

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
"УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра електронних систем

ТОРОНІ ПЕТРО ПЕТРОВИЧ

ЦИФРОВИЙ ЧАСТОТОМЕТР ДО 100МГЦ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛERA

Спеціальність 171 Електроніка

Освітня програма Електронні системи

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Науковий керівник:

**Папн Олександр Вікторович**

к.ф-м.н

(асистент)

**Рєєстрація** \_\_\_\_\_  
(номер)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р. \_\_\_\_\_ Тєтяна СЕМАК  
(підпис)

**Кваліфікаційна робота допущєна до захисту**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Тарас ЗАЯЦЬ  
(підпис)  
к.ф.-м.н., доцент

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Рецензєнт** \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_ (Ім'я, Прізвище)  
\_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вченє звання)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
Інженерно-технічний факультет  
Кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Зав. кафедрою,  
доц. \_\_\_\_\_ (Заяць Т. М.)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему:

**ЦИФРОВИЙ ЧАСТОТОМЕТР ДО 100МГЦ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА**

Студента групи ЕС: Петра ТОРОНІ

( )

Керівник: к.ф.-м.н., кафедри ЕС

Олександр ПАПП

( )

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. \_\_\_\_\_ (Заяць Т. М.)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

### З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну бакалаврську роботу  
студенту Тороні Петру Петровичу

1. Тема роботи: Цифровий частотометр до 100МГц на базі мікроконтролера. Затверджена на засіданні кафедри (протокол №\_\_ від \_\_\_\_\_ 2024 р.)
2. Термін закінчення роботи: 10 червня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи.

1. Створити простий ефективний електричний пристрій, який забезпечує надання вимірювання частоти за допомогою мікроконтролера.

Забезпечити слідуєчи характеристики контролера:

1. Вхідна вимірювальна частота 0,1Гц – 100МГц;
2. Напруга живлення: 5-24В;
3. Струм в режимі роботи небільше: 120 мА (з урахуванням підсвітки екрану);
4. Робоча температура, °С -10 ÷ +65 ;
5. Наявні інтерфейси для програмування та зчитування SWD, UART;
6. . Зміст роботи (перелік питань, що підлягають розробці).

#### ВСТУП

1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування
2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання

#### 3. Проектно-конструкторський розділ

3.1. Синтез та аналіз структурної схеми

3.2. Синтез та аналіз електричної принципової схеми

3.3. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми. Вибір елементів

#### Висновки

Перелік посилань

#### ДОДАТКИ

Додаток А. структурна схема КРБ.ЕС. 9469985.001.Е1

Додаток Б. принципова схема КРБ.ЕС. 9469985.001.Е3

Додаток В. перелік елементів КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЕ

5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль			

Дата видачі завдання 2024 року.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (к.ф-м-н.. Папп О.В.)  
(підпис)

Завдання прийняв на виконання \_\_\_\_\_ (Тороні П.П.)  
(підпис)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Найменування етапів виконання КБР	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2024 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	до 20.02.2025 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2025 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2025 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.05.2025 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної бакалаврської роботи.	до 10.06.2025 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент \_\_\_\_\_ (Тороні П.П.)  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (к.ф-м-н.. Папп О.В.)  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота на тему «Цифровий частотометр до 100МГц на базі мікроконтролера.» / УжНУ; Керівник Папн О. В.; Студент Тороні П.П., група ЕС.

Пояснювальна записка: 37 сторінок, 13 рисунків, 2таблиць, 18 джерел, 4 додатки.

Графічна частина: 2 листи формату А1.

Об'єкт розробки – створення структурної та принципової схеми Система вимірювання частоти на базі мікроконтролера.

Метод дослідження – аналіз прототипів та аналогічних систем, синтез структурної та принципової схеми, а також її реалізація у вигляді електронної принципової схеми.

У процесі виконання цієї роботи було проведено пошук та аналіз аналогів проєктованого об'єкта. Відповідно до отриманих даних і вимог технічного завдання були розроблені структурна та принципова схеми. Проєктно-конструкторський розділ включає синтез структурної та принципової схеми, опис роботи пристрою та відповідні розрахунки.

Ключові слова: STM32, МІКРОКОНТРОЛЕР, ЧАСТОТОМІР, USB, ПРИЛАД, РОЗРАХУНКИ, СХЕМА

## ABSTRACT

Bachelor Qualification Work on the topic: “*Digital Frequency Counter up to 100 MHz Based on a Microcontroller.*” / Uzhhorod National University; Supervisor: O. V. Papp; Student: P. P. Toroni, Group: EC.

Explanatory Note: 37 pages, 13 figures, 2 tables, 18 sources, 4 appendices.

Graphical Part: 2 sheets of A1 format.

Object of the study – development of the structural and schematic diagrams of a frequency measurement system based on a microcontroller.

Research Method – analysis of prototypes and similar systems, synthesis of the block and circuit diagrams, and their implementation as an electronic schematic.

In the course of this work, an overview and analysis of existing analogs of the designed object were conducted. Based on the obtained data and the technical requirements, the structural and schematic diagrams were developed. The design section includes the synthesis of these diagrams, device operation description, and the necessary calculations.

Keywords: STM32, microcontroller, frequency counter, USB, instrument, calculations, schematic.

# ЗМІСТ

1. Вступ.....	8
2. Загальні відомості та огляд існуючих методів .....	9
2.1. Мікроконтролери.....	9
2.2. Загальні принципи проектування систем для вимірювання частоти.....	13
3. Огляд можливих схемних рішень вимірювання частоти з використанням мікроконтролерів .....	15
3.1. Формувач входних фронтів.....	15
3.2. Методи вимірювання частоти.....	17
4. Розрахунок основних блоків.....	28
4.1. Обґрунтування вимог та синтез схеми....	20
4.2. Структурна схема пристрою. Вибір основних елементів. ....	21
4.3. Вибір кварцевого резонатора. ....	23
4.4. Стабілізоване джерело живлення .....	28
4.5. Схема входного узгодження.....	29
4.6. Налаштування таймерів контролера .....	31
5. Висновок.....	34
6. Список використаної літератури.....	38
7. Додатки: Схеми електрична структурна Схеми електрична принципова Перелік елементів	

					<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>			
<i>Ви</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>					
<i>Розробив</i>		<i>Тороні П.П.</i>			Цифровий частотометр до 100МГц на базі мікроконтролера ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевіри</i>		<i>Папп О.В.</i>				<i>Н</i>	<i>7</i>	<i>37</i>
<i>Н.Конт</i>		<i>Папп О.В.</i>			<i>УжНУ, ІТФ, гр.ЕС, 4-курс</i>			
<i>Затв.</i>		<i>Зяць Т.М.</i>						

# 1. ВСТУП

Цифрові частотоміри є важливим класом вимірювальних приладів, які широко застосовуються в різних галузях електроніки та радіотехніки. Вони забезпечують можливість точно вимірювати частоту сигналів у широкому діапазоні частот. Метою даного бакалаврського проєкту є розробка цифрового частотоміра, здатного вимірювати частоту сигналів до 100 МГц на основі мікроконтролера STM32.

Частотоміри відіграють важливу роль у забезпеченні коректної роботи різноманітних електронних систем, дозволяючи здійснювати контроль якості сигналів, їх стабільність і відповідність заданим параметрам. Вони використовуються як у лабораторних умовах для налагодження та тестування радіоелектронної апаратури, так і в промислових системах для моніторингу параметрів сигналів.

Розроблюваний прилад належить до цифрових частотомірів, які базуються на принципі підрахунку числа періодів вимірюваних коливань за певний проміжок часу. Це дозволяє досягти високої точності вимірювань та забезпечити широкий діапазон вимірюваних частот. Основною перевагою цифрових частотомірів є їх багатофункціональність, що дозволяє не лише вимірювати частоту, а й аналізувати інші параметри сигналів, такі як період та тривалість імпульсів.

В ході роботи буде проведено розрахунок основних параметрів частотоміра, розроблено електричну схему пристрою та розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера STM32. Особлива увага буде приділена забезпеченню високої точності вимірювань, стабільності роботи та зручності експлуатації пристрою.

Таким чином, даний проєкт спрямований на розвиток навичок самостійної роботи при вирішенні конкретної задачі, а також на здобуття досвіду в проєктуванні радіоелектронних пристроїв.[1]

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ОГЛЯД ІНСТУЮЧИХ МЕТОДІВ

У даному розділі зробимо короткий теоретичний огляд інстуючих методів реалізації вимірювання частоти на базі мікроконтролера. Коротко зупинимось на кожному з складових.

### 2.1 Мікроконтролери

Мікроконтролери є основними компонентами сучасних вбудованих систем і використовуються в широкому спектрі застосунків від побутової техніки до промислового обладнання та автомобільної електроніки. Вони забезпечують необхідну обчислювальну потужність для виконання конкретних завдань у реальному часі, що робить їх незамінними у багатьох галузях[2].

#### Що Таке Мікроконтролер?

Мікроконтролер (МК) — це компактний інтегральний пристрій, який містить центральний процесор (CPU), пам'ять (RAM і ROM), периферійні пристрої вводу/виводу (I/O) та інші функціональні блоки на одній мікросхемі. Основне призначення мікроконтролера — керувати іншими частинами електронної системи, виконуючи програму, записану у внутрішню пам'ять.

Структурну схему мікроконтролера наведено на рисунку 1.1.

Коротко розглянемо основні компоненти сучасного мікроконтролера. Незалежно від виробника, базова архітектура є подібною.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

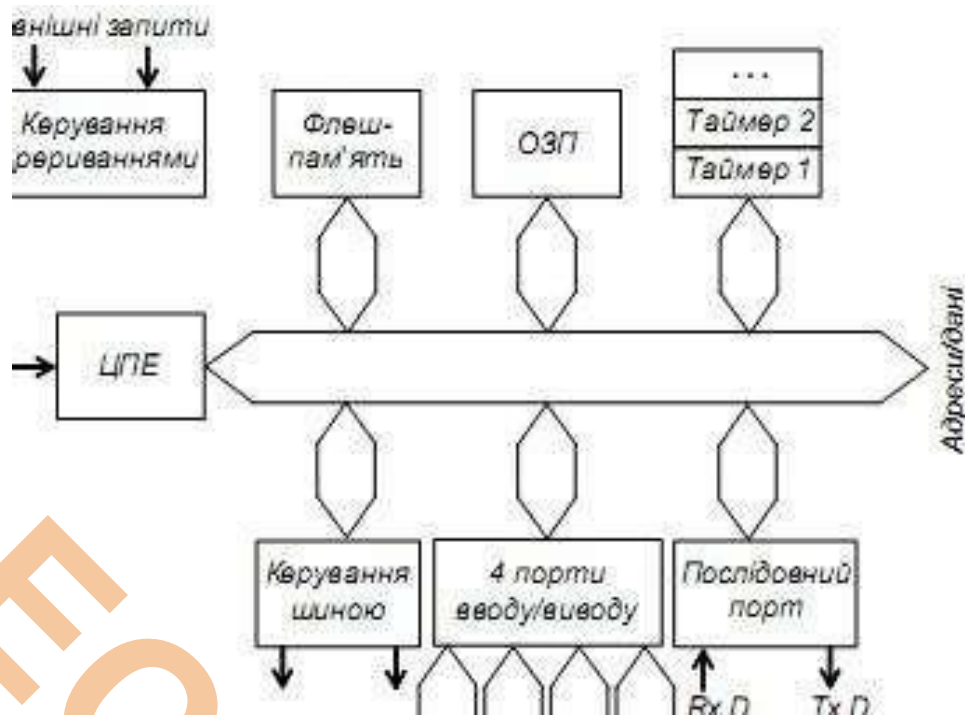


Рисунок 1.1 – Структурна схема мікроконтролера.

## Основні Компоненти Мікроконтролера

1. **Центральний процесор (CPU):** Процесор є "мозком" мікроконтролера, який виконує команди програми. Процесори можуть бути різної архітектури, наприклад, 8-бітні, 16-бітні, 32-бітні або навіть 64-бітні.

### 2. Пам'ять:

- **Оперативна пам'ять (RAM):** Використовується для тимчасового зберігання даних під час виконання програм.
- **Постійна пам'ять (ROM/Flash):** Використовується для зберігання прошивки або програмного забезпечення мікроконтролера.

3. **Периферійні пристрої:** Мікроконтролери зазвичай мають вбудовані периферійні пристрої, такі як:

- Таймери та лічильники
- Аналого-цифрові перетворювачі (ADC)
- Цифро-аналогові перетворювачі (DAC)

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ

Арк.

11

- Порти вводу/виводу (GPIO)
- Послідовні інтерфейси (UART, SPI, I2C тощо)

4. **Інтерфейси вводу/виводу:** Вони забезпечують зв'язок мікроконтролера з іншими пристроями, такими як сенсори, виконавчі механізми, дисплеї тощо.

5. **Системний тактовий генератор:** Він визначає частоту роботи мікроконтролера, забезпечуючи синхронізацію всіх внутрішніх процесів.

### Класифікація Мікроконтролерів

Мікроконтролери класифікуються за кількома параметрами, включаючи розрядність, архітектуру, обсяг пам'яті, кількість і типи периферійних пристроїв, потужність споживання та інші характеристики.

#### 1. Розрядність:

- **8-бітні:** Найбільш підходять для простих задач з низькою обчислювальною потужністю.
- **16-бітні:** Пропонують більшу потужність і більше можливостей, ніж 8-бітні.
- **32-бітні:** Використовуються для більш складних задач, що потребують високої продуктивності.
- **64-бітні:** Зазвичай використовуються в задачах, що вимагають ще вищої продуктивності і обробки великих обсягів даних.

#### 2. Архітектура:

- **Harvard:** Має окремі пам'яті для команд і даних, що дозволяє збільшити швидкість обробки.
- **Von Neumann:** Команди і дані зберігаються в одній пам'яті, що спрощує архітектуру.

	Виконав				<b>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</b>	Арк.
	Керівник					12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Спеціалізовані Мікроконтролери:

- **Контролери реального часу (RTC):** Призначені для задач, що потребують точного відліку часу.
- **Контролери з низьким енергоспоживанням:** Оптимізовані для роботи в умовах обмеженого енергопостачання, наприклад, у портативних пристроях.

Мікроконтролери використовуються у різних галузях, зокрема:

- **Побутова техніка:** Пральні машини, мікрохвильові печі, холодильники тощо.
- **Автомобільна промисловість:** Системи керування двигуном, системи безпеки, інформаційно-розважальні системи.
- **Промисловість:** Системи автоматизації, контролери для обладнання.
- **Медична техніка:** Прилади для діагностики та моніторингу стану пацієнтів.
- **Портативні пристрої:** Смартфони, розумні годинники, фітнес-трекери.
- **Інтернет речей (IoT):** Смарт-сенсори, розумні будинки, промислові інтернет-речі (IIoT).

#### Переваги Використання Мікроконтролерів

1. **Інтеграція:** Всі необхідні компоненти в одному чіпі, що зменшує розмір і вартість системи.
2. **Енергоефективність:** Мікроконтролери оптимізовані для низького енергоспоживання, що важливо для портативних пристроїв.
3. **Програмованість:** Мікроконтролери легко програмуються для виконання різноманітних задач.
4. **Надійність:** Використання мікроконтролерів дозволяє створювати надійні та стабільні системи.

	Виконав				<b>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</b>	Арк.
	Керівник					13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Загальні принципи проектування систем для вимірювання частоти.

Неухильне зростання популярності цифрових частотомірів цілком закономірний - пристрої відрізняються безперечними перевагами перед аналогами раннього випуску.

Зокрема, для приладів цього типу відзначені бездоганні метрологічні показники: - висока точність і низька похибка вимірів - дозвіл з мінімальною величиною дискретності; - висока швидкість вимірювань і обробки даних; - цифровий індикатор і візуалізація результату на дисплеї; - широкий діапазон вимірюваних частот сигналу.

Використання цифрових частотомерів дозволяє отримати достовірну інформацію в найкоротші терміни. Прилади сумісні з будь-яким обладнанням, заснованим на прийомі-передачі сигналів різної природи і потужності. При експлуатації радіоприладів і електротехніки також широко застосовується більш вдосконалений аналог вимірювального приладу - цифровий частотомір. Робота цифрового частотоміра полягає в вимірі точної кількості імпульсів окремого сигналу за певний відрізок часу. За допомогою цього приладу можна дізнатися точну частоту, на яку налаштований приймач, трансивер або інший подібний технічний пристрій. В останні роки особливою популярністю користується кишеньковий цифровий частотомір, принцип дії якого ідентичний настільного цифровому частотоміри.[4]

Загальні принципи вимірювання частоти в електронних колах базуються на кількох основних методах:

1. Метод прямого підрахунку імпульсів – полягає у підрахунку кількості імпульсів сигналу за певний інтервал часу, що дозволяє отримати частоту.
2. Метод періодичного вимірювання – визначення частоти шляхом вимірювання періоду сигналу та обчислення оберненої величини.
3. Метод порівняння з еталонною частотою – використовується для високоточного вимірювання частоти за допомогою стабільного опорного генератора.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також можливе використання цифрових схем, таких як лічильники, регістри та мікроконтролери, що забезпечують автоматизацію процесу вимірювання. Мікроконтролери, зокрема STM32, надають можливість створення багатofункціональних частотомірів з програмованими параметрами.

Огляд можливостей мікроконтролерів відповідно до їх характеристик приведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики популярних контролерів.

Мікроконтролер	Діапазон частот	Живлення	Похибки	Час вимірювання	Струм	Можливості
PIC16F876	0,1 Гц - 50 МГц	8-15 В	$\pm 0,2$ Гц	3 с, 10 с, 30 с	60 мА	Вимірювання частоти, вимірювання напруги джерела живлення
PIC16F84	0,1 Гц - 60 МГц	8-16 В	$\pm 0,5$ Гц	0,1 с; 1 с; 10 с	50 мА	Частотомір
ATmega8	1 Гц - 1 МГц	5 В	$\pm 1$ Гц	1 с (1 кГц - 1 МГц); до 10 с (1 Гц - 1 кГц)	<50 мА	Частотомір
STM32	1 Гц - 100 МГц	3,3 В	$\pm 0,01$ Гц	0,1 с; 1 с; 10 с	<20 мА	Частотомір, вимірювання періоду, обробка сигналу, висока точність

### 3. ОГЛЯД МОЖЛИВИХ СХЕМНИХ РІШЕНЬ СХЕМ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

Потрібно розглянути кожен із функціональних блоків частотоміра. Коротко розглянемо варіанти реалізації кожного з функціональних блоків.



Рисунок 3.1 – Структурна схема частотоміра.

#### 3.1. Формувач вхідних фронтів.

Сигнал, що надходить на вхід частотоміра, може мати довільну амплітуду, форму та рівень шумів. Щоб мікроконтролер міг надійно фіксувати фронти, необхідно привести цей сигнал до стандартного логічного рівня з чітким перепадом "0 → 1". Такий блок називається формувачем вхідних фронтів.

## Основні функції:

- Усунення шуму
- Перетворення аналогового/синусоїдального сигналу у квадратний
- Захист входу мікроконтролера

## Можливі реалізації:

### 1. Шмітт-тригер (наприклад, 74HC14, SN74LVC1G17):

- Формує чіткий фронт завдяки гістерезису
- Простий, недорогий, CMOS-сумісний
- Підходить для TTL/CMOS сигналів до 100 МГц
- *Застосування:* цифрові частотоміри, генератори

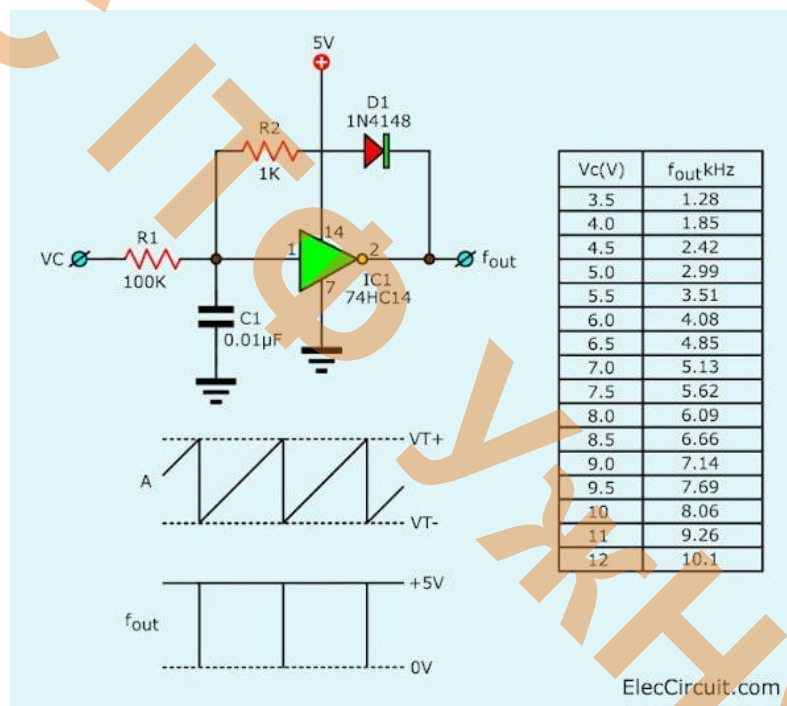


Рисунок 3.2 –Схема 74HC14 [19].

### 2. Операційний компаратор (наприклад, LMV7219, LM339):

- Встановлення порогу спрацювання (регульоване)
- Працює з аналоговими сигналами до кількох десятків МГц
- Потребує живлення  $\pm$  або буферизації
- *Застосування:* аналогові сигнали, RF, вимірювачі модуляції

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ

Арк.

17

### 3. Дискретні транзисторні формувачі:

- Перетворення синусоїди → імпульси за допомогою прп/прп
- Дуже прості, але мають обмеження по частоті (~10 МГц)
- *Застосування:* побутові схеми, низькочастотні вимірювання

### 4. Fast Comparator IC + Hysteresis + Buffer (наприклад, LTC6752, LMV7219 + 74LVC):

- Прецизійне формування фронтів до 200–500 МГц
- *Застосування:* вимірювання високочастотних сигналів

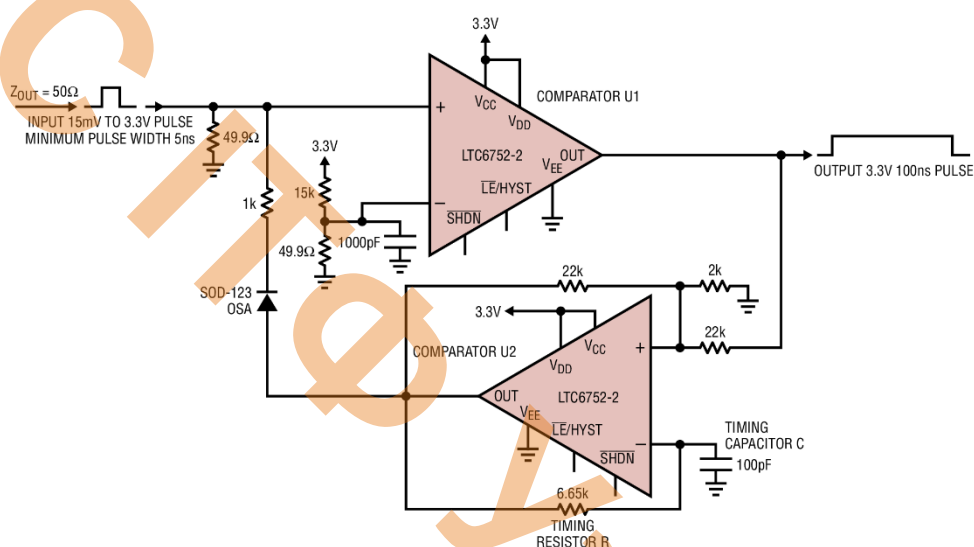


Рисунок 3.3 –Схема формування фронтів LTC6752 [20].

#### 3. 1. Методи вимірювання частоти.

Існує кілька методів вимірювання частоти, залежно від вимог до точності, швидкодії та обчислювальних ресурсів.

Розглянемо основні методи:

##### 1. Метод часових воріт (Gate Time Method):

- Рахується кількість імпульсів за фіксований інтервал часу (наприклад, 1 с)

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Похибка:  $\pm 1$  імпульс
- Потребує стабільного опорного таймера
- *Застосування:* універсальні частотоміри, прості реалізації

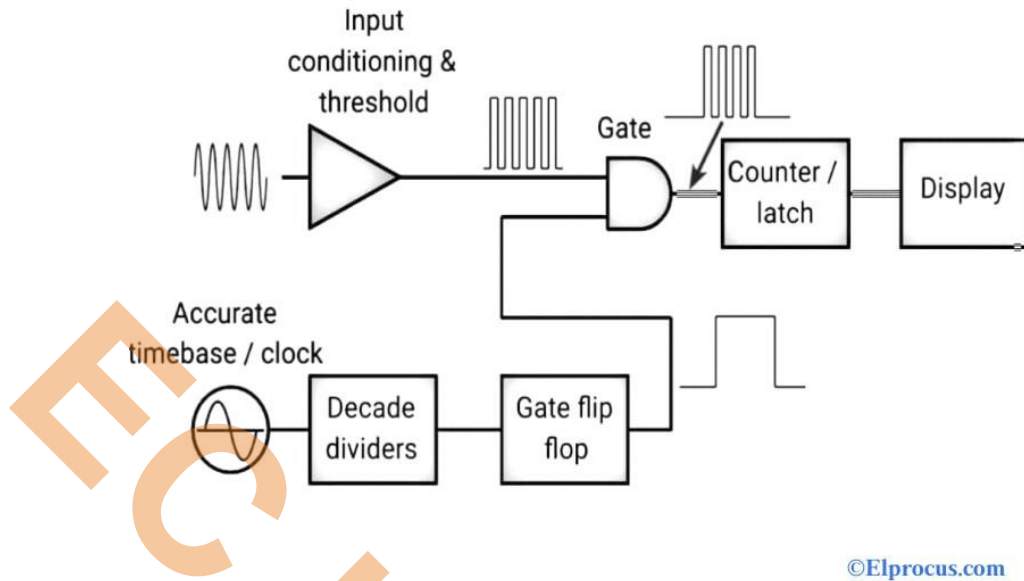


Рисунок 3.4 –Схема ілюструє метод часових воріт [21].

На рисунку 3.4 видно, як вхідний сигнал проходить через пороговий формувач, потім за допомогою логічного вентиля ("Gate") відрізок сигналу обмежується точним часовим інтервалом (генерується опорним таймером). Пульси, що проходять через воріт, підсумовуються лічильником, а результат виводиться після завершення інтервалу.

Це наочне зображення допоможе коротко і зрозуміло пояснити принцип методу часових воріт у вашому пояснювальному матеріалі.

## 2. Метод вимірювання періоду (Reciprocal Frequency Counter):

- Вимірюється час між фронтами (T), частота =  $1/T$
- Підвищена роздільність при низьких частотах
- Потребує точного таймера
- *Застосування:* вимірювання малих частот з високою роздільністю

## 3. Комбіновані методи (Hybrid):

- Перемикання між періодом і частотою залежно від діапазону
- Наприклад: до 10 кГц — період, >10 кГц — частота

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- *Застосування:* автоматичні частотоміри, пристрої з адаптивним масштабом

#### 4. Використання зовнішнього лічильника (в режимі External Clock):

- Таймер MCU працює як імпульсний лічильник
- Висока точність при частотах до 100 МГц (STM32 TIMx)
- *Застосування:* високочастотні частотоміри, логічні аналізатори

#### 5. Програмна реалізація з таймерами:

- Використовується мікроконтролер без спеціального режиму Input Capture
- Обмежена точність, залежить від частоти ядра
- *Застосування:* низькошвидкісні системи, Arduino-проекти

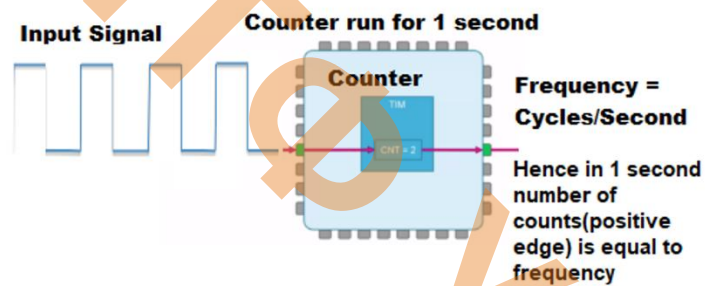


Рисунок 3.5 –Схема використання апаратного лічильника.[23]

На рисунку 3.5 показано використання апаратного лічильника (Timer) STM32 для вимірювання кількості імпульсів за фіксований інтервал — принцип таймерного підходу методами часових воріт.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4. РОЗРАХУНКИ ОСНОВНИХ БЛОКІВ ПРИСТРОЮ

### 4.1. Обґрунтування вимог та синтез схеми.

Пристрій повинен мати у своєму складі:

- частотомір до 100 МГц;
- Генератор сигналів.

Принцип роботи лічильника частоти на мікроконтролері STM32 повинен забезпечити наступне:

- взаємозамінність змінних одного з номінальних компонентів;
- ремонтпридатність

Конструкція блоку повинна містити наступне:

- простота використання;
- варіант ремонту;
- Доступ до всіх елементів, вузлів, які необхідно регулювати або обмінювати під час роботи.

Проектована схема вимірювача частоти повинна бути реалізована на основі високопродуктивного 32-бітного мікроконтролера **STM32F405**, побудованого на ядрі ARM Cortex-M4 із вбудованим модулем плаваючої коми (FPU). Така апаратна база дозволяє реалізувати вимірювання частоти сигналів до **100 МГц** із високою точністю, мінімальною похибкою та підтримкою різних режимів відображення інформації.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Основна функціональність пристрою:

- Вимірювання частоти в діапазоні **1 Гц – 100 МГц**
- Вимірювання напруги живлення в діапазоні **0 – 25,5 В**
- Виведення результатів на **графічний OLED-дисплей (128×64)** через I<sup>2</sup>C або SPI
- Реалізація енергозберігаючих режимів із автоматичним вимкненням дисплея
- Програмоване зміщення вимірюваної частоти (offset) в межах  $\pm 99.999$  кГц
- Підтримка меню налаштувань, збереження параметрів у Flash
- Кнопкове управління режимами відображення частоти та напруги [4].

### 4.2. Структурна схема пристрою. Вибір основних елементів.

Система складається з таких функціональних блоків:

1. **Формувач фронтів** – забезпечує перетворення вхідного аналогового сигналу у цифровий прямокутний сигнал TTL-рівня.
2. **Лічильник частоти** – реалізований на базі одного з таймерів **TIM2/TIM5 STM32** у режимі зовнішнього тактування (**External Clock Mode 1**). Це дозволяє апаратно рахувати кількість імпульсів за фіксований період часу.
3. **Таймер захоплення (Input Capture)** – виконує точний підрахунок періодів низькочастотних сигналів.
4. **АЦП STM32 (12 біт)** – використовується для вимірювання напруги через подільник (діапазон 0 – 25,5 В).
5. **Інтерфейс користувача** – OLED-дисплей для відображення результатів і кнопка керування режимами.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо трошки детальніше кожен функціональний блок даної структурної схеми.

- **Мікроконтролер STM32F405** працює на тактовій частоті до 168 МГц. Він забезпечує паралельне виконання кількох задач: підрахунок частоти, обробка та масштабування результатів, керування дисплеєм, збереження параметрів користувача.
- Для дисплея застосовується **OLED-модуль з контролером**, який з'єднаний з STM32 через інтерфейс I<sup>2</sup>C. Виведення частоти реалізується в форматах:
  1. XX.XX МГц
  2. X.XXX МГц
  3. XXX.X кГц
- **Подільник напруги (резистори SMD 0.1%)** масштабує вхідну напругу до рівня ADC (макс. 3.3 В) для вимірювання джерела живлення.
- **Кнопки управління** дозволяють перемикати режими індикації, налаштування offset та вводити меню стартових параметрів (при ввімкненні).
- Для зменшення енергоспоживання дисплей вимикається, якщо протягом заданого інтервалу (3–240 с) не було змін частоти або дій користувача. Пристрій повертається в робочий режим при зміні сигналу або натисканні кнопки.
- Усі параметри користувача (offset, режим індикації, час вимкнення) зберігаються у Flash-пам'яті STM32 без потреби у зовнішній EEPROM.
- Живлення подається через стабілізатор (наприклад, AMS1117-3.3), що перетворює вхідні 9 В на стабільні 3.3 В для логіки та дисплея.

Параметр	Значення
Частотний діапазон	1 Гц – 100 МГц
Роздільна здатність дисплея	100 Гц
Тип дисплея	OLED 0.96", SSD1306, I <sup>2</sup> C

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр	Значення
Похибка вимірювання	$\leq \pm 12.5$ Гц
Напруга вимірювання	0 – 25.5 В (через RC-подільник)
Напруга живлення пристрою	9 В DC $\pm$ 5%
Середній струм споживання	$\sim 20$ мА (робочий режим), $< 10$ мА (sleep)
Підключення до ПК / оновлення	USB (DFU) або SWD через ST-Link
Корпус	2-платна конструкція, SMD компоненти

### 4.3 Вибір кварцевого резонатора.

Даний частотомір на базі мікроконтролера STM32, працює з кварцовим резонатором на 32.768 кГц. Такі кварци дуже поширені в годинниках, таймерах та інших пристроях, де потрібна висока точність відліку часу. Вони надійні, стабільні та точні, але мають один нюанс — їх частота змінюється (незначно) з температурою. Щоб забезпечити стабільну частоту в усьому температурному діапазоні, існує кілька варіантів.

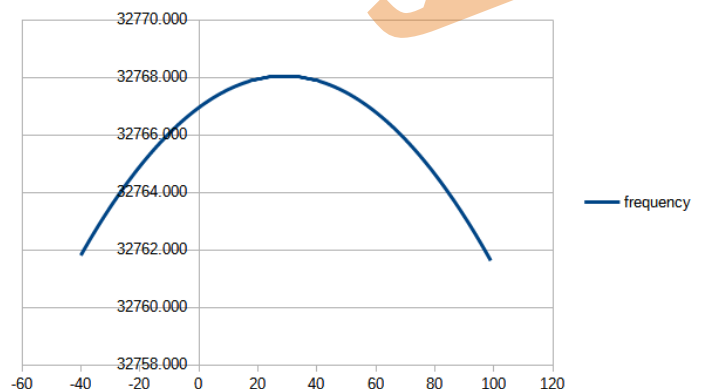


Рисунок 4.1 –Кварцевий резонатор та його характеристика.

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ

Арк.

24

- Термостатований кварц (ОСХО — Oven Controlled Crystal Oscillator) Один із способів — утримувати кварц у контрольованому температурному середовищі. Наприклад, у професійному частотомірі це реалізовано через ОСХО. Проте така "пічка" споживає багато енергії, тому не підходить для малопотужних систем.
- Температурно-компенсований кварц (ТСХО — Temperature Compensated Crystal Oscillator) Інший підхід — використання ТСХО. Популярний приклад — DS3231 від компанії Maxim. Це дуже точний і низькоспоживальний модуль. Але він потребує додаткової мікросхеми, що означає збільшення плати, споживання енергії та вартості.
- Корекція частоти вбудованим RTC STM32 Існує і третій варіант, який і реалізується в цьому проекті. STM32 має вбудований RTC (реальний годинник), який працює від звичайного кварцу на 32.768 кГц. Він підраховує 32768 імпульсів на секунду. Але якщо частота не зовсім точна, контролер має можливість додавати або віднімати імпульси для автоматичної температурної компенсації.

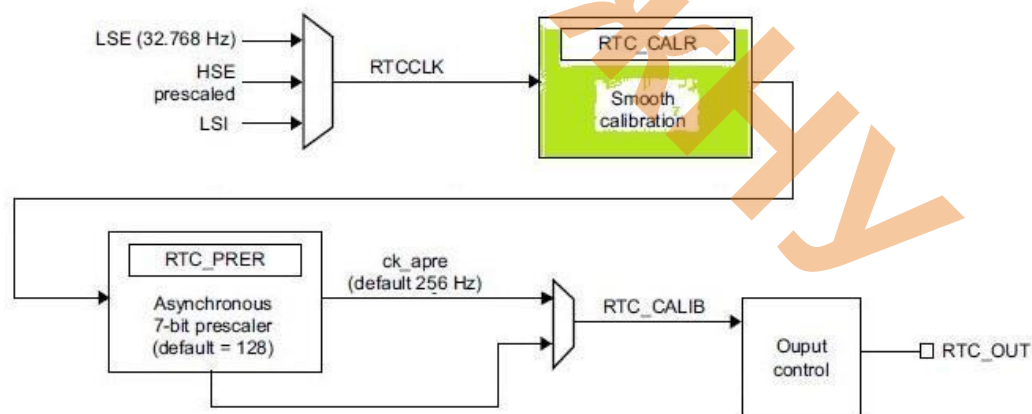


Рисунок 4.2 –Схема корекції частоти.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					25
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звісно, мікроконтролер сам по собі "не знає", коли частота є неточною — це спочатку потрібно виміряти за допомогою частотоміра. Після цього можна вказати RTC (Real-Time Clock), щоб він додавав або віднімав певну кількість імпульсів, аби досягти точно 32768 імпульсів на секунду.

У мікроконтролері STM32F405 також є вбудований датчик температури, який можна використати для коригування частоти залежно від температури.

Такі коригування відбуваються протягом інтервалу у 32 секунди. Упродовж цього періоду RTC додає або віднімає імпульси таким чином, щоб їхня загальна кількість склала 1 048 576 імпульсів ( $32768 \times 32$ ). Кількість імпульсів, які потрібно додати або відняти, може змінюватися і розподіляється по всіх 32 секундах, тож окрема секунда може бути трохи довшою або коротшою за попередню. Але в середньому за 32 секунди похибка компенсується, і кожна секунда в середньому відповідає реальному часу.

Отже, нам зараз потрібен частотомір із тривалістю часових воріт 32 секунди. Якщо вже братися за створення такого пристрою, то чому б не зробити одразу з підтримкою кількох варіантів тривалості воріт?

Я реалізував частотомір із такими варіантами:

- від 100 мс з кроком 100 мс до 1 секунди,
- далі — від 1 до 50 секунд,
- а також додатковий режим на 60 секунд.

Триваліші інтервали також можливі, але вже з певними змінами в схемі — про це згодом.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					26
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частотомір працює за принципом зворотного (reciprocal) методу, що означає: він одночасно рахує два сигнали —

1. вхідний сигнал (той, частоту якого вимірюємо)
2. високочастотний опорний сигнал.

Цей другий сигнал має бути якомога вищої частоти. Його точне значення не настільки критичне, але воно повинне бути відомим з високою точністю.

Головна ідея:

Підрахунок обох сигналів починається одночасно — на фронті (rising edge) вхідного сигналу, і завершується також на його наступному фронті.

Це реалізовано за допомогою D-тригерів (D-flip-flops), які фіксують момент старту й завершення вимірювання на передньому фронті вхідного сигналу. Таким чином, ми точно знаємо, що виміряно цілу кількість періодів вхідного сигналу.

Паралельно з цим відбувається підрахунок високочастотного опорного сигналу. І хоча його фронти не обов'язково співпадають із початком чи кінцем вимірювання, завдяки високій частоті одна-дві пропущені лінії майже не впливають на точність.

Маючи ці дві кількості імпульсів (вхідного та опорного сигналів), можна вирахувати частоту вхідного сигналу з дуже високою точністю.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					27
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

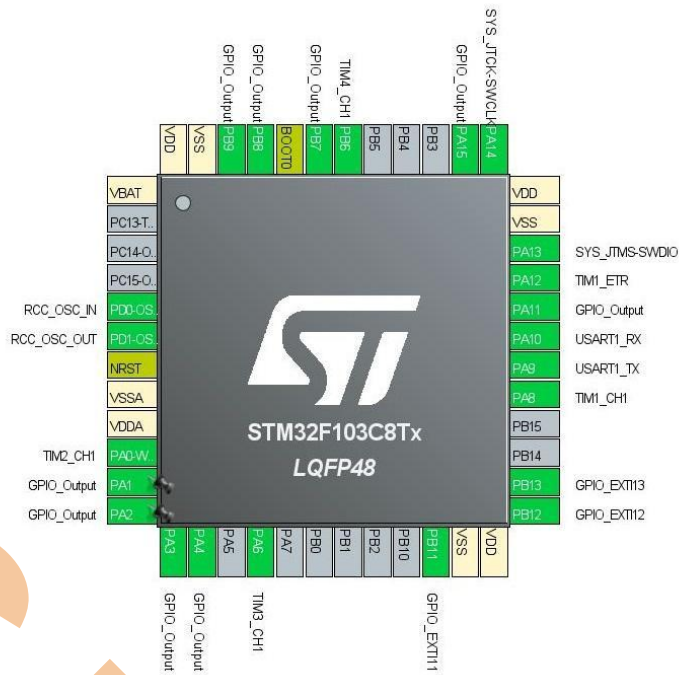


Рисунок 4.3 – Блок-схема налаштування виводів мікроконтролера у системі проектування програмного забезпечення STM32CubeIDE.

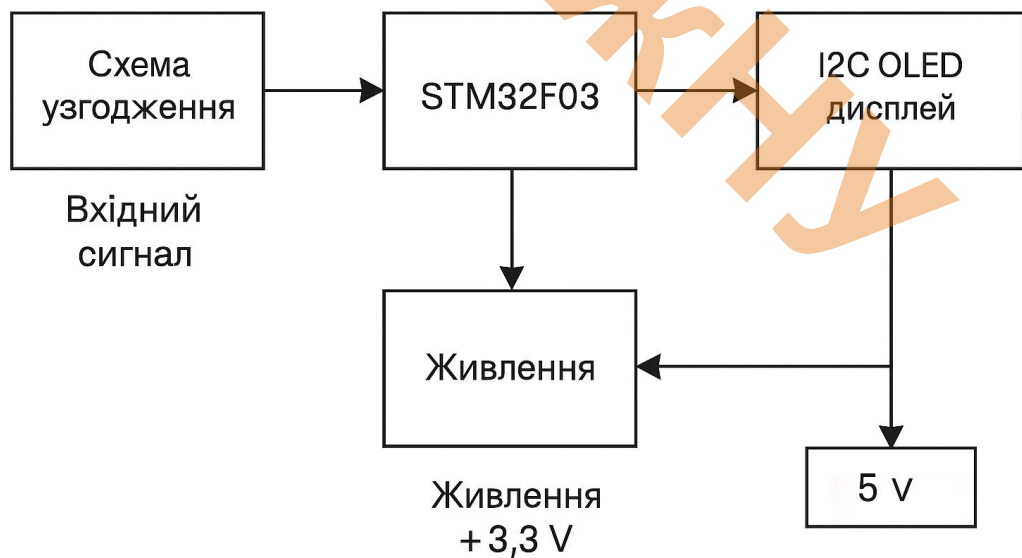


Рис 4.3 Структурна схема пристрою.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					28
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Схема узгодження;
2. STM32F405;
3. Лінійний стабілізатор живлення контролера;
4. LCD дисплей;

#### 4.4 Стабілізоване джерело живлення

Стабілізатори напруги набули широкого застосування в повсякденному житті споживача. Однією з таких сфер є використання в блоках живлення комп'ютерів, де вони стабілізують напругу постійного струму, що використовується процесором і іншими елементами[7].

Мікросхеми стабілізаторів напруги діляться на два класи: лінійні стабілізатори і імпульсні стабілізатори. Лінійні стабілізатори - пристрої, які працюють у своїй лінійній області. На вхід лінійного стабілізатора подається вхідна, нестабільна напруга, а при виході генерується стабільна. Лінійні стабілізатори прості і не вимагають великої кількості додаткових електронних компонентів. Імпульсні стабілізатори - генерувати вихідну напругу, яка вище вхідної або має протилежну полярність.

Потужність, що передається через прохідний пристрій, має дискретні імпульси, за рахунок чого досягається велика ефективність, так як прохідний пристрій працює як перемикач з низьким опором. Таким чином, ефективність імпульсного стабілізатора коливається в діапазоні від 70 до 90%. Мікросхема живлення L7805CV TO-220 відноситься до типу лінійних стабілізаторів напруги (ЛСН). Вона призначена для автоматичної, постійної підтримки стабільної напруги. Залежно від типів стабілізаторів, їх можна використовувати для регулювання одного або декількох напруг, змінного або постійного струму.

Стабілізатор напруги L7805CV TO-220. Стабілізатор напруги у вигляді мікросхеми з трьома виводами (рис. 4.3). Використовується для стабілізації напруги і як понижуючий перетворювач напруги.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					29
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При роботі на потужне навантаження може знадобитися радіатор охолодження.



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд стабілізатора

Мікросхема L7805CV є стабілізатор напруги з вихідним напругою 5,0 В позитивної полярності. Призначена для стабілізації позитивного фіксованого напруги у вузлах і блоках апаратури широкого застосування. Має вбудований захист від перегріву і вбудовану односпинний захист від перевантажень. Корпус: ТО-220. Маса не більше 2,5 г. Діапазон робочих температур від 0 до +150°C. Основні параметри стабілізатора L7805CV: - вхідна напруга - від 7 до 25 В; - потужність, що розсіюється - 15 Вт; - вихідна напруга - 4,75 ... 5,25 В; - вихідний струм - до 1,5 А.

#### 4.5 Схема вхідного узгодження.

На риснку представлено вхідний каскад обробки сигналу, який використовується для формування коректного цифрового фронту з аналогового або TTL-сигналу. Схема виконує одразу дві функції: захист входу та формування затримки (delay line) на базі елементів логіки NAND із серії 74HC00.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					30
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

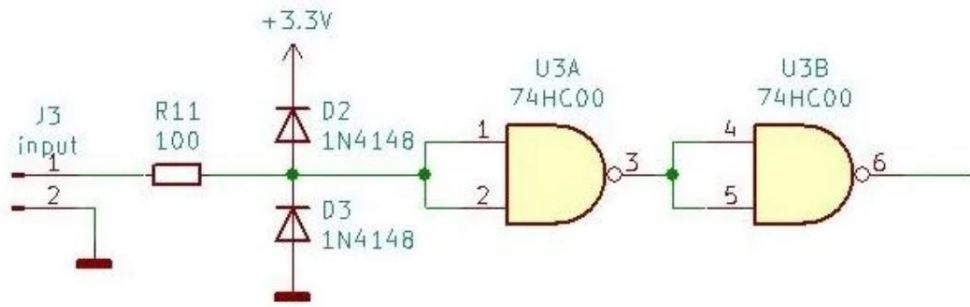


Рисунок 4.4 – Моделювання каскаду узгодження вхідного сигналу.

### 1. Захист входу:

- J3 – Вхідний роз'єм для подачі сигналу (наприклад, через SMA).
- R11 – обмежувальний резистор (100 Ом):
  - обмежує струм при перенапрузі;
  - забезпечує розв'язку між джерелом сигналу та логікою.
- D2 та D3 – діоди 1N4148, підключені до 3.3V і GND:
  - працюють як діодний затискач;
  - обмежують вхідну напругу до діапазону [0 V; 3.3 V];
  - захищають мікросхему від надмірної напруги.

### 2. Логіка на базі 74HC00:

- U3A та U3B – два NAND-елементи із 74HC00:
  - NAND-елементи з'єднані послідовно;
  - вхід обох елементів підключено паралельно до одного сигналу (тобто логічно це інвертор).

### 3. Лінія затримки (delay line):

- Затримка створюється переходом сигналу через кілька логічних елементів (інверторів);
- Кожен елемент (U3A, U3B) додає ~5–10 нс затримки (залежно від серії HC, температури, живлення);
- Така затримка важлива при вимірюванні тривалості імпульсів, синхронізації або формуванні фронтів для запуску тригерів.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Вхідна частина зроблена максимально просто: резистор і два діоди захищають входи елементів 74HC00.

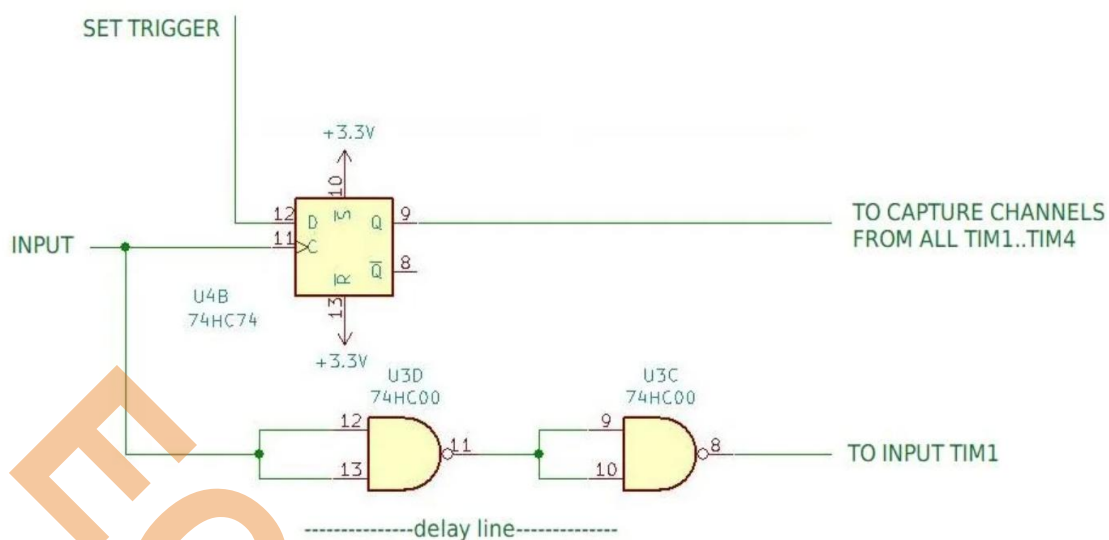


Рисунок 4.5 – Моделювання каскаду лінії затримки вхідного сигналу.

Вхід D тригера (D-FlipFlop), який використовується для запуску вимірювання, встановлюється в логічну "1" мікроконтролером. Це відбувається згідно з заданим часом воріт. Далі, щойно на тактовому вході з'являється фронт (перехід з 0 у 1), вихід Q встановлюється в "1". Цей сигнал подається на вхід Channel-1 усіх 4 таймерів, і поточне значення кожного з них фіксується та обробляється. Самі таймери при цьому не зупиняються.

Оскільки сигнал на виході тригера з'являється з невеликою затримкою, я також затримав вхідну частоту на два логічні елементи NAND перед тим, як подавати її на таймер, що рахує частоту. Таким чином, сигнал запуску і вхідний сигнал надходять одночасно, забезпечуючи точне вимірювання.

#### 4.6 Налаштування таймерів контролера.

Перше — було створено невелику таблицю для часів воріт. У діапазоні від 100 мс до 1 секунди крок становить 100 мс, далі — від 1 секунди до 50 секунд — крок уже 1 секунда, а останній перехід — з 50 до 60 секунд (тобто +10 секунд). Я хотів

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

мати як короткі, так і довші часи воріт, але не хотів використовувати крок 100 мс аж до 60 секунд.

```
const uint16_t time_table[60] =
{
    100,  200,  300,  400,  500,  600,  700,  800,  900,  1000,  //00 - 09
    2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 11000, //10 - 19
    12000, 13000, 14000, 15000, 16000, 17000, 18000, 19000, 20000, 21000, //20 - 29
    22000, 23000, 24000, 25000, 26000, 27000, 28000, 29000, 30000, 31000, //30 - 39
    32000, 33000, 34000, 35000, 36000, 37000, 38000, 39000, 40000, 41000, //40 - 49
    42000, 43000, 44000, 45000, 46000, 47000, 48000, 49000, 50000, 60000 //50 - 59
};
```

Далі йде ініціалізація тактового генератора, дисплея та таймерів. Усі таймери мають ширину 16 біт, тобто можуть рахувати від 0 до 65535. Цього абсолютно недостатньо для реалізації частотоміра.

Більшість (а можливо, й усі) мікроконтролери STM32 дозволяють з'єднувати таймери між собою кількома способами. Наприклад, можна синхронізувати один таймер з іншим, запускати або скидати його. У цьому випадку зеднано два таймери так, щоб один з них ділив тактову частоту для наступного. Разом вони утворюють 32-бітний лічильник, який може рахувати від 0 до 4 294 967 295, перш ніж знову обнулитися.

```
static void MX_TIM2_Init(void)
{
    LL_TIM_InitTypeDef TIM_InitStruct = {0};
    LL_GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
    LL_APB1_GRP1_EnableClock(LL_APB1_GRP1_PERIPH_TIM2);
    LL_APB2_GRP1_EnableClock(LL_APB2_GRP1_PERIPH_GPIOA);
    GPIO_InitStruct.Pin = LL_GPIO_PIN_0; //CH1
    GPIO_InitStruct.Mode = LL_GPIO_MODE_INPUT;
    GPIO_InitStruct.Pull = LL_GPIO_PULL_UP;
    LL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);
    NVIC_SetPriority(TIM2_IRQn, NVIC_EncodePriority(NVIC_GetPriorityGrouping(),0, 0));
    NVIC_EnableIRQ(TIM2_IRQn);
    TIM_InitStruct.Prescaler = 0;
    TIM_InitStruct.CounterMode = LL_TIM_COUNTERMODE_UP;
    TIM_InitStruct.Autoreload = 65535;
```

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ

Арк.

33

```

TIM_InitStruct.ClockDivision = LL_TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
LL_TIM_Init(TIM2, &TIM_InitStruct);
LL_TIM_DisableARRPreload(TIM2);
LL_TIM_SetTriggerInput(TIM2, LL_TIM_TS_ITR0); //clock coming from TIM1
LL_TIM_SetSlaveMode(TIM2, LL_TIM_CLOCKSOURCE_EXT_MODE1);
LL_TIM_DisableIT_TRIG(TIM2);
LL_TIM_DisableDMAReq_TRIG(TIM2);
LL_TIM_SetTriggerOutput(TIM2, LL_TIM_TRGO_RESET);
LL_TIM_DisableMasterSlaveMode(TIM2);
LL_TIM_IC_SetActiveInput(TIM2, LL_TIM_CHANNEL_CH1, LL_TIM_ACTIVEINPUT_DIRECTTI);
LL_TIM_IC_SetPrescaler(TIM2, LL_TIM_CHANNEL_CH1, LL_TIM_ICPSC_DIV1);
LL_TIM_IC_SetFilter(TIM2, LL_TIM_CHANNEL_CH1, LL_TIM_IC_FILTER_FDIV1);
LL_TIM_IC_SetPolarity(TIM2, LL_TIM_CHANNEL_CH1, LL_TIM_IC_POLARITY_RISING);
}

```

Як я вже зазначав, внутрішня тактова частота мікроконтролера становить 70 МГц. Це означає, що за 61 секунду такий «об'єднаний таймер» переповниться. Ось вам і причина, чому максимальний час воріт не перевищує 60 секунд. STM32F103C8 може працювати й на частоті 72 МГц, але тоді таймери переповнюються вже через 59 секунд.

Можна реалізувати й значно більші інтервали, якщо використовувати переривання при переповненні таймера (так зване UPDATE-переривання). У такому випадку це переривання можна використовувати для збільшення ще одного програмного лічильника, значення якого додається до поточного значення таймера. У моєму випадку я вирішив, що така складність не потрібна.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

## 5. ВИСНОВОК

У ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи «**Цифровий частотомір на мікроконтролері STM32 (1 Гц – 100 МГц)**» були виконані всі завдання, визначені технічним завданням, а саме:

### 1. Проведено аналітичний етап

- здійснено огляд існуючих методів вимірювання частоти та сучасної елементної бази;
- порівняно особливості різних мікроконтролерних платформ і обгрунтовано вибір STM32F405.

### 2. Розроблено апаратну частину приладу

- сформовано електричну *структурну* та *принципову* схеми;
- спроектовано вхідний формувач сигналу на 74HC00 з лінією затримки та захистом;
- синтезовано вузол живлення на AMS1117-3.3 з вхідним DC 3,3 В;
- підібрано точний ОСХО 10 МГц як опорний генератор і кварц 32,768 кГц для RTC-підсистеми;
- обрано дисплей SSD1306 та інтерфейс SWD.

### 3. Розроблено програмне забезпечення

- реалізовано метод *reciprocal* з апаратним рахуванням TIM2 + TIM5 (32-біт);
- запроваджено таблицю часових воріт 0,1 с ... 60 с та енергозберігаючий «sleep»-режим;
- створено меню налаштувань, функцію частотного offset ( $\pm 99,999$  кГц) і збереження параметрів у Flash.

### 4. Проведено інженерні розрахунки

- підтверджено здатність лічильника працювати без переповнення при  $t \leq 60$  с;
- оцінено похибку вимірювання ( $\leq \pm 12,5$  Гц), роздільну здатність (100 Гц) та споживану потужність ( $\sim 20$  мА у робочому режимі,  $< 10$  мА у sleep).

### 5. Сформовано рекомендації щодо виготовлення й подальшої модернізації

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- запропоновано друковану плату з двох SMD-модулів і можливість швидкої заміни ОСХО/ТСХО;
- передбачено резервні виводи MCU для додавання вимірювання періоду, генератора сигналів або інтерфейсу BLE/Wi-Fi.

### Основні переваги створеного пристрою

- **Широкий діапазон** вимірювань — 1 Гц ... 100 МГц із апаратною підтримкою високих частот.
- **Висока точність і стабільність** завдяки ОСХО та алгоритму компенсації RTC.
- **Енергоефективність**: середній струм  $\leq 20$  мА; автоматичне відключення OLED-підсвітки.
- **Гнучкість налаштувань** (часові ворота, offset, режими індикації) і зручне меню.
- **Модульність і ремонтпридатність**: більшість компонентів доступні на локальному радіоринку, плата розділена на логічний та індикаторний модулі.
- **Можливість подальшого розширення**: додавання вимірів напруги/періоду, логічного аналізатора, бездротового зв'язку.

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Буличов А. Л. та ін. *Аналогові інтегральні схеми*. — 1985. — 223 с.
2. Григор'єв О. П. та ін. *Діоди*. — М.: Радіозв'язок, 1990.
3. Хоровіц П., Хілл У. *Мистецтво електротехніки: У 2 т.* — 1998.
4. Tietze U., Schenk C., Gamm E. *Halbleiter-Schaltungstechnik*. — Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2019.
5. Peatman J. B. *Design with PIC Microcontrollers*. — Prentice Hall, 1998.
6. Wilmshurst T. *Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers: Principles and Applications*. — Newnes, 2010.
7. Колонтаєвський Ю. П. *Мікропроцесорна техніка: Конспект лекцій для студентів напряму 0906 "Електротехніка", 6.050701 "Електротехніка та електротехнології"*. — Харків: ХНАМГ, 2009. — 83 с.
8. Шкодзінський О. К., Пісьціо В. П., Медвідь В. Р., Галушка А. В. *Методичні вказівки до лабораторної роботи № 16 "Ознайомлення із контролерами сімейства Arduino"*. — Тернопіль: ТНТУ, 2016. — 27 с.
9. Ардуіно в Україні — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduino-ua.com>
10. Iskra-Neo — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://amperka.ru/product/iskra-neo>
11. Arduino — [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Arduino. — Режим доступу: <https://www.arduino.cc>
12. Kurt E. Tod. *Arduino and Bionic*. — Machineproject, November 2007.
13. Banzl M. *Getting Started with Arduino*. — М.: Рид Групп, 2012. — 128 с.
14. Evans B. W. *Arduino Programming Notebook*. — California, USA, 2007. — 40 р.
15. Шкодзінський О. К., Пісьціо В. П., Медвідь В. Р., Галушка А. В. *Методичні вказівки до лабораторної роботи № 16 "Ознайомлення із контролерами сімейства Arduino"*. — Тернопіль: ТНТУ, 2016. — 27 с.

	Виконав				КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					37
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Barnett R. H., Cox L. O., O'Cull L. *Embedded C Programming and the Atmel AVR*. — Thomson Delmar Learning, 2003.
17. Valvano J. W. *Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers*. — CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011.
18. Yeralan S., Emery A. *Programming and Interfacing the 8051 Microcontroller*. — Addison-Wesley, 1997.

**Ілюстративні джерела:**

19. Шмітт-тригер (74HC14, SN74LVC1G17) — [https://www.electronicstutorials.ws/waveforms/schmitt\\_3.gif](https://www.electronicstutorials.ws/waveforms/schmitt_3.gif)
20. Операційний компаратор (LM339) — <https://www.electronicstutorials.com/images/op-amp-comparator-circuit-01.svg>
21. Дискретні транзисторні формувачі сигналу — [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6b/Transistor\\_Switch\\_Animation.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6b/Transistor_Switch_Animation.gif)
22. Fast Comparator + Buffer (LTC6752 + 74LVC) — <https://www.analog.com/media/en/products/ltc6752/ltc6752-app-circuit.png>
23. Метод часових воріт (Gate Time Method) — <https://www.elprocus.com/wp-content/uploads/Frequency-Counter-Block-Diagram.jpg>

	Виконав				<i>КРБ.ЕС. 9469985.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Заяцю Тарасу Михайловичу

Студента (-ки) 4 курсу  
спеціальності 171 Електроніка  
Тороні П.П.  
(прізвище, ініціали)

## ЗАЯВА

### ЩОДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ/КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧЕМ ОСВІТИ

Я, Тороні Петро Петрович  
(прізвище, ім'я, по батькові),  
Студент(-ка) Денної форми навчання, ІТФ, ЕС, 4 курсу  
(форма навчання, факультет, курс)  
заявляю: моя письмова робота на тему: Цифровий частотометр  
до 100 МГц на базі мікроконтролера

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

24.06.25

Дата

Тороні

Підпис

Додаток 2.

**ДОВІДКА**  
про результати перевірки на унікальність  
кваліфікаційної, навчальної (курсової) роботи

Автор роботи	Тороні П.П.
Назва роботи	Цифровий частотометр
	до 100МГц на базі мікроконтролера
Спеціальність	171 Електроніка
Курс	4
Факультет	ІТФ
Кафедра	ЕС
Керівник роботи	Папп О.В.
Роботу перевірено в програмі	Unichек
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	17%
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	17%

Відповідальна особа/  
Науковий керівник роботи

24.06.25

Дата

Папп О.В.

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Папп О В

Підпис



Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA  
Дата видачі: понеділок, 23 червня 2025, 10:18  
Доступно через [www.antip.la](http://www.antip.la)

# Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)	17%
Назва документу	Тороні-антіпла.docx
Кількість символів	13,266
Кількість спеціальних символів	79
Кількість слів	1,820
Унікальна кількість слів	1,137
Кількість речень	149
Найпоширеніші слова	на, з, до, для, і
Найдовше слово	Температурно-компенсований
Середня довжина слова	6.3
Середня кількість слів у реченні	12.2
Всього посилань	0
Кількість слів із плагіатом	294

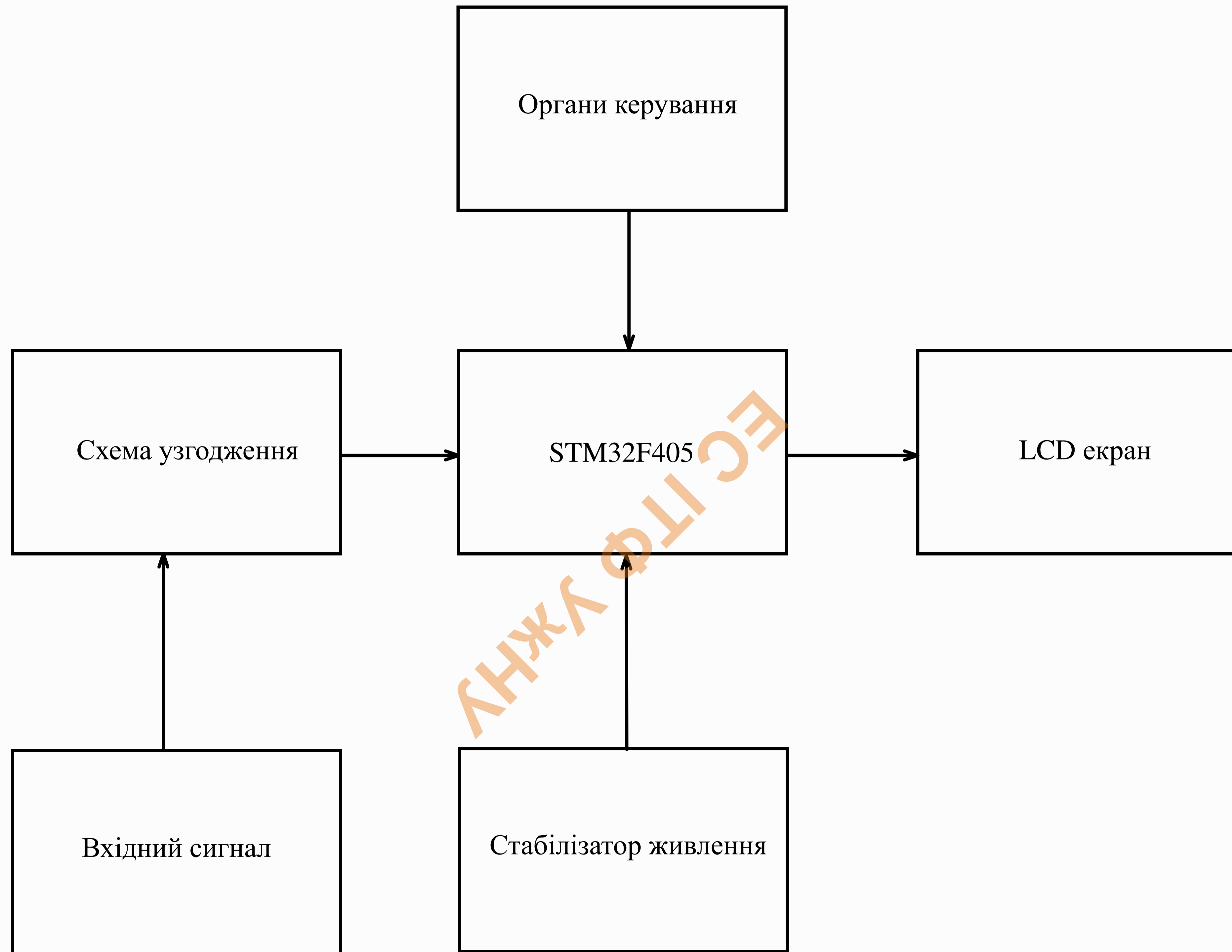
23.06.2025

(дата)

Alex Papp

(перевірив)





					<i>КРБ.ЕС. 9469985 001 Е3</i>			
					<i>Цифровий частотометр</i>			
					<i>до</i>			
					<i>100МГц на базі мікроконтролера.</i>			
					<b>Схема електрична структурна</b>			
					<i>Літера</i>		<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>
					<i>Н</i>	<i>1:1</i>	<i>1:1</i>	
					<i>Архив</i>		<i>Архив</i>	
					<i>УжНУ, ІТФ, курс 4</i>			
					<i>гр. ЕС</i>			