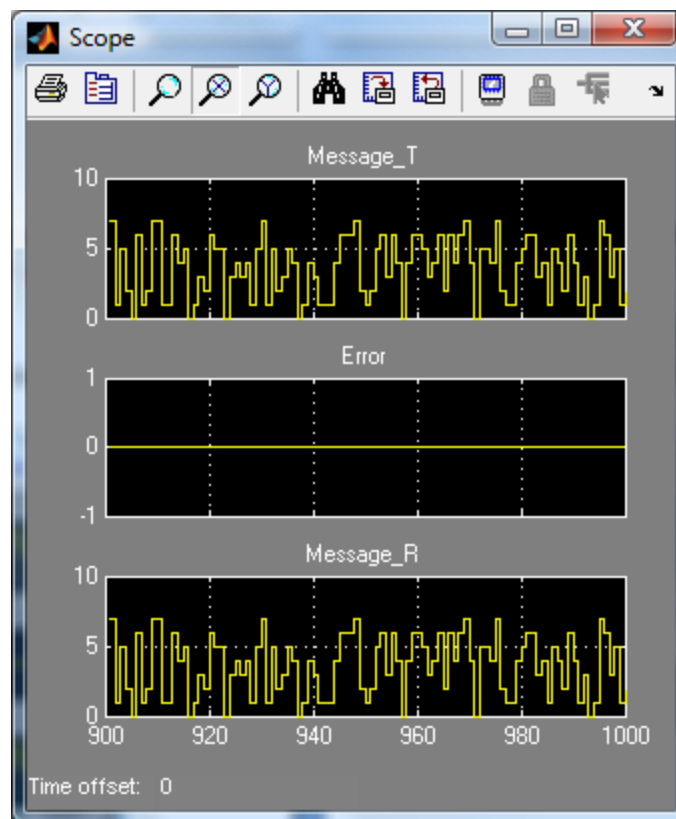
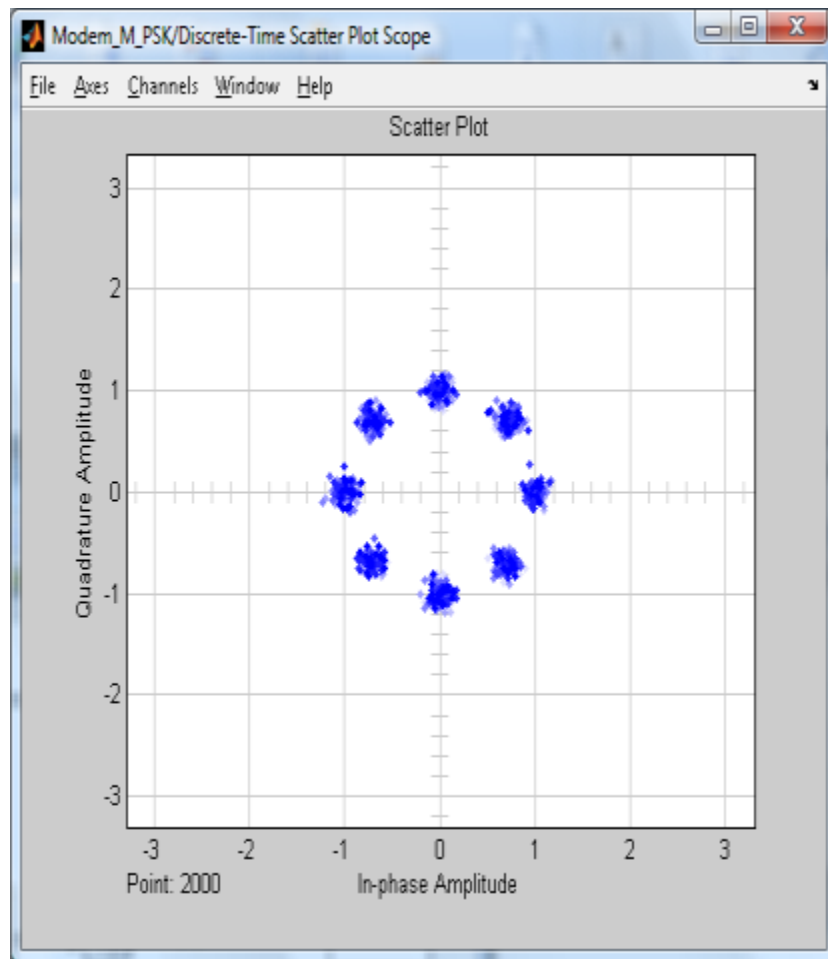
- Scope для просмотра в одинаковом масштабе 3-х сигналов (передаваемого и принятого сообщений, ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks.

При моделировании с разными уровнями шума получим.

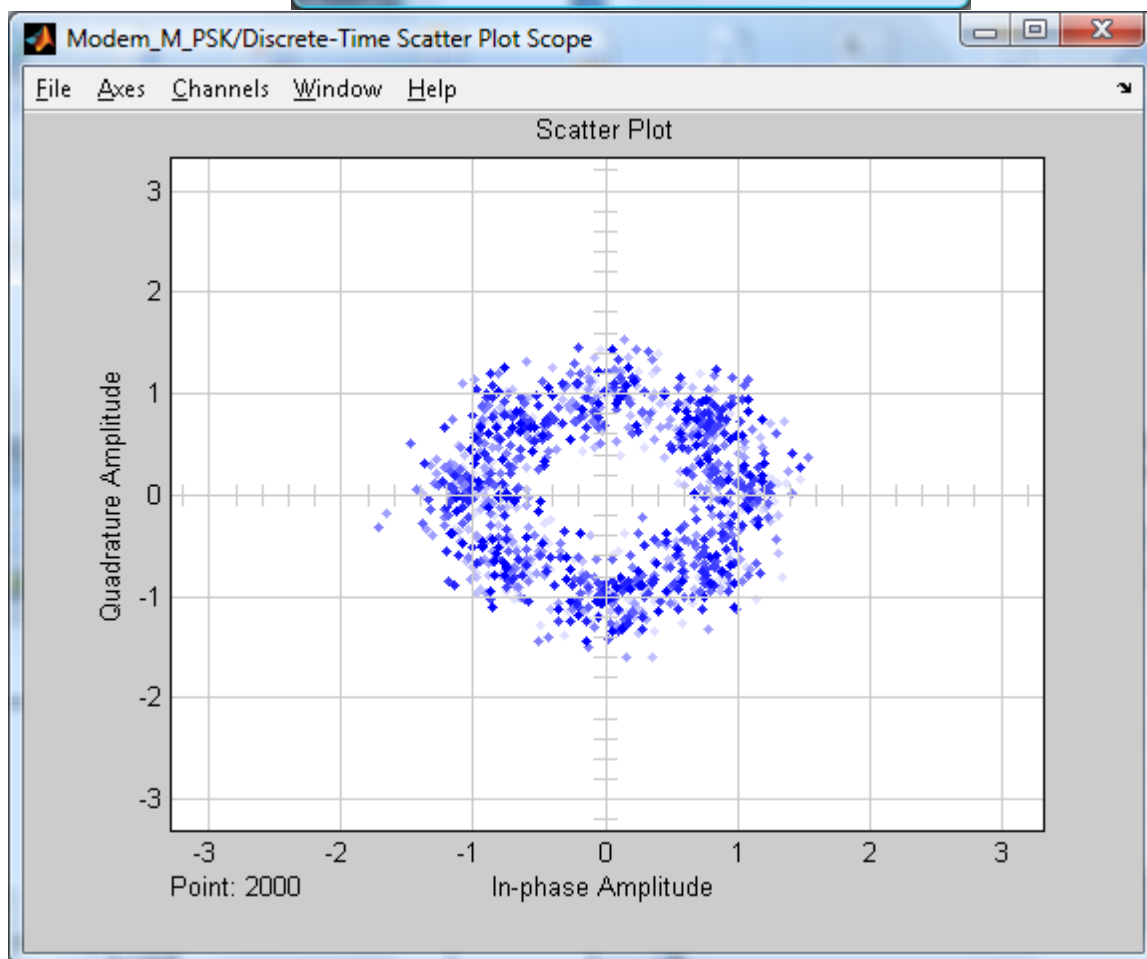
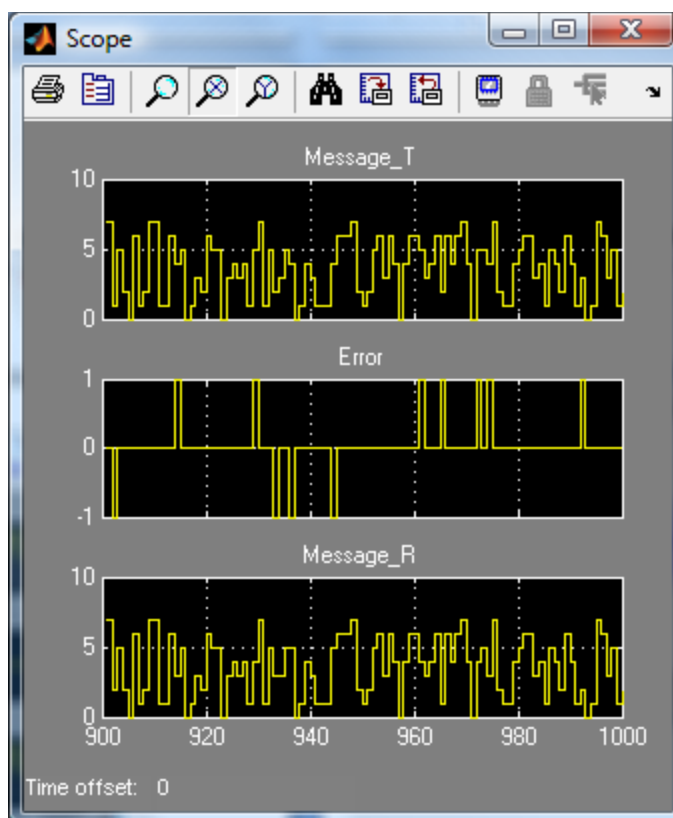
- $C/\text{Ш}=100$ дБ, шума практически нет. На карте рассеяния сигнала помех не заметно. Передаваемое и принятое сообщения совпадают.



- $C/\text{Ш}=20$ дБ, шум есть. На карте рассеяния сигнала помехи заметны. Однако КК не перекрываются. Демодулятор формирует правильное сообщение. Сигнал ошибки равен 0.



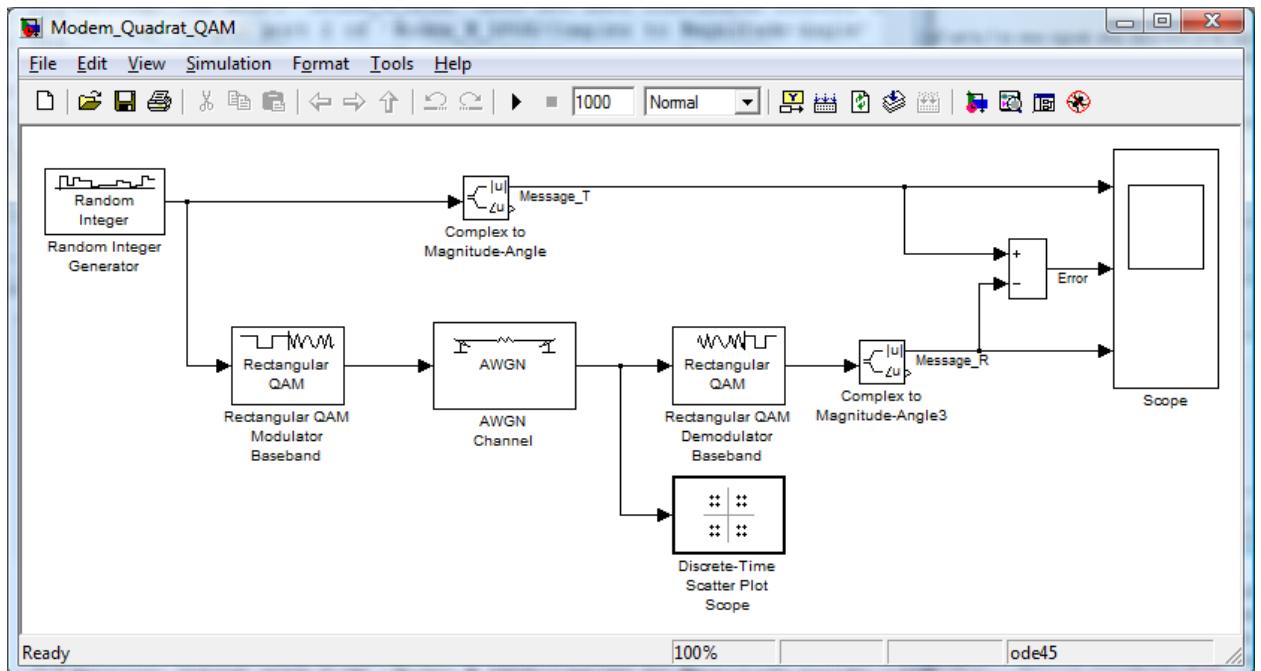
- $C/\text{Ш}=10$ дБ, интенсивный шум. На карте рассеяния сигнала помехи велики, КК не перекрываются. Демодулятор формирует сообщение с ошибками. Сигнал ошибки не равен 0.



1.7. Цифровой КАМ модем

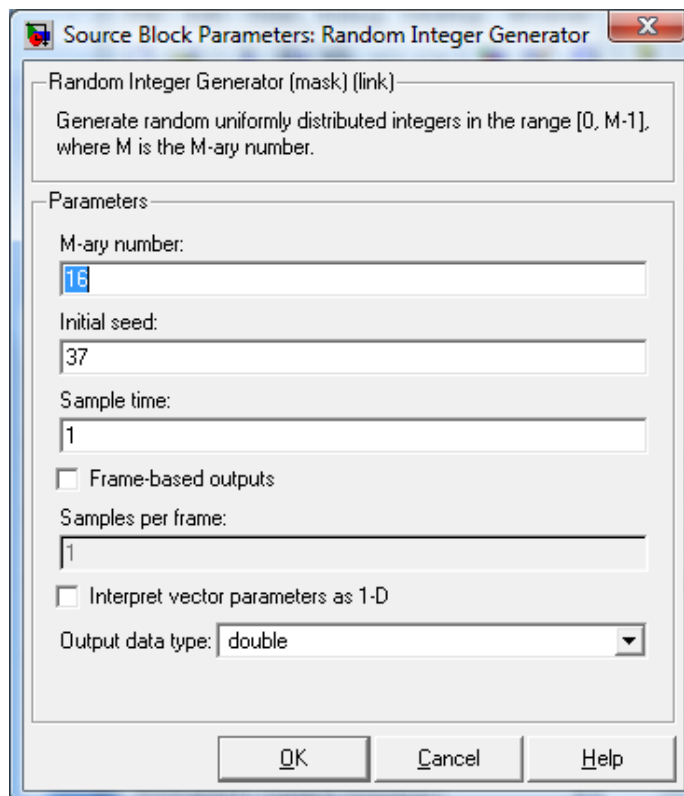
Выполнить моделирование цифрового модема КАМ с $M=16$.

Создаем модель в среде Simulink.

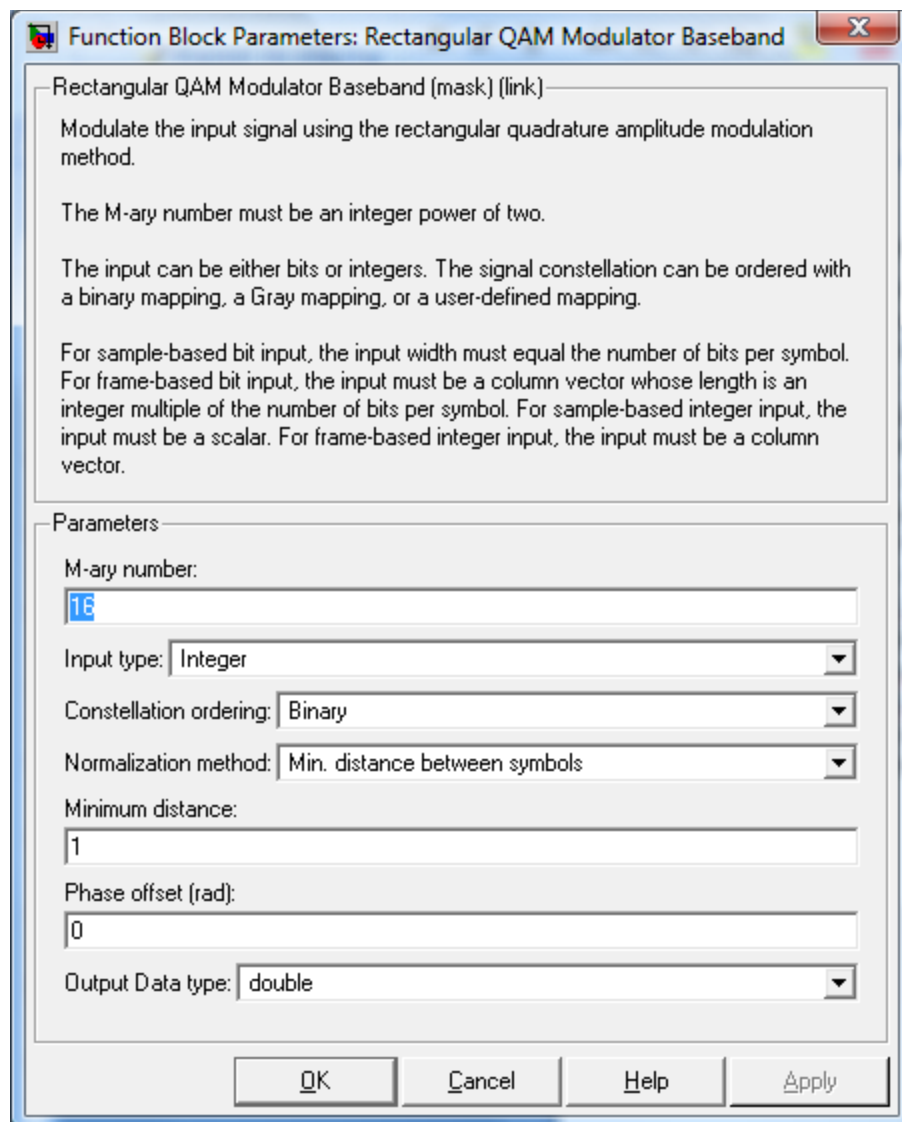


В модель включаем:

- Источник данных, генератор случайных целых чисел – Random-Integer Generator. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sources => Random Data Sources. Блок вырабатывает случайные числа в интервале $0 \dots M$. Для 16 КАМ $M=16$.



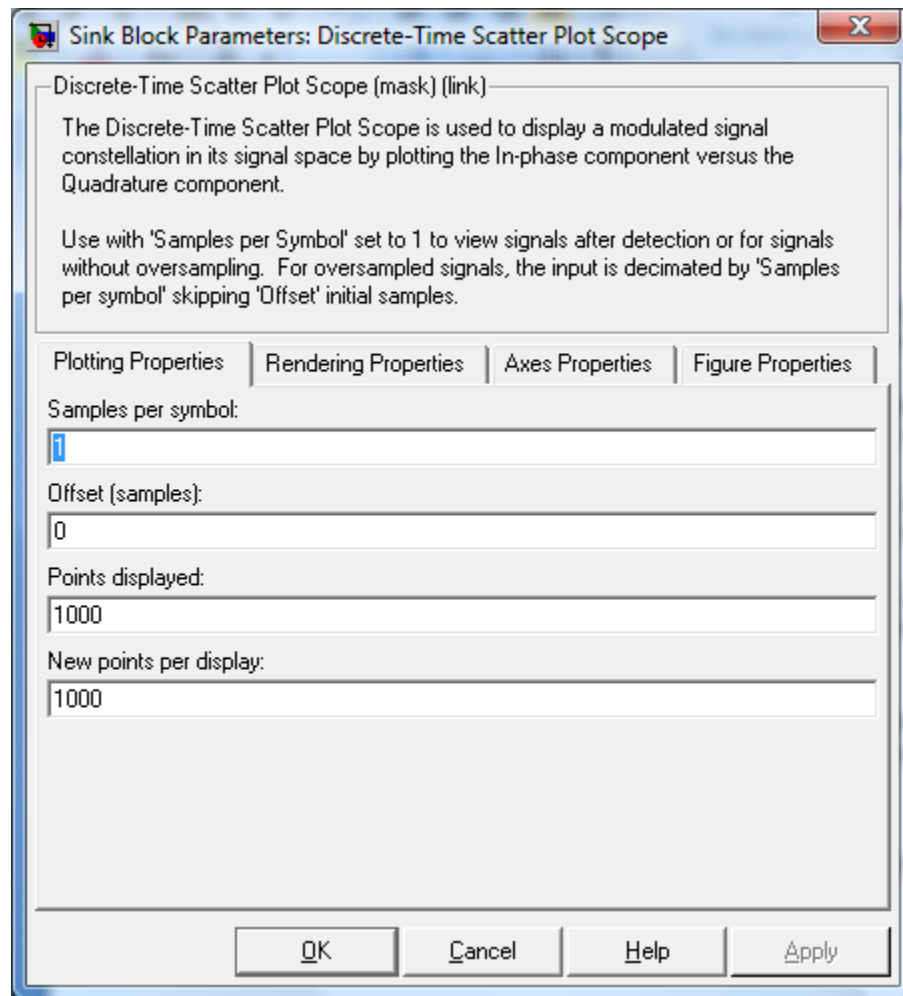
- Модулятор – Modulator Rectangular QAM Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => AM. В окне его параметров задаем M=16.



- Канал связи с добавлением гауссовского шума AWGN Channel. Блок находится в Communications Blockset => Channels. В окне его параметров выбирается отношение сигнал/шум C/Ш.

- Демодулятор – Demodulator Rectangular QAM Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => AM. В окне его параметров задаем то же, что и в модуляторе.

- Карта рассеяния Discret-Time Scatter Plot. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sinks. Блок используется для просмотра карт созвездий кодовых комбинаций сигналов. В окне надо задать достаточно большое число отображаемых точек (Point Displayed).



- Виртуальный наблюдатель Scope для просмотра в одинаковом масштабе 3-х сигналов (передаваемого и принятого сообщений, ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks. Зададим имена входов блока (Message_T –переданное сообщение, Message_R - принятое сообщение, Error - ошибка).

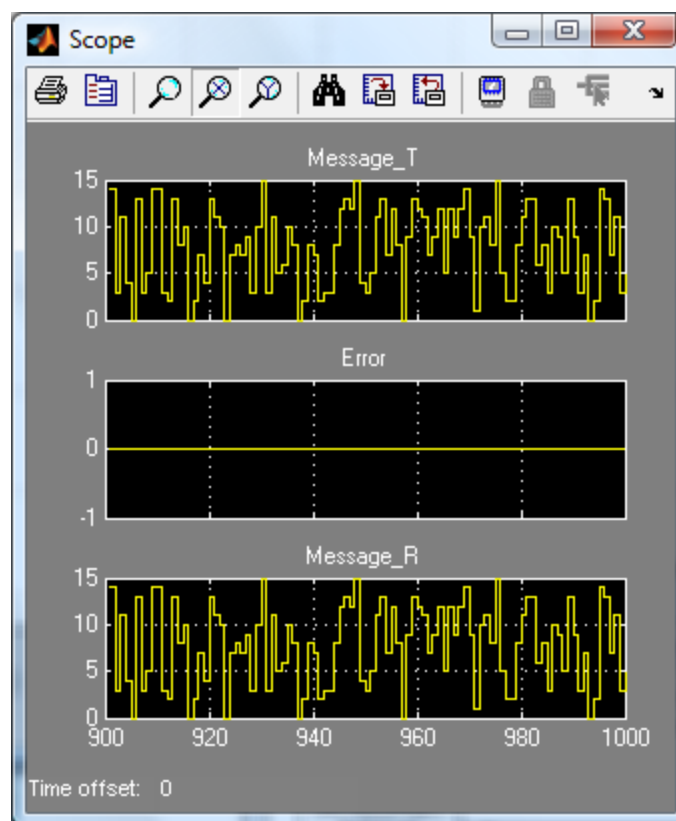
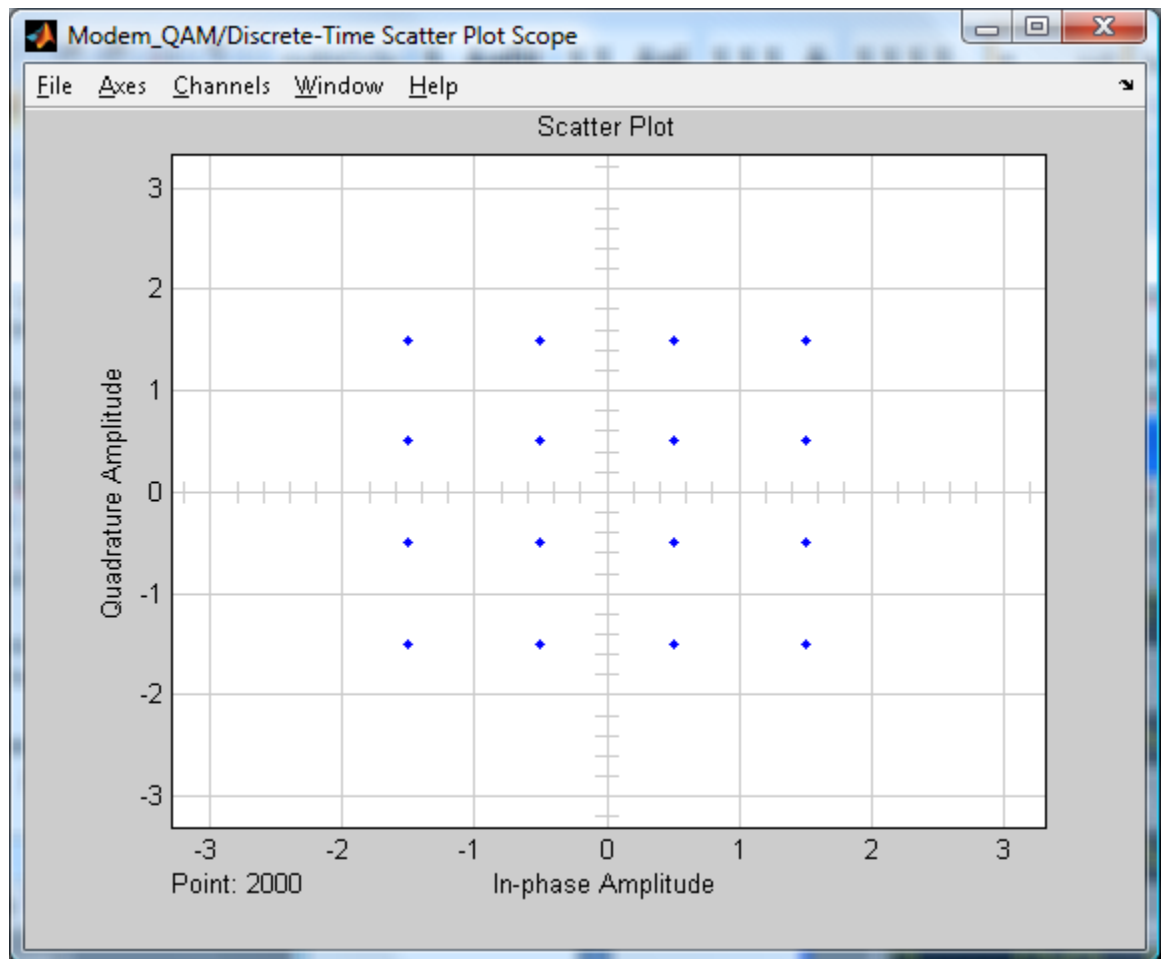
- Блоки преобразования комплексных чисел в формат амплитуда-фаза Complex to Magnitude-Angle. Блок находится в Simulink => Math Operations. Вещественные сигналы с выходов амплитуда $|u|$ этих блоков передаем на входы наблюдателя Scope.

- Сумматор Sum. Блок находится в Simulink => Commonly Used Blocks. Блок ставим в режим вычитания, чтобы определить сигнал ошибки Error, разницу передаваемого и принятого сообщений.

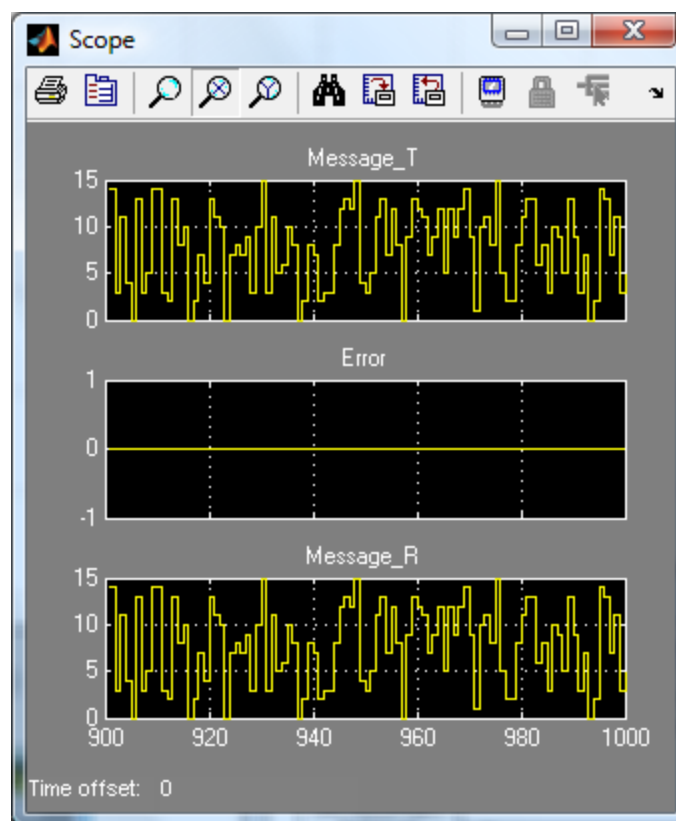
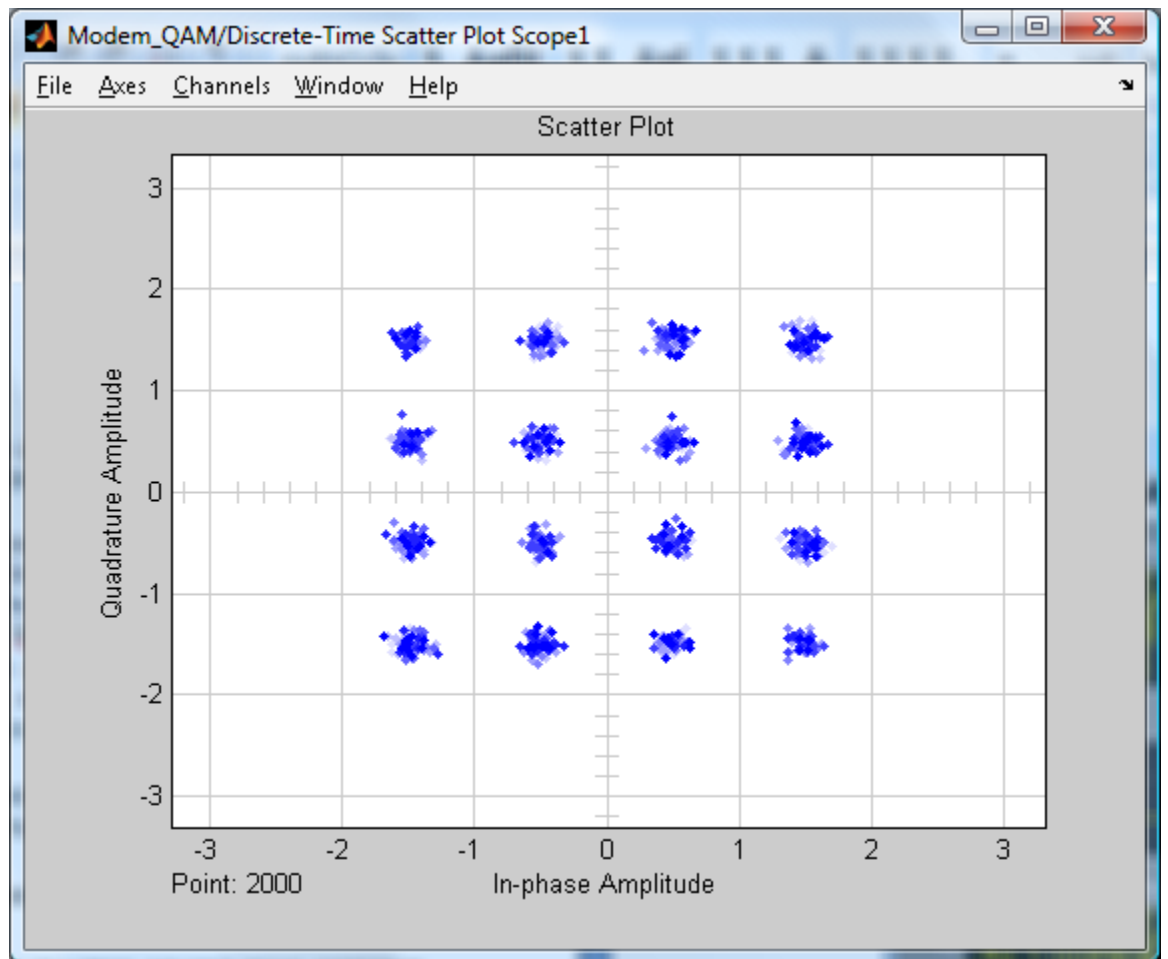
- Scope для просмотра в одинаковом масштабе 3-х сигналов (передаваемого и принятого сообщений, ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks.

При моделировании с разными уровнями шума получим.

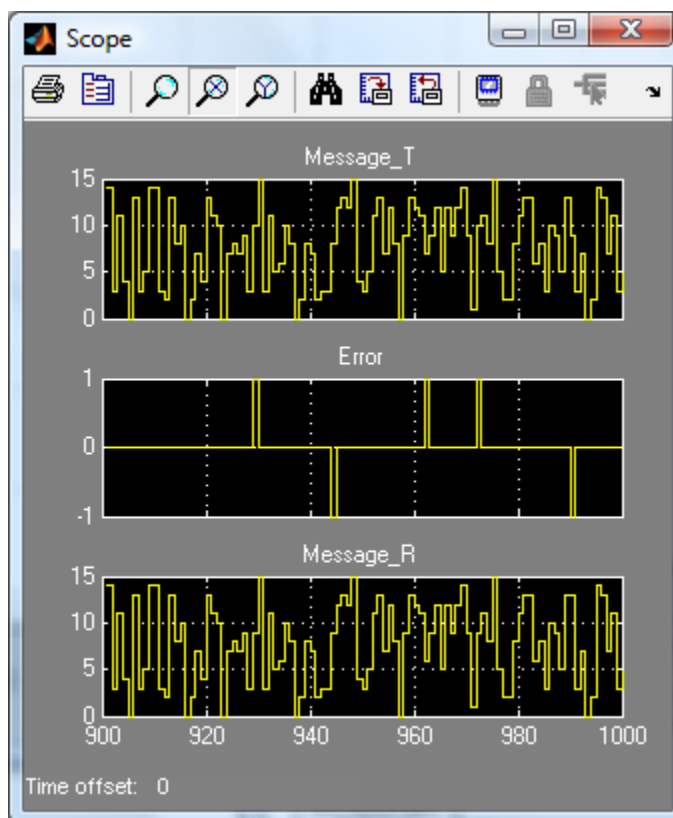
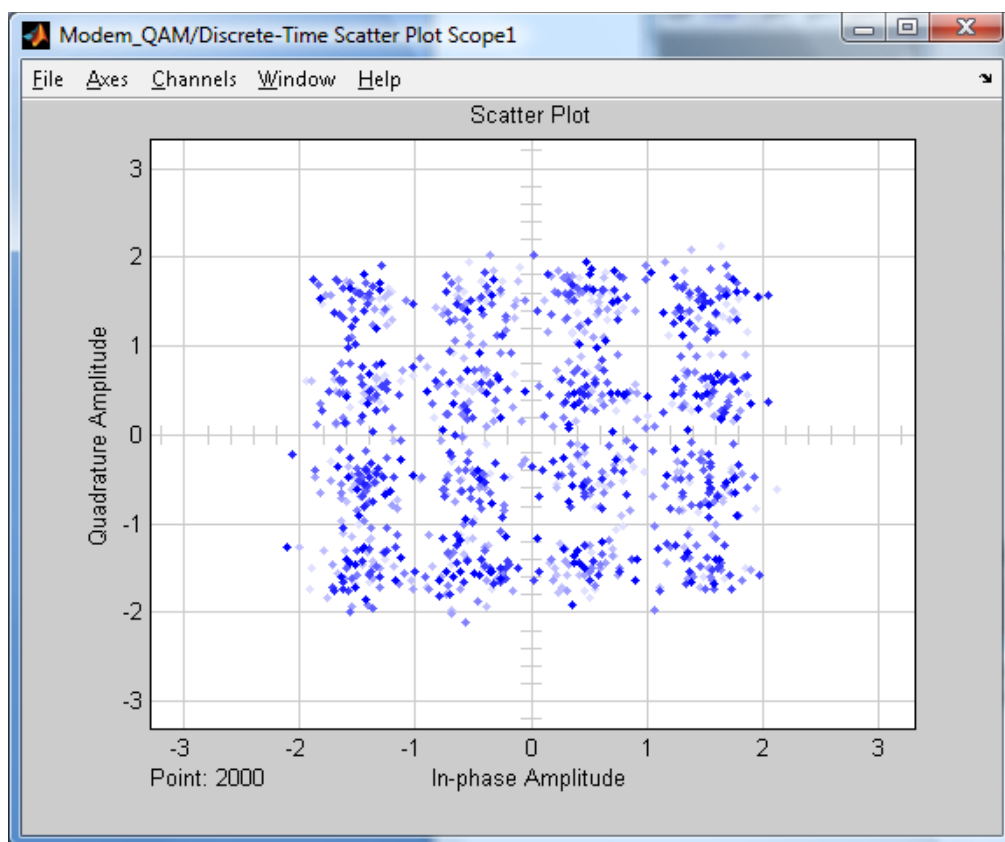
- $C/\text{Ш}=100$ дБ, шума практически нет. На карте рассеяния сигнала помех не заметно. Передаваемое и принятое сообщения совпадают.



- $C/\text{Ш}=20$ дБ, шум есть. На карте рассеяния сигнала помехи заметны. Однако КК не перекрываются. Демодулятор формирует правильное сообщение. Сигнал ошибки равен 0.



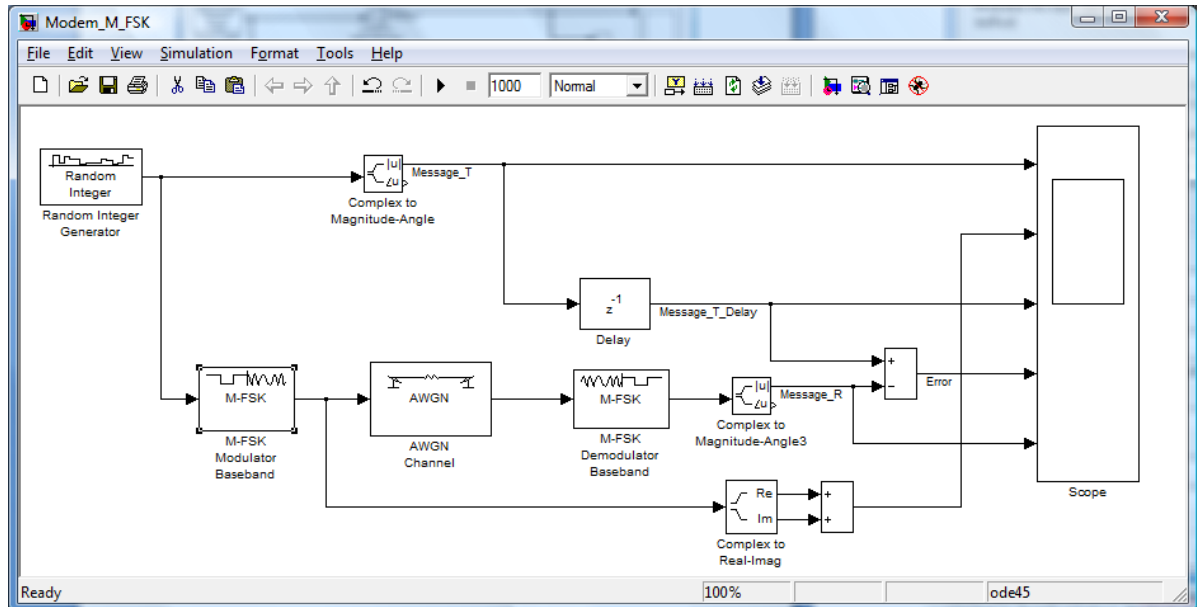
- $C/\text{Ш}=10$ дБ, интенсивный шум. На карте рассеяния сигнала помехи велики, КК перекрываются. Демодулятор формирует сообщение с ошибками. Сигнал ошибки не равен 0.



1.8. Цифровой ЧМ модем M-FSK

Выполнить моделирование цифрового модема M-FSK с $M=4$ и $F_{sep}=2,2$.
 $M1=2*4=8$.

Создаем модель в среде Simulink.



В модель включаем:

- Источник данных, генератор случайных целых чисел – Random-Integer Generator. Блок находится в Communications Blockset => Comm Sources => Random Data Sources. Блок вырабатывает случайные числа в интервале $0 \dots M$.

- Модулятор – Modulator M-FSK Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => FM. В окне его параметров задаем $M1=8$, $F_{sep}=2,2$, режим с непрерывной фазой (Continuous), число отсчетов на символ 100. Модулятор формирует выходной сигнал с частотой, равной $F_{sep} \cdot (M-K)$, K – значение кодового слова.

Function Block Parameters: M-FSK Modulator Baseband

M-FSK Modulator Baseband (mask) (link)

Modulate the input signal using the frequency shift keying method.

The input can be either bits or integers. In case of sample-based bit input, the input width must equal the number of bits per symbol. In case of frame-based bit input, the input width must be an integer multiple of the number of bits per symbol.

For sample-based integer input, the input must be a scalar. For frame-based integer input, the input must be a column vector.

The inputs can be either binary-mapped or Gray-mapped into symbols.

In case of frame-based input, the width of the output frame equals the product of the number of symbols and the Samples per symbol value.

In case of sample-based input, the output sample time equals the symbol period divided by the Samples per symbol value.

Parameters

M-ary number:

Input type:

Symbol set ordering:

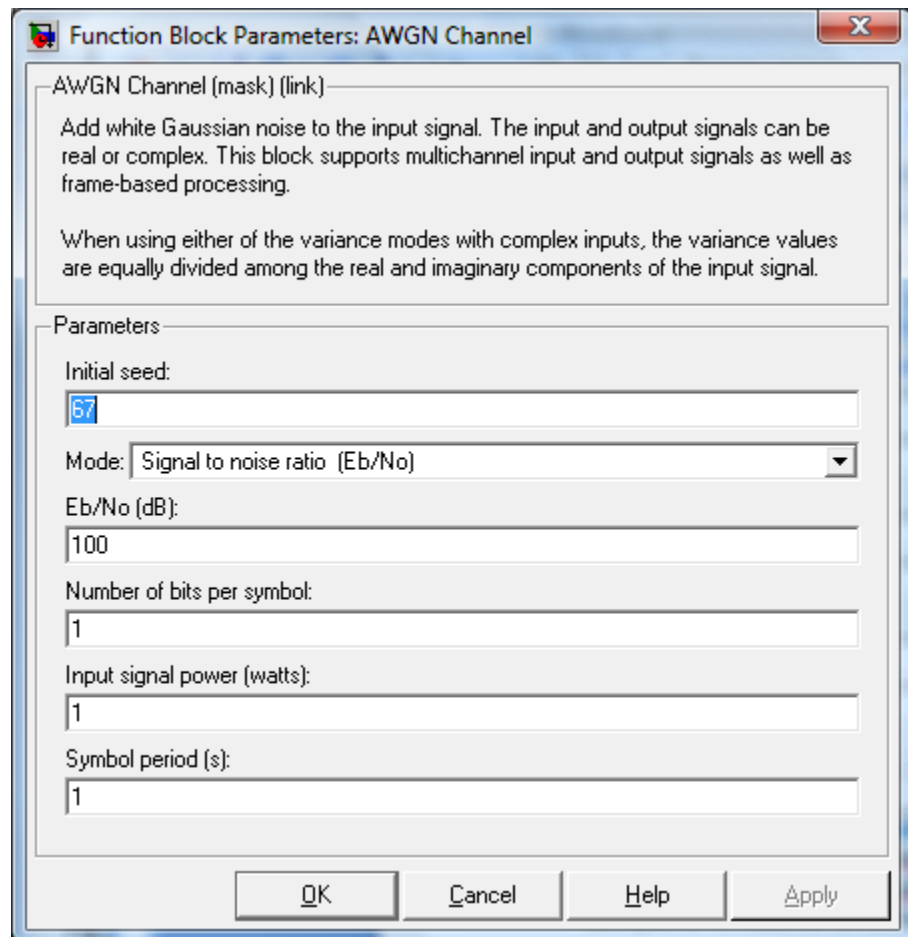
Frequency separation (Hz):

Phase continuity:

Samples per symbol:

Output data type:

- Канал связи с добавлением гауссовского шума AWGN Channel. Блок находится в Communications Blockset => Channels. В окне его параметров выбирается отношение сигнал/шум С/Ш.



- Демодулятор – Demodulator M-FSK Baseband. Блок находится в Communications Blockset => Modulation => Digital Baseband Modulation => FM. В окне его параметров задаем то же, что в модуляторе.

- Виртуальный наблюдатель Scope для просмотра в одинаковом масштабе 5-и сигналов (передаваемого, задержанного передаваемого и принятого сообщений, модулированного сигнала и ошибки). Блок находится в Simulink => Sinks. Зададим имена входов блока (Message_T – переданное сообщение, Message_R - принятое сообщение, Error - ошибка).

- Сумматор Sum. Блок находится в Simulink => Commonly Used Blocks. Блок ставим в режим вычитания, чтобы определить сигнал ошибки Error, разницу передаваемого и принятого сообщений.

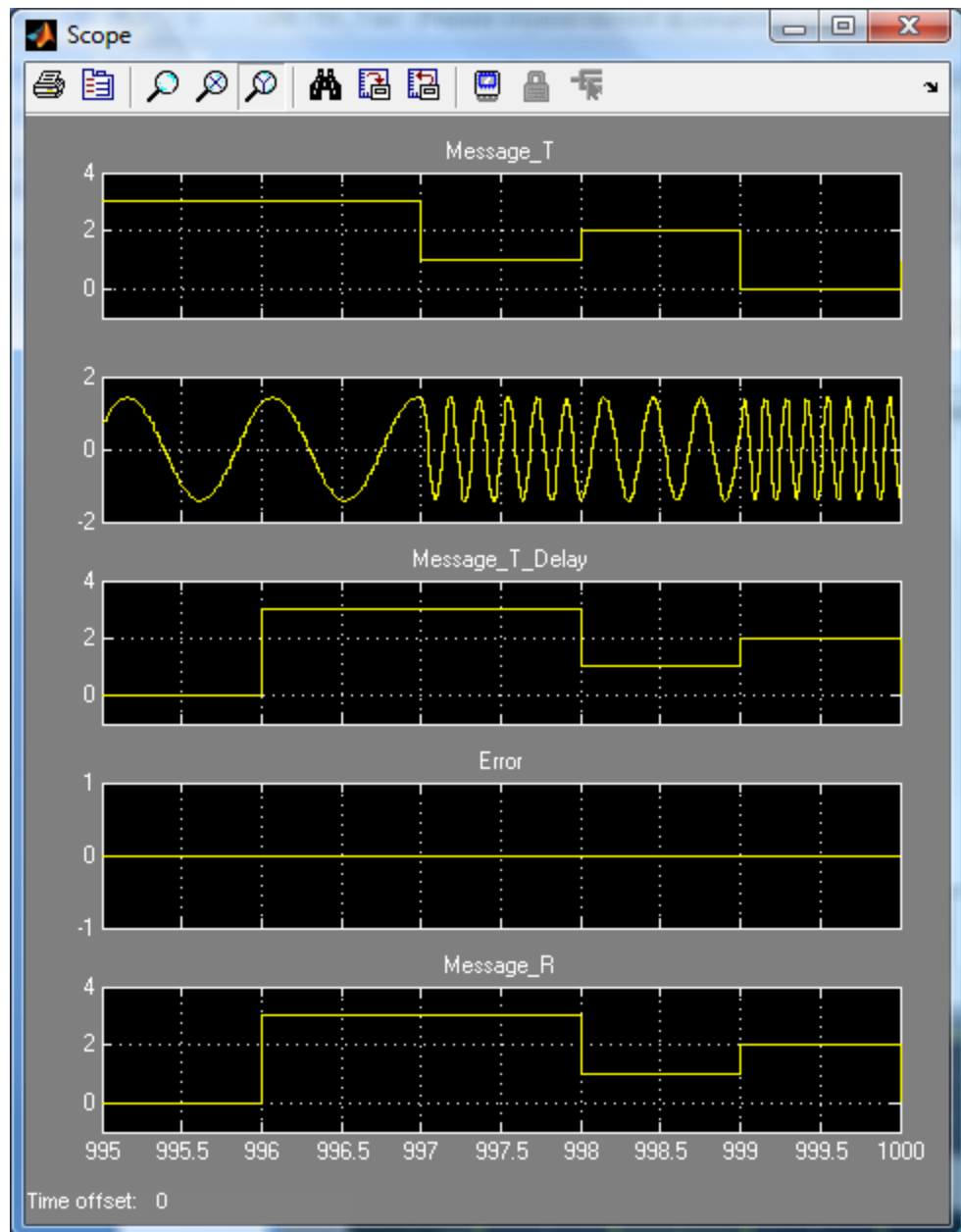
- Блок задержки Integer Delay. Блок находится в Simulink => Discrete. Блок задерживает передаваемое сообщение на 1 такт, чтобы сравнить его с принятым сообщением и получить сигнал ошибки. На формирование демодулированного сигнала требуется 1 такт.

- Блоки преобразования комплексных чисел в формат амплитуда-фаза Complex to Magnitude-Angle. Блок находится в Simulink => Math Operations. Вещественные сигналы с выходов амплитуда $|u|$ этих блоков передаем на блоки, работающие только с вещественными числами.

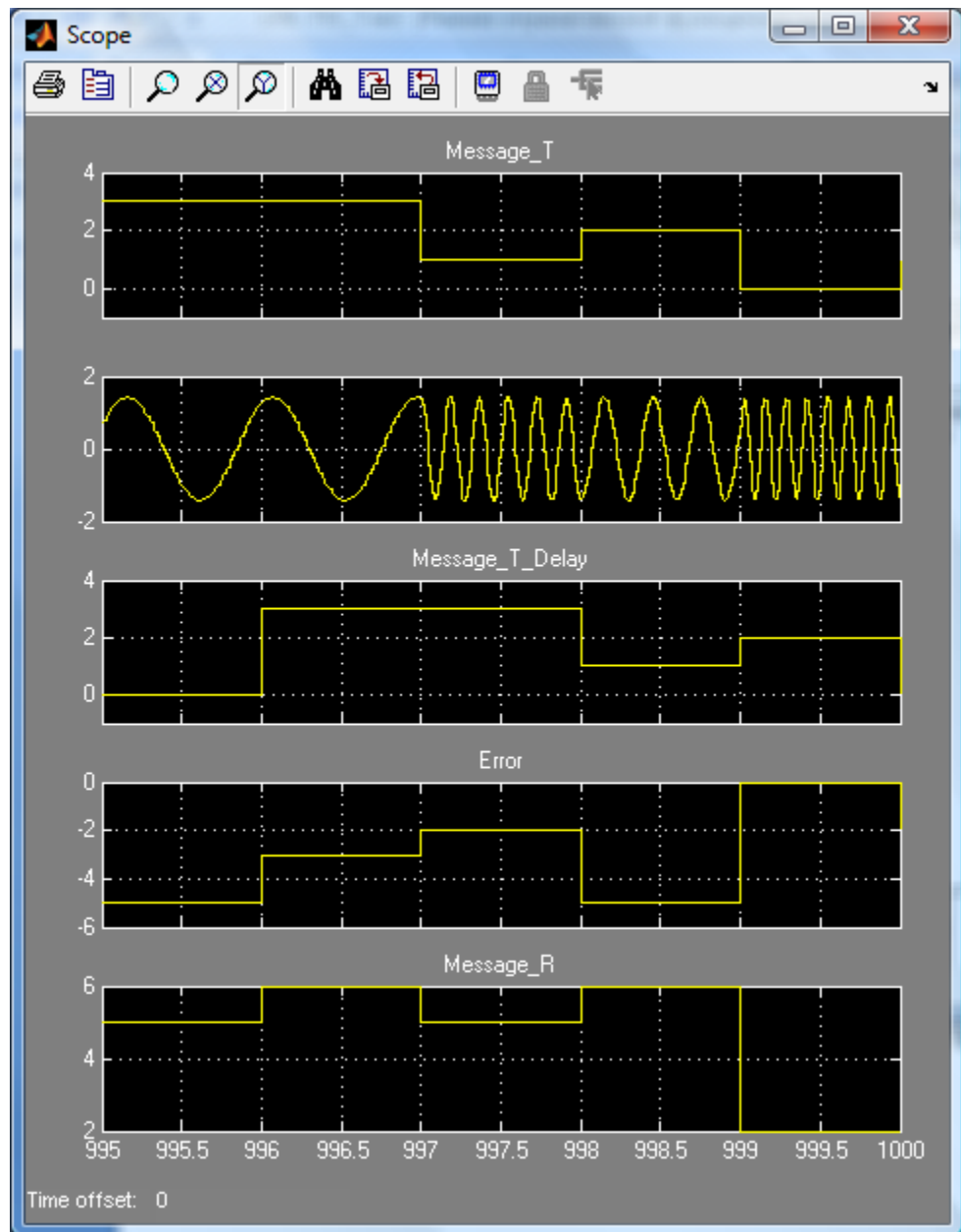
- Блоки преобразования комплексных чисел в формат (вещественная и мнимая части) Complex to Real-Imag. Блок находится в Simulink => Math Operations. Блок используем для формирования временной диаграммы модулированного сигнала. С помощью дополнительного сумматора выходы этого блока складываем.

Моделирование в режиме с непрерывной фазой.

- $C/\text{Ш}=100$ дБ, шума практически нет. Передаваемое и принятое сообщения совпадают. В модулированном сигнале синусоиды с разными частотами. Коду 0 соответствует самая высокая частота. Значения фазы на стыках не меняются.



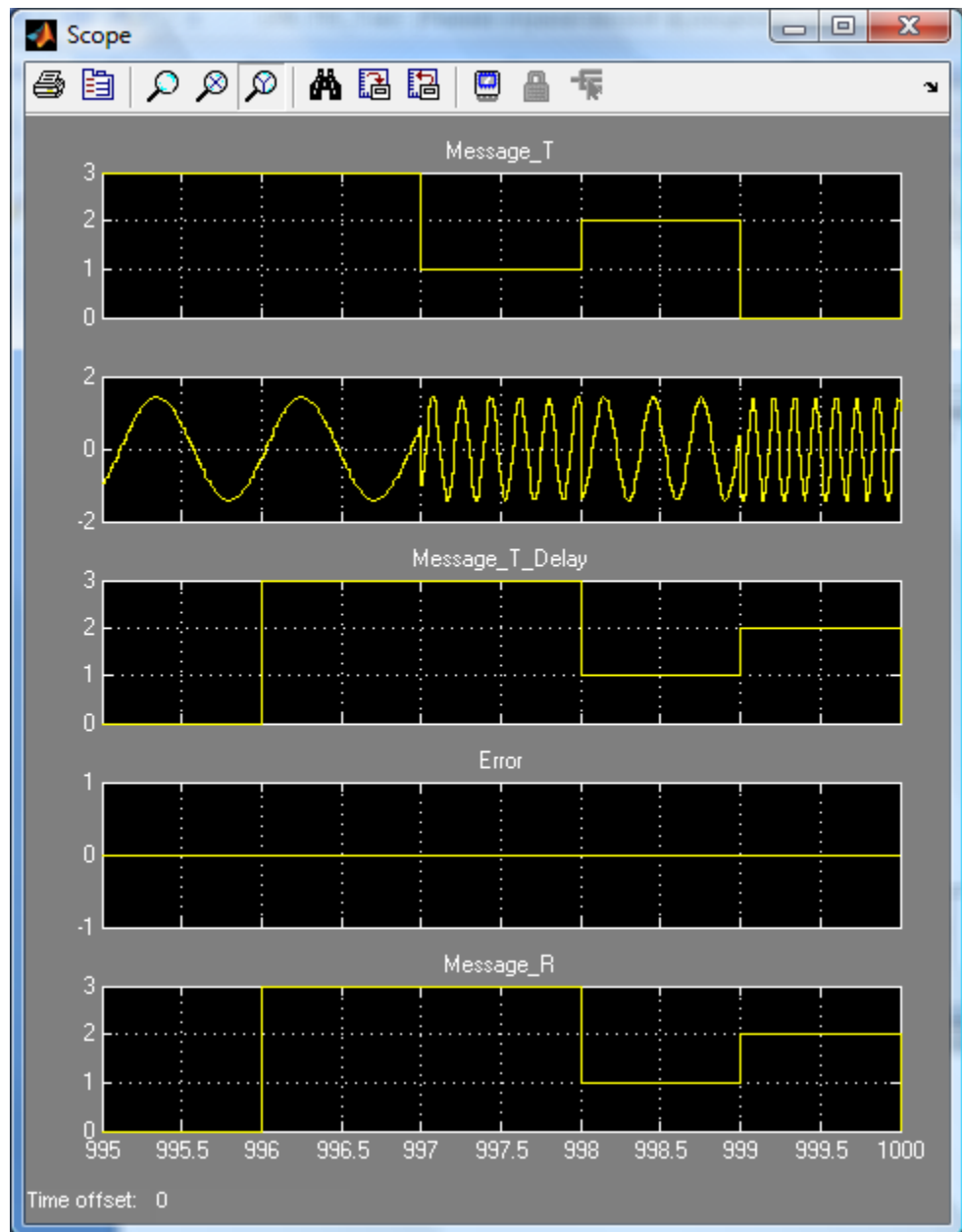
- $C/\text{Ш}=0$ дБ, интенсивный шум. Передаваемое и принятое сообщения не совпадают. В модулированном сигнале синусоиды с разными частотами.



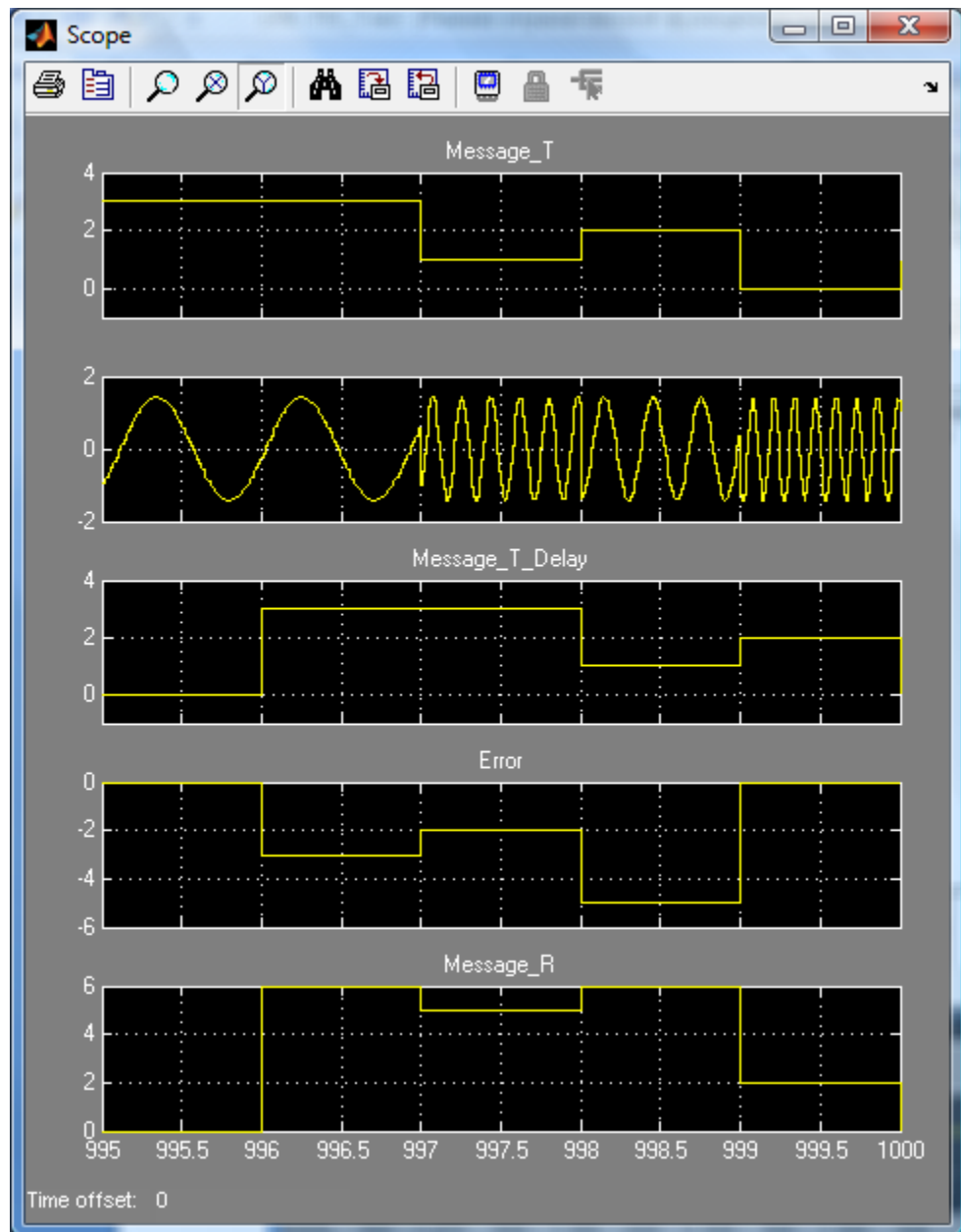
Коду 0 соответствует самая высокая частота. Значения фазы на стыках не меняются.

Моделирование в режиме с дискретной фазой.

- $S/N=100$ дБ, шума практически нет. Передаваемое и принятое сообщения совпадают. В модулированном сигнале синусоиды с разными частотами. Коду 0 соответствует самая высокая частота. Значения фазы на стыках меняются.



- $C/\text{Ш}=0$ дБ, интенсивный шум. Передаваемое и принятое сообщения не совпадают. В модулированном сигнале синусоиды с разными частотами. Коду 0 соответствует самая высокая частота. Значения фазы на стыках меняются.



Контрольные вопросы:

1. Назначение модуляции.
2. Модемы с DSB AM – двухполосная AM.
3. Модемы с DSBSC AM – DSB AM с подавленной несущей.
4. Модемы с SSB AM – Однополосная AM.
5. Модемы с M_PAM - M-фазная АМн.
6. Модемы с BPSK - 2-фазная ФМн.
7. Модемы с DBPSK - 2-фазная дифференциальная ФМн.

8. Модемы с QPSK – 4-фазная ФМн.
9. Модемы с DQPSK – 4-фазная дифференциальная ФМн.
10. Модемы с MDPSK – М-фазная дифференциальная ФМн.
11. Модемы с MPSK – М-фазная ФМн
12. Модемы с MFSK – М-частотная ЧМ.
13. Модемы с Rectangular QAM - КАМн.

Задание

Выполнить моделирование модема заданного типа при частоте сигнала F и частоте несущей F_c .

Варианты заданий

№	Модем	F	F_c	Девияция	Полоса	M	F_{sep}
1.	DSB AM	10	100				
2.	DSBSC AM	10	100				
3.	SSB AM	10	100				
4.	DSB AM	10	100				
5.	M-FSK					2	2
6.	SSB AM	10	100		Нижняя		
7.	SSB AM	10	100		Верхняя		
8.	M_PAM					4	
9.	FM	10	100	30			
10.	PM	10	100	$\pi/2$			

Содержание отчета по работе:

1. Название работы, задание в соответствии с вариантом.
2. Схема созданной модели с краткими комментариями о назначении ее блоков.
3. Изображения сигнальных созвездий.
4. Графики кривых помехоустойчивости.
5. Выводы.

Рекомендуемая литература:

1. Сергиенко А. Цифровая обработка сигналов. СПб: Питер, 2003..
2. Солонина А. и др. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. СПб: БХВ-Петербург, 2003.
3. Солонина А. и др. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов.– СПб.: БХВ-Петербург, 2001.
4. Дьяконов В. MATLAB 6.5 SP1/7.0+Simulink 5/6. Основы применения. М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
5. Дьяконов В. MATLAB 6.5 SP1/7.0+Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
6. Дьяконов В. MATLAB 6.5 SP1/7.0+Simulink 5/6 в математике и моделировании. М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
8. Акчурин Э. Оптимизация обработки сигналов путем модульной структуризации. М.: Радио и связь, 2000.