

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

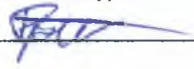
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

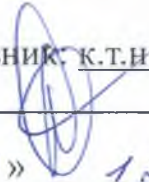
на тему:

«БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ЧАСТОТОМІР НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА»

Виконав: студент 2-го курсу, групи KIBT-23м
спеціальності 175 – Інформаційно-
вимірювальні технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Грицаюк Д.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІРТС
 Дудатьєв І.А.
(прізвище та ініціали)

«10» 12 2024 р.

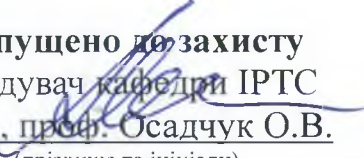
Опонент: д.т.н., доц. професор каф. ІКСТ

 Михалевський Д.В.
(прізвище та ініціали)

«11» 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

 д.т.н., проф. Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)

«11» 12 2024 р.

Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 175 Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Грицаюку Дмитру Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера»

керівник роботи к.т.н., доцент кафедри ІРТС Дудатьєв І.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» 09.2024 р. №310.

2. Строк подання студентом роботи 09.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: Нижня гранична частота (f_n) має відповідати 10 кГц, а верхня гранична частота (f_v) – 16 МГц, час вимірювання не більше 1 с, кількість вхідних каналів не менше 6, час готовності до роботи, не більше 1 с.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Теоретичні основи та технології цифрових багатоканальних частотомірів. Розробка повної структурної схеми та алгоритму роботи багатоканального частотоміра. Моделювання роботи багатоканального частотоміра на базі мікроконтролера. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структурна схема багатоканального частотоміра; електрична схема багатоканального частотоміра; топологія друкованої плати багатоканального частотоміра; встановлення елементів на друкованій платі багатоканального частотоміра; блок-схема алгоритму програми мікроконтролера; моделювання роботи багатоканального частотоміра.

6. Консультанти розділів роботи

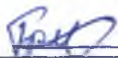
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент каф. ІРТС, к.т.н. Дудатьєв І.А.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-07.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	09.12.2024-10.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	12.12.2024	

Студент


(підпис)

Грицаюк Д.Ю.

Керівник роботи


(підпис)

Дудатьєв І.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.317

Грицаюк Д. Ю. Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 175 Інформаційно-вимірювальні технології, освітня програма - Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 119 с. На українській мові. Бібліогр.: 35 назв; Табл. 16; Рис. 32 .

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено та досліджено багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера. У роботі розглянуто різні типи цифрових частотомірів, їхні принципи роботи та класифікацію. Проведено огляд сучасних технологій та досягнень у сфері частотних вимірювань, зокрема методів вимірювання частоти, які використовуються в багатоканальних системах. Визначено технічні характеристики та основні параметри, такі як точність, швидкість обробки сигналів і діапазони частот. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення здійснено комп'ютерне моделювання роботи цифрових частотомірів. Отримано результати теоретичних розрахунків і математичного моделювання ефективності цих пристроїв у різних сферах використання, зокрема в промисловості, науці та телекомунікаціях.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: цифровий частотомір, багатоканальний вимірювальний пристрій, частота, методи вимірювання, точність вимірювання, вимірювальний сигнал, архітектура пристрою, вимірювальні системи.

ABSTRACT

Hrytsaiuk D. Y. Multichannel frequency counter based on a microcontroller. Master's qualification work in speciality 175 Information and measurement technologies, educational programme - Computerised information and measurement technologies: VNTU, 2024. 119 p. In Ukrainian. Bibliography: 35 titles; Table 16; Fig. 32.

In the master's thesis, a microcontroller-based multichannel frequency meter was developed and studied. The paper describes different types of digital frequency meters, their operating principles and classification. A review of modern technologies and achievements in the field of frequency measurements, in particular, frequency measurement methods used in multichannel systems, is carried out. The technical characteristics and main parameters, such as accuracy, signal processing speed and frequency ranges, are defined. Using specialised software, computer modelling of digital frequency meters was carried out. The results of theoretical calculations and mathematical modelling of the efficiency of these devices in various applications, including industry, science and telecommunications, were obtained.

The master's thesis also includes calculations of the economic part.

Keywords: digital frequency meter, multichannel measuring device, frequency, measurement methods, measurement accuracy, measurement signal, device architecture, measuring systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЧАСТОТОМІРІВ	11
1.1 Визначення та класифікація частотомірів.....	11
1.2 Огляд сучасних структур цифрових частотомірів	14
1.3 Архітектура багатоканальних частотомірів.....	21
1.4 Огляд конструкцій сучасних одноканальних частотомірів на базі мікроконтролера	22
1.5 Висновки до розділу.....	28
2 РОЗРОБКА ПОВНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЧАСТОТОМІРА	29
2.1 Розробка структурної схеми багатоканального частотоміра.....	29
2.2 Вибір мікроконтролера	30
2.3 Розробка алгоритму роботи багатоканального частотоміра	31
2.4 Вибір системи індикації.....	34
2.5 Розрахунок основних параметрів багатоканального частотоміра.....	35
2.6 Висновки до розділу.....	36
3 РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ І РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЧАСТОТОМІРА	37
3.1 Розроблення каскадів електричної схеми багатоканального частотоміра на базі мікроконтролера	37
3.2 Розрахунок загальної споживаної потужності	42
3.3 Розрахунок топології друкованої плати	44
3.4 Розрахунок надійності багатовходового частотоміра	48
3.5 Висновки до розділу.....	50
4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЧАСТОТОМІРА НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА	51
4.1 Комп'ютерне моделювання підпрограм обробки сигналів	51

4.2 Розроблення програми прошивки для мікроконтролера	55
4.3 Результати моделювання роботи багатоканального частотоміра на базі мікроконтролера	57
4.4 Аналіз результатів моделювання	60
4.5 Висновки до розділу.....	62
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	63
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	63
5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	67
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	68
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	81
5.5 Висновки до розділу.....	85
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал	93
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	101
Додаток В (довідниковий) Лістинг програми мікроконтролера.....	103

ВСТУП

Актуальність теми.

Вимірювальна техніка продовжує інтенсивно розвиватися в наступних напрямках: підвищуються точність і швидкодія, розширюється частотний діапазон, удосконалюється конструкція радіовимірювальних приладів, для їх створення використовують останні досягнення науки і техніки; розширюється і вдосконалюється використання засобів обчислювальної техніки, особливо мікропроцесорів і мікроконтролерів, удосконалюються методи і засоби автоматизації вимірювання, розширюється їх вживання при розробці вимірювальних приладів і засобів контролю якості продукції, а також метрологічне забезпечення вимірювання, створюються нові еталони одиниць; розширюється номенклатура і вдосконалюються характеристики перетворювачів, що використовуються як у вимірювальній техніці, так і в системах управління.

Сучасні вимоги до вимірювальних приладів, головними з яких: є висока точність, велика роздільна здатність, температурна та часова стабільності, можуть бути виконані на базі цифрових способів обробки і представлення інформації. А тому розробленні та дослідження багатоканального частотоміра на базі мікроконтролера є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і сучасного стану.

Одним з перспективних шляхів в розробці електронно-радіовимірювальної апаратури є угруповання певної частини приладів в комплекси з максимально можливим числом загальних блоків, наприклад блоку живлення, відлікового пристрою, блоку обробки інформації і т.п. У вимірювальних комплексах можна застосовувати як аналогову, так і цифрову обробку і виведення інформації. Цифрові вимірювальні прилади до недавнього часу не мали широкого розповсюдження з-за складності виготовлення, вартості, габаритних розмірів і маси. Застосування сучасної елементної бази, що включає мікросхеми середнього і великого ступеня інтеграції, а особливо

мікроконтролерів дозволяє вимірювальним приладам за вартістю, габаритними розмірами і масою набагато перевищити аналогові аналоги.

Похибка аналогових вимірювальних приладів залежно від виду вимірюваної величини і класу приладу складає 1 - 5%, що часто не задовольняє сучасним вимогам до точності вимірювання. Цифрова обробка інформації дозволяє одержати досить малу похибку (0,01 - 0,5%) та стабільність параметрів. Тому доцільно якнайширше упроваджувати в практику цифровий спосіб обробки і представлення інформації. Також в порівнянні з аналоговими, використання цифрової обробки дозволяє легко забезпечити універсальність та багатоканальність пристроїв вимірювання.

Мета, об'єкт і предмет дослідження.

Метою роботи є всебічне дослідження цифрових багатоканальних частотомірів, їх принципів роботи, класифікації, а також аналіз сучасних методів і технологій вимірювання частоти..

Об'єкт дослідження – процес перетворення вимірювальних сигналів.

Предмет дослідження – технічні та метрологічні параметри та характеристики, зокрема точність вимірювання, швидкість вимірювання частоти сигналів.

Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені такі задачі:

1. Аналіз сучасних теоретичних відомостей про цифрові багатоканальні частотоміри.
2. Розробити структурну схему багатоканального частотоміру.
3. Здійснити електричні розрахунки і розробити електричну принципову схему багатоканального частотоміру.
4. Здійснити комп'ютерне моделювання багатоканального частотоміру.
5. Дослідити метрологічні параметри та характеристики багатоканального частотоміру.
6. Виконати розрахунки економічної частини.

Методи дослідження

У роботі теоретичні дослідження здійснені з використанням елементів теорії вимірювання електричних величин, теорії метрології, теорії електричних кіл і сигналів, теорії цифрового оброблення інформації.

Новизна одержаних результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленій новій схемі багатоканального частотоміру та електричного підключення всіх компонентів пристрою, модуля індикації, модуля з'єднання з персональним комп'ютером через інтерфейс RS-232, модуля стабілізації напруги для підключення стандартного джерела живлення. Отримана схема є досить простою, що є досить хорошим параметром для такого роду пристрою, так як технологічний процес буде досить простим, а отже дешевим, що ще раз підтверджує корисність розробки.

Публікації

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 друковану працю.

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 25 таблиць, 43 рисунка та 35 літературних джерел.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЧАСТОТОМІРІВ

1.1 Визначення та класифікація частотомірів

Частотомір — це спеціалізований прилад, призначений для вимірювання частоти періодичних сигналів. Частота, виражена в герцах (Гц), визначає кількість циклів, які проходять через певну точку за одиницю часу. Частотоміри виконують важливу роль у різних сферах, таких як електроніка, телекомунікації, наукові дослідження та промисловість, де точність вимірювань є критично важливою для забезпечення ефективності й безпеки технологічних процесів.

Частотоміри можна класифікувати за кількома критеріями. За принципом роботи вони поділяються на два основні типи: аналогові та цифрові частотоміри. Аналогові частотоміри використовують традиційні методи, такі як зміна напруги або струму, пропорційні частоті сигналу. Хоча вони можуть бути менш точними, ніж цифрові, вони все ще мають своє застосування в певних ситуаціях, де простота і низька вартість є важливими факторами. Цифрові частотоміри, натомість, використовують сучасні цифрові технології для обробки сигналів, що дозволяє їм забезпечувати вищу точність, швидкість вимірювань і можливість зберігання даних. Багато цифрових частотомірів також мають додаткові функції, такі як обчислення середнього значення, максимальних і мінімальних значень.

Ще один спосіб класифікації частотомірів — за кількістю каналів. Одноканальні частотоміри вимірюють частоту лише одного сигналу одночасно, що робить їх простими у використанні та придатними для базових вимірювань. Багатоканальні частотоміри, навпаки, можуть одночасно вимірювати частоти кількох сигналів, що значно підвищує ефективність вимірювань, особливо в складних системах, таких як телекомунікаційні або промислові.

За призначенням частотоміри також можна поділити на кілька категорій.

Лабораторні частотоміри використовуються в наукових дослідженнях і мають високу точність і надійність. Вони зазвичай оснащені різноманітними функціями та можливостями налаштування. Промислові частотоміри призначені для роботи в умовах виробництва, де потрібні стійкість, надійність та швидкість вимірювання. Спеціалізовані частотоміри розроблені для конкретних галузей, таких як авіація, автомобільна промисловість або медицина, і можуть мати специфічні функції, адаптовані до потреб цих секторів.

Окрім того, частотоміри класифікуються за видом сигналу: частотоміри для аналогових сигналів вимірюють частоти синусоїдальних або прямокутних сигналів, тоді як частотоміри для цифрових сигналів призначені для роботи з цифровими системами, що є важливими в умовах сучасних технологій.

Ця класифікація частотомірів є важливою для вибору найбільш підходящого приладу для конкретного застосування, адже враховує специфіку сигналів, вимоги до точності, швидкості вимірювань та умов експлуатації. Правильний вибір частотоміра забезпечує надійність та точність вимірювань, що, в свою чергу, є ключовим для успіху багатьох технологічних процесів у сучасному світі.

Аналогові частотоміри в основному базуються на електродинамічній та магнітоелектричній системі. В основі їх роботи закладено використання частотнозалежної ланки, модуль повного опору якого залежить від частоти. Вимірювальним механізмом, як правило є логометр, на одне плече якого подається вимірювальний сигнал через частотннезалежну ланку, а на друге – через частотнозалежну, ротор логометра зі стрілкою в результаті взаємодії магнітних потоків встановлюється в положення, що залежить від співвідношень струмів в обмотках. Існують також аналогові частотоміри, що працюють на інших принципах, Але все одно реалізація їх досить і досить складна в порівнянні з цифровими частотомірами.

Цифрові частотоміри — складні вимірювальні пристрої, звичайно випускаються універсальними і будуються на базі мікропроцесорів для

вимірювання частоти, відношення частотного періода, фази малих проміжків часу відхилень величин, що вимірюються, і для рахунку числа імпульсів.

Сучасні універсальні цифрові частотоміри є інформаційно-вимірювальними системами з вбудованими мікропроцесорами для величин частотно-фазо-тимчасової групи, а саме: для вимірювання середнього значення частоти, миттєвого значення частоти, відношення частот, девіації частоти, швидкості зміни частоти, відносного відхилення частоти у відсотках, періоду, девіації періоду, відношення періоду інтервалу часу, відношення інтервалів часу, тривалості імпульсів, середнього значення зсуву фаз, миттєвого значення зсуву фаз і т.д.

Багатоканальні частотоміри зазвичай мають два або три входи, що для розробки складних систем з перетвореннями частот або з великою кількістю здавачів з частотним виходом не є раціональним, а спеціалізовані багатоканальні мають високу ціну.

Цифрові частотоміри використовують різноманітні принципи роботи для визначення частоти сигналів, переважно базуючись на обробці цифрових даних. Основними етапами вимірювання частоти в цифрових частотомірах є перетворення аналогового сигналу в цифровий, аналіз отриманих даних і обчислення частоти. Розглянемо ці етапи докладніше.

Першим етапом роботи цифрового частотоміра є перетворення вхідного аналогового сигналу в цифровий. Це здійснюється за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). АЦП зчитує величину напруги в певні моменти часу і перетворює її в цифрові значення, що дозволяє комп'ютерним системам обробляти сигнал.

Після перетворення сигналу в цифрову форму наступним етапом є обробка даних. Це включає в себе фільтрацію сигналу, щоб видалити шум і підвищити точність вимірювання. Додатково застосовуються алгоритми обробки сигналів, які дозволяють визначити періоди коливань сигналу, що є критично важливим для подальшого обчислення частоти.

Частота визначається на основі отриманих даних про періоди коливань сигналу. Для цього цифровий частотомір підраховує кількість циклів сигналу, що відбулися за одиницю часу (наприклад, за одну секунду). Відповідно до цього, частота в герцах розраховується за формулою

$$f = \frac{N}{T}$$

де f — частота, N — кількість періодів, а T — час спостереження.

Після обчислення частоти цифровий частотомір відображає отримане значення на дисплеї або передає його до зовнішньої системи для подальшої обробки. Частотоміри також можуть мати додаткові функції, такі як можливість зберігати результати, виконувати статистичний аналіз, порівнювати отримані значення з еталонними або формувати графіки.

Цифрові частотоміри можуть використовувати різні методи для вимірювання частоти, такі як:

- 1) Метод підрахунку імпульсів - визначення частоти на основі підрахунку кількості імпульсів, які проходять за певний проміжок часу.
- 2) Метод періодичного вимірювання - вимірювання часу одного періоду сигналу, а потім обчислення частоти на основі цього значення.
- 3) Метод фази – Використання фазового зсуву між опорним сигналом і вимірюваним сигналом для визначення частоти.

Таким чином, цифрові частотоміри, завдяки своїм принципам роботи, забезпечують високу точність та швидкість вимірювання частоти сигналів, що робить їх незамінними в сучасних технологіях вимірювання.

1.2 Огляд сучасних структур цифрових частотомірів

Структурна схема двоканального електронно-рахункового приладу в режимі вимірювань частоти показана на рисунку 1.1. Поданий на вхід А або Б приладу сигнал будь-якої форми, що вимірюється $f_{\text{вим}}$, поступає на відповідний

вхідний формуючий пристрій ВФПА або ВФПБ, який підсилює і перетворює його в прямокутні імпульси малої тривалості (рахункові імпульси заповнення), наступні з частотою, що виміряється на електронному комутаторі ЕК, що виробляються блоком автоматики (БА) прямокутні стробуючі імпульси, тривалість яких рівна одному із зразкових інтервалів часу T_0 , відкривають електронний комутатор (ЕК), який пропускає певну кількість рахункових імпульсів, що заповнюють цей зразковий інтервал часу. Рахунковий блок (РБ) підраховує імпульси, число яких визначає стан його декад тригерів в двійково-десятковому коді. Пристрій цифрового відліку (ПЦВ) перетворить цей код в десятковий, що відображається на цифровому табло приладу.

Так, якщо за інтервал $T_0 = 0,01\text{с}$ з підраховано, наприклад, 4653 імпульси, то $f_{\text{вим}} = 465,3\text{ кГц}$. При зміні інтервалу часу на $T_0 = 0,1$ або $T_0 = 1\text{с}$ точність вимірювань підвищується, оскільки підраховується, наприклад, 46 528 або 465 286 імпульсів, і частота, що виміряється $f_{\text{вим}}$ буде відповідно рівна 465,28 або 465,286 кГц.

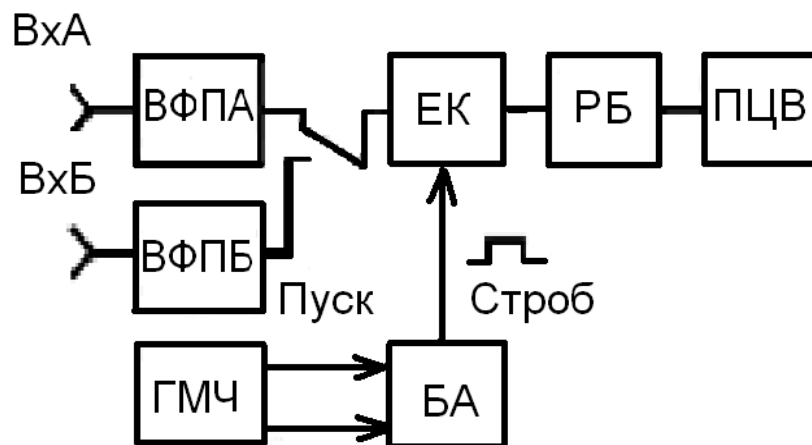


Рисунок 1.1 – Структурна схема двоканального частотоміра

Імпульсні сигнали зразкових частот генератора міток часу (ГМЧ) служать мітками часу рахунку і керують роботою блоку автоматики (БА), який виробляє атрофуючі імпульси, а також імпульси автоматичного скидання свідчень і встановлення часу індикації, регульованого від 0,5 до 5 с. При ручному управлінні час індикації триває до натиснення кнопки «Пуск».

Слід зазначити, що електронно-рахунковий прилад в режимі вимірювань низької частоти дає велику похибку і абсолютно неприйнятний при вимірюваннях інфранизьких частот.

Структурна схема електронно-рахункового приладу в режимі вимірювань періоду показана на рисунку 1.1. Сигнал будь-якої форми, що вимірюється, поступає на вхідний формуючий пристрій (ВФП) який підсилює і перетворює його в загострені імпульси малої тривалості (керуючі імпульси), наступні через Твм на блок автоматики (БА). Для підвищення точності вимірювань застосовують декадні подільники частоти (ДЧ), що збільшують період, що вимірюється, в 10, 100 разів і т.д.

Імпульсні сигнали однієї із зразкових частот генератора міток часу (ГМЧ) служать мітками заповнення і подаються на вхід електронного комутатора (ЕК), який під впливом прямокутного стробуючого імпульсу відкривається і пропускає певну кількість рахункових імпульсів ГМЧ, що заповнюють інтервал часу рахунку. Рахунковий блок (РБ) підраховує імпульси, і результат вимірювань в десятковому коді відображається на цифровому табло пристрою цифрового відліку.

Кількість імпульсів або періодів синусоїдального сигналу за певний інтервал часу підраховують при відкритому електронному комутаторі, якого відкривають і закривають у ручну в певні моменти часу, що визначають початок і кінець рахунку.

Частота і час обернено пропорційні за розміром. Відомо, що точне вимірювання частот вимагає певного часу, а для точного вимірювання часу необхідна висока частота зразкового сигналу.

При безпосередньому (прямому) вимірюванні частоти періодичного сигналу цифровим (мікроконтролерним) частотоміром найвагомішими є дві складові похибки - міри і порівняння. Похибки міри визначається нестабільністю частоти кварцового генератора. Ця складова похибки може бути відчутною при вимірюванні дуже високих частот. Похибка порівняння визначається, головним чином, похибкою квантування.

При вимірюванні низьких частот похибка квантування є визначаючою

складовою похибки вимірювання. Наприклад, якщо вимірюється частота $f_x = 10$ Гц при $T_0 = 1$ с, то максимальна похибка квантування

$$\delta_{\kappa\psi} = \frac{100\%}{f_x \cdot T_0}, \quad (1.1)$$

$$\delta_{\kappa\psi} = \frac{100\%}{10 \cdot 1} = 10\%.$$

що неприпустимо.

Таким чином, через великі похибки квантування низькі частоти безпосередньо вимірюються цифровим частотоміром із невисокою точністю. Тому розв'язання завдання зменшення впливу похибки квантування на результати вимірювання завжди було одним із важливих напрямів розробки цифрової частотовимірювальної техніки. Перед тим, як розглядати мікропроцесорний частотомір, який радикально розв'язує вказане завдання, зупинимось на чотирьох способах зменшення похибки квантування при вимірюванні частоти:

1. Збільшення тривалості еталонного часового інтервалу T , тобто часу вимірювання. Але можливості такого способу обмежені, оскільки для одержання малої похибки квантування (наприклад, $\delta_x = 0,01\%$; $f_x = 10$ Гц) потрібний дуже великий час вимірювання

$$T_0 = \frac{100\%}{f_x \cdot \delta_{\kappa\psi}} \quad (1.2)$$

$$T_0 = \frac{100\%}{10 \cdot 0,01} = 1000(\text{с}).$$

2. Збільшення числа імпульсів, що квантують еталонний часовий інтервал, який досягається множенням вимірюваної частоти. Виконання даного способу поєднано із застосуванням додаткового блоку помножувача частоти, що ускладнює і підвищує вартість апаратної частини.

3. Врахування випадкової природи похибки квантування. Припускається проведення багаторазових вимірювань і усереднення їх результатів. Це

ефективний шлях зменшення впливу випадкової похибки на результат вимірювання.

4 Безпосереднє вимірювання періоду досліджуваного сигналу з наступним обчисленням частоти $f_x = 1/T_x$. Цей шлях дозволяє різко зменшити похибку квантування при вимірюванні низьких частот.

Щоб побачити ефект, який досягається, скористаємось наведеним раніше прикладом. Перейдемо до вимірювання періоду. Частота $f_x = 10$ Гц. Відповідний період $T_x = 0.1$ с. Сформуємо стробуючий імпульс тривалістю, що дорівнює періоду T_x і проквантуємо його імпульсами, частота проходження яких $f_0 = 10$ МГц (що, звичайно має місце в цифрових частотомірах). У цьому разі похибка квантування

$$\delta_{\kappa n} = \frac{100\%}{f_0 \cdot T_x}, \quad (1.3)$$

$$\delta_{\kappa n} = \frac{100\%}{10^7 \cdot 0.1} = 10^{-4}\%$$

Можна зробити висновок, що непряме вимірювання частоти $f_x = 1/T_x$ у даному разі дозволило різко підвищити точність порівняно з прямим вимірюванням частоти: похибка квантування зменшилась у 100000 разів.

Однак при вимірюванні високих частот (наприклад, $f_x = 10^6$ Гц, $T_0 = 1$ с, $f_0 = 10^7$ Гц) похибка квантування цифрового частотоміра

$$\delta_{\kappa c} = \frac{100\%}{f_x \cdot T_0}, \quad (1.4)$$

$$\delta_{\kappa c} = \frac{100\%}{10^6 \cdot 1} = 10^{-4}\%,$$

а похибка квантування цифрового періодоміра надмірно зростає

$$\delta_{\kappa\chi} = \frac{100\% \cdot f_x}{f_0}, \quad (1.5)$$

$$\delta_{\kappa\chi} = \frac{100\% \cdot 10^6}{10^7} = 10\%$$

Таким чином, при дослідженнях періодичних процесів у широкому діапазоні частот для досягнення заданої точності доцільно в діапазоні високих частот застосовувати цифровий частотомір, а в діапазоні низьких частот переходити до вимірювання періоду, рисунок 1.2. а, б.

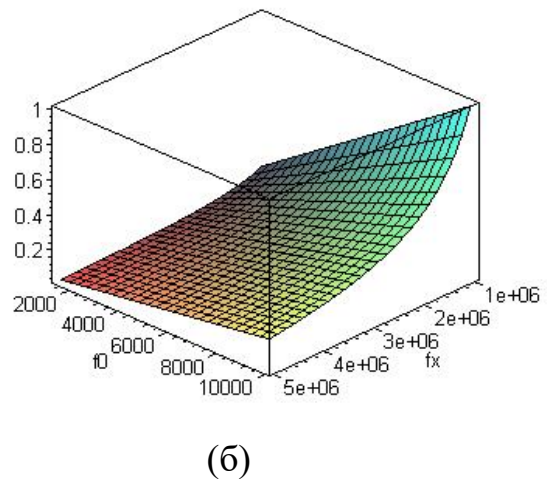
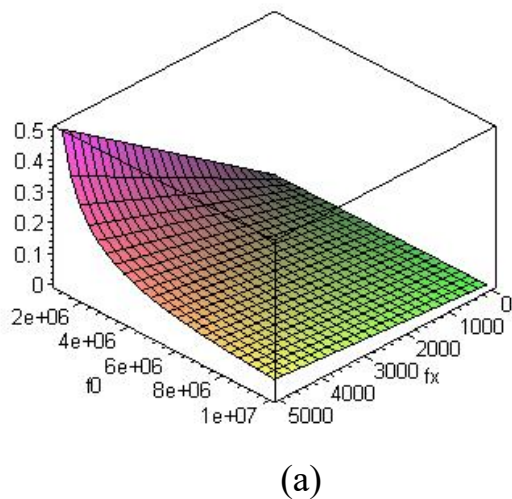


Рисунок 1.2 – Визначення похибки мікроконтролерного частотоміра в режимі:
(а) вимірювача періоду, (б) вимірювача частоти

Робота мікропроцесорного частотоміра, що дозволяє досліджувати періодичні процеси у широкому діапазоні відповідає наступній послідовності.

Спочатку настроюють програму на режим періодоміра. Встановлюють коефіцієнт подільника частоти $K=1$ і проводять вимірювання невідомої частоти f_x . Вимірювана частота подається на вхід аналогового компаратора. Аналоговий компаратор вибраний з тієї причини, що він має досить гнучку програмну обробку інформації: програміст може вибрати пряму програмну обробку або обробку за перериванням. За переднім фронтом імпульсу на вході AIN0 (рис. 1.3) аналогового компаратора запускають таймер на рахування імпульсів f_0 / K . За наступним переднім фронтом імпульсу на вході AIN0

аналогового компаратора (по закінченню періоду T_x) таймер мікроконтролера зупиняють і підраховують кількість імпульсів N_x .

Якщо $N_x = 0$ (частота f_x недостатня для спрацювання періодоміра), то задають за допомогою таймера часовий інтервал T_0 (наприклад, $T_0 = 1$ с) і переходять в режим вимірювання частоти. Частоту обчислюють за формулою

$$f_x = N_x / T_0 \quad (1.6)$$

Якщо $N_x \neq 0$, то перевіряють переповнення таймера мікроконтролера. При невиконанні цієї умови обчислюють частоту, інакше збільшують коефіцієнт подільника частоти $K = K + \Delta K$ і вертаються на вимірювання періоду. Частоту обчислюють за формулою

$$f_x = f_0 / (N_x \cdot K) \quad (1.7)$$

Структурна схема мікропроцесорного частотоміра, яка дозволяє реалізувати наведений алгоритм, подана на рисунку 1.3.

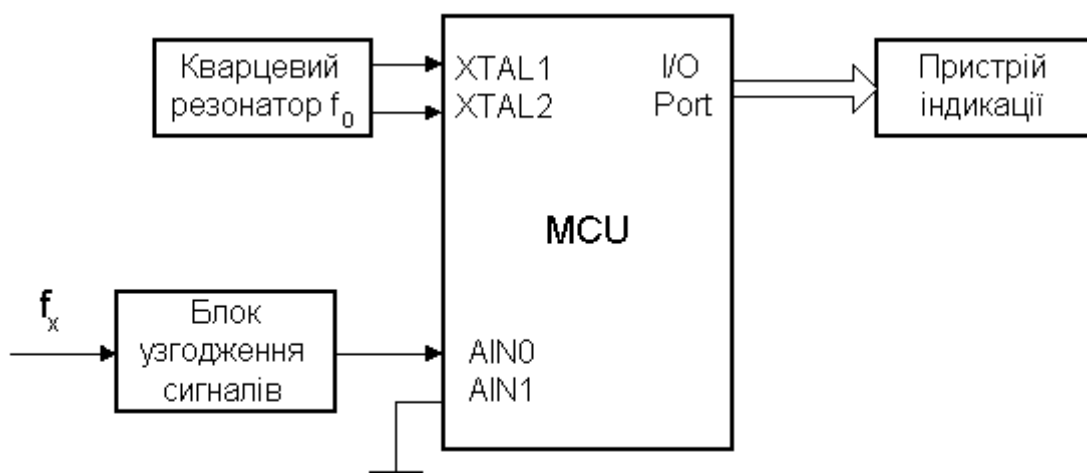


Рисунок 1.3 – Структурна схема мікроконтролерного частотоміра

У момент переходу напруги U_1 через рівень нуля запускають таймер на підрахунок імпульсів f_0 / K . Рахування проходить до переднього фронту імпульсу напруги U_2 . При цьому робота таймера зупиняється і підраховують кількість імпульсів N_x . Кількість імпульсів усереднюється за проміжок часу [1].

1.3 Архітектура багатоканальних частотомірів

Архітектура багатоканальних частотомірів відіграє важливу роль у їхній ефективності та здатності виконувати вимірювання частоти кількох сигналів одночасно. Основними компонентами такої архітектури є модулі вимірювання, система обробки даних, елементи інтерфейсу користувача та системи зберігання даних. Розглянемо ці елементи детальніше.

1) Модулі вимірювання. Багатоканальні частотоміри зазвичай оснащені кількома модулями вимірювання, які відповідають за обробку вхідних сигналів. Кожен модуль може вимірювати частоту одного сигналу, що дозволяє одночасно здійснювати вимірювання кількох каналів. Вхідні сигнали спочатку проходять через фільтри, які видаляють небажані шуми, а потім надходять до аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) для цифрового перетворення.

2) Система обробки даних. Система обробки даних – це ключовий елемент архітектури, яка відповідає за аналіз і обробку цифрових сигналів, отриманих від АЦП. Вона включає в себе процесори, які виконують різні алгоритми обробки сигналів, такі як:

- Фільтрація – використовується для видалення шумів і спотворень у сигналах, що дозволяє покращити точність вимірювань.
- Підрахунок імпульсів – застосовується для визначення кількості циклів сигналу за певний час.
- Обчислення періоду - вимірювання часу між послідовними імпульсами, що дозволяє розрахувати частоту.
- Інтерфейс користувача - забезпечує зручний доступ до функцій частотоміра (може включати дисплеї, кнопки управління та програмне забезпечення для візуалізації даних).

3) Системи зберігання даних. Системи зберігання даних важливі для збереження вимірних значень та історії вимірювань. Це можуть бути як локальні, так і віддалені сховища, які дозволяють користувачам отримувати доступ до даних у будь-який момент часу. Важливою складовою також є можливість експорту даних у різні формати для подальшої обробки або аналізу в інших програмних продуктах.

4) Методи обробки сигналів. У багатоканальних системах використовуються різноманітні методи обробки сигналів, зокрема:

- Часова обробка - вимірювання частоти на основі аналізу часових інтервалів між імпульсами сигналу.

- Фазова обробка - визначення частоти шляхом порівняння фазових зсувів між вимірюваним сигналом і опорним сигналом.

- Спектральний аналіз - дослідження частотного спектру сигналу для виявлення компонентів частоти та їх амплітуд.

Завдяки цим методам багатоканальні частотоміри здатні забезпечити високу точність і швидкість вимірювання частоти, що робить їх незамінними в сучасних технологіях. Архітектура та методи обробки сигналів у багатоканальних системах дозволяють ефективно управляти великим обсягом даних і проводити комплексний аналіз сигналів у реальному часі.

1.4 Огляд конструкцій сучасних одноканальних частотомірів на базі мікроконтролера

На сьогодні відома низка технічних рішень одноканальних частотомірів на базі мікроконтролерів різних фірм-виробників. Представимо основні варіанти.

Електрична схема найпростішого частотоміра до 10 МГц на базі мікроконтролера ATtiny2313A показана на рис. 1.4. Це, мабуть, найпростіший частотомір (лічильник) з Atmel AVR. Він дозволяє вимірювати частоти до 10 МГц в 4 автоматично вибраних діапазонах. Найнижчий діапазон має роздільну здатність 1 Гц. Для відображення виміряної частоти використовується 4-

значний світлодіодний дисплей. Він заснований на мікроконтролері Atmel AVR ATtiny2313A або ATtiny2313. Програму для завантаження та налаштування бітів конфігурації ви можете знайти нижче.

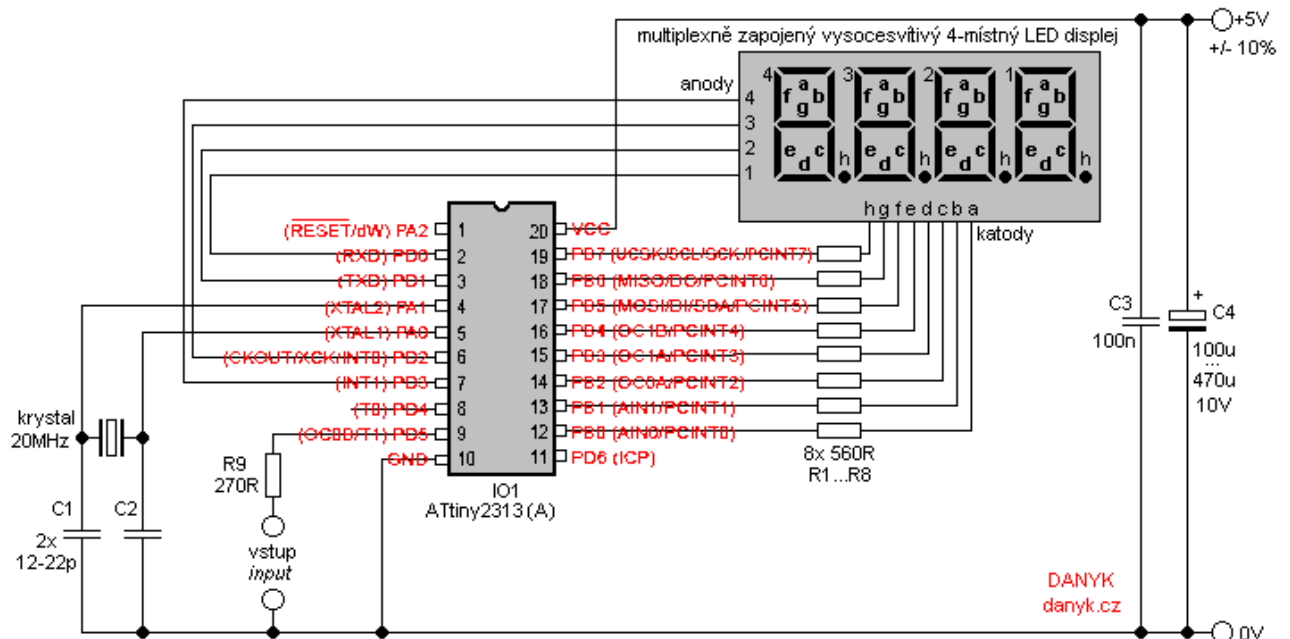


Рисунок 1.4 – Електрична схема найпростішого частотоміра до 10 МГц на базі мікроконтролера ATtiny2313A

Мікропроцесор тактується від кристала 20MHz (максимально допустима частота). Точність вимірювання визначається точністю цього кристала. Мінімальна довжина півперіоду вимірюваного сигналу повинна бути більшою за період кварцевого генератора (обмеження архітектури MCU). Таким чином, при робочому циклі 50% можна вимірювати частоти до 10 МГц. Вимірний сигнал надходить на висновок 9 (T1). Підрахунок виконується 16-бітним таймером/лічильником1 із зовнішньою синхронізацією. Переповнення збільшує 8-бітний регістр, створюючи 24-бітний результат. Потім він переноситься в декадичну форму і відображається. Частота завжди відображається в кГц. Автоматичний вибір діапазону змінює положення десяткової коми. Частота оновлення становить 1 Гц. Катоди дисплеїв підключаються до порту В, аноди – до розрядів 0-3 порту D. Використання над яскравого дисплея дозволяє

відмовитися від звичайних транзисторів підсилення струму. Дисплей керується мультиплексно і підключається звичайним мультиплексним способом. Частота мультиплексу становить 156,25 Гц. Ви можете використовувати дисплей, наприклад CA56-12SRWA. Резистори від R1 до R8 визначають силу струму на дисплеї і, таким чином, його яскравість. Вони підібрані так, щоб струм не перевищував максимальний вихідний струм (40 мА) виводів. Цей частотомір живиться від мережі приблизно 5 В (+/- 10%). Споживання при напрузі 5 В становить близько 15-35 мА, залежно від кількості освітлених сегментів (більше споживання струму має світлодіодний дисплей). Якщо вхід частотоміра знаходиться «у вільному повітрі», це може спричинити відображення безглузвих значень, оскільки вхідний опір дуже високий. Ви можете запобігти цьому, додавши резистор близько 100 кОм паралельно входу.

Діапазон 1 ... 9,999 кГц, роздільна здатність до 1 Гц.

Діапазон 2 ... 99,99 кГц, роздільна здатність до 10 Гц.

Діапазон 3 ... 999,9 кГц, роздільна здатність до 100 Гц.

Діапазон 4 ... 9999 кГц, роздільна здатність до 1 кГц.

Тестування найпростішого частотоміра (лічильника) з AVR - частота вимірювання приблизно 505 кГц показано на рис. 1.5.

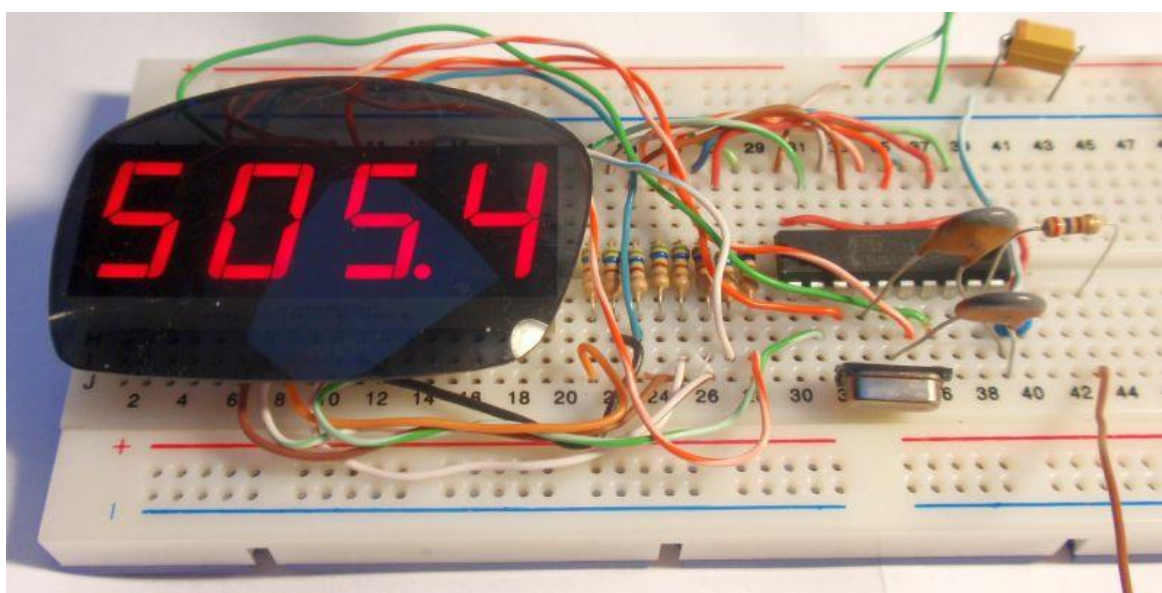


Рисунок 1.5 – Тестування найпростішого частотоміра до 10 МГц на базі мікроконтролера ATtiny2313A

На рис. 1.6 показана електрична схема частотоміра на основі мікроконтролера ATmega16 з діапазоном вимірювання до 70 МГц.

Для того, щоб схема працювала, важливо правильно встановити запобіжники всередині мікроконтролера AVR. Ці біти запобіжника можна встановити за допомогою програматора, який використовується для прошивки програмного забезпечення. Встановіть біти запобіжника таким чином: встановіть усі біти запобіжника на 1, лише SKOPT і SPIEN переходять на 0.

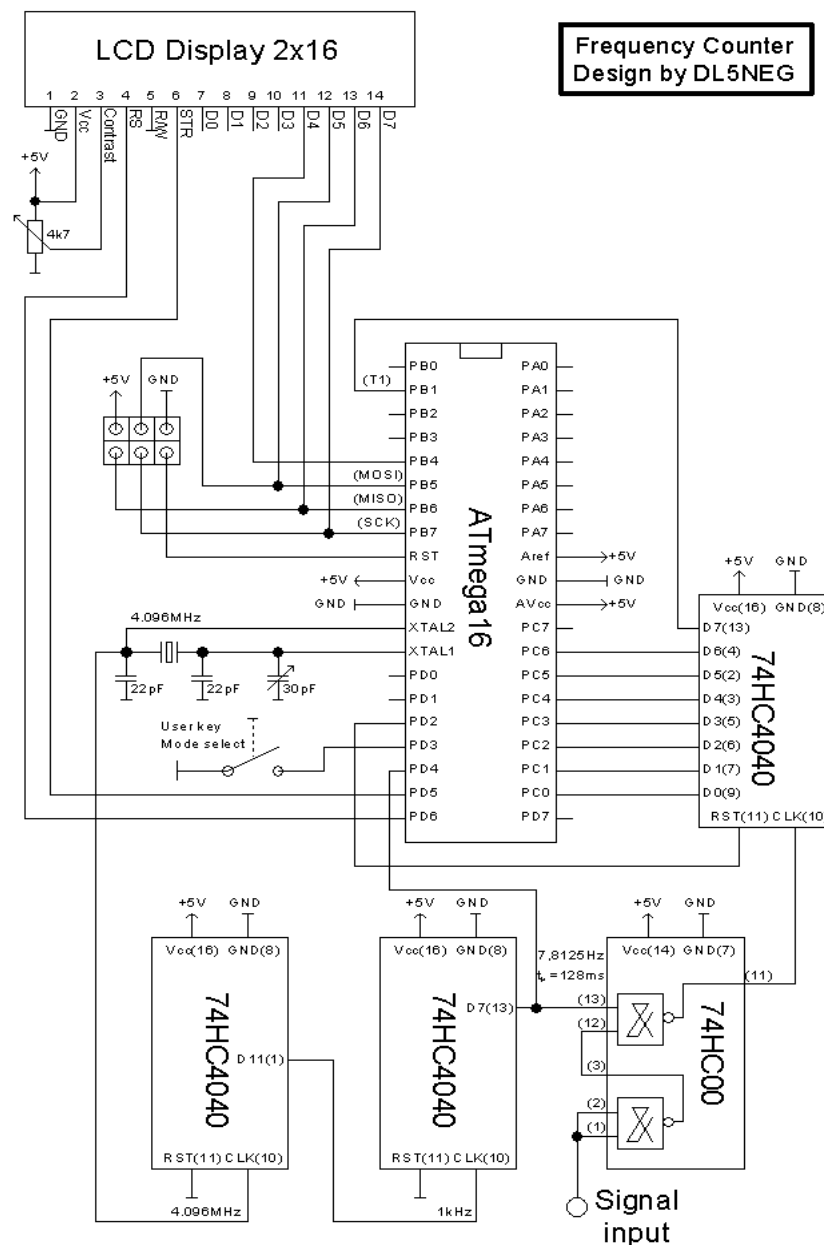


Рисунок 1.6 – Електрична схема частотоміра на основі мікроконтролера ATmega16 з діапазоном вимірювання до 70 МГц

Логіка бітів активна низька, тобто запрограмований=0, незапрограмований=1. Біти, які визначають джерело синхронізації AVR, CKSEL 0..3, запрограмовані під час доставки мікросхеми, тобто встановлені на 0. Ось причина, чому контролер працює на внутрішньому тактуванні і навіть не запускає кристал. Встановлюючи всі CKSEL 0..3 на незапрограмовані (1), вибирається зовнішній кристал. Запрограмований СКOPT (0) перемикає кристал зі слабкої амплітуди на повну, щоб 74НС4040 отримував достатній вхідний сигнал.

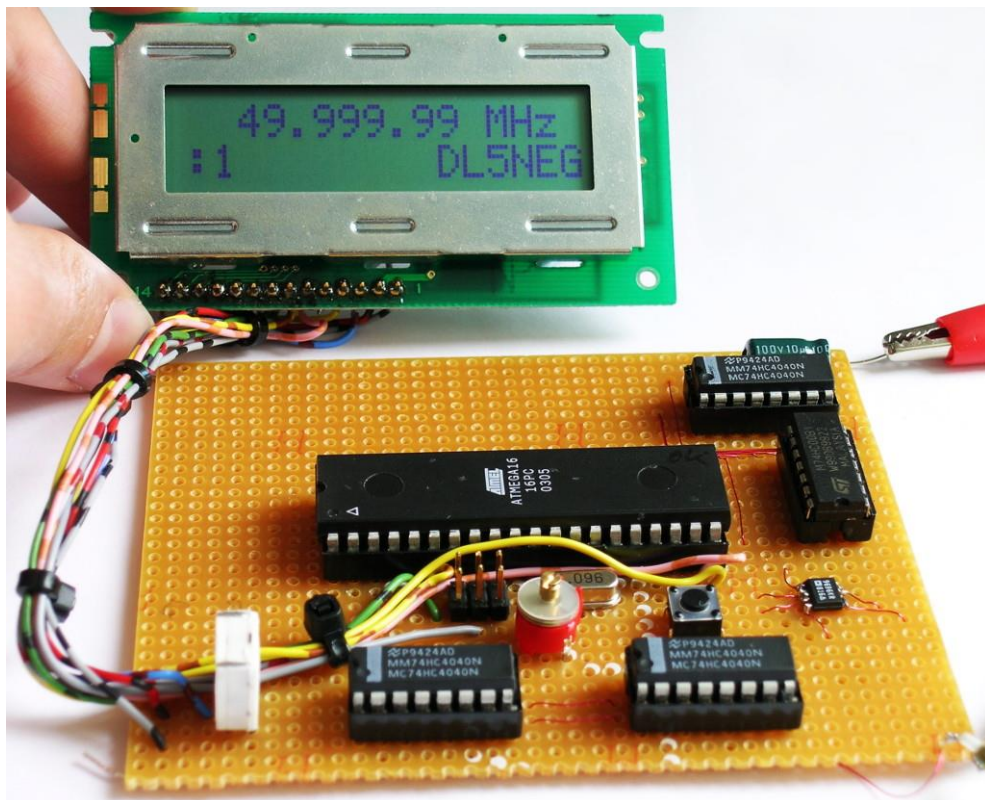


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд частотоміра на основі мікроконтролера ATmega16

Програма підтримує такі режими роботи:

1. Використання без попереднього множення, вхідна частота до 70 МГц, роздільна здатність 10 Гц.
2. Використання з: 64 попереднім дільником, діапазон залежить від попереднього дільника, виправлене зчитування в МГц, роздільна здатність 1кГц.
3. Використання з: 128 попереднім дільником, діапазон залежить від попереднього дільника, виправлене зчитування в МГц, роздільна здатність

1кГц.

4. Використання з попереднім дільником 640, діапазон залежить від попереднього дільника, виправлене зчитування в ГГц, роздільна здатність 10кГц.

5. Використання з попереднім дільником 1000, діапазон залежить від попереднього дільника, виправлене зчитування в ГГц, роздільна здатність 10кГц.

Використання цього базового технічного рішення та спеціалізованих інтегрального подільника частоти HMC363S8G компанії Analog Devices уможливорює розробити частотомір з діапазоном вимірювання частоти від 500МГц до 12ГГц. Конструктивне виконання такого одноканального частотоміру наведено на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Конструктивне виконання частотоміра 500 МГц – 12 ГГц на основі мікроконтролера ATmega16 та інтегрального подільника частоти HMC363S8G

Основні технічні параметри:

- Лабораторний настільний пристрій, який підраховує сигнали від нижче 500 МГц до вище 12 ГГц.
- Прийнятні рівні вхідного сигналу від -20 дБм до +10 дБм.
- Працює від джерела живлення 9 В постійного струму (приблизно 100мА).
- Показує частоту з точністю до 10 кГц із частотою оновлення 128 мс.

- Показує дрейф частоти вхідного сигналу в проміле/с із частотою оновлення 128 мс (ковзне середнє за 16 циклів).

Пристрій лічильника базується на лічильнику ATmega16 і використовує модуль попереднього подільника частоти з інтегральною схемою НМС363 від Hittie Microwave, щоб поділити частоту вхідного сигналу на коефіцієнт 1000. Зменшений сигнал (до 12 МГц при вхідних сигналах до 12 ГГц) можна легко зарахувати до схеми лічильника, яка була добре перевірена до 70 МГц.



Рисунок 1.9 – Внутрішня конструкція частотоміра 500 МГц – 12 ГГц на основі мікроконтролера ATmega16 та інтегрального подільника частоти НМС363S8G

1.5 Висновки до розділу

У першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто теоретичні основи цифрових частотомірів, їх класифікація та принципи роботи. Важливими аспектами є архітектура пристроїв і методи обробки сигналів у багатоканальних системах, які визначають їхню ефективність і точність.

2 РОЗРОБКА ПОВНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЧАСТОТОМІРА

2.1 Розробка структурної схеми багатоканального частотоміра

Загальна структура багатоканального частотоміра при використанні аналогового мультиплексора зображена на рисунку 2.1

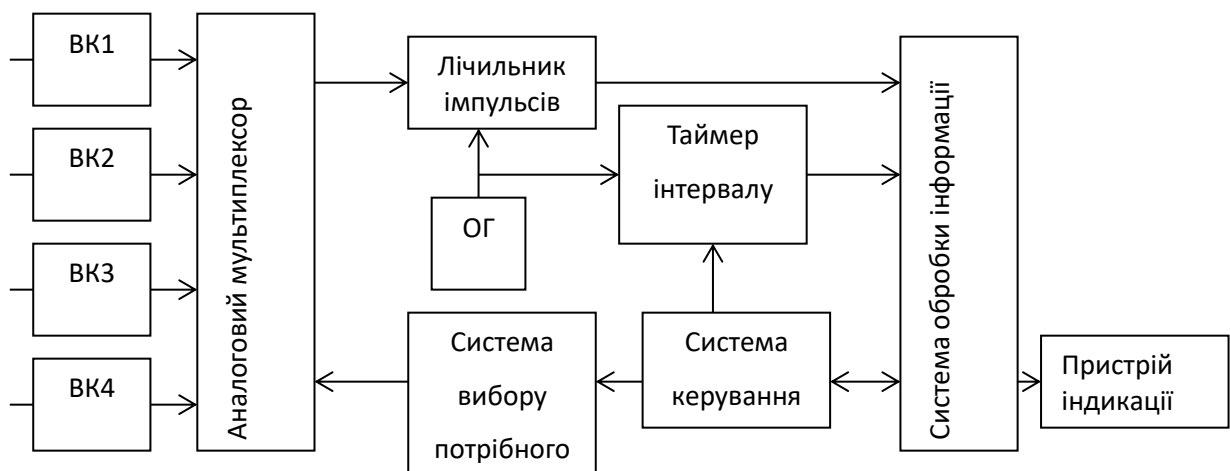


Рисунок 2.1 – Загальна структурна схема моделі мультиплексорного багатоканального частотоміра

Модель частотоміра, що будується на основі такої структури може мати і більше входів, в залежності від обраного аналогового мультиплексора.

Використання такої структури дозволяє збільшити кількість вхідних каналів, але визначення частоти в певний момент часу все одно відбувається лише по одному каналу.

Загальна структурна схема багатоканального частотоміра без використання аналогового мультиплексора зображена на рисунку 2.2. Така структура дозволяє визначати частоту у всіх каналах одночасно, але для цього потрібно використовувати додаткові лічильники імпульсів.

Проаналізувавши структурні схеми (рис 2.1, рис. 2.2) можна дійти висновку, що їх об'єднання буде раціональним і призведе до збільшення вхідних каналів і матиме можливість одночасного визначення частот.

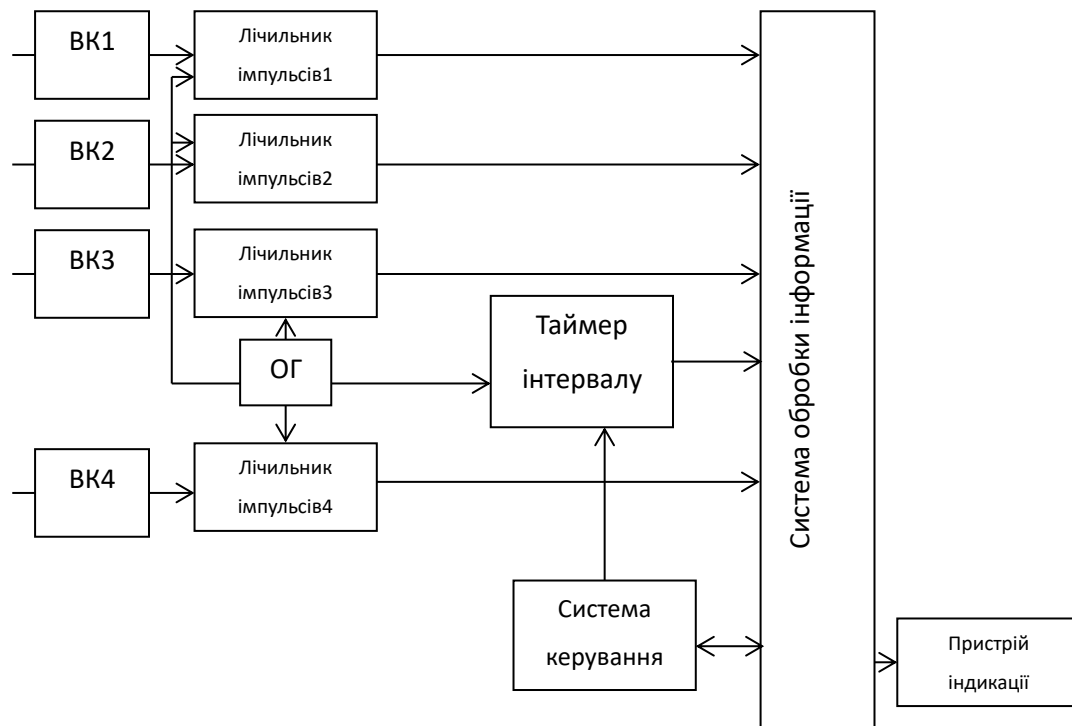


Рисунок 2.2 - Структурна схема безмультиплексорного багатоканального частотоміра

2.2 Вибір мікроконтролера

В сучасних умовах номенклатура мікроконтролерів досить широка і тому можна знайти контролер, в якому буде інтегровані декілька лічильників та аналогові мультиплексори.

Фірмою NXP розроблено контролер LPC2103, в якому інтегровано 3 лічильники з вже вбудованими аналоговими мультиплексорами, таймер, опорний генератор, а також 32 програмованих порти вводу-виводу для забезпечення індикації. (в контролері є ще багато різної периферії, але для даної задачі, вона не є важливою). Тобто, за допомогою нього легко реалізувати структуру, що буде об'єднувати в собі структурні схеми безмультиплексорного та мультиплексорного частотоміра. Враховуючи можливості контролера, структурна схема матиме вигляд, зображений на рисунку 2.3

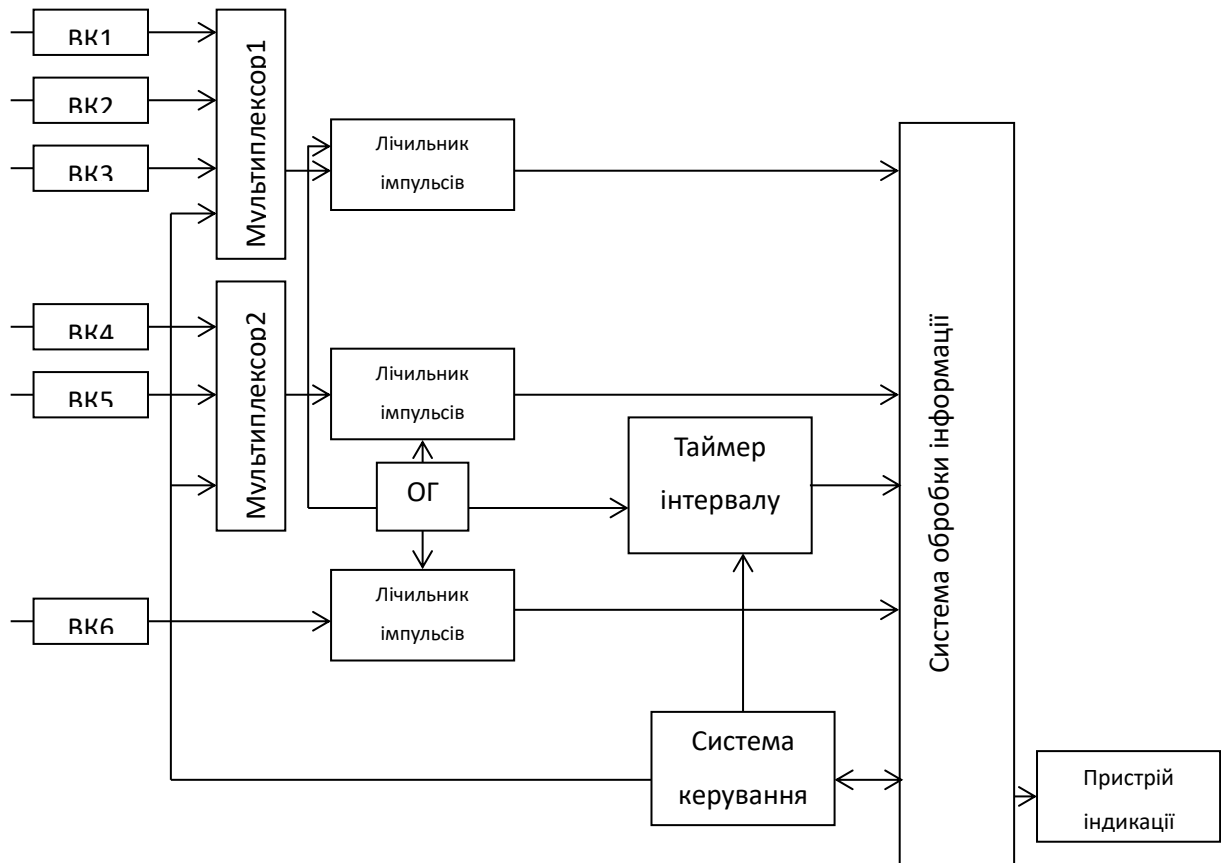


Рисунок 2.3 – Структурна схема багатоканального частотоміра на базі мікроконтролера LPC2103

2.3 Розробка алгоритму роботи багатоканального частотоміра

Робота контролера базується на системі переривань, а отже алгоритм основної програми буде мати вигляд зображений на рисунку 2.4.

Зациклювання є обов'язковою процедурою, тому що якщо цього не зробити програма контролера буде скінченою у часі, тобто буде завершена, після чого не відбудеться жодного переривання і пристрій буде не дієздатний продовжувати роботу.

Визначимо, які саме переривання потрібно застосувати для правильної роботи моделі багатоканального частотоміра. По-перше, обов'язковим перериванням є переповнення таймера інтервалу часу, тобто після закінчення часового інтервалу виміру частоти, потрібно обробити та вивести на індикацію значення вимірювальних частот, а також перемкнути аналогові мультиплексори у наступне положення. Алгоритм цього переривання зображено на рисунку 2.5.

По-друге, треба врахувати ситуацію переповнення лічильників, а отже для кожного з них потрібно ввести переривання по переповненню за алгоритмом зображеним на рисунку 2.6.

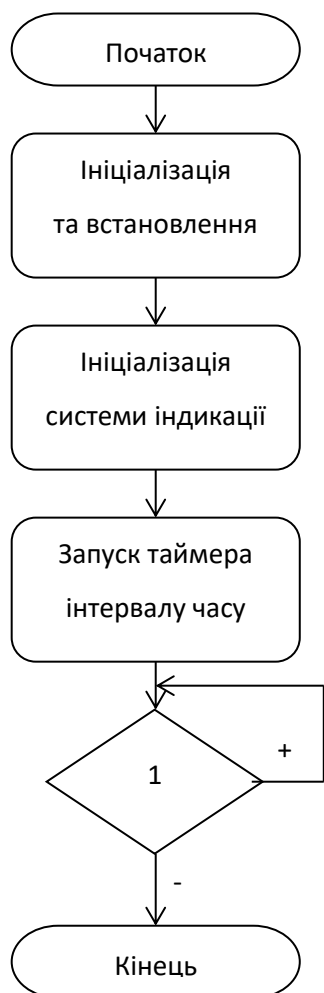


Рисунок 2.4 – Алгоритм головної програми мікроконтролера багатоканального частотоміра, модель якого розробляється

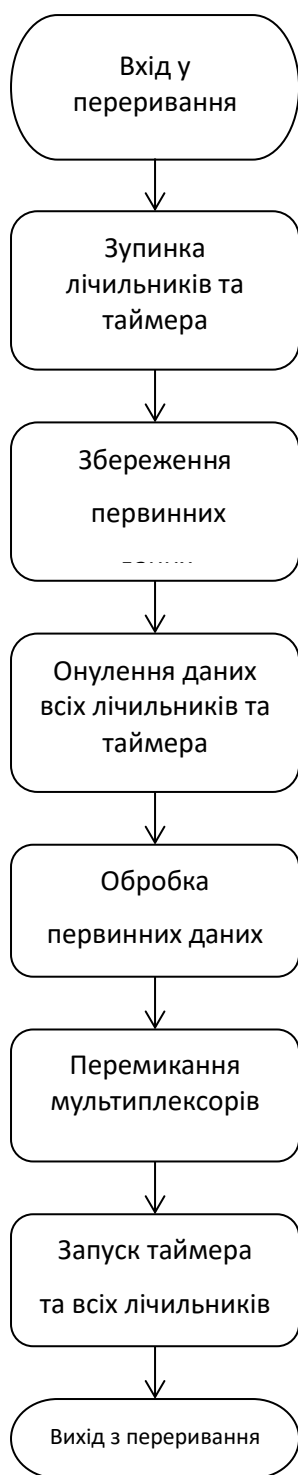


Рисунок 2.5 – Алгоритм переривання таймера інтервалу часу після переповнення



Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи переривання лічильників при переповненні

2.4 Вибір системи індикації

Зі структури, на якій основана робота багатоканального частотоміра (рис. 2.3) видно, що загальна кількість каналів складає 6, а отже на пристрої індикації повинно бути як мінімум 6 комірок для виводу інформації. Такі вимоги задовольняє звичайний символний екран на 4 строки та 20 символів. Протокол передачі даних до пристрою індикації може бути побудований як по паралельному так і по послідовному принципу. Враховуючи те, що кількість програмованих портів вводу-виводу є достатньою, то протокол передачі може бути побудований по звичайній паралельній схемі 8 виводів для даних, 3 для керування.

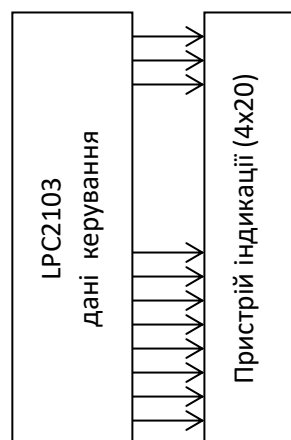


Рисунок 2.7 – Схема протоколу передачі даних на пристрій індикації

2.5 Розрахунок основних параметрів багатоканального частотоміра

Основними параметрами частотоміра є спосіб визначення частоти, межі вимірювання та похибка.

Так як завданням цієї роботи не є створення нового способу, то можна скористатись вже відомим і одним з найпростіших – способом електронно-рахункового частотоміра. За цим способом частота розраховується по формулі

$$f_x = \frac{N}{T_0} = \frac{N \cdot F_{ог}}{N_0}, \quad (2.1)$$

де N - кількість підрахованих лічильником періодів за інтервал часу T_0 ; N_0 - кількість імпульсів опорного генератора, що відповідає інтервалу T_0 ; $F_{ог}$ - частота опорного генератора.

Абсолютна похибка вимірювання даного способу залежить в основному тільки від часу вимірювання і визначається за формулою

$$\delta \approx \pm \frac{1}{T_0}. \quad (2.2)$$

Опорний генератор контролера LPC2103 будується на основі зовнішнього кварцу, максимальна частота якого складає 25 МГц. Враховуючи це можна розрахувати максимальну граничну вимірювальну частоту

$$f_{в.гр.} = \frac{F_{ог}}{2..3}. \quad (2.3)$$

Отже, максимальна частота, яку можна буде вимірювати таким частотоміром складатиме

$$f_{в.зр.} = \frac{25 \text{ МГц}}{2..3} = 16 \text{ (МГц)}$$

Нижня гранична частота залежить лише від часу вимірювання, а для даною роботи він не регламентований, то для зручності задамося значенням $T_0 = 1 \text{ с}$. А отже основна похибка, що виникає за рахунок не синхронного початку підрахунку складе по (2.2)

$$\delta \gg \pm \frac{1}{100 \text{ мс}} = \pm 10 \text{ (Гц)}.$$

Для обраного інтервалу вимірювання нижня гранична частота складатиме

$$f_{н.зр.} = 100 \div 200 \frac{1}{T_0}, \quad (2.4)$$

$$f_{н.зр.} = 200 \frac{1}{100 \text{ мс}} = 2000 \text{ (Гц)}.$$

2.6 Висновки до розділу

Даний розділ присвячений методам вимірювання частоти в цифрових системах. Розглянуті основні підходи до вимірювання, їх технічні характеристики та переваги цифрових частотомірів в порівнянні з аналоговими. У заключній частині магістерській кваліфікаційній роботі увага буде зосереджена на практичних аспектах розроблення електричної схеми та комп'ютерного моделювання цифрового частотоміра. Буде проведено аналіз результатів моделювання, що дозволить виявити сильні та слабкі сторони різних алгоритмів вимірювання, а також оптимізувати роботу в реальних умовах.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ І РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЧАСТОТОМІРА

3.1 Розроблення каскадів електричної схеми багатоканального частотоміра на базі мікроконтролера

Обраний мікроконтролер LPC2103 в (п.2.2) може працювати на максимальній частоті опорного генератора 16 МГц при підключенні зовнішнього кварцового резонатора до виводів XTAL1 та XTAL2 (рис. 3.1), Але враховуючи внутрішню будову, тактова частота внутрішнього процесора може досягати до 60 МГц, за рахунок помножувачів. Для встановлення частоти шини в 30МГц і частоті ядра в 60МГц потрібно підключити кварцовий резонатор налаштований на частоту 12МГц, та встановити помножувач на коефіцієнт 5, а подільник – на 2.

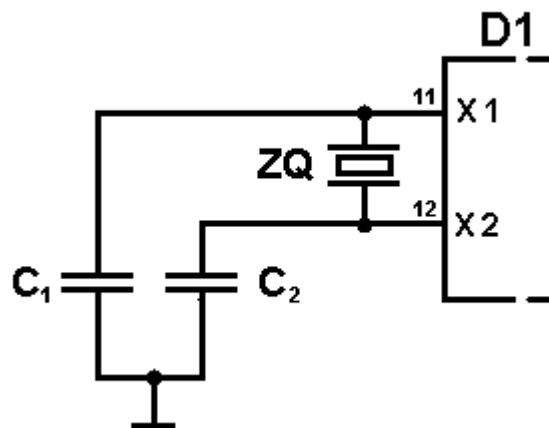


Рисунок 3.1 – Схема електричного підключення
зовнішнього кварцового резонатора

Ємності вибираються за рекомендацією вказаній в даташиті мікроконтролера номіналами по 22 пФ.

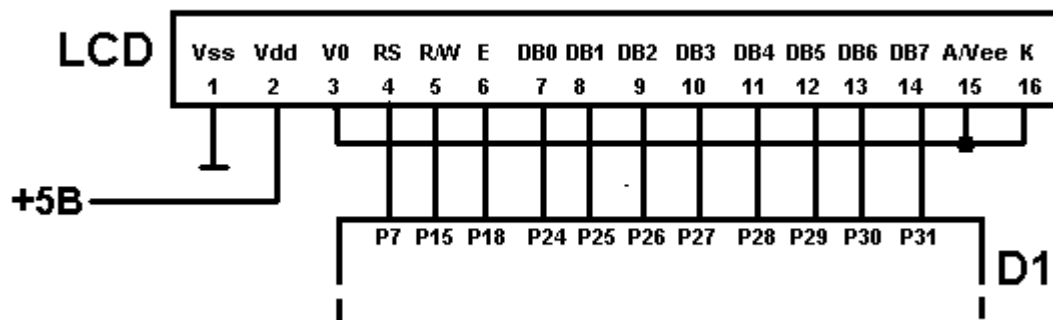


Рисунок 3.2 – Схема електричного підключення пристрою індикації

Даний пристрій повинен мати обов'язково систему індикації для цього застосовується символічний РКІ з наступними основними параметрами[9]:

- напруга живлення 5В;
- розміри курсора 5х8;
- кількість символів 20х4;
- струм споживання без підсвітки 2 мА; з підсвіткою 300 мА.

Електрична схема підключення зображена на рисунку 3.2

Для зв'язку з комп'ютером в даному мікроконтролері вбудована система RS-232, але для узгодження рівнів ПК та контролера застосовуються буферні системи. В даному пристрої застосовується мікросхема драйвер під COM-port ПК - MAX232IN з основними параметрами[9]:

- напруга живлення 5В;
- струм споживання 8мА;
- швидкість передачі даних до 120кбіт/с;
- діапазон температур робочого середовища -40⁰С - +85⁰С.

Схема підключення зображена на рисунку 3.3.

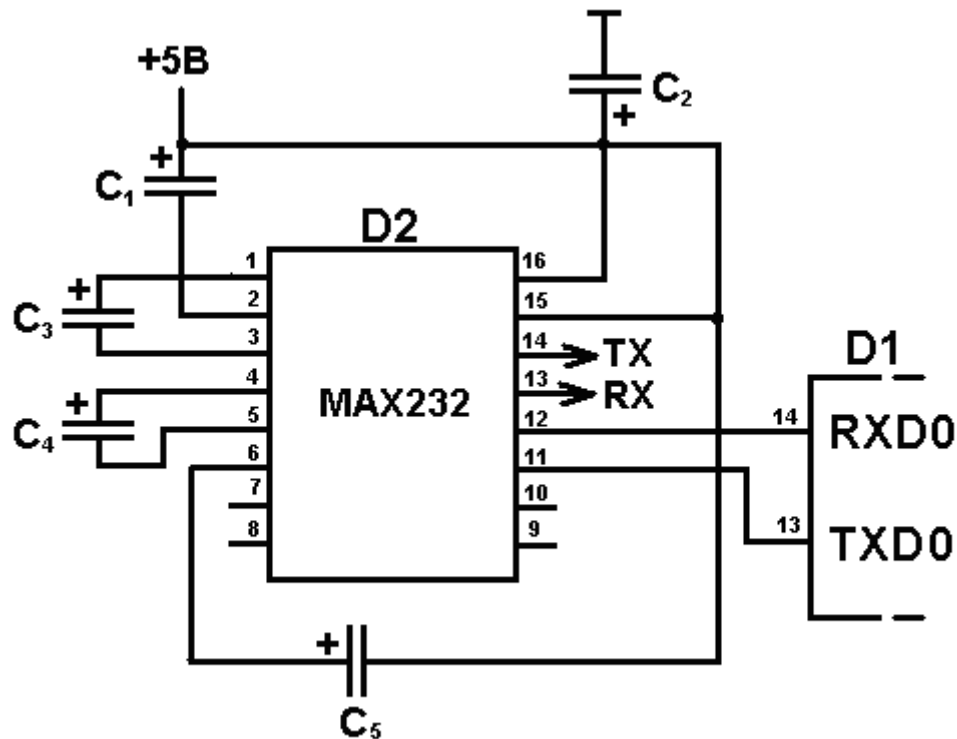


Рисунок 3.3 – Схема електричного підключення мікросхеми драйвера MAX 232

Живлення цілого пристрою може бути забезпечене блоком живлення зі стабільною напругою з відхиленням в 10%, тобто від 4,5 до 5,5 В. Але для забезпечення стійкості по живленню і захист від пульсацій та перепадів напруги, т.я. у випадку різкої зміни живлення весь пристрій вийде с ладу. Для забезпечення такої системи живлення та потрібного струмі споживання $I_{mega16} + I_{LCD} + I_{MAX\ 232} + I_{in} \approx 400\text{ мА}$ можна використати широкорозповсюджену мікросхему стабілізації напруги KP142EH5A з параметрами[10]:

- вхідна напруга 7-20В;
- вихідна напруга 4,75-5,25В;
- максимальний вихідний струм 1А;
- захист вихідного транзистора;
- внутрішній захист від короткого.Схема підключення зображена на рисунку 3.4

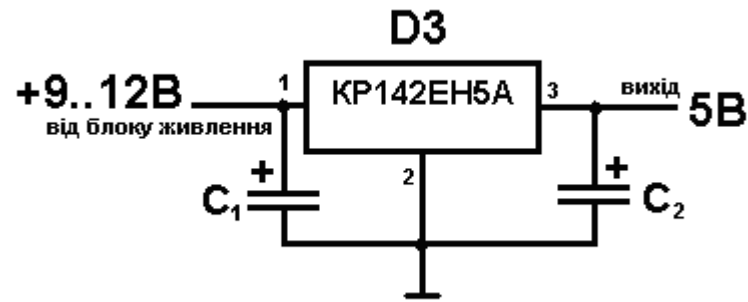


Рисунок 3.4 – Схема електричного підключення стабілізатора напруги KP142EH5A

Живлення головного мікроконтролера D1 (LPC2103) забезпечується по схемі показаній на рисунку 3.5.

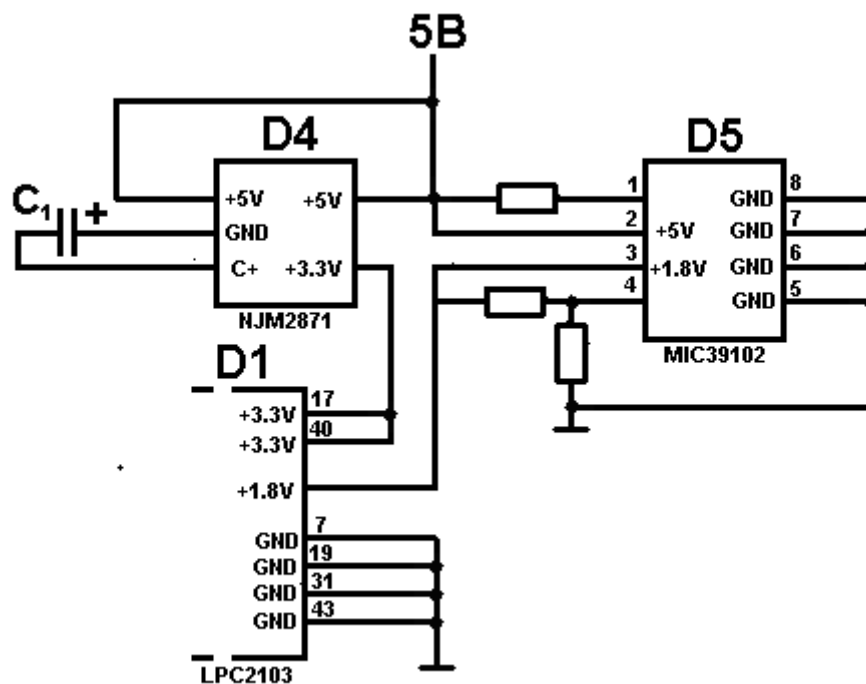
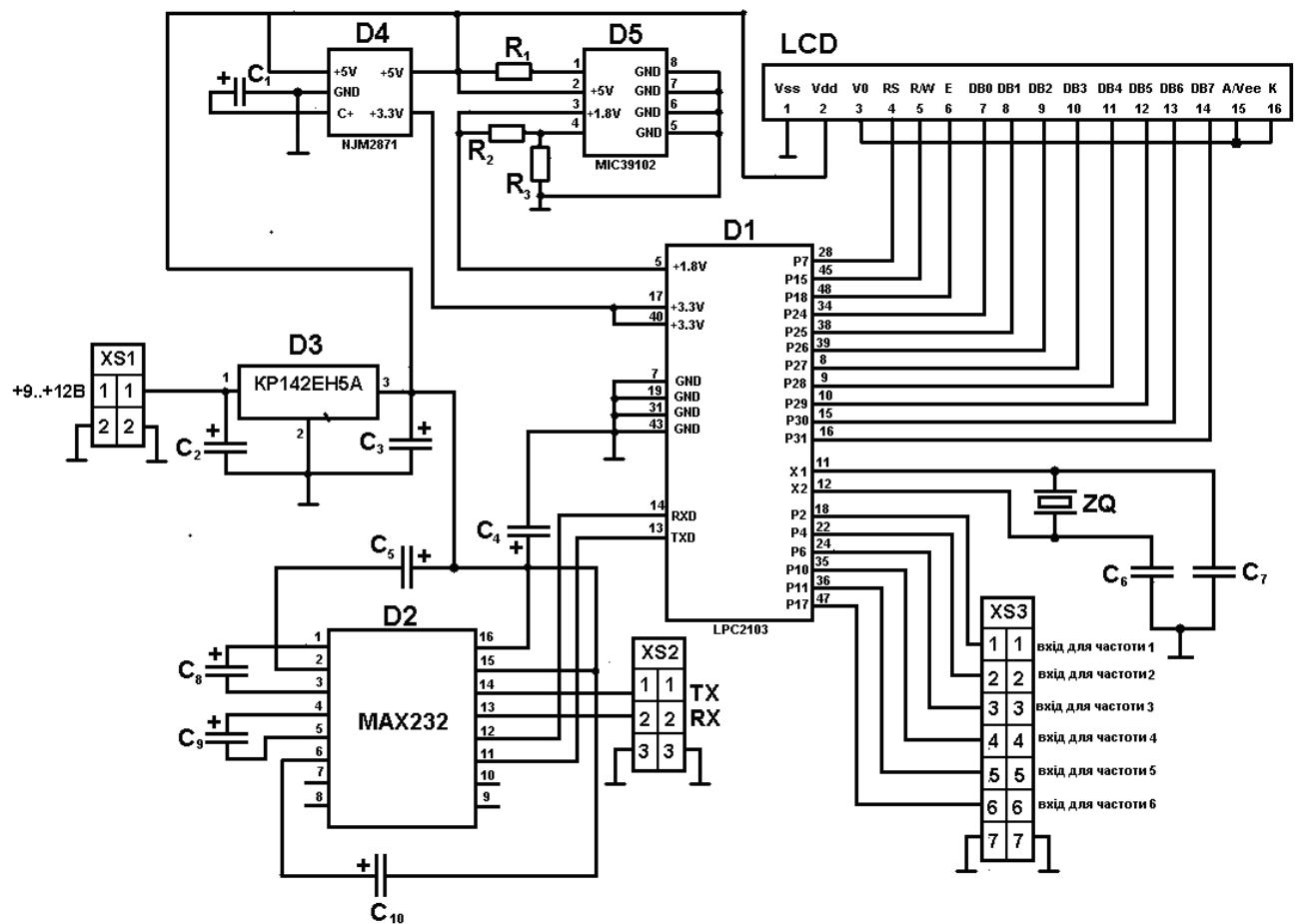


Рисунок 3.5 – Схема електричного підключення живлення головного мікроконтролера

При узагальненні всього вище зазначеного можна отримати загальну схему електричного підключення всього пристрою. Дана схема зображена на рисунку 3.6, а повний перелік елементів вказаний в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Повний перелік елементів

Ємності електроліти		Мікросхеми	
C_1, C_2, C_3	10мкФ	D1	LPC2103
C_4	1мкФ	D2	MAX232I
$C_5, C_7, C_8, C_9, C_{10}$	0,1мкФ	D3	KP142EH5A
Ємності моноліти		D4	NJM2871
C_6, C_7	22пф	D5	MIC39102
Пристрій індикації		Резистори	
LCD	WH2004A	R_1	10кОм
Резонатори кварцеві		R_2	9,1кОм
ZQ	12,0102МГц	R_3	20кОм

Рисунок 3.6 – Повна схема електричного підключення
всіх компонентів пристрою

3.2 Розрахунок загальної споживаної потужності

По технічним документам контролер, що обраний для розробляє мого пристрою при параметрах роботи які були обрані раніше (частота зовнішнього кварцового резонатора 12,0102 МГц, помножувач шини ядра -5, подільник на загальну шину – 2) складатиме не більше $I_{контр} = 71$ мА. Споживання пристрою індикації без підсвітки складатиме $I_{LCD-} = 2$ мА, сама ж підсвітка споживає $I_{LCD+} = 560$ мА. Мікросхема драйвер інтерфейсу RS-232 при максимальному навантаженні (постійна робота) $I_{MAX232} = 10$ мА. Драйвери живлення (стабілізатори) загалом споживають не більше $I_{VCC} = 50$ мА. Отже загальний струм, що споживається простом складе

$$I_{+} = 71 \text{ мА} + 2 \text{ мА} + 560 \text{ мА} + 10 \text{ мА} + 50 \text{ мА} = 693 \text{ мА}.$$

Якщо ж врахувати можливість відключення підсвітки, то

$$I_{-} = 71 \text{ мА} + 2 \text{ мА} + 10 \text{ мА} + 50 \text{ мА} = 133 \text{ мА}.$$

Визначивши значення струму що споживається, визначаємо споживану потужність, враховуючи те, що напруга живлення складає максимум 5В (основну частину споживає підсвітка пристрою індикації), то

$$P_{+} = 5\text{В}(71 \text{ мА} + 2 \text{ мА} + 560 \text{ мА} + 10 \text{ мА} + 50 \text{ мА}) = 3,5 \text{ Вт}.$$

А у варіанті відключеної підсвітки потужність, що споживається складе

$$P_{-} = 5\text{В}(71 \text{ мА} + 2 \text{ мА} + 10 \text{ мА} + 50 \text{ мА}) = 665 \text{ мВт}.$$

З вище зазначених розрахунків видно, що споживання енергії від джерела живлення сильно залежить від факту використання або не використання

підсвітці пристрою індикації. Тому для можливого зменшення цього показника, так як підсвітка має бути обов'язково, введемо додатковий елемент у схему – кнопку, зажаття положення якої буде відповідатиме ввімкненій підсвітці, а віджаття – навпаки.

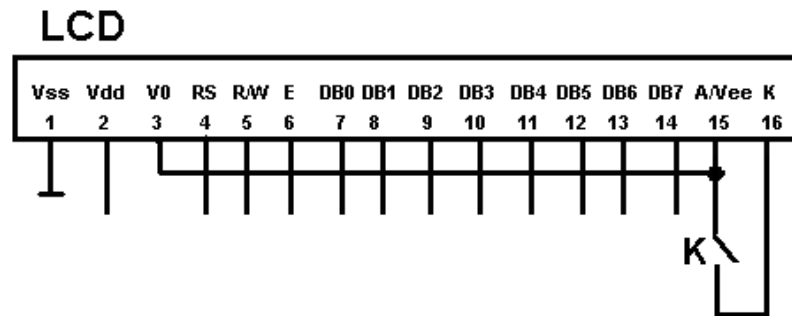


Рисунок 3.7 – Встановлення кнопки для керування підсвіткою пристрою індикації

Схема електрична принципова пристрою наведена на рис. 3.8.

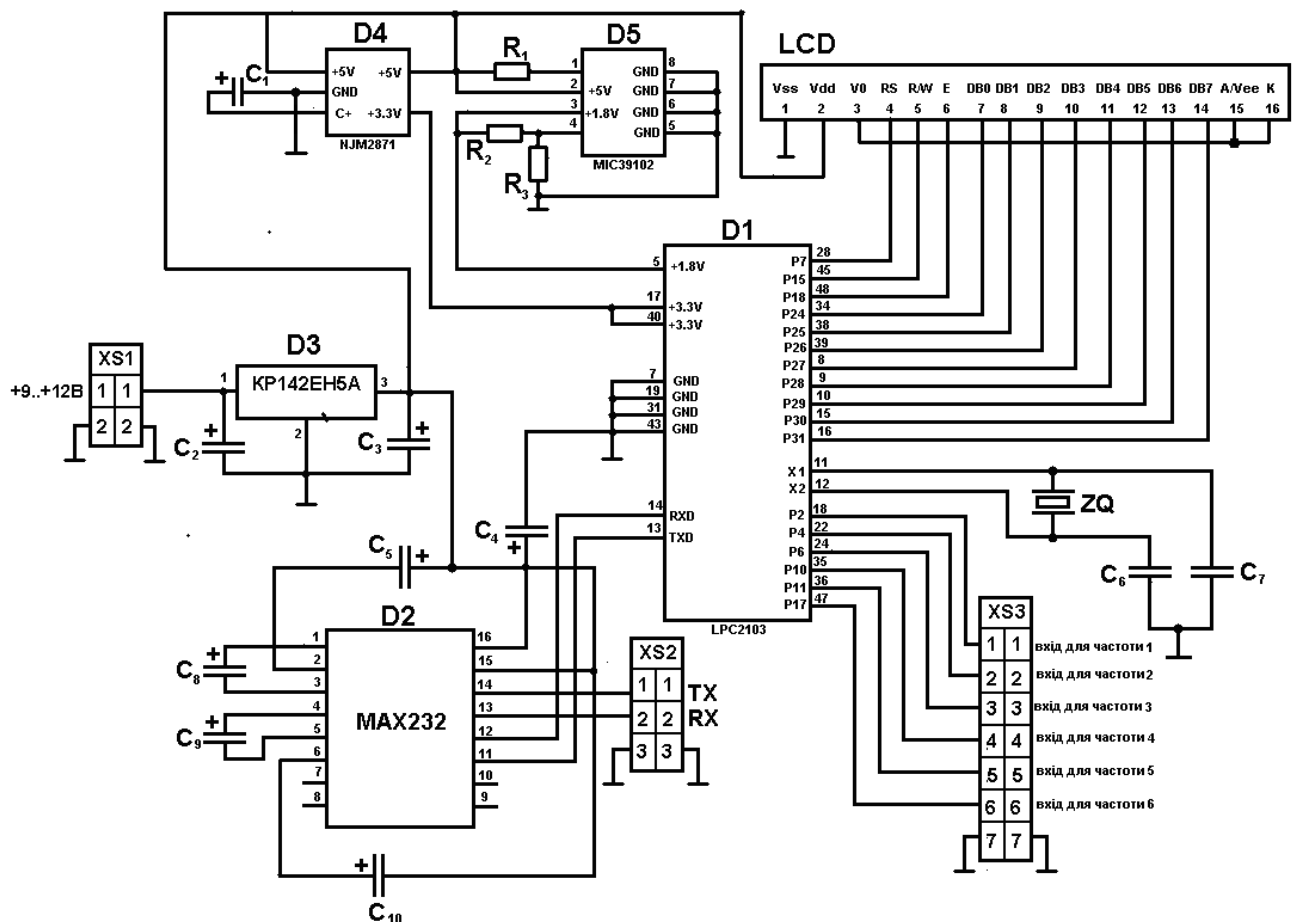


Рисунок 3.8 – Схема електрична принципова пристрою

3.3 Розрахунок топології друкованої плати

Вихідні дані:

- максимальні значення діаметрів виводів навісних елементів, що встановлюються на друкарську плату, мм

$$d_{e1} = 0,8;$$

$$d_{e2} = 1,1.$$

- клас точності друкарської плати – 3;
- тип друкарської плати – одностороння з металізованими монтажними отворами;
- креслення «Плата друкарська» з розмірами сторін 120х60мм;

Таблиця 3.2 - Розміри елементів доріжок для різних класів щільності

Параметри елементів друкарського монтажу	Розміри елементів доріжок для класів щільності		
	1	2	3
Ширина провідників, t	0.75	0.45	0.25
Відстань між провідниками, l	0.75	0.45	0.25
Контактний пояс, b	0.3	0.2	0.3

Визначаємо номінальне значення діаметрів монтажних отворів

$$d = d_e + r + \Delta d_{\text{нв}},$$

де d_e – максимальне значення діаметру виведення навісного елементу, мм; r – різниця між мінімальним значенням діаметру отвору і максимальним значенням діаметру виведення встановлюваного елементу, $r=(0,1\dots0,4)$ мм; $\Delta d_{\text{нв}}$ – нижнє граничне відхилення діаметру отвору, $\Delta d_{\text{нв}}=0,1$ мм.

$$d_1=0,8+0,3+0,1=1,2 \text{ мм};$$

$$d_2=1,1+0,3+0,1=1,5 \text{ мм}.$$

Вибираємо діаметри з ряду широкорозповсюджених розмірів монтажних отворів

$$d_1 = 1,1\text{мм};$$

$$d_2 = 1,5\text{мм}.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 5.3.

Кількість однотипних діаметрів отворів підраховуємо по кресленню «Плата друкована».

Таблиця 3.3 - Параметри отворів

Умовне позначення отворів	Діаметр отвору, мм	Ном. діаметр, мм	Наявність металізації отворів	Кількість отворів	Мін. діаметр контакт. пл., мм
	1,2	2,25	Немає	62	1,8
	1,5	2,35	Немає	3	2,1

Визначаємо номінальне значення ширини провідника

$$t=2 t_{\text{мд}} + \Delta t_{\text{нв}} \quad (3.1)$$

де $t_{\text{мд}}$ – мінімально допустима ширина провідника, $t_{\text{мд}} = 0,25\text{мм}$; $\Delta t_{\text{нв}}$ – нижнє граничне відхилення ширини провідника $\Delta t_{\text{нв}} = \pm 0,05\text{мм}$,

$$t = 2 \cdot 0,25 + 0,05 = 0,55\text{мм}.$$

Ширина провідника склала: $t = 0,55\text{мм}$,

Визначаємо номінальне значення відстані між сусідніми елементами на
рисунок провідників

$$S = 2S_{\text{мд}} + \Delta t_{\text{вв}}, \quad (3.2)$$

де $S_{\text{мд}}$ – мінімальна допустима відстань між сусідніми елементами рисунка провідників, $S_{\text{мд}} = 0,25\text{мм}$; $\Delta t_{\text{вв}}$ – верхнє граничне відхилення ширини провідника

$$S = 2 \cdot 0,25 + 0,05 = 0,55.$$

Визначаємо номінальний діаметр контактного майданчика

$$D = (d + \Delta d_{\text{во}}) + 2b + \Delta t_{\text{во}} + 2\Delta d_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_p^2 + \Delta t_{\text{нв}}}, \quad (3.3)$$

де $\Delta d_{\text{во}}$ – верхнє граничне відхилення діаметру отвору; b – гарантійний поясок, $b = 0,1\text{ мм}$; $\Delta d_{\text{тр}}$ – величина підтравлення діелектрика (0 для ДДП); T_d – діаметральна величина позиційного допуску розташування центрів отворів відносно номінального положення вузла координатної сітки; T_p – величина діаметрального значення позиційного допуску розташування контактних площадок відносно номінального положення, $T_p = 0,15\text{ мм}$

$$D_1 = (1,2 + 0,1) + 2 \cdot 0,1 + 0,05 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,08^2 + 0,05^2} = 1,73\text{мм};$$

$$D_2 = (1,5 + 0,1) + 2 \cdot 0,1 + 0,05 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,08^2 + 0,05^2} = 2,05 \text{ мм.}$$

Враховуючи данні з таблиці 3.2

$$D_{1\text{табл}} = 2,25 \text{ мм;}$$

$$D_{2\text{табл}} = 2,35 \text{ мм.}$$

Можна зробити висновок, що розрахунок доріжок і контактних площадок проведений правильно, так як виконуються нижчезазначені нерівності

$$D_{1\text{розрах}} < D_{1\text{табл}} ;$$

$$D_{2\text{розрах}} < D_{2\text{табл}} .$$

Топологія друкованої плати наведена на рис. 3.9.

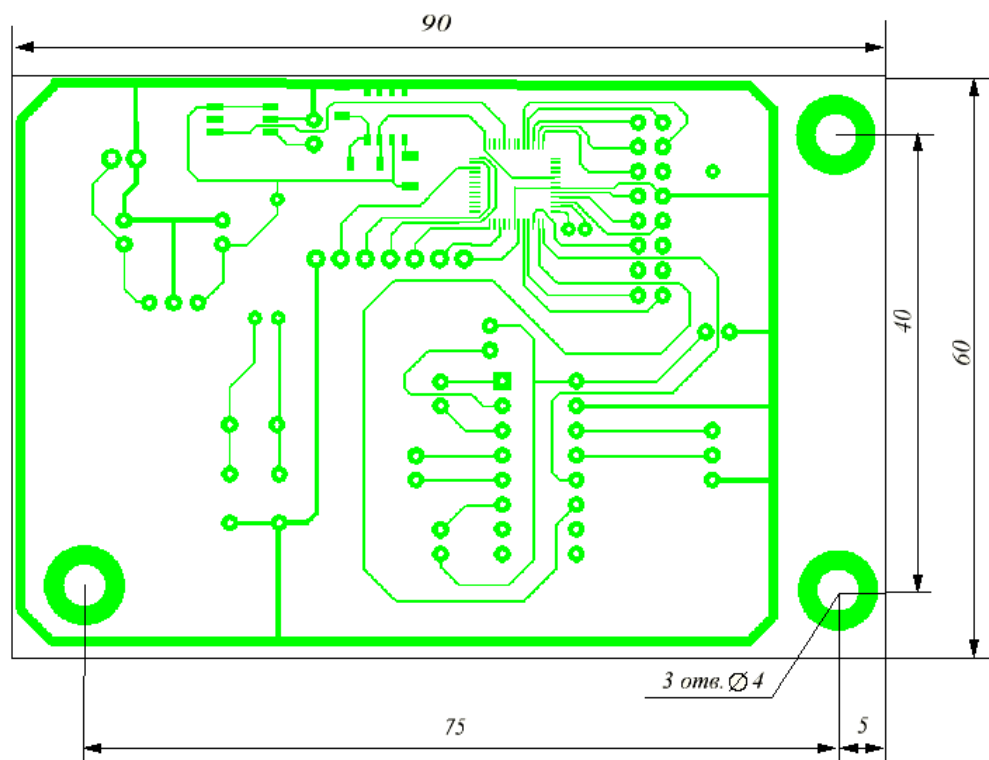


Рисунок 3.9 – Топологія друкованої плати

3.4 Розрахунок надійності багатовходового частотоміра

Встановлення елементів на друкованій платі наведено на рис. 3.10.

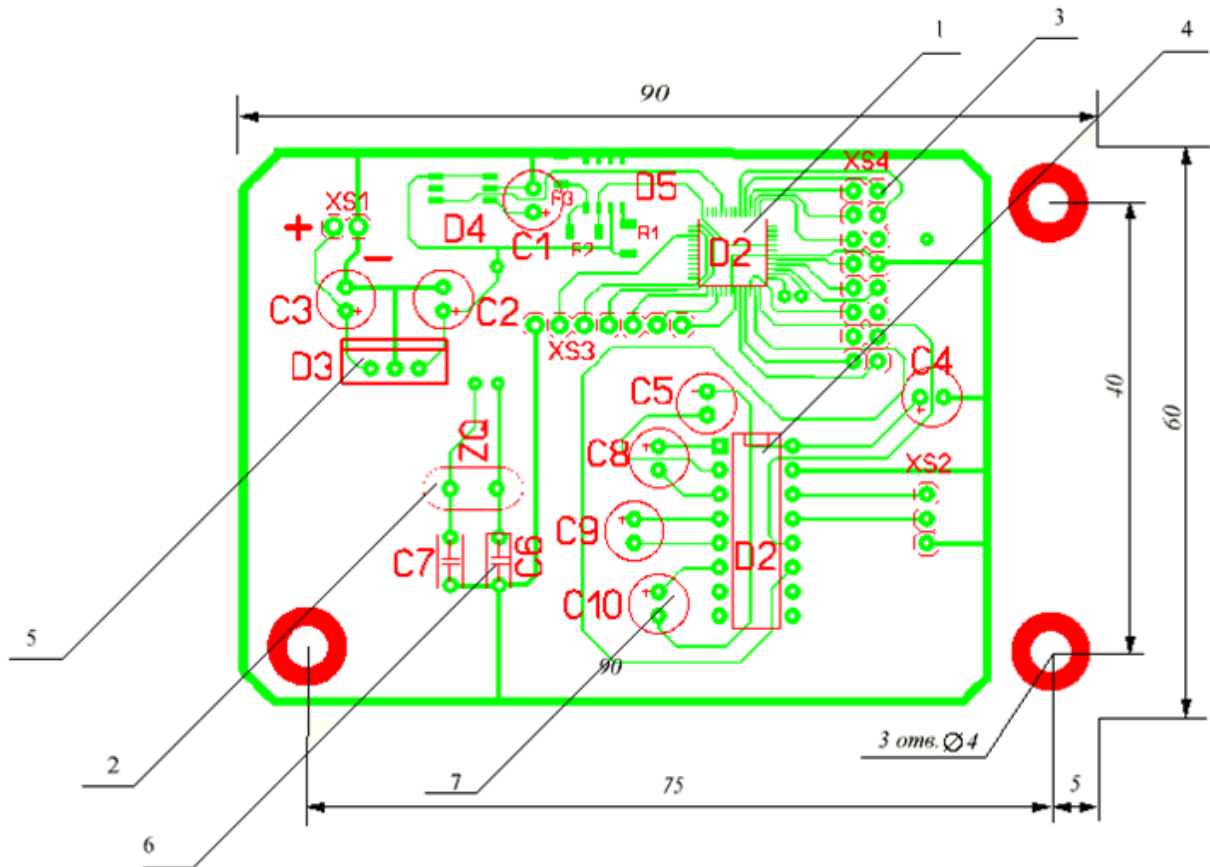


Рисунок 3.10 – Встановлення елементів на друкованій платі

Надійність - властивість об'єкту, яка полягає в його здатності виконувати визначені задачі в умовах експлуатації. В залежності від призначення об'єкту та умов його експлуатації. Поняття надійність може включати в себе: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність або сполучення цих властивостей об'єкту

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot \alpha_i \cdot K_i, \quad (3.4)$$

де λ_0 – базова інтенсивність відмов;

α_i – коефіцієнт, що враховує температурні характеристики і коефіцієнти навантаження;

K_i – коефіцієнт, що враховує умови експлуатації

$$K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (3.5)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує дію механічного навантаження, $K_1 = 1,46$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує дію вологості, $K_2 = 1$;

K_3 – коефіцієнт, що враховує атмосферний тиск, $K_3 = 1$.

Отже, $K_i = 1,46$.

Показники λ_0 і α_i для кожного елементу обираємо з таблиць і зведемо їх в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Перелік елементів та інтенсивність їх відмови

Назва елементу	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$	α_i
Конденсатор	10	0,1	1,15
Резистор	3	0,1	1,15
Мікросхеми	5	0,6	1,27
Екран	1	2	1,6
Кварц	1	0,01	0,04
Плата	1	0,5	1

Сумарне значення інтенсивності відмов буде дорівнювати

$$\lambda_{\Sigma} = (\lambda_{0ZQ} \cdot \alpha_{ZQ} + 1\lambda_{0ПЛ} \cdot \alpha_{ПЛ} + 5\lambda_{0МК} \cdot \alpha_{МК} + 3\lambda_{0R} \cdot \alpha_R + 10 \cdot \lambda_{0КОНД} \cdot \alpha_{КОНД} + 1\lambda_{0LCD} \cdot \alpha_{LCD}) \cdot K_i = 7,0 \cdot 10^{-8} (\text{год}^{-1}).$$

Напрацювання на відмову можна знайти наступним чином

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma i}} = \frac{1}{7 \cdot 10^{-8}} = 595\,238 \text{ днів}.$$

3.5 Висновки до розділу

В даному розділі розроблена повна схема електричного підключення всіх потрібних компонентів, що повністю задовольняють, розроблений в розділі 2, структурній схемі. Обране програмне забезпечення, що дозволило розробити програму прошивки для обраного мікроконтролера по розробленим алгоритмам. Проведено конструкторський розрахунок топології та надійності пристрою. Напрацювання на відмову повністю задовольняє технічним вимогам так як більш ніж в 100 раз перевищує гарантійний термін роботи, який складає 3 роки. Проведений розрахунок елементів друкованої плати показав, що і діаметри отворів які потрібні для кріплення і безпосередньо доріжки на самій платі повністю задовольняють технічним вимогам, а обраний тип фольгованого текстоліту є одним з найрозповсюджених, легко обробляється і забезпечує потрібну роботоздатність.

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЧАСТОТОМІРА НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

4.1 Комп'ютерне моделювання підпрограм обробки сигналів

Комп'ютерне моделювання є невід'ємною частиною розробки та вдосконалення цифрових багатоканальних частотомірів. Це дозволяє не тільки вивчати основні принципи роботи пристроїв, але й оптимізувати їх характеристики, перевіряти алгоритми обробки сигналів та проводити віртуальні експерименти. У цій секції ми розглянемо кілька прикладів комп'ютерного моделювання, які демонструють його роль у дослідженні та розвитку частотомірів.

Одним із перших кроків у розробці цифрового частотоміра є моделювання вхідних сигналів, які пристрій буде вимірювати. Це може бути синусоїдальний, прямокутний або трикутний сигнал, залежно від конкретного застосування. Використовуючи програмне забезпечення, таке як MATLAB, Simulink або Python з бібліотеками, такими як NumPy і Matplotlib, можна створювати та візуалізувати ці сигнали.

Фрагмент програмного коду для створення тестового синусоїдального сигналу з частотою 1 кГц і амплітудою 1В:

```
Fs = 10000;      % Частота дискретизації
t = 0:1/Fs:0.01; % Часовий вектор
f = 1000;        % Частота сигналу
signal = sin(2 * pi * f * t); % Генерація синусоїдального сигналу
plot(t, signal);
xlabel ('Час (с)');
ylabel ('Амплітуда');
title ('Синусоїдальний сигнал 1 кГц');
```

Цей код генерує тестовий синусоїдальний сигнал з частотою 1 кГц і амплітудою 1В, часова діаграма якого показана на рис. 4.1.

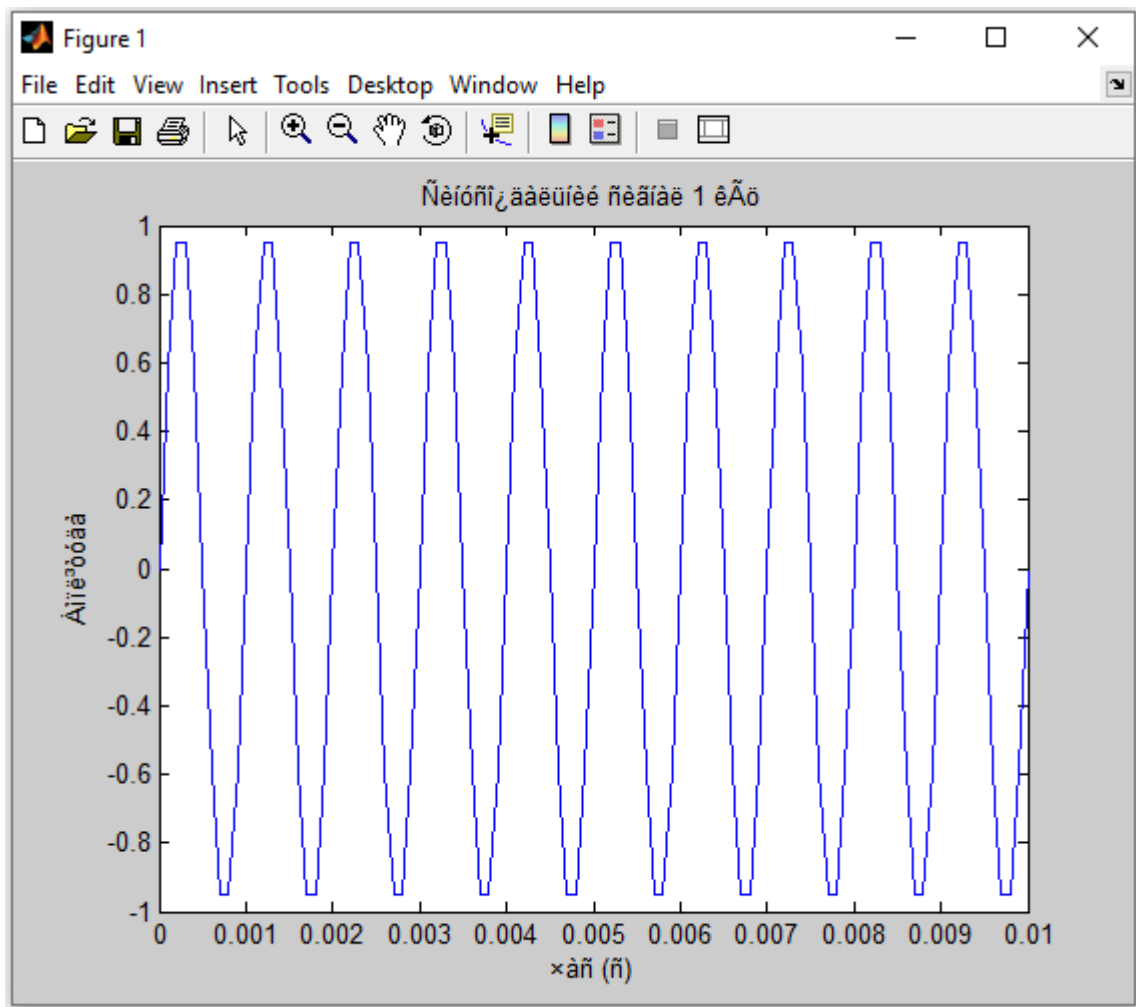


Рисунок 4.1 – Часова діаграма тестового синусоїдального сигналу з частотою 1 кГц і амплітудою 1 В

Після створення вхідних сигналів важливо моделювати процес їх обробки. Це може включати алгоритми фільтрації, які зменшують шум, що впливає на точність вимірювань. Наприклад, низькочастотний фільтр може бути використаний для усунення високочастотного шуму.

Фрагмент програмного коду для віднімання шуму з сигналу (фільтрація):

```
% Додати шум до сигналу
noise = 0.5 * randn(size(signal)); % Генерація випадкового шуму
noisy_signal = signal + noise;      % Додавання шуму до сигналу
% Фільтрація сигналу
fc = 2000; % Частота зрізу
[b, a] = butter(6, fc/(Fs/2));     % Низькочастотний фільтр
```

```

filtered_signal = filtfilt(b, a, noisy_signal); % Застосування фільтру
% Візуалізація результатів
plot(t, noisy_signal, t, filtered_signal);
xlabel('Час (с)');
ylabel('Амплітуда');
title('Фільтрація шуму з сигналу');
legend('Шумовий сигнал', 'Фільтрований сигнал');

```

Часова діаграма сигналу з адитивним шумом наведена на рис. 4.2.

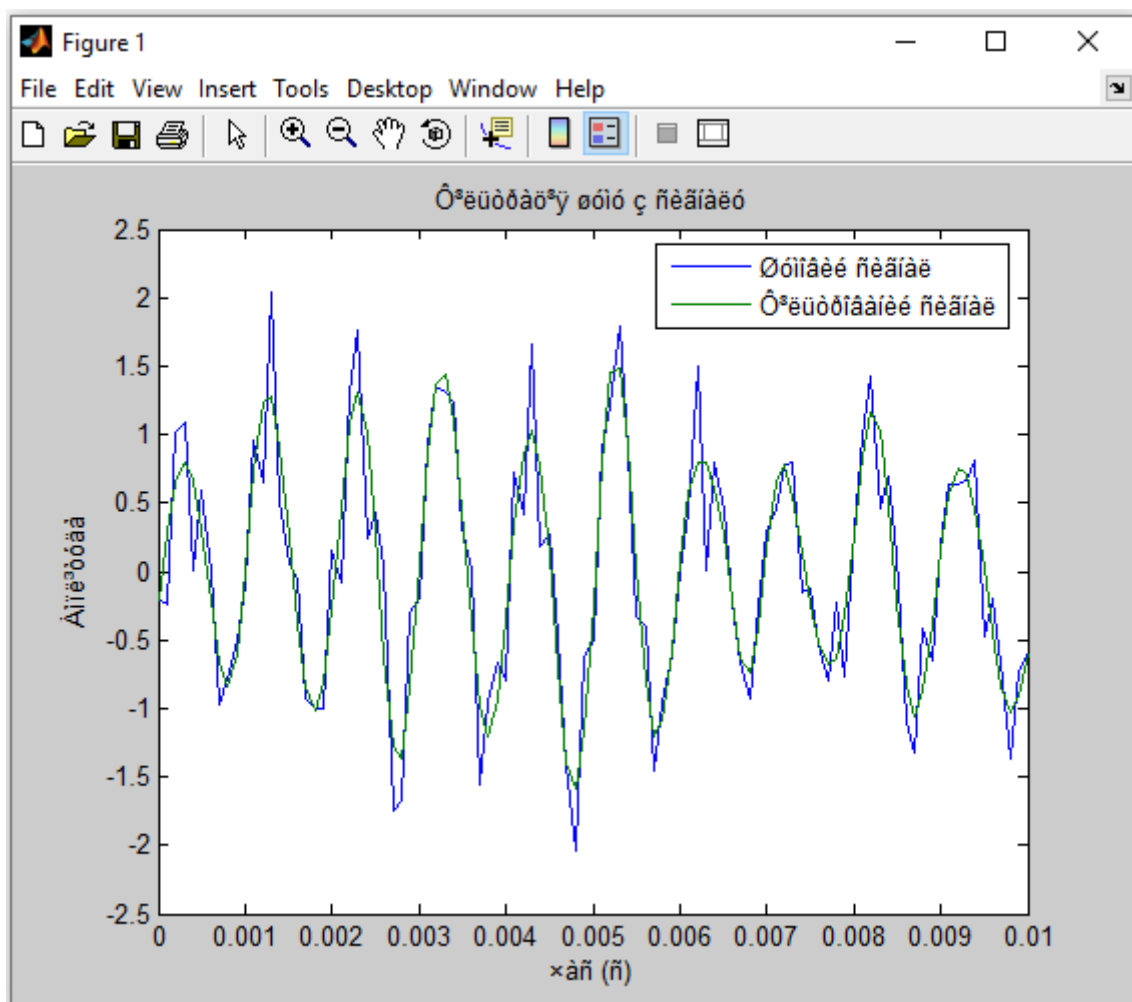


Рисунок 4.2 – Часова діаграма сигналу з адитивним шумом

Приклад на рис. 4.2 демонструє, як можна обробляти сигнали, щоб підвищити точність вимірювань, усуваючи вплив адитивного шуму.

Комп'ютерне моделювання є потужним інструментом для дослідження та вдосконалення цифрових багатоканальних частотомірів. Воно дозволяє вивчати різні аспекти роботи систем, перевіряти алгоритми обробки сигналів, аналізувати вплив шуму на вимірювання та проводити експерименти в умовах, наближених до реальних. Завдяки можливостям комп'ютерного моделювання, інженери можуть швидше розробляти більш ефективні та точні частотоміри, що сприяє прогресу у вимірювальній техніці.

Моделювання в реальному часі є важливим етапом, оскільки дозволяє відслідковувати зміни частоти в динамічних системах. Для цього можна використовувати графічні інтерфейси користувача (GUI), що надають можливість візуалізувати результати вимірювань і здійснювати моніторинг в реальному часі.

Цифрові частотоміри часто використовують складні алгоритми для обробки даних, такі як адаптивна фільтрація та спектральний аналіз. Наприклад, швидке перетворення Фур'є (FFT) є потужним методом для аналізу частотного спектру сигналу.

Фрагмент програмного коду використання FFT для аналізу частотного спектру:

```
L = length(signal); % Довжина сигналу
Y = fft(signal); % Обчислення FFT
P2 = abs(Y/L); % Двостороння спектральна щільність
P1 = P2(1:L/2+1); % Одностороння спектральна щільність
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
f = Fs*(0:(L/2))/L; % Частотний вектор
plot(f, P1);
xlabel('Частота (Гц)');
ylabel('|P1(f)|');
title('Спектр сигналу');
```

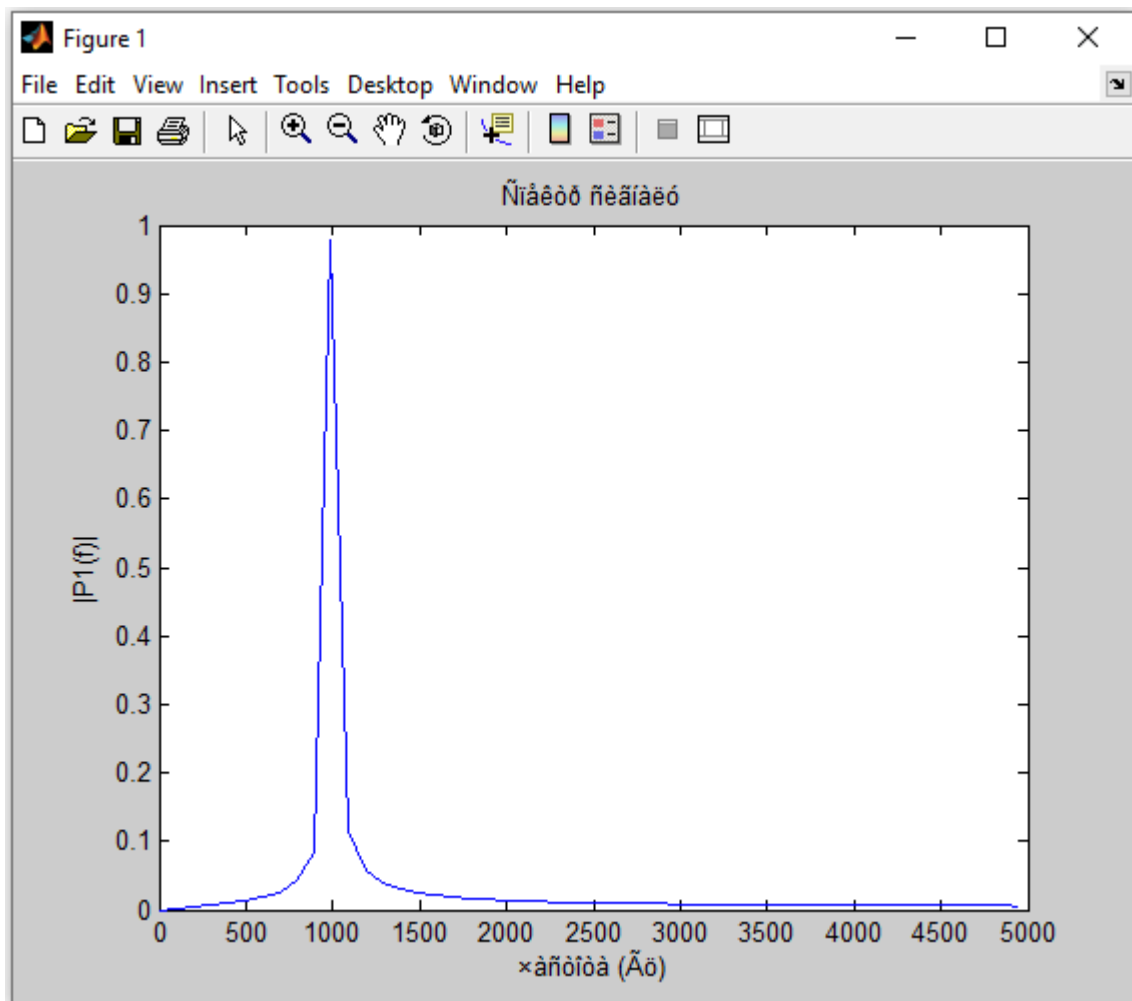


Рисунок 4.3 – Ампліудно-частотний спектр тестового синусоїдального сигналу з частотою 1 кГц і амплітудою 1 В

4.2 Розроблення програми прошивки для мікроконтролера

Для спрощення створення програмного коду можна використати компілятор Keil uvision 3.11, який дозволяє створювати програмний код для широкої номенклатури мікроконтролерів, зокрема для обраного – LPC2103, на мові програмуванні Cі.

Вибір програми компілятора зумовлений наявністю можливості створення коду саме для обраного мікроконтролера та його попередньої відкладки.

На рисунку 4.4 показано зовнішній вигляд програми компілятора.

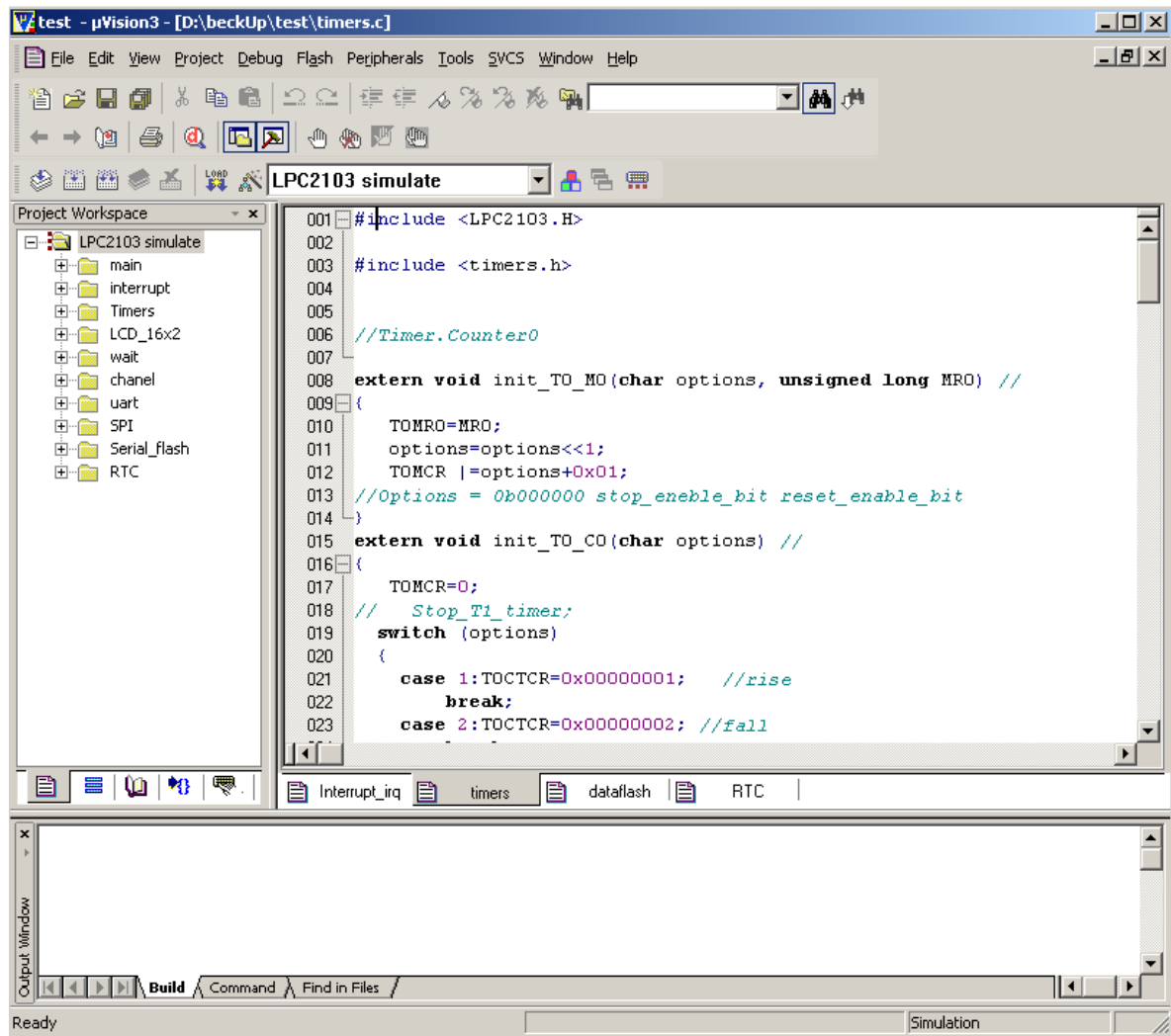


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд вікна розробки програми

Як було зазначено вище, даний програма компілятор також дозволяє проводити попередню відкладку програми, але не має функції приєднання зовнішніх пристроїв, зокрема генераторів електричних сигналів.

Процес вимірювання частоти може бути змодельований різними способами, залежно від обраного алгоритму. Один із найпоширеніших підходів - це підрахунок імпульсів.

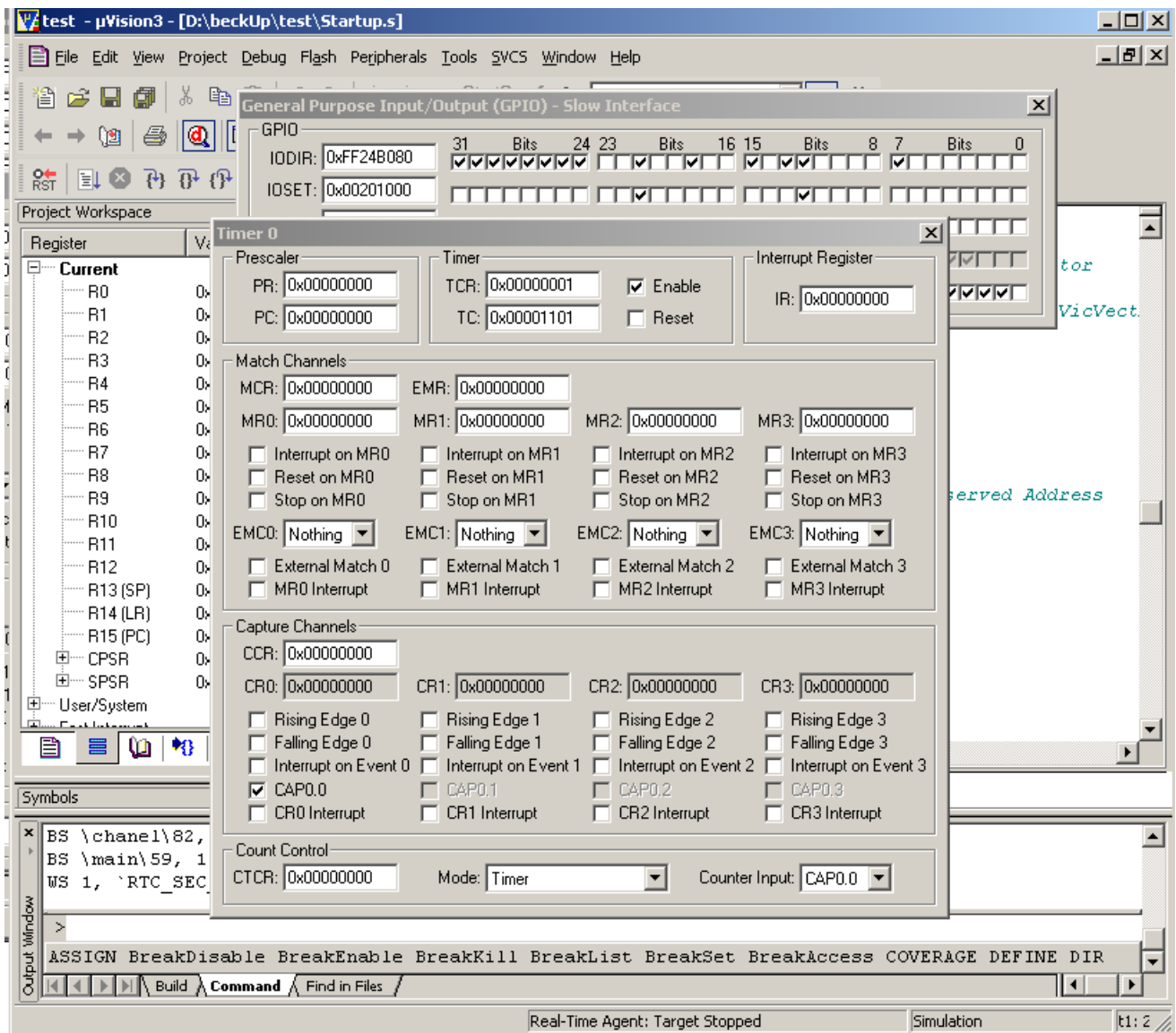


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд програми компілятора в режимі попередньої відкладки

4.3 Результати моделювання роботи багатоканального частотоміра на базі мікроконтролера

Так як програма компілятора не дозволяє проводити повне моделювання моделі багатоканального частотоміра, за рахунок не можливості під'єднання зовнішніх пристроїв, виберемо стимулятор, який включає в себе потрібні можливості – моделювання програми для мікроконтролера LPC2103 та можливість підключення до нього зовнішніх пристроїв. Повністю цим умовам зодовільняє симулятор Protrus версії 7.

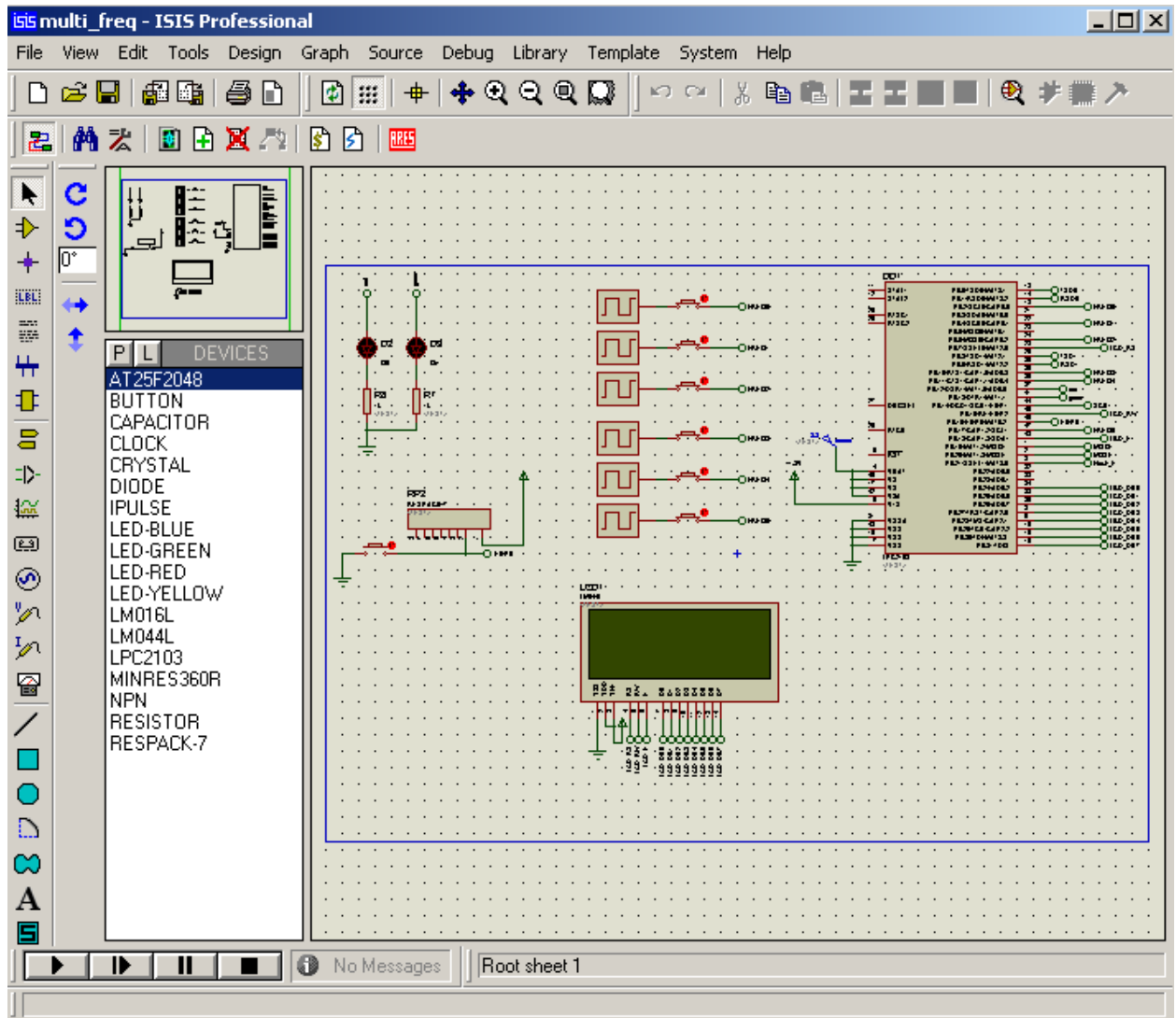


Рисунок 4.6 – Загальний вигляд програми стимулятора Proteus 7 з розробленою схемою для багатоканального частотоміра

Під час симуляції на входи мікроконтролера потрапляє сигнал з генераторів прямокутних імпульсів з різними частотами. Процес визначення значення вхідних частот починається після натискання кнопки, а результати виводяться на пристрій індикації, яким в даному випадку є символічний екран 4x20.

Після натискання кнопки запуску, спрацьовую переривання по зовнішній дії і вмикаються таймер інтервалу часу та активні лічильники імпульсів. Після завершення першого ж інтервалу часу на пристрої індикації з'являються результати.

Отримані результати в процесі моделювання повністю співпадають з теоретичним обґрунтуванням алгоритмів роботи та визначеної похибки.

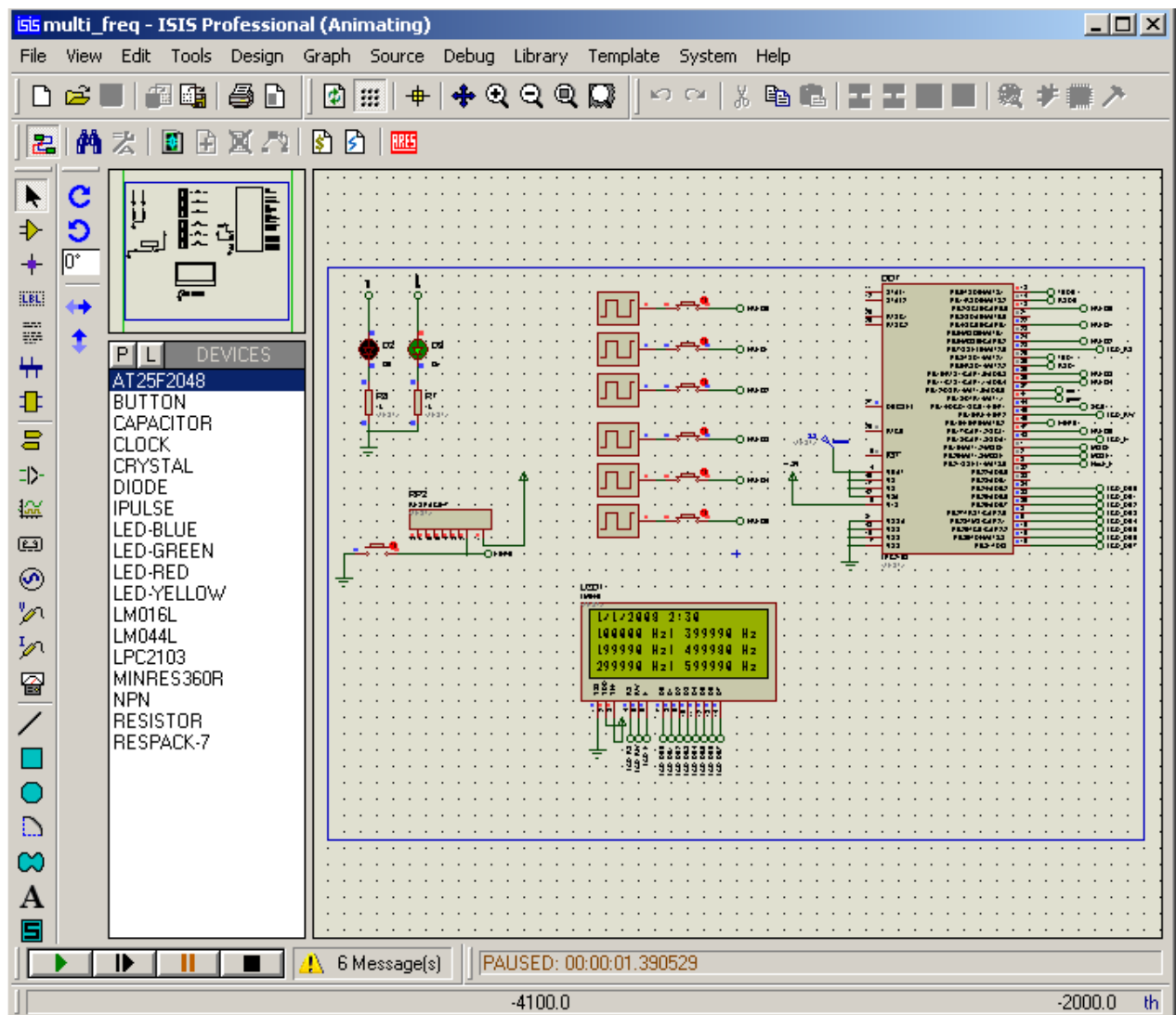


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд вікна програми стимулятора під час вимірювання

На вхід мікроконтролера впродовж довготривалого часу було подано частоти: на вхід 1 – 100кГц, на вхід 2 – 200кГц, на вхід 3 – 300кГц, на вхід 4 – 400кГц, на вхід 5 – 500 кГц, на вхід 6 – 600 кГц. Максимальна похибка що виникла в процесі модулювання не перевищила $\pm 10\text{Гц}$ (стандартна похибка методу прямого цифрового виміру), що повністю задовольняє розроблений структуру.

Також в процесі моделювання не на всі розроблені входи

4.4 Аналіз результатів моделювання

Аналіз результатів моделювання є критично важливим етапом у процесі розробки та вдосконалення цифрових багатоканальних частотомірів. Цей етап дозволяє оцінити ефективність застосованих алгоритмів обробки сигналів, перевірити точність вимірювань та виявити можливі недоліки в дизайні системи. У цій секції ми розглянемо основні аспекти аналізу результатів моделювання, включаючи оцінку точності, виявлення проблем, валідацію алгоритмів та оптимізацію параметрів системи.

Оцінка точності вимірювань

Одним із ключових аспектів аналізу є оцінка точності вимірювань, які проводяться цифровим частотоміром. Для цього можна використовувати кілька підходів:

Порівняння з еталонними значеннями: Порівняння отриманих результатів з відомими значеннями частоти допомагає визначити, наскільки точно працює частотомір. Наприклад, якщо частотомір вимірює частоту 1 кГц, а еталонне значення також становить 1 кГц, то це свідчить про високу точність.

Аналіз похибок: Важливо оцінити, які похибки виникають під час вимірювання. Це може включати систематичні та випадкові похибки. Визначення середньої абсолютної похибки або середньоквадратичної похибки (RMSE) може дати чітке уявлення про точність системи.

Виявлення проблем

Моделювання також дозволяє виявити потенційні проблеми, які можуть виникати під час роботи цифрового частотоміра. Це може включати:

Вплив шуму: Аналіз впливу шуму на результати вимірювань може показати, наскільки ефективні фільтри, що використовуються. Якщо результати вимірювань сильно коливаються через шум, це свідчить про необхідність удосконалення алгоритму фільтрації.

Аномалії в даних: Виявлення аномальних даних або сигналів може вказувати на проблеми в системі. Наприклад, раптові стрибки в частоті можуть бути результатом несправності обладнання або недостовірних вхідних сигналів.

Валідація алгоритмів

Валідація алгоритмів обробки сигналів є ще одним важливим аспектом. Після моделювання алгоритмів, таких як швидке перетворення Фур'є (FFT) або адаптивна фільтрація, необхідно перевірити їх ефективність. Це може включати:

Перехресну валідацію: Застосування алгоритмів на різних наборах даних допомагає визначити їх універсальність та надійність. Якщо алгоритм показує стабільні результати на різних сигналах, це свідчить про його ефективність.

Тестування на різних частотах: Перевірка роботи алгоритмів на різних частотах сигналів дозволяє зрозуміти їх поведінку в різних умовах. Наприклад, алгоритми можуть мати різну точність для низьких і високих частот, що важливо враховувати при їх розробці.

Оптимізація параметрів системи

На основі результатів аналізу можна провести оптимізацію параметрів системи.

Це може включати:

Налаштування фільтрів: Якщо аналіз показав, що фільтри не працюють ефективно, можливо, варто змінити частоти зрізу або порядок фільтра.

Адаптація алгоритмів обробки: Зміни в алгоритмах обробки сигналів можуть підвищити точність і швидкість вимірювань. Наприклад, вдосконалення методу підрахунку імпульсів може зменшити час, необхідний для отримання результатів.

Тестування під різними умовами: Моделювання в різних умовах (зміна амплітуди сигналу, частоти дискретизації) може допомогти знайти оптимальні параметри для системи, що дозволить підвищити її надійність.

4.5 Висновки до розділу

Комп'ютерне моделювання є важливим інструментом для вдосконалення цифрових частотомірів, оскільки дозволяє оптимізувати алгоритми обробки сигналів, виявляти недоліки та підвищувати точність вимірювань. Аналіз результатів моделювання, включаючи оцінку точності і виявлення можливих проблем, є критично важливим для забезпечення надійності та ефективності систем. Результати розділу показали, що алгоритми та програма повністю реалізують поставлені в технічному завданні задач – реалізація на одному мікроконтролері шість вхідних каналів, а також одночасне вимірювання по трьом каналам.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [34].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					

8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	5	4	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	3
Сума балів	36	38	39
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	37,7		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [34].

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» становить 37,7 бала, що, відповідно до таблиці 5.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів $СБ_c$, розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [35]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом

і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.2)$$

де I_{ni} та I_{ai} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (5.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Напруга живлення	В	5	5	1	0,25
Кількість входних каналів	шт.	2	6	3	0,2
Кількість каналів одночасної обробки	шт.	2	3	1,5	0,15
Максимальна вимірювана частота	МГц	10	10	1	0,25
Термін безвідмовної роботи	год.	9100	10000	1,12	0,15

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,15 + 0,95 \cdot 0,25 + 1,12 \cdot 0,15 = 1,73.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,73 рази.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_o$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [34]

$$З_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$З_o = 18500,00 \cdot 15 / 21 = 11590,95 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник дослідної роботи	18500,00	772,73	15	11590,95
Інженер-дослідник мікропроцесорної техніки	17600,00	750,00	18	13500,00
Технік	8500,00	681,82	10	6818,20
Всього				31909,15

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн/год.);

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [34];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_I = 8000,00 \cdot 1,70 \cdot 1,15 / (21 \cdot 8) = 93,10 \text{ (грн.)}.$$

$$З_{pI} = 93,10 \cdot 2,00 = 186,19 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
Контроль вхідних матеріалів	2,00	5	1,70	93,10	186,19
Підготовка робочого місця розробника для проведення розробки і дослідження	7,50	2	1,10	60,24	451,79
Монтаж макетної схеми	16,00	5	1,70	93,10	1489,52
Наладка	3,00	6	2,00	109,52	328,57
Випробування схеми	5,00	5	1,70	93,10	465,48
Виготовлення друкованої плати	2,00	6	2,00	109,52	219,05
Виготовлення корпусу	8,00	5	1,70	93,10	744,76
Монтаж плати	1,00	6	2,00	109,52	109,52
Монтаж блоку живлення	1,00	5	1,70	93,10	93,10
Всього					4087,98

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{доп}} = (31909,15 + 4087,98) \cdot 10 / 100\% = 3599,71 \text{ (грн.)}$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$З_n = (З_o + З_p + З_{доо}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.8)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$З_n = (31909,15 + 4087,98 + 3599,71) \cdot 22 / 100\% = 8711,30 \text{ (грн.)}.$$

5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot Ц_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot Ц_{ej}, \quad (5.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

$Ц_j$ – вартість матеріалу j -го найменування, (грн/кг.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$Ц_{ej}$ – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.).

$$M_1 = 2,0 \cdot 216,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 475,20 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір ЕКО standard Plus A4-500-80	216,00	2,0	0	0	475,20
Папір для записів ЕКО standard Light A5	90,00	4,0	0	0	396,00
Органайзер офісний ЕКО standard Office	105,00	3,0	0	0	346,50
Канцелярське приладдя ЕКО standard (набір офісного працівника)	200,00	3,0	0	0	660,00
Картридж для принтера HP laserJet	1560,00	1,0	0	0	1716,00
Диск оптичний ЕКО standard CD-RW	21,00	5,0	0	0	115,50
Flesh-пам'ять ЕКО standard 64 GB	269,00	1,0	0	0	295,90
Тека для паперів ЕКО standard BOX	46,00	4,0	0	0	202,40
Склотекстоліт СФ-2-35-1,5	210,00	0,100	0	0	23,10
Припой ПОС-61	560,00	0,010	0	0	6,16
Флюс	320,00	0,020	0	0	7,04
Ізольований провідник	16,00	0,100	0	0	1,76
Бензосуміш	52,00	0,100	0,000	0,00	5,72
Лак	348,00	0,050	0,000	0,00	19,14
Провід монтажний	14,00	0,100	0,000	0,00	1,54
Всього					4271,96

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.10)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 8 \cdot 12,00 \cdot 1,1 = 105,60 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Резистори MF	8	12,00	105,60
Конденсатори			
1/4пФ	1	21,00	23,10
X7R	9	8,00	79,20
K50-35	1	15,00	16,50
Діоди			
1N3359	4	12,00	52,80
1N710A	1	5,00	5,50
Мікросхеми			
SN74ALS93N	1	36,00	39,60
MDS047	1	42,00	46,20
ATtiny2313-20PU	1	380,00	418,00
7805	1	65,00	71,50
Світлодіодний індикатор			
GD-2936	2	85,00	187,00
Трансформатор			
TP1	1	220,00	242,00
Перемикачі			
П2К	1	45,00	49,50
П1Т-1-1	1	75,00	82,50
Всього			1419,00

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спеу}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.11)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.);
 $C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спеу}} = 9850,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 10835,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Осцилограф цифровий	1	9850,00	10835,00
Частотомір зразковий	1	14560,00	16016,00
Генератор сигналу цифровий	1	8520,00	9372,00
Всього			36223,00

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних)

необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inprz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де C_{inprz} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);

$C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 42,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 46,20 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
AVR Studio	1	42,00	46,20
Доступ до мережі Internet (високошвидкісний) грн/місяць	1	360,00	396,00
Code Vision AVR	1	42,00	46,20
Всього			488,40

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{C_{обл}}{T_{г}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де C_6 – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_6 – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (52499,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 1458,31 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, (грн.)	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, (грн.)
Електронно-обчислювальний комплекс розробника	52499,00	3	1	1458,31
Робоче місце розробника мікроелектронного пристрою	7900,00	5	1	131,67
Осцилограф цифровий	8600,00	5	1	143,33
Генератор сигналу цифровий	9300,00	7	1	110,71
Блок живлення лабораторний	6550,00	7	1	77,98
Радіомонтажне обладнання	6250,00	5	1	104,17
Прикладне програмне забезпечення розробки та моделювання Cadence IC Design Virtuoso 06.17.702.	7791,00	3	1	216,42
Офісне програмне забезпечення (Windows, Microsoft Office)	8340,00	3	1	231,67
Лабораторія досліджень	405000,00	30	1	1125,00
Оргтехніка	8500,00	4	1	177,08
Всього				3776,33

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,32 \cdot 120,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 421,63 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, (грн.)
Електронно-обчислювальний комплекс розробника	0,32	120,0	421,63
Робоче місце розробника мікроелектронного пристрою передачі даних метеозонда	0,15	120,0	197,64
Осцилограф цифровий	0,10	80,0	87,84
Генератор сигналу цифровий	0,10	40,0	43,92
Блок живлення лабораторний	0,25	90,0	247,05
Радіомонтажне обладнання	0,34	20,0	74,66
Оргтехніка	0,75	4,0	32,94
Частотомір зразковий	0,05	40,0	21,96
Всього			1127,65

5.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

5.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_{\text{с}} = (Z_{\text{о}} + Z_{\text{р}}) \cdot \frac{H_{\text{іс}}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де $H_{\text{іс}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо $H_{\text{іс}} = 55\%$.

$$I_{\text{с}} = (31909,15 + 4087,98) \cdot 55 / 100\% = 19798,42 \text{ (грн.)}.$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (31909,15 + 4087,98) \cdot 100 / 100\% = 35997,13 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{доо} + З_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.17)$$

$$B_{заг} = 31909,15 + 4087,98 + 3599,71 + 8711,30 + 4271,96 + 1419,00 + 36223,00 + 488,40 + 3776,33 + 1127,65 + 0,00 + 0,00 + 19798,42 + 35997,13 = 151410,02 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,95$.

$$ЗВ = 151410,02 / 0,95 = 159378,97 \text{ (грн.)}.$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	620	940	1600	1300

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 10800 осіб;

$Ц_6$ – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 8500,00 (грн.);

$\pm \Delta Ц_6$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo -337,50 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta\Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [34]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (5.19)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 38\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (-337,50 \cdot 10800,00 + 8162,50 \cdot 620) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 366152,59 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= (-337,50 \cdot 10800,00 + 8162,50 \cdot 1560) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 2350540,58 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= (-337,50 \cdot 10800,00 + 8162,50 \cdot 3160) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 5728222,26 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_4 &= (-337,50 \cdot 10800,00 + 8162,50 \cdot 4460) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 8472588,62 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.20)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн.);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau=0,15$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} ПП &= 366152,59/(1+0,15)^1 + 2350540,58/(1+0,15)^2 + 5728222,26/(1+0,15)^3 + \\ &+ 8472588,62/(1+0,15)^4 = 318393,56 + 1777346,37 + 3766399,12 + 4844230,04 = \\ &= 10706369,09 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.21)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 159378,97 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 159378,97 = 318757,95 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект E_{abc} для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{abc} = III - PV \quad (5.22)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 10706369,09 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 318757,95 (грн.).

$$E_{abc} = III - PV = 10706369,09 - 318757,95 = 10387611,15 \text{ (грн.)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.23)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 10387611,15 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 318757,95 (грн.);

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 10387611,15 / 318757,95)^{1/4} = 1,41.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

$$\tau_{min} = d + f, \quad (5.24)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,22.

$\tau_{min} = 0,11 + 0,22 = 0,33 < 1,41$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.25)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,41 = 0,71 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

5.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера» становить 37,7 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,73 рази.

Також термін окупності становить 0,71 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера».

ВИСНОВКИ

Точні вимірювання тимчасових параметрів сигналів засновані на використуванні зразкових відрізків часу, що складаються з цілого числа періодів повторення рахункових імпульсів. Імпульси формують з вихідної напруги кварцового генератора з відносною нестабільністю частоти 10^{-7} 10^{-9} .

Цифрові багатоканальні частотоміри відіграють ключову роль у сучасних вимірювальних системах завдяки своїй здатності точно і швидко вимірювати частоти сигналів у різних галузях, таких як промисловість, наука та телекомунікації. Основні принципи роботи цифрових частотомірів, такі як підрахунок імпульсів і аналіз частотного спектра, забезпечують високу точність вимірювань. Технічні характеристики цифрових частотомірів, включаючи швидкість обробки сигналів і широкий діапазон частот, підкреслюють їх переваги перед традиційними аналоговими системами.

Найбільш споживані цифрові методи вимірювань, засновані на рахунку числа імпульсів, що заповнили певний інтервал. Тимчасові інтервали і період повторення знаходять по числу що заповнили їх рахункових імпульсів з відомим періодом повторення. Частоту визначають по числу імпульсів, сформованих з досліджуваної напруги і що заповнили зразковий інтервал часу.

Цифровому методу властива погрішність дискретизації, межа якої рівна періоду повторення рахункових імпульсів, що заповнили інтервал. Мінімальне значення періоду повторення визначається швидкодією лічильників і для що випускаються промисловістю приладів складає 2...10 нс. Гранична відносна погрішність дискретизації обернено пропорційна числу імпульсів, що заповнили інтервал.

В даній роботі був проведений огляд сучасних цифрових методів визначення частоти. На основі оглянутих методів був розроблений власний, розроблена його повна структурна схема. Представлені основні алгоритми роботи, що забезпечили б повне втілення розроблених алгоритмів.

В економічній частині роботи при оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,73 рази, а термін окупності становить 0,71 р., що менше 3-х років. Це підтверджує доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера».

В цілому, цифрові багатоканальні частотоміри демонструють значний потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення, що відкриває нові можливості для їх застосування в різних сферах. Їх роль у технологіях вимірювання важко переоцінити, оскільки вони забезпечують високі стандарти точності та швидкості, необхідні в умовах сучасного виробництва і науки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерев'янка, О. О. Цифрові частотоміри: принципи роботи та застосування / О. О. Дерев'янка. — Київ: Видавництво "Наукова думка", 2020. — 256 с.
2. Петров, І. І. Основи вимірювальної техніки: навчальний посібник / І. І. Петров. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. — 312 с.
3. Сидоренко, В. В. Цифрові технології обробки сигналів: монографія / В. В. Сидоренко. — Харків: ХНУ, 2021. — 450 с.
4. Коваленко, Т. М. Аналіз і моделювання цифрових частотомірів / Т. М. Коваленко, А. Р. Мазур. — Дніпро: ДНУ, 2022. — 198 с.
5. Романенко, О. А. Методи вимірювання частоти в електронних системах: посібник / О. А. Романенко. — Одеса: ОНУ, 2023. — 180 с.
- А. Володін, О. П. Цифрові системи обробки сигналів. — Київ: Видавництво "Техніка", 2015. — 340 с.
6. Кравець, І. М. Мікропроцесорні системи та їх застосування в радіoeлектроніці. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2017. — 250 с.
7. Павлов, О. В. Основи теорії вимірювальних приладів. — Харків: ХНУРЕ, 2019. — 400 с.
8. Піддубний, М. Ю. Цифрова обробка сигналів: теорія і практика. — Дніпро: Університетське видавництво, 2016. — 320 с.
9. Савчук, В. Г. Теорія радіотехнічних сигналів та процесів. — Київ: Видавництво "Політехніка", 2018. — 295 с.
10. Черняк, А. О. Мікропроцесорні системи: проектування та програмування. — Київ: Видавництво "Наукова думка", 2020. — 278 с.
11. Проценко, О. М. Вимірювання часових параметрів радіотехнічних сигналів. — Вінниця: ВНТУ, 2017. — 210 с.
12. Коваленко, І. В. Цифрові вимірювальні системи. — Одеса: ОНАХТ, 2018. — 230 с.

13. Романенко, Ю. П. Мікропроцесори і мікроконтролери: основи та застосування. – Запоріжжя: Видавництво ЗНТУ, 2021. – 270 с.

14. Голубєв, О. В. Сучасні методи вимірювання параметрів сигналів. – Київ: Видавництво КПІ, 2020. – 310 с.

15. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю “172 Телекомунікації та радіотехніка” [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://dl.tntu.edu.ua/mods/_standard/file_storage/index.php Дата доступу 10.03.2022.

16. Програма для розрахунку надійності РЕА [електронний ресурс]– Режим доступу: URL: <http://eguru.tk.te.ua/mod/resource/view.php?id=60057>

17. L7805 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/viVO7Tnu_L7800CV_ST.pdf (дата звернення 08.11.2022).

18. PIC18F2520-I/SO [Електронний ресурс] – Режим доступу : https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/4Fy0Vgjq_PIC18F2520.pdf (дата звернення 08.11.2022).

19. 74HC123D [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/Mz7hjO4s_74HC123_nxp.pdf (дата звернення 08.11.2022).

20. LMX2316TM [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/9186/NSC/LMX2316TM.html> (дата звернення 08.11.2022).

21. 74HC151D [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/kzKxEJNv_74HC151_nxp.pdf (дата звернення 08.11.2022).

22. TXC101 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/137106/RFM/TXC101.html>

23. (дата звернення 08.11.2022).

24. AD8611ARZ [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/AFF52rBj_AD8611_8612.pdf (дата звернення 08.11.2022).

25. 9533NCD [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/APEM%20Components%20PDFs/9000_Series_.pdf (дата звернення 08.11.2022).

26. Керамічні конденсатори CL21 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/ia3y4KXG_S_CL21B102KCAN_NNC.pdf (дата звернення 08.11.2022).

27. Резистори CR [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/EQiT9xOS_CR_bourns.pdf (дата звернення 08.11.2022).

28. Електролітичні конденсатори CA0 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/DqNnyaow_CA_yag.pdf (дата звернення 08.11.2022).

29. Підстроювальний резистор 3314G [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eu.mouser.com/datasheet/2/54/3314-776736.pdf> (дата звернення 08.11.2022).

30. Підстроювальний конденсатор TZC3 [Електронний ресурс]–Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/FOGJo3JE_TZ_murata.pdf (дата звернення 08.11.2022).

31. WH1602B-YGH-CTK [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/twRaFcWL_WH1602B-YGH-CTK.pdf (дата звернення 08.11.2022).

32. 10M-49SMD-SR [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/7Qja4QMI_HC-49.pdf (дата звернення 08.11.2022).

33. BC847 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/j3Oppnki_BC846_nxp.pdf (дата звернення 08.11.2022).

34. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

35. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
(обов'язковий)

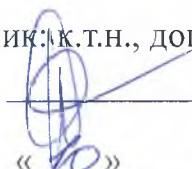
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ЧАСТОТОМІР НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-23м
спеціальності 175 Інформаційно-вимірювальні
технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Грицаюк Д.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ІРТС

 Дудатьєв І.А.
(прізвище та ініціали)
«10» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

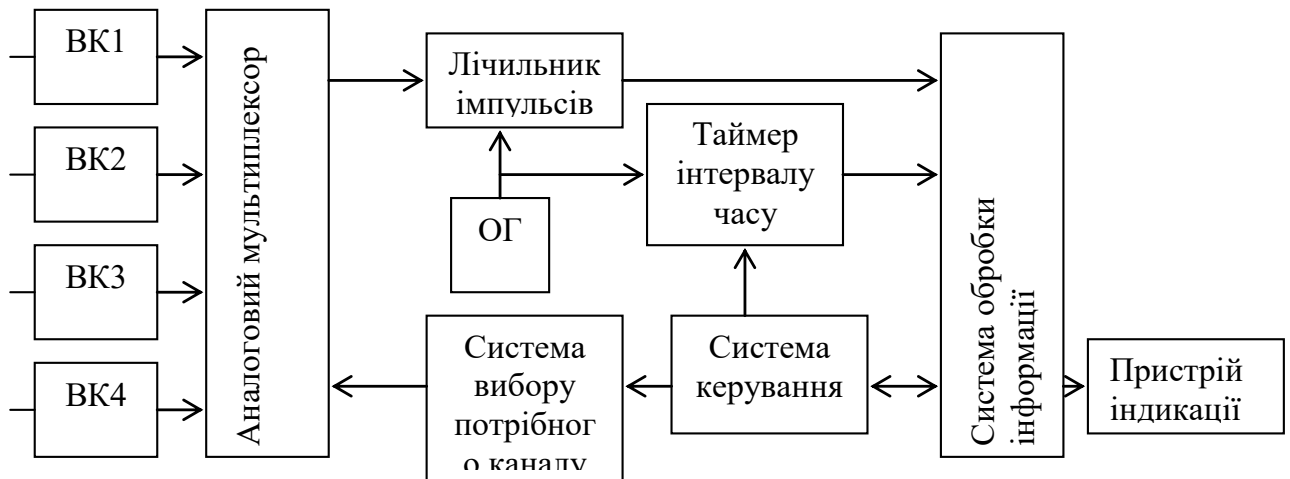


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема чотиривходового частотоміра

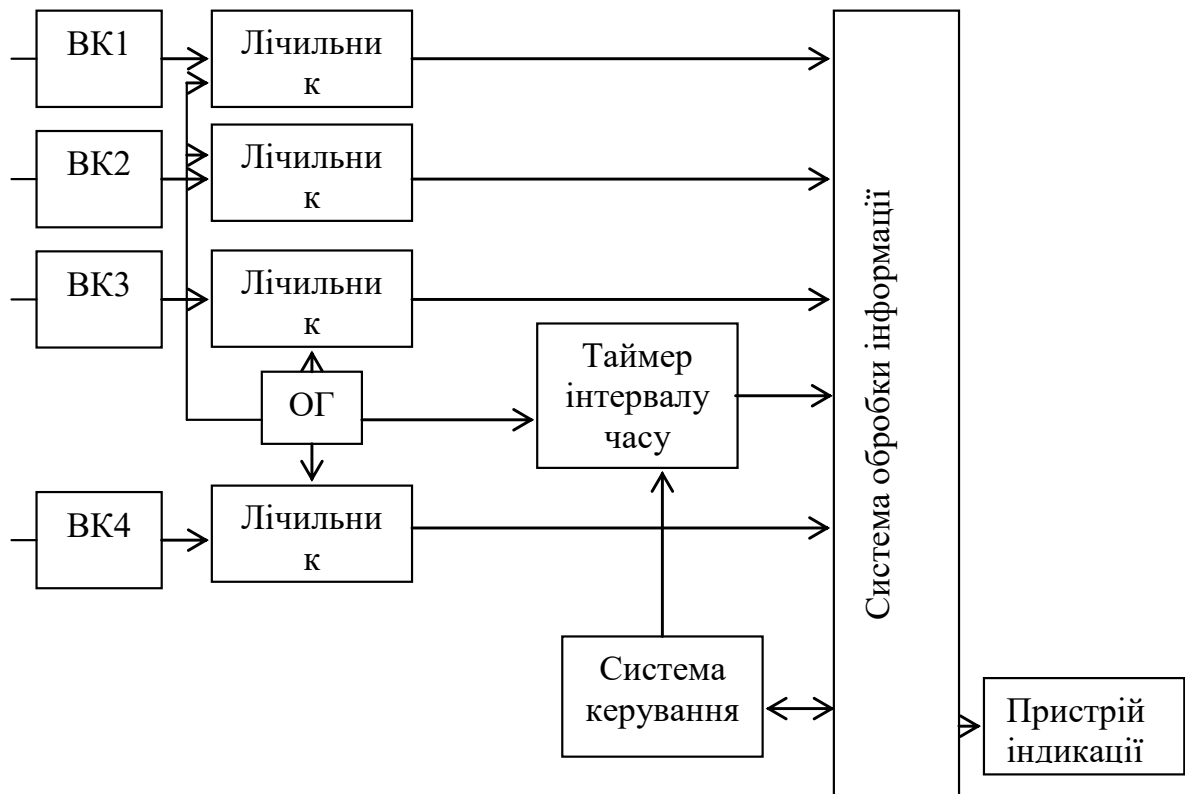


Рисунок 2 – Структурна схема безмультимплексорного чотиривходового частотоміра

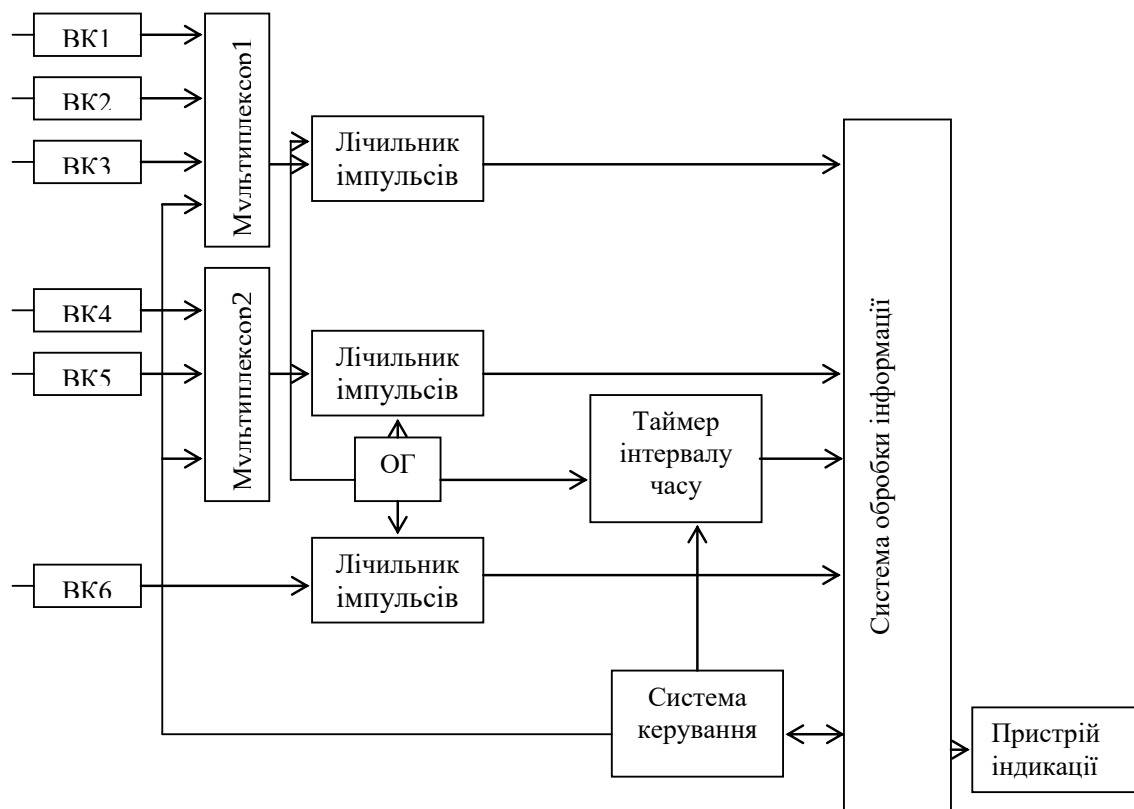


Рисунок 3 – Структурна схема розробленого багатовходового частотоміра

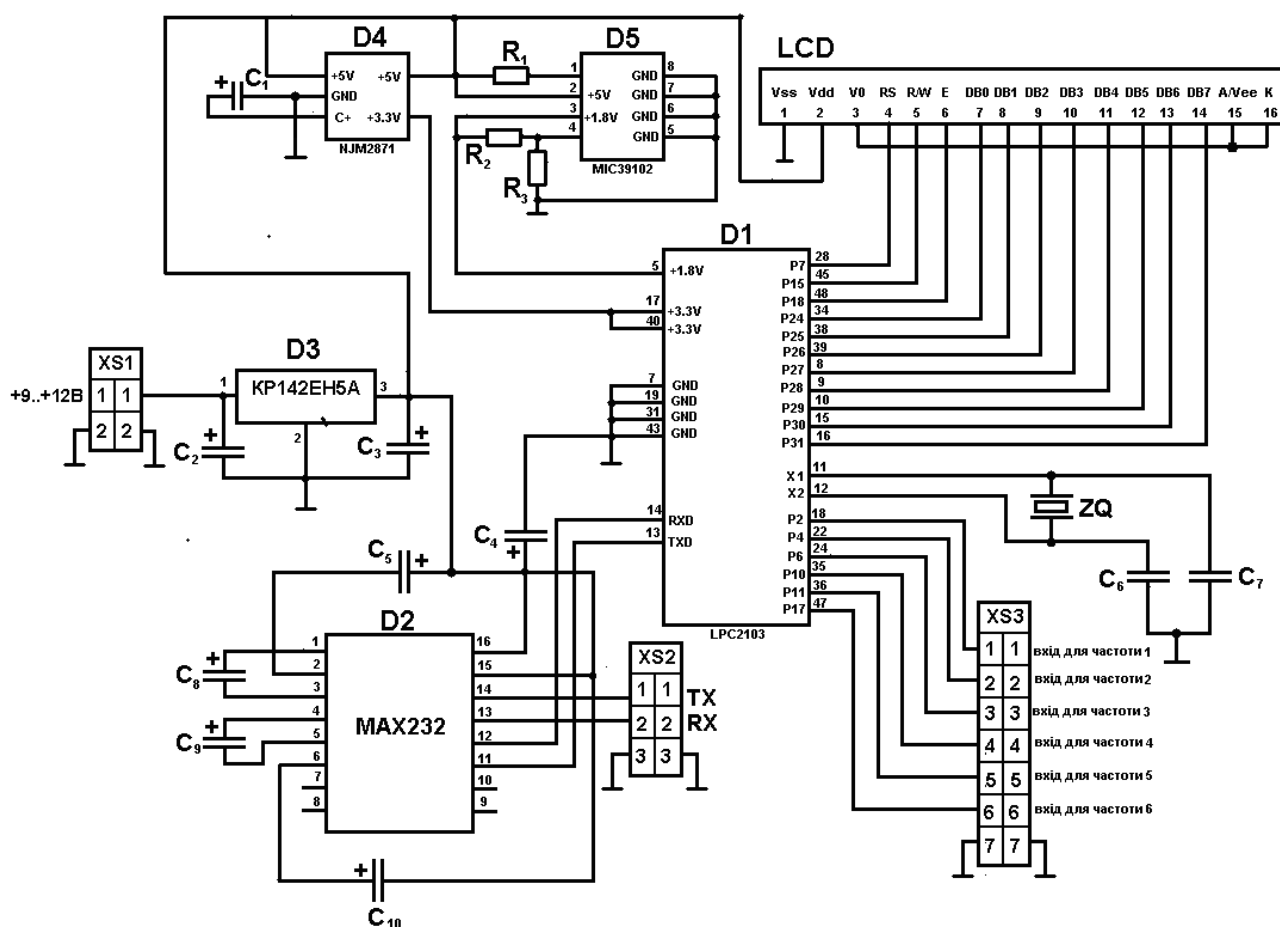


Рисунок 4 – Електрична схема розробленого багатовходового частотоміра



Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму головної програми мікроконтролера багатоканального частотоміра, що розроблений



Рисунок 6 – Блок-схема алгоритму підпрограми переривань лічильників при переповненні

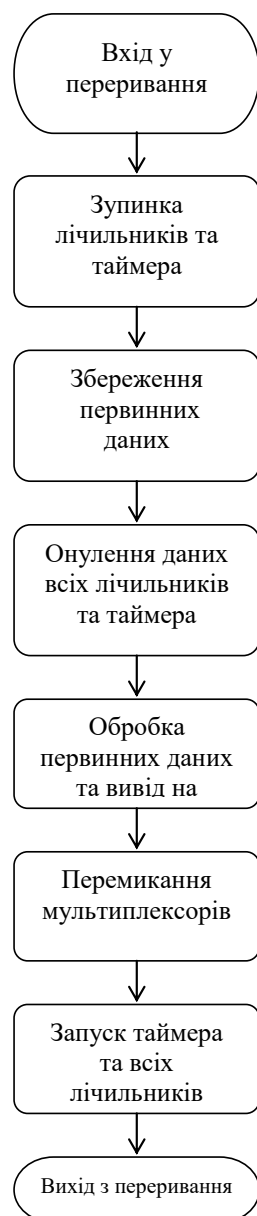


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритму підпрограми переривання таймера інтервалу часу після переповнення

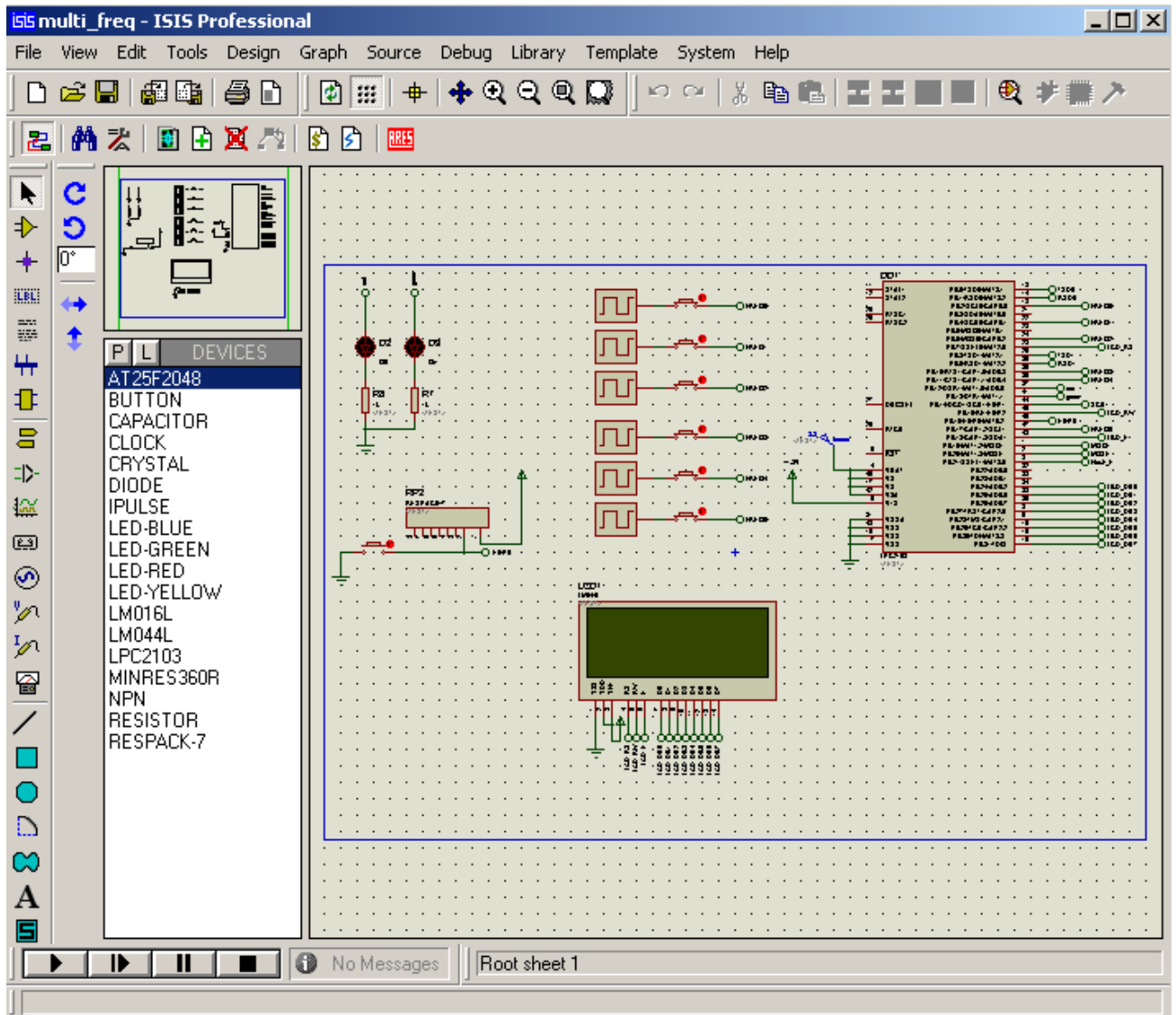


Рисунок 8 – Загальний вигляд схеми частотоміра в програмі симулятора Proteus

Рисунок 9 – Загальний вигляд вікна програми стимулятора під час вимірювання

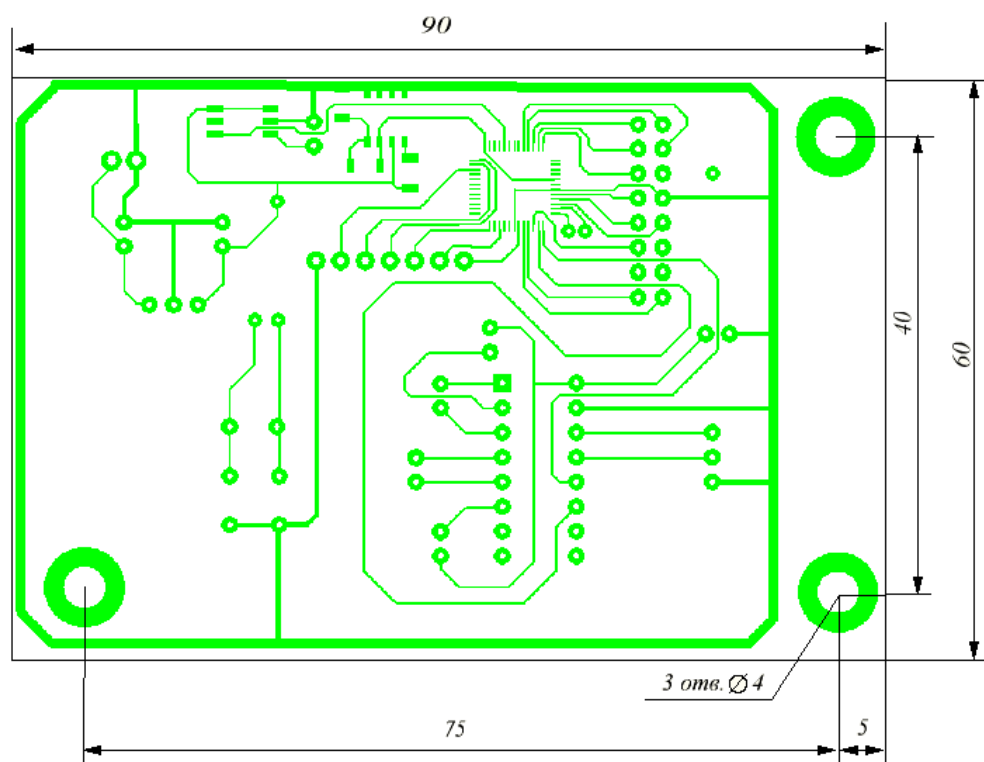


Рисунок 10 – Топологія друкованої плати

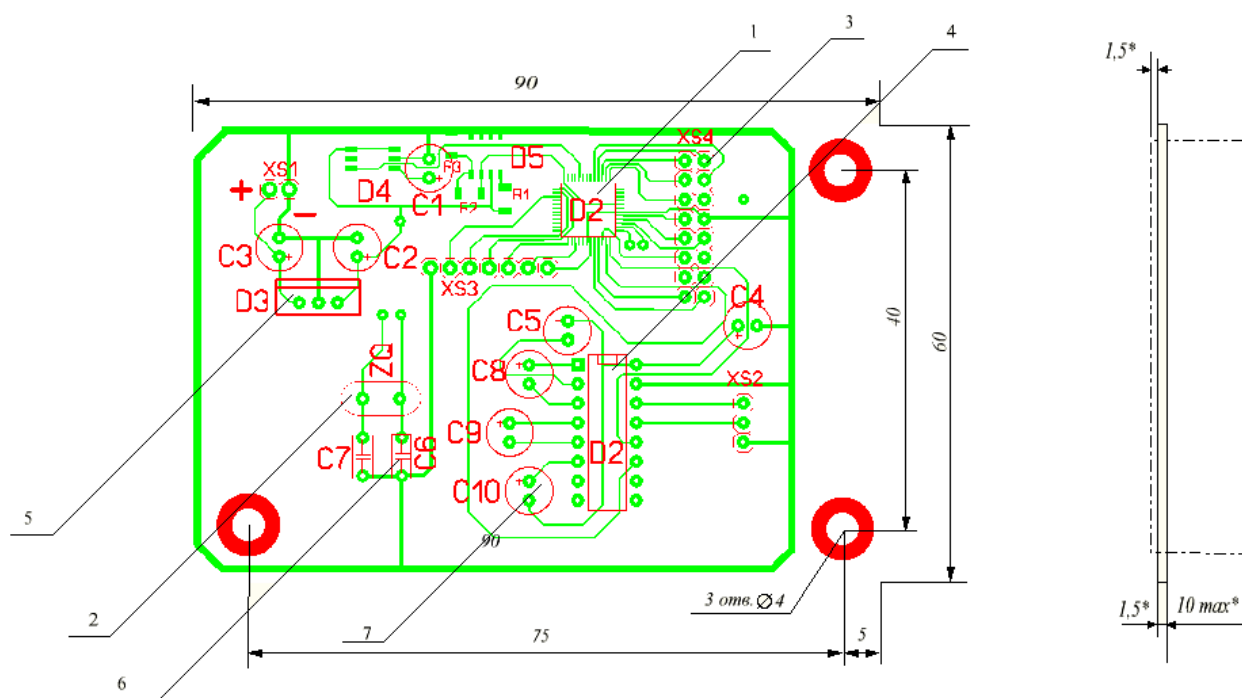


Рисунок 11 – Встановлення елементів на друкованій платі

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ЧАСТОТОМІР НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: «Багатоканальний частотомір на базі мікроконтролера»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 83.0% Схожість 17.0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

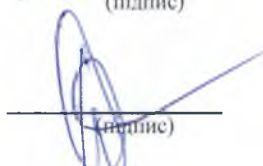
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unischek щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Дмитро ГРИЦАЮК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ігор ДУДАТЬЄВ
(прізвище, ініціали)

Додаток В
(довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ МІКРОКОНТРОЛЕРА

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ЧАСТОТОМІР НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

```

#include <mega16.h>

#ifndef __SLEEP_DEFINED__
#define __SLEEP_DEFINED__

.EQU __se_bit=0x40
.EQU __sm_mask=0xB0
.EQU __sm_powerdown=0x20
.EQU __sm_powersave=0x30
.EQU __sm_standby=0xA0
.EQU __sm_ext_standby=0xB0
.EQU __sm_adc_noise_red=0x10
.SET power_ctrl_reg=mcucr
#endif

#include <my_ports_bit_m16.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>

#include <lcd.c>
#include <mega16.h>

#include <delay.h>
#include <math.h>

#define lcd_cntr_port PORTC
#define lcd_cntr_direction DDRC
#define lcd_en_bit 7
#define lcd_rd_bit 6
#define lcd_rw_bit 1

#define lcd_data_port PORTA
#define lcd_data_direction DDRA

#define delay_5000ms 50 //50 лише для налагодження !!!!!
#define delay_500ms 10 //10 лише для налагодження !!!!!

```

```

#define LCD_EN() lcd_cntr_port |=(1<<lcd_en_bit)
#define LCD_DIS() lcd_cntr_port &=~(1<<lcd_en_bit)
#define LCD_RD_EN() lcd_cntr_port |=(1<<lcd_rd_bit)
#define LCD_RD_DIS() lcd_cntr_port &=~(1<<lcd_rd_bit)

```

```

#define LCD_putchar(x) LCD_write_data(x)

```

```

static unsigned char _base_y[2]={0x80,0xc0};

```

```

// Константы ! рядки в EEPROM

```

```

flash char USART_ON[] ="ON ";

```

```

flash char USART_OFF[] ="OFF ";

```

```

flash char TIME_10ms[] ="8ms ";

```

```

flash char TIME_100ms[] ="16ms";

```

```

flash char RISE      ='R';

```

```

flash char FALL      ='F';

```

```

void LCD_write_data(char data)

```

```

{

```

```

    lcd_data_port=data;

```

```

    LCD_RD_EN();

```

```

    delay_us(1);

```

```

    LCD_EN();

```

```

    delay_us(50);

```

```

    LCD_DIS();

```

```

    LCD_RD_DIS();

```

```

}

```

```

/* set the LCD display position x=0..39 y=0..3 */

```

```

void LCD_gotoxy(unsigned char x, unsigned char y)

```

```

{
    LCD_RD_DIS(); // RS=0
    lcd_data_port=_base_y[y]+x;
    delay_us(1);
    LCD_EN();
    delay_us(50);
    LCD_DIS();
    //LCD_write_data(_base_y[y]+x);
}

// write the string str located in FLASH to the LCD
void lcd_putsf(char flash *str)
{
    char k;
    while (k=*str++) LCD_write_data(k);
}

void LCD_clear(void)
{
    lcd_data_port=0b00000001; //display clear
    LCD_EN();
    delay_us(50);
    LCD_DIS();
    delay_ms(7);

    lcd_data_port=0b00111100; //function set 0b0011N0xx N=1 - 2 lines; F=1 displayON
    LCD_EN();
    delay_us(10);
    LCD_DIS();
    delay_us(50);

    lcd_data_port=0b00001100; //display ON/OFF CONTR 0b00001DCB display OFF|ON, Cursor
    OFF|ON, Blink OFF|ON

```

```

LCD_EN();
delay_us(7);
LCD_DIS();
delay_ms(5);
}

```

```

void LCD_init(void)
{
    delay_ms(50); //реально _____
    lcd_data_direction=0xFF; //зробити виходом
    lcd_cntr_direction |=(1<<lcd_en_bit)|(1<<lcd_rd_bit)|(1<<lcd_rw_bit);

```

```

    lcd_data_port=0b00111100; //function set 0b0011N0xx N=1 - 2 lines; F=1 displayON
    LCD_EN();
    delay_us(10);
    LCD_DIS();
    delay_us(50);

```

```

    lcd_data_port=0b00001100; //display ON/OFF CONTR 0b00001DCB display OFF|ON, Cursor
    OFF|ON, Blink OFF|ON

```

```

    LCD_EN();
    delay_us(10);
    LCD_DIS();
    delay_us(50);

```

```

    LCD_clear();
    /*lcd_data_port=0b00000001; //display clear
    LCD_EN();
    delay_us(10);
    LCD_DIS();
    delay_ms(15);*/

```

```

lcd_data_port=0b00000110; //entery mode set 0b000001 I/D SH increment mode, shift off
LCD_EN();
delay_us(10);
LCD_DIS();
delay_us(50);
}

```

```

void lcd_print_udec(unsigned long int data, unsigned char amount)
{
    char ch;
    unsigned char i,j=0,x;
    data=(data)/10;
    x=fmod(data,10);
    if (x<5){data=(data)/10;}
    else {data=(data)/10+1;}

    for (i=0;i<(amount);i++)
    {
        x=fmod(data,10);
        ch=0x30+x;
        if ((i==3)|(i==6)) {j++;}
        LCD_gotoxy(amount-i-j+2,1);
        LCD_putchar(ch);
        data=(data-x)/10;
    }
}

```

```

#define Clock 16000000

```

```

//дириктиви для таймера T2 (підрахований час одного такту для 16МГц SysClk)
#define start_T2_div_1024() TCCR2 =(1<<CS22)|(1<<CS21)|(1<<CS20) //64 мкс

//дириктиви для таймера T2 с CTC (підрахований час одного такту для 16МГц SysClk)
#define start_T2CTC_div_1024() TCCR2 =(1<<WGM21)|(1<<CS22)|(1<<CS21)|(1<<CS20) //64
мкс

//вимкнення T2
#define stop_T2() TCCR2 =(0<<CS20)

//дириктиви для лічильника T0
#define start_T0CTC_rise() TCCR0 =(1<<WGM01)|(1<<CS02)|(1<<CS01)|(1<<CS00)
#define start_T0CTC_fall() TCCR0 =(1<<WGM01)|(1<<CS02)|(1<<CS01)

//вимкнення T0
#define stop_T0() TCCR0 =(0<<CS00)

//дириктиви для лічильника T1
#define start_T1() TCCR1B =(1<<CS10)
#define start_T1CTC() TCCR1B =(1<<WGM12)|(1<<CS10)

//вимкнення T1
#define stop_T1() TCCR1B =(0<<CS10)
#define stop_T1CTC() TCCR1B clr_b(WGM12);

//Встановлення часу
#define time_8ms 124 //при 64мкс/1clk
#define time_16ms 249 //при 64мкс/1clk

#define MaxClock_8msL 30000 // 62464 - 150
#define MaxClock_8msH 1 // 65536*1
#define MaxClock_16msL 25000 // 59392 - 150

```

```

#define MaxClock_16msH 2 // 65536*3

//кількість періодів у кванті +1
#define N_kvant8ms 100 //
#define N_kvant16ms 255 //

//дириктиви для кнопок
#define _button_port PORTD
#define _button_port_DDR DDRD
#define _button_port_pin PIND

#define _m_button 0b1111000 // 64 32 16 8 4 2 1
#define _m_b1 8
#define _m_b2 16
#define _m_b3 32
#define _m_b4 64

#define keypress() (_button_port_pin & _m_button)
#define keypressed() (~(keypress())&_m_button)

// дириктиви для UART
#define USART_on() UCSRB |= (1<<TXEN)
#define USART_off() UCSRB &=~(1<<TXEN)

#define FRAMING_ERROR (1<<FE)
#define PARITY_ERROR (1<<PE)
#define DATA_OVERRUN (1<<DOR)
#define DATA_REGISTER_EMPTY (1<<UDRE)
#define RX_COMPLETE (1<<RXC)

#define UART_putchar(x) while(!(UCSRA & DATA_REGISTER_EMPTY)); UDR = x;

```

```

struct {
    unsigned char H;
    unsigned int L;
}MaxClock;

bit SF_on_off_count, SF_rise_fall, SF_data_out, SF_time_setup;
bit SF_first_count;

unsigned char TimeOfKvantH;
unsigned int TimeOfKvant;

unsigned char N_kvant; //кількість періодів у кванті
unsigned char CounterKvant; //підрахована кількість квантів за N_kvant періодів

unsigned long int Frequence, temp_time, temp_period;
double temp_freq;

//+++++
// Функція обробник переривання 12 - завершення приймання символу в USART
// USART Receiver interrupt service routine
interrupt [USART_RXC] void usart_rx_isr(void)
{
    unsigned char x;
    unsei();
    x=UDR;
    if (SF_data_out) {UART_putchar(x);}
    sei();
}

void usart_ptint (unsigned long int data)
{

```

```

unsigned char ch;
// unsigned char x;
data=(data)/100;

ch=data;
UART_putchar(ch);
ch=data>>8;
UART_putchar(ch);
ch=data>>16;
UART_putchar(ch);
ch=data>>24;
UART_putchar(ch);
}

```

```

char USART_Init_115k(void)
{
// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: Off
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud rate: 115200
UCSRA=0x00;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x03;
UCSRB=0x90; //1001 0000  для повноцінного прийому/передачі потрібно 98 (1001 1000)

return 1;
}

```

```

void stop_count()

```

```

{
    stop_T0();
    stop_T1();
    stop_T2();

    SF_first_count=0;
    TCNT1=TCNT0=TCNT2=0;
    TimeOfKvant=CounterKvant=TimeOfKvantH=0;

}

```

//ініціалізація початку підрахунку

```

void init_count()
{
    stop_count();
    TIMSK=(1<<OCIE0)|(1<<TOIE1)|(1<<OCIE2);
    //
    // перевірка приходу сигналу
    //
    if (SF_rise_fall)
        {start_TOCTC_rise();}
    else
        {start_TOCTC_fall();}

    if (!SF_time_setup)
    {
        MaxClock.H=MaxClock_8msH;
        MaxClock.L=MaxClock_8msL;
        N_kvant=N_kvant8ms;
        OCR2=time_8ms;
    }
    else
    {

```

```

    MaxClock.H=MaxClock_16msH;
    MaxClock.L=MaxClock_16msL;
    N_kvant=N_kvant16ms;
    OCR2=time_16ms;
}

OCR0=N_kvant;
start_T2CTC_div_1024();
start_T1();
}

//підрахунок
void count()
{
    if (SF_rise_fall)
        {start_T0CTC_rise();}
    else
        {start_T0CTC_fall();}

    stop_T1CTC();
    TIMSK clr_b(OCIE1A);
    TCNT1=0;

    TimeOfKvant=CounterKvant=TimeOfKvanth=0;
}

void counter1_compA (void)
{
    stop_T1();
    stop_T0();
    TCNT1=TCNT0=0;

    //перерахунок частоти

```

```

temp_time=TimeOfKvantH*65536+TimeOfKvant;
temp_period=CounterKvant*((unsigned long int) N_kvant+1);

if (!(temp_time==0)& !(temp_period==0))
{
    temp_freq=((double)temp_period*100)/((double) temp_time)*16000000;
    Frequence=(unsigned long int) (temp_freq);
    //вывод информации
    if (SF_data_out) {usart_ptint(Frequence); UART_putchar(SF_time_setup+0x30);}
    lcd_print_udec(Frequence,7);
}
}

```

```

interrupt [TIM0_COMP] void counter0_comp (void)
{
    if (!SF_first_count) {TCNT1=0; SF_first_count++;}
    else
    {
        unsei();

        TimeOfKvant=TCNT1+1;
        CounterKvant++;

        sei();
        if ((TimeOfKvantH==MaxClock.H)&(TimeOfKvant>MaxClock.L))
        {
            counter1_compA();
        }
    }
}

```

```

interrupt [TIM1_OVF] void counter1_overflow (void)
{

```

```

    TimeOfKvantH++;
}

interrupt [TIM2_COMP] void counter2_comp (void)
{
    stop_T0();
    stop_T1();
    SF_first_count=0;
    TCNT0=0;
    if ((temp_time==0)& (temp_period==0))
    {
        LCD_gotoxy(1,1);
        lcd_putsf("  0 ");
    }
    else {temp_time=temp_period=0;}

    count();
    start_T1();
}

void Menu(void)
{
    LCD_init();
    LCD_gotoxy(2,0);
    lcd_putsf("Frequencemetr");
    LCD_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("Developed by RTG");
    delay_ms(delay_5000ms);
    LCD_clear();
    delay_ms(delay_500ms);

    LCD_gotoxy(0,0);

```

```

lcd_putsf(TIME_10ms);
LCD_gotoxy(5,0);
lcd_putsf("RS232-");
lcd_putsf(USART_OFF);
LCD_putchar(FALL);

```

```

LCD_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("count is stoped ");

}

```

```

void main(void)
{
    unsigned char keypad;
    bit temp_start=0;

```

```

PORTD=0x78;
DDRD=0x00;

```

```

sei();
Menu();
USART_Init_115k();

```

```

SF_time_setup=SF_data_out=SF_rise_fall=0;
//_button_port=_m_button;
keypad=(keypressed());
while(1)
{
    temp_start=0;
    //зчитувати клавіатуру повішену на PORTA

```

```

while (!keypad) {keypad=keypressed();}
switch (keypad)
{
    case _m_b1 :
        SF_on_off_count++;
        if (!SF_on_off_count)
        {
            stop_count();
            LCD_gotoxy(15,1);
            lcd_putsf(" ");
        }
        else
        {
            LCD_gotoxy(0,1);
            lcd_putsf("      Hz c");
            temp_start=1;
            delay_ms(2); //реально потрібно 0.3с
        }
        delay_ms(10);
    break;
    case _m_b2 :
        stop_count();
        LCD_gotoxy(0,0);
        SF_time_setup++;
        if (SF_time_setup)
        {
            lcd_putsf(TIME_100ms);
        }
        else
        {lcd_putsf(TIME_10ms);}
        temp_start=1;
        delay_ms(10);
    break;
}

```

```

case _m_b3 :
    LCD_gotoxy(11,0);
    SF_data_out++;
    if (SF_data_out)
    {
        USART_on();
        //putsf("Передача вкл");
        lcd_putsf(USART_ON);
    }
    else
    {
        //putsf("Передача вимк");
        lcd_putsf(USART_OFF);
        USART_off();
    }
    delay_ms(1);
break;
case _m_b4 :
    LCD_gotoxy(15,0);
    if (++SF_rise_fall)
    {LCD_putchar(RISE);}
    else
    {LCD_putchar(FALL);}
    temp_start=1;
    delay_ms(10);
break;
}
if (SF_on_off_count & temp_start) {init_count();}

while (keypressed()); //чекати поки всі кнопки не будуть відпущені\
keypad=0;
}
}

```