

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування закладу вищої освіти)

**Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій**

(повне найменування факультету)

**Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки**

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ОСЦИЛОГРАФ НА БАЗІ RASPBERRY PI  
OSCILLOSCOPE BASED ON RASPBERRY PI**

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи КІ-41

Дубравський Віталій Петрович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Поліщук Микола Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

« \_\_\_\_\_ » червня \_\_\_\_\_ 2023 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2023 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ проф. Н.Черняшук

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Дубравському Віталію Петровичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Осцилограф на базі Raspberry Pi*

Керівник роботи *к.т.н., доцент Поліщук Микола Миколайович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «28» грудня 2022 року № 982/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 01.06.2023р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

*Види реалізації осцилографа (електронні ресурси); опис архітектури системи та технічні вимоги до осцилографа з використанням наукових видань*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

*Огляд осцилографів: принцип роботи, основні характеристики та параметри*

*Огляд осцилографів на ринку: портативні, компактні та цифрові рішення*

*Вибір та підготовка необхідних компонентів*

*Схемотехнічна розробка осцилографа*

*Візуалізація результатів на екрані*

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

---

---

---

---

---

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз існуючих видів осцилографів</i>	<i>Поліщук М.М.</i>		
<i>Огляд Raspberry Pi та його технічних можливостей</i>	<i>Поліщук М.М.</i>		
<i>Проектування апаратної частини</i>	<i>Поліщук М.М.</i>		
<i>Висновки</i>	<i>Поліщук М.М.</i>		

7. Дата видачі завдання 01.11.2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми</i>	13.11.2022 р.	Виконано
2.	<i>Огляд доступних технологій та інструментів</i>	13.12.2022 р.	Виконано
3.	<i>Визначення функціональних та технічних вимог до осцилографа</i>	01.02.2023 р.	Виконано
4.	<i>Розробка апаратної частини</i>	01.03.2023 р.	Виконано
5.	<i>Розробка програмного забезпечення</i>	20.03.2023 р.	Виконано
6.	<i>Візуалізація результатів на екрані</i>	20.04.2023 р.	Виконано
7.	<i>Оформлення матеріалів роботи</i>	10.05.2023 р.	Виконано
8.	<i>Нормоконтроль</i>	20.05.2023 р.	Виконано
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	31.05.2023 р.	Виконано
10.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	07.06.2023 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Дубравський В.П.)

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

(Поліщук М.М.)

(прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Дубравський Віталій Петрович. Осцилограф на базі Raspberry Pi. Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Ця робота присвячена розробці та реалізації осцилографа на базі мікроконтролеру Raspberry Pi Pico. Осцилограф – це електронний прилад для вимірювання та відображення залежності електричних сигналів від часу. Використання Raspberry Pi Pico є зручною та недорогою альтернативою для розробки такого пристрою з високою продуктивністю та низьким енергоспоживанням, що забезпечує його ефективне використання в розробці вимірювальних пристроїв.

У цій роботі буде розглянуто процес побудови апаратної частини осцилографа. Також буде описано розробку програмного забезпечення на мові програмування Python для збору та обробки даних в реальному часі, а також для відображення графіків на дисплеї.

Отриманий результат дозволить користувачам з легкістю вимірювати та аналізувати різноманітні електричні сигнали, а також дозволить розширити можливості Raspberry Pi Pico як універсального інструмента для розробки електроніки та вбудованих систем. Кваліфікаційна робота містить практичні рекомендації щодо використання розробленого осцилографа, а також вказує на перспективи його подальшого розвитку.

Ключові слова: raspberry pi pico, осцилограф, програмне забезпечення, python.

## ANNOTATION

Dubravskiy Vitaliy Petrovych. Oscilloscope based on Raspberry Pi. Bachelor's qualification work of the educational program "Computer Engineering", specialization 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of used sources and appendices.

This work is dedicated to the development and implementation of an oscilloscope based on the Raspberry Pi Pico microcontroller. An oscilloscope is an electronic device used for measuring and displaying the dependence of electrical signals on time. The use of Raspberry Pi Pico provides a convenient and cost-effective alternative for developing such a device with high performance and low power consumption, enabling its effective use in the development of measurement devices.

This work will discuss the process of building the hardware part of the oscilloscope. It will also describe the development of software for real-time data acquisition, processing, and graph display on the screen.

The obtained result will allow users to easily measure and analyze various electrical signals, as well as expand the capabilities of Raspberry Pi Pico as a universal tool for electronic and embedded system development. The thesis contains practical recommendations for using the developed oscilloscope and identifies prospects for its further development.

Keywords: raspberry pi pico, oscilloscope, software, python.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОСЦИЛОГРАФ.....	9
1.1 Осцилограф .....	9
1.2 Історія та розвиток осцилографів .....	10
1.3 Електронно–променева трубка .....	14
1.4 Види осцилографів .....	15
1.5 Принципи роботи осциллографа.....	21
1.6 Вертикальний та горизонтальний підсилювачі.....	21
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД RASPBERRY PI ТА ЙОГО ТЕХНІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ	24
2.1 Історія Raspberry Pi та її використання .....	24
2.2 Огляд Raspberry Pi Pico.....	29
2.3 Середовище розробки.....	36
2.4 Мови програмування Python та MicroPython.....	37
2.5 Програми для тестування.....	39
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ.....	41
3.1 Вибір компонентів.....	41
3.2 Проектування схеми підключення сигналів.....	45
3.3 Програмне забезпечення.....	48
3.4 Тестування сигналу.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	54
ДОДАТКИ .....	56

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Осцилограф є важливим інструментом для вимірювання та аналізу електричних сигналів у сучасній електроніці. Він дозволяє вимірювати та аналізувати частоту, амплітуду, часову залежність, форму та інші параметри електричних сигналів. Осцилографи використовуються у багатьох галузях, включаючи: Електроніку та електротехніку: осцилографи використовуються для вимірювання електричних сигналів у пристроях, таких як комп'ютери, телефони, радіо, телевізори, автомобілі, аудіо та відео обладнання. Використовується у медицині використовуються для вимірювання електричної активності м'язів та нервової системи. Авіація та космос: використовуються для тестування та діагностики електронної апаратури на борту літаків та космічних кораблів. Телекомунікації використовуються для вимірювання та аналізування електричних сигналів в мережах зв'язку. Автоматизація виробництва: осцилографи використовуються для контролювання електричних сигналів в процесах виробництва.

**Метою** роботи є розробка функціонального пристрою допомогою Raspberry Pi Pico та програмного забезпечення, що дозволить вимірювати та аналізувати електричні сигнали.

**Об'єкт дослідження** – є мікроконтролер Raspberry Pi Pico технічні можливості та можливості використання мікроконтролера для створення електронного осцилографа.

**Предмет дослідження** – використання мікроконтролера для створення електронного осцилографа.

**Завдання дослідження:**

- розробка алгоритму збору та обробки даних з осцилографа на базі Raspberry Pi Pico;
- дослідження можливостей осцилографа для вимірювання електричних параметрів та аналізу електричних сигналів;

- дослідження та огляд існуючих розробок, принципи роботи осцилографів, їх характеристики та можливості. Зокрема, технології збору та обробки сигналів, алгоритми аналізу даних та методи візуалізації.

- вибір та підготовка необхідного обладнання та компонентів для реалізації осцилографа.

- проведення дослідження ринку, вибрані відповідні датчики та модулі, а також забезпечення їх сумісності.

- розробка програмного забезпечення для збору та обробки даних з датчиків.

- проведення тестування та налагодження системи.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОСЦИЛОГРАФ

#### 1.1 Осцилограф

Сьогодні електронні пристрої стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. Вони використовуються в різних сферах, таких як комунікації, медицина, автомобільна промисловість, наукові дослідження та багато інших. Для розробки та відладки таких електронних пристроїв необхідні засоби для вимірювання та аналізу електричних сигналів. Одним з таких засобів є осцилограф.

Осцилограф – це електронний прилад для вимірювання та відображення змінної напруги з часом. Існує кілька видів осцилографів, які можна використовувати в різних сферах. Основним принципом роботи осцилографа є захоплення електричного сигналу, його підсилення, імпульсне перетворення та відображення на екрані пристрою.

Захоплення електричного сигналу – це процес, який відбувається на вхідному каналі осцилографа, коли сигнал зовнішнього джерела (наприклад, з генератора або з датчика) подається на вхідні зонди осцилографа. Важливим аспектом захоплення сигналу є відповідність параметрів сигналу та характеристик каналу осцилографа.

Вхідні зонди осцилографа можуть бути активними або пасивними. Пасивні зонди не використовують додаткового джерела живлення, тоді як активні зонди мають вбудований підсилювач, що дозволяє збільшити амплітуду сигналу. Після того, як сигнал подається на вхідні зонди, він проходить через вхідний канал осцилографа, який забезпечує прийом та збереження сигналу. Вхідний канал містить вимірювальні прилади, що дозволяють вимірювати амплітуду, частоту та інші параметри сигналу. Оскільки електричні сигнали можуть бути дуже слабкими, важливо забезпечити достатню чутливість вхідного каналу для виявлення навіть слабких сигналів. Для цього можуть використовуватися підсилювачі, які збільшують амплітуду сигналу до

величини, яку можна легко виміряти. Після захоплення сигналу, його можна відобразити на екрані осцилографа у вигляді графіка або кривої. Форма кривої залежить від типу сигналу та інших його параметрів, таких як амплітуда та частота.

На екрані осцилографа можна змінювати різні параметри. Осцилограф складається з електронної системи, що складається з джерела живлення, підсилювача, горизонтального та вертикального відліків, тригера та екрана. У режимі звичайного осцилографа, напруга, яка досліджується, подається на вхід осцилографа. Сигнал входить в підсилювач, де змінюється відносно рівня сигналу, відтвореного на екрані.

## **1.2 Історія та розвиток осцилографів**

Перші осцилографи були створені в кінці 19 століття і з того часу пройшли значний шлях розвитку.

Перший електронний осцилограф був розроблений Карлом Брауном у 1897 році. Цей пристрій був названий катодно–променевим трубком (Cathode Ray Tube, CRT) і він утворив основу для подальшого розвитку осцилографів.

У катодно–променевій трубці, яку винаходив Браун, електронний промінь направлявся на фосфорний екран, розміщений у трубці. При підключенні вхідного сигналу до вертикальних і горизонтальних відхилів променя, він може створювати зображення на екрані, яке відображає вхідний сигнал у вигляді графіка.

Перший електронний осцилограф, розроблений Брауном, був простим пристроєм, але він відкрив нові можливості для аналізу електричних сигналів. Подальший розвиток осцилографів призвів до вдосконалення технологій відхилення променя, підвищення чутливості, ширшого діапазону частот і додавання додаткових функцій, що значно розширило їх можливості в аналізі електричних сигналів. У 1920–х роках відбувся значний розквіт осцилографів, коли на ринок з'явилися пристрої зі збільшеним діапазоном частот,

швидкісними підсилювачами та одатковими функціями, такими як збереження даних на екрані. Перший електронний осцилограф був розроблений у 1920–х роках. Американський інженер Альберт Холл (Albert Hall) отримав патент на перший електронний осцилограф з променевимісткісним трубками.

У 1930–х роках було винайдено двоканальні осцилографи, які дозволяли відображати два сигнали на одному екрані. Згодом були розроблені багатоканальні осцилографи, які дозволяли відображати більше двох сигналів на одному екрані. Крім того, багатоканальні осцилографи можуть бути сконфігуровані таким чином, щоб відображати сигнали з різних джерел на окремих частинах екрана, що дозволяє аналізувати та порівнювати різні сигнали одночасно.

У 1950–х роках почали використовувати цифрові осцилографи, які замінювали аналогові. Цифрові осцилографи мали більш високу точність вимірювань, швидкість обробки даних та збереження інформації. В цілому, цифрові осцилографи забезпечили більш точні та швидкі вимірювання та аналіз електричних сигналів, що робило їх популярними серед інженерів та дослідників в галузі електроніки та телекомунікацій.

З 1980–х років осцилографи стали компактнішими та мобільнішими, з'явилися портативні моделі, які можна було брати з собою на місце вимірювань. Згодом були розроблені осцилографи з цифровим схемами, що дозволяли виконувати більш складні аналізи сигналів та забезпечували більш високу точність вимірювань.

У 1990–х роках почали з'являтися осцилографи з можливістю зберігання даних на жорстких дисках та з'єднання з комп'ютером через інтерфейси USB та Ethernet [1].

З появою інтернету з'явилася можливість віддаленого керування та моніторингу осцилографів, що значно полегшило їх використання в різних сферах.

На сьогоднішній день, осцилографи є невід'ємною частиною різних галузей науки та техніки, таких як електроніка, телекомунікації, автомобільна

та авіаційна промисловість, медична діагностика та багато інших. Вони продовжують розвиватися та удосконалюватися, набуваючи нових можливостей та функцій, що дозволяють проводити більш точні вимірювання та аналізувати складніші сигнали.

В розвитку радіотехніки осцилографи відіграли незамінну роль. Вони дозволили інженерам аналізувати та вимірювати електричні сигнали, що передавалися по радіохвилях, що було ключовим для поліпшення якості та ефективності радіо комунікацій. Дозволяли дослідникам інженерії радіо виявляти різні види спотворень та перешкод, що можуть виникати під час передачі радіосигналів. Завдяки цьому, вони могли виявляти і усувати проблеми зі зміщенням сигналу, спотвореннями форми хвиль та іншими небажаними ефектами.

Осцилографи були важливим інструментом при налагодженні радіоапаратури, дозволяючи точно вимірювати параметри сигналів, такі як амплітуда, частота, фаза та часові затримки. Це було необхідно для досягнення високої якості передачі сигналів та оптимізації роботи радіоприймачів та передавачів.

Таким чином, осцилографи забезпечили інженерам радіотехніки можливість детального аналізу та вимірювання радіосигналів, що сприяло покращенню якості радіокомунікацій та розвитку радіотехніки в цілому.

Вони стали невід'ємною частиною роботи інженерів у галузі радіотехніки та забезпечили підґрунтя для подальшого розвитку та інновацій у цій галузі.

Використання осцилографів у космічних дослідженнях є надзвичайно важливим для аналізу та вимірювання електричних параметрів в космосі. Оскільки космічне середовище може бути дуже вимогливим та відмінним від умов на Землі, осцилографи стають незамінними інструментами для вивчення та збору даних про електричні сигнали.

У місії Аполлон, наприклад, осцилографи використовувалися для вимірювання електричних сигналів, що виникали під час посадки модуля на Місяць.

Це дозволяло інженерам отримувати детальну інформацію про сигнали, які генерувалися під час складних процесів посадки та визначати їх параметри, такі як амплітуда, частота, фаза та часові затримки. Це було важливо для забезпечення успішності місії та безпеки астронавтів.

Крім того, осцилографи використовуються в космічних дослідженнях для аналізу сигналів, що надходять від супутників, ракет та інших космічних апаратів. Вони дозволяють дослідникам вимірювати параметри цих сигналів, спостерігати їх зміну під час польоту та здійснювати аналіз для з'ясування стану та ефективності космічних апаратів.

Відіграють важливу роль у космічних дослідженнях, дозволяючи аналізувати та вимірювати електричні сигнали, зокрема під час посадки на Місяць та польоту космічних апаратів. Вони забезпечують надійні дані для дослідження космосу та підтримки безпеки та ефективності космічних місій.

Один з найбільш поширених застосувань осцилографів у медицині – це вимірювання електрокардіограми (ЕКГ). ЕКГ використовується для оцінки роботи серця, виявлення аритмій, ішемії та інших серцевих захворювань. Осцилографи допомагають медичним фахівцям відобразити електричні сигнали, що генеруються серцем, у вигляді графіка, що дозволяє визначити різноманітні параметри, такі як частота серцевих скорочень, регулярність ритму, наявність аритмій та інші відхилення.

Ще одним використанням осцилографів у медицині є електроенцефалографія (ЕЕГ). ЕЕГ використовується для дослідження мозкової активності та діагностики різних нейрологічних станів, таких як епілепсія, сонячний удар, головні болі, розлади свідомості та інші. Осцилографи допомагають реєструвати електричні сигнали, що генеруються мозком, і відобразити їх у вигляді ЕЕГ-графіків, які можуть бути проаналізовані медичними спеціалістами для виявлення патологічних змін та з'ясування стану пацієнта [2].

Крім того, осцилографи використовуються у багатьох інших областях медицини, включаючи дослідження м'язової активності (електроміографія),

дослідження дихання (пневмографія), вимірювання артеріального тиску (осцилографія артеріального тиску) та багато інших досліджень, де вимірювання та аналіз електричних сигналів є важливою частиною діагностики та моніторингу стану пацієнтів.

Використання осцилографів у медицині дозволяє забезпечити точну діагностику, моніторинг та контроль над фізіологічними процесами в організмі пацієнтів, що допомагає покращити якість медичної допомоги та ефективність лікування.

### **1.3 Електронно–променева трубка**

Електронно–променева трубка (ЕПТ) – це електронний прилад, що використовується в різних типах електронної техніки, зокрема в осцилографах та телевізорах. ЕПТ складається з вакуумної трубки, всередині якої знаходяться електронні деталі та електронна пушка [3].

ЕПТ працює на основі електронів, які випускаються з електронної пушки, рухаються з певною швидкістю та утворюють промінь. Цей електронний промінь направляєється до екрану, де він зіштовхується з фосфором, що покриває екран, і тим самим створює світлову точку. За допомогою зміщення електронного променя можна створювати різноманітні зображення на екрані.

ЕПТ може мати різні форми та розміри, але в загальному випадку складається з трьох основних частин: електронної пушки, системи збудження та екрана. Електронна пушка випускає електрони з певною енергією, система збудження керує шляхом руху електронного променя, а екран є місцем, де відображається зображення.

У осцилографі ЕПТ використовується для відображення сигналів в часі. Сигнал підводиться до вертикальної відлікової системи, яка визначає рівень напруги сигналу, і до горизонтальної відлікової системи, яка визначає часову шкалу. Сигнал потім накладається на екран за допомогою електронного променя.

## 1.4 Види осцилографів

1. Аналогові осцилографи: це старіша технологія осцилографів, яка використовується з 1940–х років (рис. 1.1). Вони мають аналогову систему вимірювання та відображення сигналу, тобто, використовують електронну променеву трубку та змінну напругу. Ці осцилографи здатні працювати зі сигналами від 0 до 100 МГц.

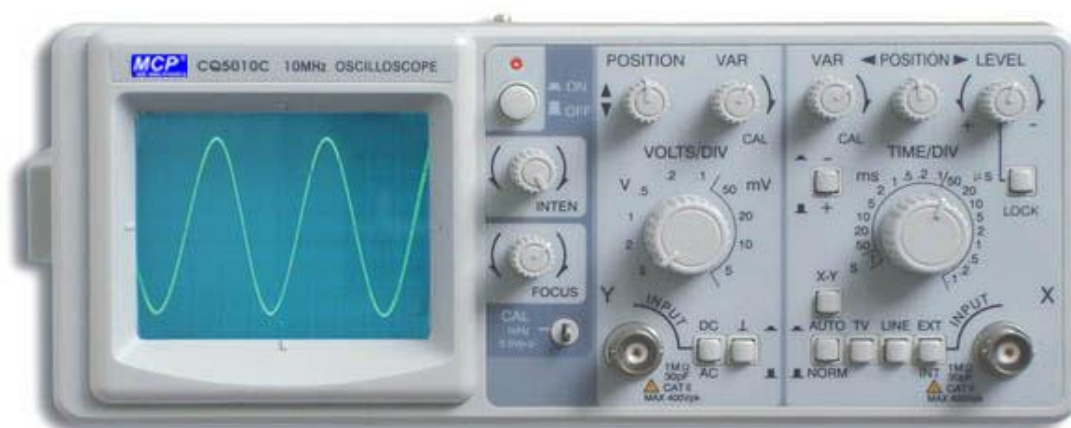


Рисунок 1.1 – Аналоговий осцилограф [2]

Одним з головних компонентів аналогового осциллографа є електронно–променева трубка (ЕПТ), яка містить електронну гармату, що випускає електронний промінь. Електронний промінь перетинає екран ЕПТ, створюючи зображення сигналу. Зображення на екрані формується завдяки тому, що електронний промінь рухається зліва направо та зверху вниз, і відхилення його в горизонтальному та вертикальному напрямках змінюються відповідно до вхідного сигналу.

Вхідний сигнал подається на вхідний канал осциллографа, де він проходить через підсилювачі та потім попадає на вертикальний та горизонтальний відхиляючі пристрої. Вертикальний відхиляючий пристрій рухає електронний промінь вгору та вниз залежно від амплітуди вхідного

сигналу, тоді як горизонтальний відхиляючий пристрій рухає його зліва направо залежно від частоти вхідного сигналу.

Оскільки аналоговий сциллограф працює в режимі реального часу, він може відображати електричні сигнали в режимі живого часу. Це означає, що він може показувати зміни вхідного сигналу зі звичайною швидкістю відбування подій, що дозволяє аналізувати та вимірювати частоту, амплітуду та форму сигналу.

Найбільшу перевагу аналогових осцилографів складає те, що вони здатні працювати зі сигналами будь-якої форми, навіть з високочастотними сигналами, які змінюють свою форму з часом. Також аналоговий 16сциллограф здатний відображати надзвичайно малі зміни сигналу, що дуже важливо для діагностики електронних систем.

Однак, аналогові осцилографи мають деякі недоліки. Наприклад, їхній розширений діапазон частот зазвичай обмежений, тому вони не здатні відображати сигнали високих частот, що знаходяться за межами їхнього діапазону. Крім того, аналогові осцилографи можуть мати погану точність, тому їх вимірювання [4].

2. Цифрові осцилографи: це осцилографи, які використовують цифрову систему вимірювання та відображення сигналу (рис. 1.2). Вони дозволяють більш точні вимірювання та зручне збереження даних. Цифрові осцилографи можуть працювати зі сигналами від 1 до 10 ГГц.



Рисунок 1.2 – Цифровий осциллограф [2]

Цифрові осцилографи (ЦО) – це сучасні прилади, які використовують цифрову технологію для захоплення та відображення електричних сигналів. Вони мають низку переваг порівняно з аналоговими осциллографами[5]. Основні переваги цифрових осцилографів:

- висока точність вимірювання – цифрові осцилографи здатні вимірювати значення сигналу з високою точністю та роздільною здатністю, що дозволяє отримати більш точні результати вимірювань;

- висока частотна діапазон – цифрові осцилографи можуть працювати з високочастотними сигналами, що виходять за межі частотного діапазону аналогових осцилографів;

- зберігання сигналів – збереження сигналів здійснюється в цифровому форматі, що дозволяє використовувати їх для подальшого аналізу та обробки;

- можливість збільшення масштабу сигналу – цифрові осцилографи дозволяють збільшувати масштаб відображеного сигналу для детальнішого аналізу;

- вимірювання рівня шумів – цифрові осцилографи здатні вимірювати рівень шумів, що дозволяє діагностувати несправності в електронних системах.

Недоліки цифрових осцилографів:

- Помилки вимірювань – помилки вимірювань можуть виникати внаслідок поганої якості АЦП (аналого–цифрового преобразователя) або поганої калібрування приладу.

- Відсутність можливості вимірювання параметрів аналогових сигналів – деякі цифрові осцилографи можуть не мати необхідних засобів для вимірювання.

- Затримка (латентність) відображення сигналу на екрані через обробку сигналу в цифровій формі.

- Потребує спеціальних знань для розуміння та користування програмним забезпеченням для аналізу даних.

- Є можливість пошкодження вхідних каналів з надмірною напругою.

3. Портативні осцилографи: це невеликі та портативні осцилографи, які можна використовувати на майданчику або в дорозі (рис. 1.3). Вони дозволяють знімати дані з різних джерел, таких як вимірювальні прилади або сенсори. Основними перевагами портативних осцилографів є мобільність та легкість використання. Однак, як і будь-які інші прилади, у портативних осцилографів є свої переваги та недоліки.

Портативні осцилографи часто використовуються в тестуванні і відладці електронних пристроїв, а також у галузі підтримки і обслуговування машин та обладнання. Однак, для вимогливих застосувань, таких як проектування складних електронних систем, частіше використовують стаціонарні осцилографи з більшими можливостями та точністю вимірювань.



Рисунок 1.3 – Портативний осциллограф [4]

Переваги портативних осцилографів:

- компактний розмір і мобільність;
- можливість використання в труднодоступних місцях;

- переносна енергозабезпечення;
- простота налаштування і використання.

Недоліки портативних осцилографів:

- обмежена пропускна здатність;
- обмежена кількість входів;
- обмежені можливості у вимірюванні параметрів, таких як напруга та частота;
- недостатня точність вимірювання.

4. Векторні осцилографи є спеціальним типом осцилографів, які зазвичай використовуються в радіотехніці та телекомунікаціях для аналізу сигналів з високими частотами. Вони надають інформацію про відносну фазу та амплітуду сигналу в залежності від частоти, що дозволяє детально досліджувати та візуалізувати характеристики радіочастотних сигналів.

Основною особливістю векторних осцилографів є їх здатність працювати зі сигналами відносно високих частот. Вони здатні обробляти сигнали в діапазоні від 100 кГц до 2 ГГц і надають можливість аналізувати і візуалізувати зміну фази та амплітуди сигналу залежно від частоти.

Векторні осцилографи зазвичай використовуються для вимірювання та аналізу радіочастотних сигналів, таких як сигнали від передавачів, сигнали радіозв'язку, сигнали бездротових мереж та інші радіочастотні сигнали. Вони дозволяють виявити перешкоди, спотворення та інші аномалії у сигналі, а також оцінити якість та стабільність радіочастотного зв'язку.

5. Цифрові флуоресцентні осцилографи: це осцилографи, які використовують флуоресцентний екран для відображення даних. Цифрові флуоресцентні осцилографи (ЦФО) є високоточними електронними приладами для вимірювання та аналізу електричних сигналів. ЦФО працюють на основі принципу флуоресценції, що дозволяє зберігати зображення сигналу на екрані пристрою протягом певного часу.

Основним елементом ЦФО є електронна пучок, який відображається на екрані засобами флуоресценції. Цифрові флуоресцентні осцилографи здатні

вимірювати частоту, амплітуду, фазові зміщення та інші параметри електричних сигналів з високою точністю та швидкістю.

ЦФО є важливими інструментами для багатьох дисциплін, включаючи електроніку, телекомунікації, медичну техніку та фізику. Вони використовуються для вимірювання та аналізу електричних сигналів у різних дослідженнях та промислових застосуваннях.

6. Віртуальні осцилографи – це електронні програмні засоби, які дозволяють відображати змінну напругу з часом на комп'ютерному екрані. Вони зазвичай працюють на основі цифрових алгоритмів та вимірювальних модулів, які підключаються до комп'ютера через USB або інші інтерфейси. Віртуальні осцилографи здатні виконувати більш широкий спектр функцій порівняно з аналоговими або цифровими осциллографами, такі як сциллограф збереження та збір даних, збереження вимірювань в файл, аналіз спектру сигналу та багато іншого. Віртуальні осцилографи можуть бути корисними для студентів та інженерів, які працюють з електронікою, а також для тестування та налагодження електронних пристроїв в лабораторії. Зазвичай вони досить доступні, порівняно зі звичайними осциллографами, і не вимагають додаткових витрат на обладнання. Віртуальні осцилографи – це програмні засоби, що імітують роботу електронного сциллографа. Вони дозволяють вимірювати і відображати на екрані комп'ютера електричні сигнали, що знаходяться на різних елементах електричних схем, а також аналізувати їх параметри.

Віртуальні осцилографи можуть бути дуже корисними для розробників електронних пристроїв, які можуть використовувати їх для відлагодження та аналізу роботи своїх пристроїв. Крім того, вони можуть бути використані в освітніх цілях для навчання студентів роботі з електричними сигналами та їх аналізу.

Існує багато різних програмних засобів для віртуального моделювання осцилографів, які можуть бути безкоштовними або комерційними. Деякі з них мають додаткові функції, такі як сциллограф збереження даних, можливість

експортувати дані в інші програми для аналізу та обробки, а також можливість зберігати налаштування осциллографа для подальшого використання.

### **1.5 Принципи роботи осциллографа**

Принцип роботи осциллографа полягає в тому, що на ЕПТ створюється електронний промінь, який направляється на фосфорний екран. Під впливом електричного поля ЕПТ промінь зміщується зліва направо, а зверху вниз. Цей рух променя формує зображення на екрані, залежно від прикладених сигналів.

У звичайному режимі, на осцилографі прикладаються два сигнали – горизонтальний і вертикальний. Горизонтальний сигнал відповідає за час, і його використовують для переміщення променя по горизонталі, показуючи, який час пройшов. Вертикальний сигнал відповідає за амплітуду сигналу, і його використовують для переміщення променя по вертикалі, показуючи, яка амплітуда сигналу.

Таким чином, осцилограф показує, як залежить сигнал від часу. В залежності від складності осциллографа, він може мати додаткові функції, такі як збереження даних, аналіз сигналів та багатоканальний збір даних. В сучасних цифрових осциллографах, електронний промінь замінюється на аналогово–цифровий перетворювач, а зображення виводиться на цифровий екран.

### **1.6 Вертикальний та горизонтальний підсилювачі**

В осцилографі вертикальний підсилювач використовується для підсилення вхідного сигналу по вертикалі, тобто для збільшення або зменшення амплітуди сигналу.

Головним параметром вертикального підсилювача є коефіцієнт підсилення, який вказує, на скільки разів збільшується амплітуда сигналу. Типовий вертикальний підсилювач складається зі змінного підсилювача та

різних комутаційних елементів, таких як перемикачі вхідних сигналів, комутатори каналів, настройкові резистори та інші. У відомих вертикальних підсилювачів, таких як транзисторні та операційні підсилювачі, використовуються спеціальні схеми зворотного зв'язку, що дозволяє досягати високої точності підсилення сигналу. Горизонтальний підсилювач в осцилографі відповідає за горизонтальну відстань на екрані. Він використовується для підсилення вхідного сигналу по горизонталі, тобто для збільшення або зменшення частоти сигналу.

Головним параметром горизонтального підсилювача є коефіцієнт підсилення частоти, який вказує, на скільки разів збільшується частота сигналу. Типовий горизонтальний підсилювач складається зі змінного підсилювача та різних комутаційних елементів, таких як перемикачі вхідних сигналів, комутатори каналів, настройкові резистори та інші.

Основний параметр горизонтального підсилювача – це швидкість зміни напруги на виході підсилювача. Забезпечення високої швидкості зміни напруги на виході використовуються швидкі оперуючі підсилювачі з високою діапазонною пропускнуою здатністю [6].

Основними параметрами горизонтального підсилювача є:

- підсилення: Визначає масштаб підсилення сигналу. Вимірюється в одиницях напруги або напруги на одиницю вхідного сигналу.
- чуливість: Визначає найменший сигнал, який може бути виявлений і відображений на екрані осцилографа. Вимірюється в одиницях напруги на одиницю вхідного сигналу (наприклад, вольт на ділку).
- діапазон: Визначає максимальну амплітуду сигналу, яку може відобразити горизонтальний підсилювач. Вимірюється в одиницях напруги.
- швидкість: Визначає часовий інтервал, протягом якого осцилограф може вимірювати та відображати сигнали. Вимірюється в одиницях часу на одну ділку горизонтальної осі (наприклад, секунд на ділку).

– лінійність: Визначає точність відображення сигналу на горизонтальній осі. Хороша лінійність забезпечує правильне відображення часових залежностей сигналу.

– синхронізація: Визначає умови та рівні сигналу, за якими осцилограф синхронізується для стабільного відображення сигналів. Це дозволяє отримати стабільне та повторюване зображення сигналу на екрані.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД RASPBERRY PI ТА ЙОГО ТЕХНІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ

#### 2.1 Історія Raspberry Pi та її використання

Історія Raspberry Pi почалася в 2006 році, коли Ебен Уотт з Групи комп'ютерних наук при Кембріджському університеті винайшов концепцію дешевого комп'ютера, який можна було б використовувати для навчання програмування. Протягом кількох років група розробляла прототипи, і в 2012 році був випущений перший Raspberry Pi (рис. 2.1), який здобув велику популярність у навчальних закладах, хакерських просторах та спільнотах ентузіастів.



Рисунок 2.1 – Мікрокомп'ютер Raspberry Pi [7]

Швидко стала популярною серед людей, які цікавляться програмуванням та електронікою, а також серед тих, хто шукав дешеві способи створення власних пристроїв та інтернет-рішень. Була використана в проектах з автоматизації будинків, створенні роботів, відеоігор, систем безпеки та багатьох інших проектах [7].

Одним з найвідоміших використань Raspberry Pi є її використання в освітніх програмах. За допомогою студенти можуть вивчати програмування,

розробку вбудованих систем та електроніку в практичний спосіб. Стала незамінним інструментом для навчальних закладів, які намагаються зробити навчання програмування більш доступним та привабливим для студентів.

Крім того, була використана в проектах з відкритим кодом, таких як OpenCV, TensorFlow та OpenStack. Також стала популярним серед любителів мікроконтролерів та електроніки, які шукають простий та доступний спосіб розробки власних пристроїв та прототипів.

Узагальнюючи, зарекомендувала себе як потужний та доступний інструмент для навчання, експериментів та розробки вбудованих систем та пристроїв. Її широкий спектр можливостей, низька вартість та відкритий код роблять її ідеальним вибором для студентів, ентузіастів, молодих дослідників та професійних розробників.

Завдяки Raspberry Pi став доступним широкий спектр технологій та можливостей, які раніше були недосяжними для багатьох людей. Також допомагає розвивати технологічну культуру, сприяє зростанню кількості програмістів та електронних інженерів, та збільшує можливості для інновацій та розвитку нових технологій [8]. Використання Raspberry Pi в проектах з відкритим кодом.

OpenCV (Open Source Computer Vision) – це відкрите бібліотека комп'ютерного зору та машинного зору, яка надає набір функцій і алгоритмів для обробки зображень та відео. Вона розроблена для підтримки розпізнавання об'єктів, відстеження руху, розробки систем аналізу поведінки, розпізнавання обличчя, калібрування камери та багато іншого [9].

Підтримує багато різних мов програмування, включаючи C++, Python, Java та інші. Вона має інтерфейси для роботи з різними операційними системами, такими як Windows, Linux, macOS, iOS та Android, що робить її універсальним інструментом для розробки комп'ютерного зору.

Основні функції OpenCV включають обробку та аналіз зображень, виявлення та розпізнавання об'єктів, вимірювання розмірів та відстаней,

відстеження руху, видалення шуму, роботу з камерами, калібрування, геометричні перетворення, сегментацію зображень та багато іншого.

OpenCV є популярним інструментом у сферах комп'ютерного зору, машинного навчання, розпізнавання образів, робототехніки, розробки додатків розпізнавання облич, віртуальної реальності та багатьох інших доменів. Її використання дозволяє розробникам швидко та ефективно реалізовувати задачі обробки зображень та аналізу даних з великою точністю та продуктивністю.

TensorFlow є відкритою бібліотекою для чисельних обчислень та машинного навчання. Вона розроблена командою Google Brain і використовується для побудови та тренування широкого спектру моделей машинного навчання, включаючи нейронні мережі.

Основна особливість TensorFlow – це графове представлення обчислень. У TensorFlow обчислення представляються у вигляді направленого ациклічного графа (Directed Acyclic Graph, DAG), де вузли представляють обчислювальні операції, а ребра – потоки даних між вузлами. Це дає змогу ефективно розпаралелювати та оптимізувати обчислення [10].

TensorFlow надає багато готових функцій і операторів для будовання та тренування моделей машинного навчання. Вона має широкий набір інструментів для роботи з багатовимірними тензорами, оптимізаторами, функціями активації, функціями втрат та іншими компонентами, які необхідні для реалізації складних моделей машинного навчання.

Підтримує різні мови програмування, включаючи Python, C++, Java, Go та Swift, що дозволяє розробникам використовувати її в різних середовищах та платформах. TensorFlow також має розширення, такі як TensorFlow Lite для мобільних пристроїв та вбудованих систем, та TensorFlow.js для виконання моделей машинного навчання у веб-браузерах.

TensorFlow є однією з найпопулярніших бібліотек машинного навчання та чисельних обчислень. Вона використовується в багатьох проектах та дослідженнях у галузі штучного інтелекту, обробки природних мов, комп'ютерного зору, глибинного навчання та багатьох інших областях [11].

TensorFlow надає потужні інструменти для створення, навчання та застосування моделей машинного навчання для вирішення різноманітних завдань.

OpenStack є відкритою платформою для будівництва та управління приватними та публічними хмарами (cloud infrastructure). Він забезпечує набір інструментів та сервісів, які дозволяють створювати та управляти інфраструктурою як послугою (Infrastructure as a Service, IaaS).

Основна ідея OpenStack полягає в тому, щоб створити відкрите програмне забезпечення, яке може бути використане для побудови та управління хмарною інфраструктурою на основі стандартних апаратних засобів. OpenStack складається з низки модулів, які працюють разом для надання різних функцій і сервісів.

Деякі з ключових компонентів OpenStack включають:

- nova: Відповідає за управління обчислювальними ресурсами, такими як віртуальні машини (VM) і контейнери. Він дозволяє створювати, масштабувати та керувати обчислювальними потоками.
- swift: Забезпечує розподілене сховище об'єктів, що дозволяє зберігати великі обсяги даних і забезпечує реплікацію та відновлення даних;
- cinder: Відповідає за керування блочним сховищем, яке надає постійні та високопродуктивні блочні пристрої для віртуальних машин;
- neutron: Відповідає за мережеві сервіси OpenStack, забезпечує управління мережами та IP-адресами, маршрутизацію та файрволи;
- keystone: Забезпечує аутентифікацію та авторизацію для інших сервісів OpenStack, керує доступом користувачів і проектів до ресурсів.

Це лише кілька компонентів OpenStack, існують і інші, такі як Horizon (веб-інтерфейс), Glance (управління зображеннями), Heat (оркестрація), і багато інших [12].

OpenStack надає гнучку та масштабовану платформу для створення та управління хмарною інфраструктурою. Він використовується багатьма організаціями для будівництва приватних хмар або надання публічних хмарних послуг.

На Raspberry Pi було реалізовано безліч проектів у різних сферах. Ось кілька прикладів:

**PiHole:** Це проект, який використовує мікрокомп'ютер як DNS-сервер для блокування реклами і відстеження в мережі. Він може бути встановлений на Raspberry Pi, щоб фільтрувати рекламні домени і захищати пристрої від небажаної реклами. PiHole також надає можливість відстеження активності мережі, дозволяючи переглядати статистику запитів DNS, заблокованих доменів і використання різних пристроїв у вашій мережі. Ви можете переглядати цю інформацію через веб-інтерфейс PiHole або інтегрувати її з іншими інструментами моніторингу.

**Magic Mirror:** Цей проект дозволяє створити "магічне дзеркало", яке використовує для відображення різних інформаційних елементів, таких як погода, календар, новини, годинник тощо. Це може бути розміщено у ванній кімнаті або передпокої, щоб отримувати корисну інформацію під час ранкових процедур.

**RetroPie:** Цей проект перетворює в емулятор старих ігрових консолей. Ви можете встановити операційну систему RetroPie на Raspberry Pi і зібрати свій власний ігровий пристрій, який здатний запускати ігри з різних платформ, таких як NES, SNES, Sega Genesis, PlayStation тощо. Pi-based.

Деякі користувачі Raspberry Pi використовують його для створення системи контролю клімату в приміщенні. За допомогою датчиків температури і вологості, Raspberry Pi може керувати різними пристроями, такими як вентилятори або обігрівачі, для забезпечення комфортних умов у приміщенні.

Часто використовується в освітніх цілях для навчання програмування та комп'ютерної науки. Він надає доступну платформу для студентів та початківців, де вони можуть вивчати основи програмування і експериментувати зі своїми проектами. Це лише кілька прикладів проектів, що були реалізовані на Raspberry Pi. Спектр можливостей широкий, і цей міні-комп'ютер продовжує знаходити застосування у різних областях.

Загалом, Raspberry Pi має значний вплив на сучасний технологічний простір, її використання допомагає зробити технології доступнішими та сприяє розвитку технічних навичок та творчих здібностей у молоді.

## 2.2 Огляд Raspberry Pi Pico

Raspberry Pi – це одноплатний комп'ютер з відкритим вихідним кодом, що розроблений фондом Raspberry Pi. Він був створений з метою сприяння навчанню програмування та технічній грамотності. Мікрокомп'ютер працює під управлінням операційної системи Linux і здатний виконувати багато різноманітних завдань, таких як виконання додатків, робота з мережею, виконання наукових розрахунків та інше [13].

Raspberry Pi Pico – це недавно випущений мікроконтролер на базі Raspberry Pi, який забезпечує зручність розробки вбудованих систем на мові програмування MicroPython. Pico має 2 ядра ARM Cortex-M0+ з тактовою частотою 133 МГц, 264 КБ програмованої пам'яті та 2 МБ флеш-пам'яті. Він підтримує роботу з різними пристроями вводу/виводу, такими як GPIO, UART, SPI та I2C, що дозволяє підключати різні сенсори та інші периферійні пристрої.

UART: розшифровується як універсальний асинхронний прийом і передача (Universal Asynchronous Reception and Transmission, UART). Простий послідовний протокол зв'язку, який дозволяє хосту спілкуватися з допоміжним пристроєм (рис. 2.2). UART підтримує двонаправлену, асинхронну та послідовну передачу даних. Він має дві лінії даних, одну для передачі (TX), а іншу для прийому (RX), які використовуються для зв'язку через цифровий контакт 0, цифровий контакт 1. TX і RX підключаються між двома пристроями (наприклад, USB і комп'ютер) [14].

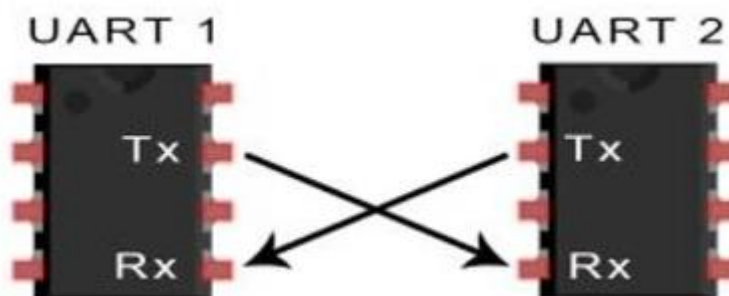


Рисунок 2.2 – Прийом та передача UART [15]

Він може працювати між пристроями 3 способами:

- симплекс = передача даних в одному напрямку;
- напівдуплекс = передача даних у будь-якому напрямку, але не одночасно;
- повний дуплекс = передача даних в обох напрямках одночасно;

Після підключення, дані передаються від передавального UART (TX) до приймаючого UART (RX). Оскільки UART є асинхронним послідовним протоколом передачі, він не має вбудованого годинника. Приймаючий UART потім перетворює послідовні дані назад у паралельний формат для приймаючого пристрою.

Оскільки UART не має вбудованого годинника, він використовує початкові та стопові біти, які передаються для визначення початку та кінця повідомлення. Це допомагає приймаючому знати, коли починати і закінчувати зчитування бітів. Коли приймаючий UART виявляє початковий біт, він зчитує біти з встановленою швидкістю передачі даних, яка називається BAUD Rate. За замовчуванням, швидкість передачі даних становить 115 200 бод (біт на секунду). Важливо, щоб обидва UART працювали з приблизно однаковою швидкістю передачі даних.

Якщо різниця у швидкості передачі даних перевищує 10%, може відбутися збурення в хронометражі бітів, і дані можуть стати непридатними для використання. Тому користувачу слід переконатися, що обидва UART

налаштовані на передачу та отримання даних з однієї і тієї ж швидкості передачі.

I2C (Inter-integrated-circuit) – це послідовний протокол зв'язку [15], подібний до UART (рис. 2.3). Однак він використовується не для зв'язку з ПК, а замість цього з модулями та датчиками. Це проста двонаправлена двопровідна синхронна послідовна шина, і лише два дроти потрібні для передачі інформації між пристроями, підключеними до шини.

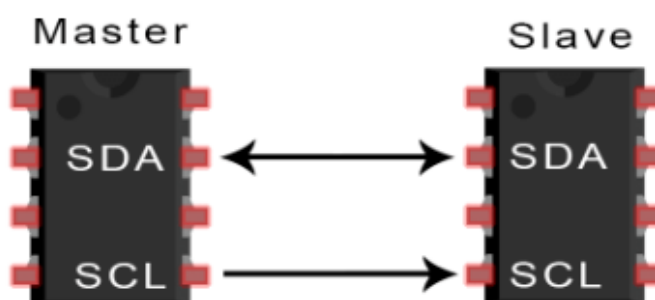


Рисунок 2.3 – Inter-integrated-circuit [15]

Це корисно для проектів, які вимагають співпраці різних компонентів (таких як сенсори, перемикачі, розширення та драйвери), оскільки він може підключати до 128 пристроїв до материнської плати, зберігаючи чіткий шлях зв'язку. Це можливо завдяки використанню I2C системи адресації та спільної шини, що дозволяє підключати кілька пристроїв за допомогою одних і тих самих дротів, при цьому всі дані передаються по одному дроту, що забезпечує низьку кількість контактів.

Проте, компромісом для цього спрощеного підключення є його повільніша швидкість порівняно з SPI. Швидкість I2C також залежить від швидкості передачі даних, якості дроту та зовнішнього шуму. Протокол I2C часто використовується як двопровідний інтерфейс для підключення пристроїв з низькою швидкістю передачі даних, таких як мікроконтролери, EEPROM, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, інтерфейси введення-виведення та інші подібні периферійні пристрої у вбудованих системах.

Це працює наступним чином(рис. 2.4), він має 2 лінії, які є SCL (послідовна лінія синхронізації) і SDA (послідовна лінія прийому даних).

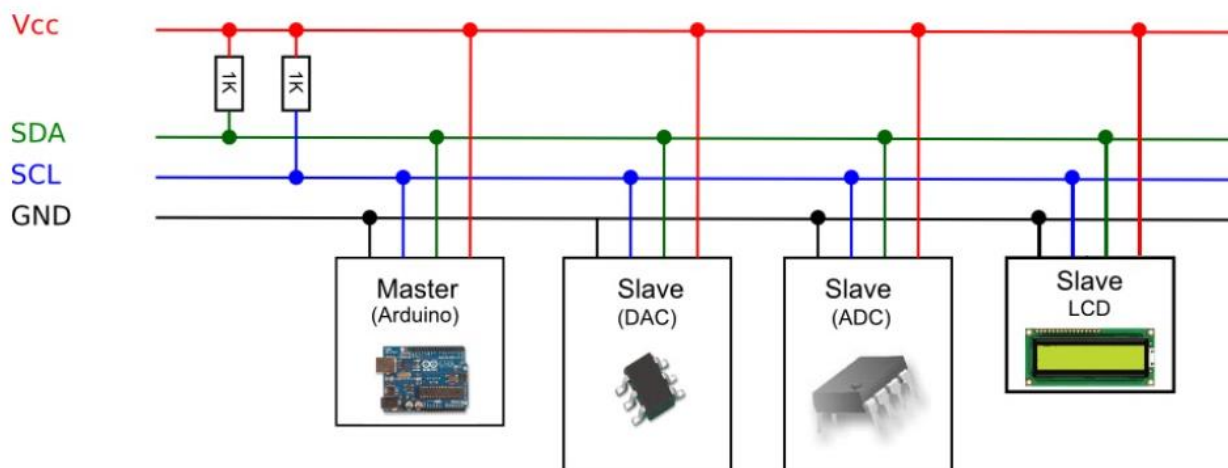


Рисунок 2.4 – Протокол I2C [16]

Головний пристрій (Master) ініціює передачу даних по шині та генерує тактовий сигнал для активування адресованого пристрою, тоді як будь-який приймач вважається підлеглим (Slave) [16].

Зв'язок між головним та підлеглими пристроями, які передають та отримують дані по шині, є нестійким і залежить від напрямку передачі даних в даний момент. Якщо головний пристрій бажає передати дані підлеглому пристрою, він спочатку звертається до підлеглого пристрою перед передачею даних. Після цього майстер припиняє передачу даних. Якщо головний пристрій бажає отримати дані від підлеглого, він знову звертається до підлеглого пристрою. Потім головний пристрій отримує дані, надіслані підлеглим, і, нарешті, приймач припиняє процес отримання. Головний пристрій також відповідає за генерацію тактового сигналу та припинення передачі даних.

Додатково, необхідно підключити джерело живлення через підтягуючий резистор. Коли шина неактивна, обидві лінії знаходяться на високому рівні потужності. Ємність лінії впливає на швидкість передачі по шині. При великій ємності, коли струм на шині низький, це може призвести до помилок передачі.

Тому, його ємнісна загрузка повинна бути 400 пФ, щоб визначити допустиму довжину шини та кількість підключених пристроїв.

CL – лінія тактового сигналу для синхронізації передачі. SDA – це лінія даних, через яку надсилаються або приймаються біти даних.

Serial Peripheral Interface (SPI) цей протокол є подібним до I2C[17], але представляє іншу форму послідовного зв'язку, спеціально розроблену для з'єднання мікроконтролерів. Він працює в режимі повного дуплексу, що дозволяє передавати та отримувати дані одночасно (рис. 2.5).

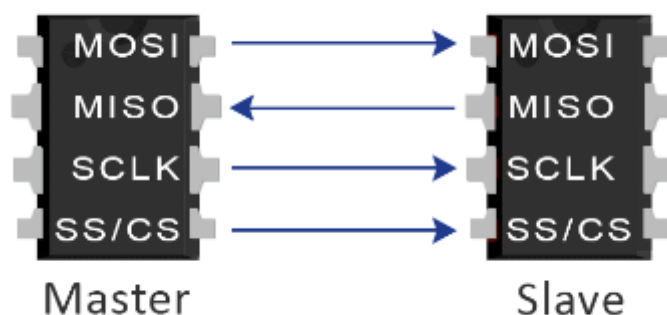


Рисунок 2.5 – протокол SPI [17]

SPI працює на вищій швидкості передачі даних, ніж I2C, до 8 Мбіт або більше. Кожен пристрій в мережі SPI має свою унікальну адресу, навіть якщо лінії передачі даних та годинника спільно використовуються. Цей протокол часто використовується в ситуаціях, де важлива швидкість передачі, наприклад, при роботі з SD-картами, модулями відображення або термометрами, де інформація швидко оновлюється та змінюється. Комунікація в мережі SPI можлива двома способами: за допомогою лінії Chip Select для кожного пристрою (найпоширеніший спосіб на Raspberry Pi) або за допомогою послідовного з'єднання, де кожен пристрій з'єднується з наступним за допомогою передачі даних по одному рядку. SPI не має обмежень на кількість підключених пристроїв. Проте існують практичні обмеження через кількість доступних апаратних ліній вибору на головному пристрої або складність

передачі даних через послідовне з'єднання. Протокол SPI працює в режимі "точка-точка" і не потребує адресації. Він забезпечує повнодуплексний зв'язок, що робить його простим і ефективним.

При створенні проектів з використанням Raspberry Pi зазвичай підключають різні датчики, щоб отримати інформацію про фізичний світ та обробити цю інформацію. У цьому контексті ми часто стикаємося з двома типами сигналів (рис. 2.6):

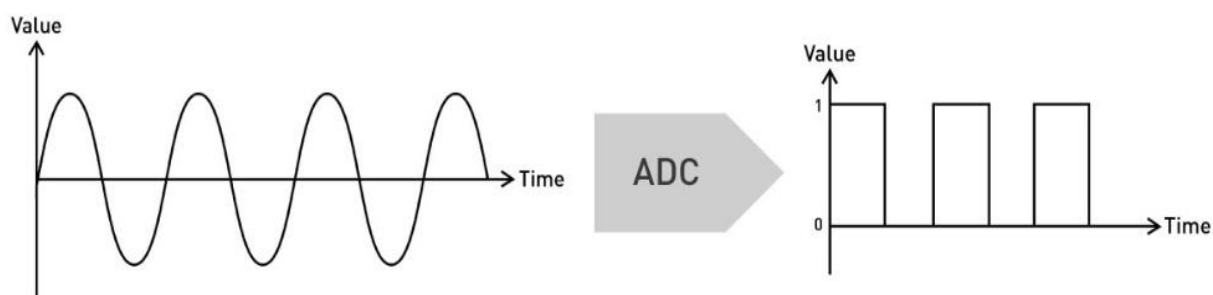


Рисунок 2.6 – Аналоговий та Цифровий сигнал [18]

GPIO (General Purpose Input Output) – це стандартний інтерфейс[18], який забезпечує мікроконтролери і одноплатні комп'ютери (SBC) цифровими входами та виходами. Цей інтерфейс дозволяє пристроям керувати зовнішніми компонентами, такими як двигуни і інфрачервоні передавачі (вихід), а також отримувати дані від сенсорних модулів і перемикачів (вхід). Суттєво, GPIO дозволяє Raspberry Pi взаємодіяти з різноманітними зовнішніми компонентами, що робить його варіативним у застосуванні, починаючи від метеостанцій до самокерованих роботів.

PiCo також має можливість роботи з аналоговими сигналами завдяки наявності 3 аналогових входів з роздільною здатністю 12 біт. Це дає можливість використовувати PiCo як осцилограф з можливістю вимірювання напруги та струму.

Крім того, PiCo має вбудовану підтримку USB, що дозволяє підключати його до комп'ютера та використовувати як пристрій зберігання даних. Це

дозволяє легко переносити програмне забезпечення та дані між Pico та комп'ютером.

Узагальнюючи, Pico - це потужний мікроконтролер з багатим набором периферійних інтерфейсів та відкритим вихідним кодом.

Вона має низьку вартість та потужний мікроконтролер RP2040, розроблений самим фондом, має два ядра Cortex-M0+, що дозволяє йому виконувати завдання швидко та ефективно. Також на дошці є 264 кБ програмної пам'яті та 2 МБ флеш-пам'яті для зберігання даних.

Одна з головних переваг Pico – це його можливість програмування з використанням мов програмування Python, що робить його дуже привабливим для початківців у програмуванні та інших використаннях, де потрібно швидко розробляти прототипи. Підтримує мови програмування MicroPython та C/C++. Користувачі можуть використовувати MicroPython, легку та зрозумілу мову, яка дозволяє швидше розробляти програми. Також є підтримка C/C++, що надає більше гнучкості та можливостей для оптимізації проєктів. Має піни для підключення різноманітних модулів та розширень. Також існує підтримка додаткових плат розширення, таких як модулі Wi-Fi, Ethernet, OLED-дисплеї, сенсори тощо. Це дозволяє розширювати можливості плати і налаштовувати її під свої потреби. Робота з іншими платформами: Може бути використаний як контролер або периферійний пристрій взаємодії з іншими пристроями. Він може бути підключений до Raspberry Pi, комп'ютерів, мікроконтролерів та інших електронних пристроїв, що розширює його можливості та застосування.

Додатково, Pico має широкі можливості з підключення до зовнішніх пристроїв, таких як датчики, актуатори та інші пристрої через різноманітні інтерфейси, включаючи I2C, SPI та UART.

Узагалі, Raspberry Pi Pico – це потужний та простий у використанні мікроконтролер, який може бути використаний для створення різноманітних проєктів вбудованої електроніки та IoT-проєктів. Тому у роботі буду використовувати саме цей варіант.

## 2.3 Середовище розробки

Thonny – це інтегроване середовище розробки (IDE) для мови програмування Python [20]. Він забезпечує спрощений інтерфейс і зручне середовище, щоб допомогти програмістам легше вивчати та писати код Python. Thonny пропонує кілька функцій, які роблять його придатним для початківців: Простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс: інтерфейс Thonny розроблений таким чином, щоб бути зрозумілим і зрозумілим, що полегшує навігацію та розуміння початківцям. Дозволяє користувачам писати та виконувати код Python у IDE. Він забезпечує вікно консолі, де користувачі можуть бачити вихід свого коду та взаємодіяти з ним.

Дослідження змінних: Thonny містить провідник змінних, який дозволяє користувачам бачити значення змінних у різних точках під час виконання програми. Ця функція може допомогти новачкам зрозуміти, як змінюються змінні, і відстежувати стан їхньої програми.

Підтримує покрокове виконання програми, дозволяючи початківцям виконувати свій код рядок за рядком або крок за кроком. Ця функція особливо корисна для розуміння потоку програми та виявлення помилок. Допомагає новачкам виявляти та виправляти синтаксичні помилки, виділяючи проблемні рядки коду. Він також надає пропозиції та автозавершення для допомоги у написанні коду.

Містить інструменти налагодження, які допомагають початківцям виявляти та виправляти помилки у своєму коді. Це дозволяє користувачам встановлювати контрольні точки, перевіряти змінні та покроково переглядати код, щоб знайти проблеми.

Інтегрована документація надає доступ до документації Python безпосередньо в IDE. Ця функція дозволяє новачкам шукати визначення функцій і вивчати вбудовані модулі Python, не залишаючи середовища розробки.

Загалом, Thonny – це зручна IDE Python, яка забезпечує сприятливе середовище для початківців, щоб вивчати та практикувати програмування на Python. Його спрощений інтерфейс, можливості виконання коду та інструменти налагодження роблять його чудовим вибором для тих, хто новачок у програмуванні.

## 2.4 Мови програмування Python та MicroPython

Python – це високорівнева, інтерпретована мова програмування [21], яка була створена Гвідо ван Россумом і вперше випущена в 1991 році. Вона має простий і зрозумілий синтаксис, що дозволяє розробникам писати чистий і зрозумілий код.

Відноситься до сімейства мов програмування, що підтримують об'єктно–орієнтоване, процедурне та функціональне програмування.

Основні особливості Python:

- простота використання: Python має лаконічний синтаксис, який дозволяє швидко розробляти програми. Це сприяє зрозумілості коду і полегшує його читання та обслуговування;

- крос–платформенність: Python підтримується на різних операційних системах, включаючи Windows, macOS, Linux і багато інших. Це означає, що ви можете розробляти програми на Python на одній платформі і запускати їх на інших без необхідності внесення значних змін;

- багатий екосистема: Python має велику кількість сторонніх бібліотек і фреймворків, що розширюють його функціональність. Це дозволяє розробникам використовувати готові рішення для широкого спектру завдань, включаючи веб–розробку, наукові обчислення, обробку даних, машинне навчання, штучний інтелект та багато інших;

- об'єктно–орієнтоване програмування: Python підтримує об'єктно–орієнтоване програмування, що дозволяє створювати класи та об'єкти для

організації коду в логічні блоки. Це сприяє повторному використанню коду, полегшує розширення програми і забезпечує більшу модульність;

- розширюваність: Python може бути розширений за допомогою низькорівневих мов, таких як C або C++. Ви можете написати критичні за швидкістю частини програми на цих мовах і зв'язати їх з python для отримання кращої продуктивності;

- велика спільнота: Python має активну та велику спільноту розробників, яка надає підтримку, публікує корисні бібліотеки та фреймворки, і сприяє обміну знаннями. Python знаходить широке застосування у багатьох галузях, включаючи веб-розробку, наукові дослідження, аналіз даних, машинне навчання, штучний інтелект, автоматизацію, робототехніку та багато інших. Його популярність постійно зростає завдяки його простоті, ефективності та широкому спектру застосувань.

MicroPython є реалізацією мови Python, оптимізованою для використання на мікроконтролерах та вбудованих системах. Вона була розроблена Дамієном Джорданом та спеціально призначена для роботи на обмежених пристроях з обмеженими ресурсами, такими як мікроконтролери з невеликою кількістю пам'яті та обчислювальною потужністю.

Деякі особливості MicroPython:

- ефективність: MicroPython має дуже низький рівень споживання енергії, тому вона ідеально підходить для батарейного живлення та мобільних пристроїв;

- низькорівневий доступ: MicroPython надає можливість прямого доступу до апаратних функцій мікроконтролера, таких як GPIO, PWM, I2C, SPI та інші, що дозволяє взаємодіяти з зовнішніми пристроями;

- малий обсяг: MicroPython має компактний розмір та вимагає менше пам'яті в порівнянні зі стандартним Python, що дозволяє використовувати його на мікроконтролерах з обмеженими ресурсами.

MicroPython широко використовується для розробки проєктів Інтернету речей (IoT), робототехніки, сенсорних мереж та інших вбудованих систем, де

низьке споживання енергії та ефективне використання ресурсів є критичними факторами. Враховуючи це, вибір між Python та MicroPython залежить від конкретних вимог проекту: якщо ви працюєте з великими системами або потужними комп'ютерами, Python може бути кращим варіантом; якщо вам потрібно вбудоване рішення для малих пристроїв, MicroPython є чудовим вибором.

## 2.5 Програми для тестування

Better Serial Plotter – це програмний інструмент, який дозволяє візуалізувати та аналізувати дані, що передаються через порт шини (зазвичай, порт UART або COM порт) з підключеного пристрою або мікроконтролера. Він надає зручний спосіб відображення даних у вигляді графіків, гістограм або числових значень.

Основні функції та особливості Better Serial Plotter включають:

**Реальний час:** Програма підтримує отримання та відображення даних у реальному часі. Це означає, що ви можете спостерігати зміну даних на графіку безпосередньо по мірі їх отримання з пристрою.

**Візуалізація даних:** Better Serial Plotter надає різні типи графіків, такі як лінійні графіки, гістограми, кругові діаграми та багато інших. Ви можете вибрати найбільш підходящий тип графіку для вашої задачі.

**Масштабування та автоматичне прокручування:** Програма автоматично масштабує графіки для оптимального відображення даних. Крім того, вона може автоматично прокручувати графік, якщо дані виходять за межі екрану.

**Конфігурація відображення:** Ви можете налаштувати різні параметри відображення, такі як колір, шкала, легенда, вісі координат та інші. Це дозволяє вам налаштувати вигляд графіків під свої потреби.

**Збереження даних:** Better Serial Plotter дозволяє зберігати дані у форматі CSV (Comma-Separated Values) для подальшого аналізу або обробки в інших програмах.

Простий у використанні інтерфейс: Інтерфейс програми є інтуїтивно зрозумілим і легким у використанні. Ви можете швидко налаштувати з'єднання з пристроєм і розпочати відображення даних.

Better Serial Plotter є потужним інструментом для візуалізації та аналізу даних, що передаються через порт шини. Він зручний для розробки та налагодження електронних пристроїв, моніторингу сенсорів, аналізу сигналів та багатьох інших застосувань, де важливо спостерігати та аналізувати дані у реальному часі.

Scorpy – це відкрите програмне забезпечення (Open Source), яке використовується для створення осцилографів на базі мікроконтролерів, таких як Arduino або STM32. Воно надає можливість отримувати та візуалізувати аналогові сигнали в реальному часі за допомогою комп'ютера.

Основні особливості Scorpy включають:

Візуалізація даних: Програма надає можливість відображати сигнали у вигляді графіків, де вісь X представляє час, а вісь Y – значення сигналу. Ви можете відображати один або кілька сигналів одночасно і налаштовувати вигляд графіків за допомогою різних параметрів.

Збереження та аналіз даних: Scorpy дозволяє зберігати отримані дані у форматі CSV (Comma-Separated Values) або зображення графіків у форматі зображення. Це дозволяє зберігати дані для подальшого аналізу або документування.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

#### 3.1 Вибір компонентів

Raspberry Pi Pico (рис. 3.1) оснащений мікроконтролером RP2040 з двоядерним процесором Arm Cortex–M0+ з 264 КБ внутрішньої пам'яті та підтримкою до 16 МБ зовнішньої флеш–пам'яті. Він має широкий спектр гнучких варіантів введення–виведення, включаючи I2C, SPI та унікальні програмовані порти введення–виведення.

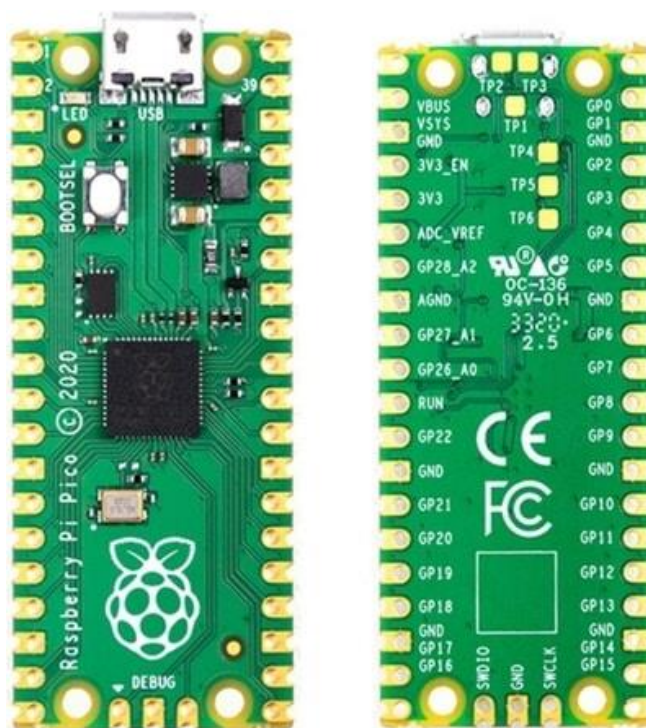


Рисунок 3.1 – Мікроконтролер Pico [15]

На задній панелі цієї плати контакти пронумеровані як GP26 та GP27, які є аналоговими контактами. Використання контактів GP26 та GP27 для виявлення сигналу дозволяє отримати аналоговий вхідний сигнал, який може бути поданий у формі синусоїди, меандра або будь–якого іншого аналогового сигналу. Ці контакти можуть використовуватися для зчитування значень напруги або струму, які відображаються на підключених аналогових джерелах. Може виконуватися за допомогою проводів або інших електричних з'єднань.

При використанні цих контактів важливо враховувати відповідність рівню сигналу, що подається, вхідним параметрам і можливі обмеження щодо діапазону напруги або струму, які підтримує плата.

Для підключення усіх компонентів між собою потрібна макетна плата (рис. 3.2). Вона надає зручну платформу для збирання та з'єднання електронних компонентів без необхідності лиття або паяння.



Рисунок 3.2 – Макетна плата [17]

Контактна макетна пластина, яка містить сітку отворів для встановлення компонентів. Отвори на платі призначені для вставки ніжок електронних компонентів. Контактні отвори забезпечують електричне з'єднання між компонентами. Кожен отвір на контактній макетній платі представляє собою контактний пункт, до якого можна підключити електронні компоненти, наприклад, резистори, конденсатори, транзистори та інші елементи. За допомогою спеціальних провідників, які вставляються у отвори, компоненти можуть бути підключені до інших точок на макетній платі, що дозволяє створити електричні з'єднання між ними. Завдяки сітчастій структурі отворів, контактна макетна плата забезпечує зручну орієнтацію та точність розміщення компонентів, що полегшує пайку.

Щоб приєднати мікроконтролер був обраний USB-кабель типу А до microUSB (рис. 3.3) Зручний, надійний та легкий у використанні. Він є стандартним інтерфейсом для підключення багатьох пристроїв.



Рисунок 3.3 – USB-кабель

Дисплей SSD1306 (рис. 3.4) компактний монохромний OLED-дисплей, який часто використовується в різних проектах для відображення тексту, графіки та інших візуальних елементів. Він має низьке споживання енергії, високу контрастність та може бути легко підключений до мікроконтролерів та одноплатних комп'ютерів, таких як Raspberry Pi.

Основні характеристики дисплею SSD1306 включають:

- Монохромний OLED-екран з високою контрастністю.
- Роздільна здатність 128x32 пікселів.
- Використовує комунікаційний протокол I2C або SPI для обміну даними з мікроконтролером.
- Підтримує відображення тексту, графіки, анімації та інших візуальних елементів.
- Може працювати при низькому напрузі живлення.

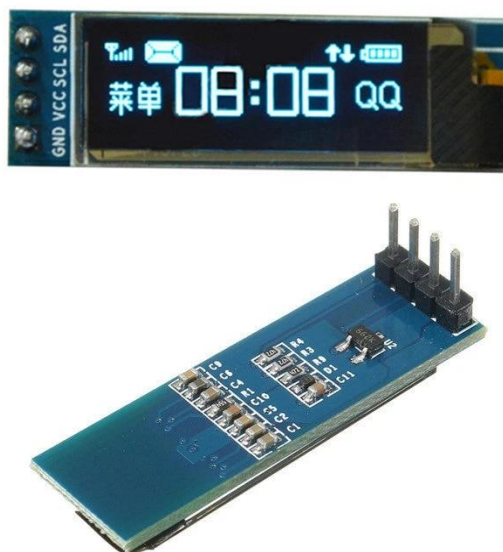


Рисунок 3.4 – Дисплей [12]

Для підключення використано резистор 100К і пара резисторів 1К. Резистор 100К та 1К (або 100 кілоом 1 кілоом) – це електронні компоненти, які використовуються для обмеження струму в електричних колах. 100К має опірність 100 000 ом, що дозволяє регулювати напругу та струм, що протікає через нього, для забезпечення правильної роботи електричних схем.

Дроти для макетної плати (рис. 3.5). Під час монтажу макетної плати, тонкі провідники використовуються для підключення компонентів до отворів або площин контактів на платі. Зазвичай провідники згинані та паяються або вставляються в контактні отвори. Вони можуть бути скорочені або заточені для відповідного розміру та довжини, щоб добре впасуватися в схему та забезпечити надійний контакт.

Тонкі провідники дозволяють здійснити з'єднання між різними компонентами, такими як резистори, конденсатори, транзистори та інші елементи схеми. Вони можуть бути використані для передачі сигналів від одного компонента до іншого, для підключення до джерел живлення або для створення з'єднань між контактами на макетній платі.

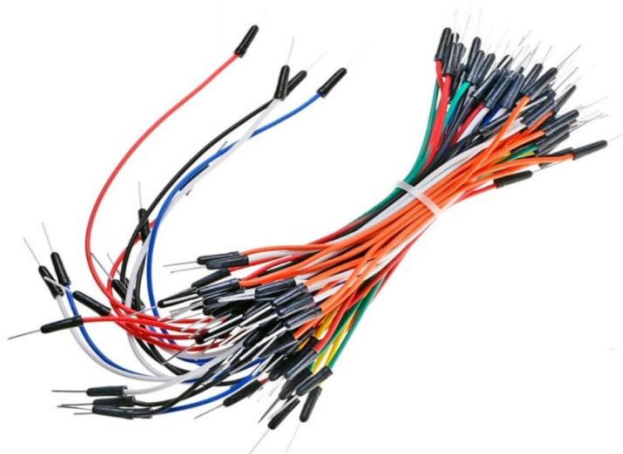


Рисунок 3.5 – Дроти для макетної плати.

### 3.2 Проектування схеми підключення сигналів

Для підключення резисторів з високим номіналом, 100К. Цей резистор можна підключити до контакту GP26 для захисту Raspberry Pi Pico від перевантаження струмом. Додатково, нам знадобиться пара резисторів 1К. Один з цих резисторів слід підключити до контакту GND, а інший до контакту 3,3 В. Потім, другий кінець цих резисторів потрібно з'єднати разом (рис. 3.6). Таке підключення дозволить вимірювати як негативні, так і позитивні сигнали.

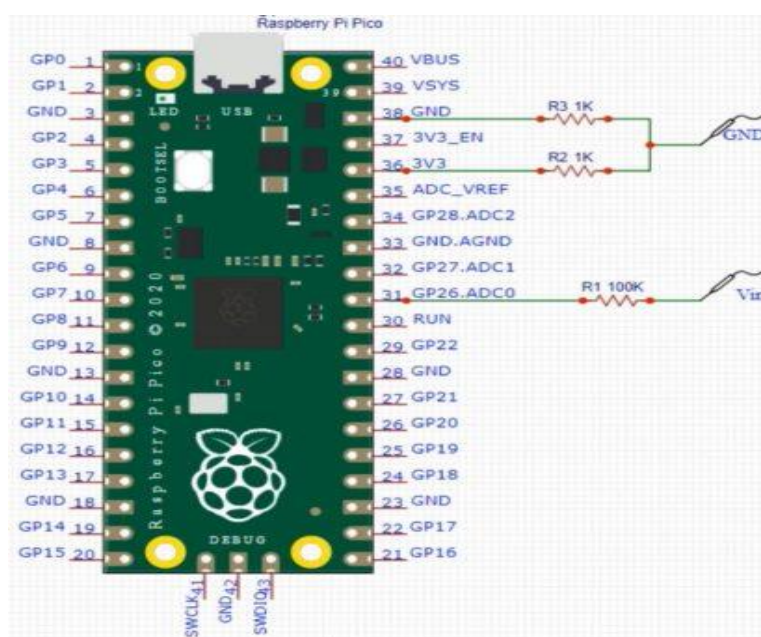


Рисунок 3.6 – Схема підключення резисторів [20]

Основні виводи Raspberry Pi Pico розташовані на його контактних площадках (GPIO – General Purpose Input/Output) і надають можливість підключати зовнішні пристрої та розширювати функціонал плати.

USB – Виводи для підключення по USB, які використовуються для живлення та зв'язку з комп'ютером.

Micro-USB – Додатковий вивід Micro-USB, який також може використовуватися для живлення та зв'язку.

UART – виводи для зв'язку за допомогою протоколу UART (Universal Asynchronous Receiver–Transmitter).

GPIO – основні GPIO виводи, які можуть бути налаштовані для введення або виведення сигналів загального призначення.

SPI – виводи для зв'язку за допомогою протоколу SPI (Serial Peripheral Interface).

I2C – виводи для зв'язку за допомогою протоколу I2C (Inter–Integrated Circuit).

PWM – виводи для генерації сигналів ШІМ (пульсуючої ширинної модуляції).

ADC – виводи для аналогового вводу (перетворення аналогових сигналів в цифрову форму).

DAC – виводи для аналогового виводу (перетворення цифрових сигналів в аналогову форму).

GPIO Expander – виводи для розширення кількості GPIO за допомогою GPIO розширювачів.

Кожен вивід має свій номер та може бути налаштований на вхід або вихід залежно від потреби (рис.3.7). Розширювачі та додаткові модулі можуть бути підключені до виводів GPIO для розширення можливостей Raspberry Pi Pico.

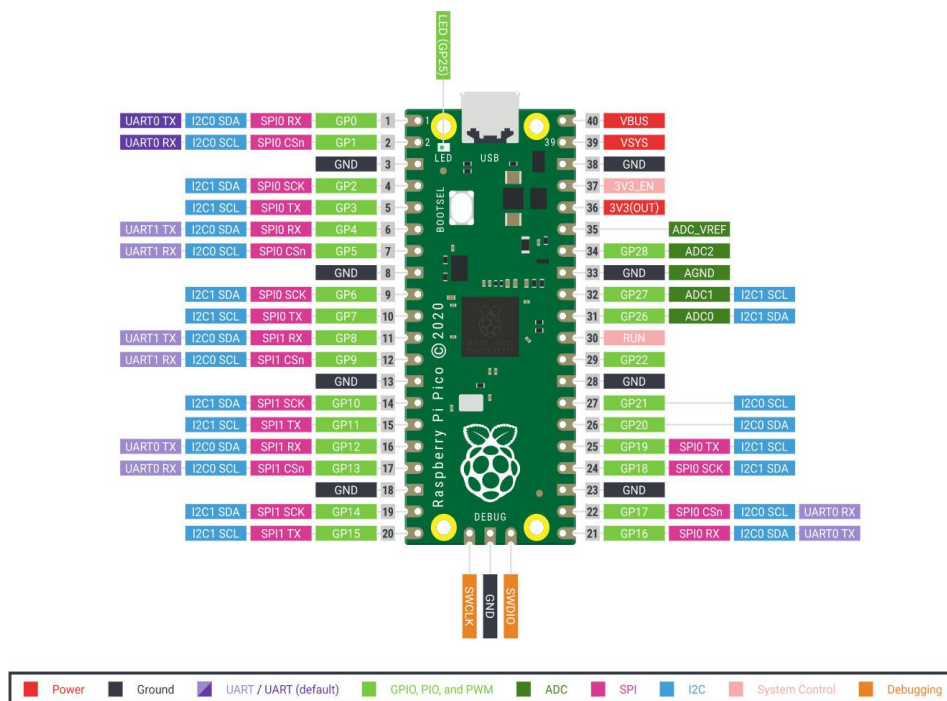


Рисунок – 3.7 – Діаграма усіх виводів Raspberry Pi Pico [20]

Після підключень всіх входів та виходів на платі осцилограф буде виглядати наступним чином (рис. 3.8).

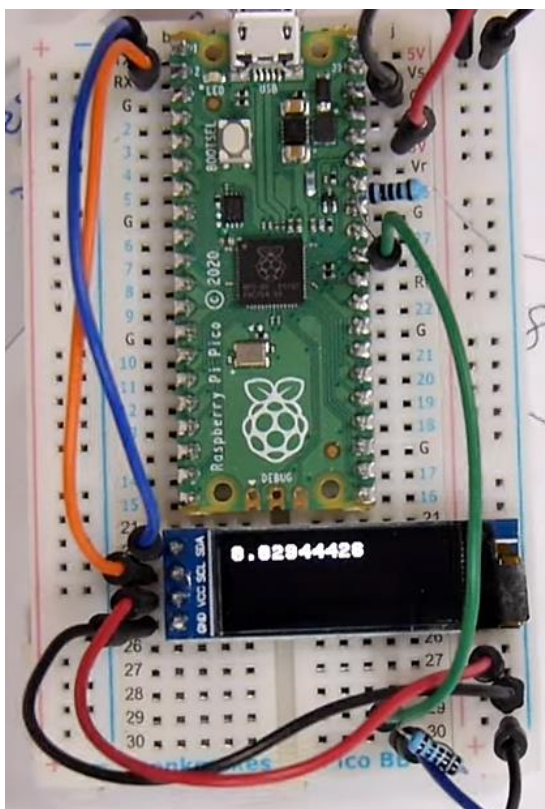


Рисунок 3.8 – Вигляд розробленого осцилографа

### 3.3 Програмне забезпечення.

Для розробки програмного забезпечення на Raspberry Pi Pico можна використовувати мови програмування, такі як Python або C/C++. Використано мову програмування MicroPython та інтегроване середовище розробки Thonny.

Для взаємодії з різними пристроями та компонентами, які використовуються в осцилографі, можуть бути використані різноманітні програмні бібліотеки. Для початку підключаємо бібліотеки Pin та I squared c. Також бібліотеку для хронометражу U-time, яка дозволить нам виводити затримки часу тощо. Для візуалізації сигналів на дисплей підключенні наступні бібліотеки.

Бібліотеки для нашого дисплею ssd1306.

```
from machine import Pin, I2C, PWM;
from ssd1306 import SSD1306_I2C;
```

Аналоговий канал на платі контакт 26 саме він і вписаний.  
adc\_read = machine.ADC(26)

Встановлено аналоговий вхідний штифт, для нього вписаний нульовий пін, Pin scl щоб закріпити одиницю на довщі. Подана частота 40000 герц. Фактична шина даних I squared c, налаштована.

```
i2c = I2C(0,sda=Pin(0),scl=Pin(1),freq=40000);
```

Налаштовано драйвер екрана, встановлено роздільну здатність 128 на 32.  
oled = SSD1306\_I2C(128,32,i2c);

Для того щоб екран працював безперервно, подано напругу 16 біт. Щоб побачити фактичну напругу потрібно коефіцієнт який буде множитись на показання напруги:

```
coefficient = 3.35 / 32767;
```

```
while True:
```

```
    reading = adc_read.read_u16()
    calcvoltage = reading * coefficient
    print("V", calcvoltage)
```



Меандр частота 1kHz, заповнення 50% (рис. 3.10).

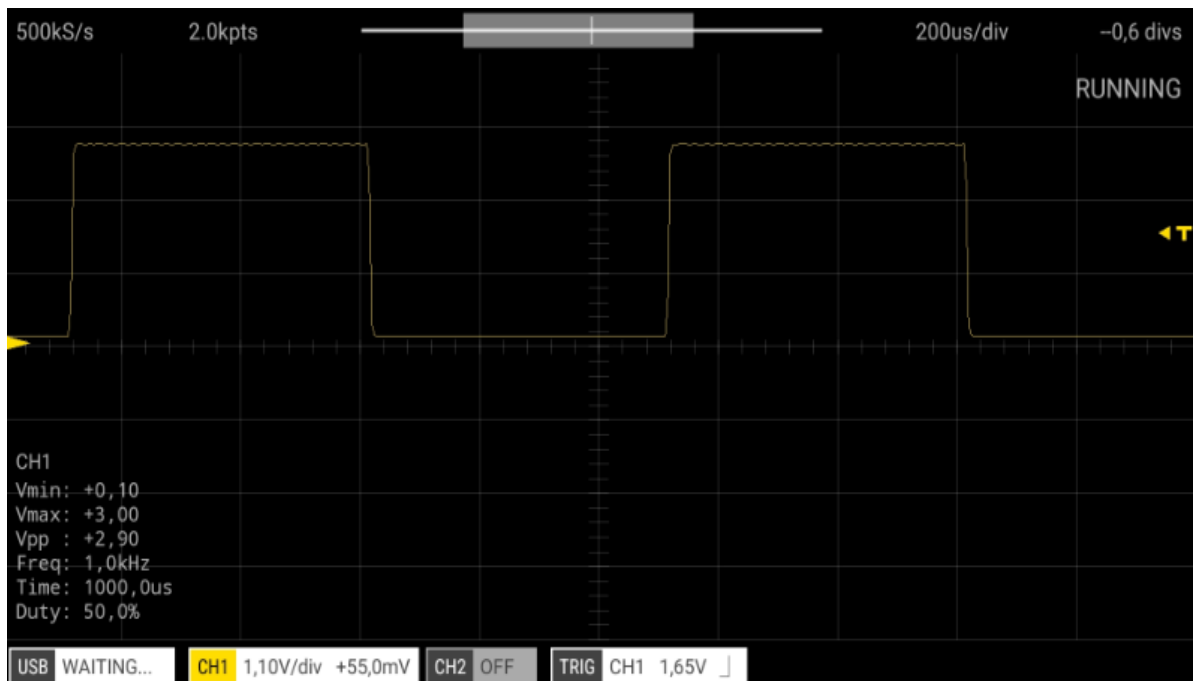


Рисунок 3.10 – Тестування сигналу 1kHz

Меандр частота 5kHz, заповнення 50% (рис. 3.11).

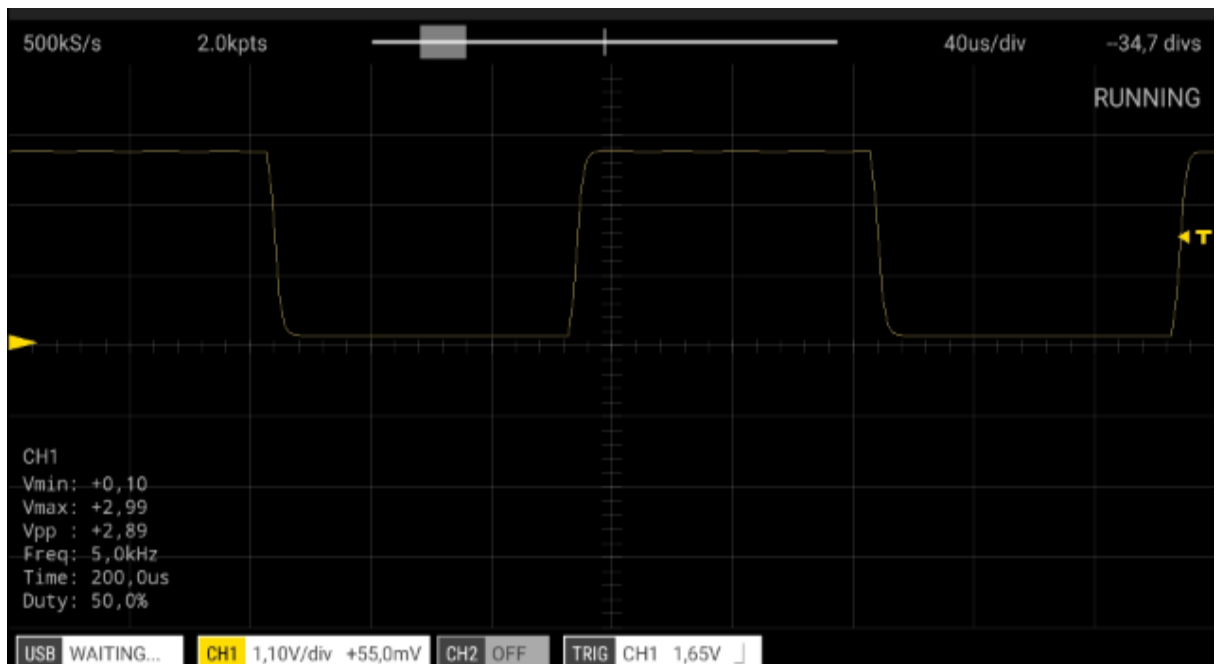


Рисунок 3.11 – Тестування сигналу 5kHz

Меандр частота 20kHz, заповнення 50% (рис. 3.12).

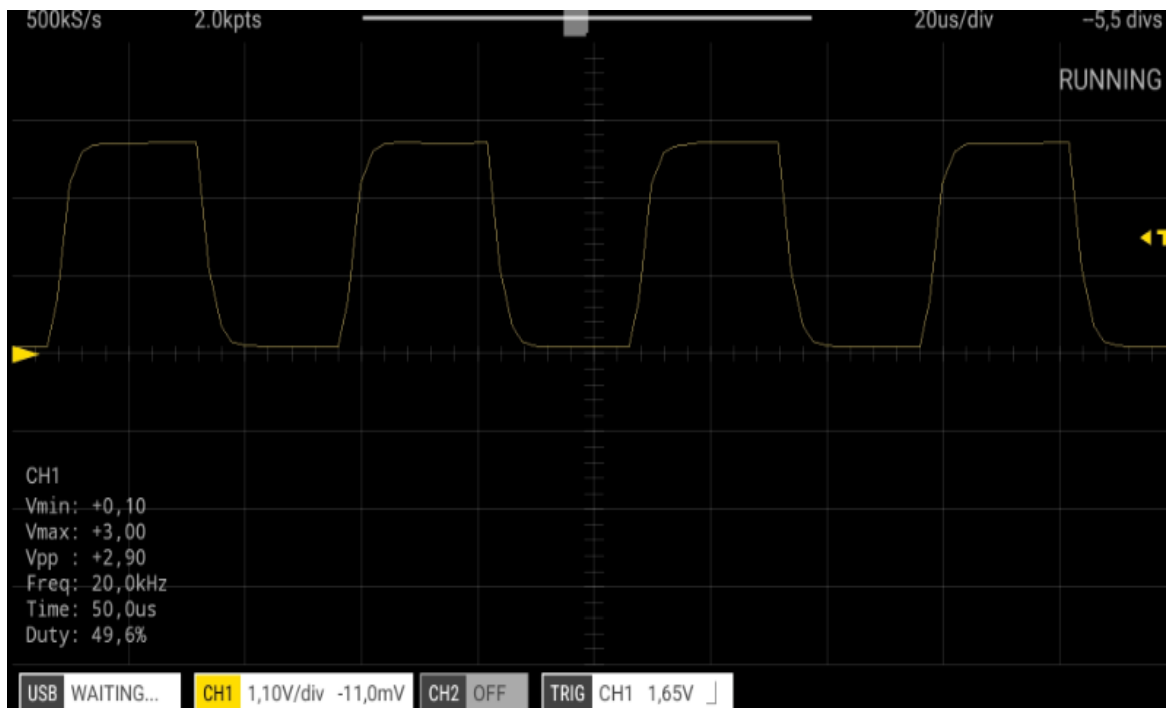


Рисунок 3.12 – Тестування сигналу 20kHz

Меандр частота 50kHz, заповнення 50% (рис. 3.13).

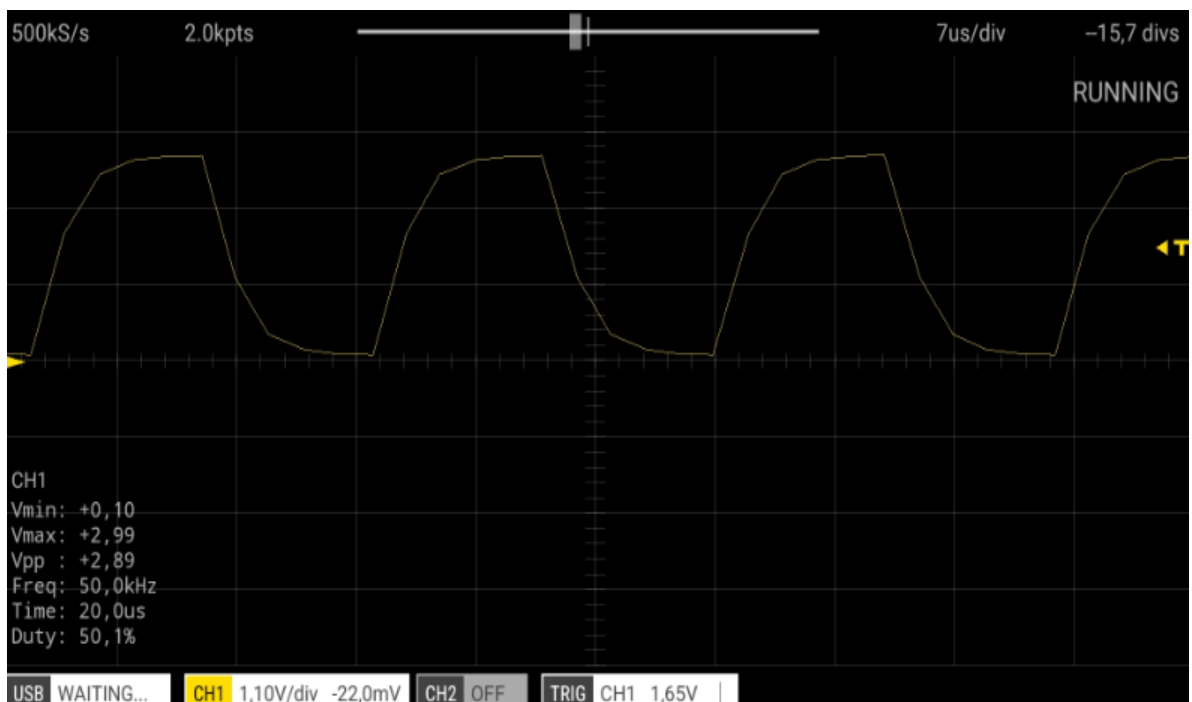


Рисунок 3.13 – Тестування сигналу 50kHz

Проведення тестування в Better Serial Plotter на додавання напруги більше чим 3В. Поведінка графіка при додаванні та відніманні напруги в 12В (рис.3.14) в часовому діапазоні 0.5 секунди.

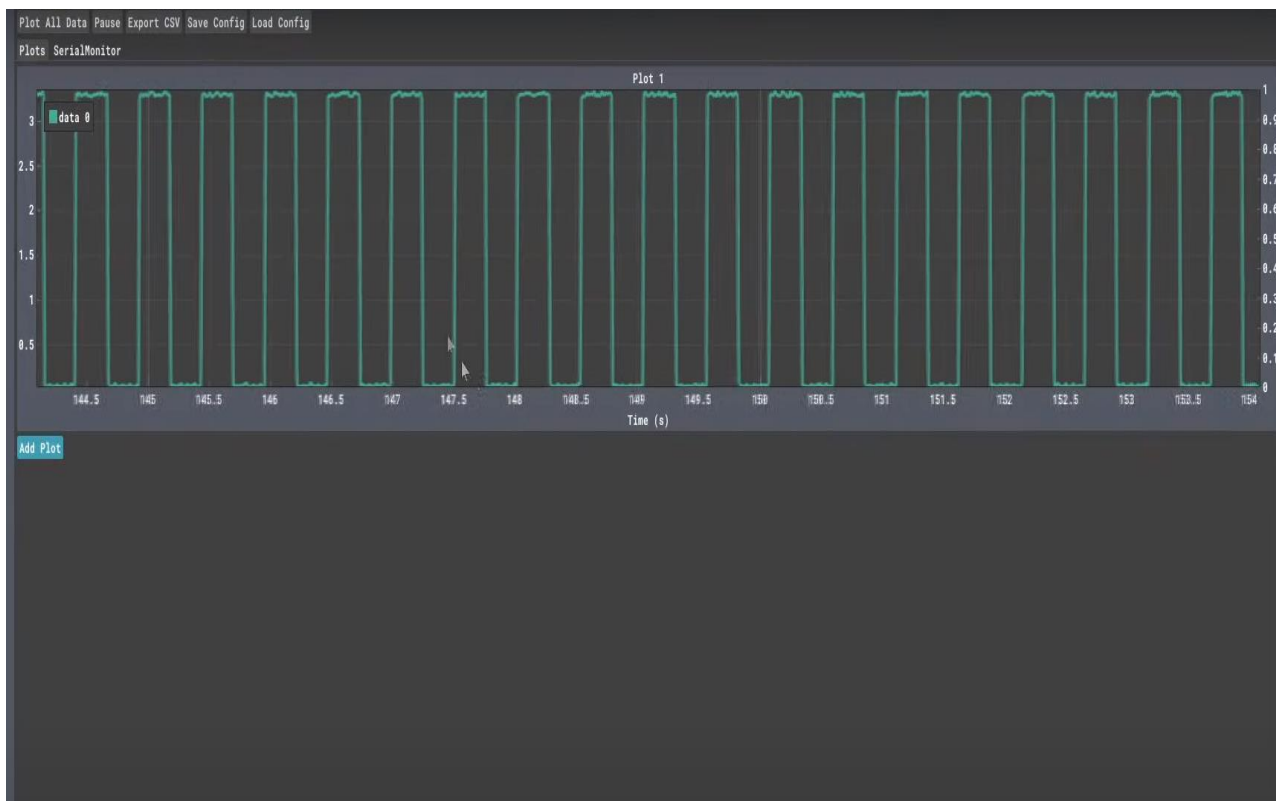


Рисунок 3.14 – Тестування сигналу

Отримані результати демонструють, що осцилограф на базі Raspberry Pi має обмеження вимірювання напруги до 3В. Ця інформація є важливою при використанні пристрою в реальних ситуаціях, оскільки дозволяє зрозуміти його можливості та обмеження при роботі з великими значеннями напруги. Таке тестування є важливим етапом розробки осцилографа, оскільки дозволяє визначити його характеристики та границі роботи.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи був розроблений функціональний пристрій - електронний осцилограф на базі мікроконтролера Raspberry Pi Pico. Метою роботи було розробити програмне забезпечення та алгоритми, які дозволяють вимірювати та аналізувати електричні сигнали.

Дослідження було проведено з використанням літературних джерел та огляду існуючих розробок в галузі осцилографії. Були вивчені принципи роботи осцилографів, їх характеристики та можливості, а також технології збору, обробки сигналів, алгоритми аналізу даних та методи візуалізації.

Розроблений алгоритм збору та обробки даних з осцилографа на базі Raspberry Pi Pico є ефективним і дозволяє точно та надійно вимірювати електричні параметри і аналізувати електричні сигнали. В результаті досліджень були отримані глибокі знання про принципи роботи осцилографів, їх характеристики та можливості. Це включає технології збору та обробки сигналів, алгоритми аналізу даних та методи візуалізації. В процесі роботи були вибрані та підготовлені необхідне обладнання та компоненти для реалізації осцилографа. Були проведені дослідження ринку, вибрані відповідні датчики та модулі, а також забезпечена їх сумісність. Розроблено програмне забезпечення для збору та обробки даних з датчиків, що дозволяє ефективно використовувати осцилограф на базі Raspberry Pi Pico. Проведено тестування та налагодження системи, що підтверджує її функціональність та надійність.

Отже, в результаті дослідження та розробки було успішно створено функціональний осцилограф на базі Raspberry Pi Pico, який може використовуватись для вимірювання та аналізу електричних сигналів. Цей проект відкриває нові можливості для використання доступних та потужних засобів для вимірювання та аналізу сигналів у реальному часі, що сприяє прогресу технологій та розвитку сучасного електронного обладнання. Значна частина таких пристроїв виконується на основі мікроконтролерів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ідеї для проєктів на Raspberry Pi Pico. URL: <https://evo.net.ua/20-idey-dlya-proektiv-na-raspberry-pi-pico/> (дата звернення: 01.02.2023).
2. «Understanding Signals a Systems» by Richard G. Lyons – 2019, 23-30 p.
3. Vilros. «Raspberry Pi Pico Ultimate Guide» URL: <https://www.vilros.com/blogs/news/raspberry-pi-pico-ultimate-guide> дата звернення: 03.02.2023).
4. Lee, G. «Building an Oscilloscope with Raspberry Pi Pico» URL: <https://lemariva.com/blog/2021/03/tutorial-building-oscilloscope> (дата звернення: 02.03.2023).
5. «Introduction to Oscilloscopes» URL:<https://www.tek.com/oscilloscope/fundamentals/introduction-oscilloscopes> (дата звернення:12.03.2023).
6. Instructables. URL: <https://www.instructables.com/> (дата звернення: 20.03.2023).
7. Instructables. «Raspberry Pi Pico Oscilloscope» URL: <https://www.instructables.com/Raspberry-Pi-Pico-Oscilloscope/>.(дата звернення: 29.03.2023).
8. Elektor Magazine. «Building an Oscilloscope with Raspberry Pi Pico» URL: <https://www.elektormagazine.com/labs/building-an-oscillos>. (дата звернення: 25.03.2023).
9. Horsfall, D. Tutorial Building Oscilloscope «Raspberry Pi Pico Projects» URL: <https://www.packtpub.com/product/raspberry-pi-pico-projects/9781801077605> (дата звернення: 01.04.2023).
10. «The Official Raspberry Pi Beginner's Guide, 2nd Edition" by Gareth Halfacree, Raspberry Pi Foundation, 2020, 12–24 p.
11. Python Data Science «Handbook: Essential Tools for Working with Data" by Jake VanderPlas, O'Reilly Media, 2019, 2– 23 p.
12. «Beginning Robotics with Raspberry Pi and Arduino: Using Python and OpenCV» by Jeff Cicolani, Apress, 2018, 2–14 p.

13. Oscilloscope Handbook: Understanding Oscilloscope Basics. Keysight Technologies. 2021, 15–30 p.

14. Raspberry Pi forum: веб-сайт. URL: <https://www.raspberrypi.org/forums/> (дата звернення: 10.04.2023).

15. Raspberry Pi Foundation. Getting started with Raspberry Pi: веб-сайт. URL: <https://datasheets.raspberrypi.org/pico/getting-started-with-pico.pdf> (дата звернення: 15.04.2023).

16. Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi Pico Python SDK. URL: <https://datasheets.raspberrypi.org/pico/raspberry-pi-pico-python-sdk.pdf> (дата звернення: 19.04.2023).

17. GitHub Repository: «Raspberry Pi Pico Oscilloscope» URL: <https://github.com/username/репо> (дата звернення: 25.04.2023).

18. Навчальний курс «Основи програмування на мові Python»: веб-сайт. URL: <https://pythontutor.com/> (дата звернення: 01.05.2023).

19. Raspberry Pi Documentatio. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/> (дата звернення: 09.05.2023).

20. ResearchGate. Find and share research Discover Research. URL: <https://www.researchgate.net/topic/Engineering> (дата звернення: 11.05.2023).

21. Element14 Community. Browse Content in Challenges Projects Element14. URL: <https://www.element14.com/community/>(дата звернення: 15.05.2023).