

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**ПРИЛАД ДЛЯ КОНТРОЛЮ ХАРАКТЕРИСТИК МЕДИЧНОЇ ТЕРАПЕВТИЧНОЇ
АППАРАТУРИ**

Виконав: студент 4 курсу,
групи БМІ-216,
спеціальності 163 Біомедична інженерія

 Василенко В. С.

Керівник: к.т.н., доцент каф. БМІОЕС

 Коваль Л. Г.

« 13 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., ст. викладач каф. ІКСТ

 Макогон В. І.

« 13 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри БМІОЕС

Коваль Л. Г. 

« 16 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем
Бакалавр
Спеціальність 163 Біомедична інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри БМІОЕС

к. т. н., доцент Коваль Л. Г.



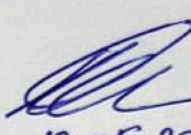
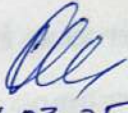
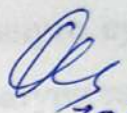
«20» 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу
студенту Василенко Владиславу Сергійовичу, гр. БМІ-216

1. Тема БКР «Прилад для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури», керівник роботи доцент каф. БМІОЕС Коваль Леонід Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом ВНТУ від 20 березня 2025 року № 97.
2. Строк подання студентом роботи – до 02.06.2025 р.
3. Вихідні дані для роботи: _вхідні частоти 0-500 кГц, напруга живлення 5 В
4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналітичний огляд питання; 2. Конструкторський розділ; 3. Технологічний розділ; 4. Опрацювання питань охорони праці.
5. Зміст ілюстративної частини: структурна схема приладу, схема електрична принципова, плата друкована, компоновка приладу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Коваль Л. Г., к.т.н., доцент кафедри БМІОЕС	 20.03.2025	 13.06.2025
Охорона праці	Дембіцька С. В., д. п. н., професор кафедри БЖДПБ	 24.03.25	 30.05.25

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

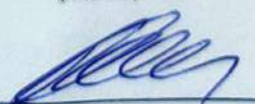
№ з/п	Назва етапів БДР	Строк виконання етапів БДР	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	До 20.03.2025	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	До 21.04.2025	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	До 19.05.2025	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	До 30.05.2025	
5	Попередній захист БДР	06.06.2025	
6	Нормоконтроль БДР	09.06.2025	
7	Рецензування БДР	13.06.2025	
8	Захист БДР	20.06.2025	

Студент


(підпис)

Василенко В. С.

Керівник роботи


(підпис)

Коваль Л. Г.

АНОТАЦІЯ

Василенко В. С. БКР на тему «Прилад для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури». Вінниця: ВНТУ, 2024. 109 с.

Українською мовою. 27 рис., 11 табл., бібліогр. 24 найм.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено прилад для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури. В роботі розглянуто сучасний стан розвитку приладів для контролю характеристик медичної апаратури та форми сигналів, проаналізовано принципи побудови та функціонування комп'ютерних вимірювальних систем, розроблено схему електричну принципову, здійснено компонування приладу, розроблено програмне забезпечення, опрацьовані питання охорони праці при його виготовленні.

ABSTRACT

Vasylenko V. S. Bachelor thesis on the topic "Device for monitoring the characteristics of medical therapeutic equipment". Vinnytsia: VNTU, 2024. 109 p.

In Ukrainian. 27 figures, 11 tables, bibliogr. 24 titles.

The master's qualification work is devoted to the development of a device for monitoring the characteristics of medical therapeutic equipment. The work considers the current state of development of devices for monitoring the characteristics of medical equipment and signal shapes, analyzes the principles of construction and operation of computer measuring systems, develops an electrical schematic diagram, performs device layout, develops software, and examines occupational safety issues during its manufacture.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ПРИБАДИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ХАРАКТЕРИСТИК МЕДИЧНОЇ ТЕРАПЕВТИЧНОЇ АПАРАТУРИ	8
1.1 Прилади для контролю вихідних параметрів медичної апаратури.....	8
1.2 Форми сигналів.....	10
2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИБАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕДИЧНОЇ АПАРАТУРИ.....	15
2.1 Описання функцій клавіатури.....	15
2.2 Загальний принцип роботи АЦП	16
2.3 Метод Oversampling	18
2.4 Класифікація АЦП	19
2.5 Квантові амплітуди та розрядність АЦП: перетворення аналогового сигналу в цифровий код.....	19
2.6 Принцип роботи інтерфейсу USB	21
2.7 Огляд архітектури USB	22
2.8 Протоколи передачі даних USB-порту	23
2.9 Драйвер D2XX	25
2.10 Функціональна схема АЦП з інтерфейсом USB	25
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	27
3.1 Вибір мікросхем для реалізації USB	27
3.2 Вибір мікросхем для реалізації АЦП	30

3.3 Реалізація входу АЦП на базі операційного підсилювача	30
3.4 Опис і принцип роботи пристрою для вимірювання вихідних сигналів медичної апаратури	31
3.4.1 Технічні характеристики	31
3.4.2 Взаємодія зі CMSIS: Стандартні бібліотеки та "Сніппети"	35
3.5 Запуск та Особливості Використання Наборів Фрагментів STM32SnippetsF0 та STM32SnippetsL0	41
3.5.1 Функціонування та Аналіз Структури Файлу Main.c.....	43
3.5.2 Опис Роботи Пристрою Введення Аналогової Інформації.....	45
3.6 Визначення Розмірів та Маси Конструкцій.....	49
3.7 Вибір оптимального варіанту конструкції	53
3.8 Вибір Типу Друкованої Плати	54
3.9 Вибір та Обґрунтування Класу Точності Друкованої Плати.....	55
3.10 Вибір матеріалу друкованої плати	56
3.11 Вибір методу проектування друкованої плати.....	57
3.12 Розрахунок діаметрів контактних площадок	58
3.13 Розрахунок ширини друкованих провідників	60
3.14 Вібророзрахунок плати.....	61
3.15 Розрахунок на завадостійкість	63
3.16 Результати Моделювання	65
4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	73
4.1 Підготовчі Роботи	79
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	80

5.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	80
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	83
5.2.1 Мікrokлімат	83
5.2.2. Склад повітря робочої зони.....	84
5.2.3 Виробниче освітлення.....	85
5.2.4 Виробничий шум	86
5.2.5. Виробничі випромінювання	87
5.3 Пожежна безпека.....	88
5.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі	89
5.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	90
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	93
ДОДАТОК А.....	95
ДОДАТОК Б.....	98

ВСТУП

В теперішній час значно зростає роль вимірювальної техніки в медичній практиці. Забезпечення точності та надійності медичної терапевтичної апаратури є критично важливим для ефективної діагностики та лікування. У зв'язку з цим, розробка сучасних приладів для контролю характеристик такої апаратури набуває особливої актуальності.

Дана бакалаврська робота присвячена розробці приладу для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури. Цей прилад призначений для забезпечення точного вимірювання та аналізу ключових параметрів вихідних сигналів, що дозволяє проводити комплексну оцінку її функціонального стану.

В роботі представлено огляд існуючих приладів для контролю медичної апаратури, розглянуто принципи їх побудови та функціонування. Особливу увагу приділено розробці програмного забезпечення, яке забезпечує зручний інтерфейс користувача та можливість обробки отриманих даних.

Прилад реалізується з використанням USB-порту для передачі даних, що забезпечує його сумісність з сучасними комп'ютерними системами. Розроблений прилад дає змогу проводити вимірювання параметрів, таких як напруга, частота та форма сигналу, з високою точністю та надійністю.

Мета і задачі даної бакалаврської кваліфікаційної роботи – розробка приладу для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- Проаналізувати існуючі прилади для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури.
- Розробити програмну та апаратну частини приладу для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури.

Об'єктом дослідження є прилад для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури.

Предметом дослідження є процес вимірювання та контролю параметрів вихідних сигналів медичної апаратури з використанням розробленого приладу.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений прилад забезпечує можливість об'єктивної оцінки функціонального стану медичної апаратури, що сприяє підвищенню якості медичних послуг та зменшенню ризиків, пов'язаних з її неправильною роботою.

1 ПРИЛАДИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ХАРАКТЕРИСТИК МЕДИЧНОЇ ТЕРАПЕВТИЧНОЇ АПАРАТУРИ

Медичні прилади відіграють важливу роль у сучасній медицині, забезпечуючи можливість проведення діагностики, лікування та моніторингу стану пацієнтів. Ефективність та безпека використання медичної апаратури значною мірою залежить від точності її вихідних параметрів. Тому розробка приладів для контролю цих параметрів є актуальною задачею, що має велике практичне значення.

В даному розділі розглянуто основні аспекти, пов'язані з приладами для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури.

1.1 Прилади для контролю вихідних параметрів медичної апаратури

Прилади для контролю вихідних параметрів медичної апаратури з'явилися завдяки технологічному прогресу в кількох ключових областях. По-перше, це еволюція гібридних аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП), які стали здатні швидко та точно оцифровувати високочастотні сигнали. Це дозволило перетворювати аналогові сигнали, що генеруються медичною апаратурою, в цифровий формат для подальшого аналізу та обробки.

По-друге, значний внесок зробили розробки в сфері запам'ятовуючих пристроїв. Сучасні прилади контролю повинні зберігати великі обсяги даних, отриманих в процесі вимірювань, причому швидкість збереження має відповідати швидкості вибірки сигналу. Крім того, важливим фактором є енергоспоживання пристроїв пам'яті, особливо для портативних приладів.

І, нарешті, розвиток компактних дисплейних модулів з низьким енергоспоживанням також зіграв свою роль. Вони забезпечують можливість зручного відображення інформації про параметри сигналів в реальному часі.

Сучасні прилади для контролю вихідних параметрів медичної апаратури часто є цифровими. Вони використовують впорядковану або випадкову вибірку миттєвих значень досліджуваного сигналу та його тимчасове перетворення для отримання зображення форми сигналу.

Одним з типів цифрових приладів є цифрові запам'ятовуючі осцилографи (DSaO). Вони застосовують аналогово-цифрові перетворювачі для представлення даних про сигнали в цифровому форматі. Принцип їх роботи базується на стробоскопічному ефекті, що дозволяє вимірювати миттєві значення повторюваних сигналів за допомогою коротких стробоскопічних імпульсів. Завдяки цьому, такі осцилографи забезпечують широку смугу пропускання та мають високу чутливість.

Іншим типом є цифрові люмінофорні осцилографи (DPO). Це найбільш розвинений та високотехнологічний тип приладів для контролю вихідних параметрів медичної апаратури на сьогоднішній день. DPO відображають сигнал в трьох площинах: тимчасовій, амплітудній та амплітудній в плинні часу (інтенсивність). Це робить їх в деякій мірі порівнянними з аналоговими осцилографами за зручністю сприйняття інформації.

Фізіотерапія - область клінічної медицини, що вивчає властивості фізичних факторів і реалізує методики їх застосування для лікування хвороб, а також реабілітації. Медичні прилади, за допомогою яких штучно створюються фізичні фактори, які використовуються для терапії, називаються фізіотерапевтичними.

Сучасна медицина має у своєму розпорядженні значну кількість технічних засобів, вирішуючи різні завдання фізіотерапії, і їх перелік постійно збільшується за рахунок модифікації відомих методів і розробки нових пристроїв. Найбільш широке застосування в медичній практиці отримала фізіотерапевтична апаратура, яка здійснює вплив електричним струмом різної частоти та напруги з різною формою сигналів впливу, електричними і магнітним полем, іонізуючими випромінюваннями, випромінюванням оптичного діапазону, ультразвуком і т.п.

1.2 Форми сигналів

Форма хвилі є ключовим індикатором змісту сигналу. Зміни у висоті форми сигналу завжди відображають коливання напруги. Якщо форма сигналу залишається горизонтальною, це свідчить про стабільність напруги в цей період. Прямі діагональні лінії на діаграмі сигналу сигналізують про лінійну динаміку напруги, тобто поступове зростання або спадання. Різкі кути на графіці вказують на непередбачувані та швидкі зміни напруги.

Синусоїда є фундаментальною формою сигналу з огляду на її математичні властивості та поширену присутність у реальних системах. Вона збігається з визначенням гармонійної функції, відомої як функція $\sin x$. Прикладом цього є змінна напруга в електромережі, яка коливається за синусоїдальним законом. Аналогічно, сигнали, що генеруються стандартними функціональними генераторами, також мають синусоїдальний характер. Також більшість джерел змінного струму використовують синусоїдальний сигнал як основний тип вихідного сигналу. Ілюстрацію синусоїди можна знайти на рисунку 1.1

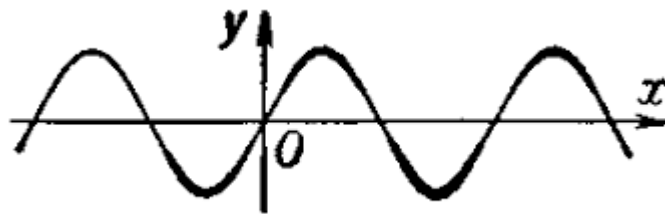


Рисунок 1.1 – Синусоїда

В режимі безрезонансного коливання, спостерігається унікальний тип коливань, відомий як затухаюча синусоїда. Прикладом цього явища є коливальні контури, що зображені на рисунку 1.2.

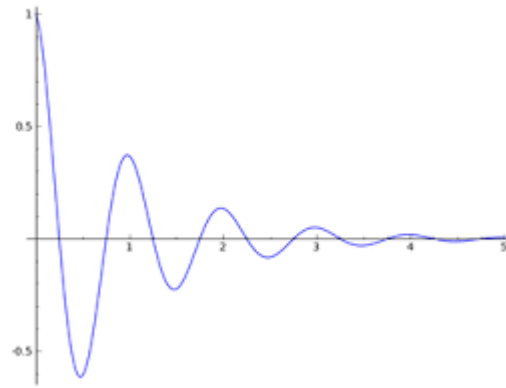


Рисунок 1.2 – Затухаюча синусоїда

Меандр є однією з різновидів сигнальних хвиль. В основі лежить напруга, яка ритмічно змінюється між станом "включено" та "виключено" (або швидко збільшується і зменшується) з регулярною періодичністю. Сигнали меандру широко застосовуються для оцінки якості підсилювачів, оскільки якісні пристрої мінімізують спотворення в таких сигналах. Також меандр використовується в телевізійних, радіо та комп'ютерних схемах для синхронізації, як ілюструється на малюнку 1.3.



Рисунок 1.3 – Меандр

Прямокутне імпульсне зображення нагадує меандр, але відрізняється тим, що високі та низькі рівні сигналу не мають однакової тривалості. Ця особливість сигналів є ключовим фактором при вивченні цифрових ланцюгів. Ілюстрація прямокутника наведена на рис. 1.4.

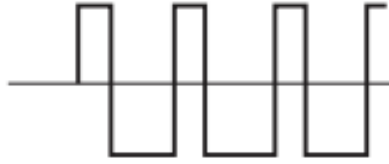


Рисунок 1.4 – Прямокутна форма

Лінійні схеми, наприклад, генератор горизонтального сканування аналогового осцилографа або блок кадрового розгорнення телевізора, створюють сигнали, що мають вигляд пілової або трикутної хвилі. Приклади таких сигналів наведені на рисунках 1.5 та 1.6.

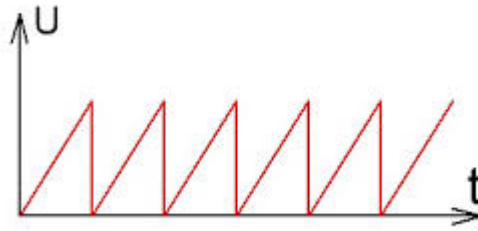


Рисунок 1.5 – Пілкоподібна форма

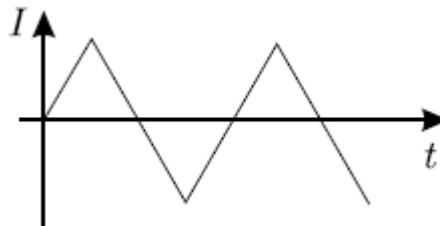


Рисунок 1.6 – Трикутна форма

Аперіодичний сигнал, який рідко виникає або представляє одну або дві зміни напруги, що називається зміною або імпульсом. Ця різниця характеризується раптовою зміною напруги, подібною до вмикання або вимкнення мережевого комутатора.

Відмінності показані на малюнку 1.7.

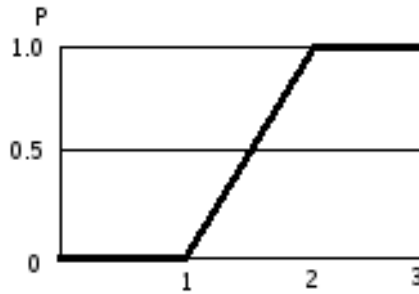


Рисунок 1.7 – Перепад

Імпульс складається з двох послідовних змін, подібних до комутації та виключення вимикачів.

Імпульс може бути інформацією, що надсилається через комп'ютерну шину або несправність (імпульсна перешкода).

Деякі імпульси, надіслані разом, утворюють ряд імпульсів.

Цифрові компоненти комп'ютера взаємодіють між собою за допомогою імпульсів.

У серійних шинах інформація передається як послідовність імпульсів на сигнальній лінії, що забезпечує кілька сигнальних ліній паралельних шин для передачі імпульсів.

Імпульс часто використовується в рентгенівських пристроях, радіолокаційних системах та системах зв'язку.

Імпульс показаний на малюнку 1.7.

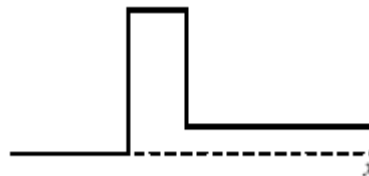


Рисунок 1.8 – Імпульс

Повторні сигнали належать до категорії періодичних, постійно змінюючих сигналів, відомих як не періоди. На екрані осцилоскопа відображаються звичайні

сигнали і з'являються постійно змінні зображення, і це виглядає як стабільне зображення.

Якщо між двома сигналами є зв'язок, ці сигнали належать до категорії синхронізації. Наприклад, адреса частот годин, сигналів даних та сигнали синхронізації комп'ютерної системи. Асинхронний сигнал - це сигнал, який не вистачає часу. Наприклад, якщо не існує тимчасової залежності між натисканням клавіші на клавіатурі комп'ютера та годинником комп'ютера, відповідний асинхронний сигнал є доцільним.

Деякі сигнали поєднують властивості синусних хвиль, меандрів, змін та імпульсу. Корисна інформація може бути включена в зміни амплітуди, фази чи частоти. Для вивчення таких сигналів, змішування осцилоскопів, привабливі низькочастотні конверти та високочастотні сигнали з рівнями яскравості вимагають поєднання цих сигналів у вигляді візуально інтерпретаційних зображень. Комплексний сигнал показаний на малюнку 1.8.

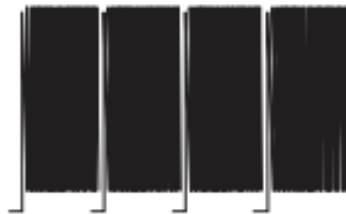


Рисунок 1.9 – Комплексний сигнал

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕДИЧНОЇ АПАРАТУРИ

Програма складається з таких частин:

- Блок обробки переривання АЦП, який виконує мінімальні функції збереження результатів після оцифрування аналогових даних.
- Блок обробки переривання таймера, в якому, крім визначення частоти, відбувається опитування клавіатури та виведення на світлодіодний екран значень, отриманих при оцифруванні вхідного сигналу.
- Блок ініціалізації програми.

В цьому блоці відбувається початкове налаштування мікроконтролера. Встановлюються біти управління та напрямки передачі даних в портах введення/виведення.

Основний цикл програми побудований за типовою схемою нескінченного циклу, в якому реалізується обробка функцій натискання відповідних клавіш і зміна параметрів системи відповідно до заздалегідь встановленого алгоритму.

2.1 Описання функцій клавіатури

Кнопки SA1, SA2 (+, -) слугують для вибору інтервалу між зчитуванням значень напруги, тобто змінюють значення таймера лічильника від 17 мкс до 65 мс.

Кнопка SA3 перемикає режим приросту на 10 або на 1 після натискання клавіш 1 і 2.

Кнопка SA4 змінює частоту або рівень синхронізації за допомогою клавіш 1 і 2. (Зміна рівня синхронізації зрушує осцилограму по горизонталі).

Клавіші SA5, SA6 (+, -) призначені для зміни приросту зміщення амплітуди оцифрованого сигналу, забезпечуючи зсув осцилограми по вертикалі.

Кнопка SA7 виконує запис форми сигналу в пам'ять, зберігаючи 1600 тактів оцифрування.

Клавіша SA8 відповідає за виведення записаного сигналу на індикатор; при кожному натисканні виводиться наступна порція з 1600 оцифрованих тактів сканування сигналу.

2.2 Загальний принцип роботи АЦП

Сучасний рівень розвитку аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) підвищує швидкість та роздільну здатність обробки сигналів, водночас зменшуючи споживану потужність і напругу живлення. Сучасні перетворювачі сигналів функціонують при напрузі живлення $\pm 5\text{В}$ або $+3\text{В}$ (однополярне джерело живлення) [1].

Кількість пристроїв з напругою живлення $+3\text{В}$ стрімко зростає через появу багатьох нових ринків збуту. Ця тенденція створила численні труднощі, які не мали значення при розробці перетворювачів, що використовували напругу живлення $\pm 15\text{В}$ та діапазон зміни вхідних сигналів $\pm 10\text{В}$. Більш низькі напруги мають менші діапазони вхідної напруги, а отже, більшу чутливість до різних перешкод: шумів від джерел живлення, неякісних опорних і цифрових сигналів, електромагнітних впливів та радіоперешкод (EMI/RFI), до неякісних методів розв'язки та розміщення компонентів на друкованій платі. У АЦП з однополярним джерелом живлення зміна вхідних сигналів зазвичай відраховується відносно "землі". Водночас виникає проблема з пошуком відповідних підсилювачів з однополярним живленням для нормалізації сигналу на вході та здійснення необхідного зміщення сигналу щодо "землі". Нині доступні компоненти, що мають високу роздільну здатність при низькій напрузі живлення та малій споживаній потужності.

Аналоговий сигнал є безперервним у часі процесом, а його цифрове представлення – це послідовність чисел, що складається з обмеженої кількості біт.

Тому перетворення аналогового сигналу в цифровий включає два етапи: дискретизацію за часом та квантування по амплітуді.

Дискретизація за часом зазвичай означає, що сигнал представляється низкою своїх відліків (дискретів), які є безперервними за амплітудою та взяті через однакові проміжки часу, хоча в деяких спеціальних випадках може застосовуватися і нерівномірна за часом дискретизація, наприклад, при оцифруванні вузькосмугових сигналів.

Основне питання на першому етапі перетворення аналогового сигналу в цифровий (оцифрування) полягає у виборі частоти дискретизації аналогового процесу. Відповідь на нього дає відома теорема Найквіста, яка стверджує, що для того, щоб аналоговий (безперервний у часі) сигнал, який займає смугу частот від 0 Гц до F Гц, можна було абсолютно точно відновити за його відліками, частота дискретизації повинна бути не менше $2 \cdot F$ Гц, або відліки сигналу повинні братися не менше, ніж через $1/(2 \cdot F)$ секунди.

Якщо реальний аналоговий сигнал перетворити в цифрову форму, яка містить частотні компоненти від 0 Гц до 20 кГц, то частота дискретизації такого сигналу повинна бути не менше 40 кГц. Якщо дискретизувати сигнал зі смугою більше, ніж частота дискретизації, поділена на 2, то попередньо необхідно за допомогою аналогового фільтра низьких частот придушити ту високочастотну частину сигналу, спектральні компоненти якої знаходяться вище по частоті, ніж частота дискретизації, поділена на два.

Частотний спектр дискретизованого сигналу має ту ж форму, що і спектр аналогового (безперервного) сигналу, і повторюється на частотах, кратних частоті дискретизації. Наприклад, якщо аналоговий сигнал займає смугу 0-20 кГц і дискретизований з частотою 50 кГц, то копії спектра (alias або аліазінг) з'являться на частотах 30-70 кГц, 80-120 кГц і т.д.

Для точного відновлення безперервного аналогового сигналу за його дискретними відліками, аліазингові спектри не повинні спотворювати

(накладатися) один на одного, з чого й випливає вимога дискретизації сигналу на частоті, рівній подвоєній смузі аналогового сигналу.

Реальні аналогові сигнали містять компоненти (корисні та перешкоди), що мають частотні складові, розташовані вище по частоті, ніж часто використовуються на практиці частоти дискретизації 44.1 кГц або 48,0 кГц, поділені на два. Тому перед дискретизацією необхідна аналогова фільтрація, що є досить складним завданням.

Аналогові фільтри не можуть пропустити всі частоти від 0 Гц до 24 кГц і придушити всі частоти вище 24 кГц. Будь-який аналоговий фільтр має ненульову перехідну (від пропускання до придушення) область, і, отже, разом із "шкідливими" компонентами будуть пригнічені й корисні сигнали з області частот нижче 24 кГц. Крім того, при спробі зробити перехідну область між смугою пропускання і смугою придушення, посилюються внесені фазові спотворення, подовжується перехідний процес (фільтр починає "дзвеніти"), і налаштування такого аналогового фільтра стає складнішим.

В сучасних АЦП ця проблема вирішується за допомогою Oversampling.

2.3 Метод Oversampling

Діапазон частот вхідного аналогового сигналу обмежується аналоговим фільтром. Частота фільтра вибирається вище корисної частоти, а перехідна смуга фільтра є досить широкою. Таким чином, виключається завал "корисних" вищих частот, фазові спотворення з вузькою перехідною смугою. Далі відфільтрований сигнал з обмеженою по частоті смугою дискретизується на високій частоті, що виключає аліазінг. Потім дискретні відліки перетворюються в числову послідовність за допомогою АЦП. Після цього формується потік цифрових даних, включаючи небажані високочастотні компоненти та перешкоди. Цифрові дані проходять через цифровий фільтр з вузькою перехідною смугою і значним придушенням високочастотних компонентів. Після цифрового фільтра виходить

цифрове представлення сигналу, що має спектр, правильно обмежений по частоті. Застосовуючи до такого сигналу теорему Найквіста, різко знижується частота його дискретизації до подвоєної величини найвищої корисної частотної складової.

2.4 Класифікація АЦП

Класифікація АЦП представлена на рисунку 2.1.

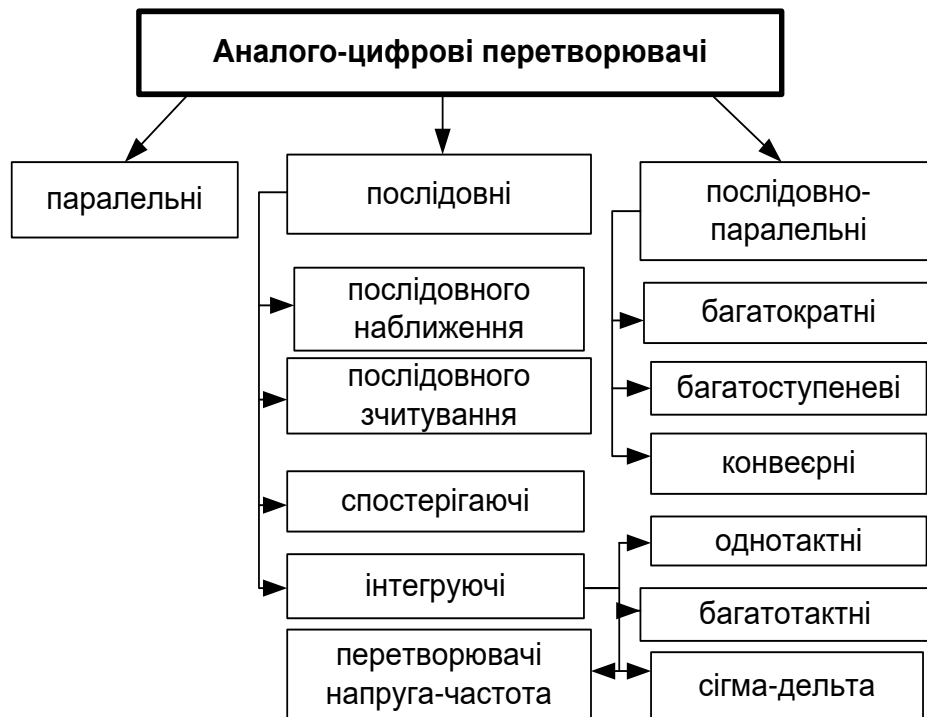


Рисунок 2.1 – Класифікація АЦП

2.5 Квантові амплітуди та розрядність АЦП: перетворення аналогового сигналу в цифровий код

Перетворення аналогового сигналу в цифровий відбувається у два етапи: спочатку сигнал дискретизується (розбивається на окремі відліки) згідно з теоремою Котельникова, а потім відбувається квантування – визначення амплітуди кожного відліку.

Квантування можна уявити як вимірювання довжини лінійкою. Чим більше поділок на лінійці, тим точніше вимірювання довжини (амплітуди) і менша похибка, яка називається шумом квантування. Однак, більша кількість поділок вимагає більшої кількості бітів для представлення результату вимірювання (амплітуди).

Наприклад, лінійка з 32 поділками потребує 5 біт для кодування будь-якої довжини ($32 = 2^5$). Ці 5 біт і є розрядністю АЦП. Отже, квантування – це вимірювання амплітуди відносно внутрішнього опорного значення напруги АЦП та представлення цієї амплітуди у вигляді числа з обмеженою кількістю бітів. Ці числа можуть бути цілими (наприклад, 16, 18, 20, 24-бітові) або з плаваючою комою (24 або 32-бітові), залежно від конструкції АЦП.

Часто використовується кодування амплітуд у вигляді цілих чисел у "додатковому коді". У звичайних АЦП розрядність вихідного цифрового потоку даних (кількість біт на відлік) дорівнює розрядності квантувача амплітуд, оскільки дані з квантувача безпосередньо передаються на вихід.

Якщо вхідний аналоговий сигнал є випадковим процесом, то похибка квантування не корелює з сигналом. У такому випадку відношення сигнал/шум на виході АЦП (за умови ідеальності інших компонентів) становить приблизно $6N$ дБ, де N – розрядність АЦП (кількість біт на відлік).

Наприклад, ідеальний 16-бітний АЦП з частотою дискретизації 44,1 кГц матиме шум квантування на рівні 96 дБ відносно синусоїдального сигналу, а спектр шуму квантування буде рівномірним у діапазоні 0 - 22,05 кГц. Збільшення частоти дискретизації не зменшує загальну потужність шуму квантування, але розширює його спектр. Подвоєння частоти дискретизації до 88,2 кГц розширює спектр шуму до 44,1 кГц. Оскільки корисний сигнал займає спектр від 0 Гц до 22,05 кГц, потужність шуму квантування в цьому діапазоні зменшиться вдвічі, покращуючи відношення сигнал/шум на 3 дБ. Чотириразове збільшення частоти дискретизації покращує відношення сигнал/шум на 6 дБ. Таким чином, 15-бітний квантувач з

частотою дискретизації $44,1 * 4$ кГц може забезпечити таке ж відношення сигнал/шум, як і 16-бітний.

2.6 Принцип роботи інтерфейсу USB

Universal Serial Bus (USB), що дослівно перекладається як "універсальна послідовна шина", спочатку призначалася для універсального з'єднання між телефонами та комп'ютерами. Згодом USB-інтерфейс еволюціонував і став домінуючим способом підключення будь-якої периферійної техніки до персональних комп'ютерів. Сучасні версії USB також надають можливість безпосереднього зв'язку між двома пристроями, оминаючи при цьому ПК [2].

Чому USB такий популярний?

Популярність інтерфейсу USB зумовлена кількома важливими факторами:

- Послідовна передача даних: забезпечує ефективний обмін інформацією.
- Висока швидкість: дозволяє швидко передавати великі обсяги даних.
- Лінія живлення: наявність живлення (5В, 500 мА) дозволяє багатьом пристроям працювати без окремого блоку живлення.
- Plug-and-Play: функція автоматичного розпізнавання зовнішніх пристроїв спрощує їх підключення та використання.
- Гаряче підключення: можливість підключати пристрої до шини, коли живлення увімкнене, підвищує зручність.
- Розширюваність: один USB-порт може бути розширений для підключення кількох пристроїв (наприклад, за допомогою USB-хабів).
- Передача мультимедіа: підтримка передачі аудіо та відео в реальному часі робить його ідеальним для мультимедійних застосувань.

- Інтеграція компонентів: наявність електронних компонентів, що поєднують фізичний і логічний рівні, спрощує розробку та використання пристроїв.
- Кросс-платформність: USB підтримується усіма основними операційними системами, що забезпечує його універсальність.

2.7 Огляд архітектури USB

Архітектура шини USB реалізована за принципом багаторівневої зірки (рисунок 2.2). Це означає, що всі зовнішні USB-пристрої підключаються до головного USB-порту (хоста). У такій топології центром кожного розгалуження виступає спеціальний пристрій — розмножувач (хаб).

Кожне з'єднання в USB-мережі є двоточковим, встановлюючись або між головним USB-портом і хабом, або між хабами.

Через особливості поширення сигналів, максимальна кількість розгалужень (рівнів зірок) обмежена до семи, включаючи кореневий рівень. При цьому, тільки на п'яти рівнях можуть бути розміщені хаби, що не є кореневими, формуючи таким чином шлях зв'язку між будь-яким пристроєм і головним USB-портом.

Важливо зазначити, що "складений" пристрій (наприклад, клавіатура з вбудованим хабом) займає два рівні. На сьомому (кінцевому) рівні можуть знаходитися лише безпосередні функції пристроїв (наприклад, флешка, принтер, миша).

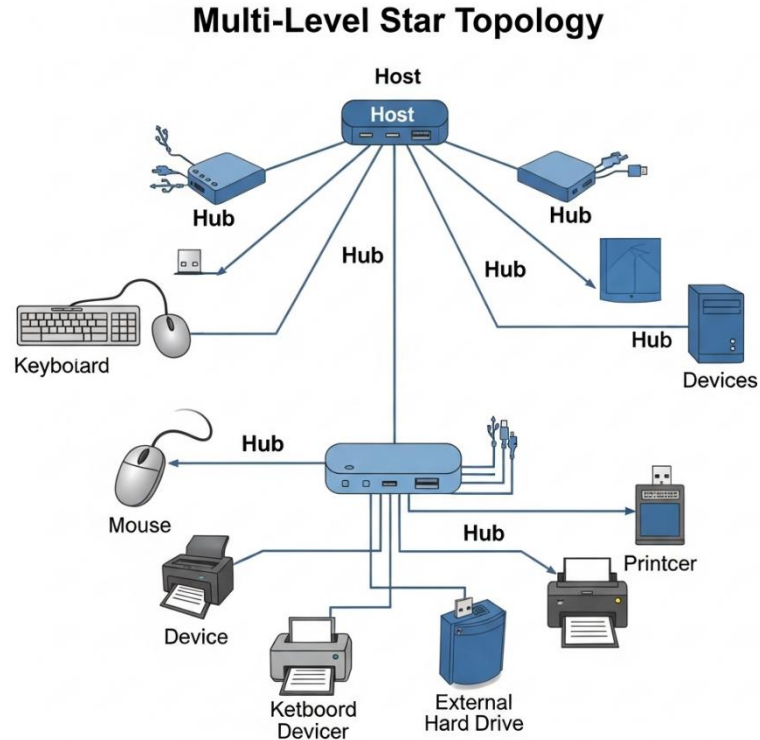


Рисунок 2.2 – Топологія шини USB

Лише один головний USB-порт може існувати в системі. Цей порт, який інтегрує комп'ютерну систему з USB-інтерфейсом, відомий як головний контролер (Host Controller). Для забезпечення кількох точок підключення, кореневий розмножувач (root hub) є невід'ємною частиною цієї головної системи.

2.8 Протоколи передачі даних USB-порту

Обмін даними (транзакції) через USB завжди складається з трьох пакетів. Кожна транзакція ініціюється та контролюється хостом (контролером), який спочатку надсилає пакет-маркер (Token Packet). Цей маркер визначає тип і напрямок передачі даних, адресу конкретного USB-пристрою та номер його кінцевої точки.

Лише адресований пристрій (через його кінцеву точку) може обмінюватися даними з хостом під час певної транзакції. Пристрій, що розпізнає свою адресу з маркера, готується до обміну. Джерело даних (визначене маркером) потім надсилає пакет даних (або інформує про відсутність даних для передачі). Після успішного отримання пакета, приймач даних надсилає пакет підтвердження (Handshake Packet).

Система планування транзакцій забезпечує ефективне керування активними каналами. На апаратному рівні, використання відмови від транзакції (NACK) у випадку неприпустимої інтенсивності передачі запобігає переповненню або спустошенню буферів. Маркери відхиленних транзакцій автоматично повторно надсилаються, коли шина стає вільною. Такий підхід до управління потоками дозволяє гнучко планувати обслуговування одночасних і різнорідних потоків даних.

Стійкість USB до помилок забезпечується:

- Високою якістю сигналів: мінімізує виникнення помилок.
- Захистом CRC-кодами: поля управління та дані захищені контрольними сумами CRC, що дозволяє виявляти помилки.
- Виявленням підключень/відключень: система автоматично розпізнає підключення та відключення пристроїв та відповідно конфігурує системні ресурси.
- Самовідновленням протоколу: при втраті пакетів використовується механізм тайм-ауту для повторної передачі.
- Управлінням потоком: гарантує ізохронність (передачу даних з постійною швидкістю) та ефективне використання апаратних буферів.
- Незалежністю функцій: завдяки архітектурі каналів, невдалі обміни з однією функцією не впливають на роботу інших.

Для виявлення помилок передачі кожен пакет містить контрольні поля CRC-кодів. Ці коди дозволяють виявляти всі одиночні та подвійні бітові помилки. Апаратні засоби виявляють ці помилки, а контролер автоматично намагається тричі

повторити передачу пакета. Якщо ці повтори не увінчалися успіхом, інформація про помилку передається клієнтському програмному забезпеченню для подальшої програмної обробки.

2.9 Драйвер D2XX

Драйвер D2XX — це альтернативний підхід до стандартних віртуальних COM-портів, який надає прямий доступ до USB-компонентів за допомогою DLL-бібліотеки. Його зазвичай використовують у нових розробках або в системах, де відсутні традиційні COM-порти.

D2XX складається з драйвера Windows WDM, що взаємодіє з пристроєм через USB-стек операційної системи. Крім того, він включає DLL-бібліотеку, яка слугує сполучною ланкою між програмним забезпеченням (написаним на таких мовах, як VC++, C++ Builder, Delphi, VB тощо) та WDM-драйвером.

На сайті виробника FTDI разом із драйвером доступні керівництво для програмістів та приклади програмного забезпечення для різних мов програмування, таких як Visual C++, C++ Builder, Delphi та Visual Basic.

2.10 Функціональна схема АЦП з інтерфейсом USB

На рисунку 2.3 зображена функціональна схема АЦП з інтерфейсом USB.

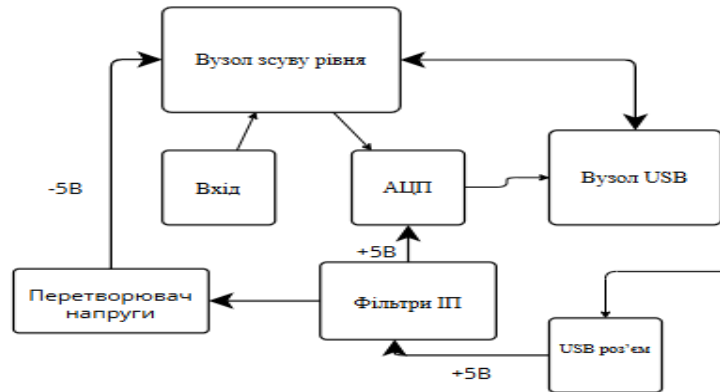


Рисунок 2.3 – Функціональна схема виробу АЦП з інтерфейсом USB

Вузол зсуву рівня: Цей компонент трансформує двополярні вхідні сигнали (від -1,25 В до +1,25 В) в однополярні (від 0 В до +2,5 В), що є необхідним для коректної обробки аналого-цифровим перетворювачем (АЦП).

АЦП (Аналого-цифровий перетворювач): Його функція полягає у перетворенні аналогового вхідного сигналу в його цифровий формат.

Вузол USB: Цей вузол відповідає за формування цифрового коду в пакети, які потім передаються до персонального комп'ютера.

USB роз'єм: Слугує для фізичного підключення пристрою (приставки) до ПК.
Перетворювач напруги: Призначений для конвертації напруги +5В у -5В, що забезпечує живлення операційного підсилювача.

Фільтри ІП (Фільтри імпульсних перешкод): Використовуються для згладжування пульсацій вхідної напруги, забезпечуючи її стабільність.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір мікросхем для реалізації USB

Мікросхема FT232BM (див. рисунок 3.1) є однокристальним рішенням, що виконує асинхронне двонаправлене перетворення між USB та послідовними інтерфейсами (RS232, RS422, RS485). Вона інтегрує в собі USB-приймач, контролер UART, буфери, стабілізатор напруги, помножувач частоти та інші необхідні функціональні блоки. Це робить FT232BM готовим, швидким та економічно ефективним рішенням для модернізації систем з COM-портом для взаємодії з USB-інтерфейсом.

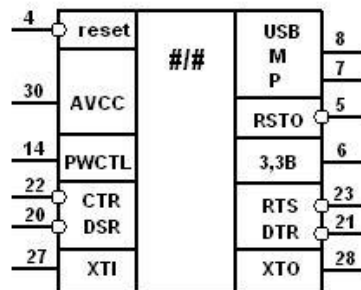


Рисунок 3.1 - Мікросхема FT232BM

FT232BM підтримує стандарти USB 1.1 та USB 2.0, забезпечуючи швидкість передачі даних до 12 Мбіт/с (Full Speed). Він сумісний з різними інтерфейсами хост-контролерів, включаючи UHCI (Intel), OHCI (Microsoft, Compaq) та EHCI (Intel). Мікросхема підтримує передачу звичайних та керуючих пакетів, переривань, а також ізохронних даних (наприклад, аудіо- чи відео), які передаються з фіксованою швидкістю і не повторюються у разі збою.

Буфер передавача USB складає 128 байт, а приймача – 384 байти. Можливе програмування тайм-ауту для прийому даних у діапазоні від 1 до 255 мс, що дозволяє гнучко оптимізувати швидкодію пристрою при обробці коротких пакетів.

Інтегрований стабілізатор напруги живиться безпосередньо від USB і забезпечує 3,3 В для USB-приймача та інших внутрішніх вузлів мікросхеми. Цей стабілізатор також має зовнішній вихід для живлення інших компонентів плати, що потребують 3,3 В та споживають невеликий струм (до 5 мА). Струми споживання FT232BM відповідають вимогам специфікації USB для пристроїв, що живляться безпосередньо від USB. В активному режимі FT232BM споживає до 25 мА, що відповідає специфікації USB (не більше 100 мА). У режимі Suspend (призупинення) споживання FT232BM не перевищує 200 мкА (специфікація дозволяє до 500 мкА).

Компоненти зі струмом споживання понад 100 мА вимагають підключення через окремий стабілізатор. Для керування живленням інших елементів схеми FT232BM оснащений виводом "PWREN". Цей вивід підключається до затвора MOSFET-ключа, що дозволяє керувати подачею живлення на інші компоненти схеми.

Вбудована схема формування сигналу скидання генерує імпульс тривалістю близько 5 мс, коли напруга живлення перевищує 3,5 В. Сигнал скидання використовується для внутрішніх ланцюгів FT232BM. Також передбачено вхід "RESET" для зовнішнього примусового скидання мікросхеми перетворювача та вихід "RSTOUT" для скидання інших мікросхем на платі.

Під час активності сигналу скидання вихід "RSTOUT" перебуває у високоімпедансному стані, а після його завершення на "RSTOUT" встановлюється напруга 3,3 В. Це дозволяє застосовувати "RSTOUT" для підключення підтягуючого (pull-up) резистора до лінії DP USB шини, що може бути необхідним для затриманої ідентифікації пристрою (затримки при підключенні та розпізнаванні).

Вхід "RESET" може бути підключений до лінії живлення USB через резистивний дільник. У такому випадку, якщо живлення USB хоста або хаба зникає, на вході "RESET" встановлюється низький рівень, FT232BM переходить у стан скидання, а виводи UART-інтерфейсу стають високоімпедансними.

FT232BM має вбудований інтерфейс для підключення EEPROM-пам'яті. Підтримується 16-бітна EEPROM з протоколом Microwire (наприклад, 93C46) та швидкістю не менше 1 Мбіт/с. Використання EEPROM є обов'язковим для ідентифікації та специфікації кожного пристрою, коли до хоста підключено декілька пристроїв на базі FT232BM.

FT232BM може працювати без EEPROM, якщо до хоста підключений лише один пристрій. У цьому випадку (або якщо EEPROM не запрограмована) використовуються значення VID та PID USB за замовчуванням, а серійний номер пристрою буде відсутній.

При підключенні до хоста кількох пристроїв на базі FT232BM кожному з них призначається власний віртуальний COM-порт. Серійні номери, VID, PID USB та рядки з коротким описом пристрою повинні бути попередньо збережені в EEPROM кожного пристрою. Програмування пам'яті здійснюється безпосередньо в схемі через USB-інтерфейс за допомогою спеціальної утиліти, доступної на сайті виробника.

FT232BM оснащений вбудованим помножувачем частоти на основі ФАПЧ, який перетворює 6 МГц від кварцового генератора на 12 МГц опорного сигналу для USB-контролера та 48 МГц для ланцюга ФАПЧ USB-приймача (USB DPLL) і тактового генератора UART. Генератор UART також включає 14-бітний дільник, що дозволяє налаштовувати частоту UART від 183 бод до 3 Мбод. Максимальна швидкість роботи з RS-232 становить 1 Мбіт/с, а з RS-422/485 – 3 Мбіт/с.

FT232BM підтримує повний набір сигналів квітання модемного інтерфейсу та різні режими прийому-передачі по UART: асинхронний 7/8-бітний, з 1 або 2 стоп-бітами, з парністю/непарністю, маркером, з паритетом або без паритету. Також підтримуються сигнали готовності до передачі/прийому RTS/CTS, DSR/DTR та керуючі символи X-ON/X-OFF.

3.2 Вибір мікросхем для реалізації АЦП

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) AD7495AR є 12-бітним високошвидкісним пристроєм з низьким енергоспоживанням, що використовує метод послідовного наближення. Він функціонує від єдиного джерела живлення в діапазоні від 2,7 В до 5,25 В, забезпечуючи продуктивність до 1 MSPS (мегасемплів на секунду). Цей АЦП оснащений малошумним підсилювачем зі значною шириною смуги частот, здатним обробляти входні частоти, що перевищують 1 МГц.

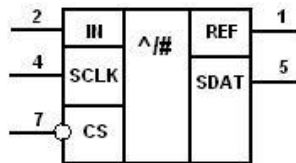


Рисунок 3.2 – АЦП Мікросхема AD7495AR

Процесом конверсії даних керує вхід CS у реальному часі, що забезпечує зв'язок пристрою з мікропроцесором. Час конверсії визначається частотою SCLK. Застосування мікросхеми AD7495AR дозволило розробити рішення з дуже низьким розсіюванням потужності, зберігаючи при цьому високі показники продуктивності.

3.3 Реалізація входу АЦП на базі операційного підсилювача

OP747AR (зображення 3.3) — це унікальний прецизійний біполярний підсилювач. Він здатен стабільно працювати з ємнісними навантаженнями до 500 пФ. Біполярний р-п-р вхід цього підсилювача поєднаний з високочастотним CMOS-виходом. Така конфігурація дозволяє вхідному діапазону напруги підсилювача включати негативні значення, при цьому залишаючись в межах 1 мВ від вихідних шин. Крім того, вхідний діапазон розширюється до меж 1 В від позитивних шин. Р-

p-p вхідна структура забезпечує високу напругу пробою, значний приріст та велике значення вхідного зміщення. Також, p-p-р вхідна структура суттєво знижує рівень шуму.

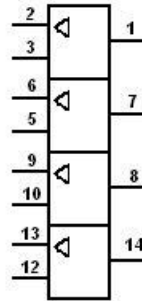


Рисунок 3.3 – Операційний підсилювач OP747AR

Характеристики OP747AR:

- низька напруга зміщення – 100 В максимально;
- низький вхідний струм зміщення – 10 нА максимально;
- одинарна задача, напруга – 2,7В до 30В;
- двойна задача, напруга – 1,35В до 15В;
- низький струм – 300мА/А максимально;
- велика стабільність.

3.4 Опис і принцип роботи пристрою для вимірювання вихідних сигналів медичної апаратури

3.4.1 Технічні характеристики

- Розрядність АЦП: 12 двійкових розрядів.
- Мінімальний період повторення відліків: 300 мкс.
- Діапазон вхідних сигналів (без подільника): від -1,25 В до +1,25 В.
- Вхідний опір: 1 МОм.

- Вхідна ємність: 30 пФ.

Переваги використання мікроконтролерів STMicroelectronics та їх програмного забезпечення

Мікроконтролери STMicroelectronics виділяються завдяки широкому асортименту засобів розробки, що включає документацію, налагоджувальні плати та програмне забезпечення. Програмне забезпечення для мікроконтролерів STM32 доступне у вигляді власних розробок STMicroelectronics, Open Source рішень та комерційного ПЗ. Власне програмне забезпечення від STMicroelectronics має значні переваги: воно безкоштовне для завантаження, а програмні бібліотеки надаються у вихідних кодах, що дозволяє користувачам модифікувати їх з незначними ліцензійними обмеженнями.

Структура бібліотек STMicroelectronics ANSIIC

Бібліотеки STMicroelectronics ANSIIC організовані за рівнями абстракції:

- CMSIS (Core Peripheral Access Layer): Цей рівень представляє регістри ядра та периферії, будучи бібліотекою ARM.
- Hardware Abstraction Layer (HAL): Включає низькорівневі бібліотеки, такі як стандартні периферійні бібліотеки (standard peripheral library) та фрагменти коду (snippets).
- Middleware: Складається з бібліотек середнього рівня, які охоплюють операційні системи реального часу (RTOS), файлові системи, USB, TCP/IP, Bluetooth, Display, ZigBee, Touch Sensing та інші.
- Application Field: Це бібліотеки прикладного рівня, призначені для аудіо, керування двигунами, автомобільних та промислових рішень.

Для взаємодії з рівнем CMSIS компанія STMicroelectronics пропонує використовувати два основні інструменти: стандартні бібліотеки та сніпети.

Стандартна бібліотека — це набір драйверів, де кожен драйвер надає функції та визначення для роботи з конкретним периферійним блоком (наприклад, SPI,

USART, ADC). Користувач при цьому не взаємодіє безпосередньо з регістрами рівня CMSIS.

Набори сніпетів — це високоефективні приклади програмного забезпечення, що забезпечують прямий доступ до регістрів CMSIS. Розробники можуть інтегрувати реалізації функцій з цих прикладів у власний код. Кожен з цих підходів має свої переваги та недоліки. Вибір методу залежить від доступного обсягу FLASH та ОЗП, необхідної швидкодії, термінів розробки, досвіду програмістів та інших факторів.

Взаємодія з мікроконтролером через регістри та пам'ять.

Мікроконтролер є складною цифро-аналоговою мікросхемою, що включає процесорне ядро, пам'ять, периферійні блоки, цифрові шини тощо. Взаємодія з кожним блоком відбувається за допомогою регістрів.

З точки зору програмістів, мікроконтролер розглядається як єдиний простір пам'яті. У ньому розташовані не тільки ОЗП, FLASH та EEPROM, а й програмні регістри. Кожному апаратному регістру відповідає певна комірка пам'яті. Таким чином, для запису або зчитування даних з регістру програмісту потрібно звернутися до відповідної комірки в адресному просторі.

Люди краще сприймають символічні назви, ніж адреси комірок пам'яті, що особливо помітно при роботі з великою кількістю осередків. У мікроконтролерах ARM кількість регістрів (і, відповідно, використовуваних комірок пам'яті) перевищує тисячу. Для спрощення роботи запроваджено визначення символічних покажчиків, яке реалізовано на рівні CMSIS.

Наприклад, для зміни стану виводів порту А можна записати дані в регістр GPIOA_ODR двома способами: використовувати покажчик з адресою комірки 0xEBFF_FCFE зі зміщенням 0x14, або застосувати покажчик із символічним ім'ям GPIOA та готову структуру, що визначає зміщення. Очевидно, що другий варіант значно легший для сприйняття.

Функції CMSIS

CMSIS виконує низку важливих функцій і реалізований у вигляді групи файлів:

- `startup_stm32l0xx.s`: Містить асемблерний стартовий код Cortex-M0+ та таблицю векторів переривань. Після стартової ініціалізації керування передається спочатку функції `SystemInit()`, а потім — основній функції `int main(void)`.
- `stm32l0xx.h`: Включає визначення, необхідні для виконання основних операцій з бітами, а також визначення типу використовуваного мікропроцесора.

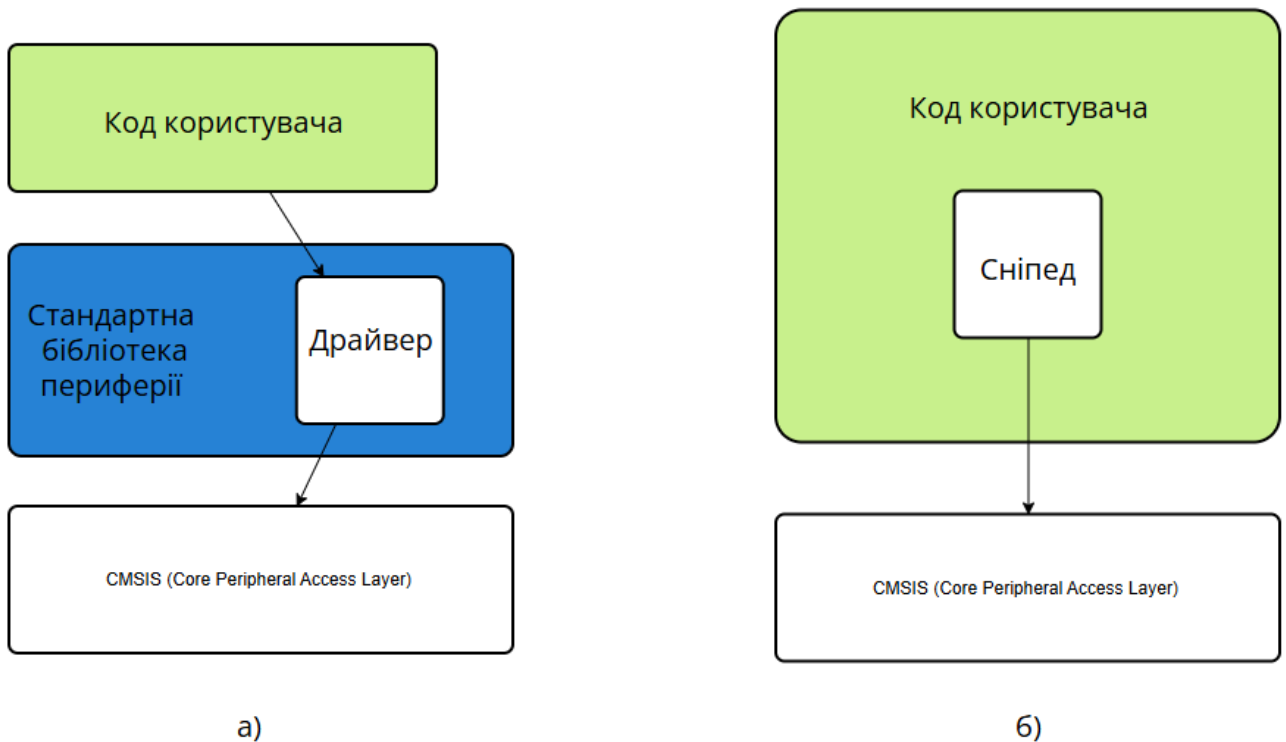


Рисунок 3.4 – Взаємодія з CMSIS з допомогою стандартної бібліотеки (а) і сніпсетів (б)

Після старту системи на мікроконтролерах STM32L0, функція `SystemInit()`, яка знаходиться у файлах `system_stm32l0xx.c` та `system_stm32l0xx.h`, відповідає за первинне налаштування. Вона виконує базову конфігурацію системної периферії та налаштовує тактування блоку RCC (Reset and Clock Control), що є критично важливим для коректної роботи всіх компонентів мікроконтролера.

Специфічні для конкретних моделей мікроконтролерів файли, наприклад, `stm32l051xx.h` (де `уухх` в `stm32l0уухх.h` є ідентифікатором моделі), містять детальні визначення апаратних ресурсів. У цих файлах оголошуються:

- Символьні покажчики: Зручні імена для доступу до регістрів периферії.
- Структури даних: Описують організацію регістрів різних периферійних пристроїв.
- Бітові константи: Дозволяють легко маніпулювати окремими бітами в регістрах.
- Зміщення: Визначають адреси регістрів всередині периферійних блоків.

Ці файли (наприклад, `stm32l051xx.h`) є мостом між програмним забезпеченням та апаратним забезпеченням, надаючи програмісту необхідні інструменти для взаємодії з конкретними можливостями обраного мікроконтролера STM32L0.

3.4.2 Взаємодія зі CMSIS: Стандартні бібліотеки та "Сніппети"

Мікроконтролери STM32, в більшості моделей, мають величезну кількість регістрів — часто понад тисячу. Пряме звернення до цих регістрів у коді робить його вкрай нечитабельним, важким для підтримки та подальшої модернізації. Вирішити цю проблему допомагає Стандартна Бібліотека Периферії (Standard Peripheral Library - SPL).

Що таке Стандартна Бібліотека Периферії?

Це набір низькорівневих драйверів. Кожен драйвер пропонує розробнику набір функцій для взаємодії з конкретним периферійним блоком. Замість того, щоб безпосередньо звертатися до регістрів, програміст викликає ці функції. Таким

чином, рівень CMSIS (Core Peripheral Access Layer) стає невидимим для розробника (як показано на Рисунку 3.4 а).

Переваги використання Стандартної Бібліотеки Периферії:

- Швидкість розробки коду: Програмісту не потрібно детально вивчати сотні регістрів. Він може відразу почати працювати на більш високому рівні абстракції. Наприклад, для прямої взаємодії з портом вводу/виводу в STM32L0 потрібно знати та вміти працювати з одинадцятьма регістрами управління/стану, багато з яких мають до 32 бітів для налаштування. Використовуючи ж бібліотечний драйвер, достатньо опанувати лише вісім функцій.
- Простота та читабельність коду: Код стає прозорим, легко читабельним і не перевантаженим назвами регістрів, що дуже важливо для командної розробки.
- Високий рівень абстракції (часткова платформонезалежність): Завдяки стандартній бібліотеці, код стає досить незалежним від конкретної моделі мікроконтролера. Наприклад, якщо ви переходите з STM32L0 на STM32F0, частина коду, що працює з портами вводу/виводу, ймовірно, не потребуватиме змін.

Недоліки використання Стандартної Бібліотеки Периферії:

Незважаючи на переваги, наявність додаткової оболонки у вигляді драйверів має й очевидні недоліки:

- Збільшення обсягу програмного коду: Функції, реалізовані в бібліотеці, вимагають додаткового місця в пам'яті мікроконтролера.
- Підвищені витрати оперативної пам'яті (ОЗУ): Збільшується кількість локальних змінних та використовуються більш громіздкі структури даних.
- Зниження швидкодії: Додаткові накладні витрати, пов'язані з викликом бібліотечних функцій, можуть призвести до невеликого зниження загальної продуктивності.

Таблиця 3.1 – Порівняння способів реалізації кода користувача

Параметр порівняння	При використанні стандартної бібліотеки	При використанні наборів сніпетів
Розмір коду	Середній	Мінімальний
Витрати ОЗП	Середні	Мінімальні
Швидкодія	Середня	Максимальна
Читаємість коду	Відміна	Низька
Рівень незалежності від платформи	Середній	Низький
Швидкість створення програми	Висока	Низька

Таблиця 3.2 – Низькорівневі бібліотеки для STM32F10 і STM32L0

Тип ПЗ	Назва	Діюча версія
Комплекс програмних засобів STM32CubeF0	STM32CubeF0	1.0.0
STM32F0xx_HAL_Driver (входить в склад STM32CubeF0)		
Комплекс програмних засобів STM32CubeL0	STM32CubeL.0	1.1.0
STM32L0xx_HAL_Driver (входить в склад STM32CubeL.0)		
Збірник сніпетів для STM32CubeF0	STM32SnippetsF0	1.0.0
Збірник сніпетів для STM32CubeL0	STM32SnippetsL0	1.0.0

Через недоліки стандартних периферійних бібліотек (збільшення розміру коду, витрат пам'яті та зниження швидкодії), розробникам часто доводилося вручну оптимізувати свій код. Це включало самостійну реалізацію низькорівневих функцій для взаємодії з CMSIS, видалення зайвого з бібліотечних функцій, пряме копіювання бібліотечного коду у свій проєкт та використання директив `__INLINE` для прискорення виконання. Все це збільшувало час розробки.

Рішення від STMicroelectronics: Збірники "Сніппетів"

Назустріч розробникам, компанія STMicroelectronics випустила спеціальні збірники фрагментів коду – STM32SnippetsF0 та STM32SnippetsL0. Ці "сніппети" (snippets) інтегруються безпосередньо в код користувача (як показано на Рисунку 3.4 б).

Переваги використання "Сніппетів":

- Підвищення ефективності та швидкодії: Код стає більш оптимізованим.
- Зменшення обсягу програми: Займає менше місця у флеш-пам'яті.
- Зниження використання ОЗУ та навантаження на стек: Ефективніше використовується оперативна пам'ять.

Недоліки "Сніппетів":

- Зниження простоти та наочності коду: Через прямі звернення до регістрів та самостійну реалізацію низькорівневих функцій код може стати менш зрозумілим.
- Втрата платформонезалежності: Код стає більш прив'язаним до конкретної апаратної платформи.

Вибір між Стандартною Бібліотекою та "Сніппетами":

Вибір між цими двома підходами не є очевидним. Найчастіше їх варто розглядати не як конкурентів, а як взаємодоповнюючі інструменти. На початкових етапах розробки, для швидкого створення "чистого" коду, логічно використовувати

стандартні драйвери. Якщо ж виникає потреба в оптимізації, готові "сніппети" можуть заощадити час, позбавивши від необхідності розробляти власні оптимізовані функції.

Стандартні бібліотеки драйверів та "сніппетів" для STM32F0 і STM32L0 (див. Таблицю 3.2) доступні для вільного завантаження на офіційному сайті www.st.com.

Ліцензійна Угода: Важливий Аспект Використання "Сніппетів"

Будь-який відповідальний програміст перед використанням сторонніх програмних продуктів повинен уважно вивчити ліцензійну угоду. Хоча збірники "сніппетів" від STMicroelectronics не вимагають ліцензування та доступні для вільного завантаження, це не означає відсутність обмежень на їх використання.

Ліцензійна угода є частиною всіх вільно завантажуваних продуктів STMicroelectronics. Після завантаження STM32SnippetsF0 та STM32SnippetsL0 у кореневому каталозі можна знайти документ MCDDST Liberty SW License Agreement V2.pdf, який детально описує правила використання даного програмного забезпечення.

Дозволені дії для користувачів STM32SnippetsF0 та STM32SnippetsL0:

- Копіювати та модифікувати вихідний код для створення програмних продуктів, призначених для власного використання.
- Використовувати/модифікувати вихідний код для розробки та виробництва власних пристроїв.
- Використовувати надану документацію для підтримки своїх продуктів.
- Виробляти, використовувати та продавати пристрої, створені з використанням цього ПЗ або його модифікацій.

Заборонені дії для користувачів STM32SnippetsF0 та STM32SnippetsL0:

- Продавати, надавати додаткові ліцензії, здавати в оренду або використовувати частини наданого ПЗ з комерційною метою (як окремий продукт).
- Використовувати або модифікувати надане ПЗ для процесорів інших виробників.

– Використовувати надане ПЗ або його частини у своїх програмних продуктах з метою подальшого продажу або ліцензування (як окремий програмний компонент).

Важливе зауваження: Відсутність гарантій ("NO WARRANTY")

Ліцензійна угода чітко зазначає, що компанія STMicroelectronics не гарантує відсутність помилок у програмному забезпеченні, повну сумісність з усіма можливими конфігураціями апаратного забезпечення та компіляторами. Компанія не несе відповідальності за аварійні ситуації, навіть якщо вони виникли з вини програмного забезпечення. Це означає, що користувач сам зобов'язаний оцінювати ризики використання "сніппетів" і, за необхідності, модифікувати їх, якщо виникнуть проблеми сумісності з обладнанням або компіляторами.

Незважаючи на ці "загрозливі" заяви, слід зазначити, що кількість помилок навіть у новому програмному забезпеченні від STMicroelectronics зазвичай невелика. Як правило, помилки оперативно усуваються з виходом нових версій бібліотек.

Структура Наборів Фрагментів STM32SnippetsF0 та STM32SnippetsL0

Розглянемо структуру збірки фрагментів на прикладі STM32SnippetsL0. Набір STM32SnippetsF0 має схожу структуру. Після завантаження та розпакування архіву користувач отримує папку STM32L0xx_Snippets_Package_V1.0.0 (Рисунок 3.5).

Основними підкаталогами збірки є:

– Drivers\CMSIS (для STM32SnippetsF0 це Library\CMSIS). У цій папці містяться файли рівня CMSIS, зокрема файли stm32l0uuxx.h, що містять визначення символьних показчиків для різних мікроконтролерів STM32L0. Підтримуються всі мікроконтролери серії STM32L0: STM32L063, STM32L062, STM32L061, STM32L053, STM32L052, STM32L051.

– Project. Ця папка містить підкаталоги з прикладами використання для конкретних периферійних блоків, готові проєкти для середовищ розробки ARM Keil та EWARM, а також файли main.c.

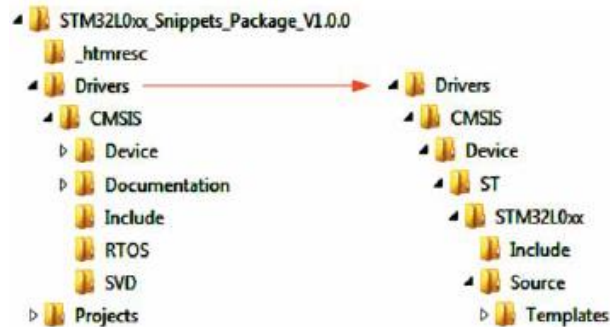


Рисунок 3.5 – Структура збірника сніпетів STM32L0

3.5 Запуск та Особливості Використання Наборів Фрагментів STM32SnippetsF0 та STM32SnippetsL0

Набори "сніппетів" від STMicroelectronics є платформозалежними, тобто розроблені для роботи з конкретними відлагоджувальними платами. Зокрема, STM32SnippetsL0 призначений для плати STM32L053 Discovery, а STM32SnippetsF0 – для STM32F072 Discovery.

Якщо ви використовуєте власні розроблені плати, код та проєкти потребуватимуть модифікації, детальніше про що буде розказано в останньому розділі. Для запуску прикладів необхідно виконати наступні кроки:

1. Відкриття проєкту: Запустіть готовий проєкт з відповідної директорії прикладу. Для зручності можна скористатися готовими проєктами для середовищ ARM Keil або IAR Embedded Workbench (EWARM), розташованими у папках MDK-ARM\ та EWARM\ відповідно.

2. Підключення плати: Увімкніть живлення відлагоджувальної плати (STM32L053 Discovery / STM32F072 Discovery).

3. Підключення до ПК: Підключіть плату до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Завдяки вбудованому відлагоджувачу ST-Link/V2, додатковий програматор не потрібен.

4. Компіляція та завантаження проєкту:

Для ARM Keil:

- Відкрийте проєкт.
- Зкомпілюйте проєкт, обравши Project → Rebuild all target files.
- Завантажте його в мікроконтролер: Debug → Start/Stop Debug Session.
- Запустіть програму у вікні відладки: Debug → Run (або натисніть F5).

Для EWARM:

- Відкрийте проєкт.
- Зкомпілюйте проєкт, обравши Project → Rebuild all.
- Завантажте його в мікроконтролер: Project → Debug.
- Запустіть програму у вікні відладки: Debug → Go (або натисніть F5).

5. Тестування: Проведіть тестування відповідно до алгоритму, описаного у файлі main.c.

Для аналізу програмного коду розглянемо конкретний приклад зі збірки STM32SnippetsL0, а саме: Projects\LPUART\01_WakeUpFromLPM\.

Відмінною особливістю нових мікроконтролерів сімейства STM32L0 на ядрі Cortex-M0+ є можливість динамічної зміни споживання енергії завдяки великій кількості нововведень. Одним з таких нововведень є поява "Low Power" периферії: 16-бітного таймера LPTIM та універсального асинхронного приймача/передавача LPUART. Ці блоки мають здатність тактування, яка не залежить від тактування основної периферійної шини APB. За потреби зниження споживаної потужності робоча частота шини APB (PCLK) може бути зменшена, а сам мікроконтролер переведений у режим зниженого споживання. При цьому "Low Power" периферія продовжує працювати з максимальною продуктивністю.

Розглянемо приклад з директорії `Projects\LPUART\01_WakeUpFromLPM\`, в якому демонструється можливість незалежної роботи LPUART у режимі зниженого споживання. При відкритті проєкту в середовищі ARM Keil відображаються три основні файли: `startup_stm32l053xx.s`, `system_stm32l0xx.c` та `main.c`. Варто зазначити, що у випадку використання стандартної бібліотеки, до проєкту додатково потрібно було б додати файли драйверів.

3.5.1 Функціонування та Аналіз Структури Файлу Main.c

Програма з обраного прикладу виконується поетапно. Після старту системи запускається функція `SystemInit()`, яка реалізована у файлі `system_stm32l0xx.c`. Ця функція виконує первинне налаштування параметрів блоку тактування RCC (Reset and Clock Control), встановлюючи необхідні таймінги та робочі частоти. Далі управління передається до основної функції `int main(void)`.

У функції `main()` відбувається ініціалізація користувацької периферії, такої як порти вводу/виводу та LPUART (Low Power Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Після цього мікроконтролер переводиться у режим зниженого споживання STOP. У цьому режимі звичайна периферія та ядро зупиняються, а активним залишається лише LPUART, який чекає початку передачі даних від зовнішнього пристрою. При отриманні стартового біта LPUART пробуджує систему та приймає повідомлення. Процес прийому даних супроводжується миготінням світлодіода на відлагоджувальній платі.

Після завершення прийому даних, якщо не було виявлено помилок, мікроконтролер знову переводиться у стан STOP і чекає наступної передачі. Передача даних здійснюється за допомогою віртуального COM-порту та додаткового програмного забезпечення.

Файл `main.c` є стандартним C-файлом, але його ключовою особливістю є самодокументація. Він містить докладні коментарі, пояснення та рекомендації, що значно полегшують розуміння коду. Пояснювальна частина файлу зазвичай складається з кількох розділів:

- Заголовок: Містить назву файлу, версію, дату, ім'я автора та коротке пояснення призначення файлу.
- Опис налаштувань системної периферії (RCC specific features): Детальний опис конфігурації FLASH-пам'яті, ОЗУ, системи живлення та тактування, периферійних шин тощо.
- Перелік використовуваних ресурсів мікроконтролера (MCU Resources): Список апаратних ресурсів мікроконтролера, задіяних у прикладі.
- Коротке пояснення щодо використання прикладу (How to use this example): Інструкції для запуску та роботи з прикладом.
- Коротке пояснення щодо тестування прикладу та алгоритм його проведення (How to test this example): Опис процедури тестування та очікуваних результатів.

Важливо зазначити, що обробники переривань від системного таймера та LPUART у цьому прикладі використовують пряме звернення до регістрів. Таким чином, взаємодія з CMSIS відбувається без залучення стандартної бібліотеки. Це робить код дуже компактным і високоефективним, проте його читабельність значно погіршується через велику кількість прямих звернень до регістрів.

Використання Фрагментів у Власних Розробках

Запропоновані набори фрагментів мають обмеження, оскільки вони призначені для конкретних відлагоджувальних плат: `STM32SnippetsL0` – для `STM32L053 Discovery`, а `STM32SnippetsF0` – для `STM32F072 Discovery`.

Для застосування "сніппетів" у власних розробках необхідно внести ряд змін до проєкту:

1. Переконфігурація проєкту під інший процесор:

- Потрібно замінити стартовий файл `startup_stm32l053xx.s` на відповідний файл для іншого мікроконтролера.
- Визначити правильну константу, що відповідає вашій моделі мікроконтролера (наприклад, `STM32L051xx`, `STM32L052xx`, `STM32L053xx`, `STM32L062xx`, `STM32L063xx`, `STM32L061xx`, `STM32F030`, `STM32F031`, `STM32F051` тощо).
- Після цього, під час компіляції файлу `stm32l0xx.h`, автоматично буде підключений потрібний файл з визначеннями периферії для вашого контролера (наприклад, `stm32l051xx.h`, `stm32l052xx.h`, `stm32l053xx.h`, `stm32l061xx.h`, `stm32l062xx.h`, `stm32l063xx.h`).

2. Вибір відповідних програм у налаштуваннях властивостей проєкту: Необхідно перевірити та за потреби змінити налаштування проєкту у вашому середовищі розробки, щоб вони відповідали обраному мікроконтролеру та його конфігурації.

3. Модифікація коду функцій з прикладів: Якщо функціонал з прикладів не повністю відповідає вимогам вашої користувацької програми, необхідно внести відповідні зміни до коду цих функцій.

3.5.2 Опис Роботи Пристрою Введення Аналогової Інформації

Інформація про фізичні процеси часто фіксується датчиками у вигляді безперервно змінних величин. Для подальшої обробки в комп'ютері (ЕОМ) цю інформацію необхідно перетворити в цифровий код. Це перетворення здійснюється за допомогою пристроїв типу "аналог-код". Процес перетворення безперервної інформації в цифровий код умовно поділяється на два етапи: квантування та кодування.

Квантування – це процес перетворення безперервно змінної величини на кінцеве число дискретних елементів, або квантових рівнів (наприклад, рівнів

потенціалу, послідовностей імпульсів тощо). Кількість рівнів квантування визначається, з одного боку, необхідною точністю представлення параметра, а з іншого – роздільною здатністю перетворювача. На точність кодування безперервної величини дискретними значеннями також впливає частота квантування.

Кодування – це перетворення відповідних квантових рівнів параметра X у форму, яка є зручною для введення в ЕОМ.

Залежно від методу кодування, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) поділяються на три основні групи:

- Послідовні перетворювачі: Кодування відбувається за принципом підрахунку квантових рівнів, де кожному рівню відповідає імпульс, еквівалентний молодшому розряду коду.
- Зчитувальні перетворювачі: Кодування базується на принципі прямого зчитування, коли кожен квантовий рівень кодується незалежно від інших у чітко визначену комбінацію двійкових знаків, що еквівалентна аналоговій величині.
- Перетворювачі порівняння та віднімання: Кодування виконується за принципом порівняння вхідної величини з набором еталонних значень (порівняння починається з максимальною еталонною величиною). Після кожного порівняння та віднімання формується значення поточного розряду, а отримана різниця використовується для порівняння з наступним, меншим еталоном.

В якості пристроїв для перетворення аналогових величин у дискретні використовуються перетворювачі типу "вал-число" та "напруга-число".

Пристрій, що перетворює аналогові сигнали в цифрові дані, використовується для цифрових вимірювальних приладів, таких як цифрові вольтметри, осцилографи або реєстратори з можливістю запису інформації у дисковий файл.

Значення вхідного опору та ємності цього пристрою дозволяють подавати вхідний сигнал за допомогою стандартних щупів-дільників напруги, призначених для звичайних осцилографів, наприклад, PROBE60S або HP-9060. Програма, розроблена для роботи з цим пристроєм, дозволяє спостерігати осцилограми

сигналів на екрані монітора зі швидкістю часової розгортки від 0,3 до 100 мс/поділку.

У режимі реєстратора програма записує відліки сигналу з максимальним періодом повторення 100 с у текстовий файл (кодування ASCII), який придатний для подальшого аналізу за допомогою іншого програмного забезпечення.

Досліджуваний сигнал надходить на роз'єм XW1. На операційному підсилювачі DA1.2 реалізовано повторювач, а на DA1.1 – вузол зсуву рівня.

Цей вузол необхідний для перетворення біполярних сигналів (від -1,25 В до +1,25 В) в однополярні (від 0 до +2,5 В), які може обробляти АЦП DA2. Зразкова напруга +2,5 В подається на вузол зсуву з відповідного виходу АЦП через повторювач на операційному підсилювачі DA1.3.

У пристрої використано 12-розрядний АЦП AD7495 з послідовним інтерфейсом. Сигналом для початку циклу перетворення є зміна високого рівня на вході CS АЦП на низький, за умови високого рівня на вході SCLK. Після цього на вхід SCLK подається 16 імпульсів низького рівня. На виході SDAT у відповідь на перші чотири імпульси буде встановлено низький рівень, а на кожен з 12 наступних – рівень, що відповідає значенню чергового розряду результату перетворення, починаючи зі старшого.

Цикл завершується встановленням високого рівня на вході CS.

Для передачі результату перетворення в комп'ютер використовується інтерфейс USB, який реалізується за допомогою мікросхеми FT232BM – перетворювача USB-RS-232. Ця мікросхема може працювати в режимі Bit Bang, в якому її лінії порту RS-232 утворюють восьмирозрядну паралельну шину даних з індивідуальним налаштуванням розрядів на введення або виведення. Програмну підтримку режиму Bit Bang на комп'ютері забезпечує драйвер D2XX.

Щоб сформувати потрібну часову діаграму керуючих сигналів для АЦП, комп'ютерна програма заповнює вихідний буфер USB байтами, які несуть у відповідних розрядах значення цих сигналів для кожного такту. Для одного циклу

роботи АЦП необхідно сформувати та передати 34 байти (по два байти на кожен тактовий імпульс і ще два для керування сигналом CS). Темп видачі значень з цих байтів на виходи DTR і RTS перетворювача інтерфейсу, з якими пов'язані входи CS і SCLK АЦП, залежить від налаштування внутрішнього синтезатора тактової частоти перетворювача. Ці налаштування змінюються командами від комп'ютера, що дозволяє регулювати швидкість роботи АЦП, а разом з нею і частоту дискретизації вхідного сигналу.

Послідовний вихід АЦП з'єднаний з входом CTS перетворювача інтерфейсу. Завдяки цьому результати роботи АЦП надходять у буфер перетворювача інтерфейсу, а з нього по USB – до комп'ютера. Через особливості протоколу обміну по USB, передача інформації в комп'ютер відбувається з досить значною і, що важливо, непередбачуваною затримкою. Для вирішення цієї проблеми на вхід DSR перетворювача інтерфейсу подається той самий сигнал, що й на вхід CS АЦП. Отримуючи інформацію про рівні на вході CS та на виході SDAT АЦП одночасно, комп'ютерна програма може визначити початок і кінець кожного циклу перетворення в отриманій послідовності та коректно декодувати результат.

У цьому пристрої реалізована важлива перевага інтерфейсу USB – йому не потрібне окреме джерело живлення. Напруга +5 В надходить на мікросхеми з контакту 1 роз'єму XS1 через розв'язуючі LC- та RC-фільтри. Напруга -5 В, необхідна для живлення операційного підсилювача DA1, отримується за допомогою перетворювача напруги DC-101 від фірми YCL. Аналогічний перетворювач можна знайти на платі несправного комп'ютерного адаптера мережі Ethernet, призначеного для зв'язку по коаксіальному кабелю. Придатні й інші модулі перетворювачів постійної напруги 5 В на 5...9 В з гальванічною розв'язкою.

Пристрій збирається на макетній платі. На платі розташовуються всі елементи, крім роз'єму XW1. Монтаж виконаний проводом МГТФ. Виводи малогабаритних мікросхем з'єднані з контактними майданчиками макетної плати відрізками лудженого дроту діаметром 0,2 мм.

Коаксіальний роз'єм XW1 – це CP-50-73ФВ (BNC Jack). XS1 – це розетка USB-B для друкованого монтажу, яка з'єднується стандартним кабелем з однією з розеток USB-A комп'ютера.

Підключену до USB роз'єму приставку операційна система комп'ютера автоматично розпізнає як новий USB-пристрій. Прочитавши його ідентифікатори (мікросхемі FT232BM за замовчуванням присвоєні VID = 0x0403 та PID = 0x6001), вона намагається знайти в пам'яті комп'ютера та встановити відповідний програмний драйвер пристрою. Якщо це не вдалося зробити автоматично, система попросить користувача вказати шлях до папки з необхідними файлами. Останні версії потрібного для роботи приставки драйвера D2XX для різних операційних систем доступні на відповідній інтернет-сторінці.

Кнопки "Power ON/OFF" служать для логічного увімкнення та вимкнення АЦП. При відключенні приставки від комп'ютера програма автоматично переходить у режим OFF.

При користуванні приставкою слід пам'ятати, що вхід осцилографа не ізолюваний від комп'ютера. Вимірювання в ланцюгах, безпосередньо пов'язаних з мережею живлення, необхідно проводити за допомогою розділового трансформатора.

3.6 Визначення Розмірів та Маса Конструкцій

Спочатку визначимо орієнтовні габаритні розміри плати за формулою:

$$S_{\text{плати}} = \sum S_{\text{уст}} \cdot q,$$

де $\sum S_{\text{уст}}$ – сума установочних площ усіх радіоелементів, що знаходяться на платі,

q – коефіцієнт запасу, $q = 2 \dots 4$.

Знаходимо $\sum S_{\text{уст}}$, додавши дані з таблиці 3.1:

$$\sum S_{\text{уст}} = 1370,19 \text{ мм}^2 \approx 24 \text{ см}^2$$

маємо орієнтовну площу плати:

$$S_{\text{плати}}^{\text{ор}} = 1370,19 \times (2 \dots 4) = (2740 \dots 5480) \text{ мм}^2.$$

Реальні розміри плати після трасування становлять 120×60 мм, при цьому площа плати:

$$S_{\text{плати}} = 120 \cdot 60 = 7200 \text{ мм}^2 = 72 \text{ см}^2.$$

Висота корпусу приладу залежить від максимальної висоти радіокомпонентів. В даному випадку у пристрої таким є трансформатор Т1:

$$h_{\text{max}} = h_{ZQ1} = 9,5 \text{ мм.}$$

Габаритні розміри приладу, скомпонованого за першим варіантом, визначаємо наступним чином.

Внутрішній об'єм залежить від об'єму, який займає плата з радіокомпонентами (плюс певний запас).

Для першого варіанту матимемо наступні результати.

Внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = h_{\text{max}} + \delta = 9,5 + 24 = 33,5 \text{ мм};$

б) довжина $a_{\text{вн}} = 120 + 13 = 133 \text{ мм};$

в) ширина $b_{\text{вн}} = 60 + 18 = 78 \text{ мм};$

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 33,5 + 2 \times 1 = 35,5 \text{ мм};$

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 133 + 2 = 135 \text{ мм};$

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 78 + 2 = 80 \text{ мм.}$

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 3,55 \cdot 13,5 \cdot 8,0 = 353 (\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{прист}}^{\text{I}} = V_{\text{корп}} = 353 (\text{см}^3).$$

Для другого варіанту:

а) висота $h_{\text{вн}} = h_{\text{max}} + \delta = 9,5 + 24 = 33,5 \text{ мм};$

б) довжина $a_{\text{вн}} = 120 + 13 = 133 \text{ мм};$

в) ширина $b_{\text{вн}} = 60 + 18 = 78$ мм;

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 33,5 + 2 \times 1 = 35,5$ мм;

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 133 + 2 = 135$ мм;

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 78 + 2 = 80$ мм.

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 3,55 \cdot 13,5 \cdot 8,0 = 353(\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{прист}}^I = V_{\text{корп}} = 353(\text{см}^3).$$

Для третього варіанту (із врахуванням наявності акумулятора):

а) висота $h_{\text{вн}} = h_{\text{мах}} + \delta = 9,5 + 24 = 33,5$ мм;

б) довжина $a_{\text{вн}} = 120 + 53 = 173$ мм;

в) ширина $b_{\text{вн}} = 60 + 18 = 78$ мм;

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 33,5 + 2 \times 1 = 35,5$ мм;

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 173 + 2 = 175$ мм;

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 78 + 2 = 80$ мм.

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 3,55 \cdot 17,5 \cdot 8,0 = 435(\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{прист}}^I = V_{\text{корп}} = 435(\text{см}^3).$$

Знаходимо об'єм плати:

$$V_{\text{пл}} = S_{\text{плати}} \times h_{\text{плати}} = 72 \times 0,15 = 10,8 (\text{см}^3).$$

Знаходимо масу плати:

$$m_{\text{пл}} = V_{\text{пл}} \times \rho_{\text{текст}} = 10,8 \times 1,4 = 15,12 (\text{г}),$$

Масу радіоелементів знайдемо з таблиці 3.1. Маса елементів, що розміщені на платі:

$$m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} = 37,15 \text{ (г)},$$

а маса елементів поза платою:

$$m_{\text{ел}}^{\text{кор.}} = 5,1 \text{ (г)},$$

і сумарна маса елементів:

$$m_{\text{ел}} = m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} + m_{\text{ел}}^{\text{кор.}} = 37,15 + 5,1 = 42,25 \text{ (г)}.$$

Маса елементів для другого варіанту буде аналогічною, оскільки в ньому використовуються ті ж радіоелементи, а от для третього (з акумулятором):

$$m_{\text{ел3}} = m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} + m_{\text{ел}}^{\text{кор.}} + m_{\text{ак.}} = 42,5 + 73 = 115,5 \text{ (г)}.$$

Маса пристрою складається із маси корпусу, плати і елементів.

Для першого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{мат}} = (353 - 3,55 \cdot 13,5 \cdot 8,0) \cdot 1,35 = 55,35 \text{ (г)},$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{I}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 55,35 + 13,12 + 42,25 = 110,72 \text{ (г)}.$$

Для другого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{мат}} = (353 - 3,55 \cdot 13,5 \cdot 8,0) \cdot 2,7 = 123,1 \text{ (г)},$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{II}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 123,1 + 13,12 + 42,25 = 178,47 \text{ (г)}.$$

Для третього варіанту:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{мат}} = (435 - 3,55 \cdot 13,5 \cdot 8,0) \cdot 1,35 = 156,5 \text{ (г)},$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{III}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 156,5 + 13,12 + 42,25 = 211,87 \text{ (г)}.$$

Отримані дані заносяться у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри варіантів компонування

Параметр	I	II	III
m, г	115,72	175,5	213,9
V, см ³	353	353	435

3.7 Вибір оптимального варіанту конструкції

Вибір оптимального варіанту конструкції здійснюють шляхом розрахунку показника:

$$K = \frac{m^i}{m^{T3}} K_m + \frac{V^i}{V^{T3}} K_v,$$

де V^{T3} , m^{T3} – об'єм та маса згідно технічного завдання;

K_m , K_v – вагові коефіцієнти, які визначають в залежності від умов експлуатації. Їх вибираємо наступними:

$$K_m = 0,6, \quad K_v = 0,4.$$

Оптимальним буде той варіант, у якого показник K найменший.

За базовий варіант компонування приладу приймаються обмеження, вказані у ТЗ, інші варіанти порівнюються з ним.

Для I варіанту:

$$K_1 = \frac{115,72}{150} \cdot 0,6 + \frac{353}{500} \cdot 0,4 = 0,61.$$

Для II варіанту :

$$K_2 = \frac{132}{150} \cdot 0,6 + \frac{109}{162} \cdot 0,4 = 0,65.$$

Для III варіанту :

$$K_3 = \frac{130}{150} \cdot 0,6 + \frac{140}{162} \cdot 0,4 = 0,69.$$

Розрахунок показує, що коефіцієнт K найменший для першого варіанту компонування конструкції, тому він буде оптимальним.

Таким чином, нам вдалося мінімізувати розміри пристрою і досягти оптимального розміщення елементів у корпусі.

3.8 Вибір Типу Друкованої Плати

Друковані плати класифікуються за кількістю шарів і способом їх з'єднання. Розрізняють:

- Односторонні плати: Мають провідні доріжки лише з одного боку.
- Двосторонні плати: Містять провідні доріжки з обох боків, з можливістю з'єднання шарів між собою або без такого з'єднання.
- Багатошарові плати: Складаються з декількох провідних шарів, які можуть з'єднуватися послідовно, попарно або через наскрізні отвори.

Характеристики односторонніх плат:

- Радіоеlementи встановлюються безпосередньо на поверхню матеріалу плати.
- Допускається використання невеликої кількості додаткових перемичок (до 5% від загальної кількості з'єднань).
- Відрізняються низькою вартістю і, як правило, відповідають 1-му або 2-му класу щільності монтажу.

Характеристики двосторонніх плат:

- Володіють високими комутаційними властивостями, дозволяючи реалізовувати складніші з'єднання.
- Забезпечують підвищену міцність з'єднання елементів.
- Мають вищу вартість порівняно з односторонніми платами.

Оскільки розроблюваний пристрій містить мікросхеми, причому значна частина радіокомпонентів – це компоненти поверхневого монтажу без дріт'яних виводів, оптимальним вибором буде одностороння плата третього класу точності. Таке рішення дозволить уникнути зайвих провідних перемичок і значно спростить процес електронного трасування плати за допомогою систем автоматизованого проектування (САПР).

3.9 Вибір та Обґрунтування Класу Точності Друкованої Плати

Для розробки даного пристрою, зважаючи на стандартний крок координатної сітки за ГОСТ 10317-82, який становить 1,25 мм, та враховуючи потенційні складнощі трасування, оптимальним вибором є 3-й клас точності друкованої плати.

Цей клас точності характеризується такими параметрами конструктивних елементів:

- Ширина провідника у широких ділянках: 0,45 мм.
- Ширина провідника у вузьких ділянках: 0,25 мм.
- Відстань між двома провідниками: 0,25 мм.
- Гарантійний поясок зовнішнього шару (ширина кільцевої доріжки навколо отвору): 0,1 мм.
- Гарантійний поясок внутрішнього шару: 0,05 мм.

Варто зазначити, що у широких місцях ширина провідника задається відповідно до іншого класу – у випадку 3-го класу точності, це буде відповідати параметрам 2-го класу за відповідною класифікацією.

3.10 Вибір матеріалу друкованої плати

До матеріалу висуваємо наступні вимоги:

- а) висока технологічність;
- б) високі електрофізичні властивості;
- в) можливість працювати в умовах вакууму;
- г) забезпечення високої адгезії;
- д) мінімальні механічні короблення

Таблиця 3.4 – Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Густина діелектрика без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом м	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹⁴ ...10 ¹⁵
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+70	- 60...+100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м*К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9

Для виробництва друкованих плат зазвичай використовують такі матеріали, як склотекстоліт та гетинакс. Серед їхніх поширених марок можна виділити:

- ГФ – фольгований гетинакс.
- СФ – фольгований склотекстоліт.
- ФГС – склотекстоліт фольгований, призначений для травлення.

- СФПН – склотекстоліт фольгований, що відрізняється підвищеною нагрівостійкістю.

- СТФ – теплостійкий склотекстоліт.

Товщина друкованої плати визначається товщиною обраного вихідного матеріалу та залежить від типу встановлюваних компонентів (елементної бази) і передбачуваних механічних та електричних навантажень.

Відповідно до даних Таблиці 3.3, склотекстоліт демонструє найкращі параметри. Тому в якості матеріалу для друкованої плати обираємо склотекстоліт фольгований двосторонній, марки СФ-2-35-1,5. Цей матеріал має товщину мідної фольги 35 мкм, а загальна товщина матеріалу разом із фольгою становить 1,5 мм. Він є універсальним і підходить для виготовлення як двосторонніх, так і односторонніх друкованих плат.

3.11 Вибір методу проектування друкованої плати

Встановлення навісних (напаяних) елементів на друкованій платі виконується відповідно до стандартів ОСТ4.ГО.010.030 та ОСТ4.ГО.010.009. При розміщенні компонентів необхідно враховувати такі важливі аспекти:

- Надійність: Забезпечення високої надійності роботи пристрою.
- Компактність: Мінімізація загальних габаритних розмірів плати.
- Тепловідведення: Забезпечення ефективного відведення тепла від компонентів, що нагріваються.

- Ремонтопридатність: Можливість легкого доступу та заміни елементів у разі потреби.

При трасуванні провідників важливо дотримуватися принципів:

- Мінімальна довжина зв'язків: Слід прагнути до максимально коротких з'єднань між елементами.

– Мінімізація паразитних зв'язків: Зменшення небажаних електричних взаємодій між провідниками та компонентами.

– Рівномірний розподіл: За можливості, необхідно забезпечити рівномірне розміщення навісних елементів по всій площі плати.

У зв'язку зі складністю трасування, крок координатної сітки вибирається рівним 2,54 мм. Згідно з ГОСТ 2.417-78, вузол координатної сітки розташовується на початку координат.

Подальші операції здійснюються в автоматизованому режимі за допомогою програми "Visio-2010". Це програмне забезпечення дозволяє встановлювати зв'язки між об'єктами як вручну, так і в напівавтоматичному режимі.

За допомогою панелі інструментів для малювання в програмі задаються контури плати, а також виконуються роботи з графічними зображеннями елементів та їх з'єднанням.

3.12 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок розраховується відповідно до діаметру отворів за формулою:

$$D_{\text{КП}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{отв}} + 2b + \Delta t_b + \Delta t_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_B^2 + T_{\text{не}}^2},$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отвору;

$\Delta d_{\text{отв}}$ – верхній допуск на діаметр отвору, $\Delta d_{\text{отв}} = +0$ мм;

b – ширина гарантійного пояса, $b = 0,1$ мм;

Δt_b – верхній допуск на ширину провідника, $\Delta t_b = 0,1$ мм;

$\Delta t_{\text{тр}}$ – допуск на підтравлювання діелектрика в отворі, $\Delta t_{\text{тр}} = 0$;

T_d – позиційний допуск розміщення отворів, $T_d = 0,08$ мм;

T_D – позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок,

$T_D = 0,15$ мм;

$\Delta t_{\text{нв}}$ – нижній допуск на ширину провідника, $\Delta t_{\text{нв}} = 0,1$ мм.

Загальний допуск становить:

$$\Delta D_{\text{КП}} = 0 + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + 0,1^2} = 0,5 \text{ мм.}$$

Діаметри отворів розраховуються за формулою:

$$d = d_{\text{вив}} + (0,2..0,4),$$

де $d_{\text{вив}}$ – діаметри виводів радіоелементів.

В даному приладі елементи мають наступні діаметри виводів:

0,3; 0,5; 1,0 мм.

Проводиться оптимізація діаметрів отворів:

$$d_1 = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ мм;}$$

$$d_2 = 0,5 + 0,3 = 0,8 \text{ мм;}$$

$$d_3 = 1,0 + 0,2 = 1,2 \text{ мм.}$$

Отримано три діаметри отворів:

$$d_1 = 0,6 \text{ мм;}$$

$$d_2 = 0,8 \text{ мм;}$$

$$d_3 = 1,2 \text{ мм.}$$

Знаходяться діаметри контактних площадок:

$$D_1 = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм;}$$

$$D_2 = 0,8 + 0,5 = 1,3 \text{ мм;}$$

$$D_3 = 1,2 + 0,5 = 1,7 \text{ мм;}$$

3.13 Розрахунок ширини друкованих провідників

Розрахунок ширини провідників проводиться за максимальним струмом і за падінням напруги, а також ширина задається і технічно, виходячи із класу точності друкованої плати. Тоді ширина провідника:

$$B = \max \{b_{\min 1}, b_{\min 1}, b_{\text{тех}}\}.$$

За максимальним струмом, що протікає через провідник:

$$b_{\min 1} = \frac{j_{\text{доп}}^2}{j_{\text{доп}} t},$$

де $j_{\text{доп}}$ – допустима густина струму, для двосторонньої плати, виготовленої комбінованим методом, $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$,

t – товщина провідника, $t = 35 \text{ мкм}$,

I_{max} – максимальний постійний струм, який проходить через провідник, $I_{\text{max}} = 0,05 \text{ А}$.

$$b_{\min 1} = \frac{0,05}{48 \cdot 35} = 5 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм за III класом}).$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги :

$$b_{\min} = \frac{j_{\text{доп}}^2 \cdot \rho \cdot l_{\text{max}}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t},$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$,

I_{max} – струм, який проходить по провіднику, $I_{\text{max}} = 0,05 \text{ А}$,

$l_{\max}$ – максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,0588$ м,

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги (становить не більше 5% від напруги живлення $U_{\text{доп}} = 5 \cdot 0,05 = 0,25$ В),

t – товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,05 \cdot 0,0175 \cdot 0,0588}{0,25 \cdot 0,035} = 0,058 \text{ мм} = 55 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують технологічну, тому:

$$B = b_{\text{тех}} = 0,25 \text{ мм}.$$

3.14 Вібророзрахунок плати

Спочатку визначаємо частоту власних коливань за формулою:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \sqrt{\frac{D}{M}} ab,$$

де a , b – довжина і ширина плати: $a = 120$ мм, $b = 60$ мм;

D – циліндрична жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)},$$

E – модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою $E = 3,2 \cdot 10^{10}$ Н/м²;

h – товщина плати, $h = 1,5$ мм;

ν – коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,279$;

M – маса плати з радіоелементами, $M = 13,12 + 42,25 \approx 55,37$ г.

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12 \cdot (1 - 0,279^2)} = 9,46;$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,12^2} \cdot \left(1 + \frac{0,12^2}{0,06^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{9,46}{0,0115}} \cdot 0,03 \cdot 0,05 = 2325 \text{ Гц};$$

$$f \neq f_p$$

$$2325 \text{ Гц} \neq 50 \text{ Гц}.$$

Отже, частота власних коливань не співпадає з резонансною частотою.

Визначаємо коефіцієнт динамічності:

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\gamma^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \gamma^2}}{\sqrt{(1 - \gamma^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \gamma^2}},$$

де $K(x)$, $K(y)$ – залежність коефіцієнта від коливань. Коли обидва краї закріплені $K(x) = K(y) = 1,3$;

γ – коефіцієнт розстроювання, $\gamma = f/f_p = 50/2325 = 0,017$;

ε – показник затухання, $\varepsilon = \lambda/\pi \approx 0,01$;

λ – декремент затухання $\lambda = (2..10) \cdot 10^{-2}$.

$$K_{\text{дин}} = \sqrt{\frac{(1 + [1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,017^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,017^2}{(1 - 0,017^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,017^2}} = 1,0007.$$

Вібросміщення:

$$S_B = \xi_0 \cdot K_d; \quad \xi_0 = \frac{a_0}{4\pi^2(f_p)^2}, \quad (3.13)$$

де a_0 – віброприскорення згідно технічного завдання, $a_0 = 19,8 \text{ м/с}^2$;

$$\xi_0 = \frac{9,75}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 2325^2} = 3,75 \cdot 10^{-8} \text{ м},$$

$$S_B = 3,55 \cdot 10^{-8} \cdot 1,0007 = 3,59 \cdot 10^{-8} \text{ м},$$

віброприскорення:

$$a_B = a_0 \cdot K_d = 19,8 \cdot 1,0007 = 19,8 \text{ м/с}^2.$$

Визначаємо прогин плати:

$$\delta = S_B - \xi_0 = 3,75 \cdot 10^{-8} - 3,59 \cdot 10^{-8} = 2,51 \cdot 10^{-11} \text{ м};$$

Проведені розрахунки демонструють, що зазначене переміщення не викличе дефектів або порушень цілісності друкованої плати.

3.15 Розрахунок на завадостійкість

Оцінка Завадостійкості Друкованої Плати

Для визначення завадостійкості друкованої плати необхідно оцінити ключові паразитарні ефекти, що виникають між провідниками: паразитну ємність та паразитну взаємодукцію.

Паразитна ємність між двома друкованими провідниками:

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon \cdot l_1}{\lg\left(\frac{2a}{t+b}\right)}$$

де l_1 – довжина взаємного перекриття провідників, $l_1 = 0,0076$ м;

a – відстань між провідниками;

t і b – товщина і ширина провідника відповідно;

ε – діелектрична проникність середовища для провідників:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\Pi} + \varepsilon_{\Lambda}}{2},$$

де ε_{Π} – діелектрична проникність матеріалу плати, $\varepsilon_{\Pi} = 6$;

ε_{Λ} – діелектрична проникність матеріалу лаку, $\varepsilon_{\Lambda} = 4$.

$$\varepsilon = \frac{6 + 4}{2} = 5;$$

$$C = \frac{1,06 \cdot 5 \cdot 0,0076}{\lg\left(\frac{2 \cdot 0,43 \cdot 10^{-3}}{35 \cdot 10^{-6} + 0,55 \cdot 10^{-3}}\right)} = 0,03 \text{ пФ} (< 1 \text{ пФ}).$$

Паразитна взаємоіндуктивність між двома друкованими провідниками:

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2l_2}{a+b} \right).$$

де l_2 – довжина перекриття сусідніх провідників, $l_2 \approx 0,0152$ м.

$$M = 2 \cdot 0,0152 \cdot \ln \frac{2 \cdot 0,0152}{0,00043 + 0,00055} = 0,11 \text{ мГн}$$

Паразитна індуктивність найдовшого друкованого провідника:

$$L = l_{\text{пог}} \cdot l_3$$

де l_3 – довжина провідника, $l_3 \approx 0,059$ м, $l_{\text{пог}}$ – погонна індуктивність, мкГн/м.

$$L = 1,8 \cdot 0,059 = 0,1 \text{ мкГн } (< 1 \text{ мкГн}).$$

Отримані розрахункові значення ємності та індуктивності знаходяться в межах допустимих величин.

3.16 Результати Моделювання

Результати проведеного моделювання представлені на Рисунку 3.6. На вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) з позначкою "IN" подається гармонійний синусоїдальний аналоговий сигнал (V_{in}). Цей сигнал має такі параметри: зміщення (offset value) 5 В, амплітуда (amplitude) 5 В та частота (Frequency) 1 Гц. В АЦП відбувається його часова дискретизація та квантування за рівнем.

На вхід "CNVRT" АЦП (що є сигналом запуску перетворення) надходить однобітний цифровий сигнал від джерела DSTIM1 з частотою 50 Гц. Сигнали "Over" та "Stat" є вихідними. Принцип формування цих сигналів показано на Рисунку 3.7.

Вихідний сигнал АЦП (представлений шиною adb[7..0]) є послідовністю цифрових чисел.

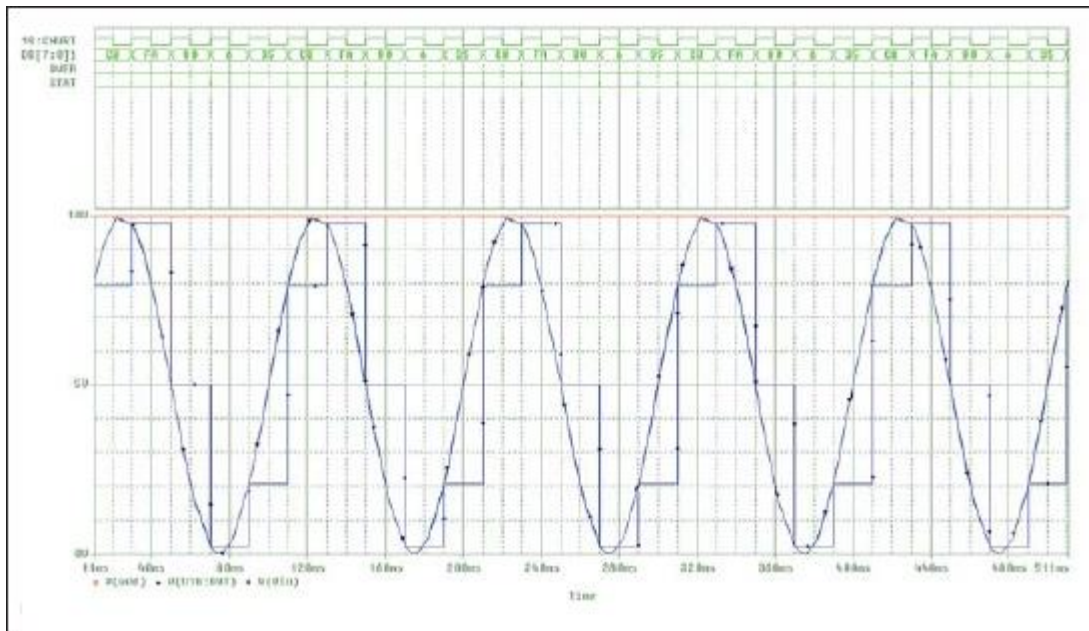


Рисунок 3.6 – Часові діаграми роботи АЦП

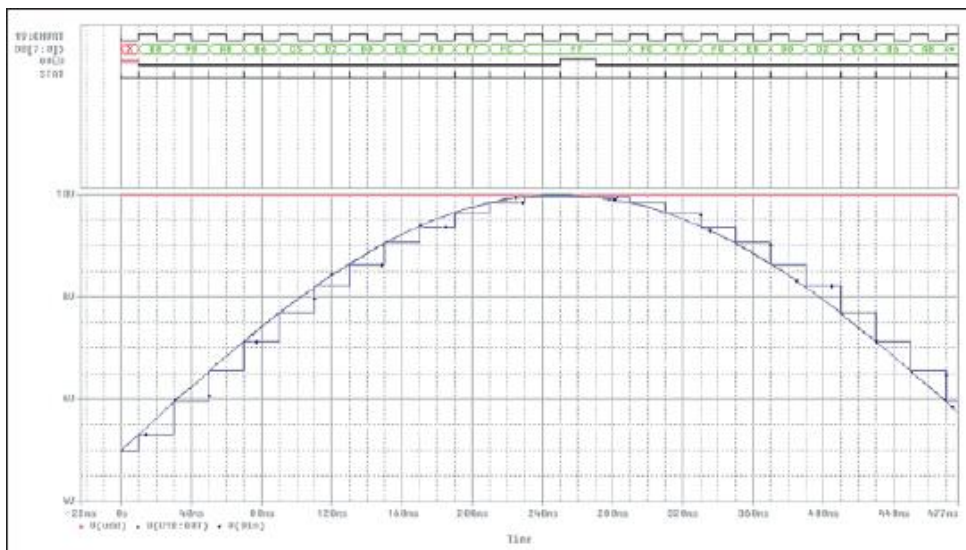


Рисунок 3.7 – Часові діаграми роботи АЦП постійний принцип формування сигналів

Оскільки цифрові сигнали на виході ЦАП мають обмежену кількість дискретних рівнів напруги, вихідний аналоговий сигнал завжди є ступінчастим. Це ступеневе представлення є формою спотворення, яку необхідно усунути перед подальшим використанням аналогового сигналу. Для цього застосовуються низькочастотні згладжувальні фільтри.

Логіка Роботи АЦП (згадка з попереднього контексту):

Під час симуляції, з кожним надходженням імпульсу CNVRT (зміни рівня з 0 на 1), який активує процес перетворення, на виході "Stat" АЦП з'являється одиничний імпульс (див. Рисунок 6). Якщо вхідний аналоговий сигнал залишається незмінним, то при черговому імпульсі CNVRT на виході "Over" з'являється одиничний імпульс, і вихідний сигнал АЦП фіксується.

Процес Перетворення та Розрядність ЦАП:

Під час перетворення n -розрядний вхідний цифровий сигнал трансформується в аналоговий вихідний сигнал, що має 2^n дискретних рівнів, або "сходинок", кожна з яких дорівнює одному молодшому значущому розряду (1 МЗР). Наприклад, 10-розрядний ЦАП має діапазон (повну шкалу) перетворення, що дорівнює $2^{10}=1024$. Це означає, що вихідна напруга може набувати 1024 різних рівнів – від нуля до максимального значення. Величина 1 МЗР розраховується як $1/2^n$.

Роздільна Здатність ЦАП:

Роздільна здатність є оберненою величиною до числа вихідних рівнів. Вона визначається кількістю розрядів і відображає здатність ЦАП розрізняти суміжні значення вхідного цифрового коду. Фактично, роздільна здатність визначає найменший можливий приріст аналогового сигналу (розмір "сходинки"), який розрізняється на виході при відповідній зміні вхідного перетворюваного коду на одиницю молодшого розряду. Це значення напруги відповідає 1 МЗР.

Роздільна здатність визначається як відношення значення повної шкали перетворення до значення 2^n . Одиницею вимірювання є одиниця наймолодшого значущого розряду (1 МЗР). Вона також може виражатися у відсотках від повної шкали або в мільйонних частках (ppm). Наприклад:

- Для 10-розрядного ЦАП з $V_{\text{вих}}=10 \text{ В}$: $1 \text{ МЗР}=10 \text{ В} \times (1/1024) \approx 9,76 \text{ мВ}$ або 0,1% від повної шкали.
- Для 16-розрядного ЦАП: $1 \text{ МЗР}=150 \text{ мкВ}$ або 0,0015% від повної шкали.

Похибки Перетворення ЦАП:

Одним з основних завдань перетворювача є забезпечення точної відповідності між вхідними та вихідними сигналами. Ця відповідність характеризується похибкою перетворення, яка складається з методичної та інструментальної похибок. Інструментальна похибка зумовлена неточністю виготовлення елементів перетворювача, зміною їх параметрів під впливом зовнішніх факторів (температура, вологість) і часу, а також залежить від впливу внутрішніх та зовнішніх шумів і перешкод.

Абсолютна похибка (точність) перетворення формується із суми похибок, таких як зсув нуля, зміна коефіцієнта передачі, нелінійність та немонотонність передавальної характеристики. Похибка зміщення – це вихідна напруга ЦАП при нульовому цифровому коді на вході. Вона може виражатися у відсотках від повної шкали або в одиницях МЗР.

Похибка (точність) перетворення δFS виражається у відсотках від діапазону зміни аналогового вихідного сигналу $V_{ШК}$ у вигляді кількості розрядів (наприклад, n розрядів точності означає похибку $V_{ШК}/2^n$) або у частках МЗР. Типова необхідна точність для ЦАП дорівнює $1/2$ МЗР, тобто значення похибки дорівнює $1/2 \times (V_{ШК}/2^n) = V_{ШК}/2^{n+1}$. Наприклад, 12-розрядний ЦАП не може мати точність перетворення менше $\pm 1/2$ МЗР або $\pm 2^{-(12+1)}$, що становить приблизно $\pm 0,0122\%$ від повної шкали. Фактично, похибка $\pm 0,0122\%$ відображає відхилення від ідеальної (100%) точності, тому фактична точність становить 99,9878%. Наприклад, для 12-розрядного ЦАП з діапазоном шкали від 0 до 10 В, при максимальному цифровому коді (1111 1111 1111) максимальна напруга буде $10 \text{ В} \times (1 - 2^{-12}) \approx 9,99756 \text{ В}$.

Диференціальна нелінійність ЦАП пов'язана зі зміною розмірів "сходинок" (одиничних перепадів вихідної напруги) і визначається як різниця відхилень рівнів вихідного сигналу при переході вхідного цифрового сигналу від будь-якого значення до суміжного, або як відмінність між фактичною висотою "сходинки" та ідеальним значенням 1 МЗР. Задана величина для диференціальної нелінійності

(≤ 1 МЗР) гарантує, що ЦАП є монотонним. Це означає, що дані не втрачаються, оскільки вихідний сигнал завжди змінюється відповідно до цифрового коду на вході.

Застосування ЦАП на Матриці Резисторів R-2R в складі АЦП:

Розглянемо застосування ЦАП на матриці резисторів R-2R у структурі АЦП. На Рисунку 3.8 представлена схема АЦП послідовного наближення, яка використовує ЦАП на матриці резисторів R-2R, компаратор та регістри в САПР OrCad. У цій схемі використовуються як аналогові, так і цифрові компоненти. Цифрові компоненти визначені як підсхеми в бібліотеці ТТЛ-вентилів 7400.olb. Операційний підсилювач/компаратор також визначений як підсхема в бібліотеці maxim.olb. У реальних же схемах АЦП послідовного наближення зазвичай застосовують компаратори, що тактуються фронтом синхроімпульсу.

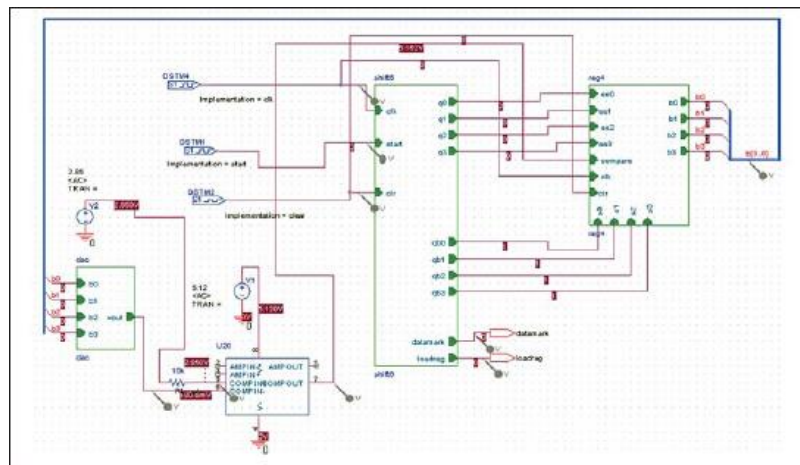


Рисунок 3.8 – Чотирьохрозрядний АЦП послідовного наближення

Розглянемо регістр зсуву у випадку, коли кількість розрядів (n) аналого-цифрового перетворювача (АЦП) дорівнює чотирьом. Цей регістр складається з чотирьох основних розрядів, реалізованих на тригерах dffe_4 - dffe_7, а також двох допоміжних розрядів, що використовують тригери dffe_8 та dffe_15.

Тригери типу dffe (з входом дозволу) побудовані на основі мультиплексора та функціональної макромоделі 7474.

Прямі виходи q0-q3 регістра зсуву підключені до входів дозволу e (позначених як ee0-ee3) регістра результату. Одночасно, інверсні виходи qb0-qb3 регістра зсуву приєднані до входів s0-s3 цього ж регістра результату.

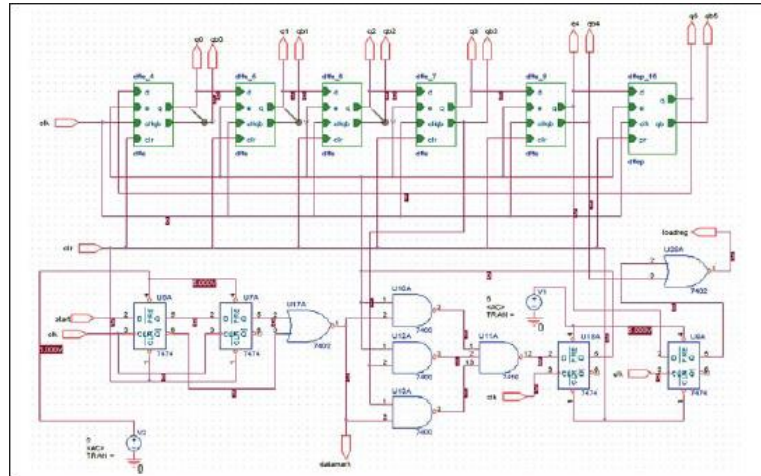


Рисунок 3.9 – Шестирозрядний регістр здвигу

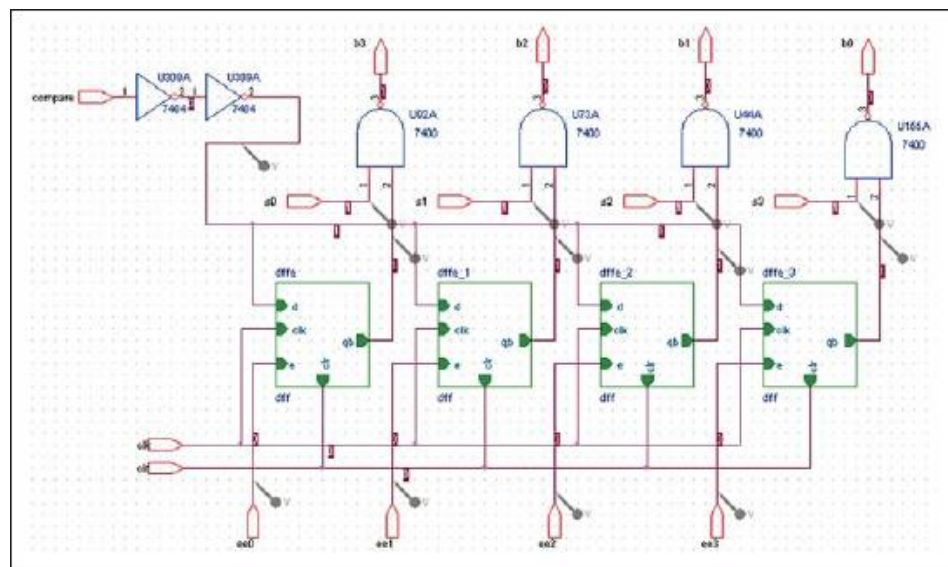


Рисунок 3.10 – Паралельний чотирьохрозрядний регістр

На початковому етапі, за низького рівня асинхронного сигналу очищення (clr), до старшого розряду шестирозрядного регістра зсуву (реалізованого на тригері dffe_15 з асинхронним входом установки Pr) записується логічна "1".

Водночас прямі виходи інших п'яти тригерів (dffe_4 – dffe_8) скидаються в "0". Таким чином, на виходах регістра зсуву формується двійковий код 100000, де "1" знаходиться у старшому розряді.

З надходженням одиничного імпульсу на вхід start та переведенням сигналу очищення clr у логічну "1" (з подальшим її утриманням), за першим переднім фронтом синхроімпульсу clk на виході datamark регістра зсуву буде сформований прапор мітки даних.

При цьому низький рівень на вході дозволу e (активним є високий рівень сигналу e) тригерів dffe_4 – dffe_8 запобігатиме їх перемиканню за переднім фронтом тактового сигналу clk.

За другим переднім фронтом синхроімпульсу логічна "1" з виходу q5 тригера dffe_15 переміститься на вихід тригера dffe_4. Це відбувається завдяки тому, що тригером U18a буде сформована роздільна логічна одиниця запису в тригер dffe_4, яка утримуватиметься до появи сигналу loadreg – тобто до завершення процесу перетворення.

За третім тактом синхроімпульсу логічна "1" з виходу тригера dffe_4 буде записана в тригер dffe_5, і так далі, поки логічна "1" не з'явиться на прямому виході тригера dffe_8. Інверсний вихід тригера dffe_8 разом з логічним нулем на виході тригера U9A сформують сигнал loadreg, який набуде логічної "1" і сигналізуватиме про завершення операції зсуву.

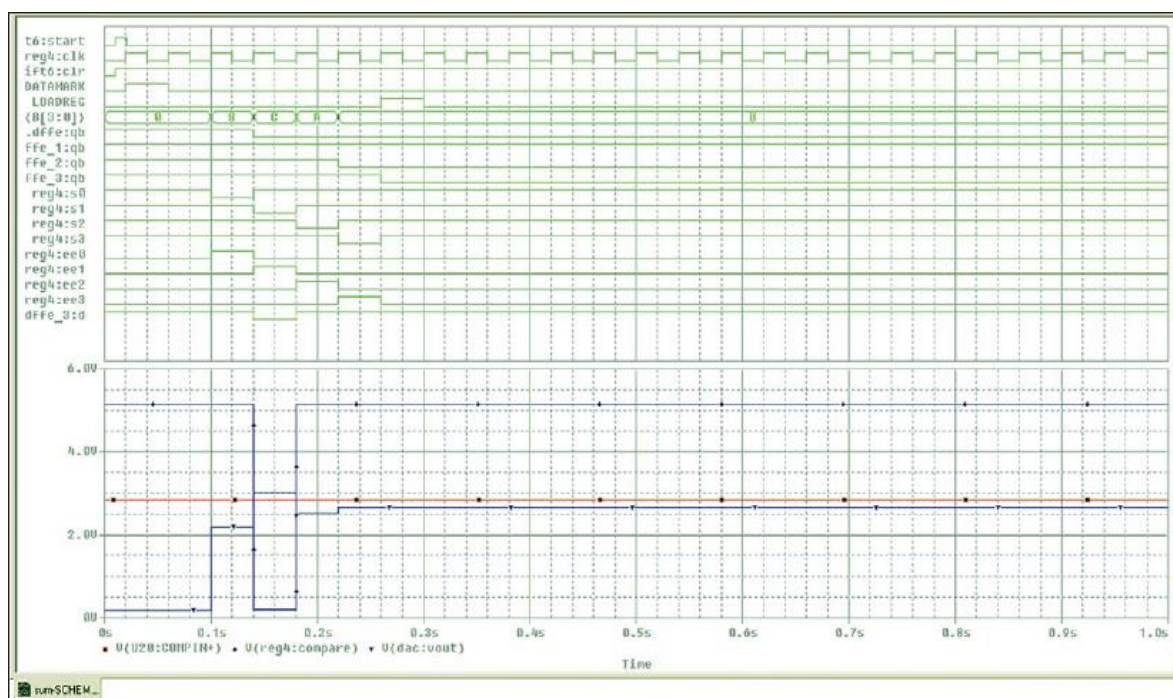


Рисунок 3.11 – Часові діаграми проектуємого АЦП

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Процес виготовлення друкованої плати умовно поділяється на п'ять основних етапів:

1. Попередня підготовка заготовки: Включає очищення поверхні та її знежирення.
2. Нанесення захисного покриття: Створення малюнка провідників обраним методом.
3. Видалення зайвої міді: Процес хімічного травлення для формування доріжок.
4. Очищення заготовки: Видалення захисного покриття після травлення.
5. Фінальна обробка: Свердління отворів, нанесення флюсу та лудіння.

Далі ми детальніше розглянемо "класичну" технологію, за якої надлишкові ділянки міді з поверхні плати видаляються методом хімічного травлення.

Цей етап є початковим і має на меті підготувати поверхню майбутньої друкованої плати до нанесення на неї захисного покриття. Загалом, за тривалий проміжок часу технологія очищення поверхні не зазнала значних змін.

Весь процес зводиться до видалення оксидів та інших забруднень з поверхні плати за допомогою різних абразивних засобів, з подальшим знежиренням.

Для видалення значних забруднень з поверхні плати можна застосовувати дрібнозернистий наждачний папір (так звану "нулівку"), дрібнодисперсний абразивний порошок або будь-який інший засіб, який не залишає глибоких подряпин.

У деяких випадках достатньо просто вимити поверхню друкованої плати жорсткою мочалкою для посуду з миючим засобом або порошком (зручно використовувати абразивні мочалки, що часто є частиною поролонівих губок). Крім того, якщо поверхня плати вже досить чиста, етап абразивної обробки можна повністю пропустити і одразу перейти до знежирення.

Якщо на друкованій платі присутня лише товста оксидна плівка, її легко видалити, обробивши плату протягом 3-5 секунд розчином хлорного заліза, після чого ретельно промити у холодній проточній воді. Важливо зазначити, що цю операцію бажано виконувати безпосередньо перед нанесенням захисного покриття, або ж після її проведення зберігати заготовку в темному місці, оскільки мідь швидко окислюється під впливом світла.

Заключний етап підготовки поверхні – це знежирення. Для цього можна використовувати шматочок м'якої тканини, яка не залишає волокон, змочений спиртом, бензином або ацетоном. Тут слід звернути особливу увагу на чистоту поверхні плати після знежирення.

Останнім часом зустрічаються ацетон та спирт зі значною кількістю домішок, які після висихання залишають на платі білуваті розводи. Якщо це так, варто знайти інший знежирюючий засіб. Після знежирення плату слід промити у проточній холодній воді.

Якість очищення можна контролювати, спостерігаючи за ступенем змочування водою мідної поверхні: повністю змочена водою поверхня, без утворення крапель та розривів водної плівки, є показником належного рівня очищення. Порушення в цій водній плівці вказують на недостатнє очищення поверхні.

Нанесення захисного покриття є найважливішим етапом у процесі виготовлення друкованих плат, оскільки саме від нього на 90% залежить якість готової плати.

Ця технологія набула значного поширення завдяки своїй простоті та високій якості отриманих плат. В її основі лежить перенесення тонера (порошку, який використовується в лазерних принтерах) з підкладки на поверхню друкованої плати. При цьому можливі два варіанти: або використана підкладка відокремлюється від плати перед травленням, або, якщо як підкладка використовується алюмінієва фольга, вона стравлюється разом із міддю.

Першим етапом цієї технології є друк дзеркального зображення малюнка друкованої плати на обраній підкладці. Параметри друку принтера повинні бути встановлені на максимальну якість, оскільки це забезпечує нанесення найтовстішого шару тонера.

В якості підкладки можна використовувати тонкий крейдований папір (наприклад, обкладинки від журналів), папір для факсів, алюмінієву фольгу, плівку для лазерних принтерів, основу від самоклеючої плівки Ogacal або інші подібні матеріали. Якщо папір або фольга занадто тонкі, їх може знадобитися приклеїти по периметру до аркуша цупкого паперу.

Це також має велике значення при друці на фользі або основі від плівки Ogacal, оскільки тонер на них тримається дуже слабо, і в разі перегину паперу всередині принтера існує висока ймовірність необхідності очищення термоблоку принтера від налиплих залишків тонера.

Крім принтера, можна використовувати копіювальний апарат, застосування якого іноді дає навіть кращі результати порівняно з принтерами за рахунок нанесення товстішого шару тонера.

Основна вимога до підкладки – легкість її відділення від тонера. Крім того, у випадку використання паперу, він не повинен залишати ворсинок у тонері. Після перенесення тонера на плату підкладка або просто знімається (як у випадку плівки для лазерних принтерів або основи від Ogacal), або попередньо розмочується у воді, а потім поступово відділяється (крейдований папір).

Перенесення тонера на плату полягає у прикладанні підкладки з тонером до попередньо очищеної плати з подальшим нагріванням до температури, що трохи перевищує температуру плавлення тонера. Існує величезна кількість способів це зробити, однак найпростішим є притискання підкладки до плати гарячою праскою.

При цьому для рівномірного розподілу тиску праски на підкладку рекомендується прокласти між ними кілька шарів щільного паперу. Дуже важливим питанням є температура праски та час витримки. Тонер повинен встигнути

достатньо розплавитися, щоб прилипнути до поверхні плати, але водночас не повинен дійти до напіврідкого стану, щоб краї доріжок не розплющились.

Після "приварювання" тонера до плати необхідно відокремити підкладку (за винятком випадку використання алюмінієвої фольги як підкладки: її відокремлювати не слід, оскільки вона розчиняється практично у всіх травильних розчинах).

Плівку для лазерних принтерів та основу від плівки Oracal після перенесення тонера просто акуратно знімають. Звичайний папір, натомість, потребує попереднього розмочування в гарячій воді для легкого відділення. Варто зазначити, що через особливості друку лазерних принтерів шар тонера в центрі великих суцільних полігонів може бути досить тонким.

Тому, по можливості, слід уникати використання таких великих однорідних ділянок на платі, або після зняття підкладки доведеться ретушувати плату вручну. Загалом, використання цієї технології дозволяє досягти ширини доріжок і зазорів між ними до 0,3 мм.

Фоторезист — це світлочутлива речовина, яка змінює свої властивості під впливом освітлення. Останнім часом на ринку з'явилося кілька видів імпорتنих фоторезистів в аерозольній упаковці, що особливо зручно для використання в домашніх умовах. Суть застосування фоторезисту полягає в наступному: на плату з нанесеним шаром фоторезисту накладається фотошаблон, після чого відбувається її засвічування. Засвічені (або, навпаки, незасвічені, залежно від типу фоторезисту) ділянки фоторезисту потім змиваються спеціальним розчинником, яким зазвичай є їдкий натр (NaOH).

Всі фоторезисти поділяються на дві основні категорії: позитивні та негативні. Для позитивних фоторезистів доріжці на платі відповідає чорна ділянка на фотошаблоні, тоді як для негативних — прозора. Найбільшого поширення набули позитивні фоторезисти, оскільки вони є більш зручними у застосуванні.

Зупинимося детальніше на використанні позитивних фоторезистів в аерозольній упаковці.

Першим етапом є підготовка фотошаблону. У домашніх умовах його можна отримати, надрукувавши малюнок плати на лазерному принтері на прозорій плівці. При цьому необхідно приділити особливу увагу щільності чорного кольору на фотошаблоні, для чого в налаштуваннях принтера слід вимкнути всі режими економії тонера та покращення якості друку, забезпечуючи максимальне заповнення. Крім того, деякі спеціалізовані фірми пропонують послугу виведення фотошаблону на фотоплоттері, що гарантує якісний результат.

На попередньо підготовлену та очищену поверхню плати наноситься тонка плівка фоторезисту. Це здійснюється шляхом розпилення з відстані близько 20 см. При цьому слід прагнути до максимально рівномірного покриття. Дуже важливо забезпечити відсутність пилу під час розпилення, оскільки будь-яка порошок, що потрапила у фоторезист, неминуче залишить свій слід на платі.

Після нанесення шару фоторезисту необхідно висушити отриману плівку. Рекомендується проводити сушіння при температурі 70°C-80°C, причому спочатку потрібно підсушити поверхню при низькій температурі, а потім поступово довести її до необхідного значення. Час сушіння при вказаній температурі становить близько 20-30 хвилин. У крайньому випадку допускається сушка плати при кімнатній температурі протягом 24 годин. Плати з нанесеним фоторезистом повинні зберігатися у темному прохолодному місці.

Наступним етапом після нанесення фоторезисту є експонування. На плату накладається фотошаблон (бажано стороною друку до плати для підвищення чіткості експонування), який притискається тонким склом або шматком плексигласу. Для порівняно невеликих плат для притиску можна використовувати кришку від коробки компакт-диска або очищену від емульсії фотопластинку.

Оскільки більшість сучасних фоторезистів мають максимум спектральної чутливості в ультрафіолетовому (УФ) діапазоні, для засвічування бажано

використовувати лампи з великою часткою УФ-випромінювання у спектрі (наприклад, ДРШ, ДРТ). У крайньому випадку можна використовувати потужну ксенонову лампу. Час експонування залежить від багатьох факторів (тип і потужність лампи, відстань від лампи до плати, товщина шару фоторезисту, матеріал притискного покриття тощо) і підбирається експериментально. Однак, загалом, час експонування зазвичай не перевищує 10 хвилин, навіть при експонуванні під прямими сонячними променями.

Проявлення більшості фоторезистів здійснюється розчином їдкого натру (NaOH) – 7 грамів на літр води. Найкраще використовувати свіжоприготовлений розчин, що має температуру 20°C - 25°C . Час проявлення залежить від товщини плівки фоторезисту і знаходиться в межах від 30 секунд до 2 хвилин. Після проявлення плату можна піддавати травленню у звичайних розчинах, оскільки фоторезист стійкий до впливу кислот. При використанні якісних фотошаблонів застосування фоторезисту дозволяє отримати доріжки шириною до 0,15-0,2 мм.

Хлорне залізо (FeCl_3) є найвідомішим та найпопулярнішим реактивом для травлення. Сухе хлорне залізо розчиняється у воді до отримання насиченого розчину золотисто-жовтого кольору (для цього потрібно близько двох столових ложок на склянку води). Процес травлення в цьому розчині може зайняти від 10 до 60 хвилин. Час залежить від концентрації розчину, температури та перемішування.

Перемішування значно прискорює хід реакції. З цією метою зручно використовувати компресор для акваріумів, який забезпечує перемішування розчину бульбашками повітря. Також реакція прискорюється при підігріванні розчину. Після закінчення травлення плату необхідно промити великою кількістю води, бажано з милом (для нейтралізації залишків кислоти). До недоліків даного розчину слід віднести утворення в процесі реакції відходів, які осідають на платі і перешкоджають нормальному перебігу процесу травлення, а також порівняно низьку швидкість реакції.

Після завершення травлення та промивання плати необхідно очистити її поверхню від захисного покриття. Зробити це можна будь-яким органічним розчинником, наприклад, ацетоном.

4.1 Підготовчі Роботи

Свердління отворів на друкованій платі слід виконувати гостро заточеним свердлом при максимальних обертах електродвигуна. Якщо під час нанесення захисного покриття в центрах контактних майданчиків не були залишені порожні місця, необхідно попередньо намітити отвори (наприклад, за допомогою шила). Притискне зусилля під час свердління не повинно бути надмірним, щоб уникнути утворення горбків навколо отворів на зворотному боці плати. Звичайні електродрилі, як правило, не підходять для свердління плат через низькі оберти та значну масу, що ускладнює точне регулювання притискного зусилля. Після свердління отвори необхідно обробити: видалити всі щербини та задирки, що можна зробити за допомогою наждачного паперу.

Наступним етапом є покриття плати флюсом з подальшим лудінням. Можна використовувати спеціальні флюси промислового виробництва (найкраще ті, що змиваються водою або взагалі не потребують змивання) або просто покрити плату слабким розчином каніфолі у спирті.

Для цього необхідно виготовити залізну ванночку та заповнити її невеликою кількістю легкоплавкого сплаву, такого як сплав Розе або Вуда. Розплав припою повинен бути повністю покритий зверху шаром гліцерину для запобігання його окисленню. Для нагрівання ванночки можна використовувати перевернуту праску або електроплитку. Плата занурюється в розплав, а потім виймається з одночасним видаленням надлишків припою за допомогою ракеля з твердої гуми.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час проектування приладу для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури на працівника, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [13]: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму; підвищений рівень статичної електрики; підвищена напруженість електричного поля; недостатня освітленість повітря робочої зони; фізичні перевантаження (статичні); нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо покращення умов праці на робочому місці.

5.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

На робочому місці під час проектування приладу для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури виникають небезпечні та шкідливі фактори: підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастот, висока напруга електричної мережі, статична електрика та інші. Робота з ПК супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. При систематичному впливі виробничих факторів, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи.

Проектування робочих місць, забезпечених ПК, відноситься до числа важливих проблем ергономічного проектування в області обчислювальної техніки.

Робоче місце і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця проектувальника повинні бути дотримані наступні основні умови: оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця і достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення [14].

Головними елементами робочого місця проектувальника є стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення працівника. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і постійність розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібне для виконання робіт частіше, розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору.

Висота робочої поверхні столу для користувачів повинна регулюватися в межах 680-800 мм, при відсутності такої можливості висота робочої поверхні столу повинна бути 725 мм. Модульними розмірами робочої поверхні столу для ПК, на підставі яких повинні розраховуватися конструктивні розміри, слід вважати: ширину 800, 1200, 1400 мм, глибину 800 і 1000 мм при нерегульованій висоті, що дорівнює 725 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною – не менше 500 мм, глибиною на рівні колін - не менше 450 мм і на рівні простягнутої ноги – не менше 650 мм. Робочий стілець (крісло) повинен бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також - відстані спинки до переднього краю сидіння. Робоче місце необхідно обладнати підставкою для ніг, має ширину не менше 300 мм, глибину не менше 400 мм, регулювання по висоті в межах до 150 мм і по куту нахилу опорної поверхні підставки до 20 градусів. Підставка повинна мати рифлену поверхню і бортик по передньому краю заввишки 10 мм. Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю, зверненого до користувача, або на

спеціальній регульованій по висоті робочої поверхні, відокремленої від основної стільниці.

Електричний струм – являє собою прихований тип небезпеки, бо його важко визначити в токо- та неструмоведучих частинах устаткування, які є хорошими провідниками електрики. Смертельно небезпечним для життя людини вважають струм, величина якого перевищує 0,05 А, струм менше 0,05 А - безпечний (до 1000 В). З метою попередження уражень електричним струмом до роботи повинні допускатися тільки особи, що добре вивчили основні правила з безпеки виконання роботи.

Приміщення, де експлуатуються ПК, належать до приміщень без підвищеної небезпеки ураження людини електричним струмом. Вимоги електробезпеки і пожежної безпеки у приміщеннях, де встановлені ПК і все устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження роботи їх, електропроводи і кабелі мають відповідати електробезпеці зони та мати апаратуру захисту від струму короткого замикання.

Лінії електромережі ПК, у приміщенні виконана як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників (заземлення або занулення), причому площі перерізу нульового робочого і нульового захисного провідника повинні бути не менші за площу перерізу фазового провідника.

Відповідно до правил електробезпеки в службовому приміщенні повинен здійснюватись постійний контроль стану електропроводки, запобіжних щитів, шнурів, за допомогою яких включаються в електромережу комп'ютери, освітлювальні прилади, інші електроприлади. Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ПК, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок - струмоведучі провідники,

корпуси стійок ПК і іншого устаткування, яка під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування діючих електроустановок ВЦ, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

Оскільки в приміщенні використовується понад п'ять ПК, тому на помітному місці встановлено аварійний резервний вимикач, який в разі небезпеки повністю знеструмлює електричну мережу (крім освітлення). В такому випадку при використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволено прокладати їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів, що ми і спостерігаємо у приміщенні.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничого приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року. Категорія виконуваних робіт під час проектування приладу для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури - 1а [17] (табл.5.2.1).

Таблиця 5.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

Для підтримання у виробничих приміщеннях метеорологічних умов, які задовольняють нормативні вимоги використовують систему вентиляції. Приміщення обладнано системою загально обмінної припливно-витяжної вентиляції. На кожен вентиляційну установку складений паспорт з технічною характеристикою та схемою установки.

Крім того, для підтримання температури в холодний період року використовують загальну систему опалення.

5.2.2. Склад повітря робочої зони

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.2.

Таблиця 5.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Оксид азоту	0,085	0,085	2
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Під час роботи на ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл.5.2.3).

Таблиця 5.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³
-------	-------------------------------------

	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення на робочому місці проектувальника є бічне одностороннє.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи – дуже високої точності) зазначені у таблиці 5.2.4:

Таблиця 5.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для максимального використання природного освітлення в приміщенні слід систематично очищувати вікна від пилу та встановити жалюзі. Віконні прорізи не затемнюються іншими будівлями.

Як джерела світла для штучного освітлення в приміщенні застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення

5.2.4 Виробничий шум

Рівні шуму на робочих місцях визначаються за ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [16] (табл.5.2.5).

Таблиця 5.2.5 Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку, еквівалентні і рівні звуку, дБА/дБАек в.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творча діяльність, обробка даних,	86	71	61	54	49	45	42	40	38	60

Рівень шуму на робочих місцях не має перевищувати 60 дБА, що досягається застосуванням малошумного обладнання, використанням спеціальних матеріалів для обшивки приміщень, а також різноманітними звукопоглинальними пристроями (перегородки, кожухи, прокладки тощо).

5.2.5. Виробничі випромінювання

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях із ПК (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих [21] (табл.5.2.6).

Таблиця 5.2.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Інтенсивність потоків інфрачервоного випромінювання має не перевищувати допустимих значень [16].

Потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана та корпусу відео термінала при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинна перевищувати ОД бер/год (100 мкР/год).

Для забезпечення захисту і досягнення нормованих рівнів комп'ютерних випромінювань необхідно застосовувати при екранні фільтри, локальні світлофільтри (засоби індивідуального захисту очей) та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат (згідно Директиви № 90/270/ЕЄС [20]).

5.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об’єкта, при якому виключається можливість пожежі, а в разі його виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей. Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту.

Пожежна безпека приміщення повинна відповідати вимогам Кодексу цивільного захисту України [21] та «Правила пожежної безпеки в Україні» [22].

За вибуховою і пожежною небезпекою приміщення належить до категорії Д, згідно з нормами технологічного проектування «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [23]. У приміщенні знаходяться ПК та інша оргтехніка, що можуть спричинити пожежу.

Згідно даних наведених у таблиці 3.1 будівля, в якій знаходиться приміщення, має II ступінь вогнестійкості [24] приміщення можна віднести до категорії вибухопожежонебезпеки В (табл.5.3.1).

Таблиця 5.3.1. – Визначення ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см)						
	стіни	колони	сходові площадки, перекриття міжповерхові	елементи суміщених покриттів			

	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні несучі	внутрішні несучі (перегородки)				плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки П-ІІа (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.)

5.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання виникнення пожежі в приміщенні застосовують такі заходи:

- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

Електромережі, електроприлади і апаратура експлуатується тільки у справному стані з урахуванням вказівок та рекомендацій підприємств-виготовлювачів. У разі виявлення пошкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів слід негайно вимкнути їх та вжити необхідних заходів щодо приведення в пожежобезпечний стан.

5.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і в якому зазначено місця розташування пожежної техніки. Як відомо пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалювання. У робочому приміщенні присутні всі три основні чинники, необхідні для виникнення пожежі. Горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін

Джерелами запалювання у ВЦ можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де внаслідок різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри та дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів. У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відведення надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійному дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

При проведенні обслуговуючих, ремонтних і профілактичних робіт використовуються різні мастильні речовини, легкозаймісті рідини, прокладаються тимчасові електропровідниками, ведуть пайку та чистку окремих вузлів. Виникає додаткова пожежна небезпека, яка потребує додаткових заходів пожежного захисту. Зокрема, при роботі з паяльником слід використовувати неспалену

підставку з нескладними пристроями для зменшення споживаної потужності в неробочому стані.

Однією з найбільш важливих завдань пожежної захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. З огляду на високу вартість електронного устаткування приміщення, а також категорію його пожежної небезпеки, будинки для ВЦ і частини будинку іншого призначення, в яких передбачено розміщення ПК повинні бути 1 і 2 ступеня вогнестійкості.

Під час зведення будівельних конструкцій зазвичай використовують негорючі матеріали, такі як цегла, залізобетон, скло, метал тощо. Використання деревини повинно бути обмеженим, а в разі її застосування необхідно обробити матеріал вогнезахисними речовинами.

Для гасіння невеликих загорянь застосовуються такі засоби, як внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові покривала тощо. У машинних залах, приміщеннях для зберігання інформаційних носіїв та кімнатах із контрольно-вимірювальними приладами застосування води можливе лише у виняткових випадках, коли пожежа набуває значних масштабів. При цьому слід використовувати мінімальну кількість води, а обладнання захистити від потрапляння вологи, накривши його брезентом або щільною тканиною.

На початкових етапах займання широко використовують вогнегасники. У приміщеннях найчастіше застосовують вуглекислотні вогнегасники, оскільки вони ефективно ліквідовують пожежі, не пошкоджують електроніку та мають діелектричні властивості, що дозволяє використовувати їх навіть за наявності напруги в електроустановках.

ВИСНОВКИ

У рамках цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР) було розроблено прилад для контролю вихідних сигналів медичної апаратури. Цей пристрій базується на комп'ютерній вимірювальній системі, що дає змогу створити спеціалізоване програмне забезпечення для аналізу специфічних сигналів.

Вибір USB-інтерфейсу для приладу є стратегічним, адже це найпоширеніший порт на сучасних комп'ютерних платформах, який забезпечує високу швидкість передачі даних. Сучасні пристрої зазвичай мають від 2 до 6 USB-роз'ємів, що гарантує легке підключення. Для реалізації цього складного інтерфейсу була використана мікросхема FT232BM, яка дозволила повністю реалізувати USB-функціонал, попри його технічну складність, що раніше було значним викликом.

На відміну від більшості виробників, які використовують програмовані контролери, у цій роботі була застосована АЦП мікросхема AD7495AR. Це рішення дозволило помітно збільшити швидкодію схеми, що є важливою перевагою при роботі з медичними сигналами.

У майбутньому планується подальше вдосконалення приладу шляхом встановлення атенюатора (дільника напруги). Це дозволить збільшити діапазон досліджуваних сигналів і, відповідно, розширити можливості приладу для аналізу сигналів більшої амплітуди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Григор'єв, А. І., Єгоров, А. Д. Авіакосмічна та екологічна медицина. *Авіакосмічна та екологічна медицина*. 2001. Т. 31, № 1. С. 14–25.
2. Воробйов, В. В. та ін. *Довідник з радіоелектроніки*. Київ: Техніка, 2000. 600 с.
3. Коваленко, В. П. *Конструювання радіоелектронної апаратури*. Київ: Либідь, 2005. 450 с.
4. Матвієнко, А. Б. Електронні компоненти. *Електронні компоненти*. 2004. № 11. С. 152.
5. ГОСТ 22737-77. Осцилографи електронно-променеві. Номенклатура параметрів і загальні технічні вимоги.
6. ГОСТ 23158-78. Осцилографи електронно-променеві універсальні. Методи випробувань.
7. ГОСТ 8.311-78. Осцилографи електронно-променеві універсальні. Методи і засоби перевірки.
8. Пивак, А. В. Компоненти та технології. *Компоненти та технології*. 2004. № 6. С. 204.
9. Коротков, Є. М. Дослідження систем управління. Київ: Дека, 2000. 24 с.
10. Куценко, Г. І., Царик, Г. Н., Васильєва, Т. П. *Основні напрямки розвитку вітчизняної охорони здоров'я в умовах ринкових відносин*. Київ: Медицина, 2003. 199 с.
11. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва
12. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
13. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS

18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с

14.НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

15.ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с

16.ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

17.Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86.

18.ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

19.ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>

20.Директива № 90/270/ЕЄС «Про мінімум вимог безпеки і гігієни праці при роботі з екранними пристроями - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/provisions-on-workload-ergonomical-and-psychosocial-risks/osh-directives/5>

21.Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI

22.НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

23.ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

24.ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-200

ДОДАТОК А

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

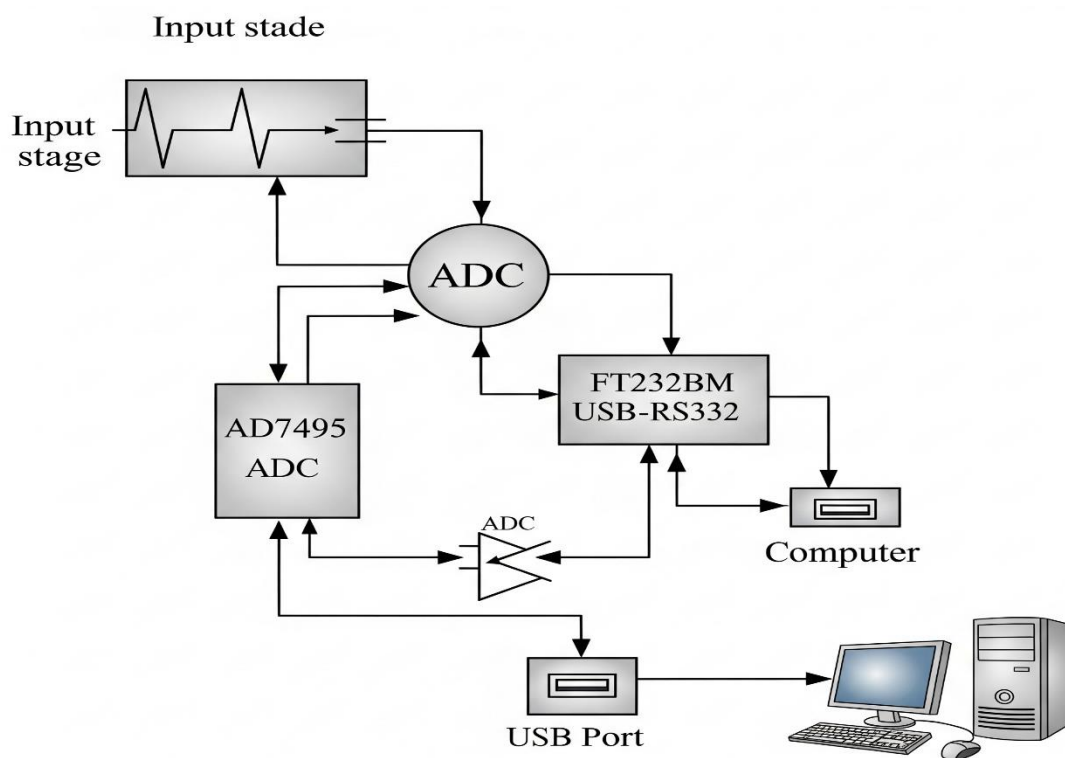


Рисунок А.1 – Схема структурна

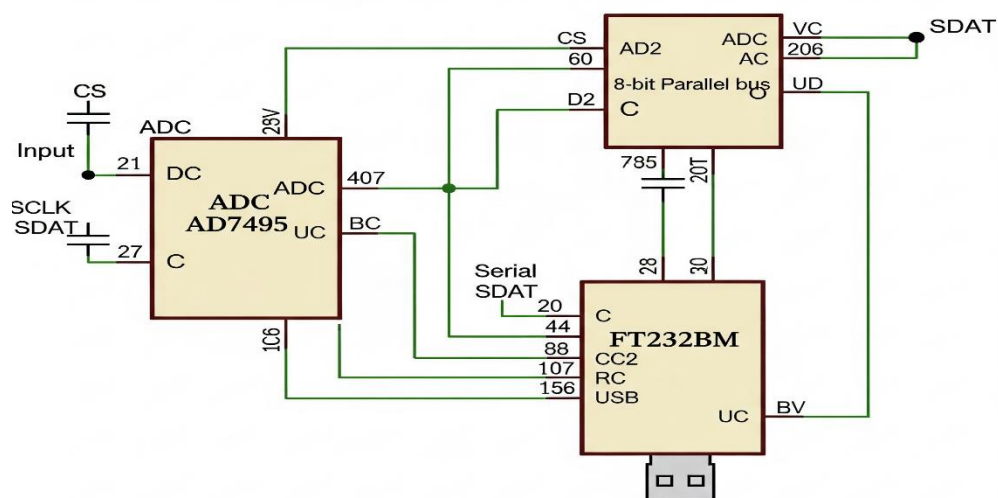


Рисунок А.2 – Схема електрична принципова

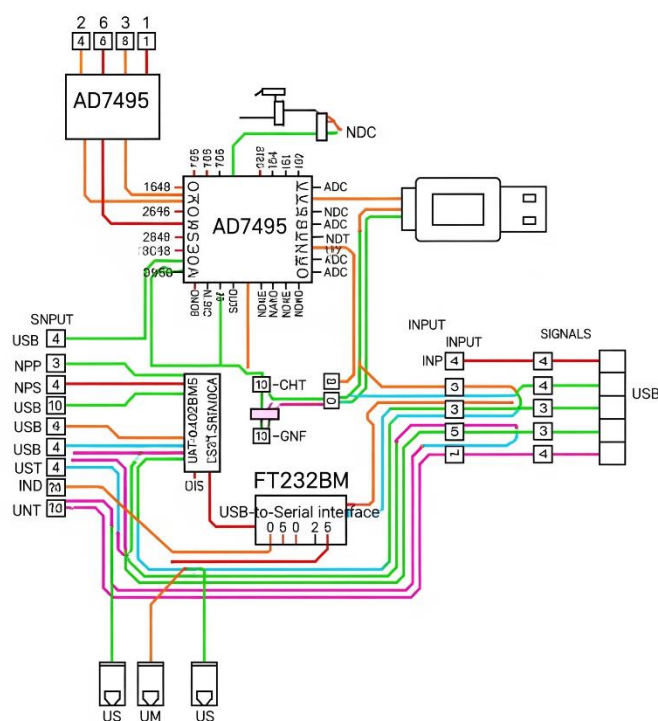


Рисунок А.3 – Креслення плати

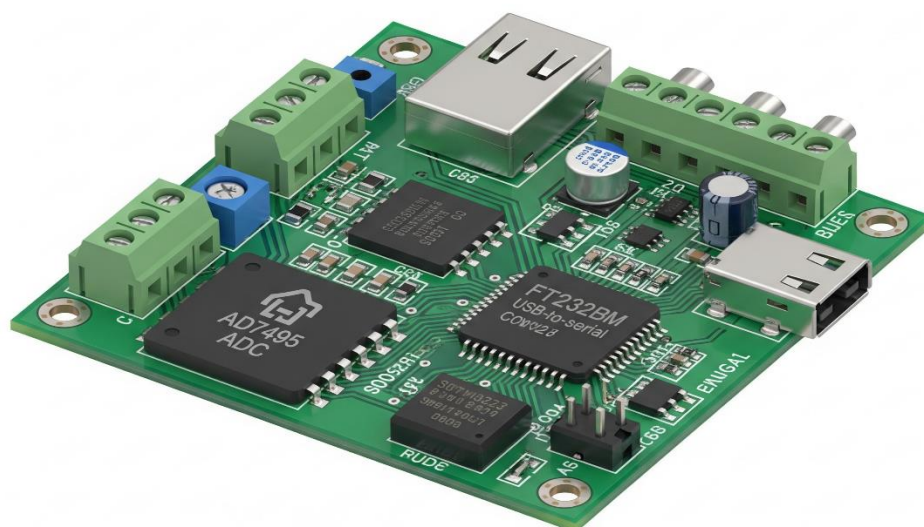


Рисунок А.4 – Модель пристрою

ДОДАТОК Б

```

#define ctrl_port      PORTB
#define ctrl_port_ddr  DDRB
#define ctrl_port_pins PINB
#define data_port      PORTD
#define data_port_ddr  DDRD
#define data_port_pins PIND
unsigned int      dataCounter = 0; unsigned int timeDiv = 0; unsigned char trigger = 0; unsigned
char findZero = 0; unsigned char upLimit = 0; unsigned char lowLimit = 255; unsigned char
prevADCvalue = 0; unsigned char voltageType = AC; unsigned char complete = TRUE; unsigned int
voltage; unsigned char frequency; unsigned int      ADCvalue;
unsigned char hex2asciiBuffer[4];
signed char Ypos= 0; signed char Ypos2                = 0; signed char position      = 0;
static unsigned char attribute  ((progmem)) const font3x6[] = { 0x00,0x00,0x00,
0x00,0x5C,0x00,
0x0C,0x00,0x0C,
0x7C,0x28,0x7C,
0x7C,0x44,0x7C,
0x24,0x10,0x48,
0x28,0x54,0x08,
0x00,0x0C,0x00,
0x38,0x44,0x00,
0x44,0x38,0x00,
0x20,0x10,0x08,
0x10,0x38,0x10,
0x80,0x40,0x00,
0x10,0x10,0x10,
0x00,0x40,0x00,
0x20,0x10,0x08,
0x7c,0x44,0x7c, 0x00,0x7C,0x00,
0x74,0x54,0x5c,
0x54,0x54,0x7c,
0x1C,0x10,0x7C,
0x5c,0x54,0x74,
0x7c,0x54,0x74,
0x04,0x74,0x0C,
0x7c,0x54,0x7c, 0x5c,0x54,0x7c, 0x00,0x50,0x00,
0x80,0x50,0x00,
0x10,0x28,0x44,
0x28,0x28,0x28,
0x44,0x28,0x10,
0x04,0x54,0x08,
0x38,0x4C,0x5C,
0x78,0x14,0x78,
0x7C,0x54,0x28,
0x38,0x44,0x44,

```



```

};
const char LcdRaster[] attribute ((progmem)) = { 255,1,1,1,1,1,1,1,3,1,1,1,1,1,1
, 1,1,1,3,1,1,1,1,1,1,1,1,3,1,1,1
, 1,1,1,1,1,1,1,3,1,1,1,1,1,1,1,1
, 1,171,1,1,1,1,1,1,1,1,3,1,1,1,1,1
, 1,1,1,1,1,3,1,1,1,1,1,1,1,1,1,3
, 1,1,1,1,1,1,1,1,1,3,1,1,1,1,1,1
, 1,1,1,3,255,0,62,34,34,34,62,0,0,62,34,34
, 34,34,0,0,62,32,32,62,96,0,62,16,8,4,62,0
, 255,8,0,0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,8,0,0,0,0,0,0,0,0,0,8,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,0,0,0,0,0
, 8,170,8,0,0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,8,0,0,0,0,0,0,0,0,0,8
, 0,0,0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,8,255,0,144,159,129,129,159,0,0,144,159,129
, 129,159,0,0,159,145,145,145,159,0,31,1,1,1,1,0
, 255,32,0,0,0,0,0,0,0,32,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,32,0,0,0,0,0,0,0,0,0,32,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,32,0,0,0,0,0,0,0,0
, 32,170,32,0,0,0,0,0,0,0,32,0,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,32,0,0,0,0,0,0,0,0,0,32
, 0,0,0,0,0,0,0,0,32,0,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,32,255,0,15,2,2,2,3,0,0,15,2,2
, 2,15,0,0,3,2,15,2,3,0,0,0,0,0,0,0
, 255,128,0,128,0,128,0,128,0,192,0,128,0,128,0,128
, 0,128,0,192,0,128,0,128,0,128,0,128,0,192,0,128
, 0,128,0,128,0,128,0,192,0,128,0,128,0,128,0,128
, 0,170,0,128,0,128,0,128,0,192,0,128,0,128,0,128
, 0,128,0,128,0,192,0,128,0,128,0,128,0,128,0,192
, 0,128,0,128,0,128,0,128,0,192,0,128,0,128,0,128
, 0,128,0,128,255,0,40,32,40,32,40,0,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
, 255,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0
, 0,170,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1
, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,0,255,0,16,8,16,32,16,0,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
, 255,2,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0
, 2,170,2,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2
, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,2,255,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0

```

```

, 255,8,0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,8,0,0,0,0,0,0,0,0,0,8,0,0
, 0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,0,0,0,0,0
, 8,170,8,0,0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,0
, 0,0,0,0,8,0,0,0,0,0,0,0,0,0,8
, 0,0,0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,8,255,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
, 255,160,128,128,128,128,128,128,160,128,128,128,128,128,128
, 128,128,128,160,128,128,128,128,128,128,128,160,128,128
, 128,128,128,128,128,128,128,160,128,128,128,128,128,128
, 128,170,128,128,128,128,128,128,128,160,128,128,128,128
, 128,128,128,128,128,160,128,128,128,128,128,128,128,160
, 128,128,128,128,128,128,128,128,160,128,128,128,128,128
, 128,128,128,160,255,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
, 0,0,0,0,0,0,0,0,124,16,124,0,72,104,88,0
};
void ADC_init (void)
{
    ADMUX = 0b01100000; // PA0 -> ADC0, ADLAR=1 (8-bit) ADCSRA |= ((1 << ADEN) | (1 <<
ADSC) | (1 << ADPS1));
}
void hex2Ascii(unsigned int data, unsigned char Buffer[4])
{
    Buffer[3] = ((data / 1000) + 0x30); data %= 1000;
    Buffer[2] = ((data / 100) + 0x30); data %= 100;
    Buffer[1] = ((data / 10) + 0x30); Buffer[0] = ((data % 10) + 0x30);
}
void eStrobe (void)
{
    _delay_us(5);
    ctrl_port |= (1 << lcde);
    _delay_us(5);
    ctrl_port &= ~(1 << lcde);
    _delay_us(5);
}
void glcdInit (void)
{
    data_port_pins = 0; data_port_ddr = 0xff; ctrl_port = 0; ctrl_port_ddr = 0xff;
    ctrl_port |= (1 << lcdrst); ctrl_port |= (1 << lcdcs1); ctrl_port |= (1 << lcdcs2); ctrl_port &= ~(1 <<
lcdrs); ctrl_port &= ~(1 << lcdrw);
    _delay_us(42); data_port = 0b11000000; eStrobe();
    _delay_us(42);
    data_port = 0b01000000; eStrobe();
    _delay_us(42);
    data_port = 0b10111000; eStrobe();
    _delay_us(42);
    data_port = 0b00111111; eStrobe();
    ctrl_port &= ~(1 << lcdcs1); ctrl_port &= ~(1 << lcdcs2);
}

```

```

}
void enable_cs1 (void)
{
ctrl_port |= (1 << lcdcs1); ctrl_port &= ~(1 << lcdcs2);
}
void enable_cs2 (void)
{
ctrl_port |= (1<<lcdcs2); ctrl_port &= ~(1<<lcdcs1);
}
void gLCDgotoXY (unsigned char lineData, unsigned char columnData)
{
if(columnData < 64) enable_cs1();
else{
enable_cs2(); columnData -= 64;
}
ctrl_port &= ~(1 << lcdrw); ctrl_port &= ~(1 << lcdrs); lineData |= 0b10111000; data_port =
lineData; eStrobe();
columnData |= 0b01000000; data_port = columnData; eStrobe();
ctrl_port &= ~(1<<lcdrw); ctrl_port |= (1<<lcdrs);
}
void sendDataOnLCD (unsigned char data)
{
if (column < 64)
enable_cs1();
if(column >= 64)
gLCDgotoXY(line,column);
if(column == 128){
column = 0; line++;
if (line == 8)
line = 0; gLCDgotoXY(line,column);
}
_delay_us(5);
ctrl_port |= (1<<lcdrs); ctrl_port &= ~(1<<lcdrw); data_port = data; eStrobe();
column++;
}
void createWelcomeScreen (void)
{
unsigned int i;
const char *data = welcomeScreen; column = 0;
line =0;
gLCDgotoXY(line,column);
for (i = 0; i<1024; i++) sendDataOnLCD(pgm_read_byte(data++));
}
void createRaster (void)
{
unsigned int i;
const char *data = LcdRaster; column = 0;
line = 0;
gLCDgotoXY(line,column);

```



```

for (i = 0; i < 1024; i++) sendDataOnLCD(pgm_read_byte(data++));
}
void fillDataLcdBuffer (unsigned char address, unsigned char data)
{
    dataLcdBuffer[address] = data;
}
unsigned char readDataFromLCD (void)
{
    unsigned char data;

    if (column < 64)
        enable_cs1();
    if(column >= 64)
        gLCDgotoXY(line, column); data_port_ddr = 0;
    ctrl_port |= ((1 << lcdrw)|(1 << lcdrs));
    _delay_us(5);
    ctrl_port |= (1 << lcde);
    _delay_us(5);
    ctrl_port &= ~(1 << lcde);
    _delay_us(5);
    ctrl_port |= (1 << lcde);
    _delay_us(5); data=data_port_pins; ctrl_port &= ~(1 << lcde);
    _delay_us(5); data_port_ddr = 0xff;
    gLCDgotoXY(line, column);
    return data;
}
void createWave (void)
{
    unsigned char data; unsigned char byte; unsigned char i;
    for (i = 0; i < 100; i++){ line = 7;
    column = 0;
    byte = 0b10000000;
    for(data = dataLcdBuffer[i]; data > 7; data -= 8) line--;
    for(;data > 0; data--) byte >>= 1;
    column = i; gLCDgotoXY(line,column); data = readDataFromLCD();
    dataLcdBackupBuffer[i*2] = line; dataLcdBackupBuffer[(i*2)+1] = data;
    gLCDgotoXY(line,column); sendDataOnLCD(byte | data);
    }
}
void restoreRaster (void)
{
    unsigned char data, i;
    for (i = 0; i < 100; i++)
    {
        column = i;
        line = dataLcdBackupBuffer[i * 2];
        data = dataLcdBackupBuffer[(i * 2) + 1]; gLCDgotoXY(line, column); sendDataOnLCD(data);
    }
}

```

```

void GLCD_WriteChar(char charToWrite)
{
    unsigned char i = 0; for(i = 0; i < 3; i++)
    sendDataOnLCD(pgm_read_byte(&font3x6[((charToWrite - 0x20)
    * 3) + i]));
    sendDataOnLCD(0x00);
}
int main (void)
{
    unsigned int      i, k;
    unsigned long endOfPeriod = 0; unsigned char freqComplete = 0; unsigned int      maxVoltage
= 0;
    DDRC = 0b00000000; PORTC = 0b11111111;
    DDRA = 0b00000000;
    glcdInit(); ADC_init(); createWelcomeScreen();
    _delay_ms(4000); createRaster(); createWave();
    for(;;){
        if (~PINC & (1 << msUp) && (timeDiv <= 120)) timeDiv += 1;
        if (~PINC & (1 << msDwn) && (timeDiv >= 1)) timeDiv -= 1;
        if (~PINC & (1 << YposUp) && (Ypos2 <= 60)) Ypos2++;
        if (~PINC & (1 << YposDwn) && (Ypos2 >= -60)) Ypos2--;
        if (~PINC & (1 << freeze))
            while (~PINC & (1 << freeze));
        findZero = 0;
        upLimit = 0;
        lowLimit = 255;
        endOfPeriod = 0;
        freqComplete = 0; complete = FALSE;
        for (i = 2; i < 15000; i++){
            ADCSRA |= (1 << ADSC); // Включить АЦП (ADC)
            loop_until_bit_is_set(ADCSRA, ADIF); ADCvalue = ADCH;
            if((ADCvalue > trigger) && (prevADCvalue < ADCvalue) && (freqComplete == 0))
                freqComplete = 1;
            if((ADCvalue < trigger) && (prevADCvalue < ADCvalue) && (freqComplete == 1))
                freqComplete = 2;
            if((ADCvalue > trigger) && (prevADCvalue < ADCvalue) && (freqComplete == 2)){
                freqComplete = 3;
                endOfPeriod = ((23000) / (i / 2));
            }
            prevADCvalue = ADCvalue; for(k = timeDiv; k > 0; k--){
                ADCSRA |= (1 << ADSC);
                loop_until_bit_is_set(ADCSRA, ADIF); ADCvalue = ADCH;
            }
            if (upLimit < ADCvalue) upLimit = ADCvalue;
            if (lowLimit > ADCvalue) lowLimit = ADCvalue;
            maxVoltage = (upLimit * 2); if (ADCvalue > 0){
                voltage = ((upLimit-lowLimit)*2); ADCvalue += 5;
                ADCvalue /= 5;
                ADCvalue += 2;
            }
        }
    }
}

```

```

}else
ADCvalue = 2;
position = ADCvalue + Ypos2 +5;
if ((position <= 63) && (position >= 0) && (i<100)) fillDataLcdBuffer(i,position);
else
if(i < 100)
fillDataLcdBuffer(i, 0);
if((i > 100) && (freqComplete == 3)) break;
}
if(upLimit != lowLimit)
trigger = (((upLimit - lowLimit) / 2) + lowLimit);
else
trigger = upLimit;
restoreRaster(); createWave();
line = 3;
column = 109; gLCDgotoXY(line, column);
hex2Ascii(maxVoltage,          hex2asciiBuffer);          GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[2]);
sendDataOnLCD(0b01000000);      sendDataOnLCD(0);          GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[1]);
GLCD_riteChar(hex2asciiBuffer[0]); sendDataOnLCD(0x00); GLCD_WriteChar('V');
line = 4;
column = 109; gLCDgotoXY(line, column);
hex2Ascii(voltage,             hex2asciiBuffer);             GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[2]);
sendDataOnLCD(0b01000000);      sendDataOnLCD(0);          GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[1]);
GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[0]); sendDataOnLCD(0x00); GLCD_WriteChar('V');
line = 6;
column = 122; gLCDgotoXY(line, column);
if(timeDiv == 0)
GLCD_WriteChar(0x5c);
else
GLCD_WriteChar('I');
if(timeDiv == 0)
{
line = 7;
column = 102; gLCDgotoXY(line, column); if(endOfPeriod < 10000)
{
gLCDgotoXY(line,          column);          hex2Ascii(endOfPeriod,          hex2asciiBuffer);
GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[3]);          GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[2]);
GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[1]); GLCD_WriteChar(hex2asciiBuffer[0]);
}
}
dataCounter = 0; complete = FALSE; freqComplete = 0;
do
{
prevADCvalue = ADCvalue;
ADCSRA |= (1 << ADSC);
loop_until_bit_is_set(ADCSRA, ADIF); ADCvalue = ADCH;
if((ADCvalue > trigger) && (prevADCvalue < ADCvalue) && (freqComplete == 0))
freqComplete = 1;
if((ADCvalue < trigger) && (prevADCvalue < ADCvalue) && (freqComplete == 1))

```

```
freqComplete = 2;
if((ADCvalue > trigger) && (prevADCvalue < ADCvalue) && (freqComplete == 2)){
freqComplete = 3; complete = TRUE;
}
if(dataCounter > 3000) complete = TRUE;
dataCounter++;
}while(complete == FALSE);
}
}
```

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Прилад для контролю характеристик медичної терапевтичної апаратури

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 21,00 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

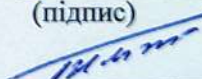
Коваль Л. Г., завідувач кафедри БМІОЕС

(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Тимчик С. В., гарант ОПП «Біомедична інженерія»

(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Штофель Д. Х.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлені:

Керівник


(підпис)

Коваль Л. Г., зав. каф. БМІОЕС

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач


(підпис)

Василенко В. С.

(прізвище, ініціали)