

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням

Назва теми

КвРКІ 200120.20.01.19ПЗ

Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група K12-20-1

Підпис

Б.Р. Томчишен

Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

В.М. Стецюк

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

С.М. Лисенко

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

Підпис

Т.О. Говорущенко

Ініціали, прізвище

«19» червня 2024 р.

Хмельницький 2024

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорушенко

“ 10 ” 01 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Томчишену Богдану Руслановичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням

Керівник проекту (роботи) Стецюк В.М., д.т.н., проф.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 15.02.2024 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Теоретичні основи досліджуваної проблеми

Вибір засобів реалізації для конструювання системи та їх обґрунтування

Програмно-апаратна реалізація системи керування генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю



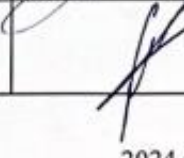

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Схема електрична структурна генератора випробувальних сигналів

Схема електрична функціональна генератора випробувальних сигналів

Схема електрична принципова генератора випробувальних сигналів

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2024	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2024	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2024	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проєктування генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю (розробка схеми електричної структурної)	01.04.2024	виконано
5	Робота над розділом 3 – проєктування генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю (розробка схеми принципової і алгоритму)	29.04.2024	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2024	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2024	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2024 року	

Студент

Підпис

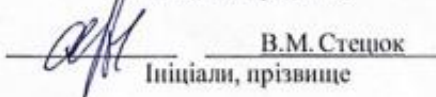


Б.Р. Томчишен

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис



В.М. Стецюк

Ініціали, прізвище



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням».

Автор роботи: Томчишен Богдан Русланович.

Керівник роботи: Стецюк Василь Миколайович.

Пояснювальна записка: 55 с., 15 рис., 5 табл., 5 дод., 45 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

ГЕНЕРАТОР, ПРОГРАМОВАНА СКВАЖНІСТЬ, СХЕМА СТРУКТУРНА,  
ФУНКЦІОНАЛЬНА, ПРИНЦИПОВА

Метою дипломної роботи є розробка генератора тестових сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням. Запропонована система дозволить регулювати параметри вихідного сигналу з високою точністю та гнучкістю, що дозволить проводити різноманітні тести та дослідження роботи цифрових схем у різних умовах та налаштуваннях.

Об'єктом дослідження є дослідження генератора тестових сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням

Предметом дослідження є створення електричних схем для генератора випробувальних сигналів.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.



Підпис студента

30.05.2024

Дата

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ</b> .....	5
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань .....	5
1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень.....	12
1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження .....	16
1.4 Постановка задачі.....	17
1.5 Висновки.....	18
<b>2 ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ КОНСТРУЮВАННЯ СИСТЕМИ ТА ЇХ ОБГРУНТУВАННЯ</b> .....	20
2.1 Мікроконтролер .....	20
2.2 Програмне забезпечення.....	29
2.3 Модуль PWM.....	32
2.4 Живлення і підключення .....	37
2.5 Висновки.....	39
<b>3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ПРОГРАМОВАНОЮ СКВАЖНІСТЮ</b> .....	3
3.1 Розробка алгоритму .....	40
3.2 Розробка схеми структурної.....	40
3.3 Розробка схеми функціональної.....	42
3.4 Розробка принципової схеми.....	44
3.5 Опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу.....	52
3.6. Висновки.....	57
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	58
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b> .....	59

КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Виконав		Гомчиченко Б.Р.	<i>[Підпис]</i>	19.06.19
Перевір.		Стецюк В.М.	<i>[Підпис]</i>	19.06.19
П.контр.		Лисенко С.М.	<i>[Підпис]</i>	19.06.19
Затвер.		Головченко Ю.О.	<i>[Підпис]</i>	19.06.19
Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням				
Пояснювальна записка				
			Пітера	Аркуш
			у	55
ХНУ КІ-20-1				

ДОДАТОК А КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СТРУКТУРНА СХЕМА ГЕНЕРАТОРА ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ 3 ПРОГРАМОВАНОЮ СКВАЖНІСТЮ ДЛЯ НАЛАШТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СХЕМ З МІКРОКОНТРОЛЕРНИМ КЕРУВАННЯМ».....	64
ДОДАТОК Б КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ГЕНЕРАТОРА ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ 3 ПРОГРАМОВАНОЮ СКВАЖНІСТЮ ДЛЯ НАЛАШТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СХЕМ З МІКРОКОНТРОЛЕРНИМ КЕРУВАННЯМ».....	65
ДОДАТОК В КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ПРИНЦИПОВА СХЕМА ГЕНЕРАТОРА ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ 3 ПРОГРАМОВАНОЮ СКВАЖНІСТЮ ДЛЯ НАЛАШТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СХЕМ З МІКРОКОНТРОЛЕРНИМ КЕРУВАННЯМ» ....	66
ДОДАТОК Г КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АЛГОРИТМ РОБОТИ ГЕНЕРАТОРА ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ 3 ПРОГРАМОВАНОЮ СКВАЖНІСТЮ ДЛЯ НАЛАШТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СХЕМ З МІКРОКОНТРОЛЕРНИМ КЕРУВАННЯМ».....	67
ДОДАТОК Д ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	68

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

У сучасній електроніці та інформаційних технологіях цифрові схеми використовуються в широкому діапазоні пристроїв, від мобільних телефонів до високопродуктивних серверів. Розробка та тестування таких схем вимагає належної уваги до процесу налагодження та перевірки. Одним із ключових елементів цього процесу є генератор тестового сигналу, який забезпечує необхідні сигнали для тестування та аналізу роботи цифрових схем.

Метою даної дипломної роботи є розробка генератора тестових сигналів з програмованою комутацією для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням. Запропонована система дозволить регулювати параметри вихідного сигналу з високою точністю та гнучкістю, що дозволить проводити різноманітні тести та дослідження роботи цифрових схем у різних умовах та налаштуваннях.

Актуальність даної теми обумовлена постійним розвитком цифрових технологій і зростаючою потребою в швидкості, надійності та ефективності електронних пристроїв. Гнучкий програмований генератор тестового сигналу робочого циклу може бути важливим інструментом для цифрових інженерів і дослідників, забезпечуючи ефективне налаштування та перевірку цифрових схем, керованих мікроконтролером.

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ

## 1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

У цьому розділі проведено аналіз сучасного стану технологій у сфері генерації випробувальних сигналів для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням. З'ясовано основні проблеми, що виникають у цій області, а також визначено завдання, які потрібно вирішити для успішного розв'язання цих проблем.

З появою складних цифрових схем із зростаючою швидкістю передачі даних та складною логікою роботи, виникає необхідність у високоточних і гнучких засобах для тестування та налагодження таких схем. Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю є одним із важливих інструментів у цьому процесі, оскільки дозволяє створювати різноманітні сигнали з регульованими параметрами, що дозволяє проводити ретельне тестування та налаштування цифрових схем.

В даний час існують різні типи генераторів сигналів з різними рівнями продуктивності і функціональності. Всі генератори мають різні конструкції, параметри та розміри. Відповідно різноманітність генераторів використовується в різних напрямках і цілях і охоплює широкий спектр застосування. Генератори сигналів використовуються в проектуванні та ремонті та усуненні несправностей електронних пристроїв. Кожен універсальний генератор сигналів також здатний генерувати необмежену кількість сигналів для пошуку несправностей та усунення несправностей. Вихідний сигнал генератора Сигнали можна змінювати, регулюючи їх амплітуду та частоту з часом моделювання.

В рамках розробки електронних модулів, схемних компонентів та інших процесів, генератор сигналу служить джерелом імпульсного сигналу. Генератор виробляє змінний у часі амплітудний сигнал, який подається на тестованому компоненті або на високочастотному модулі, фільтр. Форма сигналу може бути довільною або мати вигляд періодичної функції, наприклад - синусоїди. Це може

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бути як цифровий імпульс, так і двійкова послідовність. Найпоширенішими формами хвилі є синусоїда, меандр, пилкоподібні, трикутні та прямокутні сигнали.

Основна перевага генератора сигналів полягає в тому, що він може імітувати реальну несправність, яку можна передбачити заздалегідь у певному місці і часі у досліджуваному колі.

Останнім часом розроблені генератори на мікросхемах прямий цифровий синтез частот (DDS).

Ці пристрої використовуються в промисловості для генерації низькочастотні навігаційні сигнали, що використовуються в стільниковому зв'язку зв'язку, в радарях з довжиною хвилі в міліметровому діапазоні і супутниках. Були навіть створені ручні або портативні генератори синусоїдальної хвилі, наприклад Fg-100, які в свою чергу призначені для роботи в будь-яких умови.

Прямий або когерентний цифровий синтез (DDS) — це технологія, яка використовується для формування сигналів спеціальної і довільної форми. Пристрій на основі цієї технології синтезує багаточастотні гармоніки сигнали від одного або кількох опорних коливань з високою точністю і стабільністю.

DDS унікальний у своїй цифровій ідентичності: подайте сигнал генерується, синтезується з унікальною для цифрових систем точністю. Найпростіший DDS виглядає так: формується двійковий лічильник адреса ПЗП, в якій записана періодична система синусоїдальної функції, значення лічильника з виходу ПЗП передається на ЦАП, який формує синусоїдальний вихідний сигнал, який піддається низькочастотній фільтрації і передається на вихід. Використовується для регулювання вихідної частоти дільник зі змінним коефіцієнтом ділення, на вхід якого подається тактовий сигнал від опорного генератора. Частота, амплітуда і фаза сигналу завжди відомі і точно контрольовані; DDS практично не чутливий до нагрівання дрейф і старіння. Єдиний компонент, який за своєю суттю є нестабільним аналогових схем є цифро-аналоговий перетворювач. Його висока технічність характеристики є причиною того, чому DDS був майже замінений в останні роки звичайні аналогові синтезатори частоти.

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 - DDS генератор сигналів на базі AD9833

#### Основні переваги DDS:

- дуже висока роздільна здатність по фазі та частоті з цифровим управлінням;
- надзвичайно швидке перемикання на іншу частоту (або фазу), регулювання частоти без розмиття фази, без випромінювання тощо часові аномалії;
- архітектура на основі DDS з дуже малими кроками узгодження частоти також усуває необхідність точного налаштування опорної частоти забезпечує параметричну температурну компенсацію;
- цифровий інтерфейс полегшує реалізацію мікроконтролерного управління.

Параметри синтезатора частоти мають велике значення для телекомунікаційного обладнання. Будучи серцем системи управління, синтезатор принципово визначає характеристики енергоспоживання даних одиниць обладнання. З техніко-економічної точки зору DDS відповідає більшість вимог до

ідеального синтезатора частоти: простота, висока інтеграція та малий розмір. Крім того, більшість параметрів DDS керуються програмним забезпеченням, яке дозволяє додавати нові функції.

Сьогодні DDS використовує субмікронну технологію CMOS, 3-вольтову логіку та компактні корпуси. При цьому ціни на них постійно знижуються. Таким чином, DDS є дуже перспективним пристроєм.

Проблеми в сучасних підходах:

1. Обмежені можливості традиційних генераторів сигналів: більшість доступних на ринку генераторів сигналів мають обмежені можливості щодо програмованої скважності та інших параметрів сигналу, що обмежує їх ефективність у налагодженні складних цифрових схем.

2. Необхідність високої точності та стабільності сигналу: для успішного тестування цифрових схем важливо мати сигнал високої якості, що вимагає від генератора забезпечення високої точності та стабільності параметрів сигналу.

3. Підтримка різних стандартів інтерфейсів: з урахуванням широкого спектру цифрових інтерфейсів (наприклад, SPI, I2C, UART), генератор сигналів повинен підтримувати різноманітні стандарти для забезпечення можливості тестування різних пристроїв.

Аналіз предметної області та виявлення проблем і завдань є важливим етапом у визначенні напрямків подальших досліджень та розробки генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням.

Вплив шумів та спотворень: під час роботи з цифровими схемами, особливо на високих швидкостях, велике значення має управління шумами та спотвореннями сигналу.

Шуми можуть виникати з різних джерел, включаючи електромагнітні перешкоди, теплові коливання, а також неідеальності компонентів схеми. Генератор випробувальних сигналів повинен мати вбудовані фільтри та

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компенсаційні схеми для зменшення впливу шумів та спотворень на сигнал, що генерується.



Рисунок 1.2 – Генератор сигналів

Адаптація до змінних умов експлуатації: умови експлуатації цифрових схем можуть різнитися від стабільних лабораторних умов до екстремальних умов реального світу. Генератор сигналів повинен бути здатний адаптуватися до цих змін, забезпечуючи стабільну та надійну роботу. Наприклад, він може автоматично коригувати параметри сигналу відповідно до зміни температури або напруги живлення.

Захист від електромагнітних перешкод: електромагнітні перешкоди можуть впливати на якість сигналу, що генерується, та спричиняти помилки в роботі цифрових схем. Генератор повинен мати заходи захисту, такі як екранування, фільтрація та блокування, щоб уникнути впливу зовнішніх електромагнітних полів на генерований сигнал.

Управління енергоспоживанням: ефективне управління енергоспоживанням є важливим аспектом розробки генератора. Забезпечення оптимального

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

використання енергії дозволить підвищити тривалість роботи пристрою від батарей, знизити тепловиділення та споживання електроенергії.

Робочі режими та діапазони частот: генератор випробувальних сигналів повинен бути здатний працювати в різних режимах роботи, що включають в себе режими низької, середньої та високої частоти. Крім того, він повинен підтримувати широкий діапазон частот для відповідності різноманітним вимогам цифрових схем.

Реалізація алгоритмів генерації сигналу: генератор може використовувати різні алгоритми для генерації випробувальних сигналів, такі як DDS (Direct Digital Synthesis), імпульсна модуляція, генерація за допомогою таблиць лінійних чи нелінійних перетворювачів та інші. Вибір алгоритму може впливати на якість сигналу та вимоги до обчислювальних ресурсів.

Інтерфейс користувача та налаштування параметрів: для зручного управління генератором та налаштування параметрів сигналу важливо розробити зручний інтерфейс користувача. Це може бути здійснено за допомогою LCD-дисплея, кнопок, енкодерів, а також інтерфейсів зовнішнього керування, таких як UART, USB або Ethernet.

Стійкість до перепадів напруги та відновлення роботи після відключення живлення: генератор повинен бути стійким до перепадів напруги та інших електричних шоків, які можуть виникнути під час роботи.

Крім того, він повинен мати можливість автоматичного відновлення роботи після відключення живлення, щоб уникнути втрати даних та налаштувань.

Можливості відлагодження та діагностики помилок: генератор може мати вбудовані засоби для відлагодження та діагностики помилок, такі як вивід інформації про стан сигналу на екран, запис журналів подій або відправлення повідомлень про помилки через інтерфейс зв'язку.

Гнучкість у виборі типу сигналу: генератор повинен бути здатний генерувати різні типи сигналів в залежності від потреб користувача.

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це може включати в себе можливість генерації цифрових імпульсів, аналогових сигналів з різними формами та параметрами, а також імітацію реальних сценаріїв взаємодії з іншими пристроями.

Урахування особливостей цифрових схем: розуміння особливостей конкретних цифрових схем, які будуть тестуватися, є ключовим елементом проекту генератора. Наприклад, для високочастотних схем може бути важливою точність фронтів і спадів сигналу, а для цифрових інтерфейсів - правильне вироблення сигналів старту та стопу.

Розробка інтерфейсу користувача: важливим елементом генератора є зручний інтерфейс для користувача. Це може бути як програмне забезпечення для взаємодії з генератором через комп'ютер, так і апаратне забезпечення для простого налаштування параметрів генерації сигналу безпосередньо на пристрої.

Управління динамічним діапазоном: генератор випробувальних сигналів повинен бути здатний працювати в широкому діапазоні частот та амплітуд, що відповідає різноманітним вимогам до тестування цифрових схем. Важливо забезпечити збереження якості сигналу в усіх режимах роботи.

Режими роботи та налаштування параметрів: генератор повинен мати різні режими роботи, такі як постійний сигнал, певна послідовність, діапазон частот або випадковий сигнал. Також важливо мати можливість програмно змінювати параметри сигналу, такі як амплітуда, частота, скважність, фаза тощо.

Модуляція сигналів: додатковою можливістю може бути підтримка модуляції сигналів, що дозволить створювати складніші сигнали зі змінюваними параметрами. Наприклад, амплітудна, фазова чи частотна модуляція.

Калібрування та самокалібрування: для забезпечення точності та стабільності сигналу важливо мати можливість калібрувати генератор та виконувати його самокалібрування періодично.

Це дозволить уникнути дрейфу параметрів сигналу з часом та зберігати високу точність роботи.

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Методи тестування та аналізу сигналів: важливо мати вбудовані засоби тестування та аналізу сигналів для виявлення помилок у цифрових схемах. Це може включати в себе вбудовані функції вимірювання, аналізу та порівняння вихідних сигналів зі зразками.

## 1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень

Генератор сигналів UNI-T UTG1010A.

UNI-T UTG1010A - це високоякісний настільний генератор випадкових змін сигналів з доступною технологією прямого цифрового синтезу (DDS) і великим кольоровим дисплеєм, як показано на рисунку 1.3.

За даними, зазначеними виробником, генератор може генерувати різні типи сигналів, в тому числі прямокутні, синусоїдальні, лінійні, трикутні, імпульсні, шум, постійний струм і довільна форма.

Прилад має вихідну частоту 10 МГц, роздільна здатність по частоті 1 мкГц і роздільна здатність по вертикалі ємність 14 біт. UNI-T UTG1010A також підтримує такі режими модуляції, як AM, FM, PM, ASK, FSK і PWM.

За словами виробника, генератор має наступні технологічні особливості.

Особливості:

- генерує різні типи сигналів, включаючи квадратні, синусоїдальні, лінійні, трикутні, імпульсні, шумові, DC і довільної форми;
- частота дискретизації — 125 МВиб/с;
- вихідна частота 10 МГц;
- частотна роздільність 1 мкГц;
- вертикальна роздільність 14 біт;
- діапазон вихідної амплітуди 1 мВпік-пік — 10 Впік-пік (50 Ом); 2 мВпік-пік — 20 Впік-пік (1 МОм);
- різні типи модуляції: AM, FM, PM, ASK, FSK, PWM;
- інтерфейси USB device, USB host і LAN;

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- екран: 4,3-дюймовий 64 К кольоровий TFT РКД;
- відповідає стандартам EN 61010-1 и CAT III 300V.

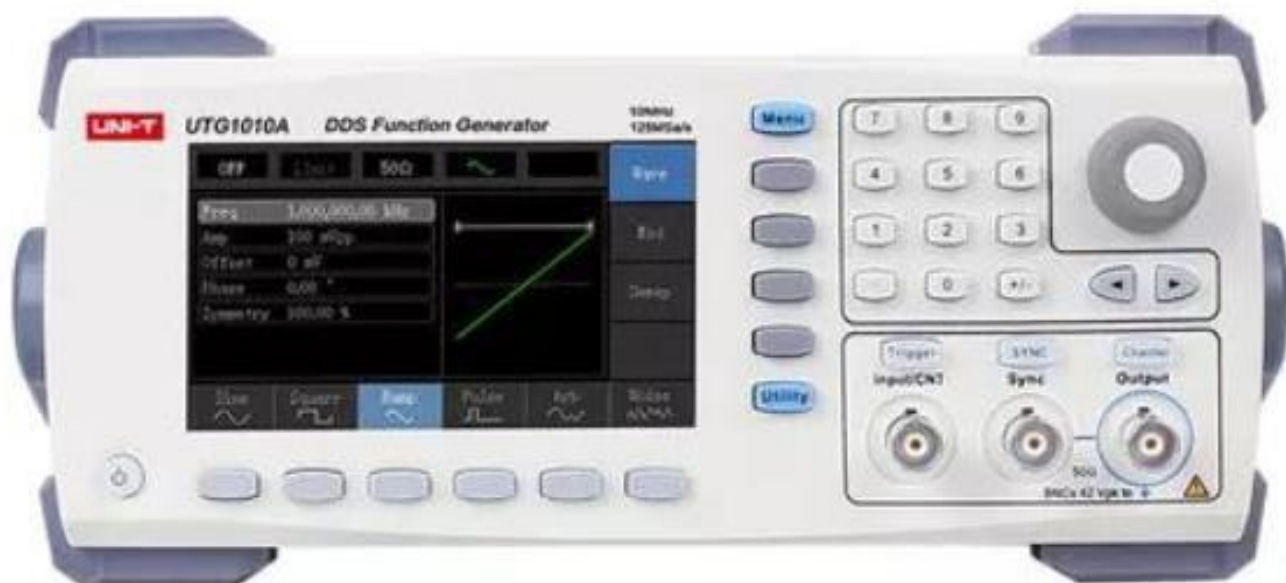


Рисунок 1.3 – Генератор сигналів UNI-T UTG1010A

Генератор сигналів FNIRSI SG-003A.

Генератор сигналів FNIRSI SG-003A – компактний 1-канальний цифровий генератор сигналу в захисному силіконовому чохлах. Відповідно до виробник, він виводить сигнали напруги та струму та може імітувати сигнали ШІМ, а також сигнали від датчиків і систем управління.

Генератор сигналів призначений для налагодження ПЛК, технологічного обладнання, а також для електричних клапанів.

За заявою виробника, генератор має наступні технологічні особливості і характеристики, які показано в таблиці 1.1.

Особливості:

- має зручний інтерфейс, простий у використанні;
- компактні розміри, вага всього 123 г;
- функція автоматичного відключення;
- індикатор низького заряду батареї;
- захист від перевантаження по струму;

- підсвічування кнопок і дисплея;
- вбудований акумулятор 3000 мАг; стягується з USB-C.

Таблиця 1.1 – Характеристики генератора сигналів FNIRSI SG-003A

Активний вихідний струм	0-24 мА, точність $\pm (0,1\% + 0,005)$ , роздільна здатність 0,01 мА, максимальне навантаження: 750 Ом
Вхідна напруга	0-30 В, точність $\pm (0,1\% + 0,05)$ , роздільна здатність 0,01 В
Вхідний струм	0-24 мА, точність $\pm (0,1\% + 0,05)$ , роздільна здатність 0,01 мА
Вихідна напруга	0-15 В, точність $\pm (0,1\% + 0,005)$ , роздільна здатність 0,01 В
Діапазон частот	0,001 Гц-180 кГц
Інтерфейс	USB Type-C (5 В)
Пасивний вихідний струм	0-24 мА, точність $\pm (0,1\% + 0,005)$ , роздільна здатність 0,01 мА, зовнішнє джерело живлення: 0-30 В
Живлення	вбудована літієва батарея 3,7 В з ємністю 3000 мАг
Робоча температура, °С	0 ~ 5
Розміри, мм	92 × 72 × 30
Робочий цикл	0-100%, точність $\pm 2\%$ , роздільна здатність 1%;
Батарея	близько 8 годин

Генератор сигналів SIGLENT SDG805. Завдяки інноваційній технології EasyPulse генератор сигналу SIGLENT SDG805 може генерувати швидко,

незалежне від частоти зростання/спад цифрових сигналів з низьким вбудованим тремтінням і тонким налаштуванням шпаруватість, фронт і тривалість імпульсів. Зовнішній вигляд генератора показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Генератор сигналів FNIRSI SG-003A

За даними виробника, генератор має наступні особливості.

Особливості:

- технологія DDS;
- одноканальний вихід;
- частота дискретизації 125 Мбайт/с;
- вертикальна роздільна здатність 14 біт;

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 5 типів стандартних вихідних сигналів, 46 типів вбудованих сигналів довільна форма (в тому числі ДК);
- повний набір функцій модуляції: AM, DSB-AM, FM, PM, FSK, ASK, PWM, Sweep, Burst;
- вхід/вихід: вихід осцилограм, вихід синхронних сигналів, вхід зовнішній запуск;
- стандартні інтерфейси: USB Device, USB Host;
- поставляється з потужним програмним забезпеченням для редагування довільних сигналів форми;
- підтримує дистанційне керування.



Рисунок 1.5 - Генератор сигналів SIGLENT SDG805

### 1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження

Відповідно до технічного завдання, сформований діапазон частот має бути 0-12,5 МГц. Параметри живлення: напруга - 5 В, струм не повинен перевищувати 500 мА, рекомендований вхідний роз'єм USB типу В.

Прилад повинен мати зручний і ергономічний корпус для зручності використання, портативності і транспортування. Пристрій може

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуватися в помірно холодному кліматі УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69, що передбачає наступні умови:

- робоча температура в діапазоні від +35 °С до +5 °С;
- гранична температура в межах від +35 °С до +0 °С;
- середнє значення відносної вологості повітря становить 70% температура +15 °С;
- граничне значення відносної вологості повітря становить 85% при температурі +20 °С;
- робоче значення атмосферного тиску – 103 кПа;
- мінімально допустиме значення атмосферного тиску 83 кПа.

Транспортування здійснюється згідно з ГОСТ 23216-78. Перевезення без перевантаження автотранспортом - транспортними засобами з пневматичними амортизаторами по дорогах з асфальтобетонним покриттям (дороги 1 категорії згідно з будівельними нормами і правилами, затвердженими Укравтодором) на відстань до 1000 км. Відповідно до ГОСТ 30773-2001 утилізацію здійснює виробник. У процесі утилізації всі частини пристрою поділяються на дві групи: ті, що йдуть на повну ліквідацію та на переробку.

Прилад повинен мати гарантійний термін не менше 1 року і середній час роботи не менше 12 000 годин. Ремонт і технічне обслуговування повинен здійснювати виробник. Корпус повинен бути відкидним, щоб пристрій можна було відремонтувати

#### 1.4 Постановка задачі

Мета роботи: розробити ефективний та надійний генератор випробувальних сигналів, який забезпечує програмовану скважність та інші необхідні параметри сигналу для належного налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням.

Завдання:

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

1. Аналіз вимог користувачів до функціональності та параметрів сигналу.
2. Вибір апаратної платформи та компонентів для реалізації генератора.
3. Розробка алгоритмів генерації сигналу з програмованою скважністю.
4. Розробка схеми структурної, функціональної та принципової.
5. Тестування генератора на відповідність вимогам та його оптимізація.

Очікувані результати: отриманий генератор випробувальних сигналів має відповідати вимогам користувачів щодо точності, стабільності та програмованої скважності сигналу. Результати досліджень та тестувань повинні бути представлені у відповідній формі для подальшого аналізу та використання.

### 1.5 Висновки

Дослідження та розробка генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням є важливим етапом у сучасній електроніці. На основі проведеного аналізу та виконання завдань дипломної роботи можна зробити наступні висновки:

1. **Необхідність генератора випробувальних сигналів:** висока складність сучасних цифрових схем вимагає належного налаштування та тестування під час розробки та експлуатації. Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю дозволяє ефективно вирішувати цю задачу.

2. **Важливість програмованої скважності:** можливість програмування скважності сигналу є важливою функціональністю для дослідження та налаштування цифрових схем. Вона дозволяє створювати різноманітні тести та сигнали, що відображають реальні умови роботи схеми.

3. **Вибір апаратної платформи та алгоритмів:** при розробці генератора необхідно ретельно вибрати апаратну платформу та розробити ефективні алгоритми генерації сигналу. Це впливає на точність, стабільність та швидкість роботи генератора.

4. Тестування та оптимізація: важливим етапом є тестування розробленого генератора на відповідність вимогам та його подальша оптимізація. Це дозволяє підвищити ефективність та надійність роботи генератора.

Загальною метою дипломної роботи є розробка та впровадження ефективного генератора випробувальних сигналів, який забезпечить високу точність та стабільність сигналу для належного налаштування та тестування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням. В результаті виконання роботи можливо підвищити якість та швидкість розробки електронних пристроїв та зменшити час їх випробування перед випуском на ринок.

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ КОНСТРУЮВАННЯ СИСТЕМИ ТА ЇХ ОБГРУНТУВАННЯ

### 2.1 Мікроконтролер

Розглядаючи вибір мікроконтролера для створення генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем, то ось характеристики, які були враховані при обранні конкретного мікроконтролера:

1. В першу чергу було проаналізовано чи обраний мікроконтролер має вбудований модуль PWM з достатньою роздільною здатністю і можливістю програмного керування параметрами, такими як частота і скважність сигналу.

2. Також важливий момент, наскільки легко можна знайти інформацію про пристрій, його компоненти та ймовірні проблеми. Наприклад, популярні мікроконтролери, такі як Arduino Uno, Arduino Nano, або платформа ESP8266/ESP32, мають велику спільноту користувачів і багато доступних ресурсів для початківців.

3. Було звернуто увагу на інтерфейси мікроконтролера, для того щоб він мав все необхідне для коректної роботи генератора. Для генератора важлива наявність цифрових входів/виходів (GPIO), аналогових входів, можливість роботи з UART, I2C, SPI тощо.

4. Програмне забезпечення – це важлива частина будь якого проекту. Тому було перевірено доступність середовища розробки і програмного забезпечення для обраної платформи.

5. Для генератора важливі характеристики мікроконтролера, а саме швидкість роботи, обсяг пам'яті, наявність ADC (аналогово-цифрового перетворювача) для зчитування аналогових сигналів тощо.

6. Вартість мікроконтролера та його доступність для придбання може бути важливим, особливо для прототипування і випробування.

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Активність спільноти користувачів обраної платформи. Наявність підтримки і готових рішень може спростити розробку і вирішення потенційних проблем.

Загалом, обираючи мікроконтролер для генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю, слід керуватися конкретними вимогами проєкту, технічними можливостями і перевагами обраної платформи, щоб забезпечити успішну реалізацію системи налаштування цифрових схем.

Arduino - це невелика керуюча плата з власним процесором та пам'яттю. Крім них на платі є пара десятків контактів, до яких можна підключати всілякі компоненти: світлодіоди, датчики, мотори, чайники, роутери, магнітні замки дверей і взагалі все, що працює від електрики. У процесор Ардуїно можна завантажити програму, яка керуватиме всіма цими пристроями за заданим алгоритмом. Таким чином можна створити безліч унікальних класних гаджетів, зроблених своїми руками і за власним задумом.

Arduino - це ефективний засіб розробки програмованих електронних пристроїв, які, на відміну від персональних комп'ютерів, орієнтовані тісно взаємодію Космосу з навколишнім світом. Ардуїно - це відкрита програмована апаратна платформа для роботи з різними фізичними об'єктами і є простою платою з мікроконтролером, а також спеціальне середовище розробки для написання програмного забезпечення мікроконтролера. Ардуїно може використовуватися для розробки інтерактивних систем, керованих різними датчиками та перемикачами. Такі системи можуть управляти роботою різних індикаторів, двигунів та інших пристроїв. Проєкти Ардуїно можуть бути як самостійними, так і взаємодіяти з програмним забезпеченням, що працює на персональному комп'ютері (наприклад, програмами Flash, Processing, MaxMSP). Будь-яку плату Ардуїно можна зібрати вручну або купити готовий пристрій; середовище розробки для програмування такої плати має відкритий вихідний код і є повністю безкоштовним. Мова програмування Ардуїно є реалізацією схожої апаратної платформи "Wiring", заснованої серед програмування мультимедіа "Processing".

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Arduino Uno є одним з найпопулярніших і поширених мікроконтролерів серії Arduino. Він має ряд особливостей, які роблять його ідеальним для початкових та середніх проектів з електроніки та програмування. Плата зображена на рисунку 2.1.

На відміну від всіх попередніх плат Arduino, Uno в якості перетворювача інтерфейсів USB-UART використовує мікроконтролер ATmega16U2 (ATmega8U2 до версії R2) замість мікросхеми FTDI. На платі Arduino Uno версії R2 для спрощення процесу оновлення прошивки доданий резистор, що підтягує до землі лінію HWB мікроконтролера 8U2. Характеристики плати показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики Arduino Uno

1	2
Мікроконтролер	Arduino Uno використовує мікроконтролер ATmega328P від Microchip (раніше від Atmel). Це 8-бітний мікроконтролер з тактовою частотою 16 МГц.
Пам'ять	У Arduino Uno є 32 Кб флеш-пам'яті для зберігання програмного коду (деякі з них використовуються для завантаження заготовок), 2 Кб оперативної пам'яті (SRAM) і 1 Кб EEPROM.
Інтерфейси	Arduino Uno має 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть бути використані як PWM виходи), 6 аналогових входів, UART (для з'єднання з комп'ютером або іншими пристроями), I2C і SPI інтерфейси.
Живлення	Мікроконтролер живиться від USB або зовнішнього джерела живлення від 7 до 12 вольт. Вихідний струм через вбудований регулятор струму 5V складає 1А. Як зовнішнє джерело живлення (не USB) може використовуватися мережевий AC/DC-адаптер або акумулятор/батарея.

Кінець таблиці 2.1 – Основні характеристики Arduino Uno

1	2
Програмування	Arduino Uno може програмуватися за допомогою Arduino IDE, яка базується на мові програмування C/C++. Він має простий інтерфейс, що Arduino Uno може програмуватися за допомогою Arduino IDE, яка базується на мові програмування C/C++. Він має простий інтерфейс, що спрощує створення програм та завантаження їх на плату
Сумісність	Arduino Uno сумісний з багатьма додатковими модулями (шілдами), що дозволяє розширювати функціональність плати. Також існує велика спільнота користувачів, яка підтримує розробку та

Обмеження Arduino Uno: хоча Arduino Uno є потужним інструментом для багатьох проектів, він також має свої обмеження:

- обсяг пам'яті: для складних проектів з великою кількістю коду і даних може бути недостатньо 32 Кб флеш-пам'яті;
- швидкість: завдяки 8-бітному мікроконтролеру, Arduino Uno може мати обмеження на швидкість обробки деяких завдань;
- обмеженість входів/виходів: для деяких проектів може знадобитися більше аналогових або цифрових входів/виходів, ніж доступно на Arduino Uno.

Загалом, Arduino Uno є чудовим вибором для багатьох початкових і середніх проектів з електроніки та програмування.

Він простий у використанні, має велику спільноту користувачів і може бути використаний для розвитку різних цікавих пристроїв і систем.

Arduino Nano є компактною версією мікроконтролера Arduino, яка має подібні можливості до Arduino Uno, але в меншому форм-факторі. За функціональністю пристрій схожий на Arduino Duemilanove, і відрізняється від

нього розмірами та відсутністю роз'єму живлення. Характеристики плати Arduino Nano наведено у таблиці 2.2. А сама плата зображена на рисунку



Рисунок 2.1 - Arduino Uno

Таблиця 2.2 – Основні характеристики Arduino Nano

1	2
Мікроконтролер	Arduino Nano використовує той самий мікроконтролер ATmega328P, як і Arduino Uno. Це 8-бітний мікроконтролер з тактовою частотою 16 МГц.
Пам'ять	У Arduino Nano такі ж параметри пам'яті, як і у Arduino Uno: 32 Кб флеш-пам'яті для програмного коду, 2 Кб оперативної пам'яті (SRAM) і 1 Кб EEPROM.
Інтерфейси	Arduino Nano має 14 цифрових входів/виходів (6 з них можуть бути використані як PWM виходи), 8 аналогових входів, UART (для з'єднання з комп'ютером або іншими пристроями), I2C і SPI інтерфейси.

Кінець таблиці 2.2 – Основні характеристики Arduino Nano

1	2
Живлення	Мікроконтролер живиться від USB або зовнішнього джерела живлення від 7 до 12 вольт. Вихідний струм через вбудований регулятор струму 5V складає 1А
Розмір і форм-фактор	Arduino Nano має компактні розміри (приблизно 45x18 мм) і може бути легко використаний в пристроях з обмеженим простором.
Програмування	Arduino Nano програмується за допомогою Arduino IDE, яка базується на мові програмування C/C++. Це дозволяє вам створювати програми для різних проектів.
Сумісність	Arduino Nano сумісний з багатьма додатковими модулями (шілдами) та додатковими компонентами, які розширюють його функціональність.

Обмеження Arduino Nano: деякі обмеження Arduino Nano подібні до Arduino Uno.

- Обсяг пам'яті: для деяких проектів з великим обсягом коду і даних може бути недостатньо 32 Кб флеш-пам'яті.
- Швидкість: внаслідок використання 8-бітного мікроконтролера, Arduino Nano може мати обмеження на швидкість обробки деяких завдань.
- Обмеженість входів/виходів: для деяких проектів може знадобитися більше входів/виходів, ніж доступно на Arduino Nano.

Плата Arduino Nano зображена на рисунку 2.2.

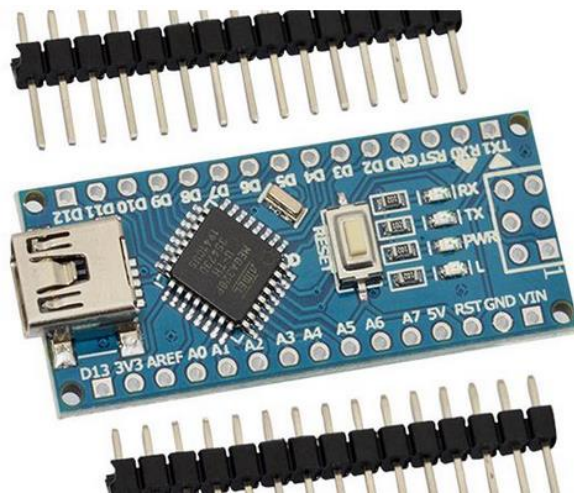


Рисунок 2.2 - Arduino Nano

Arduino Nano є чудовим вибором для проектів, де важливі компактність і невеликий розмір плати. Він має ті ж базові можливості, що й Arduino Uno, але в меншому форм-факторі, що робить його ідеальним для вбудованих систем та пристроїв з обмеженим простором. При використанні Arduino Nano варто враховувати його обмеження щодо пам'яті та кількості входів/виходів, але для багатьох проектів це може бути оптимальним рішенням.

Для створення генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю на базі ESP8266 або ESP32 для налаштування цифрових схем потрібно буде використовувати PWM (пульсово-широтну модуляцію), доступну на цих мікроконтролерах.

ESP8266 має вбудований модуль PWM, який можна використовувати для генерації сигналів з програмованою скважністю. Ось кроки та особливості реалізації генератора на ESP8266:

Мікроконтролер не має на кристалі енергонезалежної пам'яті для користувача. Виконання програми ведеться із зовнішнього SPI ПЗП шляхом динамічного завантаження необхідних проміжків програми в КЕШ інструкцій.

1. Підключення до ESP8266: підключіть ESP8266 до живлення та з'єднайте його з комп'ютером для програмування.

2. Налаштування PWM: використовуйте вбудований модуль PWM для генерації сигналів з різною скважністю. ESP8266 має до 8 каналів PWM для використання.

3. Програмування скважності: напишіть програму на мові Arduino (використовуючи Arduino IDE) для зміни скважності PWM згідно з ваших потреб. Ви можете програмно керувати скважністю для генерації різних сигналів.

4. Підключення до цифрових схем: виведіть сигнал з PWM на вхід цифрової схеми, яку ви хочете налаштувати. Змінюючи скважність PWM, ви можете проводити тестування реакції цієї схеми на різні вхідні сигнали.

Мікроконтролер ESP8266 зображений на рисунку 2.3.

ESP32 є більш потужним і функціональним мікроконтролером порівняно з ESP8266, і він також має вбудований модуль PWM для генерації сигналів з програмованою скважністю.

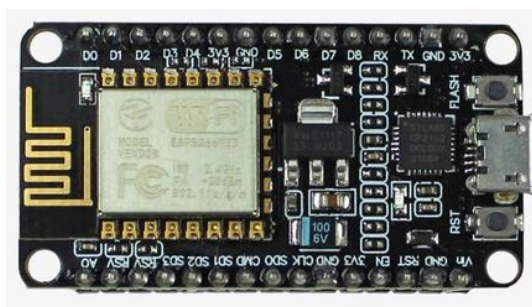


Рисунок 2.3 – ESP8266

У серії ESP32 використовується мікропроцесор Tensilica Xtensa LX6 в двоядерних та одноядерних варіаціях та включає вбудовані антенні перемикачі, радіочастотний балун, підсилювач потужності, приймач з низьким рівнем шумів, фільтри та модулі керування живленням. Мікроконтролер ESP32 зображено на рисунку 2.4.

ESP32 створений та розроблений компанією Espressif Systems, китайською компанією, розташованою у Шанхаї, а виробляється компанією TSMC. Він є наступником мікроконтролера ESP8266.

1. Підключення до ESP32: підключіть ESP32 до живлення та з'єднайте його з Arduino IDE для програмування.
2. Налаштування PWM: використовуйте вбудований модуль PWM ESP32 для генерації сигналів з програмованою скважністю. ESP32 має більше каналів PWM (до 16), що розширює можливості генерації різноманітних сигналів.
3. Програмування скважності: напишіть програму на Arduino для зміни скважності PWM і генерації необхідних сигналів.
4. Підключення до цифрових схем: підключіть вихід PWM ESP32 до вхідної лінії цифрової схеми для налаштування і тестування.

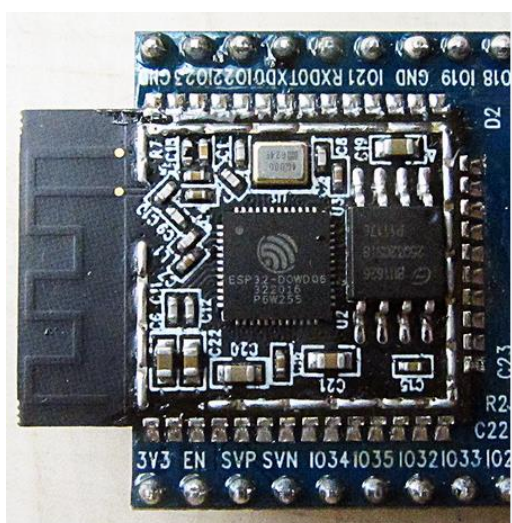


Рисунок 2.4 – ESP32

1. Wi-Fi підтримка: якщо вашому проекту потрібна підтримка Wi-Fi для зв'язку з іншими пристроями або хмарними сервісами, ESP8266 або ESP32 будуть кращими виборами, оскільки вони мають вбудований Wi-Fi модуль.
2. Більші можливості: ESP32 має більше каналів PWM і додаткові функції порівняно з ESP8266, що може бути корисним для складніших проектів.
3. Спільнота і підтримка: обидва мікроконтролери мають велику спільноту користувачів і багато доступних ресурсів для розробки, що спрощує процес програмування та вирішення проблем.

4. Вартість і доступність: ESP8266 і ESP32 доступні за розумною ціною і легко доступні для придбання.

## 2.2 Програмне забезпечення

Для створення програмного забезпечення для генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням було використано Arduino IDE але можна застосувати і іншу платформу, яка підтримує мікроконтролер ESP8266 або ESP32. Їх порівняння зображено у таблиці 2.3.

Кроки розробки:

1. Обрання мікроконтролера: визначити, який мікроконтролер (ESP8266 або ESP32) буде використовуватись для реалізації генератора сигналів. Обидва вони підтримують PWM, що дозволяє генерувати сигнали з різною скважністю.

2. Налаштування PWM: використання можливості PWM мікроконтролера для генерації сигналів з програмованою скважністю. Це зазвичай відбувається за допомогою функцій у програмному коді, які налаштовують частоту і скважність PWM.

3. Написання програми: використовуйте Arduino IDE або інші середовища розробки для написання програми для мікроконтролера. У програмі ви можете створити функції для зміни скважності PWM в залежності від ваших потреб.

4. Зв'язок з цифровими схемами: підключіть вихід PWM мікроконтролера до вхідної лінії цифрових схем, які ви хочете налаштувати або випробувати. За допомогою зміни скважності PWM ви можете створювати різні вхідні сигнали для тестування схем.

5. Тестування і налагодження: проведіть тестування програмного забезпечення і впевніться, що генератор сигналів працює правильно і може належним чином налаштувати цифрові схеми.

Таблиця 2.3 – Порівняння мікроконтролерів ESP8266 та ESP32

ESP8266	Цей мікроконтролер є відмінним вибором для створення простого генератора сигналів з функціями віддаленого керування або моніторингу через Wi-Fi.
ESP32	Даний мікроконтролер забезпечує більшу обчислювальну потужність, має більше каналів PWM і додаткові функції, такі як Bluetooth та вбудований OLED дисплей, що робить його більш підходящим для складніших завдань.

Для створення програмного забезпечення на базі Arduino для генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю, який буде використовуватися для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням, необхідно скористатися можливостями PWM (пульсово-широтної модуляції) мікроконтролера Arduino. Нижче наведено загальний підхід до створення такого програмного забезпечення.

Перш за все, підключається мікроконтролер до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Наступним кроком є використання вбудованого модуля PWM мікроконтролера для генерації сигналів з програмованою скважністю. Модуль PWM дозволяє налаштовувати скважність сигналу, що дозволяє керувати вимірюванням сигналу для налаштування цифрових схем.

Далі слід написати програму за допомогою Arduino IDE (інтегроване середовище розробки). Програма повинна містити функції для зміни скважності PWM в залежності від заданих даних. Після написання програми підключається вихід PWM мікроконтролера до вхідної лінії цифрових схем, які потрібно налаштувати або випробувати.

Arduino є популярною платформою розробки з великою спільнотою користувачів і великою кількістю доступної документації і бібліотек. Вона проста у використанні і ідеально підходить для початківців. Крім того, багато

мікроконтролерів підтримують PWM, що дозволяє легко реалізувати генератор випробувальних сигналів.

Створення генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням може бути реалізовано за допомогою мікроконтролерів Arduino і вбудованої підтримки PWM. Висновок щодо програмного забезпечення для створення генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю.

У таблиці 2.4. стисло викладено висновок стосовно порівняння Arduino та ESP8266 для генератора.

Таблиця 2.4 – Висновок щодо програмного забезпечення

Arduino	ESP8266
1	2
Arduino хороша створення генератора сигналів, якщо вже є досвід роботи з цією платформою або необхідне просте та зрозуміле середовище розробки.	ESP8266 буде кращим, якщо потрібна додаткова функціональність, така як вбудований Wi-Fi або більше каналів PWM для складніших сценаріїв.
Arduino Uno та Arduino Nano підтримують PWM, що дозволяє генерувати сигнали з програмованою скважністю.	ESP8266 та ESP32 також підтримують Arduino IDE, а плати розгортання розширюють електропроводку і можуть додавати функціональність, полегшуючи їх використання в цілях розробки

## Кінець таблиці 2.4 – Висновок щодо програмного забезпечення

1	2
Краще обрати Arduino коли потрібен простий і надійний підхід до створення генератора випробувальних сигналів без додаткових функцій зв'язку.	ESP8266 та ESP32 дають більше каналів PWM тому вона підійде більше для генератора випробувальних сигналів..

### 2.3 Модуль PWM

Для створення модуля PWM-генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням можна використовувати мікроконтролери, які підтримують генерацію PWM (пульсово-широтної модуляції), такі як Arduino Uno, ESP8266 або ESP32.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) – це метод керування аналоговими сигналами з використанням цифрових методів. ШІМ використовується для керування потужністю, що подається на електричні пристрої, такі як двигуни, світлодіоди та інші пристрої.

Основні параметри ШІМ Частота ШІМ: це кількість циклів за секунду, в яких відбувається зміна стану (включення та вимкнення). Частота вимірюється у герцах (Гц).

Робочий цикл: це відношення часу, протягом якого сигнал знаходиться у високому стані (включено), до загального часу одного циклу. Вимірюється у відсотках.

Керування швидкістю двигунів: змінюючи робочий цикл, можна регулювати середню потужність, що подається на двигун, що змінює його швидкість.

Регулювання яскравості світлодіодів: змінюючи робочий цикл, можна контролювати кількість світла, що випромінюється світлодіодом.

Аудіопрограми: використовується для генерації звукових хвиль та мелодій.

На ринку доступні окремі модулі ШІМ, які можуть бути використані як розширення для мікроконтролерів, забезпечуючи додаткову гнучкість та можливості для керування.

Драйвери двигунів: використовуються для управління потужнішими двигунами, які споживають більше струму, ніж може забезпечити сам мікроконтролер.

ШІМ може застосовуватись для регулювання яскравості світлодіода: підключити світлодіод через резистор до ШІМ -виводу мікроконтролера та змінювати робочий цикл для регулювання яскравості.

Керування швидкістю вентилятора: підключити вентилятор через транзистор до ШІМ-виводу та змінювати робочий цикл для регулювання швидкості обертання вентилятора.

Переваги використання ШІМ:

1. Ефективне керування потужністю без значних втрат енергії.
2. Гнучкість у керуванні аналоговими пристроями за допомогою цифрових сигналів.
3. Простота реалізації та широка підтримка у різних мікроконтролерах.

Arduino Uno – це популярний мікроконтролер з великою спільнотою користувачів і простим інтерфейсом. Хоча Arduino Uno має обмежені можливості порівняно з ESP8266 або ESP32, він все ще добре підходить для багатьох простих проектів, включаючи генерацію PWM сигналів:

1. Бібліотека PWM: Arduino Uno використовує вбудований `analogWrite()` для генерації PWM сигналу. Це дозволяє встановлювати скважність сигналу в діапазоні від 0% до 100% (від 0 до 255).

2. Частота PWM: частота PWM на Arduino Uno стандартно складає приблизно 490 Гц. Ця частота може бути достатньою для багатьох додатків, але вона не є налаштовуваною.

3. Максимальний струм і потужність: потужність виходу PWM Arduino Uno обмежена інтегральною схемою, тому для великих струмів або потужностей необхідно використовувати допоміжні електронні модулі або транзисторні ключі.

Щодо модуля PWM в Arduino Uno, то він містить 6 каналів PWM (піни 3, 5, 6, 9, 10, 11).

Частота PWM за замовчуванням приблизно 490 Гц.

Можливість генерації сигналів з програмованою скважністю від 0% до 100% за допомогою функції `analogWrite(pin, value)`.

Arduino Uno дуже простий у використанні і підходить для початківців. Однак, він має обмежені можливості порівняно з ESP8266 або ESP32, особливо коли потрібна підтримка Wi-Fi або більш складні операції з PWM.

ESP8266 - це мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi, що робить його ідеальним вибором для IoT проектів. Цей мікроконтролер має обмежені можливості PWM порівняно з ESP32, але все ще може бути використаний для генерації PWM сигналів.

ESP8266 підтримує ШІМ (широтно-імпульсну модуляцію) на будь-якому зі своїх GPIO-пінів. ШІМ на ESP8266 дозволяє керувати різними пристроями, такими як світлодіоди, двигуни та інші, що потребують аналогового керування.

Одноканальний PWM: ESP8266 має лише один канал з PWM (пін GPIO 15), що обмежує можливості генерації PWM сигналів порівняно з іншими мікроконтролерами.

Бібліотека PWM: ESP8266 також використовує функцію `analogWrite()` для керування скважністю PWM. Однак, використання інших каналів PWM або додаткових бібліотек може бути складніше через обмежену кількість каналів.

Інтеграція з Wi-Fi: однією з основних переваг ESP8266 є його вбудована підтримка Wi-Fi, що дозволяє створювати IoT пристрої з підтримкою зв'язку через мережу.

Що стосується PWM у мікроконтролері ESP8266 має вбудовану підтримку ШІМ (широтно-імпульсної модуляції), що дозволяє керувати яскравістю

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світлодіодів, швидкістю двигунів та іншими аналоговими параметрами. Для керування ШІМ на ESP8266 часто використовується бібліотека ESP8266WiFi у середовищі розробки Arduino IDE. Однак для більш складних і специфічних завдань можна використовувати функції SDK ESP8266. ESP8266 має лише один канал PWM (пін GPIO 15).

Основні параметри ШІМ на ESP8266.

Висновки: ШІМ може бути налаштований на будь-якому доступному GPIO-піні.

Частота ШІМ ESP8266 може бути налаштована в діапазоні від 1 Гц до 1 кГц.

Діапазон: значення ШІМ варіюються від 0 до 1023, де 0 - це 0% (висновок завжди низький), а 1023 - це 100% (висновок завжди високий).

Налаштування скважності PWM відбувається за допомогою функції `analogWrite(pin, value)`.

ESP8266 добре підходить для простих IoT проектів, де потрібна підтримка Wi-Fi, але для складніших задач може бути вигіднішим використання ESP32.

ESP32 має розширені можливості ШІМ порівняно з ESP8266 завдяки вбудованому периферійному модулю LEDC (LED Control). Цей модуль дозволяє керувати ШІМ на декількох каналах з високою точністю та частотою. У ESP32 є два режими роботи ШІМ: висока та низька швидкість.

ESP32 - це потужний мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi і Bluetooth, який має багато каналів PWM і розширені можливості порівняно з Arduino Uno і ESP8266.

1. Багатоканальний PWM: ESP32 має до 16 каналів PWM, що робить його ідеальним вибором для складних додатків, де потрібна генерація багатьох PWM сигналів одночасно.

2. Розширені можливості налаштування PWM: ESP32 підтримує більш розширені налаштування частоти, скважності і фази PWM через бібліотеку `ledc.h`.

3. Підтримка Wi-Fi і Bluetooth: ESP32 має вбудовану підтримку Wi-Fi і Bluetooth, що розширює можливості для розробки IoT пристроїв.

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні характеристики ШІМ на ESP32.

Висновки: ШІМ може бути налаштований на будь-якому з доступних GPIO-пінів.

Канали: ESP32 підтримує до 16 незалежних каналів ШІМ.

Таймери: вбудовані 4 таймери ШІМ, які можуть бути використані для налаштування частоти та роздільної здатності.

Роздільна здатність: до 20 біт дозволу, що забезпечує високу точність.

ESP32 має до 16 каналів PWM.

Частота PWM може бути налаштована в широкому діапазоні, включаючи кілька кілогерц.

Можливість налаштовувати частоту, скважність і фазу PWM з використанням бібліотеки ledc.h.

Бібліотека ledc.h використовується в середовищі розробки ESP-IDF (ESP8266 та ESP32) для керування LEDC (LED Control) периферією, яка підтримує ШІМ (широотно-імпульсну модуляцію). Ця бібліотека надає просунуті можливості управління ШІМ, такі як налаштування частоти, роздільна здатність, а також можливості апаратної генерації сигналів.

ESP32 є відмінним вибором для складніших проектів, де потрібна підтримка Wi-Fi або Bluetooth, а також більше каналів PWM для генерації складних сигналів.

Створення модуля PWM-генератора для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням дозволяє створювати різні типи сигналів з програмованою скважністю. Вибір конкретного мікроконтролера залежить від конкретної задачі, особливостей проекту та вимог до функціональності. Наприклад, ESP8266 та ESP32 можуть бути більш відповідними, якщо потрібна підтримка Wi-Fi або більше каналів PWM. Однак Arduino Uno часто використовується для простих проектів, де потрібен базовий PWM-функціонал.

Висновок: модуль PWM-генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю може бути реалізований за допомогою мікроконтролерів Arduino, ESP8266 або ESP32. Використовувати вбудовані

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

можливості PWM цих мікроконтролерів для створення програмного забезпечення, яке забезпечить генерацію сигналів з потрібною скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням.

## 2.4 Живлення і підключення

При створенні генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням важливо правильно здійснити живлення і підключення мікроконтролера до схеми.

Напруга живлення:

- Arduino Uno працює з напругою 5 В. Живлення може здійснюватися через вбудований регулятор напруги або підключенням до виводу VIN (рекомендована напруга 7-12 В);

- ESP8266 працює з напругою 3.3 В. Забезпечення стабільної 3.3 В напруги важливо для правильної роботи мікроконтролера;

- ESP32 також працює з напругою 3.3 В, але може приймати вхідну напругу від 5 В до 12 В через вивід VIN.

Струмове споживання:

- Arduino Uno може споживати до 500 мА при максимальному навантаженні;

- ESP8266 споживає приблизно 170 мА при роботі, а ESP32 - від 80 до 260 мА в залежності від активності.

З'єднання живлення:

- для Arduino Uno підключіть джерело живлення до виводу VIN або через USB-порт;

- для ESP8266 та ESP32 використовуйте стабілізоване джерело живлення 3.3 В або підключіть до виводу VIN з необхідною напругою.

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ми будемо використовувати стабільне джерело живлення з напругою та струмом, що відповідає вимогам мікроконтролера. Зазвичай Arduino Uno має напругу живлення 5 В, а ESP8266/ESP32 можуть працювати від 3.3 В.

При використанні акумуляторів або джерел живлення змінного струму потрібно переконатися, що вони стабільні та відповідають напруговим характеристикам мікроконтролера.

Для генератора будуть використовуватись GPIO піни мікроконтролера для підключення до вхідних або вихідних пінів цифрових схем. Тому потрібно налаштувати ці піни для генерації PWM сигналів за допомогою програмного забезпечення.

У деяких випадках може знадобитися гальванічна ізоляція між мікроконтролером і цифровими схемами. Використання оптичної розв'язки зазвичай допомагає уникнути проблем, пов'язаних з електричною ізоляцією.

Якщо потрібно керувати великими навантаженнями або зовнішніми пристроями, використовуйте транзисторні ключі або реле для вимикання і керування живленням цих пристроїв.

#### GPIO Піни:

- GPIO піни мікроконтролера були обрані для підключення до цифрової схеми;
- використовуються спеціальні PWM-сумісні піни для генерації сигналів з програмованою скважністю (наприклад, для платформи Arduino - D3, D5, D6, D9, D10, D11).

#### Оптична ізоляція:

- для захисту мікроконтролера від електричних перешкод або перенапруги потрібно використати оптичну ізоляцію для зв'язку між мікроконтролером і цифровими схемами.

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.5 Висновки

У цьому розділі було описано модулі із яких буде складатись система. Також було проаналізовано різноманітні показники та можливості тих чи інших компонентів.

Описано кроки які необхідні для розробки програмного забезпечення для генератора випробувальних сигналів, описано його живлення та підключення.

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

### **3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ З ПРОГРАМОВАНОЮ СКВАЖНІСТЮ**

#### **3.1 Розробка алгоритму**

Спочатку ініціалізую мікроконтролер як майстер для SPI інтерфейсу, а також підключаємо необхідні бібліотеки для роботи з ним.

Далі потрібно налаштувати генератор сигналів AD9833 через SPI, передаючи необхідні команди та параметри для встановлення частоти та скважності сигналу.

Після ініціалізації встановлюється цикл, в якому можна програмувати бажані параметри сигналу, наприклад, частоту та скважність. Для цього можна використовувати введення користувача або інші джерела.

Після отримання параметрів потрібно викликати функції для встановлення частоти та скважності сигналу на генераторі AD9833 через SPI.

Таким чином, алгоритм передбачає ініціалізацію мікроконтролера та генератора сигналу, отримання параметрів сигналу від користувача або іншими джерелами, а потім встановлення цих параметрів на генераторі сигналу.

#### **3.2 Розробка схеми структурної**

Структурна схема генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням.

Вона призначена для відображення загальної структури пристрою, тобто його основних блоків, вузлів, частин та головних зв'язків між ними.

Із структурної схеми повинно бути зрозуміло, навіщо потрібний даний пристрій і як він працює в основних режимах роботи, як взаємодіють його частини.

На структурних електричних схемах у вигляді прямокутників або умовних графічних познач зображають всі основні частини виробу (елементи, пристрої, функціональні групи) і показують взаємозв'язок між ними. При цьому графічна

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

побудова схеми має давати наочне уявлення про послідовність взаємодії функціональних частин виробу, яка простежується за допомогою стрілок, що наносяться на лініях взаємозв'язку.

Блок живлення: цей блок забезпечує живлення всієї системи. Зазвичай він приймає вхідну напругу з мережі змінного струму (АС) або постійного струму (DC) і перетворює її на стабільну напругу, необхідну для роботи всіх компонентів системи.

Кнопки керування: ці кнопки призначені для керування параметрами сигналу, що генерується, такими як частота, амплітуда, тип сигналу і т.д.

Мікроконтролер: мікроконтролер є центральним керуючим блоком системи. Він отримує введення від кнопок керування, обробляє їх і керує генератором сигналів та дисплеєм згідно з зазначеними параметрами.

Мікроконтролер може також взаємодіяти з користувачем через екран, відображаючи поточні налаштування та іншу важливу інформацію.

Генератор сигналів відповідає за створення тестового сигналу відповідно до параметрів, заданих мікроконтролером. Це може бути як аналоговий, так і цифровий генератор сигналів, залежно від вимог користувача.

Дисплей використовується для відображення важливої інформації, такої як поточні налаштування сигналу, тип сигналу, частота, амплітуда тощо. Користувач може використовувати дисплей для встановлення або зміни параметрів сигналу.

Вихідний інтерфейс забезпечує подачу згенерованого сигналу на зовнішнє обладнання для проведення випробувань або вимірювань. Це може бути з'єднання з вимірювальним приладом або іншими тестовими пристроями.

Сама структурна схема для генератора випробувальних сигналів із програмованою скважністю зображено на рисунку 3.1.

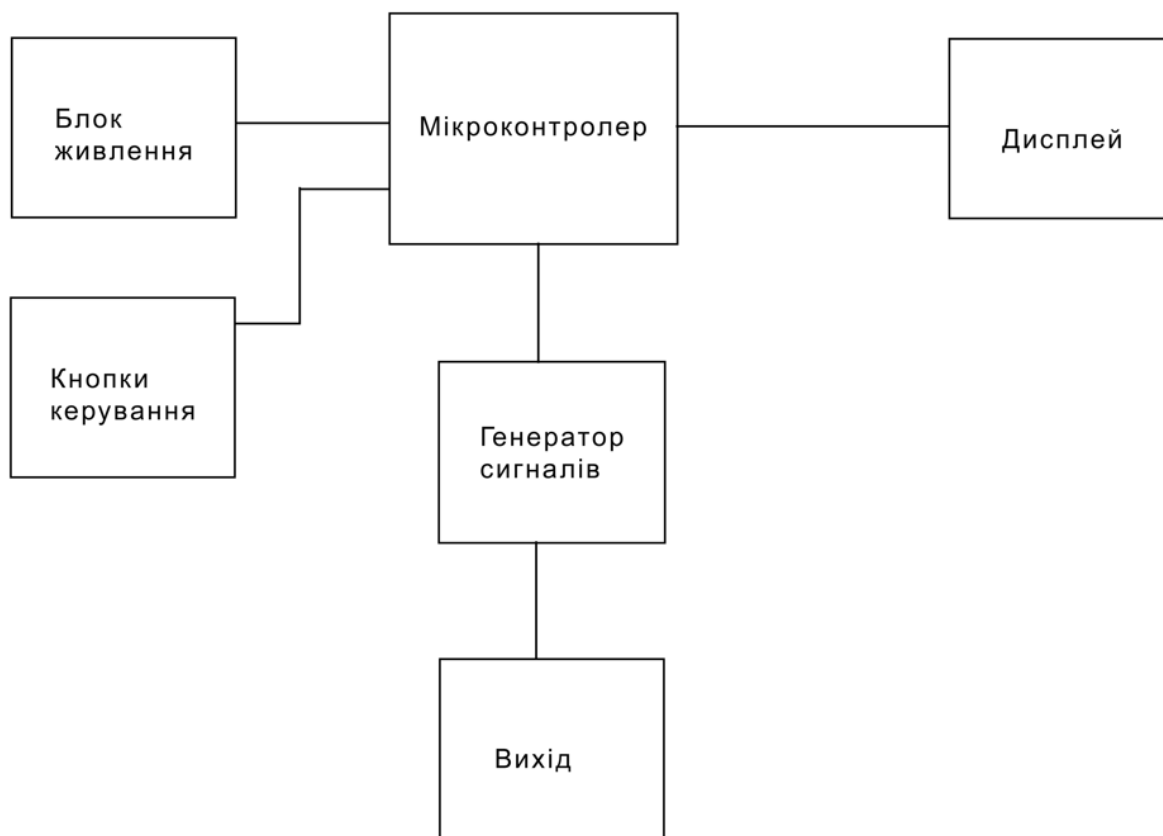


Рисунок. 3.1. – Структурна схема

### 3.3 Розробка схеми функціональної

Розробка функціональної схеми генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням передбачає виробництво системи, яка може адаптуватися до різних потреб випробувань і забезпечувати точне контрольоване управління параметрами сигналу.

Мікроконтролер виступає як головний управлінський орган системи, приймаючи команди і відправляючи сигнали до інших компонентів системи. Він програмується для виконання певних алгоритмів, які визначають параметри сигналу та регулюють їх відповідно до потреб випробування.

Для вирішення поставленої задачі, яка передбачає розробку генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування

цифрових схем з мікроконтролерним керуванням, мікроконтролер ATmega328 є відмінним вибором. Ось кілька обґрунтувань для цього вибору:

1. ATmega328 має швидкий 8-бітний AVR процесор з тактовою частотою до 20 МГц, що дозволяє ефективно керувати процесами генерації сигналів та програмним керуванням.

2. Також мікроконтролер ATmega328 має вбудовані аналогово-цифрові конвертери (ADC), таймери, інтерфейси UART, SPI та I2C, що робить його ідеальним для зчитування аналогових сигналів, керування часом і зв'язку з іншими пристроями.

3. Наявність великої кількості документації та ресурсів робить ATmega328 добре вивченим мікроконтролером з великою кількістю документації, прикладів коду та підтримки спільноти, що спрощує розробку програмного забезпечення.

4. В свою чергу мікроконтролер ATmega328 є досить економічним з високою доступністю на ринку, що робить його вигідним вибором для багатьох проектів.

Загалом, мікроконтролер ATmega328 є надійним та потужним засобом для реалізації поставленої задачі, і його використання спростить розробку та забезпечить високу продуктивність генератора випробовувальних сигналів.

Цифровий сигнальний генератор відповідає за створення основного сигналу для випробовувань. Цей блок може бути програмований для генерації різних типів сигналів з різними параметрами, такими як частота, амплітуда, фаза тощо. Він може включати в себе цифрові схеми, такі як лічильники або зсувні регістри, які визначають періодичність та форму сигналу.

Блок програмування скважності відповідає за регулювання відсоткового співвідношення тривалості вмикання до тривалості вимикання сигналу, тобто за його скважність. Цей блок також керується мікроконтролером і може бути програмований для зміни скважності в залежності від вимог випробувань. Скважність може використовуватися для зміни амплітуди або інтенсивності сигналу, а також для модуляції імпульсної ширини сигналу. Зміна скважності

дозволяє регулювати рівень потужності або інтенсивності сигналу, що корисно для тестування реакції електронних пристроїв на різні рівні сигналу.

Інтерфейси введення/виведення дозволяють мікроконтролеру взаємодіяти з зовнішніми пристроями або цифровими схемами для випробувань. Вони забезпечують зв'язок з зовнішнім середовищем та обмін даними з іншими пристроями для координації і контролю випробувального процесу.

Блок ГТІ (генератор таймінгу) відповідає за створення таймінгових сигналів, які використовуються для контролю часових параметрів генерованого сигналу. Він може бути програмований для генерації різних часових інтервалів, періодів, затримок тощо.

Схема ініціалізації відповідає за початкову ініціалізацію системи при включенні або скиданні. Кнопка reset дає можливість користувачеві скинути систему до початкового стану, що може бути корисно у випадках неправильної роботи або потреби у відновленні стандартних налаштувань.

Така схема дозволяє створювати універсальний і гнучкий генератор випробувальних сигналів, який може відповідати різним вимогам і забезпечувати точне та ефективно проведення випробувань цифрових схем.

### 3.4 Розробка принципової схеми

Принципова схема для управління генератором випробувальних сигналів на основі мікроконтролера ATmega328 включає в себе ряд ключових компонентів та їх взаємозв'язки.

Мікроконтролер ATmega328 є одним з популярних мікроконтролерів, які широко використовуються в багатьох проектах електроніки і вбудованих системах.

Основні характеристики:

- архітектура: AVR (Advanced Virtual RISC);
- тактова частота: зазвичай працює на частотах від 1 до 20 МГц (в залежності від конфігурації);

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вбудована пам'ять: Flash-пам'ять 32 кБ (з 0.5 кБ використовується для заголовку загрузчика), SRAM: 2 кБ, EEPROM: 1 кБ;
- кількість виводів (пінів): 28 (включаючи 2 виводи для UART);
- інтерфейси: SPI, I2C (TWI), UART (USART);
- аналогові входні канали: 6 (з можливістю розширення до 8);
- вбудовані периферійні пристрої: таймери/лічильники, PWM-канали, аналого-цифрові перетворювачі (ADC), порти введення/виведення (GPIO), інтерфейси зовнішніх пристроїв.

#### Особливості мікроконтролера ATmega328:

- низька споживана потужність: мікроконтролер ATmega328 має режими зниженого споживання енергії, що робить його ідеальним для пристроїв з живленням від батареї або джерела енергії з обмеженою потужністю;
- широкий спектр застосувань: використовується в різних сферах, включаючи робототехніку, IoT (Internet of Things), автоматизацію промислових процесів, автомобільну електроніку, домашню автоматизацію і багато інших;
- підтримка від Arduino: легко інтегрується з Arduino IDE і платами Arduino, що робить розробку програмного забезпечення для нього дуже зручною.

Мікроконтролер ATmega328 є надійним і добре вивченим пристроєм, який може бути використаний для широкого спектру застосувань в електронних проектах.

Мікроконтролер ATmega328 є головним керуючим елементом системи. Він взаємодіє з іншими компонентами, включаючи генератор сигналу AD9833 та LCD дисплей, за допомогою різних інтерфейсів, таких як SPI (Serial Peripheral Interface). Відповідні входні та вихідні порти мікроконтролера забезпечують передачу даних та керування пристроями. Розпіновка даного мікроконтролера відображена на рисунку 3.2.

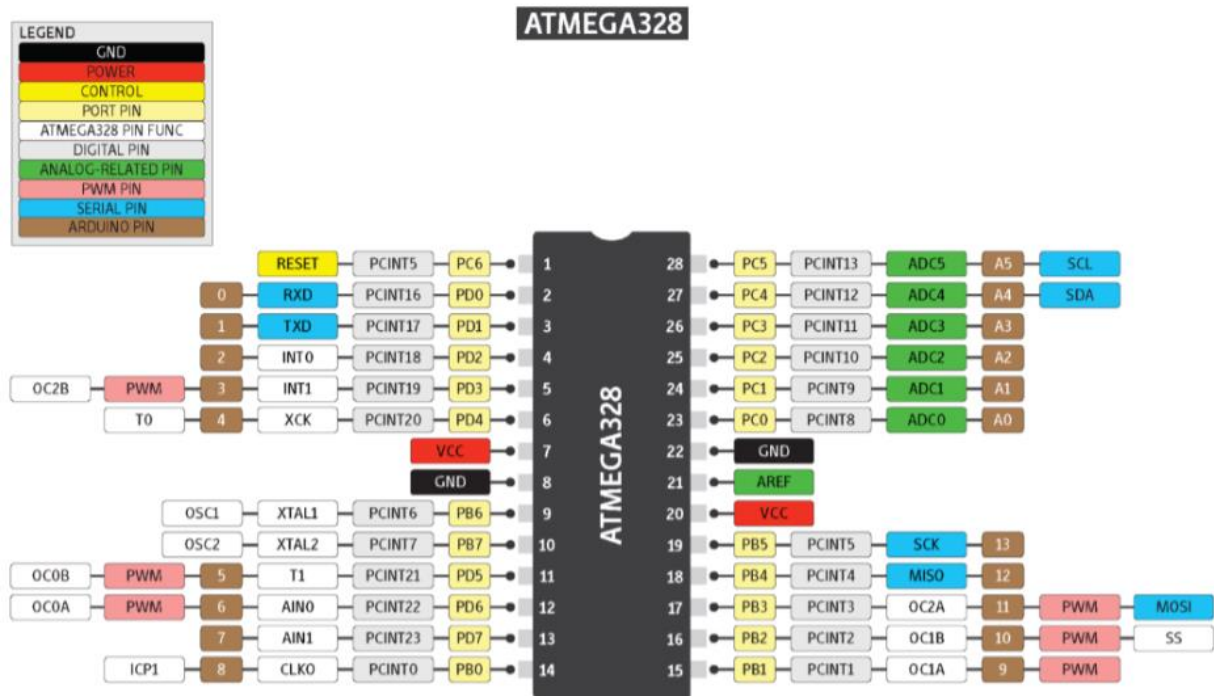


Рисунок 3.2 – Розпіновка ATmega328

SPI (Serial Peripheral Interface) - це послідовний периферійний інтерфейс з переліком сигналів:

- **MOSI (Master Out Slave In):** цей сигнал використовується для передачі даних від мікроконтролера до інших пристроїв, таких як генератор сигналу AD9833 та LCD дисплей. Мікроконтролер є головним пристроєм (Master), що відправляє дані, тому цей сигнал використовується для передачі даних від мікроконтролера до інших пристроїв (Slave);
- **MISO (Master In Slave Out):** цей сигнал використовується для передачі даних від інших пристроїв (Slave) до мікроконтролера (Master). У нашій системі він використовується для отримання даних від генератора сигналу або інших пристроїв, які можуть передавати дані;
- **SCK (Serial Clock):** цей сигнал використовується для синхронізації передачі даних між мікроконтролером та іншими пристроями. Він генерується мікроконтролером та визначає час передачі бітів даних.

Мікроконтролер ATmega328 виконує роль головного управлінського модуля в системі. Його вхідні/вихідні порти GPIO можуть бути налаштовані для різних функцій, таких як зчитування сигналів від датчиків або керування актуаторами.

Крім того, мікроконтролер має вбудований інтерфейс SPI, що дозволяє взаємодіяти з іншими пристроями, такими як генератор сигналу AD9833 та LCD дисплей. SPI інтерфейс складається з кількох ліній, таких як MOSI (Master Out Slave In) для передачі даних з мікроконтролера до інших пристроїв, MISO (Master In Slave Out) для передачі даних від інших пристроїв до мікроконтролера, та SCK (Serial Clock) для синхронізації передачі даних.

ATmega328 широко використовується в багатьох проектах і автономних системах, де потрібен простий, малопотужний, недорогий мікроконтролер. Мабуть, найпоширенішою реалізацією цієї мікросхеми є популярна платформа розробки Arduino, а саме моделі Arduino Uno, Arduino Pro Mini та Arduino Nano.

Кваліфікація надійності показує, що прогнозована частота збоїв у збереженні даних набагато менша за 1 PPM протягом 20 років при 85 °C або 100 років при 25 °C.

Генератор сигналу AD9833 відповідає за створення випробовувального сигналу з програмованою скважністю. Він отримує команди від мікроконтролера через SPI інтерфейс та генерує відповідний сигнал для тестування цифрових схем.

Генератор сигналу AD9833 використовується для створення випробовувальних сигналів з програмованою скважністю. Він приймає команди від мікроконтролера через SPI інтерфейс та генерує відповідний сигнал. Його вигляд можна побачити на рисунку 3.3.

Стабілізатор напруги L78L33ABUTR використовується для перетворення напруги живлення з 5 В на 3.3 В, що необхідно для живлення генератора сигналу та LCD дисплею.

Його вхід приймає напругу живлення 5 В, а вихід надає стабільну напругу 3.3 В.

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стабілізатор напруги L78L33ABUTR - це один з типів лінійних стабілізаторів напруги, які широко використовуються для стабілізації вихідної напруги в електронних схемах.

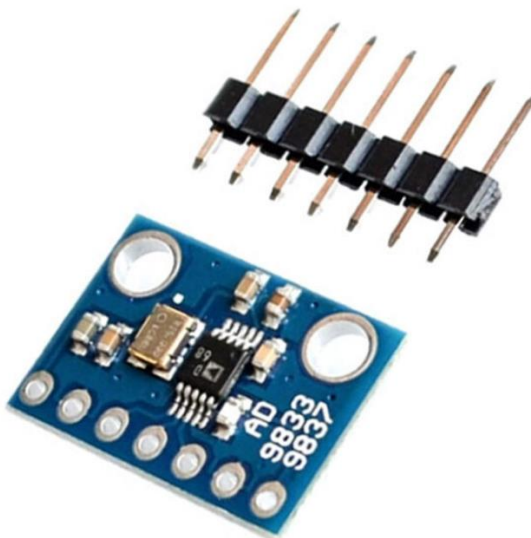


Рисунок 3.3 – Генератор сигналу AD9833

Основні характеристики:

- вихідна напруга: 3.3 В;
- тип стабілізатора: позитивний;
- максимальний струм: 100 мА;
- тип корпусу: SOT-89 (малий пластмасовий корпус з триконтактним монтажем);
- напруга вводу (вхідна напруга): від 4.75 В до 20 В;
- диференційна відповідь на навантаження: 0.05%/А (типово);
- температурний діапазон: -40 °С до +125 °С.

Особливості:

- низька споживана потужність: підходить для застосувань з обмеженою потужністю або в пристроях, які працюють від батарей;
- стабільність: забезпечує стабільну вихідну напругу навіть при зміні вхідної напруги або навантаження;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- захист: включає вбудовані захисні функції, такі як захист від перенапруги і тепловий захист;
- надійність: довговічний і надійний, що робить його популярним в різноманітних електронних пристроях і застосуваннях.

Стабілізатор напруги L78L33ABUTR зазвичай використовується в різних електронних пристроях, таких як вбудовані системи, мікроконтролерні пристрої, аудіо та відео пристрої, датчики, джерела живлення для мікропроцесорів та інших схем, де необхідна стабільна вихідна напруга.

Стабілізатор напруги L78L33ABUTR використовується для забезпечення стабільного живлення генератора сигналу та LCD дисплея. Він приймає вхідну напругу 5 В і перетворює її на необхідний рівень 3.3 В.

Стабілізатор напруги L78L33ABUTR - це електронний пристрій, який використовується для забезпечення стабільної вихідної напруги в системах живлення.

Він оперує на принципі лінійного регулятора, що означає, що він використовує потужність віджиму, щоб стабілізувати вихідну напругу на заданому рівні, незалежно від змін вхідної напруги або навантаження.

Основна функція стабілізатора полягає в тому, щоб забезпечити постійну та стабільну вихідну напругу, незалежно від змін вхідної напруги чи навантаження.

Він використовується для живлення електронних пристроїв, які потребують конкретної напруги для своєї нормальної роботи, таких як мікроконтролери, сенсори, інтегральні схеми тощо.

Модель L78L33ABUTR має ряд важливих характеристик, таких як великий діапазон вхідної напруги, низький рівень споживаної енергії, захист від перевантаження та перегрівання, що робить його ідеальним вибором для застосувань, де необхідно стабільне живлення.

Окрім вищезазначених характеристик, L78L33ABUTR відзначається високою точністю стабілізації, що дозволяє підтримувати вихідну напругу з мінімальними відхиленнями навіть за умов значних коливань вхідної напруги або

навантаження. Це особливо важливо в застосуваннях, де стабільність напруги безпосередньо впливає на точність і надійність роботи електронних компонентів.

Вигляд стабілізатору напруги зображено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Стабілізатор напруги L78L33ABUTR

LCD дисплей Winstar WH1604A-YUH-JT відображає інформацію про роботу пристрою. Він керується мікроконтролером через SPI інтерфейс та дозволяє відобразити різні дані, такі як параметри сигналу чи стан системи. Цей дисплей зображено на рисунку 3.5.

LCD дисплей Winstar WH1604A-YUH-JT використовується для відображення інформації про стан пристрою. Він керується мікроконтролером через SPI інтерфейс. Крім того, дисплей може використовувати додаткові лінії для керування, такі як RS (Register Select) для вибору режиму роботи (командний або даний) та Enable для підтвердження команд або даних.



Рисунок 3.5 – LCD дисплей Winstar WH1604A-YUH-JT

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожен з цих компонентів має свої вхідні та вихідні інтерфейси, які визначають способи їх взаємодії та обміну даними з мікроконтролером. Розуміння цих взаємозв'язків дозволяє належним чином налаштовувати та керувати роботою всієї системи для досягнення потрібного функціоналу та ефективності.

Система живлення буде включати в себе стабілізатор напруги L78L33ABUTR, який є лінійним стабілізатором напруги з вихідною напругою 3.3 В. Він забезпечить стабільне живлення для мікроконтролера ATmega328 та інших електронних компонентів пристрою.

Для підключення стабілізатора до живлення мікроконтролера та інших компонентів потрібно підключити вивід "VIN" (вхід живлення) стабілізатора до джерела живлення з напругою 5 В. Вивід "GND" (земля) стабілізатора повинен бути з'єднаний зі спільним масивом інших елементів схеми. А вивід "VOUT" (вихідна напруга) стабілізатора підключається до відповідного виводу живлення мікроконтролера та інших компонентів, які потребують напруги живлення 3.3 В.

При підключенні слід враховувати електричні параметри стабілізатора, такі як максимальний струм навантаження та допустимі вхідні та вихідні напруги, щоб забезпечити безпечну та стабільну роботу пристрою. Також важливо врахувати теплові параметри та необхідні радіатори для ефективного відведення тепла при роботі стабілізатора.

Система скидання (reset) для мікроконтролера може бути реалізована за допомогою кнопки і підтягнутого резистора.

Схема кнопки reset полягає в тому, що один кінець кнопки підключається до позитивного полюса джерела живлення (наприклад, +5V), а інший кінець - до пину RESET на мікроконтролері. Паралельно до кнопки може бути підключений підтягнутий резистор з великою опором (наприклад, 10 кОм), який з'єднує пін RESET з землею. Коли кнопка не натиснута, підтягнутий резистор забезпечує високий рівень напруги на пині RESET. Коли кнопка натиснута, пін RESET з'єднується з нульовим потенціалом, і мікроконтролер перезапускається.

Система працює наступним чином: коли кнопка не натиснута, пін RESET залишається на високому рівні напруги через підтягнутий резистор, і мікроконтролер продовжує працювати нормально. Коли кнопка натиснута, пін RESET з'єднується з нульовим потенціалом, що призводить до перезавантаження мікроконтролера.

Ця схема дозволяє легко скидати мікроконтролер за допомогою кнопки, що може бути корисно для перезапуску програми або в разі виникнення проблем.

### 3.5 Опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу

Програмно-технічний засіб для генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю базується на апаратних та програмних модулях. Апаратний модуль складається з мікроконтролера ATmega328, генератора сигналу AD9833 та LCD дисплея Winstar WH1604A-YUH-JT.

Середовище для програмування Arduino - це зручний і простий інструмент для розробки програмного забезпечення для мікроконтролерів на базі AVR та ARM. Воно має легкий у використанні інтерфейс, включає в себе редактор коду, консоль, засоби завантаження і монітор портів. Використовує мову програмування C++ з невеликими змінами і додатковими бібліотеками. Має велику кількість вбудованих бібліотек для різних завдань і підтримує різні мікроконтролери, такі як ATmega328, ESP8266, ESP32, STM32 та інші. Легко встановлюється на різних операційних системах і має активну спільноту, яка надає підтримку та допомогу користувачам.

Мова програмування C - це загально прийнята і популярна мова програмування, яка була розроблена у 1972 році Денісом Рітчі у компанії Bell Labs. Вона є однією з найбільш важливих мов програмування в індустрії програмного забезпечення, оскільки вона використовується для написання програмного забезпечення для різних систем, включаючи операційні системи, вбудовані

системи, драйвери пристроїв, програмне забезпечення високого рівня та багато іншого.

Приклад середовища розробки Arduino показано на рисунку 3.6.

Деякі основні характеристики мови програмування C.

1. Мова C має простий синтаксис, що робить її досить легкою для вивчення та розуміння.

2. Код на C зазвичай працює швидко і займає мало ресурсів комп'ютера, що робить його ідеальним для написання високоефективних програм.

3. Програми на мові програмування C можуть бути перенесені з однієї платформи на іншу без змін або з мінімальними змінами.

4. Дана мова має великий потенціал для масштабування - від написання невеликих програм до розробки великих проектів.

5. C має стандарт ANSI C (також відомий як ISO C), який визначає стандартну бібліотеку функцій та синтаксис.

6. Також C дозволяє розширювати мову за допомогою функцій і бібліотек, написаних на C або інших мовах.

7. Низькорівневий доступ до апаратного забезпечення, саме тою C дозволяє прямий доступ до апаратного забезпечення пристроїв, що робить його ідеальним для вбудованих систем та системного програмування.

Узагальнюючи, мова програмування C є потужним інструментом, який широко використовується для розробки програмного забезпечення в різних областях та на різних платформах.

Мікроконтролер ATmega328 відповідає за керування роботою пристрою та взаємодію з підключеними компонентами через різні інтерфейси, такі як SPI. Генератор сигналу AD9833 відповідає за генерацію випробувальних сигналів з програмованою скважністю. Взаємодія з мікроконтролером здійснюється через інтерфейс SPI. LCD дисплей Winstar WH1604A-YUH-JT відображає інформацію про стан пристрою та взаємодіє з мікроконтролером через інтерфейс SPI.

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

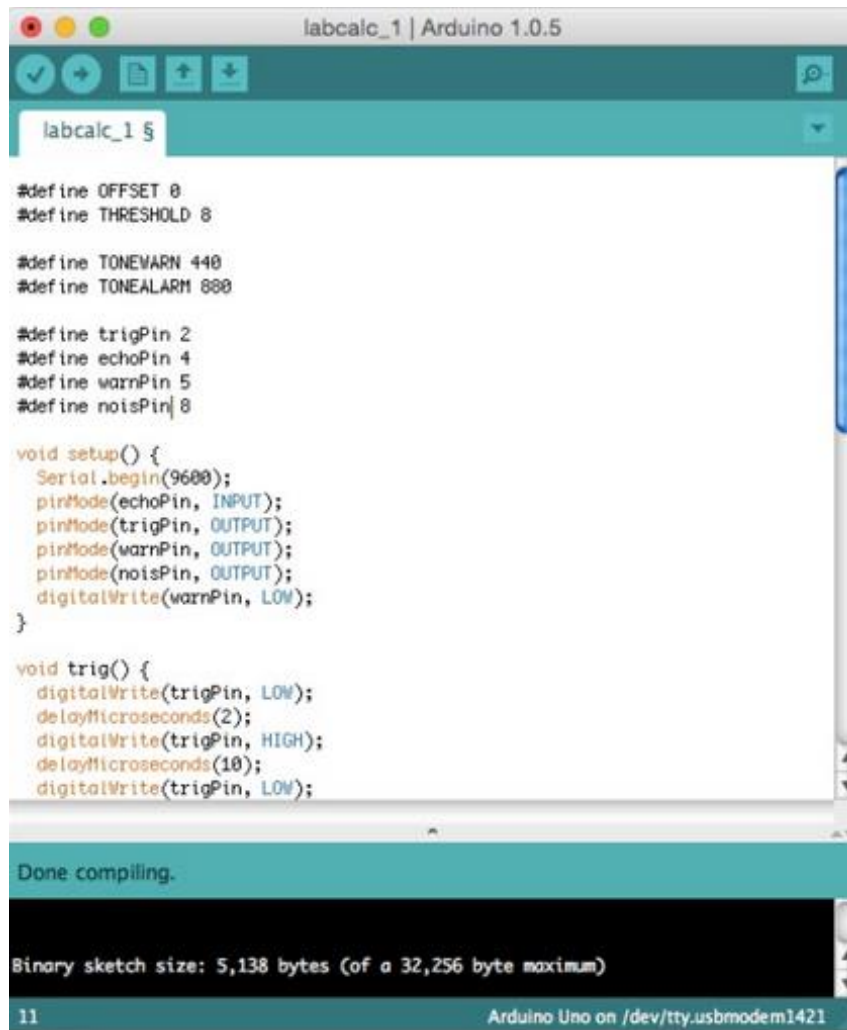


Рисунок 3.6 – Середовище розробки Arduino

Програмний модуль складається з різних підмодулів, таких як модуль керування генератором сигналу, модуль взаємодії з LCD дисплеєм та модуль обробки вхідних даних. Ці підмодулі взаємодіють з мікроконтролером для забезпечення необхідної функціональності пристрою та взаємодії з користувачем.

Програмно-технічний засіб забезпечує ефективну реалізацію генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю, що дозволяє використовувати його для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням.

1. SPI\_MasterInit(): ця функція ініціалізує SPI інтерфейс для мікроконтролера як майстер. Вона налаштовує виводи портів мікроконтролера як вихідні для SPI виводів MOSI (Master Out Slave In), SCK (Serial Clock) та SS (Slave

Select). Параметри регістру SPCR (SPI Control Register) встановлюються так, щоб ввімкнути SPI (SPE), обрати режим майстра (MSTR) та встановити подільник частоти (SPR0) для поділу тактової частоти мікроконтролера на 16.

```
void SPI_MasterInit(void) {  
    SPI_DDR |= (1<<SPI_MOSI) | (1<<SPI_SCK) | (1<<SPI_SS);  
    SPCR |= (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (1<<SPR0); // Enable SPI,  
Master mode, clk/16  
}
```

2. SPI\_MasterTransmit(unsigned char data): ця функція передає один байт даних через SPI інтерфейс. Вона записує переданий байт даних у регістр даних SPI (SPDR) та очікує завершення передачі, очікуючи поки біт SPIF (SPI Interrupt Flag) у регістрі стану SPI (SPSR) не буде встановлений, що означає завершення передачі.

```
void SPI_MasterTransmit(unsigned char data) {  
    SPDR = data;  
    while (!(SPSR & (1<<SPIIF)));  
}
```

3. AD9833\_SetFrequency(uint32\_t frequency): ця функція встановлює частоту на генераторі сигналів AD9833. Спочатку вона конвертує задану частоту у слово частоти (frequency word), використовуючи формулу, яка вказана в документації для AD9833. Потім вона передає два байти цього слова через SPI інтерфейс до AD9833. Крім того, передається третій байт для встановлення контрольних бітів, таких як скидання фазового реєстра та ввімкнення виходу генератора сигналу.

```
void AD9833_SetFrequency(uint32_t frequency) {  
    // Convert frequency to frequency word  
    uint32_t freqWord = (frequency * 268435456) / 25000000;  
    // Send frequency word to AD9833  
    SPI_MasterTransmit((freqWord >> 8) & 0xFF);  
    SPI_MasterTransmit(freqWord & 0xFF);  
    SPI_MasterTransmit(0x20); // Control bits: Reset Phase  
Register, Enable output
```

```
}
```

4. `main()`: головна функція програми, де відбувається основний процес програми. У безкінечному циклі програма встановлює частоту сигналу на генераторі AD9833 через функцію `AD9833_SetFrequency()` для заданих значень частоти, а потім чекає 1 секунду за допомогою функції `_delay_ms()` з бібліотеки `<util/delay.h>`. Після цього процес повторюється для іншої частоти.

```
int main(void) {
    SPI_MasterInit(); // Initialize SPI communication
    while (1) {
        AD9833_SetFrequency(1000); // Set frequency to 1000 Hz
        _delay_ms(1000); // Delay 1 second
        AD9833_SetFrequency(5000); // Set frequency to 5000 Hz
        _delay_ms(1000); // Delay 1 second
    }
    return 0;
}
```

Короткий опис використаних бібліотек:

1. `<avr/io.h>`: ця бібліотека містить визначення для роботи з реєстрами введення/виведення (I/O) мікроконтролера AVR, такими як DDR (Data Direction Register), PORT (Port Output Register) та PIN (Port Input Register).

2. `<util/delay.h>`: ця бібліотека містить функції для затримки в програмі. Використовуючи функцію `_delay_ms()`, можна створити затримку у мілісекундах, а функція `_delay_us()` дозволяє створити затримку у мікросекундах.

3. `<avr/interrupt.h>`: ця бібліотека містить визначення для роботи з перериваннями на мікроконтролері AVR. Вона дозволяє налаштувати та обробляти переривання в програмі.

Лістинг програмного забезпечення знаходиться у Додатку Д.

### 3.6. Висновки

Розробка структурної, функціональної та принципової схеми генератора випробувальних сигналів є важливим етапом проектування електронних пристроїв. Структурна схема демонструє взаємозв'язок між різними функціональними блоками, такими як блок живлення, кнопки керування, блок програмування скважності, мікроконтролер, генератор сигналів, вихід, дисплей та кнопка скидання. Функціональна схема вказує на функції кожного блоку та їх взаємодію, в той час як принципова схема розкриває деталі внутрішньої структури кожного блоку та підключення компонентів. Відповідно до потреб проекту можуть використовуватися різні компоненти, такі як мікроконтролер ATmega328, стабілізатор напруги L78L33ABUTR та інші, для створення функціональної та надійної системи генератора випробувальних сигналів.

Розробка ПЗ для мікроконтролера включає в себе написання програмного коду для керування генератором сигналів, обробки введених користувачем даних, взаємодії з кнопками керування, керування графічним дисплеєм та інші функції. Під час розробки ПЗ також важливо враховувати оптимізацію використання ресурсів мікроконтролера, обробку помилок та забезпечення надійності та безпеки системи.

Отже, розробка ПЗ є важливою складовою процесу створення генератора випробувальних сигналів, яка доповнює структурну, функціональну та принципову схеми, забезпечуючи повну функціональність та ефективність системи.

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було описано генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технічних рішень серед популярних компаній, які пропонують генератори сигналів. Проведено порівняння характеристик та функціоналу, який вони пропонують у своїх продуктах. Також було проаналізовано ринок таких пристроїв та виділено їх унікальні можливості для споживачів.

У другому розділі проведено аналіз необхідного обладнання для реалізації апаратної частини запропонованого програмно-технічного засобу. Перелічено та описано необхідні модулі, такі як мікроконтролер ATmega328, генератор сигналів AD9833 та LCD дисплей Winstar WH1604A-YUH-JT, з детальним описом їх ролей та функцій. Також визначено функціональні та нефункціональні вимоги до системи, що забезпечують її стабільну та ефективну роботу.

У третьому розділі представлено принцип роботи генератора випробувальних сигналів. Описано алгоритм налаштування та генерації сигналів з програмованою скважністю, зокрема процес інтеграції та взаємодії між апаратними компонентами і програмним забезпеченням. Було розроблено структурну, функціональну та принципову схеми генератора випробувальних сигналів, на основі яких у подальшому можна зібрати готовий пристрій.

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Генератор сигналів. URL: <https://metranom.com/generator-signalov/> (дата звернення: 13.03.2024).

2. Сквашність. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата звернення: 14.03.2024).

3. Частота. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B0> (дата звернення: 14.03.2024).

4. Форма хвилі. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0\\_%D1%85%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%96](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0_%D1%85%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%96) (дата звернення: 15.03.2024).

5. Функціональний генератор. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80) (дата звернення: 16.03.2024).

6. Імпульсні пристрої. URL: [https://elib.tsatu.edu.ua/dep/enf/etem\\_1/8/index8.html](https://elib.tsatu.edu.ua/dep/enf/etem_1/8/index8.html) (дата звернення: 17.03.2024).

7. Сигнал. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB> (дата звернення: 17.03.2024).

8. Імпульс (форма сигналу). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81\\_\(%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0\\_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%83\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81_(%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%83)) (дата звернення: 17.03.2024).

9. Мікроконтролер ATmega328. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/ATmega328> (дата звернення: 18.03.2024).

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Мікроконтролер ATmega328. URL: <https://evo.net.ua/arduino-atmega328-microcontroller-bootloader-uno-x000048/> (дата звернення: 18.03.2024).
11. Генератор сигналів UNI-T UTG1010A. URL: <https://uni-t.ua/ru/catalog/function-arbitrary-waveform-generator-uni-t-utg1010a/> (дата звернення: 20.03.2024).
12. Різниця між ATmega328 та ATmega328P. URL: <https://www.hnhcart.com/blogs/microcontrollers/a-1> (дата звернення: 18.03.2024).
13. Генератор сигналів Siglent SDG805. URL: <https://cityset.com.ua/sdg805-siglent> (дата звернення: 20.03.2024).
14. Siglent SDG805. URL: <https://siglentua.com/ru/catalog/function-waveform-generators/function-arbitrary-waveform-generator-siglent-sdg805/> (дата звернення: 20.03.2024).
15. Генератор сигналів FNIRSI SG-003A. URL: <https://arduino.ua/prod5619-mnogofunkcionalnii-generator-signalov-fnirsi-sg-003a> (дата звернення: 20.03.2024).
16. FNIRSI SG-003A. URL: <https://radiostore.com.ua/ua/p1620054291-generator-signalov-fnirsi.html> (дата звернення: 20.03.2024).
17. Модуль генератора сигналів AD9833 DDS. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/modul-dds-generatora-signalov-ad9833> (дата звернення: 20.03.2024).
18. Огляд генератора сигналів AD9833. URL: 1. Модуль генератора сигналів AD9833 DDS. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/modul-dds-generatora-signalov-ad9833> (дата звернення: 20.03.2024). (дата звернення: 20.03.2024).
19. Як працює генератор сигналів. URL: <http://ua.cyelectronic.com/info/how-the-signal-generator-works-45840701.html> (дата звернення: 21.03.2024).
20. Синусоїда. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%83%D1%81%D0%BE%D1%97%D0%B4%D0%B0> (дата звернення: 21.03.2024).
21. Генератор сигналів з мікроконтролерним керуванням. URL: <https://ela.kpi.ua/items/2d17e7a9-ce88-45a8-9a0f-c616184ede18> (дата звернення: 25.03.2024).

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Генератор прямокутних імпульсів на базі мікросхеми NE555. URL: <https://cnc.prom.ua/ua/p1018952022-generator-pryamokutnih-impulsiv.html> (дата звернення: 26.03.2024).

23. Широтно імпульсна модуляція. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F) (дата звернення: 28.03.2024).

24. Мікроконтролер. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80> (дата звернення: 01.04.2024).

25. Живлення мікроконтролерів. URL: <https://polaridad.es/uk/alimentacion-de-microcontroladores-todo-lo-que-necesitas-saber/> (дата звернення: 02.04.2024).

26. Захист від збоїв живлення. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%85%D0%B8%D1%81%D1%82\\_%D0%B2%D1%96%D0%B4\\_%D0%B7%D0%B1%D0%BE%D1%97%D0%B2\\_%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%85%D0%B8%D1%81%D1%82_%D0%B2%D1%96%D0%B4_%D0%B7%D0%B1%D0%BE%D1%97%D0%B2_%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F) (дата звернення: 02.04.2024).

27. Arduino. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino> (дата звернення: 02.04.2024).

28. Простими словами, що таке мікроконтролер Arduino. URL: <https://bitkit.com.ua/shho-take-arduino> (дата звернення: 02.04.2024).

29. Arduino UNO. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno> (дата звернення: 04.04.2024).

30. Arduino Nano. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano> (дата звернення: 04.04.2024).

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Arduino IDE. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_IDE](https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE) (дата звернення: 07.04.2024).

32. Початок роботи з Arduino IDE на Windows. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/guide/Windows> (дата звернення: 07.04.2024).

33. ESP8266. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ESP8266> (дата звернення: 10.04.2024).

34. ESP32. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ESP32> (дата звернення: 10.04.2024).

35. ESP8266 vs ESP32 порівняння контролерів. URL: <https://artificer.com.ua/esp32-vs-esp8266-sravnenie-kontrollerov/> (дата звернення: 10.04.2024).

36. GPIO. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/GPIO> (дата звернення: 12.04.2024).

37. Стабілізатор напруги L78L33ABUTR. URL: <https://www.kosmodrom.ua/ru/stabilizator-naprugi/l78l33abutr.html> (дата звернення: 12.04.2024).

38. Arduino GPIO. URL: <https://itmaster.biz.ua/electronics/arduino/arduino-gpio.html> (дата звернення: 12.04.2024).

39. Структурна схема. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0\\_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0) (дата звернення: 12.04.2024).

40. Функціональна схема. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0\\_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0) (дата звернення: 12.04.2024).

41. Принципова схема. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%>

					КВРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В8%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B0\_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0 (дата звернення: 12.04.2024).

42. С (мова програмування). URL:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/C\\_\(%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/C_(%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F)) (дата звернення: 12.04.2024).

43. Дисплей. URL:  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%B9> (дата звернення: 15.04.2024).

44. Рідкокристалічний дисплей. URL:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%96%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%B9](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%96%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%B9) (дата звернення: 15.04.2024).

45. Графічний рідкокристалічний дисплей Winstar WH1604A-YYH-CT. URL:  
<https://inav.com.ua/shop/graficheskiy-zhk-indikator-wh1604a-yyh-ct-winstar> (дата звернення: 15.04.2024).

					КвРКІ 200120.20.01.19 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		









## Додаток Д

(не обов'язковий)

### Лістинг програмного забезпечення

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define F_CPU 16000000UL
#define SPI_DDR DDRB
#define SPI_SS PB2
#define SPI_MOSI PB3
#define SPI_MISO PB4
#define SPI_SCK PB5

void SPI_MasterInit(void) {
    SPI_DDR |= (1<<SPI_MOSI) | (1<<SPI_SCK) | (1<<SPI_SS);
    SPCR |= (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (1<<SPR0); // Enable SPI,
    Master mode, clk/16
}

void SPI_MasterTransmit(unsigned char data) {
    SPDR = data;
    while (!(SPSR & (1<<SPIF)));
}

void AD9833_SetFrequency(uint32_t frequency) {
    // Convert frequency to frequency word
    uint32_t freqWord = (frequency * 268435456) / 25000000;
    // Send frequency word to AD9833
    SPI_MasterTransmit((freqWord >> 8) & 0xFF);
    SPI_MasterTransmit(freqWord & 0xFF);
    SPI_MasterTransmit(0x20); // Control bits: Reset Phase
    Register, Enable output
}

int main(void) {
    SPI_MasterInit(); // Initialize SPI communication
    while (1) {
        AD9833_SetFrequency(1000); // Set frequency to
        1000 Hz
        _delay_ms(1000); // Delay 1 second
    }
}
```

```
        AD9833_SetFrequency(5000); // Set frequency to
5000 Hz
        _delay_ms(1000); // Delay 1 second
    }
    return 0;
}
```

Завідувачу кафедри КНС  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Г. О

Томчишена Богдана Русланівна  
III рівня вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-20-1

#### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомленої (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свій згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

17 червня 2024 року



**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Генератор випробувальних сигналів із програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням

Автор: Томчишен Богдан Русланович

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Стецюк Василь Миколайович, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріплення запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 12,8% і адресується до 966 періоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

В. М. Стецюк

С. М. Лисенко

Т. О. Говоруценко

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Томчишен Богдан Русланович

Тема: Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проектування та реалізація генератора тестових сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано переваги та недоліки існуючих рішень) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено вибір засобів реалізації для конструювання системи та їх обґрунтування. А саме описані переваги та недоліки всіх складових системи. Проведений детальний аналіз під час вибору PWM модуля. Описані способи системи живлення і підключення. Обрані девайси, які найбільше підходять по характеристиках для даного завдання. Особливу увагу було приділено мікроконтролеру, який є центром керування всієї системи. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано розробку схем електричної структурної, електричної функціональної та електричної принципової генератора випробувальних сигналів. Розроблено алгоритм роботи генератора випробувальних сигналів з програмованою скважністю. Вибране середовище для розробки програмного забезпечення та опис програмно-технічного засобу.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага розробці програмного забезпечення в Arduino.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

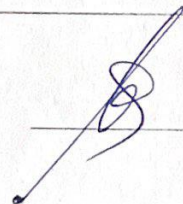
8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Гимене О. М., доцент кед. ІІІЗ (ХНУ)

\_\_\_\_\_ 2024 р.

 \_\_\_\_\_ (підпис)

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 4,0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 13%

ID: 130326 Назва: БКР Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налаштування цифрових схем з мікроконтролерним керуванням Додано в БД: 2024-06-13 Автора: Б.Р. Томчишен Керівники: В.М. Стецюк Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	70775	563	3869 (5%)	30 (5%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1016358017

Дата перевірки:  
13.06.2024 20:14:59 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
14.06.2024 07:54:17 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Томчишен\_Генератор випробувальних сигналів з програмованою скважністю для налашт...

Кількість сторінок: 64 Кількість слів: 10735 Кількість символів: 81471 Розмір файлу: 3.38 MB ID файлу: 1016162467

## 12.8% Схожість

Найбільша схожість: 4.61% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1016152254)

10.3% Джерела з Інтернету

778

Сторінка 66

8.72% Джерела з Бібліотеки

188

Сторінка 79

## 0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

5