Лабораторна робота № 4

Використання утиліти BERtool

Мета роботи - Отримання навичок роботи із вбудованою утилітою BERtool. Автоматизація отримання результатів завадостійкості. Аналіз завадостійкості методів модуляції QAM різних порядків.

Вказівки до виконання роботи

1. Загальні відомості про BERtool

Утиліта **BERtool** (*Bit Error Rate Analysis tool*) призначена для автоматизації процесу отримання результатів завадостійкості систем зв'язку. Раніше в лабораторних роботах № 2 і № 3 ми фіксували значення ймовірності помилки для кожної точки відношення сигнал/шум (ВСШ) у таблицю. Результуючий масив значень імовірності помилки давав змогу побудувати графік завадостійкості системи. Утиліта **BERtool** дає змогу автоматизувати збір значень імовірності бітової помилки для різних точок ВСШ та побудувати підсумковий графік завадостійкості.

Запустити утиліту **BERtool** можна з командного вікна **MATLAB** — для цього достатньо ввести команду «**bertool**», як показано на рис. 1.



Рис.1 Виклик утиліти **BERtool** через командне вікно

Також утиліту **BERtool** можна викликати з головного вікна **MATLAB** у розділі **APPS**, як показано на рис. 2.

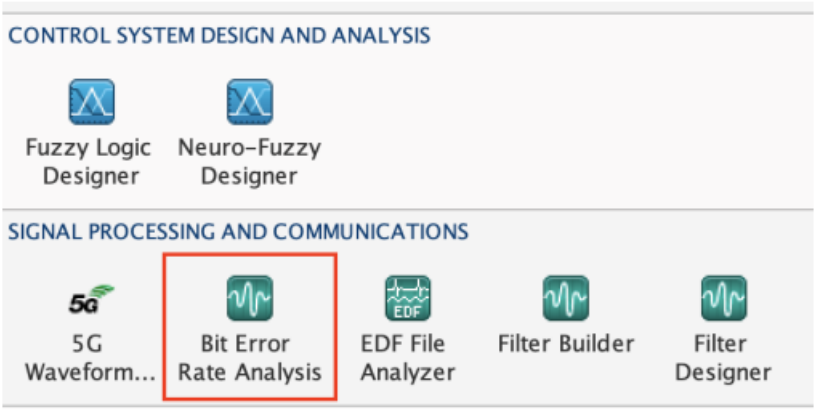


Рис.2 Виклик утиліти **BERtool** через панель застосунків

Інтерфейс утиліти **BERtool** представлено на рис. 3. У верхній частині фіксуються результати моделювання у вигляді таблиці, аналогічної таблиці, яка заповнювалася вручну в лабораторних роботах № 2 і № 3. Нижче розташовані дві вкладки — «**Monte Carlo**» та «**Theoretical**». Перша призначена для статистичного моделювання методом Монте-Карло, а друга дає змогу виводити на екран достатньо широкий набір теоретичних кривих завадостійкості для різних видів модуляції за різних умов.

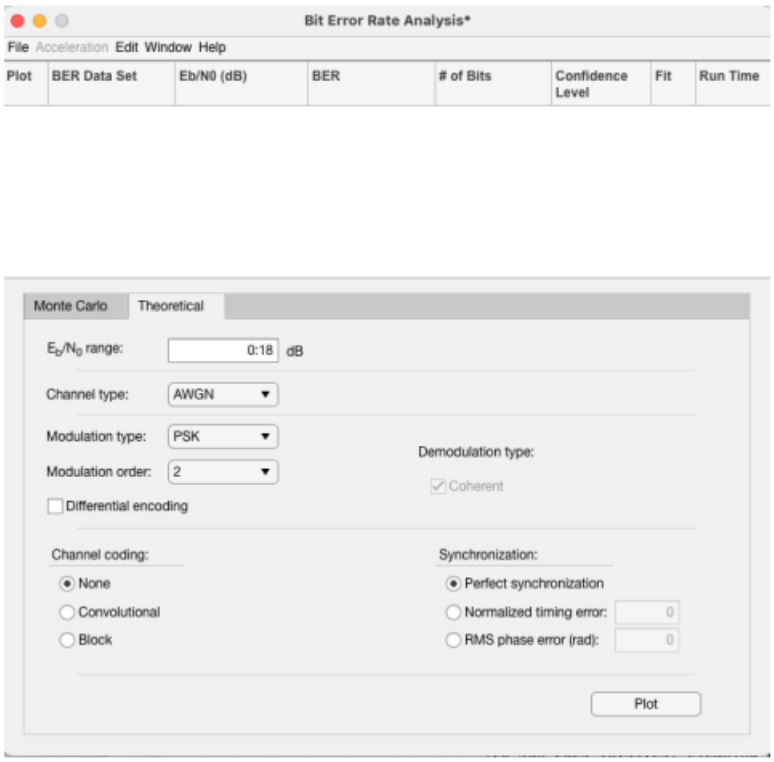


Рис. 3 Головне вікно утиліти **BERtool**

Вкладка «**Theoretical**» дає змогу отримувати теоретичні криві завадостійкості для різних типів модуляції. Тут також можна задати інтервал точок ВСШ «**E_b/N_0 range**», різні канали зв'язку «**Channel type**», порядок модуляції «**Modulation order**», а також урахувати різні види завадостійкого кодування «**Channel coding**» і синхронізації «**Synchronization**».

2. Побудова теоретичних кривих завадостійкості

У вкладці «**Theoretical**» побудуйте теоретичні криві завадостійкості для модуляції QAM порядків 4, 16, 64 для діапазону ВСШ від 0 до 10 дБ. Для цього виберіть відповідні параметри **E_b/N_0 range**, **Modulation type** і **Modulation order** та натисніть кнопку **Plot**.

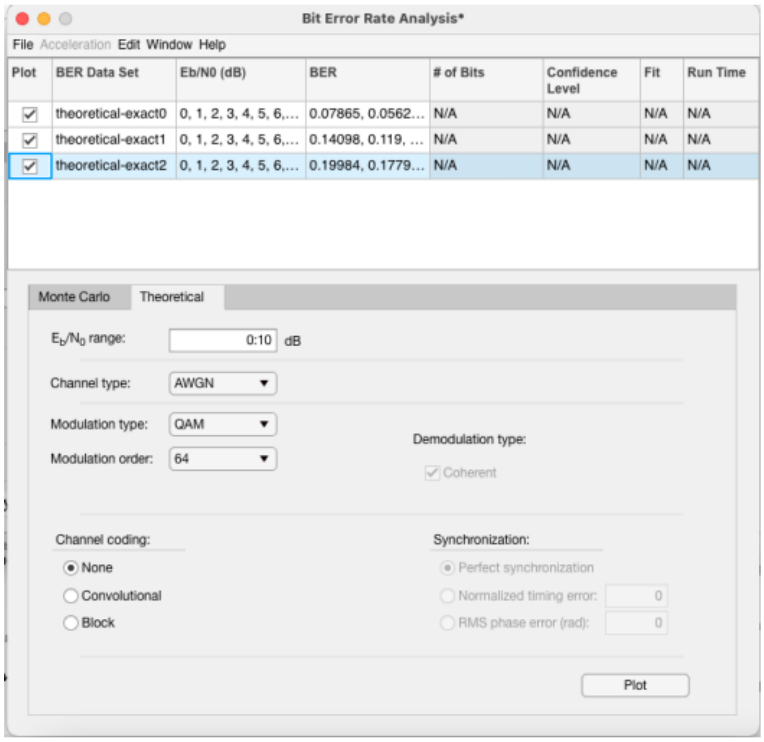


Рис. 4 Побудова теоретичних кривих для модуляції QAM

Для наочного відображення результатів перейменуйте автоматичні назви кривих у полі «**BER Data Set**» на відповідні назви «**QAM-4**», «**QAM-16**» та «**QAM-64**». Це забезпечить їх зручне відображення в легенді, як показано на рис. 5.

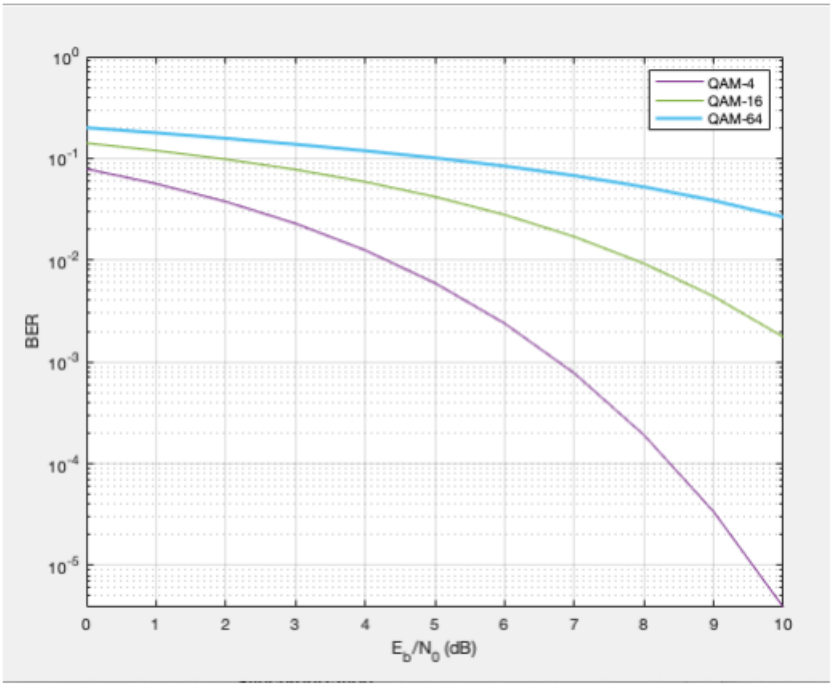


Рис.5 Теоретичні криві для модуляцій QAM-4, QAM-16 і QAM-64 у каналі з АБГШ без завадостійкого кодування

3. Підключення утиліти BERtool до моделі Simulink

Для використання утиліти **BERtool** із уже готовою моделлю необхідно перейти у вкладку «**Monte Carlo**», задати потрібний діапазон ВСШ та вибрати пункт «**Simulink**» у розділі «**Simulation environment**», як показано на рис. 6.

Скористаємося готовою моделлю, отриманою в результаті виконання лабораторної роботи № 3. Для автоматизації вимірювань величини **BER** потрібно виконати кілька перетворень уже готової схеми моделювання. На рис. 7 видно, що показана схема дещо відрізняється від схеми, зібраної за результатами виконання лабораторної роботи № 3.

Для підключення утиліти необхідно виконати кілька змін у готовій схемі з лабораторної роботи № 3. Насамперед потрібно налаштувати експорт результатів обчислення ймовірності помилки **BER** у **Workspace**. Для цього можна скористатися готовим блоком експорту «**To Workspace**», доступним у бібліотеці **Simulink** у розділі «**DSP System Toolbox**».

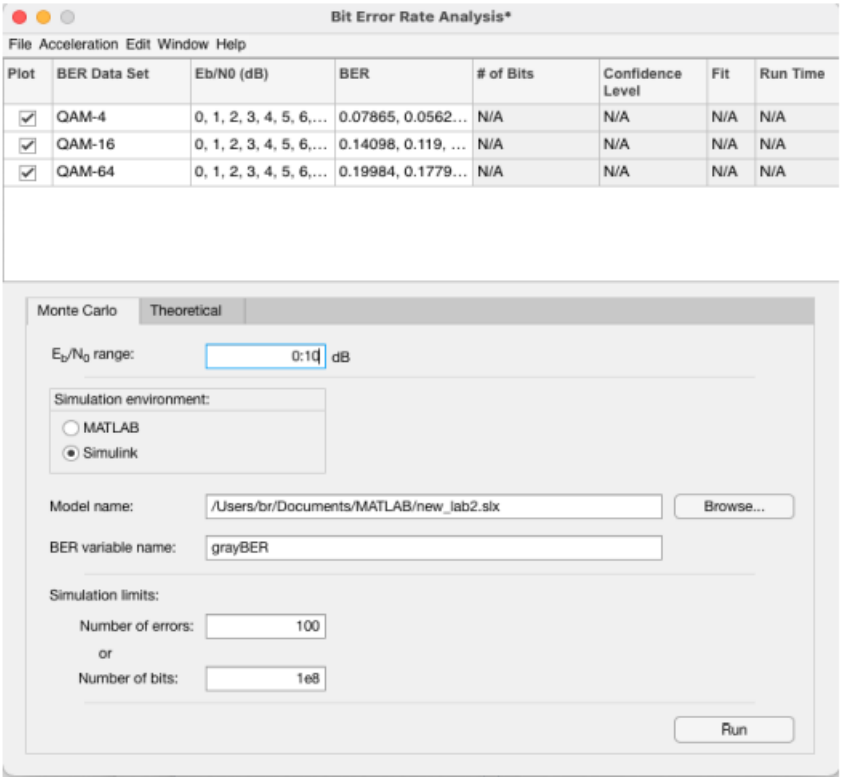


Рис. 6 Використання утиліти **BERtool** у режимі Монте-Карло

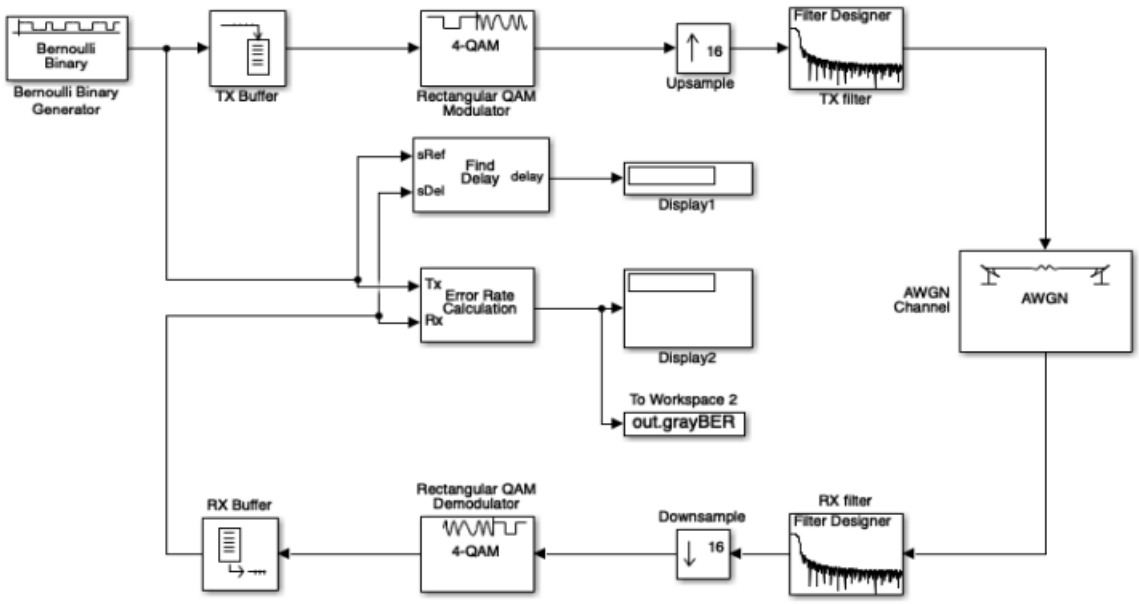


Рис. 7 Підсумкова схема лабораторної роботи № 3 для модуляції 4-QAM

На рис. 7 блок експорту «**To Workspace**» підключений до виходу блока «**Error Rate Calculation**» паралельно блоку «**Display**».

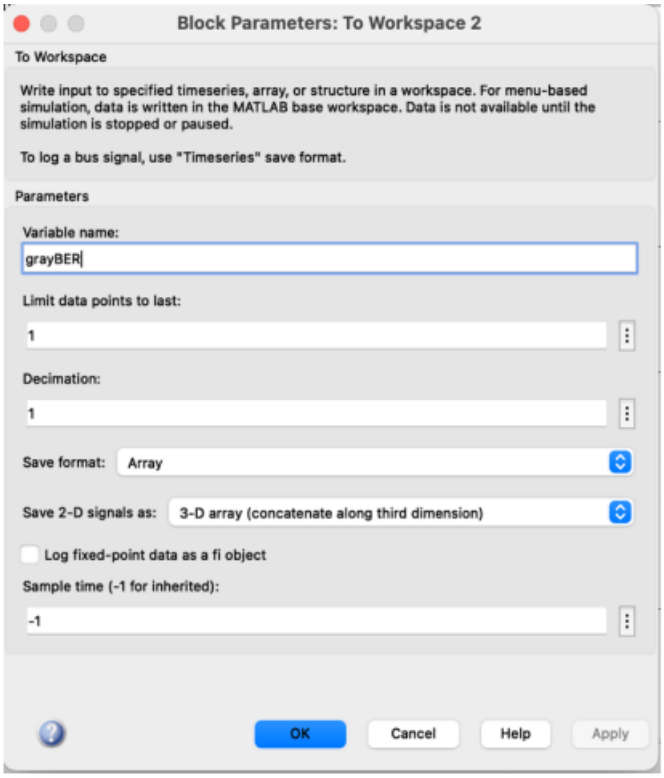


Рис. 8 Експорт величин за допомогою блока «**To Workspace**»

Як показано на рис. 8, у налаштуваннях блока необхідно вказати ім’я змінної у полі «**Variable name**», до якої записуватимуться значення, обчислені блоком «**Error Rate Calculation**».

Другий варіант експорту значень **BER** у **Workspace** – налаштування самого блока «**Error Rate Calculation**», де слід замінити параметр у меню Output на «**Workspace**» та вказати ім’я змінної, до якої записуватимуться значення (рис. 9).

Далі перейдемо до налаштування блока «**AWGN Channel**», де необхідно замість поточного значення ВСШ установити величину $\mathbf{E_bN_o}$, як показано на рис. 10.

Значення $\mathbf{E_bN_o}$ динамічно змінюється з утиліти **BERtool**, де вказується необхідний діапазон значень «$\mathbf{E_b/N_o}$ **range**». Завдання утиліти **BERtool** – автоматично запускати модель для різних значень ВСШ у каналі та фіксувати отриману при цьому значенні величину **BER**.

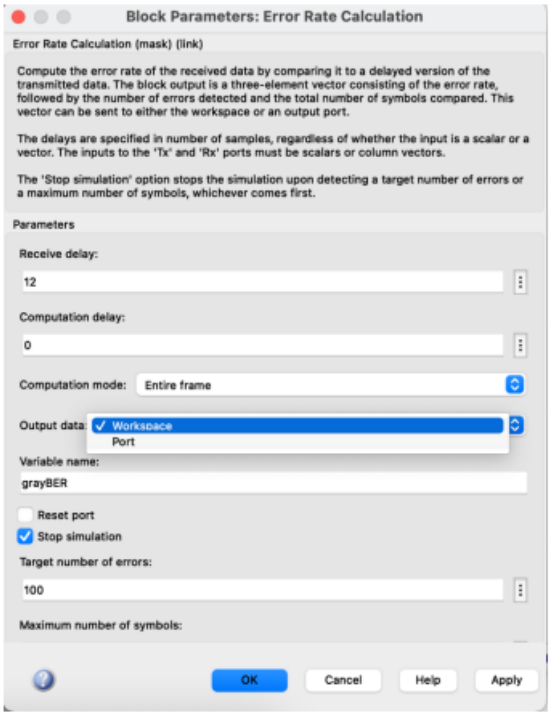


Рис. 9 Експорт значень у налаштуваннях блока «**Error Rate Calculation**»

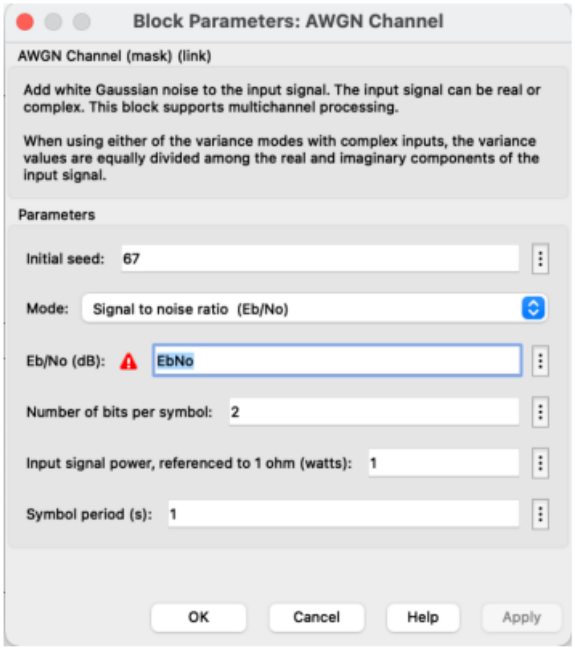


Рис. 10 Налаштування блока «**AWGN Channel**»

На цьому всі необхідні для використання утиліти **BERtool** зміни в модель внесено. Далі перейдемо до самої утиліти **BERtool**, де спочатку необхідно вказати діапазон потрібних значень ВСШ у каналі «**E_b/N_o range**». Укажіть

діапазон [0:10]. У цьому випадку утиліта **BERtool** запустить вашу модель 11 разів – для кожного значення ВСШ від 0 до 10 із кроком 1. Якщо потрібно отримати графіки з меншим кроком, його можна задати через двокрапку, наприклад 0:0.5:10 для кроку 0,5 дБ.

У розділі «**Simulation environment**» має бути вибраний програмний пакет **Simulink**, як показано на рис. 6. У розділі «**Model name**» необхідно вказати шлях до щойно підготовленої моделі у форматі **.slx**. Важливий момент – усі зміни, внесені безпосередньо в модель, мають бути збережені за допомогою кнопки «**Save**» до виклику цієї моделі з утиліти **BERtool**.

У розділі «**BER variable name**» необхідно вказати вибрану раніше назву змінної для зберігання результатів. У нашому випадку така змінна має ім’я **grayBER**, як показано на рис. 8 і 9.

Останнім кроком перед запуском процесу моделювання є завдання кількості переданих бітів і кількості помилок, при яких буде фіксуватися значення ймовірності бітової помилки, у розділі «**Simulation limits**». Ці значення безпосередньо впливають на точність вимірювання **BER**.

За замовчуванням задано параметри **Number of errors** = 100 і **Number of bits** = 1e8, які дають змогу отримати криві завадостійкості аж до значень **BER** на рівні 10^{-6}. Такі параметри означають, що моделювання для заданого значення ВСШ буде виконуватися до тих пір, поки не буде накопичено 100 бітових помилок або поки не буде передано 10^8 бітів.

Далі запустимо утиліту **BERtool** і будемо спостерігати поступову появу потрібної нам кривої завадостійкості модуляції QAM-4 у каналі з АБГШ, як показано на рис. 11.

Як видно з рис. 11, утиліта **BERtool** дає змогу автоматично будувати графіки завадостійкості для потрібних значень ВСШ у каналі, при цьому немає потреби власноруч фіксувати значення **BER** і самостійно будувати графіки.

Однак важливим моментом, проілюстрованим на рис. 11, є те, що спочатку ми задали для моделювання діапазон значень ВСШ [0:10], але бачимо криву завадостійкості лише до 6 дБ включно.

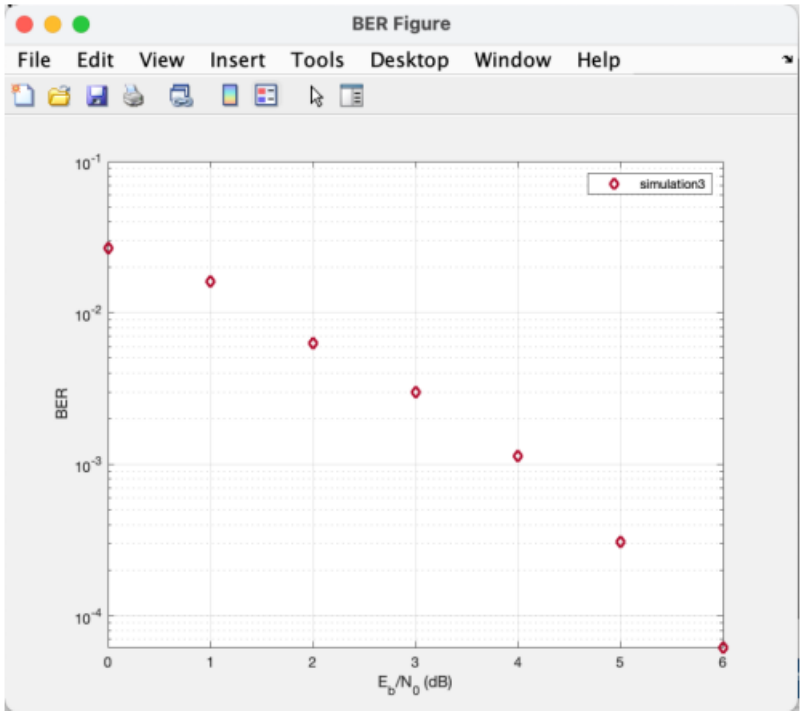


Рис. 11 Значення **BER**, отримані за допомогою утиліти **BERtool**

Річ у тому, що в цьому прикладі роботу утиліти **BERtool** було демонстративно зупинено. Отримання результатів роботи програми для значень ВСШ від 0 дБ до 6 дБ зайняло достатньо багато часу – а саме 3 хвилини 19 секунд, хоча модель було запущено на достатньо продуктивному ПК із використанням вбудованої в **MATLAB** функції розпаралелювання процесів **Parallel pool**.

Подальше отримання результатів для значень ВСШ від 7 дБ до 10 дБ займе ще більше часу, оскільки зі зростанням потужності сигналу в каналі ймовірність виникнення бітової помилки зменшується.

Процес моделювання є досить затратним з погляду обчислювальної складності. Це потрібно враховувати під час роботи та, за можливості, застосовувати динамічні значення кількості помилок і кількості переданих бітів, за яких моделювання припиняється.

Для наочнішого відображення результатів завадостійкості можна апроксимувати отримані значення та провести криву, встановивши прапорець у стовпці «**Fit**» навпроти отриманих значень, як показано на рис. 12.

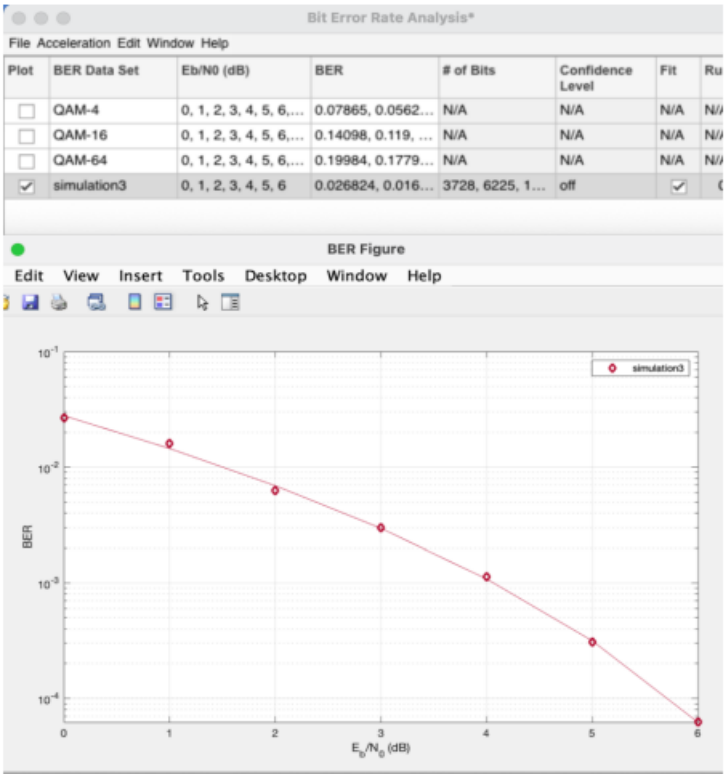


Рис. 12– Апроксимація кривої завадостійкості за допомогою функції «**Fit**»

4. Порівняння завадостійкості для модуляції QAM різних порядків

Отримайте криві завадостійкості для модуляцій QAM із різними розмірами сузір'їв: 4, 16, 64, 256. Порівняйте отримані результати з теоретичними кривими завадостійкості. Також порівняйте отримані результати з результатами, отриманими під час виконання лабораторної роботи № 3.

Зміст звіту

1. Модифікована схема для роботи з утилітою **BERtool**.
2. Теоретичні криві завадостійкості для модуляції **QAM** порядків: 4, 16, 64, 256.
3. Криві завадостійкості для модуляції **QAM** порядків: 4, 16, 64, 256, побудовані за допомогою утиліти **BERtool**.
4. Висновки.