

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»
Кафедра «Технологии приборостроения» (РЛ6)

Лабораторная работа №10
по дисциплине «Информационные РЭС»

Выполнил ст. группы РЛ6-91

Филимонов С.В.

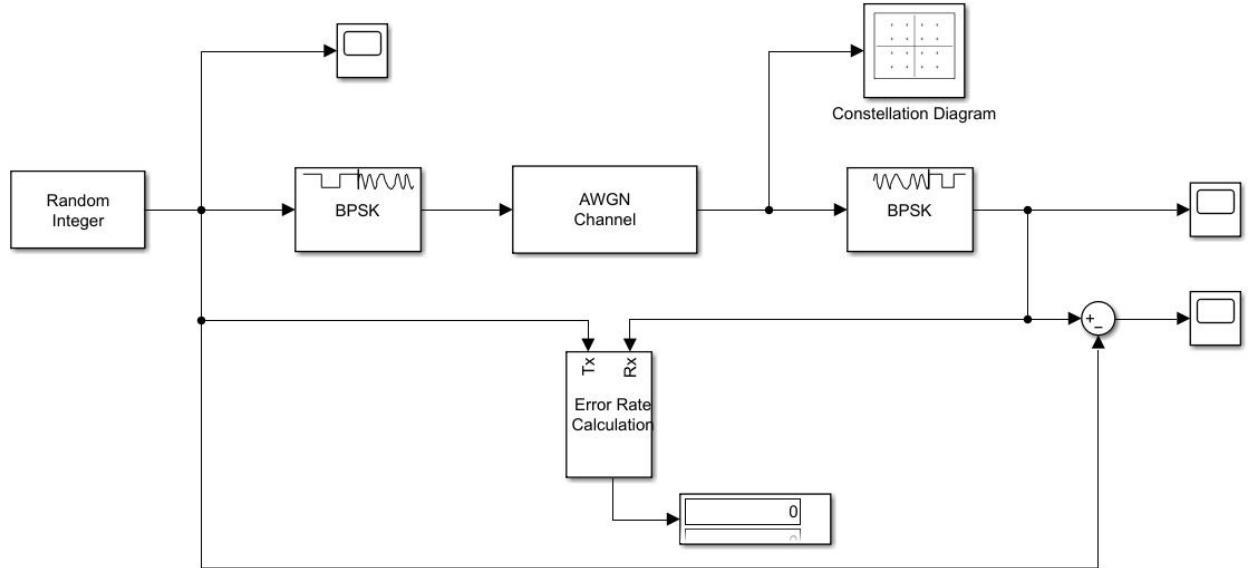
Преподаватель Руденко Н.Р.

Москва, 2025

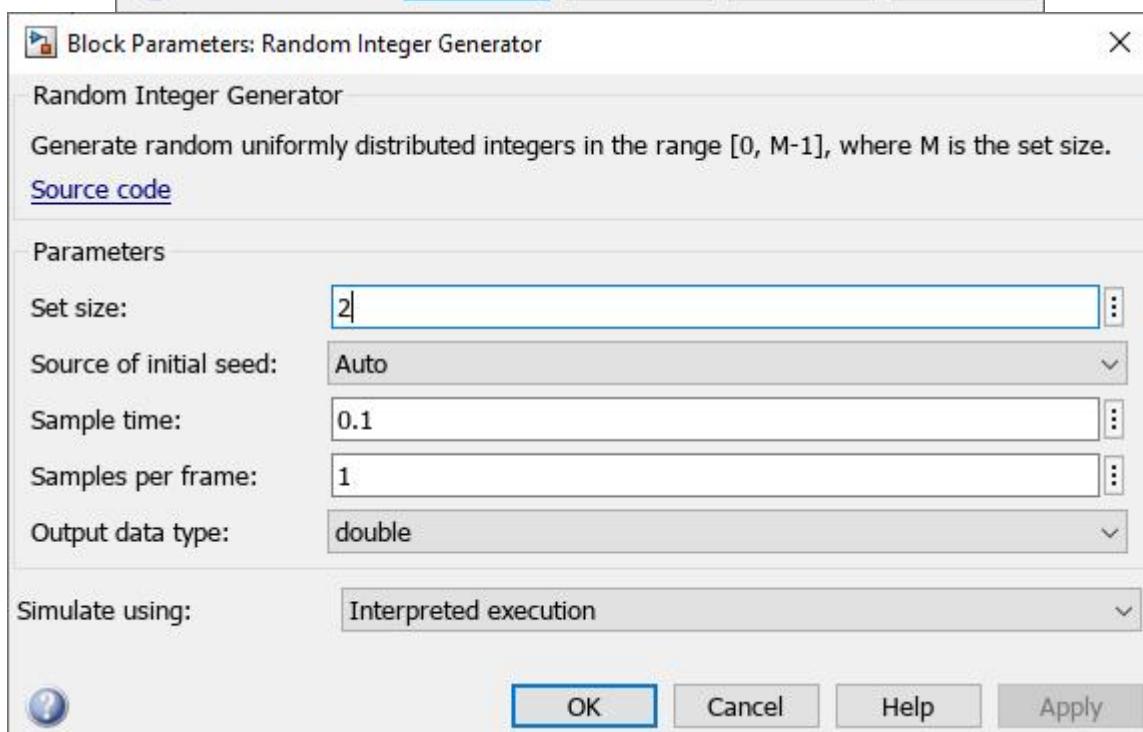
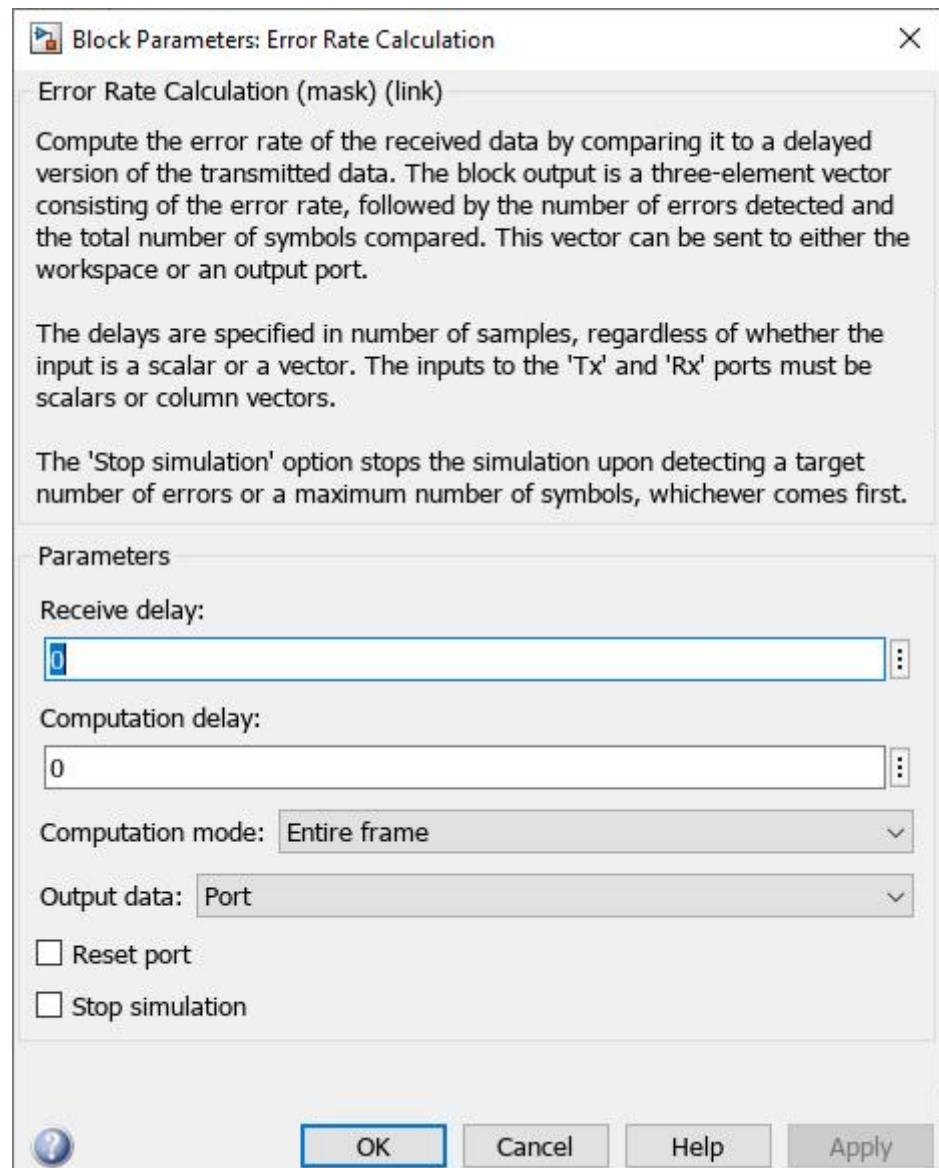
Способы модуляции при передаче цифровой информации.

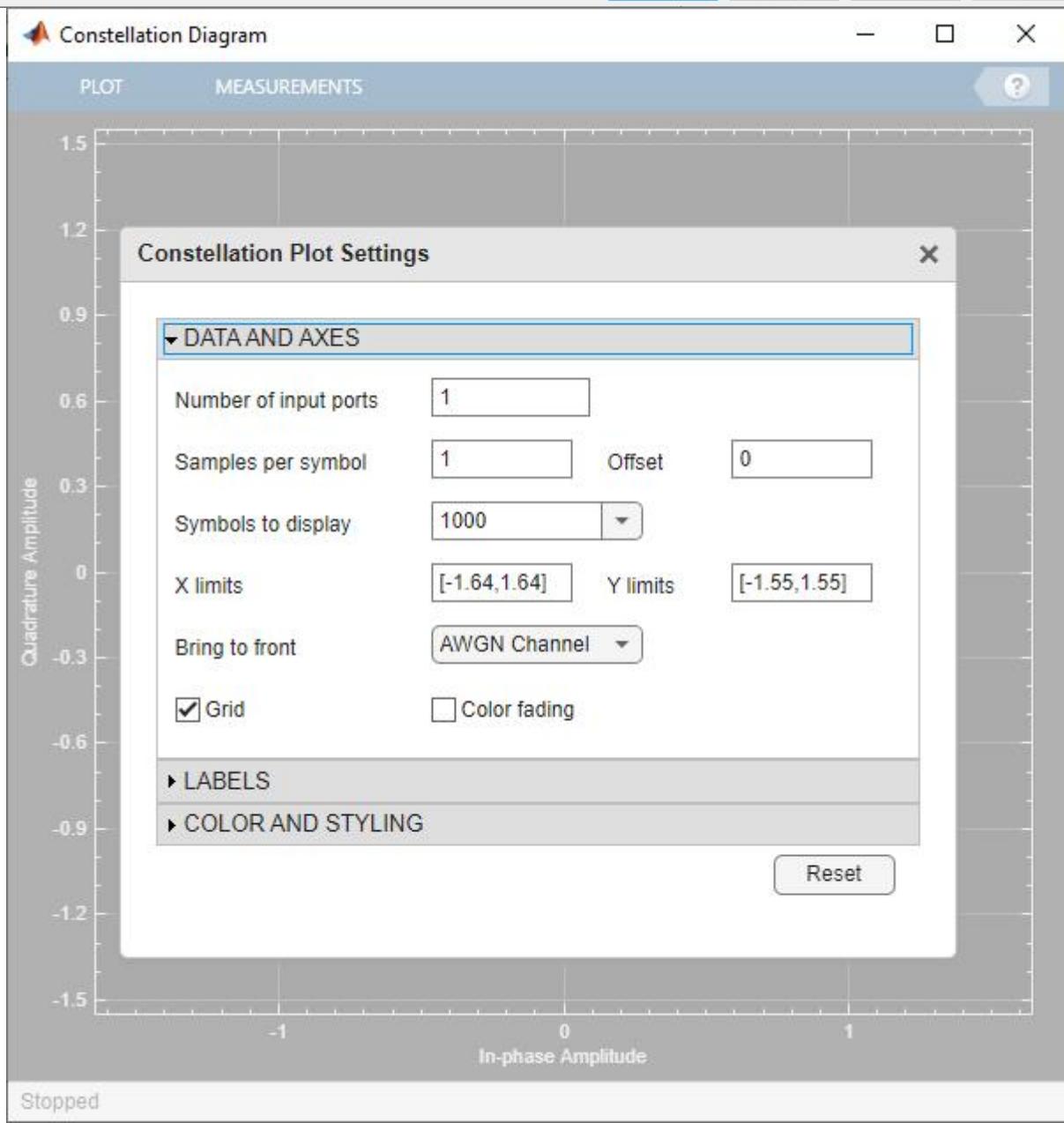
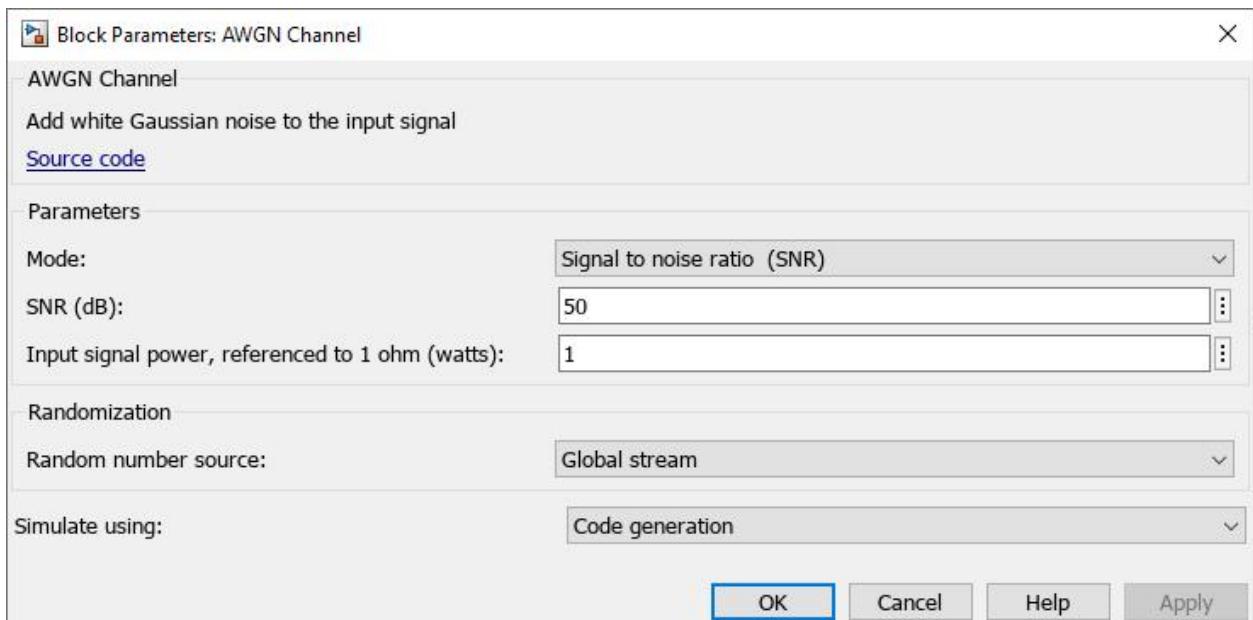
1. Исследование двоичной фазовой манипуляции BPSK

Соберём схему BPSK модуляции в программном пакете MATLAB Simulink:



Настроим параметры блоков:



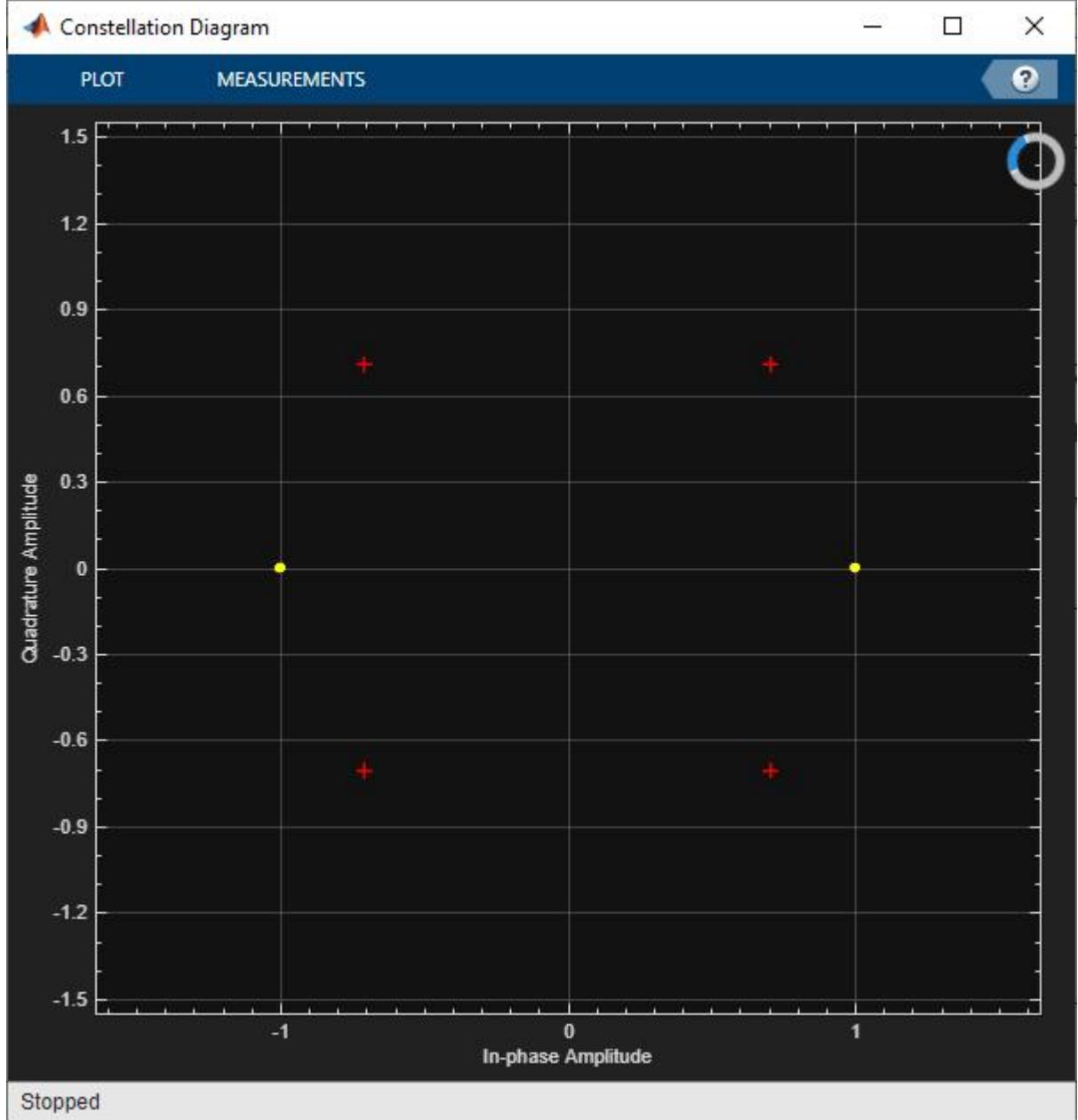


Настроим время моделирования:

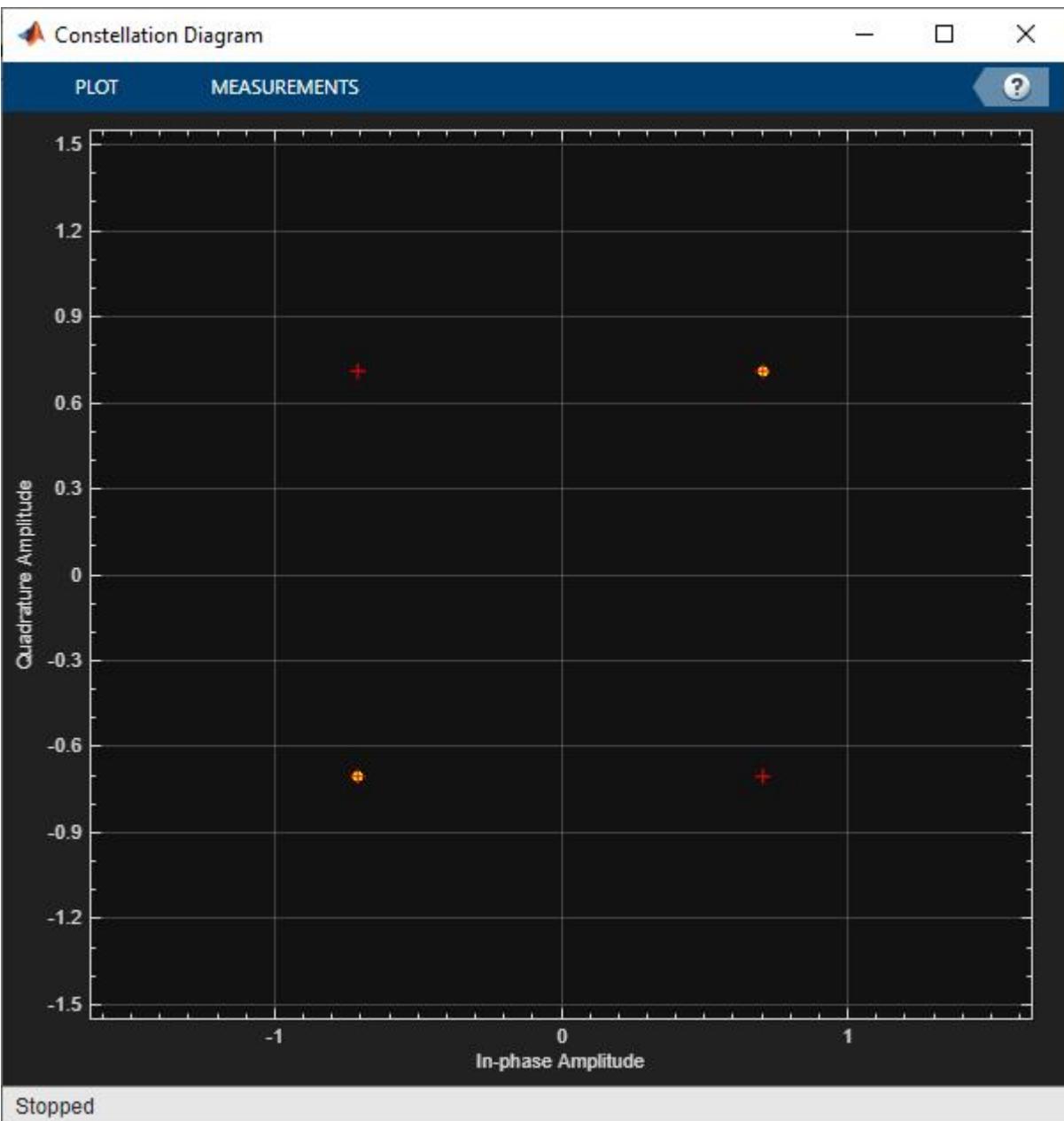


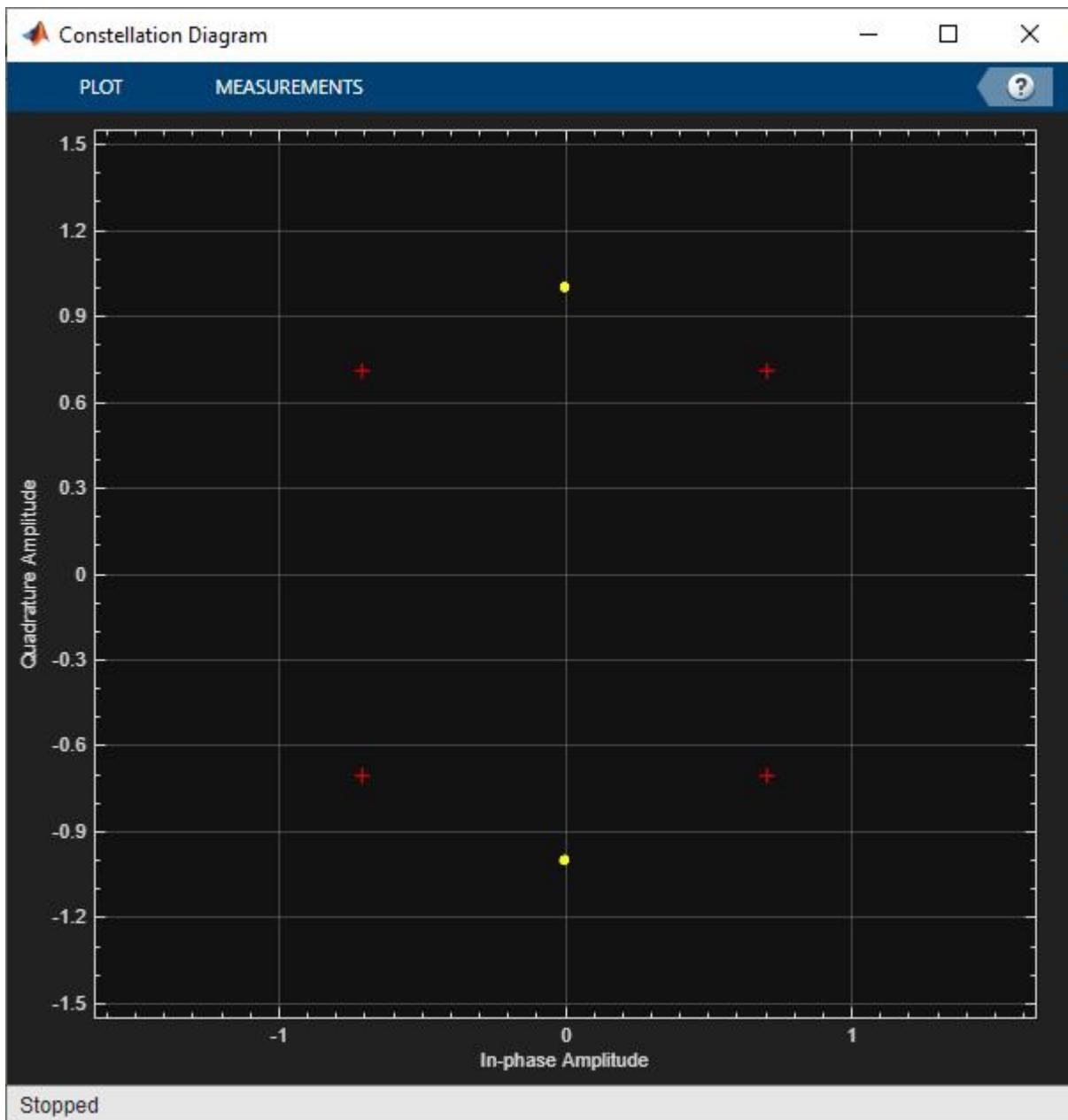
Ознакомимся с видом сигнального созвездия BPSK модуляции.

1. Для этого нажмём на кнопку «Run». Сигнальное созвездие зарисуем:



2. В блоке BPSK Modulator Baseband для параметра Phase offset последовательно подставим значения $\frac{\pi}{4}$ и $\frac{\pi}{2}$. Полученные сигнальные созвездия зарисуем:



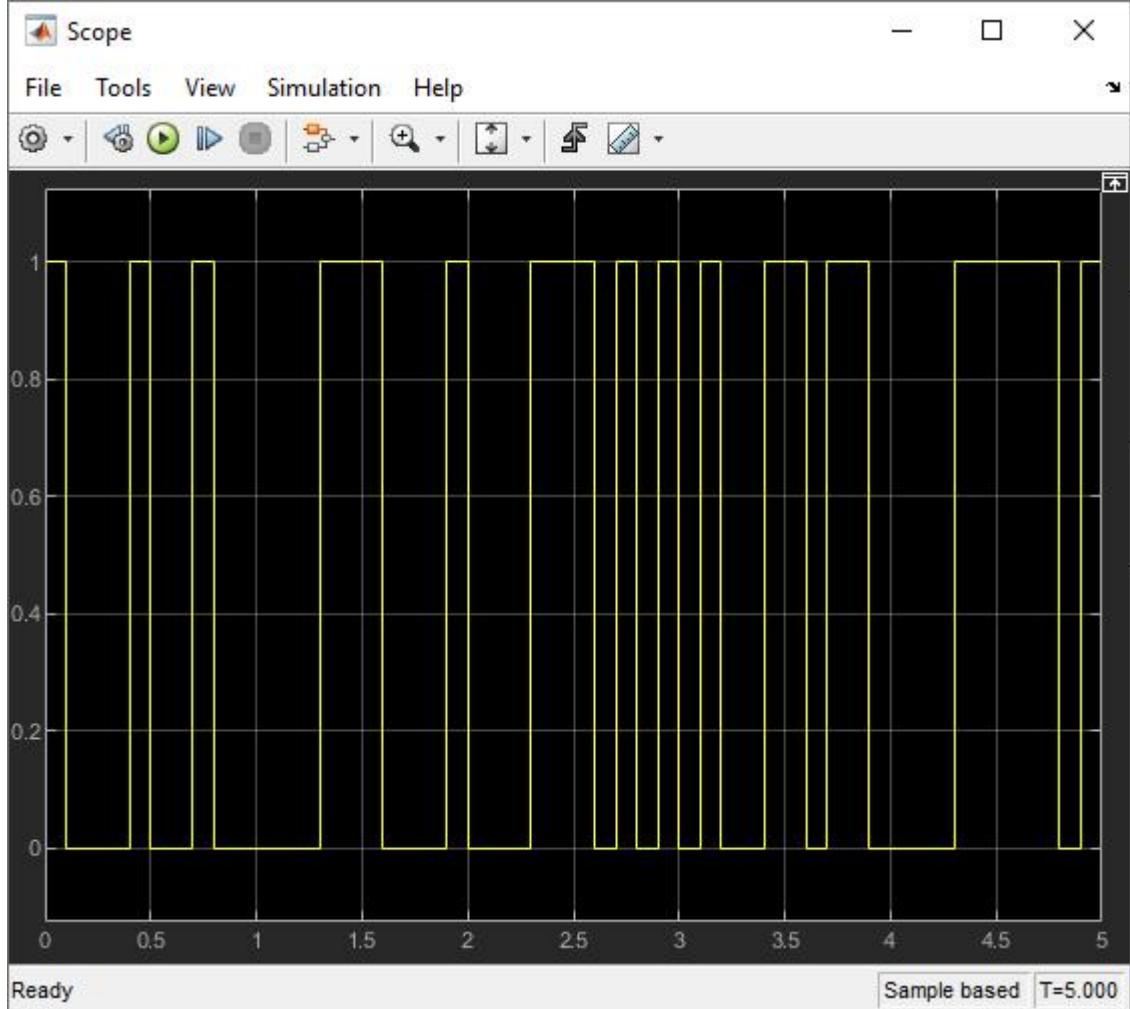


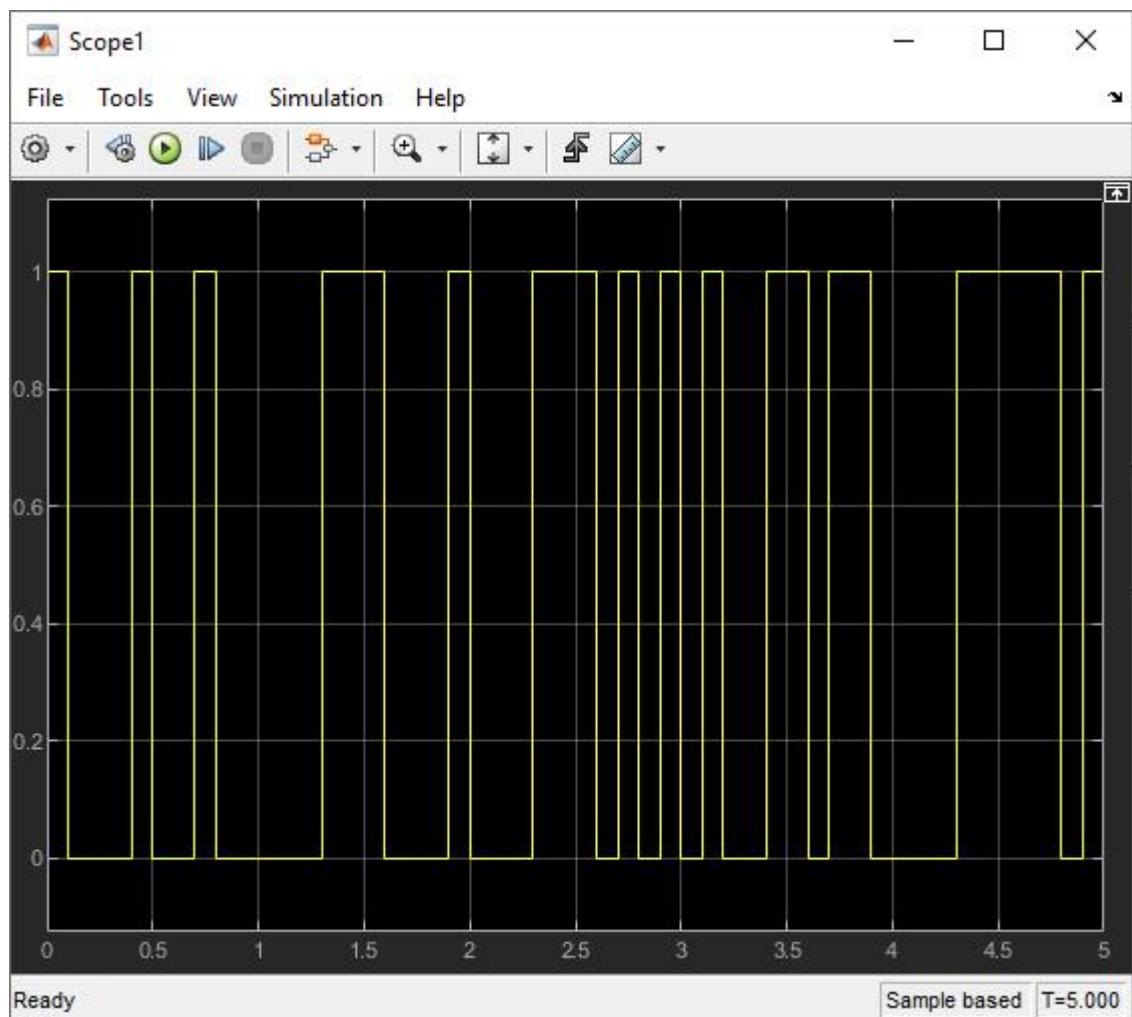
3. Сделаем соответствующие выводы:
- обе жёлтые точки лежат на единичной окружности;
 - красные крестики также лежат на единичной окружности и находятся в $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$;
 - при значении параметра Phase offset, равном 0° , одна жёлтая точка лежит в 0° , вторая жёлтая точка лежит в 180° ;
 - при значении параметра Phase offset, равном $\frac{\pi}{4}$, одна жёлтая точка лежит в 45° , вторая жёлтая точка лежит в 225° ;
 - при значении параметра Phase offset, равном $\frac{\pi}{2}$, одна жёлтая точка лежит в 90° , вторая жёлтая точка лежит в 270° .
 - положение точек относительно значения параметра Phase offset определяется по закону: $x = \pm (\text{Phase offset})$.

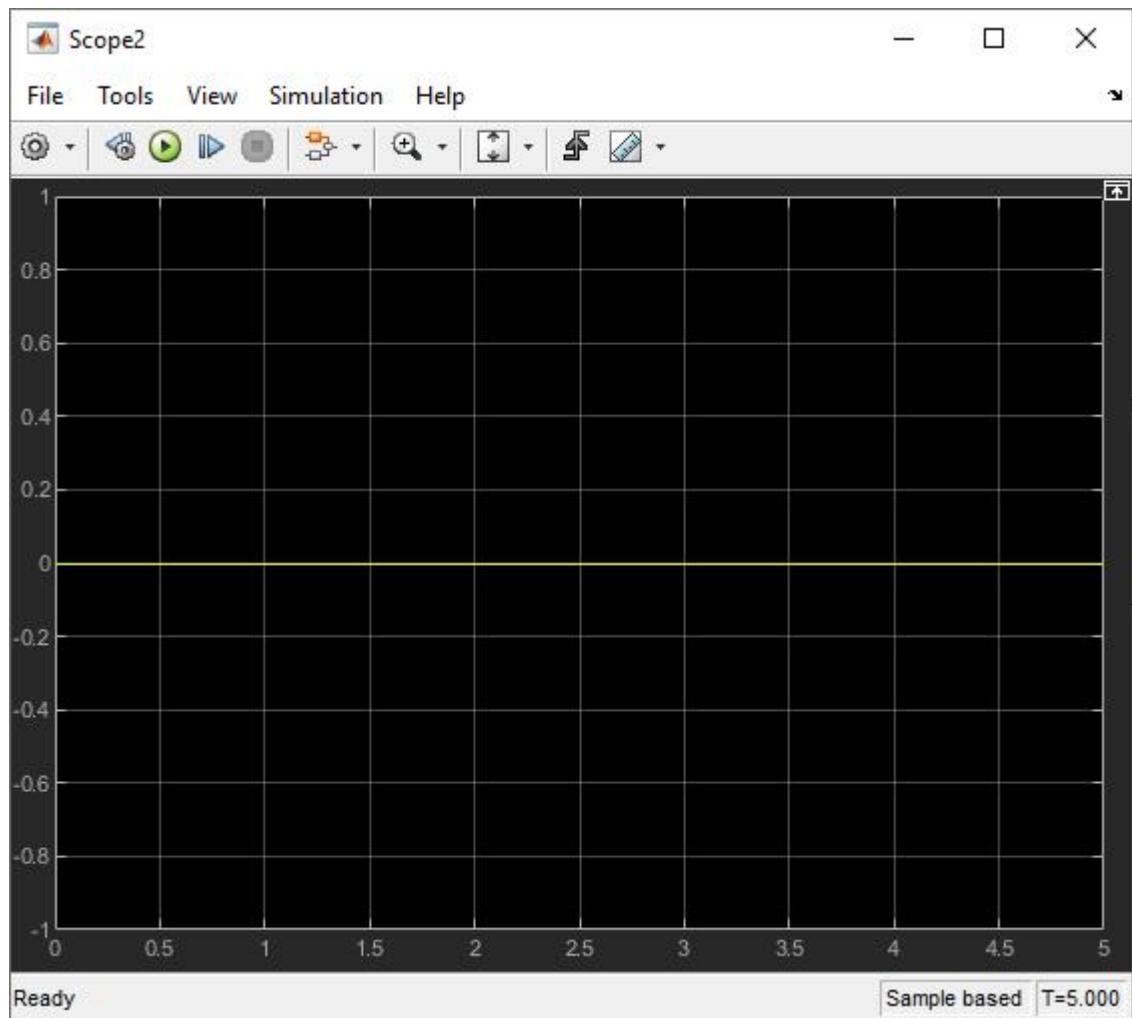
4. Восстановим в блоке BPSK Modulator Baseband исходное значение «0».

Ознакомимся с влиянием шума на BPSK сигнал.

1. Зарисуем сигналы с соответствующих осциллографов, располагая их друг под другом:

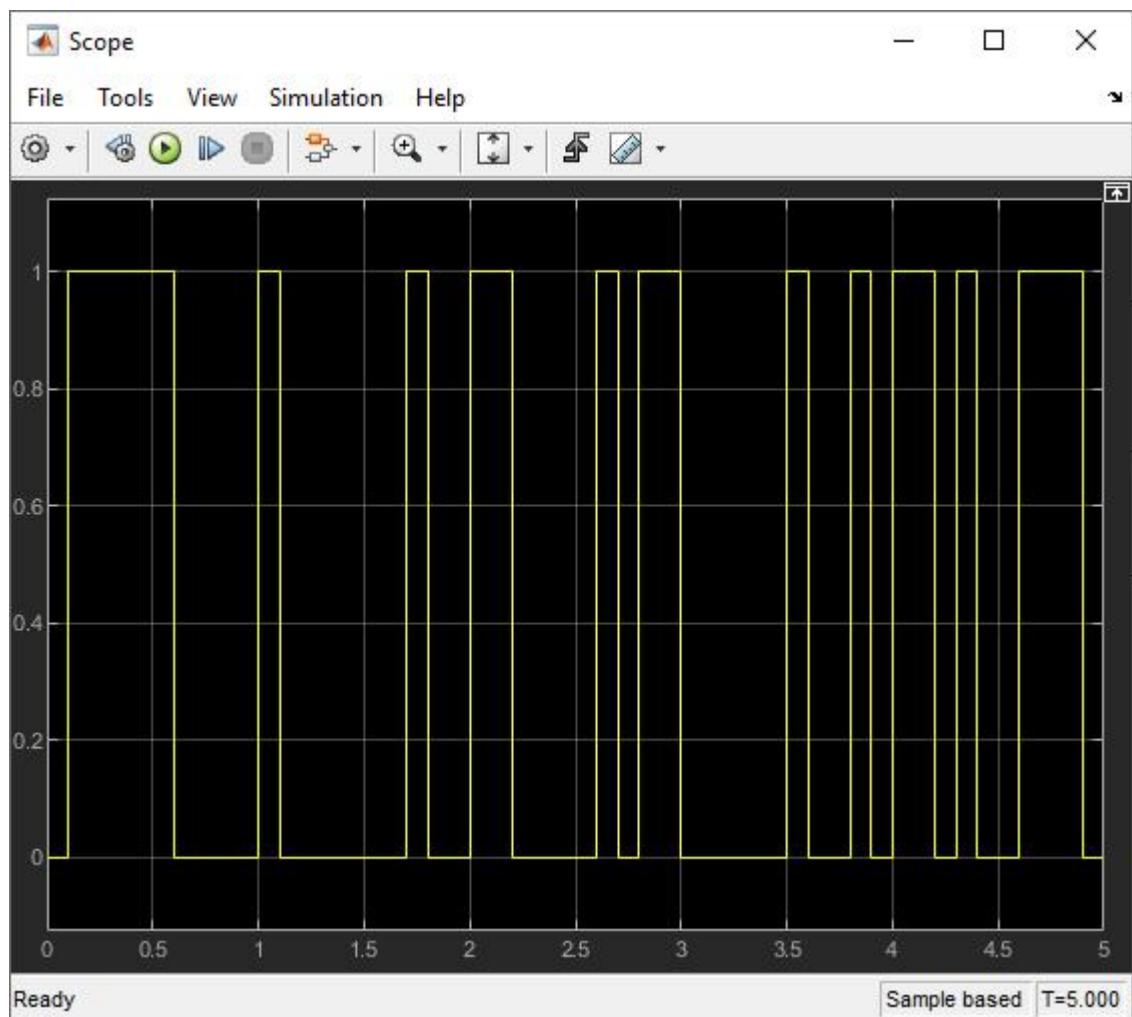


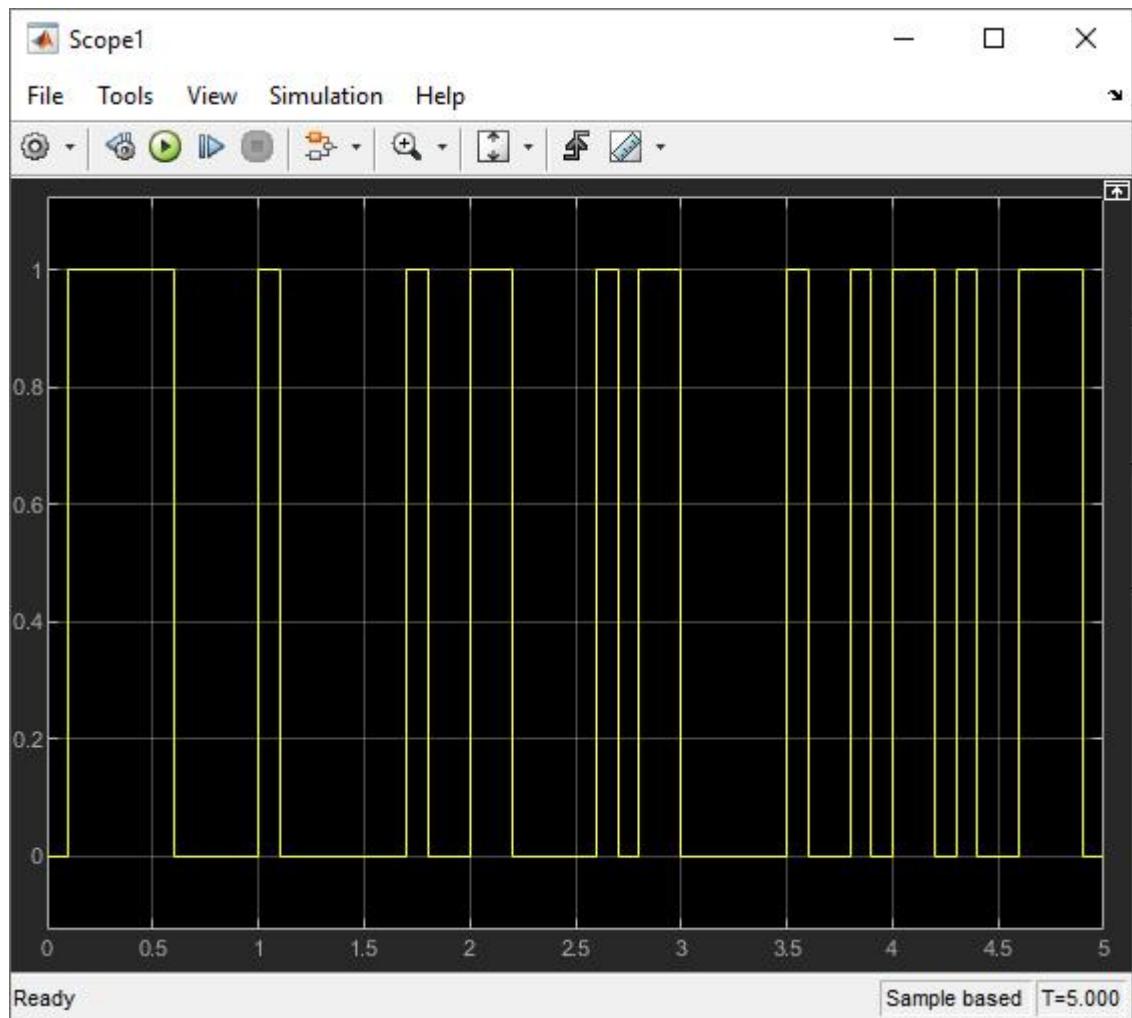




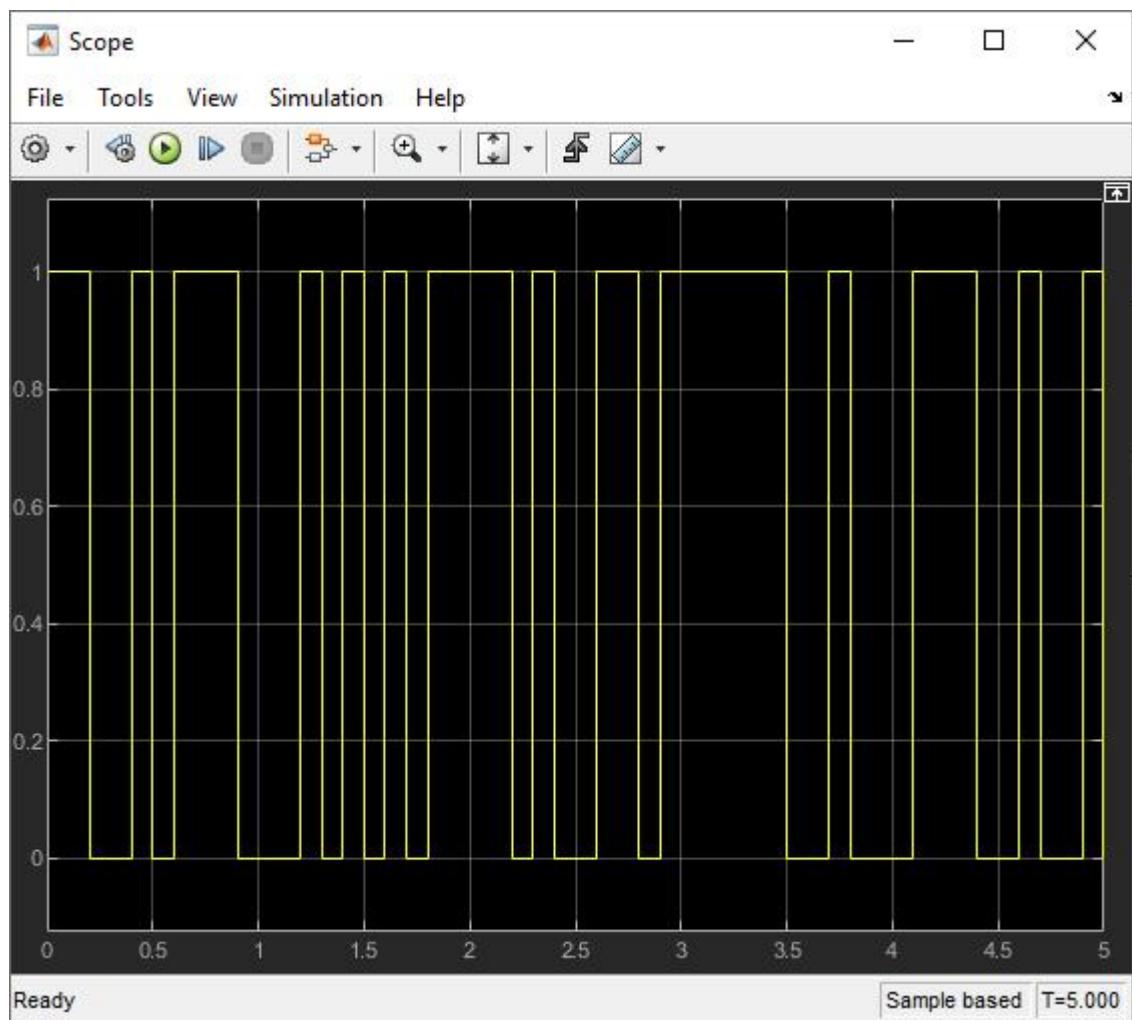
2. Последовательно изменяя отношение сигнал/шум в блоке AWGN на значения 20 дБ и 10 дБ, зарисуем сигналы, отражённые на осциллографах 1 и 2, расположив их друг под другом:

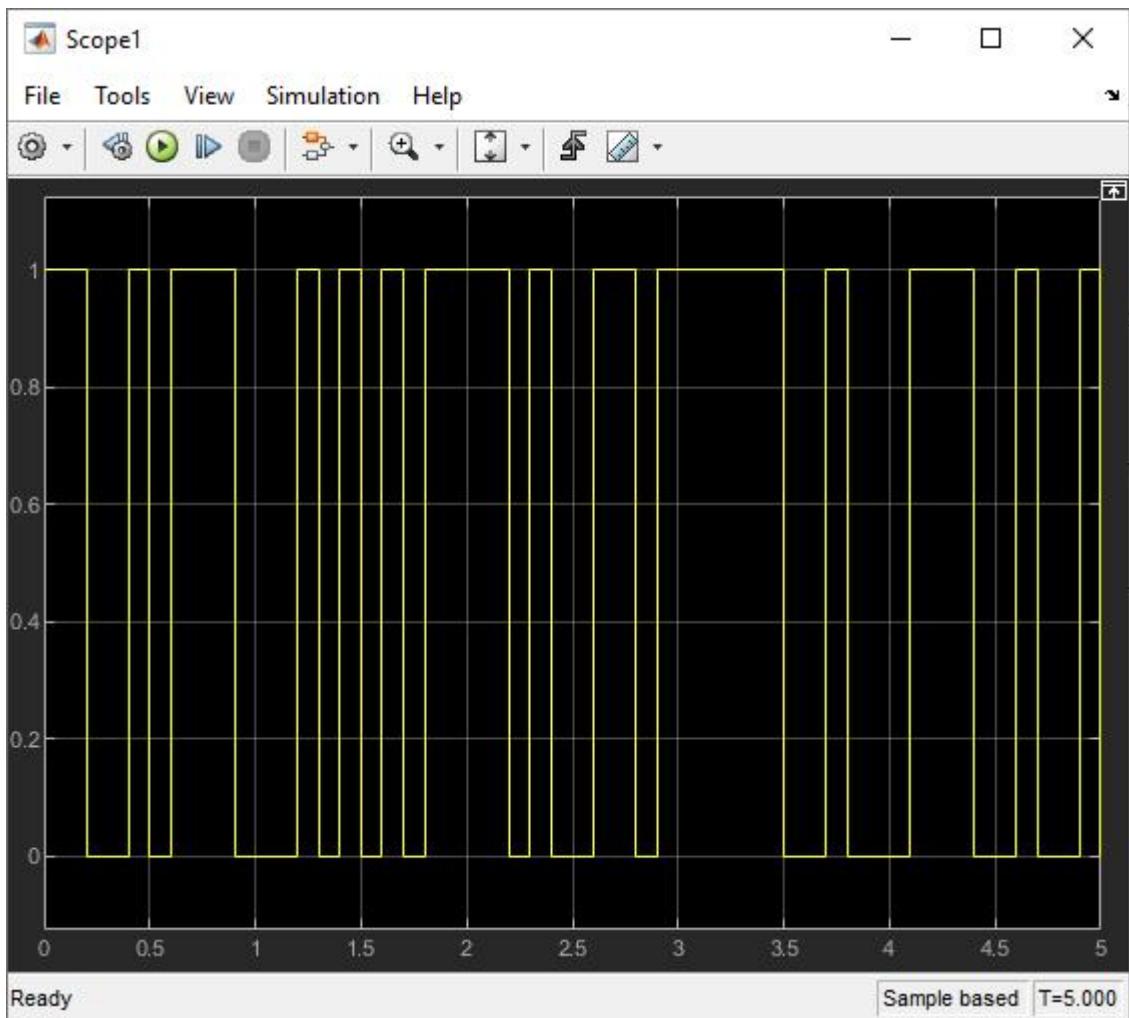
- 20 дБ:





- 10 дБ:





3. Сделаем соответствующие выводы:

- сигналы, отражённые на осциллографах 1 и 2, при любом отношении сигнал/шум в блоке AWGN идентичны;
- при значении отношения, равном 50 дБ, сигнал представляет из себя следующую последовательность:

1000100100001110001000111010101001101100001111101,

т.е. 24 изменения;

- при значении отношения, равном 20 дБ, сигнал представляет из себя следующую последовательность:

01111100001000000100110000101100000100101101001110,

т.е. 22 изменения;

- при значении отношения, равном 10 дБ, сигнал представляет из себя следующую последовательность:

1100101110001010101111010011011111001000111001001,

т.е. 26 изменений;

- таким образом, шум никак не влияет на BPSK сигнал при любом значении отношения сигнал/шум в блоке AWGN.

Определим значение уровня ошибок.

1. Время моделирования установим равным 100:



2. Изменяя отношение сигнал/шум в блоке AWGN в соответствии с таблицей ниже, измерим уровень ошибок и заполним таблицу ниже.

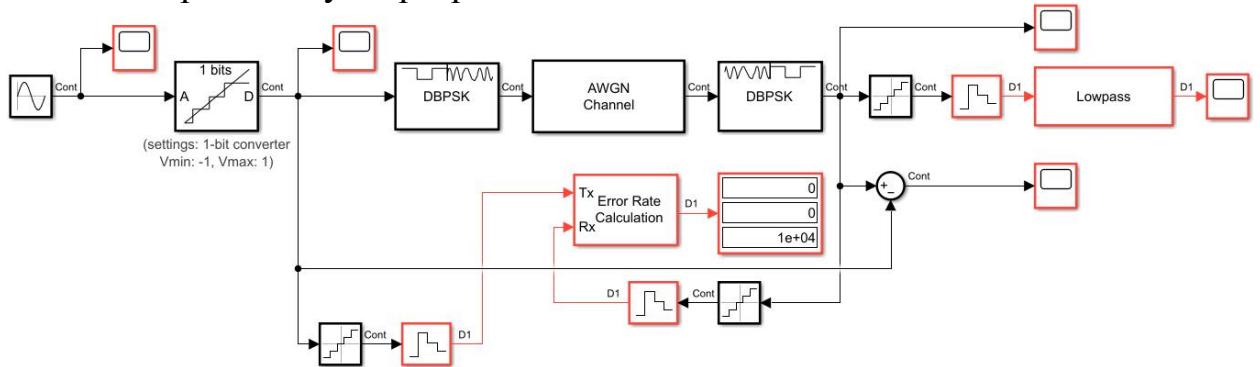
Отношение сигнал/шум, dB	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
Уровень ошибки BPSK	0	0	0	0	0	0	0.002997	0.01898	0.03297	

3. Сделаем соответствующие выводы:

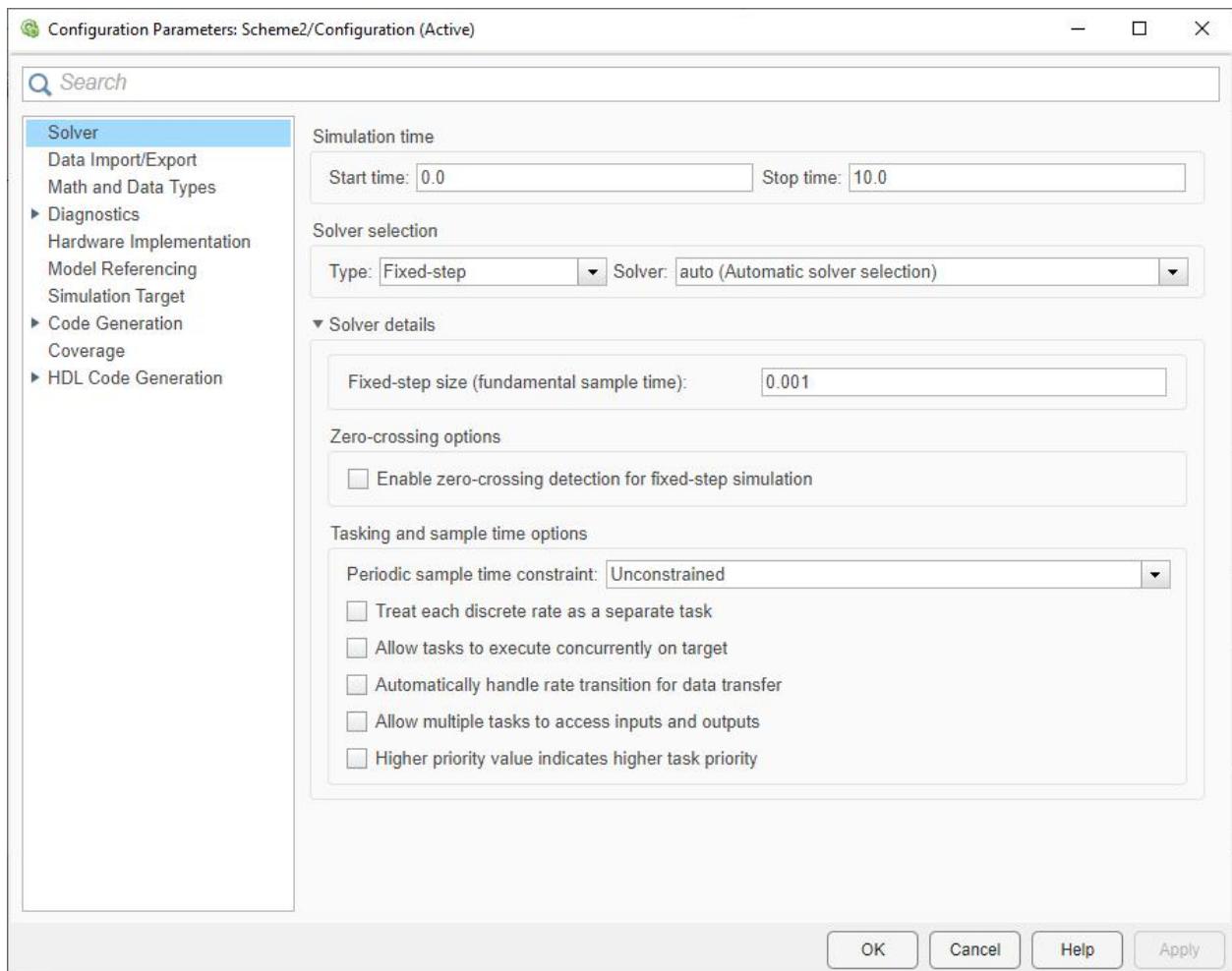
- чем меньше значение отношения сигнал/шум, тем больше значение уровня ошибки BPSK;
- при значениях отношения сигнала/шум от 8 до 20 дБ, значение уровня ошибки BPSK настолько мало, что программа округляет его до нуля.

2. Исследование дифференциальной двоичной фазовой манипуляции в различных типов каналов передачи

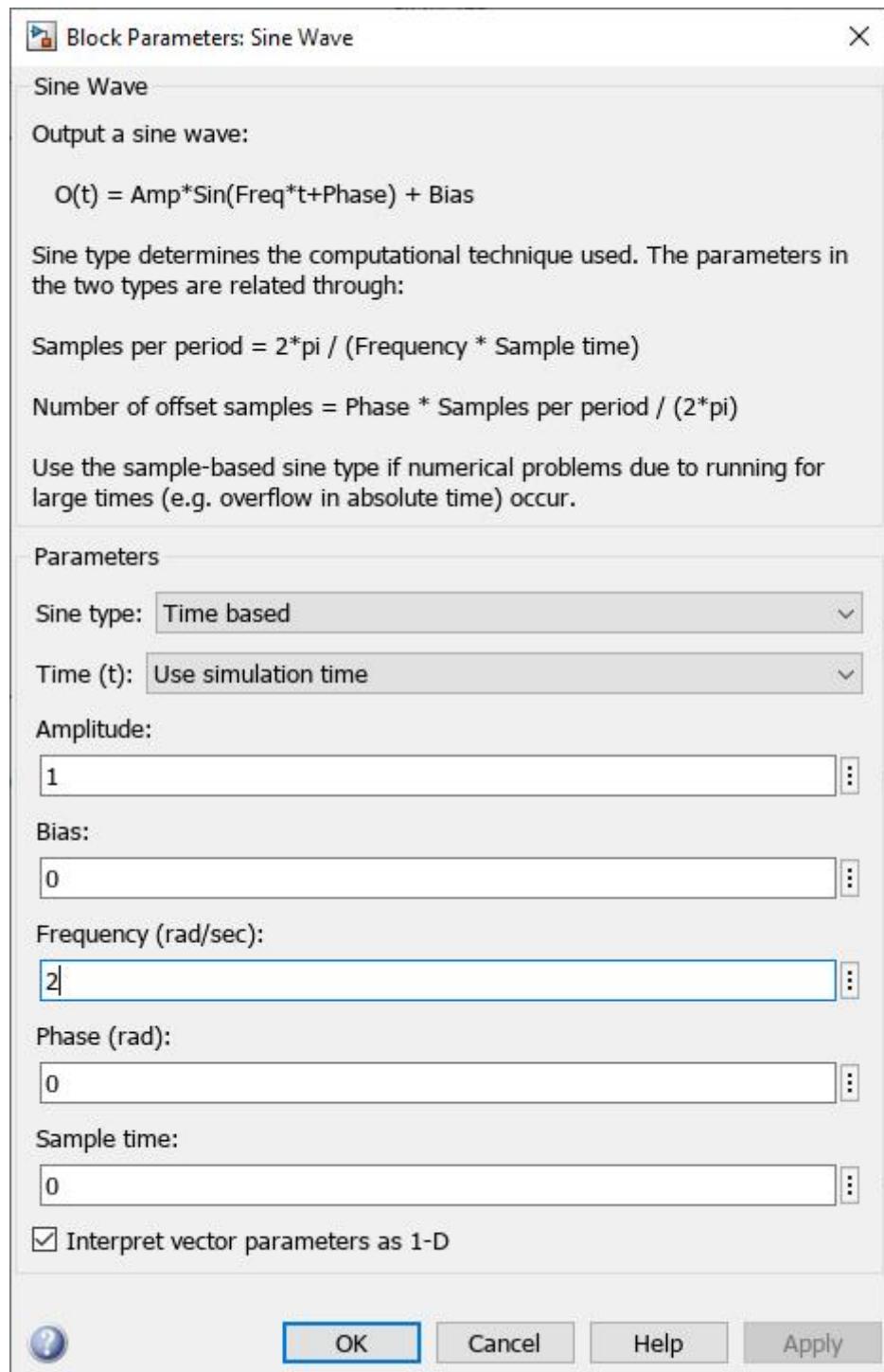
Соберём схему в программном пакете MATLAB Simulink:

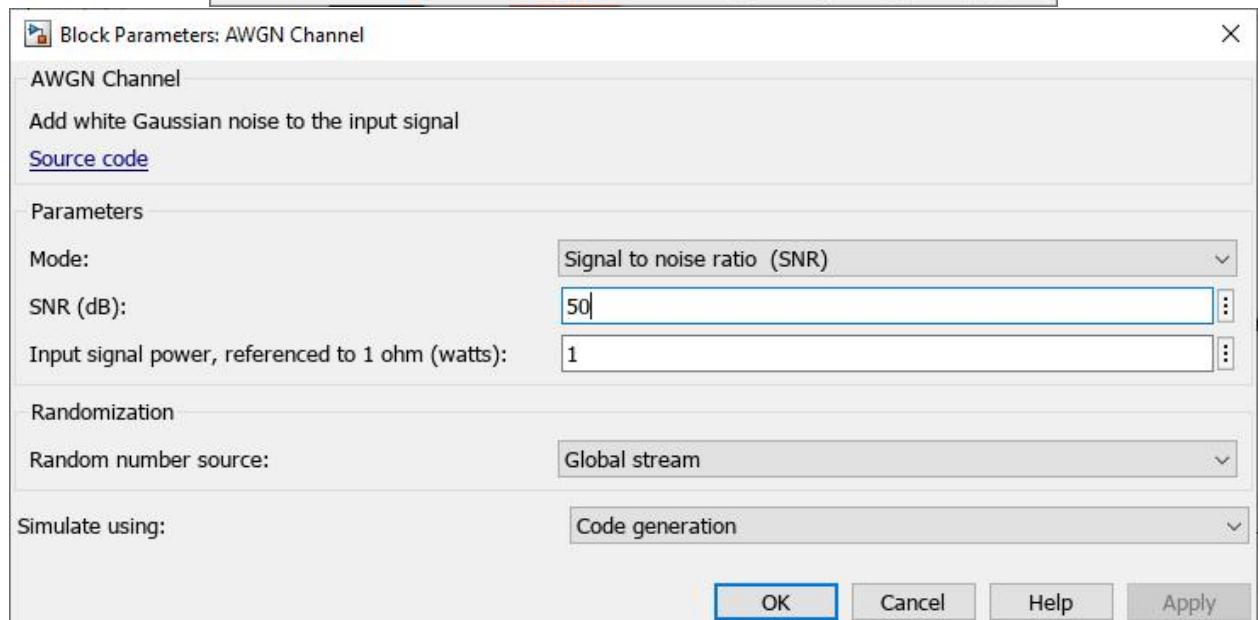
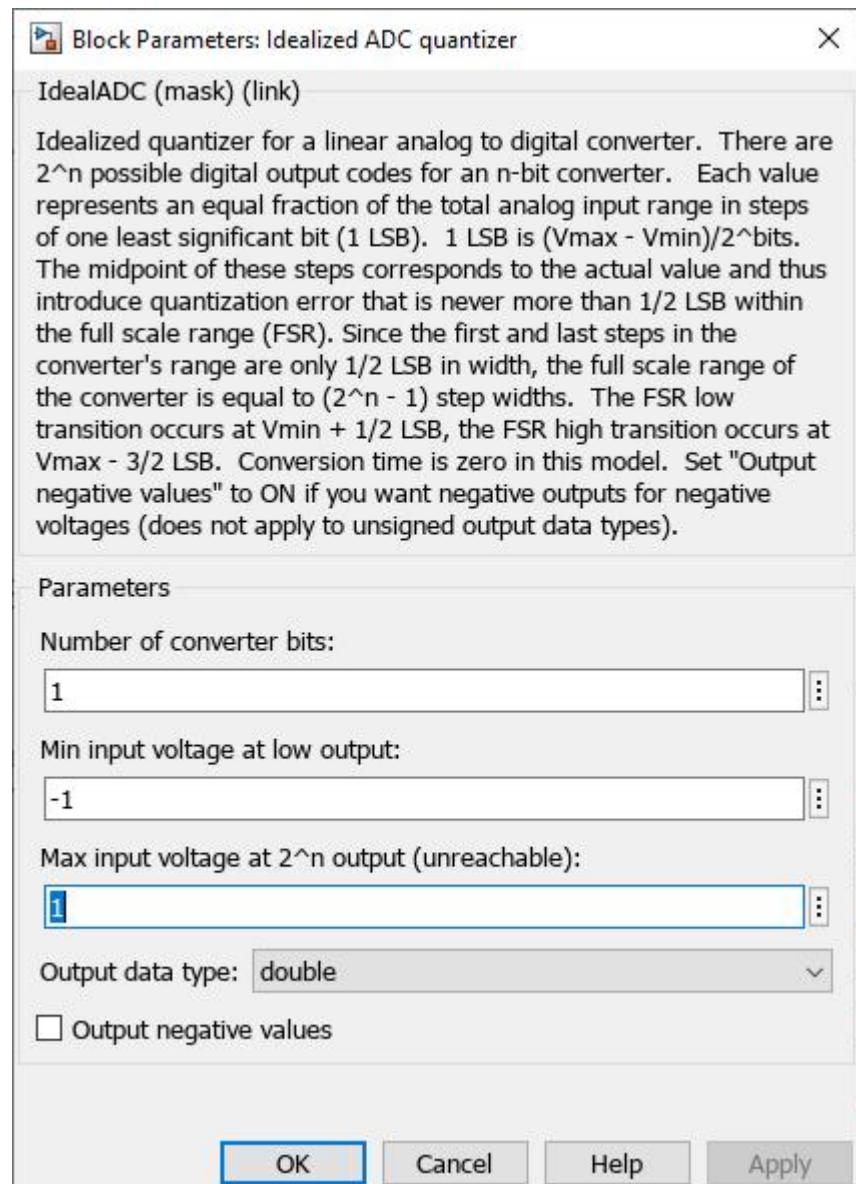


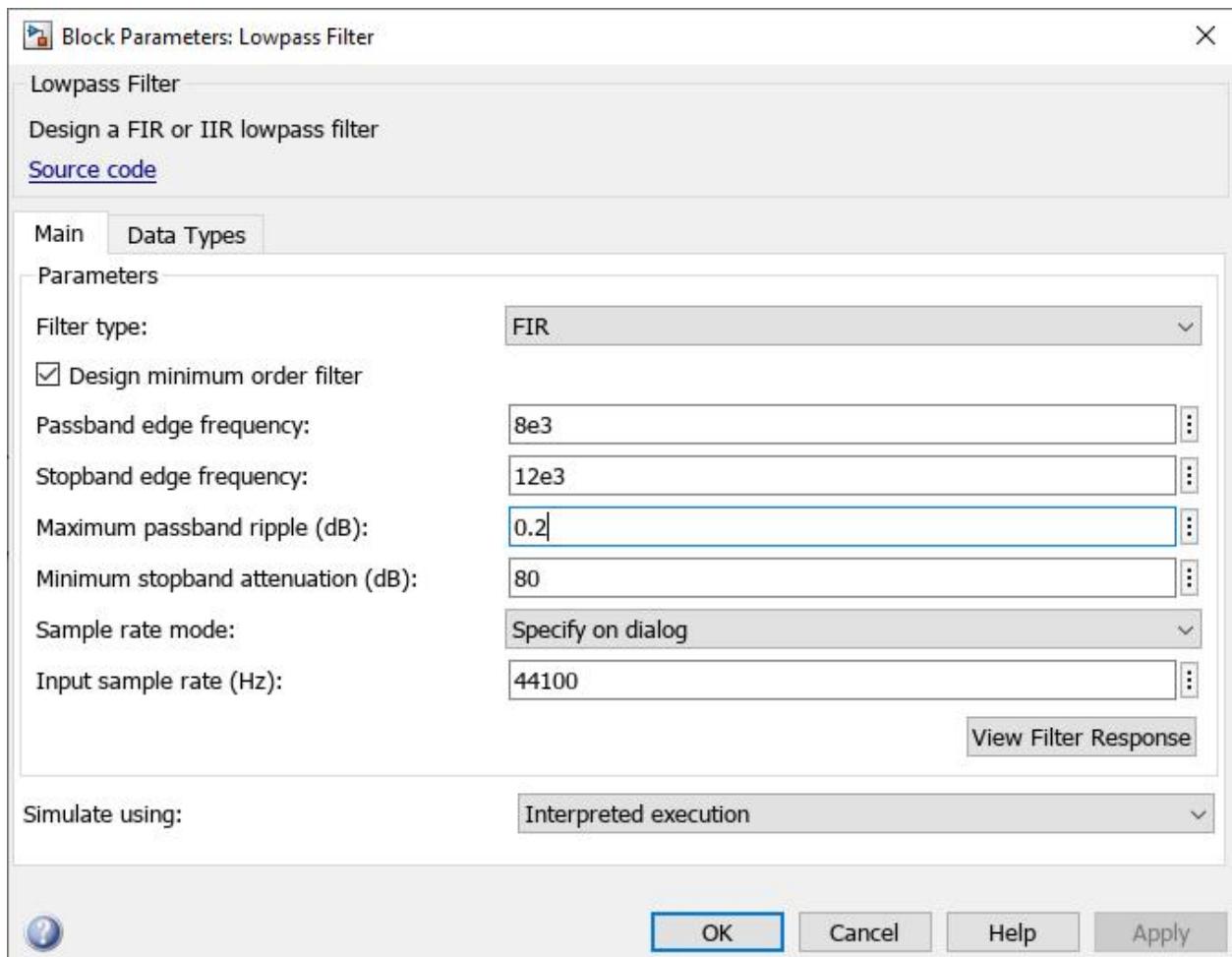
В созданной модели правой кнопкой мыши нажмём на свободную область и выберем Model configuration parameters, в открывшемся окне выберем Solver и в строке Type установим параметр Fixed-step. Ниже, в строке Fixed step size установим значение 0.001.



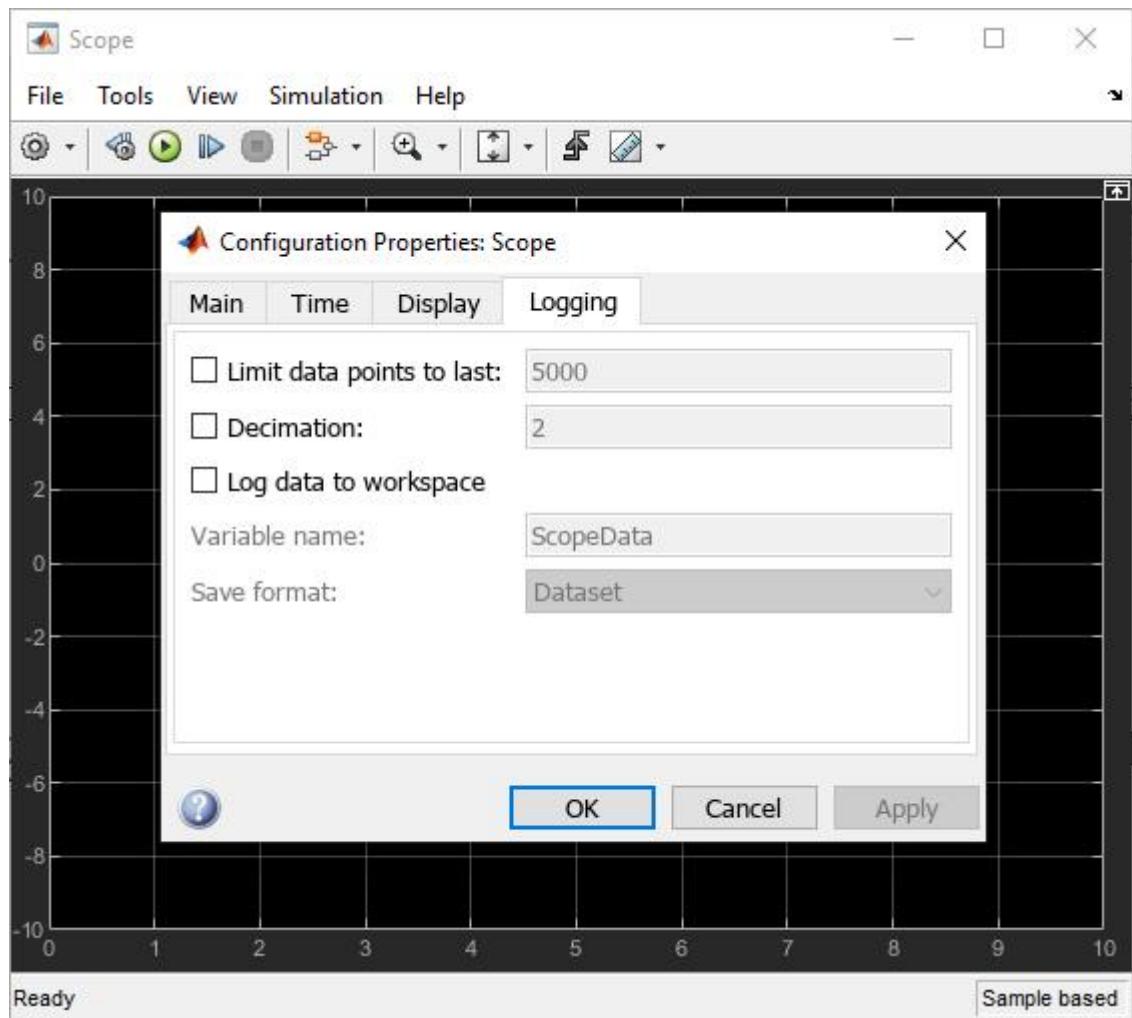
Настроим параметры блоков:







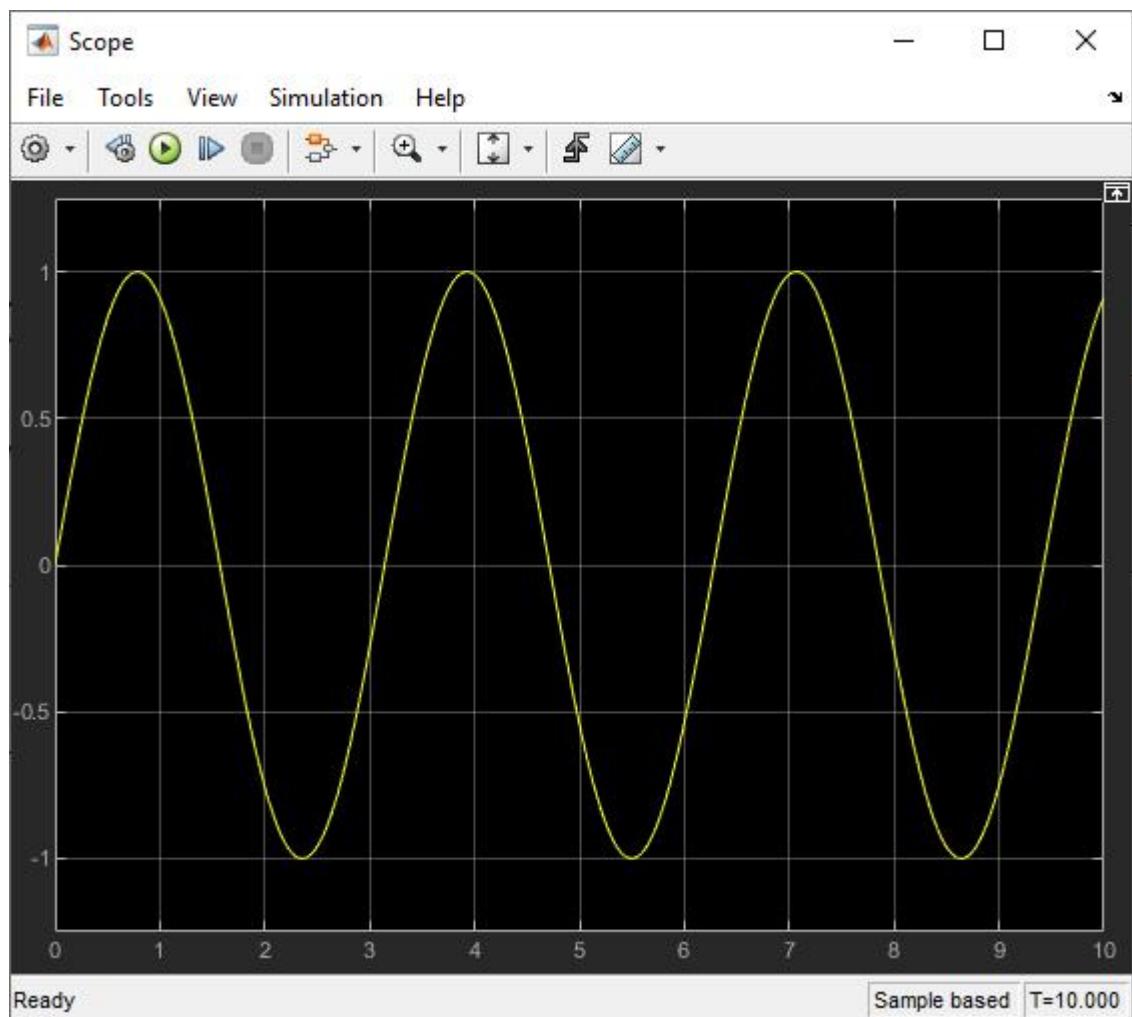
Для всех осциллографов отключим предельное значение отображаемых точек:

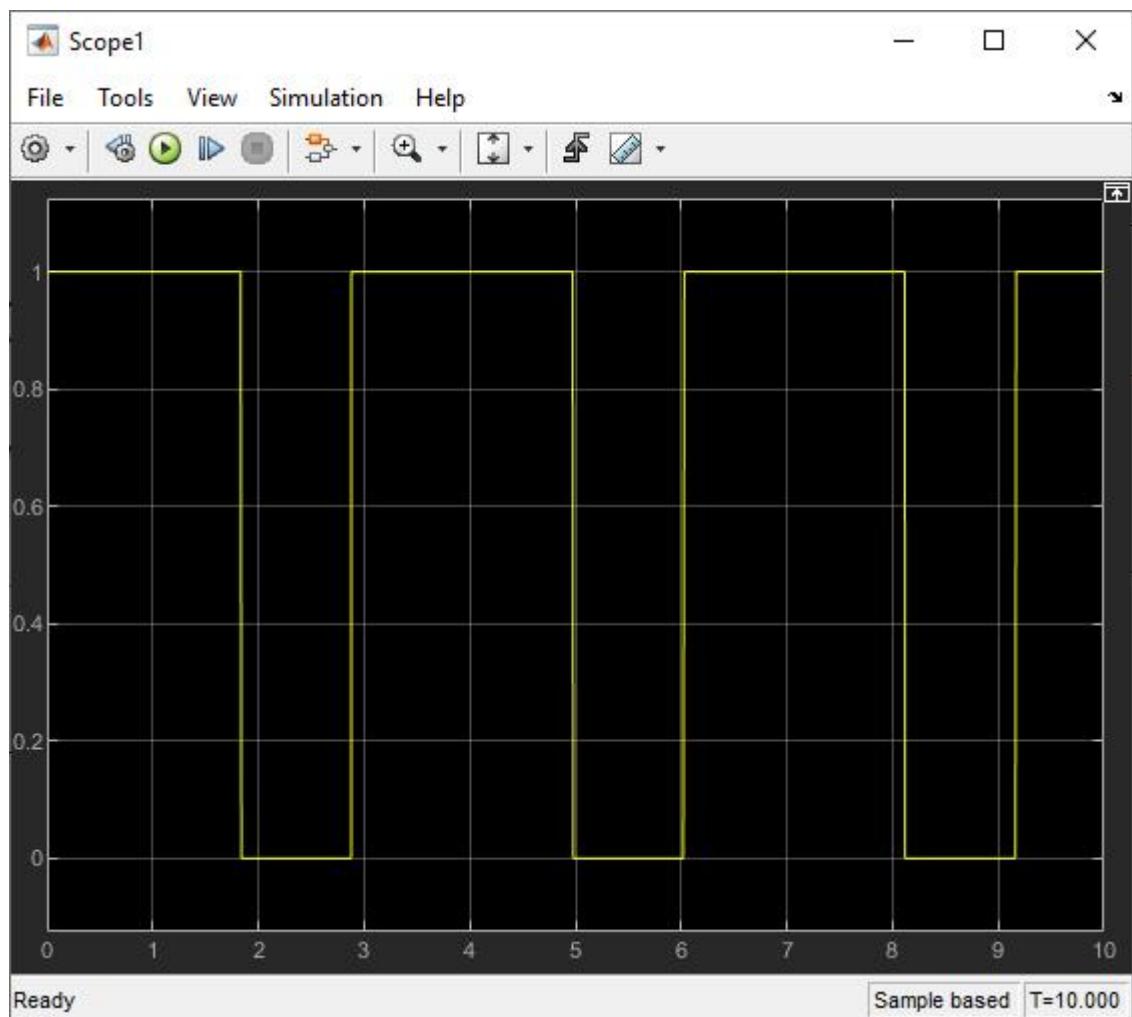


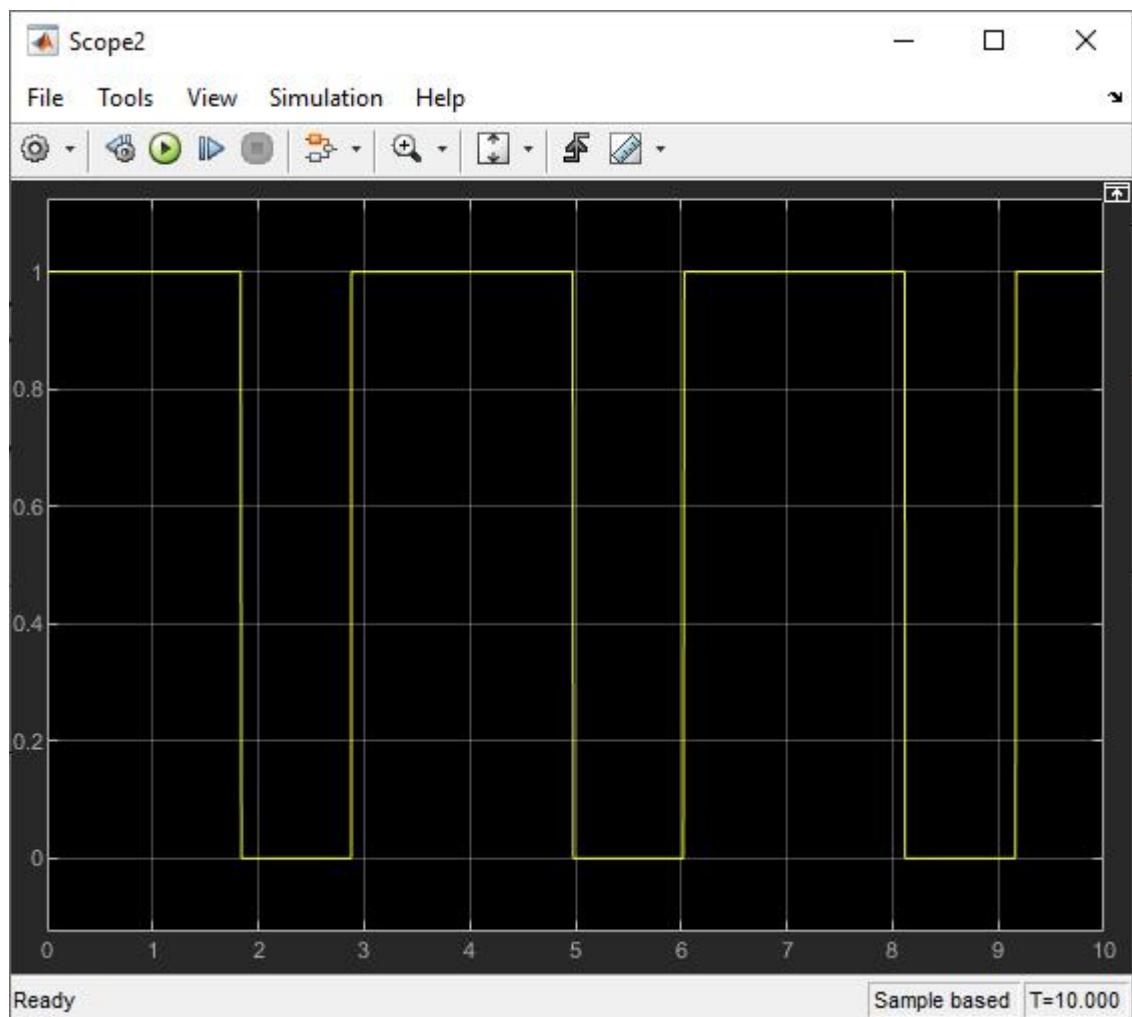
Время моделирования установим равным 10 сек:

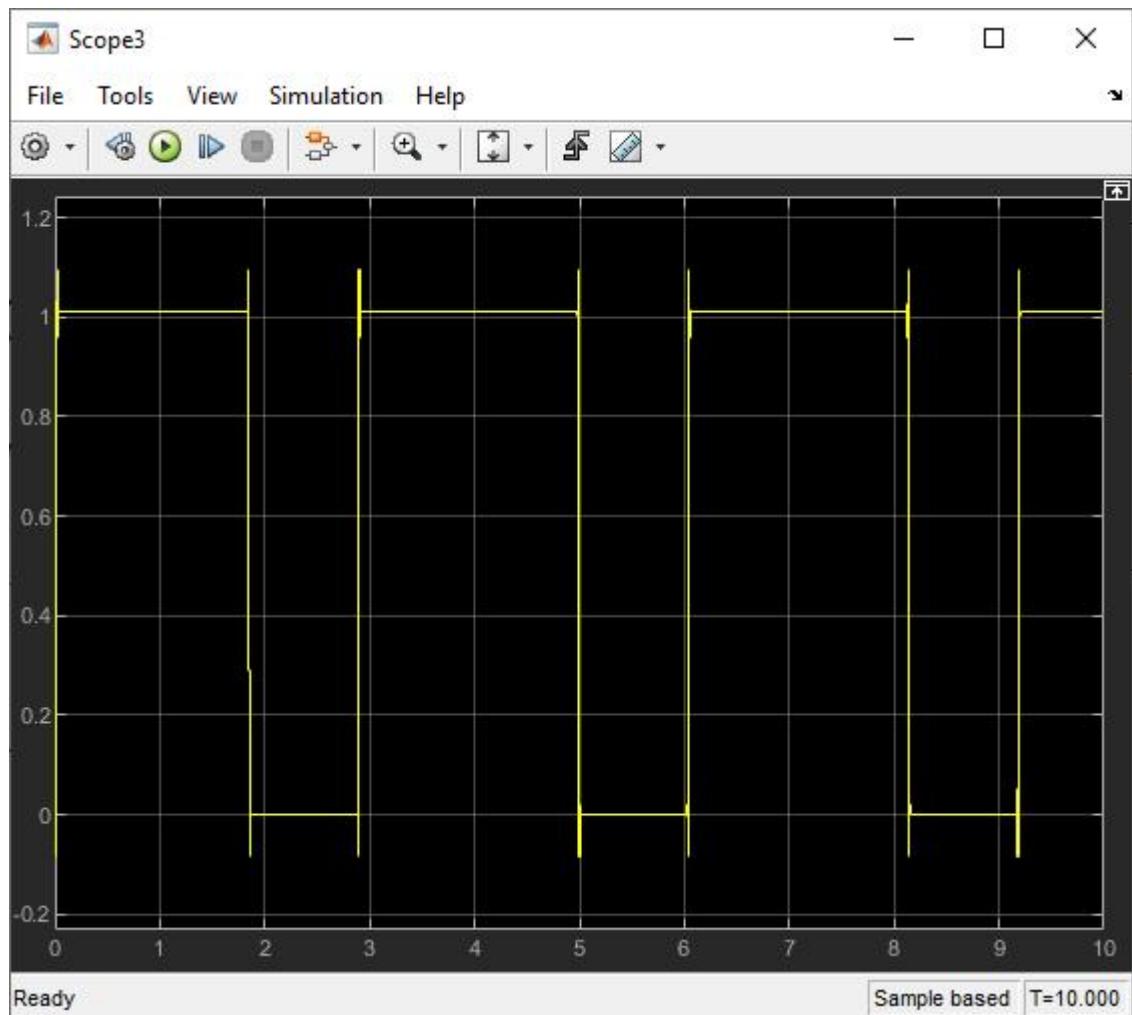


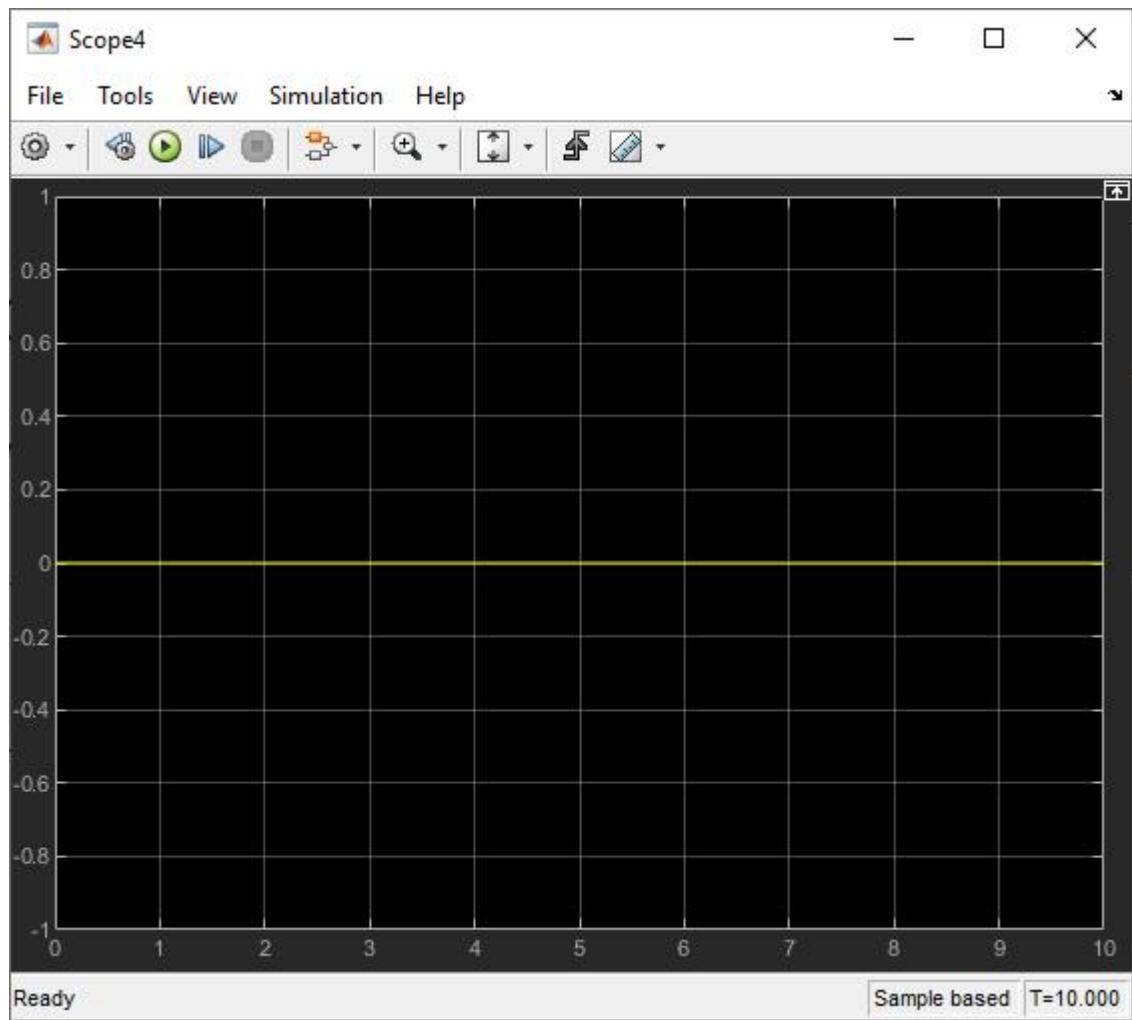
Запустим моделирование и зарисуем графики с каждого из осциллографов, расположив их друг под другом, обозначим цену деления шкалы:



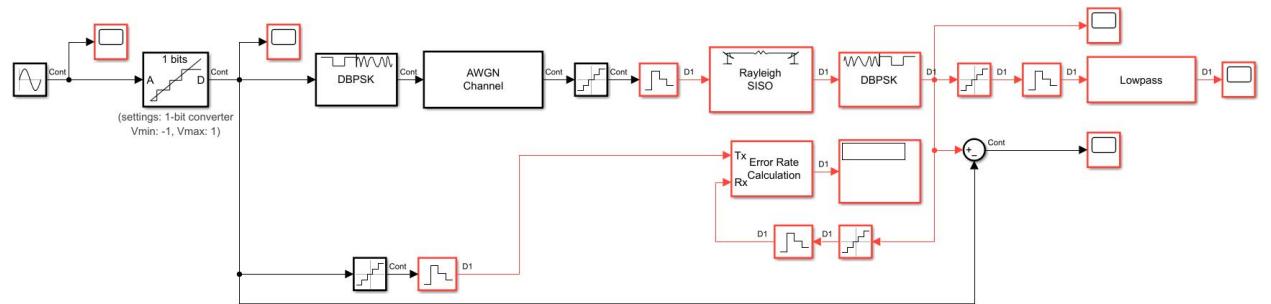




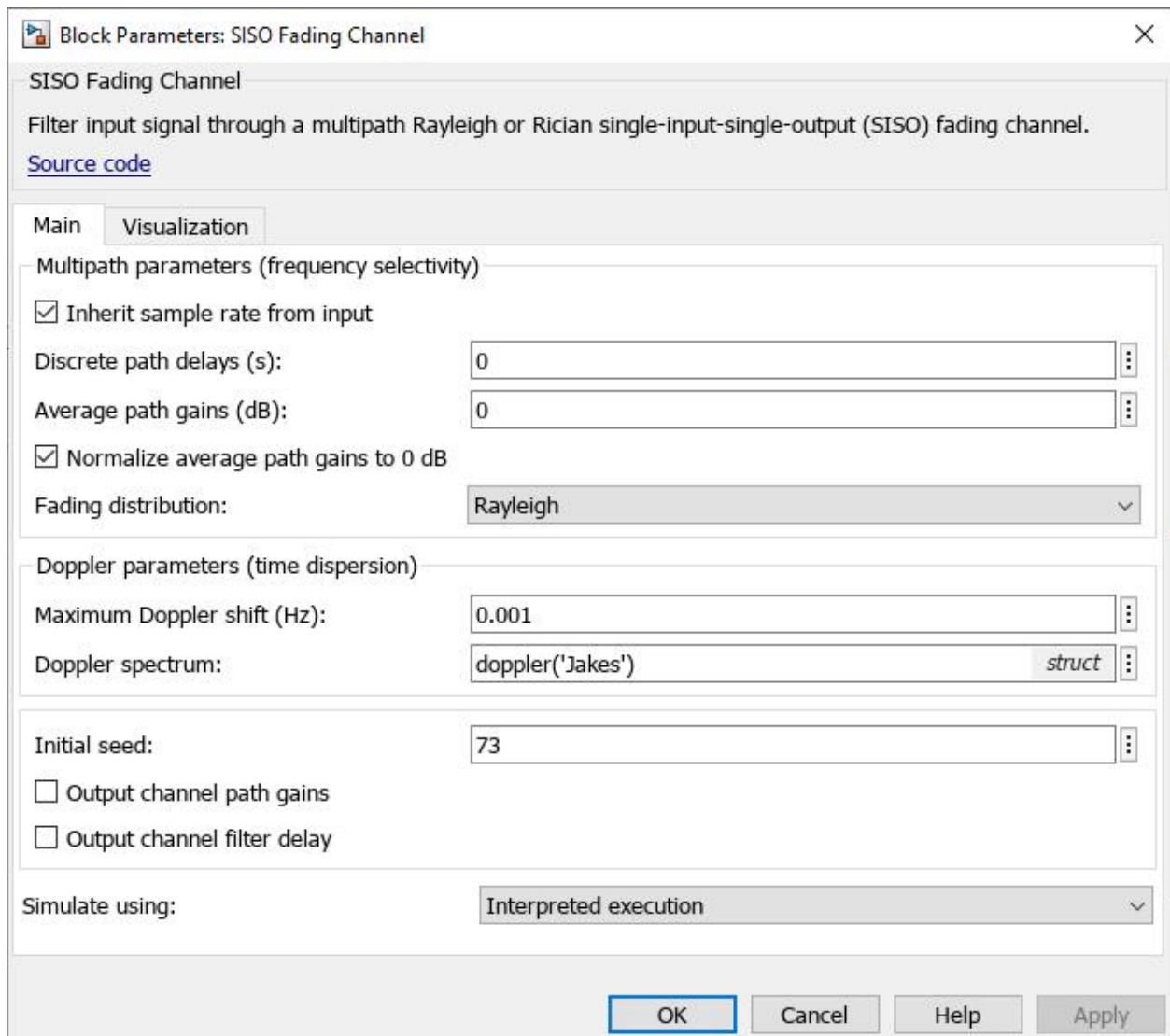




Модернизируем предыдущую схему, добавив в неё блок замирания Релея:

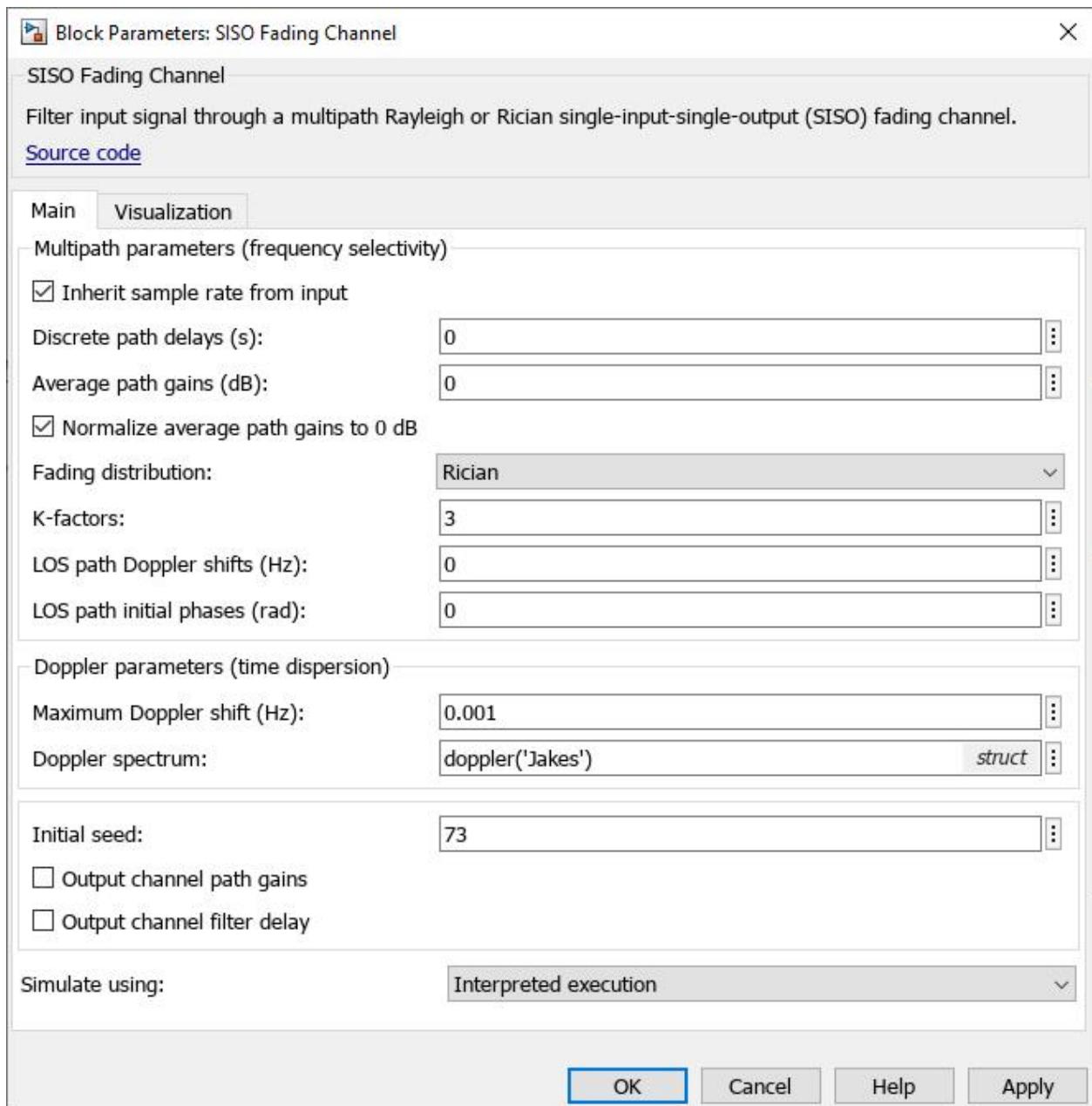


Настроим параметры блока так, чтобы он стал блоком замирания Релея:



Последовательно изменяя параметр Maximum Doppler shift согласно таблице ниже, оценим уровень ошибки принимаемого сигнала и заполним строку таблицы ниже, соответствующей замиранию Релея.

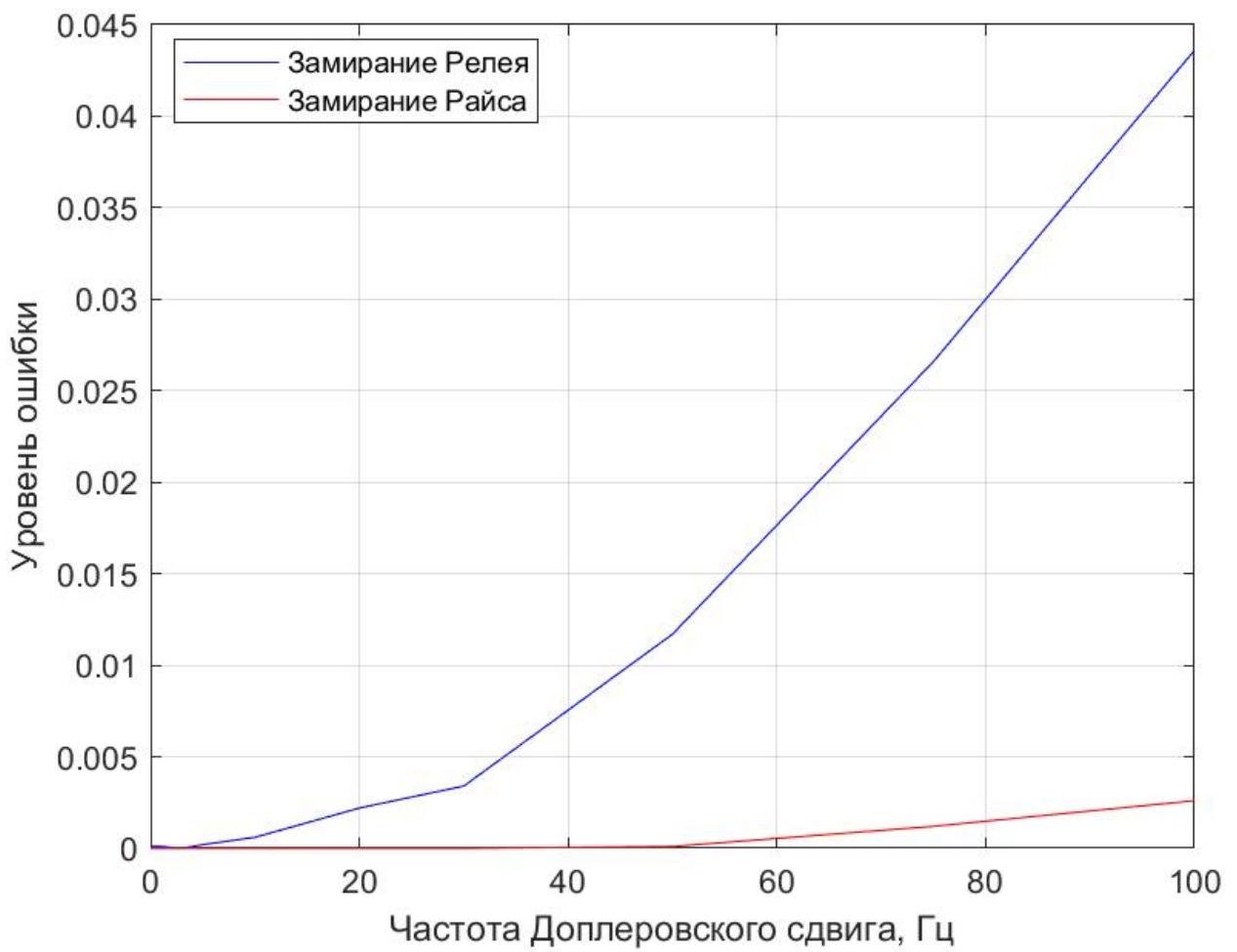
Настроим параметры блока так, чтобы он стал блоком замирания Райса:



Последовательно изменяя параметр Maximum Doppler shift согласно таблице ниже, оценим уровень ошибки принимаемого сигнала и заполним строку таблицы ниже, соответствующей замиранию Райса.

Тип замирания	Частота Доплеровского сдвига, Гц											
	100	75	50	30	20	10	5	3	1	0.1	0.01	0.001
Релея	0.0436	0.0266	0.0117	0.0034	0.0022	0.0005999	0.0002	0	9.999e-05	9.999e-05	9.999e-05	9.999e-05
Райса	0.0026	0.0012	9.999e-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0

По данным таблицы выше построим графики, характеризующие уровень ошибок, в одной системе координат:



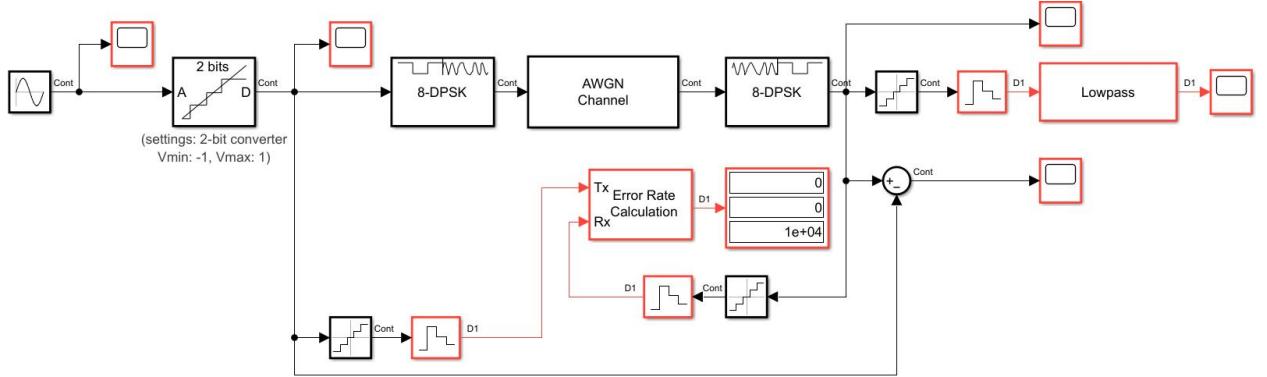
Сделаем выводы по графикам:

- уровень ошибки при замирании Релея начинает увеличиваться при более низкой частоте Доплеровского сдвига, чем при замирании Райса;
- при максимальной частоте Доплеровского сдвига, равного 100 Гц, значение уровня ошибки при замирании Райса на порядок ниже, чем при замирании Релея;
- при минимальной частоте Доплеровского сдвига, равного 0.001 Гц, значение уровня ошибки при замирании Райса равно нулю, в то время как при замирании Релея оно чуть выше нуля.

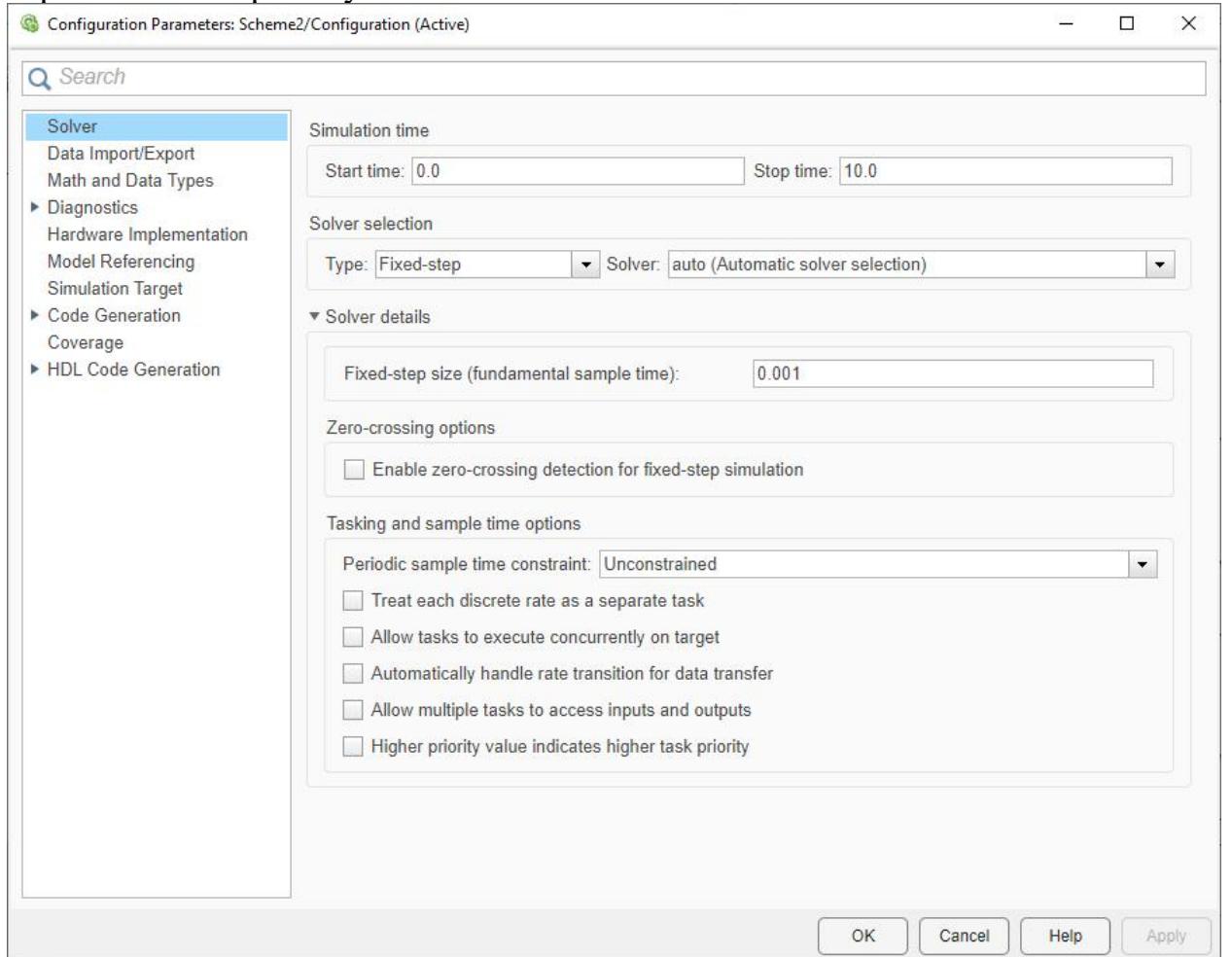
Запишем итоговые выводы по работе: в ходе выполнения данной работы произошло ознакомление с принципами дифференциальной двоичной фазовой манипуляции, было изучено влияние затуханий Релея и Раиса на уровень ошибок сигнала, была изучена зависимость уровня ошибок принимаемого сигнала от соотношения сигнал/шум.

3. Исследование дифференциальной квадратурной фазовой манипуляции и различных типов каналов передачи

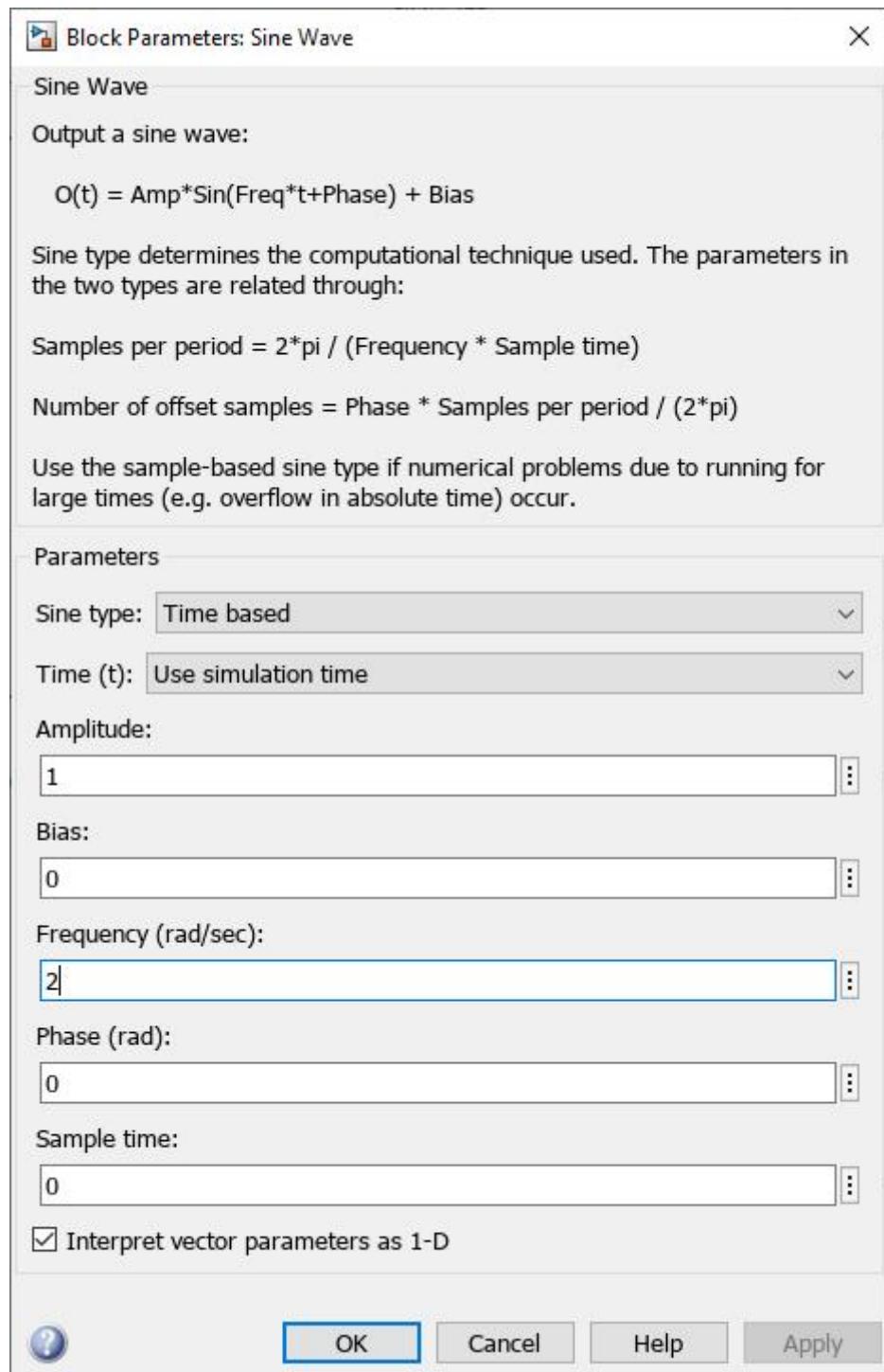
Соберём схему в программном пакете MATLAB Simulink:

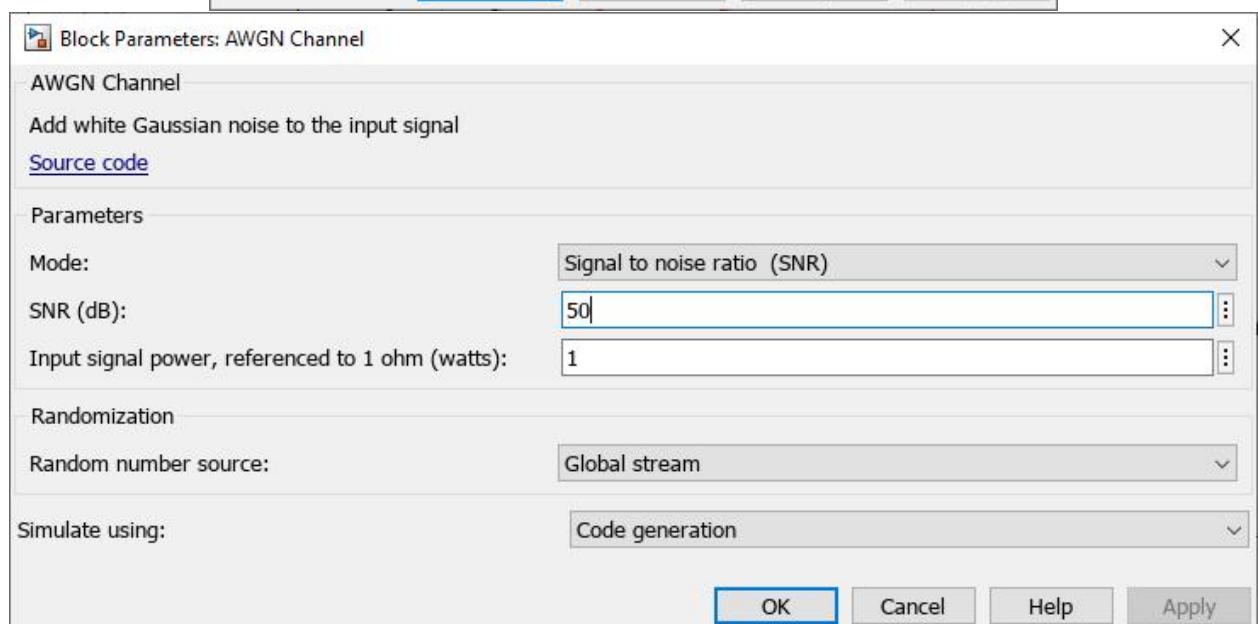
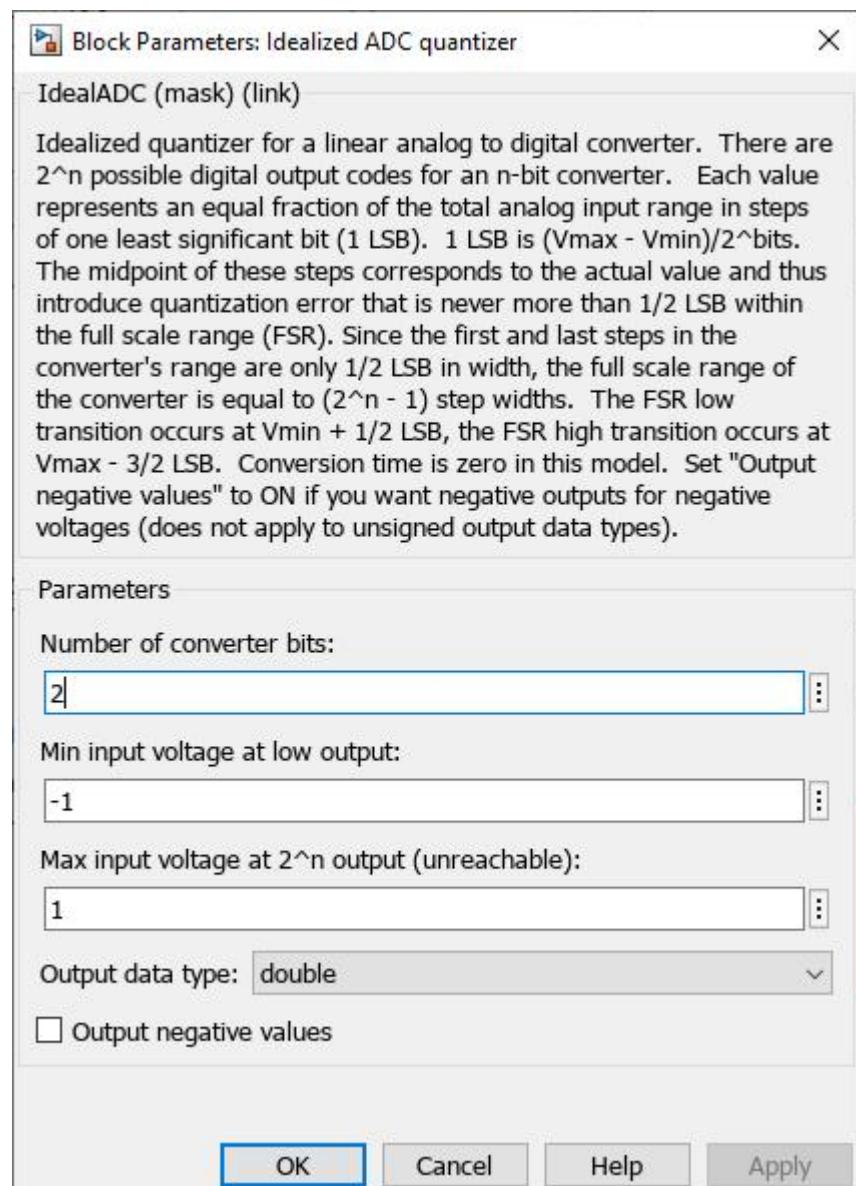


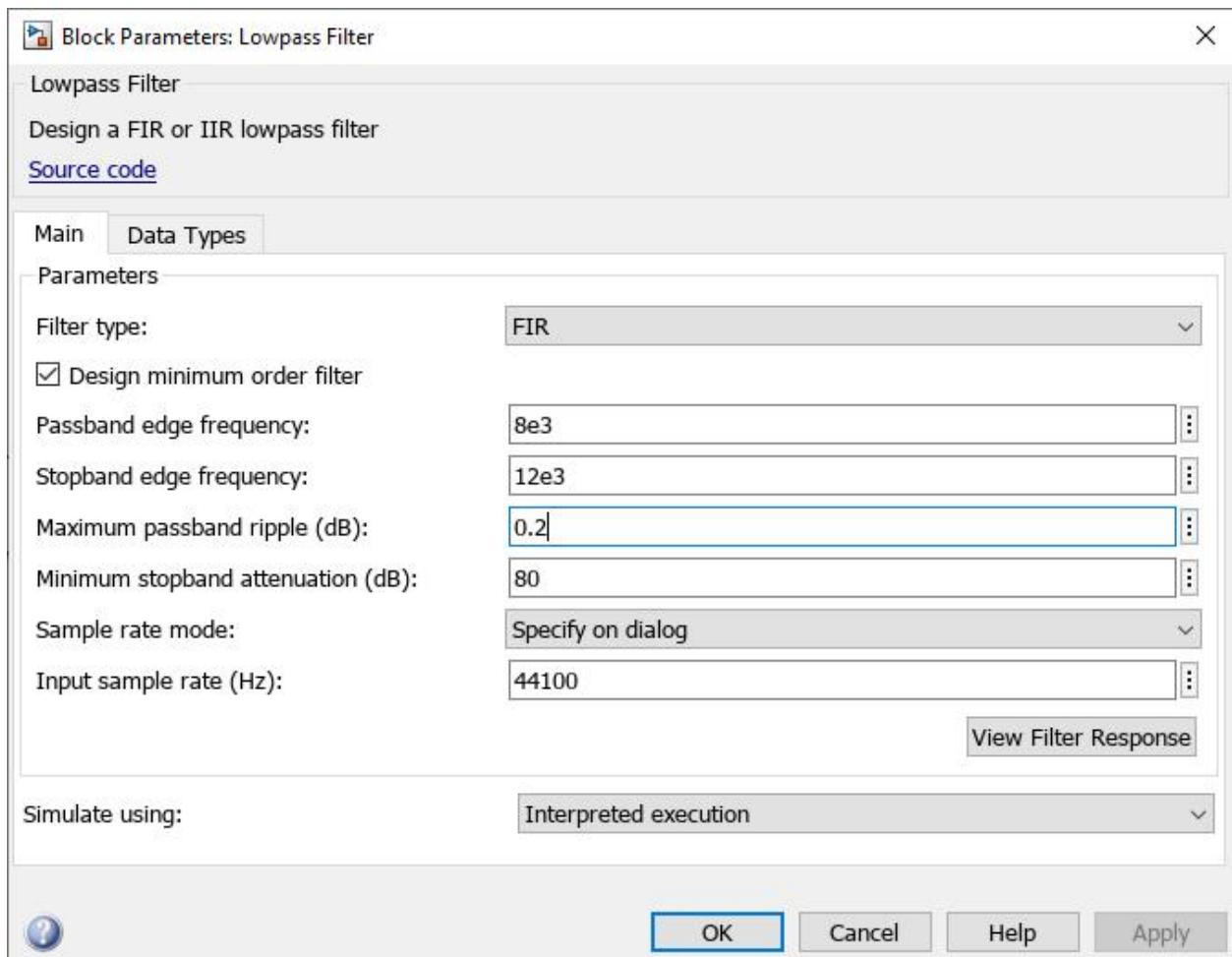
В созданной модели правой кнопкой мыши нажмём на свободную область и выберем **Model configuration parameters**, в открывшемся окне выберем **Solver** и в строке **Type** установим параметр **Fixed-step**. Ниже, в строке **Fixed step size** установим значение **0.001**.



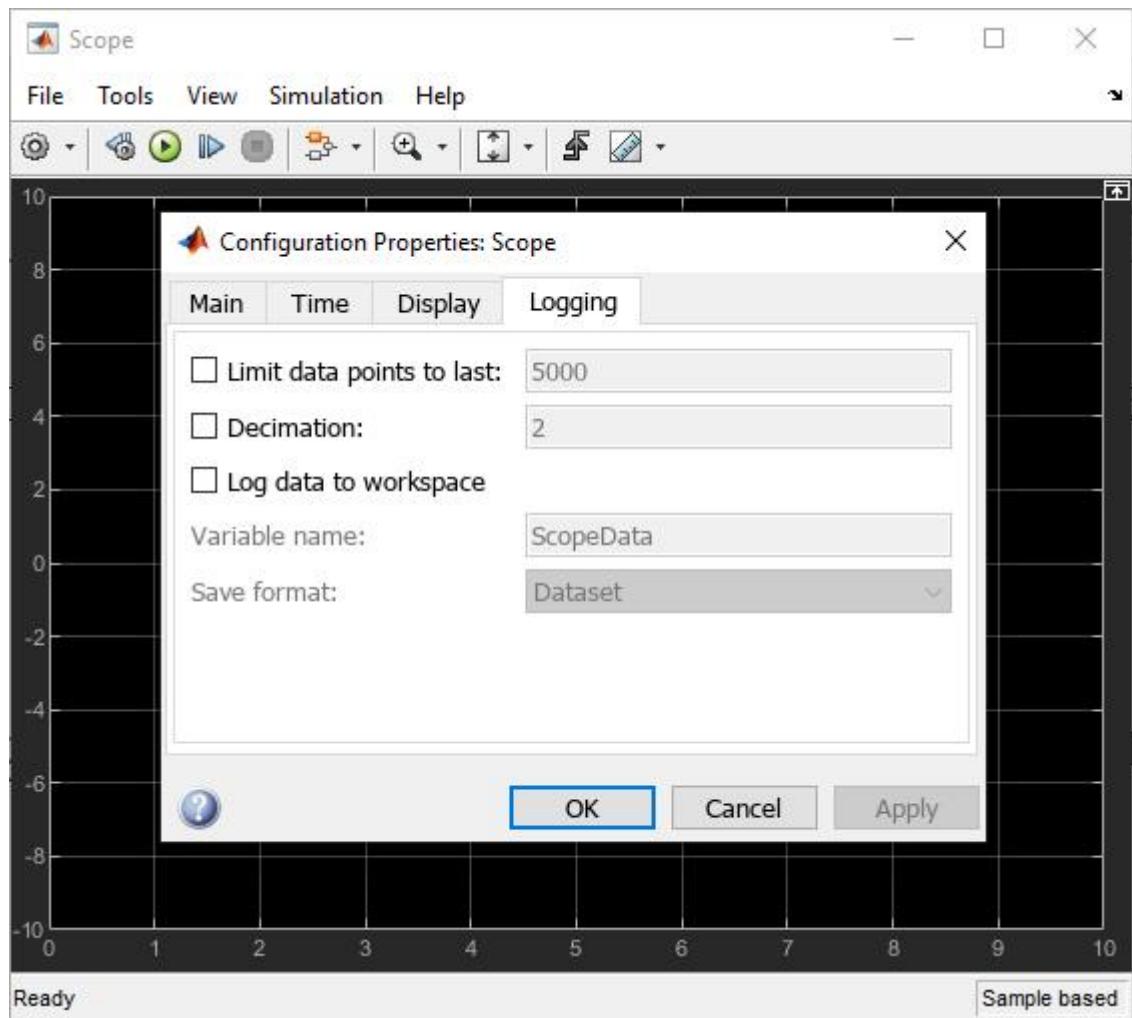
Настроим параметры блоков:



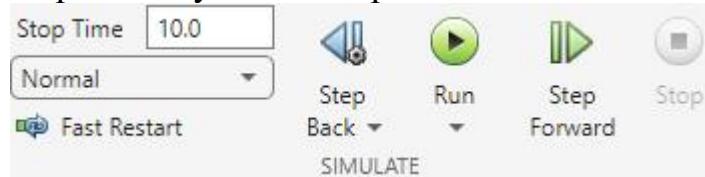




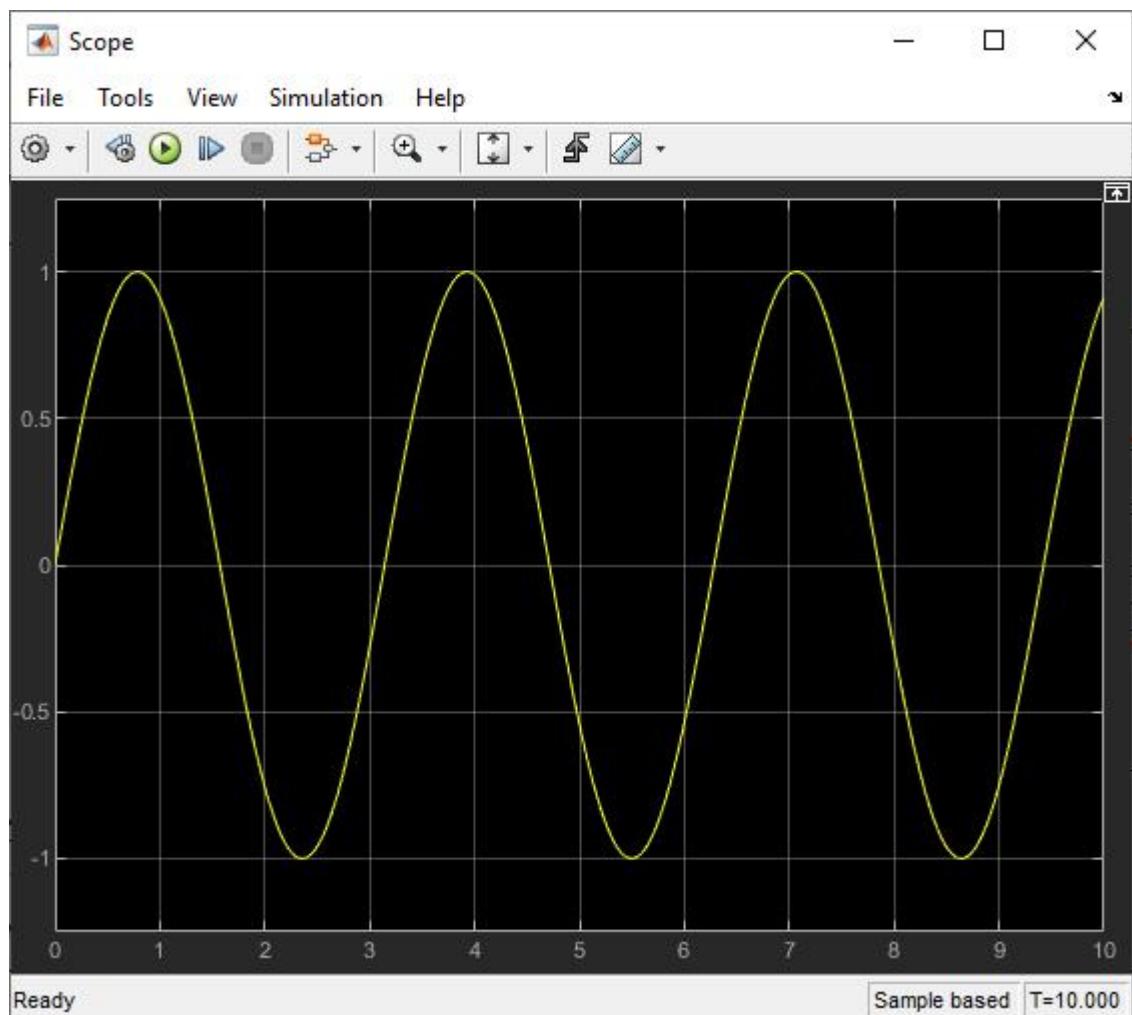
Для всех осциллографов отключим предельное значение отображаемых точек:

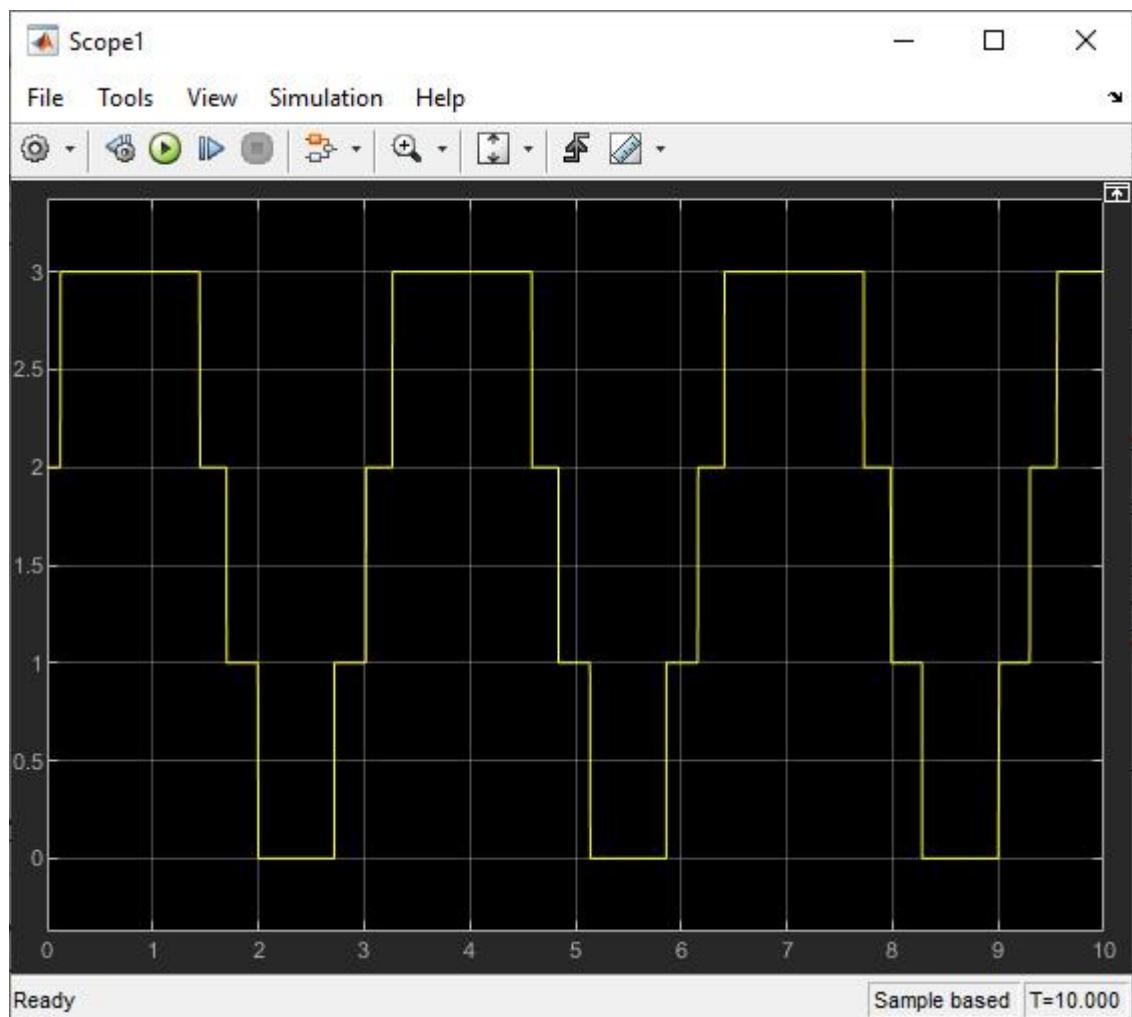


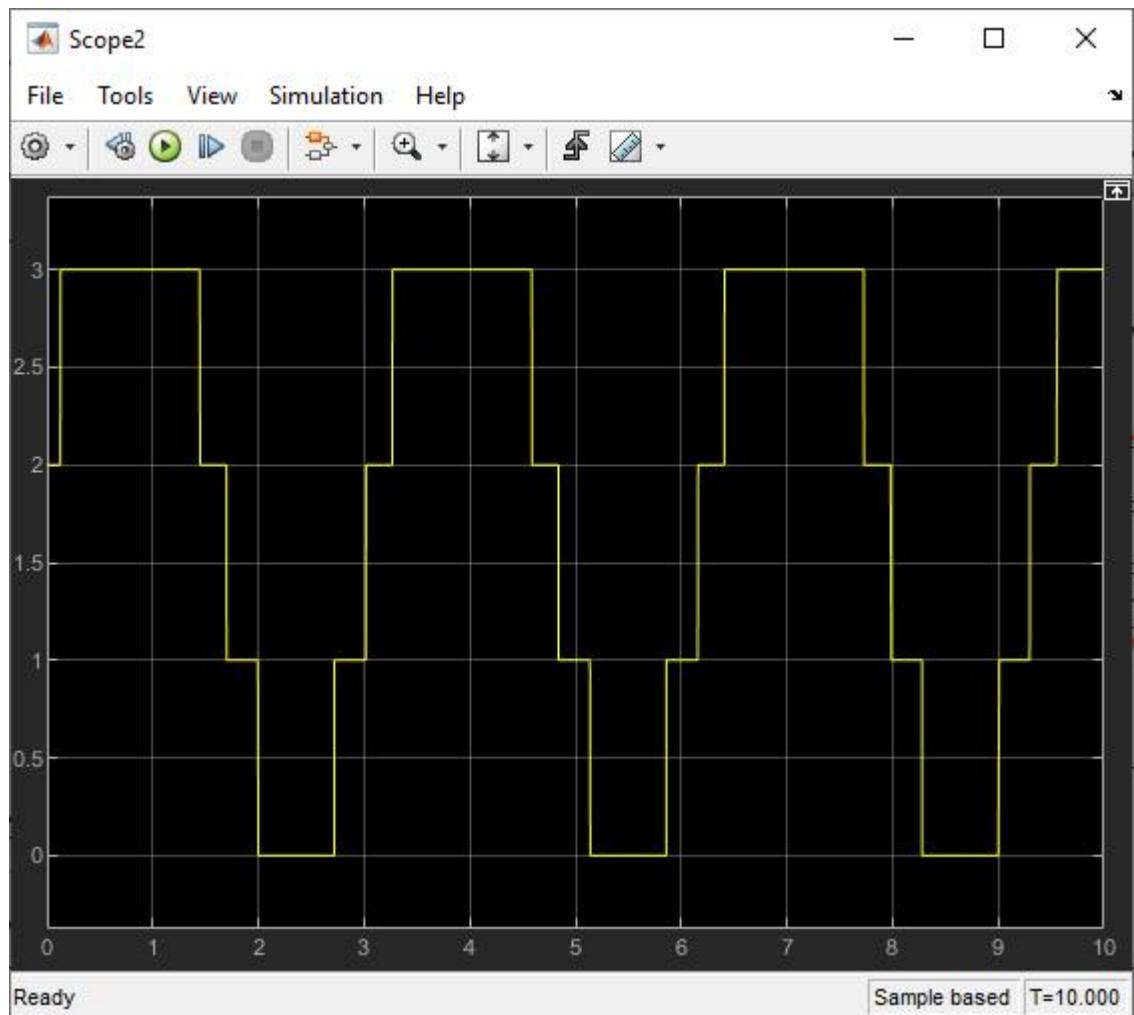
Время моделирования установим равным 10 сек:

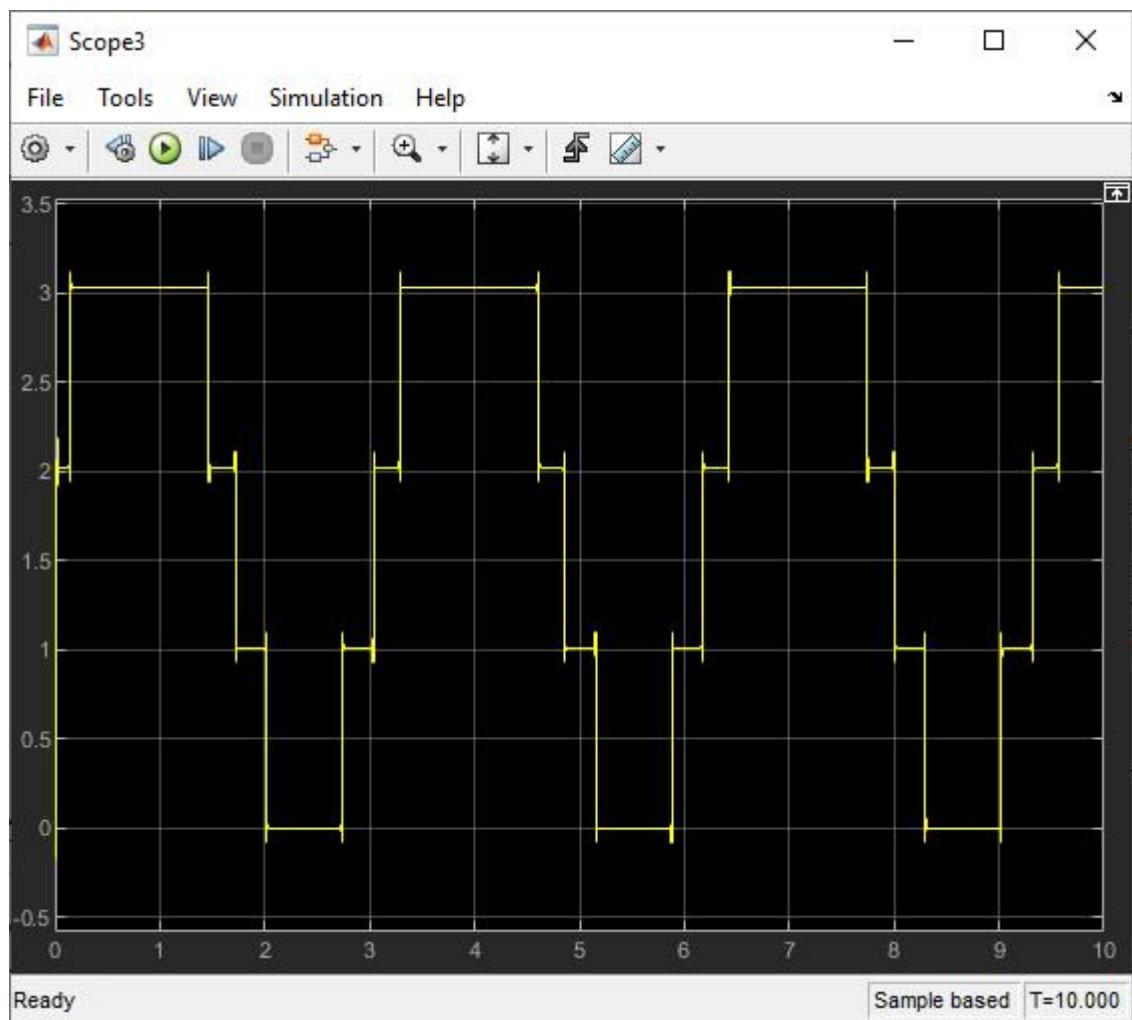


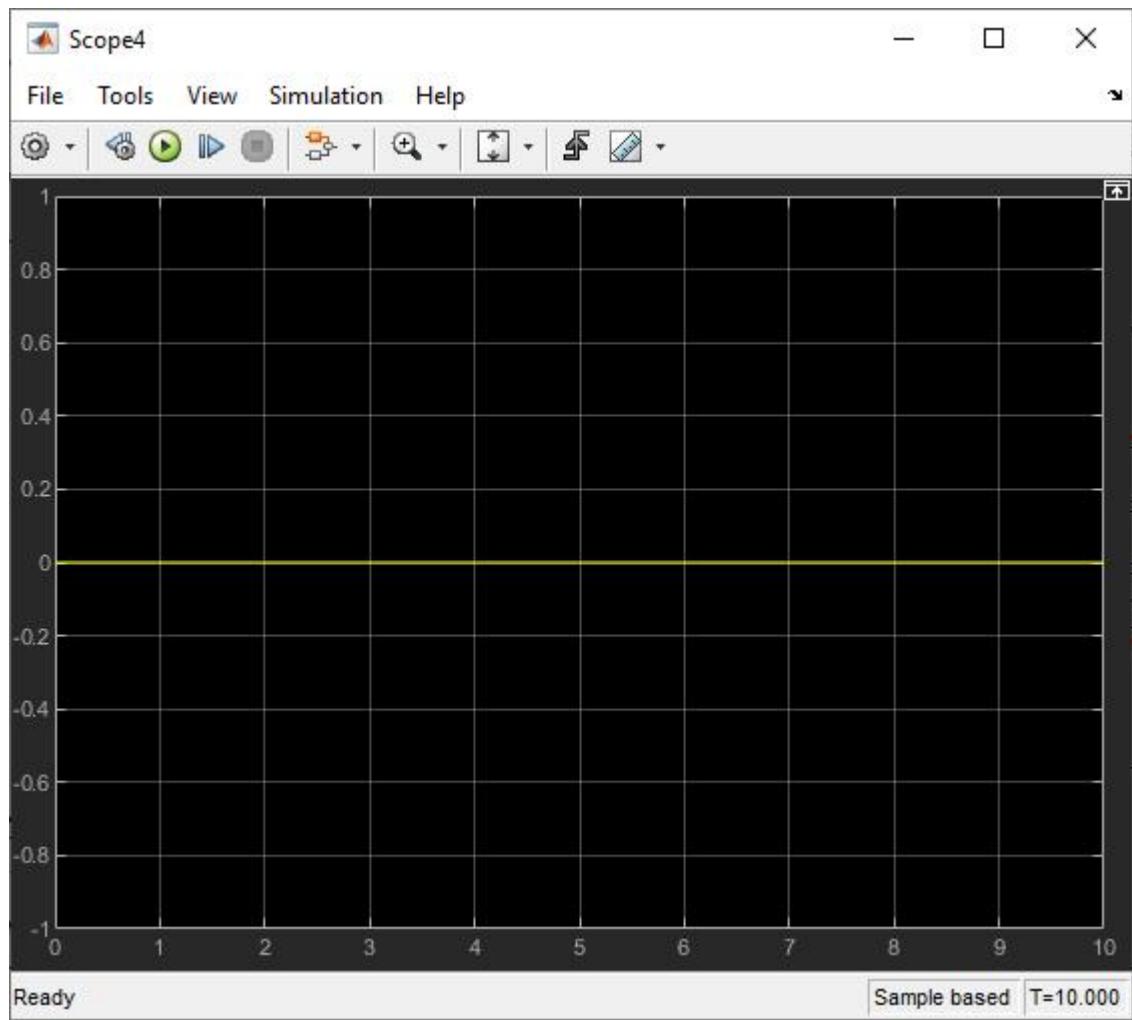
Запустим моделирование и зарисуем графики с каждого из осциллографов, расположив их друг под другом, обозначим цену деления шкалы:



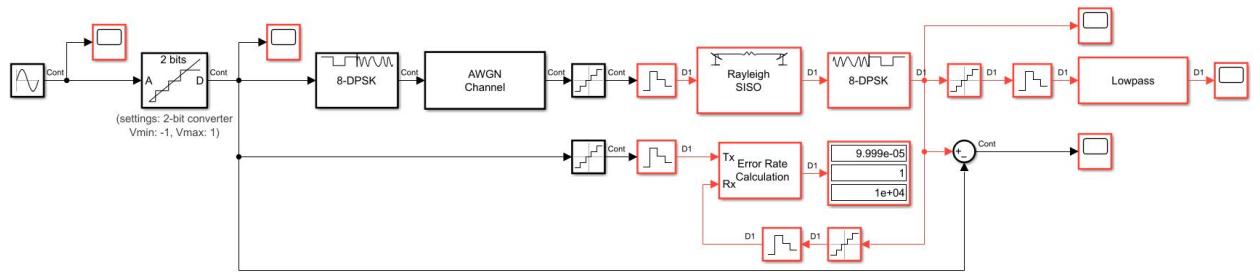




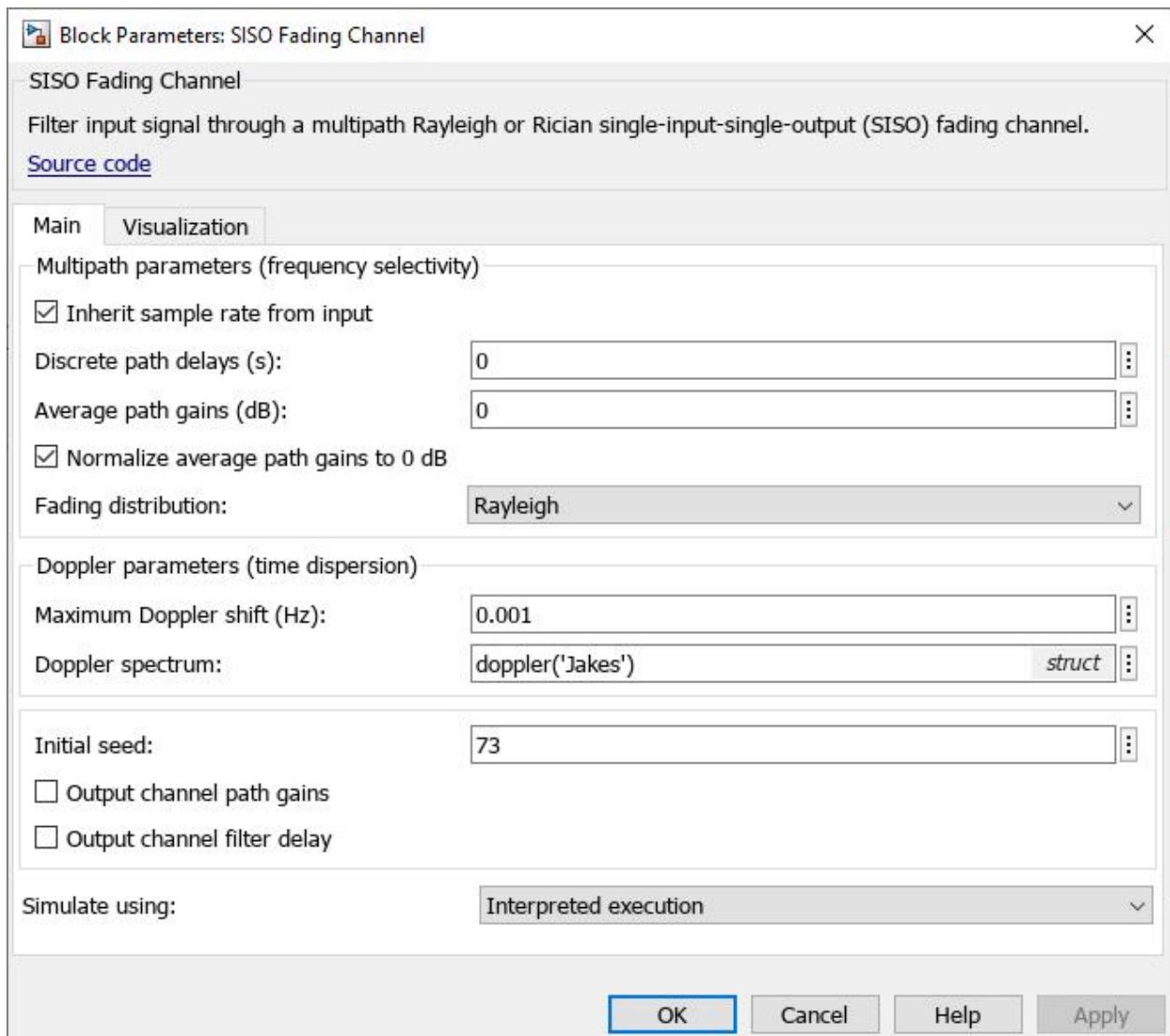




Модернизируем предыдущую схему, добавив в неё блок замирания Релея:

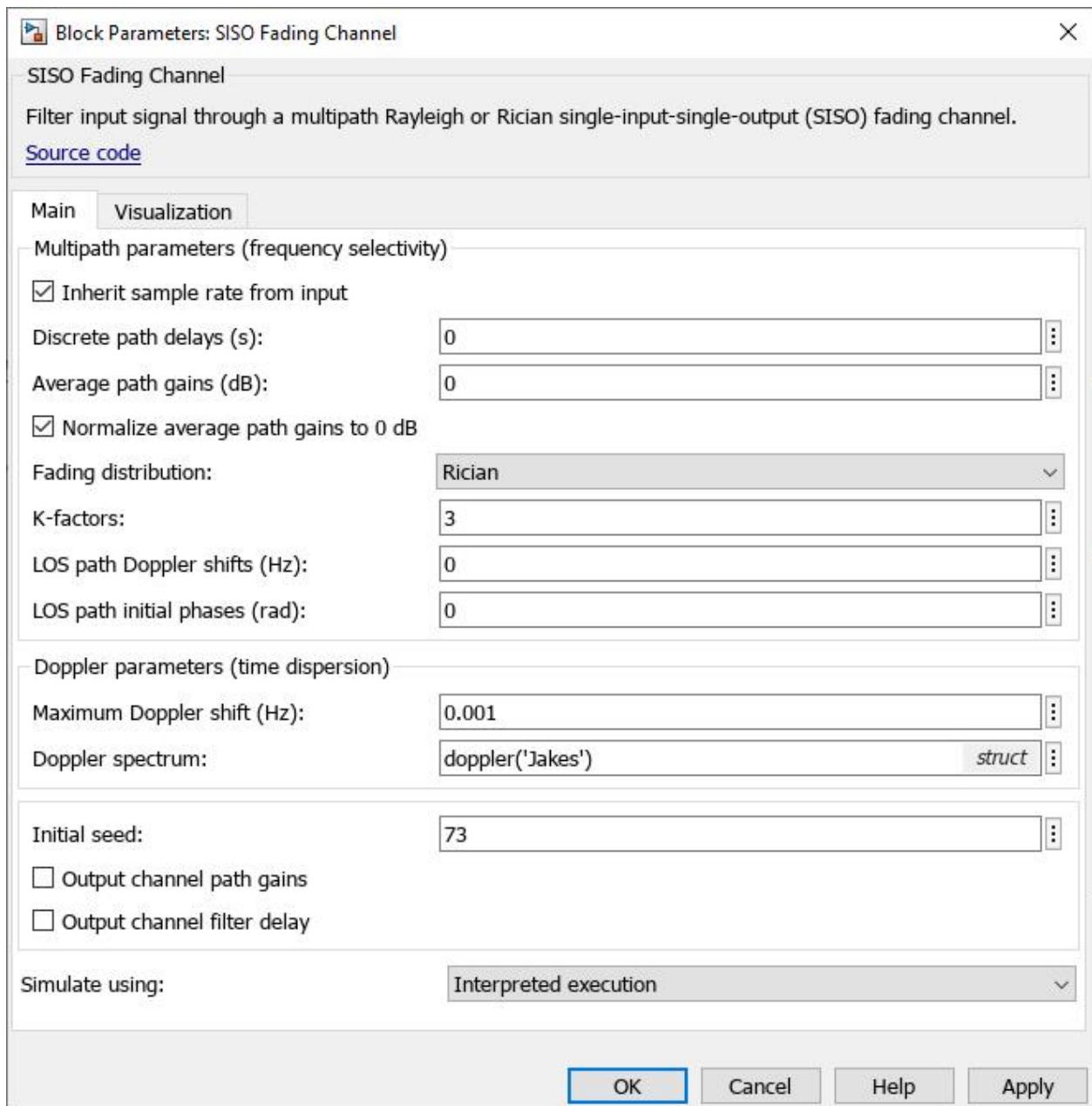


Настроим параметры блока так, чтобы он стал блоком замирания Релея:



Последовательно изменяя параметр Maximum Doppler shift согласно таблице ниже, оценим уровень ошибки принимаемого сигнала и заполним строку таблицы ниже, соответствующей замиранию Релея.

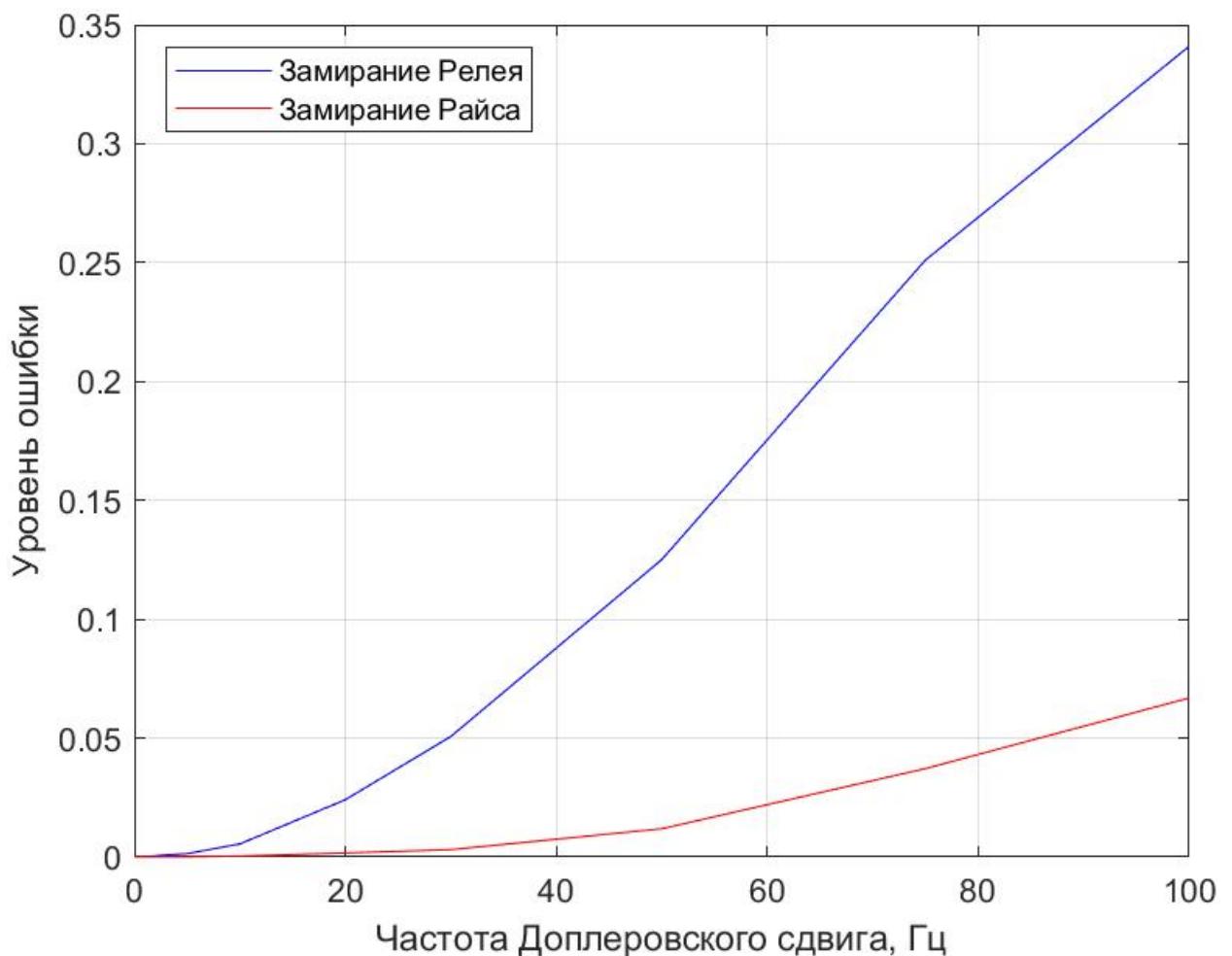
Настроим параметры блока так, чтобы он стал блоком замирания Райса:



Последовательно изменяя параметр Maximum Doppler shift согласно таблице ниже, оценим уровень ошибки принимаемого сигнала и заполним строку таблицы ниже, соответствующей замиранию Райса.

Тип замирания	Частота Доплеровского сдвига, Гц											
	100	75	50	30	20	10	5	3	1	0.1	0.01	0.001
Релея	0.341	0.2511	0.1251	0.05069	0.0241	0.005499	0.0014	0.0008999	9.999e-05	9.999e-05	9.999e-05	9.999e-05
Райса	0.06689	0.0372	0.0119	0.0031	0.0017	0.0004	9.999e-05	9.999e-05	9.999e-05	9.999e-05	9.999e-05	9.999e-05

По данным таблицы выше построим графики, характеризующие уровень ошибок, в одной системе координат:



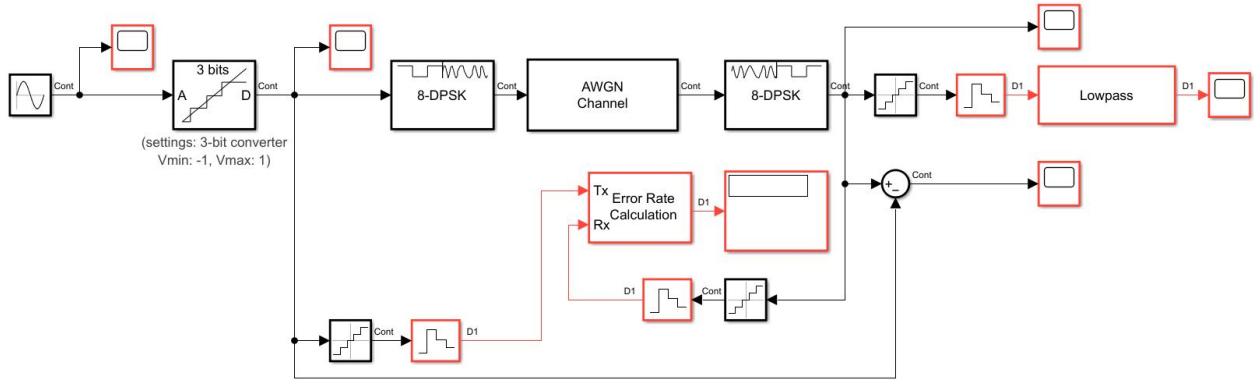
Сделаем выводы по графикам:

- уровень ошибки при замирании Релея начинает увеличиваться при более низкой частоте Доплеровского сдвига, чем при замирании Райса;
- при максимальной частоте Доплеровского сдвига, равного 100 Гц, значение уровня ошибки при замирании Райса на порядок ниже, чем при замирании Релея;
- при минимальной частоте Доплеровского сдвига, равного 0.001 Гц, значение уровня ошибки при замирании Райса равно значению уровня ошибки при замирании Релея.

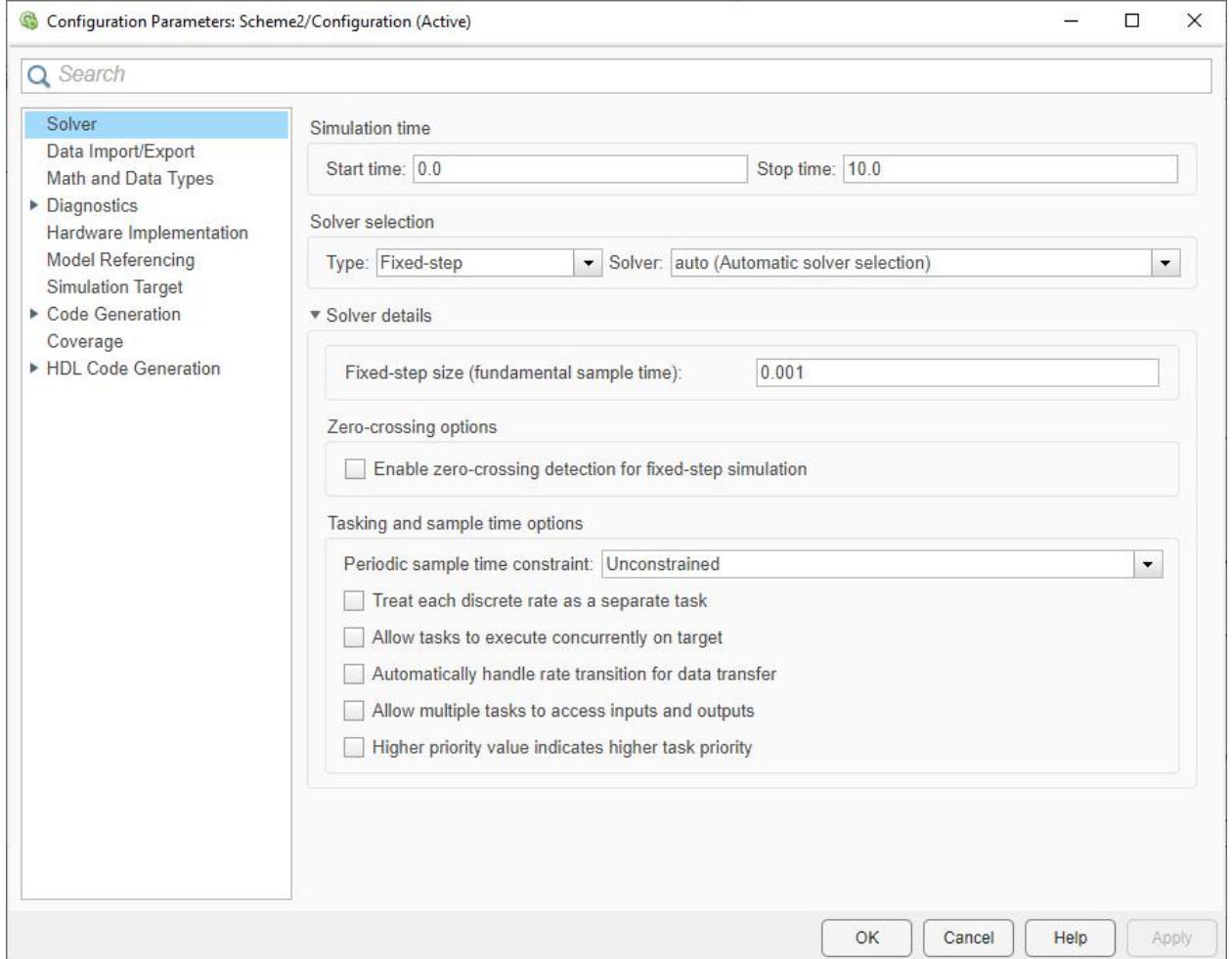
Запишем итоговые выводы по работе: в ходе выполнения данной работы произошло ознакомление с принципами дифференциальной квадратурной фазовой манипуляции, было изучено влияние затуханий Релея и Раиса на уровень ошибок сигнала, была изучена зависимость уровня ошибок принимаемого сигнала от соотношения сигнал/шум.

4. Исследование дифференциальной квадратурной фазовой манипуляции и различных типов каналов передачи

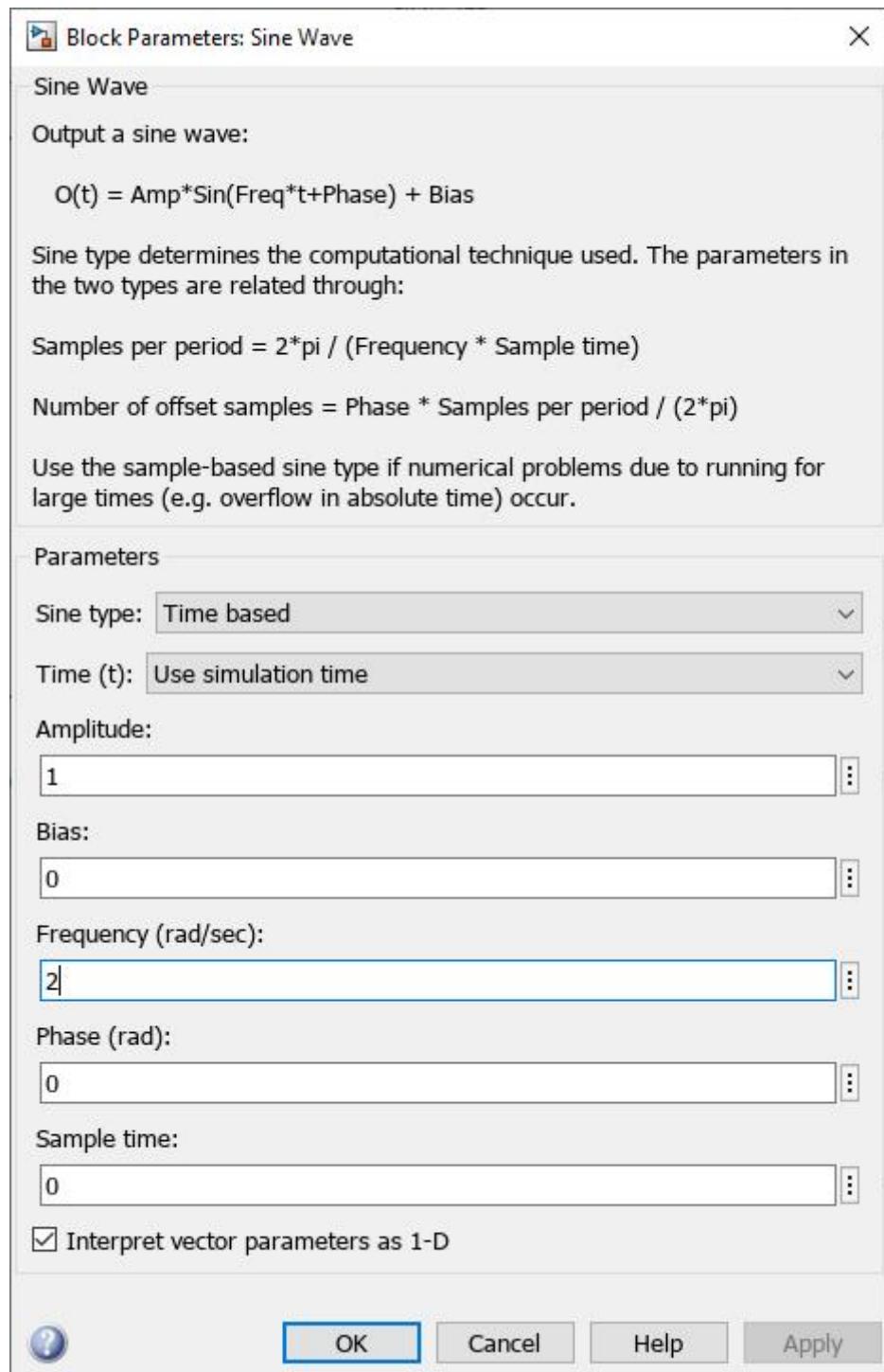
Соберём схему в программном пакете MATLAB Simulink:

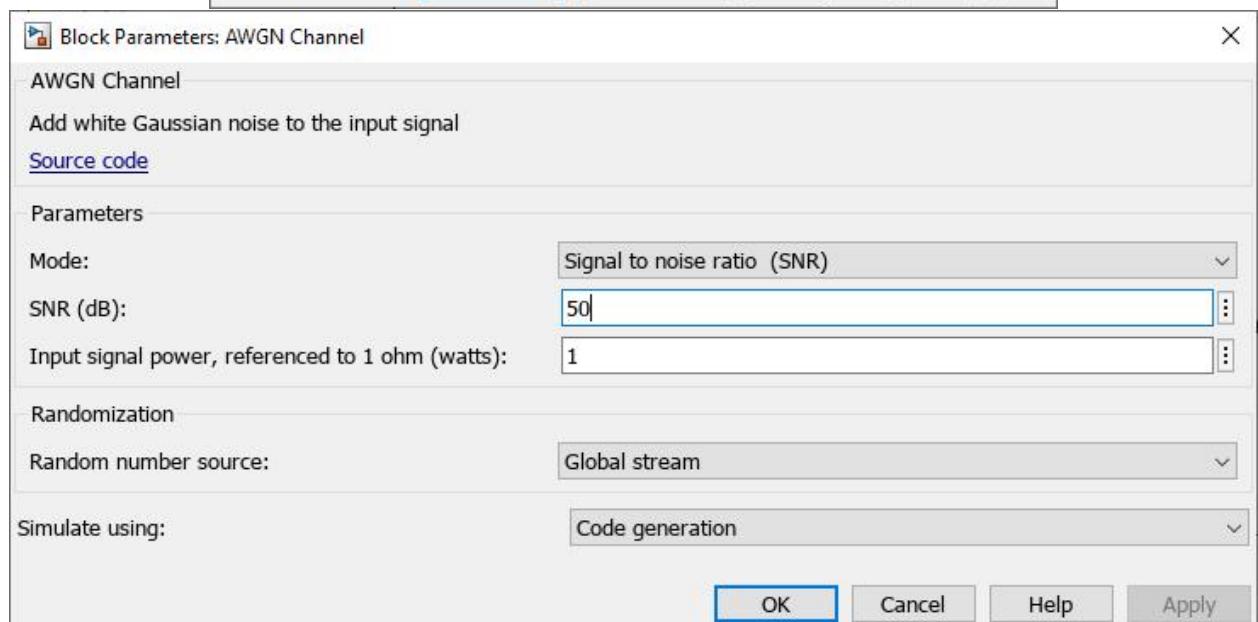
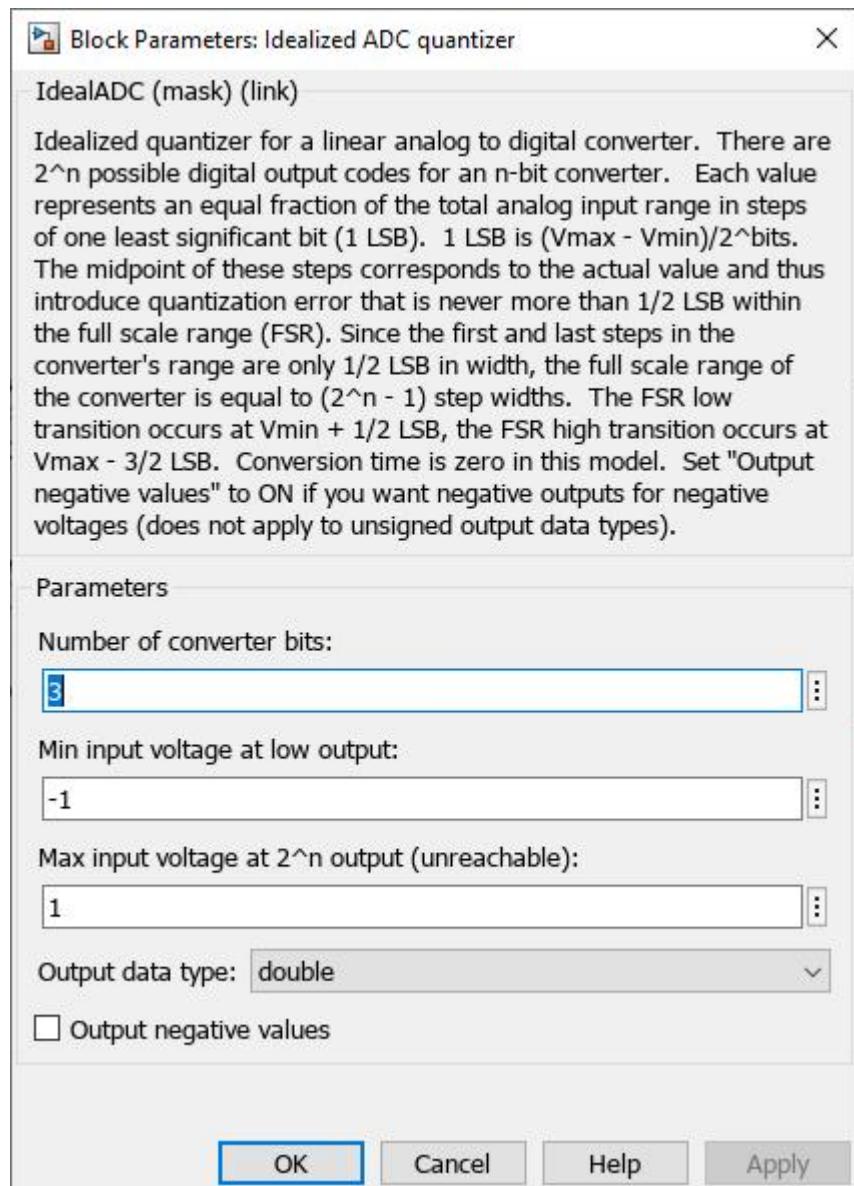


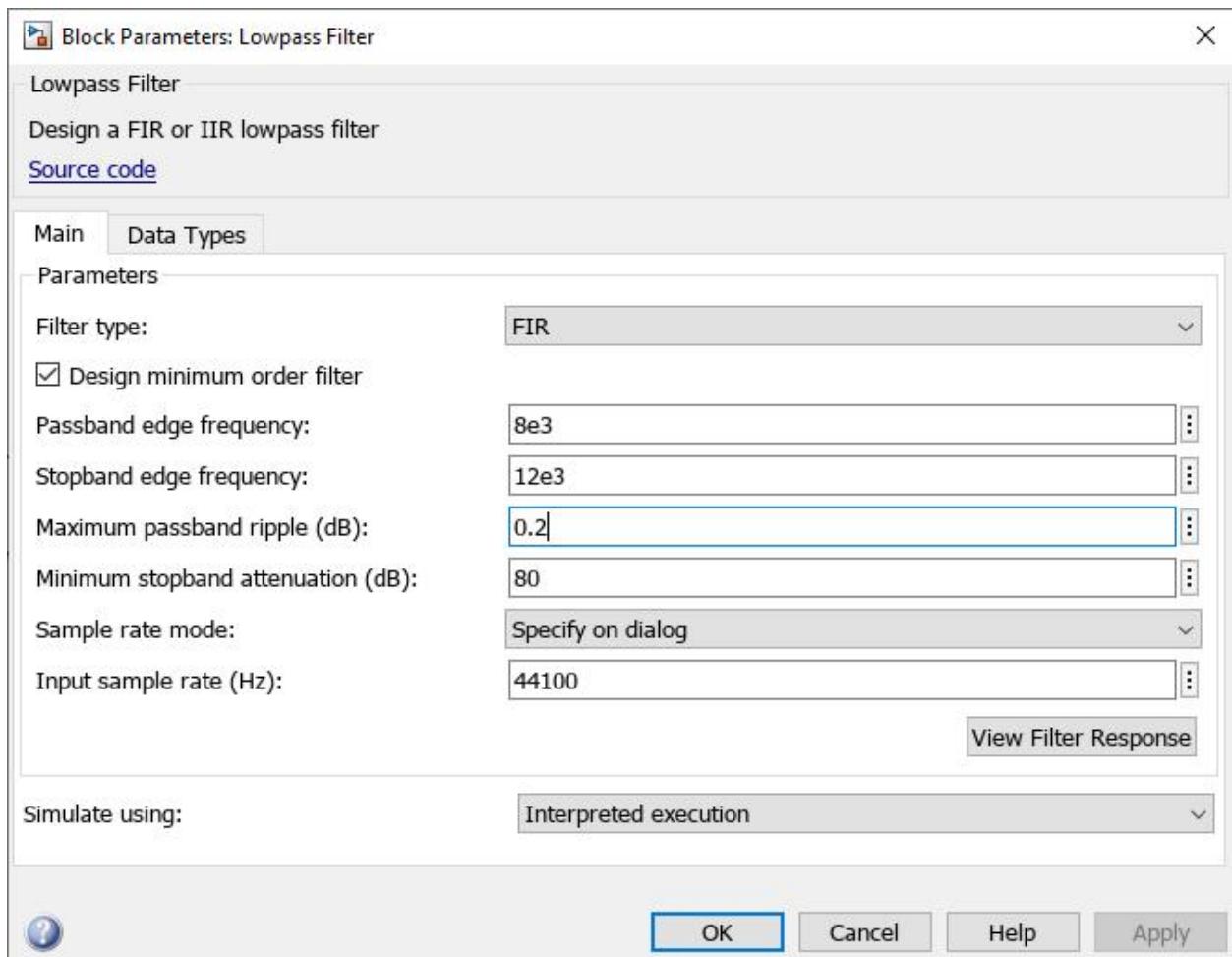
В созданной модели правой кнопкой мыши нажмём на свободную область и выберем Model configuration parameters, в открывшемся окне выберем Solver и в строке Type установим параметр Fixed-step. Ниже, в строке Fixed step size установим значение 0.001.



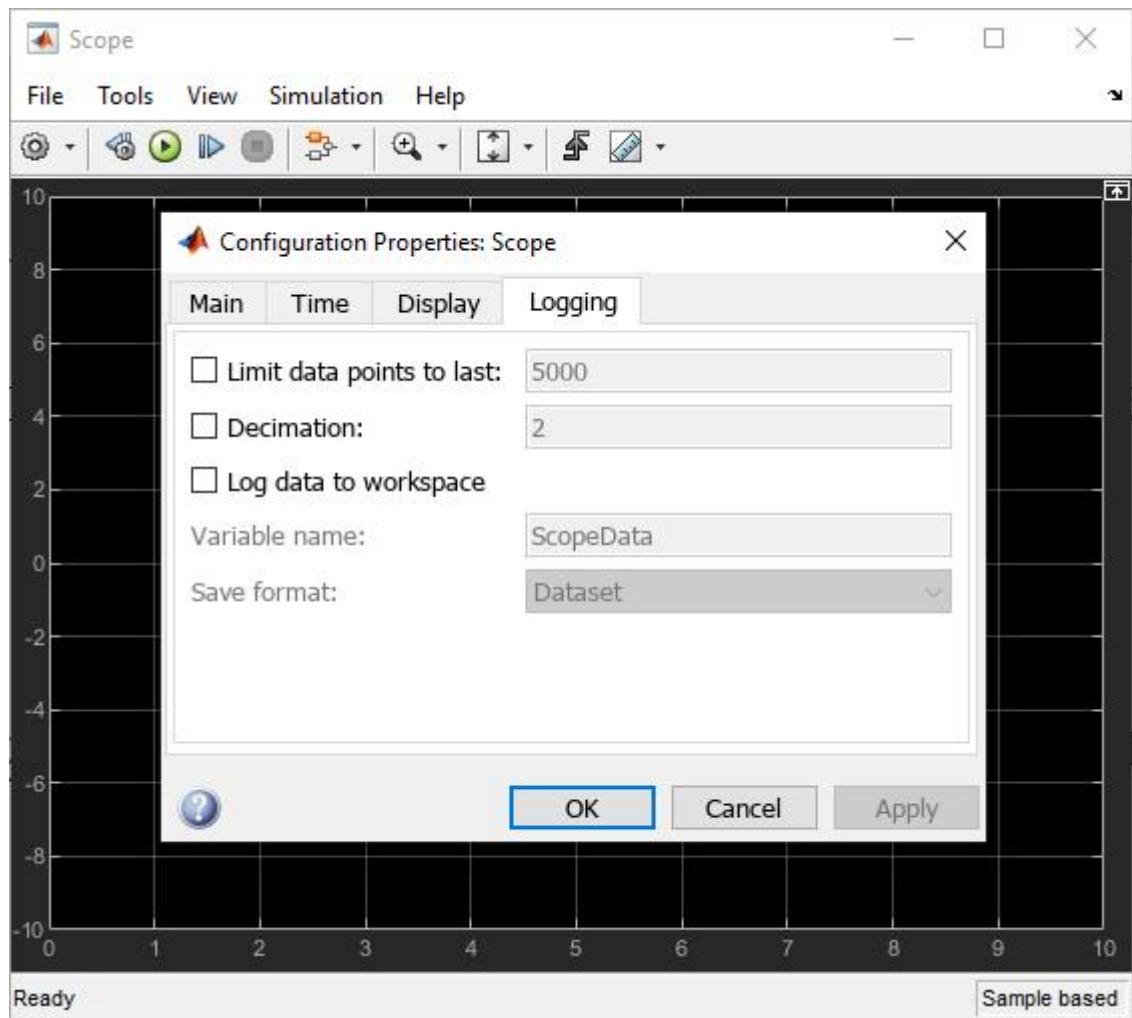
Настроим параметры блоков:







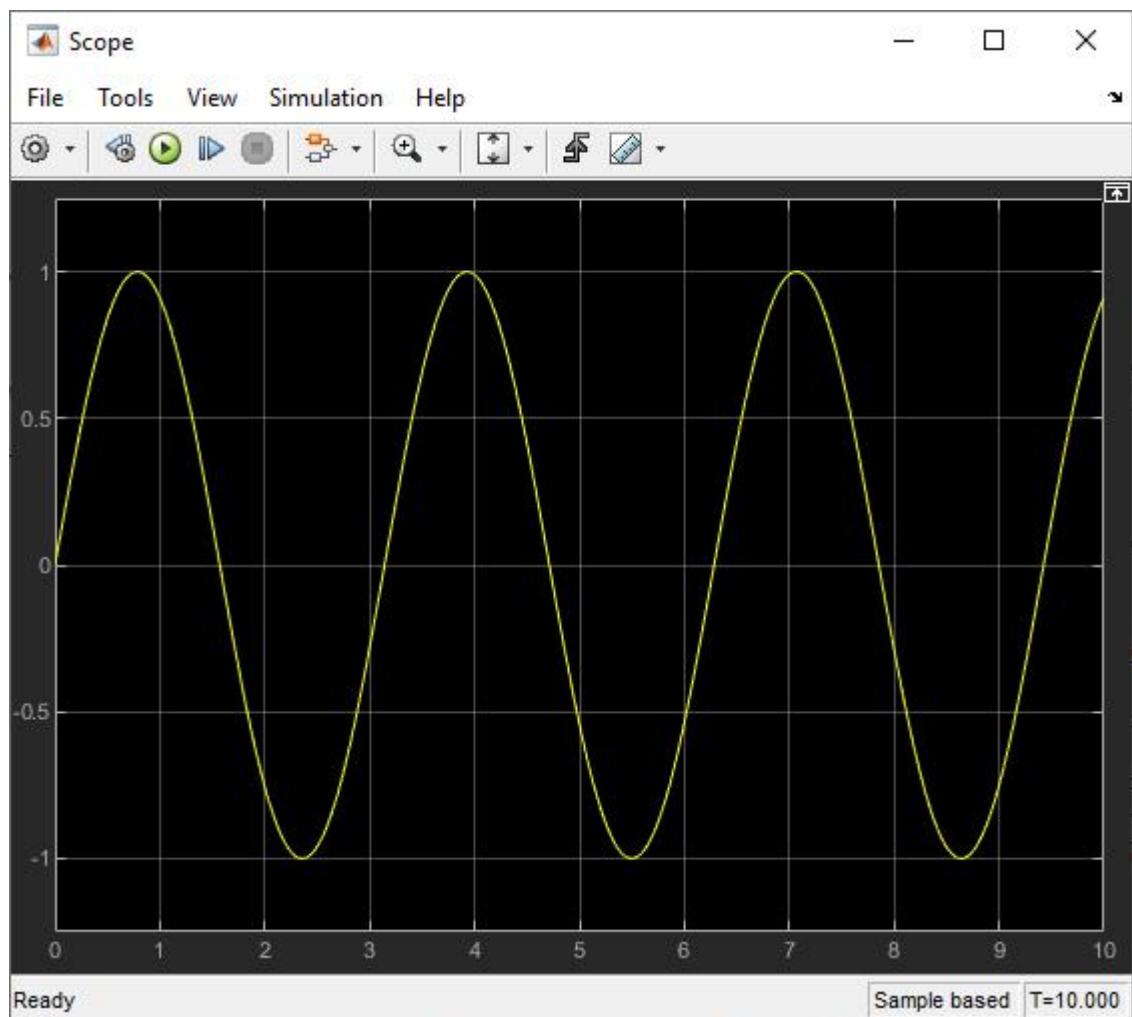
Для всех осциллографов отключим предельное значение отображаемых точек:

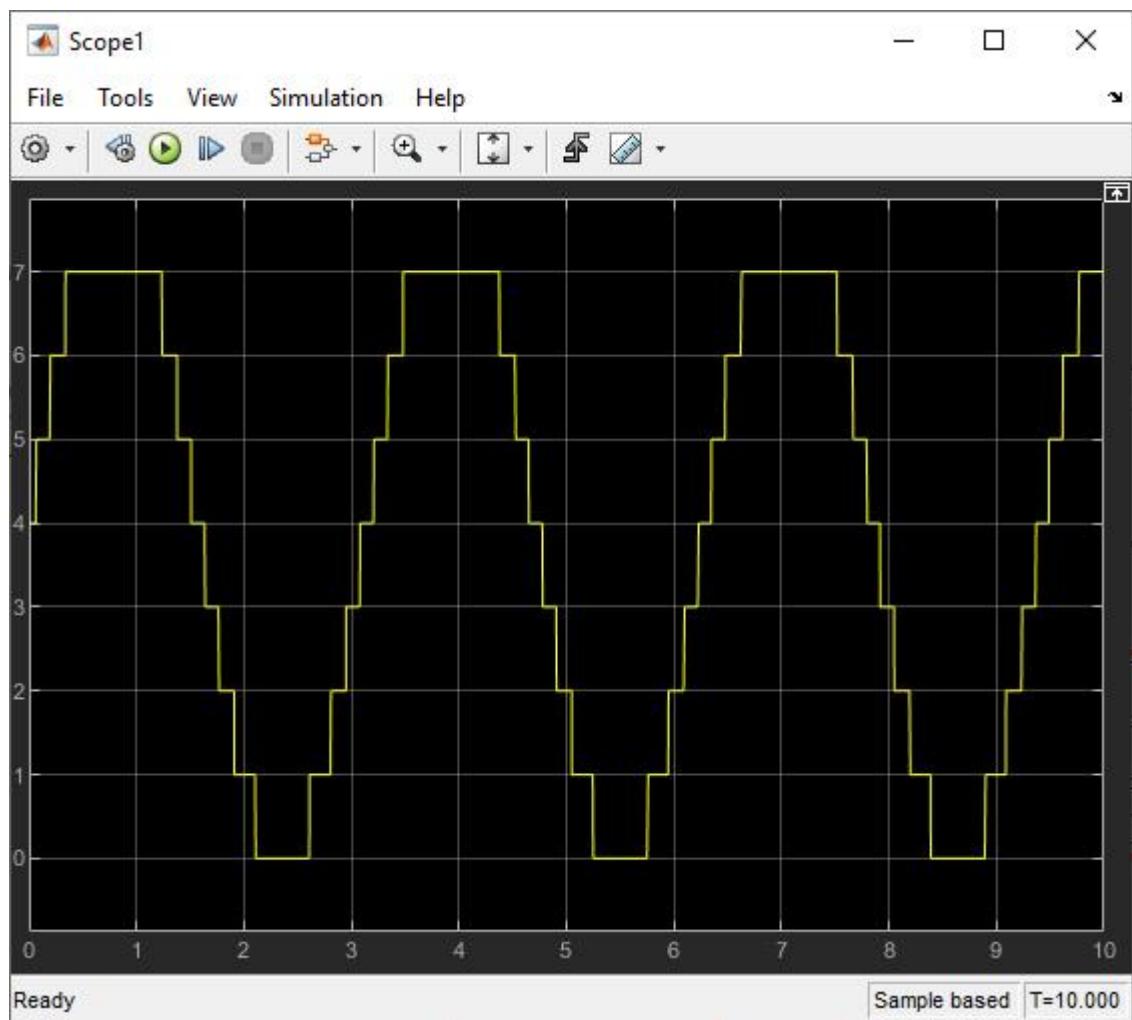


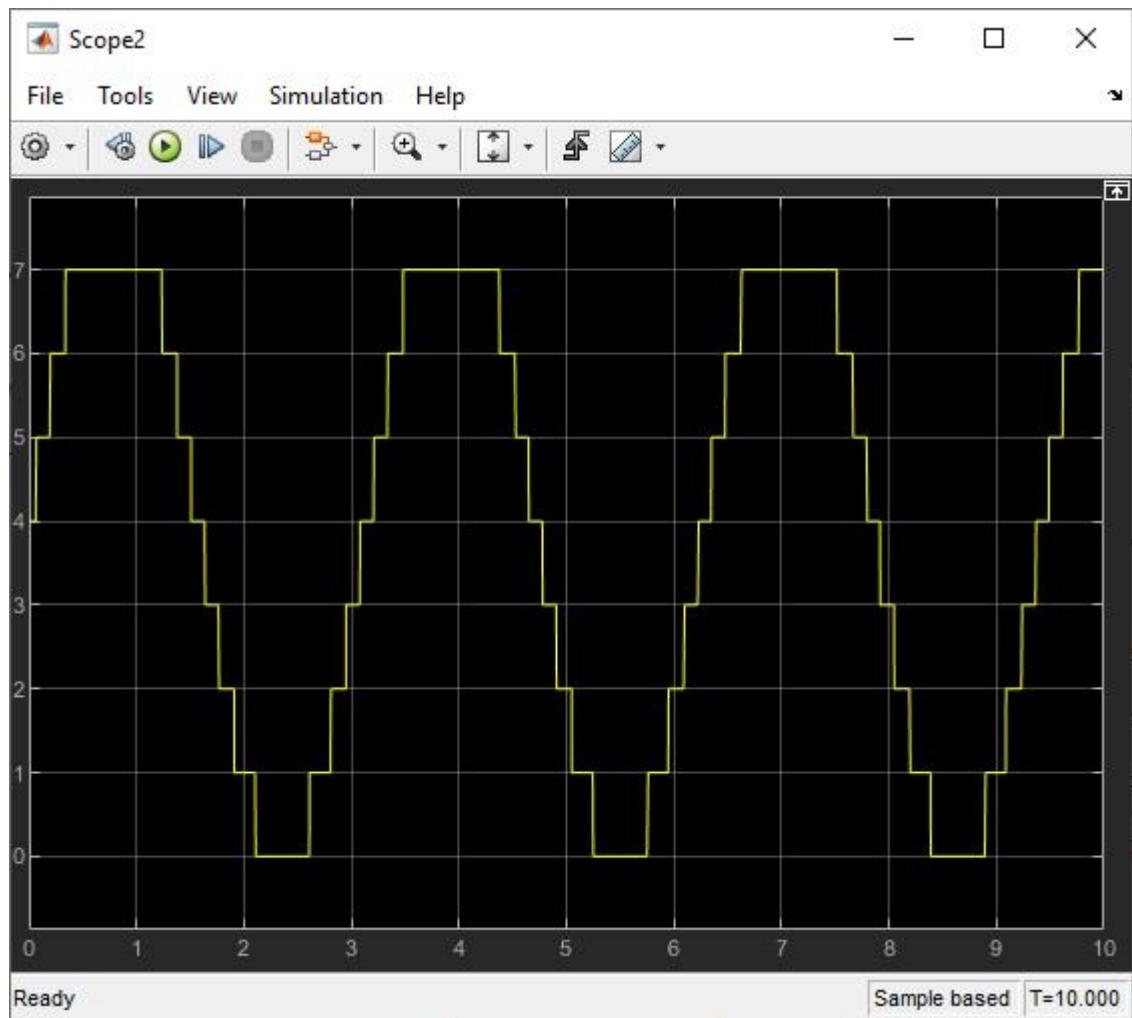
Время моделирования установим равным 10 сек:

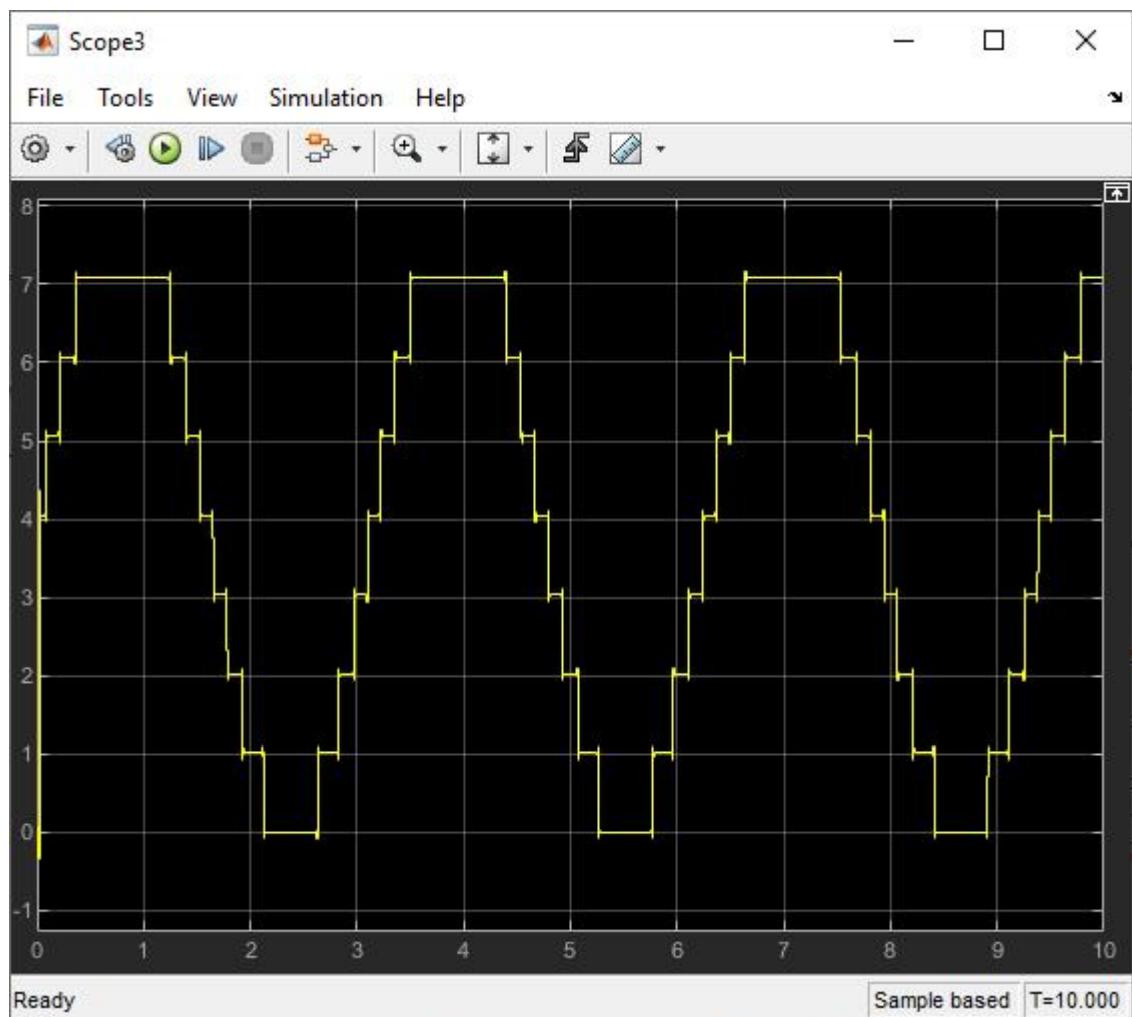


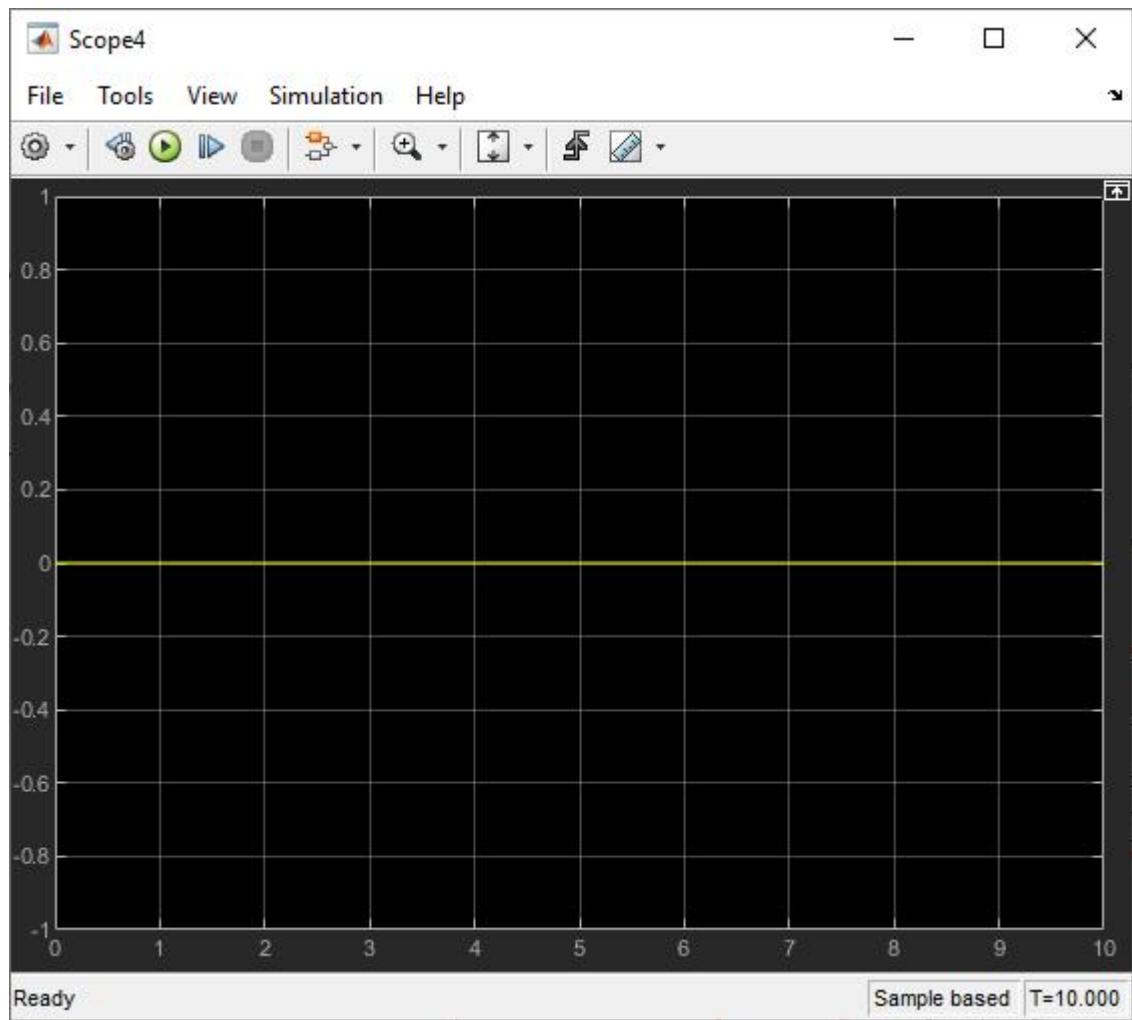
Запустим моделирование и зарисуем графики с каждого из осциллографов, расположив их друг под другом, обозначим цену деления шкалы:



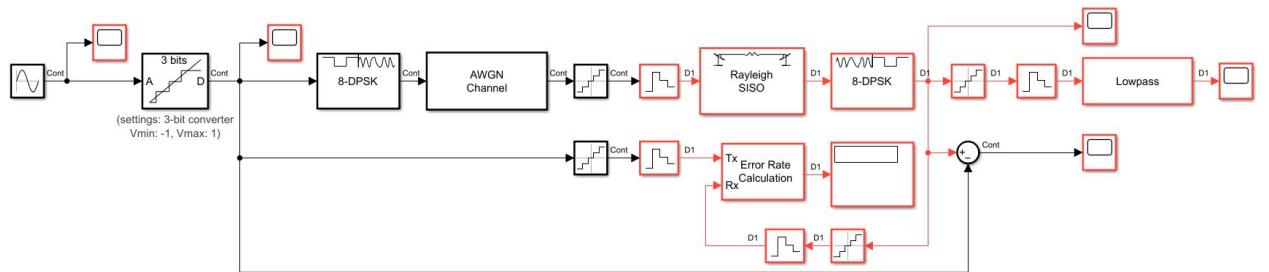




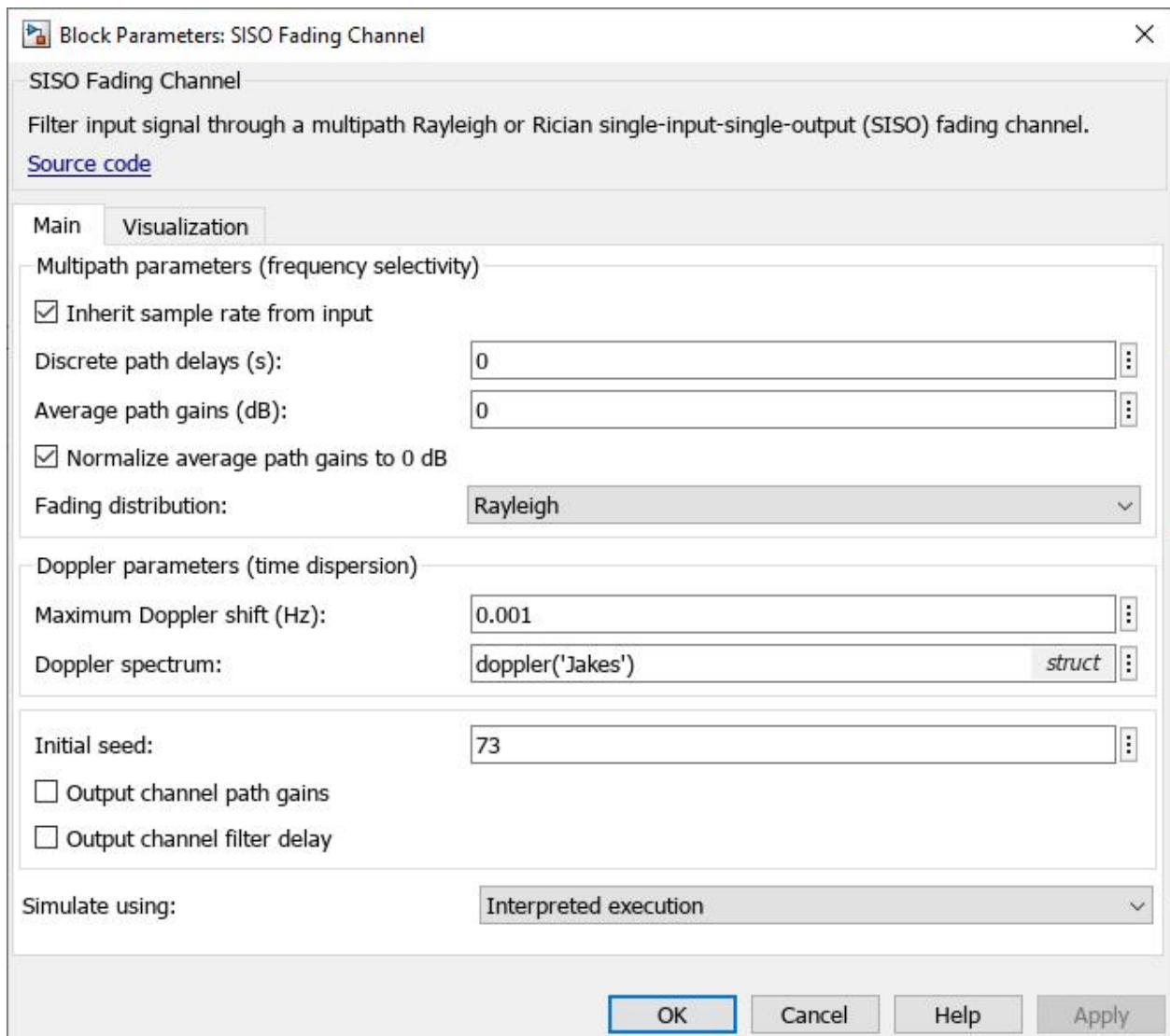




Модернизируем предыдущую схему, добавив в неё блок замирания Релея:

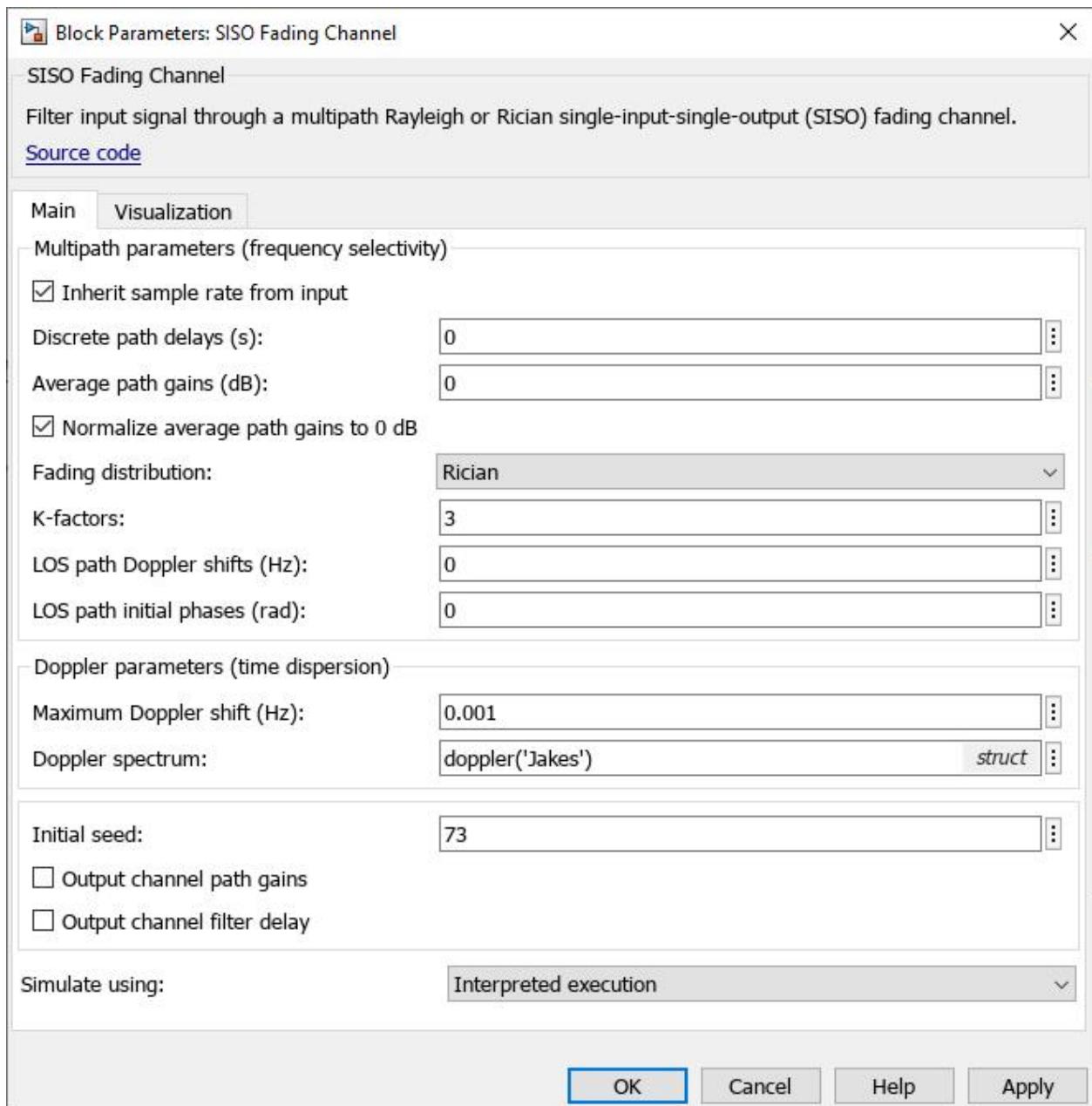


Настроим параметры блока так, чтобы он стал блоком замирания Релея:



Последовательно изменяя параметр Maximum Doppler shift согласно таблице ниже, оценим уровень ошибки принимаемого сигнала и заполним строку таблицы ниже, соответствующей замиранию Релея.

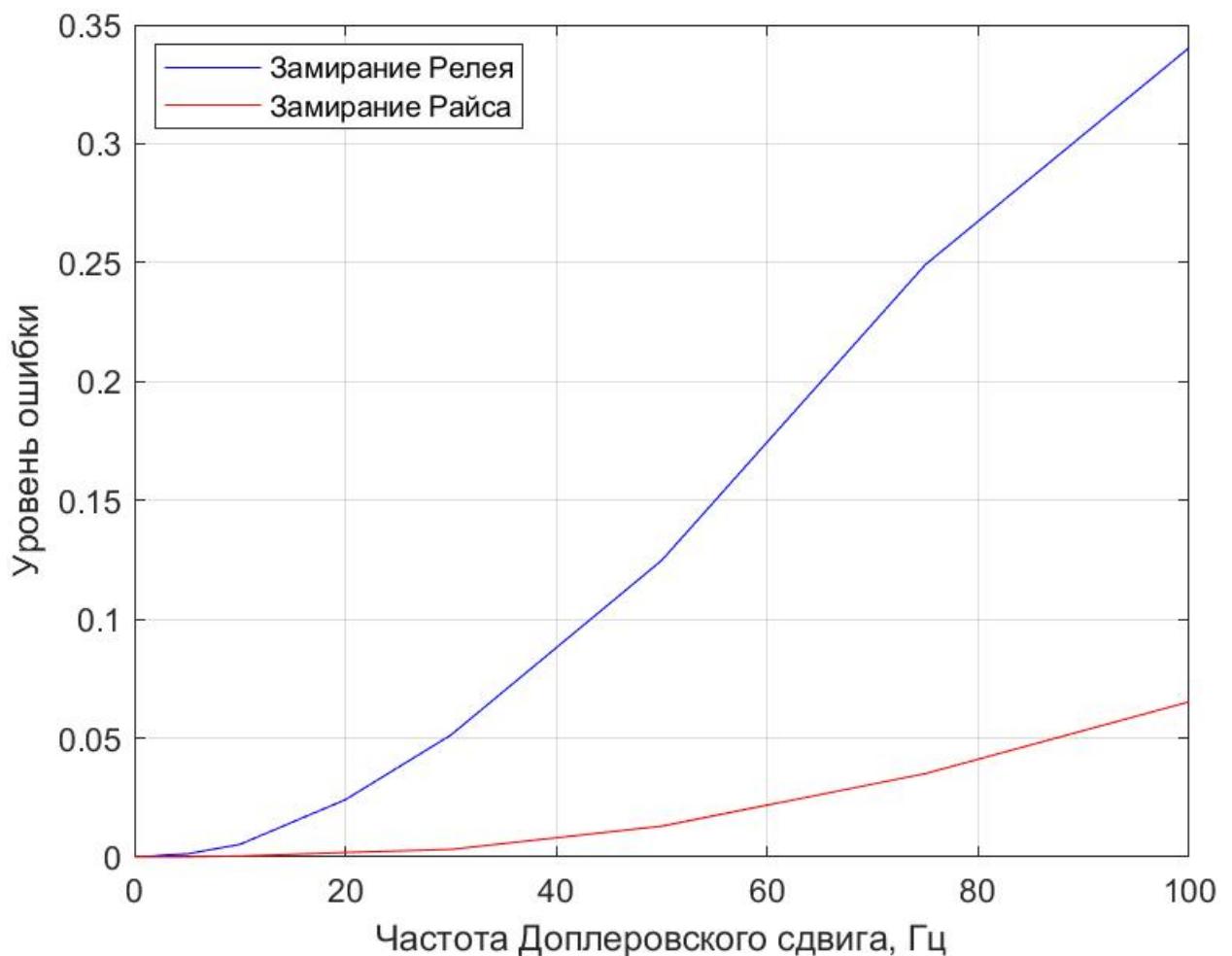
Настроим параметры блока так, чтобы он стал блоком замирания Райса:



Последовательно изменяя параметр Maximum Doppler shift согласно таблице ниже, оценим уровень ошибки принимаемого сигнала и заполним строку таблицы ниже, соответствующей замиранию Райса.

Тип замирания	Частота Доплеровского сдвига, Гц											
	100	75	50	30	20	10	5	3	1	0.1	0.01	0.001
Релея	0.3404	0.2492	0.1248	0.05129	0.0241	0.005299	0.0013	0.000 8999	9.999e- 05	9.999e- 05	9.999e- 05	9.999e- 05
Райса	0.06529	0.0351	0.013	0.0032	0.0019	0.0004	9.999e- 05	9.999e- 05	9.999e- 05	9.999e- 05	9.999e- 05	9.999e- 05

По данным таблицы выше построим графики, характеризующие уровень ошибок, в одной системе координат:



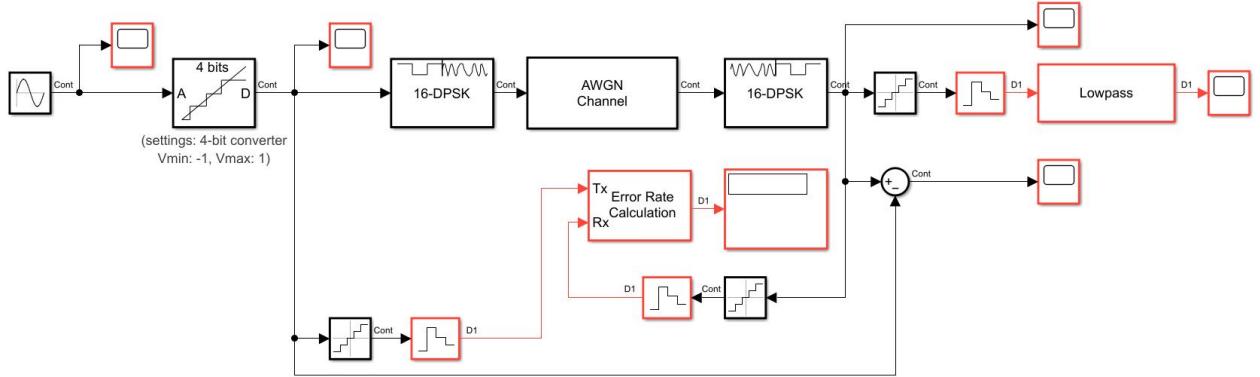
Сделаем выводы по графикам:

- уровень ошибки при замирании Релея начинает увеличиваться при более низкой частоте Доплеровского сдвига, чем при замирании Райса;
- при максимальной частоте Доплеровского сдвига, равного 100 Гц, значение уровня ошибки при замирании Райса на порядок ниже, чем при замирании Релея;
- при минимальной частоте Доплеровского сдвига, равного 0.001 Гц, значение уровня ошибки при замирании Райса равно значению уровня ошибки при замирании Релея.

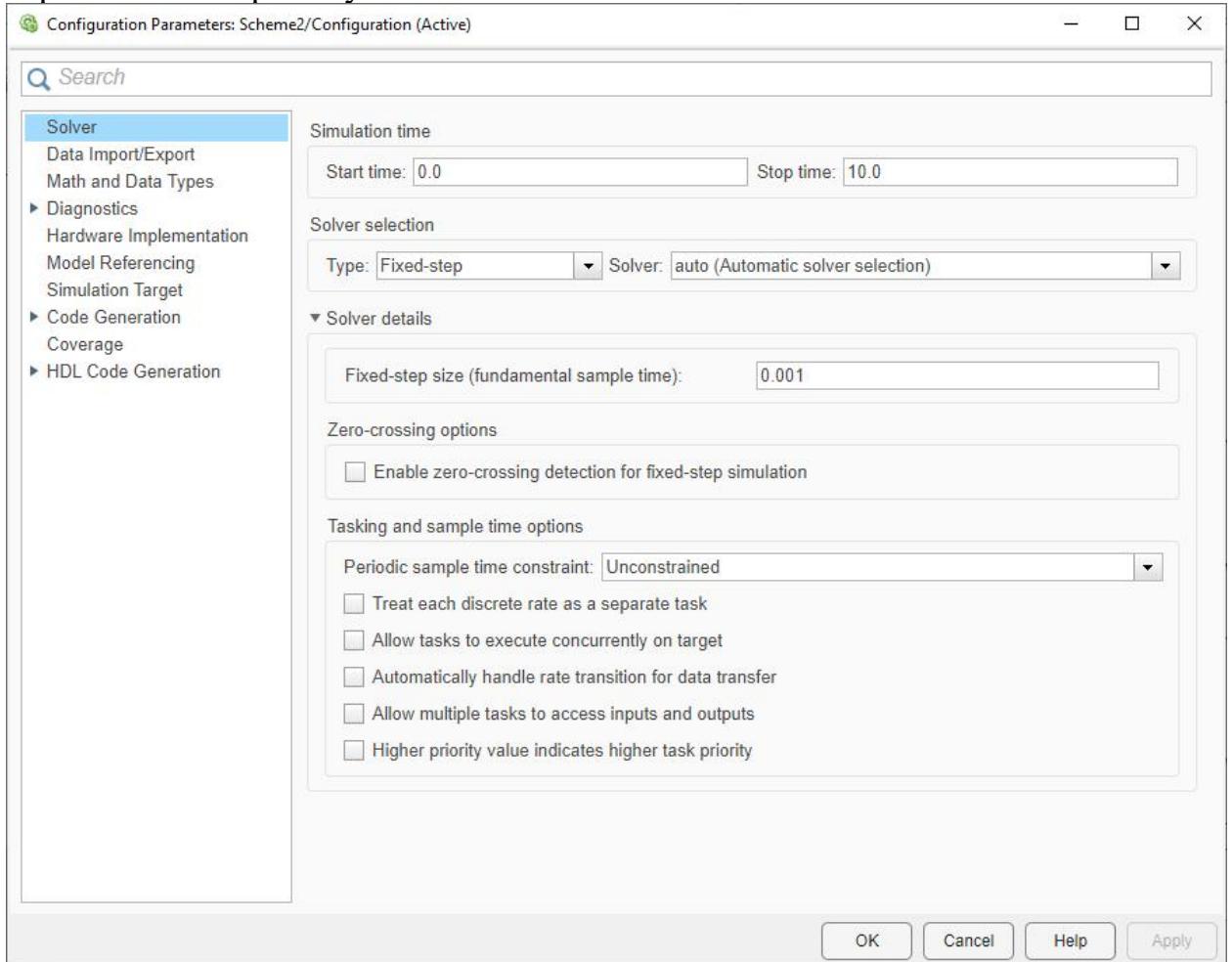
Запишем итоговые выводы по работе: в ходе выполнения данной работы произошло ознакомление с принципами дифференциальной восьмеричной фазовой манипуляции, было изучено влияние затуханий Релея и Раиса на уровень ошибок сигнала, была изучена зависимость уровня ошибок принимаемого сигнала от соотношения сигнал/шум.

5. Исследование дифференциальной шестнадцатеричной фазовой манипуляции и различных типов каналов передачи

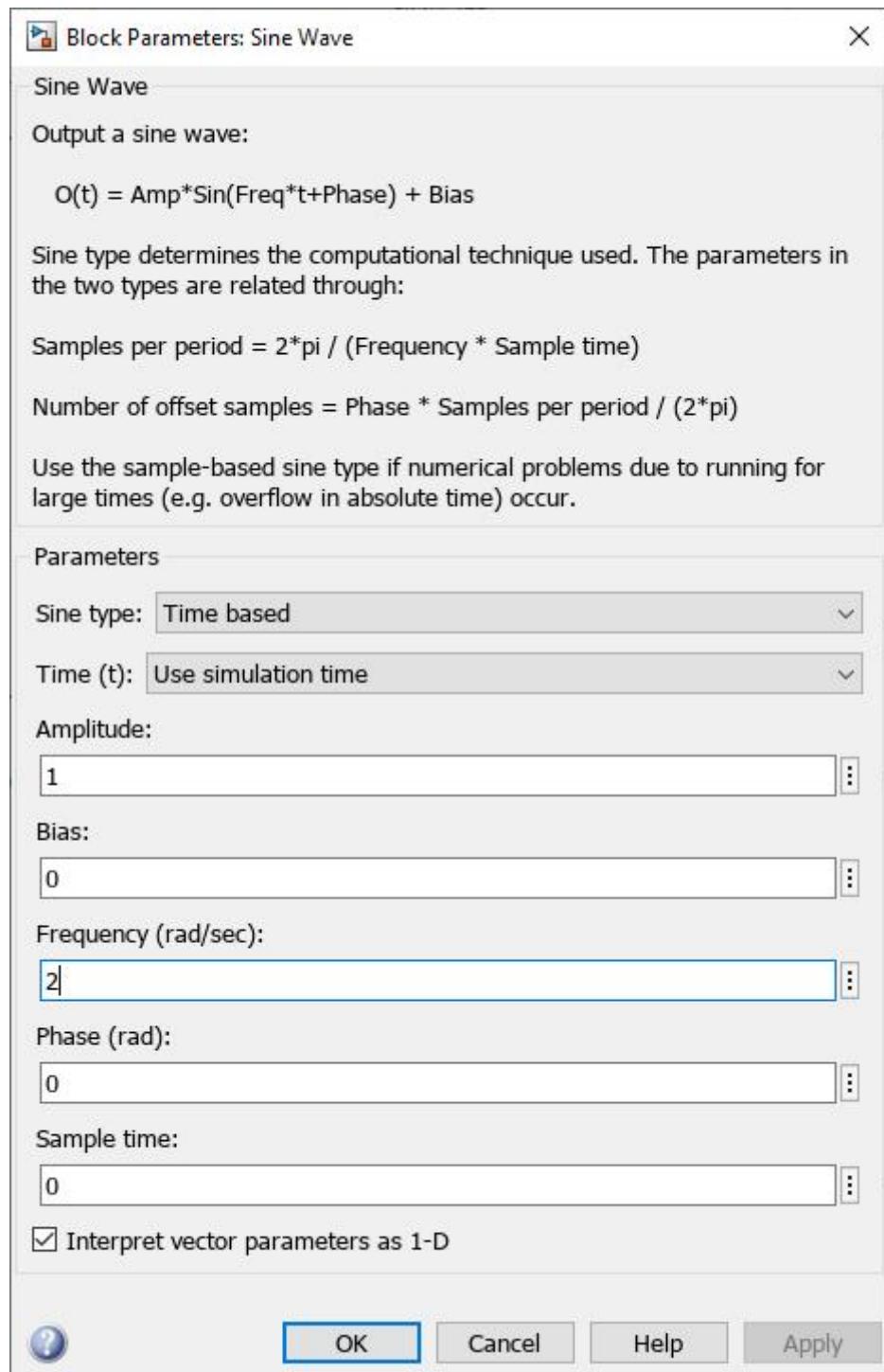
Соберём схему в программном пакете MATLAB Simulink:

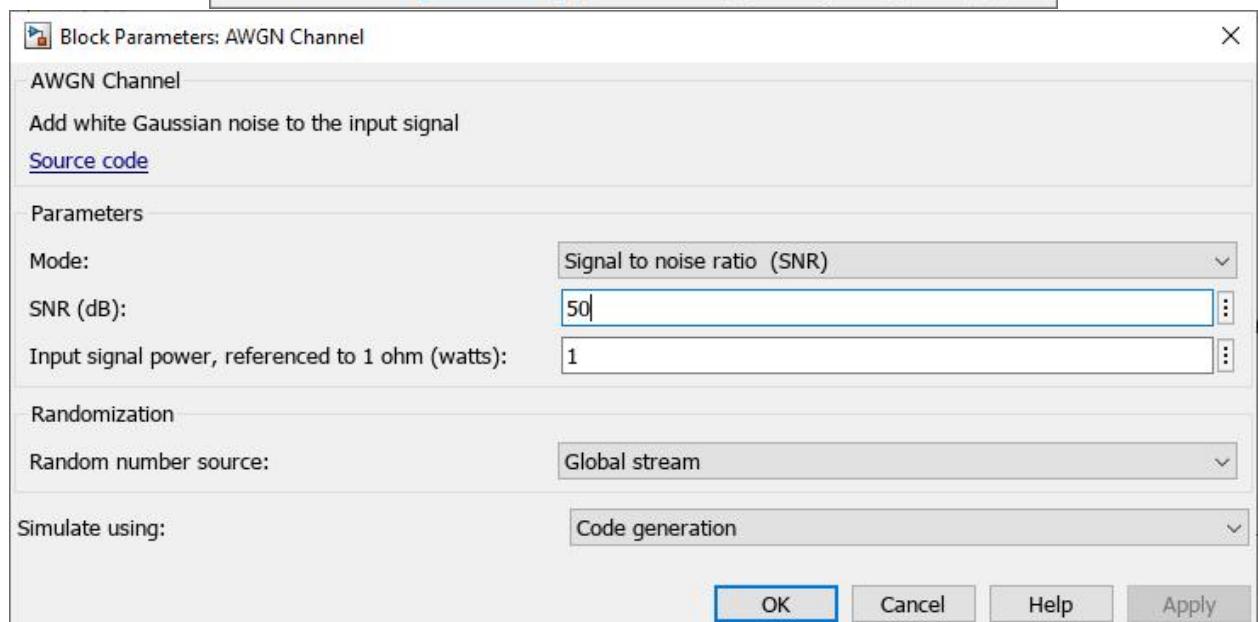
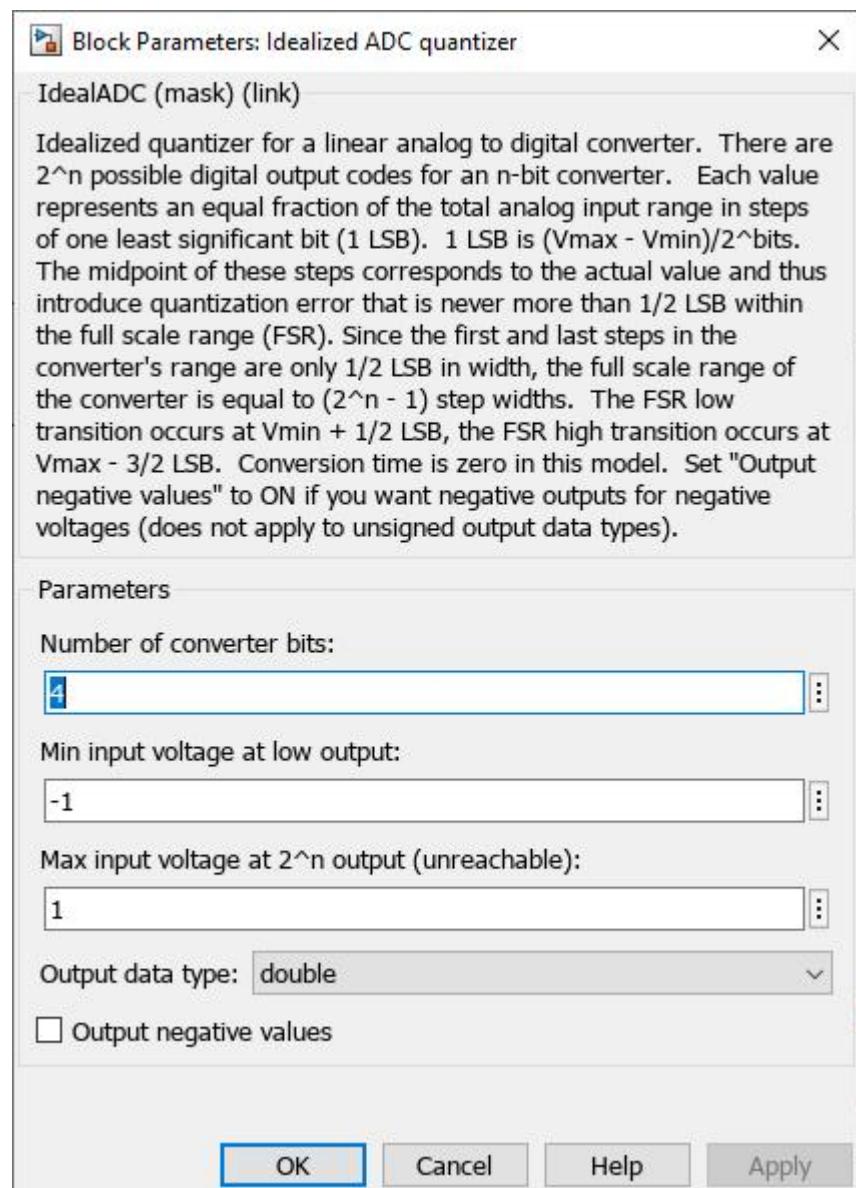


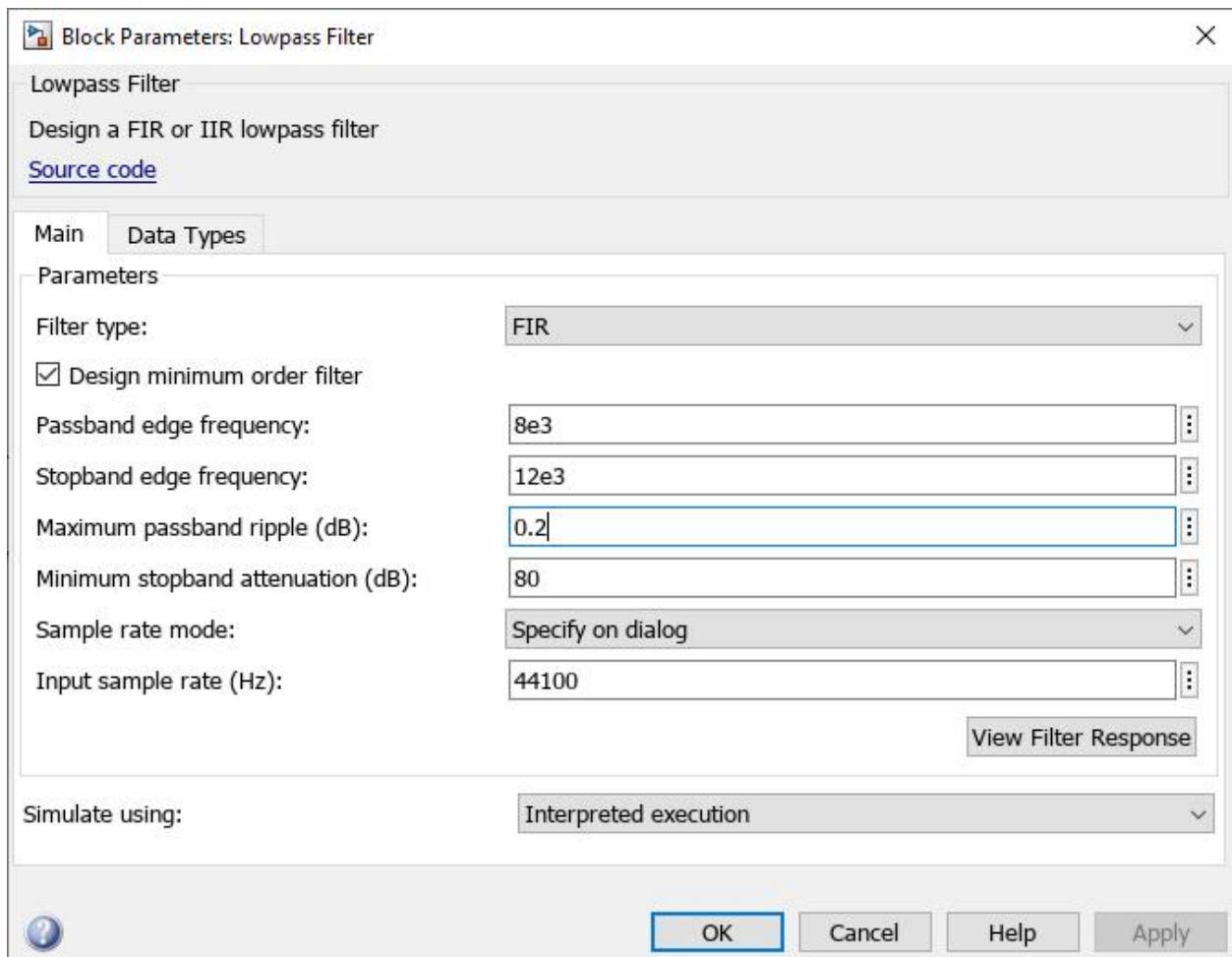
В созданной модели правой кнопкой мыши нажмём на свободную область и выберем Model configuration parameters, в открывшемся окне выберем Solver и в строке Type установим параметр Fixed-step. Ниже, в строке Fixed step size установим значение 0.001.



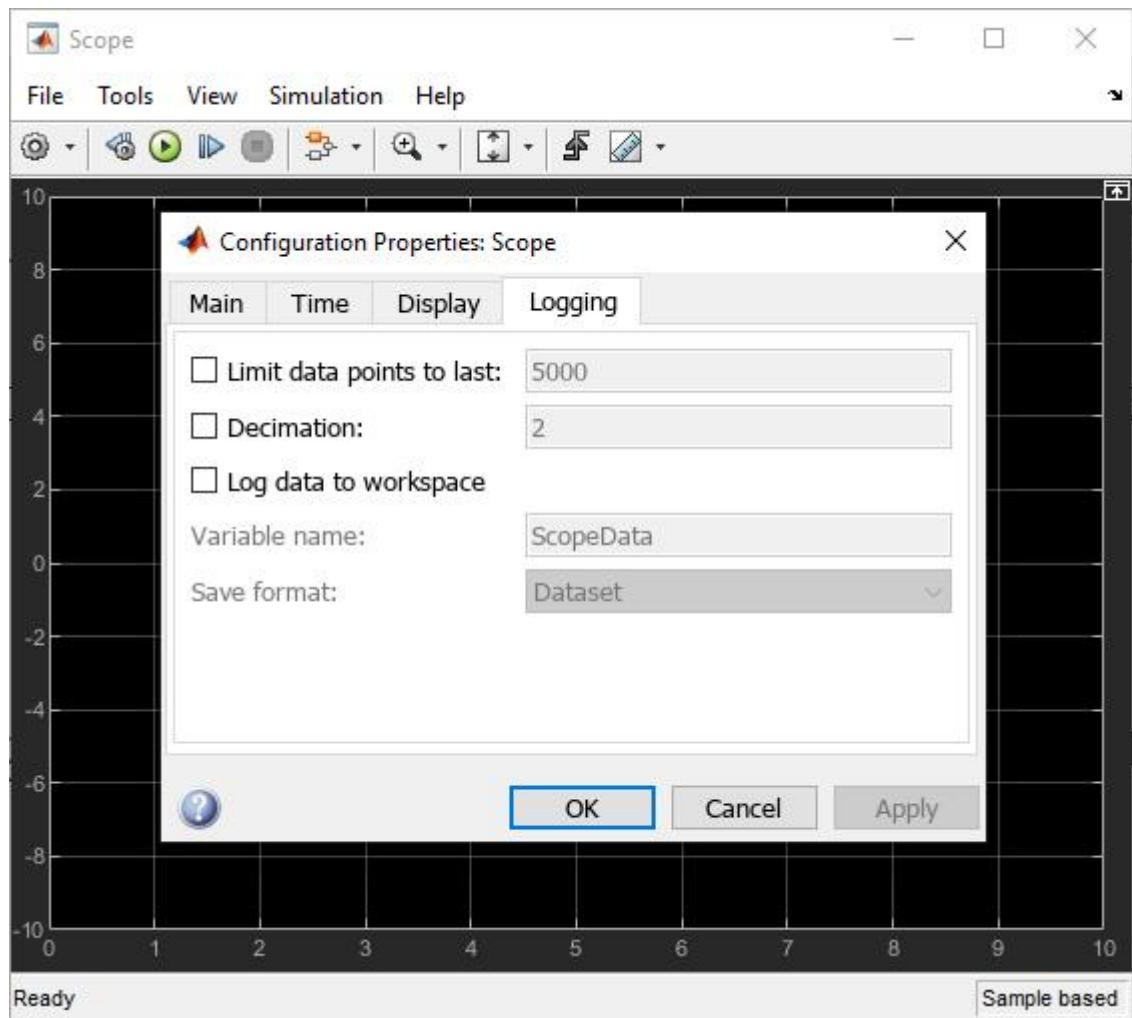
Настроим параметры блоков:







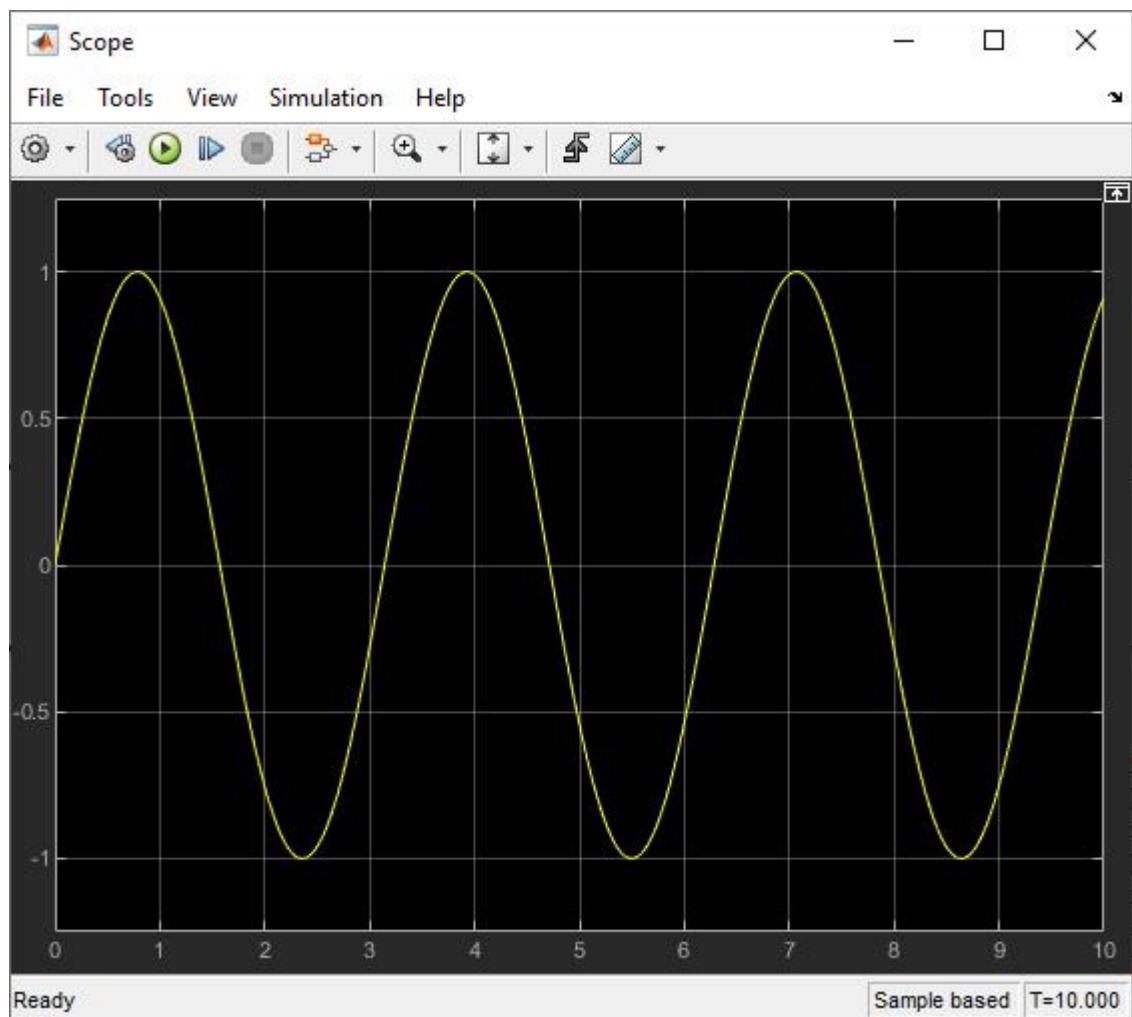
Для всех осциллографов отключим предельное значение отображаемых точек:

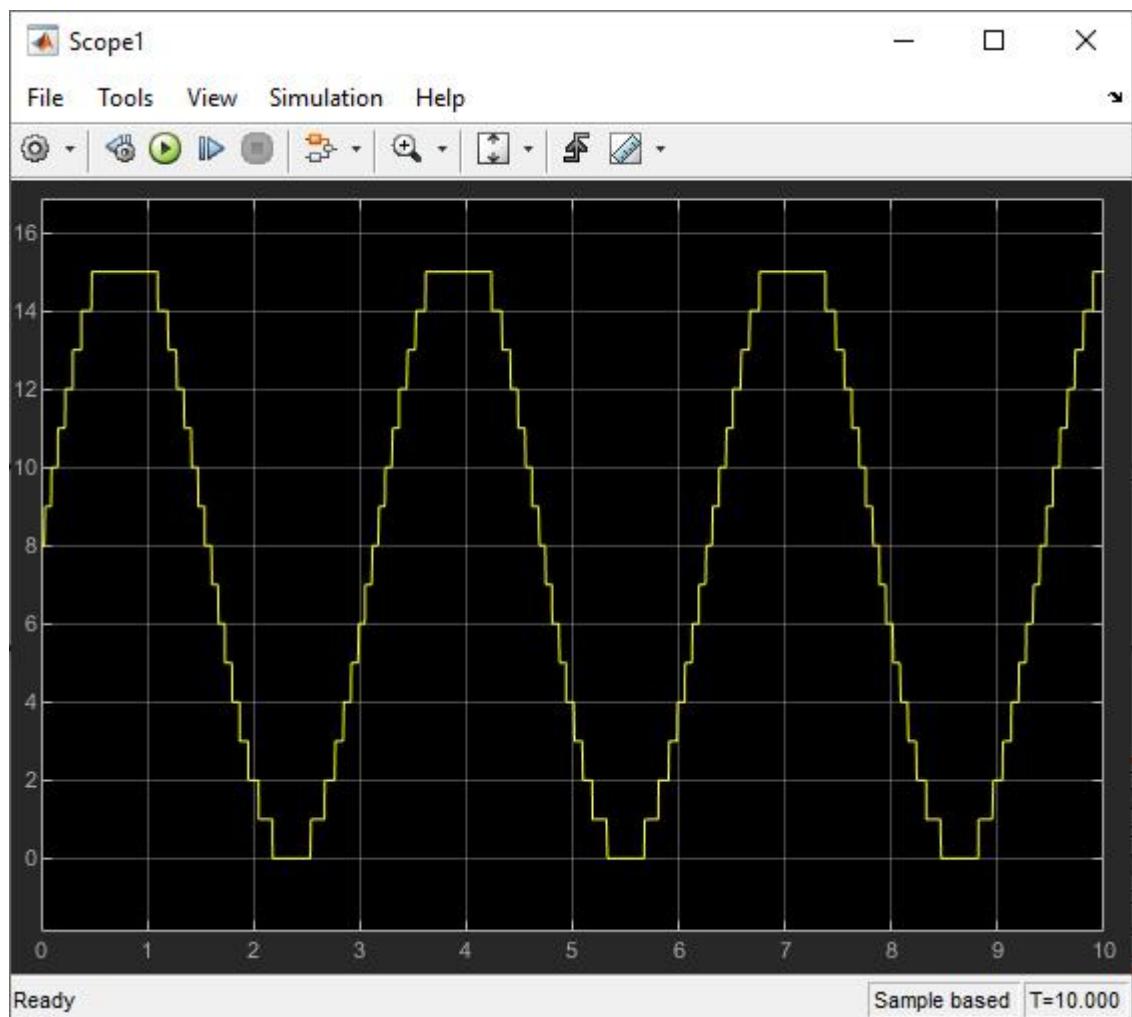


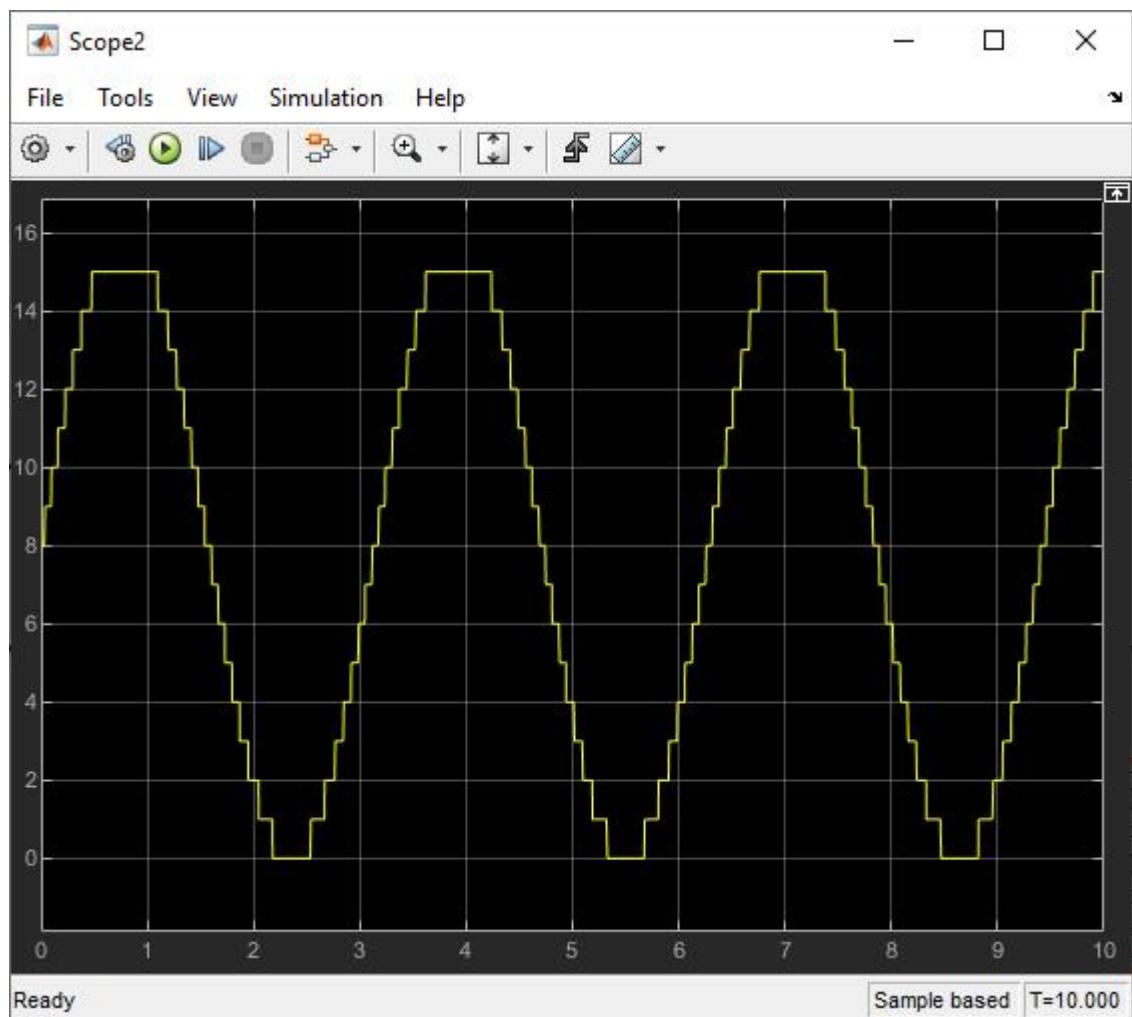
Время моделирования установим равным 10 сек:

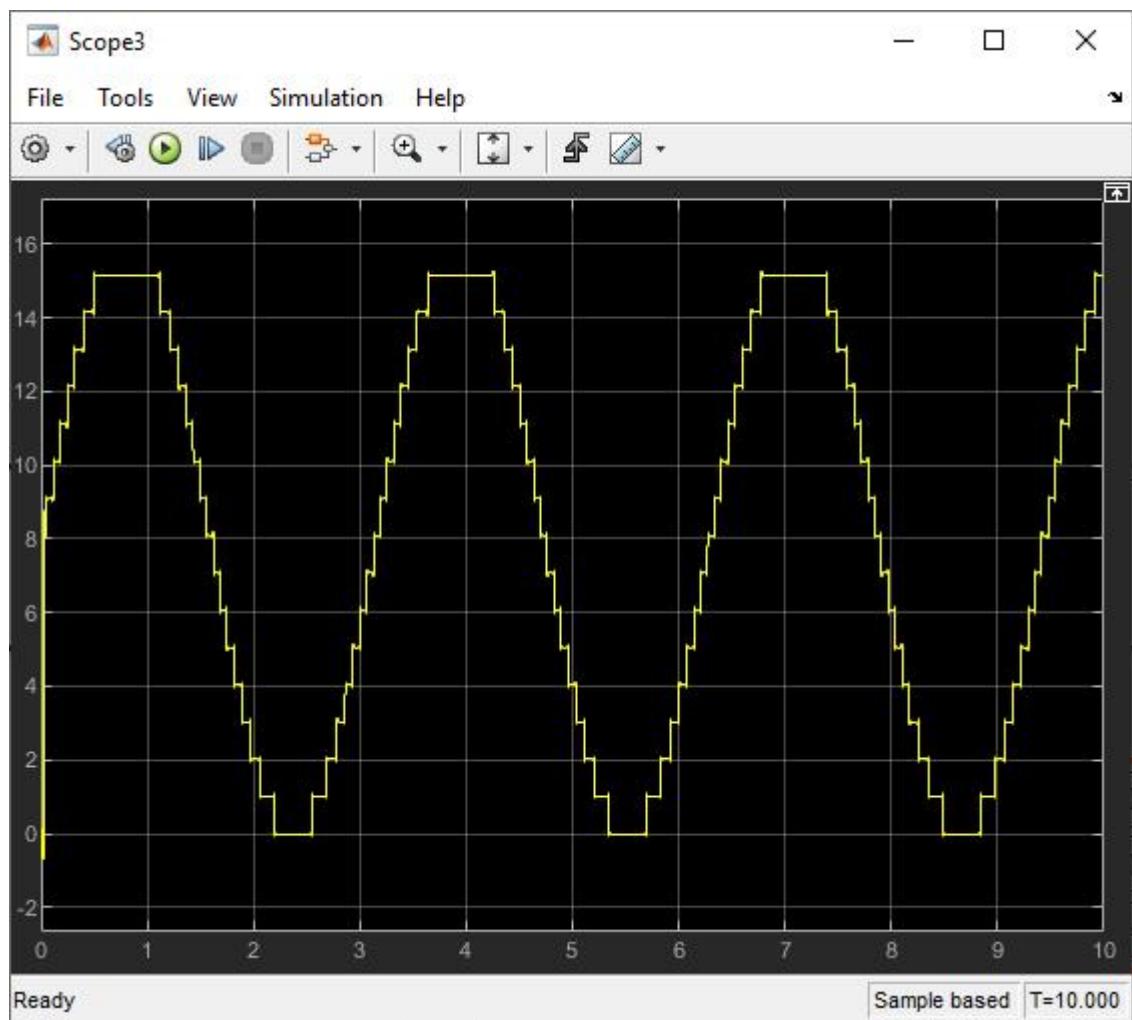


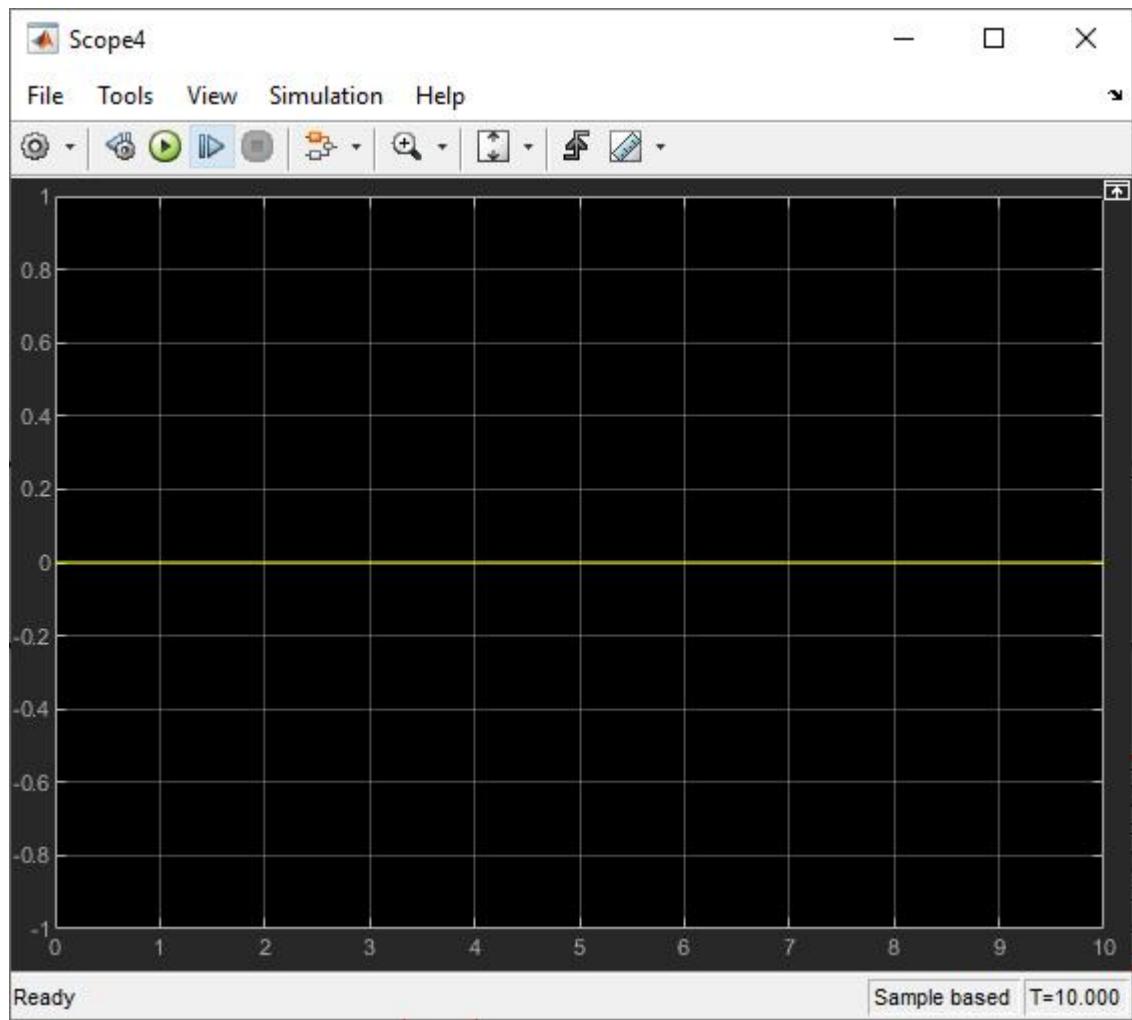
Запустим моделирование и зарисуем графики с каждого из осциллографов, расположив их друг под другом, обозначим цену деления шкалы:



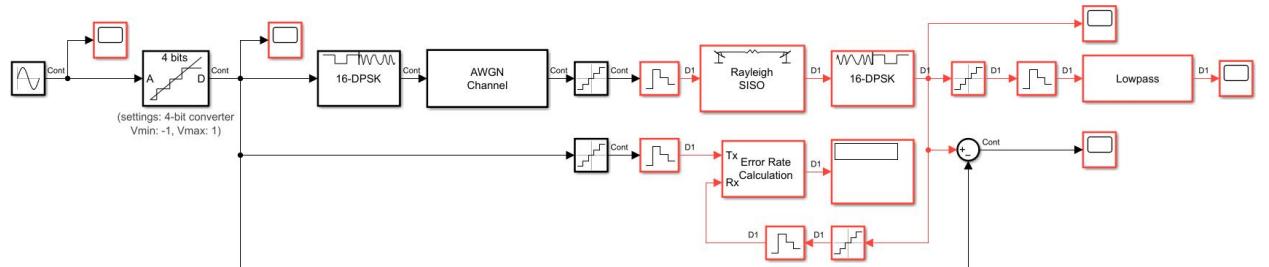




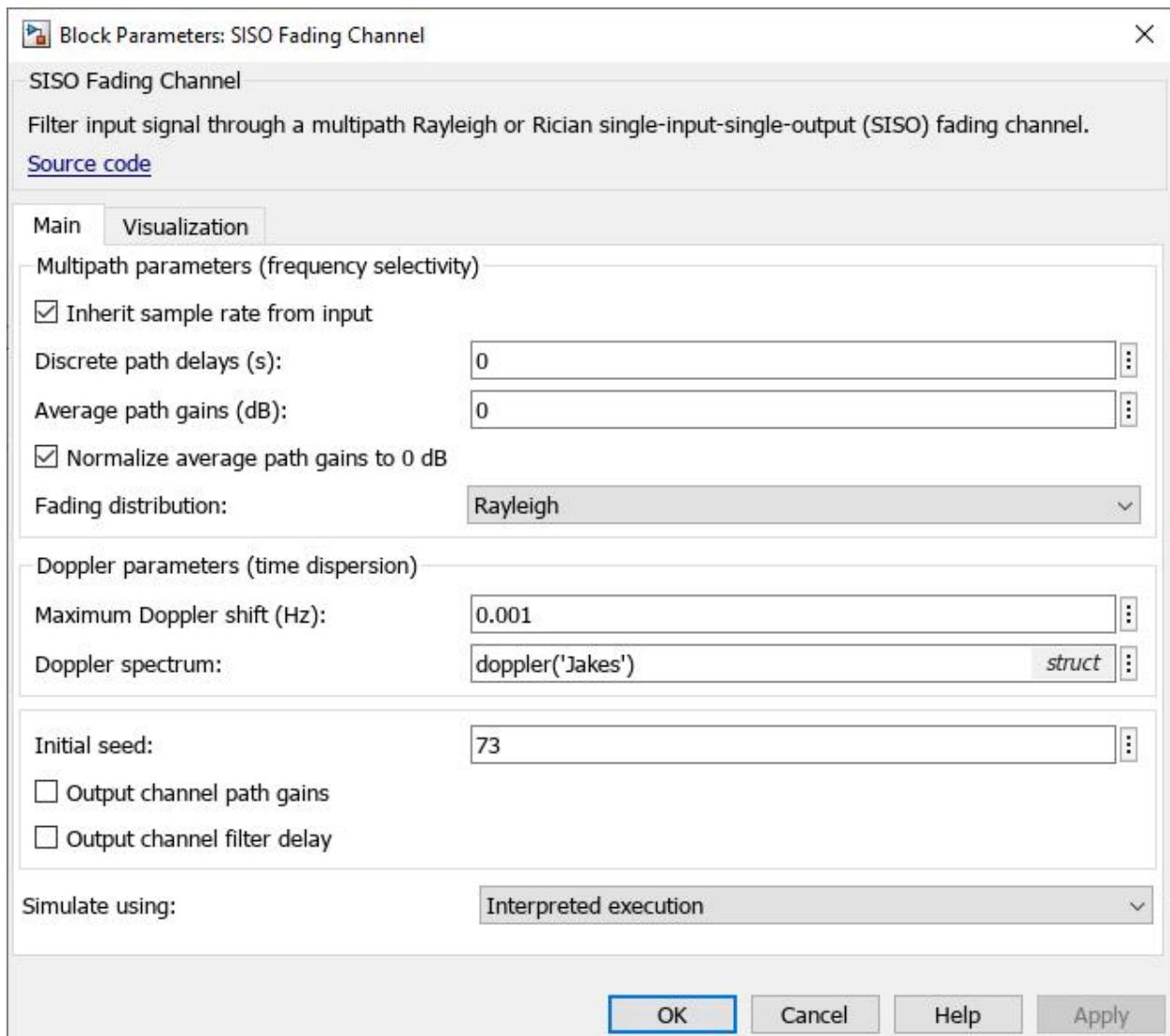




Модернизируем предыдущую схему, добавив в неё блок замирания Релея:

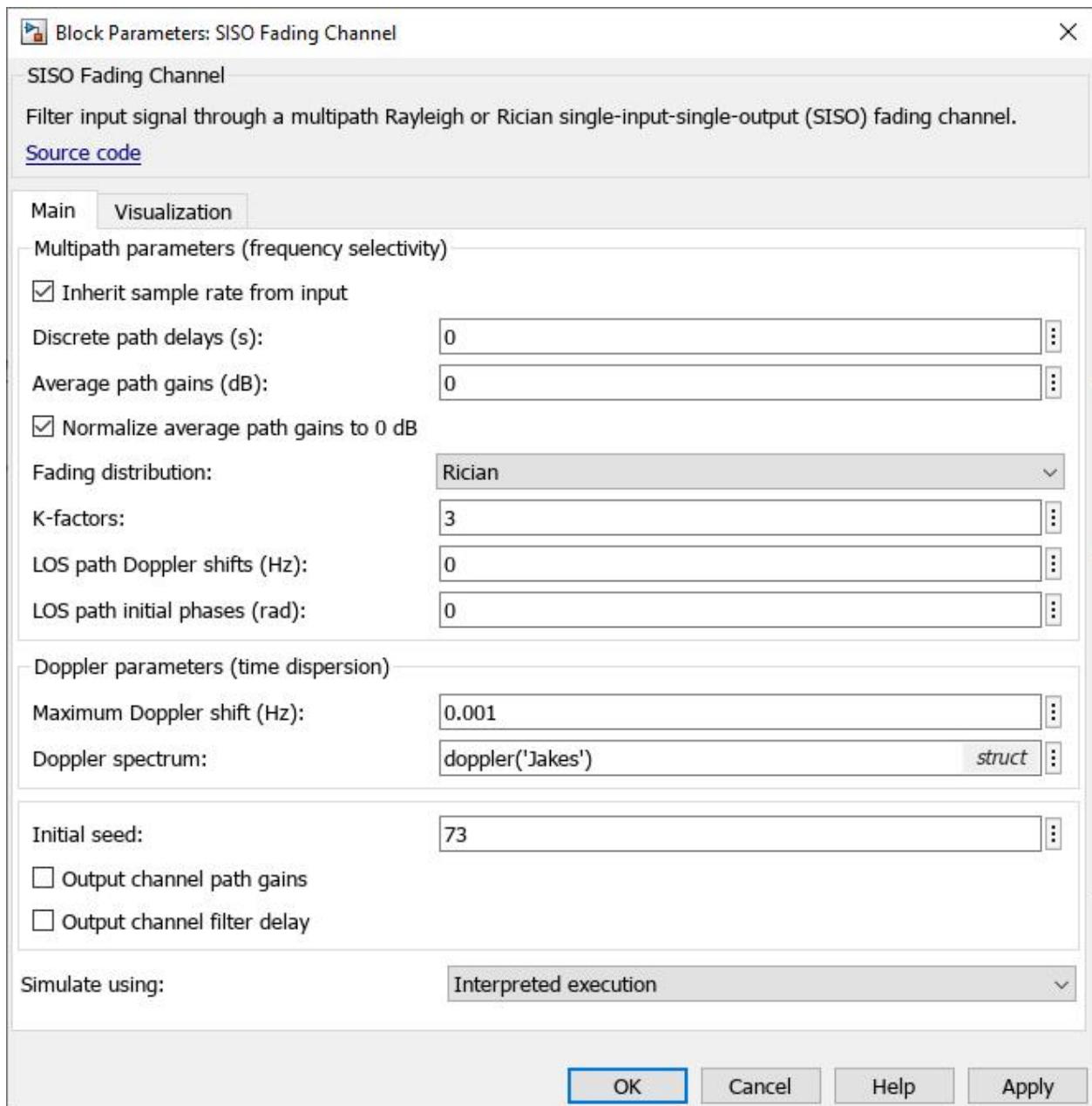


Настроим параметры блока так, чтобы он стал блоком замирания Релея:



Последовательно изменяя параметр Maximum Doppler shift согласно таблице ниже, оценим уровень ошибки принимаемого сигнала и заполним строку таблицы ниже, соответствующей замиранию Релея.

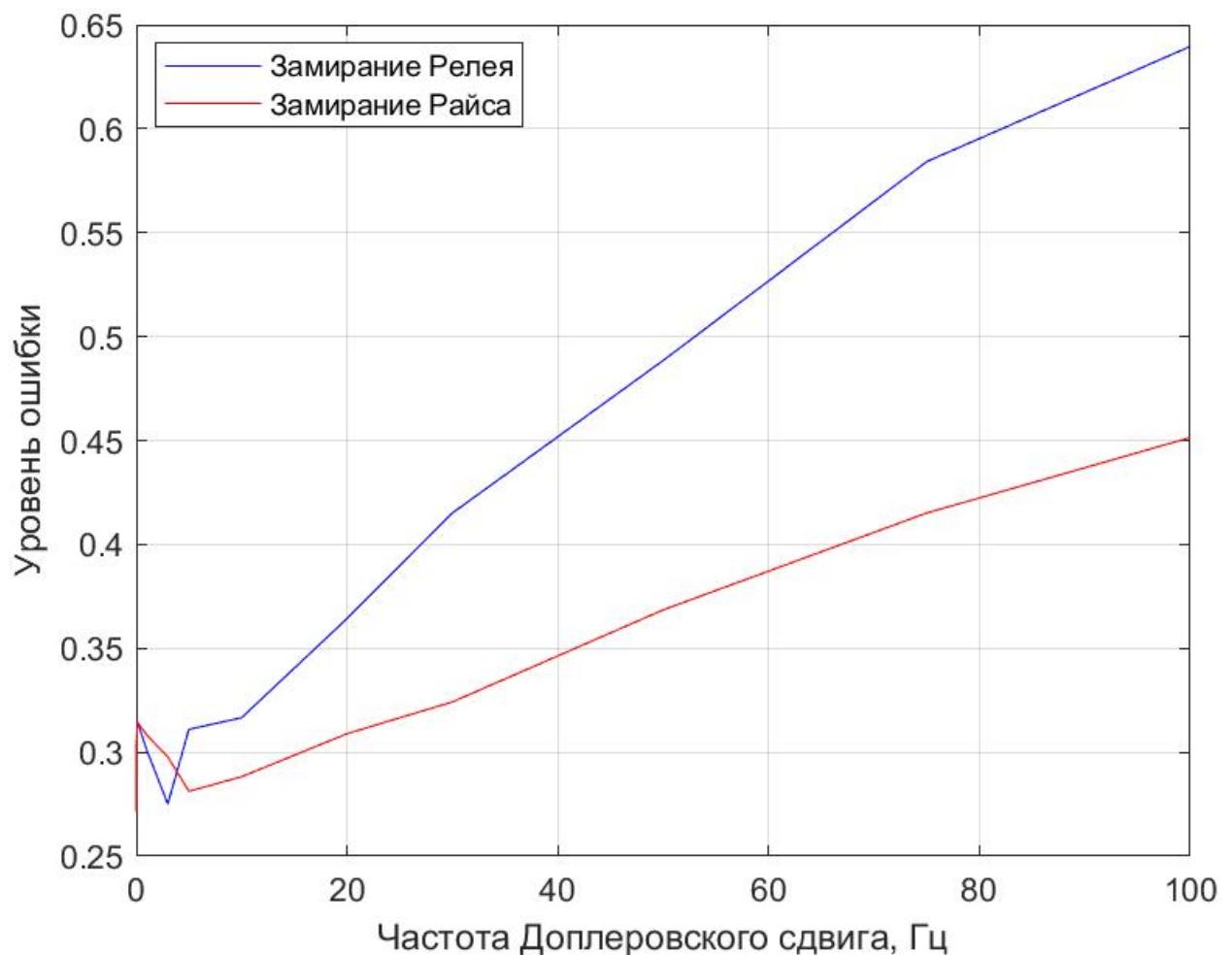
Настроим параметры блока так, чтобы он стал блоком замирания Райса:



Последовательно изменяя параметр Maximum Doppler shift согласно таблице ниже, оценим уровень ошибки принимаемого сигнала и заполним строку таблицы ниже, соответствующей замиранию Райса.

Тип замирания	Частота Доплеровского сдвига, Гц											
	100	75	50	30	20	10	5	3	1	0.1	0.01	0.001
Релея	0.6396	0.5842	0.4885	0.4151	0.3643	0.3166	0.311	0.2751	0.301	0.3148	0.3148	0.3148
Райса	0.4514	0.4151	0.3685	0.3242	0.3089	0.2882	0.2812	0.2977	0.3083	0.3145	0.3033	0.2716

По данным таблицы выше построим графики, характеризующие уровень ошибок, в одной системе координат:



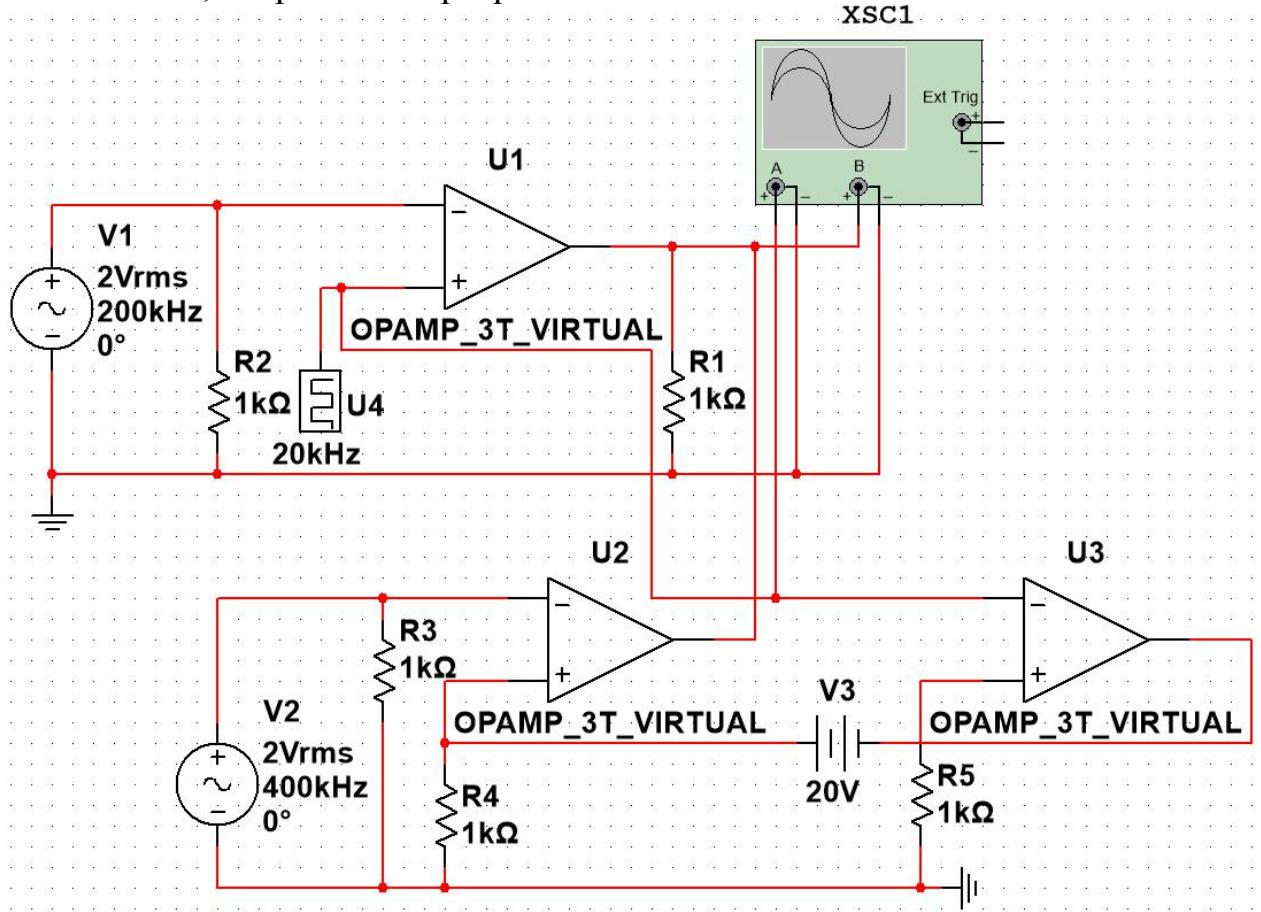
Сделаем выводы по графикам:

- вначале при обоих замираниях происходит скачок уровня ошибки;
- после скачка, уровень ошибки при замирании Релея начинает увеличиваться при более низкой частоте Доплеровского сдвига, чем при замирании Райса;
- при максимальной частоте Доплеровского сдвига, равного 100 Гц, значение уровня ошибки при замирании Райса меньше значения уровня ошибки при замирании Релея;
- при минимальной частоте Доплеровского сдвига, равного 0.001 Гц, значение уровня ошибки при замирании Релея выше значения уровня ошибки при замирании Райса.

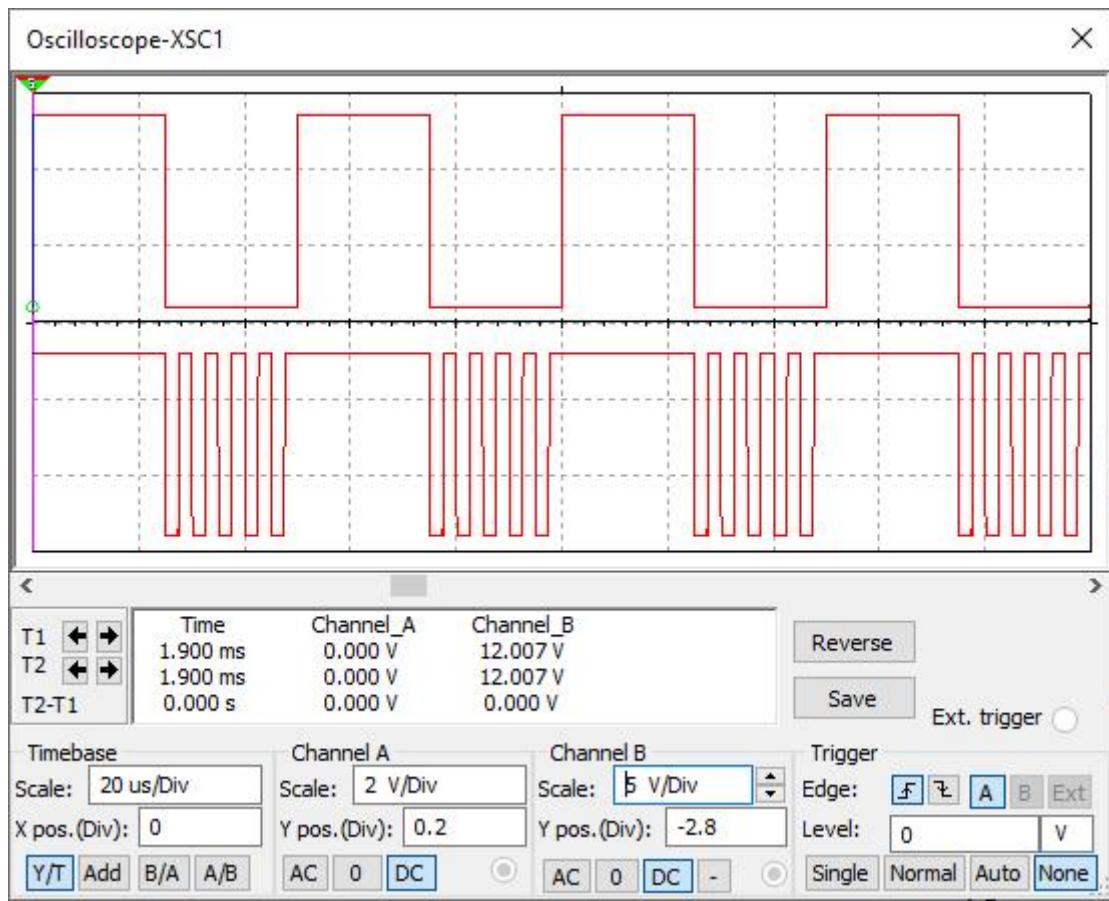
Запишем итоговые выводы по работе: в ходе выполнения данной работы произошло ознакомление с принципами дифференциальной шестнадцатеричной фазовой манипуляции, было изучено влияние затуханий Релея и Раиса на уровень ошибок сигнала, была изучена зависимость уровня ошибок принимаемого сигнала от соотношения сигнал/шум.

Частотный модулятор цифровых сообщений

Схема, собранная в программе Multisim:

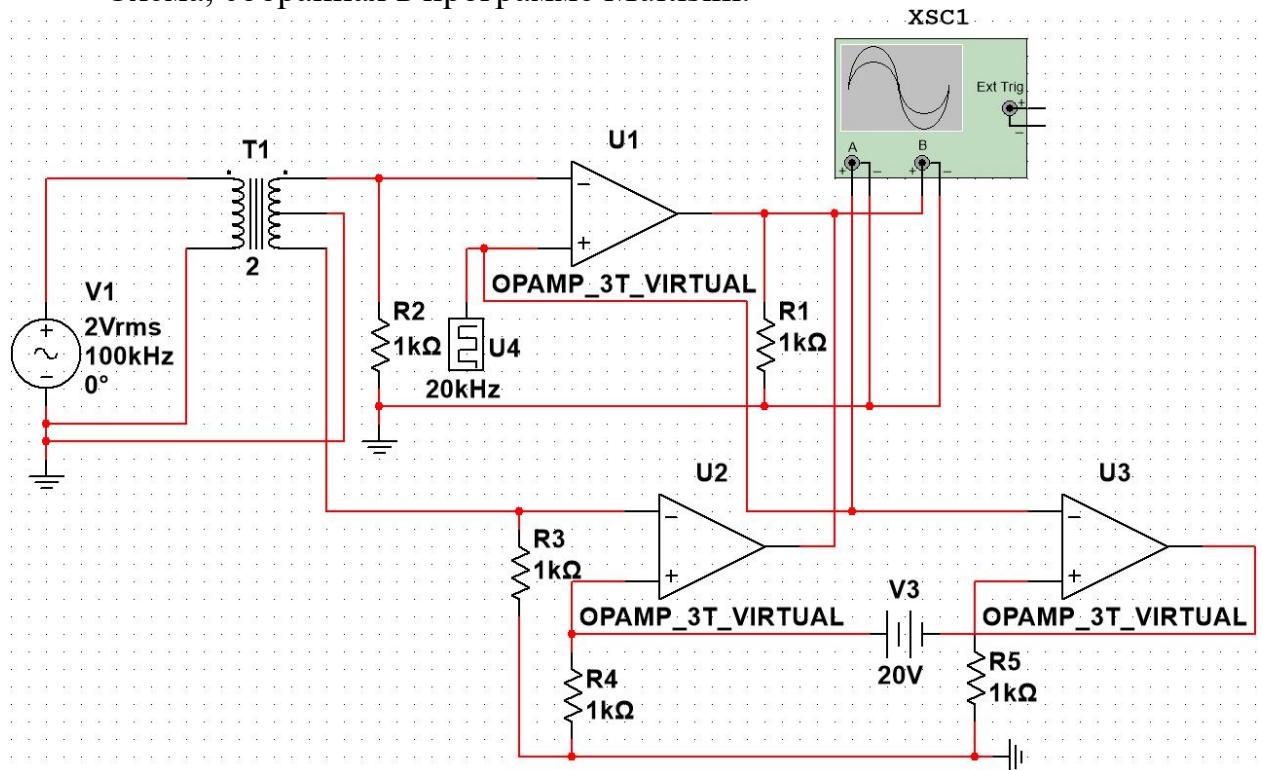


Осциллографма:



Фазовый модулятор цифровых сообщений

Схема, собранная в программе Multisim:



Осциллографма:

