

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Імітаційне моделювання технічних систем»
для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр
за спеціальністю: 131 «**Прикладна механіка**»”,
освітня програма «**Технології машинобудування**» всіх форм навчання

Затверджено на засіданні кафедри технології машинобудування і деревообробки
протокол № 5 від 02 листопада
2016р.

Чернігів ЧНТУ 2016

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Імітаційне моделювання технічних систем» для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю: 131 «Прикладна механіка»», освітня програма «Технології машинобудування» всіх форм навчання / Укл.: Бойко С.В., Єрошенко А.М., Ігнатенко П.Л., Ігнатенко О.А.– Чернігів: ЧНТУ, 2016.– 108 с.

Укладачі: Бойко Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент,
Єрошенко Андрій Михайлович, кандидат технічних наук, доцент
Ігнатенко Павло Леонідович, кандидат технічних наук, доцент,
Ігнатенко Олена Анатоліївна, асистент

Відповідальний за випуск: Єрошенко А.М., завідувач кафедри технології машинобудування і деревообробки, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Пасов Геннадій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Чернігівського національного технологічного університету

Зміст

Передмов.....	4
1 Загальні відомості.....	5
2 Оформлення звіту з лабораторної роботи.....	6
3 Критерії оцінки знань під час виконання і захисту лабораторних робіт.....	7
4 Лабораторна робота №1.....	8
5 Лабораторна робота №2.....	24
6 Лабораторна робота №3.....	39
7 Лабораторна робота №4.....	47
8 Лабораторна робота №5.....	61
9 Лабораторна робота №6.....	67
10 Лабораторна робота №7.....	90
11 Лабораторна робота №8.....	101
Рекомендована література.....	108

Передмова

Метою вивчення дисципліни “Імітаційне моделювання технічних систем” студентами спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми «Технології машинобудування» є отримання необхідних знань та вмінь для дослідження об’єктів та систем керування, які характеризуються суттєвими збуреннями випадкового характеру або властивості яких не можуть бути визначені інакше, ніж за допомогою імітаційного моделювання. Студенти мають оволодіти практичними навичками використання імітаційних моделей для дослідження фізичних явищ і процесів, що мають місце в складних технічних системах.

Під час вивчення дисципліни перед студентом ставляться такі завдання:

- навчитись створювати концептуальні імітаційні моделі складних технічних систем на основі їх дослідження;
- оволодіти навичками розробки логічних схем імітаційних моделей;
- вивчити методи машинної імітації випадкових подій і випадкових величин.

Метою проведення лабораторних занять є закріплення теоретичних основ курсу, ознайомлення з методикою і технологією розробки програмного забезпечення машинного моделювання, проведення імітаційного моделювання на ЕОМ та використання одержаних результатів в процесі прийняття рішень.

Методичні вказівки призначені для надання допомоги магістрам при підготовці та виконанні лабораторних робіт.

1 Загальні відомості

Лабораторні роботи виконуються в обсязі, передбаченому навчальним планом підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», освітня програма «Технології машинобудування», у відповідності з робочою програмою дисципліни «Імітаційне моделювання технічних систем». Графік виконання лабораторних робіт доводиться до відома студентів на першому занятті.

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які засвоїли теоретичний матеріал за конспектом лекцій, підручником або методичними вказівками і оформили частину звіту до підрозділу „Дані виконання роботи”.

При підготовці до лабораторної роботи необхідно уважно прочитати розділ „Теоретична інформація”. В цьому розділі наведено стислі теоретичні відомості, необхідні для виконання лабораторної роботи. Незрозумілі питання, що виникають при підготовці до виконання лабораторної роботи потрібно з’ясувати під час консультацій.

2 Оформлення звіту з лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи оформляється у відповідності із загальними вимогами до текстових документів за ДСТУ 3008-95. Текст виконується від руки або друкується на принтері на одній стороні аркуша білого паперу формату А4 з обмежувальними рамками. Відстань від верхнього, нижнього та правого краю аркуша до обмежувальної рамки - 5мм, від лівого – 20мм.

Не допускається оформлення частини тексту звіту від руки, а частини – друкуванням на принтері (крім оформлення рисунків).

Перенесення слів в заголовках, запис заголовку на одній сторінці, а початок тексту на іншій, скорочення слів, крім загальноприйнятих, не допускається, крапку в кінці заголовка не ставлять.

Звіт з кожної лабораторної роботи повинен мати наступну структуру:

1. Номер лабораторної роботи.
2. Назва лабораторної роботи.
3. Мета роботи.
4. Теоретична інформація.
5. Оснащення роботи.
6. Дані виконання роботи.
7. Висновки.

В підрозділі „Теоретична інформація” необхідно обов’язково привести основні визначення та рисунки (крім тих, які дозволяється не виконувати).

У підрозділі „Висновки” описати результати, вміння та навички, отримані та набуті при виконанні лабораторної роботи.

Всі підрозділи і рисунки повинні мати номер. Нумерація підрозділів та рисунків включає номер лабораторної роботи і порядковий номер підрозділу або рисунка в межах однієї лабораторної роботи. Номер рисунка розміщують під зображенням, за ним через риску вказується назва рисунка. Наприклад: *Рисунок 1.1 – Схема обробки площини на фрезерному верстаті* - перший рисунок в звіті з лабораторної роботи 1. Якщо на рисунку вказані позиції елементів, то їх розшифровка наводиться під рисунком, за його назвою.

Формули нумеруються арабськими цифрами. Номер формули вказують на правому боці аркуша у круглих дужках на рівні формули. Він складається з номера лабораторної роботи і порядкового номера формули в ній. Пояснення значень символів у формулах слід писати зразу під формулою в тій же послідовності, як вони подані у формулах. Кожне пояснення пишеться з нового рядка, перший рядок розпочинається словом “де” без двокрапки.

Після виконання всіх лабораторних робіт окремі звіти скріплюються в послідовності виконання робіт в загальний звіт, оформляється титульний аркуш, всі сторінки нумеруються. Нумерація наскрізна. Виконання і своєчасний захист всіх лабораторних робіт є обов’язковою умовою допуску студента до складання іспиту з дисципліни „Імітаційне моделювання технічних систем”.

3 Критерії оцінки знань під час виконання і захисту лабораторних робіт

У відповідності до „Положення про систему підсумкового контролю, оцінювання знань та визначення рейтингу студентів”, затвердженого наказом ректора ЧДТУ №20 від 10.02.2005р студенти за результатами роботи в семестрі отримують сумарну модульну оцінку, яка складається з балів, отриманих за виконання письмової компоненти модульних контролів та балів за виконання лабораторних робіт та РГР. Відповідно до шкали переведення модульна оцінка, виражена в балах за 100-бальною шкалою, переводиться у державну систему оцінок за чотирибальною шкалою: “відмінно”, “добре”, “задовільно”, “незадовільно”.

Відповідно до робочої програми з дисципліни «Імітаційне моделювання технічних систем» встановлені наступні критерії оцінки знань студентів під час виконання і захисту лабораторних робіт:

- студент, який давав правильні відповіді на запитання при перевірці ступеню підготовленості до виконання лабораторної роботи та вчасно захистив лабораторну роботу отримує **4 бали** з них:

- **1 бал** – за правильну відповідь на контрольне запитання під час перевірки готовності до виконання лабораторної роботи;

- **3 бали** – при здачі лабораторної роботи з них:

- **1 бал** – за оформлення роботи (наявність і правильність розрахунків, наявність чіткого і логічного висновку, відсутність „ознак” сканованого тексту”, відповідність вимогам ЄСКД, правилам нарисної геометрії та технічного креслення). За умови недотримання хоча б однієї з перелічених вимог студент за оформлення лабораторної роботи отримує 0 балів і виправляє всі вказані викладачем недоліки.

- **2 бали** – за відповіді на питання під час здачі лабораторної роботи: **2** питання по **1** балу.

- студент, який без поважної причини не з'явився на лабораторному занятті, або був присутнім на лабораторному занятті без звіту, але вчасно відпрацював і захистив роботу за виконання лабораторної роботи отримує **2 бали**.

- без поважної причини невчасно виконані і захищені лабораторні роботи, оцінюються в **0 балів**.

Примітка. Вчасно виконаною і захищеною вважається робота, виконана в період між початком семестру та першим контрольним заходом (модульним контролем), або між суміжними датами модульних контролів.

Лабораторна робота 1

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ІНТЕРФЕЙСОМ СИСТЕМИ SIMULINK ПАКЕТУ MATLAB

1.1 Мета роботи

Ознайомитись з інтерфейсом і основними можливостями системи SIMULINK пакету MATLAB.

1.2 Теоретична інформація

Загальні відомості.

Програма Simulink є додатком до пакету MATLAB. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки. При цьому, на відміну від класичних способів моделювання, користувачеві не потрібно досконально вивчати мову програмування і чисельні методи математики, а достатньо загальних знань потрібних при роботі на комп'ютері і знань тієї області в якій він працює.

Simulink є достатньо самостійним інструментом MATLAB і при роботі з ним зовсім не потрібно знати сам MATLAB і останні його застосування. З іншого боку доступ до функцій MATLAB і іншим його інструментам залишається відкритим і їх можна використовувати в Simulink. Частина тих, що входять до складу пакетів має інструменти, що вбудовуються в Simulink (наприклад, LTI-Viewer додатку Control System Toolbox - пакету для розробки систем управління). Є також додаткові бібліотеки блоків для різних областей застосування (наприклад, Power System Blockset - моделювання електротехнічних пристроїв, Digital Signal Processing Blockset - набір блоків для розробки цифрових пристроїв і т.д).

При роботі з Simulink користувач має можливість модернізувати бібліотечні блоки, створювати свої власні, а також складати нові бібліотеки блоків.

При моделюванні користувач може вибирати метод вирішення диференціальних рівнянь, а також спосіб зміни модельного часу (з фіксованим або змінним кроком). В ході моделювання є можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків або таблиць.

Запуск Simulink.

Для запуску програми необхідно заздалегідь запустити пакет MATLAB. Основне вікно пакету MATLAB показане на рисунку. 1.1. Там по-

казана підказка що з'являється у вікні при наведенні покажчика миші на ярлик Simulink в панелі інструментів.

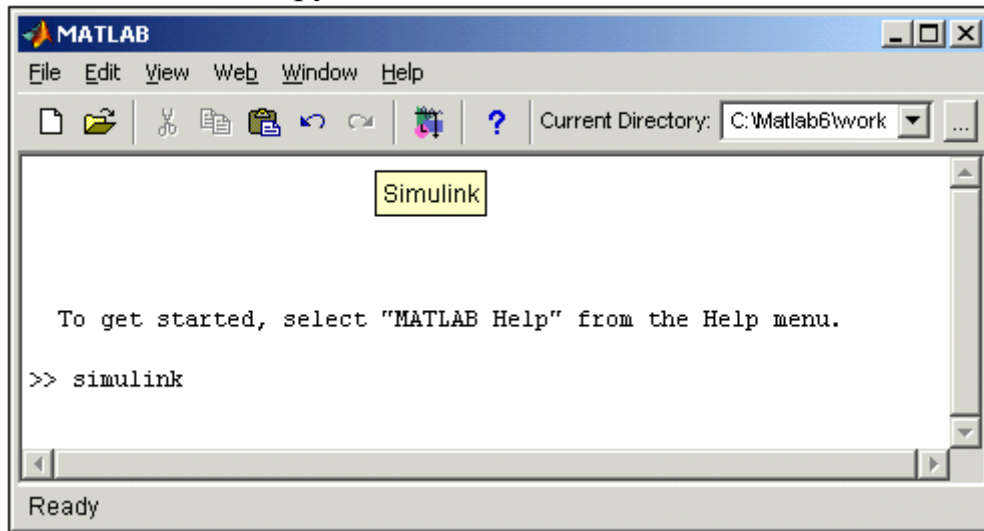


Рисунок 1.1 – Основне вікно програми MATLAB

Після відкриття основного вікна програми MATLAB потрібно запустити програму Simulink. Це можна зробити одним з трьох способів:

- натиснути кнопку (Simulink) на панелі інструментів командного вікна MATLAB;
- у командному рядку головного вікна MATLAB надрукувати Simulink і натиснути клавішу Enter на клавіатурі;
- виконати команду Open у меню File і відкрити файл моделі (mdl - файл).

Останній варіант зручно використовувати для запуску вже готової і відлагодженої моделі, коли потрібно лише провести розрахунки і не потрібно додавати нові блоки в модель. Використання першого і другого способів приводить до відкриття вікна оглядача розділів бібліотеки Simulink (рисунок 1.2).

Оглядач розділів бібліотеки Simulink.

Вікно оглядача бібліотеки блоків містить наступні елементи (рисунок 1.2):

1. Заголовок, з назвою вікна – Simulink Library Browser.
2. Меню, з командами File, Edit, View, Help.
3. Панель інструментів, з ярликами найбільш часто використовуваних команд.
4. Вікно коментаря для виведення пояснюючого повідомлення про вибраний блок.
5. Список розділів бібліотеки, реалізований у вигляді дерева.
6. Вікно вмісту розділу бібліотеки (список вкладених розділів бібліотеки або блоків)
7. Рядок стану, що містить підказку по виконуваний дії.

На рисунку 1.2 виділена основна бібліотека Simulink (у лівій частині вікна) і показані її розділи (у правій частині вікна).

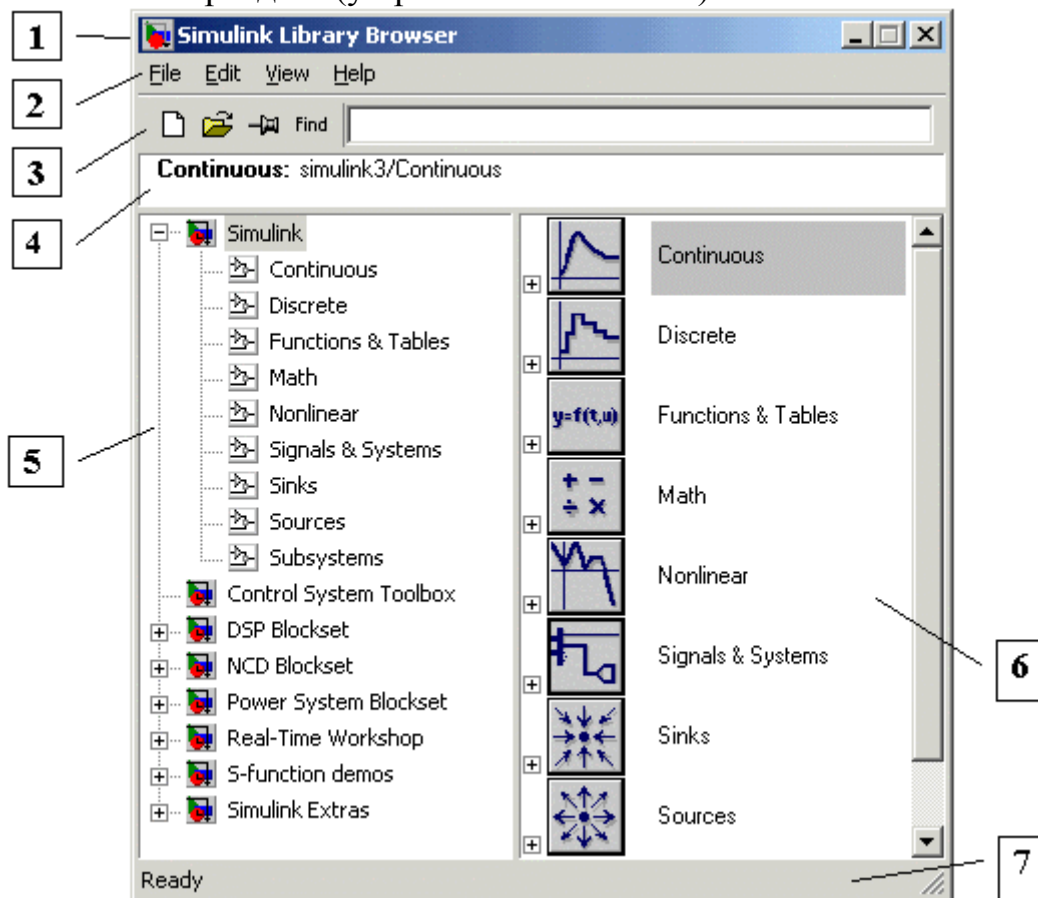


Рисунок 1.2 – Вікно оглядача розділів бібліотеки Simulink

Бібліотека Simulink містить наступні основні розділи:

- Continuous – лінійні блоки.
- Discrete – дискретні блоки.
- Functions & Tables – функції і таблиці.
- Math – блоки математичних операцій.
- Nonlinear – нелінійні блоки.
- Signals & Systems – сигнали і системи.
- Sinks – реєструючі пристрої.
- Sources – джерела сигналів і дій.
- Subsystems – блоки підсистем.

Список розділів бібліотеки Simulink представлений у вигляді дерева, і правила роботи з ним є загальними для списків такого вигляду:

Піктограма згорнутого вузла дерева містить символ "+", а піктограма розгорненого містить символ "-".

Для того, щоб розгорнути або згорнути вузол дерева, досить клацнути на його піктограмі лівою клавішею миші (ЛКМ).

При виборі відповідного розділу бібліотеки в правій частині вікна відображається його вміст (рисунок 1.3).

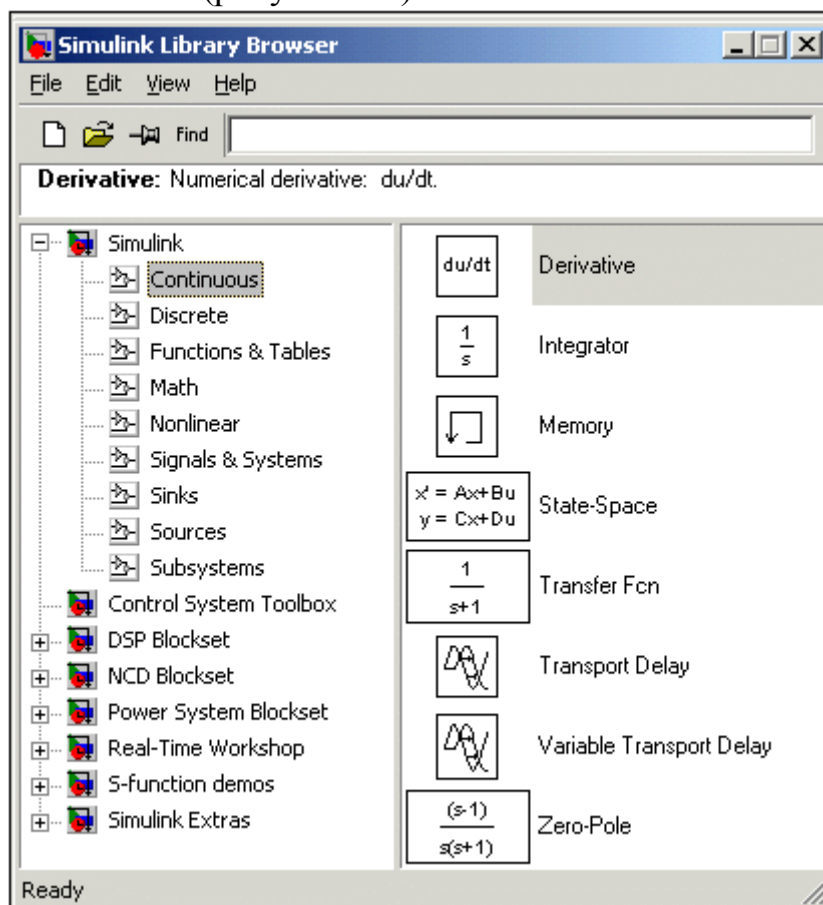


Рисунок 1.3 – Вікно оглядача з набором блоків розділу бібліотеки

Для роботи з вікном використовуються команди зібрані в меню. Меню оглядача бібліотек містить наступні пункти:

- File (Файл) – робота з файлами бібліотек.
- Edit (Редагування) – додавання блоків і їх пошук (по назві).
- View (Вигляд) – управління показом елементів інтерфейсу.
- Help (Довідка) – виведення вікна довідки по оглядачеві бібліотек.

Для роботи з оглядачем можна також використовувати кнопки на панелі інструментів (рисунок 1.4).

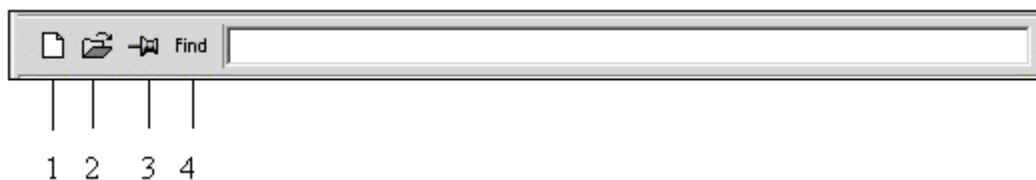


Рисунок 1.4. Панель інструментів оглядача розділів бібліотек

Кнопки панелі інструментів мають наступне призначення:

1. Створити нову S-модель (відкрити нове вікно моделі).
2. Відкрити одну з існуючих S-моделей.

3. Змінити властивості вікна оглядача. Дана кнопка дозволяє встановити режим відображення вікна оглядача "поверх всіх вікон". Повторне натиснення відмінює такий режим.
4. Пошук блоку по назві (по перших символах назви). Після того, як блок буде знайдений, у вікні оглядача відкриється відповідний розділ бібліотеки, а блок буде виділений. Якщо ж блок з такою назвою відсутній, то у вікні коментаря буде виведено повідомлення Not found <ім'я блоку> (Блок не знайдений).

Створення моделі.

Для створення моделі в середовищі SIMULINK необхідно послідовно виконати ряд дій:

1. Створити новий файл моделі за допомогою команди File/New/Model, або використовуючи кнопку на панелі інструментів. Знов створене вікно моделі показано на рисунку 1.5.

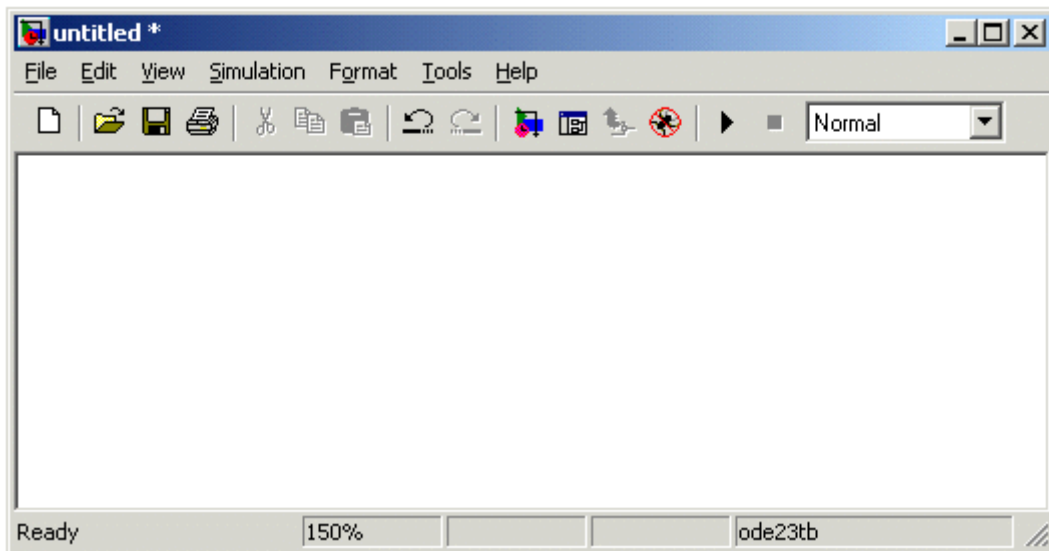


Рисунок 1.5 – Порожнє вікно моделі

2. Розташувати блоки у вікні моделі. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки (Наприклад, Sources – Джерела). Далі, вказавши курсором на необхідний блок і натиснувши на ліву клавішу “миші” – “перетягнути” блок в створене вікно. Клавішу миші потрібно тримати натиснутою. На рисунку 1.6 показано вікно моделі, що містить блоки.

Для видалення блоку необхідно вибрати блок (вказати курсором на його зображення і натиснути ліву клавішу “миші”), а потім натиснути клавішу Delete на клавіатурі.

Для зміни розмірів блоку потрібно вибрати блок, встановити курсор в один з кутів блоку і, натиснувши ліву клавішу “миші”, змінити розмір блоку (курсор при цьому перетвориться на двосторонню стрілку).

3. Далі, якщо це потрібно, потрібно змінити параметри блоку, встановлені програмою “За умовчанням”.

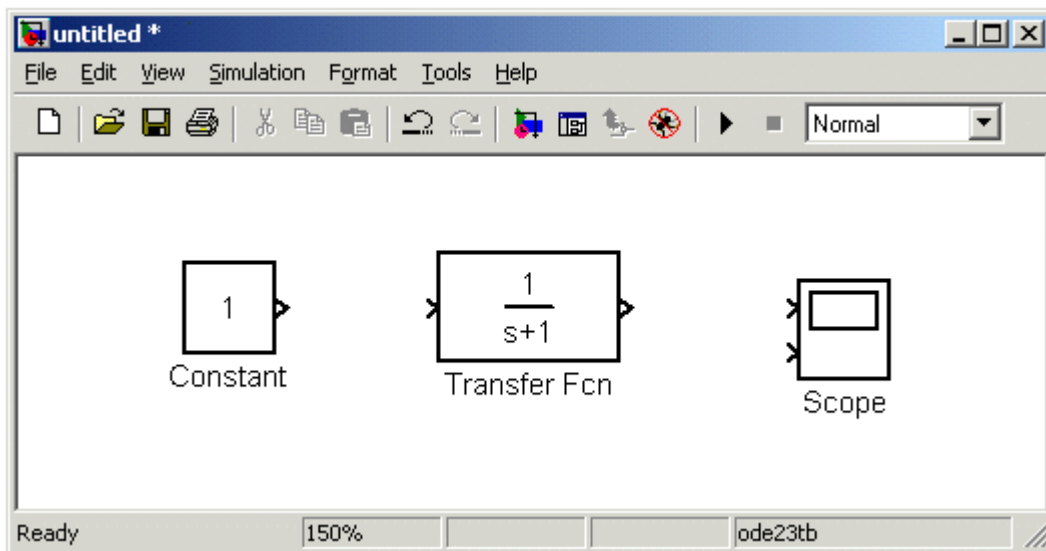


Рисунок 1.6 – Вікно моделі, що містить блоки

Для цього необхідно двічі клацнути лівою клавішею “миші”, вказавши курсором на зображення блоку. Відкриється вікно редагування параметрів даного блоку. При завданні чисельних параметрів слід мати на увазі, що **в якості роздільника повинна використовуватися крапка, а не кома**. Після внесення змін потрібно закрити вікно кнопкою ОК. На рисунку 1.7 як приклад показані блок, що моделює передавальну функцію і вікно редагування параметрів даного блоку.

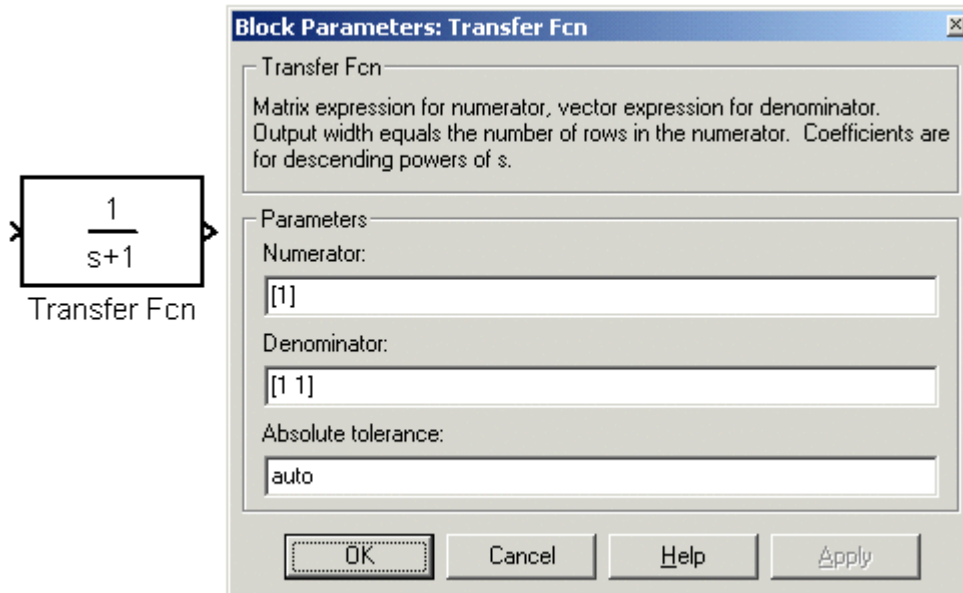


Рисунок 1.7 – Блок, що моделює передавальну функцію і вікно редагування параметрів блоку

4. Після установки на схемі всіх блоків з необхідних бібліотек потрібно виконати з'єднання елементів схеми. Для з'єднання блоків необхідно вказати курсором на “вихід” блоку, а потім, натиснути і, не відпускаючи ліву клавішу

“миші”, провести лінію до входу іншого блоку. Після чого відпустити клавішу. У разі правильного з'єднання зображення стрілки на вході блоку змінює колір. Для створення точки розгалуження в сполучній лінії потрібно підвести курсор до передбачуваного вузла і, натиснувши праву клавішу “миші”, протягнути лінію. Для видалення лінії потрібно вибрати лінію (так само, як це виконується для блоку), а потім натиснути клавішу Delete на клавіатурі. Схема моделі, в якій виконані з'єднання між блоками, показана на рисунку 1.8.

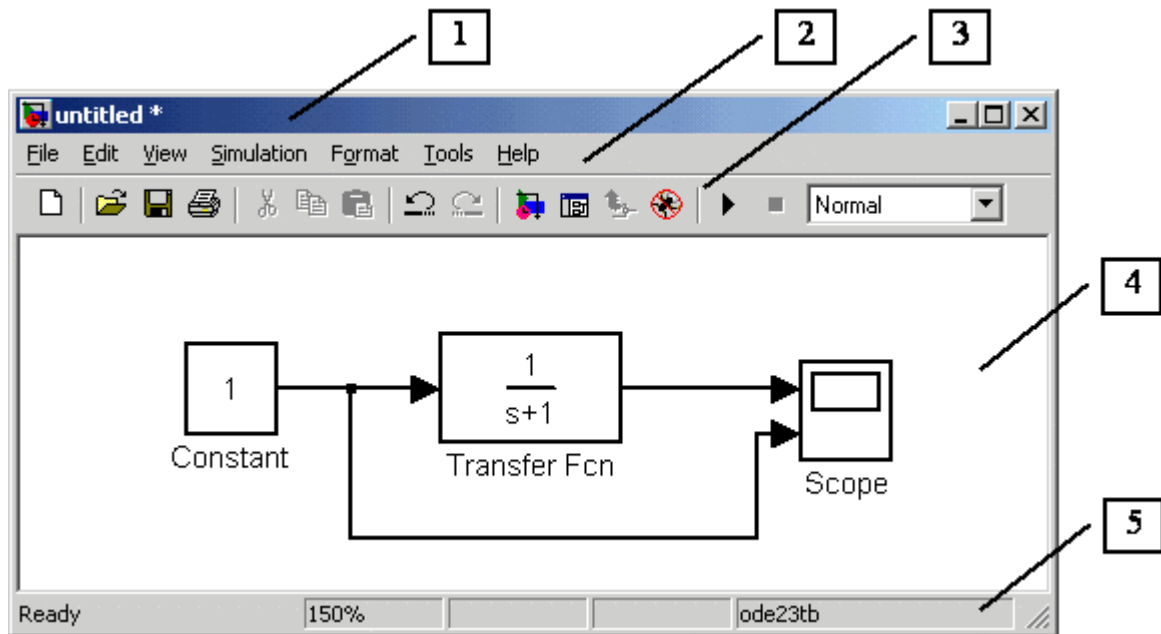


Рисунок 1.8 – Схема моделі

5. Після складання розрахункової схеми необхідно зберегти її у вигляді файлу на диску, вибравши пункт меню File/Save As... у вікні схеми і вказавши каталог і ім'я файлу. Слід мати на увазі, що ім'я файлу не повинне перевищувати 32 символи, повинно починатися з букви і не може містити символи кирилиці і спецсимволи. Ця ж вимога відноситься і до шляху файлу (до тих каталогів, в яких зберігається файл). При подальшому редагуванні схеми можна користуватися пунктом меню File/Save. При повторних запусках програми SIMULINK завантаження схеми здійснюється за допомогою меню File/Open... у вікні оглядача бібліотеки або з основного вікна MATLAB.

Вікно моделі.

Вікно моделі містить наступні елементи (див. рисунок 1.8):

1. Заголовок, з назвою вікна. Знов створеному вікну привласнюється ім'я Untitled з відповідним номером.
2. Меню з командами File, Edit, View і так далі.
3. Панель інструментів.
4. Вікно для створення схеми моделі.
5. Рядок стану, що містить інформацію про поточний стан моделі.

Меню вікна містить команди для редагування моделі, її настройки і управління процесом розрахунку, роботи з файлами і т.п.:

- File (Файл) – Робота з файлами моделей.
- Edit (Редагування) – Зміна моделі і пошук блоків.
- View (Вигляд) – Управління показом елементів інтерфейсу.
- Simulation (Моделювання) – Завдання настройок для моделювання і управління процесом розрахунку.
- Format (Форматування) – Зміна зовнішнього вигляду блоків і моделі в цілому.
- Tools (Інструментальні засоби) – Застосування спеціальних засобів для роботи з моделлю (відладчик, лінійний аналіз і т.п.)
- Help (Довідка) – Виведення вікон довідкової системи.

Для роботи з моделлю можна також використовувати кнопки на панелі інструментів (рисунок 1.9).

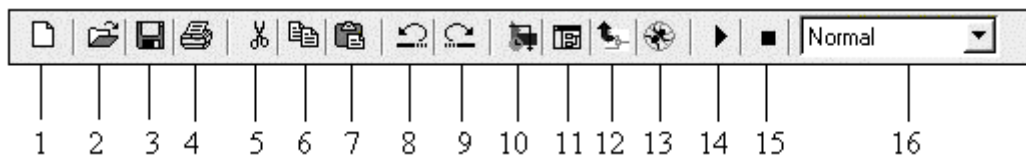


Рисунок 1.9 – Панель інструментів вікна моделі

Кнопки панелі інструментів мають наступне призначення:

1. New Model – Відкрити нове (порожнє) вікно моделі.
2. Open Model – Відкрити існуючий mdl-файл.
3. Save Model – Зберегти mdl-файл на диску.
4. Print Model – Вивід на друк блок-діаграми моделі.
5. Cut – Вирізувати виділену частину моделі в буфер проміжного зберігання.
6. Copy – Скопіювати виділену частину моделі в буфер проміжного зберігання.
7. Paste – Вставити у вікно моделі вміст буфера проміжного зберігання.
8. Undo – Відмінити попередню операцію редагування.
9. Redo – Відновити результат відміненої операції редагування.
10. Library Browser – Відкрити вікно оглядача бібліотек.
11. Toggle Model Browser – Відкрити вікно оглядача моделі.
12. Go to parent system – Перехід з підсистеми в систему вищого рівня ієрархії. Команда доступна тільки якщо відкрита підсистема.
13. Debug – Запуск відладчика моделі.
14. Start/Pause/Continue Simulation – Запуск моделі на виконання (команда Start); після запуску моделі на зображенні кнопки виводиться символ, і їй відповідає вже команда Pause (Припинити

моделювання); для відновлення моделювання слід клацнути по тій же кнопці, оскільки в режимі паузи їй відповідає команда Continue (Продовжити).

15. Stop – Закінчити моделювання. Кнопка стає доступною після початку моделювання, а також після виконання команди Pause.
16. Normal/Accelerator – Звичайний/Прискорений режим розрахунку. Інструмент доступний, якщо встановлений додаток Simulink Performance Tool.

У нижній частині вікна моделі знаходиться рядок стану, в якому відображаються короткі коментарі до кнопок панелі інструментів, а також до пунктів меню, коли покажчик миші знаходиться над відповідним елементом інтерфейсу. Це ж текстове поле використовується і для індикації стану Simulink: Ready (Готовий) або Running (Виконання). У рядку стану відображаються також: масштаб відображення блок-діаграми (у відсотках, початкове значення рівне 100%), індикатор ступеня завершеності сеансу моделювання (з'являється після запуску моделі), поточне значення модельного часу (виводиться також тільки після запуску моделі), використовуваний алгоритм розрахунку станів моделі (метод рішення).

З'єднання блоків.

Для з'єднання блоків необхідно спочатку встановити курсор миші на вихідний порт одного з блоків. Курсор при цьому перетвориться на великий хрест з тонких ліній (рисунок 1.10). Тримавши натиснутою ліву кнопку миші, потрібно перемістити курсор до вхідного порту потрібного блоку. Курсор миші прийме вид хреста з тонких здвоєних ліній (рисунок 1.11). Після створення лінії необхідно відпустити ліву клавішу миші. Свідомством того, що з'єднання створене, буде жирна стрілка у вхідного порту блоку. Виділення лінії проводиться точно також як і виділення блоку – одинарним клацанням лівої клавіші миші. Чорні маркери, розташовані у вузлах сполучної лінії говоримуть про те, що лінія виділена.

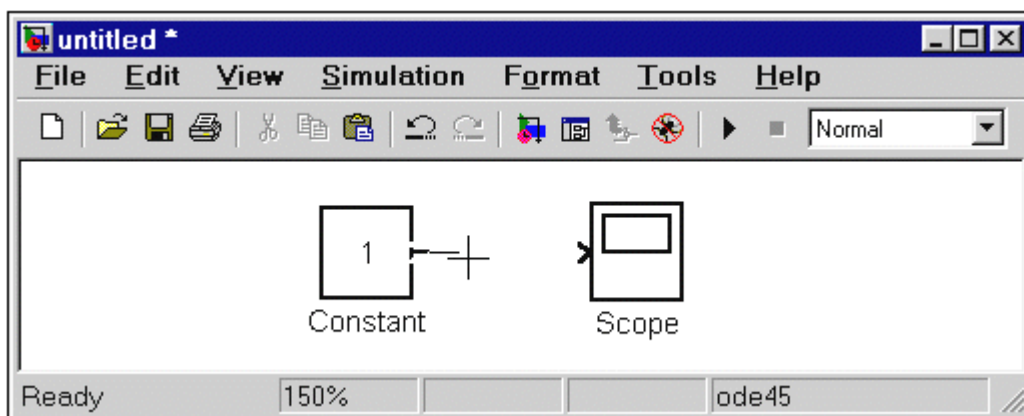


Рисунок 1.10 – Початок створення з'єднання

Створення петлі лінії з'єднання виконується також як переміщення блоку. Лінія з'єднання виділяється, і потім потрібна частина лінії переміщується. Рисунок 1.12 пояснює цей процес.

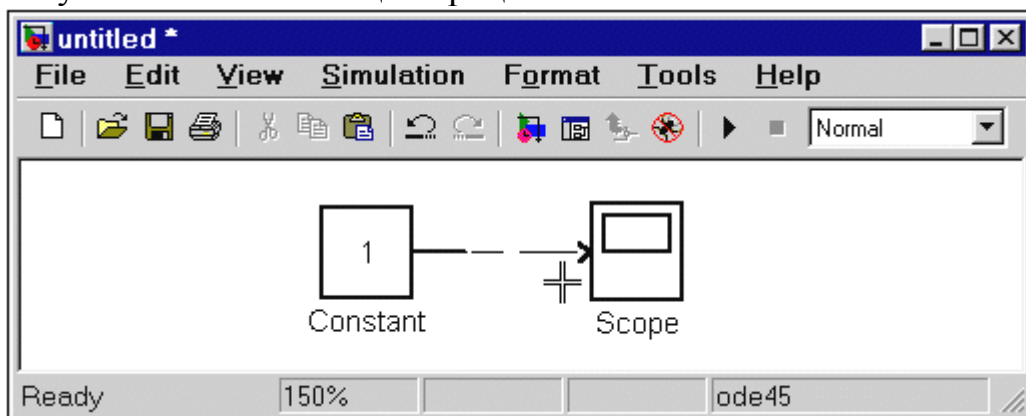


Рисунок 1.11 – Завершення створення з'єднання

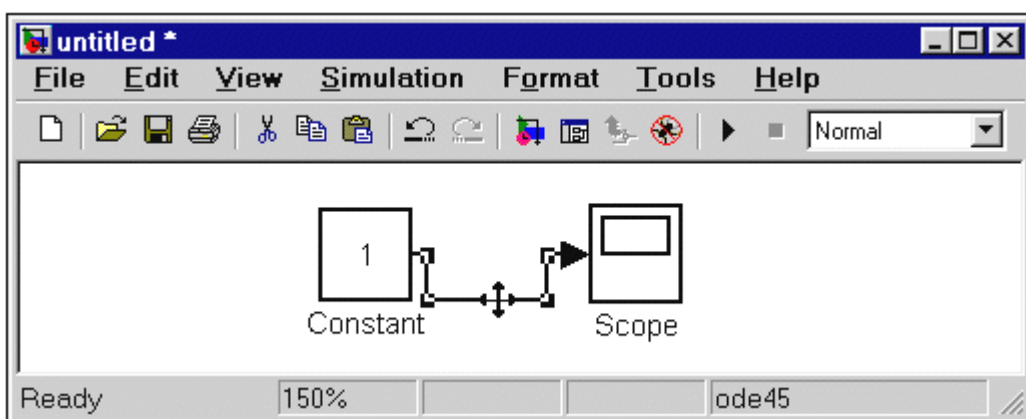


Рисунок 1.12 - Створення петлі в сполучній лінії

Видалення з'єднань виконується також як і будь-яких інших об'єктів.

Установка параметрів розрахунку і його виконання.

Перед виконанням розрахунків необхідно заздалегідь задати параметри розрахунку. Завдання параметрів розрахунку виконується в панелі управління меню Simulation/Parameters. Вид панелі управління приведений на рисунку 1.13.

Вікно настройки параметрів розрахунку має 4 вкладки:

- Solver (Розрахунок) – Установка параметрів розрахунку моделі.
- Workspace I/O (Введення/виведення даних в робочу область) – Установка параметрів обміну даними з робочою областю MATLAB.
- Diagnostics (Діагностика) – Вибір параметрів діагностичного режиму.
- Advanced (Додатково) – Установка додаткових параметрів.

Установка параметрів розрахунку моделі виконується за допомогою елементів управління, розміщених на вкладці Solver. Ці елементи розділені

на три групи (рисунок 1.13): Simulation time (Інтервал моделювання або, іншими словами, час розрахунку), Solver options (Параметри розрахунку), Output options (Параметри виводу).

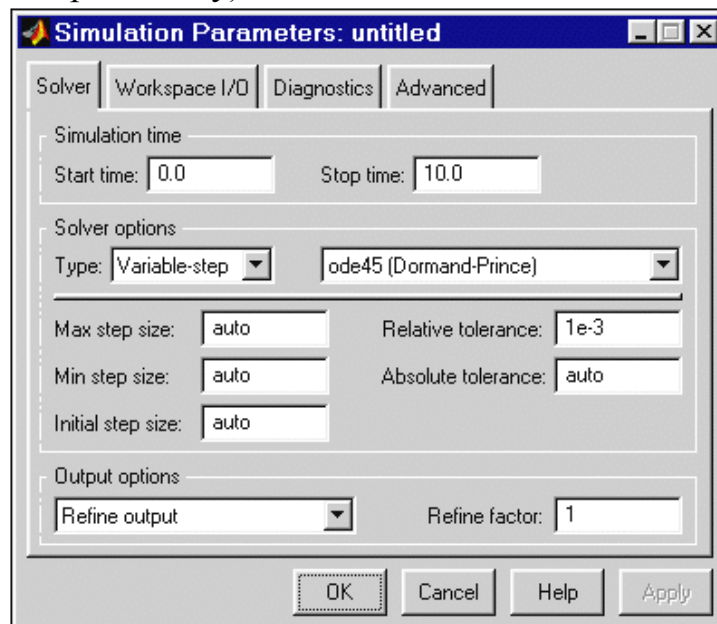


Рисунок 1.13 – Панель управління

Установка параметрів розрахунку моделі.

Simulation time (Інтервал моделювання або час розрахунку).

Час розрахунку задається вказівкою початкового (Start time) і кінцевого (Stop time) значень часу розрахунку. Початковий час, як правило, задається рівним нулю. Величина кінцевого часу задається користувачем виходячи з умов вирішуваного завдання.

Solver options (Параметри розрахунку).

При виборі параметрів розрахунку необхідно вказати спосіб моделювання (Type) і метод розрахунку нового стану системи. Для параметра Type доступні два варіанти – з фіксованим (Fixed-step) або із змінним (Variable-step) кроком. Як правило, Variable-step використовується для моделювання безперервних систем, а Fixed-step – для дискретних.

Список методів розрахунку нового стану системи містить декілька варіантів. Перший варіант (discrete) використовується для розрахунку дискретних систем. Інші методи використовуються для розрахунку безперервних систем. Ці методи різні для змінного (Variable-step) і для фіксованого (Fixed-step) кроку часу, але, по суті, є процедурами розв'язання систем диференціальних рівнянь.

Нижче за списки Type, що розкриваються, знаходиться область, вміст якої міняється в залежності від вибраного способу зміни модельного часу. При виборі Fixed-step в даній області з'являється текстове поле Fixed-step size (величина фіксованого кроку) що дозволяє вказувати величину кроку моделювання (див. рисунок 1.14). Величина кроку моделювання за умовчанням

встановлюється системою автоматично (auto). Необхідна величина кроку може бути введена замість значення auto або у формі числа, або у вигляді обчислюваного виразу (те ж саме відноситься і до всіх параметрів встановлюваних системою автоматично).



Рисунок 1.14 – Вкладка Solver при виборі фіксованого кроку розрахунку

При виборі Fixed-step необхідно також задати режим розрахунку (Mode). Для параметра Mode доступні три варіанти:

MultiTasking (Багатозадачний) – необхідно використовувати, якщо в моделі присутні паралельно працюючі підсистеми, і результат роботи моделі залежить від тимчасових параметрів цих підсистем. Режим дозволяє виявити невідповідність швидкості і дискретності сигналів, що пересилаються блоками один одному.

SingleTasking (Однозадачний) – використовується для тих моделей, в яких недостатньо строга синхронізація роботи окремих складових не впливає на кінцевий результат моделювання.

Auto (Автоматичний вибір режиму) – дозволяє Simulink автоматично встановлювати режим MultiTasking для тих моделей, в яких використовуються блоки з різними швидкостями передачі сигналів і режим SingleTasking для моделей, в яких містяться блоки, що оперують однаковими швидкостями.

При виборі Variable-step в області з'являються поля для установки трьох параметрів:

Max step size – максимальний крок розрахунку. За умовчанням він встановлюється автоматично (auto) і його значення в цьому випадку рівне $(SfopTime - StartTime) / 50$. Досить часто це значення виявляється дуже великим, і спостережуваними графіками є ламані (а не плавні) лінії. В цьому випадку величину максимального кроку розрахунку необхідно задавати явним чином.

Min step size – мінімальний крок розрахунку.

Initial step size – початкове значення кроку моделювання.

При моделюванні безперервних систем з використанням змінного кроку необхідно вказати точність обчислень: відносну (Relative tolerance) і абсолютну (Absolute tolerance). За умовчанням вони рівні відповідно 10⁻³ і auto.

Output options (Параметри виводу).

У нижній частині вкладки Solver задаються настройки параметрів виведення вихідних сигналів модельованої системи (Output options). Для даного параметра можливий вибір один з трьох варіантів:

Refine output (Скоректований вивід) – дозволяє змінювати дискретність реєстрації модельного часу і тих сигналів, які зберігаються в робочій області MATLAB за допомогою блоку To Workspace. Установка величини дискретності виконується в рядку редагування Refine factor, розташованому справа. За умовчанням значення Refine factor рівне 1, це означає, що реєстрація проводиться з кроком $Dt = 1$ (тобто для кожного значення модельного часу). Якщо задати Refine factor рівним 2, це означає, що реєструватиметься кожне друге значення сигналів, 3 – кожне третє і т.д. Параметр Refine factor може приймати тільки цілі позитивні значення

Produce additional output (Додатковий вивід) – забезпечує додаткову реєстрацію параметрів моделі в задані моменти часу; їх значення вводяться в рядку редагування (в цьому випадку вона називається Output times) у вигляді списку, в квадратних дужках. При використанні цього варіанту базовий крок реєстрації (Dt) рівний 1. Значення часу в списку Output times можуть бути дробовими числами і мати будь-яку точність.

Produce specified output only (Формувати тільки заданий вивід) – встановлює виведення параметрів моделі тільки в задані моменти часу, які вказуються в полі Output times (Моменти часу виводу).

Установка параметрів обміну з робочою областю.

Елементи, що дозволяють керувати введенням і виведенням в робочу область MATLAB проміжних даних і результатів моделювання, розташовані на вкладці Workspace I/O (рисунок 1.15).

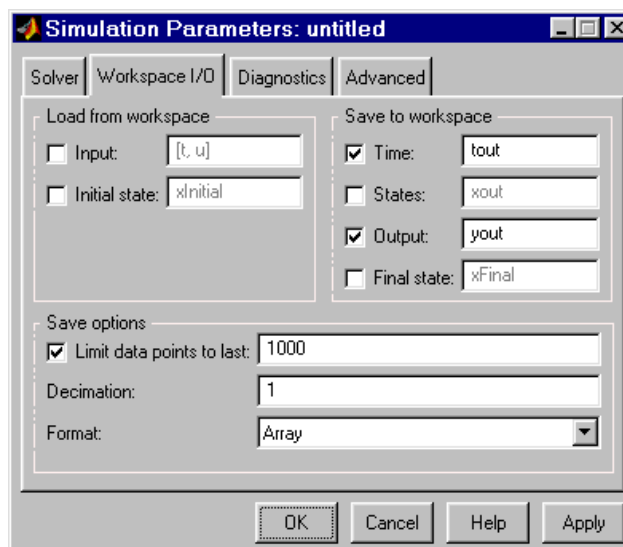


Рисунок 1.15 – Вкладка Workspace I/O діалогового вікна установки параметрів моделювання

Елементи вкладки розділені на 3 поля:

Load from workspace (Завантажити з робочої області). Якщо прапорець Input (Вхідні дані) встановлений, то в розташованому справа текстовому полі можна ввести формат даних, які читатимуться з робочої області MATLAB. Установка прапорця Initial State (Початковий стан) дозволяє ввести в пов'язаному з ним текстовому полі ім'я змінної, що містить параметри початкового стану моделі. Дані, вказані в полях Input і Initial State, передаються у виконувану модель за допомогою одного або більше блоків In (з розділу бібліотеки Sources).

Save to workspace (Записати в робочу область) – дозволяє встановити режим виведення значень сигналів в робочу область MATLAB і задати їх імена.

Save options (Параметри запису) – задає кількість рядків при передачі змінних в робочу область. Якщо прапорець Limit rows to last встановлений, то в полі введення можна вказати кількість передаваних рядків (відлік рядків проводиться від моменту завершення розрахунку). Якщо прапорець не встановлений, то передаються всі дані. Параметр Decimation (Виключення) задає крок запису змінних в робочу область (аналогічно параметру Refine factor вкладки Solver). Параметр Format (формат даних) задає формат передаваних в робочу область даних. Доступні формати Array (Масив), Structure (Структура), Structure With Time (Структура з додатковим полем – “час”).

Установка параметрів діагностування моделі.

Вкладка Diagnostics (рисунок 1.16) дозволяє змінювати перелік діагностичних повідомлень Simulink, що виводяться в командному вікні MATLAB, а також встановлювати додаткові параметри діагностики моделі.

Повідомлення про помилки або проблемні ситуації, виявлені Simulink в ході моделювання і що вимагають втручання розробника виводяться в командному вікні MATLAB. Початковий перелік таких ситуацій і вид реакції на них приведений в списку на вкладці Diagnostics. Розробник може вказати вид реакції на кожне з них, використовуючи групу перемикачів в полі Action (вони стають доступні, якщо в списку вибрана одна з подій):

None – ігнорувати;

Warning – видати попередження і продовжити моделювання;

Error – видати повідомлення про помилку і зупинити сеанс моделювання.

Вибраний вид реакції відображається в списку поряд з найменуванням події.

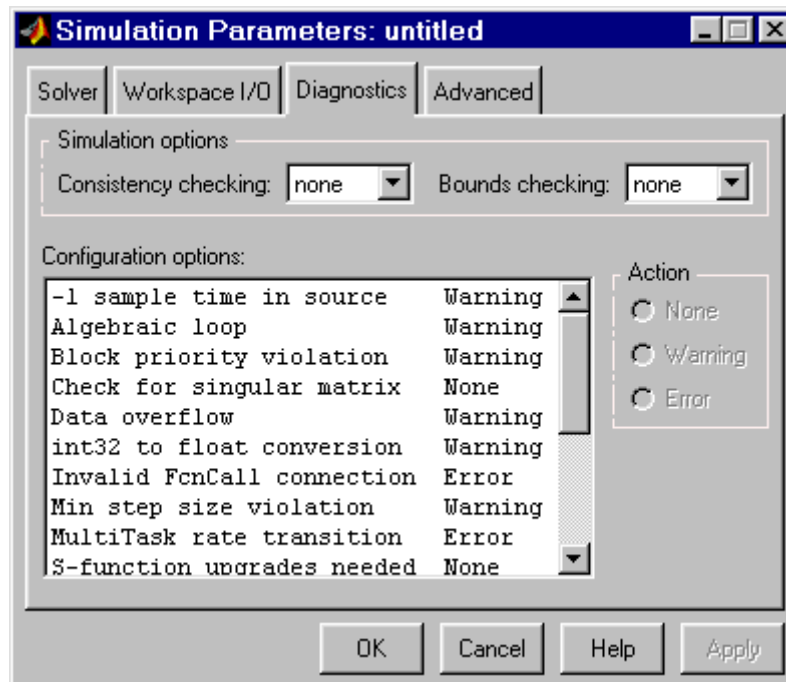




Рисунок 1.16. Вкладка Diagnostics вікна установки параметрів моделювання

Виконання розрахунку.

Запуск розрахунку виконується за допомогою вибору пункту меню Simulation/Start. або інструменту  на панелі інструментів. Процес розрахунку можна завершити достроково, вибравши пункт меню Simulation/Stop або інструмент . Розрахунок також можна зупинити (Simulation/Pause) і потім продовжити (Simulation/Continue).

1.3 Оснащення роботи

Персональний комп'ютер, навчальні посібники.

1.4 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з інтерфейсом і основними можливостями системи SIMULINK пакету MATLAB.
2. Відповісти письмово на питання призначенні для самостійної підготовки.
3. Зробити висновки по роботі.

1.5 Інформація до складання звіту

У підрозділі „Дані виконання роботи” привести короткі теоретичні відомості щодо вивчення інтерфейсу і основних можливостей системи SIMULINK пакету MATLAB, навести письмові відповіді на питання призначенні для самостійної підготовки.

1.6 Питання до самостійної підготовки

1. Призначення і основні можливості системи SIMULINK пакету MATLAB?
2. Які основні розділи містить бібліотека SIMULINK, вказати їх призначення?
3. Яким чином виконується редагування параметрів блоку S-моделі, які вимоги до введення числових параметрів?
4. Яким чином створюється з'єднання блоків моделі і розгалужене з'єднання?
5. Призначення вкладок вікна настройки параметрів розрахунку?
6. Які типи систем можна розраховувати в системі SIMULINK пакету MATLAB і які параметри розрахунку при цьому використовуються?
7. Які режими розрахунку в системі SIMULINK ви знаєте, охарактеризувати всі варіанти?
8. Для чого призначені настройки параметрів виведення вихідних сигналів модельованої системи (Output options), назвіть їх?
9. Назвіть призначення настройки Refine output (Скоректований вивід)?
10. Навіщо потрібна установка параметрів діагностування моделі?

Лабораторна робота 2

ІМІТАЦІЯ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ І ЯВИЩ ПРИСУТНІХ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ SIMULINK ПАКЕТУ MATLAB

2.1 Мета роботи

Вивчити призначення блоків розділу Sources бібліотеки SIMULINK і згідно індивідуального завдання створити S-модель імітації випадкових процесів, що мають місце в технічних системах.

2.2 Теоретична інформація

Sources – джерела сигналів.

Джерело постійного сигналу Constant.

Призначення: задає постійний по рівню сигнал.

Параметри:

1. Constant value – Постійна величина.
2. Interpret vector parameters as 1-D – Інтерпретувати вектор параметрів як одновимірний (при встановленому прапорці). Даний параметр зустрічається у більшості блоків бібліотеки Simulink. Надалі він розглядатися не буде.

Значення константи може бути дійсним або комплексним числом, обчислюваним виразом, вектором або матрицею.

Рисунок 2.1 ілюструє застосування цього джерела і вимірювання його вихідного сигналу за допомогою цифрового індикатора Display.

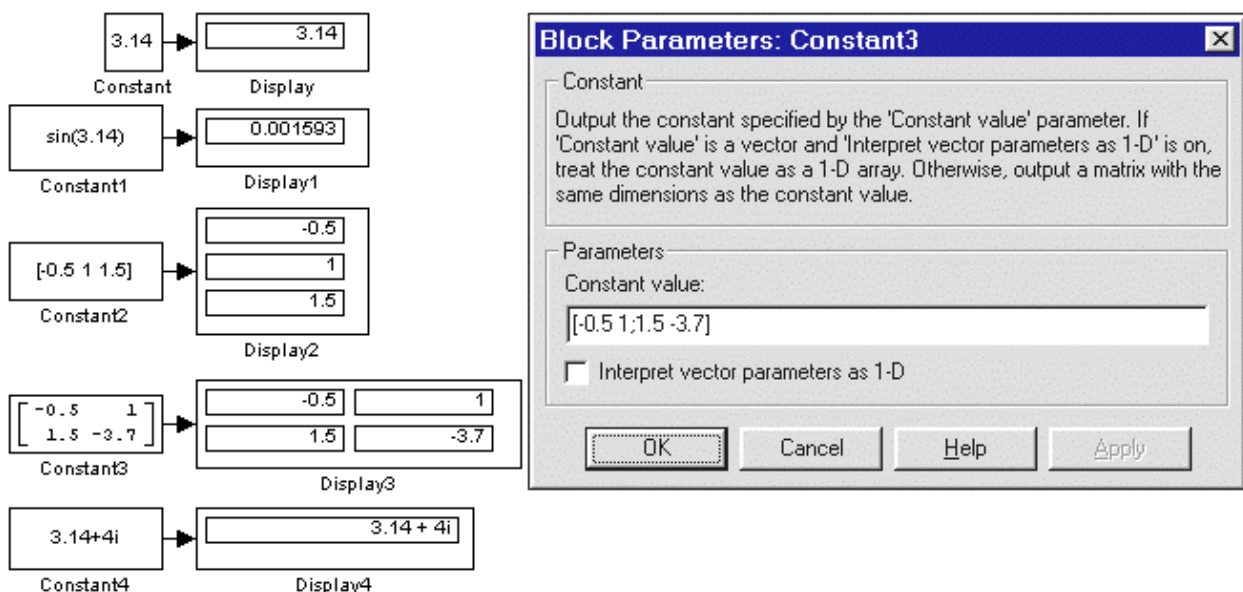


Рисунок 2.1 – Джерело постійної дії Constant

Джерело синусоїдального сигналу Sine Wave.

Призначення: формує синусоїдальний сигнал із заданою частотою, амплітудою, фазою і зсувом.

Для формування вихідного сигналу блоком можуть використовуватися два алгоритми. Вид алгоритму визначається параметром Sine Type (спосіб формування сигналу):

- Time-based – По поточному часу.
- Sample-based – По величині кроку модельного часу.

Формування вихідного сигналу по поточному значенню часу для безперервних систем.

Вихідний сигнал джерела в цьому режимі відповідає виразу:

$$y = \text{Amplitude} * \sin(\text{frequency} * \text{time} + \text{phase}) + \text{bias}.$$

Параметри:

- Amplitude – Амплітуда.
- Bias – Постійна складова сигналу.
- Frequency (rads/sec) – Частота (рад/с).
- Phase (rads) – Початкова фаза (радіан).
- Sample time – Крок модельного часу.

Використовується для узгодження роботи джерела і інших компонентів моделі в часі. Параметр може приймати наступні значення: 0 (за умовчанням) – використовується при моделюванні безперервних систем; >0 (позитивне значення) – задається при моделюванні дискретних систем. В цьому випадку крок модельного часу можна інтерпретувати як крок квантування за часом вихідного сигналу; -1 – крок модельного часу встановлюється таким же, як і в попередньому блоці, тобто блоці, звідки приходить сигнал в даний блок.

Цей параметр може задаватися для більшості блоків бібліотеки Simulink. Надалі він розглядатися не буде.

При розрахунках для дуже великих значень часу точність розрахунку вихідних значень сигналу падає унаслідок значної помилки округлення.

Формування вихідного сигналу по поточному значенню часу для дискретних систем.

Алгоритм визначення значення вихідного сигналу джерела для кожного подальшого кроку розрахунку визначається виразом (у матричній формі):

$$\begin{bmatrix} \sin(t + \Delta t) \\ \cos(t + \Delta t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\Delta t) & \sin(\Delta t) \\ -\sin(\Delta t) & \cos(\Delta t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(t) \\ \cos(t) \end{bmatrix}$$

де Δt – постійна величина, рівна значенню Sample time.

У даному режимі помилка округлення для великих значень часу також зменшує точність розрахунку.

Формування вихідного сигналу по величині модельного часу і кількості розрахункових кроків на один період.

Вихідний сигнал джерела в цьому режимі відповідає виразу:

$y = \text{Amplitude} * \sin[(k + \text{Number of offset samples}) / \text{Samples per period}] + \text{bias}$

де k – номер поточного кроку розрахунку.

Параметри:

- Amplitude – Амплітуда.
- Bias – Постійна складова сигналу.
- Samples per period – Кількість розрахункових кроків на один період синусоїдального сигналу: $\text{Samples per period} = 2\pi / (\text{frequency} * \text{Sample time})$
- Number of offset samples – Початкова фаза сигналу. Задається кількістю кроків модельного часу: $\text{Number of offset samples} = \text{Phase} * \text{Samples per period} / (2\pi)$.
- Sample time – Крок модельного часу.

У даному режимі помилка округлення не накопичується, оскільки Simulink починає відлік номера поточного кроку з нуля для кожного періоду.

На рисунку 2.2 показано застосування блоку з різними значеннями кроку модельного часу ($\text{Sample time} = 0$ для блоку Sine Wave 1и $\text{Sample time} = 0.1$ для блоку Sine Wave 2). Для відображення графіків вихідних сигналів в моделі використаний віртуальний осцилограф (Scope).

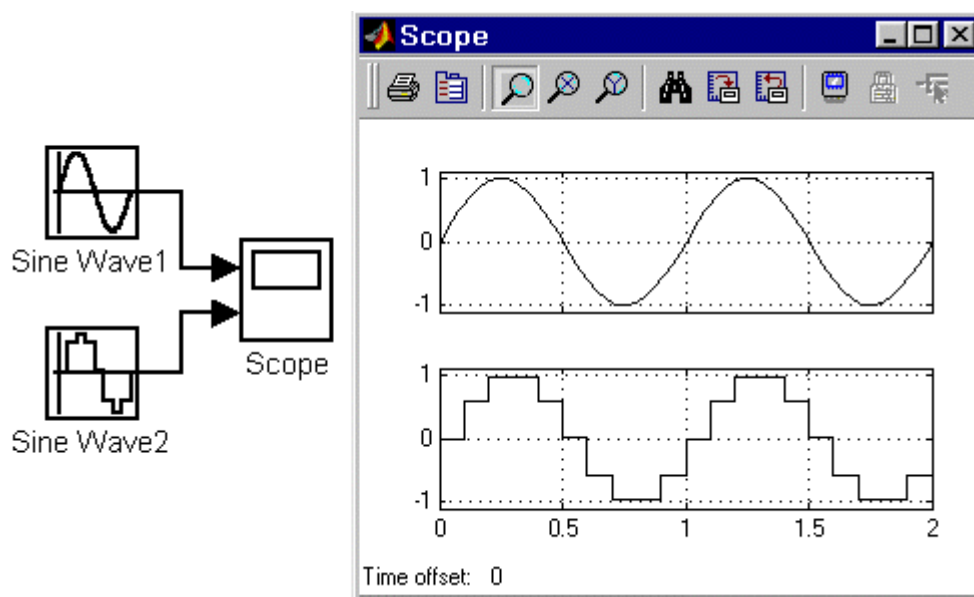


Рисунок 2.2 – Блок Sine Wave

Джерело дії Ramp, що лінійно змінюється.

Призначення: формує лінійний сигнал вигляду $y = \text{Slope} * \text{time} + \text{Initial value}$.

Параметри:

1. Slope – Швидкість зміни вихідного сигналу.
2. Start time – Час почала формування сигналу.
3. Initial value - Початковий рівень сигналу на виході блоку.

На рисунку 2.3. показано використання даного блоку.

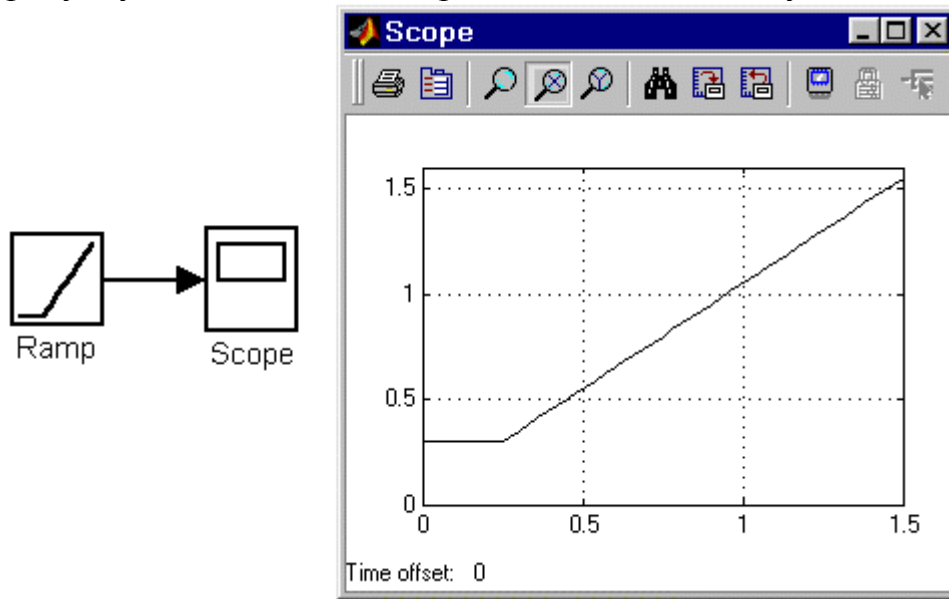


Рисунок 2.3 – Блок Ramp

Генератор ступінчастого сигналу Step.

Призначення: формує ступінчастий сигнал.

Параметри:

- Step time – Час настання перепаду сигналу (с).
- Initial value – Початкове значення сигналу.
- Final value – Кінцеве значення сигналу.

Перепад може бути як у велику сторону (кінцеве значення більш ніж початкове), так і в меншу (кінцеве значення менше ніж початкове). Значення початкового і кінцевого рівнів можуть бути не тільки позитивними, але і негативними (наприклад, зміна сигналу з рівня -5 до рівня -3).

На рисунку 2.4 показано використання генератора ступінчастого сигналу.

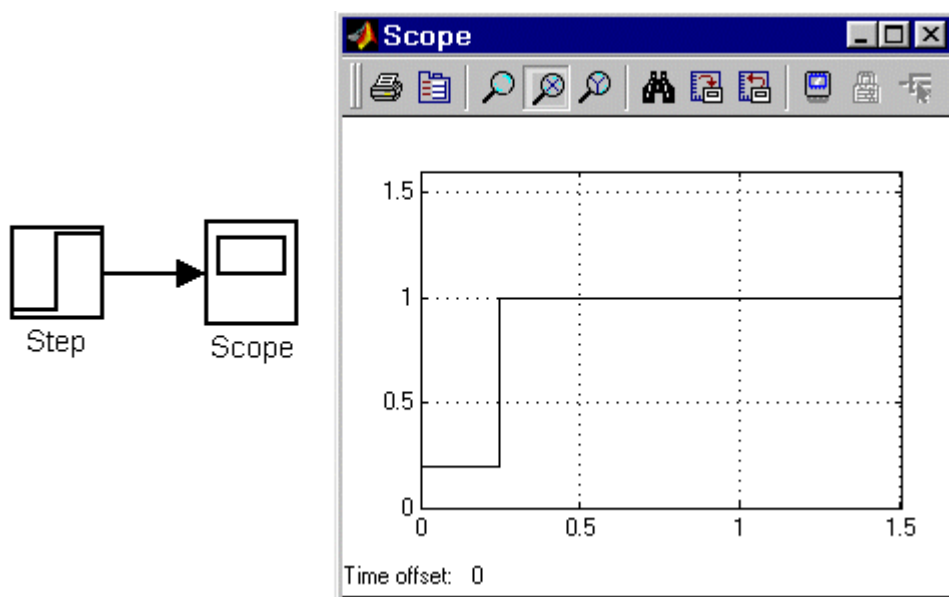


Рисунок 2.4 – Блок Step

Генератор сигналів *Signal Generator*.

Призначення: формує один з чотирьох видів періодичних сигналів:

- sine – Синусоїдальний сигнал.
- square – Прямокутний сигнал.
- sawtooth – Пилкоподібний сигнал.
- random – Випадковий сигнал.

Параметри:

- Wave form – Вид сигналу.
- Amplitude – Амплітуда сигналу.
- Frequency – Частота (рад/с).
- Units – Одиниці вимірювання частоти.

Може приймати два значення:

- Hertz – Гц.
- rad/sec – рад/с.

На рисунку 2.5 показано застосування цього джерела при моделюванні прямокутного сигналу.

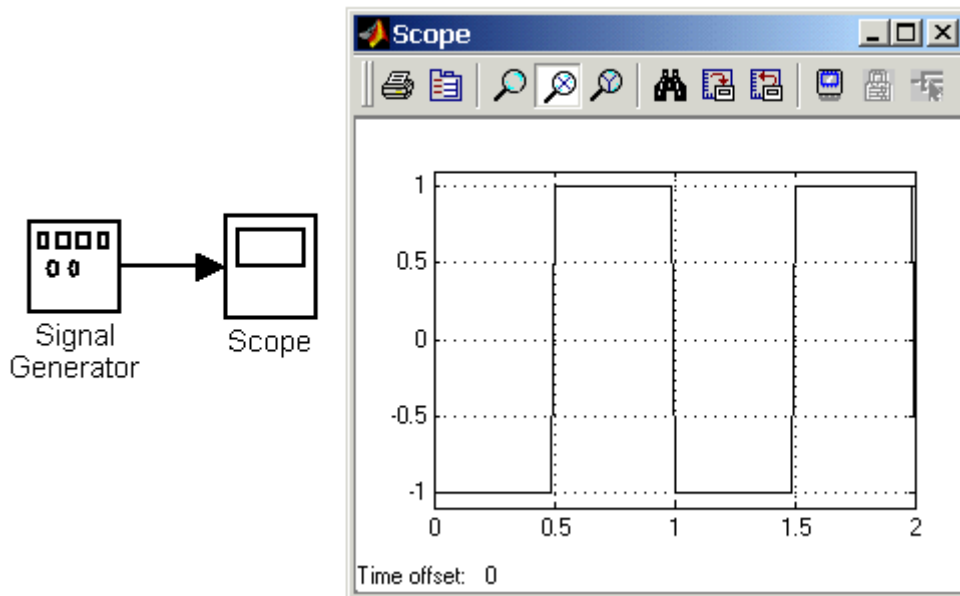


Рисунок 2.5 – Блок генератора сигналів

Джерело випадкового сигналу з рівномірним розподілом Uniform Random Number.

Призначення: формування випадкового сигналу з рівномірним розподілом.

Параметри :

- Minimum – Мінімальний рівень сигналу.
- Maximum – Максимальний рівень сигналу.
- Initial seed – Початкове значення.

Приклад використання блоку і графік його вихідного сигналу представлений на рисунку 2.6.

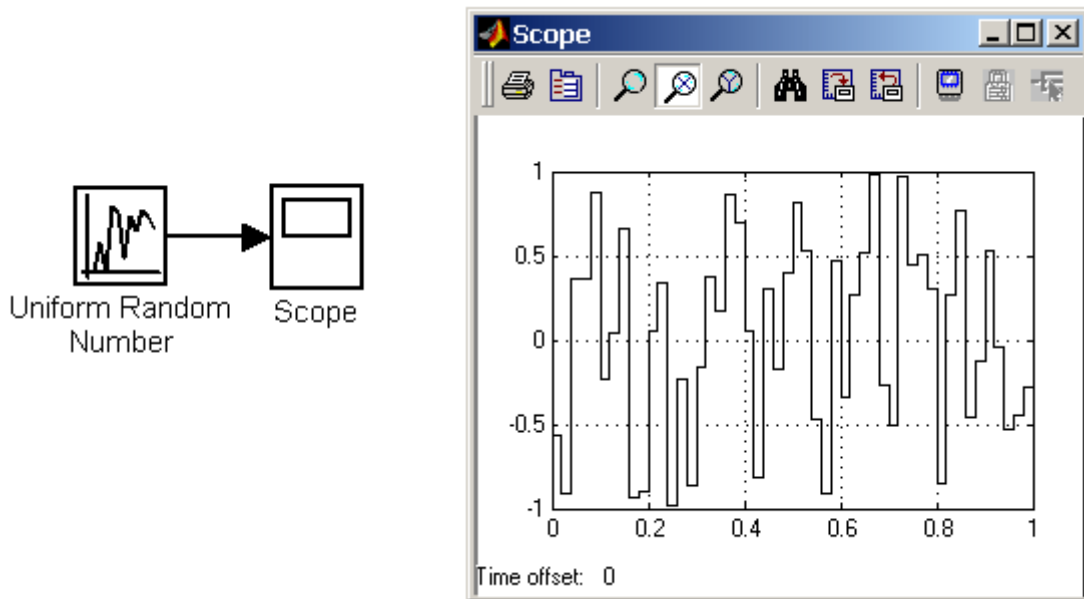


Рисунок 2.6 – Джерело випадкового сигналу з рівномірним розподілом

Джерело випадкового сигналу з нормальним розподілом Random Number.

Призначення: формування випадкового сигналу з нормальним розподілом рівня сигналу.

Параметри:

- Mean – Середнє значення сигналу.
- Variance – Дисперсія (среднеквадратическое відхилення).
- Initial seed – Початкове значення.

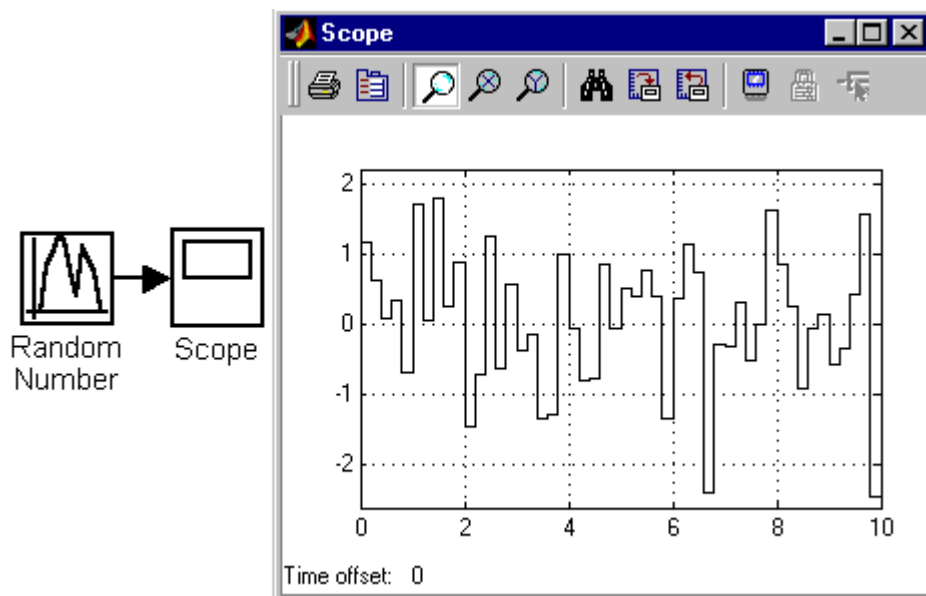


Рисунок 2.7 – Джерело випадкового сигналу з нормальним розподілом

Джерело імпульсного сигналу Pulse Generator.

Призначення: формування прямокутних імпульсів.

Параметри:

- Pulse Type – Спосіб формування сигналу. Може приймати два значення:
 - Time-based – по поточному часу;
 - Sample-based – по величині модельного часу і кількості розрахункових кроків.
- Amplitude – Амплітуда.
- Period – Період. Задається в секундах для Time-based Pulse Type або в кроках модельного часу для Sample-based Pulse Type.
- Pulse width – Ширина імпульсів. Задається у % по відношенню до періоду для Time-based Pulse Type або в кроках модельного часу для Sample-based Pulse Type.
- Phase delay – Фазова затримка. Задається в секундах для Time-based Pulse Type або в кроках модельного часу для Sample-based Pulse Type.
- Sample time – Крок модельного часу. Задається для Sample-based Pulse Type.

Приклад використання Pulse Generator показаний на рисунку 2.8.

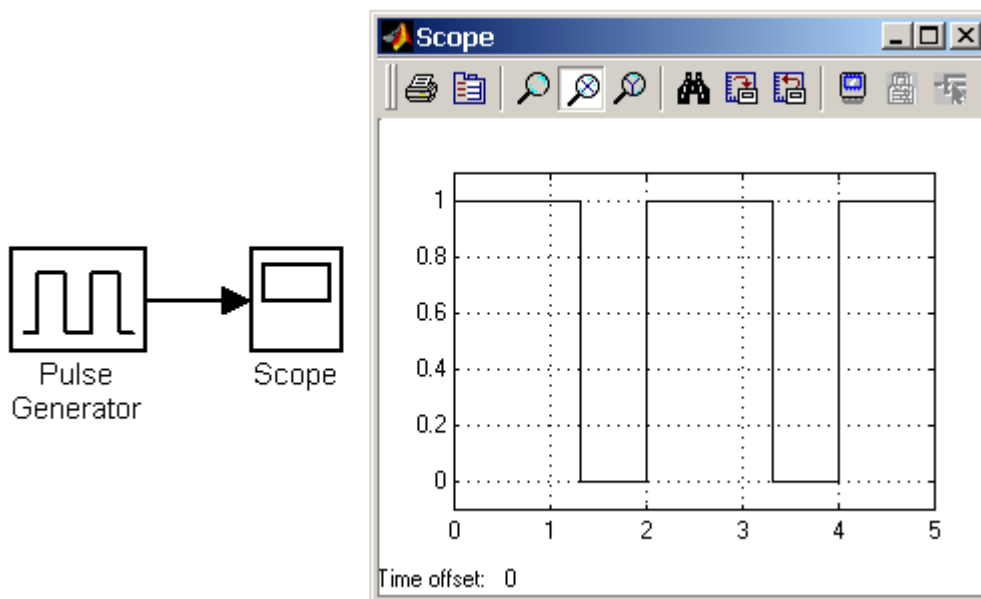


Рисунок 2.8 – Джерело прямокутних імпульсів

Генератор лінійно-змінюючої частоти Chirp Generator.

Призначення: формування синусоїдальних коливань, частота яких лінійно змінюється.

Параметри:

- Initial frequency – Початкова частота (Гц);
- Target time – Час зміни частоти (с);
- Frequency at target time – Кінцеве значення частоти (Гц).

Приклад використання блоку показаний на рисунку 2.9.

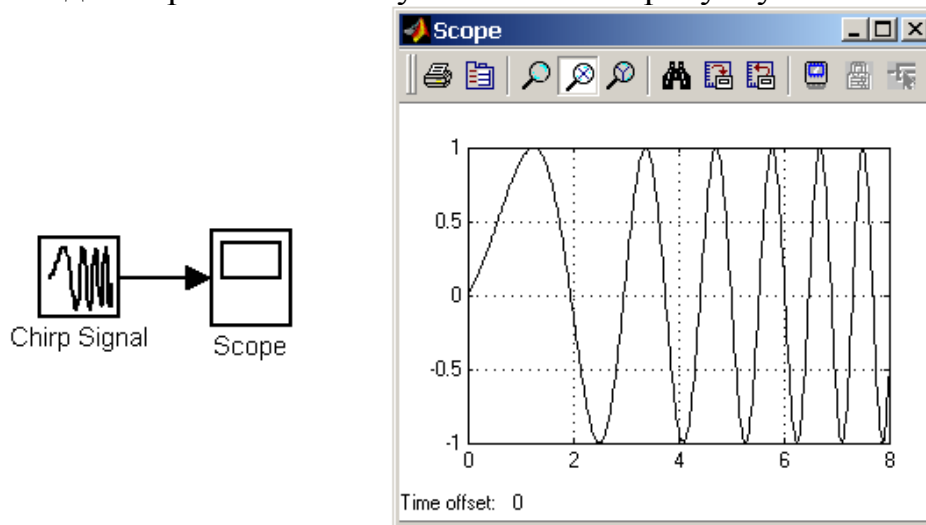


Рисунок 2.9 – Генератор частоти яка лінійно змінюється

Генератор білого шуму Band-Limited White Noise.

Призначення: створює сигнал заданої потужності, рівномірно розподіленої по частоті.

Параметри:

- Noise Power – Потужність шуму.
- Sample Time – Модельний час.
- Seed – Число, необхідне для ініціалізації генератора випадкових чисел.

Рисунок 2.10 показує роботу цього генератора.

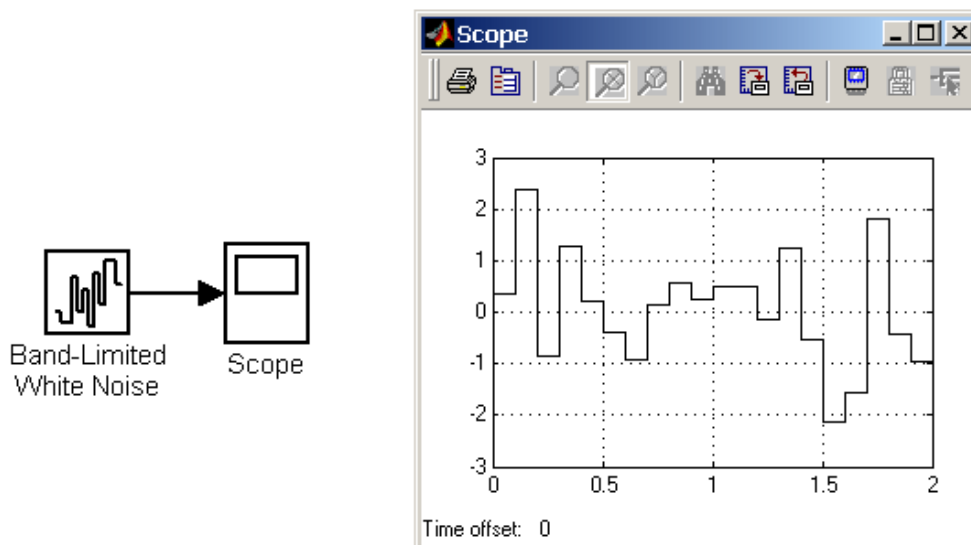


Рисунок 2.10 – Генератор білого шуму

Джерело тимчасового сигналу Clock.

Призначення: формує сигнал, величина якого на кожному кроці розрахунку рівна поточному часу моделювання.

Параметри:

- Decimation – Крок, з яким оновлюються дані часу на зображенні джерела (в тому випадку, якщо встановлений прапорець параметра Display time). Параметр задається як кількість кроків розрахунку. Наприклад, якщо крок розрахунку моделі у вікні діалогу Simulation parameters встановлений рівним 0.01 с, а параметр Decimation блоку Clock заданий рівним 1000, то оновлення даних часу проводитиметься кожні 10 с модельного часу.
 - Display time – Відображення значення часу в блоці джерела.
- На рисунку 2.11 показаний приклад роботи даного джерела.

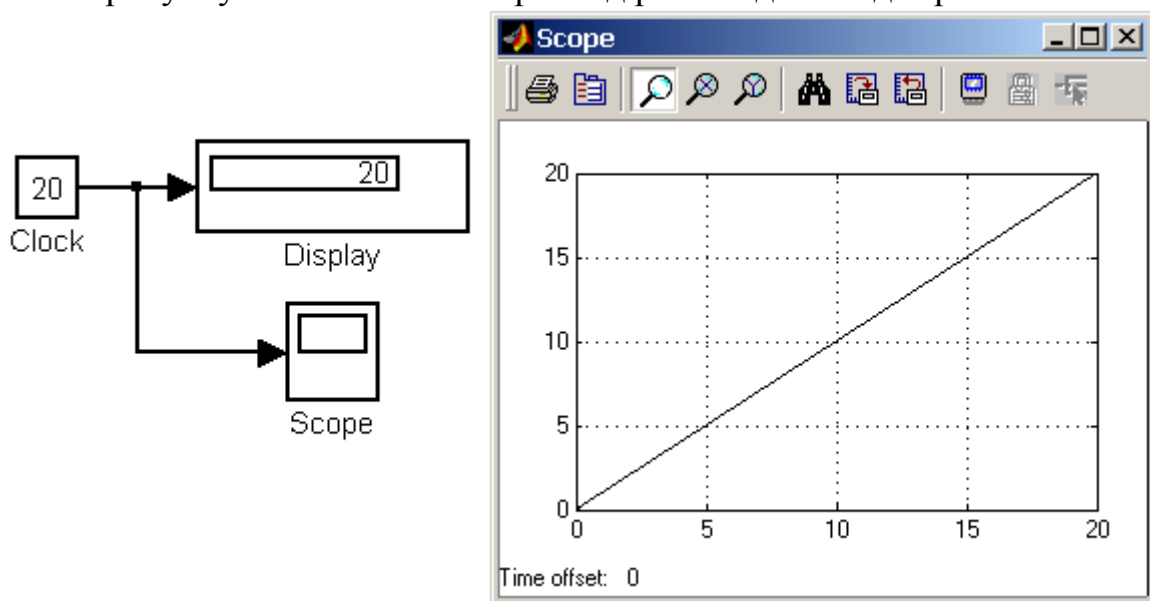


Рисунок 2.11 – Джерело тимчасового сигналу

Цифрове джерело часу Digital Clock.

Призначення: формує дискретний часовий сигнал.

Параметр: Sample time – Крок модельного часу (с).

На рисунку 2.12 показана робота джерела Digital Clock.

Блок імпорту даних з файлу From File.

Призначення: отримання даних із зовнішнього файлу.

Параметри:

- File Name – Ім'я файлу з даними.
- Sample time – Крок зміни вихідного сигналу блоку.

Дані у файлі повинні бути представлені у вигляді матриці:

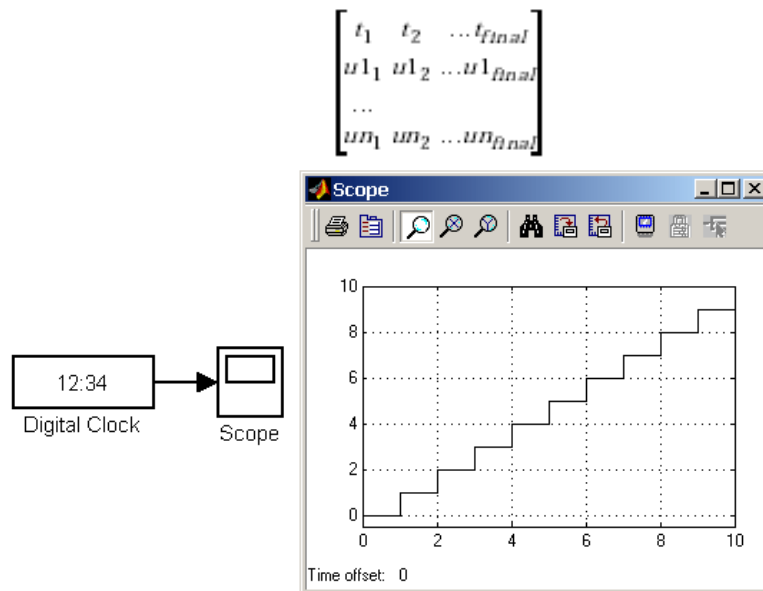


Рисунок 2.12 – Цифрове джерело тимчасового сигналу

Матриця повинна складатись, як мінімум, з двох рядків. Значення часу записані в першому рядку матриці, а в останніх рядках знаходяться значення сигналів, відповідні даним моментам часу. Значення часу повинні бути записані в зростаючому порядку. Вихідний сигнал блоку містить тільки значення сигналів, а значення часу в нім відсутні. Якщо крок розрахунку поточної моделі не співпадає з відліками часу у файлі даних, то Simulink виконує лінійну інтерполяцію даних.

Файл даних (mat-файл), з якого прочитуються значення, не є текстовим. Структура файлу детально описана в довідковій системі MATLAB. Користувачам Simulink найзручніше створювати mat-файл за допомогою блоку To File (бібліотека Sinks). На рисунку 2.13 показаний приклад використання даного блоку. З файлу data.mat прочитуються значення синусоїдального сигналу.

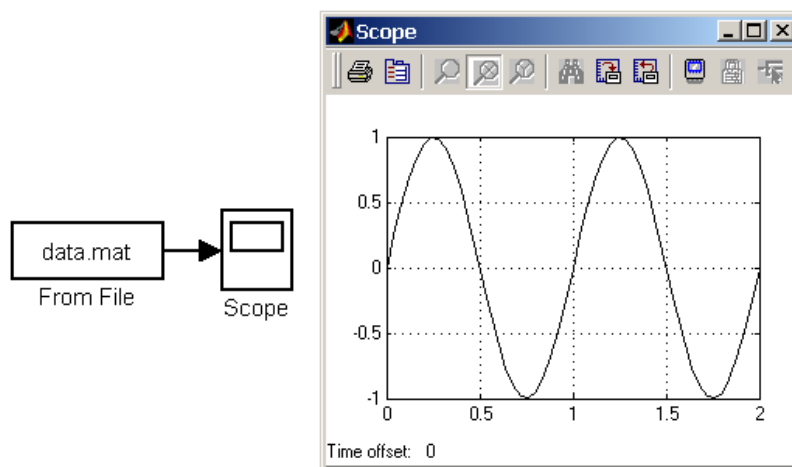


Рисунок 2.13 – Блок From File

Блок зчитування даних з робочого простору From Workspace.

Призначення: отримання даних з робочого простору MATLAB.

Параметри:

- Data – Ім'я змінної (матриці або структури) тієї, що містить дані.
- Sample time – Крок зміни вихідного сигналу блоку.
- Interpolate data – Інтерполяція даних для значень модельного часу не співпадаючих із значеннями в змінній Data.
- Form output after final data value by – Вид вихідного сигналу після закінчення значень часу в змінній Data:
 - Extrapolate – Лінійна екстраполяція сигналів.
 - SettingToZero – Нульові значення сигналів.
 - HoldingFinalValue – Вихідні значення сигналів рівні останнім значенням.
 - CyclicRepetition – Циклічне повторення значень сигналів.

Даний варіант може використовуватися, тільки якщо змінна Data має формат Structure without time.

На рисунку 2.14 показаний приклад використання даного блоку. Дані в змінну `simin` робочої області MATLAB завантажуються з файлу за допомогою блоку Read data.

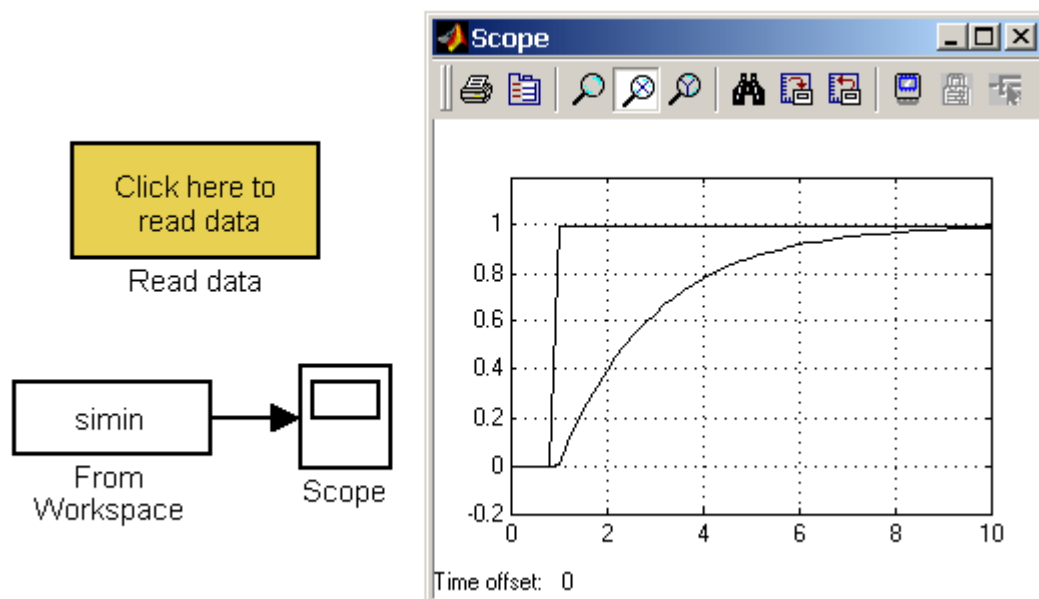


Рисунок 2.14 – Блок From Workspace

Блок періодичного сигналу Repeating Sequence.

Призначення: формування періодичного сигналу.

Параметри:

- Time values – Вектор значень модельного часу.

- Output values – Вектор значень сигналу для моментів часу заданих вектором Time values.

Блок виконує лінійну інтерполяцію вихідного сигналу для моментів часу не співпадаючих із значеннями заданими вектором Time values. На рисунку 2.16 показаний приклад використання блоку для формування пилкоподібного сигналу. Значення модельного часу задані вектором [0 3], а значення вихідного сигналу вектором [0 2].

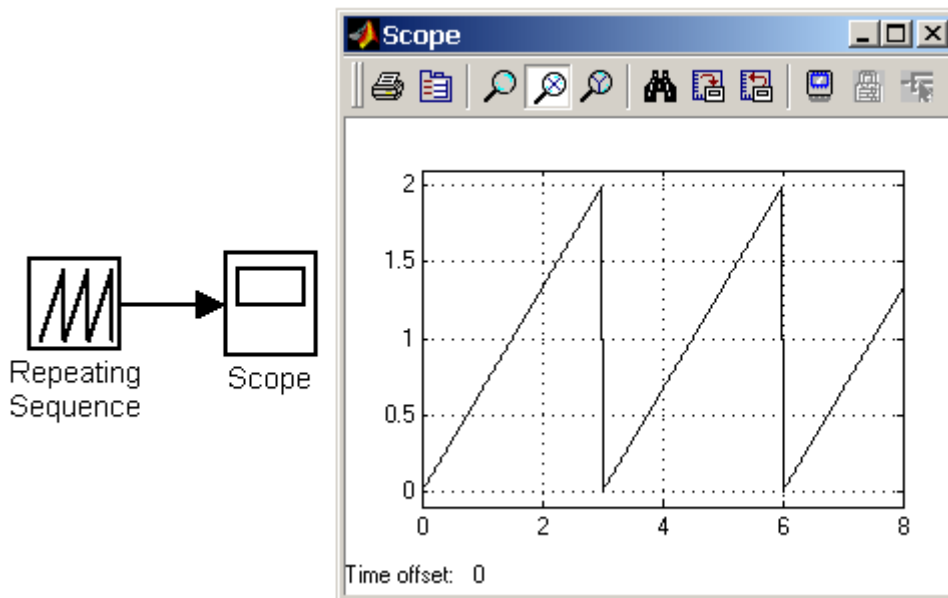


Рисунок 2.16 – Використання блоку Repeating Sequence

Блок вхідного порту Inport.

Призначення: створює вхідний порт для підсистеми або моделі верхнього рівня ієрархії.

Параметри:

- Port number – Номер порту.
- Port dimensions – Розмірність вхідного сигналу. Якщо цей параметр рівний -1, то розмірність вхідного сигналу визначатиметься автоматично.
- Sample time – Шаг модельного часу.
- Data type – Тип даних вхідного сигналу: auto, double, single, int8, uint8, int16, uint16, int32, uint32 або boolean.
- Signal type – Тип вхідного сигналу:
 - auto – Автоматичне визначення типу.
 - real – Дійсний сигнал.
 - Complex – Комплексний сигнал.
 - Interpolate data (прапорець) – Інтерполювати вхідний сигнал.

У випадку, якщо тимчасові відліки вхідного сигналу прочитуваного з робочої області MATLAB не співпадають з модельним часом, то блок виконуватиме інтерполяцію вхідного сигналу. При використанні блоку Inport в підсистемі даний параметр не доступний.

Використання блоку Inport в підсистемах.

Блоки Inport підсистеми є її входами. Сигнал, що подається на вхідний порт підсистеми через блок Inport, передається всередину підсистеми. Назва вхідного порту буде показана на зображенні підсистеми як мітка порту.

При створенні підсистем і додаванні блоку Inport в підсистему Simulink використовує наступні правила:

1. При створенні підсистеми за допомогою команди Edit/Create subsystem вхідні порти створюються і нумеруються автоматично починаючи з 1.
2. Якщо в підсистему додається новий блок Inport, то йому привласнюється наступний по порядку номер.
3. Якщо будь-який блок Inport видаляється, то останні порти перейменовуються так, щоб послідовність номерів портів була безперервною.
4. Якщо в послідовності номерів портів є розрив, то при виконанні моделювання Simulink видасть повідомлення про помилку і зупинить розрахунок. В цьому випадку необхідно в ручну перейменувати порти так, щоб послідовність номерів портів не порушувалася.

На рисунку 2.17 показана модель, що використовує підсистему і схема цієї підсистеми.

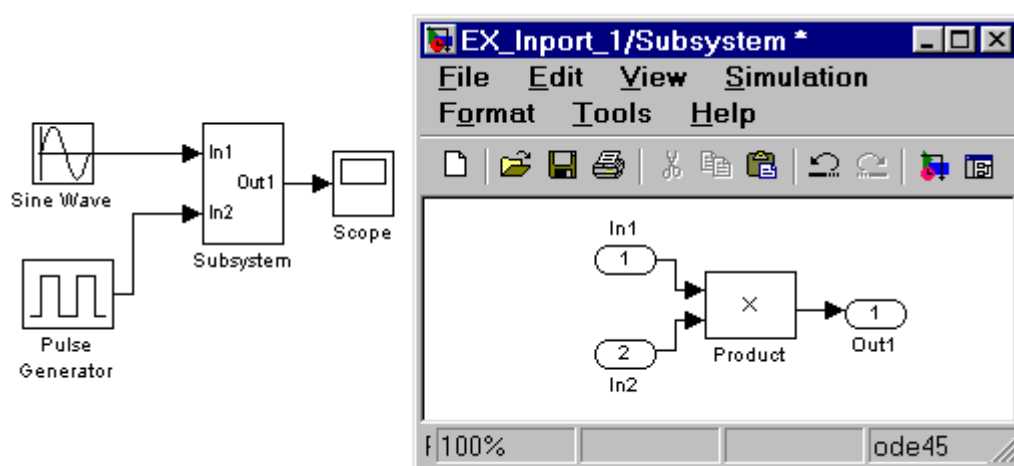


Рисунок 2.17 – Використання блоку Inport в підсистемі

Signal&Systems – блоки перетворення сигналів і допоміжні блоки.

Мультимплексор (змішувач) Mux.

Призначення: об'єднує вхідні сигнали у вектор.

Параметри:

- Number of Inputs – Кількість входів.
- Display option – Спосіб відображення. Вибирається із списку:
 - bar – Вертикальний вузький прямокутник чорного кольору.
 - signals – Прямокутник з білим фоном і відображенням міток вхідних сигналів.
 - none – Прямокутник з білим фоном без відображення міток вхідних сигналів.

Вхідні сигнали блоку можуть бути скалярними і (або) векторними.

Якщо серед вхідних сигналів є вектори, то кількість входів можна задавати як вектор з вказівкою числа елементів кожного вектора. Наприклад, вираз $[2\ 3\ 1]$ визначає три вхідні сигнали, перший сигнал – вектор з двох елементів, другий сигнал – вектор з трьох елементів, і останній сигнал – скаляр. В тому випадку, якщо розмірність вхідного вектора не співпадає з вказаною в параметрі Number of Inputs, то після початку розрахунку Simulink видасть повідомлення про помилку. Розмірність вхідного вектора можна задавати як -1 (мінус один). В цьому випадку розмірність вхідного вектора може бути будь-якою.

Параметр Number of Inputs можна задавати також у вигляді списку міток сигналів, наприклад: Vector1, Vector2, Scalar. В цьому випадку мітки сигналів відображатимуться поряд з відповідними сполучними лініями.

Сигнали, що подаються на входи блоку повинні бути одного типу (дійсного або комплексного).

Приклади використання блоку Mux показані на рисунку 2.18.

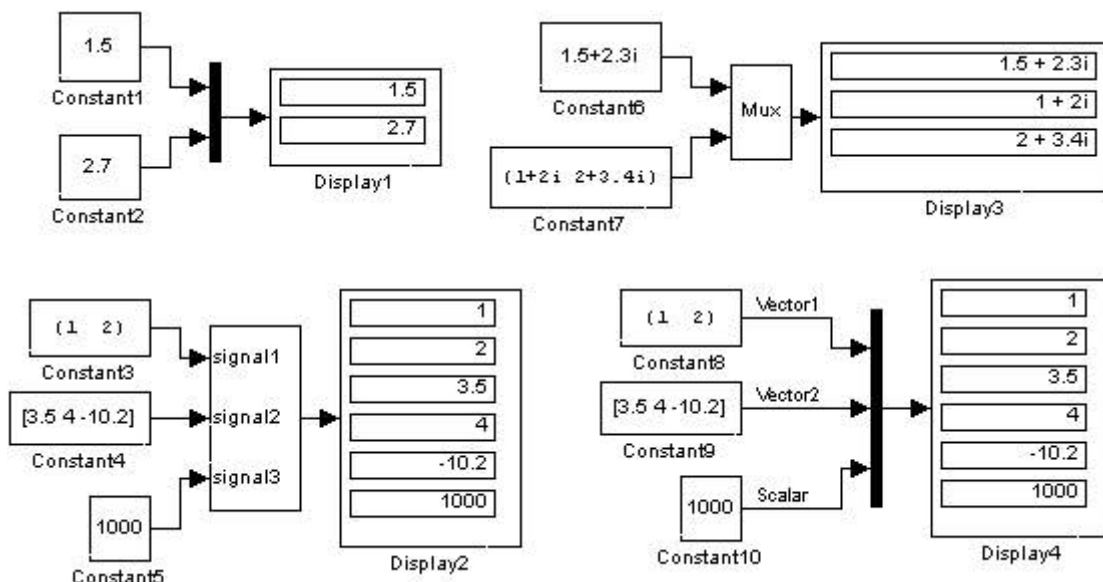


Рисунок 2.18 – Приклади використання блоку Mux

2.3 Оснащення роботи

Персональний комп'ютер, навчальні посібники.

2.4 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з призначенням основних блоків з розділу Sources бібліотеки Simulink.
2. Отримати у викладача індивідуальне завдання на створення імітаційної моделі випадкових процесів і явищ.
3. Скласти імітаційну модель в середовищі Simulink пакету MATLAB. Виконати моделювання.
4. Дослідити побудовану імітаційну модель за допомогою зміни параметрів використовуваних блоків.
5. Зробити висновки по роботі.

2.5 Інформація до складання звіту

1. У підрозділі „Теоретична інформація” навести письмові відповіді на питання призначенні для самостійної підготовки.
2. У підрозділі „Дані виконання роботи” описати призначення і параметри блоків що використовуються для моделювання (з використанням екранних копій). Привести результати моделювання з різними параметрами блоків (екранні копії). Проаналізувати отримані дані.

2.6 Питання для самостійної підготовки

1. Охарактеризувати блок сигналу «Constant»?
2. Призначення і принцип дії блоку «Sine Wave»?
3. Який вираз визначає вихідний сигнал по поточному значенню часу для безперервних систем блоку «Sine Wave»?
4. Який вираз визначає вихідний сигнал по величині модельного часу і кількості розрахункових кроків на один період для блоку «Sine Wave»?
5. Охарактеризувати блок сигналу «Signal Generator»?
6. В чому полягає різниця між блоками «Uniform Random Number» і «Random Number»?
7. Який блок дозволяє імпорт даних з зовнішнього файлу. Дайте повну характеристику цього блоку?
8. Охарактеризувати блок сигналу «Repeating Sequence»?
9. Де і в яких випадках використовується блок вхідного порту «Inport»?
10. Призначення і параметри блоку «Mux»?

Лабораторна робота 3

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ І ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ SIMULINK ПАКЕТУ MATLAB

3.1 Мета роботи

Вивчити призначення блоків розділу Math бібліотеки SIMULINK. Згідно індивідуального завдання створити S-модель імітації роботи елемента технічної системи і дослідити його за різних умов експлуатації.

3.2 Теоретична інформація

Блок обчислення модуля Abs.

Призначення: виконує обчислення абсолютного значення величини сигналу.

Параметри: Saturate on integer overflow (прапорець) – Обмежувати переповнювання цілого. При встановленому прапорці обмеження сигналів цілого типу виконується коректно.

Приклад використання блоку Abs, що обчислює модуль поточного значення синусоїдального сигналу, показаний на рисунку 3.1.

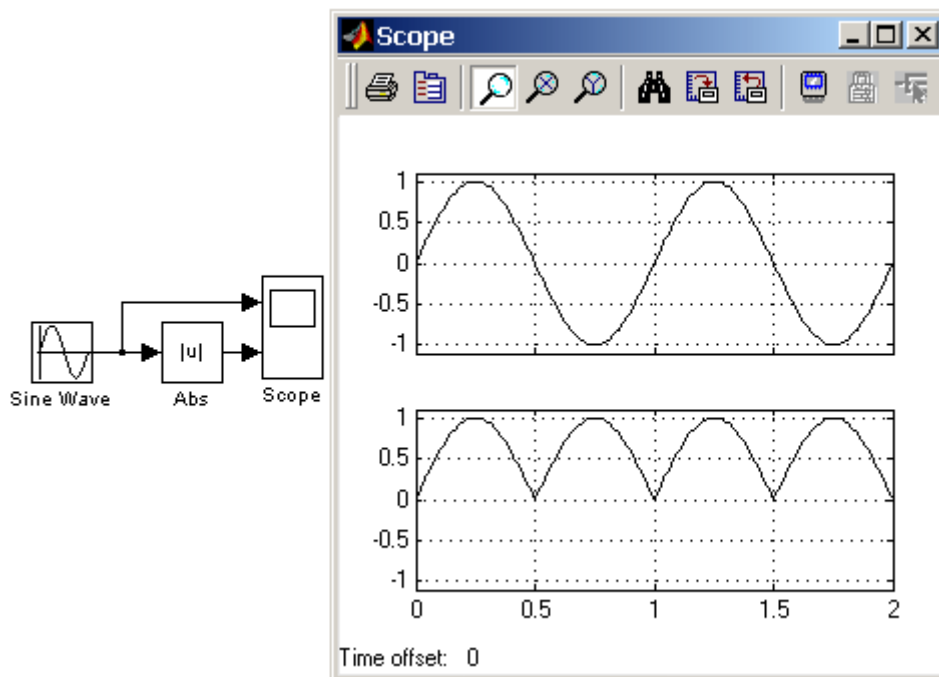


Рисунок 3.1 – Приклад використання блоку Abs

Блок обчислення суми Sum.

Призначення: виконує обчислення суми поточних значень сигналів.

Параметри:

1. Icon shape – Форма блоку. Вибирається із списку.

- round - коло

- rectangular - прямокутник.

2. List of sign – Список знаків. У списку можна використовувати наступні знаки:

+ (плюс), - (мінус) і | (роздільник знаків).

3. Saturate on integer overflow (прапорець) – Обмежувати переповнювання цілого. При встановленому прапорці обмеження сигналів цілого типу виконується коректно.

Кількість входів і операція (складання або віднімання) визначається списком знаків параметра List of sign, при цьому мітки входів позначаються відповідними знаками. У параметрі List of sign можна також вказати число входів блоку. В цьому випадку всі входи будуть такими, що підсумовують.

Якщо кількість входів блоку перевищує 3, то зручніше використовувати блок Sum прямокутної форми.

Блок може використовуватися для підсумовування скалярних, векторних або матричних сигналів. Типи підсумовуваних сигналів повинні співпадати. Не можна, наприклад, подати на один і той же блок, що підсумовує, сигнали цілого і дійсного типів.

Якщо кількість входів блоку більша, ніж один, то блок виконує поелементні операції над векторними і матричними сигналами. При цьому кількість елементів в матриці або векторі повинна бути однаковою.

Якщо як список знаків вказати цифру 1 (один вхід), то блок можна використовувати для визначення суми елементів вектора.

Приклади використання блоку Sum показані на рисунку 3.2.

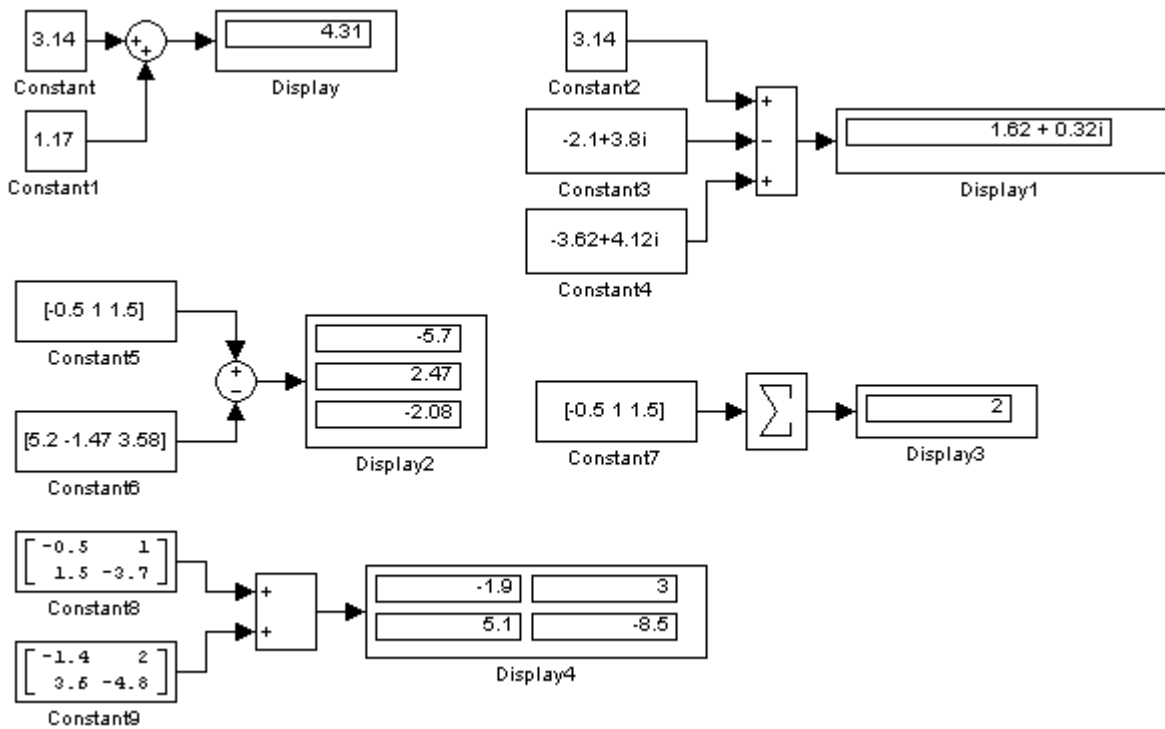


Рисунок 3.2 – Приклади використання блоку Sum

Блок множення Product.

Призначення: виконує обчислення добутку поточних значень сигналів.

Параметри:

1. Number of inputs – кількість входів. Може задаватися як число або як список знаків. У списку знаків можна використовувати знаки * (помножити) і / (розділити).

2. Multiplication – спосіб виконання операції. Може приймати значення (із списку):

- Element-wise – поелементний.
- Matrix – матричний.

3. Saturate on integer overflow (прапорець) – обмежувати переповнювання цілого. При встановленому прапорці обмеження сигналів цілого типу виконується коректно.

Якщо параметр Number of inputs заданий списком, що включає окрім знаків множення також знаки ділення, то мітки входів будуть позначені символами відповідних операцій.

Блок може використовуватися для операцій множення або ділення скалярних векторних або матричних сигналів. Типи вхідних сигналів блоку повинні співпадати. Якщо як кількість входів вказати цифру 1 (один вхід), то блок можна використовувати для визначення добутку елементів вектора.

Приклади використання блоку Product при виконанні скалярних і поелементних операцій показані на рисунку 3.3.

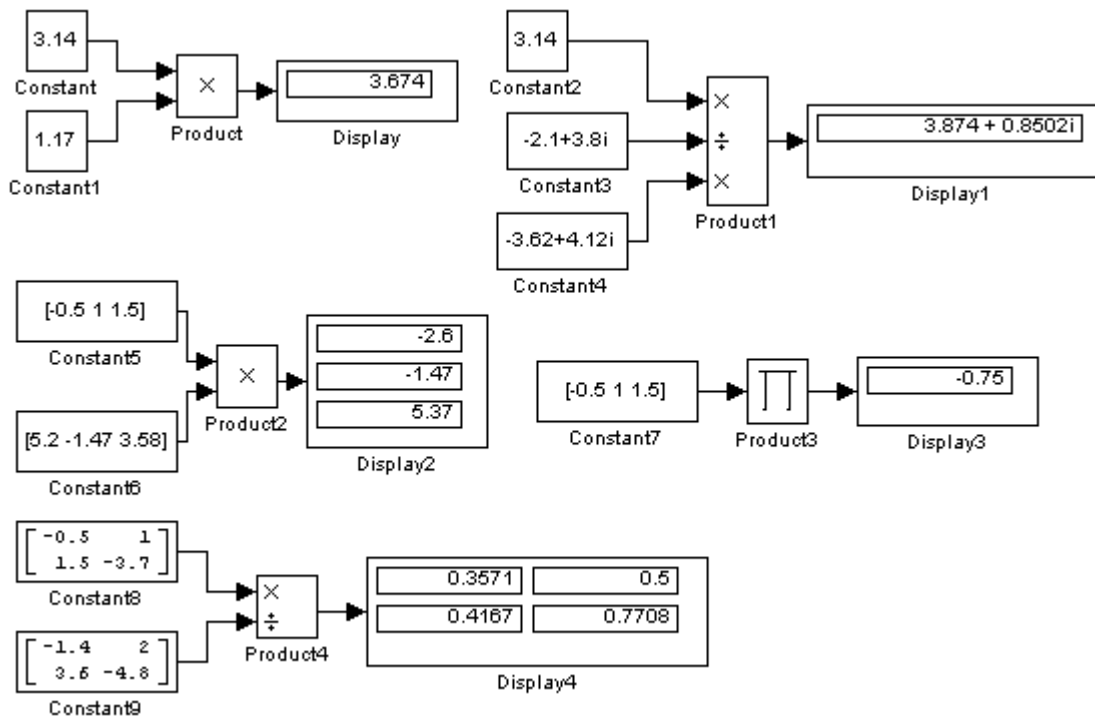


Рисунок 3.3 – Приклади використання блоку Product при виконанні скалярних і поелементних операцій

Підсилювачі Gain і Matrix Gain.

Призначення: виконують множення вхідного сигналу на постійний коефіцієнт.

Параметри:

1. Gain – коефіцієнт посилення.
2. Multiplication – спосіб виконання операції. Може приймати значення (із списку):

- Element-wise $K*u$ – поелементний.
- Matrix $K*u$ – матричний. Коефіцієнт посилення є лівобічним операндом.
- Matrix $u*K$ – матричний. Коефіцієнт посилення є правостороннім операндом.

3. Saturate on integer overflow (прапорець) – обмежувати переповнювання цілого. При встановленому прапорці обмеження сигналів цілого типу виконується коректно.

Блоки підсилювачів Gain і Matrix Gain є один і той же блок, але з різними початковими установками параметра Multiplication.

Параметр блоку Gain може бути позитивним або негативним числом, як більше, так і менше 1. Коефіцієнт посилення можна задавати у вигляді скаляра, матриці або вектора, а також у вигляді обчислюваного виразу.

В тому разі якщо параметр Multiplication заданий як Element-wise $K*u$, то блок виконує операцію множення на заданий коефіцієнт скалярного сиг-

налу або кожного елементу векторного сигналу. Інакше блок виконує операцію матричного множення сигналу на коефіцієнт заданий матрицею.

За умовчанням коефіцієнт посилення є дійсним числом типу double.

Для операції поелементного посилення вхідний сигнал може бути скалярним, векторним або матричним будь-якого типу, за винятком логічного (boolean). Елементи вектора повинні мати однаковий тип сигналу. Вихідний сигнал блоку матиме той же самий тип, що і вхідний сигнал. Параметр блоку Gain може бути скаляром, вектором або матрицею будь-якого типу, за винятком логічного (boolean).

При обчисленні вихідного сигналу блок Gain використовує наступні правила: якщо вхідний сигнал дійсного типу, а коефіцієнт посилення комплексний, то вихідний сигнал буде комплексним.

Якщо тип вхідного сигналу відрізняється від типу коефіцієнта посилення, то Simulink намагається виконати приведення типу коефіцієнта посилення до типу вхідного сигналу. В тому випадку, якщо таке приведення неможливе, то розрахунок буде зупинений з виведенням повідомлення про помилку. Така ситуація може виникнути, наприклад, якщо вхідний сигнал є беззнакове ціле (uint8), а параметр Gain заданий негативним числом.

Приклади використання блоку Gain при виконанні скалярних і поелементних операцій показані на рисунку 3.4.

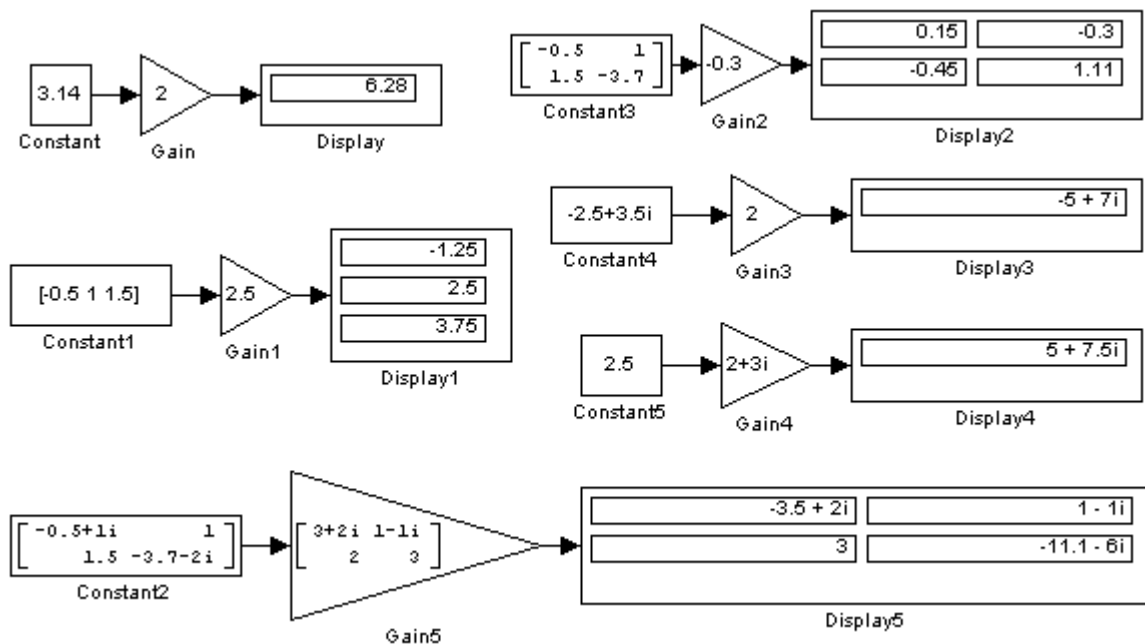


Рисунок 3.4 – Приклади використання блоку Gain

Блок обчислення математичних функцій Math Function.

Призначення: виконує обчислення математичної функції.

Параметри:

1. Function – вид обчислюваної функції (вибирається із списку):

exp – експоненціальна функція;
 log – функція натурального логарифма;
 10^u – обчислення ступеня 10;
 log10 – функції логарифма;
 magnitude² – обчислення квадрата модуля вхідного сигналу;
 square – обчислення квадрата вхідного сигналу;
 sqrt – квадратний корінь;
 pow – піднесення до ступеня;
 conj – обчислення комплексно-сопряженого числа;
 reciprocal – обчислення частного від ділення вхідного сигналу на 1;
 hypot – обчислення кореня квадратного з суми квадратів вхідних сигналів (гіпотенузи прямокутного трикутника по значеннях катетів);
 rem – функція, що обчислює залишок від ділення першого вхідного сигналу на другий;
 mod – функція, що обчислює залишок від ділення з урахуванням знаку;

transpose – транспонування матриці.

2. Output signal type – тип вихідного сигналу (вибирається із списку):

auto – автоматичне визначення типу;

real – дійсний сигнал;

complex – комплексний сигнал.

Тип вихідного сигналу залежно від типу вхідного сигналу, обчислюваної функції і параметра блоку Output signal type приведений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Функція	Вхідной Сигнал	Выходной Сигнал		
		Auto	Real	Complex
Exp, log, 10 ^u , log10, square, sqrt, pow, reciprocal, conjugate, transpose, hermitian	real complex	real complex	real error	complex complex
magnitude squared	real complex	real real	real real	complex complex
hypot, rem, mod	real complex	real error	real error	complex error

Приклади використання блоку Math Function показані на рисунку 3.5.

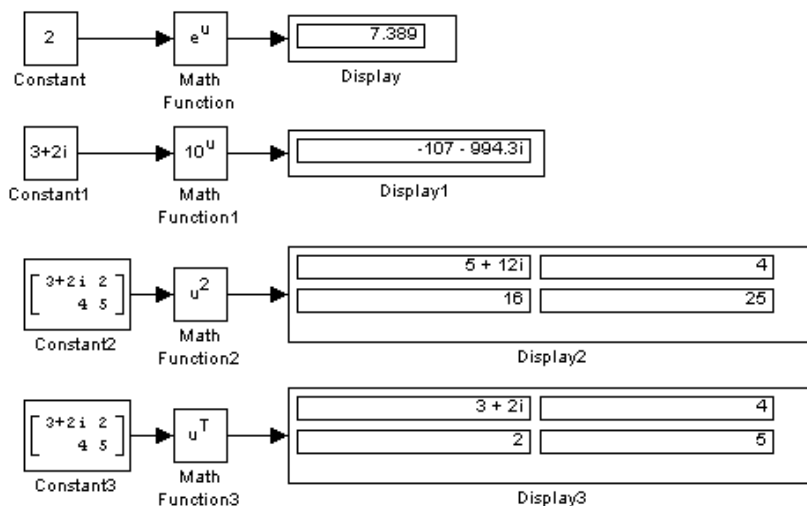


Рисунок 3.5 – Приклади використання блоку Math Function

Блок обчислення тригонометричних функцій Trigonometric Function.

Призначення: виконує обчислення тригонометричної функції.

Параметри:

1. Function – вид обчислюваної функції (вибирається із списку): sin, cos, tan, asin, acos, atan, atan2, sinh, cosh і tanh.
2. Output signal type – тип вихідного сигналу (вибирається із списку):
 - auto – автоматичне визначення типу;
 - real – дійсний сигнал;
 - complex – комплексний сигнал.

При векторному або матричному вхідному сигналі блок виконує поелементне обчислення заданої функції.

Приклади використання блоку Trigonometric Function показані на рисунку 3.6.

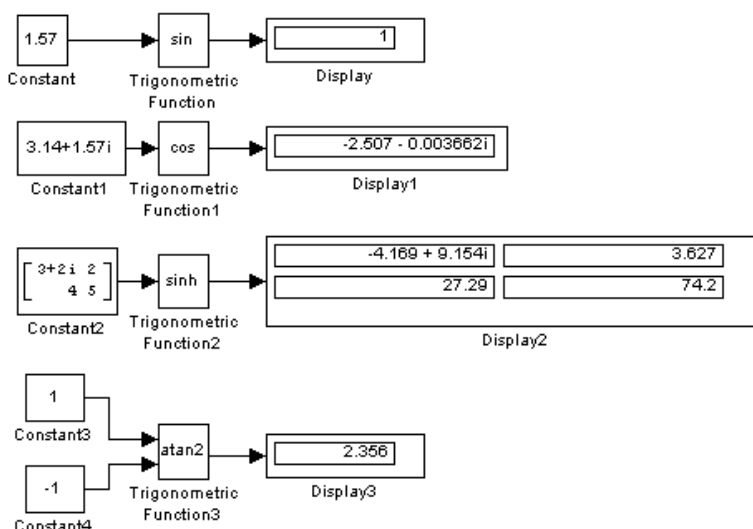


Рисунок 3.6 – Приклади використання блоку Trigonometric Function

3.3 Оснащення роботи

Персональний комп'ютер, навчальні посібники.

3.4 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з призначенням основних блоків з розділу Math бібліотеки Simulink.
2. Отримати у викладача індивідуальне завдання на створення імітаційної моделі елементів технічних систем.
3. Скласти імітаційну модель в середовищі Simulink пакету MATLAB. Виконати моделювання.
4. Дослідити побудовану імітаційну модель.
5. Зробити висновки по роботі.

3.5 Інформація до складання звіту

1. У підрозділі „Теоретична інформація” навести письмові відповіді на питання призначенні для самостійної підготовки.
2. У підрозділі „Дані виконання роботи” описати призначення і параметри блоків що використовуються для моделювання (з використанням екранних копій). Привести результати моделювання (екранні копії). Проаналізувати отримані дані.

3.7 Питання для самостійної підготовки

1. Охарактеризувати блок обчислення модуля «Abs»?
2. Призначення і принцип дії блоку «Sum»?
3. Навести приклади використання блоку «Product»?
4. Для яких типів сигналів можна використовувати блок «Product»?
5. Правило яке використовує блок «Gain» при обчисленні вихідного сигналу?
6. Охарактеризувати блок обчислення математичних функцій «Math Function»?
7. Призначення і принцип дії блоку «Trigonometric Function»?

Лабораторна робота 4

РОБОТА З ПІДСИСТЕМАМИ МОДЕЛЕЙ І ЇХ МАСКУВАННЯМ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОКРЕМИХ ФАКТОРІВ НА РОБОТУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

4.1 Мета роботи

Набути навички створення підсистем в пакеті MATLAB і їх маскування. Ознайомитись з різними способами створення підсистем.

4.2 Теоретична інформація

Subsystem – підсистеми.

Підсистема це фрагмент Simulink-моделі, оформлений у вигляді окремого блоку. Використання підсистем при складанні моделі має наступні позитивні сторони:

- зменшує кількість блоків, що одночасно відображаються, на екрані, що полегшує сприйняття моделі (у ідеалі модель повністю повинна відображатися на екрані монітора);
- дозволяє створювати і відладжувати фрагменти моделі окремо, що підвищує технологічність створення моделі;
- дозволяє створювати власні бібліотеки;
- дає можливість синхронізації паралельно працюючих підсистем;
- дозволяє включати в модель власні довідкові засоби;
- дає можливість пов'язувати підсистему з яким-небудь m-файлом, забезпечуючи запуск цього файлу при відкритті підсистеми (не-стандартне відкриття підсистеми).

Використання підсистем і механізму їх блоків дозволяє створювати блоки, не поступливі стандартним по своєму оформленню (власне вікно параметрів блоку, піктограма, довідка і тому подібне).

Кількість підсистем в моделі не обмежена, крім того підсистеми можуть включати інші підсистеми. Рівень вкладеності підсистем один в одного також не обмежений.

Зв'язок підсистеми з моделлю (або підсистемою верхнього рівня ієрархії) виконується за допомогою вхідних (блок Inport бібліотеки Sources) і вихідних (блок Outport бібліотеки Sinks) портів. Додавання в підсистему вхідного або вихідного порту приводить до появи на зображенні підсистеми мітки порту, за допомогою якої зовнішні сигнали передаються всередину підсистеми або виводяться в основну модель. Перейменування блоків Inport або Outport дозволяє змінити мітки портів, підсистеми, що відображаються на піктограмі, із стандартних (In і Out) на тих, які потрібні користувачеві.

Підсистеми можуть бути віртуальними (Subsystem) і монолітними (Atomic Subsystem). Відмінність цих видів підсистем полягає в порядку ви-

конання блоків під час розрахунку. Якщо підсистема є віртуальною, то Simulink ігнорує наявність меж що відокремлюють таку підсистему від моделі при визначенні порядку розрахунку блоків. Іншими словами у віртуальній системі спочатку можуть бути розраховані вихідні сигнали декількох блоків, потім виконаний розрахунок блоків в основній моделі, а потім знов виконаний розрахунок блоків що входять в підсистему. Монолітна підсистема вважається єдиним (неподільним) блоком і Simulink виконує розрахунок всіх блоків в такій підсистемі, не перемикаючись на розрахунки інших блоків в основній моделі. Зображення монолітної підсистеми має товщу рамки в порівнянні з віртуальною підсистемою.

Підсистеми можуть бути також керованими або некерованими. Керовані підсистеми завжди є монолітними. Керовані підсистеми мають додаткові (керівники) входи, на які поступають сигнали активізуючи дану підсистему. Входи, що керують, розташовані зверху або знизу підсистеми. Коли керована підсистема активізована – вона виконує обчислення. В тому разі якщо керована підсистема пасивна, то вона не виконує обчислення, а значення сигналів на її виходах визначаються настройками вихідних портів.

Для створення в моделі підсистеми можна скористатися двома способами:

- скопіювати потрібну підсистему з бібліотеки Subsystem в модель;
- виділити за допомогою миші потрібний фрагмент моделі і виконати команду Create Subsystem з меню Edit вікна моделі. Виділений фрагмент буде поміщений в підсистему, а входи і виходи підсистеми будуть забезпечені відповідними портами. Даний спосіб дозволяє створити віртуальну некеровану підсистему. Надалі, якщо це необхідно, можна зробити підсистему монолітною, змінивши її параметри, або керованою, додавши елемент, що керує, з потрібної підсистеми такою, що знаходиться в бібліотеці. Відмінити групування блоків в підсистему можна командою Undo.

На рисунку 4.1 показаний результат цього процесу. У прикладі використана модель керованого функціонального генератора.

Маскування підсистем.

Механізм маскування підсистем дозволяє оформити підсистему як повноцінний бібліотечний блок, тобто забезпечити підсистему власним вікном параметрів, піктограмою, довідковою системою і т.п.

Маскування підсистем дає користувачеві наступні переваги:

- розширює можливості користувача по керуванню параметрами моделі;
- дозволяє створювати зрозуміліший інтерфейс підсистеми;
- підвищує наочність блок-діаграми;
- розширює можливості побудови складних моделей;
- підвищує захищеність моделі від несанкціонованої модифікації.

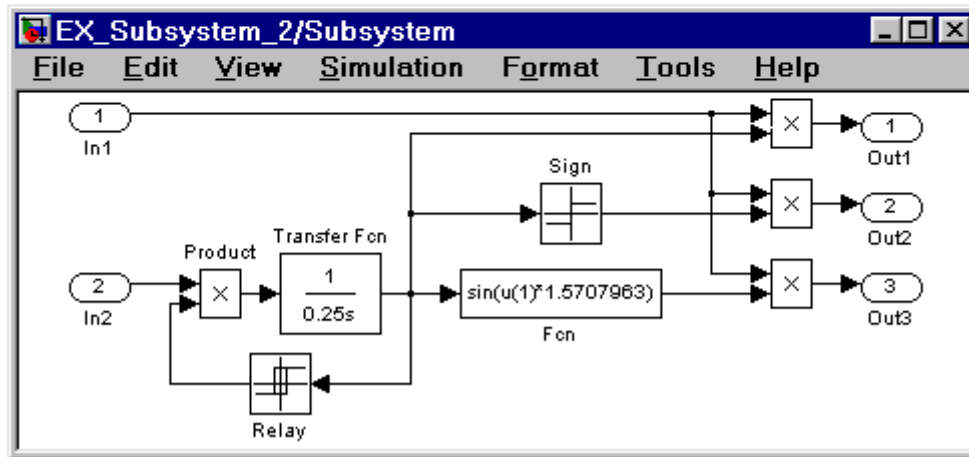
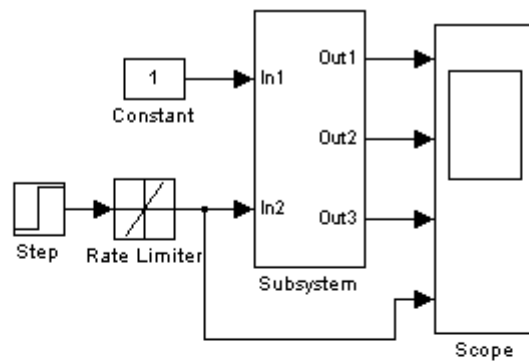


Рисунок 4.1 – Модель, яка використовує підсистему

Для виконання маскування наявної підсистеми необхідно заздалегідь виконати наступні дії:

- Визначити які параметри підсистеми повинні задаватися користувачем в майбутньому вікні параметрів. Задати ці параметри в підсистемі за допомогою ідентифікаторів (імен).
- Визначити яким чином параметр повинен задаватися у вікні діалогу (за допомогою рядка введення, вибором із списку, що розкривається, або установкою прапорця).
- Розробити ескіз піктограми блоку.
- Створити коментарі (довідку) по використанню підсистеми.

Маскування підсистеми виконується за допомогою Mask Editor (редактор маски). Для запуску редактора маски необхідно виділити масковану підсистему і виконати команду Mask Subsystem з меню Edit. Можна також скористатися контекстним меню. Після запуску Mask Editor на екран буде виведено вікно редактора (рисунок 4.2), що має 3 вкладки: Icon (Піктограма), Initialization (Ініціалізація), Documentation (Документація). Перша з вкладок забезпечує створення піктограми підсистеми, друга – дає можливість створити вікно діалогу для введення параметрів і третя – дозволяє ввести опис блоку і створити його довідку.

У верхній частині всіх вкладок є поле Mask Type, за допомогою якого можна задати ім'я блоку. У нижній частині вікна є 5 кнопок управління редактором:

1. OK – Зберегти внесені зміни і закрити вікно.
2. Cancel – Відмінити внесені зміни і закрити вікно.
3. Unmask – Зняти маску з підсистеми. До закриття файлу моделі маску можна відновити, скориставшись командою Edit Mask з меню Edit.
4. Help – Відкрити вікно довідки редактора маски.
5. Apply – Зберегти внесені зміни без закриття вікна редактора.

Повторний виклик редактора маски для вже маскованої підсистеми здійснюється командою Edit Mask з меню Edit (або аналогічною командою з контекстного меню).

Після того, як маскування системи буде виконано, подвійне клацання на її зображенні відкриватиме вікно параметрів підсистеми, а не вікно моделі. Відкрити саму підсистему (вікно моделі) для редагування або перегляду можна командою Look under mask з меню Edit або контекстного меню.

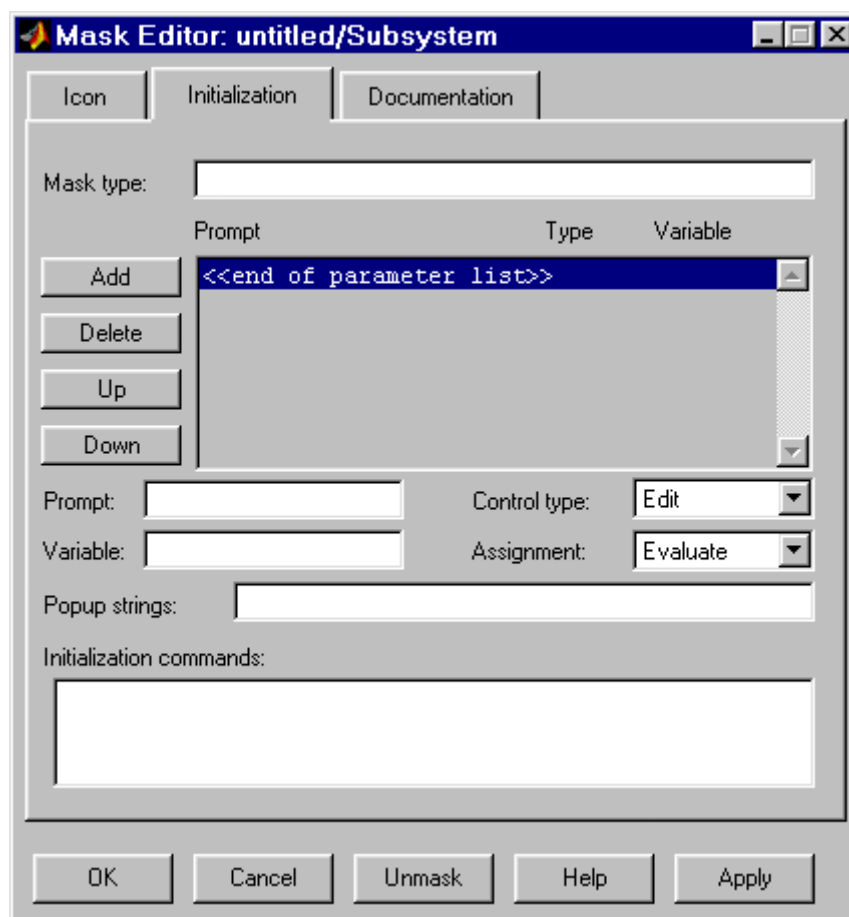


Рисунок 4.2 – Вікно редактора маски Mask Editor

Створення вікна параметрів.

Вікно параметрів створюється за допомогою вкладки Initialization (Ініціалізація) редактора маски. Для створення поля введення параметра з його описом необхідно виконати наступні дії:

1. Натиснути кнопку Add (Додати).
2. Ввести опис параметра в поле Prompt (Підказка). Як опис параметра зазвичай використовується його назва у вигляді тексту, наприклад, “Gain”, “Constant value” і тому подібне.
3. Вказати ідентифікатор параметра в полі Variable (Змінна). Природно, що це повинен бути один з тих ідентифікаторів, який використовувався при завданні параметрів блоків усередині підсистеми (хоча це не обов'язково, оскільки параметр може бути використаний і для модифікації самого вікна діалогу). Всі змінні, ідентифікатори яких задані на вкладці Initialization, поміщаються в Mask Workspace – локальну робочу область маски і є доступними тільки усередині підсистеми.
4. Вибрати тип елемента інтерфейсу що задає параметр із списку Control Type:
 - Edit – редаговане поле введення;
 - Checkbox – прапорець;
 - Popup – список, що розкривається. В цьому випадку в графі Popup Strings (Елементи списку) необхідно ввести елементи списку, розділені символом вертикальної межі. Наприклад, вираз alpha|beta|gamma задасть список з трьох елементів: alpha, beta і gamma.
5. Вибрати формат параметра із списку Assignment:
 - Evaluate – обчислюваний. Вибирається, якщо параметр повинен мати числове значення. У дане поле можна буде ввести вираз відповідно до правил мови MATLAB. Формат Evaluate дозволяє також використовувати числову форму значення змінної в тому випадку, якщо тип елемента інтерфейсу вибраний у вигляді прапорця або списку, що розкривається. Так, наприклад, для списку, що розкривається, alpha|beta|gamma значення пов'язаною із списком змінної буде рівне 1, якщо в списку вибране alpha, 2 – якщо в списку вибране beta, і 3 – якщо в списку вибране gamma. Для елемента інтерфейсу Checkbox обчислювані значення будуть рівні 1 (при встановленому прапорці) і 0 (при знятому прапорці).
 - Literal – текстовий. Вибирається, якщо параметр повинен бути рядком символів.
6. Ввести команди ініціалізації в графі Initialization commands. Командами ініціалізації є звичайні команди на мові MATLAB і можуть включати операторів і m-функції. Такі команди задають змінні, які знаходитимуться в робочій області маскованої підсистеми. Ці змінні доступні усередині підсистеми і можуть бути використані як параметри блоків що входять до складу

підсистеми, а також для створення піктограми підсистеми. Команди ініціалізації виконуються в наступних випадках:

- При відкритті вікна моделі.
- При запуску моделі на виконання.
- При виконанні команди Edit/Update diagram.
- При обертанні блоку маскованої підсистеми (в цьому випадку команди ініціалізації забезпечують перемальовування піктограми).
- При автоматичній зміні піктограми, залежної від параметрів блоку.

Як приклад маскованої підсистеми розглянемо функціональний генератор. Схема моделі генератора показана на рисунку 4.3.

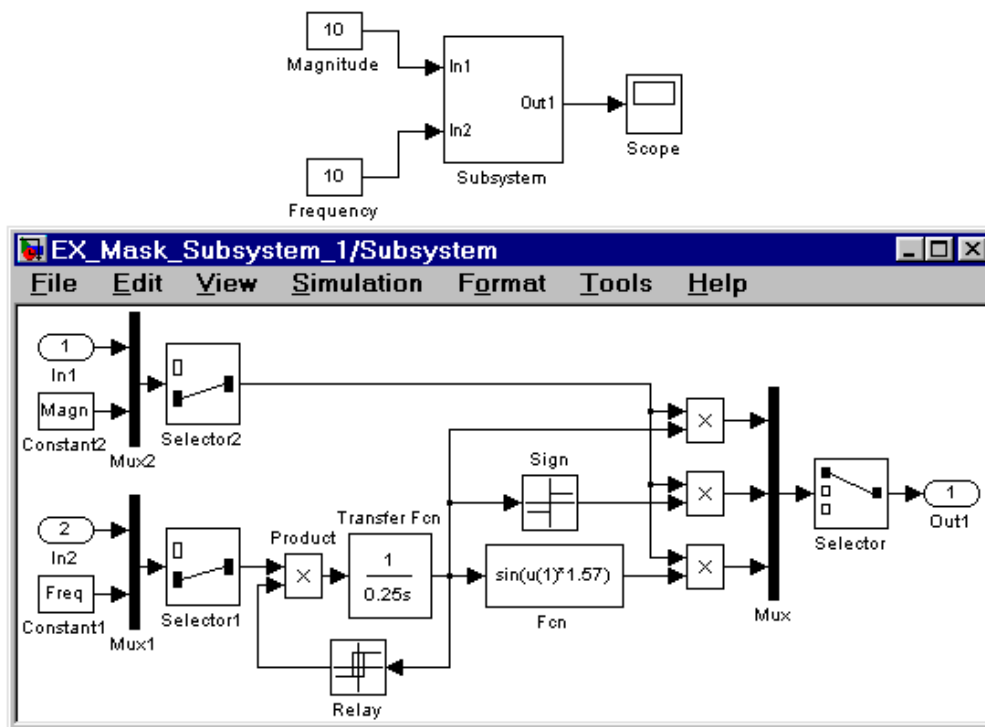


Рисунок 4.3 – Функціональний генератор

Модель генератора володіє наступними можливостями:

Значення амплітуди і частоти сигналу можуть задаватися або як параметри генератора в його вікні діалогу, або від зовнішніх джерел через вхідні порти.

Форма вихідного сигналу генератора (трикутник, прямокутник або синусоїда) задається у вікні діалогу.

Вид вікна діалогу, створеного за допомогою редактора маски показаний на рисунку 4.4.

Назва параметра, ідентифікатор пов'язаною з ним змінною, тип елементу інтерфейсу і формат параметра приведені в таблиці 4.1.

Вікно редактора маски з відкритою вкладкою Initialization, в якому створено вікно параметрів генератора, показано на рисунку 4.5.

Вибір типу джерел завдання на частоту (внутрішній або зовнішній) здійснюється за допомогою блоку Selector1 (див. рисунок 4.3). Для цього значення параметра Elements блоку Selector1 задане як [(Internal_freq+1)].

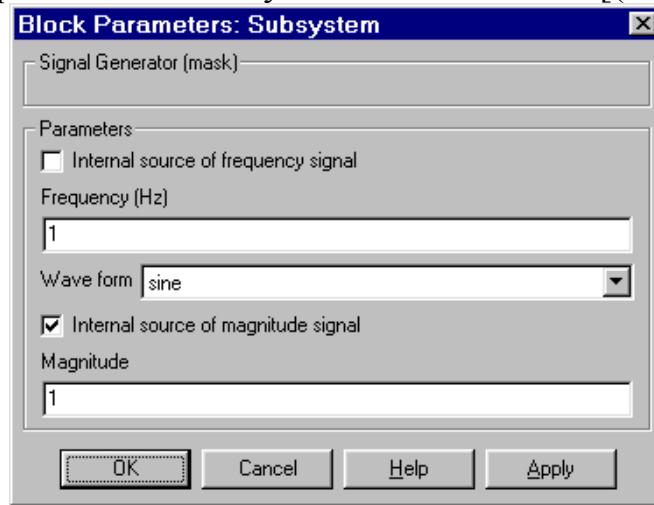


Рисунок 4.4 – Вікно параметрів генератора

Таблиця 4.1.

№	Prompt	Variable	Control Type	Assignment	Призначення
1	Internal source of frequency signal	Internal_freq	Checkbox	Evaluate	Задає тип джерела сигналу завдання на частоту: внутрішній або зовнішній.
2	Frequency (Hz)	Freq	Edit	Evaluate	Задає величину завдання на частоту внутрішнього джерела
3	Wave form	Wave_form	Popup	Evaluate	Задає форму вихідного сигналу: трикутник, прямокутник або синусоїда
4	Internal source of magnitude signal	Internal_magn	Checkbox	Evaluate	Задає тип джерела сигналу завдання на амплітуду: внутрішній або зовнішній.
5	Magnitude	Magn	Edit	Evaluate	Задає величину завдання на амплітуду внутрішнього джерела

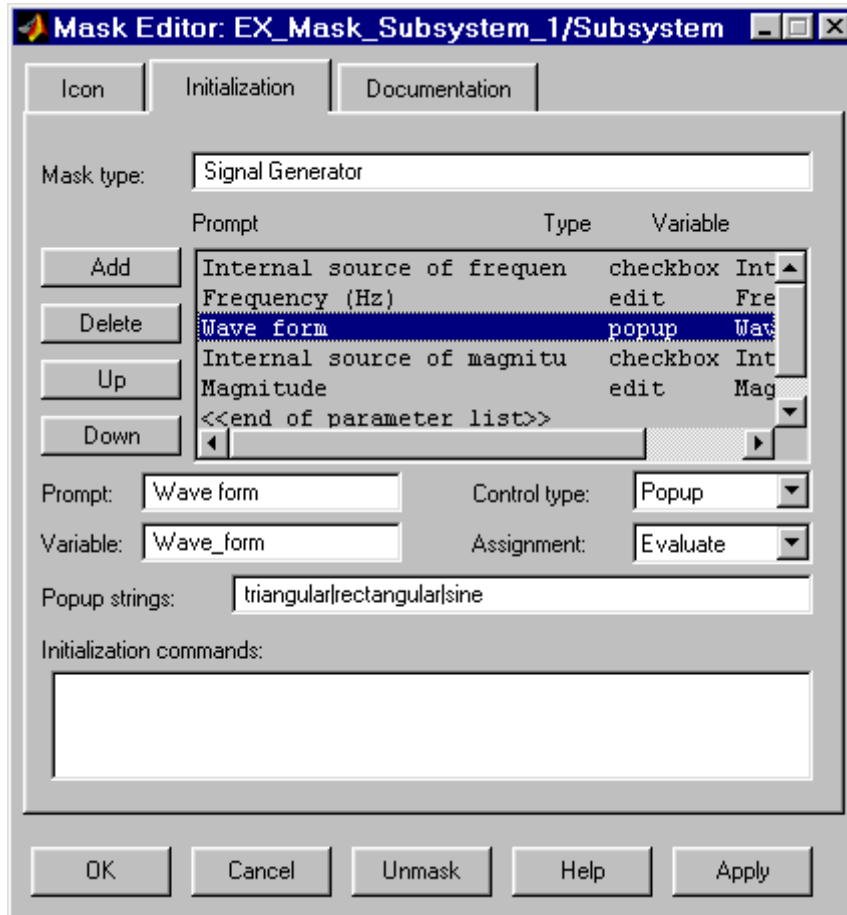


Рисунок 4.5 – Вікно редактора маски на етапі створення вікна параметрів

Таким чином, якщо прапорець параметра Internal source of frequency signal встановлений, то числове значення змінної Internal_freq рівне 1 і на вихід селектора проходить сигнал від внутрішнього джерела, якщо ж прапорець знятий, то на вихід селектора проходить сигнал від вхідного порту системи (тобто від зовнішнього по відношенню до генератора джерела). Аналогічним чином за допомогою змінною Internal_magn виконується вибір джерела сигналу завдання на амплітуду.

Вибір форми вихідного сигналу виконується також за допомогою блоку Selector. Трикутний, прямокутний і синусоїдальний сигнали об'єднуються у вектор за допомогою блоку Mux, а потім залежно від числового значення змінної Wave_form, блок Selector виконує вибір потрібного елементу вхідного вектора. Значення параметра Elements блоку Selector задане як [Wave_form]. Таким чином, якщо, наприклад, параметр генератора Wave form має значення Sine, то числове значення змінної Wave_form рівне 3, і, отже, на вихід селектора проходить третій елемент вхідного вектора, тобто синусоїдальний сигнал.

Створення піктограми підсистеми.

Піктограма підсистеми створюється за допомогою вкладки Icon (Піктограма) редактора маски. Вікно редактора маски з відкритою вкладкою Icon показано на рисунку 4.6.

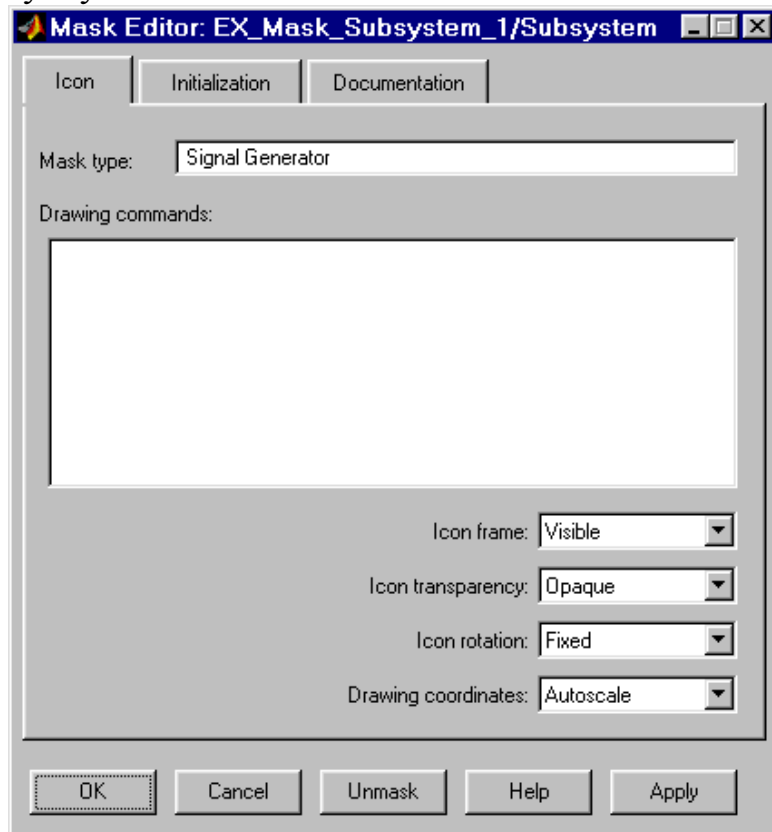


Рисунок 4.6 – Вкладка Icon редактора маски

Вкладка містить наступні елементи:

1. Drawing commands – область введення команд малювання. Команди малювання є виразами допустимими в мові MATLAB.
2. Icon frame – список дозволяє вибрати спосіб відображення рамки піктограми:
 - Visible – рамку видно.
 - Invisible – рамку не видно.
3. Icon transparency – список дозволяє встановити прозорість піктограми:
 - Opaque – піктограма не прозора.
 - Transparent – піктограма прозора.
4. Icon rotation – список дозволяє задати можливість обертання піктограми:
 - Fixed – положення піктограми фіксоване.
 - Rotates – піктограма може обертатися разом з блоком.
5. Drawing coordinates – список, що задає умови масштабу піктограми.

- Autoscale – автоматичне масштабування. Малюнок займає максимально можливу площу усередині піктограми.
- Normalized – нормалізоване масштабування. Координати лівого нижнього кута піктограми (0,0), координати правого верхнього кута (1,1).
- Pixel – координати малюнка задаються в пікселях.

Команди виведення тексту.

Для виведення тексту можуть використовуватися наступні команди:

- `disp('text')` або `disp(variablename)` – виведення тексту 'text' або значення символічної змінної `variablename` в центрі піктограми.
- `text(x, y, 'text')` або `text(x, y, variablename)` – виведення тексту 'text' або значення символічної змінної `variablename` починаючи з позиції, заданої координатами `x` і `y`.
- `text(x, y, 'text', 'horizontalAlignment', halign, 'verticalAlignment', valign)` – виведення тексту 'text' у позиції заданої координатами `x` і `y` і з вказівкою способів вирівнювання щодо цієї позиції по вертикалі або горизонталі. Параметр `halign` може приймати значення: 'left', 'right' або 'center'. Параметр `valign` може приймати значення: 'base', 'bottom' або 'middle'.
- `fprintf('text')` або `fprintf('format', variablename)` – форматоване виведення (по правилах мови C) тексту 'text' або значення символічної змінної `variablename` в центрі піктограми.
- `port_label(port_type, port_number, label)` – вивід на піктограмі мітки порту. Наприклад, вираз `port_label('input', 1, 'a')` виводить на піктограмі мітку **a** першого входного порту.

Приклади маскованих підсистем з різними варіантами текстових написів дані на рисунку 4.7 Значення текстових змінних задані на вкладці Initialization в графі Initialization commands.

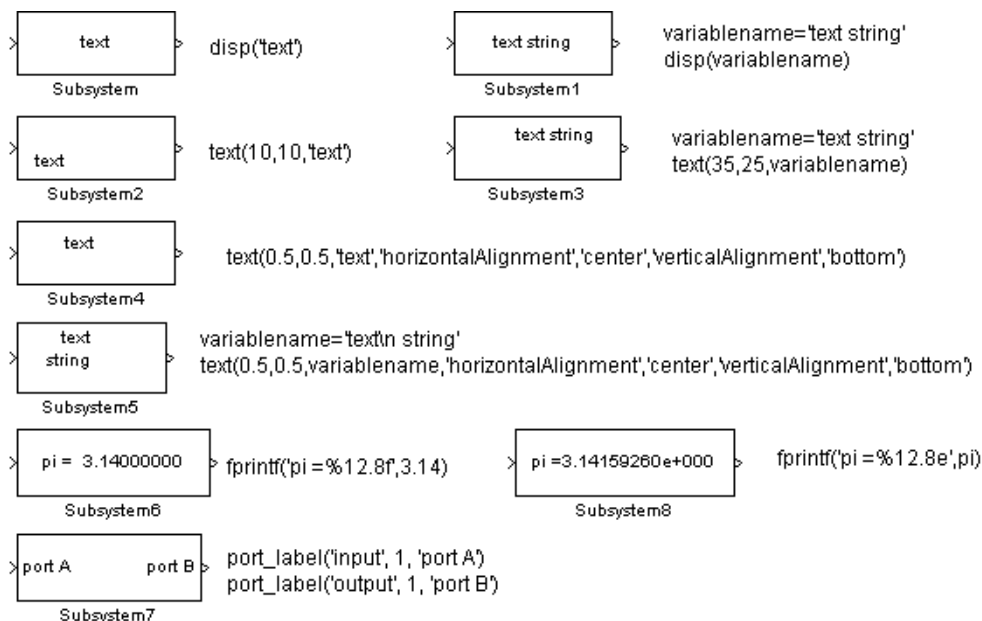


Рисунок 4.7 – Варіанти текстових написів на піктограмах

Команди побудови графіків.

Для побудови графіків на піктограмі можуть використовуватися наступні команди:

- `plot(Y)` – в тому випадку, якщо Y є вектором, то будується графік, по осі абсцис якого відкладається значення індексу елементу, а по осі ординат значення самого елементу. В тому разі якщо Y є матрицею – будуються лінії для кожного стовпця. По осі абсцис в цьому випадку також відкладається значення індексу елементу.
- `plot(X1,Y1,X2,Y2...)` – будуються графіки виду $Y1(X1)$, $Y2(X2)$ і т.д.

Приклади маскованих підсистем з різними варіантами графіків представлені на рисунку 4.8. Значення змінних задані на вкладці Initialization в графі Initialization commands.

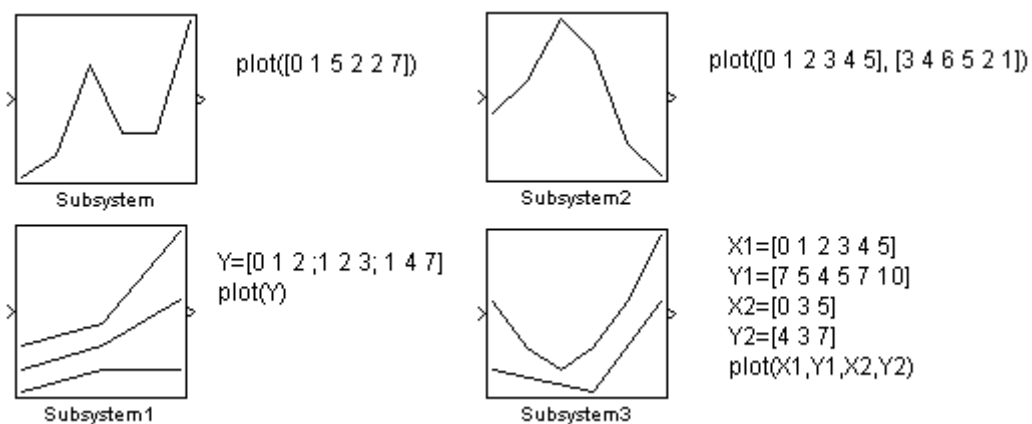


Рисунок 4.8 – Варіанти графіків на піктограмах

Команди відображення передавальних функцій.

Для відображення на піктограмі передавальної функції використовуються наступні команди:

- `dpoly(num, den)` – відображення дрібно-раціональної передавальної функції (num – вектор коефіцієнтів чисельника, den – вектор коефіцієнтів знаменника). Оператор Лапласа буде відображений за допомогою символу s .
- `dpoly(num, den, 'character')` – відображення дрібно-раціональної передавальної функції. Оператор Лапласа буде відображений за допомогою символу $character$.
- `dpoly(num, den, 'z')` – відображення дискретної дрібно-раціональної передавальної функції.
- `dpoly(num, den, 'z-')` – відображення дискретної дрібно-раціональної передавальної функції від зворотного аргументу.
- `droots(z, p, do)` – відображення Z_{pk} -форми передавальної функції. Для даного виразу може бути доданий четвертий аргумент у вигляді $'z'$ або $'z-'$ для відображення дискретних передавальних функцій.

Приклади маскованих підсистем з різними варіантами відображення передавальних функцій показані на рисунку 4.9.

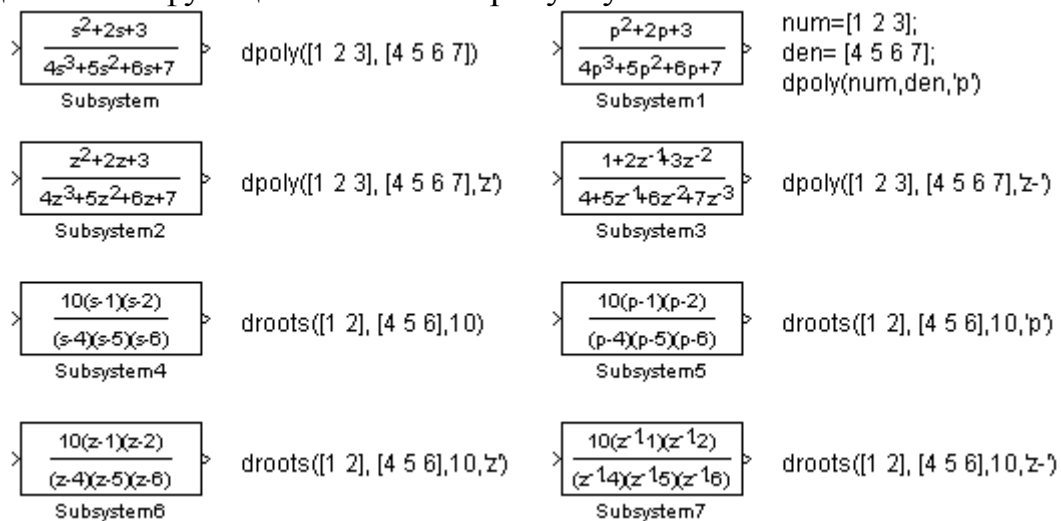


Рисунок 4.9 – Варіанти відображення передавальних функцій на піктограмах

Команди відображення малюнка з графічного файлу.

Для відображення на піктограмі малюнка з графічного файлу використовуються наступні команди:

- `image(imread('filename'))` – відображення малюнка з файлу з повним ім'ям `filename`. Для правильної роботи цієї команди необхідно помістити малюнок в ту папку, де знаходиться файл моделі, і зробити цю папку робочою. Допускається також спільно з ім'ям файлу вказувати його повний шлях.

- `image(a, [x, y, w, h])` – відображення малюнка що міститься в змінній `a`. Ширина і висота малюнка задаються параметрами `w` і `h`, відповідно. Лівий нижній кут малюнка розташований в крапці з координатами `x, y`. Прочитування малюнка з файлу може бути виконане командою `a = imread('filename')`.

- `image(a, [x, y, w, h], rotation)` – команда аналогічна попередній, але ще дозволяє задавати поведінку малюнка при обертанні піктограми. Значення параметра `rotation` рівне 'on' дозволяє повертати малюнок разом з піктограмою підсистеми.

- `patch(x, y)` – відображення закрашеного багатокутника, координати якого задані векторами `x` і `y`. Колір малюнка – чорний.

- `patch(x, y [r g b])` – команда аналогічна попередній, але ще дозволяє задавати колір малюнка. Параметри `r, g` і `b` задають співвідношення червоного, зеленого і синього кольорів в малюнку. Значення параметрів повинне знаходитися в межах від 0 до 1.

Приклади маскованих підсистем з різними варіантами команд відображення малюнків показані на рисунку 4.10.

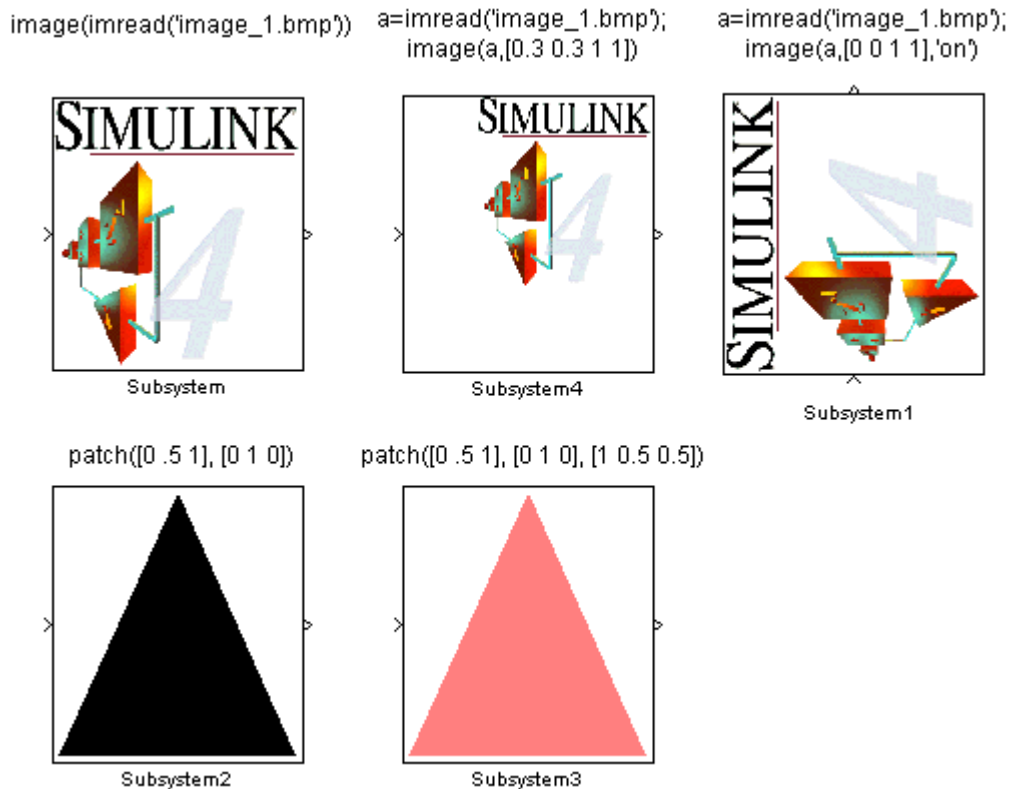


Рисунок 4.10 – Варіанти відображення малюнків на піктограмах

4.3 Оснащення роботи

Персональний комп'ютер, навчальні посібники.

4.4 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з призначенням і принципами побудови підсистем імітаційних моделей в середовищі Simulink пакету MATLAB.
2. Використовуючи імітаційну модель елементів технічних систем з попереднього заняття – створити підсистему і виконати її маскування, використавши інструменти створення вікна параметрів і побудови піктограм.
3. Зробити висновки по роботі.

4.5 Інформація до складання звіту

1. У підрозділі „Теоретична інформація” навести письмові відповіді на питання призначенні для самостійної підготовки.
2. У підрозділі „Дані виконання роботи” навести екранні копії розробленої підсистеми, вікна параметрів, текстового підпису підсистеми і піктограми. Привести результати моделювання (екранні копії) з використанням різних параметрів технічної системи. Проаналізувати отримані дані.

4.6 Питання до самостійної підготовки

1. Що таке підсистема?
2. Переваги використання підсистем?
3. Яким чином реалізується зв'язок підсистеми з моделлю, або підсистемою верхнього рівня ієрархії?
4. Які бувають підсистеми. Охарактеризуйте їх?
5. Способи створення підсистем?
6. Що таке маскування і які воно має переваги?
7. Які дії необхідно виконати заздалегідь для маскування наявної підсистеми?
8. Послідовність дій при створенні вікна параметрів підсистеми?
9. Які дії можна виконувати з вікном піктограми підсистем?

Лабораторна робота 5

ІНСТРУМЕНТИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ SIMULINK ПАКЕТУ MATLAB

5.1 Мета роботи

Ознайомитись з основами спектрального аналізу. Засобами системи SIMULINK пакету MATLAB виконати реалізацію алгоритму швидкого перетворення Фур'є випадкового сигналу.

5.2 Теоретична інформація

Одним з найбільш ефективних методів моделювання сигналів і лінійних систем є спектральний метод, заснований на використанні перетворень і рядів Фур'є. Рядом Фур'є для інтегрованої на відрізку $[-\pi, \pi]$ періодичної функції $y(x)$, що відповідає відомим умовам Діріхле, називається ряд наступного вигляду:

$$y(x) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx)).$$

Коефіцієнти Фур'є даного ряду знаходяться за формулами Ейлера-Фур'є:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} y(x) \cos(kx) dx; \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} y(x) \sin(kx) dx.$$

Розклад функції на гармонічні складові, тобто розрахунок коефіцієнтів Фур'є, називають спектральним аналізом.

Гармоніка с $k=1$ має назву основної, або першої, гармоніки сигналу. Вона задає частоту його повторення f_1 . Інші гармоніки мають назву вищих, їх частоти дорівнюють $f_k = kf_1$, де $k=2, 3, \dots$. Таким чином, спектр періодичного сигналу дискретний – він містить набір фіксованих частот. У неперіодичних сигналів спектр буде суцільним, і замість амплітуди гармонік він характеризується спектральною густиною сигналу.

Надалі будемо розглядати сигнали як функцію від часу. Перехід від деякої функції $f(t)$ до параметрів її ряду Фур'є (амплітуд і фаз гармонік) - називається прямим перетворенням Фур'є. Нажаль, ці переходи пов'язані з розрахунком інтегралів, підінтегральні функції в яких швидко осмілюють, що суттєво ускладнює розрахунки таких інтегралів чисельними методами з заданою точністю і призводить до значних втрат часу.

Якщо сигнал представлений у вигляді вектора дискретних значень, застосовується *дискретне* перетворення Фур'є (ДПФ), для якого, у свою чергу, існує алгоритм ефективної реалізації обчислень, який називається *швидким*

перетворенням Фур'є (ШПФ, або FFT - Fast Fourier Transform). Функції, що реалізують пряме і зворотнє ШПФ, є в системі MATLAB. Вони надають можливість проводити вказані перетворення даних у вигляді векторів як з дійсними, так і з комплексними елементами.

Виконання ШПФ проводиться для даних, представлених дійсними числами – значеннями початкового вектора v . Він повинен мати $2m$ складових, де m – ціле число. Елементи вектора, що повертається функцією прямого ШПФ, відповідають формулі

$$C_j = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{k=0}^{n-1} v_k e^{2\pi i(j/n)k}.$$

Тут n – число елементів вектора v , i – уявна одиниця, k – індекс підсумування (від 0 до $n-1$) і j – номер гармоніки (від 0 до $n/2$). Ці елементи вектора відповідають наступним частотам:

$$f_j = \frac{j}{n} f_s.$$

Тут f_s – частота квантування сигналу, який піддається ШПФ.

Функція зворотного ШПФ реалізує зворотнє (інверсне) перетворення Фур'є для вектора v з комплексними елементами.

Розглянуті вище функції засновані на звичайних формулах перетворень Фур'є. Проте існують і альтернативні форми такого перетворення, дві з яких показані нижче:

$$F(v) = \frac{1}{n} \sum_{\tau=1}^n f(\tau) e^{-2\pi i \tau(v/n)} \quad ; \quad f(\tau) = \sum_{v=1}^n F(v) e^{2\pi i v(\tau/n)}.$$

Замість множника $1/\sqrt{n}$ перед обома виразами, перед першим виразом стоїть множник $1/n$, а перед другим - 1. Знак «мінус» перед показником ступеня є тільки в першій формулі (його немає в другій).

У загальному випадку, коли сигнал може бути і неперіодичним, пряме перетворення Фур'є дозволяє отримати в аналітичному вигляді функцію частоти $F(\omega)$ від тимчасової функції $f(t)$.

Основне призначення перетворення Фур'є – виділити частоти регулярних складових сигналу, зашумленого перешкодами. Розглянемо наступний приклад. Сформуємо сигнал, що містить регулярні складові з частотами 50 Гц і 120 Гц і випадкову адитивну компоненту.

На рисунку 5.1 показаний цей сигнал. Дивлячись на нього, важко сказати, які частоти його регулярних складових.

Імітаційна модель, створена засобами системи SIMULINK пакету MATLAB, що моделює даний сигнал зображена на рисунку 5.2.

Реалізуючи одновимірне перетворення Фур'є цього сигналу на основі 512 крапок і побудувавши графік спектральної щільності (рисунку 5.4), мож-

на виділити дві частоти, на яких амплітуда спектру максимальна. Це частоти 120 і 50 Гц.

Модель для перетворення Фур'є побудована засобами системи SIMULINK пакету MATLAB і показана на рисунку 5.3.

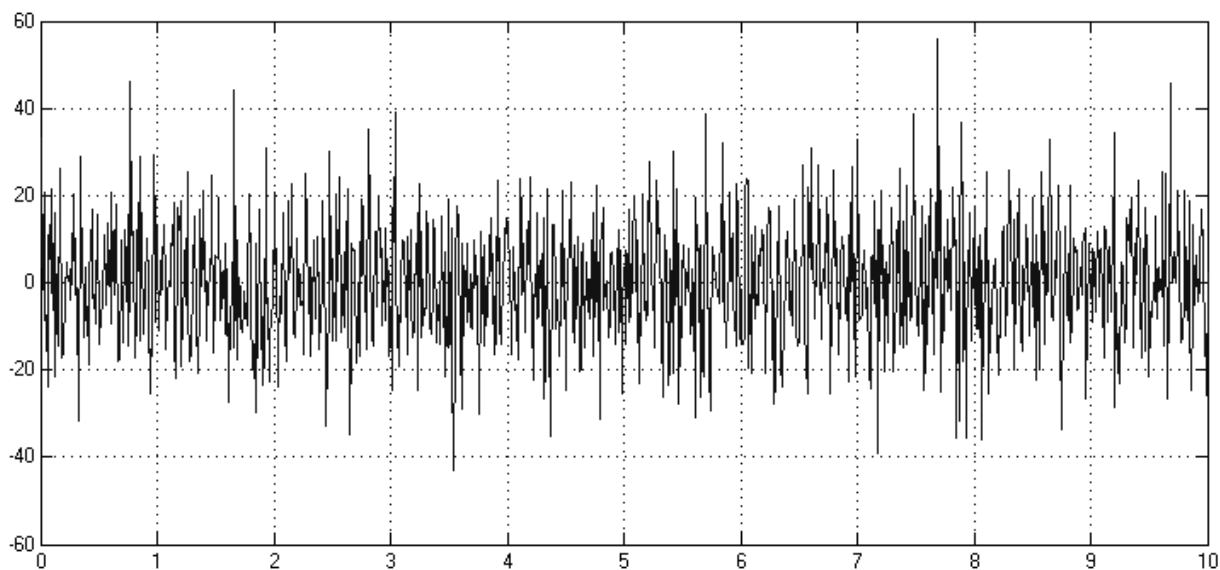


Рисунок 5.1 – Досліджуваний сигнал що містить регулярні складові і шум

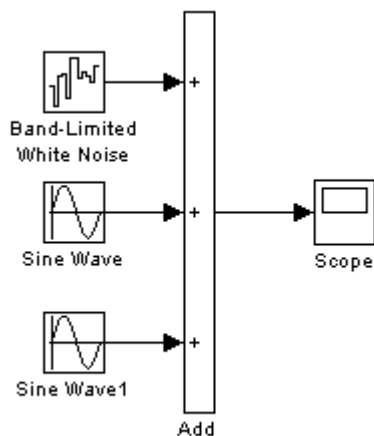


Рисунок 5.2 – Імітаційна модель досліджуваного випадкового процесу

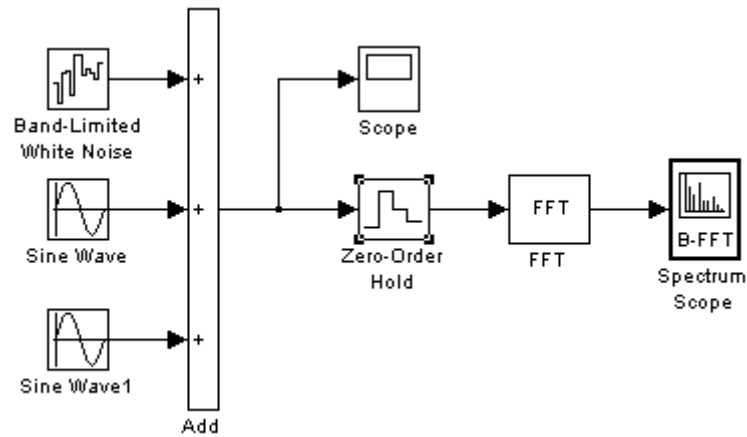


Рисунок 5.3 – Модель для перетворення Фур'є побудована засобами системи SIMULINK пакету MATLAB

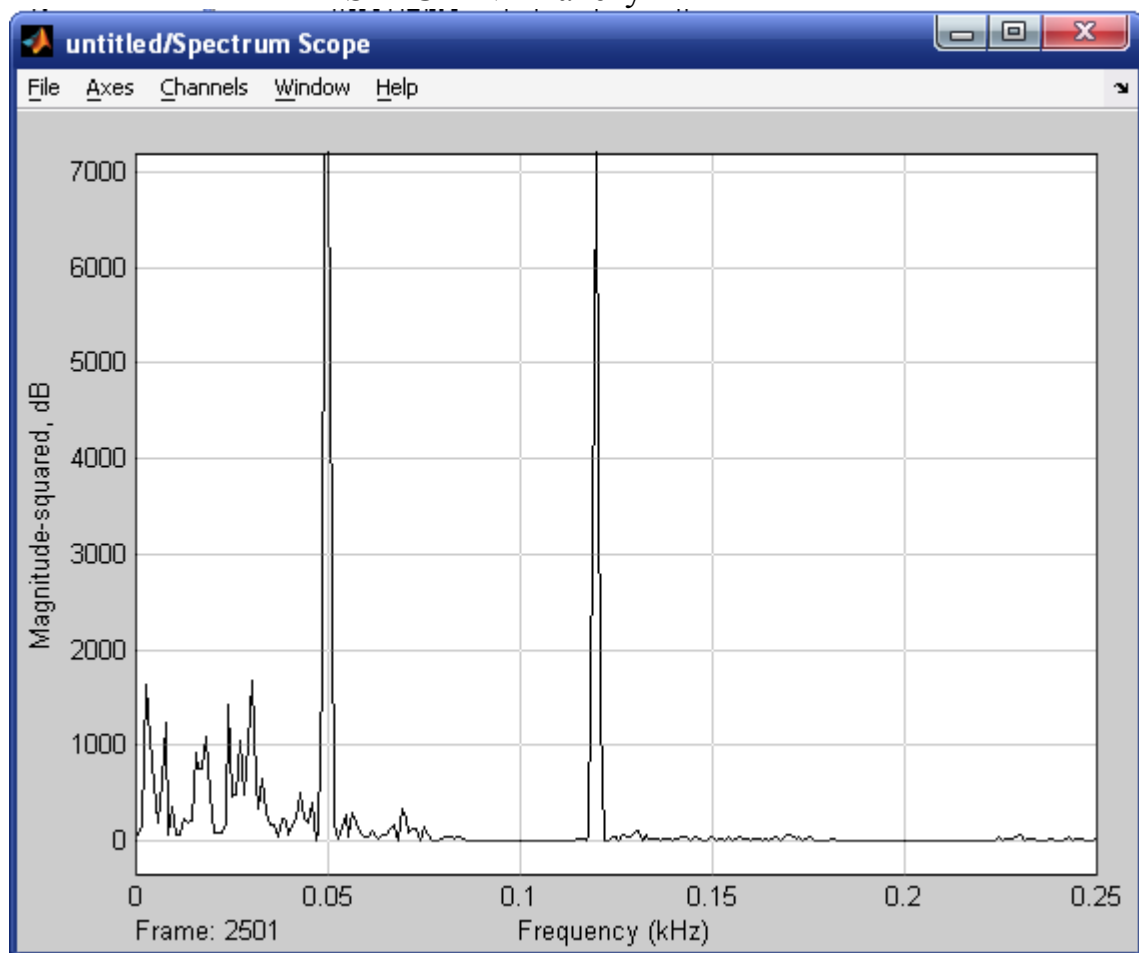


Рисунок 5.4 – Графік спектральної щільності випадкового сигналу

Якщо довжина послідовності вхідних даних є ступенем числа 2, то застосовується алгоритм швидкого перетворення Фур'є з основою 2, що має максимальну продуктивність. Цей алгоритм оптимізований для роботи з дійсними даними; якщо дані комплексні, то реалізується комплексне перетворення Фур'є. Ефективність першого на 40 % вище другого.

Якщо довжина вхідної послідовності не є ступенем числа 2, то застосовується перетворення із змішаними основами, які визначаються як прості множники довжини вхідної послідовності, яка при необхідності піддається усіканню.

Час розрахунку істотно залежить від значення довжини послідовності. Якщо значення довжини точно розкладається на прості множники, то обчислення для такої послідовності виконуються достатньо швидко; якщо ж не всі множники виявляються простими, і навіть їх буде менше, то час обчислення істотно зростає.

Якщо порівнювати ефективність обчислень, то перетворення Фур'є з основою 2 дійсної послідовності з 4096 крапок займає 2,1 с, а комплексної – 3,7 с. Звичайне перетворення Фур'є для послідовності з 4096 крапок займає 7 с, а для послідовності з 4098 крапок – 58 с.

5.3 Оснащення роботи

Персональний комп'ютер, навчальні посібники.

5.4 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з основами спектрального аналізу і засобами його реалізації в системі SIMULINK пакету MATLAB.
2. Побудувати модель імітації випадкового сигналу що містить регулярні складові і випадкову адитивну компоненту.
3. Засобами системи SIMULINK пакету MATLAB виконати спектральний аналіз часової реалізації сигналу.
4. Зробити висновки по роботі.

5.5 Інформація до складання звіту

1. У підрозділі „Теоретична інформація” навести письмові відповіді на питання призначенні для самостійної підготовки.
2. У підрозділі „Дані виконання роботи” навести екранні копії розробленої моделі імітації випадкового сигналу що містить регулярні складові і випадкову адитивну компоненту; часову реалізацію випадкового сигналу; екранні копії розробленої моделі реалізації алгоритму швидкого перетворення Фур'є; екранні копії отриманого спектру. Проаналізувати отримані дані.

5.6 Питання до самостійної підготовки

1. Які ви знаєте методи моделювання сигналів і лінійних систем?
2. Що таке ряд Фур'є?
3. Яким чином знаходяться коефіцієнти ряду Фур'є?
4. Що таке спектральний аналіз?

5. Які визнаєте гармоніки сигналу?
6. Що таке пряме перетворення Фур'є?
7. Назвіть недоліки прямого перетворення Фур'є?
8. В яких випадках застосовують дискретне перетворення Фур'є?
9. Назвіть особливості швидкого перетворення Фур'є?
10. Призначення перетворення Фур'є?
11. Від чого залежить час розрахунку спектру?

Лабораторна робота 6

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛОГРАФА І ПРИБОРІВ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛУ

6.1 Мета роботи

Вивчити будову і принцип роботи цифрового USB-осцилографа і п'єзоелектричного датчика прискорень моделі КД-38.

6.2 Теоретична інформація

При розробці або дослідженні, яких-небудь електронних пристроїв часто потрібно провести вимірювання параметрів сигналу, або хоч би подивитися вхідні і вихідні сигнали, провести їх запис і, можливо, розшифровку. Для вирішення цих завдань при аналізі цифроаналогових схем зазвичай застосовуються декілька пристроїв: осцилограф, спектр аналізатор, самописець, логічний аналізатор/генератор. Як правило, кожен пристрій вимагає наявності вільного інтерфейсного роз'єму (зазвичай LPT) і поставляється зі своїм джерелом живлення. До того ж професійна вимірювальна апаратура, наприклад, випускається під маркою Techtronics і Adgilent, не по кишені навіть крупним фірмам. У той час поява нових мікроконтролерів (C8051F321) з багатим набором периферії і підтримкою високошвидкісного каналу обміну даними (USB) з комп'ютером не вимагаючих додаткових джерел живлення дозволяють створити компактний пристрій що поєднує в собі всі вище перераховані функції за дуже низькою ціною. Саме таким пристроєм і є USB-осцилограф.

Технічна характеристика:

Осцилограф, спектр аналізатор:

- кількість каналів – 2;
- частота дискретизації – 100 Гц - 200 КГц;
- глибина пам'яті читання через буфер: 1126 отсчетов/канал (1 канал), 563 отс/кан (2 канали); потокове читання: 64К отсчетов/канал (1 або 2 канали);
- вхідна напруга від – 20 ... +20 В (апаратно 2 піддіапазони);
- розрядність АЦП – 10 біт, абсолютна (по наростаючому/спадаючому фронту);
- синхронізація – диференціальна (по різниці між сусідніми відліками), зовнішня (по наростаючому/спадаючому фронту ТТЛ рівні);
- віконні функції – Хаммінга, Ханнінга, Блекмана, Блекмана-Харріса.

Самописець:

- частота дискретизації – 0,01 Гц - 200 КГц;
- максимальний час запису – 24 години при $F_d < 100$ Гц;
- вхідна напруга від – 20 ... +20 В (апаратно 2 піддіапазони);

- розрядність АЦП – 10 біт.

Логічний аналізатор:

- кількість каналів – 16 (8 при включенні логічного генератора);

- частота дискретизації – 1 КГц - 8 МГц;

- глибина пам'яті

читання через буфер ($F_d=4-8$ МГц): 128 біт/канал;

читання через буфер ($F_d=2-2,66$ МГц): 1160 біт/канал;

читання через буфер ($F_d \leq 1$ МГц): 1544 біт/канал;

читання через буфер в режимі склеювання 1 Мбіт/канал;

потокоче читання ($F_d < 500$ КГц): від 4К до 256 Мбіт/канал;

- вхідна напруга – 0 ... +5 В (є захист від перенавантаження);

- синхронізація по фронтах, масці, пропуск імпульсів, зовнішнє тактування;

- тактування – внутрішнє / зовнішнє.

Логічний генератор:

- кількість каналів – 8;

- частота дискретизації – 1 КГц - 1 МГц;

- глибина пам'яті – 1544 біт/канал;

- вихідна напруга: "0" – 0 В, "1" – 3,3 В;

- максимальний вхідний/вихідний струм – 10 мА.

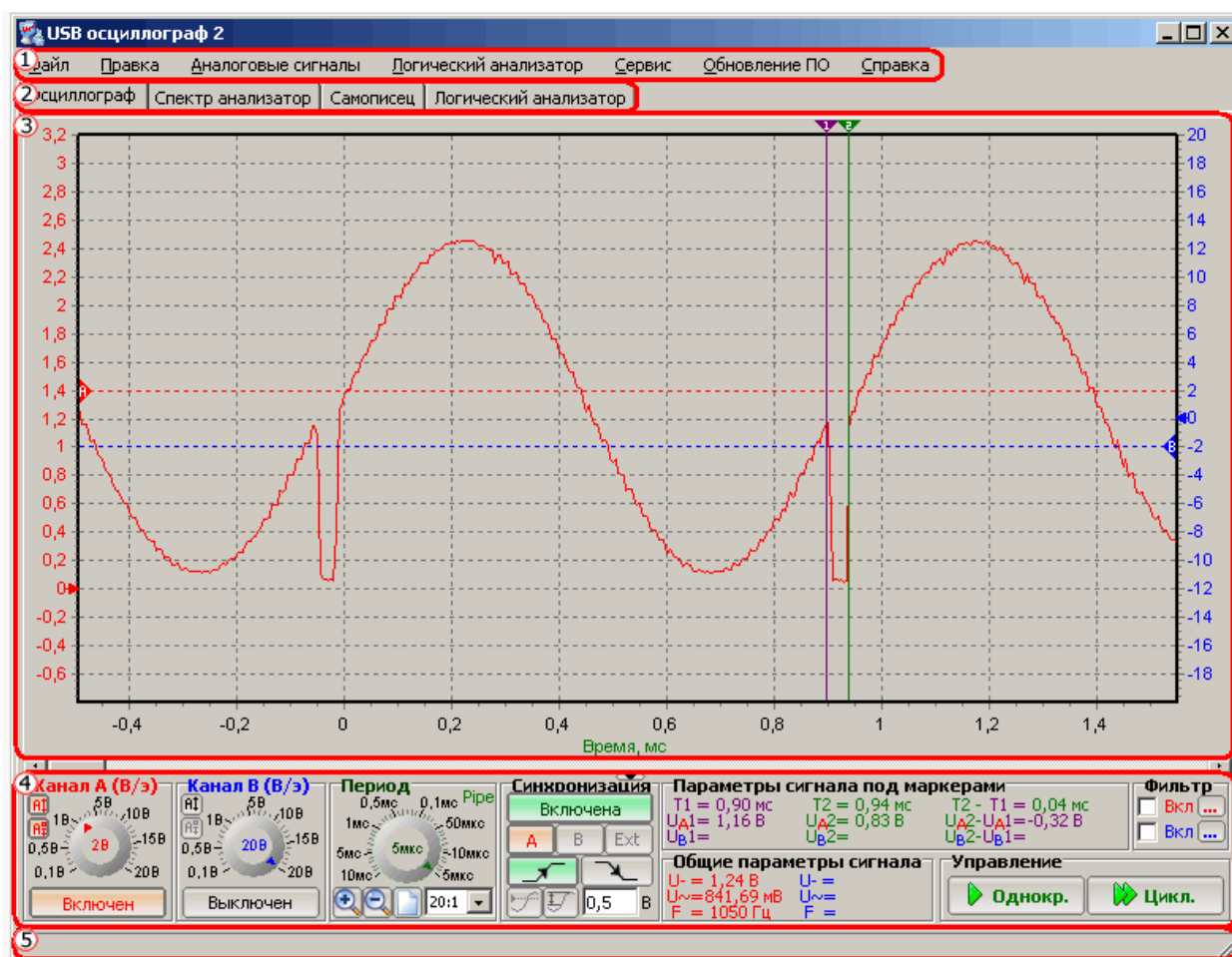


Рисунок 6.1 – Основне вікно програми USB-осцилограф

На малюнку приведено основне вікно програми (кляцнувши по вибраному елементу вікна можна перейти до відповідного розділу опису). Під заголовком вікна розташований рядок меню **1**, нижче розміщено 4 закладки **2** що дозволяють вибрати режим роботи. По центру основного вікна розташований робочий екран **3** вибраного режиму роботи, на якому власне і відображаються всі результати вимірювань. Під робочим екраном розміщується панель настройки **4** вибраного режиму роботи. Внизу робочого вікна знаходиться рядок стану **5** на якому відображаються поточний стан приладу, наприклад інформація про очікування закінчення вимірювання, а також коротка підказка про всі елементи програми, яка з'являється при підведенні покажчика миші до відповідного елементу.

Меню «Файл».

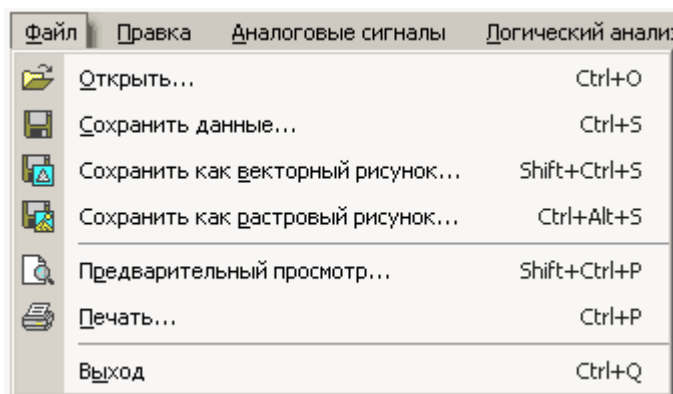


Рисунок 6.2 – Меню «Файл»

Меню "Файл" містить наступні пункти:

- Відкрити – відкриття файлу з даними осцилографа, спектр аналізатора, самописця або логічного аналізатора і відповідного інтегрованого у файл коментаря. Після відкриття файлу відбувається автоматичний перехід на відповідну закладку (режим роботи) і установка всіх параметрів в той стан, в якому вони знаходилися на момент збереження даних.
- Зберегти дані – дозволяє зберегти результати вимірювання, відповідний коментар і поточні параметри вибраного режиму роботи (поточної вибраної закладки) у файл даних.
- Зберегти як векторний малюнок – дозволяє зберегти результати вимірювань вибраного режиму роботи у вигляді векторного малюнка формату *.emf (Enhanced Metafile).
- Зберегти як растровий малюнок – дозволяє зберегти результати вимірювань вибраного режиму роботи у вигляді растрового малюнка формату *.bmp (Windows Bitmap).
- Попередній перегляд – відкриває вікно попереднього перегляду результатів вимірювання вибраного режиму роботи в тому вигляді, в якому вони будуть виведені на друк.

- Друк – друк результатів вимірювання вибраного режиму роботи.
- Вихід – завершення роботи програми.

Меню «Правка».

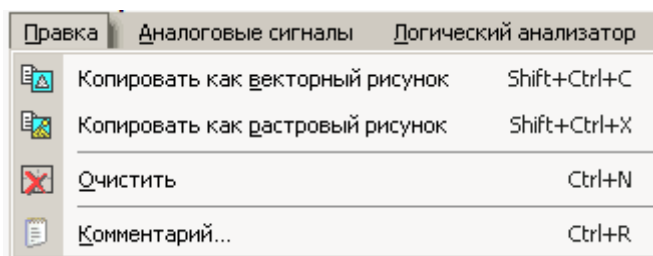


Рисунок 6.3 – Меню «Правка»

Меню "Правка" містить наступні пункти:

- Копіювати як векторний малюнок – дозволяє скопіювати в буфер обміну Windows результати вимірювань вибраного режиму роботи у вигляді векторного малюнка формату *.emf (Enhanced Metafile).
- Копіювати як растровий малюнок – дозволяє скопіювати в буфер обміну Windows результати вимірювань вибраного режиму роботи у вигляді растрового малюнка формату *.bmp (Windows Bitmap).
- Очистити – очищає результати вимірювань вибраного режиму роботи.
- Коментар – відкриває вікно введення коментаря для результатів вимірювання вибраного режиму.

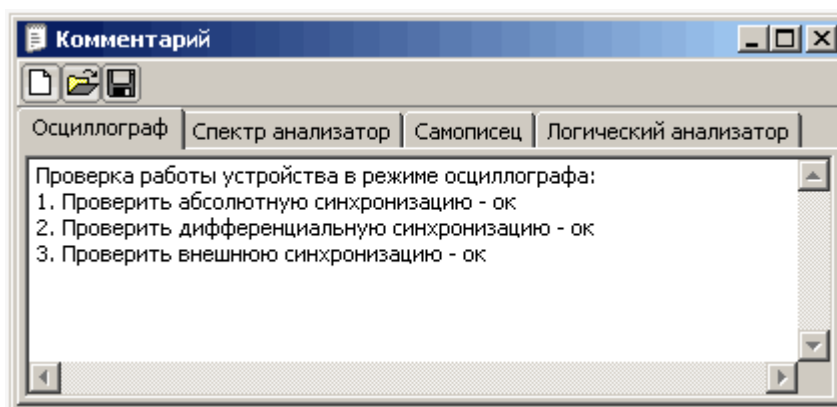


Рисунок 6.4 – Вікно введення коментаря для результатів вимірювання вибраного режиму

Текст коментаря інтегрується у файл з результатами вимірювання. Максимальна довжина коментаря складає 64К для Windows 98/ME, а для Windows 2000/XP обмежена максимальним розміром файлу.

Меню «Аналогові сигнали».

Меню "Аналогові сигнали" містить наступні пункти:

- Згладжування каналу А/В – підменю цього пункту дозволяє визначити ступінь згладжування форми сигналу і видалення шуму (тільки при роботі в режимі осцилограф).

- Розрахунок параметрів – підменю цього пункту дозволяє вибрати момент розрахунку загальних параметрів сигналу (постійною і змінною складовою напруги і частоти сигналу). Розрахунок параметрів можна проводити до обробки (згладжування і фільтрації), тоді будуть розраховані реальні параметри сигналу або обробки. Розрахунок параметрів після обробки може бути корисний, якщо, наприклад, необхідно визначити параметри кожної спектральної складової двухтонального сигналу (DTMF), для чого спочатку необхідно відфільтрувати одну складову і виміряти її параметри, після чого відфільтрувати наступну складову і також виміряти її параметри.

- Обробка – підменю цього пункту дозволяє вибрати різні варіанти математичної обробки отриманих результатів вимірювання (інверсія, сума, різниця).

- Звуки – відкриває вікно завдання параметрів подій і їх звукового супроводу. Дане вікно може бути корисне в тому разі якщо проводиться пошук, наприклад, напруга 3,3 В, для того, щоб постійно не переводити погляд з досліджуваного пристрою на екран монітора, можна задати звук, який повідомлятиме про те, що напруга на вибраному каналі наблизилася до 3,3 В.

- Зарядка акумуляторів – відкриває вікно управління процесом заряду / розряду акумуляторів (на етапі розробки).

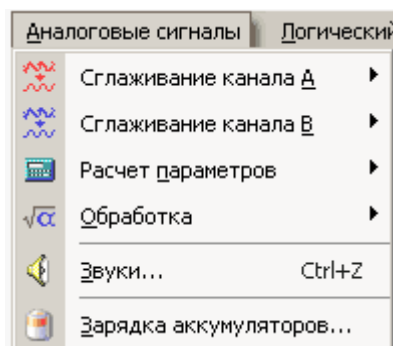


Рисунок 6.5 – Вкладка меню «Аналогові сигнали»

Меню «Логічний аналізатор».

Меню "Логічний аналізатор" містить наступні пункти:

- Режим склеювання – включення або виключення режиму склеювання діаграм логічного аналізатора.

- Утримувати стан виходів – включення або виключення режиму утримання виходів генератора в останньому стані. Якщо режим вимкнений, то стан виходів змінюється відповідно до заданої тимчасової діаграми тільки протягом вимірювання (генерації), тобто після натиснення кнопки "Запуск" і до відпуску кнопки (коли кнопка змінить колір з червоного знову на зеле-

ний), після закінчення вимірювання всі виходи перейдуть в третій стан. Якщо включити режим утримання стану виходів, то після закінчення вимірювання стан виходів відповідатиме останньому значенню тимчасової діаграми. Виходи автоматично переводяться в третій стан при відключенні режимі утримання або відпуску кнопки генератора. Даний режим зроблений з метою усунути небажану зміну сигналу, якщо випадково не були відключені відповідні канали генератора від яких-небудь елементів досліджуваного пристрою.

- Виділити маркерами – даний пункт меню дозволяє виділити ділянку даних генератора в таблиці, причому межі цієї ділянки визначаються положенням маркерів, тобто розташовані між ними.

- Статистика – відкрити вікно статистики.

- Поверх інших вікон – дозвіл або заборона розташування вікна статистики поверх інших вікон програми. Оскільки вікно статистики займає достатньо велику частину робочого вікна, то при необхідності його можна приховати, але в той же час, наприклад, в режимі склеювання при підрахунку кількості синхроімпульсів вікно статистики зручно розташовувати поверх інших вікон, що б постійно не відкривати його.

- UART, SPI, I2C, 1-Wire – відкривають вікна аналізу і розшифровки відповідних інтерфейсів.

- Термінал – відкрити вікно апаратної підтримки (введення / виводу) інтерфейсів UART, SPI, I2C, 1-Wire (на етапі розробки, доки реалізовані тільки базові функції для I2C).

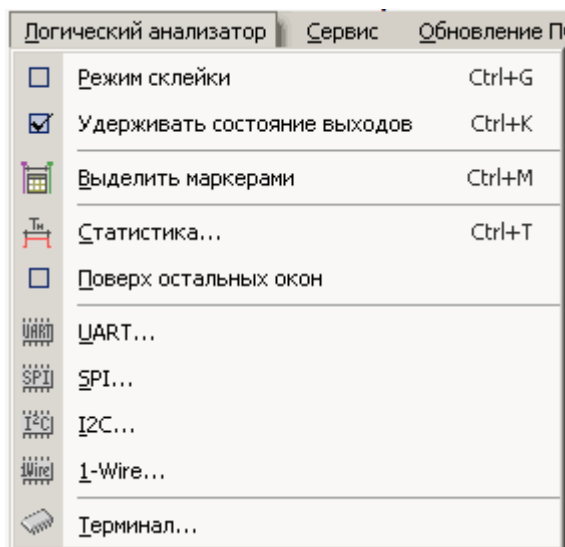


Рисунок 6.6 – Меню «Логічний аналізатор»

Меню «Сервіс».

Меню "Сервіс" містить наступні пункти:

- Налаштування – відкриває вікно налаштування режимів роботи.
- Language – підменю цього пункту дозволяє вибрати доступні мови інтерфейсу.

Меню "Оновлення ПО".

Даний пункт меню відкриває вікно оновлення програмного забезпечення пристрою (прошивки).

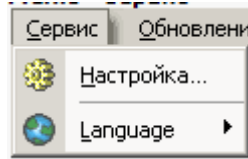


Рисунок 6.7 – Меню «Сервис»

Меню «Довідка».

Меню "Довідка" містить наступні пункти:

- Допомога – відкриває вікно (файл) допомоги.
- Про програму – відкриває вікно з інформацією про програму.

Режими роботи.

Осцилограф.

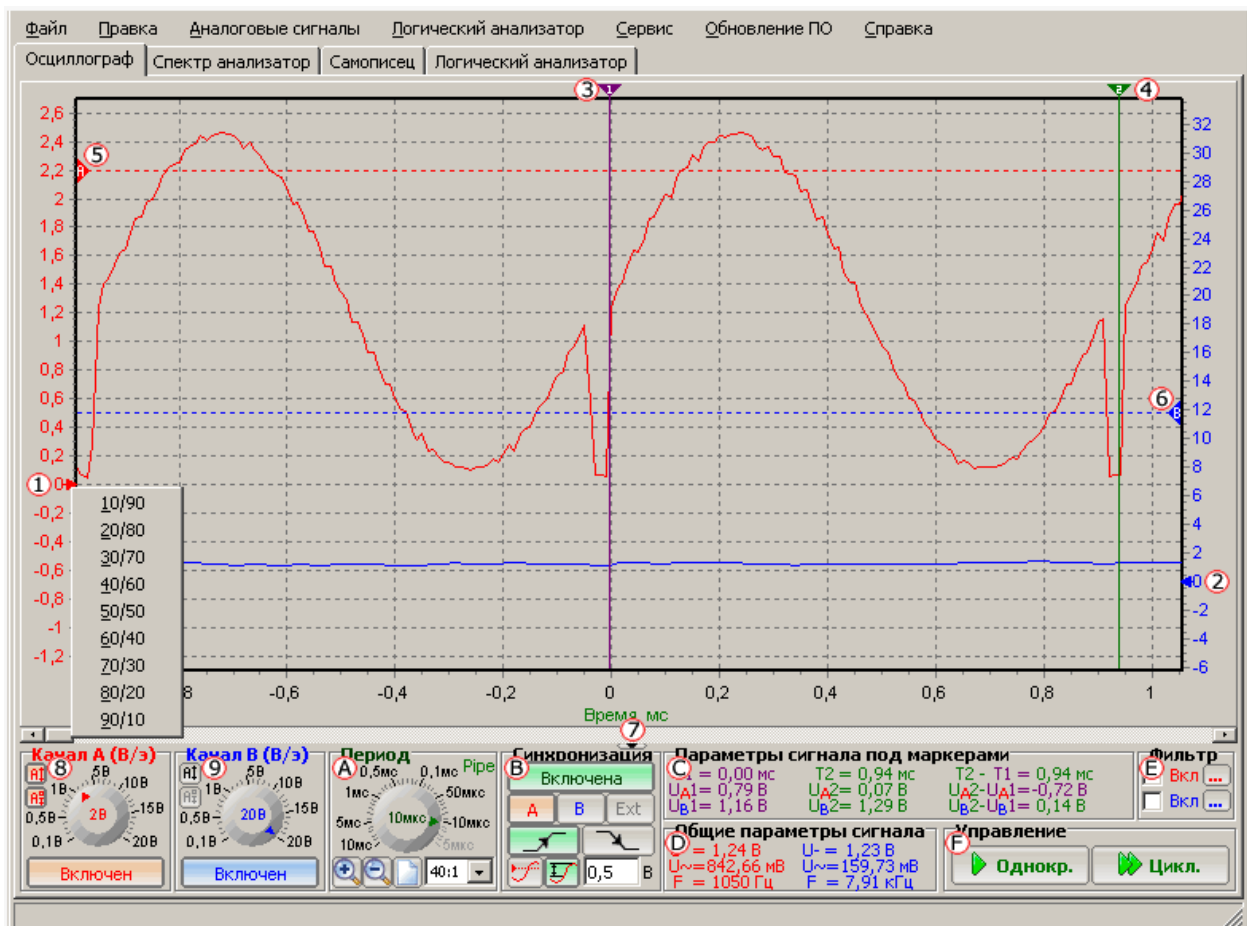


Рисунок 6.8 – Основне вікно програми при роботі в режимі осцилографа

На малюнку приведено основне вікно програми при роботі в режимі осцилографа. В центрі вікна знаходиться робочий екран на якому відображаються осцилограми, червона осцилограма відповідає каналу А, а синя каналу В. Зліва від рамки робочого екрану розташована шкала по напрузі каналу А (червоний шрифт), праворуч від рамки – шкала по напрузі каналу В (синій шрифт). Розмірність обох шкал по напрузі завжди вольти. Знизу робочого екрану розташована вісь часу (розгортка).

Зліва і праворуч від робочого екрану знаходяться 2 покажчики ① і ② що дозволяють зміщувати нуль каналу А і каналу В відповідно. Зсув нуля доцільно проводити, якщо сигнали обох каналів занадто накладаються один на одного, що утрудняє їх аналіз. Для установки однієї з 9-ти стандартних позицій нуля необхідно клацнути правою кнопкою миші над відповідному покажчиком, після чого із спливаючого меню, що з'явилося, вибрати одне з можливих значень положення нуля.

Над рамкою робочого екрану розташовано два маркери ③ і ④ призначені для точного вимірювання тимчасових інтервалів і значень амплітуд напруги кожного з каналів. Маркери можна пересувати за допомогою миші, для цього необхідно клацнути лівою кнопкою миші над трикутником, після чого не відпускаючи лівою кнопку пересувати мишу вліво або вправо. При пересуванні маркера по робочому екрану на панелі відобразатимуться параметри сигналу під маркером.

Для завдання рівня синхронізації використовуються два горизонтальні маркери ⑤ і ⑥. Маркер А задає рівень (амплітуду) напруги каналу А який використовується при включеній синхронізації (абсолютній) по каналу А. Маркер В аналогічно задає рівень, використовуваний при включеній синхронізації по каналу В. Переміщення маркерів синхронізації здійснюється аналогічно переміщенню маркерів ③ і ④, крім того, при переміщенні маркерів синхронізації на рядку стану точно відображається встановлюваний рівень.

Для переміщення осцилограм усередині робочого екрану призначена стандартна лінійка прокрутки ⑦. Після зміни масштабу раніше отримані осцилограми можуть повністю не поміщатися усередині робочого екрану, при цьому повзунок стає менше лінійки прокрутки пропорційно відношенню довжини осцилограми, що потрапила в робочий екран, до загальної довжини осцилограми. Під лінійкою прокрутки знаходиться невелика кнопка що дозволяє приховати панель настройок осцилографа, що забезпечує більше місця для робочого екрану.

Задати розмах шкали напруги каналу А/В можливо на панелі ⑧/⑨ "Канал А/В (Вольт/екран)". Розмах задається за допомогою ручки настройки - "крутилки". Необхідно відзначити, що USB осцилограф апаратно підтримує два діапазони вхідних сигналів 0-2 В і 2-20 В. Із цього витікає, що для того, щоб отримати найбільш достовірну осцилограму амплітуда якої знаходиться в діапазоні ± 2 В доцільно вибрати розмах ± 2 Вольт/екран або нижче. Оскільки помилка кантування при розмаху ± 2 Вольт/екран і нижче складатиме 4В /

$1024 = 0,0039 \text{ В}$ (розрядність 10 біт), тоді як при розмаху ± 5 Вольт/екран і вище помилка кантування буде в 10 разів більше $40\text{В} / 1024 = 0,039 \text{ В}$. На цих же панелях розташовані кнопки ввімкнення / вимкнення каналів. Якщо при аналізі пристрою не потрібно аналізувати одночасно два аналогові сигнали, то доцільно буде вимкнути один з каналів, що дозволить збільшити максимальну частоту дискретизації з 100 кГц до 200 кГц.

Панель "Період" **A** дозволяє задавати період дискретизації (розгортку) з якою відбувається оцифровка вхідного аналогового сигналу. Для нормального перегляду осцилограм рекомендується, щоб частота дискретизації була хоч би в 5-6 разів вище за максимальну частоту вхідного сигналу. Окрім вибору розгортки на панелі "Період" також можна задавати масштаб відображення осцилограм, тобто можна розтягнути осцилограму по осі часу для детальнішого аналізу, наприклад, яких-небудь тимчасових параметрів сигналу. У правому верхньому кутку панелі "Період" розташовується інформація про режим читання: buf – читання з використанням внутрішнього буфера, ріре – потокове читання даних в комп'ютер (у декілька разів збільшується розмір буфера відліків але посилюються вимоги що пред'являються до комп'ютера). Граничний період на підставі якого визначається режим читання задається у вікні настройок. Подвійне клацання лівою кнопкою миші по мітці з інформацією про режим читання відкриває вікно настройок, аналогічно «Сервіс/настройка».

Всі елементи, що керують синхронізацією, за винятком маркерів, розташовані на панелі "Синхронізація" **B**. Кнопка "Ввімкнення/вимкнення" дозволяє ввімкнути або вимкнути синхронізацію. Кнопки "А" і "В" вибирають канал і відповідний маркер, сигнал з якого використовуватиметься як джерело синхронізації. Кнопка "Ext" вказує що джерелом синхронізації буде зовнішнє джерело що підключається до каналу В логічного аналізатора, який працює як вхід (зовнішня синхронізації доступна тільки при читанні через буфер). Кнопки вибору фронту визначають по якому фронту сигналу (наростаючому або такому, що спадає) буде абсолютна синхронізація, по якому перепаду сигналу (позитивному або негативному) буде диференціальна синхронізація і по якому фронту зовнішнього синхросигнала (наростаючому або такому, що спадає) буде зовнішня синхронізація. Дві кнопки розташовані внизу панелі визначають тип синхронізації: абсолютна або диференціальна. Поле, розташоване біля кнопки завдання диференціальної синхронізації визначає різницю між сусідніми відліками сигналу при перевищенні, яким буде виконання умови синхронізації. Необхідно відзначити, що при завданні параметрів синхронізації які не можуть бути виконані, наприклад заданий рівень 5 В, а максимальна амплітуда сигналу не перевищує 2 В, прилад весь час буде знаходитися в очікуванні виконання умови синхронізації, тобто одна з кнопок запуску вимірювання буде червоною. В даному випадку зовсім не обов'язково зупиняти вимірювання натискаючи кнопку "Скидання", оскільки

при вимірювання будь-яких умов синхронізації вони автоматично будуть передані в пристрій.

На панелі "Параметри сигналу під маркерами" **С** відображаються, положення кожного маркера на осі часу і амплітуда сигналу обох каналів під кожним маркером. Також обчислюється різниця часу маркерів і амплітуд сигналів, при цьому колір результату різниці визначатиметься кольором того маркера відповідні значення якого більше.

На панелі "Загальні параметри сигналу" **Д** відображаються обчислені значення постійної і змінної складової напруги і якщо можливо, то і значення частоти по кожному каналу.

Панель "Фільтрація" **Е** забезпечує підключення, і розрахунок цифрових фільтрів для кожного каналу. Для включення фільтрації по каналу спочатку необхідно розрахувати фільтр відкривши вікно завдання параметрів фільтру натиснувши кнопку "...", після чого встановити галочку "Вкл." для вибраного каналу.

Для того, щоб провести вимірювання необхідно натиснути кнопку "Однокр." або "Цикл." на панелі "Управління" **Ф**. Кнопка "Однокр." ініціалізує тільки одне вимірювання (оцифровка і накопичення відліків мікроконтролером, а потім передача їх оболонці при роботі через буфер) після чого на робочому екрані відображаються тільки що отримані осцилограми. Кнопка "Цикл." виконує аналогічні дії за винятком того, що після закінчення вимірювання автоматично запускається нове вимірювання. Після натиснення на одну з кнопок запуску вона міняє свою назву на "Скидання" червоного кольору, натиснення на таку кнопку викличе негайне скидання пристрою і припинення очікування результатів вимірювання. Кнопка "Скидання" може виявитися єдиним засобом зупинки вимірювання, наприклад, коли задано рівень синхронізації який ніколи не може бути досягнутий.

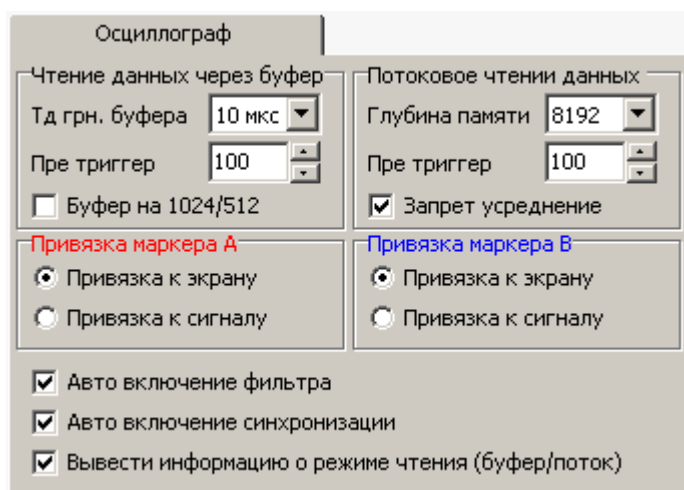


Рисунок 6.9 – Вікно настроювань параметрів осцилографа

На закладці розташовані наступні елементи:

• **Тд грн. буфера** – список дозволяє вибрати граничний період дискретизації менше якого буде читання через буфер. В даному випадку встановлений граничний період рівний 10 мкс ($F_d=100$ КГц), тобто для періодів дискретизації 9 мкс...5 мкс ($F_d=111$ КГц ...200 КГц) буде читання через буфер, а для періодів дискретизації 10 мс...10 мкс ($F_d=100$ Гц ...100 КГц) буде поточкове читання. **Тд грн. буфера** визначається експериментально на підставі декількох вимірювань. Наприклад, спочатку потрібно встановити **Тд грн. буфера** = 5 мкс, тобто при будь-якому періоді дискретизації буде поточкове читання, і провести вимірювання також на $T_d=5$ мкс ($F_d=200$ КГц), якщо спотворень сигналу не буде, значить, на Вашому комп'ютері і ОС можна передавати дані на максимальній швидкості. Якщо ж будуть спотворення, то необхідно збільшити період дискретизації, наприклад до 6 мкс (167 КГц) і ще раз провести вимірювання, і так далі. Після визначення періоду дискретизації, при якому немає спотворень в отриманих результатах вимірювання, доцільно встановити його як граничний.

• **Пре тригер** – дозволяє задати кількість відліків що зберігаються до моменту синхронізації. На осі часу ця ділянка сигналу знаходиться в негативній частині, тобто сигнал до початку синхронізації – до нуля, а сигнал після синхронізації – після нуля.

• **Буфер на 1024/512 байт** – примусове зменшення буфера з 1126 (1 канал)/563 (2 канали) відліків до 1024/512. Суть цього прапорця полягає в наступному: для фільтрації використовується ШПФ, а, як відомо кількість відліків для ШПФ повинна бути 2^n .

• **Глибина пам'яті** – при поточковому читанні визначається кількістю доступної пам'яті на комп'ютері і в режимі осцилографа штучно обмежена 65535 відліками на канал, оскільки при великій глибині пам'яті не зручно проглядати періодичні сигнали (для дослідження неперіодичних або дуже довгих сигналів рекомендується використовувати [самописець](#)).

• **Заборона усереднювання** – цей прапорець забороняє зменшувати період (збільшувати частоту) дискретизації і проводити усереднювання по декількох відліках (середнє арифметичне).

• **Прив'язка до екрану / прив'язка до сигналу** – прапорець задає до чого слід прив'язати маркери синхронізації, якщо вибрана прив'язка до сигналу маркер синхронізації буде синхронно переміщуватись по екрану із зміною розгортки або переміщенням нуля утримуючи задану позицію у вольтах.

• **Авто включення фільтру** – вирішує включення [+] Вкл. відповідного фільтру після завдання його параметрів.

• **Авто включення синхронізації** – дозволяє автоматично включати синхронізацію при натисненні на будь-яку кнопку з панелі “Синхронізація”.

• **Вивести інформацію про режим читання (буфер/поток)** – дозволяє виводити інформацію про режим читання на панелі “Період”.

Спектр аналізатор.

На рисунку 6.10 приведено основне вікно програми при роботі в режимі спектр аналізатора. Більшість елементів вікна при роботі в даному режимі аналогічні відповідним елементам при роботі в режимі осцилографа. Виключення лише в тому, що горизонтальна вісь стає частотною віссю, розгортка

задається у вигляді частота/екран, а також шкала напруги не містить негативних амплітуд.

Також додалися нові елементи, що відносяться виключно до спектрального аналізу. Так на панелях "Канал А/В (Вольт/екран)" з'явилися додаткові кнопки "В / дБ" і "0 дБ = 0,775 В / 0 дБ = U_{max}" ① і ②. Перша кнопка визначає, в яких одиницях відобразатиметься вертикальна шкала: у вольтях або децибелах. Друга кнопка (активна тільки в тому разі якщо натиснута перша) визначає який рівень напруги відповідає 0 дБ: 0,775 В або максимальне значення напруги по всій частотній осі для заданого каналу.

На панелі "Частота" додана кнопка ③, що визначає чи буде вісь частоти лінійною або логарифмічною.

Панель синхронізації замінена панеллю завдання віконної функції ШПФ ④. На панелі знаходиться список, що розкривається, він містить деякі поширені віконні функції: Хаммінга, Ханнінга, Блекмана і Блекмана-Харріса.

Також додана панель ⑤ розрахунку коефіцієнта нелінійних викривлень (КНВ) або коефіцієнта гармонік. На панелі виводяться результати розрахунку загального КНВ, КНВ третин гармоніки і частоти першої (основної) гармоніки, яка може задаватися примусово в полі F1 або розраховуватися автоматично при включеному прапорці [+]
Max.

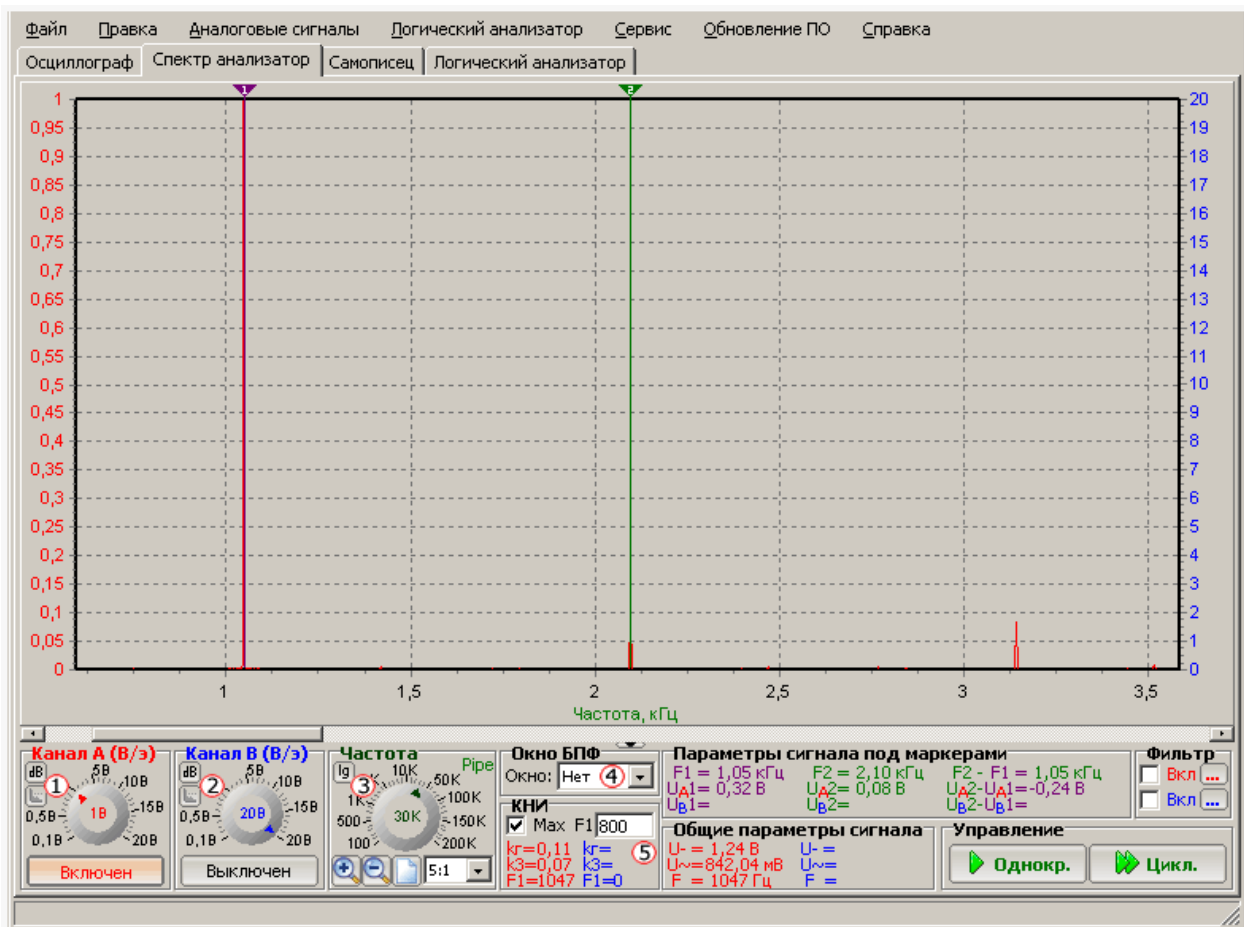


Рисунок 6.10 – Основне вікно програми при роботі в режимі спектр аналізатора

На рисунку 6.11 приведена закладка настройки параметров спектр анализатора.

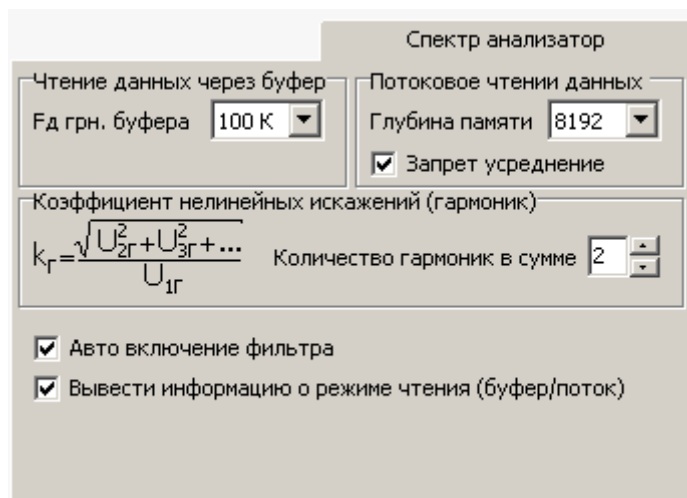


Рисунок 6.11 – Настройка параметров спектр анализатора

На закладці розташовані наступні елементи:

- **Гд грн. буфера** – список дозволяє вибрати граничну частоту дискретизації більше якої буде читання через буфер. В даному випадку встановлена гранична частота рівна 100 КГц, тобто для частот дискретизації 111 КГц ...200 КГц буде читання через буфер, а для частот дискретизації $F_d=100$ Гц ...100 КГц буде потокове читання. **Гд грн. буфера** визначається експериментально на підставі декількох вимірювань. Наприклад, спочатку потрібно встановити **Гд грн. буфера** = 200 КГц, тобто при будь-якій частоті дискретизації буде потокове читання, і провести вимірювання також на $F_d=200$ КГц, якщо викривлень сигналу не буде, значить, на Вашому комп'ютері і ОС можна передавати дані на максимальній швидкості. Якщо ж будуть викривлення, то необхідно зменшити частоту дискретизації, наприклад до 190 КГц і ще раз провести вимірювання, і так далі. Після визначення частоти дискретизації, при якій немає викривлень в отриманих результатах вимірювання, доцільно встановити її як граничну.

- **Глибина пам'яті** – при потоковому читанні визначається кількістю доступної пам'яті на комп'ютері і в режимі аналізатора спектру штучно обмежена 65535 відліками на канал.

- **Заборона усереднювання** – цей прапорець забороняє збільшувати частоту дискретизації і проводити усереднювання по декількох відліках (середнє арифметичне).

- **Кількість гармонік в сумі** – визначає кількість гармонік, використовується при розрахунку коефіцієнта нелінійних викривлень.

- **Авто включення фільтру** – дозволяє включення [+] Вкл. відповідного фільтру після завдання його параметрів.

- **Вивести інформацію про режим читання (буфер/поток)** – дозволяє виводити інформацію про режим читання на панелі “Частота”.
- Самописець.

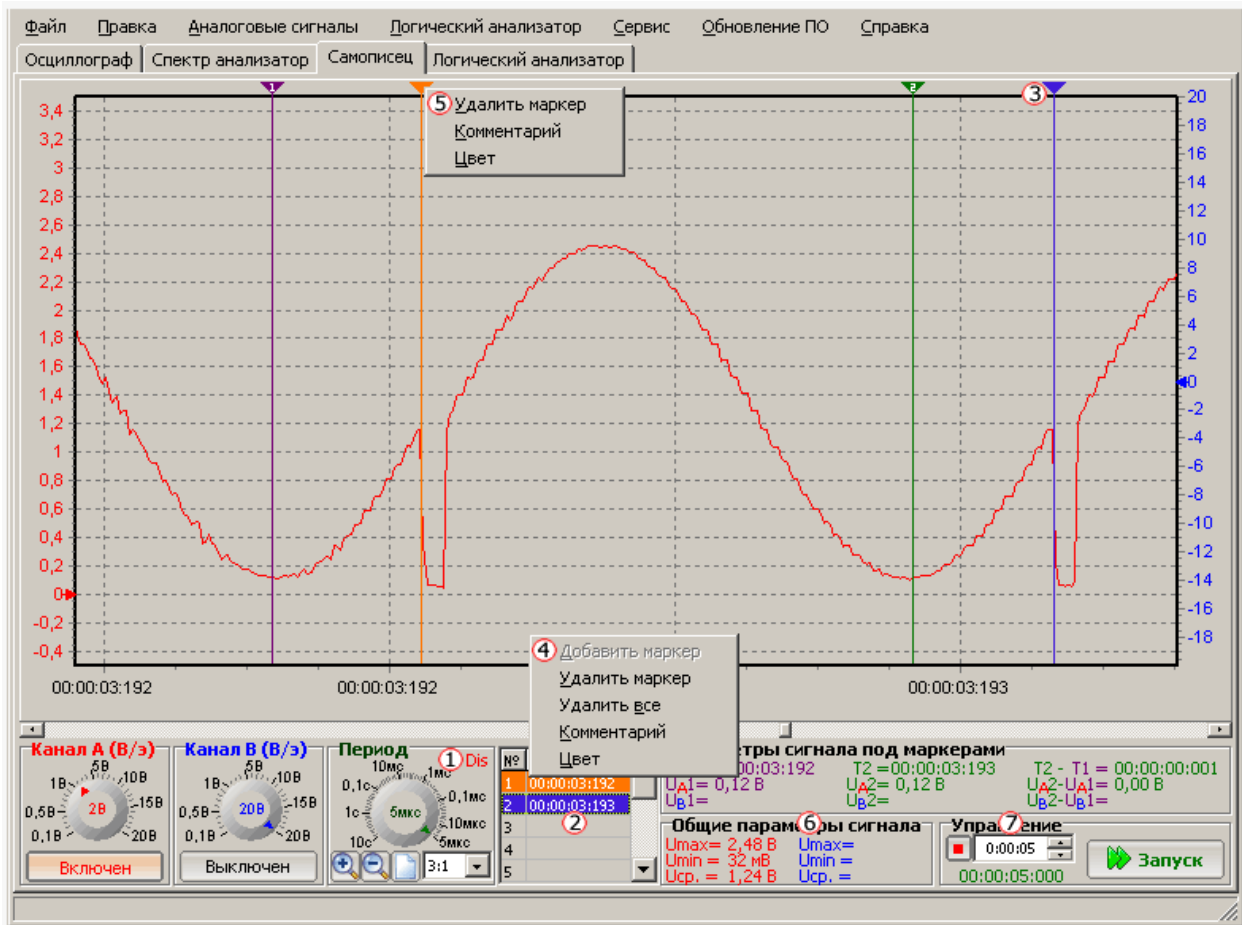


Рисунок 6.12 – Основне вікно програми при роботі в режимі самописця

Більшість елементів вікна при роботі в даному режимі аналогічні відповідним елементам при роботі в режимі осцилографа з деякими виключеннями, обумовленими тим, що при роботі в режимі самописця сигнал безперервно в реальному режимі часу прочитується з мікроконтролера. Унаслідок чого в режимі самописця відсутні панелі синхронізації, фільтрації і змінена панель загальних параметрів сигналу, а також формат осі часу (годинник : хвилини : секунди : мілісекунди).

Необхідно врахувати, що в режимі самописця не може бути ні одиночного вимірювання, ні циклічного вимірювання, тому для початку запису сигналу необхідно натиснути кнопку "Запуск", після чого кнопка змінить свою назву на "Скидання" червоного кольору. Для закінчення запису потрібно натиснути на кнопку "Скидання". Під час запису блокується можливість зміни розмаху шкали напруги, включення / виключення каналів і зміни розгортки. Це пов'язано з тим, що запис сигналу йде в реальному режимі часу, а будь-

яка зміна приведе до істотного завантаження центрального процесора, унаслідок чого можливі пропуски нової порції даних.

У правому верхньому кутку панелі "Період" ① замість інформації про режим читання розташовується інформація про необхідність промальовування сигналу безпосередньо в режимі запису (якщо дозволено): Dis – промальовування заборонене, En – дозволено. Сенс в забороні або дозволі промальовування під час вимірювання полягає в тому, що при періоді дискретизації наприклад 5 мкс (200 КГц) кожному секунду на екрані потрібно промальовувати 200 тисяч крапок, це не посилено навіть сучасним комп'ютерам, та і при такій швидкості промальовування на екрані нічого не буде зрозуміле. Але з іншого боку при великих періодах (менших частотах) дискретизації виведення результатів вимірювання на екран безпосередньо в режимі запису дасть можливість візуально проаналізувати в динаміці зміни сигналу і можливо зупинити запис за певних умов. Крім того, в режимі самописця сигнал можна не тільки розтягувати (збільшувати) але і стискати (зменшувати) як за допомогою відповідних кнопок, так і змінюючи розгортку, це корисно в тому разі якщо потрібно буде проглянути загальну картину сигналу, наприклад при $T_d=5$ мкс, записано 1 хвилину сигналу ($60/5e-6 = 12$ млн. крапок).

Для зручнішого аналізу тривалих сигналів додана можливість маркування характерних ділянок сигналу. Праворуч від панелі "Період" знаходиться таблиця ② призначена для додавання / видалення / переміщення до маркерів ③ і зміни їх параметрів. Так для того, щоб додати (створити новий маркер) необхідно: двічі клацнути лівою кнопкою миші над вільним елементом таблиці або вибрати вільний елемент таблиці і натиснути клавішу Insert або клацнути правою кнопкою миші над вільним осередком і в меню, що з'явилося, ④ вибрати пункт "Додати маркер". Після чого, якщо дозволено, з'являться два діалогові вікна для завдання коментаря і кольору маркера, потім по центру робочого екрану з'явиться тільки що доданий (створений) маркер. Доданий маркер можна пересувати по екрану аналогічно іншим маркерам. Для видалення маркера необхідно: вибрати не порожній елемент таблиці і натиснути клавішу Delete або клацнути правою кнопкою миші над не порожнім осередком або над маркером, що видаляється, і в меню, що з'явилося ④ / ⑤ вибрати пункт "Видалити маркер". Оскільки маркери прив'язані до осі часу (характерній ділянці сигналу) то при переміщенні сигналу або його масштабуванні можливо що необхідний маркер буде за межами видимої області робочого екрану. Для швидкого переміщення до заданого маркера необхідно вибрати, наприклад клацанням лівої кнопки миші, відповідний елемент таблиці (той же колір, що і у маркера). Змінювати параметри маркерів (колір і коментар) можна з відповідних спливаючих меню. Необхідно відзначити, що положення маркерів і їх параметри зберігаються усередині файлу з результатами вимірювання, тобто при відкритті файлу всі маркери вказуватимуть на відповідні характерні ділянки сигналу.

На панелі "Загальні параметри сигналу" ⑥ відображаються максимальне, мінімальне і середнє значення напруги по кожному каналу.

На панелі управління додані елементи ⑦, що дозволяють задати час по проходженню якого буде проведений автоматична зупинка запису сигналу. Автозупинку зручно використовувати в тому випадку, якщо необхідно провести тривалий, але в той же час обмежений запис сигналу. Крім того, при записі на періодах дискретизації 0,1 мс і нижче (частотах вище 10 КГц) дуже рекомендується заздалегідь встановити необхідну тривалість запису сигналу, оскільки це дозволить програмі завчасно виділити необхідну пам'ять до початку процесу запису, а не виділяти її динамічно при необхідності безпосереднього в процесі запису сигналу. Під елементом завдання часу автозупинки знаходиться рядок, що інформує про сумарний час запису сигналу.

Необхідно відзначити, що режим самописця дуже вимогливий до об'єму пам'яті комп'ютера, так наприклад при записі з періодом дискретизації 5 мкс (200 КГц) в перебігу 1 хвилини результати вимірювання займатимуть: $200\ 000$ (відліків/сек) * 60 (сек) * 2 (координата по вертикалі і горизонталі) * 8 (розмір double) = 187 МБ, приблизно стільки ж займатиме і файл з результатами вимірювань.

На рисунку 6.13 приведена закладка настройки параметрів самописця.

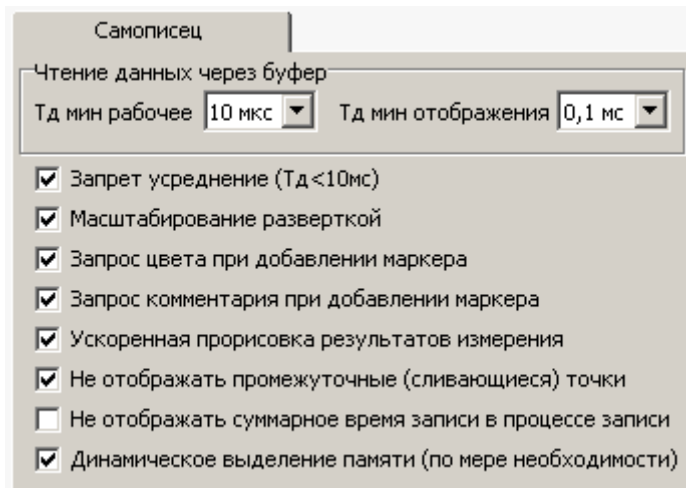


Рисунок 6.13 – Закладка настройки параметрів самописця

На закладці розташовані наступні елементи:

- **Тд мін робоче** – список дозволяє вибрати мінімальний період дискретизації менше якого буде запис заборонен. В даному випадку встановлений мінімальний період рівний 10 мкс ($F_d=100$ КГц), тобто періоди дискретизації 9 мкс...5 мкс ($F_d=111$ КГц ...200 КГц) неможливо буде вибрати. **Тд мін робоче** визначається експериментально на підставі декількох вимірювань. Наприклад, спочатку потрібно встановити **Тд мін робоче** = 5 мкс, тобто дозволити запис при будь-якому періоді дискретизації, і провести вимірювання також на $T_d=5$ мкс ($F_d=200$ КГц), якщо викривлень сигналу не буде, значить, на Вашому комп'ютері і ОС можна передавати дані на максимальній швидкості.

сті. Якщо ж будуть викривлення, то необхідно збільшити період дискретизації, наприклад до 6 мкс (167 КГц) і ще раз провести вимірювання, і так далі. Після визначення періоду дискретизації, при якому немає викривлень в отриманих результатах вимірювання, доцільно встановити його мінімальним. Тобто ця опція всього на всього забороняє задавати ті періоди дискретизації, на яких буде визначено що запис йде із викривленням.

- **Тд мін відображення** – список дозволяє вибрати мінімальний період дискретизації менше якого буде заборонено промальовування сигналу безпосередньо в режимі запису. Сенс в забороні або дозволі промальовування під час вимірювання полягає в тому, що при періоді дискретизації наприклад 5 мкс (200 КГц) кожену секунду на екрані потрібно промальовувати 200 тисяч крапок, це не посильно навіть сучасним комп'ютерам, та і при такій швидкості промальовування на екрані нічого не буде зрозуміло. Але з іншого боку при великих періодах (менших частотах) дискретизації виведення результатів вимірювання на екран безпосередньо в режимі запису дасть можливість візуально проаналізувати в динаміці зміни сигналу і можливо зупинити запис за певних умов. Також необхідно відзначити, що **Тд мін відображення** дещо залежить від кількості вже записаних відліків, так, наприклад на Athlon XP 1700, 512М можна записувати сигнал з **Тд мін відображення** 20 мс (50 КГц), але після 3-5 хвилин запису (близько 10 млн. відліків) час на промальовування наступного відрізка сигналу істотно зростає за рахунок необхідності прорахунку додаткових параметрів графіка.

- **Заборона усереднювання ($T_d < 10$ мс)** – цей прапорець забороняє зменшувати період (збільшувати частоту) дискретизації і проводити усереднювання по декількох відліках (середнє арифметичне). Даний прапорець дійсний тільки для періодів менше 10 мс (частот вище 100 Гц), при великих періодах (менших частотах) дискретизації усереднювання буде включено автоматично. При роботі на періодах дискретизації близьких до **Тд мін відображення** і **Тд мін робоче** рекомендується заборонити усереднювання. У випадку якщо період дискретизації на багато більше **Тд мін відображення**, усереднювання рекомендується дозволити виходячи з тих міркувань, що дані з мікроконтролера прочитуються по 409 відліків ($512/1,25$ (10 біт)) за раз, після чого виконується промальовування, то наприклад для періоду дискретизації 10 мс (100 Гц) промальовування буде виконуватись раз в $409 * 0,01 = 4$ секунди, а якщо дозволити усереднювання і встановити **Тд мін відображення** наприклад 1 мс (1 КГц, тобто штучно обмеживши максимальне збільшення частоти дискретизації до 1 КГц), то промальовування буде виконуватись раз в $409 * 0,001 = 0,4$ секунд по $409/10=50$ відліків, при цьому набагато зручніше спостерігати за зміною сигналу.

- **Масштабування розгорткою** – дозвіл стиснення / розтягання сигналу зміною періоду дискретизації. Має сенс тільки при необхідності великого стиснення сигналу, якщо потрібно буде проглянути загальну картину сигналу.

- **Запит кольору при додаванні маркера** – якщо прапорець встановлений, то після додавання (створення) нового маркера автоматично відкривається діалогове вікно завдання кольору.

- **Запит коментаря при додаванні маркера** – якщо прапорець встановлений, то після додавання (створення) нового маркера автоматично відкривається діалогове вікно введення коментаря.


- **Прискорене промальовування результатів вимірювання** – якщо прапорець встановлений, то промальовування результатів вимірювання виконується з використанням більш швидкодіючих спрощених функцій. У ОС Windows 98/Me дещо може знизитися точність відображення результатів.

- **Не відображати проміжні (що зливаються) крапки** – якщо прапорець встановлений, то під час промальовування не відображаються крапки, що мають одну координату в пікселях на екрані. Дуже сильно прискорює промальовування сигналу якщо одночасно є видимою велика ділянка сигналу, наприклад при сильному стисненні, але якщо сигнал має різкі зміни, то вони відобразатимуться не вірно при великому стисненні.

- **Не відображати сумарний час запису в процесі запису** – якщо прапорець встановлений і заданий такий період дискретизації, при якому заборонено відображати результати вимірювання безпосередньо в процесі запису сигналу, то процес запису і сумарний час запису не відобразатиметься. При цьому якщо не встановлений час автозупинки, то сумарний час запису доведеться рахувати на підставі зовнішнього таймера. Включення цього прапорця рекомендується на максимальних частотах і повільних комп'ютерах, оскільки саме промальовування рядка з сумарним часом займає більше ресурсів центрального процесора, ніж власне вся остання обробка отримуваних даних.

- **Динамічне виділення пам'яті (в міру необхідності)** – якщо прапорець встановлений і не встановлений автозупинка те виділення пам'яті для зберігання отримуваних відліків сигналу відбувається безпосередньо в режимі запису сигналу, за рахунок чого витрачається більше ресурсів і знижується максимальна частота дискретизації для повільних комп'ютерів. Якщо ж прапорець не встановлений, то перед запуском програма намагається виділити всю доступну нею пам'ять, але не більш 256М, за рахунок чого запис сигналу стартує з деяким запізненням. Якщо Ви знаєте або припускаєте, за який інтервал часу необхідно провести запис сигналу, то рекомендується встановити час автозупинки, оскільки це дозволить програмі завчасно виділити необхідну пам'ять до початку процесу запису.

Параметри «Фільтру».

На рисунку 6.14 приведено вікно завдання параметрів фільтру. Велику частину вікна займає графік АЧХ  фільтру, що розраховується. Горизонтальна вісь графіка це частотна вісь, а вертикальна це вісь коефіцієнта передачі, розмірність якої може бути виражена як в разях, так і в децибелах. Вся побудова необхідної АЧХ виконується за допомогою миші. Графік АЧХ складається з опорних точок і прямих ліній, що сполучають опорні точки, причо-

му значення коефіцієнта передачі між опорними точками обчислюється за допомогою лінійної апроксимації. Побудова АЧХ починається з додавання нових опорних точок, яке здійснюється за допомогою клацання мишкою на лінії (якщо покажчик миші знаходиться над опорною точкою або лінією він приймає вид "руки"). Після клацання на лінії з'являється нова опорна точка, яку можна переміщати як по вертикалі, так і по горизонталі (за винятком крайніх опорних точок), але не далі чим сусідні опорні точки. Для переміщення опорної точки слід підвести до неї покажчик миші, який повинен прийняти вид "руки", після чого клацнути лівою кнопкою миші і почати переміщати опорну точку у вибраному напрямі, не відпускаючи при цьому ліву кнопку миші. Під час переміщення опорної точки на панелі статусу відобразатимуться її поточні координати: значення коефіцієнта передачі і частоти. Для того, щоб видалити опорну точку досить підвести до неї покажчик миші і клацнути лівою кнопкою миші, при цьому утримуючи клавішу "Ctrl".

У верхній частині вікна завдання параметрів фільтру знаходиться панель інструментів. На початку панелі інструментів розташований ряд кнопок **2** що дозволяють провести відміну внесених змін, прочитати параметри фільтру з файлу і зберегти параметри фільтру у файлі.

Кнопка **3** визначає розмірність вертикальної осі, якщо кнопка натиснута то вісь буде в децибелах, інакше вісь буде в разях.

Поля введення "Kmax" і "Kmin" **4** задають межі вертикальної осі або в разях або в децибелах.

Кнопка **5** визначає масштаб вертикальної осі: лінійний або логарифмічний. Якщо кнопка натиснута, то частотна вісь буде логарифмічною інакше лінійною.

Поле введення "Fmax" **6** максимальне значення частоти горизонтальної осі.

Кнопка **7** встановлює задані параметри фільтру і закриває дане вікно.

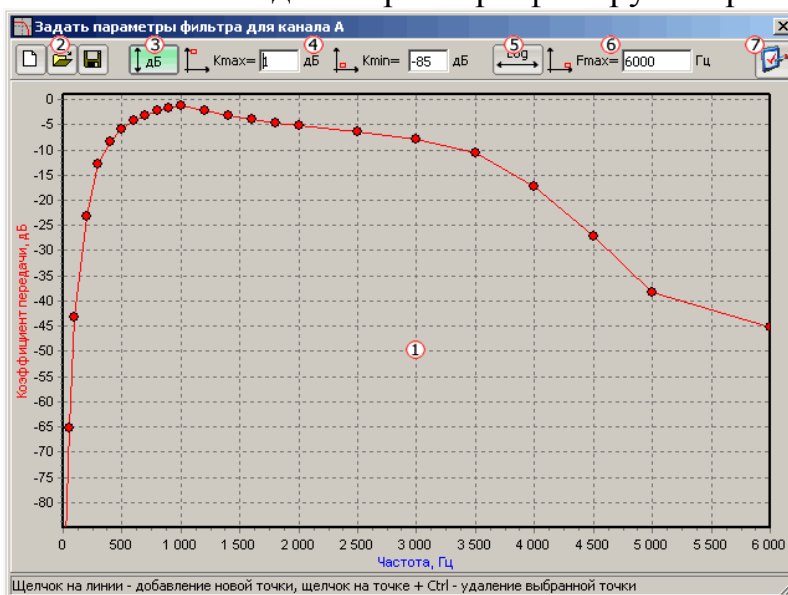


Рисунок 6.14 – Вікно вибору параметрів фільтру

Поєднання клавіш.

Поєднання клавіш	Опис
Ctrl+O	Відкрити файл даних осцилографа, спектр аналізатора, самописця.
Ctrl+S	Зберегти результати вимірювання і поточні параметри вибраного режиму роботи (поточної вибраної закладки) у файл.
Shift+Ctrl+S	Зберегти результати вимірювань вибраного режиму роботи у вигляді векторного малюнка формату *.emf (Enhanced Metafile).
Ctrl+Alt+S	Зберегти результати вимірювань вибраного режиму роботи у вигляді растрового малюнка формату *.bmp (Windows Bitmap).
Shift+Ctrl+P	Відкрити вікно попереднього перегляду результатів вимірювання.
Ctrl+P	Друк результатів вимірювання вибраного режиму роботи.
Ctrl+Q	Завершення роботи програми.
Shift+Ctrl+C	Скопіювати в буфер обміну Windows результати вимірювань вибраного режиму роботи у вигляді векторного малюнка формату *.emf (Enhanced Metafile).
Shift+Ctrl+X	Скопіювати в буфер обміну Windows результати вимірювань вибраного режиму роботи у вигляді растрового малюнка формату *.bmp (Windows Bitmap).
Ctrl+N	Очистити результати вимірювань вибраного режиму роботи.
Ctrl+R	Відкрити вікно введення коментаря.
Ctrl+Z	Відкрити вікно завдання параметрів подій і їх звукового супроводу.
Ctrl+G	Включення / виключення режиму склеювання діаграм логічного аналізатора.
Ctrl+K	Включення / виключення режиму утримання виходів генератора в останньому стані.
Ctrl+M	Виділити ділянку даних генератора в таблиці.
Ctrl+T	Відкрити вікно статистики.
Ctrl+A	Виділити всю таблицю даних логічного аналізатора.
Ctrl+D	Перейти з режиму безпосереднього редагування даних логічного аналізатора в режим виділення.

П'єзоелектричний датчик прискорень KD-38.

Дія п'єзоелектричного датчика прискорень основана на прямому п'єзоелекті. Сутність прямого п'єзоелекту полягає в тому, що в результаті стиску п'єзоелектрика і викликаної цим стиском деформації, виникає електрична поляризація кристала і на його поверхні виникають зв'язані електричні заряди і, відповідно, електричне напруження пропорційне прискоренню.

Виникнення п'єзоелектричного ефекту можна пояснити порушенням внутрішньої рівноваги в кристалічній структурі під дією різних факторів. При наявності деформації в напрямку, якому відповідає п'єзоэффект, орієнтація диполів змінюється таким чином, що порушується взаємна компенсація розрізаних зарядів, і кристал поляризується. За відсутності деформації поляризація відсутня, так як еквівалентні диполі елементарних комірок кристалічної решітки орієнтовані таким чином, що розрізнені заряди на гранях кристала врівноважують один одного.

Під дією розтягуючого або ж стискаючого зусилля вздовж осі x на перпендикулярних цій вісі гранях виникають заряди різноіменних знаків. Цей заряд дорівнює:

$$Q_x = d \cdot P_x, \quad (6.1)$$

де Q_x – заряд; d – п'єзомодуль; P_x – сила, що діє на поверхню кристала.

З цього рівняння видно, що Q_x не залежить від розмірів кристалу. Навантаження вздовж осі y викликає виникнення заряду:

$$Q_y = d \cdot \frac{l_y}{l_x} \cdot P_y, \quad (6.2)$$

де l_x та l_y – розміри кристалу вздовж осі x і y .

При поперечному ефекті Q_y залежить від розмірів кристалу. Але умови міцності обмежують можливість збільшення заряду за рахунок збільшення розміру l_y та зменшення l_x , тому на практиці використовують тільки повздовжній п'єзоэффект.

Узагальнена електрична схема п'єзоелектричного датчика коливань показана на рисунку 6.15.

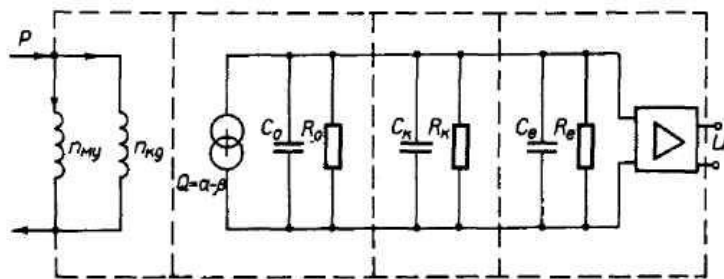


Рисунок 6.15 – Узагальнена еквівалентна схема п'єзоелектричного датчика

де C_0 – ємність кристала; R_0 – опір діелектричних полів; C_k, R_k, C_e, R_e – неминуча ємність кабелю та підключених пристроїв; n_{kd} – податливість п'єзоелектричного елемента; n_{mu} – податливість механічних пристроїв; Q – джерело заряду, модульоване зусиллям P .

Як видно з рисунку 6.15 вихідною величиною п'єзоелектричного датчика коливань є напруження на електродах:

$$U = \frac{Q}{C}. \quad (6.3)$$

Підставляючи рівняння (6.1) в (6.3), одержимо функцію перетворення п'єзоелектричного датчика:

$$U = \frac{d \cdot P}{C}. \quad (6.4)$$

Для п'єзоелектричного датчика прискорень КД-38 ємність між електродами:

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_o \cdot S}{\delta}, \quad (6.5)$$

де ϵ_r – відносна діелектрична проникність п'єзоелектричного елемента; ϵ_o – електрична постійна; S – площа електродів; δ – відстань між електродами.

Підставляючи рівняння (6.5) в (6.4), одержимо остаточну функцію перетворення п'єзоелектричного датчика:

$$U = \frac{d \cdot \delta \cdot P}{\epsilon_r \cdot \epsilon_o \cdot S}. \quad (6.6)$$

Таким чином, п'єзоелектричний датчик прискорень КД-38 (рисунок 6.16) призначений для перетворення механічних коливань в електричний сигнал, пропорційний прискоренню об'єкта, що сприймає коливання. При закріпленні датчика на поверхні об'єкта, що сприймає коливання на інерційну масу 3 пружного елемента буде діяти сила, пропорційна прискоренню об'єкта, що сприймає коливання. Під дією даної сили чутливий елемент буде піддаватися деформації згину, внаслідок чого на електродах п'єзоелементів 2 виникає електричний заряд, що в свою чергу призводить до появи електричного напруження пропорційного прискоренню.

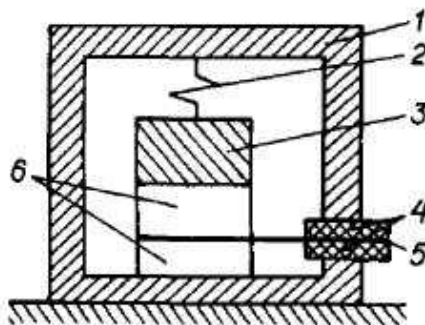


Рисунок 6.16 – П'єзоелектричний датчик коливань КД-38: 1 – корпус; 2 – п'єзоелектричні елементи (2); 3 – інерційна маса; 4 – пружина; 5 – ізолювальний вивід; 6 – струмозміначі

Індивідуальні технічні характеристики п'єзоелектричного датчика при-
скорень моделі КД-38, № 5442:

— коефіцієнт передачі	6,45 мВ/мсек. ⁻² ;
— градуйоване значення	0,16 мсек ⁻² /мВ;
— ємність у поєднанні з кабелем	0,83 нф;
— ємність кабелю	1,5 м – 0,15 нф, 5 м – 0,50 нф;
— коефіцієнт направленості	2,6 %;
— опір ізоляції	> 1000 мОм.

Резонансна частота датчика складає близько 20000 Гц, тому вимірю-
вання слід проводити в діапазоні 0 – 10000 Гц, не наближуючись до резонан-
сної частоти. Даний діапазон є достатнім.

6.3 Оснащення роботи

Персональний комп'ютер, інструкція з експлуатації USB-осцилографа,
навчальні посібники.

6.4 Методика виконання роботи

Вивчити будову та принцип роботи USB-осцилографа і
п'єзоелектричного датчика коливань моделі КД-38. Ознайомитись з програ-
мою USB-осцилографа. Зробити висновки по роботі.

6.5 Інформація до складання звіту

1. У підрозділі „Теоретична інформація” навести письмові відповіді на
питання призначенні для самостійної підготовки.

2. У підрозділі „Дані виконання роботи” навести технічні характери-
стики пристроїв аналогової обробки сигналів, що були вивчені на лабораторному
занятті.

6.6 Питання до самостійної підготовки

1. Які режими роботи має USB-осцилограф?
2. Призначення режиму осцилограф?
3. Охарактеризувати основні настройки параметрів осцилографа?
4. Призначення режиму спектр аналізатор?
5. Охарактеризувати основні настройки параметрів спектр аналізатора?
6. Що таке коефіцієнт нелінійних перетворень?
7. Призначення режиму самописець?
8. Охарактеризувати основні настройки параметрів самописця?
9. Призначення цифрового фільтру?
10. Принцип дії п'єзоелектричного датчика моделі КД-38?
11. Як визначається заряд вздовж осі x при стисканні поверхні кристалу?
12. Яким чином резонансна частота датчика коливань впливає на процес
реєстрації сигналу?

Лабораторна робота 7

ЗАПИС ВІБРОАКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ З КОРПУСУ ШПИНДЕЛЬНОЇ БАБКИ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТУ МОД. УТ16А

7.1 Мета роботи

Набути практичні навички запису віброакустичного сигналу обладнання за допомогою пристроїв аналогового перетворення сигналу.

7.2 Теоретична інформація

Вібрація – це механічні коливання тіла.

Найпростіший вид вібрації – це коливання або рух об'єкту, що повторюється, біля положення рівноваги. Цей тип вібрації називається загальною вібрацією, тому що тіло переміщається як єдине ціле і всі його частини мають однакову по величині і напрямку швидкість. Положенням рівноваги називають таке положення, в якому тіло знаходиться в стані спокою або положення яке воно займе, якщо сума сил, що діють на нього, рівна нулю.

Колівальний рух твердого тіла може бути повністю описано у вигляді комбінації шести простих типів руху: поступального в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (x , y , z в декартових координатах) і обертального відносно трьох взаємно перпендикулярних осей (Ox , Oy , Oz). Будь-яке складне переміщення тіла можна розкласти на ці шість складових. Тому про такі тіла говорять, що вони мають шість ступенів свободи.

Уявімо собі якийсь об'єкт, переміщення якого обмежені одним напрямком, наприклад, маятник настінного годинника. Така система називається системою з одним ступенем свободи, оскільки положення маятника у будь-який момент часу може бути визначено одним параметром-кутом в точці закріплення. Іншим прикладом системи з одним ступенем свободи є ліфт, який може переміщатися тільки вгору і вниз уздовж стовбура шахти.

Вібрація тіла завжди викликається якимись силами збудження. Ці сили можуть бути прикладені до об'єкту ззовні або виникати усередині нього самого. Далі ми побачимо, що вібрація конкретного об'єкту повністю визначається силою збудження, її напрямом і частотою. Саме з цієї причини вібраційний аналіз дозволяє виявити сили збудження при роботі машини. Ці сили залежать від стану машини, і знання їх характеристик і законів взаємодії дозволяє діагностувати дефекти останньої.

Просте гармонійне коливання.

Найпростішими з колівальних рухів, що існують в природі, є пружні прямолінійні коливання тіла на пружині (рисунок 7.1).

Такая механическая система владеет одной степенью свободы. Если отвести тело на некоторое расстояние от положения равновесия и отпустить,

то пружина повернет его в точку равновесия. Однако тело получит при этом определенную кинетическую энергию, проскочит точку равновесия и деформирует пружину в противоположном направлении. После этого скорость тела начнет уменьшаться, пока оно не остановится в другой крайней позиции, откуда сжатая или растянутая пружина опять начнет возвращать тело обратно в положение равновесия. Такой процесс будет повторяться снова и снова, при этом происходит непрерывное перетекание энергии от тела (кинетическая энергия) к пружине (потенциальная энергия) и назад.



Рисунок 7.1 – Приклад звичайного коливання

На рисунку 7.1 представлений також графік залежності переміщення тіла від часу. Якби в системі було відсутнє тертя, то ці коливання продовжувалися б безперервно і нескінченно довго з постійною амплітудою і частотою. У реальних механічних системах такі ідеальні гармонійні рухи не зустрічаються. Будь-яка реальна система володіє тертям, яке приводить до поступового загасання амплітуди і перетворює енергію коливань на тепло. Просте гармонійне переміщення описується наступними параметрами:

T – період коливань.

F – частота коливань $= 1/T$.

Період – це інтервал часу, який необхідний для завершення одного циклу коливання, тобто це час між двома послідовними моментами перетину нульової крапки в одному напрямі. Залежно від швидкості коливань, період вимірюють в секундах або мілісекундах.

Частота коливань – величина зворотня періоду, визначає кількість циклів коливання за період, вона вимірюється в герцах ($1\text{Гц} = 1/\text{секунду}$). Коли розглядаються машини, що обертаються, то частота основного коливання відповідає частоті обертання, яка вимірюється в об/хв ($1/\text{хв}$) і визначається як:

$$\omega = F \cdot 60,$$

де F – частота в Гц, оскільки в хвилині 60 секунд.

Рівняння коливань.

Якщо по вертикальній осі графіка відкласти положення (зсув) об'єкту, що виконує прості гармонійні коливання, а по горизонтальній осі – час (див. рисунок 7.1), то результатом буде синусоїда, що описується рівнянням:

$$d=D \sin(\omega t),$$

де d – миттєвий зсув; D – максимальний зсув; $\omega = 2\pi F$ – кутова (циклічна) частота.

Динаміка механічних систем.

Невелике компактне тіло, наприклад шматочок мармуру, можна представити як просту матеріальну крапку. Якщо прикласти до неї зовнішню силу, вона прийде в рух, який визначається законами Ньютона. У спрощеному вигляді, закони Ньютона свідчать, що тіло, що покоїться, залишатиметься в спокої, якщо на нього не діє зовнішня сила. Якщо ж до матеріальної крапки прикладена зовнішня сила, то вона прийде в рух з прискоренням, пропорційним цій силі.

Більшість механічних систем є складнішими, ніж проста матеріальна крапка, і вони зовсім не обов'язково переміщатимуться під впливом сили як єдине ціле. Роторні машини не є абсолютно твердими і окремі їх вузли мають різні жорсткості. Як ми побачимо далі, їх реакція на зовнішню дію залежить від природи самої дії і від динамічних характеристик механічної конструкції, причому цю реакцію дуже важко передбачити. Проблеми моделювання і прогнозу реакції конструкцій на відому зовнішню дію вирішуються за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ) і модального аналізу. Тут ми детально не зупинятимемося на них, оскільки вони достатньо складні, проте для розуміння суті вібраційного аналізу машин корисно розглянути, як взаємодіють між собою сили і конструкції.

Вимірювання амплітуди вібрації.

Для опису і вимірювання механічних вібрацій використовуються наступні поняття:

Максимальна Амплітуда (Пік) – це максимальне відхилення від нульової крапки, або від положення рівноваги.

Розмах – це різниця між позитивним і негативним піками. Для синусоїдального коливання розмах в точності рівний подвоєній піковій амплітуді, оскільки тимчасова реалізація в цьому випадку симетрична. Проте, як ми скоро побачимо, в загальному випадку це невірно.

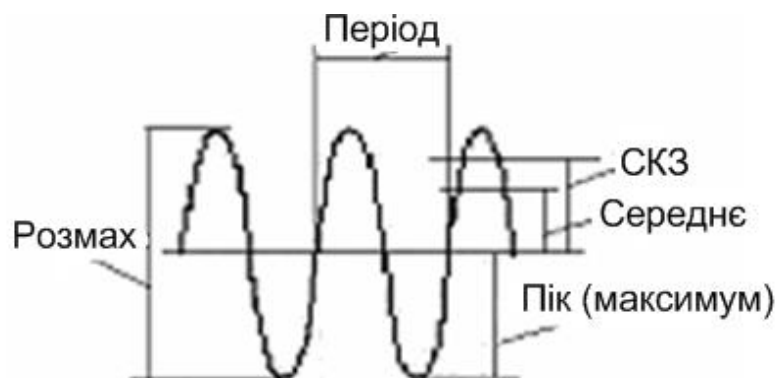


Рисунок 7.2 – Амплітуда вібрації

Средньоквадратичне значення амплітуди (СКЗ) рівне квадратному кореню з середнього квадрата амплітуди коливання. Для синусоїдальної хвилі СКЗ в 1,41 разу менше пікового значення, проте таке співвідношення справедливе тільки для даного випадку.

СКЗ є важливою характеристикою амплітуди вібрації. Для її розрахунку необхідно звести в квадрат миттєві значення амплітуди коливань і усереднити величини, що вийшли, за часом. Для набуття правильного значення, інтервал усереднювання повинен бути не менше одного періоду коливання. Після цього витягується квадратний корінь і виходить СКЗ.

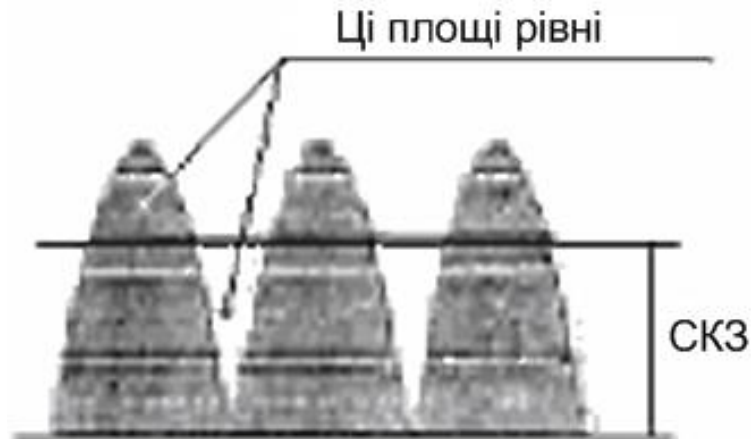


Рисунок 7.3 – Пояснення СКЗ

Поняття фази.

Фаза є міра відносного зміщення в часі двох синусоїдальних коливань. Хоча за своєю природою фаза є тимчасовою різницею, її майже завжди вимірюють в кутових одиницях (градусах або радіанах), які є долями циклу коливання і, отже, не залежать від точного значення його періоду.

Затримка $1/4$ періоду = зсуву по фазі на 90 градусів.

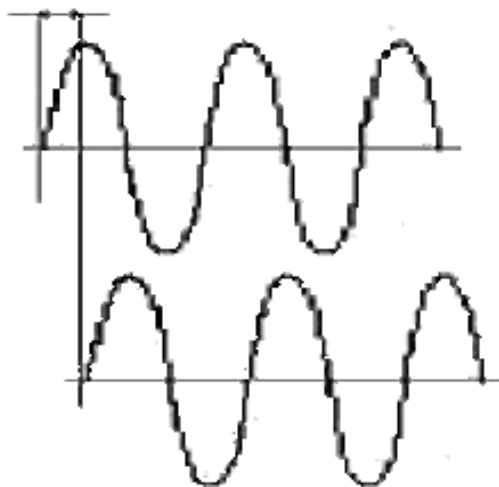


Рисунок 7.4 – Зміна фази сигналу

Різницю фаз двох коливань часто називають зсувом фази. Зсув фази в 360 градусів є тимчасовою затримкою на один цикл, або на один період, що, по суті, означає повну синхронність коливань. Різниця фаз в 90 градусів відповідає зсуву коливань на $1/4$ циклу один щодо одного і так далі. Зсув фази може бути позитивним або негативним, тобто одна тимчасова реалізація може відставати від іншої або, навпаки, випереджати її.

Фазу можна також вимірювати по відношенню до конкретного моменту часу. Прикладом цього є фаза дисбалансової компоненти ротора (важкого місця), узятя щодо положення якоїсь його фіксованої крапки. Для вимірювання цієї величини необхідно сформувати прямокутний імпульс, відповідний певній опорній точці на валу. Цей імпульс може генеруватися тахометром або будь-яким іншим магнітним або оптичним датчиком, чутливим до геометричних або світлових неоднорідностей на роторі, і називається іноді тахоімпульсом. Вимірюючи затримку (випередження) між циклічною послідовністю тахоімпульсів і вібрацією, викликаною дисбалансом, ми тим самим визначаємо і їх фазовий кут.

Одиниці вимірювання вібрації.

До цих пір ми розглядали вібропереміщення як міру амплітуди вібрації. Вібропереміщення рівне відстані від точки відліку, або від положення рівноваги. Крім коливань по координаті (зсув), віброуючий об'єкт виконує також коливання швидкості і прискорення. Швидкість є швидкістю зміни координати і зазвичай вимірюється в м/с. Прискорення є швидкістю зміни швидкості і зазвичай вимірюється в м/с^2 або в одиницях g (прискорення вільного падіння).

Як ми вже бачили, графіком зсуву тіла, що виконує гармонійні коливання, є синусоїда. Ми показали також, що і віброшвидкість в цьому випадку підкоряється синусоїдальному закону. Коли зсув максимальний, швидкість рівна нулю, оскільки в цьому положенні відбувається зміна напрямку руху тіла. Звідси витікає, що тимчасова реалізація швидкості буде зсунута по фазі на 90 градусів вліво щодо тимчасової реалізації зсуву. Іншими словами, швидкість випереджає по фазі зсув на 90 градусів.

Пригадавши, що прискорення – це швидкість зміни швидкості, легко, по аналогії з попереднім, зрозуміти, що прискорення об'єкту, що виконує гармонійні коливання, також синусоїдальні і дорівнюють нулю, коли швидкість максимальна. І навпаки, коли швидкість рівна нулю, прискорення максимальне (швидкість змінюється найшвидше у цей момент). Таким чином, прискорення випереджає по фазі швидкість на 90 градусів.

Коротка довідка по одиницях вимірювання амплітуди.

У європейських країнах вібропереміщення зазвичай вимірюють в мікрометрах (мкм).

Віброшвидкість зазвичай вимірюють в м/с або в мм/с. При вимірюванні віброшвидкості використовують як СКЗ, так і пікове значення.

Віброприскорення зазвичай вимірюють в одиницях g, СКЗ (g – прискорення вільного падіння). Насправді g не є системною одиницею – це просто те прискорення, яке ми випробовуємо, знаходячись на землі. Стандартними одиницями вимірювання прискорення є м/с^2 .

Процес перетворення зсуву в швидкість або швидкості в прискорення еквівалентний математичній операції диференціювання. Зворотне перетворення прискорення в швидкість і швидкості в зсув називається інтеграцією. Сьогодні можна проводити ці операції усередині самих вимірювальних приладів і легко переходити від параметрів вимірювання до інших.

На практиці диференціювання приводить до зростання шумової складової сигналу, і тому воно рідко застосовується. Інтеграція, навпаки, може бути здійснене з високою точністю за допомогою простих електричних ланцюгів. Це є однією з причин, чому акселерометри сьогодні стали основними датчиками вібрації: їх вихідний сигнал можна легко піддати одноразовій або двократній інтеграції і отримати або швидкість, або зсув. Інтеграція, проте, непридатна для сигналів з дуже низькою частотою (нижче 1 Гц), оскільки в цій області рівні паразитного шуму надзвичайно збільшуються і точність інтеграції падає. Більшість інтеграторів, що є на ринку, правильно працюють на частотах вище 1 Гц, що достатньо майже для всіх застосувань, пов'язаних з вібраціями.

Як наголошувалося вище, вібраційний сигнал зсуву на певній частоті може бути перетворений в швидкість за допомогою диференціювання. Диференціювання супроводжується множенням амплітуди на частоту, тому амплітуда віброшвидкості на певній частоті пропорційна зсуву, помноженому на цю частоту. При фіксованому зсуві, швидкість подвоюватиметься з подвоєнням частоти, а якщо частота збільшиться вдесятеро, то і швидкість множитиметься на десять.

Щоб дістати з швидкості прискорення, необхідне ще одне диференціювання, а це означає ще одне множення на частоту. Тому, прискорення при фіксованому зсуві буде пропорційне квадрату частоти.

На приведеному рисунку 7.5 один і той же вібраційний сигнал представлений у вигляді вібропереміщення, віброшвидкості і віброприскорення.

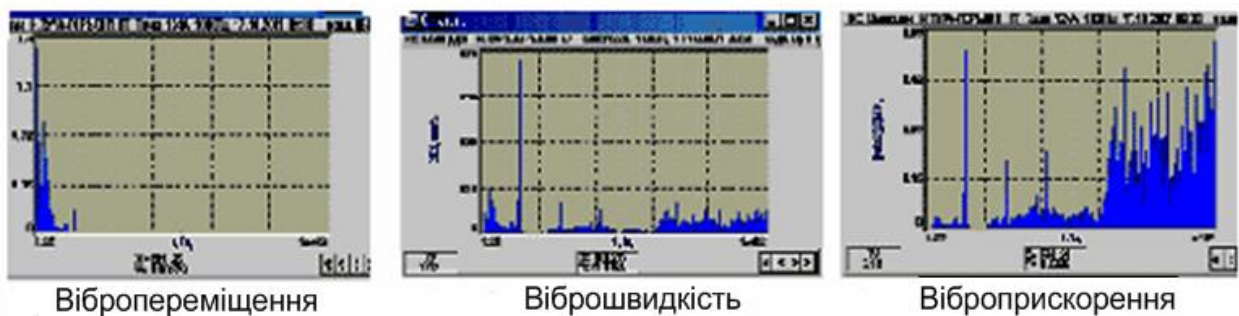


Рисунок 7.5 – Представлення вібраційного сигналу у вигляді вібропереміщення, віброшвидкості і віброприскорення

Зверніть увагу, що графік зсуву дуже важко аналізувати на високих частотах, проте високі частоти добре видно на графіку прискорення. Крива швидкості найбільш рівномірна по частоті серед трьох. Краще всього вибирати такі одиниці вимірювання, для яких частотна крива виглядає найбільш плоскою – тим самим забезпечується максимум візуальної інформації для спостерігача. Для діагностики машин найчастіше застосовує віброшвидкість.

Резонанс.

Резонансом називають такий стан системи, при якому частота збудження близька до власної частоти конструкції, тобто тієї частоти коливань, які здійснюватиме ця система, будучи надана самій собі після виведення із стану рівноваги. Зазвичай механічні конструкції мають безліч власних частот. У разі резонансу рівень вібрації може стати дуже високим і привести до швидкого руйнування конструкції.

Резонанс виявляється в спектрі у вигляді піку, положення якого залишається постійним при зміні швидкості машини. Цей пік може бути дуже вузьким або, навпаки, широким, залежно від ефективності демпфування конструкції на даній частоті.

Лінійний і логарифмічний амплітудні масштаби.

Може здатися, що краще всього досліджувати спектри вібрації в лінійному масштабі амплітуди, який дає дійсне представлення зміряної амплітуди вібрації. При використанні лінійної амплітудної шкали дуже легко виявити і оцінити найбільшу компоненту в спектрі, зате менші компоненти можна абсолютно випустити з виду або, в кращому разі, виникнуть великі труднощі при оцінці їх величини. Людське око здатне розрізнити в спектрі компоненти, які приблизно в 50 разів нижче максимального, але все, що менше цього буде упущено.

Лінійний масштаб може застосовуватися, якщо всі істотні компоненти мають приблизно однакову висоту. Проте у разі вібрації машин, несправності, що зароджуються, в таких деталях, як, підшипники, породжують сигнали з дуже малою амплітудою. Якщо ми хочемо надійно відстежити розвиток цих спектральних компонент, то краще за все відкладати на графіку логарифм амплітуди. При такому підході ми легко зможемо зобразити на графіку і візуально інтерпретувати сигнали, що відрізняються по амплітуді в 5000, тобто мати динамічний діапазон щонайменше в 100 разів більший, ніж дозволяє лінійний масштаб.

Різні типи амплітудного уявлення для однієї і тієї ж вібраційної характеристики (лінійний і логарифмічний масштаби амплітуди) представлені на рисунку 7.6.

Зверніть увагу, що на лінійному спектрі великі піки читаються дуже добре, але піки з низьким рівнем важко розгледіти. При аналізі вібрації машин часто цікавляться саме малими компонентами в спектрі (наприклад, при діагностиці підшипників кочення). Не забувайте, що при моніторингу вібра-

ції нас цікавлять зростання рівнів конкретних спектральних компонент, вказуючи на розвиток несправності, що зародилася. У кульковому підшипнику двигуна може розвиватися невеликий дефект на одному з кілець або на кульці, а рівень вібрації на відповідній частоті спочатку буде дуже маленьким. Але це не означає, що їм можна нехтувати, бо перевага обслуговування по поляганню в тому, що воно дозволяє виявити несправність в початковій стадії розвитку. Необхідно стежити за рівнем цього невеликого дефекту, щоб передбачити, коли він перетвориться на істотну проблему, що вимагає втручання.

Очевидно, якщо рівень вібраційної компоненти що відповідає якомусь дефекту – подвоюється, то це означає що з цим дефектом відбулися великі зміни. Потужність і енергія вібраційного сигналу пропорційні квадрату амплітуди. Якщо ми спробуємо відстежити спектральний пік з амплітудою близько 0,0086 мм/с, то це буде дуже складно, тому що він виявиться дуже маленьким в порівнянні з набагато вищими компонентами.

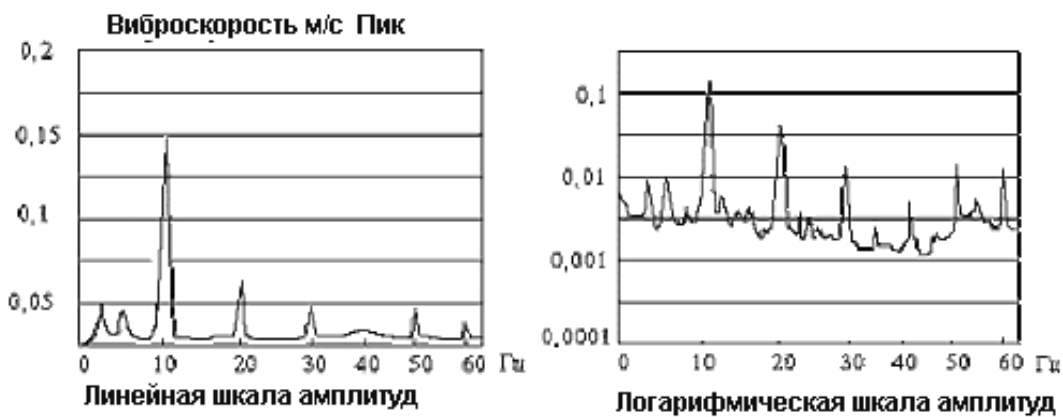


Рисунок 7.6 – Лінійний і логарифмічний масштаби амплітуди

На другому з приведених спектрів представлена не сама амплітуда вібрації, а її логарифм. Оскільки в цьому спектрі використовується логарифмічна амплітудна шкала, множення сигналу на будь-яку константу означає звичайний зсув спектру вгору без зміни його форми і співвідношень між компонентами.

Як відомо, логарифм добутку рівний сумі логарифмів множників. Це означає, що зміна коефіцієнта посилення сигналу не впливає на форму його спектру в логарифмічному масштабі. Цей факт значно спрощує візуальну інтерпретацію спектрів, заміряних при різних коефіцієнтах посилення. У разі використання лінійної шкали форма спектру різко змінюється при зміні коефіцієнта посилення приладу. Зверніть увагу, що хоча по вертикальній осі на приведеному графіку використовується логарифмічна шкала, одиниці вимірювання амплітуди залишаються лінійними (мм/с), що відповідає збільшенню кількості нулів після коми.

І в даному випадку ми отримали величезну перевагу для візуальної оцінки спектру, оскільки вся сукупність піків і їх співвідношення тепер стала видимою. Іншими словами, якщо ми тепер порівнюватимемо логарифмічні спектри вібрацій машини, у якої підшипники мають певне зношування, то ми побачимо зростання рівнів тільки у підшипникових тонів, тоді як рівні інших компонент залишатимуться незмінними. Форма спектру відразу зміниться, що можна буде виявити неозброєним оком.

На наступному рисунку приведений спектр, де по вертикальній осі відкладені децибелі. Це особливий тип логарифмічної шкали, який дуже важливий для вібраційного аналізу.

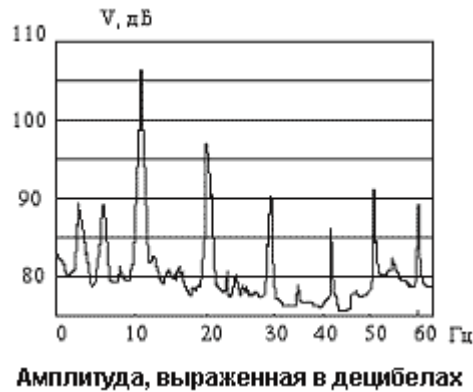


Рисунок 7.7 – Вираження амплітуди спектру в дБ

Децибел.

Зручним різновидом логарифмічного представлення є децибел, або дБ. По суті, він є відносною одиницею вимірювання, в якій використовується відношення амплітуди до деякого опорного рівня. Децибел (дБ) визначається по наступній формулі:

$$L_v = 20 \lg (U/U_0)$$

де L_v – Рівень сигналу в дБ; U – рівень вібрації в звичайних одиницях прискорення, швидкості або зсуву; U_0 – опорний рівень, о_і відповід’ 0 дБ.

7.3 Оснащення роботи

Токарно-гвинторізний верстат моделі УТ16А; п’єзоелектричний датчик прискорень КД-38; USB-осцилограф; комп’ютер.

7.4 Методика виконання роботи

1. Скласти експериментальний стенд зображений на рисунку 7.8.

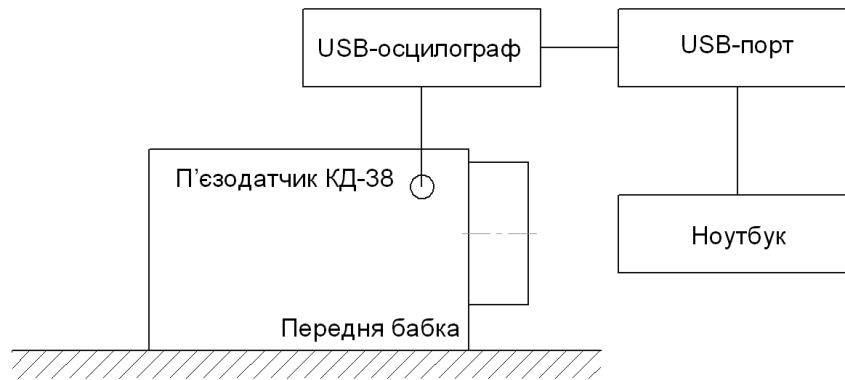
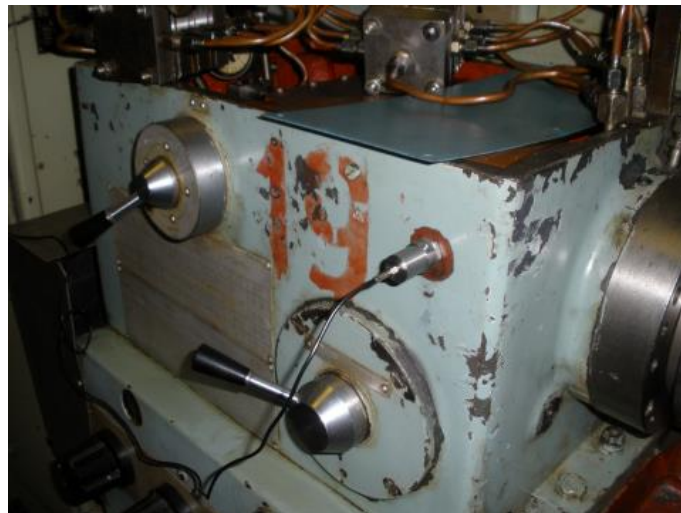


Рисунок 7.8 – Експериментальний стенд

Для фіксації параметрів вібрації шпиндельного вузла використовується п'єзоелектричний датчик прискорення моделі КД-38 (рисунок 7.9, а), який закріплювався на шпиндельній бабці верстату (рисунок 7.9, б), відповідно до рекомендацій ЕНІМВ.



а)



б)

Рисунок 7.9 – Загальний вигляд п'єзоелектричного датчика прискорення моделі КД-38 (а) і його закріплення на шпиндельній бабці верстату (б)

Для передачі сигналу від датчика на ноутбук використовується цифровий осцилограф (рисунок 7.10).



Рисунок 7.10 – Цифровий осцилограф

2. Виконати налагодження параметрів програми цифрового осцилографа на запис аналогового сигналу: ввімкнути потрібний канал запису, встановити необхідну частоту дискретизації запису сигналу, ввімкнути фільтр.
3. Ввімкнути верстат. Встановити необхідну кількість обертів верстату.
4. Виконати запис аналогового сигналу і зберегти дані в форматі .mdl.
5. Змінюючи частоту обертання шпинделя виконати запис аналогового сигналу.

7.5 Інформація до складання звіту

1. У підрозділі „Теоретична інформація” навести письмові відповіді на питання призначенні для самостійної підготовки.
2. У підрозділі „Дані виконання роботи” навести результати запису віброприскорень шпиндельного вузла при різних значеннях частоти обертання шпинделя.
3. Побудувати графік зміни амплітуди коливань (розмах) від частоти обертання шпинделя.
4. Зробити висновки по роботі.

7.7 Питання до самостійної підготовки

1. Що таке вібрація?
2. Приведіть приклад звичайних коливань?
3. Що таке частота коливань. Одиниці її вимірювання?
4. Що таке максимальна амплітуда і розмах?
5. Що таке середньоквадратичне значення амплітуди?
6. Охарактеризувати поняття фаза?
7. Назвіть одиниці вимірювання вібрації?
8. Які представлення вібраційного сигналу ви знаєте. Їх переваги і недоліки?
9. Що таке резонанс і які він має наслідки?
10. Назвіть амплітудні масштаби що використовуються при дослідженні спектрів. Їх переваги і недоліки?
11. Що таке децибел і як він визначається?

Лабораторна робота 8

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ SIMULINK ПАКЕТУ MATLAB

8.1 Мета роботи

Навчитися використовувати засоби системи SIMULINK пакету MATLAB для обробки аналогових сигналів.

8.2 Теоретична інформація

Signal Processing Blockset.

Обробка сигналів завжди була однією з найголовніших прикладних областей застосування системи MATLAB. Про це в першу чергу свідчить той факт, що бібліотека Signal Processing Blockset була однією з перших спеціалізованих бібліотек яка з'явилася вже в 1988 р., всього чотири роки після створення самої системи MATLAB.

До теперішнього часу бібліотека Signal Processing Blockset містить майже двісті ретельно розроблених спеціалізованих функцій, що дозволяють вирішувати найрізноманітніші завдання аналізу і обробки сигналів.

Згідно офіційної документації бібліотеки його функції діляться на двадцять категорій. У приведеному нижче списку ці категорії об'єднані в більші групи. Отже, по своєму призначенню функції бібліотеки Signal Processing можна розділити таким чином:

- Функції роботи з аналоговими лінійними системами.
- Функції аналізу дискретних лінійних систем.
- Функції дискретної фільтрації.
- Функції синтезу дискретних фільтрів.
- Функції спектрального аналізу і статистичної обробки сигналів.
- Функції параметричного моделювання і лінійного прогнозу.
- Функції генерації сигналів.
- Функції перетворень дискретних сигналів.
- Допоміжні функції.

Мабуть, найбільш відомим з перетворень дискретних сигналів є дискретне перетворення Фур'є (ДПФ). Відповідна функція, що використовує алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), в MATLAB відноситься до категорії функцій обробки даних і є вбудованою (функції **fft** і **ifft** – одновимірний варіант, **fft2** і **ifft2** – двовимірний варіант, **fftshift** і **ifftshift** – перестановка половини вектора спектральних відліків для перенесення нульової частоти в середину вектора). Власне ж в пакеті Signal Processing містяться функції, що реалізують більш специфічні перетворення.

Як і будь-яке лінійне перетворення, ДПФ може бути представлене як множення матриці перетворення на стовпець відліків перетворюваного сигналу. Ця матриця перетворення для ДПФ обчислюється функцією **dftmtx**.

Знову-таки завдяки лінійності ДПФ будь-який спектральний відлік може бути представлений як результат обробки початкового сигналу деяким фільтром. Представлення цього фільтру в рекурсивній формі дає алгоритм Герцеля, що реалізується функцією **goertzel**. Якщо необхідно обчислити лише деякі спектральні відліки, даний алгоритм виявляється швидшим, ніж ШПФ.

Вагові функції (вікна).

Дискретне перетворення Фур'є, використовується у всіх непараметричних методах спектрального оцінювання, має на увазі періодичне продовження аналізованого фрагмента сигналу. При цьому на стиках фрагментів можуть виникати скачки, що приводять до появи бічних пелюсток значного рівня в спектральній області. Для ослаблення цього ефекту сигнал перед виконанням ДПФ множать на вагову функцію, що спадає від центру до країв (вікно). В результаті величина стрибків на стиках сегментів зменшується, менше стає і рівень небажаних бічних пелюсток спектру – платою за це є деяке розширення спектральних піків.

Крім спектрального аналізу вагові функції застосовуються при синтезі нерекурсивних фільтрів шляхом зворотного перетворення Фур'є бажаної частотної характеристики. В цьому випадку вони дозволяють збільшити подавлення сигналу в смузі затримання фільтру за рахунок деякого розширення смуги пропускання.

В даний час пакет Signal Processing містить приблизно півтора десятки вагових функцій. Розповсюдження деяких з них обумовлене обчислювальною простотою.

Простим є прямокутне вікно, що реалізується функцією `rectwin` (у версіях пакету до 5.0 включно дана функція мала ім'я `boxcar`). Прямокутне вікно відповідає відсутності зважування, дана функція включена до складу пакету лише для формальної повноти набору вагових функцій. Трикутне вікно реалізується функцією `triang`, трикутну форму має і вікно Бартлетта (функція `bartlett`), воно лише дещо відрізняється способом розрахунку.

Деякі вагові функції є комбінаціями гармонійних складових. Перерахуємо їх в порядку зростання числа косинусоїдальних доданків:

- Вікно Ханна (функція `hann`), іноді неправильно зване вікном Хеммінга – один косинусоїдальний доданок.
- Вікно Хеммінга (функція `hamming`) – один косинусоїдальний доданок.
- Вікно Блекмена (функція `blackman`) – два косинусоїдальних доданки.
- Вікно Блекмена-Харріса (функція `blackmanharris`) – три косинусоїдальні доданки.
- Вікно Натолла (альтернативна версія вікна Блекмена-Харріса, функція `nuttallwin`) – три косинусоїдальні доданки.

Останні вікна описуються складнішими математичними співвідношеннями. Модифіковане вікно Бартлетта-Ханна (функція `barthannwin`) є лінійною комбінацією вікон Бартлетта і Ханна. Вікно Бомена (функція `bohmanwin`) є зерткою двох однакових косинусоїдальних імпульсів. Вікно Чебишева (функція `chebwin`) володіє бічними пелюстками фіксованого (що задається при розрахунку) рівня і розраховується шляхом зворотного перетворення Фур'є частотної характеристики вікна. Вікно Кайзера (функція `kaiser`) також володіє параметром, регулюючим рівень бічних пелюсток і ширину головної пелюстки, при розрахунку даного вікна використовуються модифіковані функції Бесселя. Вікно Т'юкі (функція `tukeywin`) є прямокутником з косинусоїдально згладженими краями. При крайніх допустимих значеннях коефіцієнта згладжування воно перетворюється на прямокутне вікно або вікно Ханна.

8.3 Оснащення роботи

Комп'ютер, цифровий запис аналогового сигналу.

8.4 Методика виконання роботи

1. Відкрити у вікні програми MATLAB файл формату `.mat`.
2. Створити матрицю що містить два стовпчики. Один – це шаг запису аналогового сигналу (частота дискретизації), другий – відповідні значення амплітуди, що відповідають шагу запису сигналу. У вікні **Current Directory** показано ім'я файлу `matlab.mat` (рисунок 8.1).

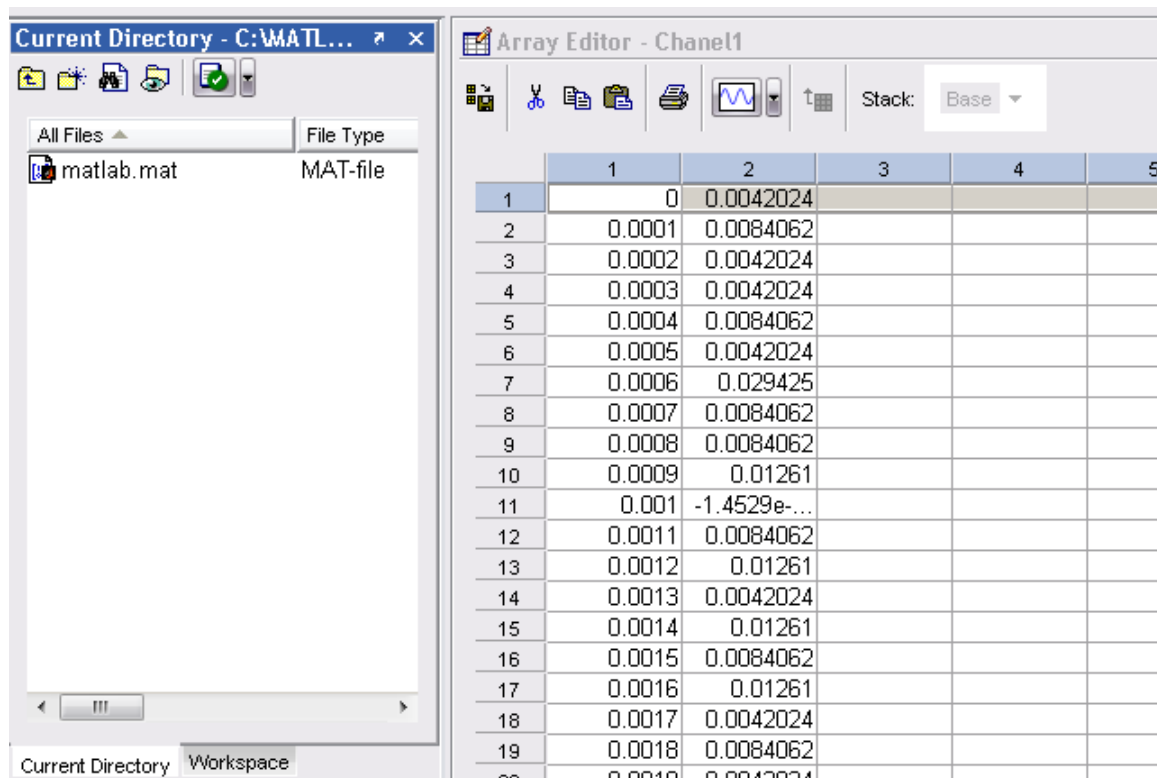


Рисунок 8.1 – Вікно **Current Directory**

У вікні **Workspace** (рисунок 8.2) показано створену матрицю що має розмірність 26212x2 і зправа знаходиться масив даних. 26212 точок відповідають 2,6212 секундам запису сигналу з частотою 0,0001 сек.

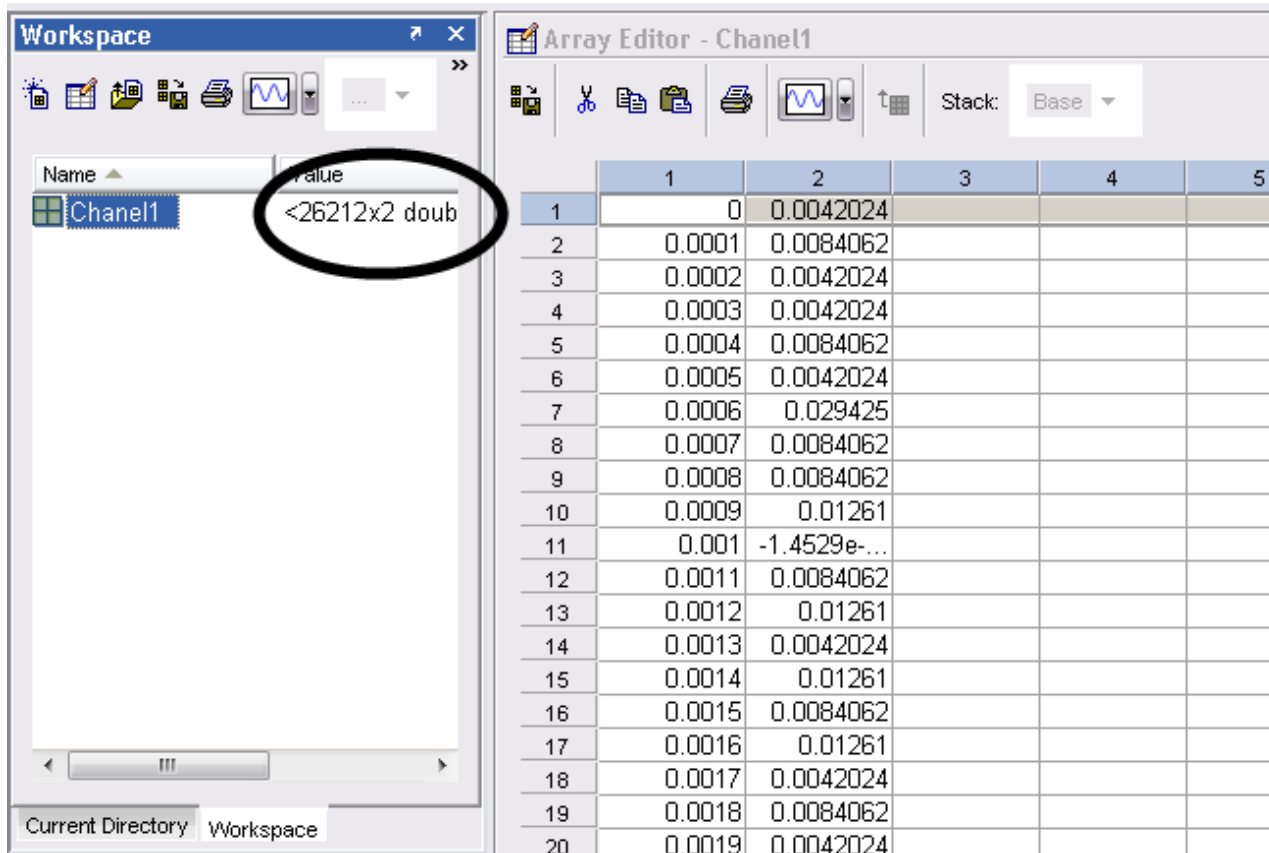


Рисунок 8.2 – Вікно **Workspace**

3. Далі цей файл необхідно зберегти.
4. Побудувати S-модель в системі SIMULINK пакету MATLAB для обробки сигналів з використанням блоків: From Workspace, FFT, Spectrum Scope (рисунок 8.3).
5. Встановити час моделювання рівний 2,62 секунди – час запису аналогового сигналу (див. рисунок 8.3).
6. Основні параметри настройки блоку From Workspace показані на рисунку 8.4. Це назва матриці розмірністю 26212x2, що знаходиться в робочому просторі MATLAB і поле Seample time – частота запису сигналу (рисунок 8.4).
7. Результатом моделювання є частотний спектр зображений на рисунку 8.5. Спектр дозволяє визначити резонансні частоти та частоти регулярних складових сигналу, що має велике значення для діагностики несправностей машин та технічних систем. Також до перегляду доступна часова реалізація сигналу (рисунок 8.6).

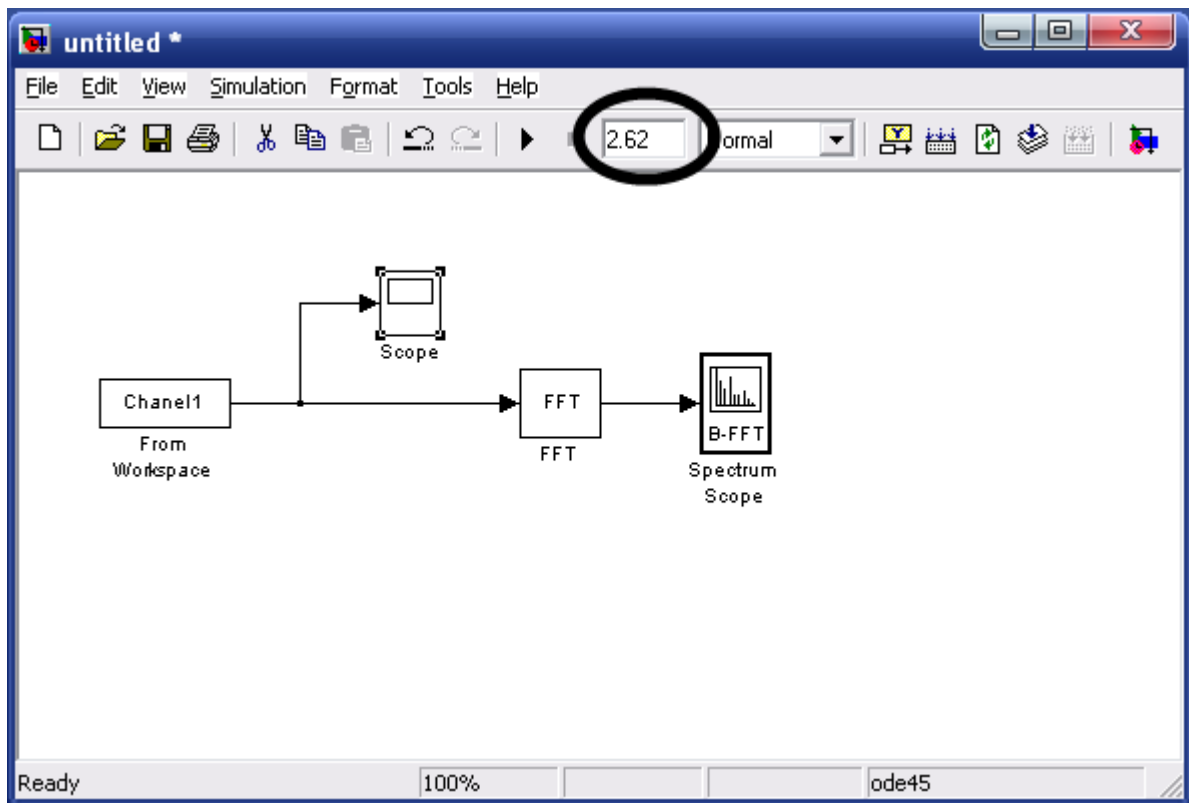


Рисунок 8.3 – S-модель для обробки сигналів

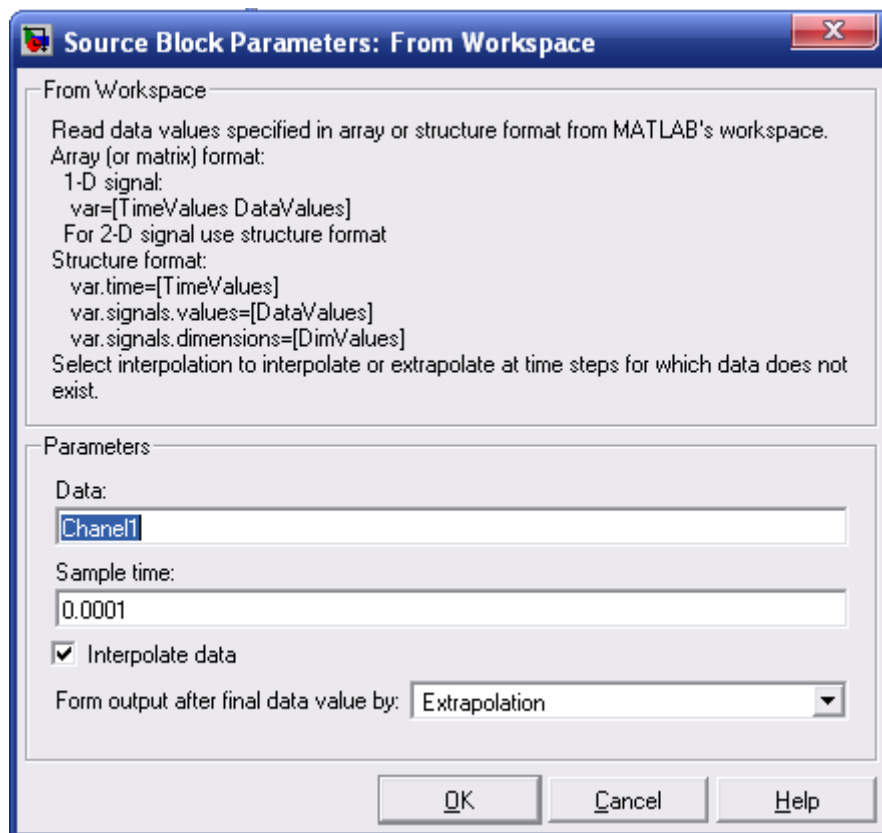


Рисунок 8.4 – Вікно параметрів блоку From Workspace

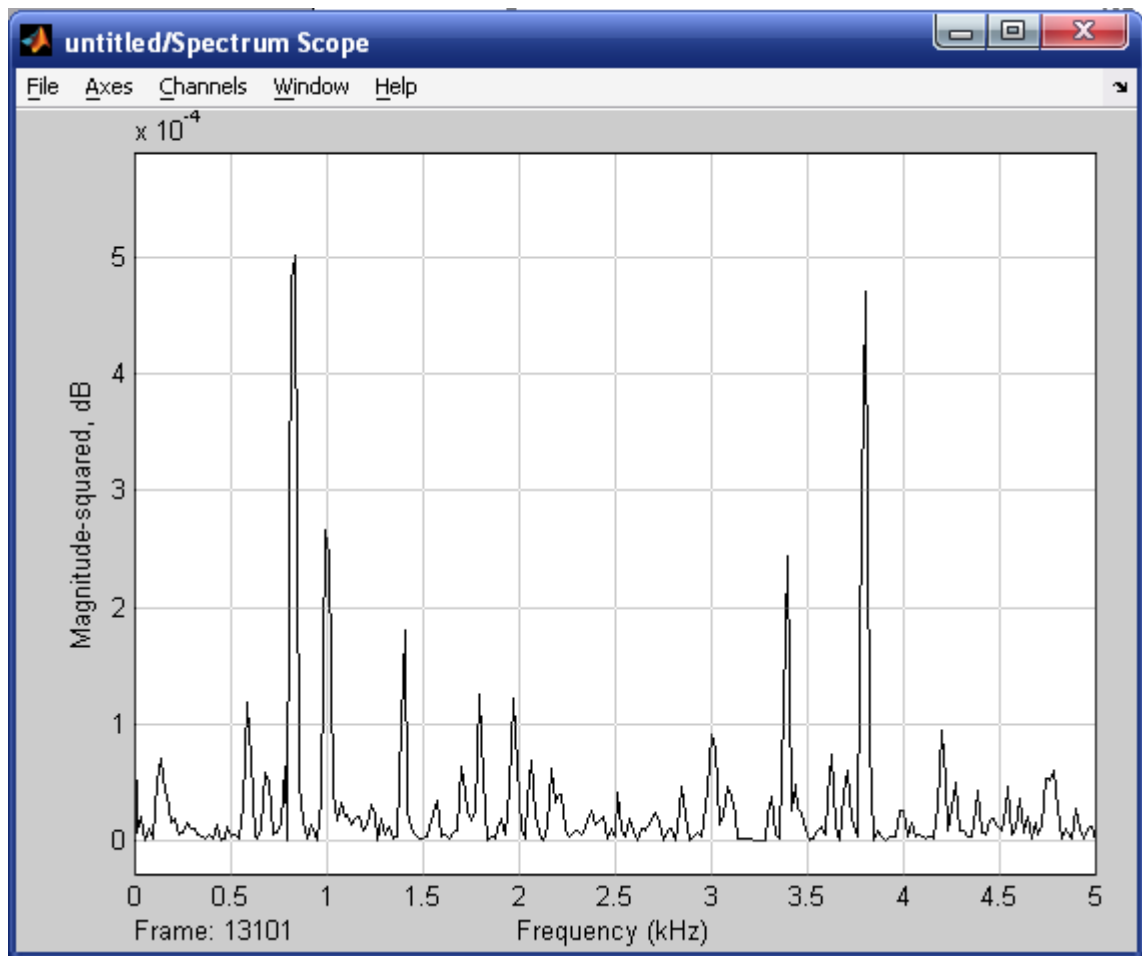


Рисунок 8.5 – Частотний спектр коливань шпindelної бабки

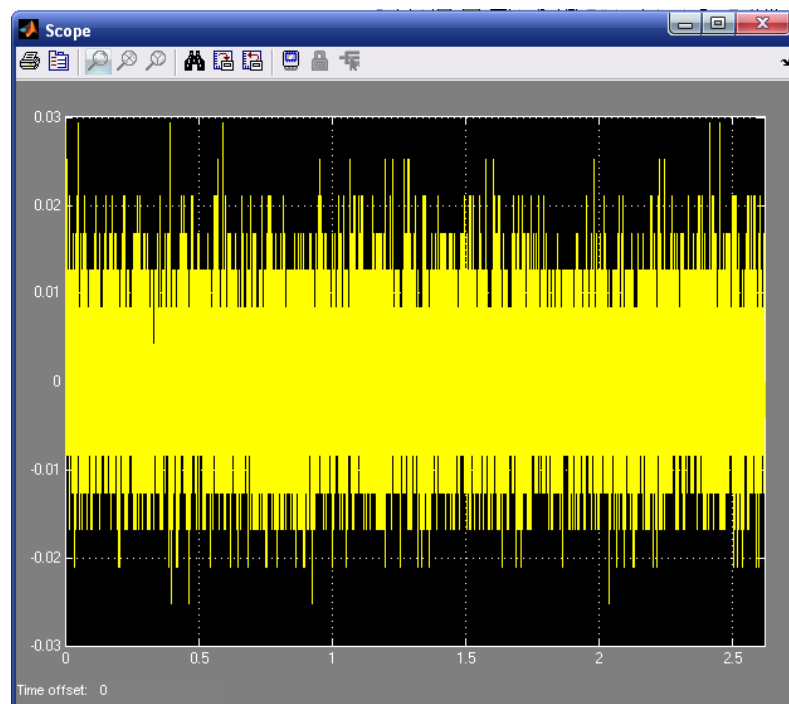


Рисунок 8.6 – Часова реалізація коливань шпindelної бабки

8.5 Інформація до складання звіту

1. У підрозділі „Теоретична інформація” навести письмові відповіді на питання призначенні для самостійної підготовки.
2. У підрозділі „Дані виконання роботи” навести екранні копії побудованої S-моделі для обробки запису коливань та масиву даних в робочому просторі MATLAB.
3. Привести часову реалізацію отриманого сигналу та частотний спектр. Вказати резонансні частоти.
4. Зробити висновки по роботі.

8.6 Питання для самостійної підготовки

1. Чому пакет MATLAB вважається найбільш придатним для застосування в області обробки сигналів?
2. Які функції містить бібліотека Signal Processing Blockset?
3. Назвіть найбільш поширені функції обробки даних?
4. Що являє собою дискретне перетворення Фур'є?
5. Що таке вагова функція?
6. Призначення вагових функцій?
7. Назвіть вагові функції застосовувані в MATLAB?
8. Які ви знаєте модифіковані вагові функції?
9. Який блок використовується для зчитування сигналу з робочого простору MATLAB. Охарактеризуйте його?
10. Переваги спектрального аналізу?

Література

1. Ситник В. Ф. Імітаційне моделювання: Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. / В. Ситник, Н. Орленко. — К.: КНЕУ, 1999. — 208 с.
2. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель / В.П. Дьяконов. — М.: ДМК-Пресс, 2008. — 784 с.
3. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування / М. Попович, О. Ковальчук. — К.: Либідь, 1997. — 544 с.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем / Р. Шеннон. — М.: Мир, 1978. — 418 с.
5. Дьяконов В.П. MATLAB 6.0/6.1/6.5/6.5 + SP1 + Simulink 4/5. Обработка сигналов и изображений./ В.П. Дьяконов. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 592 с.
6. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов (второе издание) / А.Б. Сергиенко. — СПб, Питер, 2006. — 751 с.