

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки

**ЗВІТ
З ПЕРЕДДИПЛОМНОЇ ПРАКТИКИ**

Виконав:

Студент 4 курсу, групи РІ-91

Соломко В.О.

(Прізвище І.П.)



Підпис

Звіт прийняв:

Перегудов С.М.

(Прізвище І.П.
наукового керівника)



Підпис

Шульга А.В.



Київ – 2023 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Огляд існуючих рішень	6
1.1 Аналогові методи вимірювання частоти	6
1.2 Цифрові методи вимірювання частоти	8
1.2.1 Стандартний метод вимірювання.....	9
1.2.2 Конвеєрний метод вимірювання	10
1.3 Вимірювання частоти радіоелектронної продукції на масовому виробництві.....	11
2 Обґрунтування схемотехнічного рішення.....	14
2.1 Схема структурна пристрою	14
2.2 Опис схеми електричної принципової.....	15
2.2.1 Розрахунок живлення мікроконтролера	15
2.2.2 Опис лінії живлення мікроконтролера	16
2.2.3 Опис подачі вхідного сигналу	16
2.2.4 Опис ліній виведення та керування вихідною інформацією.....	16
2.3 Програмна частина.....	18
2.3.1 Блок схема програми	18
2.3.2 Реалізація програмного коду	19
2.4 Особливості конструкції розроблюваного приладу	22

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>									
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Цифровий частотомір конвеєрного типу</i>									
<i>Розроб.</i>	<i>Соломко</i>													
<i>Перев.</i>	<i>Перебудов</i>											2	30	
<i>Реценз.</i>														
<i>Н. Контр.</i>	<i>Шульга</i>													
<i>Затвердив</i>	<i>Перебудов</i>													

2.4.1 Інформація на диспеї	23
2.4.2 Керування	23
3 Вибір елементної бази	24
3.1 Вибір мікроконтролера.....	24
3.2 Елементи живлення пристрою.....	25
3.3 Дисплей	25
3.4 Пасивні компоненти	26
3.4.1 Резистори	26
3.4.2 Конденсатори	27
3.5 Кнопки.....	27
Висновки	29
Перелік джерел посилань	30

ВСТУП

Вимірювачі частот використовуються в різних додатках, таких як системи зв'язку, радіочастотні (РЧ) схеми та цифрова обробка сигналів. Вони також застосовуються для тестування та обслуговування цифрових систем, а також для оцінки якості сигналу в цифровому зв'язку. Більш того, частотоміри корисні для регулювання, обслуговування та діагностики електронного та радіообладнання, налаштувань технологічних процесів, контролю електромереж і низькочастотної апаратури, налагоджування приймально-передавальних пристроїв тощо.

Цифрові частотоміри є особливо популярними і універсальними. Вони працюють на основі підрахунку кількості імпульсів, що виділяються з вхідного періодичного сигналу. Це забезпечує високу точність вимірювань і зручність в експлуатації. Цифрові частотоміри зазвичай використовуються для вимірювання частоти від декількох герц до кількох гігагерц. Одним з основних елементів частотоміра є еталонний генератор, який забезпечує точність вимірювань. В залежності від характеристик еталонного генератора вимірювача частоти, таких як стабільність частоти, низький рівень шуму, висока точність і довготривала стабільність може відрізнятись надійність і точність результатів вимірювань.

Одним з головних переваг цифрових частотомірів є їх можливість працювати з широким спектром сигналів. Вони здатні вимірювати як сталу, так і змінну частоту, а також частоту змінних сигналів різної форми, включаючи сигнали з шумами та спектральними складовими. Це дозволяє використовувати частотоміри для аналізу складних сигналів і вимірювання їх параметрів.

На сьогоднішній день існує чимало вимірювальних пристроїв для обробки сигналів, що також можуть мати додаткові функції, такі як амплітудний аналіз, фазовий аналіз, вимірювання затримки сигналу та інші. Це розширює їх можливості і дозволяє використовувати їх для різних завдань вимірювання та аналізу сигналів.

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		4

Важливо також зазначити, що розвиток цифрових технологій сприяє вдосконаленню частотомірів. Застосування цифрової обробки сигналів дозволяє збільшити швидкість вимірювань, покращити точність і забезпечити більш широкі можливості аналізу сигналів. Загалом, вимірювачі частоти є важливими засобами для вимірювання, аналізу та контролю різних сигналів в радіотехнічних системах. Вони забезпечують точність, надійність і можливості аналізу сигналів, що є необхідними для багатьох додатків у сфері електроніки, телекомунікацій, медицини та інших галузях.

Ефективність та точність роботи частотоміра може бути істотно покращена при несуттєвій модернізації схем і програмних пристроїв. Особливо цікава можливість реалізації безперервного розрахунку та конвейсризації виміру частоти, за рахунок чого збільшується кількість вимірів в одиниці часу без зменшення інтервалу виміру і точності. Завдяки цьому отримуємо набагато більше інформації про сигнали. Структура частотоміра і його програма при цьому не тільки не ускладнюються, але навіть трохи спрощуються.

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

На сьогодні існує безліч засобів вимірювання частоти та аналізу сигналів в цілому. Поширеними технічними засобами для таких цілей є:

- осцилограф (візуальне відображення сигналу);
- спектроаналізатор (детальний аналіз амплітуд та частот складових сигналу);
- мультиметр (за наявності такого функціональної можливості).

Однак, наведені пристрої є багатофункціональними засобами вимірювання декількох величин, де частота сигналу є лише однією з широкого ряду опцій.

Якщо розглядати частотоміри, спеціальним призначенням яких є точне вимірювання частоти сигналу, то їх поділяють на аналогові та цифрові. Для обох типів частотомірів принцип вимірювання базується на порівнянні параметрів досліджуваного сигналу з відомим.

1.1 Аналогові методи вимірювання частоти

Аналоговий частотомір базується на основі порівняння вхідного сигналу з відомим аналоговим стандартним сигналом. Зазвичай це виконується шляхом порівняння фази або періоду вхідного сигналу з внутрішнім або зовнішнім відомим джерелом сигналу. Аналогові частотоміри мають меншу точність та обмежений діапазон вимірювання порівняно з цифровими частотомірами.

Одним з аналогових методів вимірювання частоти є електромеханічне вимірювання, що може застосовуватись для низьких частот у вузькому діапазоні. Наприклад, для вимірювання частоти у вузькому діапазоні (45...55Гц) з невисокою точністю (одиниці відсотків) застосовуються електродинамічні й електромагнітні частотоміри.

В електродинамічних частотомірах застосовують логотричний вимірювальний механізм, який складається з двох рухомих котушок, закріплених

						<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			6

на одній осі під деяким кутом одна до одної, яка може вільно обертатися у магнітному полі нерухомої котушки (рис. 1). Параметри рухомої котушки та елементів R_2 , L_2 , C_2 добирають так, щоб резонансна частота припадала на середину вимірюваного діапазону частот.

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}, \quad (1)$$

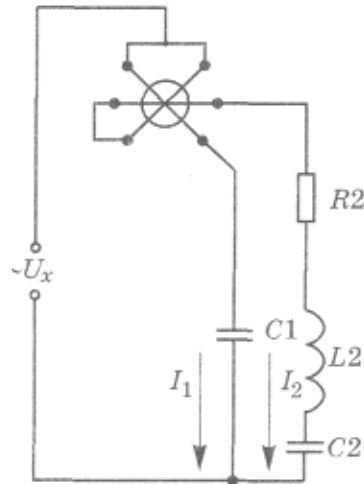


Рисунок 1 — Структурна схема вимірювача частоти електричного сигналу

У разі відхилення вимірюваної частоти від середини діапазону змінюються опори реактивних елементів

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f_x C_2}, \quad (2)$$

$$X_{L2} = \frac{1}{2\pi f_x L_2}, \quad (3)$$

і співвідношення між струмами в котушках, унаслідок чого стрілка відхиляється на кут, пропорційний вимірювальній частоті f_x . Аналогічно працює і електромагнітний частотомір [1].

На сьогодні аналогові частотоміри витісняються цифровими, оскільки мають значні переваги, такі як вища точність за рахунок впровадження високостабільних мір частоти і часу на основі кварцевих резонаторів і обчислювальною технікою з дискретною логікою.

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		7

1.2 Цифрові методи вимірювання частоти

Цифровий частотомір базується на використанні лічильників і таймерів, які вимірюють кількість періодів або імпульсів сигналу протягом певного періоду часу. З періодом відомого внутрішнього джерела сигналу порівнюють вхідний сигнал і обчислюють його частоту. Цифрові частотоміри також можуть мати додаткові функції, такі як відображення, збереження результатів вимірювання, підтримка різних інтерфейсів і можливість підключення до комп'ютера для подальшого аналізу даних тощо. Вони зазвичай мають високу точність та широкий діапазон вимірювання. Таким чином, цифрові вимірювачі частот, зазвичай, є більш універсальними, але вимагають використання цифрових елементів і обробки сигналу, що може збільшити їх вартість.

В залежності від вимог до вимірювання сигналу принцип роботи частотоміра може відрізнитись. Наприклад, за необхідності автоматичного вибору межі вимірювання обчислювальний елемент має підбирати потрібний діапазон вимірювання, що дозволяє досягти застосування дільника частоти, коефіцієнт якого і виступає головним змінним параметром для визначення частотного діапазону. Схема структурна наведена на рисунку 2 [2].

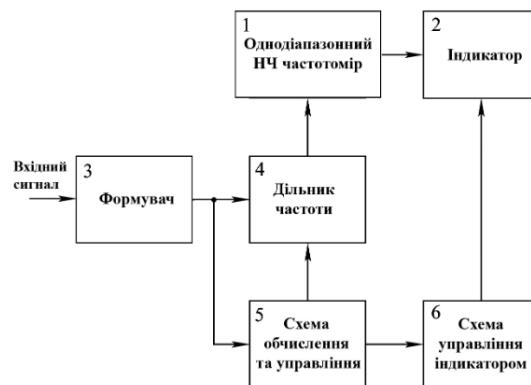


Рисунок 2 — Структурна схема вимірювача частоти електричного сигналу

Надалі розглянемо найбільш поширений принцип роботи цифрових частотомірів в якості стандартного.

1.2.1 Стандартний метод вимірювання

Серед саморобних або недорогих вимірювачів частоти часто можна зустріти метод вимірювання, за якого формується інтервал часу, що складається з цілої кількості m періодів досліджуваного сигналу, і підраховується кількість імпульсів n еталонного генератора з частотою F_0 за цей інтервал часу [3]. Величина m вибирається таким чином, щоб час розрахунку приблизно дорівнював заданому бажаному інтервалу. За результатами розрахунку вираховуємо середнє значення періоду сигналу (або частоти сигналу) за інтервал виміру τ :

$$T = n / mF_0, \quad (4)$$

$$f = F_0 \frac{m}{n}, \quad (5)$$

де n – інтервал вимірювання,

m – кількість періодів сигналу еталонного генератора,

F_0 – частота еталонного генератора.

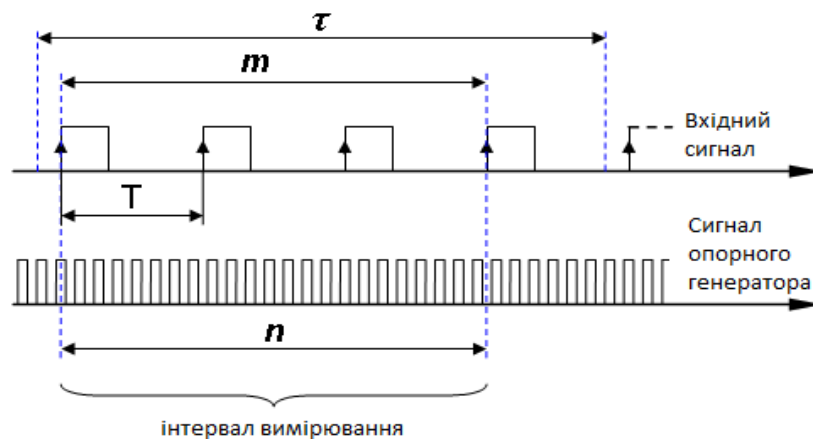


Рисунок 3 — Принцип вимірювання частоти цифрового сигналу

Що більше n , то менше виявляється відносна похибка виміру, тобто. вище за точності. Отримати велике значення n можна, збільшивши інтервал вимірювання або підвищивши частоту F_0 . За рахунок збільшення частоти еталонного

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

генератора можна отримати високу точність навіть за малих інтервалів вимірювання. Таким чином, метод є точним і швидким.

1.2.2 Конвеєрний метод вимірювання

Для отримання максимально повної інформації про частоту сигналу (та її зміну), необхідно збільшити кількість вимірювань, виконаних в одиниці часу. Варіант зі зменшенням інтервалу вимірювання не розглядаємо, оскільки по-перше, частоту опорного генератора ми не можемо збільшувати безмежно, а за фіксованої частоти генератора, зменшення інтервалу означає зниження точності; по-друге, що менше інтервал, то вище нижня межа виміру, тобто звужується діапазон допустимих вхідних частот.

Єдине, що залишається – починати новий вимір через проміжок часу δ (рис. 4), не чекаючи завершення попереднього. Тоді за годину, відведену на одне вимірювання, ми можемо запустити кілька нових вимірювань. Завдяки цьому, при тому самому часі на одне вимірювання, результати будемо отримувати в кілька разів більше і отримаємо визначені відомості про наведені сигнали в межах інтервалу вимірювання [4].

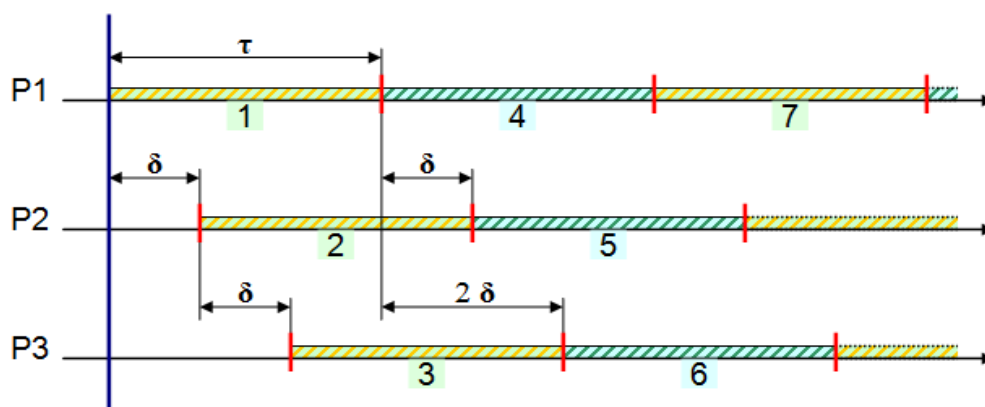


Рисунок 4 — Пояснення конвеєрного методу вимірювання частоти

На рисунку 4 показано, як використовуючи три синхронізовані між собою вимірювачі частоти P_1 P_3 , втричі збільшити частоту отримання результатів, не змінюючи тривалості інтервалу вимірювання. Розглянемо роботу системи,

починаючи з моменту запуску (вертикальна лінія зліва на малюнку). У цей момент починає свій вимір прилад P_1 (перший його вимір позначено індексом 1). Інтервал виміру становить τ . Але ми не чекатимемо завершення інтервалу і через час $\delta = \tau/3$ від початку відліку, запусимо вимірювання на пристрої P_2 (вимір 2 на малюнку). А ще через час починає вимір P_3 (відповідно, вимірювання 3). Поки що ми не отримували результатів – потрібен деякий час на початкове "завантаження" нашого конвеєра із частотомірів. Але через час δ вже завершиться інтервал вимірювання у P_1 , і від нього отримаємо перший результат (після чого P_1 негайно приступає до наступного вимірювання, яке позначено індексом 4 на малюнку). Тепер постійно отримуватимемо нові результати з інтервалом δ : наступним буде результат від P_2 , у якого завершиться інтервал вимірювання 2 (і відразу ж почнеться інтервал 5); потім надійдуть дані від P_3 (інтервал 3); після чого знову завершить вимірювання P_1 (завершується інтервал 4, починається інтервал 7); потім знову отримуємо результат від P_2 (за інтервал 5); потім від P_3 (за інтервал 6) і т.д. Результати вимірювання частоти слідуватимуть безперервним потоком з інтервалом $\delta = \tau/3$.

1.3 Вимірювання частоти радіоелектронної продукції на масовому виробництві

Виробництво радіоелектронної апаратури на підприємствах використовує автоматизовані методи та засоби вимірювання частоти. Основною метою цих методів і засобів є забезпечення високої точності та ефективності вимірювання частоти при виробництві.

Деякі автоматизовані методи вимірювання частоти включають в себе використання спеціалізованих приладів, таких як вимірювачі частоти, спектральні аналізатори та векторні мережеві аналізатори. Ці прилади здатні швидко та точно виміряти частоту сигналів, проводити аналіз спектра сигналу та перевіряти параметри електронних компонентів.

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		11

Крім того, в автоматизованому виробництві радіоелектронної апаратури можуть використовуватися програмні засоби для контролю і вимірювання частоти. Наприклад, спеціалізоване програмне забезпечення може бути використане для контролю і калібрування вимірювального обладнання, а також для автоматичного збору та аналізу даних вимірювання.

Під час проходження переддипломної практики було проведено роботу з тестування радіоелектронної продукції на основі трансивера RFM69CW (рис. 5), його аналогів. Він використовується для бездротового зв'язку на середніх дальностях і має велику популярність в галузі радіоелектроніки та IoT-проектах.

RFM69CW підтримує декілька режимів роботи, включаючи передачу, прийом та режим сну для збереження енергії. Він має досить широкий діапазон передачі даних – 868/915 МГц і може використовуватися для забезпечення бездротового зв'язку на відстані до декількох сотень метрів в залежності від умов і середовища.

Більш того, в продукції застосовуються інші приймально-передавальні модулі, такі як Johanson RF Balun 0850BM14E0016T (рис. 6), що є типовим балансним трансформатором (балуном) в радіочастотному діапазоні 770 – 928 МГц. Він призначений для забезпечення сполучення між незбалансованими та балансованими сигналами в радіоприймачах і передавачах.

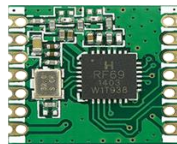


Рисунок 5 — Трансивер RFM69CW



Рисунок 6 — Johanson RF Balun 0850BM14E0016T

Для перевірки на відповідність параметрів роботи радіомодулів застосовуються автоматизовані тестувальні блоки розроблені на підприємстві. Дане обладнання містить вбудований частотомір, що застосовується для аналізу відхилення робочої частоти трансиверу. Також, при тестуванні кожної одиниці продукції обов'язково вимірюється параметр RSSI (Received Signal Strength Indicator) для прийому та передачі радіосигналу, що представляє силу сигналу віддаленого передавача, який сприймається приймачем. Даний параметр дозволяє визначити інтенсивність робочого сигналу трансивера і вимірюється в децибелах (дБ). На дану величину відхилення робочої частоти радіомодуля більше за допустиме може вплинути негативно. Наприклад, невідповідність робочої частоти може призвести до спотворень прийнятого сигналу, що може бути наслідком інтерференції з іншими сигналами або неправильним налаштуванням передавача і, як наслідок, знизить його інтенсивність.

Застосування автоматизованих методів та засобів вимірювання частоти дозволяє забезпечити високу якість і надійність виробленої радіоелектронної апаратури, скоротити час налаштування та тестування продукції, а також забезпечити відповідність вимогам технічних специфікацій і стандартів. Однак, дане обладнання має високу вартість та доцільне лише для великих підприємств.

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		13

2 ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

2.1 Схема структурна пристрою

Для запропонованого методу вимірювання частоти пристрій реалізовано на основі обчислень мікроконтролера STM32F103C8T6. На схемі структурній (рисунок 7) зображено основні складові. Зовнішнє живлення пристрою представляють дві батарейки CR2032 з напругою 3В. Для коректної роботи і виконання обчислень мікроконтролер вимагає стабілізованої напруги живлення, яка досягається регулятором напруги LM317. На вхід мікроконтролера подається сигнал, частота якого в результаті виконання програми буде виводитись на дисплей SSD1306BZ, під'єднаний через шину I2C. Оскільки суть конвеєрного методу вимірювання частоти ґрунтується на безперервній роботі частотоміра, головна мета – досягти постійного виведення значень вимірюваної частоти сигналу в графічному вигляді з безперервним оновленням зображення на дисплеї. Перезавантаження пристрою і контроль графічного виведення інформації на дисплеї керується кнопками (MODE, INTERVAL, HOLD, RESET).

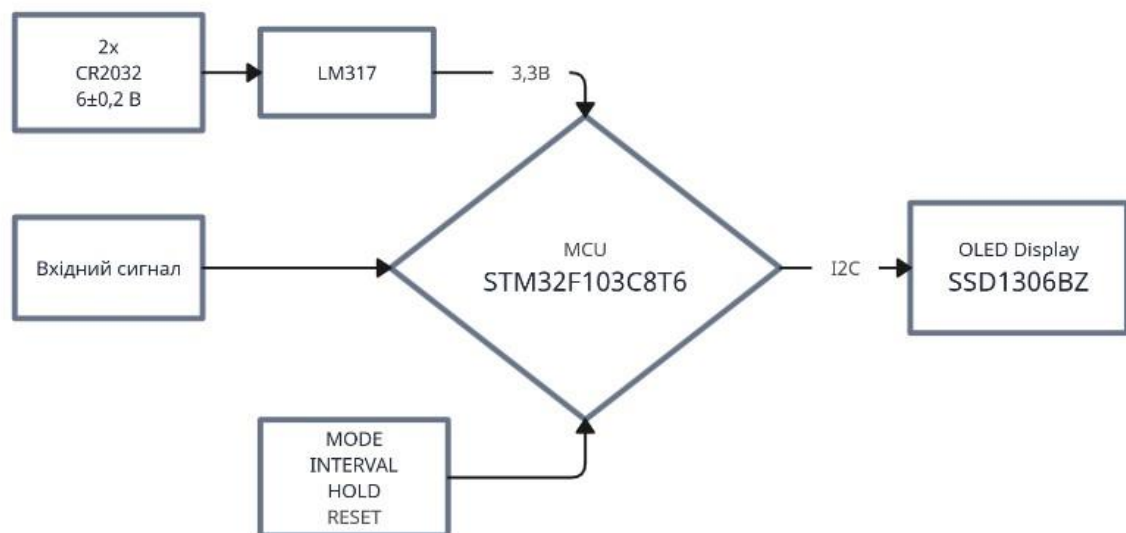


Рисунок 7 — Схема структурна вимірювача частоти

2.2 Опис схеми електричної принципової

Ми збираємося створити частотомір (зображений на рисунку 8), який буде працювати за допомогою безперервного конвеєрного вимірювання частоти. Для реалізації обчислень використаємо мікроконтролер STM32F103C8T6, який має тактову частоту 72 МГц.

2.2.1 Розрахунок живлення мікроконтролера

Згідно з технічною документацією, мікроконтролер STM32F103C8T6 має робочу напругу в діапазоні 2...3,6 В, а використовуваний графічний дисплей – 2,8...5,2 В. Це головні цифрові елементи пристрою, тому бажано створити єдину напругу живлення типову для обох компонентів. Згідно з технічною документацією, найкраще підходить напруга 3,3 В.

В пристрої застосовано інтегральний стабілізатор напруги LM317.

Для розрахунку вихідної стабілізованої напруги використаємо формулу:

$$U_{вих} = 1,25В \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (6)$$

Нехай R_1 матиме опір 1 кОм, тоді:

$$R_1 \left(\frac{U_{вих}}{1,25В} - 1\right) = 1кОм \left(\frac{3,3В}{1,25В} - 1\right) = 1,64кОм \quad (7)$$

Задля спрощення вибору резистора візьмемо для R_2 номінал в 1,6 кОм.

При цьому вихідна стабілізована напруга дорівнюватиме:

$$U_{вих} = 1,25В \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1,25В \left(1 + \frac{1,6кОм}{1кОм}\right) = 3,25В \quad (8)$$

Рівень напруги в 3,25В задовольняє технічні вимоги елементів, однак для спрощення і з метою більш традиційного оформлення документації на схемах буде вказано напругу в 3,3В, оскільки ця різниця не суттєва і не відобразиться на працездатності пристрою.

					PI91.411711.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		15

2.2.2 Опис лінії живлення мікроконтролера

На вхід зовнішнього живлення X1 подається напруга в 6В, після чого перетворюється регулятором DA1 зі стабілізованою вихідною напругою 3,3 В, загального для всієї схеми. Далі використано 5 паралельних конденсаторів: 4 ємністю 100нФ і 1 ємністю 10мкФ для фільтрації вхідної напруги мікроконтролера, що є поширеним методом організації живлення аналогічних обчислювальних компонентів.

2.2.3 Опис подачі вхідного сигналу

В якості вхідного сигналу ми будемо використовувати цифровий сигнал, що сумісний з TTL/CMOS 3,3В. Напруга оброблюваного сигналу має бути в межах робочої напруги мікроконтролера – 2...3,6В. Вхідний сигнал буде подаватися на пін PA6 мікроконтролера, який є вхідним виводом зовнішнього тригера (ETR) і використовується для підключення зовнішнього сигналу до таймера. Опорним сигналом для частотоміра буде системний тактовий сигнал мікроконтролера.

2.2.4 Опис ліній виведення та керування вихідною інформацією

Для відображення інформації використовується OLED дисплей SSD1306BZ підключений через шину I2C. На схемі також наявні чотири кнопки керування пристроєм (SW1 – RESET, SW2 – INTERVAL, SW3 – MODE, SW4 – HOLD) з паралельними конденсаторами з метою апаратної фільтрації високочастотних коливань при замиканні контактів [5].

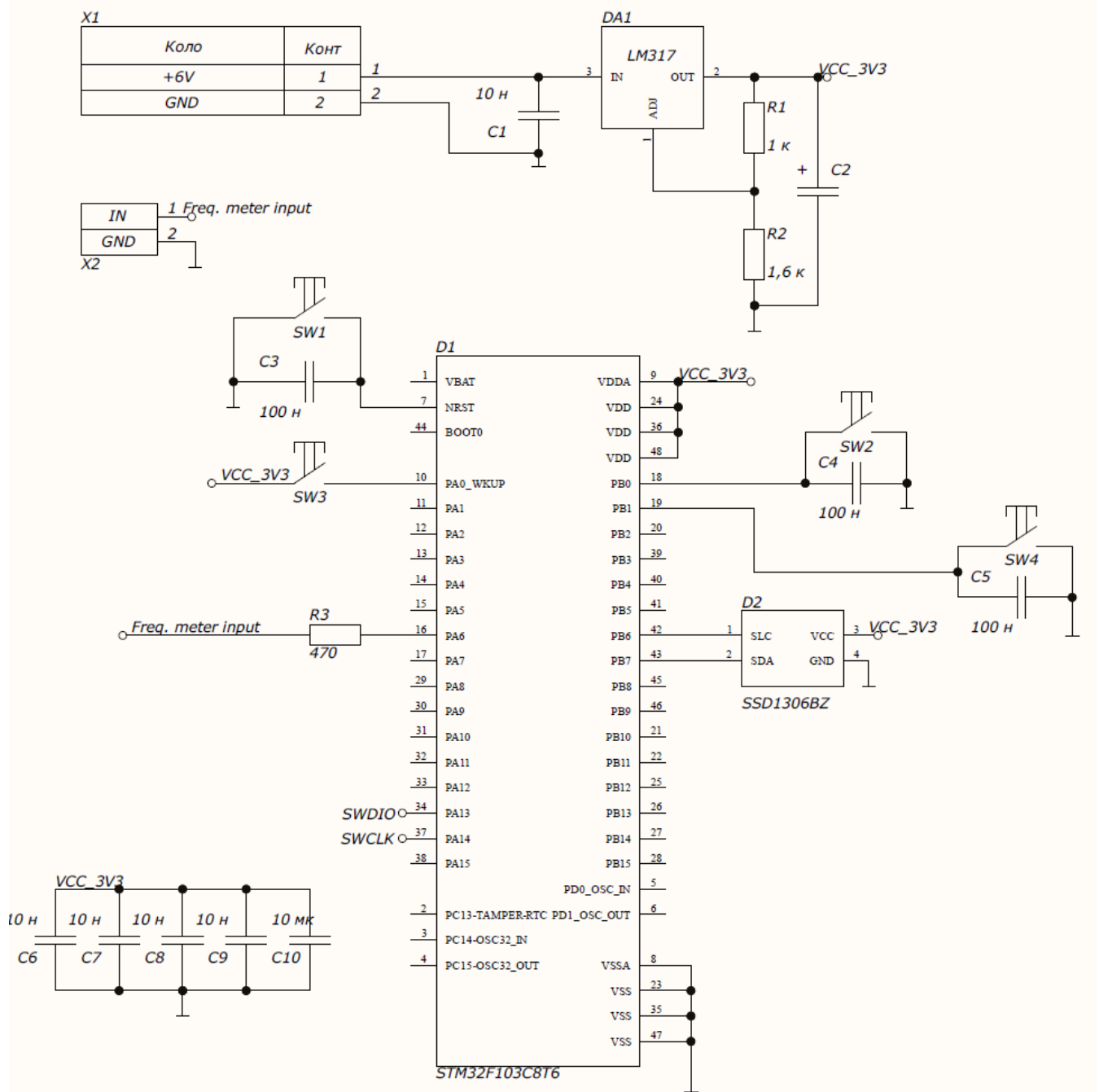


Рисунок 8 — Схема електрична принципова вимірювача частот

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

2.3 Програмна частина

2.3.1 Блок схема програми



Рисунок 9 — Блок схема програми

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

PI91.411711.001 ПЗ

Арк.

18


```

hssd1306.height = SSD1306_HEIGHT;
hssd1306.buffer = SSD1306_Buffer;

SSD1306_Init(&hssd1306);
}

// Функція відображення даних на дисплеї
void OLED_DisplayData(float frequency, char *unit, char *mode, char *hold,
char *interval)
{
    SSD1306_ClearBuffer(&hssd1306);

    // Відображення частоти
    sprintf(display_buffer, "%.2f %s", frequency, unit);
    SSD1306_DrawString(&hssd1306, 0, 0, display_buffer, Font_7x10,
SSD1306_COLOR_WHITE);

    // Відображення режиму
    SSD1306_DrawString(&hssd1306, 0, 15, mode, Font_7x10,
SSD1306_COLOR_WHITE);

    // Відображення захвату
    SSD1306_DrawString(&hssd1306, 0, 30, hold, Font_7x10,
SSD1306_COLOR_WHITE);

    // Відображення інтервалу
    SSD1306_DrawString(&hssd1306, 0, 45, interval, Font_7x10,
SSD1306_COLOR_WHITE);

    SSD1306_UpdateScreen(&hssd1306);
}

int main(void)
{
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();

    // Ініціалізація частотоміра
    fm_init();

```

```

// Ініціалізація дисплея
OLED_Init();

// Запуск вимірювань
// (інтервал опитування порта 0.02с; інтервал вимірювання 0.2с; 10
вимірювань на інтервал).
fm_start(480, 1000, 10);

while (1)
{
    if (get_result(m, n, cnt, c0) && cnt0 != cnt && n != 0)
    {
        cnt0 = cnt;

        // Обчислення частоти
        frequency = (float)SystemCoreClock * m / n;

        // Опрацювання кнопок
        // RESET
        if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_0) == GPIO_PIN_RESET)
        {
            HAL_NVIC_SystemReset();
        }

        // MODE
        if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_1) == GPIO_PIN_RESET)
        {
            // Зміна режиму відображення
            // ...

            // Оновлення дисплею
            OLED_DisplayData(frequency, "Hz", "Mode: xxx", "Hold: xxx",
"Interval: xxx");
        }

        // HOLD
        if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_2) == GPIO_PIN_RESET)
        {
            // Захват останнього результату вимірювання
            //

```

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>21</i>

```

        // Оновлення дисплею
        OLED_DisplayData(frequency, "Hz", "Mode: xxx", "Hold: xxx",
"Interval: xxx");
    }

    // INTERVAL
    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_3) == GPIO_PIN_RESET)
    {
        // Зміна інтервалу виміру
        // ...

        // Оновлення дисплею
        OLED_DisplayData(frequency, "Hz", "Mode: xxx", "Hold: xxx",
"Interval: xxx");
    }

    // Оновлення дисплею
    OLED_DisplayData(frequency, "Hz", "Mode: xxx", "Hold: xxx",
"Interval: xxx");
    }
}
}

```

2.4 Особливості конструкції розроблюваного приладу

Цифровий вимірювач частоти в описаній реалізації має можливість вимірювати частоту вхідного сигналу в інтервалах τ від 0,2 до 1 секунди з точністю до 0,1 секунди. Інформація про результати виміру виводиться на дисплей кожні 0,4 секунди. Мінімальна вимірювана частота залежить від інтервалу вимірювання і дорівнює $8/\tau$ Гц (8 Гц при інтервалі вимірювання 1 секунда). Максимальна вимірювана частота не більше 72 МГц, що відповідає тактовій частоті мікроконтролера. Для вимірювання точної частоти використовується метод номінальної похибки, що не враховує відхилень частоти тактового генератора від номінального значення.

Точність вимірювання залежить в першу чергу від інтервалу вимірювання. Найкращий результат можна отримати за найбільший τ , що дорівнює 1 с. Без

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		22

урахування відхилення частоти еталонного генератора від номінальної можна обчислити відносно відхилення як:

$$\varepsilon = 100\% / \tau F_0 \quad (7)$$

Для максимальної частоти в 72 МГц воно складатиме $5 \cdot 10^{-6} \%$, тому пристрій можна вважати досить точним.

2.4.1 Інформація на диспеї

На дисплеї частотоміра відображаються такі дані:

- *F*: частота сигналу (середня частота за інтервал виміру);
- *H*: утримання результату виміру частоти (середнього значення за інтервал виміру) в момент натискання на кнопку "Hold" (буде залишатися на дисплеї незмінним до наступного нажаття на кнопку);
- *D*: різниця між поточним значенням частоти і утриманим (відхилення частоти в даний момент відносно значення при функції *Hold*): $D = F - H$;
- *T*: період, відповідний вимірюваній частоті; $T = 1 / F$;
- *I*: вибраний інтервал вимірювання.

2.4.2 Керування

Керування пристроєм відбувається чотирма кнопками:

- *RESET*: перезавантаження;
- *MODE*: вибір режиму відображення (відображення частоти тільки в герцах або відображення з автоматичним вибором одиниці вимірювання: Гц, кГц, МГц);
- *HOLD*: захват останнього результату вимірювання (буде відображено в рядку "H");
- *Interval*: вибір інтервалу виміру з ряду заданих значень (поточне значення відображається на дисплеї в рядку "I").

3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

3.1 Вибір мікроконтролера

Для частотоміру, представленого в дипломному проєкті обрано мікроконтролер STM32F103C8T6. На сьогодні є дуже розповсюдженою плата розробника «Blue Pill», в якій використовується даний мікроконтролер. Вона вже має ряд виведених контактів, що дозволяє підключати до неї зовнішні пристрої, такі як сенсори, актуатори, дисплеї і т.д., через що є дуже зручною для прототипування. За умови використання STM32F103C8T6 як окремого компонента, він все одно задовольняє всі вимоги по характеристикам для даного проєкту і є дешевшим за інші мікроконтролери STM32 з ядром Cortex-M3 з 32-бітною архітектурою та робочою частотою від 72 МГц. Корпус обрано типу LQFT-48 для поверхневого монтажу (рисунок 10).

Основні характеристики:

Напруга живлення	2,0...3,6 В
Робоча частота	72 МГц
Постійна пам'ять	64 кБ
Оперативна пам'ять	20 кБ
Кількість ліній вводу/виводу	32
Таймери	4 по 16 біт
Інтерфейси	2xSPI, 2xI2C, 3xUSART, USB, CAN
Робоча температура	-40...+85°C

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

PI91.411711.001 ПЗ

Арк.

24

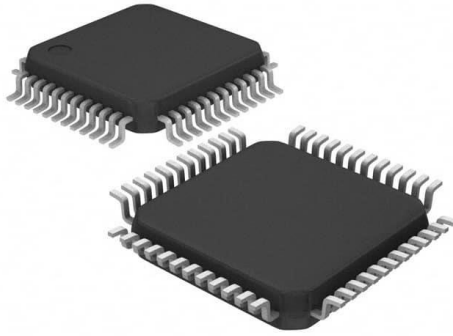


Рисунок 10 — Мікроконтролер в корпусі LQFT-48

3.2 Елементи живлення пристрою

Для пристрою обрано рівень напруги в 3,3В. Для регулювання і стабілізації живлення використано інтегральний стабілізатор напруги LM317. Він є досить поширеним на ринку, має низьку собівартість та повністю задовольняє вимогам до вихідної напруги. На вхід стабілізатора подається напруга 6В з двох батарейок типу CR2032, що мають напругу по 3В. Корпус стабілізатора обрано типу SOT-89 (рисунок 11).

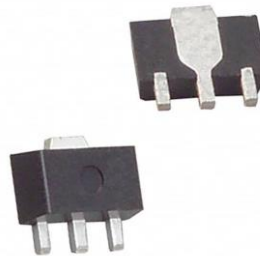


Рисунок 11 — LM317 в корпусі SOT-89

3.3 Дисплей

В даному випадку компактний дисплей розширення 128x64 задовольнить вимоги з виведення інформації. Для проекту обрано графічний OLED дисплей

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		25

SSD1306BZ (рисунок 12), що підтримує монохромне відображення і використовує шину I2C.

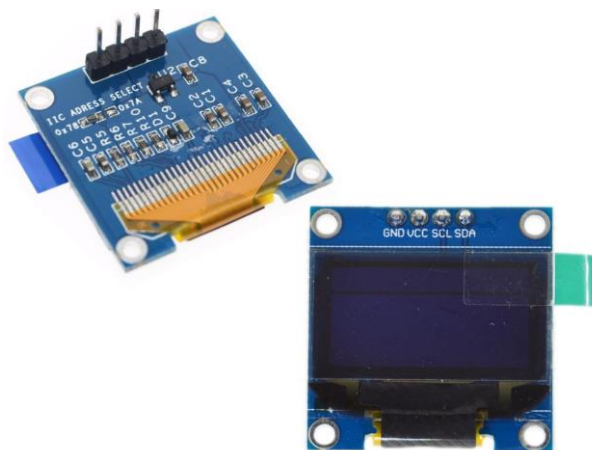


Рисунок 12 — Модуль OLED дисплея SSD1306BZ

3.4 Пасивні компоненти

3.4.1 Резистори

Піни мікроконтролера підтримують струм до 25мА. Оскільки робоча напруга пристрою 3,3В, Порахуємо потужність для подальшого вибору резисторів:

$$P=IU=25\text{мА}\cdot 3,25\text{В}=0,08\text{Вт} \quad (9)$$

Навіть з урахуванням перехідних процесів, потужності резисторів 0,125 Вт буде цілком достатньо. Дешевим та компактним варіантом буде корпус 0402 для поверхневого монтажу (рисунок 13).

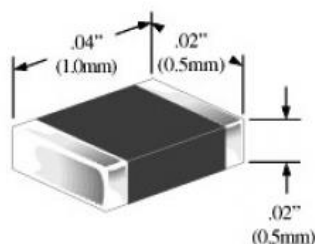


Рисунок 13 — SMD резистор типу 0402

3.4.2 Конденсатори

Хоч живлення пристрою є досить стабільним, однак перехідні процеси часто складно передбачити. Конденсатори з підтримкою напруги в 25В цілком підходять для лінії живлення. Дешевим та компактним варіантом буде корпус 0402 (рис. 15) для 100нФ та 0603 (рис. 16) для 10мкФ для поверхневого монтажу (рис. 14).



Рисунок 14 — SMD конденсатор

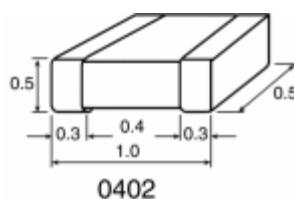


Рисунок 15 — SMD конденсатор типу 0402

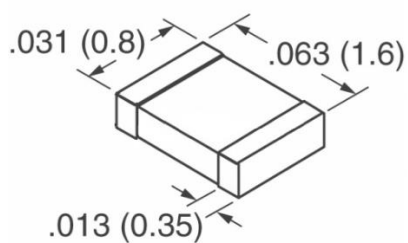


Рисунок 16 — SMD конденсатор типу 0603

3.5 Кнопки

Оскільки в пристрої не протікають високі струми, достатньо буде обрати компактні та дешеві кнопки без спеціальних характеристик. Для проєкту обрано тактові кнопки поверхневого монтажу KLS7-TS6611-1.5-180 (рис. 17).

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		27

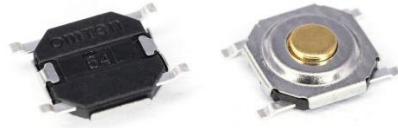


Рисунок 17 — SMD кнопка KLS7-TS6611-1.5-180

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

ВИСНОВКИ

Запропонований конвеєрний метод вимірювання широко використовується в цифровій техніці, зокрема для визначення частоти. Проте його реалізація, зазвичай, ускладнює конструкцію пристрою. Завдяки запропонованому програмному забезпеченню, частотомір може використовуватися в безперервному режимі, замість застосування кількох паралельно працюючих частотомірів. Це значно спрощує засоби вимірювань частоти і зменшує витрати на апаратне забезпечення.

Розроблений пристрій може оброблювати також і аналогові сигнали завдяки наявності на вході мікроконтролера тригерів Шміта, якщо додати вузол формування імпульсів із захистом від високої напруги, і ФНЧ для роботи з низькочастотними сигналами або дільник частоти у випадку обробки сигналів вищої частоти за підтримувану мікроконтролером [6].

Даний частотомір можна використати як базовий вузол для більш складних пристроїв обробки сигналів.

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		29

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Дрогобицький механіко-технологічний коледж – Конспект лекцій з предмету «Основи метрології та засоби технічного контролю». – Дрогобич: ДМТК, 2010. – 113 с.
2. Тимчик Г.С., Подолян О.О. – Вимірювач частоти з Автоматичним Вибором Діапазону Вимірювання. – НТУУ КПІ, 2022. – 5 с.
3. Frequency Measurements Guide - How is Frequency Measured? [Електронний ресурс] // NATIONAL INSTRUMENTS CORP. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ni.com/tutorial/7111/en/> 08.04.2023.
4. Тарарака В.Д. Т19 – Архітектура комп'ютерних систем: навчальний посібник. – Житомир : ЖДТУ, 2018. – 383 с.
5. С.В. Денбновецький, О.В. Лещичин – Електронні системи: навчальний посібник. – Київ: НТУУ КПІ, 2011. – 293 с.
6. THE ART OF ELECTRONICS Second Edition – Cambridge: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1989. – 1044 с. – (New York Port Chester Melbourne Sydney).

					<i>PI91.411711.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>30</i>