МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАВЧАЛЬНО–НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра комп`ютерної фізики

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

«Розробка універсального ЦАП/АЦП з Web інтерфейсом»

Виконав: студент 2 курсу, групи НФ-64
Фоменко А. В.
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма: комп`ютерна фізика
Керівник: кандидат фізико-математичних наук, доцент Сухов Р.В.

Рецензент:

Харків – 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра комп'ютерної фізики
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність: 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма: Комп'ютерна фізика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Костянтин НЄМЧЕНКО
підпис

"_____" _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Фоменко Артема Вікторовича

1. Тема роботи «Розробка універсального ЦАП/АЦП з Web інтерфейсом»

керівник роботи Сухов Руслан Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент

затверджені наказом по університету від 10 лютого 2021 № 0210 – 05/374

2. Строк подання студентом роботи 12 травня 2021 р.

3. Перелік питань, які потрібно розглянути:

1. Аналіз сильних сторін та недоліків програмно-апаратних рішень за темою дипломної роботи, що існують.

2. Формулювання мети та завдань дипломної роботи

3. Добір та опис теоретико-методологічних засад, необхідних для досягнення мети та реалізації завдань дипломної роботи.

4. Аналіз сучасної електронної номенклатури та мікроконтролерної техніки, добір елементної бази

5. Створення апаратної частини прототипу пристрою.

6. Створення архітектури програмної частини.

7. Створення прототипу пристрою.

4.План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Літературний огляд за темою дипломної роботи, аналіз рішень, що існують. Написання першого розділу диплома.
2	Аналіз теоретичних засад, необхідних для виконання диплому. Написання другого розділу диплома.
3	Добір елементної бази для реалізації дипломного завдання.
4	Написання програмного забезпечення для мікроконтролерної частини.
5	Написання третього розділу диплома.
6	Сформулювати висновки дипломної роботи

5. Дата видачі завдання « »_____2021 р

Студент _____ Артем ФОМЕНКО
підпис

Керівник роботи _____ Руслан СУХОВ
підпис

РЕФЕРАТ

Фоменко Артем Вікторович «Розробка універсального ЦАП/АЦП з Web інтерфейсом»

Кваліфікаційна робота магістра з прикладної фізики.

Дипломна робота представлена на 30 сторінках; складається з вступу, 3 розділів та висновків; містить 11 рисунків, список використаної літератури з 20 найменувань.

Мета даної роботи – розробка програмно-апаратного комплексу для універсального ЦАП/АЦП з Web інтерфейсом.

Об’єкт дослідження – фільтри із скінченою імпульсною характеристикою

В ході виконання роботи було розроблено програмно-апаратний комплекс для універсального ЦАП/АЦП з Web інтерфейсом. Програмно-апаратний комплекс пройшов апробацію та продемонстрував ефективність програмних технологій

Предмет дослідження – теорія створення цифрових фільтрів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МІКРОКОНТРОЛЕР, ФІЛЬТРАЦІЯ ДАНИХ, ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

РЕФЕРАТ

Фоменко Артем Викторович «Разработка универсального ЦАП / АЦП с Web интерфейсом»

Квалификационная работа магистра прикладной физики.

Дипломная работа представлена на 30 страницах; состоит из вступу, 3 глав и выводов; содержит 11рисунков, список использованной литературы из 20 наименований.

Цель данной работы - разработка программно-аппаратного комплекса для универсального ЦАП / АЦП с Web интерфейсом.

Объект исследования - фильтры с конечной импульсной характеристикой.

В ходе выполнения работы был разработан программно-аппаратный комплекс для универсального ЦАП / АЦП с Web интерфейсом. Программно-аппаратный комплекс прошел апробацию и продемонстрировал эффективность программных технологий.

Предмет исследования - теория создания цифровых фильтров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ФИЛЬТРАЦИЯ ДАННЫХ, ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС, АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

ABSTRACT

Fomenko Artem Viktorovich "Development of a universal DAC / ADC with a Web interface"

Qualification work of the master of applied physics.

Thesis is presented on 30 pages; consists of an introduction, 3 chapters and conclusions; contains 11 figures, a list of references from 20 items.

The purpose of this work is to develop a software and hardware complex for a universal DAC / ADC with a Web interface.

The object of study - filters with a finite pulse response.

During the work, a software and hardware complex for a universal DAC / ADC with a Web interface was developed. The software and hardware complex has been tested and demonstrated the effectiveness of software technologies.

The subject of research is the theory of creating digital filters.

KEY WORDS: MICROCONTROLLER, DATA FILTRATION, SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX, ANALOG-DIGITS CONVERTERS

ЗМІСТ

ВСТУП……..9
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ……11
1.1 Причини створення та опис пристрою……11
1.2 Аналоги пристроїв……14
2.ПІДБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ……17
1.3 Фільтрація отриманих даних з АЦП……17
2.2 Мікроконтролер та мова для написання програми……..19
3. РОЗРОБКА БАГАТОКАНАЛЬНО ЦАП/АЦП……..19
3.1. Схематичні рішення……21
3.2. Цифрова фільтрация аналогових сигналів……22
3.3. Апробація цифрового фільтра……25
Висновок……28
Список використаних джерел……29

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА АБРЕВІАТУР

ЦП – центральний процесор

МК – мікроконтролер

АЦП – аналого-цифрові перетворювачі

ЦАП – цифро-аналогові перетворювачі

НІХ - нескінчена імпульсна характеристика

СІХ - скінчена імпульсна характеристика

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ВСТУП

Актуальність. В сучасних реаліях точність та актуальність даних під час експерименту є запорукою правильних результатів, а в наслідок, і правильних висновків з цього експерименту. Для отримання вчасних наукових даних експериментатору необхідні сучасні дослідницька техніка та методики. Під час проведення експерименту необхідно контролювати велику кількість параметрів та своєчасно втрутитись або вплинути на хід самого експерименту. Іншими словами, для проведення будь-якого сучасного фізичного експерименту нам необхідно збирати дані з великої кількості датчиків фізичних величин, і в залежності від отриманих результатів експериментатор ланцюгами зворотного зв'язку повинен керувати експериментом.

Окремо потрібно сказати, що сучасні фізичні експерименти зазвичай проводять дистанційно або напівдистанційно. Експериментатор не повинен знаходиться поряд з установкою, що економить не тільки цінний час, а й є передумовою більш безпечного експерименту, не втрачаючи повний контроль. Сучасна комерційна техніка подібного зразку має велику вартість та є дуже вузького напрямку дослідження, що не дає можливості використовувати під час більшості експериментів.[1] Тому фунціонал нашого пристрою повинен бути якомога ширший, сучасний та гнучкий. Новизна даної роботи полягає в тому, щоб створити пристрій більш доступний для вітчизняних науковців у плані вартості, а також більш функціональним та універсальним у використанні.

У ході виконання дипломної роботи були поставлені та розв'язані наступні питання:

– Аналіз літератури ;

– Визначення недоліків та сильних сторін подібних програмно-апаратних рішень;

– Були зібрані необхідні теоретико-методологічні засади;

– Створено схему апаратної частини прототипу пристрою;

– Створення архітектури програмної частини;

- Створення робочого пристрою
- Тестування робочого зразку;

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Причини створення та опис пристрою

Мікроконтролер являє собою мікросхему, яка використовується для управління електронними пристроями. У типовому мікроконтролері є функції і процесора, і периферійних пристроїв, а також міститься оперативна пам'ять і / або ПЗУ (постійний запам'ятовуючий пристрій). Якщо говорити коротко, то мікроконтролер - це комп'ютер, що функціонує на одному кристалі, який здатний виконувати відносно нескладні операції. Мікроконтролери широко використовуються в обчислювальній техніці (процесори, материнські плати, контролери дисководів, накопичувачі HDD / FDD тощо), побутової електроніки (пральні машини, мікрохвильові печі, телефони), в промисловості і т.п. Мікроконтролери використовуються для автоматизації у вбудованих додатках. [2] Основна причина величезної популярності мікроконтролерів є їхня здатність зменшити розмір і вартість виробу або конструкції, в порівнянні з дизайном, який є будувати за допомогою окремого мікропроцесора, пам'яті і пристроїв введення / виводу.

Сфера їх використання постійно розширюється. Мікроконтролери застосовуються в різних механізмах і пристроях. Основними сферами його застосування є:

-Авіаційна промисловість.

-Робототехніка.

-Промислове обладнання.

-Залізничний транспорт.

-Автомобілі.

-Електронні дитячі іграшки.

-Автоматичні шлагбауми.

-Світлофори.

-Комп'ютерна техніка.

-Електронні музичні інструменти.

-Засоби зв'язку.

-Системи управління ліфтами.

-Медичне обладнання.

-Побутова техніка.

Прикладом можна розглянути використання мікроконтролерів в автомобільній електроніці. У деяких автомобілях Пежо вбудовано 27 різних мікроконтролерів. В елітних моделях БМВ застосовується більш 60 таких пристроїв. [3] Вони контролюють жорсткість підвіски, впорскування палива, роботу приладів освітлення, склоочисників, склопідйомників і інших механізмів.

Насправді, на відміну від допоміжних девайсів, у мікроконтролерів немає якоїсь стандартизованої класифікації, через що їх види, найчастіше, поділяють за такими параметрами:

- Кількості аналогових і цифрових пінів.
- Загальної кількості пінів.
- Кількості ядер, які присутні в мікроконтролері.
- Швидкості виконання операцій.
- Об'єму оперативної і постійної внутрішньої пам'яті.
- Розмірами.

Залежно від зміни тих чи інших параметрів, можна розрахувати підключення навантаження до мікроконтролеру і підібрати пристрій, який ідеально підходить до конкретного проекту, як за характеристиками, так і за функціоналом.

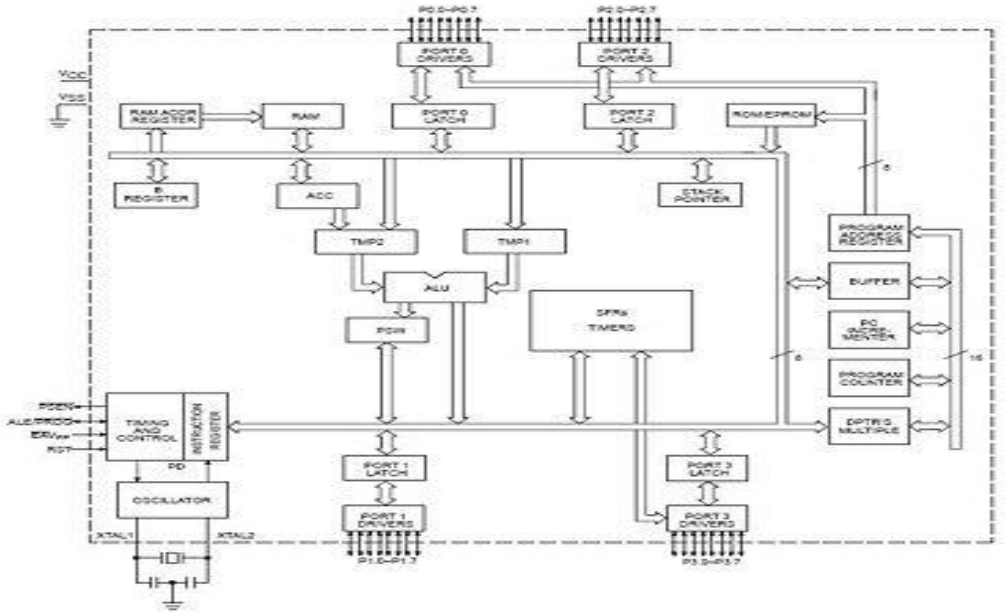


Рис.1.1 Типовий мікроконтролер

Також мікроконтролери мають такі функції, як вбудований мікропроцесор, ОЗУ, ПЗУ, послідовні інтерфейси, паралельні інтерфейси, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) і ін. (Рис.1.1). [4] Це дозволяє легко будувати додатки навколо нього. Крім того, середовище програмування мікроконтролерів надає широкі можливості для контролю різних типів додатків на їх вимогу.



Рис 1.2. АЦП

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) являє собою пристрій для автоматичного декодування вхідних величин, представлених числовим

кодами, в еквівалентні їм значення заданої фізичної величини. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) рис.1.2. являє собою пристрій для автоматичного перетворювання безперервно змінюваних з часом аналогових величин в еквівалентні значення числового коду. [5] В сучасному цифровому світі необхідність ЦАП/АЦП не має сумнівів, вони утворюють клас перетворювачів форми інформації, що широко застосовуються в різних сферах людської діяльності. Наприклад, для проведення наукових експериментів або виробництва «розумних» гаджетів. Також широко використовуються у промисловості у якості систем тестування, збору та обробки отриманої інформації, корегування параметрів і характеристик виробів, аналізу сигналів та їх синтезу і т.д. Також, не слід забувати про промисловість, де оновлення та модернізація обладнання підвищує ефективність виробництва. [6] Тому власники промислових підприємств завжди зацікавлені у новітніх виробах чи розробках. Взяти для прикладу, заміну систем управління на більш автоматизований, де не буде впливати людських фактор.

1.2 Аналоги пристроїв.

Мікропроцесор містить функціонал комп'ютерного центрального процесора, або ЦП на одному напівпровідниковому кристалі. За своєю суттю - це мікрокомп'ютер, який використовується для виконання арифметичних і логічних операцій, управління системами, зберігання даних і інших. Мікропроцесор обробляє дані, що надходять з вхідних периферійних пристроїв і передає оброблені дані на вихідні периферійні пристрої.[17]

Головною відмінністю від мікроконтролера є те, що всі опорні пристрої, такі як постійний запам'ятовуючий пристрій, оперативна пам'ять, таймер, послідовний інтерфейс, порти введення / виводу не є вбудованими. [7] Тому не виникає необхідність створювати інтерфейси з цими допоміжними пристроями, і це не тільки витрачає багато часу для розробника системи, а й є більш дорожчим.

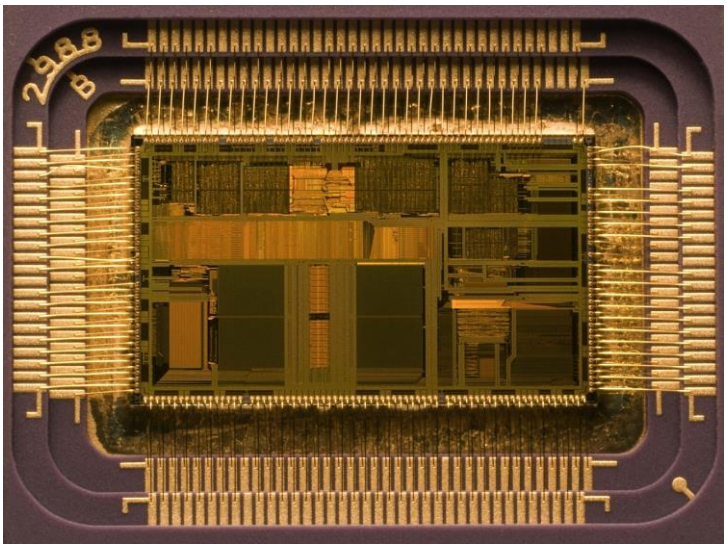


Рис 1.3 Мікропроцесор [16]

	Мікропроцесор	Мікроконтролер
Пристрій	Містить центральний процесор, регістри загального призначення, покажчики стека, лічильники програми, таймер і ланцюги переривань	Містить схему мікропроцесора і має вбудовані ПЗУ, ОЗУ, пристрої введення / виводу, таймери і лічильники.
Пам’ять даних	Має багато інструкцій для переміщення даних між пам'яттю і процесором	Має одну-дві інструкції для переміщення даних між пам'яттю і процесором.
Електричні ланцюги	Висока складність	Проста складність
Витрати	Великі	Набагато менші
Число регістрів	Має меншу кількість, операції в основному проводяться в пам’яті	Має більше число регістрів, тому простіше писати програми
Запам'ятовуючий пристрій	Засноване на архітектурі фон Неймана. Програма та дані зберігаються в тому ж модулі пам'яті.	Засноване на Гарвардській архітектурі. Програми та дані зберігаються в різних модулях пам'яті
Час доступу	Час доступу до пам'яті і пристроїв введення/ виводу більше.	Менший час доступу для вбудованої пам'яті і пристроїв введення/ виводу.

Таблиця №1

З таблиці №1 можна зробити висновок, що для виконання нашої задачі ми будемо використовувати мікроконтролер. Завдяки особливостям мікроконтролера ми зможемо зменшити вартість, розміри і фунціонал нашого пристрою.

Подібні до поставленої задачі мікроконтролери існують, але мають велику кількість недоліків та є вузькими у своїх напрямках діяльності. Розглянемо цікавіші з них.[8]

- Мікроконтролер ESP8266 на базі DeviceHive.

  Плюси: маленька вартість, простота написання коду;

  Мінуси: велике енергоспоживання, слабкий сигнал, маленька обчислювальна потужність, маленький об’єм пам’яті.

- Мікроконтролер Synergy на базі ARM Cortex-M4.

  Плюси: велика обчислювальна потужність, потужний сигнал, захист пам’яті, аппаратна діагностика;

  Мінуси: велика вартість, велике енергоспоживання, більш складний у написанні коду.

- Мікроконтролер Atmega88 на базі ENC28J60

  Плюси: велика обчислювальна потужність, гарний сигнал, простота написання коду;

  Мінуси: велика вартість, схема web-інтерфейса дуже сильно нагрівається, велике енергоспоживання.

Представлені методи рішення завдання мають багато недоліків, та є не «гнучкими» у плані роботи та доступними.

2 ПІДБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

2.1 Фільтрація отриманих даних з АЦП

Фільтри - це частотно-виборчі пристрої, які пропускають або затримують сигнали, що лежать в певних смугах частот. До 60-х років для реалізації фільтрів застосовувалися, в основному, пасивні елементи, тобто індуктивності, конденсатори і резистори. Основною проблемою при реалізації таких фільтрів виявляється розмір котушок індуктивності (на низьких частотах вони стають занадто громіздкими). З розробкою в 60-х роках інтегральних операційних підсилювачів (ОУ) з'явився новий напрям проектування активних фільтрів на базі ОУ. В активних фільтрах застосовуються резистори, конденсатори і підсилювачі (активні компоненти), але в них немає котушок індуктивності.[17] Надалі активні фільтри майже повністю замінили пасивні. Зараз пасивні фільтри застосовуються тільки на високих частотах (вище 1 МГц), за межами частотного діапазону більшості ОУ широкого застосування. Але навіть у багатьох високочастотних пристроях, наприклад в радіопередавачах і приймачах, традиційні пасивні LCR-фільтри замінюються кварцовими фільтрами і фільтрами на поверхневих акустичних хвилях.

Зараз у багатьох випадках аналогові фільтри замінюються цифровими. Робота цифрових фільтрів забезпечується, в основному, програмними засобами, тому вони виявляються значно більш гнучкими в застосуванні в порівнянні з аналоговими. [9] За допомогою цифрових фільтрів можна реалізувати такі передавальні функції, які дуже важко отримати звичайними методами. Проте, цифрові фільтри поки не можуть замінити аналогові у всіх ситуаціях, тому зберігається потреба в найбільш популярних аналогових фільтрах - активних RC-фільтрах.

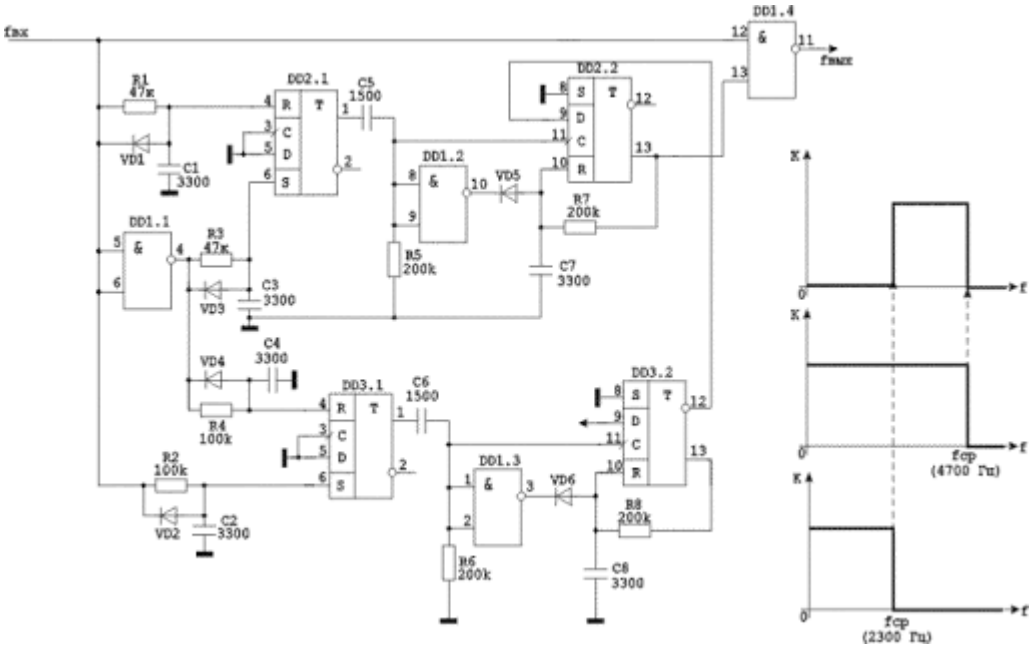


Рис. 2.1. Типовий цифровий фільтр

Щоб отримувати більш точні дані, та чіткіший сигнал необхідно, щоб в нашому пристрою був присутній цифровий фільтр. Він дешевший за аналоговий, гнучкіший до зміни налаштувань, компактний та більш точний. Існують два види цифрових фільтрів із скінченою імпульсною характеристикою та з нескінченою імпульсною характеристикою.[10]

Фільтри із скінченою імпульсною характеристикою (СІХ) може легко досягати строгих лінійних фазових характеристик при забезпеченні амплітудних характеристик. У цифровому фільтрі найбільш важливою особливістю СІХ-фільтра є відсутність петлі зворотного зв'язку, тому немає проблеми нестабільності, в той же час, хоча амплітудні характеристики можуть бути довільно встановлені, забезпечується точна лінійна фаза. Стабільна і лінійна фаза - це видатні переваги СІХ-фільтрів. Крім того, він має такі характеристики: метод проектування є лінійним, апаратні засоби прості в реалізації, процес переходу фільтра має обмежений інтервал, в порівнянні з фільтром НІХ порядок вище, а затримка набагато більше, ніж у фільтра НІХ з тією ж продуктивністю.

Фільтри із нескінченою імпульсною характеристикою (НІХ) - лінійний електронний фільтр, який використовує один або більше своїх виходів в якості входу, тобто утворює зворотний зв'язок. Основною властивістю таких фільтрів є те, що їх імпульсна перехідна характеристика має нескінченну довжину в тимчасовій області, а передавальна функція має дрібно-раціональний вид. [11] Такі фільтри можуть бути як аналоговими так і цифровими.

На відміну від НІХ-фільтрів, СІХ-фільтри завжди є стійкими.

2.2 Мікроконтролер та мова для написання програми

Для написання програми на мікроконтролері був вибір між двома най розповсюдженими програмами на них це С та Асемблер.

С і сьогодні є популярною мовою мікроконтролерів, хоча він був розроблений на початку 1970-х років. Для використання з мікроконтролерами мову С добре працює, тому що він здатний обробляти виділення пам'яті, а також виконувати щодо складні функції, такі як оператори if, цикли і математичні вирази.[12]

Асемблер пропонує альтернативу С з декількома перевагами. Асемблер - це старіша мова, яку часто використовує код, який перетворюється за допомогою службової програми. Використовуючи цю мову, розробник отримує прямий доступ до процесора, де процедури можуть бути ретельно налаштовані для точного часу застосування.[13] Асемблер пропонує краще використання процесора, а також додаткові набори інструкцій, які С не підтримує, такі як бітові маніпуляції з конкретними інструкціями.

Проте основні переваги Сі перед асемблером такі як: висока швидкість розробки програм; універсальність, яка не потребує досконального вивчення архітектури мікроконтролера; найкраще документовані; наявність бібліотек функцій; підтримка обчислень з плаваючою точкою схиляють вибір на користь С.

Мікроконтролер був обраний 32-битний мікроконтролер stm32f407vg (Рис.2.2) виробництва STMicroelectronics поєднують високу продуктивність і рекордно низьке споживання у всіх режимах роботи. Ці мікроконтролери розширюють вибір споживача, допомагаючи створювати максимально оптимізовані додатки. Низька ціна дозволяє їм бути доступним кожному користувачеві.

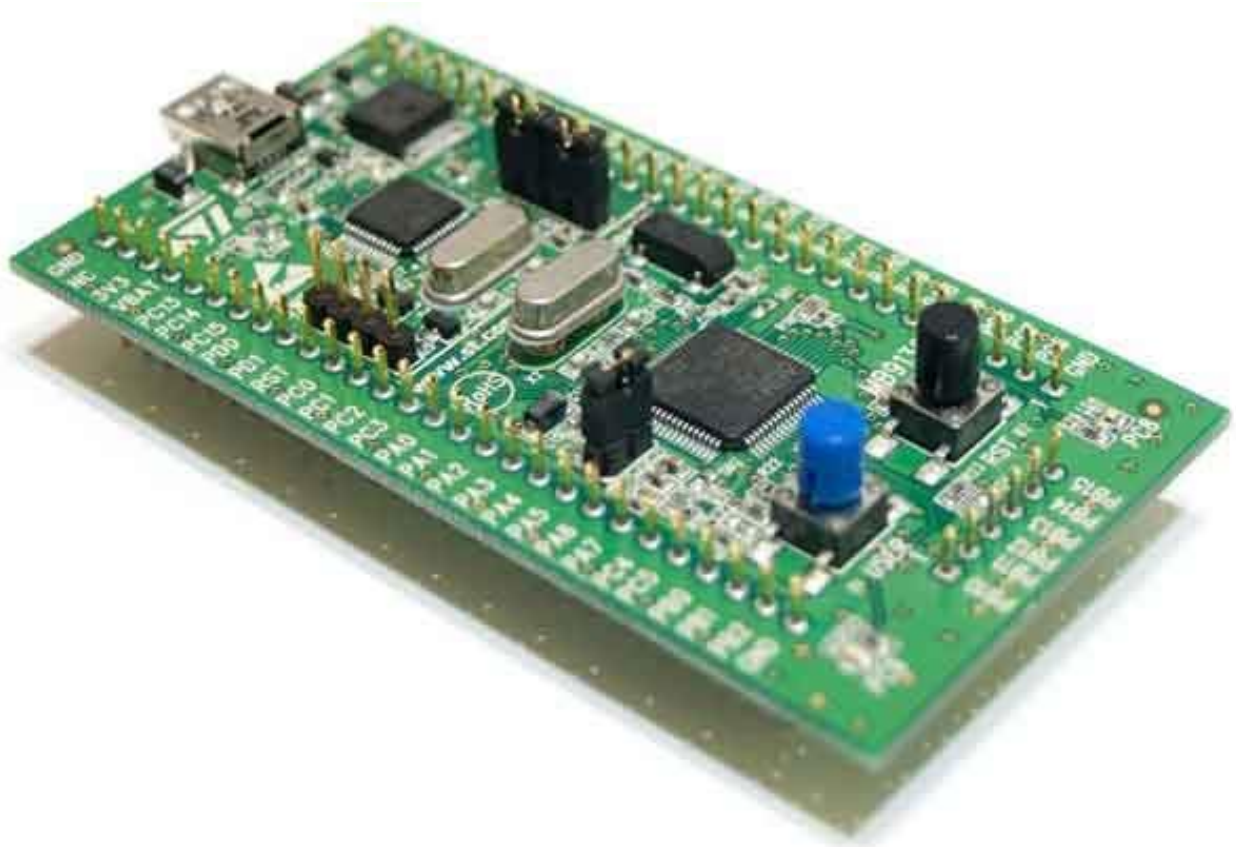


Рис 2.2 Мікроконтролер stm32f407vg

3 РОЗРОБКА БАГАТОКАНАЛЬНО ЦАП/АЦП

3.1. Схематичні рішення

Розроблений програмно-апаратний комплекс має 8 незалежних каналів АЦП. При цьому діапазон вхідних напруг і частоту оцифровки оператор має можливість налаштовувати програмним чином. Система дуже гнучка. Типова схема каналу АЦП наведена на рис. 3.1..

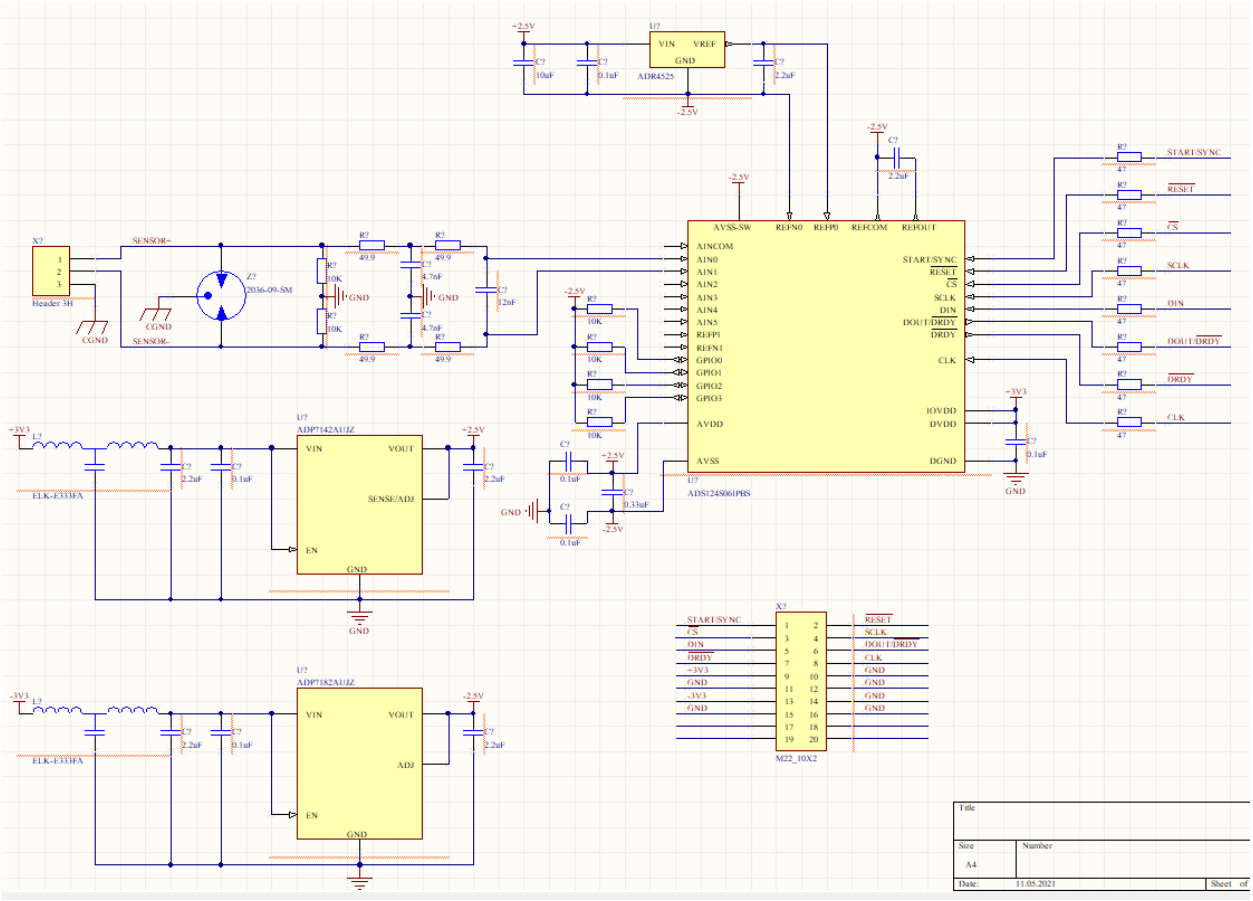


Рис. 3.1. Схема каналу АЦП

В якості елемента, використовуваного для аналогово-цифрових перетворень, обраний АЦП ads124s06. Дана мікросхема має характеристики, достатні для реалізації висунутих вимог в плані точності і швидкості оцифровки аналогових значень. В якості керуючого микроконтролера обран

32-бітный мікроконтролер stm32f407vg с ядром Cortex-M4. Два канала ЦАП мікроконтролера використовується як ЦАП канали розробленого пристрію.

Архітектура і обчислювальна потужність даного мікроконтролера дозволяє поряд з функціональністю ЦАП / АЦП розгорнути на його основі Web-сервер, доступ до якого здійснюється користувачем за протоколом http.

У Web-інтерфейсі браузера користувач має наступні можливості:

• настройка параметрів IP мереж;

• активація / деактивація каналів ЦАП / АЦП;

•конфігурація каналів АЦП окремо (частота семплірованія, підключення і конфігурування цифрових фільтрів)

3.2. Цифрова фільтрация аналогових сигналів

Для активного шумопоглинання в аналогових сигналах, отриманих з АЦП, в роботі використовуються цифрові фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою. Реалізовано чотири типи фільтрів: фільтр високих частот, фільтр низьких частот, режекторний і смуговий фільтри. Як приклад наведемо результат роботи смугового цифрового фільтра на одному з каналів АЦП.

В якості тестових виберемо наступні технічні вимоги до результатів роботи фільтра:

Fp1 = 400; % Гц, нижня гранична частота смуги пропускання

Fp2 = 800; % Гц, верхня гранична частота смуги пропускання

Fs1 = 300; % Гц, нижня гранична частота смуги затримування

Fs2 = 900; % Гц, верхня гранична частота смуги затримування

Ft = 8000; % Гц, частота дискретизації

Ap = 1; % Дб, нерівномірність передачі в смузі пропускання

As = 60; % Дб, мінімальне ослаблення в смузі затримування

Tt = 1 / Ft; % Сек, період дискретизації

Fc1 = (Fp1 + Fs1) / 2 = 350; % Гц, нижня частота зрізу

Fc2 = (Fp2 + Fs2) / 2 = 850; % Гц, верхня частота зрізу

В процесі написання дипломної роботи були реалізовані цифрові фільтри з вікном Кайзера і за алгоритмом Паркса- Макклелан. На рис. 3.2 і 3.3 приведені АЧХ обох фільтрів відповідно.

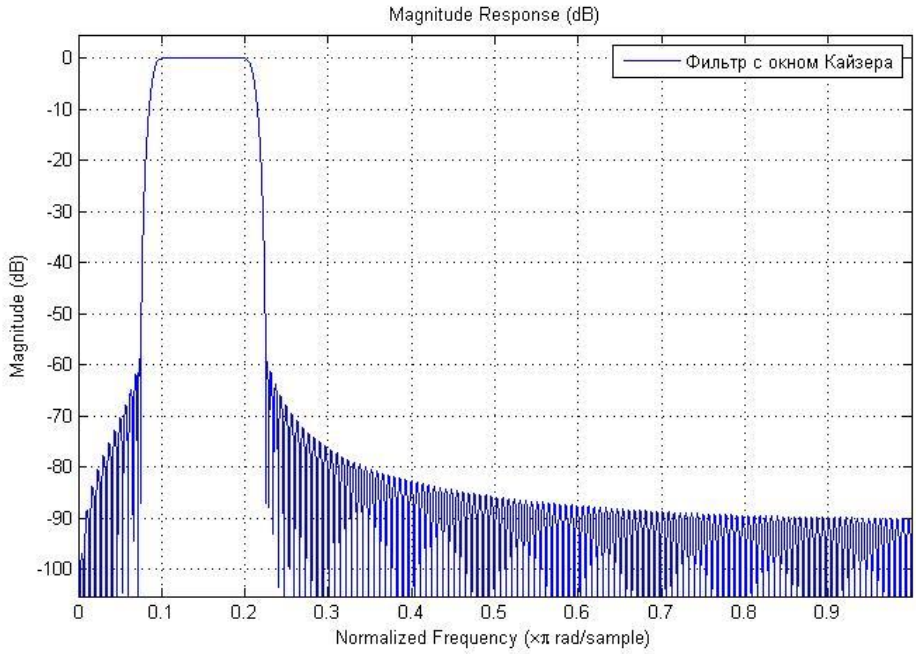


Рис.3.2. АЧХ смугового фільтра с окном Кайзера

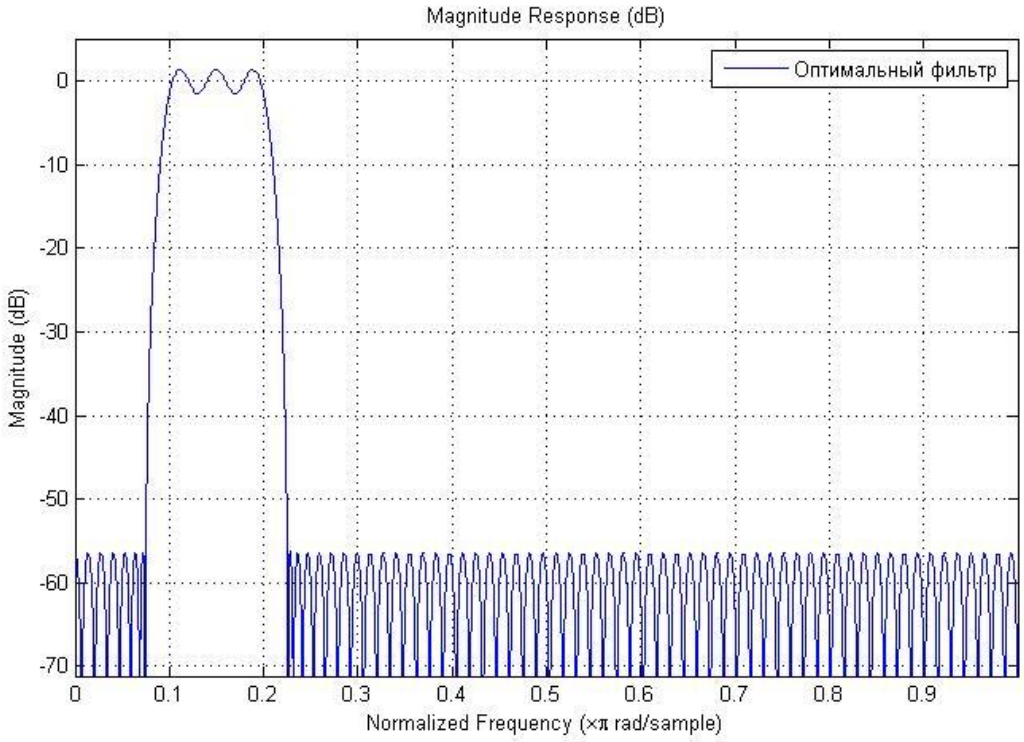


Рис.3.3. Оптимальный фільтр

При цьому порядок фільтру з вікном Кайзера становить 291. Фільтр, реалізований за алгоритмом Паркса-Макклелан має менший порядок, рівний 141. Так як трудомісткість математичних розрахунків пропорційна порядку фільтру, то ми робимо висновок, що при інших рівних умовах другої фільтр вимагає менше процесорного часу для розрахунків.

Розглянувши АЧХ фільтра з вікном Кайзера. Видно, що мінімальне ослаблення в смузі затримування не відповідає необхідної специфікації.

Нерівномірність смуги пропускання, у отриманого оптимального фільтра, виходить за межі вимог. Мінімальна ослаблення в смузі затримування також не відповідає заданій специфікації фільтра.

Так як обидва фільтри не задовольняють висунутим вимогам, то збільшуємо порядок до 151. Тепер фільтр задовольняє умовам нерівномірності в смузі пропускання і мінімального послаблення в смузі затримування.

Необхідно відзначити, що подібного роду підстроювання порядку фільтра здійснюється програмним забезпеченням мікроконтролера «на льоту».

Виходячи зі сказаного вище, для кінцевої реалізації нами обраний фільтр за алгоритмом Паркса-Макклелан.

3.3. Апробація цифрового фільтра

Коректність роботи спроектованого фільтра перевіряємо на наступних аналоговых сигналах:

- синусоїдальний сигнал частотою 600 Гц (даний сигнал знаходиться в смузі пропускання);
- синусоїдальний сигнал частотою 2000 Гц (даний сигнал знаходиться за межами смуги пропускання);
- суперпозиція двух сигналів, згаданих вище.

На рис. 3.4 показанірезультати фільтрації сигналу частотой 600 Гц.

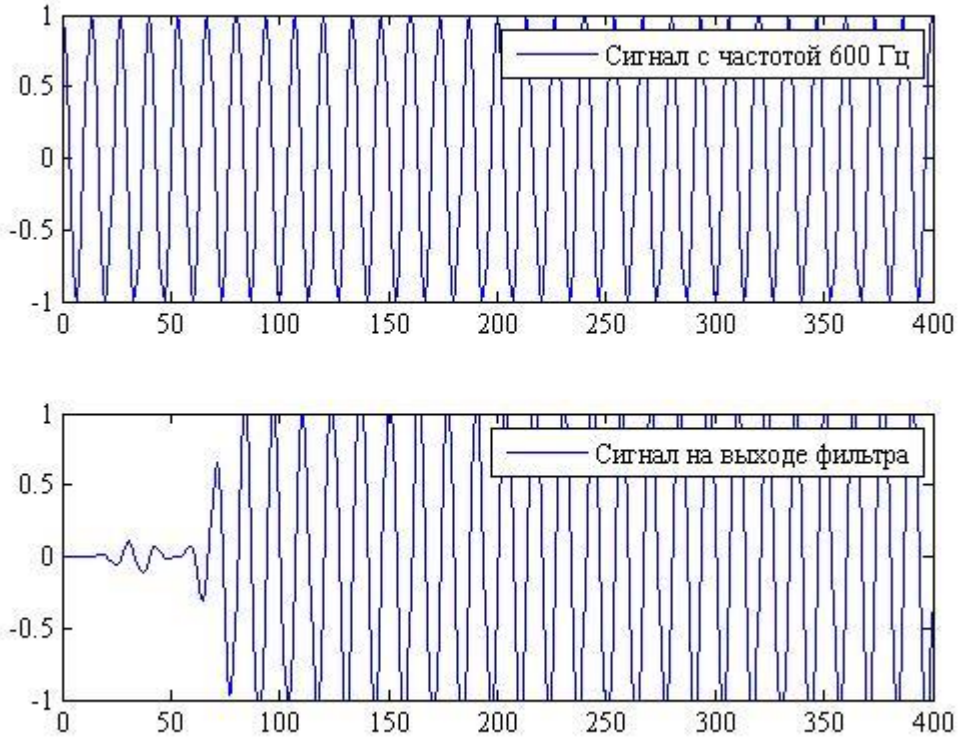


Рис. 3.4. Фільтрація сигналу з смуги пропускання

З рис. 3.4 видно, що синусоїдальний сигнал з частотою 600 Гц проходить крізь фільтр без будь-яких спотворень.[19]

Синусоїдальний сигнал з частотою 2000 Гц знаходиться за межами смуги пропускання і повністю пригнічується розробленим фільтром (рис. 3.5):

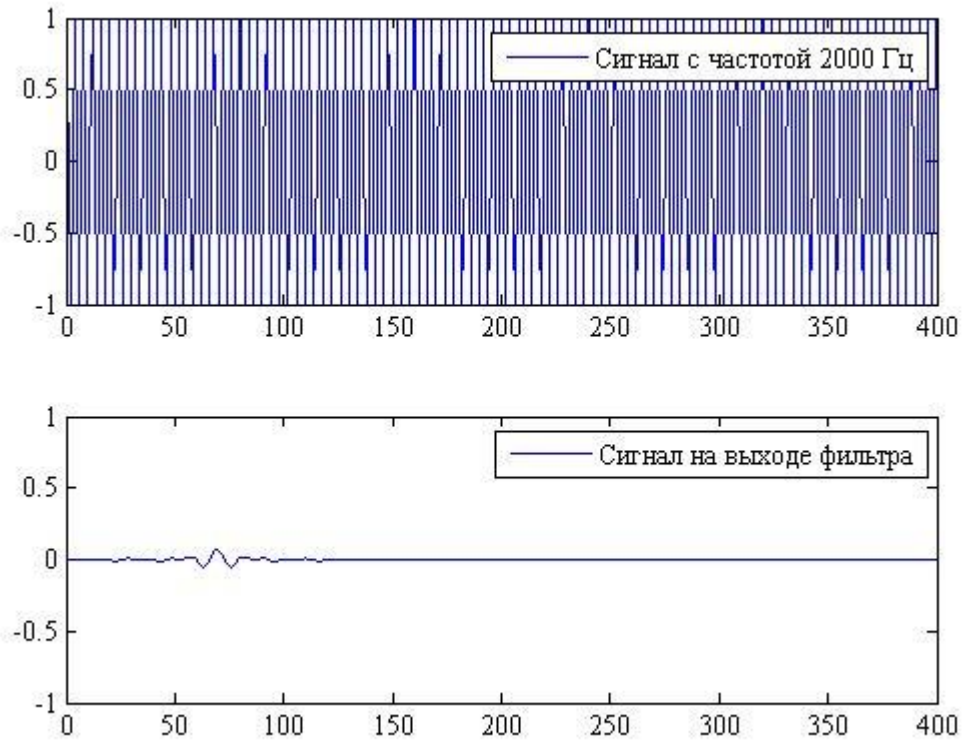


Рис. 3.5. Фільтрація сигналу з смуги затримання

З вище представленого графіка видно, что фільтр не пропускає сигнал з частотою з смуги затримання.

Результати фільтрації сигналу, який має обидві гармоніки (и 600 Гц, и 2000 Гц) показані на рис. 3.6:

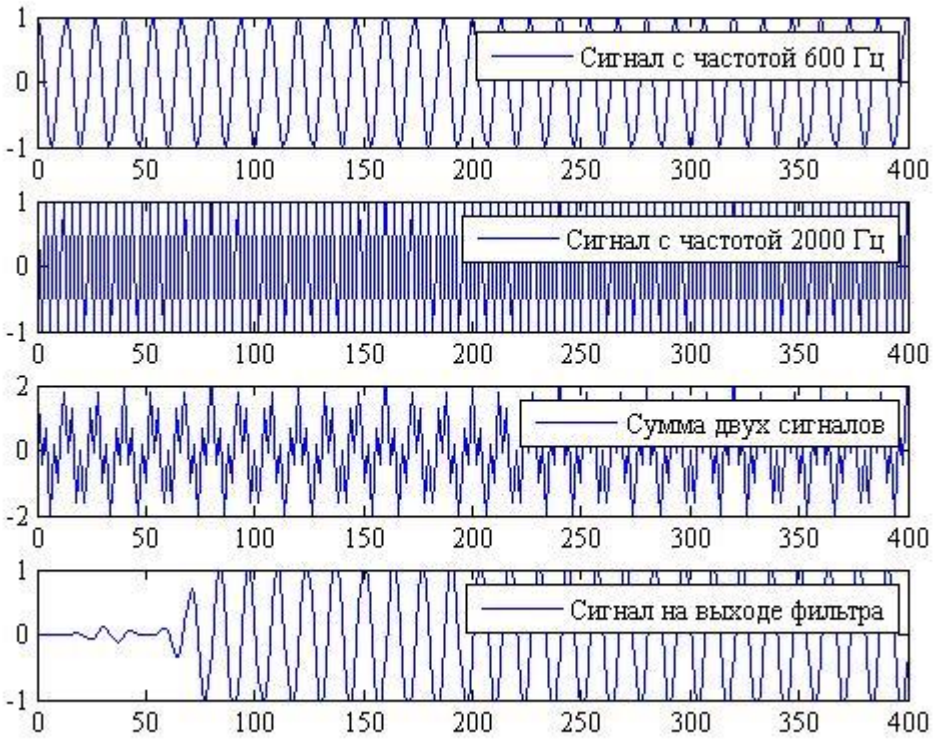


Рис. 3.6. Результати фильтрації суперпозиції сигналів

З рис. 3.6 видно, що сигнал після фільтрації суми двох гармонік є гармоніка з частотою 600 Гц (що входить в смугу пропускання). Гармоніка з частотою 2000 Гц (яка не входить в смугу пропускання) була повністю пригнічена в результаті фільтрації.[20]

За результатами тестування можна зробити наступні висновки. Розроблений смуговий фільтр пропускає без спотворення гармоніки сигналу, що входять в смугу пропускання фільтра, і не пропускає гармоніки, що входять в смугу затримування.

Таким чином, ми спроектували фільтр, що задовольняє вимогам специфікації.

ВИСНОВОК

В результаті проведеної роботи був спроектований багатоканальний ЦАП / АЦП з Web-інтерфейсом.

Розроблений програмно-апаратний комплекс володіє наступною функціональністю:

• Можливість підключення 8 аналогових датчиків. При цьому діапазон вхідних напруг і частоту оцифровки оператор має можливість налаштовувати програмним чином. Система дуже гнучка. Динамічний діапазон ми маємо можливість налаштовувати від ± 1 мВ до + -10 В, частоту оцифровки - від 0,1 Гц до 4 000 кГц незалежно для кожного каналу.

• 2 канали ЦАП з можливістю формування напруги в діапазоні від + -1 мВ до + -10 В з точністю не гірше, ніж 0,1 мВ.

• Цифрова фільтрація «на ходу» для всіх аналогових каналів. За допомогою теорії СІХ фільтрації реалізовані фільтри низьких частот, фільтри високих частот, режекторний і смуговий фільтри.

• На розробленій платі розгорнутий Web-сервер, доступ до якого здійснюється по протоколу http. У Web-інтерфейсі оператор встановлює параметри роботи кожного з каналів ЦАП / АЦП. Також ми маємо можливість спостерігати за величинами потенціалів на кожному з каналів АЦП і встановлювати потрібні нам напруги на каналах ЦАП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хеммінг Р.В. Цифрові фільтри. — М. 1980
2. S. Haykin, Adaptive Filter Theory, 3rd Edition, Prentice-Hall, 1996.
3. H. Nyquist, "Certain topics in telegraph transmission theory, " Trans. AIEE, vol. 47, pp. 617–644, Apr. 1928.
4. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов
5. Кетков, Ю., Шульц М., Кетков, А. MATLAB 7 программирование, численные методы [Текст]/ Кетков, Ю., Шульц М., Кетков / СанктПетербург.- БХВ-Петербург .-2005.
6. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации: Учебник для вузов. - Москва: Недра, 1986
7. Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николич. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования = Digital Integrated Circuits. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2007. — 912 с.
8. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. - Москва: Вильямс, 2004, 992
9. http://www.techshape.ru/sheoms-573-1.html
10. https://ru.bmstu.wiki/%D0%91%D0%98%D0%A5_%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D1%8B_(%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE_%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0)
11. http://robotosha.ru/stm32/stm32f407-discovery-board.html
12. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. - Москва: Мир, 1983
13. https://all-audio.pro/c28/dokumentatsiya/tsifrovoy-filtr-stm32.php

14. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. - Москва, "Вильямс", 2004, 992 с.
15. Мартин Т. Микроконтроллеры ARM7. Семейство LPC2000 компании Philips. Вводный курс .М.: Издательский дом «Додэка XXI»,. 2006. 720 с.
16. https://microchipinf.com/articles/66/1317
17. Корн Г., Корн Е. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – Москва: Наука, 1984.
18. Мартин Т. Микроконтроллеры ARM7. Семейство LPC2000 компании Philips. Вводный курс .М.: Издательский дом «Додэка XXI»,. 2006. 720 с.
19. Канасевич Э.Р. Анализ временных последовательностей в геофизике. - Москва: Недра, 1985.- 300 с
20. Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов: Учебное пособие. – СПб, ИАнП РАН, 1999, 152 с.