

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Кафедра радіотехніки та радіоелектронних систем

«На правах рукопису»

Робота допущена до захисту в ЕК
рішенням кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем
від 2024 року, протокол № .

Завідувач кафедри доктор фіз.-мат. наук, професор

_____ Ігор АНІСІМОВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

**«ЦИФРОВИЙ ОСЦИЛОГРАФ ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО
СТЕНДУ НА БАЗІ STM32»**

Виконав:

студент 3-го курсу

денної форми навчання

спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка

ОПП «Інформаційна безпека телекомунікаційних систем і мереж»

Моргун Вадим Васильович _____

Науковий керівник:

канд. фіз.-мат. наук, асистент

Котов Михайло Миколайович _____

Рецензент:

канд. фіз.-мат. наук, асистент

Малишев Володимир Юрійович _____

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____ Вадим Моргун

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 32 с., 18 рис., 4 дод., 18 джерел.

STM32F, ПОРТАТИВНИЙ ОСЦИЛОГРАФ, АЦП, SPI.

Об'єкт розроблення – Портативний цифровий осцилограф на базі STM32F411.

Мета роботи – проектування портативного цифрового осцилографа для вимірювальних стендів .

Розроблено портативний осцилограф, який задовольнить базові потреби при виконанні практичних та лабораторних робіт в навчальних закладах, також він є універсальним пристроєм і може використовуватись в різних умовах та режимах.

Використовуючи контролер STM32F411, який має досить високу функціональність та універсальність при компактних розмірах, осцилограф може забезпечувати точне вимірювання та аналіз сигналів у реальному часі, при цьому залишаючись портативним і зручним у використанні. Це дозволяє використовувати його в різних умовах та для широкого спектру завдань, від навчальних цілей до складних інженерних досліджень.

Завдяки мінімальному числу компонентів у схемі пристрій є енергоефективним, а керування за допомогою телефону робить його чудовим варіантом для використання в польових умовах.

Завдяки невисокій собівартості цього осцилографа, він є доступним інструментом для широкого кола користувачів, включаючи студентів, аматорів та професійних інженерів. Це дозволяє значно знизити витрати на обладнання для навчання, досліджень та розробок.

У подальшому необхідно вдосконалити пристрій, щоб краще адаптувати його до лабораторних робіт. Додати Wi-Fi модуль для безпроводного керування та батарею, програмне перемикання режимів DC-AC та міцний корпус. Модернізувати програмне забезпечення, додавши режим мультиметра, вимірювання вольт – амперних та передавальних характеристик.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Огляд науково-технічної літератури з осцилографії	6
1. 1. Історія та класифікація осцилографів	6
1. 2. Цифровий портативний осцилограф.....	9
2. Вибір компонентів, розробка схеми та здійснення розрахунків конструкції осцилографа.....	10
2.1. Розробка схеми для осцилографа.	10
2.2. Вибір основних компонентів	12
2.3. Розрахунок основних вузлів схеми.....	19
2.4. Тестування та налагодження макету.....	20
Висновки	26
Перелік джерел посилання	27
Додаток А Структурна схема пристрою.....	29
Додаток Б Принципова схема пристрою.....	30
Додаток В Перелік елементів.....	31
Додаток Г Друкована плата	32

ВСТУП

Осцилограф є одним з ключових інструментів в області електроніки та електротехніки, що дозволяє аналізувати та візуалізувати електричні сигнали. Він незамінний при розробці, тестуванні та ремонті електронних пристроїв, адже забезпечує можливість детально вивчати параметри сигналів, такі як амплітуда, частота та форма.

Історія осцилографів розпочалася у 1893 році, коли французький фізик Андре Блондель створив магнітоелектричний осцилограф з біфілярним підвісом. Цей пристрій забезпечував реєстрацію значень електричних величин, таких як інтенсивність змінних струмів на рухомій стрічці запису за допомогою чорнильного маятника, який був пов'язаний з котушкою. Завдяки використанню кількох механічних пристроїв, перші осцилографи мали обмежену точність та низьку ширину смуги пропускання, яка становила в діапазоні 10 -19 кГц.

В 1897 році Іван Різінгер винайшов катодний промінь, що дозволив створити перші катодні трубки, які були в основі перших осцилографів.

У перші десятиліття ХХ століття з'явилися перші осцилографи, які використовували катодні трубки для відображення електричних сигналів на екрані.

З 1950-х років майже у всіх технічно розвинених країнах стали виробляти ці прилади, завдяки чому осцилографи перетворилися в універсальний інструмент для вимірювань. Смуга пропускання і точність осцилографів стрімко збільшувалися, спочатку з появою перших промислових аналогових моделей, а потім і з появою цифрових осцилографів в 1985-му році.

Цей дипломний проект присвячений розробці та впровадженню осцилографа на базі мікроконтролера STM32F411 [1]. Вибір цього мікроконтролера обумовлений його високою продуктивністю, універсальністю та компактністю, що дозволяє створити портативний та енергоефективний пристрій.

Метою проекту є створення осцилографа, який буде доступним за вартістю, але при цьому забезпечуватиме високу точність та функціональність, необхідну для виконання складних вимірювальних завдань.

У рамках проекту розглянуто основні теоретичні аспекти функціонування осцилографів, проаналізовано вимоги до сучасних вимірювальних пристроїв та запропоновано оптимальну апаратну та програмну архітектуру для реалізації осцилографа на базі STM32F. Особлива увага приділена питанням енергоефективності, зручності використання та інтеграції з мобільними пристроями, що робить цей осцилограф ідеальним для використання в польових умовах та лабораторіях.

1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ОСЦИЛОГРАФІЙ

Представлений розділ є оглядом експериментальних та теоретичних робіт, в яких виконується проектування портативних осцилографів, зберігаючи тенденцію до зменшення розмірів приладу при цьому збільшуючи їх продуктивність

Хоч і розвиток портативних осцилографів відбувається дуже швидко, на сьогоднішній день на ринку все-одно в більшості пропонують великі за розміром аналогові осцилографи, такі як С1-93 [2], або ж цифрові, які менші за розмірами але не є портативними, і ціна таких пристроїв висока. Тому для лабораторних стендів придбання таких осцилографів є недоцільним.

З появою і розвитком нових мікроконтролерів та ІМС, програмування яких може замінити велику кількість дискретних логічних елементів, аматори та радіолюбители почали активно розвивати нішу портативних осцилографів, створюючи все потужніші та компактніші пристрої.

1.1 Історія та класифікація осцилографів

Осцилограф є одним з найважливіших інструментів в електроніці та електротехніці, що дозволяє візуалізувати електричні сигнали. Історія осцилографів сягає початку 20-го століття, і з того часу вони зазнали значного розвитку, перетворившись з громіздких аналогових пристроїв у сучасні цифрові інструменти з численними можливостями.

Перший осцилограф був винайдений німецьким фізиком Фердинандом Брауном у 1897 році. Цей ранній осцилограф використовував катодно-променеву трубку (CRT) для візуалізації змін напруги. Осцилограф Брауна дозволяв спостерігати електричні коливання на екрані, що значно полегшувало вивчення сигналів.

У 1920-х роках були створені перші комерційні осцилографи, які використовувалися в наукових дослідженнях і промисловості. Ці ранні осцилографи мали обмежені можливості і були громіздкими.

В 1930-х роках осцилографи стали більш доступними та поширеними завдяки вдосконаленню електронних компонентів. У цей час аналогові осцилографи почали широко використовуватися в радіоелектроніці та телекомунікаціях.

Одним із важливих досягнень у розвитку осцилографів було впровадження катодно-променевої трубки з електростатичним відхиленням. Це дозволило значно покращити роздільну здатність та точність вимірювань.

З розвитком цифрової техніки в 1970-х роках з'явилися перші цифрові осцилографи (DSO - Digital Storage Oscilloscopes). Вони дозволяли зберігати сигнали у цифровій формі, що відкривало нові можливості для аналізу даних. Цифрові осцилографи мали більшу точність і функціональність порівняно з аналоговими пристроями.

Сучасні цифрові осцилографи мають високу швидкість вибірки, великий обсяг пам'яті для зберігання даних та різноманітні можливості для обробки сигналів. Вони стали незамінними інструментами в наукових дослідженнях, розробці електронних пристроїв та тестуванні.

Осцилографи класифікують за кількома критеріями, зокрема за типом відображення сигналів, способом зберігання даних, кількістю каналів та спеціалізованими функціями:

1) За типом відображення

- Аналогові осцилографи
 - Використовують катодно-променеву трубку для відображення сигналів.
 - Забезпечують безперервне відображення вхідного сигналу у реальному часі.
 - Мають обмежені можливості для зберігання та аналізу сигналів.
- Цифрові осцилографи:
 - Використовують аналого-цифрові перетворювачі для перетворення вхідних сигналів у цифрову форму.

- Мають можливість зберігати та аналізувати сигнали.
- Забезпечують високу точність та роздільну здатність.

2) За способом зберігання даних осцилографи поділяють на

- Осцилографи зі збереженням даних на екрані:
 - Забезпечують збереження сигналу на екрані катодно-променевої трубки після завершення вимірювання.
 - Вимагають ручного перенесення даних для подальшого аналізу.
- Осцилографи зі збереженням даних у пам'яті:
 - Мають вбудовану пам'ять для зберігання сигналів у цифровій формі.
 - Забезпечують можливість подальшого аналізу та обробки даних.

3) За кількістю каналів осцилографи поділяють на

- Одно каналні осцилографи:
 - Вимірюють і відображають сигнали лише одного каналу.
 - Використовуються для простих вимірювань і аналізу сигналів.
- Багатоканальні осцилографи:
 - Можуть вимірювати і відображати сигнали з кількох каналів одночасно.
 - Забезпечують можливість аналізу складних сигналів та їх взаємодії.

4) За спеціалізованими функціями осцилографи поділяють на

- Портативні осцилографи:
 - Мають компактні розміри і призначені для використання в польових умовах.
- Осцилографи з логічним аналізатором:
 - Комбінують функції осцилографа і логічного аналізатора.
 - Дозволяють аналізувати як аналогові, так і цифрові сигнали.
- Осцилографи зі спектральним аналізатором:
 - Мають вбудовані функції для спектрального аналізу сигналів.
 - Використовуються для аналізу частотних характеристик сигналів.

1.2 Цифровий портативний осцилограф

Цифрові портативні осцилографи є одними з найсучасніших і найбільш зручних вимірювальних приладів, що поєднують функціональність традиційних осцилографів з мобільністю і компактністю. Ці пристрої дозволяють проводити вимірювання електричних сигналів у різних умовах, включаючи польові дослідження, ремонти на місці та навчальні лабораторії.

Одними з найпопулярніших рішень є проектування осцилографа на базі Arduino [3]. Такі пристрої є простими та дешевими в виробництві але мають дуже обмежені можливості. Плати Arduino випускаються у кількох модифікаціях: Arduino Nano зменшеного розміру без можливості використання плат розширення [4]; Arduino Uno зі збільшеною кількістю роз'ємів [5] тощо.

Як показало дослідження [6], використовуючи Arduino Nano, можна аналізувати сигнали з частотою до 20 кГц. Це сильно обмежує сфери застосування пристрою, він підійде лише для вимірювання аудіосигналів, сигналів підсилювача та різноманітних Bluetooth сигналів.

Використовуючи потужніші моделі Arduino, наприклад Uno, можна досягнути максимальний діапазон частот до 50 кГц. Цього може бути достатньо для новачків та любителів, але цього недостатньо для лабораторних стендів.

Проведене дослідження дозволило відсіяти багато варіантів реалізації пристрою та показало недоцільність використання модулів Arduino. Тому осцилограф буде побудовано на сучаснішому та потужнішому модулі STM32F.

В такому випадку очікуваними характеристиками осцилографа будуть:

Пропускна здатність: до 1 МГц

Роздільна здатність АЦП: до 12 біт

Частота дискретизації: до 1.5 МВиб/с

Також осцилограф буде більш універсальний

2. ВИБІР КОМПОНЕНТІВ, РОЗРОБКА СХЕМИ ТА ЗДІЙСНЕННЯ РОЗРАХУНКІВ КОНСТРУКЦІЇ ОСЦИЛОГРАФА

В розділі представлені результати проектування портативного осцилографа на базі STM32F411.

2.1 Розробка схеми для осцилографа

Структурна схема пристрою зображена в Додатку А. Пристрій складається з: вхідних каналів, фільтрів високочастотних шумів, захисту від перенапруги, підсилювачів сигналу, мікроконтролера, віртуального заземлення та вбудованого ШИМ генератора.

Основою осцилографа була обрана плата розробки (Рис.2.1) STM32F411, яка працює на продуктивному та енергоефективному ядрі Cortex®-M4 [7], на частоті 100МГц. Він контролює роботу всієї системи, обробляє виміряні сигнали та забезпечує вивід даних.

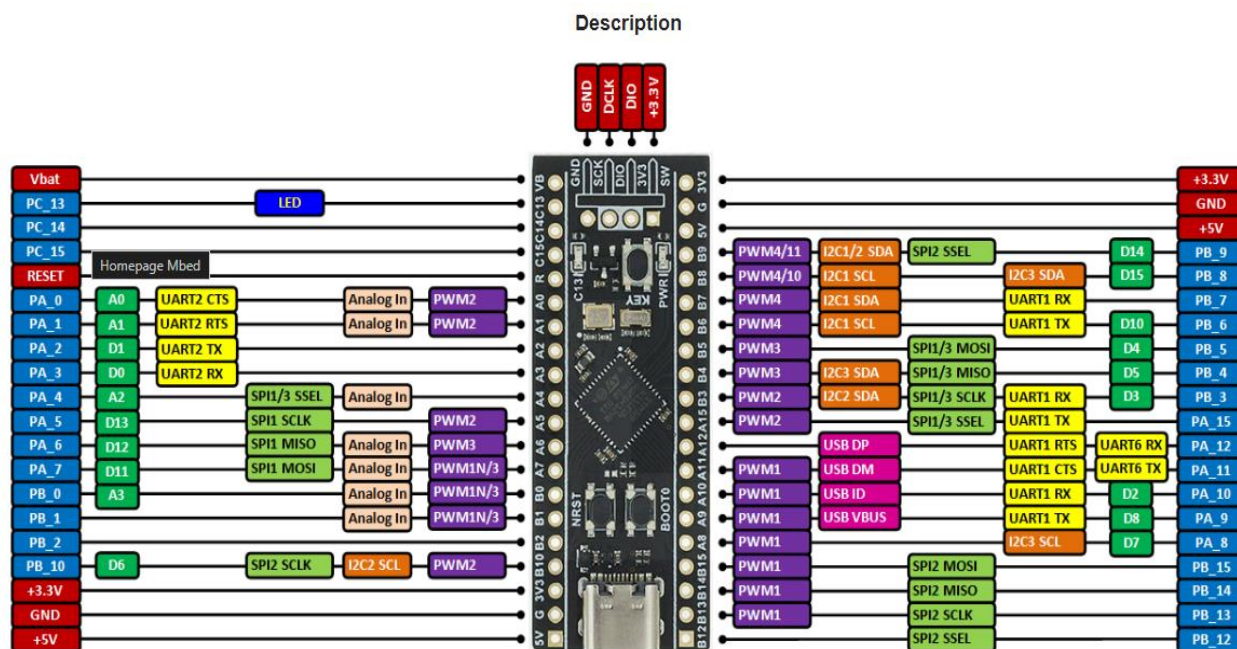


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд плати розробки

Принципова схема пристрою зображена в додатку Б.

Вхідні канали осцилографа складаються з:

- вхідних з'єднувачів для щупу (P1,P2);
- перемикачів для зміни параметрів вимірювань(DC-AC перемикання) (SW1,SW2);
- RC – фільтрів для усунення високочастотних шумів та подільників напруги (C1-C6, R1-R4) ;
- Захисних діодів для захисту від перенапруги (D1,D2);
- Підсилювачів вхідного сигналу (U1,U2).

Віртуальне заземлення складається з:

- Стабілізатора напруги (U3);
- Фільтра (C7, C8);
- Зворотного зв'язку (R5, R6).

Стабілізатор напруги також є джерелом опорної напруги для підсилювачів вхідного сигналу.

ШИМ генератор реалізований безпосередньо на виводі мікроконтролера.

Для живлення схеми використовується вбудований в плату розробки стабілізатор напруги, який надає напругу в 3.3В.

Схема працює наступним чином:

Вхідний сигнал надходить на вхідний роз'єм (P1, P2), перемикачем SW1/SW2 вибираєм режим роботи вхідного сигналу (AC/DC). Конденсатори C2 і C5 (100 нФ) та конденсатори C1 (20 пФ) і C4 (20 пФ) фільтрують високочастотні компоненти сигналу, після чого резистори R1 (910 кОм) і R3 (910 кОм) разом з резисторами R2 (100 кОм) і R4 (100 кОм) утворюють дільники напруги, що знижують рівень вхідного сигналу до безпечного рівня для подальшої обробки. Конденсатори C3 і C6 (47 пФ) додають додаткову фільтрацію, зменшуючи шум і пульсації сигналу. Після фільтрації сигнал проходить через діодні захисти D1 і D2, які захищають підсилювачі від перенапруги. Діоди обмежують максимальну

напругу, яка надходить до підсилювача, запобігаючи його пошкодженню. Далі сигнал потрапляє на входи програмованих підсилювачів U1 і U2, які підсилюють сигнал до необхідного рівня, керуючи коефіцієнтом підсилення через SPI інтерфейс, з'єднаний з мікроконтролером. Сигнал виводиться через вихід підсилювача та передається на мікроконтролер STM32F, мікроконтролер зчитує підсилений сигнал через аналогові входи, здійснює оцифрування сигналу, його обробку та аналіз, керує підсилювачами через SPI інтерфейс для динамічного налаштування коефіцієнтів підсилення, та генерує ШІМ (PWM) сигнали для тестової перевірки або інших цілей.

Схема на лінійному стабілізаторі напруги (U3) виконує роль віртуального заземлення, яке дозволяє осцилографу коректно визначати полярність вхідного сигналу в обидва напрямки. Конденсатори C7 (470 мФ) і C8 (47 мФ) фільтрують напругу живлення, зменшуючи пульсації і шум. Резистори R5 і R6 (1 кОм) створюють необхідне навантаження для стабілізатора та забезпечують стабільність опорної напруги. Віртуальне заземлення забезпечує необхідний нульовий рівень, відносно якого визначається позитивна і негативна полярність вхідних сигналів, що дозволяє правильно обробляти сигнали з обома полярностями.

На завершення оброблений сигнал передається на вихідний інтерфейс мікроконтролера, до якого під'єднується смартфон на базі Android [8], після чого використовуючи спеціальне програмне забезпечення HScore [9] ми отримуємо на екрані відображення сигналу у реальному часі.

Для працездатності контролера була використана стороння прошивка [10]

2.2 Вибір основних компонентів

Проектування портативного осцилографа вимагає ретельного вибору як основних, так і допоміжних компонентів. Від правильного вибору залежить ефективність, точність та надійність роботи пристрою. Основні компоненти

включають мікроконтролер, програмовані підсилювачі, елементи живлення та захисту, а допоміжні – різноманітні пасивні компоненти, конектори та інтерфейси.

При виборі компонентів особлива увага приділялась доступності, компактності, низькому електроспоживанню та високій продуктивності елементів.

Розглянемо вибір кожного з цих компонентів детальніше:

Мікроконтролер (STM32F411), (MCU)

STM32F411 було обрано за його високу продуктивність, наявність великої кількості периферійних інтерфейсів, включаючи ADC (аналогово-цифровий перетворювач), SPI та I2C. Його можливість швидкого оцифрування сигналів і потужний обчислювальний потенціал дозволяють здійснювати обробку сигналів у реальному часі.

Характеристики:

- Архітектура: ARM Cortex-M4
- Частота: до 100 MHz
- ADC: 12-біт, до 2.4 MSPS
- Інтерфейси: SPI, I2C, UART, USB

Програмовані підсилювачі (MCP6S21), (U1,U2)

MCP6S21 [11] є одноканальними програмованими підсилювачами, які можуть бути налаштовані через SPI інтерфейс для зміни коефіцієнта підсилення. Це забезпечує гнучкість в обробці різних рівнів сигналів без необхідності зміни апаратної конфігурації. Зовнішній вигляд та розміри підсилювача в корпусі SOP-8 зображено на рис.2.2

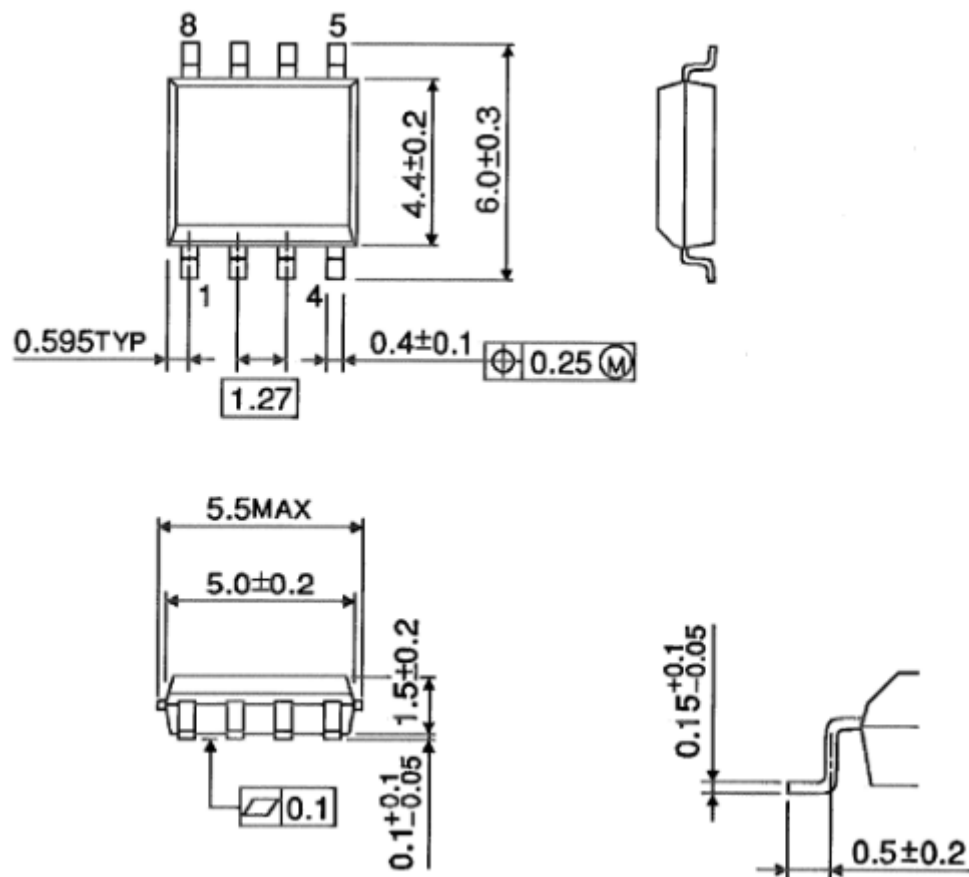


Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд та розміри мікроконтролера MCP6S21

Характеристики:

- Діапазон напруги: 2.5V - 5.5V
- Коефіцієнт підсилення: програмований від 1 до 32
- Інтерфейс: SPI
- Невеликий 8-контактний корпус MSOP
- -3 дБ Смуга пропускання від 2 до 12 МГц
- Похибка при посиленні < 1%
- Rail-to-Rail вхід і вихід
- Низький рівень шуму: 10 нВ/рГц
- Низький струм живлення: 1,1 мА (типовий)

Стабілізатор напруги (AMS1117-1.2), (U3)

Стабілізатор AMS1117-1.2 [12] забезпечує стабільну опорну напругу 1.2V для формування віртуального заземлення та живлення інших компонентів. Він має високий коефіцієнт стабілізації та низький рівень шуму. Зовнішній вигляд та розміри стабілізатора зображені на рис.2.3

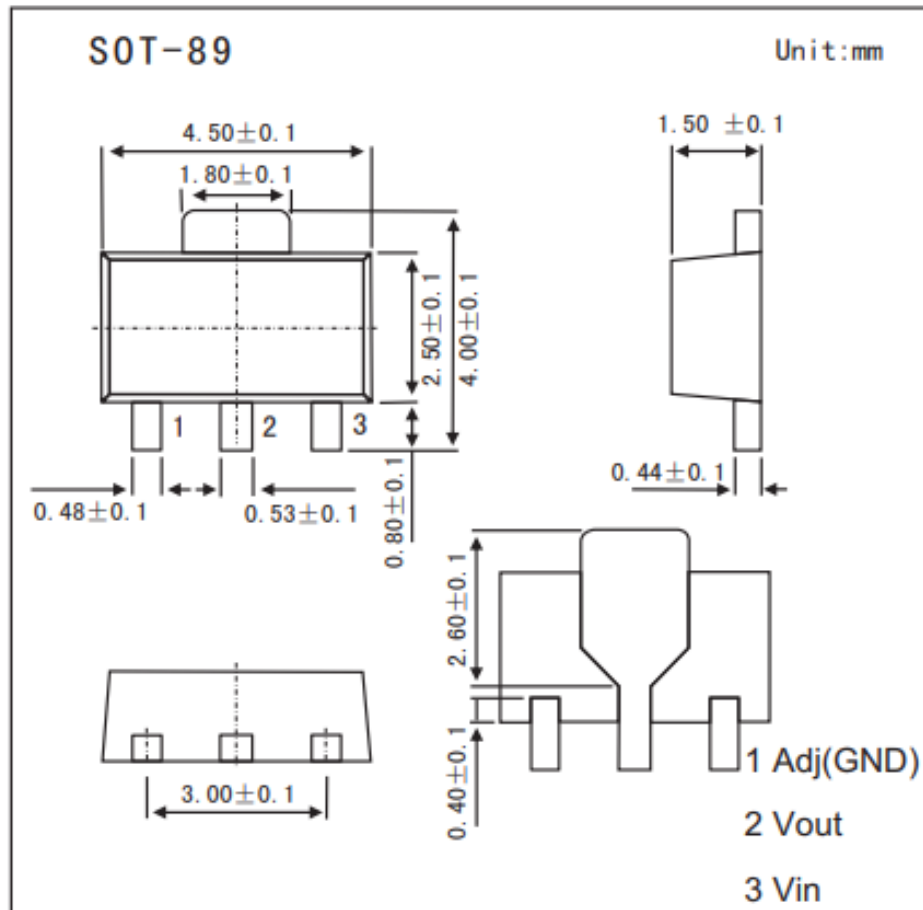


Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд та розміри стабілізатора AMS1117

Характеристики:

- Вихідна напруга: 1.2V
- Точність: $\pm 1\%$
- Вихідний струм: до 1A

Пасивні компоненти

Конденсатори використовуються для фільтрації шумів та стабілізації напруги в різних вузлах схеми.

Для реалізації гнучкої фільтрації задля налаштування фронтів, на входах були використані підстроювальні конденсатори (C1, C4) SR301TR [13], які мають діапазон регулювання 8-30 пФ. Зовнішній вигляд та розміри зображені на рис.2.4

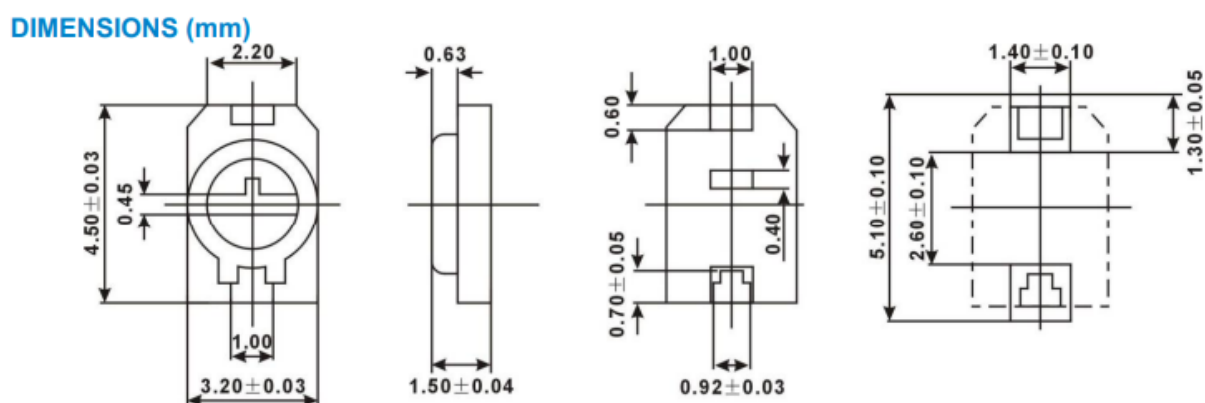
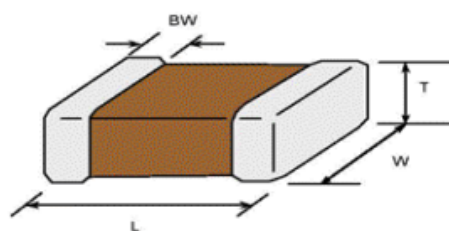


Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд та розміри конденсаторів SR301TR

Конденсатори C2-C8 керамічні SMD в корпусі 0805 [14]. Зовнішній вигляд та розміри показані на рис.2.5



Dimension(mm)			
L	W	T	BW
2.00 ± 0.15	1.25 ± 0.15	1.25 ± 0.15	0.50 +0.20/-0.30

Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд та розміри конденсаторів в корпусі 0805

Резистори використовуються для формування дільників напруги, налаштування струмів та стабілізації режимів роботи транзисторів і інших активних елементів.

Для більш гнучкого налаштування мікросхеми U3, а саме коригування нуля, використовується потенціометр R6 в корпусі VR5. Зовнішній вигляд та розміри зображені на рис.2.6.

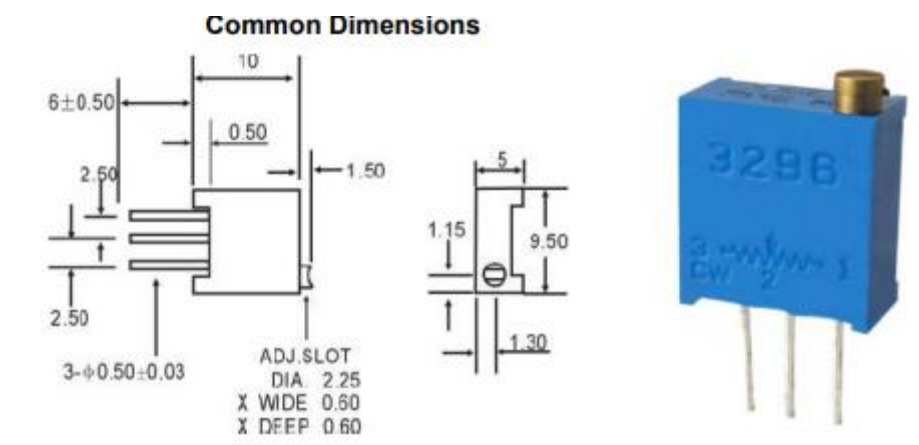


Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд та розміри потенціометра R6

Резистори R1-R5 SMD в корпусі 0805 зображені на рис.2.5.

Діоди BAV99 [15] використовуються для захисту від перенапруги. Вони забезпечують обмеження вхідної напруги, запобігаючи пошкодженню чутливих компонентів. Зовнішній вигляд та розміри зображені на рис.2.7.

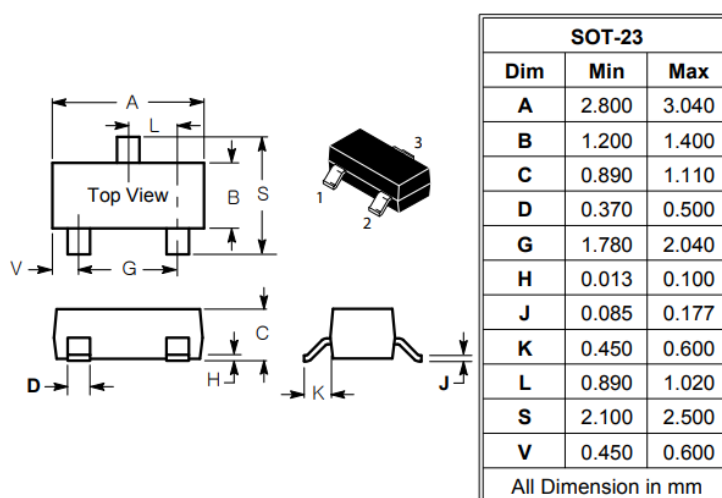


Рисунок 2.7 - Зовнішній вигляд та розміри діодів BAV99

Характеристики:

- Прямий струм: до 200мА
- Зворотна напруга: до 70V

Перемикачі SW1 та SW2 дозволяють вибір режиму роботи вхідного сигналу, а конектори забезпечують зручне підключення до зовнішніх пристроїв.

Для приєднання щупів осцилографа використовується BNC-гніздо кутове [16]. Зовнішній вигляд та розміри гнізда зображені на рис.2.8.

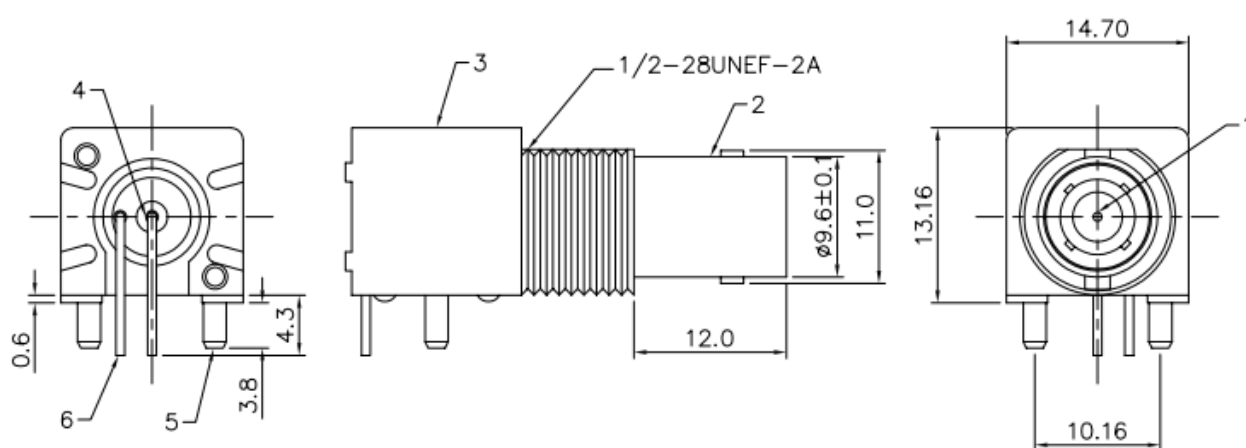


Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд та розміри гнізда BNC-RJ

Для приєднання STM32F до плати використовуємо конектор PBS-20 [17], це дозволить нам легко від'єднувати контролер від плати. Зовнішній вигляд та розміри конектора зображені на рис.2.9.

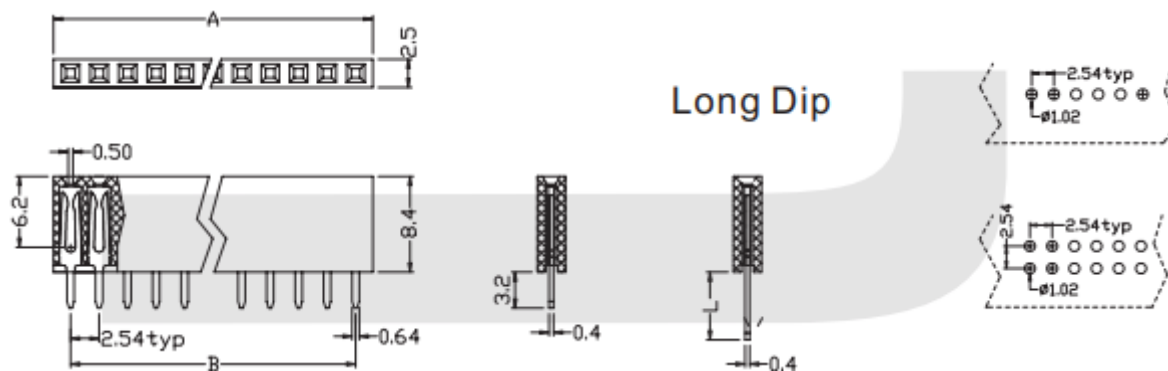


Рисунок 2.9 - Зовнішній вигляд та розміри конектора PBS-20

Для перемикання режимів роботи (AC-DC), (SW1, SW2) був використаний SMD перемикач повзуноковий MSK-12C01-07 [18]. Зовнішній вигляд та розміри зображені на рис.2.10.

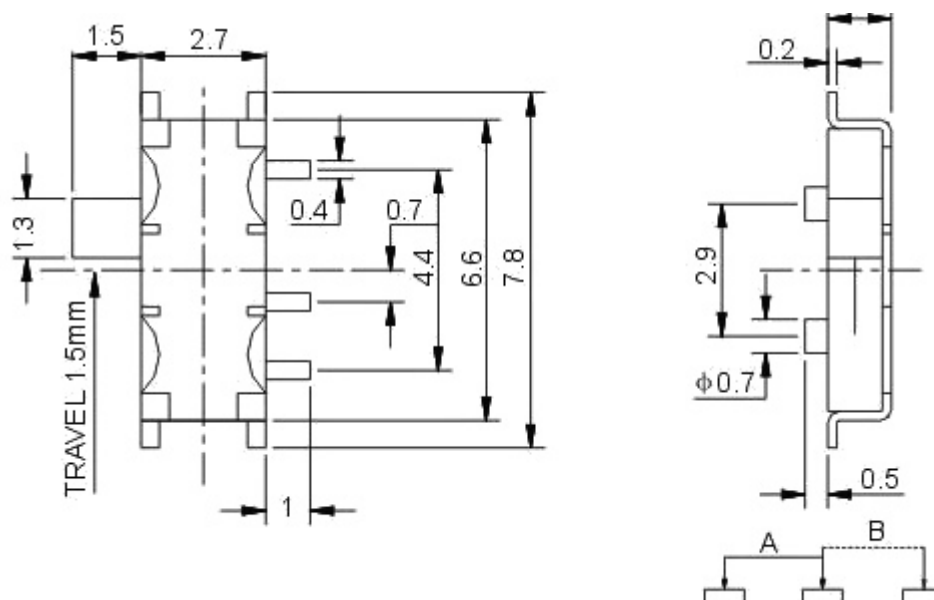


Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд та розміри перемикача MSK-12C01-07

Перелік елементів зображений в додатку В.

2.3. Розрахунок основних вузлів схеми

Розрахунок вхідних каналів

На вхідних каналах (СН-1 та СН-2) схеми використовуються ділянки напруги та RC-фільтри для обробки сигналу.

Дільник напруги складається з резисторів $R1$ і $R2$. Основна функція дільника напруги — зменшити амплітуду вхідного сигналу до рівня, прийнятного для підсилювача та мікроконтролера.

Для дільника напруги формула розрахунку вихідної напруги V_{out} виглядає наступним чином:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R2}{R1 + R2} \quad (2.1)$$

де: V_{in} - вхідна напруга, $R1=910$ кОм, $R2=100$ кОм

Підставимо значення:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{100K}{910K + 100K} \approx V_{in} \times 0.099 \quad (2.2)$$

Таким чином, вхідна напруга зменшується приблизно вдесятеро від початкового значення.

RC-фільтр

Конденсатори (C1, C2, C3, C4, C6) та резистори (R1, R2, R3, R4) утворюють RC-фільтри, які виконують функцію згладжування сигналу та захисту від високочастотних перешкод.

Формула розрахунку нижньої граничної частоти RC-фільтра виглядає так:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.3)$$

Розглянемо фільтр на вході, який складається з резистора R1 та конденсатора C2: $R=910$ кОм, $C=100$ нФ.

Підставимо значення у формулу:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times 910K \times 100nF} \approx 1.75 \text{ Гц} \quad (2.4)$$

Це означає, що фільтр придушує сигнали з частотою нижче за 1.75 Гц.

2.4. Тестування та налагодження макету

Перед тестуванням макету необхідно провести його калібрування. Спочатку проводиться налаштування нульового значення показників осцилографа без вхідних сигналів. Для цього регулюємо потенціометр R6 поки не отримаємо потрібного результату, налаштоване нульове значення зображено на рис. 2.11.

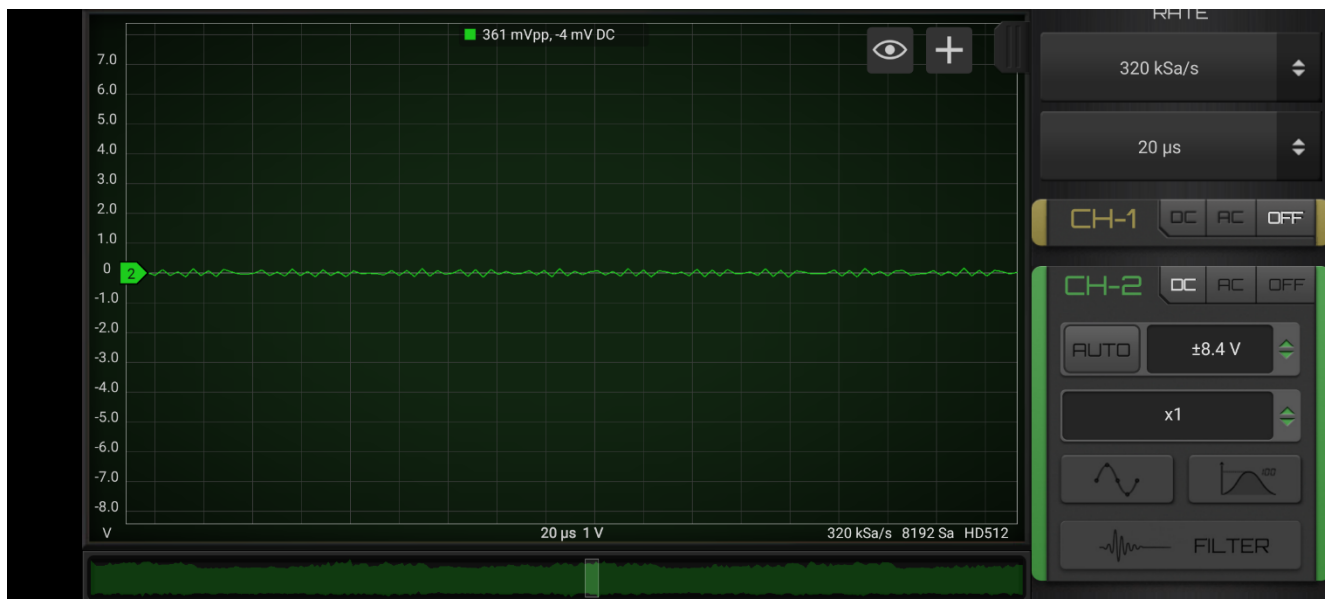


Рисунок - 2.11 Показники осцилографа при відсутньому вхідному сигналу

Після цього калібруємо показники фронтів сигналу на осцилографі, для цього подаємо на канал пристрою сигнал прямокутної форми і регулюємо змінні конденсатори (C1 для першого каналу, C4 для другого) поки не отримаємо прямокутний сигнал правильної форми. Відображення прямокутного сигналу на пристрої до та після регулювання зображено на рис. 2.12 та 2.13 відповідно.

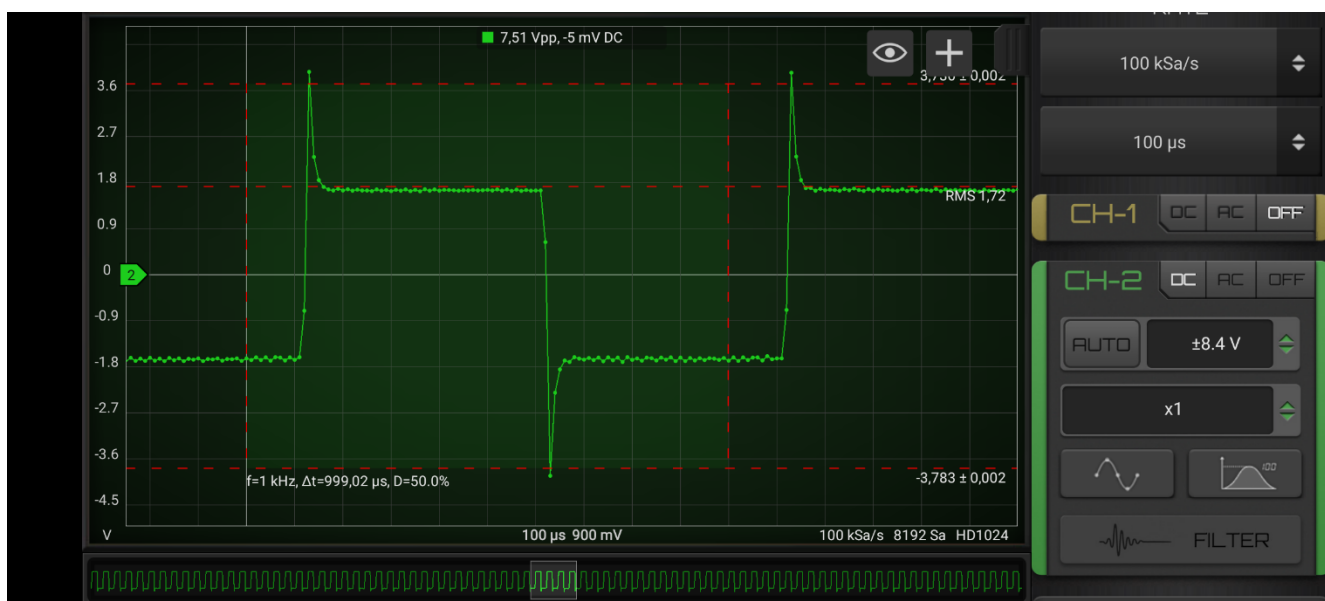


Рисунок – 2.12 прямокутний сигнал до регулювання змінного конденсатора

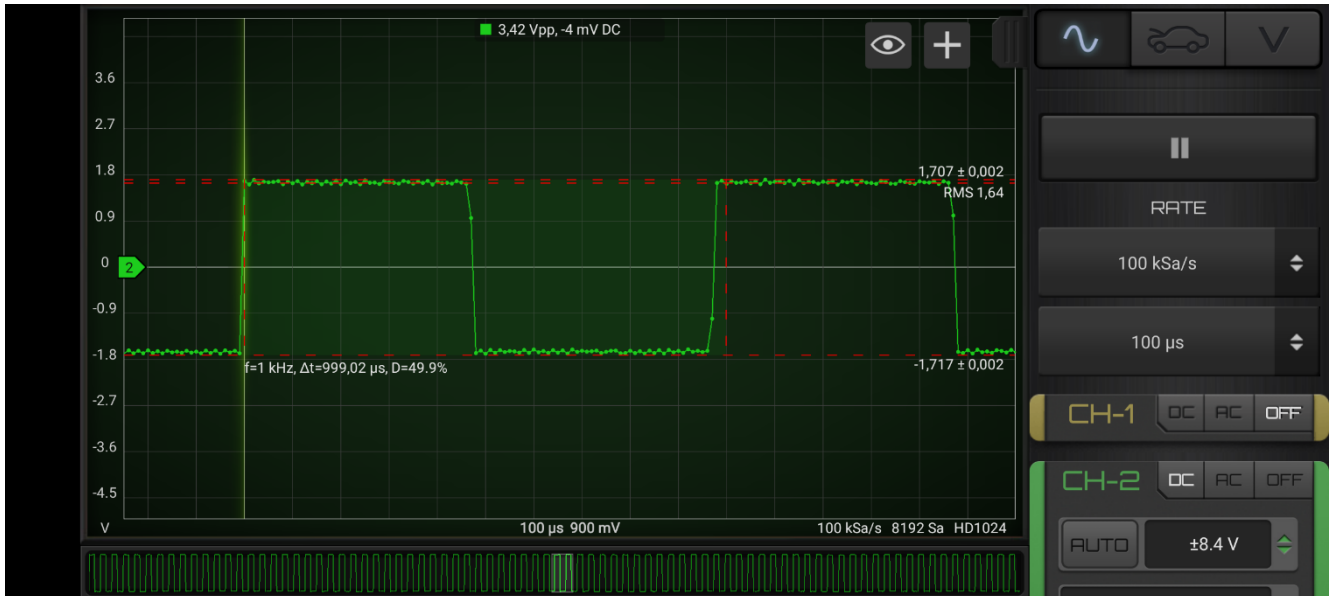


Рисунок – 2.13 прямокутний сигнал після регулювання змінного конденсатора

Після проведених маніпуляцій пристрій можна тестувати, для цього подамо на осцилограф ШІМ – сигнал різної частоти та оцінимо його пропуску здатність та інші характеристики:

На рис. 2.14 зображено аналіз ШІМ - сигналу з частотою 100 Гц, сигнал має правильну форму.

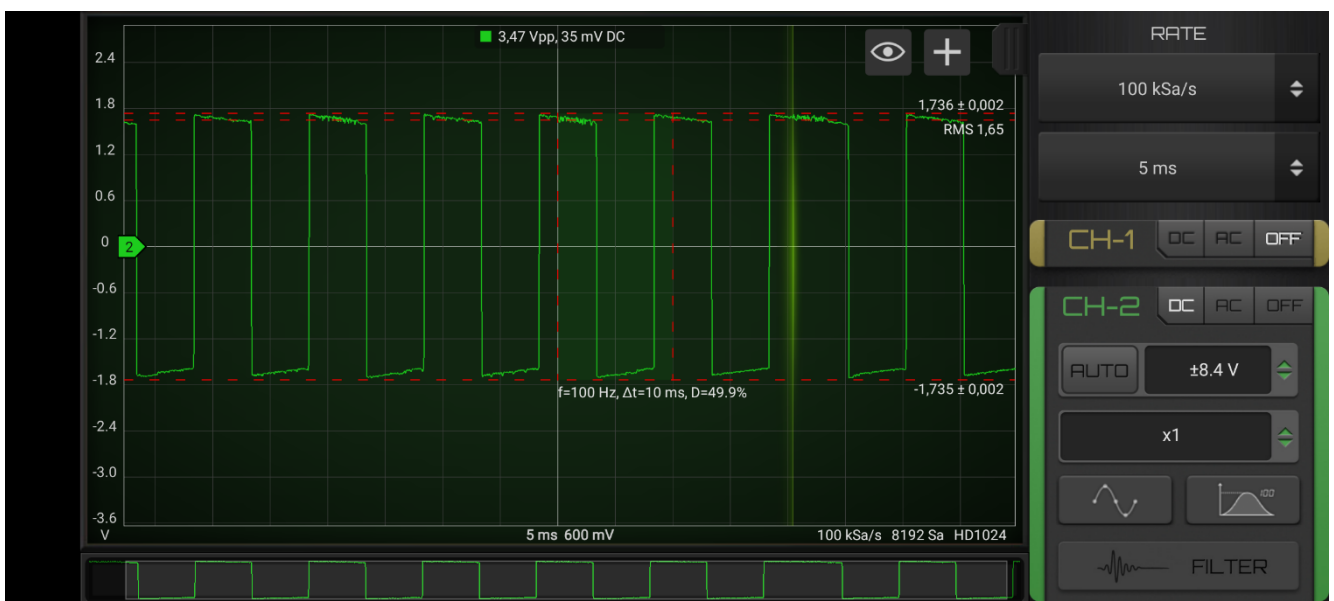


Рисунок - 2.14 ШІМ – сигнал частотою 100 Гц

На рис. 2.15 зображено аналіз ШІМ - сигналу з частотою 500 кГц, сигнал має правильну форму, але є невелике спотворення сигналу.

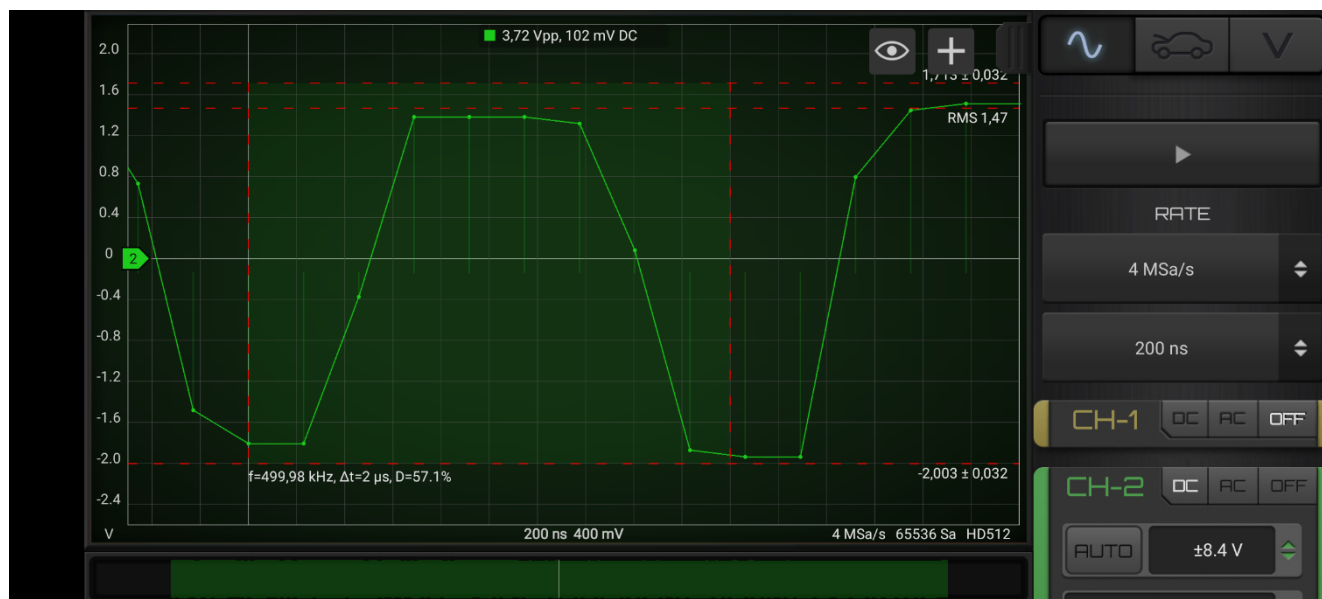


Рисунок - 2.15 ШІМ – сигнал частотою 500 кГц

На рис. 2.16 зображено аналіз ШІМ - сигналу з частотою 700 кГц, сигнал має правильну форму, спотворення сигналу уже помітне, наближаємось до граничної частоти яку може обробити осцилограф.



Рисунок - 2.16 ШІМ – сигнал частотою 700 кГц

На рис. 2.17 зображено аналіз ШІМ - сигналу з частотою 1 МГц, сигнал втратив свою форму, ця частота є граничною яку може відобразити пристрій.



Рисунок - 2.17 ШІМ – сигнал частотою 1 МГц

Також перевіримо аналіз затухаючих коливань, під'єднавши LC-контур, результат зображено на рис. 2.18.

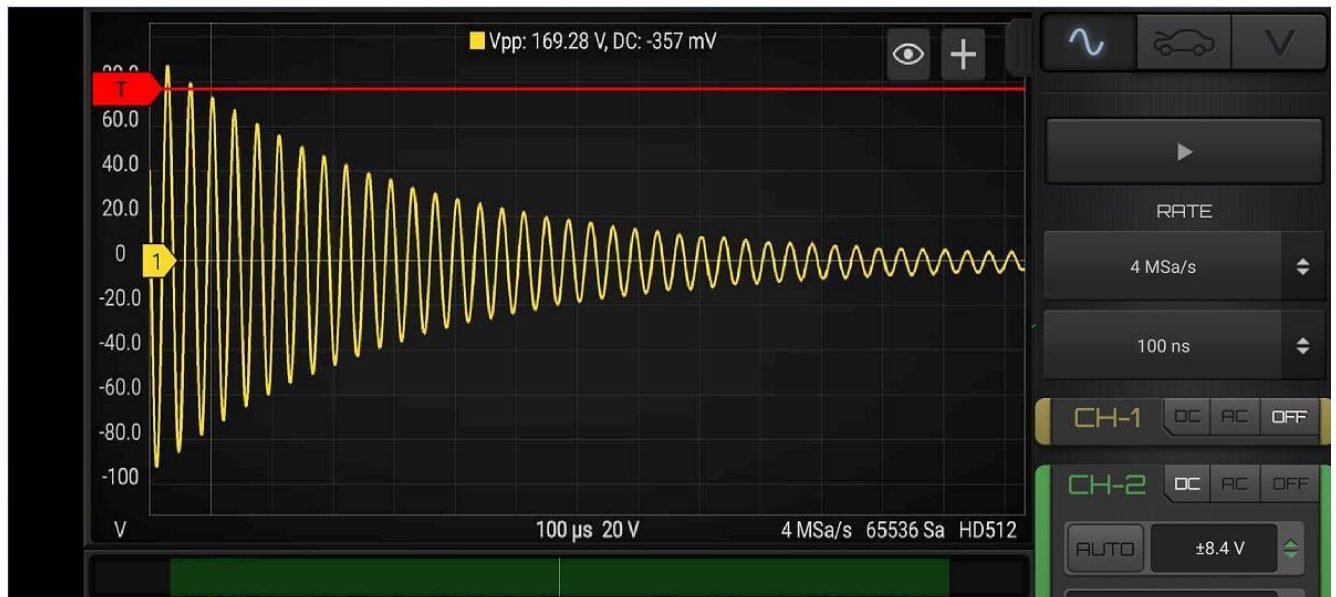


Рисунок - 2.18 Аналіз під'єданого коливального LC - контура

В результаті тестування осцилографа, ми отримали такі характеристики пристрою:

Частота дискретизації: 2 КВиб/с – 1.6 МВиб/с

Роздільна здатність АЦП від 8 до 12 біт

Пропускна здатність: 1 МГц.

В майбутньому необхідно вдосконалити пристрій, щоб краще адаптувати його до лабораторних робіт. Додати Wi-Fi модуль для безпроводного керування та батарею, програмне перемикання режимів DC-AC та міцний корпус. Модернізувати програмне забезпечення, додавши режим мультиметра, вимірювання вольт – амперних характеристик, додати можливість вимірювання передавальних характеристик. Також необхідно адаптувати ПЗ для інших операційних систем.

ВИСНОВКИ

У ході роботи успішно було досягнуто поставленої мети: розробка та реалізація цифрового осцилографа для портативного вимірювального стенду на базі STM32F. Створена схема являє собою компактний, універсальний осцилограф з широкою смугою пропускання, який забезпечує захоплення, обробку та відображення сигналів у реальному часі. Це дозволяє ефективно проводити вимірювання у польових умовах і швидко аналізувати отримані дані.

Схема вмістила в себе такі блоки: вхідні канали, програмовані підсилювачі, мікроконтролер та блок живлення. Особливу увагу приділено вибору компонентів, які забезпечують високу точність та надійність вимірювань.

Пристрій легко модернізується та доповнюється новими модулями.

В результаті тестів пристрій відповідає вимогам завдання дипломного проекту і сміливо може використовуватись в лабораторних стендах, або ж в польових умовах.

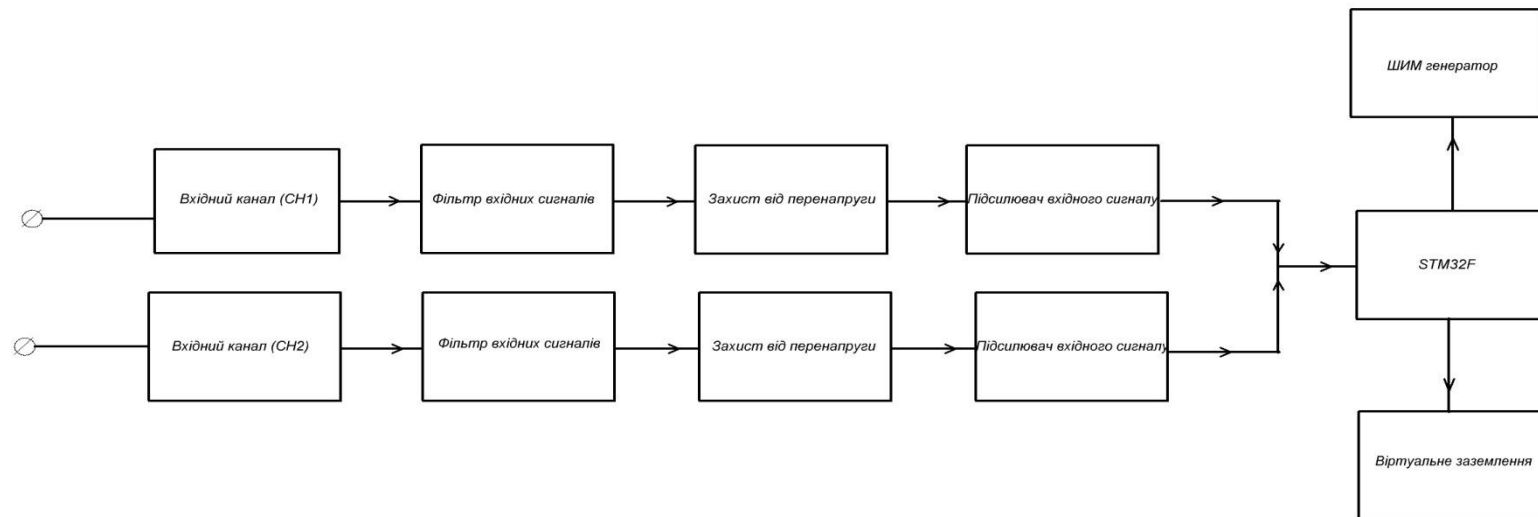
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Datasheet – STM32F411xC STM32F411xE. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f411ce.pdf> (Дата звернення 05.05.2024)
2. Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник, О.В. Надобко Осцилографи та методи вимірювання радіотехнічних величин: навчальний посібник. Львів: видавництво Львівської політехніки, 2014. 88с.
3. Arduino – Home. URL: <https://www.arduino.cc/> (Дата звернення: 20.05.2024)
4. A000005-datasheet.pdf. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf> (Дата звернення 05.05.2024)
5. A000066-datasheet.pdf. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf> (Дата звернення 05.05.2024)
6. Arduino Nano 20KHz pocket sized Digital Oscilloscope. URL: [Arduino Nano 20KHz pocket sized Digital Oscilloscope - Hackster.io](https://www.hackster.io/arduino-nano-20khz-pocket-sized-digital-oscilloscope) (Дата звернення 05.06.2024)
7. Cortex – M4. URL: <https://developer.arm.com/Processors/Cortex-M4> (Дата звернення 20.05.2024)
8. Android. URL: <https://www.android.com/> (Дата звернення 07.06.2024)
9. HScope. URL: <https://www.martinloren.com/hscope/> (Дата звернення 10.04.2024)
10. HScope/Firmware. URL: https://github.com/martinloren/HScope/blob/master/Firmware/OLD/_V1.7_F411.bin (Дата звернення 02.04.2024)
11. MCP6S21/2/6/8. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21117b.pdf> (Дата звернення 10.04.2024)
12. AMS1117-1.2 Datasheet(PDF) - Alldatasheet.com. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/457818/AMS/AMS1117-1.2.html> (Дата звернення 10.04.2024)

13. Kingtronics® Kt® ККТ 3mm Ceramic Trimmer Capacitor SMD. URL: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/sr301tr-datasheet.pdf> (Дата звернення 11.04.2024)
14. Type RP73 Series. URL: https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F1773272%7FM%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_1773272_M.pdf%7F2176093-5 (Дата звернення 12.04.2024)
15. BAV99.pdf. URL: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/BAV99.pdf> (Дата звернення 12.04.2024)
16. EM-BC028M-NGP-50.jpg. URL: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/EM-BC028M-NGP-50.jpg> (Дата звернення 15.05.2024)
17. Kls1-208-3-5.pdf. URL: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/cls1-208-3-5.pdf> (Дата звернення 16.05.2024)
18. MSK-12C01-07(1P2T). URL: <http://www.intechswitch.com/products/SideKnobToggleslideswitchseries/638.html> (Дата звернення 16.05.2024)

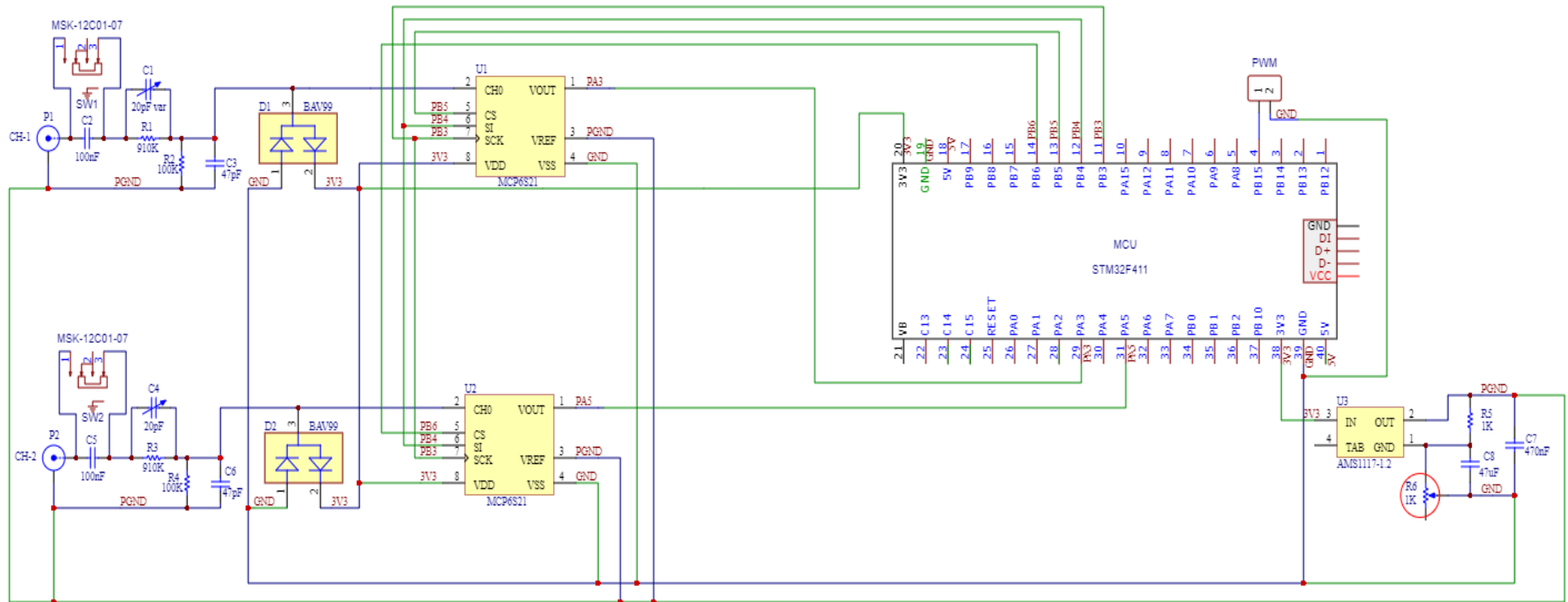
ДОДАТОК А

СТРУКТУРНА СХЕМА ПРИСТРОЮ



ДОДАТОК Б

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ПРИСТРОЮ



ДОДАТОК Г ДРУКОВАНА ПЛАТА

