ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Лінійна цифрова модуляція

Мета роботи - дослідження залежності завадостійкості від форми сигнального сузір'я, дослідження залежності завадостійкості від кількості точок у сигнальному сузір'ї, дослідження залежності завадостійкості від способу розміщення бітових комбінацій за точками сигнального сузір'я, дослідження спектральних і кореляційних характеристик сигналу з лінійною модуляцією.

Вказівки до виконання роботи

1. Дослідження впливу форми сузір'я (виду модуляції) на завадостійкість системи зв'язку.

Запустіть програму **MATLAB**, відкрийте стартове вікно **Simulink (Simulink Start Page)** і клацніть у цьому вікні на шаблоні **Blank Model**, щоб створити порожнє вікно для нової моделі.

У вікні моделі клацніть кнопку **Library Browser**, щоб відкрити вікно бібліотеки блоків **Simulink**.

Побудуйте модель системи зв'язку з амплітудною модуляцією, використовуючи такі блоки:

- джерело даних – блок генерації бітового потоку (**Communications Toolbox ⇒ Comm Sources ⇒ Random Data Sources ⇒ Bernoulli Binary Generator**);
- перетворювач послідовного коду в паралельний – блок буфера (**DSP System Toolbox ⇒ Signal Management ⇒ Buffers ⇒ Buffer**);
- модулятор – блок моделювання комплексної огинаючої сигналу з амплітудною модуляцією (АМ) (**Communications Toolbox ⇒ Modulation ⇒ Digital Baseband Modulation ⇒ PAM/QAM ⇒ M-PAM Modulator Baseband**);
- канал зв'язку – блок моделювання каналу з адитивним білим гауссівським шумом (АБГШ) (Additive White Gaussian Noise – AWGN) (**Communications Toolbox ⇒ Channels ⇒ AWGN Channel**);

• демодулятор – блок демодуляції комплексної огинаючої сигналу з амплітудною модуляцією (АМ) (**Communications Toolbox ⇒ Modulation ⇒ Digital Baseband Modulation ⇒ PAM/QAM ⇒ M-PAM Demodulator Baseband**);

• перетворювач паралельного коду в послідовний – блок дебуферизації **(DSP System Toolbox ⇒ Signal Management ⇒ Buffers ⇒ Unbuffer**);

• приймач даних – блок оцінювання ймовірності бітової помилки (**Communications Toolbox ⇒ Comm Sinks ⇒ Error Rate Calculation**);

• індикатор імовірності помилки – блок числового дисплея (**Simulink ⇒ Sinks ⇒ Display**).

Крім того, для перегляду форми сигнального сузір'я додайте до моделі блок візуалізації діаграми розсіювання (**Communications Toolbox ⇒ Comm Sinks ⇒ Constellation Diagram**) і подайте на нього сигнал із виходу блока **AWGN Channel**. У результаті має вийти модель, як на рис. 1.

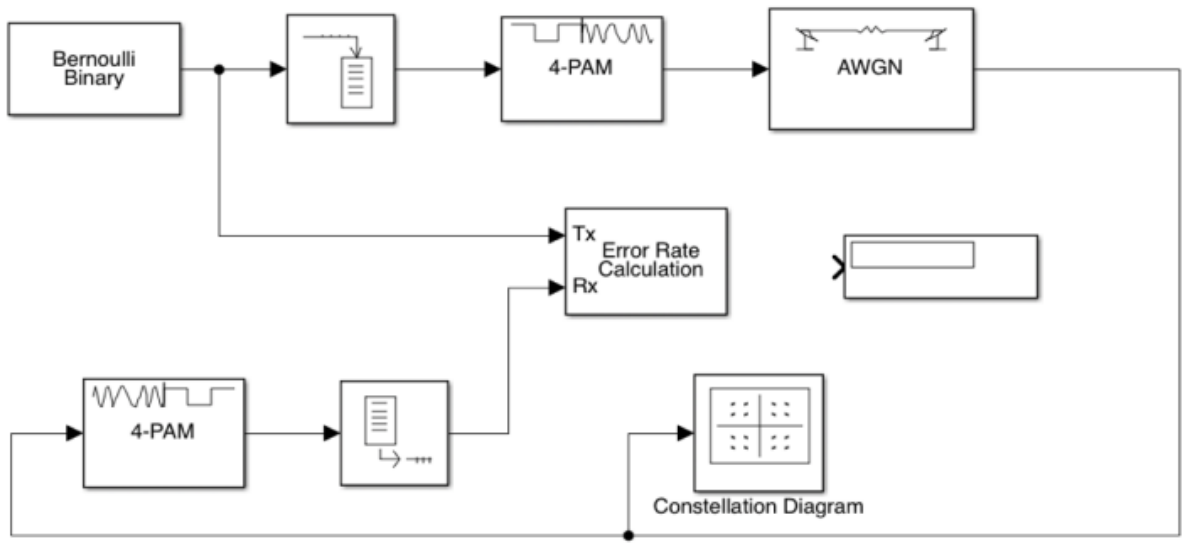


Рис. 1 Модель із модулятором і демодулятором АМ

Переходимо до налаштування блоків моделі (для не зазначених далі параметрів залиште значення за замовчуванням).

• ***Буфер*** (рис. 2):

- Розмір буфера (**Output buffer size (per channel)**) – 4 (оскільки використовуються 4-бітові символи).

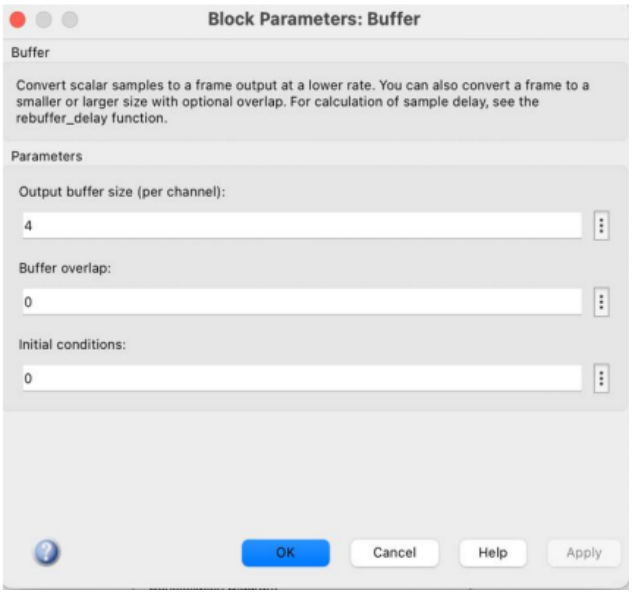


Рис. 2 Налаштування блока Buffer

• ***Модулятор*** (рис. 3):

- кількість точок у сузір'ї (**M-ary number**) – 16 (2^4);
- тип вхідних даних (**Input type**) – **Bit** (оскільки на вхід надходять саме біти, а не багатобітові цілі числа).

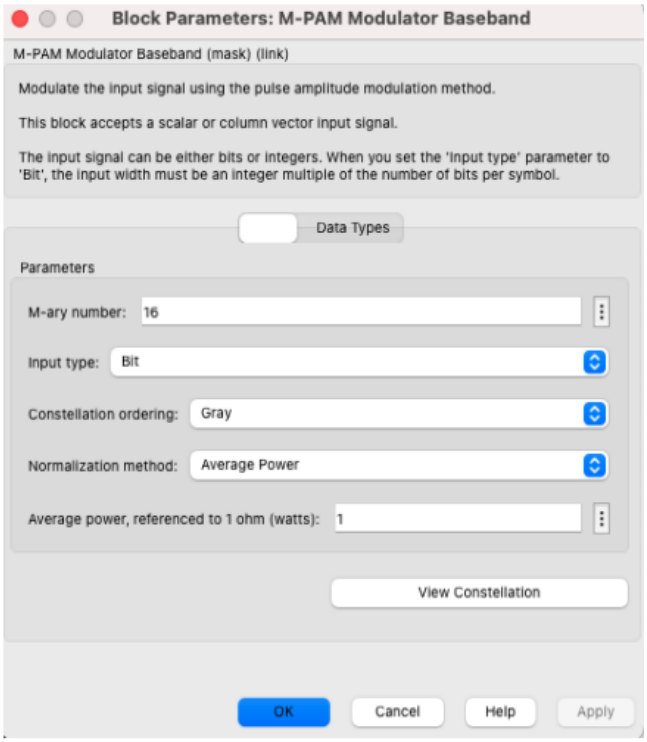


Рис. 3 Налаштування блока M-PAM Modulator Baseband

• ***Канал АБГШ*** (рис. 4):

• початковий стан генератора випадкових чисел **(Initial seed)** – **randseed**;

• режим (**Mode**) – відношення сигнал/шум на біт (**Signal to noise ratio (E_b/N_0)**);

• кількість бітів у символі (**Number of bits per symbol**) – 4 (оскільки символи формуються з 4-бітових комбінацій);

• тривалість символів сигналу (**Symbol period**) – 4 (оскільки тривалість передавання кожного біта дорівнює одиниці).

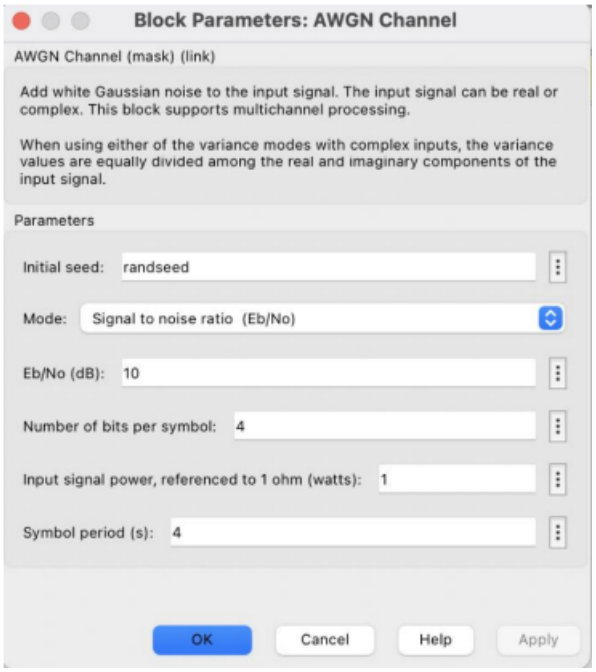


Рис. 4 Налаштування блока AWGN Channel

• ***Демодулятор*** (рис. 5):

усі налаштування задаються такими самими, як для модулятора.

• ***Блок оцінювання ймовірності помилки*** (рис. 6):

• затримка приймання (**Receive delay**) має дорівнювати кількості бітів у символі, тобто 4;

• напрямок виведення результатів **(Output data)** – **Port** (у вихідний порт);

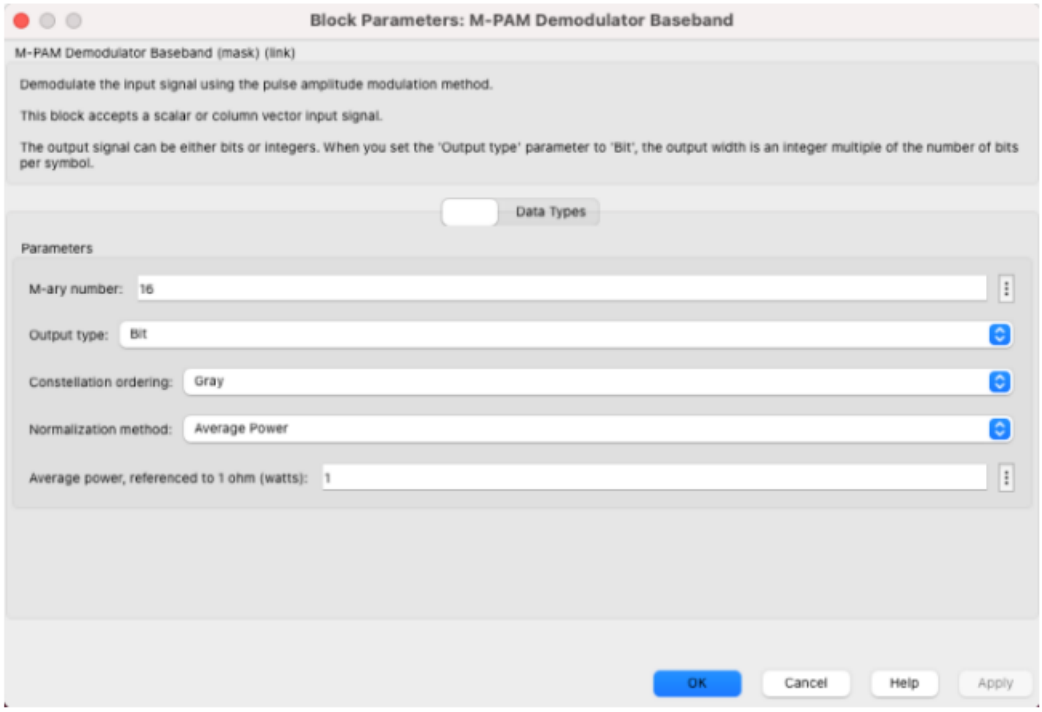


Рис. 5 Налаштування блока M-PAM Demodulator Baseband

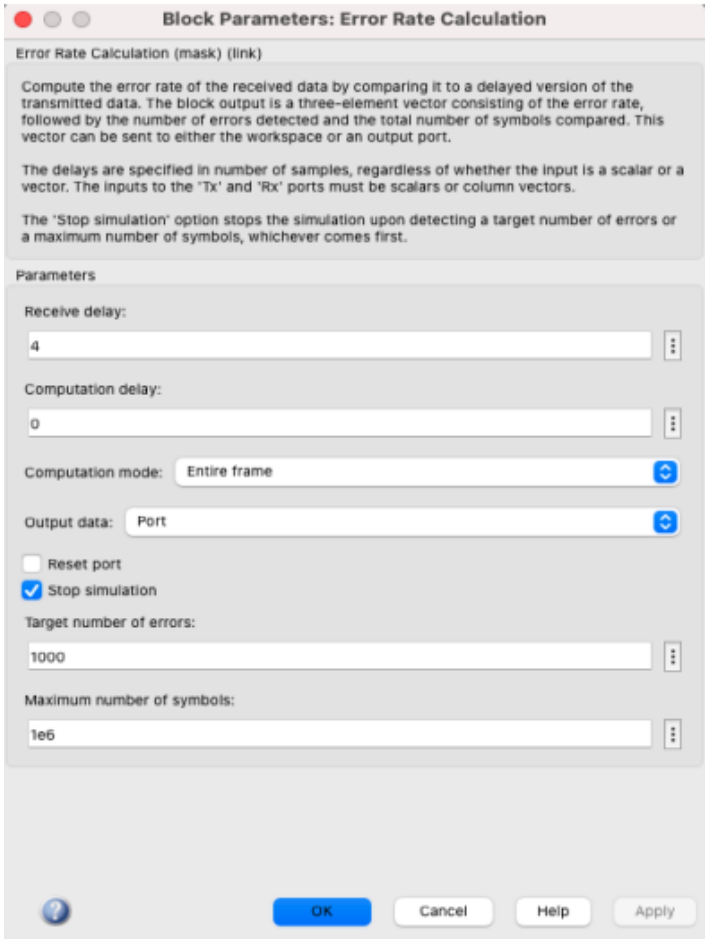


Рис. 6 Налаштування блока Error Rate Calculation

• режим автоматичної зупинки моделювання (прапорець **Stop simulation**) – увімкнути.

• ***Візуалізатор діаграми розсіювання*** (подвійним клацанням на зображенні блока відкрийте вікно візуалізатора, потім клацніть кнопку **Configuration Properties** (крайню ліворуч) на панелі інструментів цього вікна) (рис. 7 – 9):

• вкладка **Main** ⇒ кількість точок, що відображаються (**Symbols to displa**y) – 400;

• вкладка **Reference constellation** ⇒ зніміть прапорець показу незашумленого сузір'я (**Show reference constellation**).

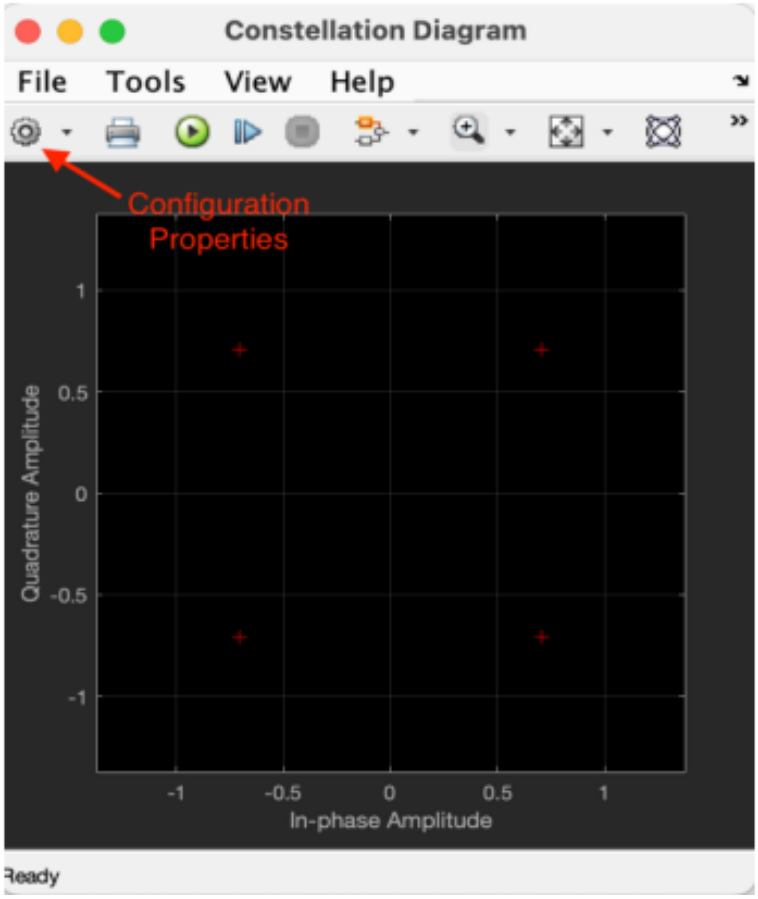


Рис. 7 Вікно візуалізатора

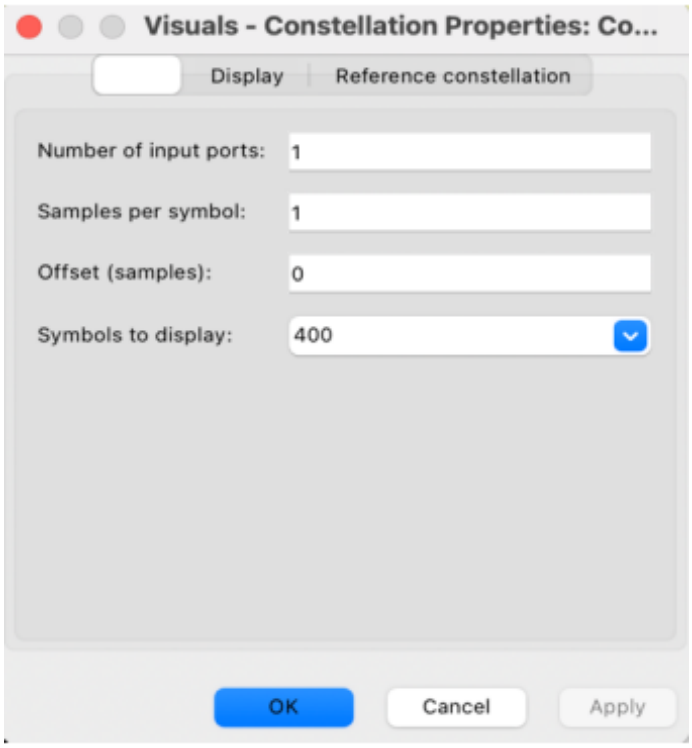


Рис. 8 Налаштування блока Constellation Diagram

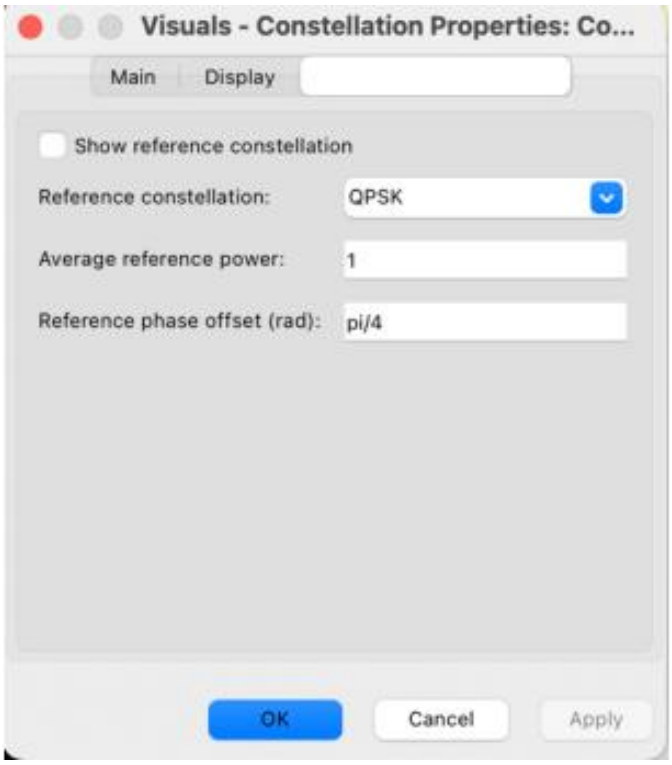


Рис. 9 Налаштування блока Constellation Diagram

• ***Загальні параметри процесу моделювання*** (рис. 10):

• тип розв’язувача (**Solver options**) – дискретний із фіксованим кроком (**Type: Fixed-step, Solver: discrete (no continuous states)**);

- час завершення роботи (**Stop time**) – **inf** (нескінченність).

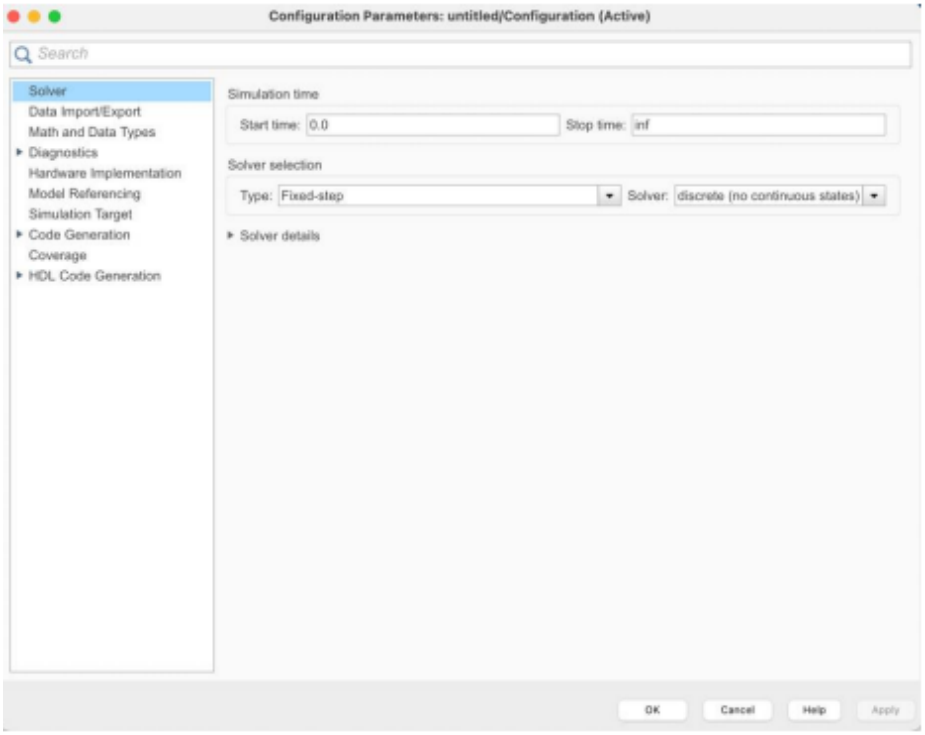


Рис. 10 Загальні налаштування процесу моделювання

У результаті має вийти модель, як на рис. 11.

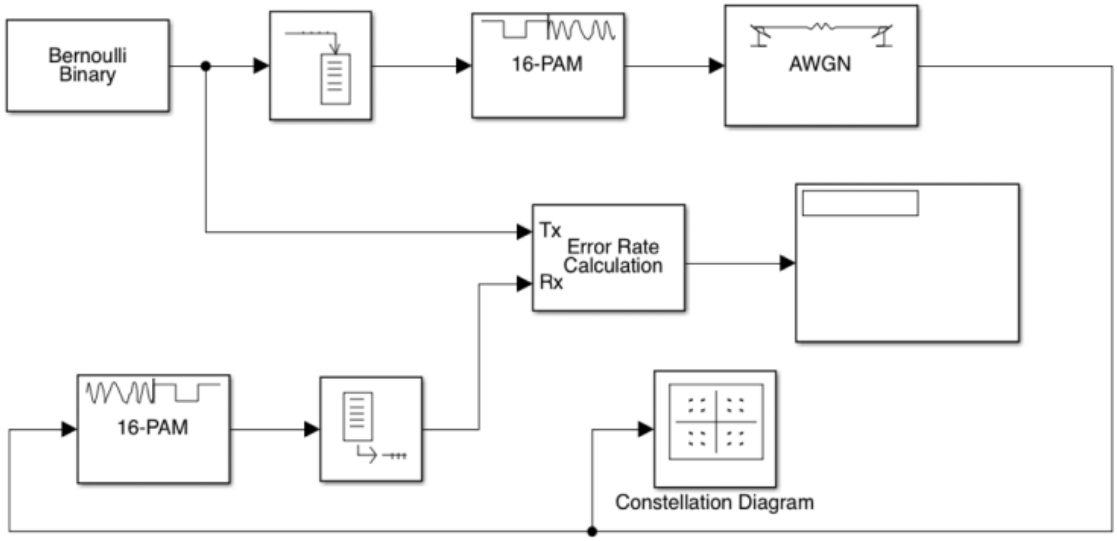


Рис. 11– Модель з амплітудною модуляцією та застосованими налаштуваннями

Установіть у блоці **AWGN Channel** нескінченне значення відношення С/Ш (E_b / N_0), запустіть модель і переконайтеся, що помилки передавання відсутні.

Зніміть залежність імовірності бітової помилки від відношення E_b / N_0, змінюючи останнє в діапазоні 11…21 дБ із кроком 1 дБ. Результати занесіть у табл. 1.

Таблиця 1 Залежність імовірності бітової помилки від відношення E_b / N_0

E_b / N_0, *дБ*	$P_{пом}$

Замініть модулятор і демодулятор на аналогічні блоки для фазової модуляції (**Communications Toolbox ⇒ Modulation ⇒ Digital Baseband Modulation ⇒ PSK ⇒ M-PSK (De)Modulator Baseband**). Задайте для цих блоків такі самі налаштування, як у випадку амплітудної модуляції (рис. 12–13).

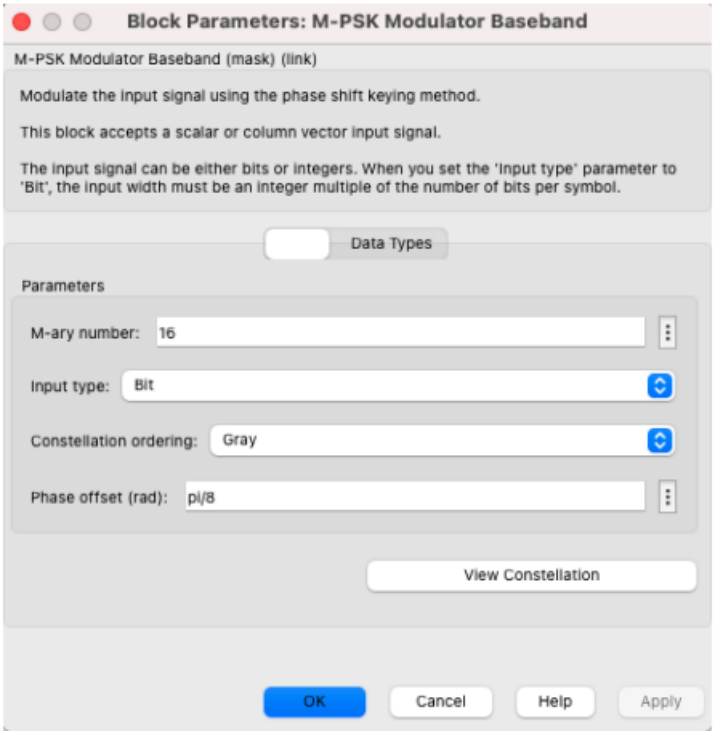


Рис. 12 Налаштування блока M-PSK Modulator Baseband

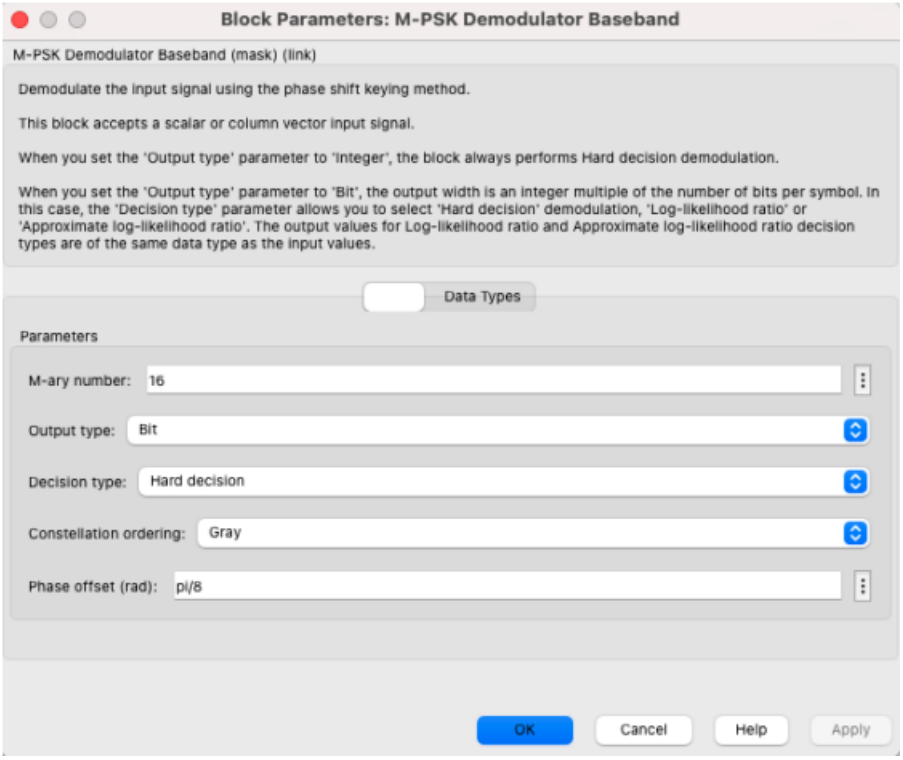


Рис. 13 Налаштування блока M-PSK Demodulator Baseband

У блоках модулятора і демодулятора фазової модуляції (ФМ) завжди використовується середня потужність сигналу, що дорівнює одиниці, тому параметр **Normalization method** у цих блоках відсутній. У результаті має вийти модель, як на рис. 14.

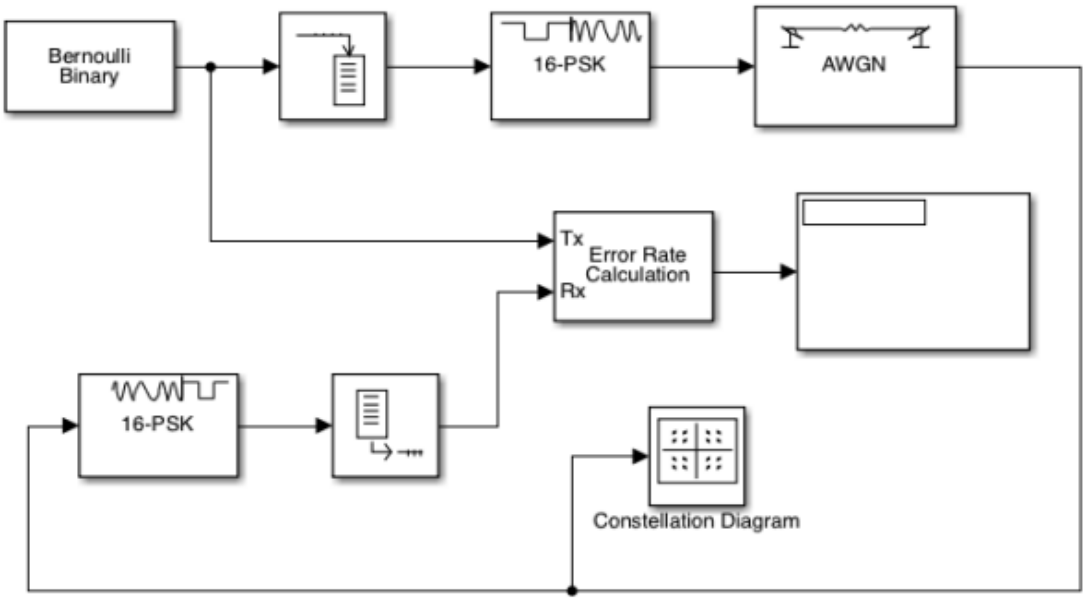


Рис. 14 Модель із модулятором і демодулятором ФМ

Зніміть залежність імовірності бітової помилки від відношення E_b / N_0, змінюючи останнє в діапазоні 6…16 дБ із кроком 1 дБ. Результати занесіть у таку саму таблицю, як раніше для випадку амплітудної модуляції.

Замініть модулятор і демодулятор на аналогічні блоки для квадратурної модуляції з квадратним сузір'ям (**Communications Toolbox ⇒ Modulation ⇒ Digital Baseband Modulation ⇒ PAM/QAM ⇒ Rectangular QAM (De)Modulator Baseband**). Задайте для цих блоків такі самі налаштування, як у попередніх випадках (рис. 15–16).

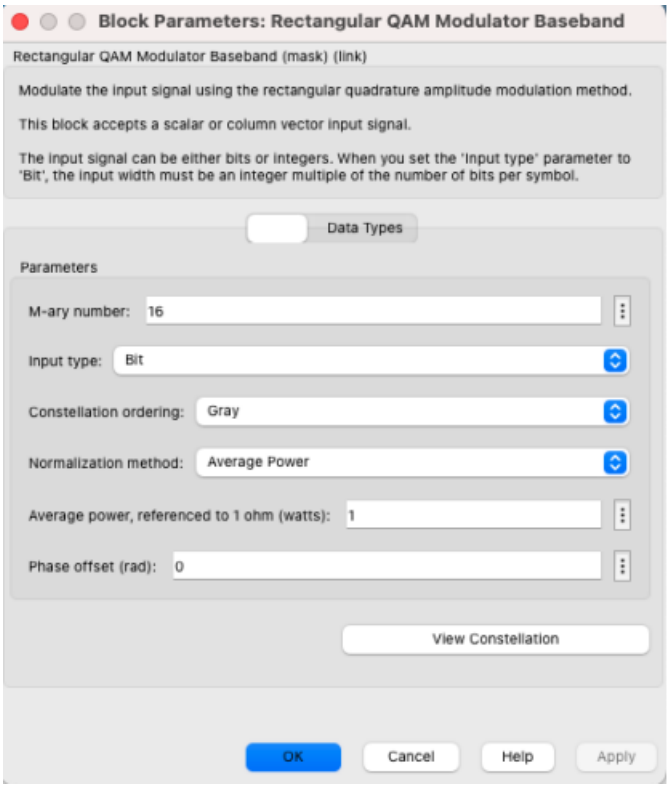


Рис. 15 Налаштування блока Rectangular QAM Modulator Baseband

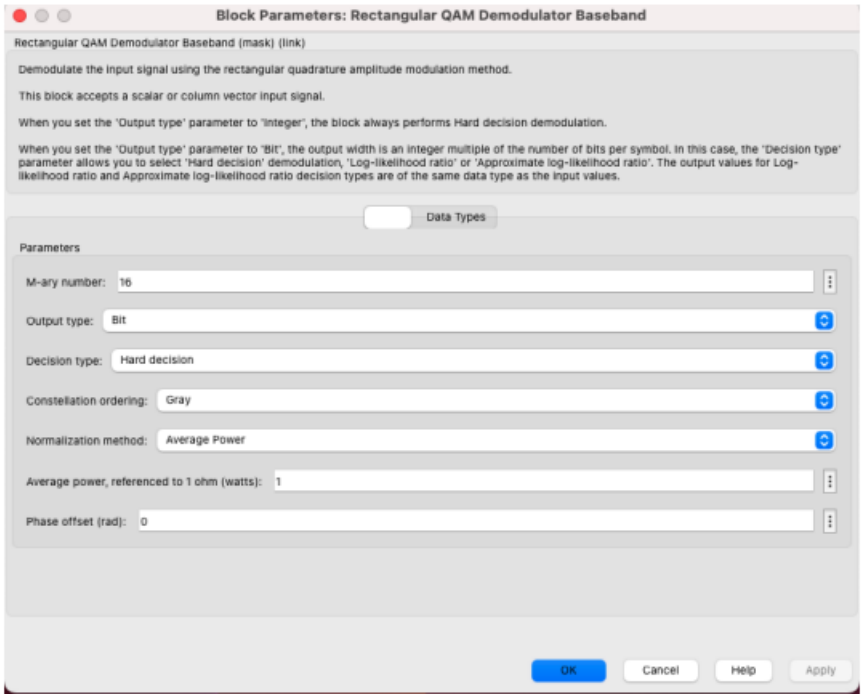


Рис. 16 Налаштування блока Rectangular QAM Demodulator Baseband

Остаточну модель із квадратурною модуляцією (КМ) наведено на рис. 17.

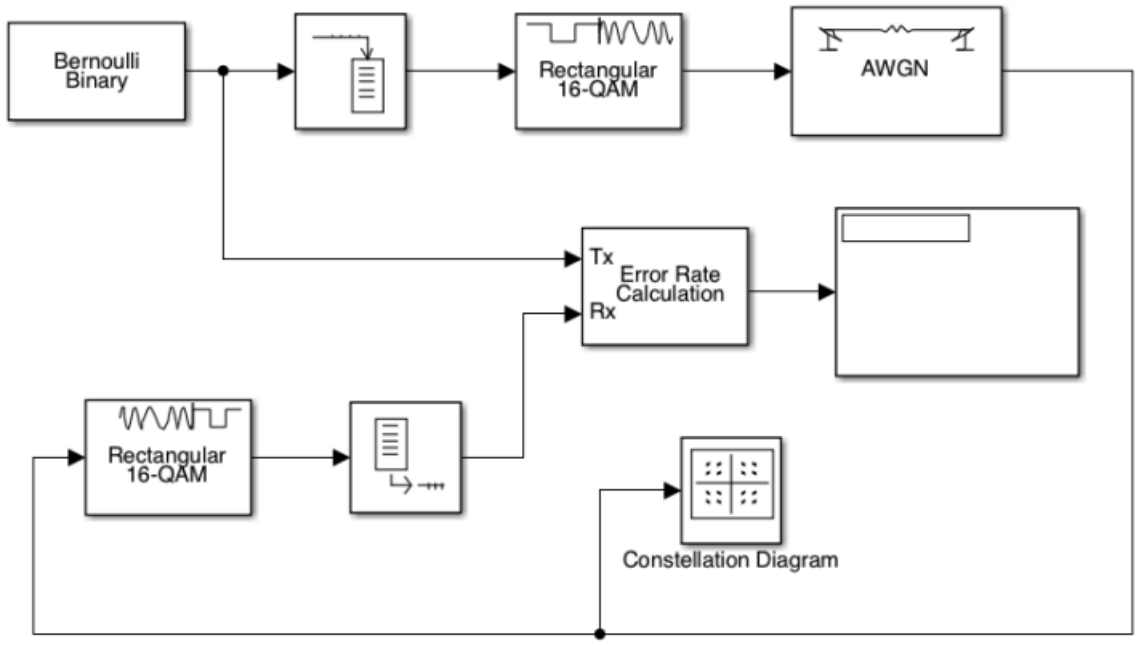


Рис. 17 Модель із модулятором і демодулятором КМ

Зніміть залежність імовірності бітової помилки від відношення E_b / N_0, змінюючи останнє в діапазоні 2…12 дБ із кроком 1 дБ. Результати занесіть у таку саму таблицю, як раніше.

2. Дослідження впливу способу розкладки бітових комбінацій за точками сузір'я на завадостійкість системи зв'язку.

У моделі з квадратурною модуляцією в блоках модулятора і демодулятора змініть спосіб розкладки бітових комбінацій за точками сузір'я, вибравши для параметра **Constellation ordering** варіант **Binary**.

Зніміть залежність імовірності бітової помилки від відношення E_b / N_0, змінюючи останнє в тому самому діапазоні 2…12 дБ із кроком 1 дБ. Результати занесіть у таку саму таблицю (табл. 1), як раніше.

3. Дослідження впливу кількості точок у сузір'ї на завадостійкість системи зв'язку.

У моделі з квадратурною модуляцією відновіть використання коду Грея для способу розкладки бітових комбінацій за точками сузір'я, вибравши для параметра **Constellation ordering** модулятора і демодулятора варіант **Gray**.

Зніміть залежність імовірності бітової помилки від відношення E_b / N_0 для різної кількості точок сузір'я КАМ-модуляції: чотири точки (−2…8 дБ із кроком 1 дБ) і 64 точки (6…16 дБ із кроком 1 дБ).

Результати заносьте в таблиці такої самої форми, як і раніше. Для зміни кількості точок сузір'я необхідно налаштувати такі параметри моделі:

- ***буфер***: розмір буфера має відповідати кількості бітів, що містяться в одному символі, тобто для 4-точкового сузір'я дорівнювати $\log_2 4 = 2$, а для 64-точкового — $\log_2 64 = 6$;
- ***модулятор і демодулятор***: необхідно задати потрібну кількість точок у сузір'ї (**M-ary number**);
- ***канал АБГШ (адитивним білим гауссівським шумом***) кількість бітів у символі (**Number of bits per symbol**) і тривалість символів сигналу (**Symbol period**) мають дорівнювати кількості бітів, що містяться в одному символі, тобто збігатися з розміром буфера (див. вище);

- ***блок оцінювання ймовірності помилки***: затримка приймання (**Receive delay**) має дорівнювати кількості бітів у символі.

4. Дослідження процедури формування спектра сигналу.

Аналогічно тому, як це робилося в роботі 1, додайте до моделі формувальний і приймальний фільтри. Для цього після блока модулятора підвищується частота дискретизації (блок **DSP System Toolbox ⇒ Signal Operations ⇒ Upsample**, задайте підвищення у 16 разів і виберіть варіант **Allow multirate processing** для параметра **Rate options**) (рис. 18), після чого встановлюється блок дискретного нерекурсивного фільтра (**Simulink ⇒ Discrete ⇒ Discrete FIR Filter**). Спочатку реалізуйте прямокутну імпульсну характеристику, увівши в рядок **Coefficients** вираз *ones* (1, 16) (у MATLAB він повертає вектор із 16 одиниць) (рис. 19).

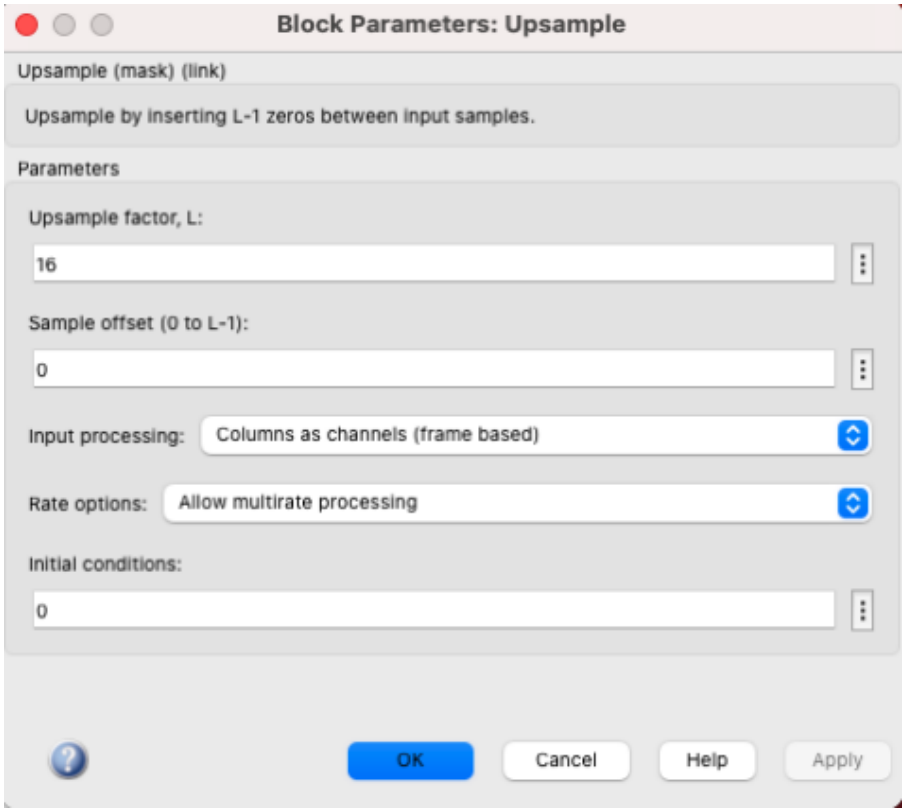


Рис.18 Налаштування блока Upsample

Після каналу АБГШ (але до точки підключення візуалізатора діаграми розсіювання) встановіть точно такий самий фільтр, але зі зменшеними в 16 разів значеннями IX (*ones*(1, 16)/16) (рис. 20), а потім знизьте частоту дискретизації у 16 разів **за допомогою блока DSP System Toolbox ⇒ Signal Operations ⇒ Downsample**.

Зсув моментів вибірки в цьому блоці (**Sample offset**) має дорівнювати 15 (рис. 21).

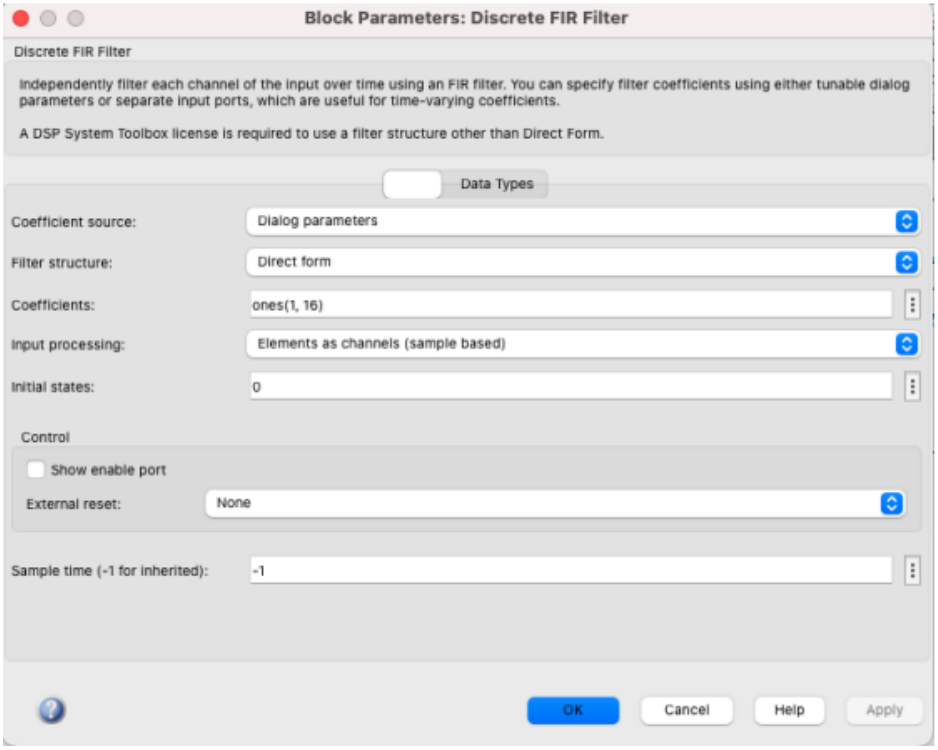


Рис. 19 Налаштування блока Discrete FIR Filter

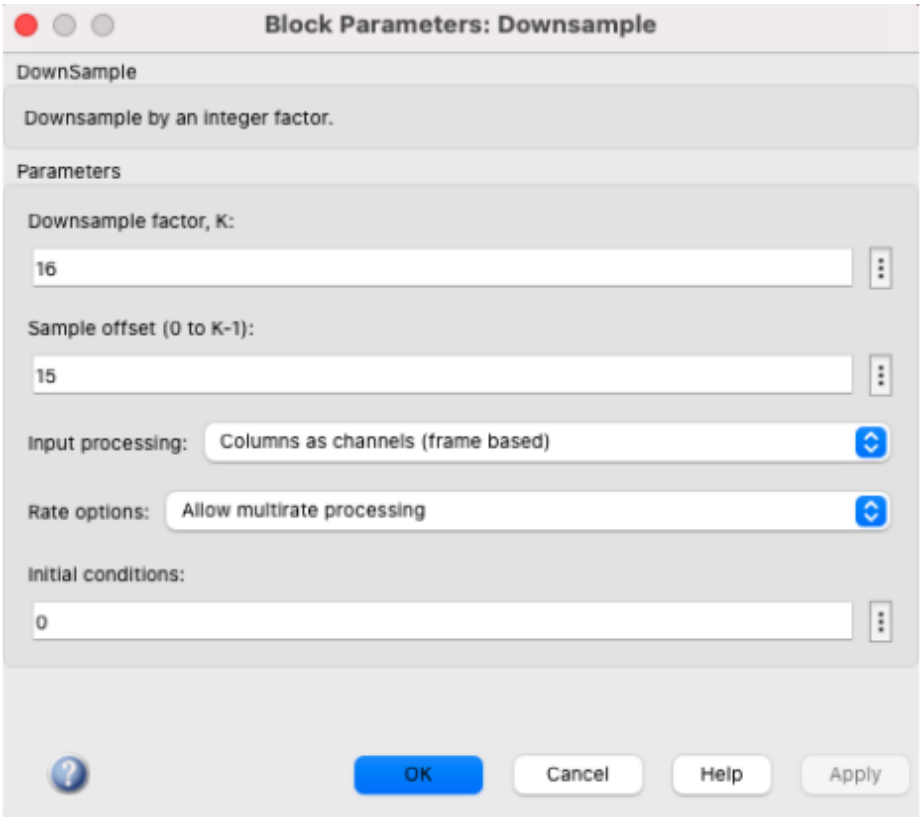


Рис. 20 Налаштування блока Downsample

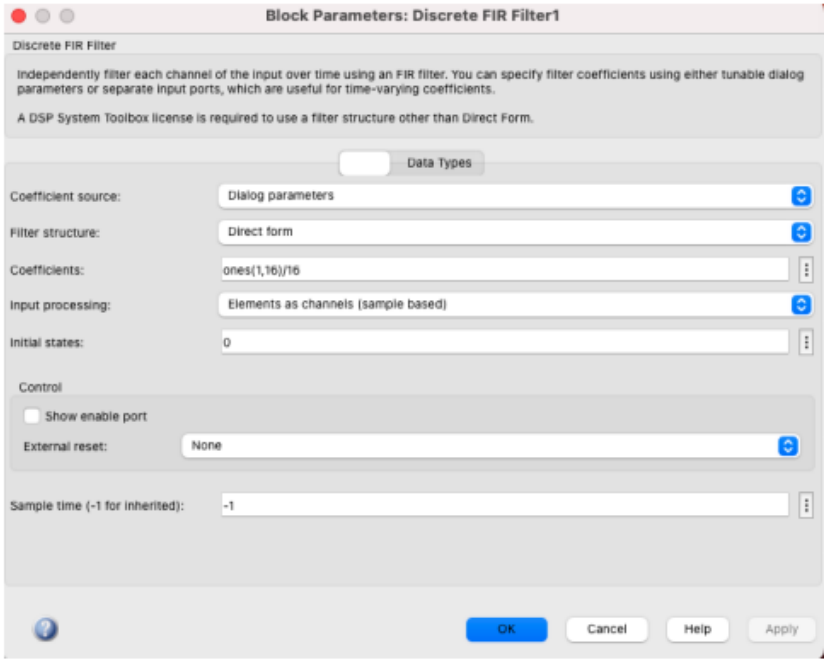


Рис. 21 Налаштування блока Discrete FIR Filter

Нарешті, необхідно врахувати в блоці оцінювання ймовірності помилки додаткову затримку на два символи (для КАМ-64 це 6 біт), яку вносять

процедури фільтрації, змінивши значення параметра **Receive delay** з 6 на 12 (рис. 22).

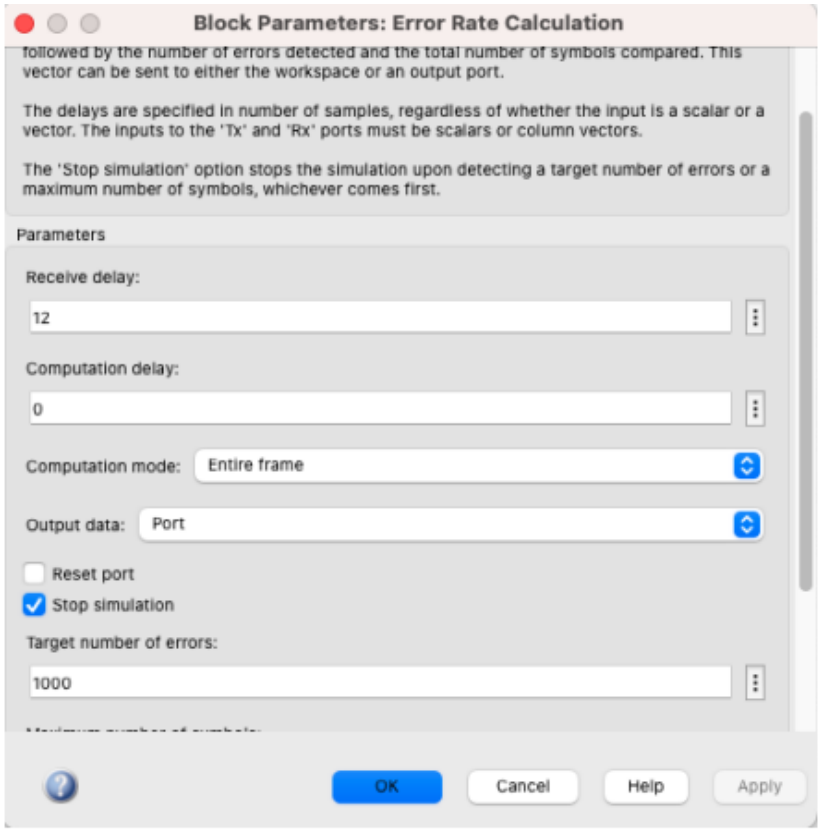


Рис.22 – Налаштування блока Error Rate Calculation

Для перегляду спектра сформованого сигналу підключіть після формувального фільтра (перед блоком АБГШ) блок **DSP System Toolbox** ⇒ **Sinks** ⇒ **Spectrum Analyzer**. Щоб зменшити дисперсію (розкид) спектральної оцінки, відкрийте панель параметрів (кнопка **Spectrum Settings**, крайня ліворуч на панелі інструментів вікна аналізатора спектра). У цій панелі необхідно розгорнути нижній розділ (**Trace options**), змінити **Averaging Methods** на метод **Running** і збільшити значення параметра **Averages**, наприклад до 10. Після цього панель налаштувань можна знову приховати. Результуючу схему моделі наведено на рис. 23.

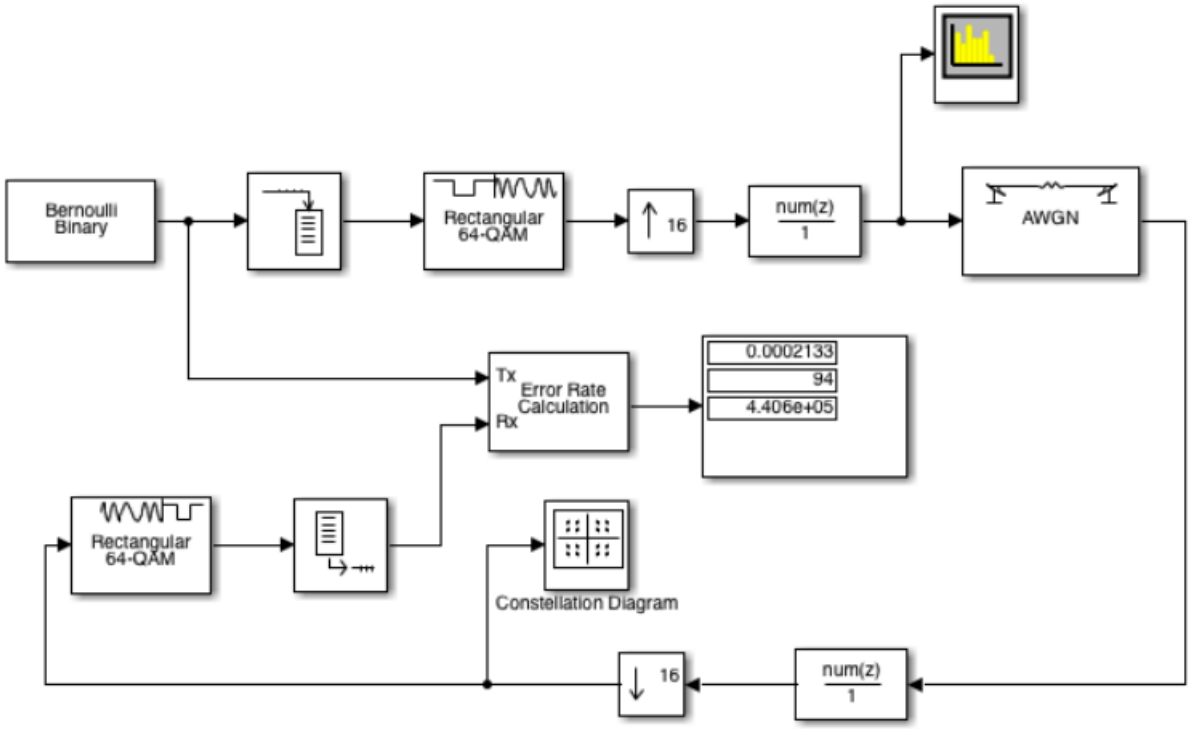


Рис. 23 Схема моделі сформованого сигналу

Запустіть модель і переконайтеся, що вона працює приблизно з тією самою ймовірністю помилки, яка була виміряна для цього відношення С/Ш до встановлення фільтрів. Скопіюйте зображення вікна аналізатора спектра в буфер обміну, створіть документ Word і помістіть туди графік.

Замініть прямокутний фільтр на **SQRT-варіант** фільтра з косинусоїдальним згладжуванням АЧХ. Для цього параметр **Numerator coefficients** блока формувального фільтра має мати вигляд rcosine(1, 16, 'sqrt')*4, а аналогічний параметр у приймальному фільтрі – rcosine(1, 16, 'sqrt')/4 (множник/дільник, що дорівнює 4, дає змогу під час передачі зберегти середню потужність сигналу в процесі фільтрації, а під час приймання встановити необхідний масштаб сигналу).

Крім того, необхідно задати нульове значення для параметра **Sample offset** блока зниження частоти дискретизації та збільшити затримку (**Receive delay**) у блоці оцінювання ймовірності помилки, зробивши її рівною 42 (це необхідно, оскільки використовувані фільтри мають довгу імпульсну характеристику (ІХ) і тому вносять у сигнал значну затримку).

Запустіть модель і переконайтеся, що вона працює з майже такою самою (трохи більшою) ймовірністю помилки, яка була виміряна для цього відношення С/Ш до встановлення фільтрів. Скопіюйте зображення вікна аналізатора спектра у створений документ Word.

Перейдіть до основного вікна **MATLAB** і отримайте графіки імпульсної характеристики ІХ використаного фільтра та її кореляційної функції. Для цього використайте такі команди (рис. 24):

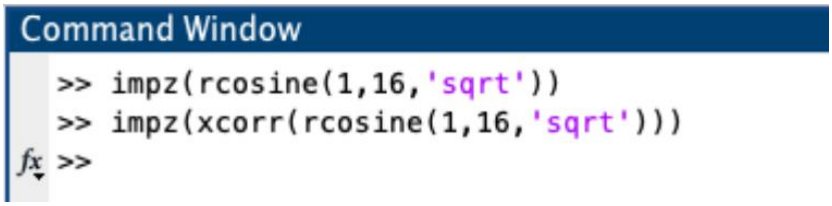


Рис. 24 Виконання команд побудови графіків

Обидва графіки скопіюйте у створений документ Word, використовуючи команду меню **Edit ⇒ Copy Figure** у вікні графіка.

Зміст звіту

1. Схема створеної моделі з короткими коментарями щодо призначення її блоків.

2. Зображення сигнальних сузір'їв (у довільному масштабі) із підписаною відповідністю бітових комбінацій точкам сузір'я (послідовність бітів не має значення): АМ-16 (код Грея), ФМ-16 (код Грея), КАМ-16 (код Грея), КАМ-16 («послідовне» розміщення чисел), КАМ-4 (код Грея) (сузір'я КАМ-64 наводити не потрібно).

3. Графіки кривих завадостійкості (в усіх випадках по горизонталі відкладається відношення E_b / N_0 у дБ, по вертикалі – ймовірність бітової помилки в логарифмічному масштабі). Графіки будуються такими групами:

- спільно побудовані криві завадостійкості для різних видів модуляції при 16-точкових сузір'ях: АМ-16, ФМ-16, КАМ-16;
- спільно побудовані криві завадостійкості для різних видів бітової розкладки КАМ-16: з кодом Грея та при «послідовному» розміщенні чисел;

- спільно побудовані криві завадостійкості для КАМ із різною кількістю точок у сузір’ї: КАМ-4, КАМ-16 (дублюється графік, виміряний у п. 1 роботи) і КАМ-64.

4. Графіки СЩП (спектральної щільності потужності або PSD Power Spectral Density) сигналу при використанні прямокутних посилок і при використанні формувального фільтра з косинусоїдальним згладжуванням АЧХ.

5. Графіки імпульсної характеристики ІХ фільтра з косинусоїдальним згладжуванням АЧХ та її коефіцієнта фільтрації КФ.

6. Висновки.