

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

МАТЕРІАЛИ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

13-14 листопада 2023 року

Навчально-науковий Інститут автоматики і електротехніки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, проспект Центральний, 3

МАТЕРІАЛИ

Миколаїв 2023

УДК 681.5:621.3

П 75

Автоматика та електротехніка: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2023. – 73 с.

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Автоматика та електротехніка".

Розглянуті питання теорії, практики та розвитку електромеханічних систем і пристроїв суднового та загальнопромислового призначення, а також інформаційно-вимірювального обладнання.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

ОРГАНІЗАТОРИ:

1. МОН України;
2. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами. Претензії до організаторів не приймаються.

Комп'ютерна верстка:
Відповідальний за випуск:

М.О. Козлов
А.В. Обрубов

© Національний університет кораблебудування, 2023

УДК 681.391.82

Редька І.В., Трешнюк О.І., Ушкаренко О.О.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПРИНЦИПИ ОПИСУ СИСТЕМ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

Вступ. Цифрова обробка сигналів має велике фундаментальне та прикладне значення в електроніці, сучасній радіотехніці, телекомунікаціях та суміжних галузях. Сучасні електронні системи керування, збору та обробки інформації характеризуються великою кількістю елементів, множиною зв'язків та значним обсягом оброблюваної інформації. Для проектувальника електронних систем важливим є глибоке розуміння процесів перетворення сигналів, яке виконує система, для розробки відповідних алгоритмів та їх реалізації на базі мікропроцесорної техніки.

Все частіше виникає необхідність у розробці більш складних цифрових систем у більш короткий термін, щоб скоротити час і вартість розробки та вивести новий продукт на ринок першим. Ці вимоги показали обмеження, які існують із традиційними підходами у проектуванні систем цифрової обробки сигналів (ЦОС), які раніше були розроблені для невеликих проектів, де робота на компонентному рівні була частиною звичайного процесу проектування. У більш складних проектах робота на компонентному рівні більше не є ефективною, що призводить до необхідності працювати більш високому рівні абстракції проекту [1]. Тут проектувальник розробляє та використовує високорівневі системні моделі, які потім реалізуються схемотехнічно з використанням регістрової логіки, програмованих логічних інтегральних схем, або програмно у вигляді вихідного коду мовою високого рівня.

Відомі кілька еквівалентних форм подання цифрових фільтрів як ланок систем автоматичного керування. Це подання у формі передавальної функції, різницевих рівнянь [2], у вигляді розкладання передавальної функції на прості дроби, у каскадній формі, у просторі станів, а також у вигляді зр-представлення [3]. При цьому інформація про структуру системи обробки сигналів або відсутня, або представлена в неявному вигляді. Також широко використовується опис у вигляді структурних схем, принципів схем, а також системи моделювання Matlab Simulink [4, 5], SciCos [6], Proteus, Multisim та інші, у яких досліджуються системи, а також їх елементи, представлені з використанням різних рівнів абстрагування, що отримані в результаті декомпозиції вихідної системи на окремі підсистеми [7]. Такі підсистеми виконують перетворення вхідного сигналу у вихідний. Однак основним недоліком такого опису системи є відсутність інформації про структуру її окремих елементів, що розглядаються як «чорна скринька». Через це виникають труднощі з аналізом адекватності моделей, а також практичної реалізації алгоритмів обробки сигналів. Глибина опису, рівень деталізації визначається призначенням системи та використовується для побудови моделей систем. Вивчення особливостей цієї інформації предмет аналізу систем [7]. У зв'язку з цим методи опису структур систем ЦОС та процесів перетворення сигналів у них вимагають удосконалення, і як показує проведений аналіз літератури, мають резерви для розвитку.

Синтез сучасних мікропроцесорних систем керування передбачає розробку алгоритмів обробки сигналів, що отримуються з первинних вимірювальних перетворювачів. При цьому пряме використання відомих методів, що зазвичай застосовуються в аналогових системах керування, на цифрові системи іноді виявляється неефективним. Тому актуальним є завдання розвитку підходів до опису систем цифрової обробки сигналів та її окремих елементів, а також застосування алгоритмів цифрової фільтрації для покращення якості функціонування мікропроцесорних систем керування, збору та обробки інформації різного призначення.

Метою роботи є розробка з використанням правил формального опису елементів систем ЦОС та подання у вигляді графоаналітичних виразів структур цифрових нерекурсивних та рекурсивних фільтрів, відмінною особливістю яких є підвищений інформаційний зміст та зручність їх використання при програмній реалізації алгоритмів ЦОС.

Основна частина. Якщо вхідний сигнал підсистеми ЦОС розглядати як аргумент, а вихідний сигнал як функцію, то підсистема є деякою функціональною структурою. Таким чином, повний опис системи можна подати у вигляді функціональних структур, що взаємодіють, кожна з яких виконує перетворення вхідних аргументів. Якщо найпростішу схемну реалізацію фільтра ФНЧ першого порядку на основі одного елемента затримки $Z^{-1} \rightarrow \langle f_1(RSZ^{-1}) \rangle$ подати у вигляді регістра пам'яті та суматора $f_1(\Sigma)$, які записати у вигляді графоаналітичного виразу, представленого на рис. 1, а, тоді цей вираз з урахуванням процесу перетворення аргументів може бути записано у вигляді аналітичного виразу виду:

$$x(n) \rightarrow f(\text{Action}) \rightarrow y(n),$$

яке адекватно відображає процес перетворення аргументів і відповідає поняттю функціональної структури, за допомогою якої складаються прямий сигнал « $x(n)$ » та затриманий сигнал (або відлік) з виходу елемента затримки. Для функціональної структури регістру пам'яті «Action» являє собою затримку на один такт. Тоді, згідно з цією формою запису, елемент затримки Z^{-1} позначатиметься як « $f_1(RSZ^{-1})$ », суматор позначається як « $f_1(\Sigma)$ », і помножувач позначається як « $f_1(\Sigma_Z)$ », оскільки з математичної точки зору множення це багаторазове додавання. У цьому випадку видно, що у складі елемента затримки є RS-тригери. Цей тип тригерів є базовим для побудови

тригерів інших типів, зокрема D-тригерів. У свою чергу, на основі D-тригерів будуються регістри пам'яті, які використовуються при апаратній реалізації системи ЦОС. Таким чином, стає частково відомим внутрішній устрій елементів, з яких складається система ЦОС. Такі елементи в графоаналітичній моделі є «сірою скринькою». Нижній індекс в позначеннях відповідає порядковому номеру елемента структури цифрового фільтра.

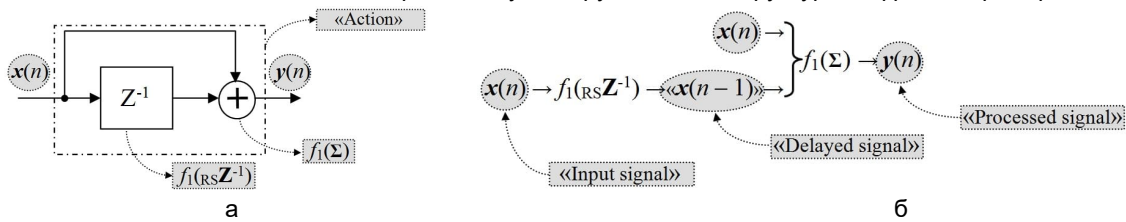


Рис. 1. Структура апаратної реалізації СІХ-фільтра (а) і графоаналітичний вираз, що описує функціональну структуру фільтра (б)

При аналітичному описі структур цифрових фільтрів вибір символу « Σ » математичного аналізу є досить вдалим, оскільки він включає зміст функціональної структури і може бути уточнений із застосуванням різних індексів і символів, які широко використовуються в науці.

Якщо структуру фільтра (рис. 1, а) подати у вигляді графоаналітичного виразу, то може бути сформовано аналітичний вираз функціональної структури фільтра, представлений на рис. 1 б, в якому над вхідним сигналом «Input signal» виконуються певні дії для отримання обробленого сигналу «Processed signal» $y(n)$.

Другий варіант побудови фільтра ФНЧ/ФВЧ першого порядку з одним полюсом представлений у вигляді структурної схеми на рис. 2.

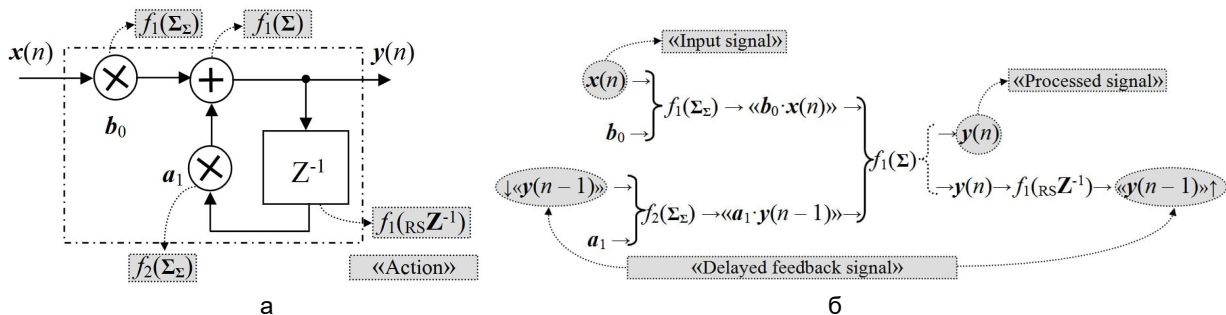


Рис. 2. Структура апаратної реалізації рекурсивного цифрового фільтра (а) та графоаналітичний вираз, що описує структуру фільтра (б)

У цій схемі фільтра з нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ) використовується зворотний зв'язок, за допомогою якого складаються прямий та затриманий сигнали. Для цієї схеми фільтра, якщо $a_1 > 0$ – це ФНЧ, якщо $a_1 < 0$ – це ФВЧ. Даний фільтр має полюс при $z = -a_1$ як у режимі ФВЧ, так і в режимі ФНЧ, фільтр має нуль при $z = 0$.

Якщо структуру фільтра (рис. 2, а) записати аналітично, то може бути сформовано графоаналітичний вираз функціональної структури, представлений на рис. 2, б, в якому вхідним є "Input signal" і "Delayed feedback signal", над якими виконуються певні дії для отримання обробленого сигналу "Processed signal" $y(n)$.

Запропонований підхід можна використовувати для синтезу структур цифрових фільтрів більш високих порядків. На рис. 3 представлений графоаналітичний опис цифрового НІХ-фільтра другого порядку (біквдратний фільтр). Напрямок передачі інформації позначається за допомогою стрілки ($\uparrow$). Вхідний інформаційний потік позначається стрілкою вниз ($\downarrow$).

Отримані графоаналітичні моделі було використано при розробці програмного забезпечення для мікроконтролера STM32 (STM32F411RE), який встановлено на платі Nucleo, у середовищі Keil uVision для перевірки їх коректності та повноти опису структур сцифрових фільтрів. Для реалізації алгоритмів цифрової обробки сигналів необхідно, щоб мікроконтролер працював на високій частоті. Налаштувати частоту тактових сигналів можна за допомогою середовища CubeMX. Коефіцієнти цифрового фільтра були заздалегідь розраховані з використанням методу зважування [2, 5]. Слід зазначити, що для роботи фільтра потрібен додатковий масив, розмір якого дорівнює порядку фільтра плюс розмір блоку даних мінус 1, тобто $\text{firStateF32}[\text{BLOCK_SIZE} + \text{NUM_TAPS} - 1]$. Сигнал, що містить дві компоненти – низькочастотну та високочастотну, згортається з імпульсною характеристикою цифрового фільтра нижніх частот. Після виконання програми в масиві буде відфільтрований сигнал.

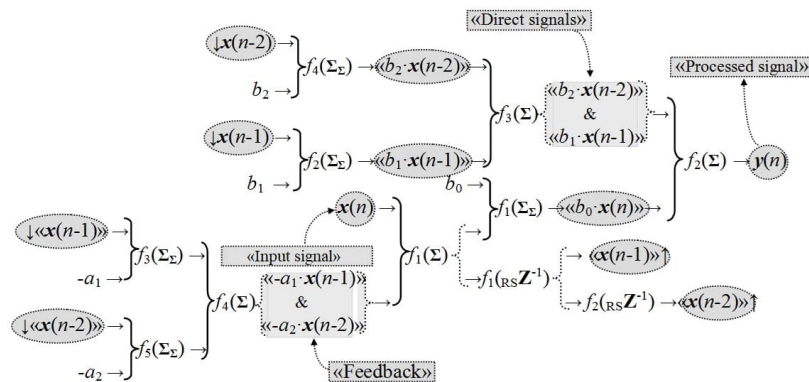


Рис. 3. Графоаналітичний вираз, що описує біквадратний фільтр

На рис. 4 представлено вікно логічного аналізатора в середовищі Keil uVision з сигналом до фільтрації та після неї.

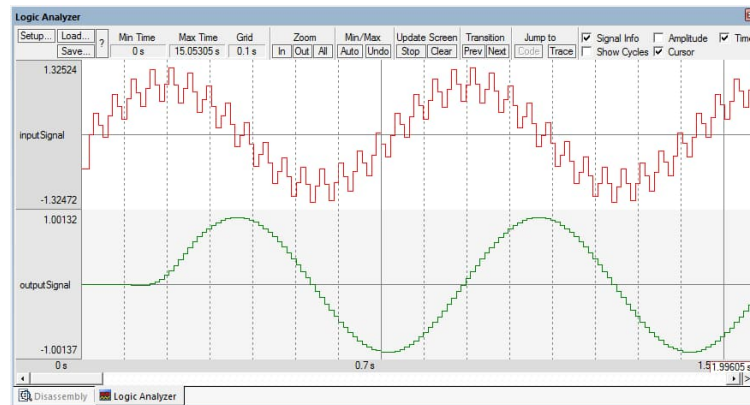


Рис. 4. Результат роботи програмно реалізованого цифрового фільтра нижніх частот

Операція згортки описує проходження сигналу через цифровий фільтр. Результатом згортки є відфільтрований сигнал, який містить лише низькочастотну складову.

Висновки. В роботі розглянуто підхід до опису структур цифрових фільтрів шляхом формування графоаналітичної форми запису процедури перетворення вхідних дискретних сигналів у функціональних структурах. Такий підхід дає змогу підвищити інформаційний зміст математичних моделей підсистем цифрової обробки сигналів та виконати аналіз системи ЦОС шляхом багаторівневої декомпозиції. У свою чергу, це дозволяє оцінити якість структури системи ЦОС та її елементів з позиції загального системного підходу, а також надає розробникам, разом з різницевиими рівняннями, додаткову інформацію, що спрощує програмну реалізацію цифрових фільтрів та тестування їх роботи. Практична цінність отриманих результатів також полягає у можливості використання описаного підходу для синтезу оптимізованих структур цифрових фільтрів.

Список використаних джерел

1. Ian Grout. Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs / Grout Ian // Newnes. 2008. P. 647-705.
2. Kehtarnavaz N. Digital signal processing system design: LabVIEW-Based Hybrid Programming / N. Kehtarnavaz. Academic Press, 2008. 344 p.
3. Sasa Nikolic. Realization of digital filters with complex coefficients / Nikolic Sasa, Stancic Goran, Cvetkovic Stevica // Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics. 2018. P. 25-38.
4. Zhao Jie. Modeling and Simulation of Digital Filter / Jie Zhao // In Proc. 4th National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (NCEECE 2015), December 12-13, Xi'an, China, 2015. P. 1333-1338.
5. Mefedova J. A. Development of a model to calculate the coefficients of digital IIR filter / J. A. Mefedova // International Research journal. 2016. Vol. 2, No. 4(46). P. 126-128.
6. Campbell St. L. Modeling and Simulation in Scilab/Scicos with ScicosLab 4.4. Second Edition / St. L. Campbell, J.-P. Chancelier, R. Nikoukhah. New York: Springer, 2010. 341 p.
7. Коваленко І.І. Вступ до системного аналізу: навч. посіб. / І. І. Коваленко, П. І. Бідюк, О. П. Гожий. Миколаїв: МДГУ ім. Петра Могили, 2004. 148 с.