МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

Кафедра інформаційних технологій в фізико-енергетичних системах

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавр

«Розробка блоку комутації та мереживої передачі даних у фізичному експерименті»

Виконав: студент 4 курсу, групи НФ-43
Маковецький Д.К
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма: Прикладна фізика енергетичних систем
Керівник:
к.ф.-м.н.,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 інформаційних технологій у фізико-енергетичних системах
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Руслан СУХОВ
підпис
"____"_____2021 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Маковецький Даниїл Костянтинович

1.Тема роботи «Розробка блоку комутації та мереживої передачі даних у фізичному експерименті» керівник роботи: Сухов Р.В. затверджені наказом по університету від 29 грудня 2020 року №0210-05/545

2. Строк подання студентом роботи 21 травня 2021 р

2. Строк подання студентом роботи

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

- проаналізувати вже існуючі рішення з аналогічною функціональністю;
- підібрати сучасну елементну базу і розробити апаратну платформу комутаційного блоку;
- розробити програмне забезпечення микроконтроллерной частини;
- Розробити робочий зразок системи

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір і затвердження теми.
2	Робота над літературою та іншими джерелами
3	Написання вступу до роботи та першого розділу
4	Написання другого розділу
5	Написання третього розділу
6	Завершення написання дипломної роботи (висновки та література)
7	Подача науковому керівнику
8	Відгук, рецензія, підготовка до захисту
9	Попередній захист
10	Захист

5. Дата видачі завдання

Студент _____ Маковецький Даниїл

підпис

Керівник роботи _____ Сухов Р. В.

підпис

РЕФЕРАТ

Маковецький Даниїл Костянтинович «Розробка блоку комутації та мереживої передачі даних у фізичному експерименті».

Кваліфікаційна робота бакалавра прикладної фізики. - Х .: ХНУ імені В. Н.Каразіна, 2021.- 41с.

Метою даної роботи є розробка програмно-апаратного комплексу для комутації, проміжного зберігання і попередньої обробки різнорідних експериментальних даних, що виникають при проведенні фізичного експерименту

Розробка системи велася на всіх рівнях, починаючи з підбору елементної бази для апаратної частини комплексу, закінчуючи написанням ПО для керуючого мікроконтролера. Для трасування і створення плат ми використовували програмний пакет Altium Designer, розробка ПО велася в середовищі Keil.

В результаті виконання дипломної роботи створено програмно-апаратний комплекс для комутації, проміжного зберігання і попередньої обробки експериментальних даних.

Робота програмно-апаратного комплексу спрямована на підвищення якості проведення експериментів, зменшення людського фактора і поліпшення критерію повторюваності експериментальних даних.

Розроблений комплекс пройшов успішну апробацію в ході експерименту з вивчення фазових діаграм в плівкових системах евтектичного типу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС , МІКРОКОНТРОЛЕР , БЛОК КОМУТАЦІЇ.

РЕФЕРАТ

Маковецкий Даниил Константинович «Разработка блока коммутации и сетевой передачи данных в физическом эксперименте».

Квалификационная работа бакалавра прикладной физики. - Х.: ХНУ имени В. Н.Каразина, 2021. – 41с.

Целью данной работы является разработка программно-аппаратного комплекса для коммутации, промежуточного хранения и предварительной обработки разнородных экспериментальных данных, возникающих при проведении физического эксперимента

Разработка системы велась на всех уровнях, начиная с подбора элементной базы для аппаратной части комплекса, заканчивая написанием ПО для управляющего микроконтроллера. Для трассировки и создания плат мы использовали программный пакет Altium Designer, разработка ПО велась в среде Keil.

В результате выполнения дипломной работы создано программно-аппаратный комплекс для коммутации, промежуточного хранения и предварительной обработки экспериментальных данных.

Работа программно-аппаратного комплекса направлена на повышение качества проведения экспериментов, уменьшение человеческого фактора и улучшения критерия повторяемости экспериментальных данных.

Разработанный комплекс прошел успешную апробацию в ходе эксперимента по изучению фазовых диаграмм в пленочных системах эвтектического типа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПРОГРАМННО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС, МИКРОКОНТРОЛЕР, БЛОК КОММУТАЦИИ.

ABSTRACT

Makovetskiy Daniil Konstantinovich "Development of a switching unit and network data transmission in a physical experiment".

Qualifying work of the Bachelor of Applied Physics. - Kh .: KhNU named after V.N. Karazin, 2021. – 41p.

The purpose of this work is to develop a software and hardware complex for switching, intermediate storage and preprocessing of heterogeneous experimental data arising during a physical experiment.

The development of the system was carried out at all levels, starting with the selection of the element base for the hardware part of the complex, and ending with the writing of software for the control microcontroller. For routing and creating boards, we used the Altium Designer software package, software development was carried out in the Keil environment.

As a result of the thesis, a software and hardware complex was created for switching, intermediate storage and preliminary processing of experimental data.

The work of the hardware and software complex is aimed at improving the quality of experiments, reducing the human factor and improving the repeatability criterion for experimental data.

The developed complex was successfully tested in the course of an experiment to study phase diagrams in film systems of the eutectic type.

KEY WORDS: HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX, MICROCONTROLLER, SWITCHING UNIT.

ЗМІСТ

ВСТУП ……...8

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД……...…….……10

1.1. Розробка блоку комутації та мереживої передачі даних у фізичному експерименті ….. …….……..10

1.2. Принцип роботи комутатора …….……..12

1.3.Буферизація пакетів та буфер памяти……...…….....17

2. ПОСТАНОВКА ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ПО ЕВТЕКТИЦІ, АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І РІШЕННЯ……..27

2.1 Аналітичной огляд задачі…….27

2.2 Результати та висновки……28

3. РОЗРОБКА БЛОКУ КОМУТАЦІЇ…….32

3.1. Схемні рішення розробленого пристрою……...32

3.2. Цифрова фільтрація аналогових сигналів ……34

ВИСНОВКИ…….……...39

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……..40

ВСТУП

На сьогодні проведення фізичних складовою будь якої технічної галузі.

Оскільки досліджувані фізичні ефекти мають характерну тривалість в частки секунди, то необхідно швидко впливати а його хід .

Актуальність

Актуальність даної роботи полягає в наступному. Для отримання актуальних наукових даних експериментатору потрібні сучасна дослідницька техніка та методики. Під час проведення експерименту необхідно контролювати велику кількість параметрів і оперативно впливати на хід самого експерименту. Іншими словами, сучасний експеримент супроводжується об'ємними потоками інформації між оператором та дослідницької установкою. Такого роду інформація повинна доставлятися швидко, тому що чиРисо прикладів, коли досліджувані фізичні ефекти мають характерну тривалість в частки секунди. Крім того, дослідницька техніка повинна забезпечувати надійність передачі і зберігання наукових даних. Адже втрата інформації може вилитися в повторне проведення дорогих і тривалих експериментів.

Метою даної роботи є розробка програмно-апаратного комплексу для комутації, проміжного зберігання і попередньої обробки різнорідних експериментальних даних, що виникають при проведенні фізичного експерименту.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. проаналізувати вже існуючі рішення з аналогічною функціональністю;

2. підібрати сучасну елементну базу і розробити апаратну платформу комутаційного блоку;

3. розробити програмне забезпечення микроконтроллерной частини;

4. створити робочий зразок системи.

Об’єкт дослідження – Зниження температури евтектики в нанорозмірною шаруватої плівковій системі Au-Ge

Предмет дослідження- підібрати сучасну елементну базу і розробити апаратну платформу комутаційного блоку

Методи дослідження – розробити програмне забезпечення микроконтроллерной частини

Наукова новизна одержаних результатів – аналітичні вирази, які дають опис просторової та часової еволюції біологічних аерозолів, що складаються з краплин різних розмірів.

Практичне значення отриманих результатів –Розробка робочого зразка системи.

Структура і обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 41 ст.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Розробка блоку комутації та мереживої передачі даних у фізичному експерименті

Комутатор - це пристрій в комп'ютерній мережі, що з'єднує інші пристрої разом. До комутатора підключено кілька кабелів для передачі даних, щоб забезпечити зв'язок між різними мережевими пристроями. Комутатори управляють потоком даних в мережі, передаючи прийнятий мережевий пакет тільки одному або декільком пристроям, для яких цей пакет призначений.

Комутатор зберігає в пам'яті таблицю комутації, в якій вказується відповідність MAC-адреси вузла порту комутатора. При включенні комутатора ця таблиця порожня, і він працює в режимі навчання. В цьому режимі надходять на якийсь порт дані передаються на всі інші порти комутатора. При цьому комутатор аналізує фрейми (кадри) і, визначивши MAC-адресу хоста-відправника, заносить його в таблицю на деякий час. Згодом, якщо на один з портів комутатора надійде кадр, призначений для хоста, MAC-адресу якого вже є в таблиці, то цей кадр буде переданий тільки через порт, зазначений у таблиці. Якщо MAC-адресу хоста-одержувача не асоційований з яким-небудь портом комутатора, то кадр буде відправлений на всі порти, за винятком того порту, з якого він був отриманий. Згодом комутатор будує таблицю для всіх активних MAC-адрес, в результаті трафік локалізується.

Комутатори поділяються на керовані і некеровані (найбільш прості). Більш складні комутатори дозволяють управляти комутацією на мережевому (третьому) рівні моделі OSI. Зазвичай їх називають відповідно, наприклад «Layer 3 Switch» або скорочено «L3 Switch». Управління комутатором може здійснюватися за допомогою Web-інтерфейсу, інтерфейсу командного рядка (CLI), протоколу SNMP, RMON і т. П. Багато керовані комутатори дозволяють налаштовувати додаткові функції: VLAN, QoS, агрегування, віддзеркалення. Багато комутатори рівня доступу володіють такими розширеними

можливостями, як сегментація трафіку між портами, контроль трафіку на предмет штормів, виявлення петель, обмеження кількості досліджуваних MAC-адрес, обмеження вхідної

Фільтр нижніх частот (ФНЧ) - фільтр, ефективно пропускає частотний спектр сигналу нижче певної частоти (частоти зрізу) і пригнічує частоти сигналу вище цієї частоти. Ступінь придушення кожної частоти залежить від виду фільтра.

Фільтр верхніх частот (ФВЧ) - фільтр, що пропускає високі частоти вхідного сигналу, при цьому придушуючи частоти сигналу нижче частоти зрізу. Ступінь придушення залежить від конкретного типу фільтра на Рис 1.1.

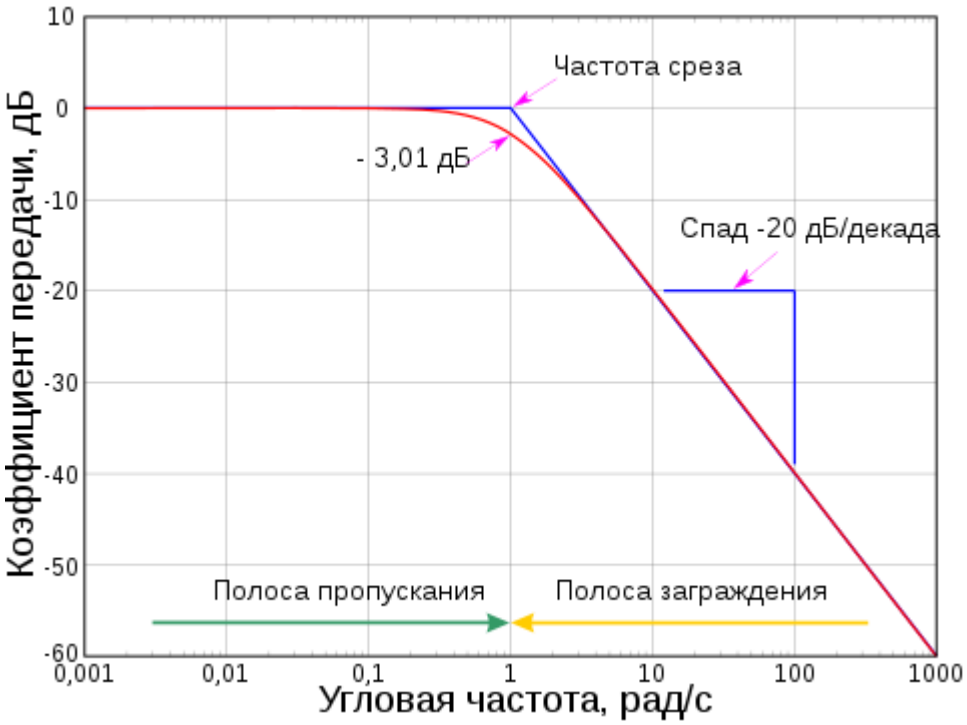


Рис 1.1-Фильтр верхніх частот

На відміну від фільтра нижніх частот (НЧ), фільтр верхніх частот пропускає частоти сигналу вище частоти зрізу, пригнічуючи низькі частоти. Реалізація фільтрів нижніх частот може бути різноманітною, включаючи електронні схеми, програмні алгоритми, акустичні бар'єри, механічні системи і т. Д.

Режекторний фільтр, або режекторний фільтр - електронний фільтр, що не пропускає коливання деякої певної смуги частот, і пропускає коливання з частотами, що виходять за межі цієї смуги. Ця смуга придушення характеризується шириною смуги затримування і розташована приблизно навколо центральної частоти придушення на Рис 1.2.

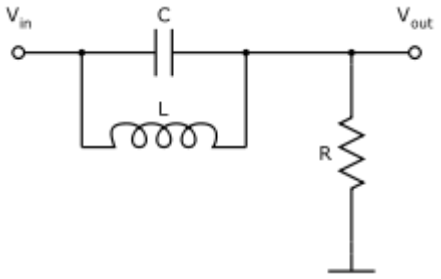


Рис.1.2- Режекторний фільтр

1.2. Принцип роботи комутатора

Важливу роль в побудові комутаторів грають також програмовані мікросхеми FPGA (Field-Programmable Gate Array - програмований в умовах експлуатації масив вентилів). Ці мікросхеми можуть виконувати всі функції, які виконують мікросхеми ASIC, але на відміну від останніх ці функції можуть програмуватися і перепрограмувати виробниками комутаторів (і навіть користувачами). Це властивість дозволило різко здешевити процесори портів комутаторів, виконують складні операції, наприклад профілювання трафіку, так як виробник FPGA випускає свої мікросхеми масово, а не на замовлення того чи іншого виробництва обладнання. Крім того, застосування мікросхем FPGA дозволяє виробникам комутаторів оперативно вносити зміни в логіку роботи порту при появі нових стандартів або зміну діючих. Крім процесорних мікросхем для успішної неблокіруючіх роботи комутатора потрібно мати швидкодіючий вузол обміну, призначений для передачі кадрів між процесорними мікросхемами портів. В даний час в комутаторах вузол обміну будується на основі однієї з трьох схем: комутаційна матриця; загальна шина;

Колективна багатоходова пам'ять. Часто ці три схеми комбінуються в одному комутаторі. Комутаційна матриця забезпечує найбільш простий спосіб взаємодії процесорів портів, і саме цей спосіб був реалізований в першому промисловому комутаторі локальних мереж. Однак реалізація матриці можлива тільки для певного числа портів, причому складність схеми зростає пропорційно квадрату кількості портів комутатора

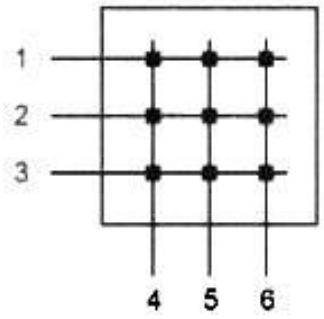


РИС.1.3- Шестипортовій комутатор

Більш детальне уявлення одного з можливих варіантів реалізації комутаційної матриці для восьми портів дано на рис. 2. Вхідні блоки процесорів портів на підставі перегляду адресної таблиці комутатора визначають за адресою призначення номер вихідного порту. Цю інформацію вони додають до байтам вихідного кадру у вигляді спеціального ярлика - тега. Для даного прикладу тег представляє собою просто 3-розрядний двійковечисло, що відповідає номеру вихідного порту.

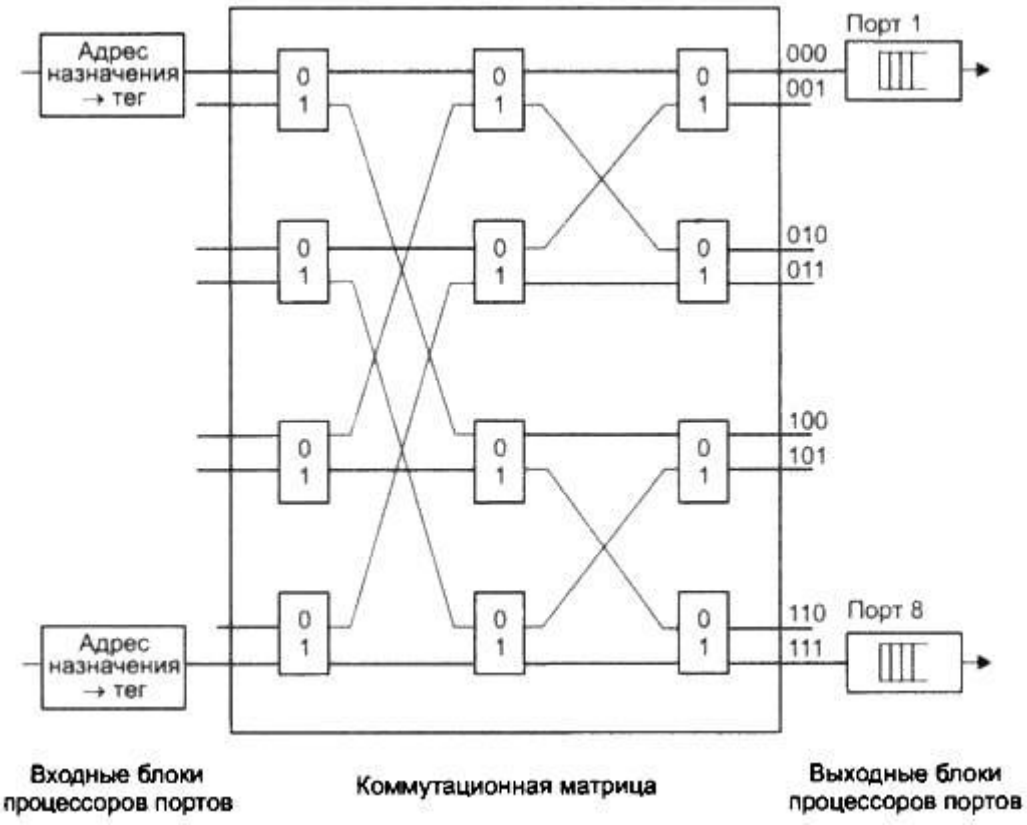


РИС.1.4-комутаційна матриця

Матриця складається з трьох рівнів двійкових перемикачів, які з'єднують свій вхід з одним з двох виходів в залежності від значення біта тега. Перемикачі першого рівня управляються перший бітом тега, другого - другим, а третього - третім. Матриця може бути реалізована і інакше, на підставі комбінаційних схем іншого типу, але її особливістю все одно залишається технологія комутації фізичних каналів. Відомим недоліком цієї технології є відсутність буферизації даних усередині комутаційної матриці - якщо складовою канал неможливо побудувати через зайнятість вихідного порту або проміжного комутаційного елемента, то дані повинні накопичуватися в їх джерелі, в даному випадку - у вхідному блоці порту, що прийняв кадр. Основні переваги таких матриць - висока швидкість комутації і регулярна структура, яку зручно реалізовувати в інтегральних мікросхемах. Зате після реалізації матриці N x N в складі БІС проявляється ще один її недолік - складність нарощування числа комутованих портів. У комутаторах із загальною шиною процесори портів пов'язують високошвидкісною шиною, використовуваної в режимі поділу часу. Приклад такої архітектури приведений на Рис. 1,4. Щоб

шина не блокувала роботу комутатора, її продуктивність повинна дорівнювати, принаймні, сумі продуктивностей всіх портів комутатора. Для модульних комутаторів характерно те, що шляхом вдалого підбору модулів з низькошвидкісними портами можна забезпечити неблокіруючій режим роботи, але в той же час деякі поєднання модулів з високошвидкісними портами можуть приводити до структур, у яких вузьким місцем є загальна шина.

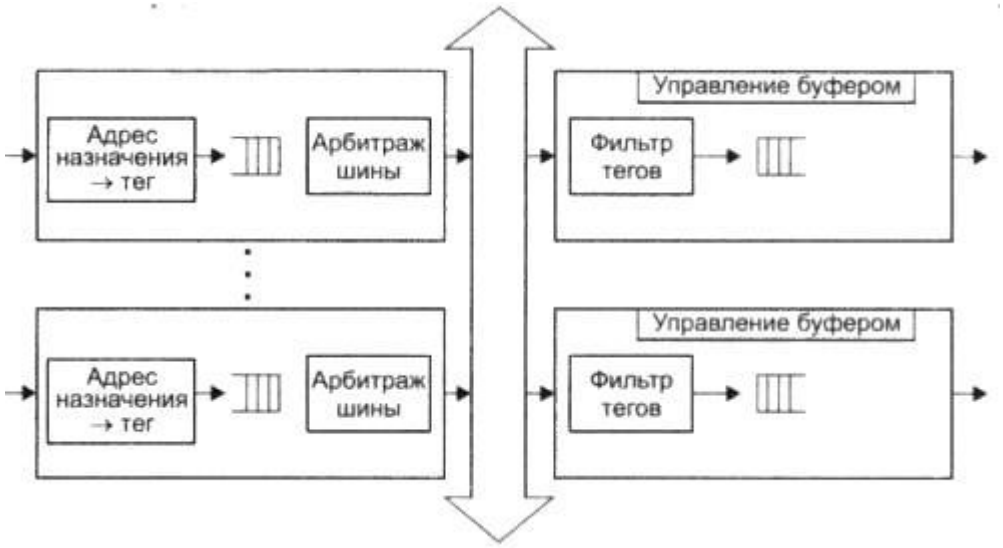


Рис.1.4-Архітектура комутатора з загальною шиною

Кадр повинен передаватися по шині невеликими частинами, по декілька байтів, щоб передача кадрів між портами відбувалася в псевдопараллельном режимі, не вносячи затримок в передачу кадру в цілому. Розмір такого осередку даних визначається виробником коммутатора-. Деякі виробники вибирають в якості порції даних, які по шині за одну операцію, осередок ATM з її полем даних в 48 байт. Такий підхід полегшує трансляцію протоколів локальних мереж в протокол ATM, якщо комутатор підтримує ці технології. Крім того, невеликий розмір осередку (її формат може бути і фірмовим, так як перенесення даних між портами є суто внутрішньою операцією) зменшує затримки доступу порту до загальної шині. Вхідний блок процесора поміщає в клітинку, переноситься по шині, тег, в якому вказує номер порту призначення. Кожен вихідний блок процесора порту містить фільтр тегів, який вибирає теги, призначені даному порту. Шина, так само як і комутаційна матриця, не може

здійснювати проміжну буферизацію, але оскільки дані кадру розбиваються на невеликі осередки, затримок з початковим очікуванням доступності вихідного порту в такій схемі немає - тут працює принцип комутації пакетів, а не каналів. Колективна Багатоходовна пам'ять являє собою третю базову архітектуру взаємодії портів. Приклад такої архітектури приведений на Рис.1.5

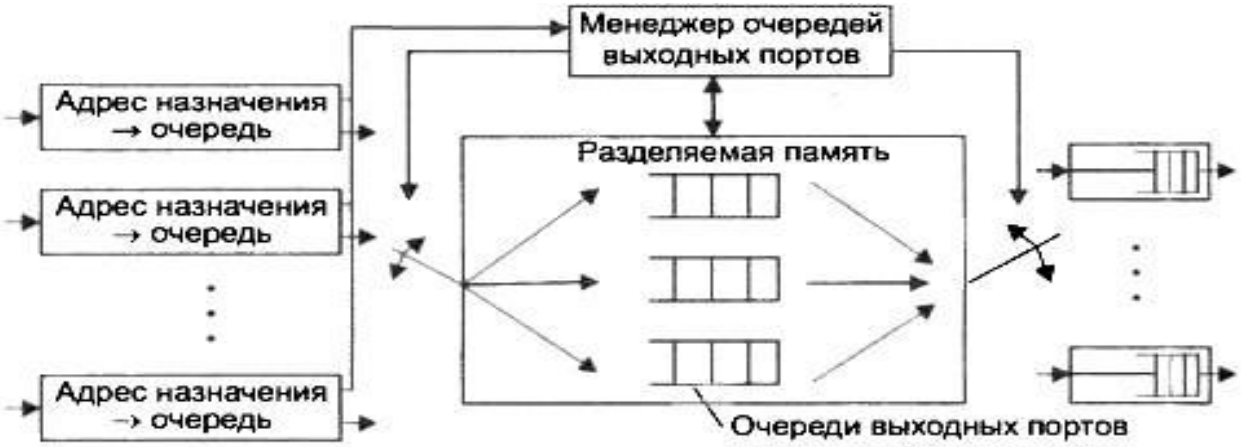


Рис.1.5- Колективна Багатоходовна Пам'ять

Вхідні блоки процесорів портів з'єднуються з перемикається входом розділяється пам'яті, а вихідні блоки цих же процесорів - з її перемикається виходом. Перемиканням входу і виходу розділяється пам'яті управляє менеджер черг вихідних портів. У розділяється пам'яті менеджер організує кілька черг даних, по одній для кожного вихідного порту. Вхідні блоки процесорів передають менеджеру портів запити на запис даних в чергу того порту, який відповідає адресі призначення кадру. Менеджер по черзі підключає вхід пам'яті до одного з вхідних блоків процесорів і той переписує частину даних кадру в чергу певного вихідного порту. У міру заповнення черг менеджер виробляє також почергове підключення виходу розділяється пам'яті до вихідних блокам процесорів портів, і дані з черги переписуються у вихідний буфер процесора. Застосування загальної буферної пам'яті, гнучко розподіленою менеджером між окремими портами, знижує вимоги до розміру буферної пам'яті процесора порту. Однак буферна пам'ять повинна бути досить швидкодіючої для підтримки необхідної швидкості обміну даними між ДЕПОРТ комутатора. Комбіновані комутатори. У кожної з описаних

архітектур є свої переваги і недоліки. Комутатор складається з модулів з фіксованою кількістю портів (2-12), виконаних на основі спеціалізованої БІС, що реалізує архітектуру комутаційної матриці. Якщо порти, між якими потрібно передати кадр даних, належать одному модулю, то передача кадру здійснюється процесорами модуля на основі наявної в модулі комутаційної матриці. Якщо ж порти належать різним модулям, то процесори спілкуються по загальній шині. У такій архітектурі передача кадрів всередині модуля буде відбуватися швидше, ніж при міжмодульних передачі, так як комутаційна матриця - це найбільш швидке, хоча і найменш масштабований засіб взаємодії портів. Швидкість внутрішньої шини комутаторів може досягати декількох гігабіт на секунду, а у найбільш потужних моделей - до декількох десятків гігабіт на секунду.

1.3.Буферизація пакетів та буфер памяти

Дійсно, пакетний комутатор не може прийняти рішення про просування пакета, не маючи в своїй пам'яті всього пакету. Комутатор перевіряє контрольну суму, і тільки якщо вона говорить про те, що дані пакета не спотворені, починає обробляти пакет і за адресою призначення визначає наступний комутатор. Тому кожен пакет послідовно біт за бітом поміщається у вхідний буфер. Маючи на увазі це властивість, кажуть, що мережі з комутацією пакетів використовують техніку збереження з просуванням (store-and-forward). Зауважимо, що для цієї мети досить мати буфер розміром в один пакет. Комутатора потрібні буфери для узгодження швидкостей передачі даних в лініях зв'язку, підключених до його інтерфейсів. Дійсно, якщо швидкість надходження пакетів з однієї лінії зв'язку протягом деякого періоду перевищує пропускну здатність тієї лінії зв'язку, в яку ці пакети повинні бути спрямовані, то щоб уникнути втрат пакетів на цільовому інтерфейсі необхідно організувати вихідну чергу. Буферизація необхідна пакетного комутатора також для узгодження швидкості надходження пакетів зі швидкістю їх

комутації. Якщо коммутирующий блок не встигає обробляти пакети (аналізувати заголовки і перекидати пакети на потрібний інтерфейс), то на інтерфейсах комутатора виникають вхідні черги. Очевидно, що для зберігання вхідної черги обсяг буфера повинен перевищувати розмір одного пакета. Існують різні підходи до побудови коммутирующего блоку. Традиційний спосіб заснований на одному центральному процесорі, який обслуговує всі вхідні черги комутатора. Такий спосіб побудови може призводити до великих черг, так як продуктивність процесора розділяється між декількома чергами. Сучасні способи побудови коммутирующего блоку засновані на многопроцессорном підході, коли кожен інтерфейс має свій вбудований процесор для обробки пакетів. Крім того, існує центральний процесор, який координує роботу інтерфейсних процесорів. Використання інтерфейсних процесорів підвищує продуктивність комутатора і зменшує черги у вхідних інтерфейсів. Однак такі черги все одно можуть виникати, тому що центральний процесор і раніше залишається «вузьким місцем». Оскільки обсяг буферів в комутаторах обмежений, іноді відбувається втрата пакетів через переповнення буферів при тимчасової перевантаження частини мережі, коли збігаються періоди пульсації декількох інформаційних потоків.

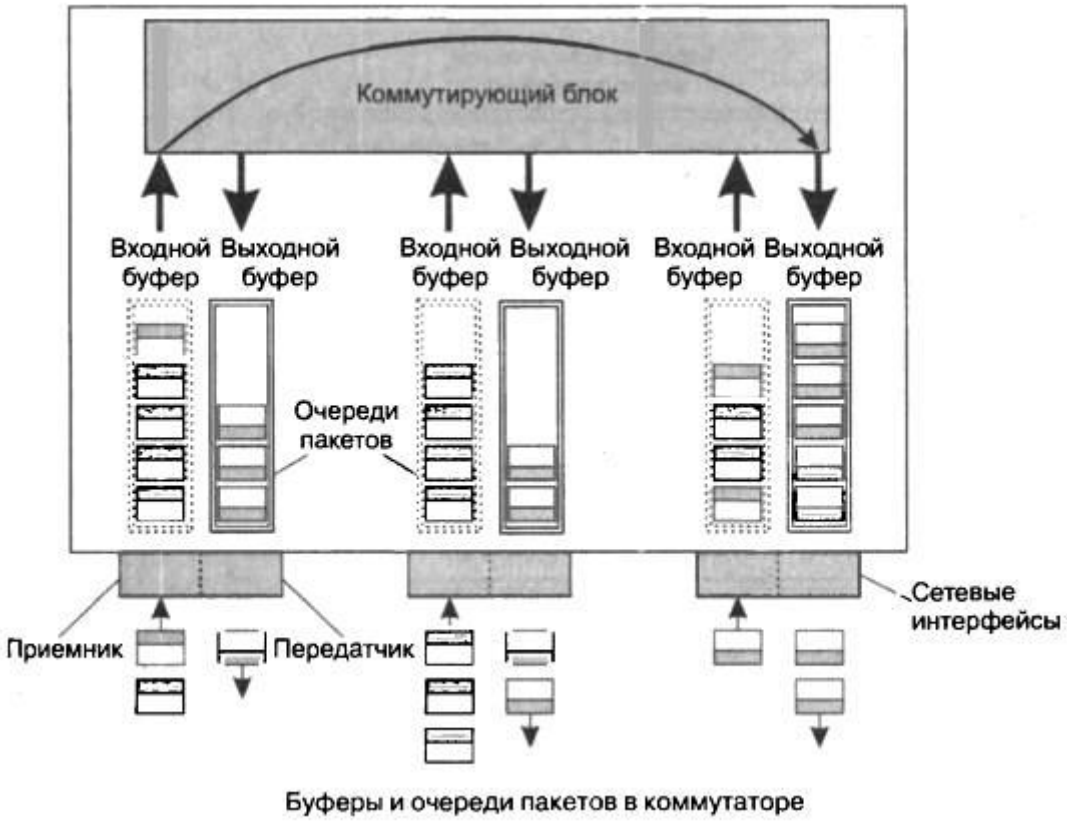


Рис.1.6-Буфер пакетів

Буфери часто використовуються разом з виведення для аппаратного забезпечення, такого як дисководи, надсилання або отримання даних до мережі або з мережі, або відтворення звуку на динаміку. Лінія схожа на американськи гірки у парку розваг має багато спільного. Люди, які їздять на підставці, заходять у невідомому і часто змінному темпі, але американські гірки зможуть завантажувати людей по черзі (коли підстаканник приїжджає та завантажується). Область черги діє як буфер - тимчасовий простір, де бажаючі їхати чекають, поки їзда стане доступною. Зазвичай буфери використовуються методом FIFO (перший вхід, перший вихід), виведення даних у порядку, в якому вони надійшли.

Буфери можуть підвищити продуктивність програми, дозволяючи синхронний такі операції, як читання чи запис файлів, щоб їх швидко завершити, замість блокування, чекаючи апаратних переривань для доступу до підсистеми фізичного диска; натомість операційна система може негайно повернути успішний результат із виклику API, дозволяючи програмі

продовжувати обробку, поки ядро завершує операцію з диском у фоновому режимі. Подальших переваг можна досягти, якщо програма читає або записує невеликі блоки даних, які не відповідають розміру блоку дискової підсистеми, що дозволяє використовувати буфер для об'єднання багатьох менших операцій читання або запису у розміри блоків, які є більш ефективними для дискової підсистеми, або у випадку читання, іноді, щоб повністю уникнути фізичного доступу до диска

Буферна процедура або носій інформації, щовикористовується в телекомунікаціях, компенсує різницю в швидкості потоку даних або часу виникнення подій при передачі даних з одного пристрою на інший.

Буфери використовуються для багатьох цілей, включаючи:

- З'єднання двох цифрових ланцюгів, що працюють з різною швидкістю,
- Зберігання даних для подальшого використання,
- Дозволяючи робити корекції синхронізації потоку даних ,
- Збираючи біти двійкових даних у групи, які потім можуть працювати як одиниця,
- Затримка часу проходження сигналу для того, щоб дозволити інші операції.

Аналого-цифровий перетворювач- пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (цифровий сигнал). Зворотне перетворення здійснюється за допомогою цифро-аналогового перетворювача (цап, dac). Як правило, ацп - електронний пристрій, що перетворює напругу в двійковий цифровий код. Тим не менш, деякі неелектронні пристрої з цифровим виходом слід також відносити до ацп, наприклад, деякі типи

перетворювачів кут-код.АЦП перетворює з безперервним часом і безперервної амплітуди аналогового сигналу до дискретним часом і дискретним амплітудою цифрового сигналу . Перетворення передбачає квантування вхідних даних, тому воно обов'язково вносить невелику кількість помилок або шумів. Крім того, замість того, щоб постійно виконувати перетворення, АЦП здійснює перетворення періодично, дискретизуючи вхідні дані, обмежуючи допустиму смугу пропускання вхідного сигналу.

Продуктивність АЦП в першу чергу характеризується пропускною здатністю та відношенням сигнал / шум (SNR). Пропускна здатність АЦП характеризується насамперед частотою дискретизації . На SNR АЦП впливає багато факторів, включаючи роздільну здатність , лінійність та точність (наскільки рівні квантування відповідають справжньому аналоговому сигналу), псевдоніми та тремтіння . SNR ADC часто узагальнюється з точки зору його фактичної кількості бітів (ENOB), кількості бітів кожного вимірюваного ним показника, які в середньому не є шумом. Ідеальний АЦП має ENOB, рівний його роздільній здатності. АЦП вибираються з урахуванням пропускної здатності та необхідного SNR сигналу для оцифровки. Якщо АЦП працює з частотою дискретизації, що перевищує подвійну пропускну здатність сигналу, то відповідно до теореми дискретизації Найквіста – Шеннона можлива ідеальна реконструкція. Наявність помилки квантування обмежує SNR навіть ідеального АЦП. Однак, якщо SNR АЦП перевищує значення вхідного сигналу, його ефектами можна знехтувати, що призведе до по суті ідеального цифрового подання аналогового вхідного сигналу.

Роздільна здатність перетворювача вказує на кількість різних, тобто дискретних, значень, які він може створити у дозволеному діапазоні значень аналогового входу. Таким чином, конкретна роздільна здатність визначає величину помилки квантування і, отже, визначає максиРисьно можливе відношення сигнал шум для ідеального АЦП без використання передискретизації . Вхідні вибірки зазвичай зберігаються в

електронному вигляді в двійковій формі в АЦП, тому роздільна здатність зазвичай виражається як глибина бітового звуку . Як наслідок, кількість доступних дискретних значень зазвичай дорівнює двом. Наприклад, АЦП з роздільною здатністю 8 біт може кодувати аналоговий вхід до одного з 256 різних рівнів ($2^8 = 256$). Значення можуть представляти діапазони від 0 до 255 (тобто як цілі числа без знака) або від -128 до 127 (тобто як цілі числа зі знаком), залежно від програми.

В АЦП продуктивність, як правило, може бути покращена за допомогою дизеру . Це дуже Риса кількість випадкового шуму (наприклад, білий шум), який додається до входу перед перетворенням. Його ефект полягає в рандомізації стану LSB на основі сигналу. Замість того, щоб сигнал просто відсікався на низьких рівнях, він розширює ефективний діапазон сигналів, які АЦП може перетворити, за рахунок незначного збільшення шуму. Зверніть увагу, що дизери можуть лише збільшити роздільну здатність семплера. Це не може поліпшити лінійність, і, отже, точність не обов'язково покращується.

Спотворення квантування в звуковому сигналі дуже низького рівня по відношенню до бітової глибини АЦП корелює з сигналом та звуками, спотвореними та неприємними. При дизеруванні спотворення перетворюються на шум. Неспотворений сигнал може бути точно відновлений шляхом усереднення за часом. Дизеринг також використовується при інтеграції таких систем, як лічильники електроенергії . Оскільки значення складаються, дизеринг дає результати, які є більш точними, ніж LSB аналого-цифрового перетворювача.

Дизери часто застосовуються при квантуванні фотографічних зображень на меншу кількість біт на піксель - зображення стає більш шумним, але на око виглядає набагато реалістичніше, ніж квантоване зображення, яке в іншому випадку стає смуговим . Цей аналогічний процес може допомогти візуалізувати вплив дизеру на аналоговий звуковий сигнал, який перетворюється в цифровий.

АЦП працює шляхом вибірки значення вхідного сигналу через дискретні проміжки часу. За умови, що вхідні дані дискретизуються вище швидкості Найквіста , визначеної як подвоєна найвища частота, що цікавить, тоді всі частоти в сигналі можуть бути відновлені. Якщо частоти, що перевищують половину частоти Найквіста, відбираються, вони неправильно виявляються як нижчі частоти - процес, що називається псевдонімом. Згладжування відбувається, тому що миттєва дискретизація функції у два або менше разів за цикл призводить до пропущених циклів, і, отже, поява неправильно нижчої частоти. Наприклад, синусоїда 2 кГц, яка відбирається на частоті 1,5 кГц, буде реконструйована як синусоїда 500 Гц.

Щоб уникнути псевдонімів, вхід в АЦП повинен фільтруватися на низьких частотах, щоб видалити частоти, що перевищують половину частоти дискретизації. Цей фільтр називається фільтром згладжування і є важливим для практичної системи АЦП, яка застосовується до аналогових сигналів з більш високим частотним вмістом. У програмах, де захист від накладання суттєвих обставин є надзвичайно важливим, може бути використана надвибірка, щоб значно зменшити або навіть усунути її.

Хоча псевдонім у більшості систем є небажаним, він може бути використаний для забезпечення одночасного понижуючого змішування смугового високочастотного сигналу

Швидкість АЦП залежить від типу. Вілкінсон АЦП обмежений тактова частота , яка є оброблюваних з допомогою сучасних цифрових схем. Для послідовного наближення АЦП час перетворення масштабується з логарифмом роздільної здатності, тобто кількістю бітів. Flash АЦП , безумовно, є найшвидшим типом із трьох; Перетворення в основному виконується за один паралельний крок.

Існує потенційний компроміс між швидкістю та точністю. Флеш-АЦП мають дрейфи та невизначеності, пов'язані з рівнями порівняння, призводить до поганої лінійності. Меншою мірою низька лінійність також може бути

проблемою для АЦП з послідовним наближенням. Тут нелінійність виникає внаслідок накопичення помилок у процесі віднімання. АЦП Уілкінсона мають найкращу лінійність з усіх трьох.

Пряме перетворення

АЦП із прямим перетворенням або спалахом має банк порівняльників, що паралельно відбирають вхідний сигнал, кожен з яких спрацьовує для певного діапазону напруги. Банк порівняння подає логічну схему, яка генерує код для кожного діапазону напруги.

АЦП цього типу мають великий розмір штампа та велику потужність розсіювання. Вони часто використовуються для відео, широкосмугового зв'язку або інших швидких сигналів в оптичному та магнітному сховищі .

Схема складається з резистивної дільникової мережі, набору компараторів операційних підсилювачів та кодера пріоритету. У компаратор вбудовано невелику кількість гістерезису для вирішення будь-яких проблем на межі напруги. На кожному вузлі резистивного дільника доступна порівняльна напруга. Призначення схеми полягає у порівнянні аналогової вхідної напруги з кожною з напруг вузла.

Схема має перевагу високої швидкості, оскільки перетворення відбувається одночасно, а не послідовно. Типовий час перетворення становить 100 нс або менше. Час перетворення обмежений лише швидкістю компаратора та пріоритетного кодера. Цей тип АЦП має той недолік, що кількість компараторів, що вимагається, майже подвоюється для кожного доданого біта. Крім того, чим більше значення n, тим складнішим є кодер пріоритету.

Послідовне наближення АЦП використовує компаратор і двійковий пошук , щоб послідовно звузити діапазон, що містить вхідну напругу. На кожному наступному кроці перетворювач порівнює вхідну напругу з виходом внутрішнього цифрового в аналоговий перетворювач, який спочатку представляє середину дозволеного діапазону вхідної напруги. На кожному кроці цього процесу апроксимація зберігається в послідовному регістрі

апроксимації (SAR), а вихід цифрового аналогового перетворювача оновлюється для порівняння в більш вузькому діапазоні.

Інтегрування АЦП (також подвійний нахил або кілька нахилу АЦП) застосовує невідоме вхідна напруга на вхід інтегратора і дозволяє напрузі зменшуватися протягом фіксованого періоду часу (періоду обкатки). Потім до інтегратора подається відома опорна напруга протилежної полярності, і їй дозволяється нарощувати, поки вихід інтегратора не повернеться до нуля (період пробігу). Вхідна напруга обчислюється як функція опорної напруги, періоду постійного прогону та виміряного періоду пробігу. Вимірювання часу пробігу, як правило, проводиться в одиницях годинника перетворювача, тому довший час інтеграції дозволяє отримати більш високу роздільну здатність. Так само швидкість перетворювача можна покращити, пожертвувавши роздільною здатністю. Перетворювачі цього типу (або варіації концепції) використовуються в більшості цифрових вольтметрів завдяки своїй лінійності та гнучкості.

Принцип балансування заряду АЦП полягає в першому перетворенні вхідного сигналу на частоту за допомогою перетворювача напруги в частоту . Потім ця частота вимірюється лічильником і перетворюється на вихідний код, пропорційний аналоговому входу. Основна перевага цих перетворювачів полягає в тому, що можна передавати частоту навіть у галасливому середовищі або в ізольованій формі. Однак обмеження цієї схеми полягає в тому, що вихід перетворювача напруги в частоту залежить від продукту RC, значення якого неможливо точно підтримувати протягом температури та часу

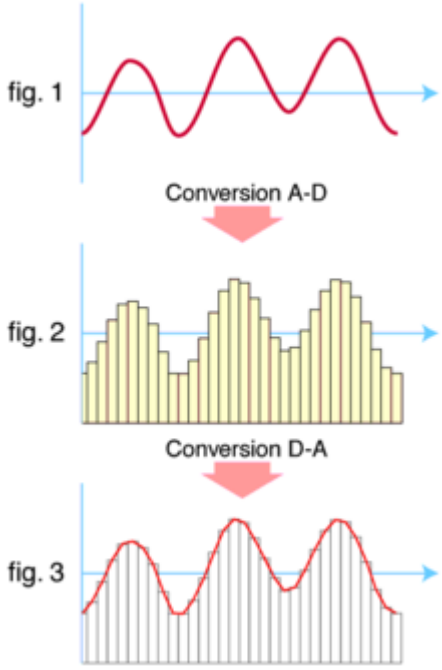


Рис 1.7-Аналого-цифрове перетворення

Ацп у науці

Системи цифрових зображень зазвичай використовують аналого-цифрові перетворювачі для оцифровки пікселів . Деякі радіолокаційні системи зазвичай використовують аналого-цифрові перетворювачі для перетворення сили сигналу в цифрові значення для подальшої обробки сигналу . Багато інших систем in situ та дистанційного зондування зазвичай використовують аналогічну технологію. Кількість двійкових бітів у отриманих оцифрованих числових значеннях відображає роздільну здатність, кількість унікальних дискретних рівнів квантування (обробка сигналів) . Відповідність між аналоговим сигналом і цифровим сигналом залежить від помилки квантування. Процес квантування повинен відбуватися з достатньою швидкістю, обмеженням, яке може обмежити роздільну здатність цифрового сигналу. Багато датчиків у наукових приладах виробляють аналоговий сигнал; температура , тиск, pH , інтенсивність світла і т. д. Усі ці сигнали можуть бути посилені і подані в АЦП для отримання цифрового числа, пропорційного вхідному сигналу.

2.ПОСТАНОВКА ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ПО ЕВТЕКТИЦІ, АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І РІШЕННЯ ЗАДАЧІ

2.1 Постановка та аналітичний огляд зачаді

До теперішнього часу накопичений значний обсяг теоретичних і експериментальних даних по фазовим переходам плавлення-кристалізація в однокомпонентних високодисперсних матеріалах . Для багатокомпонентних систем, і для бінарних систем евтектичного типу зокрема, даних про закономірності плавлення і кристалізації в літературі значно менше. Це пов'язано, перш за все, з експериментальними труднощами досліджень процесів плавлення і кристалізації дисперсних сплавів, а також зі складністю теоретичного аналізу процесів зародження нової фази в багатокомпонентних системах. Експериментально простежити за зниженням температури евтектики при зменшенні характерного розміру вдалося лише для окремих бінарних систем евтектичного типу [1, 2]. У той же час, як з фундаментальної, так і з прикладної точки зору необхідні подальші дослідження евтектичного плавлення. Тому було доцільним дослідження евтектичного плавлення в нанорозмірів плівкових системах, компоненти яких утворюють фазові діаграми типу «проста евтектика». як об'єкт дослідження була обрані шарувата плівкова система Ge-Au . Дана система зручна для дослідження евтектичного плавлення в силу наступних причин. По-перше, при досить високих температурах плавлення компонентів (Au - 1064,43ºС і Ge - 938,3ºС) вони утворюють евтектику з приблизно в три рази меншою температурою плавлення. Це в методичному плані істотно полегшує експерименти з визначення температури плавлення в таких системах. По-друге, в процесі конденсації на аморфну вуглецеву підкладку плівка германію формується суцільний при порівняно Рисих толщинах (починаючи з декількох моношарів), що свідомо забезпечує контакт на атомарному рівні з далі конденсованої

плівкою золота. Крім того, кількісних даних про розмірної залежності температури

2.2 Практичне розв'язання задачі

Для визначення розмірної залежності температури евтектики в системі Ge-Au була проведена наступна серія експериментів. Плівкові системи Ge-Au препарувати в оригінальній високовакуумної установці на основі магніторозрядними насоса. На круговій підкладці з нержавіючої сталі закріплювалися свежесколотие монокристали KCl. Перед препарування плівкових систем підкладка з кристалами KCl нагрівалася до температури ~ 200ºС і дотримувалися при ній не менше трьох годин, що спільно з знегажування випарників дозволяло досягти залишкового вакууму ~ 2x10-6 Па. Після охолодження до кімнатної температури на кристали KCl щоб уникнути їх орієнтаційної впливу на досліджувані системи з дуги наносився шар аморфного вуглецю товщиною 10 - 20 нм. Далі шляхом термічного випаровування з незалежних джерел послідовно наносилися плівки Ge і Au. Швидкість конденсації речовини варіювалася в

інтервалі 0,2 - 1 нм / с. Вакуум під час конденсації плівкових систем становив не менше 10-5 Па. Геометрія розташування підкладки і випарників забезпечувала однакову товщину плівковою системи і евтектичну співвідношення мас компонентів по всій довжині підкладки. Потім уздовж підкладки створювався градієнт температури. Після охолодження до кімнатної температури плівкові системи в дистильованої воді відділялися від монокристалів KCl, виловлювали на мідні мікроскопічні сіточки і досліджувалися в просвічує електронному мікроскопі ПЕМ125К.

Типові знімки таких систем наведено на РИС. 1. Видно, що при температурах вище температури евтектики (РИС. 2.1 А) плівкові системи складаються з ізольованих острівців з формою, близькою до сферичної.Це говорить про те, що в системі Ge-Au відбувалося евтектичну плавлення і все речовина, перебуваючи в рідкому агрегатному стані і не змочуючи подслой аморфного вуглецю, збиралося в окремі краплі. При температурах нижче

евтектичною (РИС. 2.1 Б) морфологія плівкових систем інша. На знімках також присутні окремі острівці, але їх форма помітно відрізняється від сферичної.

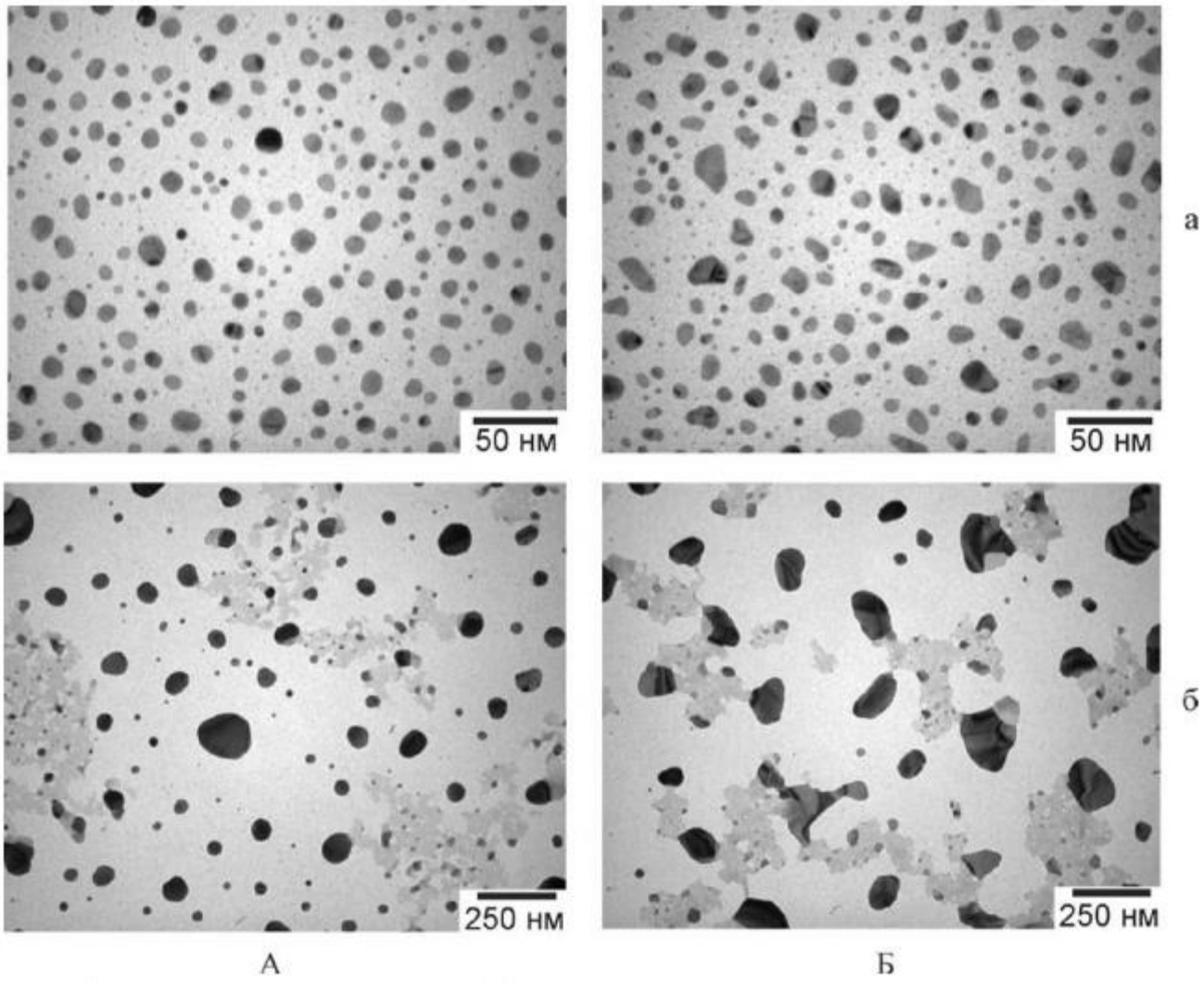


РИС. 2.1 (А,Б)- мікрознімки плівкових систем ge-au практично евтектичного складу, нагрітих до температури

на кілька градусів вище (а) і нижче (б) евтектичною температури. товщини плівок ge / au а) 1,4 / 2,8 нм,

б) 2,5 / 5 нм.

2.3 Результати та висновки

В результаті проведених досліджень побудований графік розмірної залежності температури евтектики Ge-Au на Рис. 2.2

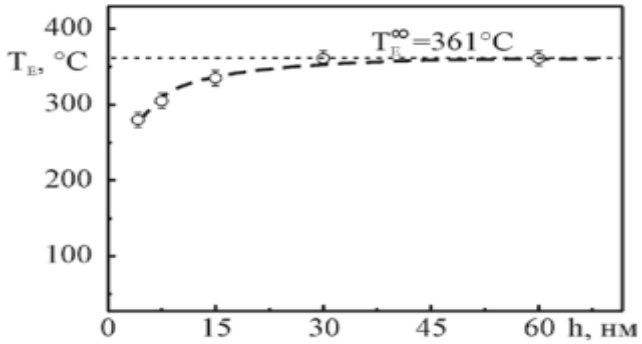


Рис. 2.2 - Залежність температури евтектики ТЕ в системі Ge-Au від товщини плівкової системи евтектичного складу

Необхідно відзначити, що, використовуючи морфологічний критерій, надійно зафіксувати з використанням електронної мікроскопії зміна

морфології в системах з масовою товщиною менше 4 нм не вдається.

Якісне обґрунтування зниження температури евтектики грунтуючись на зростанні вкладу поверхневої енергії в вільну енергію системи при зменшенні характерного розміру, показано, що фазову діаграму зміщується в область більш низьких температур в порівнянні з діаграмою для масивних зразків Рис.2.3

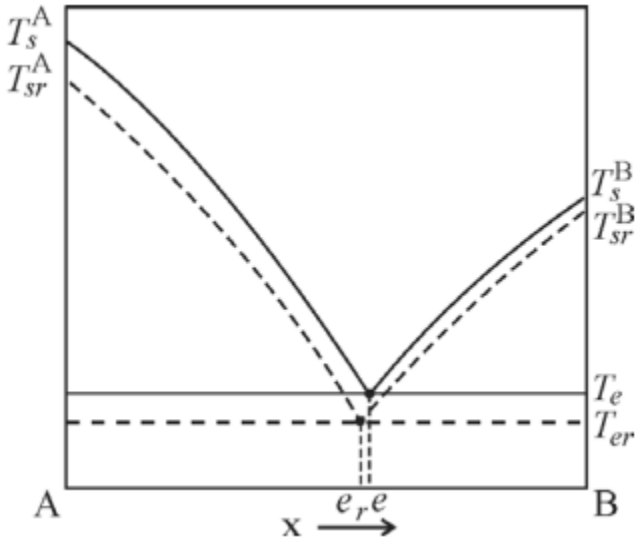


Рис. 2.3 - Еволюція фазового діаграми типу проста евтектика при повній нерастворимости компонент в твердому стані зі зменшенням характерного розміру

Висновок: Таким чином, в результаті виконаних експериментальних досліджень побудована залежність температури евтектики в системі GeAu від товщини плівкової системи евтектичного складу в області товщин 4 - 60 нм.

3. РОЗРОБКА БЛОКУ КОМУТАЦІЇ

3.1. Схемні рішення розробленого пристрою

В якості головного керуючого мікроконтролера в пристрої використовується 32-бітний мікроконтролер серії ESP32.

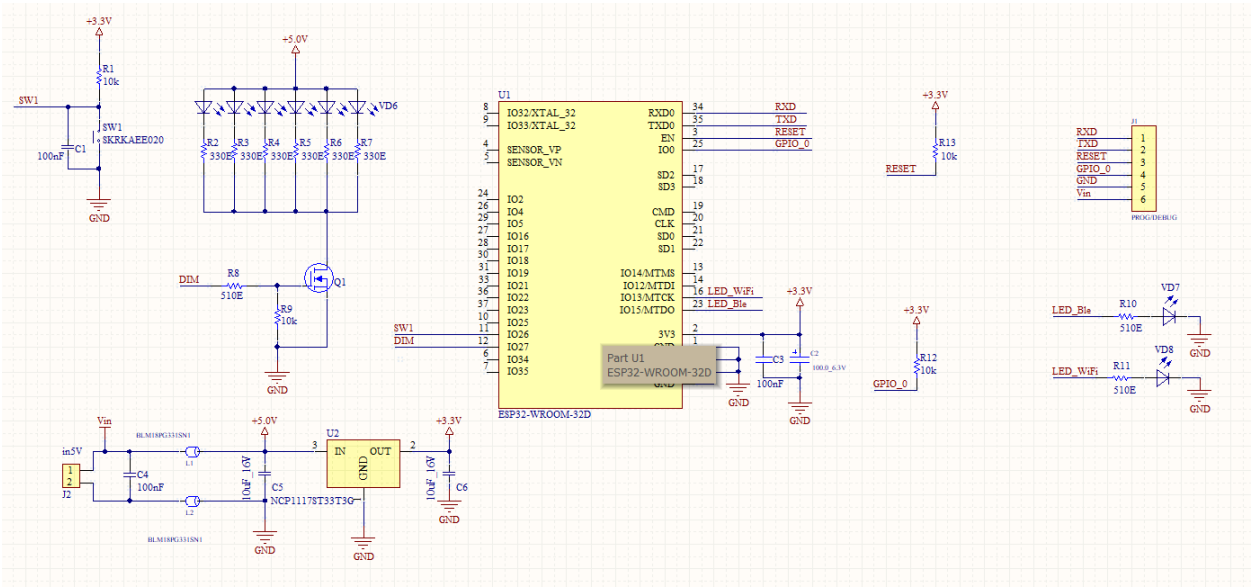


Рис. 3.1. Електронна схема микроконтроллерной частини

На програму мікроконтролера покладені такі функції:

• управління периферійними пристроями: мікросхемами АЦП і індикацією;

• цифрова фільтрація аналогових сигналів;

• організація доступу до функціональності приладу по TCP / IP протоколу;

• настройка параметрів IP для інтегрції в комп'ютерну мережу;

• активація / деактивація каналів АЦП;

• незалежне конфігурація каналів АЦП (динамічний діапазон, частота оцифровки, настройка цифрових фільтрів) {{ 1}} Архітектура і обчислювальна потужність обраного мікроконтролера дозволяє поряд з організацією аналогово-цифрових перетворень і цифрової фільтрації реалізувати TCP / IP сервер, до якого підключається TCP / IP клієнт для організації каналу передачі даних.

Розроблений програмно-апаратний комплекс має 4 незалежних канали АЦП. Типова схема каналу АЦП наведена на Рис. 2.2.

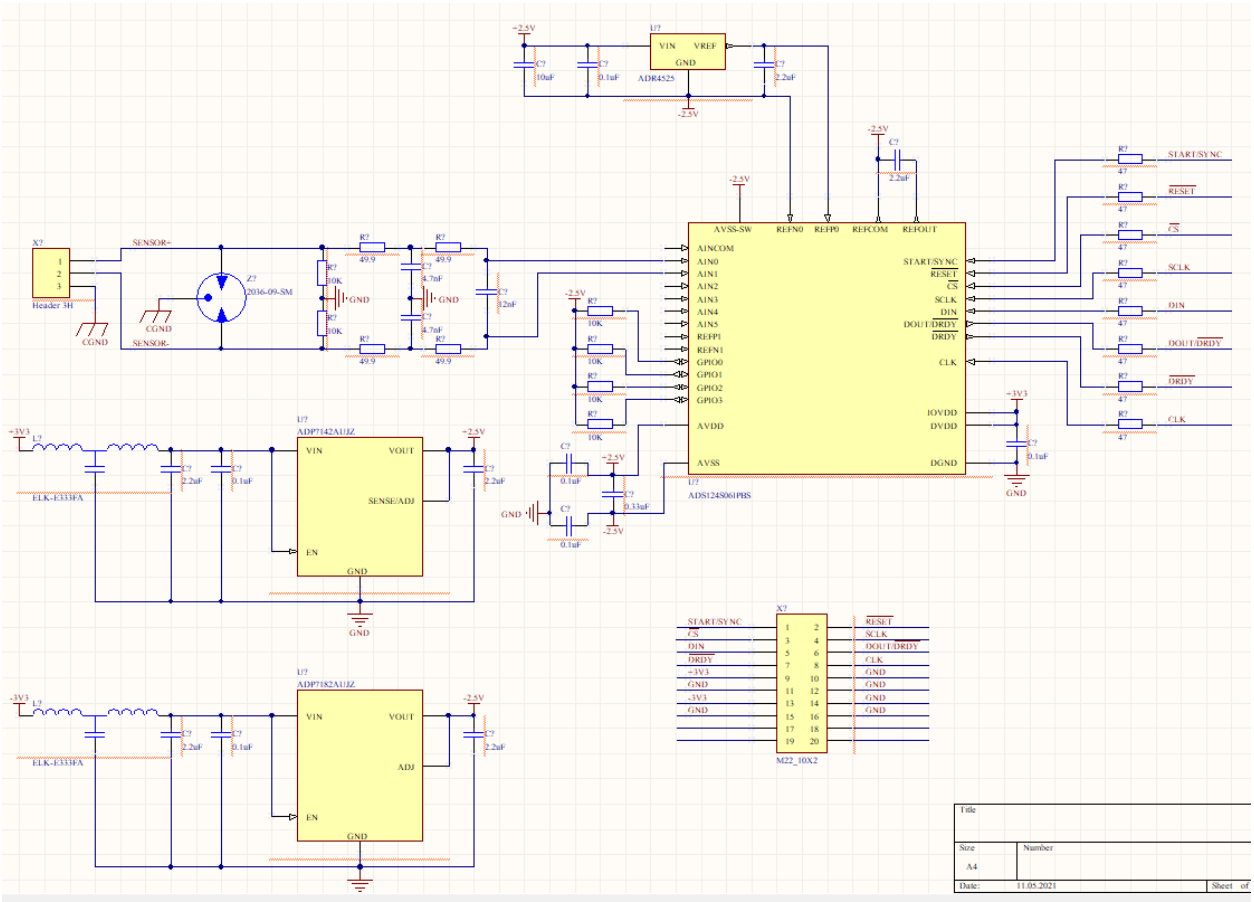


Рис. 3.2. Схемное решение канала АЦП

Непосредственным преобразователем аналогового сигнала в цифровой является микросхема АЦП ads124s06. Данная микросхема обладает рядом характерристик, достаточным для достижения необходимых параметров преобразования, а именно:

- точность оцифровки не хуже, чем ±1 мВ;
- динамический диапазон входных зачений до ±10 В;
- частота семплирования до 10 000 Гц.

3.2. Цифрова фільтрація аналогових сигналів

Рівняння і структурна схема (Рис. 3.3) КИХ-фільтра наведені нижче::

$$y(n) = \sum_{i=0}^{P} h_i \, x(n-i)$$

де: P– порядок фільтра, x_n – вхідний сигнал, y_n – вихідний сигнал, h_i - коефіцієнти фільтра.

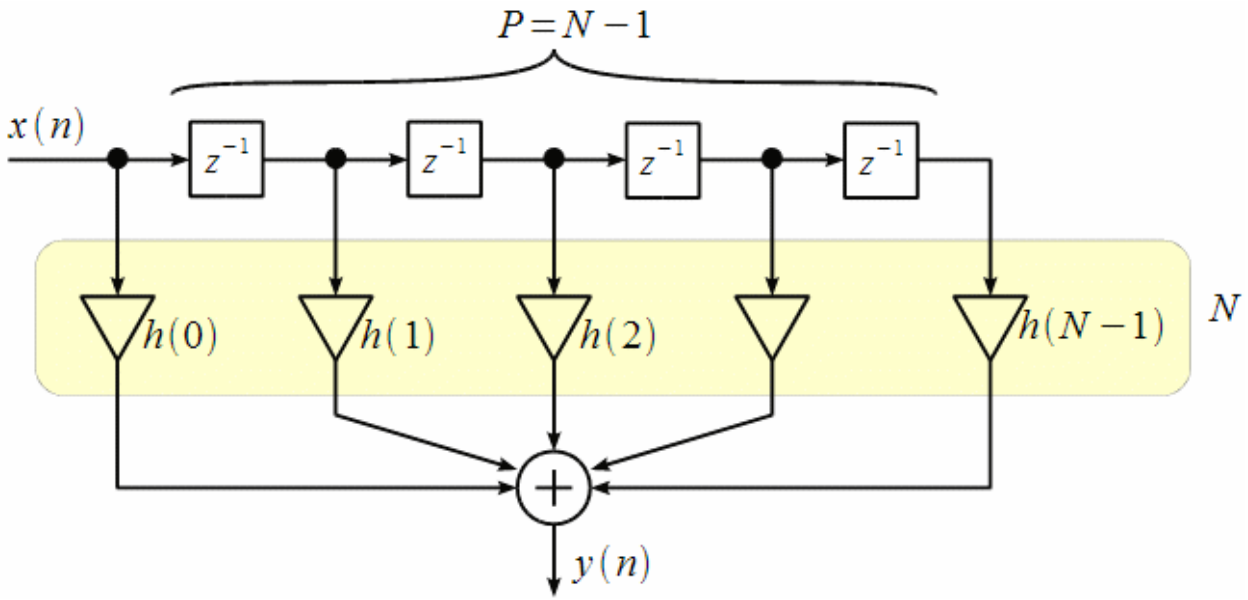


Рис. 3.3. Структурна схема КИХ фільтра

Для усунення шумових гармонік з аналогових сигналів в пристрої реалізовані цифрові фільтри, які можна налаштовувати незалежно для кожного каналу. Для кожного каналу АЦП незалежно від інших каналів є можливість підключити фільтр низьких частот, фільтр високих частот, режекторний або смуговий фільтр.

Як приклад проілюструємо амплітудно-частотну характеристику смугового фільтра з наступними параметрами::

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, міні Рисьне 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

Цифровий фільтр реалізований як смуговий КИХ фільтр з вікном Кайзера (Рис. 2.4).

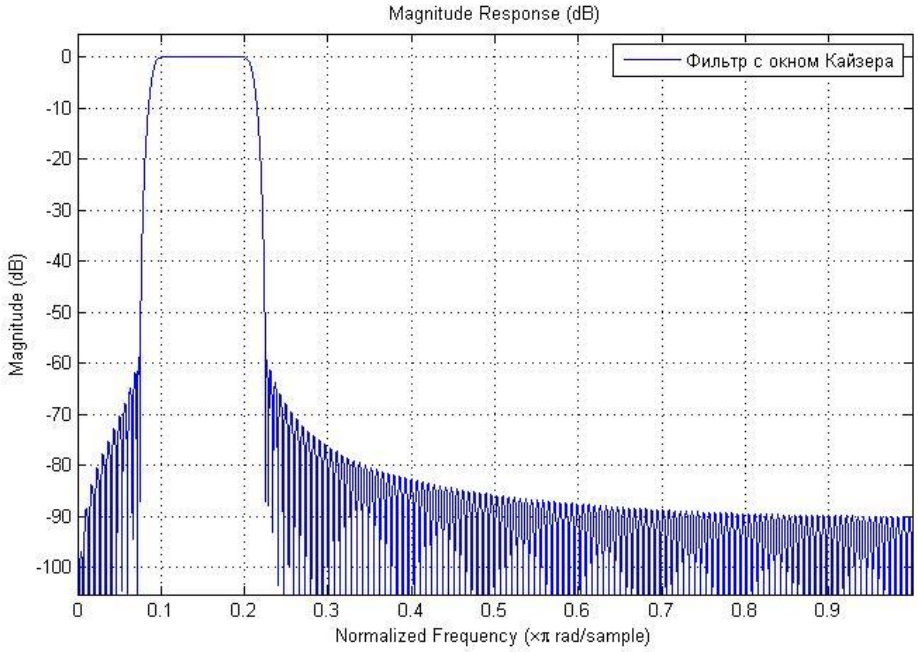


Рис.Рис.3.4. Амплітудно-частотна характеристика смугового фільтра з вікном Кайзера

Порядок фільтра з вікном Кайзера становить 291.

Правильність фільтрації описаного фільтра перевіряємо, застосувавши фільтр до наступних аналоговим сигналам:

- синусоїдальний сигнал частотою 600 Гц (частота сигналу знаходиться в смузі пропускання);
- синусоїдальний сигнал частотою 2000 Гц (частота сигналу знаходиться поза смуги пропускання);
- суперпозиція обох гармонік.

На Рис. 3.5 показані результати фільтрації сигналу частотою 600 Гц.

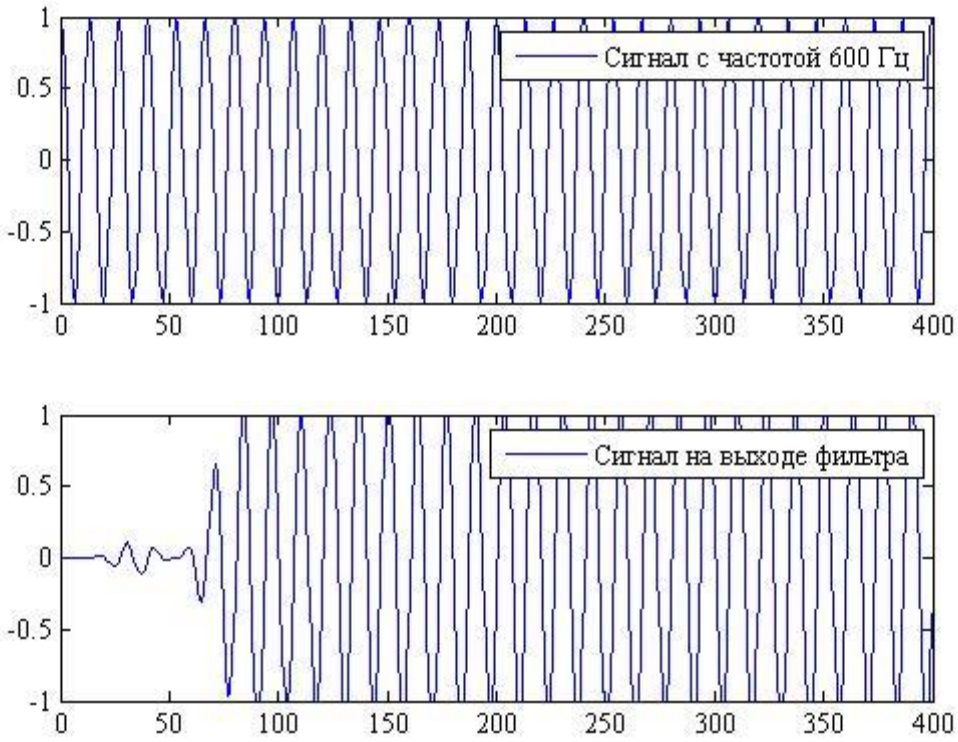


Рис. 3.5. Фільтрація сигналу, частота якого знаходиться в межах смуги пропускання

На Рис. 3.5 видно, що розроблений смуговий фільтр не спотворює аналоговий сигнал, частота якого знаходиться в межах смуги пропускання фільтра..

У той же час, застосувавши розроблений фільтр до аналогового сигналу з частотою 2000 Гц, ми бачимо, що сигнал повністюпригнічується при проходженні через фільтр (Рис. 3.6):

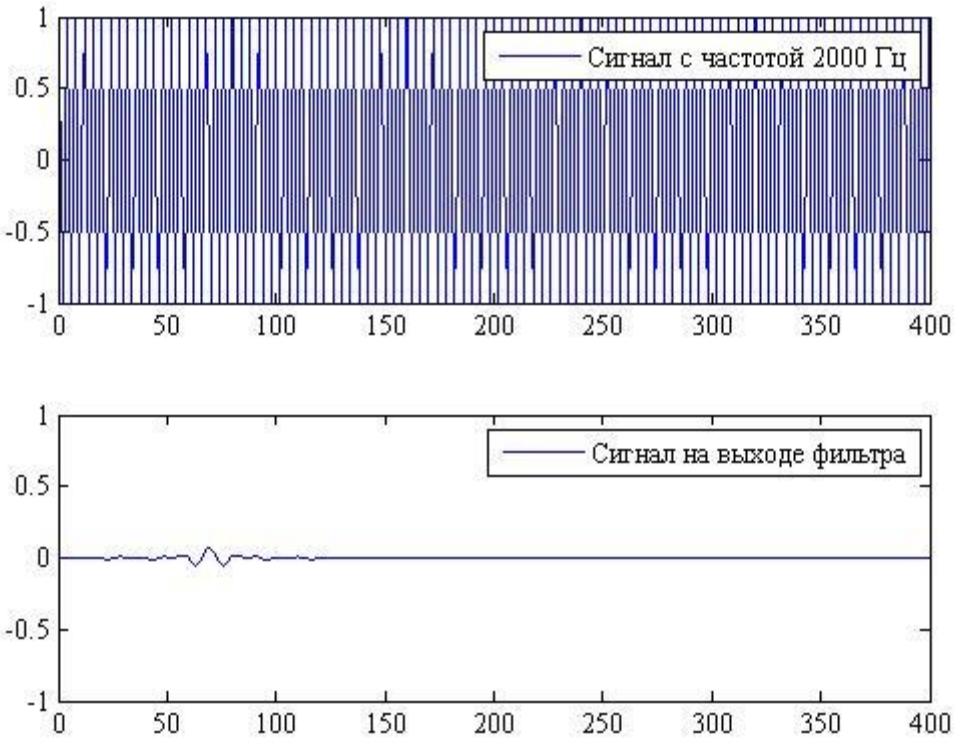


Рис. 3.6. Фільтрація сигналу, частота якого знаходиться поза смуги пропускання

Результати фільтрації сигналу, що має обидві гармоніки (и 600 Гц, и 2000 Гц) зображені на Рис. 3.7:

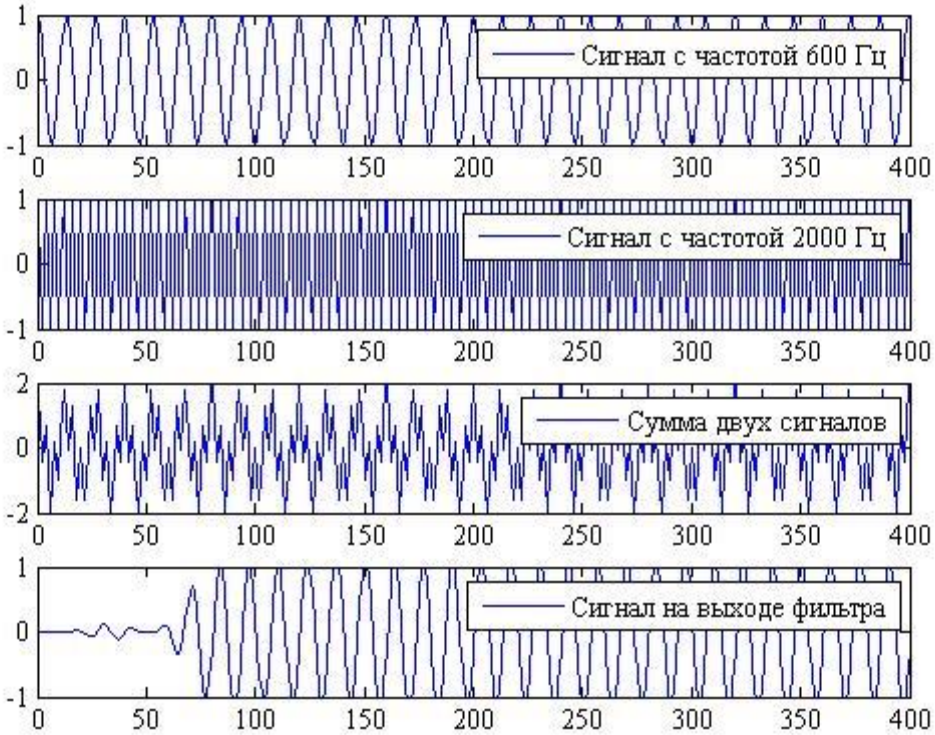


Рис. 3.7. Результати фільтрації аналогового сигналу, що містить гармоніку зі смуги пропускання і гармоніку зі смуги затримання

Из Рис. 3.7 видно, що розроблений фільтр повністю пригнічує гармоніку 2000 Гц з смуги задержаніясігнал після і пропускає без спотворення гармоніку 600 Гц зі смуги пропускання.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи був спроектований і розроблений блок комутації і мережевий передачі даних.

Розроблений програмно-апаратний комплекс володіє наступною функціональністю:

• Можливість підключення 4 аналогових датчиків з незалежної для кожного каналу налаштуванням динамічного діапазону і частоти оцифровки. 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.

• Цифрова фільтрація «на ходу» для всіх аналогових каналів . Програмним чином реалізовані цифрові КИХ фільтри: фільтр низьких частот, фільтр високих частот, режекторний і смугової фільтри.

• Для мережевої передачі даних використовується TCP / IP протокол. На самому пристрої реалізований TCP північ, до якого в якості TCP клієнта підключається оператор, утворюючи канал передачі даних.

• У разі втрати зв'язку між блоком комутації і оператором в нашому пристрої реалізовано тимчасове сховище даних, розраховане на 10 000 вимірювань для Кожен аналоговий канал.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Девід Хьюкабі, Стів Мак-Квері. Cisco Field Manual: Catalyst Switch Configuration. - М. : «Вільямс» , 2004. - С. 560.

2. Брайан Хілл. **Глава 9. Основні відомості про комутатори** // Повний довідник по Cisco = Cisco: The Complete Reference. - «Вільямс» . - С. 1088. -

3. А. А. Шімбірёв, Тетеревлева Ев.К., Тетеревлева Ек.К. - Курс лекцій «Комп'ютерні мережі» - МПТ РГТЕУ, 2013

4. Звіт Національного бюро стандартів. Ст-**2794** . Липень 1953 року.

5. Вычислительная техника. Терминология: Справочное пособие. Выпуск 1 / Рецензент канд. техн. наук Ю. П. Селиванов. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 168 с. — 55 000 экз

6. Толковый словарь по вычислительным системам = Dictionary of Computing / Под ред. В. Иллингуорта и др.: Пер. с англ. А. К. Белоцкого и др.; Под ред. Е. К. Масловского. — М.: Машиностроение, 1990. — 560 с. — 70 000 (доп.) экз.

7. Борковский А. Б. Англо-русский словарь по программированию и информатике (с толкованиями). — М.: Русский язык, 1990. — 335 с. — 50 050 (доп.) экз

8. S. Norsworthy, R. Schreier, G. Temes. Delta-Sigma Data Converters.

9. Mingliang Liu. Demystifying Switched-Capacitor Circuits'

10. Behzad Razavi. Principles of Data Conversion System Design. 11. David Johns, Ken Martin. Analog Integrated Circuit Design.

12. Phillip E. Allen, Douglas R. Holberg. CMOS Analog Circuit Design.

13. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров. США, 1969. / Пер. с англ., под ред. А. Е. Знаменского. М.: Сов. радио, 1974. — 288 с. УДК 621.372.541.061

14. Q.S. Mei, K. Lu. Melting and superheating of crystalline solids: From bulk to nanocrystals // Progress in Materials Science. – 2007. – V. 52. – P. 1175–1262.

15. N.T. Gladkikh, S.I. Bogatyrenko, A.P. Kryshtal et al. Melting point lowering of thin metal films (Me = In, Sn, Bi, Pb) in Al/ Me/Al film system // Applied Surface Science. – 2003. – V. 219, № 3–4. – P. 338–346.

16. H. Oksmoto. Phase diagrams for binary alloys. – USA: ASM International, 2000. – 828 p.

17. Н.Т. Гладких, С.П. Чижик, В.И. Ларин и др. Диаграммы состояния бинарных сплавов в конденсированных пленках // ДАН СССР. – 1988. – Т. 300, №3. – С. 588–592.

18. Р. Богнер, А. Константинидис. Введение в цифровую фильтрацию. — Москва: Мир, 1976.

19. Э. Оппенгейм. Применение цифровой обработки сигналов. — Москва: Мир, 1980.

20. Вісник ХНУ, № 915, серія «Фізика», вип. 14, 2010. С88-90

21. hayumanavan Sridhar (September 1998. cisco.com. The Internet Protocol Journal. Cisco Systems. Retrieved 2014-08-05.