

Лабораторна робота 6 **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ** **ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ**

Мета роботи:

- Опанувати принципи та методологію імітаційного моделювання алгоритмів цифрової фільтрації.
- Провести імітаційне моделювання цифрових фільтрів та проаналізувати їх основні характеристики в середовищі Simulink програмного пакета MATLAB.

Короткі теоретичні відомості

Принципи та завдання моделювання алгоритмів цифрової фільтрації

Цифровий фільтр – це дискретна система, яка описується різницеvim рівнянням і реалізована програмним шляхом на цифрових сигнальних процесорах (ЦСП) або ж апаратним шляхом в вигляді спеціалізованого цифрового обчислювача. Для представлення коефіцієнтів системи (коефіцієнти різницевого рівняння або системної функції) та відліків сигналу, що опрацьовується, в цифровій системі використовуються елементи пам'яті (реєстри, комірки пам'яті), розрядність яких скінчена. Операційні пристрої (суматори, помножувачі) також мають обмежену розрядність. Відповідно, коефіцієнти системи та відліки сигналу представляються з обмеженою точністю. Обмеженість розрядності елементів пам'яті та операційних пристроїв системи приводять до операції квантування.

Відомі аналітичні співвідношення для оцінки впливу ефектів квантування на цифрову обробку сигналів і забезпечення точності цифрових фільтрів вимагають великого об'єму обчислень, які можуть бути реалізовані лише шляхом моделювання на ЕОМ. Необхідність моделювання обумовлена також статистичним за своєю суттю характером задач пов'язаних з кінцевою розрядністю представлення чисел. Моделювання цифрових фільтрів дозволяє перевірити правильність вибору розрахункових оцінок математичних моделей та розрядності чисел для різного класу сигналів, оцінюючи фільтруючі властивості за наявності зовнішніх шумів і завад, визначити динамічні характеристики фільтрів, досліджувати стійкість рекурсивних фільтрів при малих рівнях сигналів.

Однією з перших задач, що вирішуються за допомогою програмної моделі цифрового фільтру, є визначення його імпульсної характеристики і обчислення сум її модулів і квадратів. Вони знаходяться по відгуку фільтра на сигнал типу одиничний імпульс. При цьому для рекурсивних фільтрів встановлюється також умовна тривалість імпульсної характеристики і відповідний їй час протікання перехідних процесів.

Правильність вибору математичної моделі перевіряється шляхом визначення максимальних значень модельованих сигналів відповідного класу в різних точках фільтру (як правило, на виходах ланок і всього фільтру). Перехідні

процеси в цифрових фільтрах оцінюються по їх відгуках на імпульсні сигнали, що мають кінцеву тривалість або наступні з низькою частотою повторення.

Граничні цикли низького рівня в рекурсивних схемах досліджуються подачею на вхід сигналів кінцевої тривалості і спостереженням реакції фільтра після закінчення вхідного сигналу, коли він приймає нульові значення.

Фільтруючі властивості оцінюються шляхом обчислення і співставлення спектрів його вихідного і тестового вхідного сигналів у встановленому режимі.

Найбільші складнощі пов'язані з моделюванням кінцевої розрядності чисел і знаходженням статистичних оцінок шумів квантування на виході цифрових фільтрів. Оцінювання цих характеристик в режимі моделювання може бути виконане відповідно до загальної двоканальної структурної схеми рис.2.1.

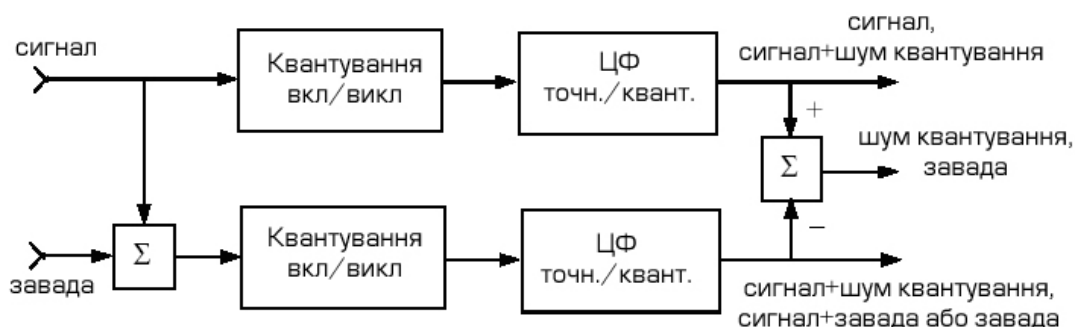


Рисунок 2.1 – Схема дослідження шумів квантування і зовнішніх завад при цифровій фільтрації

Кожен канал такої схеми містить незалежно керовані програмні моделі АЦП, які виконують квантування вхідного сигналу, та фільтри з обмеженням і без обмеження розрядності чисел (дискретний фільтр і цифровий фільтр). До сигналу, що надходить на другий канал цієї схеми, за допомогою суматора може бути доданий зовнішній шум або завада. Відліки шуму квантування каналів, як і відфільтрованого шуму або завади, знаходяться шляхом віднімання вихідних сигналів каналів.

Власні шуми квантування цифрових фільтрів отримуються на виході суматора схеми при відключенні квантування вхідних сигналів і підключенні в одному каналі точного, а в іншому «грубого» (з квантуванням чисел) цифрового фільтра.

Шум квантування АЦП на виході цифрового фільтра можна виміряти шляхом включення квантування сигналу в одному каналі при відключеному квантуванні чисел в цифрових фільтрах обох каналів. Включивши у верхньому каналі цифрового фільтра з квантуванням чисел, можна оцінити сумарні шуми квантування АЦП і числа квантування на виході цифрового фільтра цього каналу.

Оцінку накладеного на сигнал зовнішнього шуму або завади на виході нижнього каналу схеми можна знайти, підключивши їх джерело до входу суматора цього каналу. При цьому квантуванні сигналу в даному каналі може

бути включено або відключено, як і тип цифрового фільтра – з квантуванням або без квантування чисел.

По вимірних відліках шуму квантування або зовнішніх шумів і завад на виході цифрового фільтра шляхом статистичної обробки можуть бути знайдені їх граничні і середньоквадратичні оцінки і досліджені спектральні, кореляційні характеристики і закони розподілу, а також фільтруючі властивості цифрового фільтра по відношенню до них.

Особливості моделювання цифрової фільтрації в пакеті MATLAB

Задачі, пов'язані із моделюванням цифрових фільтрів, в тій чи іншій степені можуть бути розв'язані на основі використання програмного пакету MATLAB. Розробники цифрових фільтрів, що використовують в своїй роботі даний пакет, змогли оцінити численні достоїнства інтерактивної графічної програми Signal Processing Tool (SPTool). Проте, результати, що отримуються за допомогою SPTool, не завжди достатні для фахівців, що займаються проектуванням і реалізацією цифрових фільтрів на базі спеціалізованих, зокрема, сигнальних, процесорів. Характеристики фільтра, розрахованого на персональному комп'ютері і реалізованого на ЦСП, можуть істотно відрізнятись. Це пов'язано з тим, що різні цифрові системи (у тому числі і персональний комп'ютер, на якому виконувався розрахунок фільтра) використовують різні типи арифметики (з плаваючою або фіксованою точкою), мають різні формати і, як наслідок, різний динамічний діапазон і різну точність представлення чисел. У результаті параметри фільтрів, відліки вхідних і вихідних сигналів представляються лише значеннями з кінцевого набору чисел, тобто є квантованими по рівню. Ефекти квантування відображаються також і на результатах математичних операцій, виконуваних суматорами і помножувачами. Із сказаного виходить, що процес проектування повинен включати процедури корекції одержаних результатів з урахуванням ефектів квантування стосовно тих процесорів, на яких передбачається реалізовувати фільтри, що синтезуються. Ці процесори, а також обчислювальні системи, побудовані на їх основі, називають цільовими. У версії MATLAB 6 з'явилася нова бібліотека Toolbox Filter Design, призначена для вирішення такого роду задач. Функції цієї бібліотеки дають можливість працювати з трьома типами об'єктів – квантувачами сигналів, квантованими фільтрами і квантованим перетворенням Фур'є, використовуючи різні формати представлення чисел. Разом з функціями, що дозволяють розробляти власні програми, бібліотека має інтерактивну графічну програму Filter Design & Analysis Tool (FDATool), за допомогою якої можна розраховувати цифрові фільтри з урахуванням ефектів квантування, а також вибирати стандартні і такі, що визначаються користувачем, формати представлення чисел. Крім цього, FDATool надає численні варіанти реалізаційних схем, які можуть бути імпортовані в середовище візуально-об'єктного моделювання Simulink, що дає можливість оптимізувати рішення по сукупності таких параметрів, як динамічний діапазон, шуми арифметики, об'єм обчислень на відлік, граничні цикли.

Порядок виконання роботи

Із урахуванням функціональних можливостей модуля FDATool та середовища Simulink програмного пакету MATLAB, виконання лабораторної роботи повинне включати наступні етапи:

1. Синтез та аналіз характеристик дискретного фільтра засобами FDATool:
 - 1.1. синтез (відповідно до варіанту завдання 1) дискретного фільтра;
 - 1.2. візуалізація та аналіз характеристик (АЧХ, ІХ) синтезованого дискретного фільтра;
 - 1.3. збереження результатів відповідної сесії FDATool.
2. Дослідження засобами FDATool ефектів квантування цифрового фільтра:
 - 2.1. пошук засобами FDATool форми реалізації структурної схеми фільтра, що мінімізує величину похибок квантування при переході від дискретного фільтра до цифрового;
 - 2.2. визначення мінімальної розрядності представлення коефіцієнтів системної функції фільтра, що забезпечує вимоги до його АЧХ;
 - 2.3. контроль стійкості цифрового фільтра на основі візуалізації і аналізу карти полюсів його системної функції;
 - 2.4. візуалізація характеристик (АЧХ, ІХ) синтезованого цифрового фільтра;
 - 2.5. збереження результатів відповідної сесії FDATool.
3. Імітаційне моделювання цифрової фільтрації засобами середовища Simulink:
 - 3.1. із використанням збережених сесій FDATool попередніх етапів здійснити експорт синтезованих дискретного та цифрового фільтрів в середовища Simulink;
 - 3.2. на основі схеми, зображеної на рис.7.1, побудувати імітаційний стенд для дослідження цифрової фільтрації із використанням елементів бібліотеки Simulink;
 - 3.3. здійснити імітаційне моделювання при різних тестових впливах і режимах роботи досліджуваної моделі та зберегти графічні результати;
 - 3.4. провести комплексний аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

Реалізація третього етапу вимагає побудови в середовищі Simulink імітаційної моделі (див. рис.2.2.), основними складовими якої є:

- Discrete Impulse – джерело дискретного дельта-імпульсу;
- Chirp – генератор сигналу із лінійною частотною модуляцією;
- Band-Limited White Noise – генератор завади типу «білий шум»;
- Constant – числова константа;
- Ground – «земля»;
- Zero-Order Hold – блок дискретизації сигналів за часом;
- Quantizer – блок квантування сигналів за рівнем;
- Filter – цифровий фільтр з неквантованими коефіцієнтами;
- Filter_quant – цифровий фільтр з квантованими коефіцієнтами;
- Multiport Switch – багатопортовий керований перемикач;

- Manual Switch – ручний перемикач;
- Scope – часовий багатоканальний осцилограф;
- Srectrum score – спектроаналізатор на основі швидкого ДПФ;
- Histogram – блок обчислення гістограми;
- Vector score – векторний осцилоскоп.

Із застосуванням даної моделі необхідно, у відповідності до п.3.3 порядку виконання роботи, здійснити наступні дії:

- отримати імпульсну (квантованого і неквантованого) фільтрів шляхом подачі на вхід дискретного дельта-імпульсу;
- дослідити реакцію фільтрів на сигнал із ЛЧМ (відповідно до варіанту завдання 2) та отримати спектри вхідних і вихідних сигналів;
- оцінити амплітудно-частотну характеристику фільтрів за їх реакцією на вхідний вплив у вигляді «білого шуму»;
- оцінити статистичні характеристики (гістограму розподілу) шумів квантування фільтрів як різниці реакцій квантованого і неквантованого фільтрів на вхідний вплив у вигляді «білого шуму».

Вихідні дані

Завдання 1

Характеристика/ параметр	Номер варіанту				
	1	2	3	4	5
Вид АЧХ	СФ Bandpass	РФ Bandstop	СФ Bandpass	РФ Bandstop	СФ Bandpass
Частота дискретизації F_s , кГц	48				
Тип фільтру-прототипу	Еліптичн. Eliptic	Баттервор. Butterworht	Чубиш. I Chebysh. I	Чубиш. II Chebysh. II	Баттервор. Butterworht
Частота смуги затримки 1 F_{stop1} , кГц	6	9	5	10	10
Частота смуги затримки 2 F_{stop2} , кГц	15	12	19	15	21
Частота смуги пропуску 1 F_{pass1} , кГц	9	6	10	5	14
Частота смуги пропуску 2 F_{pass2} , кГц	12	15	15	19	18
Нерівномірність у смузі пропускання A_{pass} , дБ	2	3	1	2	3
Подавлення у смузі затримки 1 A_{stop} , дБ	60				

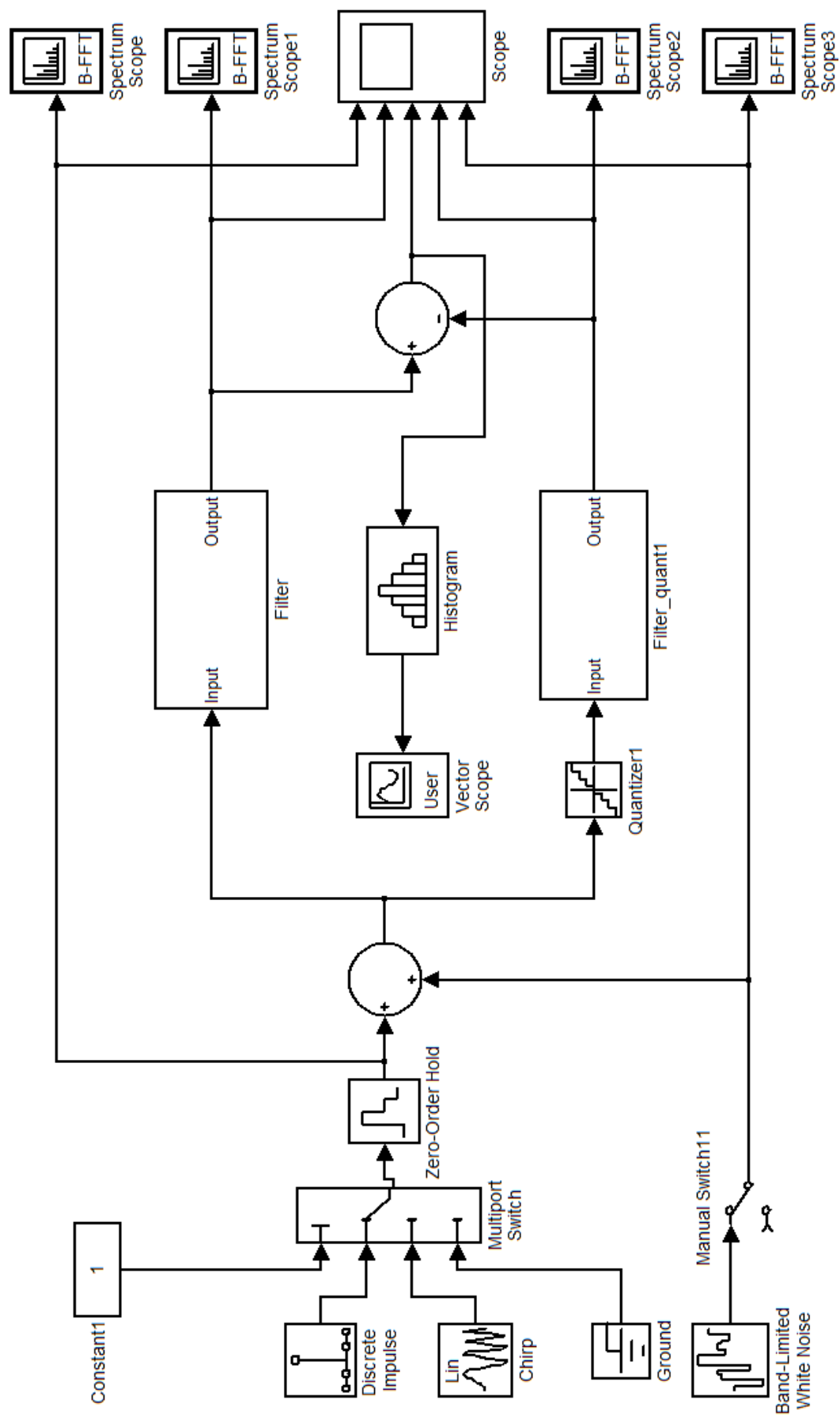


Рисунок 2.2 – Стенд імітаційного моделювання цифрової фільтрації в Simulink

Завдання 2

Параметр сигналу із ЛЧМ	Номер варіанту				
	1	2	3	4	5
Початкова частота Initial frequency, Hz	4000		2500		3000
Кінцева частота Target frequency, Hz	10500		1250		13000
Кінцевий час Target time, c	0.01				

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Вихідні дані для моделювання.
4. Графічні залежності теоретичних амплітудно-частотних і імпульсних характеристик та результати імітаційного моделювання.
5. Висновки.