

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК КРОВОТОКУ

Феч О.О., студентка

ardn@meta.ua

Осіпов Р.С., студент

roman.osipovvv@gmail.com

Козяр В. В., доц.

kozyarvasilij@gmail.com

Факультет біомедичної інженерії

Національний технічний університет

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

м. Київ, Україна

Реферат – Дана робота присвячена розробці програмно-апаратного комплексу для оцінки параметрів кровотоку в судинах на основі блоку аналогового доплерівського вимірювача швидкості кровотоку, мікропроцесора STM 321432 та середовища розробки NI LabVIEW. Актуальність роботи полягає у перспективі оптимізації морально застарілих засобів діагностичної техніки, що може створити умови для покращення рівня надання послуг з діагностики та для проведення досліджень в закладах освіти.

Ключові слова – ефект Доплера, швидкість кровотоку, доплерографія, віконне перетворення Фур'є, спектрограма, АЦП, цифрова обробка сигналів, мікропроцесорна техніка.

I. ВСТУП

Дослідження кровообігу людини, як складної біомеханічної системи, відкриває можливості для діагностики та прогнозування патологічних станів у кардіології. Але динамічний характер досліджуваних процесів, труднощі врахування всіх їх особливостей, сторонні впливи, обмежені можливості техніки ускладнюють діагностику. Актуальним є удосконалення систем детектування і обробки сигналів діагностичних приладів, що дасть змогу, оптимізуючи існуючі в медичних закладах, а також в закладах освіти, засоби, виявити особливості гемодинаміки і здійснити підтримку прийняття рішень в кардіології.

II. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Відомо, що спектр швидкостей в значній мірі залежить від характеру кровотоку в судині і його зміна в часі в різних фазах

серцевого циклу надає досліднику більш повну інформацію про стан судин, ніж значення середньої швидкості кровотоку [1].

Основою спектрального аналізу доплерівського звуку частот є швидке перетворення Фур'є, яке дозволяє зіставити безперервному сигналу його еквівалентне представлення в частотній області. Основне призначення перетворення Фур'є полягає у виділенні частоти регулярних складових сигналу. Але швидке перетворення Фур'є не здатне передати зміну частоти сигналу в часі, для подолання цього недоліку застосовують віконне перетворення Фур'є (STFT) [3], в якому застосовується операція множення сигналу на вікно перед безпосереднім застосуванням перетворення Фур'є:

$$STFT_f(\omega, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i\omega x}w(x - b)dx,$$

де $w(x - b)$ – вікно, локальна функція, яка зсувається вздовж часової осі для обчислення перетворення в декількох позиціях b .

У результаті отримують набір елементарних спектрів інтенсивність-частота, зміна яких у часі відображає зміну швидкості руху елементів крові у судинах. При цьому на екрані доплерівського приладу зміну спектру в часі зображують у вигляді двомірного графіка залежності доплерівського зсуву частот від часу, де інтенсивність сигналу кодують кольором.

Форма спектру надає інформацію про наявність аномалій та геометрію судини, склад крові, роботу серця. Так, розширення спектру вказує на тип потоку: організований потік має малий розкид швидкостей, вузький спектр; дезорганізований – виникає при турбулентності і викликає значне розширення спектру.

На кривій спектра доплерівського зсуву частот виділяють ряд характерних точок [2]. Максимальний підйом кривої відповідає піковій систолічній швидкості кровотоку. Діастолічній швидкості, що передуює наступному підйому, відповідає сама нижня точка кривої.

Оцінка характеристик спектральної кривої відбувається за якісними і кількісними показниками. До кількісних характеристик доплерівського спектра відносять значення швидкостей та індексів.

Найважливішими кількісними характеристиками доплерівського спектра [4] є: пікова систолічна швидкість, середня, кінцева діастолічна швидкості, систоло-діастолічний, пульсаторний індекси і індекс резистентності. Практичне значення вимірювання пікової систолічної швидкості в тому, що цей показник істотно змінюється при стенозах. Для багатьох судин встановлені його значення, що дозволяє відрізнити нормальний і патологічний кровоток і визначити орієнтовну ступінь стенозу. Середня швидкість залежить від способу виміру та, як правило, не має практичного значення і використовується в основному для розрахунку пульсаторного індексу і об'ємної швидкості кровотоку. Основне значення наведених вище індексів полягає в кількісній оцінці периферійного судинного опору.

Можливе вивчення і, при необхідності, обчислення ще більшого числа показників, однак, в повсякденній практиці вони не застосовуються.

III. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка програмно-апаратного комплексу на основі аналогового доплерівського вимірювача швидкості кровотоку для оцінки його характеристик з можливістю подальшої обробки отриманих даних.

IV. МАТЕРІАЛИ

Для обробки сигналу було запропоновано використовувати середовище розробки NI LabVIEW 2020. Моделювання та розробка схеми пониження напруги проводилося в середовищі розробки MicroCap 12 та DipTrace. Перевірка роботи друкованої плати проводилася з використанням PcLab2000LT. Для здійснення аналого-цифрового перетворення вхідного сигналу був використаний мікропроцесор STM 321432kcu.

V. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У зв'язку з потребою створення приладу спряження між вимірювачем швидкості кровотоку, що є аналоговим приладом, та розроблюваним програмним забезпеченням (рис.1) для аналізу спектру кровотоку, постає необхідність створити аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

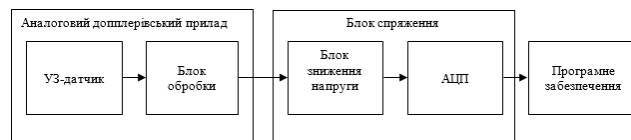


Рис. 1. Блок-схема розроблюваного програмно-апаратного комплексу

Оскільки вихідний сигнал приладу коливається в межах від -12 В до $+12$ В, а більшість АЦП працюють з сигналом від 0 В до 5 або 3 В, необхідно створити блок зниження напруги з можливістю налаштування діапазону вихідної напруги.

Електрична схема пониження напруги була створена в MicroCap 12 (рис.2).

Змінюючи номінали резисторів R5 і R6 можна регулювати діапазон вихідної напруги схеми. Дана схема представлена для одного каналу доплерівського приладу.

Діапазон напруги на виході від 0,7 В до 2,5 В (рис.3) при вхідній напрузі від -12 В до 12 В, що дасть змогу, за необхідності, використовувати АЦП, побудований на іншому мікропроцесорі, або, змінивши значення опорного сигналу, використати для оцифровки сигналу лінійний вхід звукової карти персонального комп'ютера.

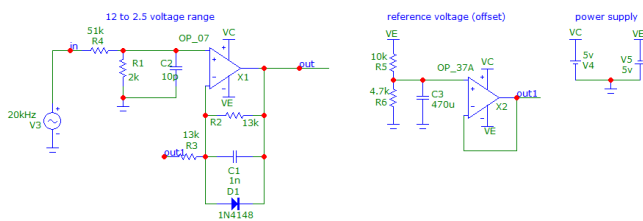


Рис. 2. Електрична схема пониження напруги

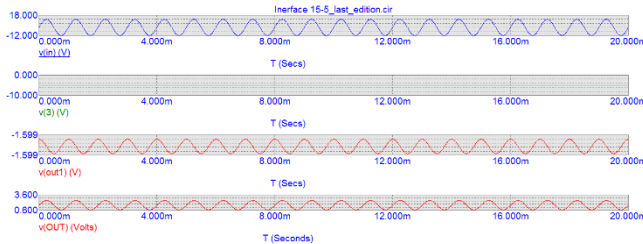


Рис. 3. Аналіз перехідних процесів у середовищі MicroCap 12, зверху вниз: вхідний сигнал 12 В, джерело -5 В, опорний сигнал 1,6 В, вихідний сигнал 2,5 В

За допомогою лінійної апроксимації побудованого графіку залежності напруги на виході схеми від напруги вхідного сигналу (рис.4), що був отриманий за допомогою функції Stepping в режимі аналізу перехідних процесів, було отримано вираз для розрахунку вихідної напруги:

$$y = -0,0755x + 2,5798,$$

де y – напруга на виході схеми, В;

x – напруга вхідного сигналу, В.

Загалом, зміні амплітуди вхідного сигналу на 1 В відповідає зміна амплітуди вихідного сигналу на 0,076 В.

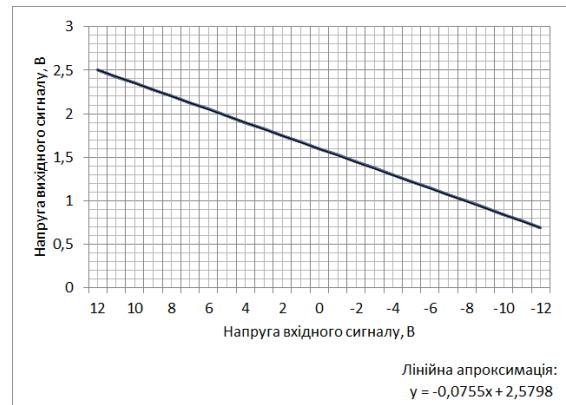


Рис. 4. Електрична схема пониження напруги

Для того, щоб оцінити роботу схеми, враховуючи допуски номіналів її елементів, був застосований аналіз Монте-Карло. При такому аналізі кожна схема моделюється з компонентів, параметри яких можуть приймати випадкове значення по певному закону розподілу у межах заданого допуску [5].

Налаштування, які були обрані виходячи з рекомендацій [6]: тип розподілу – worst case (генерує компоненти з 50% ймовірністю отримати мінімум і максимум параметру), кількість запусків – 300 разів, допуски номіналів – 1%. Допуски були задані відповідно до технічного опису обраних елементів за допомогою команди MODEL.

При встановленні допуску 1% діапазон амплітудних значень вихідної величини на гістограмі розподілу доволі вузький і обмежується проміжком від 2,42 В до 2,62 В (рис.5), візуально оцінити розкид значень вихідної величини можна з аналізу перехідних процесів (рис.6).

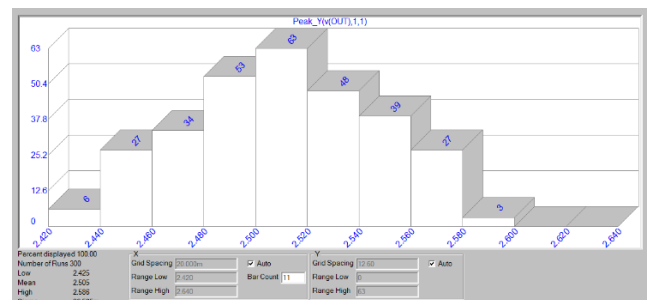


Рис. 5. Гістограма розподілу амплітудних значень напруги для аналізу Монте-Карло

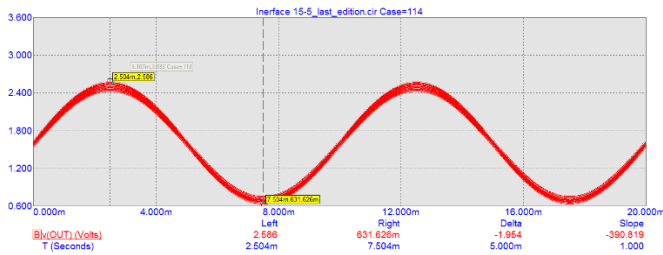


Рис. 6. Аналіз Монте-Карло для перехідних процесів

Принципова електрична схема була перенесена до середовища розробки DipTrace для подальшої розробки макету друкованої плати і її реалізації.

Перевірка функціонування виготовленої друкованої плати проводилась із використанням осцилографу PCSGU250, з генератору якого подавалися сигнали на один з вхідних каналів схеми: ступінчатий з напругою від -5 В до 5 В та частотою 100 Гц (рис.7), наростаючий з напругою від 0 В до 10 В та частотою 100 Гц (рис.8). Ціна поділки шкали 0,2 В.

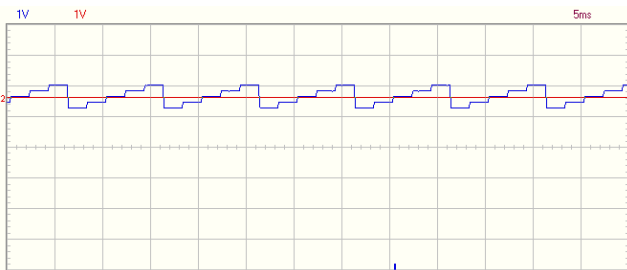


Рис. 7. Реакція схеми на ступінчатий сигнал: 1V – вихідна напруга, 2V – середня точка 1,6 В

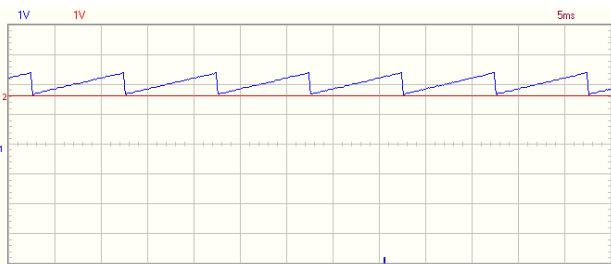


Рис. 8. Реакція схеми на наростаючий сигнал: 1V – вихідна напруга, 2V – середня точка 1,6 В

Отримані результати повторюють очікувані значення напруги на виході, отримані при моделюванні роботи електричної схеми в MicroCap 12 в режимі аналізу перехідних процесів Transient.

Обраний для реалізації АЦП мікропроцесор STM 321432 здатний оцифровувати аналоговий сигнал напругою до 3,3 В. Його основні характеристики наступні: живлення - від 1,71 В до 3,6 В, тип АЦП–

послідовного наближення, при роздільній здатності – 12 біт маємо 5,33 Msps (час дискретизації - до 18,75 нс), чого цілком достатньо для запланованої області застосування.

Для зчитування даних з мікроконтролера були застосовані об'єкти палітри віртуального інструменту VISA у середовищі розробки NI LabVIEW (рис.9).

Для дослідження спектру був створений тестовий віртуальний прилад, основу якого складає підприлад STFT (short-time Fourier transformation) Spectrogram, що здійснює віконне перетворення Фур'є [7], тобто розбиває вхідний сигнал на рівні проміжки, що відповідають ширині вікна, і здійснює перетворення Фур'є в кожному, таким чином надаючи можливість спостерігати зміну частоти та інтенсивності сигналу в часі. Підприлад повертає 2D-масив, що описує розподіл енергії сигналу в частотно-часовій області. Кожний рядок відповідає миттєвому спектру потужності в певний час.

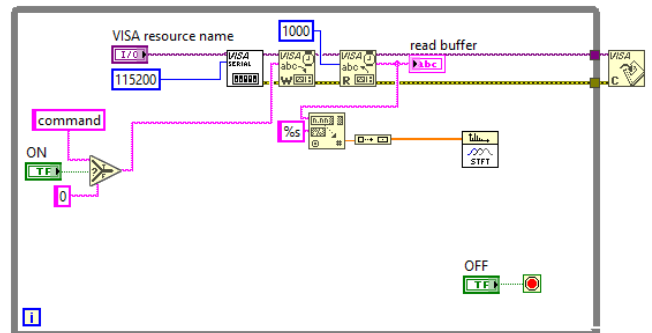


Рис. 9. Віртуальний підприлад зчитування даних з мікроконтролера

Результат демонструється у вигляді графіку залежності частота-час-інтенсивність, де інтенсивність кодується кольором на графіку Intensity Graph або на графіку 3D Mesh.

Створені блоки віртуального приладу дозволяють розраховувати швидкість (рис.10) і основні параметри кровотоку (рис.11) та виводити їх значення.

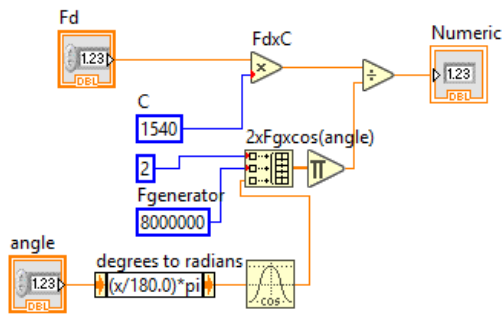


Рис. 10. Код для розрахунку швидкості

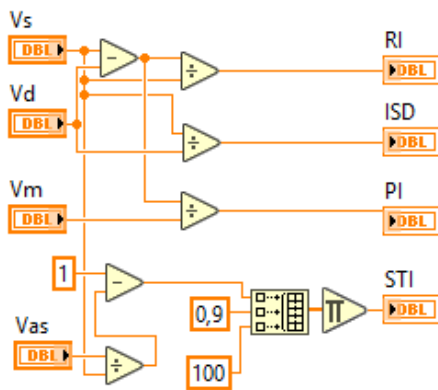


Рис. 11. Код для розрахунку індексів

Для перевірки роботи основного блоку з віконним перетворенням Фур'є використовувався сигнал зі змінною частотою, яка приймала значення від 1 Гц до 0,5 Гц (рис.12).

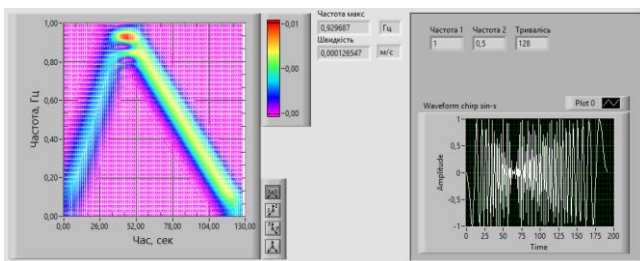


Рис. 12. Тестуванні коду з сигналом змінної частоти

При цьому варто зазначити, що стали очевидними основні недоліки віконного перетворення Фур'є, а саме: при обчисленні використовується фіксоване вікно, яке не може бути адаптоване до локальних властивостей сигналу [8], неможливість налаштувати одночасно високу роздільна здатність і за часом, і за частотою, виникнення принципу невизначеності Гейзенберга, в основі якого той факт, що неможливо сказати точно, яка частота присутня в сигналі в даний момент часу (можна говорити тільки про діапазон частот) і

не можливо сказати в який точно момент часу частота присутня в сигналі (можна говорити лише про період часу).

З усього вищесказаного можна зробити висновок, що подальша робота над програмним забезпеченням може включати в себе також створення блоку спектрального аналізу на основі вейвлет перетворення, яке долає проблему виникнення невизначеності Гейзенберга і, отже, може бути запропонованим до використання.

VI. ВИСНОВКИ

1. Спроекований програмно-апаратний комплекс розрахований на два канали для сигналів прямого і зворотного кровотоку доплерівського приладу та призначений для отримання спектру частот і здійснення подальших розрахунків основних швидкостей та індексів.

2. Основні складові програмно-апаратного комплексу наступні: блок аналогового доплерівського приладу, блок спряження, що складається зі схеми пониження напруги та АЦП на мікропроцесорі STM 321432кcu, програмне забезпечення в NI LabVIEW 2020.

3. Блок пониження напруги має наступні характеристики: коефіцієнт зниження напруги – 4,8; середня точка вихідного сигналу – 1,6 В; діапазон вихідних напруг – від 0,7 В до 2,5 В. Тестування блоку підтвердили результати моделювання схеми.

4. Моделювання роботи програмного забезпечення показало, що розроблений комплекс потребує подальшого вдосконалення і проведення тестування на прототипі реального сигналу або його моделі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Осипов Л.В. Ультразвуковые диагностические приборы. Режимы, методы и технологии/ Л.В. Осипов. - Москва: Изомед, 2011. – 316 с.
- [2] Маліков Антон Геннадійович. Застосування ефекту доплера для діагностики кінцівок людини: дис.магістра: 534-14/ Маліков Антон Геннадійович. – Київ, 2018. – 97 с.
- [3] Берестень Н.Ф., Цыпунов А.О. Допплеросонография периферических сосудов. Часть I (опыт применения УЗИ сканеров фирмы "Медисон" в скрининговых исследованиях)/ Н.Ф.Берестень, А.О.Цыпунов // SonoAce International. - 1999. - № 4. - с. 83-90.

- [4] Лаптев О.А. Порівняний аналіз методів розпізнавання сигналів радіозакладних пристроїв на основі частотних перетворень. / О.А. Лаптев // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2019. - № 3 (64). – с. 71-82.
- [5] Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версия 9,10. – Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. – 617 с., ил.
- [6] Micro-Cap 12 Electronic Circuit Analysis Program User's Guide, Twelfth Edition, June 2018. [Електронний ресурс] // Spectrum Software: [сайт]. - Режим доступу: spectrum-soft.com/download/ug12.pdf. – Назва з екрана.
- [7] Tatsuro Baba. Time-Frequency Analysis Using Short Time Fourier Transform./ Tatsuro Baba. // The Open Acoustics Journal. – 2012. - № 5. - p. 32-38.
- [8] П. Д. Лежнюк, О. О. Мірошник. Застосування перетворень Фур'є та вейвлетспектрограм для ідентифікації спотворень режимів роботи розподільних мереж 0,38/0,22 кВ. / П. Д. Лежнюк, О. О. Мірошник. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2015. - № 1. – с.71-79.

УДК 612.15, 004.31

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК КРОВОТОКА

Феч О.О., студентка

ardn@meta.ua

Осинов Р.С., студент

roman.osipovvv@gmail.com

Козяр В. В., доцент

kozyarvasilij@gmail.com

Факультет биомедицинской инженерии

Национальный технический университет

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

м. Киев, Украина

Реферат – Данная работа посвящена разработке программно-аппаратного комплекса для оценки параметров кровотока в сосудах на основе блока аналогового доплеровского измерителя скорости кровотока, микропроцессора STM 321432kcu и среды разработки NI LabVIEW. Актуальность работы заключается в перспективе оптимизации морально устаревших средств диагностической техники, что может создать условия для улучшения уровня предоставления услуг по диагностике и для проведения исследований в учебных заведениях.

Ключевые слова – эффект Доплера, скорость кровотока, доплерография, оконное преобразование Фурье, спектрограмма, АЦП, цифровая обработка сигналов, микропроцессорная техника.

UDC 612.15, 004.31

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR ASSESSMENT OF BLOOD FLOW CHARACTERISTICS

O. Fech, student

ardn@meta.ua

R. Osipov, student

roman.osipovvv@gmail.com

V. Kozyar., docent

kozyarvasilij@gmail.com

Faculty of Biomedical Engineering

National Technical University

"Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"

Kiev, Ukraine

Abstract - The work is devoted to the development of software and hardware for estimating blood flow parameters in vessels based on the block of analog Doppler blood flow meter, microprocessor STM 321432kcu and development environment NI LabVIEW. The urgency of the work lies in the prospect of optimizing obsolete diagnostic equipment, which can create conditions for improving the level of diagnostic services and for research in educational institutions.

Key words – Doppler effect, blood flow velocity, Doppler sonography, Short-time Fourier transformation, spectrogram, ADC, digital signal processing, microprocessor technology.