

*Перекрест А.Л., ст. викл., Купрій О.О., магістр,
Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського
39600, м. Кременчук Полтавської обл., вул. Першотравнева, 20
E-mail: visnik@polytech.poltava.ua*

В статтю розроблена структура програмно-апаратного комплексу для дослідження процедур цифрової обробки сигналів.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, дискретизация, цифровой фильтр, цифровой сигнальный процессор.

The hardware-software complex for research procedures of digital signals processing is developed in the article.

Key words: digital signals processing, sampling, digital filter, digital signal processor.

Вступ. В наш час спостерігається тенденція використання цифрових пристроїв в системах автоматики замість аналогових, що обумовлено підвищенням вимог щодо швидкодії та точності систем, а також наявності відповідної апаратної платформи, зокрема цифрових сигнальних процесорів [5].

В сучасних автоматизованих системах управління широко застосовується цифрова обробка сигналів (ЦОС), яка включає коло таких практичних завдань [6]:

- обробка вимірювальної інформації (цифро-аналогове перетворення сигналів, відновлення безперервного сигналу за дискретними відліками);
- синтез і аналіз фільтрів (нелінійні поліноміальні цифрові фільтри, процедури цифрової фільтрації, спектральний аналіз сигналів, підвищення завадозахищеності інформації);
- розробка адаптивних алгоритмів регулювання;
- проектування і технічна реалізація систем ЦОС;
- оптимізація обробки даних в реальному часі (оптимізація обробки за рахунок використання процедури швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), розробка спеціалізованих пристроїв).

При розробці апаратури ЦОС потрібні апаратні засоби, які можна використати для створення прототипу проектованої апаратури з введенням-виведенням реальних сигналів для розробки і відладки алгоритмів і програмного забезпечення в умовах, максимально наближених до реальних. У разі потреби дані засоби повинні дозволяти оперативно збільшувати обчислювальну можливість прототипу за рахунок побудови багатопроцесорних структур або за рахунок переходу на процесор ЦОС більшої продуктивності. Також необхідно передбачити можливість оперативно змінювати параметри вузлів введення-виведення сигналів.

Крім цього, інтеграція апаратних засобів ЦОС із засобами "візуального" проектування і моделювання алгоритмів і систем ЦОС реального часу дає можливість об'єднати фази розробки алгоритмів і програмного забезпечення, що дозволить фахівцям в прикладних областях швидко отримати результат,

Формувач імпульсів перетворює δ -імпульси на імпульси заданої форми.

не витрачаючи зусиль на другорядне для них програмування і проектування електронних схем.

Мета роботи. Розробка структури комплексу для вивчення, дослідження та реалізації процедур цифрової обробки інформації в комп'ютеризованих системах керування (КСК) технічними об'єктами.

Матеріал і результати дослідження. Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- аналіз математичного апарату методів цифрової обробки сигналів в комп'ютеризованих системах керування;
- аналіз існуючого апаратно-програмного забезпечення для моделювання і дослідження процедур ЦОС;
- розробка структури комплексу для дослідження методів ЦОС;
- розробка прикладного програмного забезпечення для реалізації типових процедур цифрової фільтрації з використанням цифрових сигнальних процесорів;
- аналіз роботи комплексу ЦОС в комп'ютеризованих системах керування електромеханічними об'єктами.

Враховуючи перелік практичних задач, що вирішуються в КСК технічними об'єктами, з точки зору обробки інформації, необхідно мати математичний опис наступних основних процедур ЦОС: аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворення, цифрова фільтрація, розрахунок керуючого впливу, спектральний аналіз сигналів.

Для математичного опису процедури перетворення аналогового сигналу в дискретний і навпаки використовується апарат різницевих рівнянь та z -перетворення [5].

При цьому, математичний опис АЦП включає імпульсний елемент та формувач імпульсів; імпульсний елемент перетворює безперервний сигнал на послідовність миттєвих рівновіддалених один від одного імпульсів на величину T_0 (період дискретизації), які можна представити у вигляді решітчастої функції.

Некоректність постановки задачі чисельного диференціювання полягає в тому, що похибка при

Найчастіше в якості формувача імпульсів використовується екстраполатор нульового порядку з передавальною функцією виду:

$$W_{\phi}(s) = \frac{1 - e^{-T_0 s}}{s},$$

що зберігає сигнал на виході імпульсного елемента протягом усього періоду слідування імпульсів.

Для математичного опису процедури відновлення сигналу за допомогою ЦАП в цифрових системах використовують екстраполатор нульового порядку.

Основною процедурою в ЦОС є процедура цифрової фільтрації. В загальному випадку процедура цифрової фільтрації описується наступним чином:

$$y(n) = \sum_{k=0}^N b_k x(n-k) - \sum_{k=1}^M a_k y(n-k),$$

де $h(k), k = 0, N-1$ – коефіцієнти фільтра, $x(k)$

та $y(k)$ відповідно вхідні та вихідні значення.

При дослідженні дискретних систем використовують z-перетворення.

Для синтезу цифрових фільтрів часто використовують метод синтезу за аналоговим прототипом та статистичний метод [2].

Для вирішення задач поліпшення динамічних властивостей системи регулювання використовуються цифрові корегуючі пристрої (цифрові регулятори), які реалізують алгоритми оптимального керування. Для реалізації останніх використовуються окремі елементи цифрових пристроїв (суматорів, інтеграторів, функціональних пристроїв тощо), що забезпечують необхідні обчислювальні і логічні операції в кожному каналі управління системою.

Такі цифрові пристрої можуть будуватися на різних принципах, проте загальна структура цифрової системи управління містить основні елементи: перетворювачі безперервної величини в код і зворотно, а також процесор, що забезпечує необхідні обчислювальні операції [3].

Для розрахунку керуючого впливу в цифрових системах керування застосовують математичний опис методів чисельного інтегрування та диференціювання. Чисельне інтегрування полягає в заміні підінтегральної функції на більш просту, інтеграл якої легко обчислити.

Одними з методів, які найбільш часто використовуються, є методи прямокутників, трапецій, Сімпсона, Гауса та інші.

Задача чисельного диференціювання полягає в наближеному обчисленні похідних функції $u(x)$ при заданому кінцевому числі точок розбиття. При кроку розбиття рівному h , отримаємо вирази для знаходження похідної:

$$u'_i = \frac{u_i - u_{i-1}}{h}, \quad u'_i = \frac{u_{i+1} - u_i}{h}, \quad u'_i = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h}.$$

Процесори сімейства TMS320C6000 забезпечують високу продуктивність і завдяки цьому підходять для побудови широкого кола

обчисленні похідної перевищує похибку обчислення самої функції [6].

Дискретні перетворення дозволяють описувати сигнали з дискретним часом в частотних координатах або переходити від опису в часовій області до опису в частотній.

Для отримання спектру сигнал розкладається на частотні складові за допомогою дискретного перетворення Фур'є. Відомості про спектр необхідні, наприклад, при визначенні ширини смуги для передачі сигналу.

Перехід від часових координат до частотних необхідний в багатьох додатках ЦОС.

Наприклад, він дозволяє ефективніше реалізовувати такі алгоритми ЦОС, як цифрова фільтрація, згортка і кореляція. Існує ряд дискретних перетворень, з яких найпоширенішим є дискретне перетворення Фур'є [2, 3]:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn}.$$

Для реалізації описаних вище математичних процедур ЦОС широко застосовуються цифрові сигнальні процесори (ЦСП), у зв'язку з особливостями архітектури, що орієнтована на швидке виконання операцій, необхідний для реалізації ЦОС.

ЦСП мають менший набір команд, ніж у центрального процесора персональної ЕОМ (ПЕОМ), тому до його складу входять високошвидкісні апаратні схеми для виконання арифметичних операцій, оптимізованих для обробки великого обсягу даних.

Для підвищення пропускну здатності ЦСП обладнані додатковими шинами даних для швидкої передачі даних між арифметичними модулями, використовується розподіл на пам'ять програм та пам'ять даних, кеш команд [4].

Найбільш поширеними на ринку в даний час є ЦСП фірм Texas Instruments та Analog Devices.

Так сімейство TMS320C2000 призначене для вирішення завдань управління електроприводами, побудови автомобільних систем, реалізації різних керуючих модулів.

Крім того, даний процесор має розвинену периферію, що робить його досить універсальним приладом для реалізації функцій цифрової обробки сигналів, де достатньо продуктивності до 150 MIPS (мільйонів операцій за секунду).

Сигнальні процесори сімейства TMS320C5000 призначені, в першу чергу, для побудови високопродуктивних систем зі зниженим енергоспоживанням.

Дані процесори з продуктивністю до 600 MIPS мають потужні механізми для управління енергоспоживанням, такі як: можливість динамічно міняти опорну частоту і напругу живлення, переходити в різні режими зниженого енергоспоживання, а також відключати частину внутрішніх модулів.

У відповідності до проведеного аналізу особливостей математичного, апаратного та програмного засобів для реалізації процедур ЦОС,

пристроїв для обробки відео, звуку, мови, реалізації мережевих додатків, а також дозволяють вирішувати інші завдання по обробці широкосмугових сигналів, комутації та управління [4].

При розробці додатків для ЦСП використовуються алгоритмічні мови високого та низького рівнів.

Для написання коду внутрішньої програми DSP-модуля та для завантаження проекту та даних в модуль використовуються програми-налагоджувачі виробників.

Мови графічного програмування для прикладних програм ЕОМ дозволяють створювати програмний інтерфейс роботи з ЦСП та персональною ЕОМ.

сформульовані узагальнені вимоги до комплексу по дослідженню процедур ЦОС:

- чітка структуризація складових, що передбачає розділення на математичне, програмне та апаратне забезпечення;
- використання сучасних програмних та апаратних засобів;
- наочність процедури дослідження методів ЦОС;
- можливість збереження результатів роботи комплексу.

Узагальнена структура комплексу ЦОС включає три основні блоки: математичне, апаратне, програмне забезпечення (рис. 1).

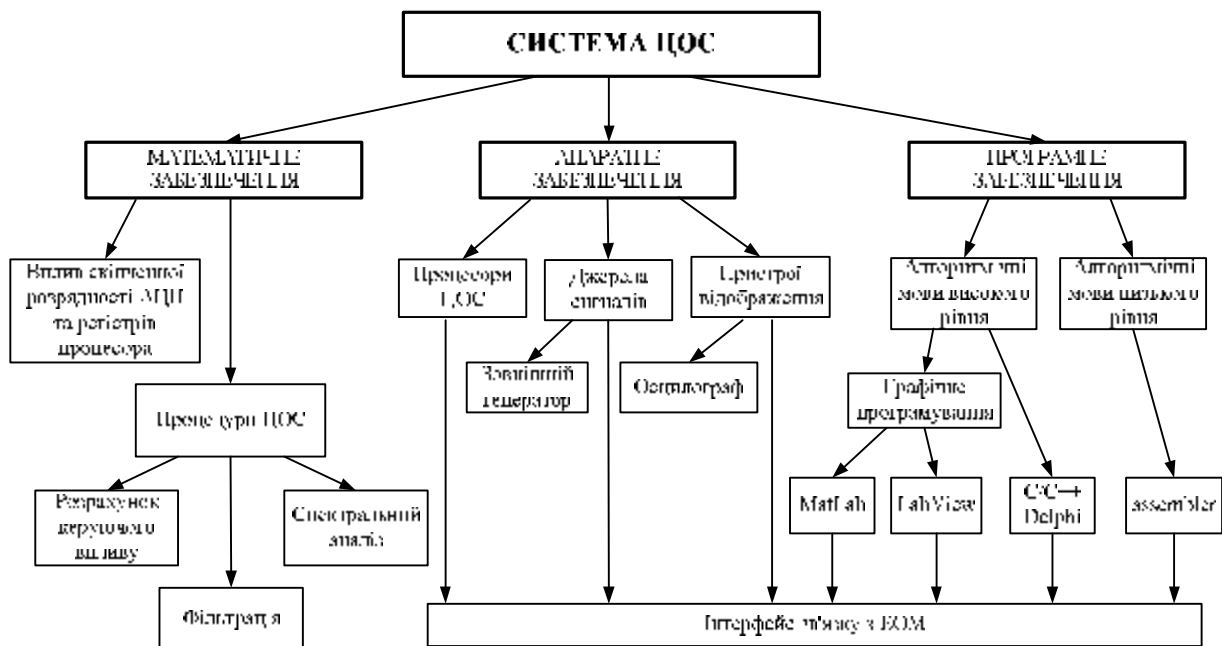


Рисунок 1 – Узагальнена структура комплексу

В результаті до апаратного та програмного забезпечення комплексу можна сформулювати такі вимоги:

- швидкодія мікропроцесора, що забезпечує обробку сигналів з частотою до 100 кГц, мінімальна розрядність АЦП – 16 біт, ЦАП – 12 біт;
- апаратна реалізація математичних операцій для підвищення швидкодії алгоритмів ЦОС;
- можливість застосування інтерфейсу обміну даними в реальному часі з ЕОМ;
- підтримка обраної апаратної платформи мовами графічного програмування;
- простота реалізації програм з використанням вбудованих можливостей математичних пакетів.

Відповідно до проведеного аналізу сформовані критерії вибору конкретного ЦСП:

- швидкодія та апаратні особливості;
- зручність розробки додатків;

Математичне забезпечення включає: цифрову фільтрацію, спектральний аналіз, реалізацію цифрового регулятора та обмеження, пов'язані зі скінченною розрядністю регістрів процесора і її вплив на точність обчислень.

- енергоспоживання;
- вартість.

При виборі ЦСП за швидкодією та апаратними можливостями керуються такими параметрами: тактова частота, продуктивність в MIPS, розрядність АЦП та ЦАП, тип та об'єм пам'яті, наявність необхідних інтерфейсів зв'язку з ЕОМ.

Відповідно до зазначених раніше вимог обрано демонстраційний набір на базі цифрового сигнального процесора TMS320C6713, який має можливість створення мультипроцесорних систем, а також може бути замінений, в разі необхідності, пристроєм з більшою продуктивністю.

Зазначений процесор має тактову частоту 225 МГц, вбудований апаратний кодек, який дозволяє обробляти сигнали з частотою дискретизації 92 кГц. Розрядність його АЦП – 24 біт.

- спектральний аналіз періодичних сигналів;
- моделювання тестових сигналів в Matlab і Simulink;
- синтез цифрових фільтрів в Matlab;
- дослідження загальної процедури ЦОС із

Апаратне забезпечення включає сигнальні процесори, пристрої для завдання тестових сигналів та реєстрації результатів роботи комплексу, зокрема, генератор для задавання тестових сигналів, цифровий осцилограф для відображення результатів роботи та демонстраційну плату цифрового сигнального процесора.

В якості програмного забезпечення використовуються алгоритмічні мови високого (C/C++) та низького (assembler) рівнів, для компіляції програм для DSP-модуля (Code Composer Studio – Texas Instruments, VisualDSP++ – Analog Devices), мови графічного програмування для прикладних програм EOM (Matlab, Labview).

Згідно з розробленою структурою, створено математичну модель загальної процедури ЦОС в пакеті MatLab, яка дозволяє проводити дослідження цифрових фільтрів, аналізуючи результати, представлені в часовій та частотній областях.

Для аналізу роботи цифрового фільтру у складі системи ЦОС розроблено методичні вказівки, що використовуються в лабораторному практикумі дисципліни "Основи збору, передачі та обробки інформації" при підготовці спеціалістів з напрямку "Системна інженерія".

Розроблений комплекс може використовуватись в навчальному процесі для виконання практичних та лабораторних робіт з наступних тем:

застосуванням вбудованих можливостей Matlab;

- реалізація цифрового фільтру на базі процесора TMS320C6713 в Matlab (Simulink, Link for Code Composer Studio, Target TI C6000);
- синтез цифрових фільтрів в LabView (DFD);
- реалізація цифрового фільтру на базі процесора TMS320C6713 в LabView.

Проведення занять з наведених тем дозволить засвоїти основні положення ЦОС:

- завдання тестових сигналів;
- реалізація алгоритмів цифрової фільтрації;
- засоби відображення сигналів у часовій та частотній областях;
- реалізація загальної процедури ЦОС в прикладних математичних пакетах: MatLab, LabView.

Графічний інтерфейс розробленого комплексу складається з блоку: "Вхідний сигнал", "Цифрова обробка сигналів", "Відображення".

Блок "Вхідний сигнал" дозволяє реалізувати створення тестового сигналу з завадами.

Блок "Цифрова обробка сигналів" використовується для реалізації процедури розробки цифрового фільтру та подальшої цифрової фільтрації.

Блок "Відображення" дозволяє переглядати і візуально оцінювати характеристики сигналів, проектувати і застосовувати фільтри, проводити спектральний аналіз, досліджуючи вплив різних методів і їх параметрів на отриманий результат.

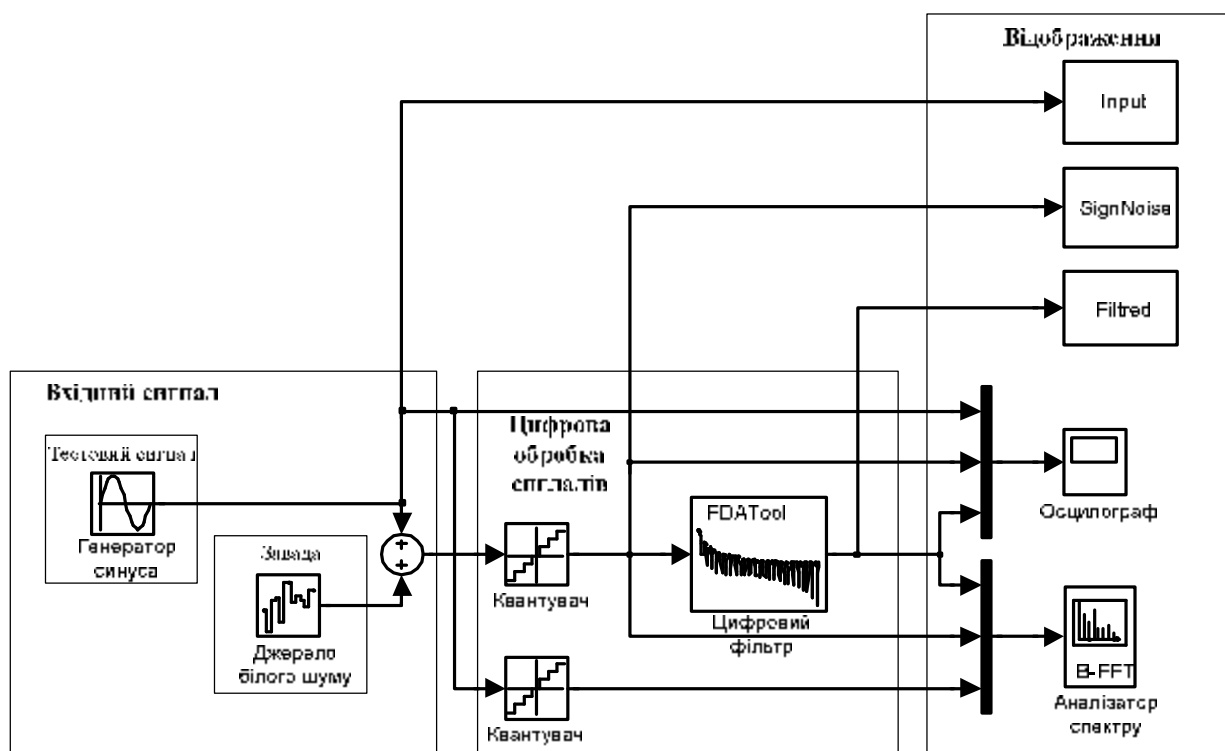


Рисунок 2 – Реалізація загальної процедури ЦОС в пакеті MatLab

На рис. 3 відображені часові діаграми вихідного (1), зашумленого (2) і відфільтрованого (3) сигналів отримані в результаті моделювання; на рис. 4 – спектри вихідного, зашумленого і відфільтрованого сигналів (1, 2 і 3 відповідно).

ЛІТЕРАТУРА

1. Ануфриев І.Е. MATLAB 7 / І.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.
2. Солонина А.И. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов. – СПб.: БХВ-

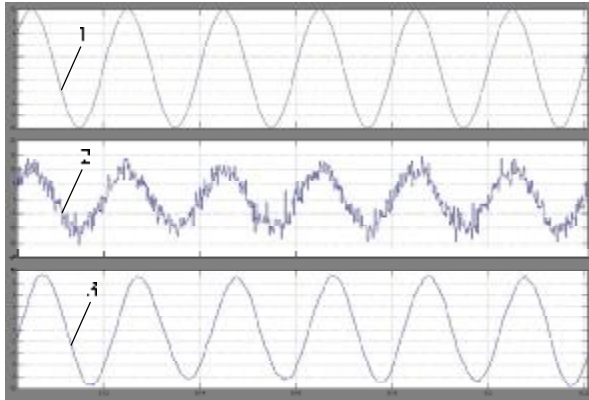


Рисунок 3 – Часові діаграми вихідного (1), зашумленого (2) і відфільтрованого (3) сигналів

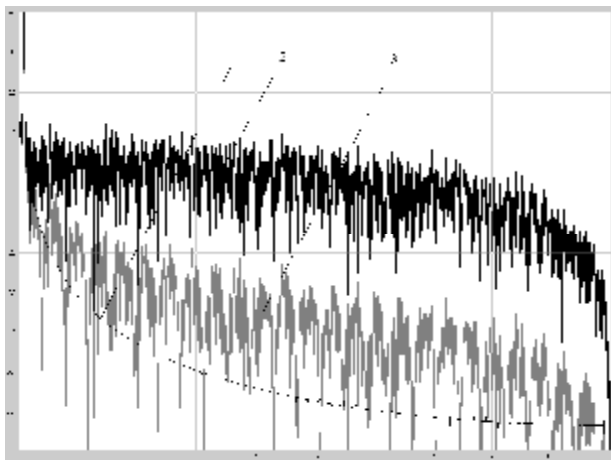


Рисунок 4 – Спектри вихідного (1), зашумленого (2) і відфільтрованого (3) сигналів

Висновки. У ході роботи отримані наступні результати:

- розроблена структура комплексу для дослідження процедур ЦОС.
- комплекс дозволяє досліджувати процедуру цифрової фільтрації, змінюючи параметри вхідного сигналу, фільтрів та засобів відображення.
- розроблений перелік лабораторних робіт з використанням комплексу для підготовки спеціалістів з напрямку "Системна інженерія".
- реалізована загальна процедура ЦОС у вигляді методичних вказівок з використанням математичного пакету MatLab.

Петербург, 2005. – 768 с.

3. Оппенгейм А.В. Цифровая обработка сигналов. – М.: Связь, 1979. – 416 с.

4. Texas Instruments.– Mode of access: <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print>

5. Бесекерский В.А Теория автоматического управления. – М.: Наука, 1975. – 768 с.

6. Шрюфер Е. Обробка сигналів: цифрова обробка дискретизованих сигналів. – К.: Либідь, 1992. – 296 с.

Стаття надійшла 07.04.2009 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.