Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТОМІРА ІЗ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Виконав: студент 4-го курсу, групи ПЗТ-21б
спеціальності 172 –Телекомунікації та радіотехніка
Гура В.І.

Керівник: к.т.н., ст. викладач каф. ІКСТ
Макогон В.І.
«12» 06 2025 р.

Рецензент: д.т.н., доц. каф. ІРТС
Осадчук Я.О.
«12» червня 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІКСТ
д.т.н., проф. Кичак В.М.
«12» 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ІКСТ
д.т.н., професор В.М. Кичак
«5» 05 2025року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Гурі Владиславу Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження частотоміра із програмним керуванням
керівник роботи Макогон Віталій Іванович, канд. техн. наук, ст. викладач,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ВНТУ від "20" березня 2025 року № 97

2. Строк подання здобувачем роботи: 09 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Чутливість 0,1 – 5В; діапазон вхідної частоти 100Гц – 40МГц; вхідний опір – 1МОм, напруга живлення – 220В, час індикації – 2с; інтерфейс зв'язку із персональним комп'ютером – USB.
.....
.....
.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, огляд відомих методів вимірювання частоти, розробка структурної схеми частотоміра з програмним керуванням, електричні розрахунки, розробка програмного забезпечення; комп'ютерне моделювання частотоміра з програмним керуванням, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структурна електрична схема; моделювальна схема ; результати комп'ютерного моделювання; блок-схема алгоритму; лістинг програми

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Макогон В.І., ст. викладач кафедри ІКСТ	05.05.2025	12.06.2025
Охорона праці	Дембіцька С.В. д.п.н., професор кафедри БЖДПБ,	05.05.2025	12.06.2025

7. Дата видачі завдання «05» травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	06.05.2025р.	
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	19.05.2025р.	
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	02.06.2025р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	06.06.2025р.	
5	Нормоконтроль БКР	09.06.2025р.	
6	Попередній захист БКР	10.06.2025р.	
7	Рецензування БКР	11.06.2025р.	
8	Захист БКР	13.06.2025р.	

Студент _____ (підпис) Гура В.І.

Керівник роботи _____ підпис Макогон В.І.

АННОТАЦІЯ

Гура В.І. Дослідження частотоміра із програмним керуванням. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка, освітня програма – програмне забезпечення телекомунікаційних систем. Вінниця: ВНТУ, 2025. 86с. Укр. Мовою Бібліогр.: 18 назв; рис.: 15; табл.. 8.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена розробці та дослідженню частотоміра із програмним керуванням. Робота включає розробку структурної схеми, електричні розрахунки, розробку програмного забезпечення та комп’ютерне моделювання розробленого пристрою. У бакалаврській роботі розроблено апаратну частину та графічний інтерфейс користувача для частотоміра із програмним керуванням.

Ключові слова: частотомір, програмне керування, послідовний інтерфейс, інтерфейс USB

ANNOTATION

Gura V.I. Research of a frequency meter with software control. Bachelor's qualification work in the specialty 172 - Telecommunications and radio engineering, educational program - software for telecommunication systems. Vinnytsia: VNTU, 2025. 86p. Ukrainian. In the language Bibliography: 18 titles; fig.: 15; table. 8.

The bachelor's qualification work is devoted to the development and research of a frequency meter with software control. The work includes the development of a structural diagram, electrical calculations, software development and computer modeling of the developed device. The bachelor's work developed the hardware part and the graphical user interface for a frequency meter with software control.

Keywords: frequency meter, software control, serial interface, USB interface

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ……..8
ВСТУП……..9
1 ОГЛЯД ВІДОМИХ МЕТОДІВ ВИМІРУ ЧАСТОТИ……..11
1.1 Вимірювання частоти за допомогою осцилографа……11
1.2 Вимірювання частоти гетеродинним методом……12
1.3 Порівняльний метод вимірювання частоти ……13
1.4 Принцип дії цифрового – електронного частотоміра……..13
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЧАСТОТОМІРА З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ……..16
2.1 Обргрунтування методу вимірювання частоти та оцінка . можливих похибок ……16
2.2 Вибір основного мікроконтролера для частотоміра з програмним керуванням……19
2.3 Вибір методу програмного перемикання піддіапазонів вимірювання……24
2.4 Вибір рідиннокристалічного дисплею……25
2.5 Проектування структури пристрою……25
3 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ……27
3.1 Електричний розрахунок випрямляча та фільтра……..29
3.2 Розрахунок параметрів витокового повторювача……..36
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ……39
4.1 Обгрунтування обраної мови програмування ……39
4.2 Особливості таймерів - лічильників мікроконтролера ATTINY2313……39
4.3 Розробка алгоритму роботи частотоміра з програмним керуванням……45
4.4 Розробка графічного інтерфейсу користувача……549
5 МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ЧАСТОТОМІРА З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ……50
5.1 Вибір програмного забезпечення для моделювання……50
5.2 Моделювання витокового повторювача та підсилювача – обмежувача….53
5.3 Моделювання цифрової частини……56

6 ОХОРОНА ПРАЦІ……59
6.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи……59
6.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії……61
6.3 Пожежна безпека……67
ВИСНОВКИ……..70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...71
Додаток А ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА……73
Додаток Б ПОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ……79
Додаток В ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ЧАСТОТОМІРА ІЗ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ…….80

ВСТУП

Актуальність теми.

Підвищення продуктивності та ефективності роботи вимірювальних систем є актуальним завданням, що потребує вдосконалення методів оцінки якості їх функціонування. Зокрема, важливу роль відіграють способи вимірювання та контролю параметрів каналів передачі.

Зростання кількості передавальних систем у телекомунікаційних мережах, а також інтеграція інноваційних технологій, які суттєво відрізняються від традиційних, призводять до підвищених вимог щодо характеристик вимірювального обладнання. Це стосується всіх етапів його застосування — від розробки та виробництва до введення в експлуатацію та технічного обслуговування.

Наукові дослідження, що активно проводяться в цій сфері як в Україні, так і за кордоном протягом останнього десятиліття, підтверджують значущість цієї проблеми. Аналіз ситуації свідчить про необхідність комплексного підходу, що включає удосконалення математичних моделей, модернізацію методології досліджень та розробку нових апаратних засобів, здатних забезпечити високу швидкість і точність вимірювання частоти.

Аналіз останніх досліджень.

Одним із перспективних напрямів у розробці телекомунікаційного обладнання є об’єднання окремих приладів у комплекси з максимально можливим використанням спільних блоків, таких як блок живлення, пристрій відліку, блок обробки даних тощо. У таких вимірювальних комплексах може застосовуватися як аналогова, так і цифрова обробка та виведення інформації а також використовується обчислювальна техніка для обробки результатів вимірювання[1].

Використання сучасної елементної бази, зокрема мікросхем середнього і високого ступеня інтеграції, а також мікроконтролерів, дозволяє значно зменшити розміри, масу та собівартість цифрових вимірювальних пристроїв у

порівнянні з аналоговими та реалізовувати можливість їх роботи у інформаційно-вимірювальних мережах[2].

Тому впровадження цифрових вимірювальних приладів з програмним керуванням є надзвичайно доцільним.

Мета та постановка задачі. Ця бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена розробці частотоміра з програмним керуванням, що забезпечить поліпшення його експлуатаційних параметрів і можливість інтеграції в системи з комп'ютерним управлінням.

Для реалізації поставленої мети необхідно виконати такі етапи:

- скласти технічне завдання;
- проаналізувати методи визначення частоти;
- створити структурну електричну схему пристрою для вимірювання частоти;
- розробити програмне забезпечення частотоміра з можливістю програмного керування;
- провести комп'ютерне моделювання функціональних вузлів пристрою;
- дослідити питання, пов'язані з безпекою праці.

Практичне значення отриманих результатів зводиться до наступного:

– на основі аналізу сучасних досліджень розроблено структуру пристрою для визначення частоти;

– за результатами електричних розрахунків створено принципові схеми ключових вузлів частотоміра з програмним керуванням;

– проведено моделювання основних елементів частотоміра, що використовує програмне управління.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи плануються доповідатись і обговорюватись на наукових конференціях ВНТУ у 2025 році.

1 ОГЛЯД ВІДОМИХ МЕТОДІВ ВИМІРУ ЧАСТОТИ

Частота є ключовою характеристикою змінного струму, а її вимірювання — одне з найважливіших завдань у радіотехніці, телекомунікаціях та інших сферах народного господарства. Це обумовлено низкою факторів.

По-перше, велика кількість радіоелектронних пристроїв, що використовуються в різних сферах діяльності та функціонують у широкому частотному діапазоні, потребує точних частотних вимірювань на етапах розробки, виробництва та експлуатації.

По-друге, стрімкий прогрес науки і техніки неможливий без точних вимірювань часу та частоти. Саме за допомогою частотомірних пристроїв забезпечується необхідна точність вимірювання основної фізичної величини — секунди.

По-третє, висока точність частотомірного обладнання дозволяє застосовувати його для визначення характеристик різних об'єктів, а також для вимірювання інших фізичних параметрів, зокрема температури, швидкості та тиску.

Процеси перевірки, атестації та калібрування інших вимірювальних приладів змінного струму здійснюються у визначених точках частотного діапазону, що вимагає використання частотомірів у цих операціях.

Існує широкий спектр методів визначення фактичного значення частоти, які відрізняються рівнем похибки, швидкодією та вимірювальним обладнанням. Водночас, усі вони ґрунтуються на обмеженій кількості основних підходів. У практиці частотних вимірювань найбільш поширені метод порівняння вимірюваної частоти з еталонною, а також методи, що базуються на фізичних явищах, викликаних проходженням змінного струму через різні пристрої, такі як резонансний метод та метод заряду-розряду конденсатора.

1.1 Вимірювання частоти за допомогою осцилографа

Цей метод застосовується для визначення частоти в діапазоні від 10 Гц до 20 МГц. На практиці використовують осцилографи з синусоїдальною або круговою розгорткою. Якщо застосовується осцилограф із синусоїдальною розгорткою, генератор розгортки вимикається, а вимірювана частота подається на один вхід приладу, тоді як зразкова частота — на інший. Частоту зразкового генератора змінюють до появи нерухомого зображення на екрані.

Форма отриманої фігури залежить від співвідношення між вимірюваною та зразковою частотою. Даний метод ефективний при співвідношенні частот, що не перевищує 10, оскільки велика кількість перехрещень горизонтальних та вертикальних ліній ускладнює підрахунок.

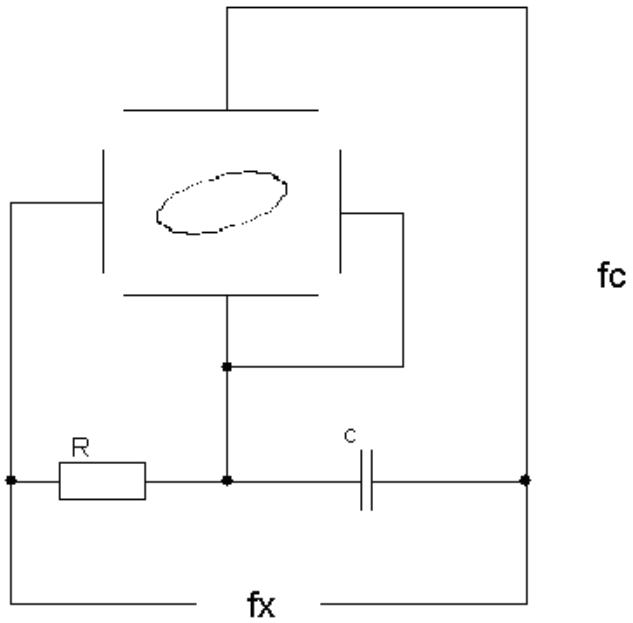


Рисунок 1.1 – Використання осцилографа для вимірювання частоти

При співвідношенні вимірюваної та зразкової частоти на модулятор подається сигнал із вищою частотою. Якщо fx=fзр, на екрані осцилографа з’явиться половина яскравого кола. У випадку кратності fx і fзр, буде відображено пунктирне коло (рис. 1.1).

1.2 Вимірювання частоти гетеродинним методом

У цьому методі джерелом зразкової частоти слугує перебудовуваний гетеродин.

Для визначення звукових частот порівняльний пристрій виконує функцію індикатора, найчастіше представленого головними телефонами. Вони підключаються одночасно до джерела невідомої та зразкової частоти (див. рисунок 1.2).

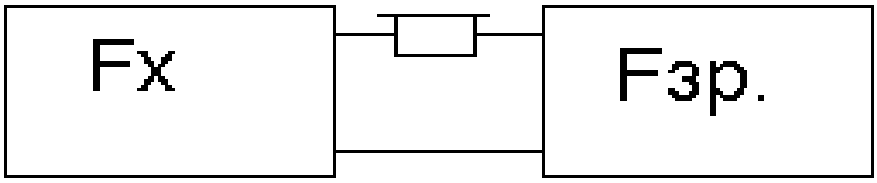


Рисунок 1.2 – Використання гетеродинного методу для вимірювання частоти

Регулюючи частоту зразкового генератора Fзр, поступово зменшують розбіжність між частотами Fx і Fзр. Коли Fx=Fзр, у телефонах чується монотонний сигнал сталої гучності та частоти. Визначення фактичного значення невідомої частоти здійснюється за шкалою зразкового генератора.

Для вимірювання високих і надвисоких частот у ролі порівняльного пристрою використовують змішувач та індикатор (див. рисунок 1.3).

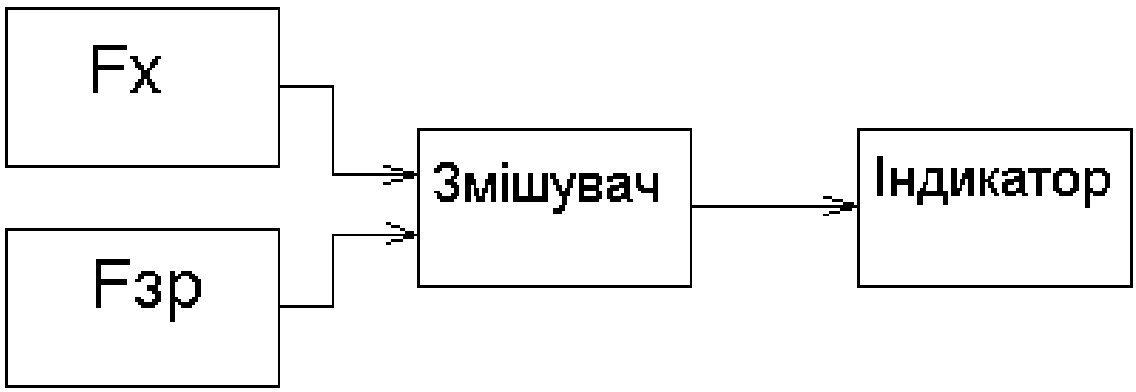


Рисунок 1.3 – Використання гетеродинного методу для вимірювання частоти надвисокочастотних коливань

1.3 Порівняльний метод вимірювання частоти

Цей метод отримав широке застосування в сучасних частотних вимірюваннях, що пояснюється його високою точністю, універсальністю реалізації за допомогою великої кількості вимірювальних засобів, а також можливістю використання в широкому діапазоні частот.

Суть методу полягає у визначенні невідомої частоти шляхом її порівняння з другою частотою, яка приймається як зразкова. Його можна застосовувати навіть за умови, що зразкова частота є кратною вимірюваній.

Для виконання вимірювання за цим методом необхідно мати джерело зразкової частоти та пристрої, що забезпечують високу точність порівняння двох частот.

1.4 Принцип дії цифрового – електронного частотоміра

Цифрові частотоміри значно покращили точність вимірювання та зменшили трудомісткість процесу визначення частоти, поступово замінюючи резонансні прилади.

Цей метод порівняння частот ґрунтується на підрахунку кількості періодів вимірюваної частоти протягом часового інтервалу, сформованого зразковим сигналом. Використовуючи зразкову частоту, задають часовий проміжок фіксованої тривалості ΔT, який заповнюють імпульсами невідомої частоти Fx.

Кількість імпульсів n, що потрапляють у часовий інтервал ΔT, визначається за формулою:

$$n = \Delta T \cdot Fx, \tag{1.1}$$

$$Fx = n/\Delta T. \tag{1.2}$$

Кількість імпульсів, що потрапляють у часовий інтервал ΔT, фіксується цифровим лічильником імпульсів. Зазвичай, тривалість ΔT встановлюють рівною 10m, де m — ціле число в діапазоні від 2 до -3. Таким чином, показники електронного лічильного частотоміра чисельно відповідають значенню невідомої частоти.

Структурна схема пристрою наведена на рисунку 1.4.

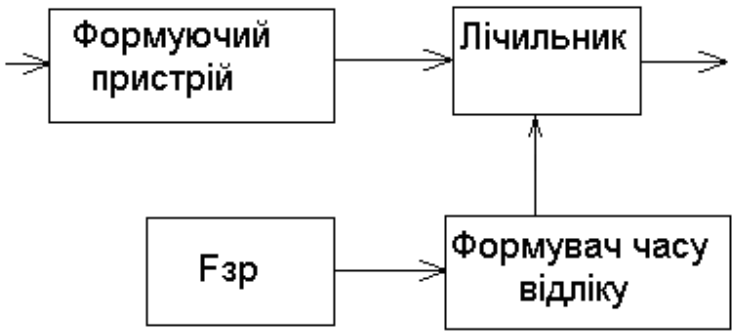


Рисунок 1.4 – Принцип дії електронно-лічильного частотоміра

Сигнал з невідомою частотою спочатку надходить на формувальний блок, який перетворює електромагнітні коливання у послідовність імпульсів, зберігаючи їхню частоту відповідно до вхідного сигналу. Далі ці імпульси передаються на лічильник для подальшої обробки. Зразкова частота надходить на схему формування часового інтервалу, яка дозволяє активувати лічильник протягом періоду ΔT, що визначає точність вимірювання невідомої частоти.

Серед усіх методів вимірювання частоти найсучаснішим є частотомір, що базується на підрахунку числа імпульсів за певний проміжок часу. Він забезпечує найвищу точність і може бути легко реалізований на сучасній елементній базі із застосуванням мікропроцесорної техніки. Це не лише розширює функціональні можливості пристрою, а й додає нові опції, спрощує систему керування. Додатково, використання кварцових генераторів як джерела еталонного сигналу дозволяє вимірювати високочастотні сигнали з мінімальною похибкою, яка наближається до точності кварцового резонатора, що становить 10^{-6} [2].

Досягнення у сфері обчислювальної техніки, мікроелектроніки та фізики спричинили значні зміни у принципах створення радіовимірювальних приладів. Їхня складність суттєво зросла, більшість сучасних пристроїв стали багатофункціональними, поєднуючи можливості кількох попередніх моделей.

На сучасному етапі розвитку техніки спостерігається активне впровадження мікропроцесорних рішень у різні галузі, що радикально змінює характеристики багатьох пристроїв. Такі технології наразі є найбільш перспективними.

З огляду на наведені фактори виникла необхідність розробки пристрою, що поєднує високі технічні характеристики з доступною ціною. Це можна досягти, реалізувавши його на економічно вигідній елементній базі. При відповідному дизайні можна створити прилади з високими параметрами, мінімальними габаритами та зручним інтерфейсом.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЧАСТОТОМІРА З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Щоб повністю відповідати поставленим вимогам, необхідно ретельно обрати структурну схему пристрою. Цей процес складається з кількох етапів:

- визначення найбільш ефективного методу вимірювання частоти та аналіз допустимого рівня похибок;
- підбір оптимального мікроконтролера з урахуванням технічних характеристик та економічної доцільності;
- вибір відповідних подільників частоти та вхідних підсилювачів-формувачів для коректної роботи пристрою;
- розробка алгоритму програмного перемикання між піддіапазонами вимірювання;
- фінальне формування структурної схеми пристрою, що враховує всі попередні рішення.

2.1 Обргрунтування методу вимірювання частоти та оцінка можливих похибок

Серед усіх розглянутих методів вимірювання частоти, детально аналізованих у першому розділі, найоптимальнішим є метод підрахунку кількості імпульсів протягом заданого часового інтервалу. Частотоміри, побудовані за цим принципом, також називають пристроями середніх значень.

Такий метод забезпечує максимальну точність вимірювання та може бути реалізований на сучасній елементній базі з використанням програмованих компонентів. Це розширює функціональні можливості пристрою, спрощує систему керування та дозволяє створювати компактні портативні прилади з низьким енергоспоживанням.

Крім того, застосування кварцевих генераторів як джерел зразкової частоти забезпечує мінімальну похибку вимірювань, наближену до нестабільності кварцового резонатора.

Далі буде представлено часові діаграми, що ілюструють принцип роботи цифрового частотоміра середніх значень.

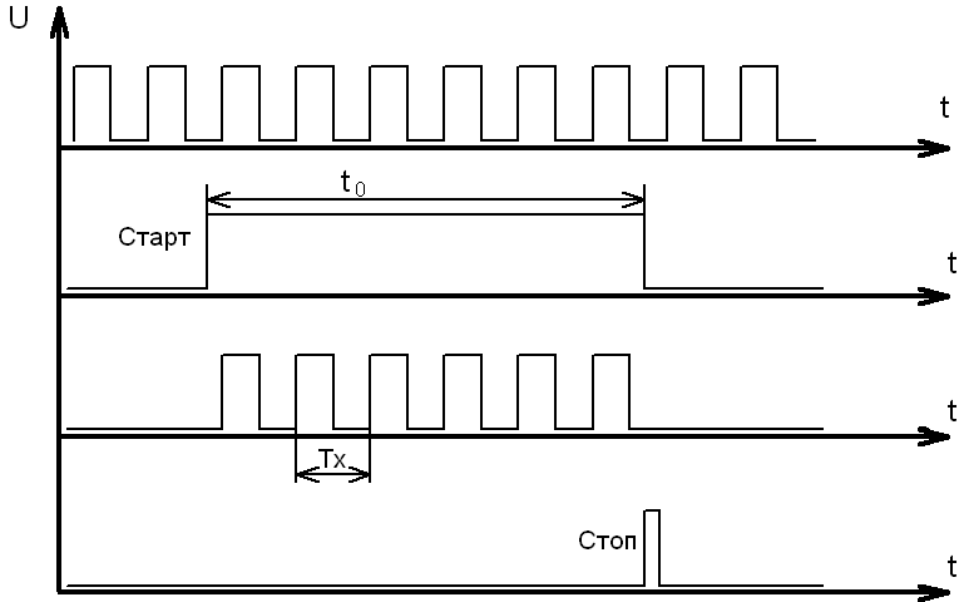


Рисунок 2.1 – Принцип дії частотоміра середніх значень

Кількість імпульсів, що відповідають невідомій частоті та підраховуються двійковим лічильником протягом заданого інтервалу часу t0, визначається наступним співвідношенням:

$$N_i = \int_{t1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 \cdot f_x \qquad (2.1)$$

де t_1 ,t_2 – моменти часу, що визначають початок та завершення зразкового інтегрального інтервалу;

f_x – частота вхідного сигналу;

T_x – період вхідного сигналу.

Тоді математичне співвідношення, що описує принцип роботи цифрового частотоміра середніх значень, можна представити у такій формі:

$$N_F = kT_0 f_x = \frac{kf_x}{f_0} \tag{2.2}$$

У цифрових вимірювальних пристроях допустима межа основної похибки визначається у межах всього діапазону вимірювань і задається у вигляді максимально дозволеної зведеної похибки.

$$\delta = \frac{\Delta}{X_н} \cdot 100\% = \frac{1}{N} \cdot 100\% \tag{2.3}$$

Рівняння, що описує квантувальну похибку цифрового частотоміра, який визначає середні значення частоти, має наступний вигляд:

$$\delta = \frac{1}{N_F} \cdot 100\% = \frac{f_0}{kf_x} \cdot 100\% \tag{2.4}$$

Вимірювання низьких частот супроводжується значною похибкою, тому такі частотоміри доцільніше застосовувати в середньочастотному та високочастотному діапазонах. Крім того, точність вимірювання залежить від тривалості зразкового часового інтервалу: чим він більший, тим менше квантувальна похибка.

Проте збільшення t_0 призводить до зростання часу вимірювання, що негативно впливає на швидкодію пристрою. Оскільки похибка δk зменшується зі зростанням частоти fx, такі частотоміри найбільш ефективні для роботи в діапазоні від кількох кілогерц до сотень мегагерц.

Другий важливий фактор, що впливає на точність вимірювань, — похибка зразкового часового інтервалу $\delta_{змч}$. Вона виникає через неточність первинного встановлення t_0, а також зміну його значення під впливом температурних та часових факторів.

Визначимо нижню межу вимірювання частоти $f_{x\ min}$. Для цього задамося нормованими значеннями похибки квантування $\delta_к = \delta_{кн}$

$$\delta_{кн} = \frac{100\% f_0}{kf_{x\min}} \Rightarrow f_{x\min} = \frac{f_0}{k\delta_{кн}} \cdot 100\% \tag{2.5}$$

Верхня межа частоти, яку може визначати частотомір середніх значень, залежить від розрядності двійкового лічильника, що реєструє імпульси протягом зразкового часового інтервалу. Якщо кількість імпульсів перевищує максимальне значення, яке може обробити лічильник, він переповнюється, що спричиняє помилки у вимірюванні та спотворення отриманих даних.

$$N_{max} = 2^n \tag{2.5}$$

Підставивши значення N_{max} у формулу перетворення частотоміра, можна отримати вираз, який дозволяє обчислити верхню межу діапазону вимірюваної частоти.

$$f_{max} = \frac{2^n f_0}{k} \tag{2.6}$$

Це є середнє значення частоти f_x через що такі пристрої отримали назву частотомірів середніх значень.

Для вимірювань у діапазоні низьких та дуже низьких частот більш доцільно використовувати частотоміри, робота яких заснована на квантуванні визначеного періоду часу .

2.2 Вибір основного мікроконтролера для частотоміра з програмним керуванням

Під час розробки приладів для вимірювання часових характеристик електричних сигналів ключовим критерієм при виборі мікроконтролерів є їхня швидкодія, оскільки саме вона визначає точність вимірювань. Головним показником швидкодії виступає кількість тактів процесора, необхідних для виконання однієї простої команди.

У мікроконтролерах сімейства MCS 51 обробка коротких команд займає 12 тактових циклів, що відповідає одному машинному циклу. Протягом цього періоду процесор поетапно зчитує код команди та здійснює її виконання.

У PIC-контролерах Microchip, завдяки конвеєрній архітектурі, коротка команда завершує виконання за 8 тактових періодів (2 машинні цикли). У цьому процесі відбувається:

- Декодування та зчитування інструкції.
- Виконання операції та фіксація отриманого результату.
- Паралельне завантаження наступної інструкції, що реалізує однорівневий конвеєр.

Таким чином, у потоці команд кожна коротка операція фактично виконується протягом 4 тактових періодів, що еквівалентно одному машинному циклу.

У мікроконтролерах AVR також використовується однорівневий конвеєр для доступу до пам’яті програм, що дозволяє завершувати коротку команду за один машинний цикл, аналогічно PIC-контролерам. Ключова відмінність полягає в тому, що в AVR один машинний цикл займає лише один тактовий період.

Для наочного порівняння рисунок 2.2 містить часові діаграми виконання стандартних інструкцій на AVR, PIC, HC05 та MCS 51.

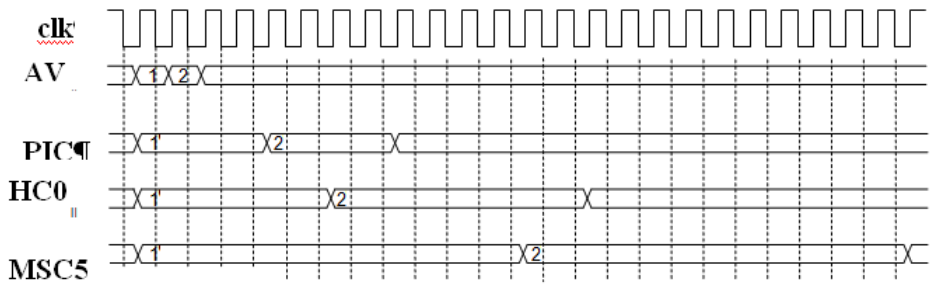


Рисунок 2.2 – Часові діаграми виконання типової команди деяких мікроконтролерних платформ

Найвищу швидкодію серед згаданих мікроконтролерів мають пристрої з архітектурою AVR, тому саме її доцільно обрати для створення

мікроконтролерного частотоміра. Розглянемо основні особливості цієї архітектури. AVR використовує Гарвардську архітектуру, яка забезпечує повний логічний та фізичний розподіл не лише адресних просторів, а й інформаційних шин для окремого доступу до пам’яті програм і пам’яті даних. При цьому способи адресації та доступу до цих типів пам’яті відрізняються, що дозволяє досягти максимальної швидкодії системи. Центральний процесор одночасно працює з обома типами пам’яті, а розрядність шини пам’яті програм розширена до 16 біт.

Усі мікроконтролери AVR оснащені Flash-пам’яттю для програм, яка може бути запрограмована як за допомогою звичайного паралельного програматора, так і через SPI-інтерфейс, навіть безпосередньо на платі пристрою. Окрім програмного коду, у Flash-пам’ять можна записувати постійні дані, які не змінюються під час роботи — це можуть бути константи, таблиці генераторів сигналів, таблиці лінеаризації датчиків тощо. Головною перевагою Flash-технології є високий рівень інтеграції, але вона має й недолік — неможливість стирати окремі комірки, тому при стиранні відбувається очищення всієї пам’яті програм. При цьому для AVR гарантується мінімум 1000 циклів перезапису Flash-пам’яті, а в новіших моделях — до 10 000 циклів.

Останні версії мікроконтролерів сімейства "mega" підтримують можливість самопрограмування, тобто зміну програмного коду під час роботи пристрою. Це означає, що мікроконтролер може самостійно оновлювати вміст пам'яті програм без необхідності використання зовнішнього програматора. Завдяки цьому нові AVR можуть змінювати свої алгоритми роботи або програми і продовжувати функціонувати вже з оновленим кодом.

Наприклад, можна зберегти декілька робочих версій програми у зовнішній енергонезалежній пам’яті (наприклад, DataFlash, SEEPROM тощо), а при певних зовнішніх або внутрішніх логічних подіях завантажувати потрібну версію програми в той самий мікроконтролер без його вилучення з плати. Для цього пам’ять програм ділиться на дві області різного обсягу: блок завантажувача (програма, яка відповідає за перезапис Flash-пам’яті) і область

для робочого програмного коду. При цьому вільне місце в блоці завантажувача також може використовуватись для зберігання робочого коду. Програма-завантажувач розробляється користувачем і записується у мікроконтролер за допомогою зовнішнього програматора.

Крім того, всі AVR мікроконтролери оснащені енергонезалежною EEPROM пам’яттю, яку можна електрично стирати. Ця пам’ять доступна для програми під час її виконання і зручна для збереження проміжних даних, констант, таблиць перекодувань, каліброваних коефіцієнтів та іншої інформації. EEPROM можна записувати як через SPI-інтерфейс, так і за допомогою програматора, а кількість циклів перезапису становить не менше 100 000. Всі мікроконтролери сімейства "mega" мають внутрішню оперативну SRAM-пам’ять, а нові моделі сімейства "tiny", наприклад ATtiny26/L, також оснащені внутрішньою SRAM. Для деяких мікроконтролерів передбачена можливість підключення зовнішньої пам’яті даних об’ємом до 64 Кбайт.

Розділення шин доступу до FLASH-пам’яті та SRAM-пам’яті у мікроконтролерах AVR дозволяє використовувати інформаційні шини з різною розрядністю для програмної та оперативної пам’яті. Це також забезпечує можливість застосування конвеєрної обробки. Суть конвеєризації полягає в тому, що під час виконання поточної інструкції вже здійснюється вибірка та дешифрація наступної команди з пам’яті.

Ще однією важливою особливістю архітектури AVR є використання швидкодіючого регістрового файлу. Усього мікроконтролер має 32 регістри загального призначення по одному байту, кожен з яких безпосередньо пов’язаний з арифметико-логічним пристроєм (ALU). Це дозволяє значно прискорити обчислення, адже мікроконтролер може виконати арифметичну або логічну операцію за один машинний цикл: два операнди зчитуються з регістрів, обчислення виконується, і результат знову записується в регістр – усе це протягом одного такту.

Регістровий файл розміщується у перших 32 байтах адресного простору SRAM, що дає змогу здійснювати доступ до цих регістрів як через

безпосередню адресацію у командах, так і через стандартні методи звернення до SRAM. У документації Atmel ця функція відома як “швидке перемикання контексту” і є ще однією важливою рисою AVR-архітектури, яка підвищує ефективність обробки програм. Це особливо корисно при виконанні 16-бітних цілих обчислень, оскільки зменшує кількість необхідних пересилань між осередками пам’яті під час обробки операндів у ALU.

У мікроконтролерах AVR внутрішній тактовий генератор може працювати від різних джерел опорної частоти — це можуть бути зовнішній генератор, кварцовий резонатор, внутрішній або зовнішній RC-ланцюг. Оскільки ці мікроконтролери мають повністю статичну архітектуру, нижня межа робочої частоти фактично відсутня — робота можлива навіть у покроковому режимі. Водночас максимальна допустима частота задається конкретною моделлю мікроконтролера.

Цікаву особливість має мікроконтролер ATtiny15L: він оснащений фазовим автопідсилювачем (PLL), що дозволяє апаратно збільшувати тактову частоту у 16 разів. Наприклад, при стандартній частоті 1,6 МГц, вихідна частота становить 25,6 МГц. Це дає змогу значно підвищити точність роботи одного з таймерів або лічильників, які можуть використовувати цю частоту як джерело.

Ще однією важливою складовою є сторожовий таймер (WATCHDOG), який забезпечує захист мікроконтролера від збоїв під час виконання програми. Він функціонує на основі власного RC-генератора з приблизною частотою 1 МГц, яка може коливатися в залежності від температури й напруги живлення. Таймер має вбудований подільник частоти, що програмується і дозволяє змінювати тривалість інтервалу між перезавантаженнями. WATCHDOG може бути вимкнений програмно як у звичайному, так і в енергоощадних режимах, що сприяє зменшенню енергоспоживання.

Можу також пояснити принцип дії PLL або навести приклад налаштування Watchdog у коді.

Мікроконтролери AVR оснащені одним або кількома таймерами-лічильниками загального призначення з розрядністю 8 або 16 біт. Вони можуть функціонувати як таймери, використовуючи внутрішню тактову частоту, або як лічильники зовнішніх подій із зовнішнім джерелом сигналу. Основні особливості таких таймерів/лічильників включають:

– наявність програмованого попереднього подільника вхідної частоти з кількома варіантами ділення. При цьому таймери можуть працювати безпосередньо на повній частоті мікроконтролера, що суттєво покращує точність формування часових інтервалів;

– незалежність їхньої роботи від режиму роботи ядра — вони можуть продовжувати відлік або бути перепрограмовані в будь-який момент;

– можливість використання внутрішньої частоти як джерела для лічильника подій. У цьому випадку гранична частота визначається як половина основної тактової частоти мікроконтролера. Користувач може задати спрацювання за фронтом або спадом зовнішнього імпульсу;

– підтримка кількох типів подій із власними векторами переривань — таких як переповнення, порівняння чи захоплення значень.

2.3 Вибір методу програмного перемикання піддіапазонів вимірювання

Для програмного перемикання піддіапазонів вимірювання доцільно використати цифрові мультиплексори. Основними характеристиками за якими буде здійснюватись вибір мультиплексора є максимальна тактова частота та кількість каналів перемикання. Після подільників частоти частота сигналу не перевищуватиме 20 МГц, що дозволяє нам використати мікросхеми поширеної та дешевої серії 74. У цій серії мікросхем присутня велика кількість мультиплексорів, використаємо мікросхему 74153 яка містить два 4 - входові мультиплексори.

2.4 Вибір рідиннокристалічного дисплею

Для цифрового частотоміра доцільно використовувати рідкокристалічний дисплей як індикатор візуалізації, що дає змогу працювати з пристроєм автономно, без підключення до комп'ютера.

Основні переваги такого дисплея перед світлодіодними індикаторами — краща інформативність та нижче енергоспоживання, що сприяє ефективності пристрою в автономному режимі. Додатково, інтегрований контролер значно спрощує розробку програмного забезпечення та дозволяє легко підключити дисплей до мікроконтролера, мінімізуючи складність схеми.

2.5 Проектування структури пристрою

Прилад, що розробляється має мати наступні технічні характеристики: раметри:

1. Діапазон частоти …….....100 Гц - 100 МГц ;
2. Споживана від мережі потужність …….....20 Вт;
3. Кількість розрядів індикації 6;
4. Вхідна чутливість .....0.07-5 В;
5. Вхідний опір.....1 Мом;
6. Напруга живлення.....220 В, 50 Гц;
7. Період індикаці…….....2 С;
8. Інтерфейс підключення до ПК…….USB

Кінцевою метою функціонування програмованого частотоміра є відображення на індикаторі та персональному компютері значення виміряної частоти.

З урахуванням зазначених вище вимог формуємо структурну схему частотоміра з програмним керуванням

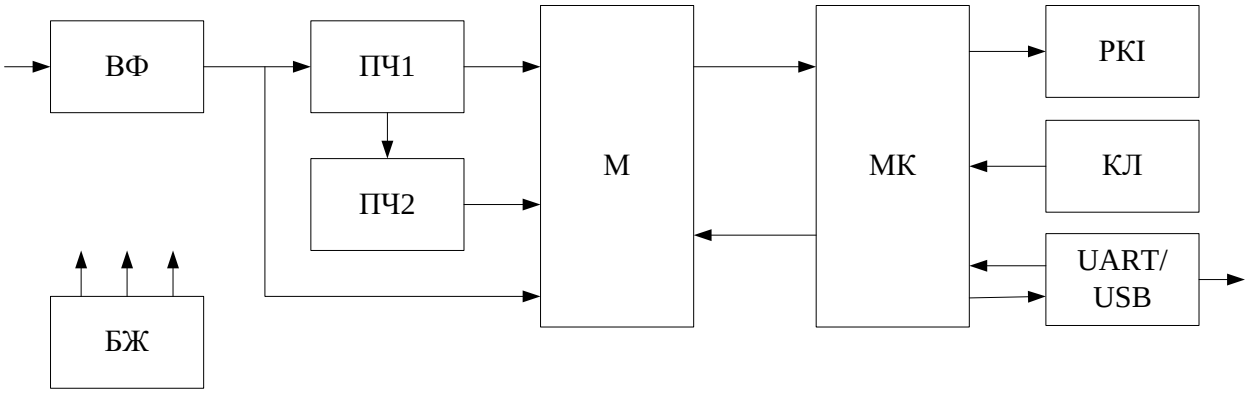


Рисунок 2.3 – Вигляд структури частотоміра з програмним керуванням

ВФ – вхідний формувач;

ПЧ1,ПЧ2 – подільник частоти;

М – мультиплексор;

МК – мікроконтролер;

РКД – рідкокристалічний дисплей.

UART/USB – адаптер для роботи з USB інтерфейсом ПК.

КЛ – клавіатура;

БЖ – блок живлення.

Оскільки керування схемою здійснюється за допомогою мікроконтролера серії AVR ATmega16 виробництва Atmel, загальна структура пристрою стає більш оптимізованою завдяки використанню вбудованих функціональних можливостей МК.

Частотомір має єдиний вхідний канал для сигналу, а результати вимірювань відображаються на цифровому індикаторі, що гарантує зручність експлуатації та спрощену конфігурацію пристрою.

3 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Витоковий повторювач виконує функції попереднього формування, ослаблення та підсилення сигналів у частотному діапазоні 100 Гц – 10 МГц, що надходять на вхід частотоміра.

Щоб забезпечити оптимальний вхідний опір пристрою та необхідну смугу пропускання, перший каскад підсилення побудований на витоковому повторювачі. Сигнал, що виходить із нього, надходить на наступний підсилювальний етап, який реалізовано на біполярному транзисторі.

Структурне зображення витокового повторювача наведено на рисунку 3.1.

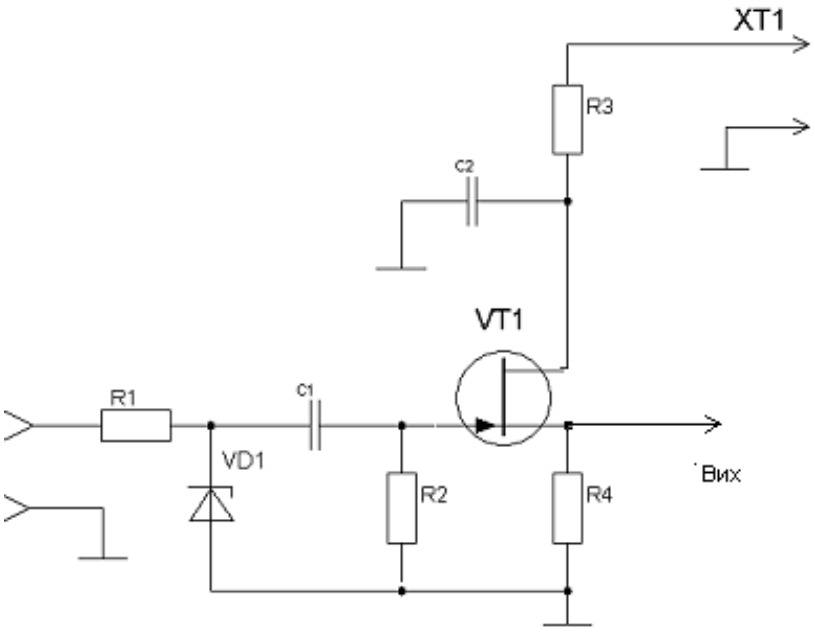


Рисунок 3.1 – Схема витокового повторювача частотоміра з програмним керуванням

Витоковий повторювач містить транзистор VT1, який завдяки своєму високому опору забезпечує значний вхідний імпеданс усього каскаду.

Резистори R2 і R3 виконують роль стабілізаторів режиму роботи схеми для постійного струму, забезпечуючи її належне функціонування.

Діод VD1 слугує обмежувачем амплітуди, запобігаючи надходженню сигналів, що перевищують встановлений допустимий рівень.

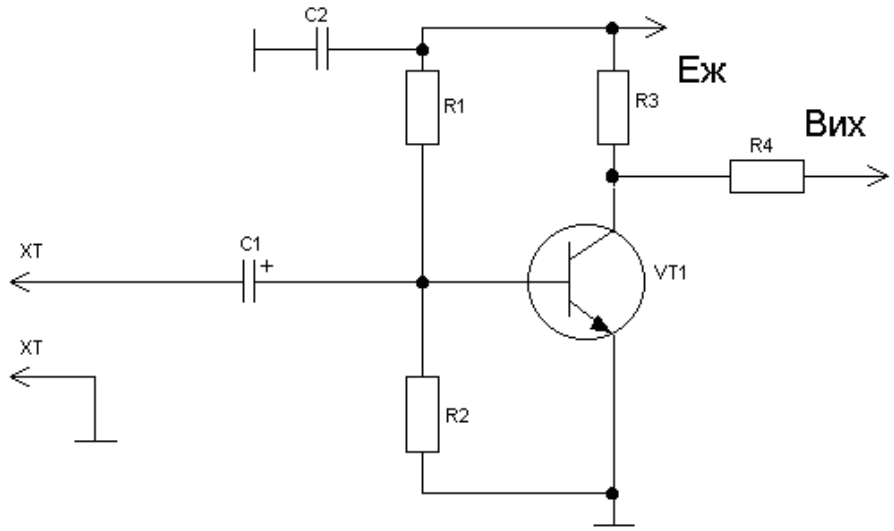


Рисунок 3.2 – Вигляд схеми підсилювального каскаду

Підсилювач забезпечує посилення сигналів, що надходять із витокового повторювача. Оскільки пристрій працюватиме в діапазоні низьких частот, оптимальним рішенням буде схема спільного емітера на високочастотному транзисторі. У даній конфігурації резистори R1 та R2 формують подільник напруги для бази транзистора, а резистор R4 виконує функцію навантажувального елемента.

Для відображення виміряних даних використано рідкокристалічний дисплей із підсвіткою, що забезпечує зручність візуалізації навіть при недостатньому освітленні.

Оскільки пристрій передбачає живлення від електромережі, блок живлення побудований за класичною схемою із використанням трансформатора, фільтра та інтегрального стабілізатора.

Структура блока живлення представлена на рисунку 3.3.

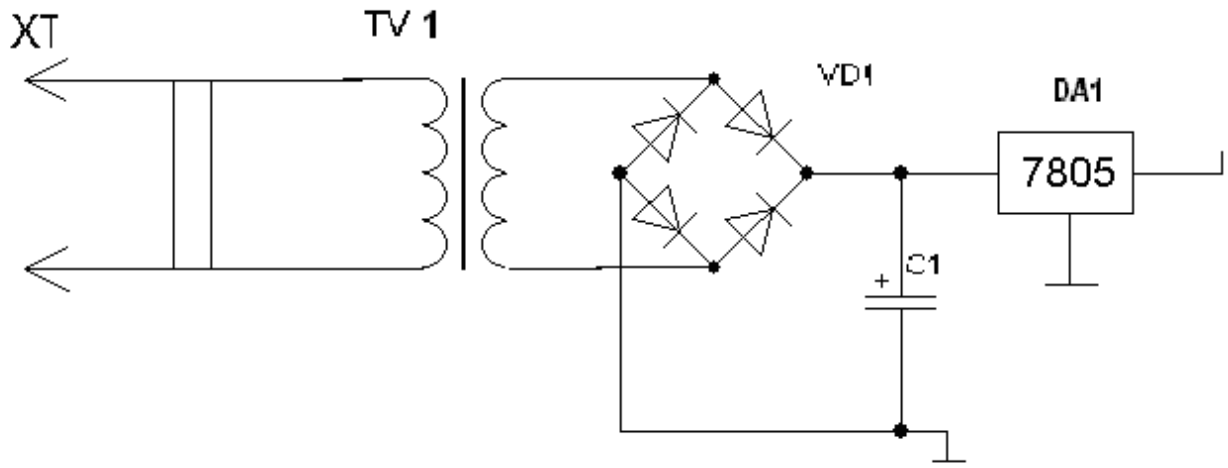


Рисунок 3.3 – Вигляд блоку живлення частотоміра з програмним керуванням

3.1 Електричний розрахунок випрямляча та фільтра

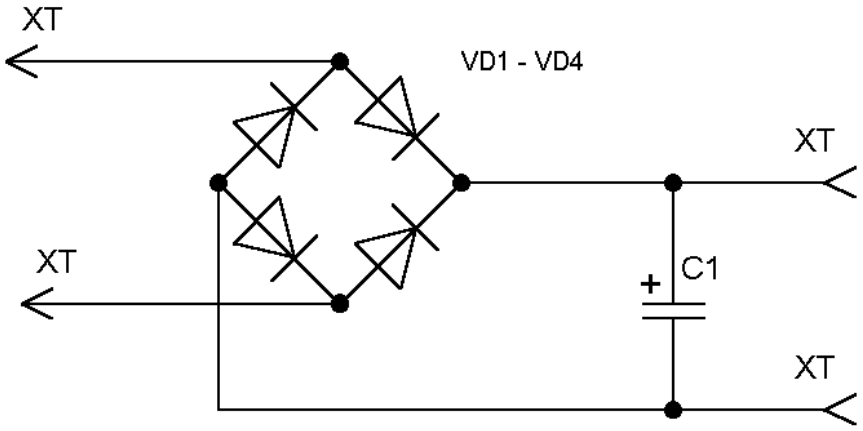


Рисунок 3.4 – Вигляд випрямляча з фільтром

Дані для розрахунку:

Рівень вихідної напруги 7В

Струм навантаження 0.5А

Зачення коефіцієнта пульсацій 0.05

Значення мережевої напруги..... 220В ±10%

Значення частоти в мережі 50Гц

Потужність, яка споживається навантаженням

$$P_o = U_o \cdot I_o \text{ [Вт]}, \quad (3.1)$$

$$P_o = 7 \cdot 0.5 = 3.5 \text{ (Вт)}.$$

Опір навантаження

$$R_н = U_o / I_o \text{ [Ом]}, \quad (3.2)$$

$$R_н = 7/0.5 = 14 \text{ (Ом)}.$$

Оскільки коефіцієнт пульсацій є незначним, можна застосувати конденсаторний фільтр, що дозволяє досягти низького рівня пульсацій у випрямленій напрузі.

Для цього обрано мостову схему випрямлення, де конденсатор підключено паралельно навантаженню. Такий варіант випрямлення дає змогу стабілізувати вихідну напругу, хоча через особливості діодного мосту спостерігається суттєве падіння напруги, що впливає на загальну ефективність пристрою.

Для розглянутого варіанту параметр т становить 2.

Далі визначимо максимальне значення випрямленої напруги.

$$U_{o\,max} = U_o(1+a) \text{ [В]}, \quad (3.3)$$

$$U_{o\,max} = 7(1 +0.1) = 7.7(\text{В}).$$

Обираємо коефіцієнти B і D: B=1, D=2.2

Використавши таблицю 3.1 [12] і вибрані коефіцієнти B і D, визначимо постійну складову струму а також амплітуду зворотнього струму діода

$$U_{зв\ m} = 2.82BU_{o\ max}\ [В], \quad (3.4)$$

$$U_{зв\ m} = 2.82 \cdot 1 \cdot 7.7 = 21.71(В);$$

$$I_{ср} = 0.5I_o\ [А], \quad (3.5)$$

$$I_{ср} = 0.5 \cdot 0.5 = 0.25(А).$$

Характеристики діода мають відповідати необхідним характеристикам, зокрема максимальне значення $U_{зв\ m}$ і $I_{ср}$ більше ніж отримані у розрахунках. Переглянувши [13] обираємо напівпровідниковий діод КД 202Б, у якого $U_{зв\ m}$ = 50В, максимальний прямий струм $I_{пр,\ ср\ max}$ = 2А і падіння напруги на діоді $U_{пр}$ = 1.4В. Параметри обраного діода відповідають необхідним параметрам.

Оцінимо опір діода

$$r_т = 1.2U_{пр}/I_{доп}\ [Ом], \quad (3.6)$$

$$r_т = 1.2 \cdot 1.4/1 = 1.68\ (Ом).$$

Коефіцієнт 1.2 відповідає за те, що значення $U_{пр}$ менше падіння напруги на діоді при постійному струмі.

Щоб обчислити опор трансформатора $r_{тр}$ і індуктивность розсіювання L_s потрібно знати тип обраного трансформатора. Обиремо броньовий трансформатор. У цього трансформатора обмотки розміщені на одному центральному стержні, через це коефіцієнт S = 1. задаємо максимальну

індукцію в сердечнику трансформатора B_m = 1.2 Тл, з таблиці 3.2 [10] обираємо коефіцієнти $K_к = 4.7$, $K_L = 4.3$. Тоді визначимо

$$r_{тр} = K_r \frac{U_o}{I_o f_c B_T} \sqrt[4]{\frac{S f_c B_m}{U_o I_o}} [Ом], \quad (3.7)$$

$$r_{тр} = 4.7 \cdot \frac{7}{0.25 \cdot 50 \cdot 1.2} \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 50 \cdot 1.2}{7 \cdot 0.5}} = 7.56(Ом);$$

$$Ls = K_L \frac{U_o \cdot 10^{-3}}{I_o f_c B_m} \sqrt[4]{\frac{S^3 U_o I_o}{f_c B_m}} [Гн], \quad (3.8)$$

$$Ls = 4.3 \frac{7 \cdot 10^{-3}}{0.25 \cdot 50 \cdot 1.2} \sqrt[4]{\frac{1^3 \cdot 7 \cdot 0.25}{50 \cdot 1.2}} = 1.15 \cdot 10^{-3} (Гн);$$

Визначимо опір індуктивності розсіювання

$$X_c = 2\pi f_c L_s \text{ [Ом]}, \quad (3.9)$$

$$X_c = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 0.0015 = 0.38 \text{ (Ом)}.$$

Визначимо опір фази випрямлення

$$r_ф = r_{тр} + r_т \text{ [Ом]}, \quad (3.10)$$

$$r_ф = 7.56 + 1.68 = 9.24 \text{(Ом)}.$$

Тоді розрахункові параметри

$$\varphi = \text{arctg } X_c / r_ф, \quad (3.11)$$

$$\varphi = arctg\frac{0.38}{9.24} = 3.67^0;$$

$$A = \frac{\pi r_\phi I_0}{mU_o} = \frac{3.14 \cdot 9.24 \cdot 0.5}{2 \cdot 7} = 0.46.$$

Отримавши величини φ і А з графіків (рисунок 1.24, а – г [12]) знайдемо коефіцієнти необхідні для визначення параметрів трансформатора і діода: B = 1.22; D = 2.0; F = 5; H = 700.

Визначаємо параметри трансформатора і діода. Тоді діюче значення напруги на вторинній обмотці

$$U_2 = BU_o \text{ [Ом]}, \quad (3.12)$$

$$U_2 = 1.22 \cdot 7 = 8.54 \text{ (В)}.$$

Визначимо діюче значення струму у вторинних обмотках трансформатора

$$I_B = I_2 = DI_0/2 \text{ [А]}, \quad (3.13)$$

$$I_B = I_2 = 2 \cdot 0.5/2 = 0.5(\text{А}).$$

Визначиммо діюче значення струму, що протікає у первинній обмотці

$$I_1 = 0.707DI_0U_2/U_1 \text{ [А]}, \quad (3.14)$$

$$I_1 = 0.707 \cdot 2 \cdot 0.5 \cdot 8.54/220 = 0.022(\text{А}).$$

Визначимо габаритну потужність вторинних, первинних обмоток та трансформатора вцілому

$$P_2 = 2I_2U_2 \text{ [В]}, \quad (3.15)$$

$$P_2 = 2 \cdot 0.5 \cdot 8.54 = 8.54 (Вт);$$

$$P_1 = I_1 U_1 [Вт], \quad (3.16)$$

$$P_1 = 0.022 \cdot 220 = 4.4 (Вт);$$

$$P_{тр} = (P_1 + P_2)/2 [Вт], \quad (3.17)$$

$$P_{тр} = (4.4 + 8.54)/2 = 6.47 (Вт).$$

Визначимо найбільша зворотня напруга яка прикладається до діода

$$U_{обр\ max} = 2.82 B U_{omax} [В], \quad (3.18)$$

$$U_{обр\ max} = 2.82 \cdot 1.22 \cdot 7.7 = 26.49 (В).$$

Визначимо середнє значення струму, що протікатиме через діод

$$I_{ср} = 0.5 \cdot I_0 [А], \quad (3.19)$$

$$I_{ср} = 0.5 \cdot 0.5 = 0.25 (А).$$

Визначимо амплітуда струму, що протікає через діод тобто максимальне значення струму

$$I_{в\ max} = 0.5 F I_0 [В], \quad (3.20)$$

$$I_{в\ max} = 0.5 \cdot 5 \cdot 0.5 = 0.48 (А).$$

Обраний нами діод КД 202Б за своїми параметрами придатний для роботи у нормальних умовах в данному випрямлячі, тому, що його характеристики кращі потрібних.

Знайдемо ємність конденсатора, виходячи з коефіцієнту пульсацій на його виході $К_{п,вих.} = 0.1$

$$C_o = \frac{H}{K_{п,вих} r_ф} = \frac{700}{0.05 \cdot 10.24} = 1605.6 мкФ.$$

Під час вибору робочої напруги конденсатора необхідно враховувати значення випрямленої напруги в умовах холостого ходу.

У цьому режимі конденсатор накопичує заряд до амплітудного рівня напруги на вторинній обмотці. При цьому слід враховувати можливе підвищення напруги в мережі до 10%, що може вплинути на остаточний рівень зарядки конденсатора.

$$К_{ох.х\ m} = \sqrt{2} U_2 (1+0.1)[В], \qquad (3.21)$$

$$К_{ох.х\ m} = 1.41 \cdot 8.54 (1+0.1) = 13.25.$$

Для стабілізації напруги обрано конденсатор з робочим значенням $U_{роб}$ = 16 В. Відповідно до довідника [7], вибрано конденсатор типу К50-35 із номінальною ємністю 2200 мкФ та заданим робочим напруженням 16 В.

Допустимий коефіцієнт пульсації для цього конденсатора при частоті fп = 10% відповідає розрахунковим значенням. При ємності 2200 мкФ коефіцієнт пульсації для схеми

$$К_п = \frac{H}{C r_ф} = \frac{700}{2200 \cdot 10.24} = 0.035,$$

Це означає, що коефіцієнт пульсації в схемі є нижчим за максимально допустиме значення для вибраного конденсатора, що гарантує його ефективну роботу без перевищення допустимих параметрів.

3.2 Розрахунок параметрів витокового повторювача

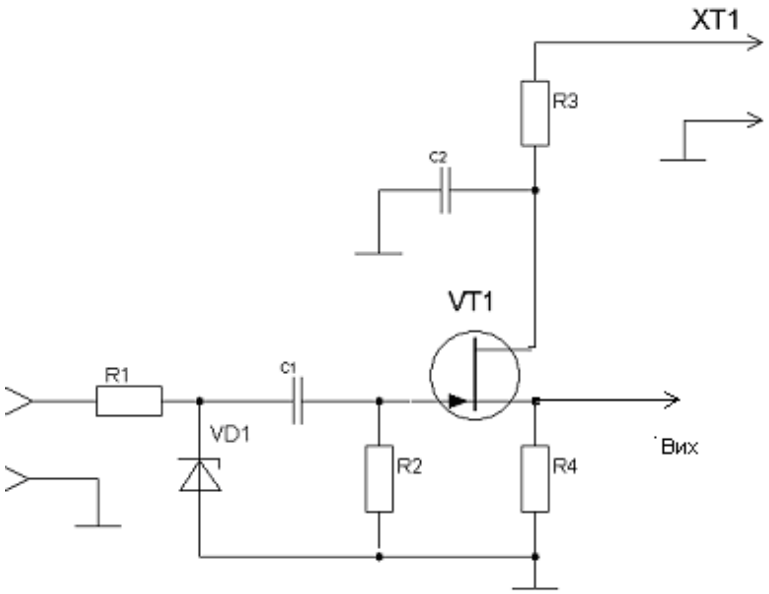


Рисунок 3.5 – Вигляд схема витокового повторювача з використанням ви токового повторювача

Дані для розрахунку:

Вхідний опір більше 1МОм

Діаппазон частот.....100Гц-10МГц

Коефіцієнт передачі за напругою …….....0.6

Наведеним характеристикам відповідає транзистор типу КП303А.

Визначимо опор резистора у колі затвора R2 та резистора у колі витоку R4

Задаємо Іст = 1мА(при Uз = 0В; Uв = 2В)

$$R4 = Uв/Iст, \quad (3.22)$$

$$R4 = 2/10^{-3} = 2000Ом(2кОм).$$

Проаналізувавши заданий вхідний опір приладу Rвх = 1МОм обираємо резистор R2.

Обираємо опір резистора R2 = 1.2МОм.

Щоб витоковий повторювач функціонував належним чином, необхідно, щоб реактивний опір конденсатора C1 на мінімальній робочій частоті був суттєво нижчим за вхідний опір самого каскаду.

На частоті 100 Гц цей параметр має бути на рівні 10 кОм, що забезпечує стабільність роботи схеми та її належні електричні характеристики.

$$C1 = 1/ (2\cdot\pi\cdot f\cdot x) [Ф], \quad (3.23)$$

де x – опір конденсатора

$$C1 = 1/(2\cdot3.14\cdot100\cdot10^{4}) = 2\cdot10^{-9} (Ф).$$

Вибираємо ємність конденсатора на рівні 0.22 мкФ.

Задаємо значення резистора R3 як 200 Ом. За таких параметрів реактивний опір конденсатора на мінімальній частоті повинен бути вдвічі меншим, ніж опір резистора, щоб забезпечити коректну роботу каскаду.

$$C2 = 1/((2\cdot\pi\cdot f\cdot R3/2),[Ф], \quad (3.24)$$

$$C2 = 1/(2\cdot3.14\cdot50\cdot200/2) = 32\cdot10^{-6} (Ф).$$

Задаємо ємність конденсатора на рівні 47 мкФ.

Як стабілізуючий елемент для вхідного параметричного стабілізатора обираємо стабілітрон із напругою стабілізації 4,7 В. Для обмеження струму через стабілітрон та захисту схеми встановлюємо резистор R1 номіналом 1 кОм.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Обгрунтування обраної мови програмування

Щоб мікроконтролер коректно працював у складі мікропроцесорної частини (МКЧ) відповідно до структурної схеми (рис. 3.2), необхідно розробити складну програму, яка забезпечить вимірювання частоти сигналу та відображення результатів на рідкокристалічному дисплеї.

Для написання такого програмного забезпечення оптимальним є використання мови низького рівня, наприклад асемблера, оскільки він гарантує високу швидкодію та максимальну точність керування внутрішніми процесами мікроконтролера. Водночас програмування на низькому рівні має істотний недолік — складність реалізації, тому для керування індикацією доцільно застосовувати мову високого рівня.

Найбільш поширеним вибором серед мов високого рівня для роботи з мікроконтролерами є C, тому кінцевий варіант програми буде реалізований на мові C із вставками асемблерного коду.

Щоб коректно програмувати мікроконтролери, необхідно глибоко розуміти принципи роботи їх внутрішніх вузлів. У нашому випадку ключовими елементами є вбудовані таймери-лічильники, тому їхню структуру варто розглянути детальніше.

4.2 Особливості таймерів - лічильників мікроконтролера ATTINY2313

Мікросхема ATTINY2313 містить 8-ми розрядний таймер – лічильник та 16-ти розрядний таймер лічильник. Функціональна схема 8-разрядного таймера-лічильника представлена на рисунку 4.1.

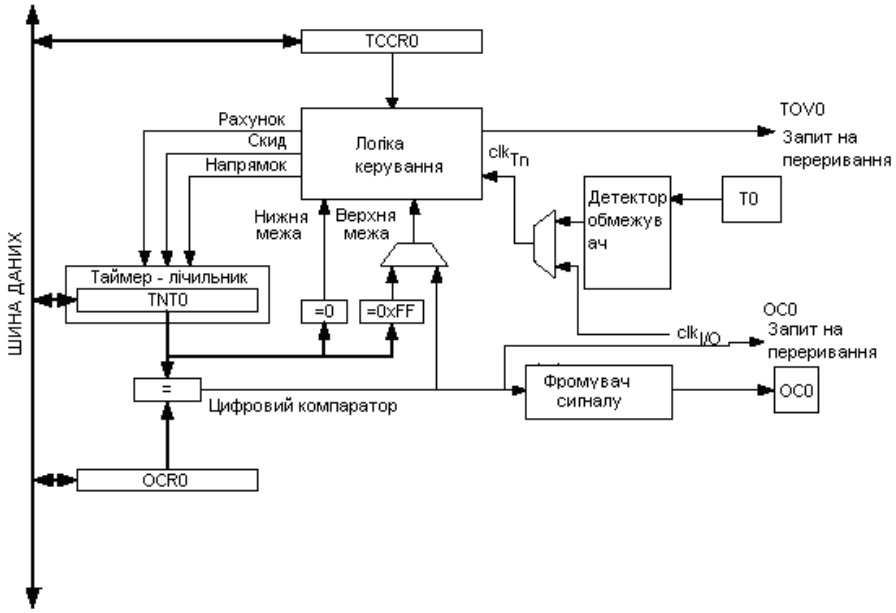


Рисунок 4.1 - Функціональна схема 8-разр. таймера-лічильника 0

Опис регістру керування 8-ми розрядного таймера-лічильника 0 наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 - Регістр керування таймером-лічильником 0 - TCCR0

Розряд	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	TCCR0
Читання/запис	Чит.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап	Чит. /Зап	Чит. /Зап	
Початкрве значення	0	0	0	0	0	0	0	0	

Розряд 7 - FOC0: Примусова установка результату порівняння

Строб FOC0 не генерує яких-небудь переривань, а також не викликає скидання таймера в режимі CTC, де регістр OCR0 задає верхню межу рахунку. Біт FOC0 завжди зчитується як 0.

Розряд 6, 3 - WGM01:0: Режим роботи таймера-лічильника 0

Дані біти визначають: алгоритм рахунку лічильника, джерело, що задає верхню межу рахунку й тип прямокутних імпульсів, що генеруються. Наведемо опис бітів, що задають режим роботи таймера – лічильника 0 у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Опис бітів, що задають режим роботи таймера-лічильника 0

Номер режиму	WGM01	WGM00	Найменування режиму роботи таймера-лічильника 0	Верхня межа рахунку	Умова відновлення вмісту регістра OCR0	Умова установки прапора TOV0
0	0	0	Нормальний	0xFF	Відразу після запису в регістр	Досягнення максимального значення (0xFF)
1	0	1	ШІМ з фазовою корекцією	0xFF	Досягнення верхньої межі рахунку	Досягнення мінімального значення (0x00)
3	1	1	Швидкий ШІМ	0xFF	Досягнення верхньої межі рахунку	Досягнення максимального значення (0xFF)

Розряд 5:4 - COM01, COM00: Режим формування вихідного сигналу. Дані біти визначають алгоритм зміни сигналу на виводі OC0. Розглянемо режими формування вихідного сигналу у режимах роботи таймера – лічильника 0 без ШІМ у таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Режими формування вихідного сигналу у режимах роботи таймера 0 без ШІМ

COM01	COM00	Опис
0	0	Функція звичайного порту вводу-виводу. OC0 відключений.
0	1	Перемикання (інвертування) OC0 при кожному збігу
1	0	Скидання OC0 при кожному збігу
1	1	Установка OC0 при кожному збігу

Є особливий випадок, коли OCR0 = 0xFF й COM01=1. У цьому випадку виникнення збігу ігнорується, але скидання або установка по досягненні верхньої межі виконується. ("Режим швидкої ШІМ").

У таблиці 4.4 наведена дія біт COM01, COM00 для режиму ШІМ з фазовою корекцією, заданого за допомогою біт WGM01, WGM00.

Таблиця 4.4 - Режими формування вихідного сигналу в режимі ШІМ з фазовою корекцією

COM01	COM00	Опис
0	0	Функція звичайного порту вводу-виводу. OC0 відключений.
0	1	Зарезервовано
1	0	Скидання OC0 при збігу під час прямого рахунку. Установка OC0 при збігу під час зворотного рахунку.
1	1	Установка OC0 при збігу під час прямого рахунку. Скидання OC0 при збігу під час зворотного рахунку.

Існує особливий випадок, коли OCR0=0xFF/0x00 й COM01=1. У цьому випадку OC0 завжди перебуває на постійному логічному рівні 0 або 1, тому що 0xFF й 0x00 -крапки зміни напрямку рахунку й виникаючий на них збіг зачитується тільки по одному з напрямків рахунку: зворотному або прямому (див. також "Режим ШІМ з фазовою корекцією").

Розряд 2:0 - CS02:0: Настроювання частоти синхронізації таймера

За допомогою трьох настроювальних біт є можливість вибрати різні тактові частоти, кратні вихідній частоті синхронізації (див. Таблицю 5.5).

Розглянемо біти керування регістру даних TCNT0 наведені у таблиці 5.6

Таблиця 4.6 - Регістр таймера-лічильника - TCNT0

Розряд	7	6	5	4	3	2	1	0
TCNT0	TCNT0[7:0]							
Читання/запис	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.	Чит. /Зап.
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0

Регістр таймера-лічильника характеризується двонаправленістю доступу до 8-розрядного лічильника таймера 0. Запис у регістр TCNT0 блокує відпрацьовування виникаючого збігу на наступному після запису такті синхронізації таймера. Зміна вмісту лічильника (TCNT0) під час рахунку пов'язане з ризиком втрати результату порівняння між TCNT0 і регістром OCR0.

16-ти розрядні таймери-лічильники призначені для точного задання тимчасових інтервалів, генерації прямокутних імпульсів і виміру тимчасових характеристик імпульсних сигналів.

Основні відмінні риси:

- 16-розрядні лічильники (у т.ч. можливість організації 16-разр. ШІМ);
- два роздільних блоки порівняння;

- подвійна буферизация регістрів порогу порівняння (OCR);
- один блок захвату;
- подавлювач шуму на вході блоку захвата;
- режим скидання таймера при збігу з порогом порівняння (автоматичний перезапуск);
- широтно-імпульсна модуляція без генерації помилкових імпульсів при записі нового порогу порівняння в OCR (подвійна буферизація) і фазова корекція;
- змінний період ШІМ;
- частотний генератор;
- лічильник зовнішніх подій;
- 4 самостійних джерел переривань (TOV1, OCF1A, OCF1B, ICF1);

Функціональна схема 16-разр. таймера-лічильника показана на рисунку. Регістри вводу-виводу, а також біти або лінії вводу-виводу, до яких організований доступ від процесора, виділені жирною лінією.

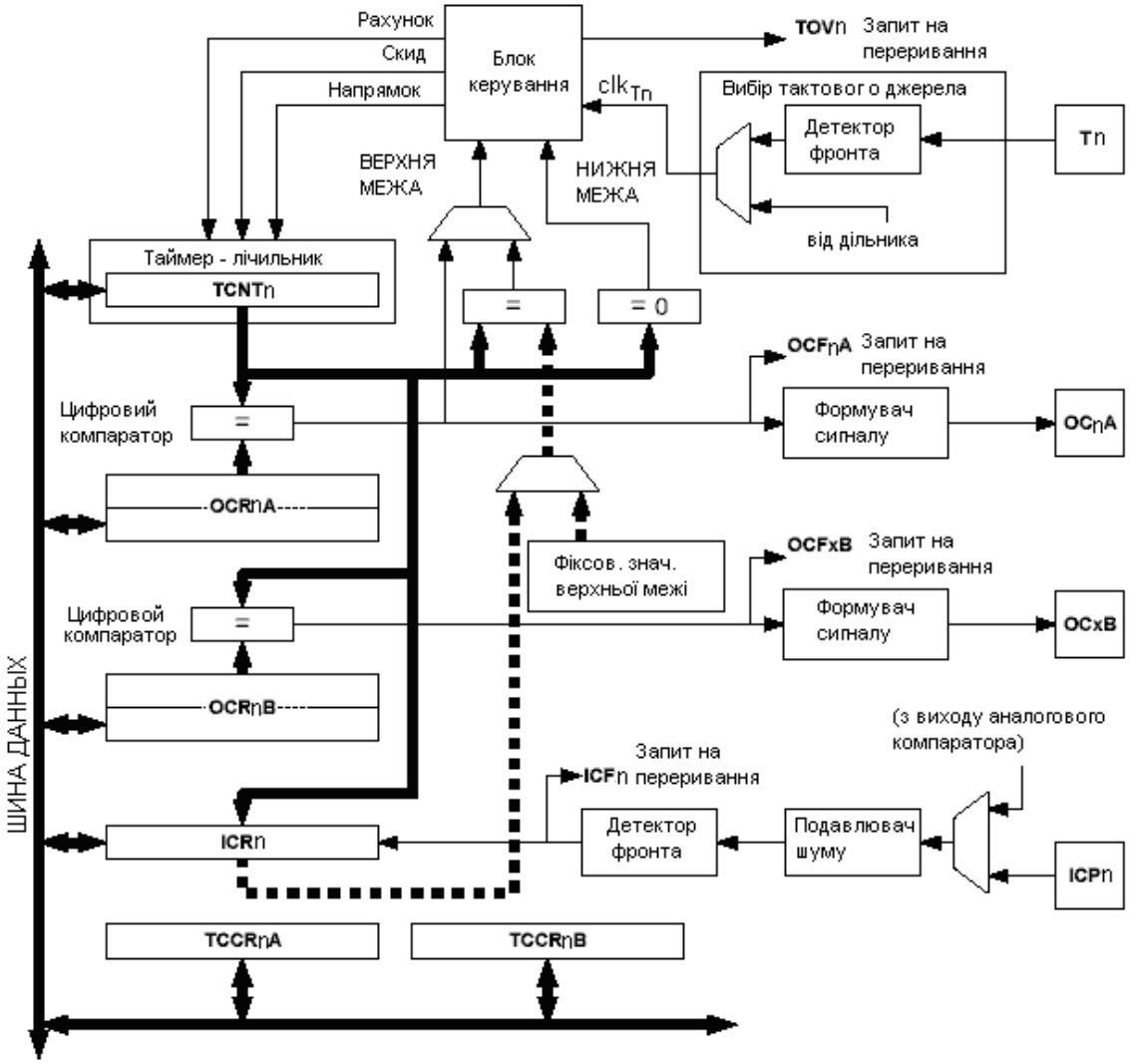


Рисунок 4.2 Функціональна схема 16-разр. таймера-лічильника

4.3 Розробка алгоритму роботи частотоміра з програмним керуванням

Аналіз функціонування таймерів-лічильників показує, що для формування зразкового часового інтервалу найбільш доцільно використовувати 16-розрядний таймер, який забезпечує високу точність вимірювань.

Для підрахунку кількості вхідних імпульсів можна застосувати 8-розрядний лічильник, при цьому його переповнення зберігатимуться в окремому регістрі та включатимуться до результуючого значення.

За такої конфігурації вимірювання частоти здійснюватиметься згідно зі схемою, зображеною на рисунку 4.3.

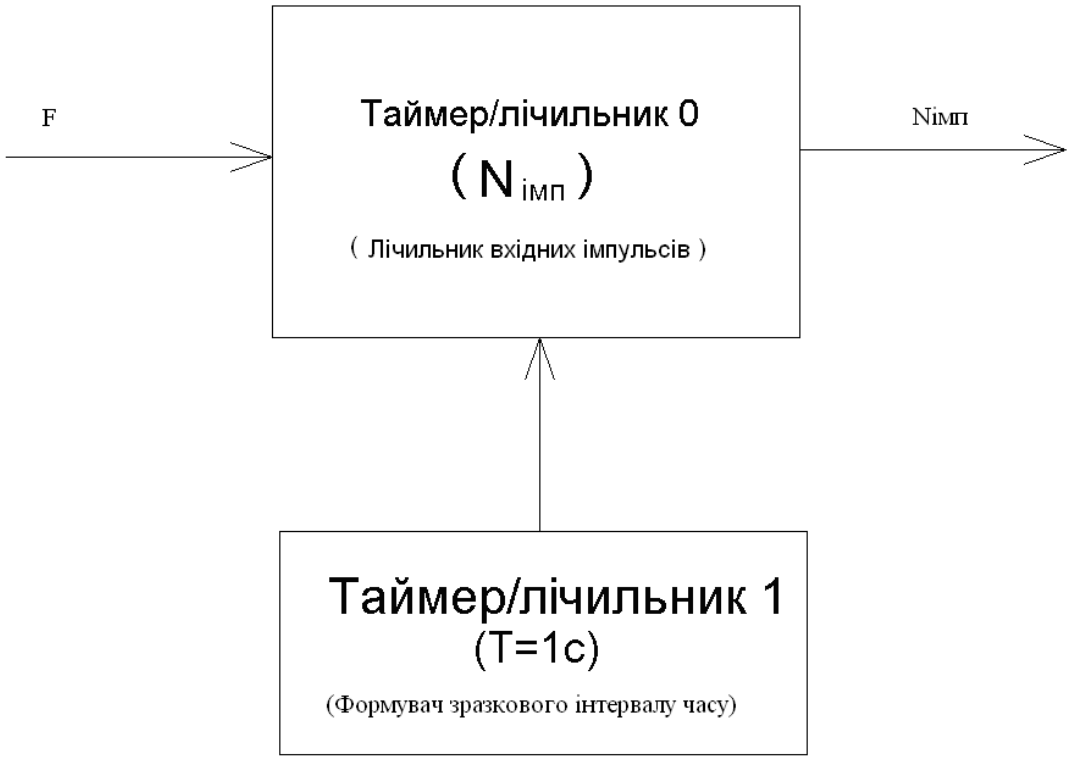


Рисунок 4.3 – Робота таймерів мікроконтролера для вимірювання частоти

У цьому випадку вхідний сигнал надходить на 8-розрядний таймер-лічильник 0 протягом 1 секунди, інтервал якої формується таймером-лічильником 1.

Підрахувавши кількість імпульсів за цей період, можна визначити невідому частоту сигналу.

Алгоритм роботи частотоміра з програмним керуванням, який реалізує процес вимірювання частоти, наведено на рисунку 5.4.

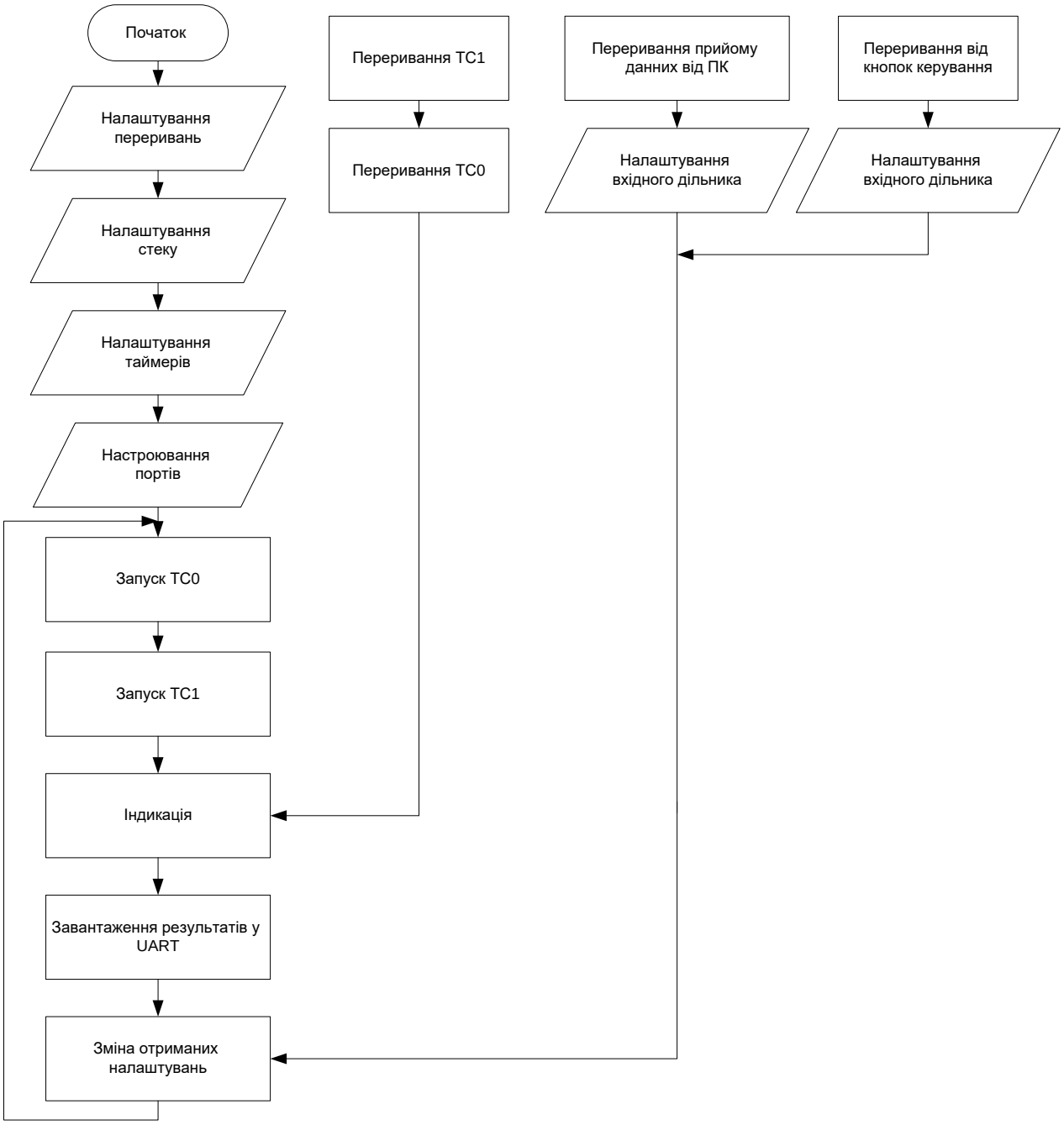


Рисунок 4.4 – Алгоритм роботи частотоміра з програмним керуванням

Короткий опис алгоритму роботи частотоміра

1. Ініціалізація програми

– Завдання назви програми та підключення стандартних бібліотек для роботи з обраним мікроконтролером.

2. Налаштування переривань

– Конфігурація переривань для кнопок керування, інтерфейсу UART та таймерів-лічильників.

3. Настроювання таймерів

– Таймер-лічильник 1 налаштовується на формування інтервалу тривалістю 1 секунда.

– Таймер-лічильник 0 призначений для підрахунку кількості імпульсів.

4. Налаштування портів

– Конфігурується порт для виведення результатів вимірювань.

5. Запуск таймерів

– Запуск TC0 для підрахунку вхідних імпульсів.

– Запуск TC1 для формування часових воріт тривалістю 1 секунда.

6. Цикл індикації

– Програма перебуває у безперервному циклі, поки таймер-лічильник 1 не завершує відлік 1 секунди.

– Після завершення таймерного періоду формується переривання, яке:

– Зчитує значення таймера-лічильника 0, що відповідає виміряній частоті.

– Передає результат у підпрограму індикації, а також надсилає його на персональний комп’ютер.

– Повторно запускає таймери-лічильники для наступного вимірювання.

7. Переривання UART та кнопок керування

– Дозволяють змінювати налаштування вхідних дільників, що враховуються при наступному вимірюванні.

4.4 Розробка графічного інтерфейсу користувача

Для розробки графічного інтерфейсу користувача використаємо програмний пакет MICROSOFT VISUAL STUDIO з використанням мови програмування C#.

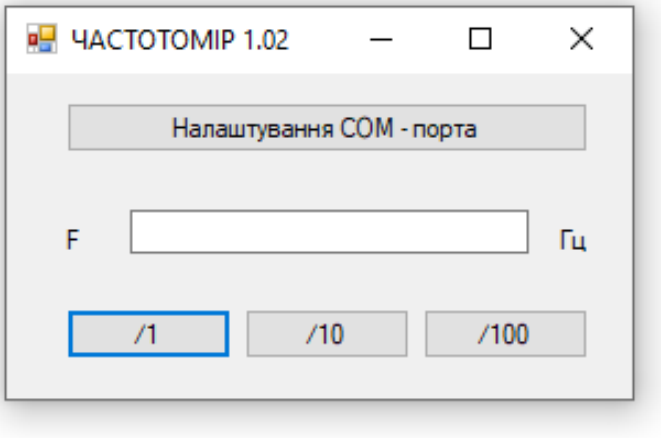


Рисунок 4.5 – Вигляд графічного інтерфейсу програмованого частотоміра

Для забезпеченя можливості керування програмованим частотоміром розроблено графічний інтерфейс користувача. Основними елементами його є кнопки керування вхідним дільником. Текстове поле відображення результатів вимірювання вхідної частоти. Та кнопка керування налаштуваннями COM порту. Який відповідає за можливість налаштування COM порту до якого підключено USB – перетворювач.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ЧАСТОТОМІРА З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

5.1 Вибір програмного забезпечення для моделювання

Аналіз наукових досліджень свідчить, що питання застосування програмних середовищ моделювання мікропроцесорних систем залишається недостатньо вивченим та змінюється відповідно до етапів технологічного розвитку та тенденцій ринку мікроконтролерів.

При виборі інструментальних засобів моделювання слід враховувати такі ключові параметри:

- Підтримка широкого спектра мікроконтролерів та аналогових компонентів.
- Різноманітність інтегрованих інтерфейсів та додаткових функціональних можливостей для розширення спектра проектних завдань.

Одним із найбільш потужних інструментів автоматизованого проектування є Proteus VSM, який дає змогу віртуально моделювати роботу мікропроцесорних пристроїв, підтримуючи різні сімейства мікроконтролерів від провідних виробників.

Proteus VSM є симулятором наскрізного проектування, що охоплює весь цикл розробки — від створення схеми до виготовлення друкованої плати.

Основні переваги використання Proteus VSM:

- Повний цикл розробки електронного пристрою в єдиному середовищі.
- Можливість написання, налагодження та тестування мікропрограмного забезпечення ще до фізичного виготовлення прототипу.
- Генерація діагностичних повідомлень, що спрощує пошук складних помилок програмування.
- Прискорення процесу розробки електронного пристрою.

- Інтеграція з апаратними пристроями, які можуть бути підключені через порт комп’ютера.

Дослідження застосування Multisim у навчальному процесі показало, що ця система надає розширені можливості для вивчення архітектури мікроконтролерів та принципів їх роботи. Зокрема, вона дозволяє:

- Переглядати та змінювати стан регістрів, пам’яті програм і даних, осередків стека та біта конфігурації, що сприяє кращому розумінню внутрішніх процесів мікроконтролера.
- Візуалізувати результати виконання окремих команд та програм, підвищуючи наочність навчального матеріалу.
- Демонструвати спільне застосування мов С та Асемблера в одному проекті для оптимізації програмного коду.
- Вивчати основи роботи та особливості функціонування периферійних пристроїв.

Втім, обмежений набір підтримуваних мікроконтролерів у Multisim накладає суттєві обмеження на її використання при розробці реальних проектів.

Альтернативи Multisim: програмне середовище TINA

Останнім часом з’явилася нова ефективна платформа моделювання — TINA, яка:

- Має інтегровані інструменти для проектування друкованих плат.
- Відзначається значно простішим інтерфейсом порівняно з Proteus VSM, що полегшує освоєння студентами.
- Зберігає всю інформацію про проект в одному файлі, який легко переслати та відкрити на іншому комп’ютері.
- Включає локалізований інтерфейс, що спрощує засвоєння навчального матеріалу.

TINA є потужним інструментом для моделювання електронних схем та мікроконтролерів. Вона забезпечує можливості дослідження схем при зміні параметрів, оптимізації, виконання спектрального аналізу, вивчення перехідних характеристик тощо.

Порівняно з Multisim, бібліотека TINA містить понад 1000 моделей мікроконтролерів, які можна програмувати на Асемблері та С, моделювати і налагоджувати в змішаних схемах.

Згідно з проведеними дослідженнями:

- Proteus залишається найпотужнішою системою для проектування мікропроцесорних пристроїв із апаратною реалізацією захисту інформації.
- Multisim демонструє високу ефективність у навчальному процесі, зокрема для вивчення архітектури мікроконтролерів.
- TINA пропонує спрощений інтерфейс, підтримку криптографічного захисту та великий набір моделей мікроконтролерів.
- Безкоштовна версія TINA-TI та онлайн-сервіс TINACloud забезпечують хмарне моделювання, що робить платформу зручною для навчання та розробки захищених систем.

При моделюванні спроектованого частотоміра застосовуємо систему схемотехнічного моделювання PROTEUS VSM 8.2. Вибір цієї платформи зумовлений рядом її переваг:

1. Моделювання схем із сучасними компонентами
   - Підтримка найновіших електронних компонентів для точного відтворення реальних умов роботи пристрою.
2. Інтеграція моделей лабораторного обладнання
   - PROTEUS VSM 8.2 містить віртуальні осцилографи, цифрові вимірювальні пристрої, що дає змогу здійснювати детальні аналізи сигналів.
3. Наявність віртуальних панелей вимірювань
   - Включає осцилографи, вольтметри, амперметри, функціональні генератори та пристрої для аналізу цифрових схем, оформлені в стилі реальних лабораторних приладів.
4. Моделювання мікроконтролерних систем
   - Забезпечує паралельне тестування програмного коду, дозволяючи аналізувати роботу пристроїв на мікроконтролерах та мікросхемах програмованої логіки.

Це наближає комп’ютерне моделювання до дослідження реальних схем, що значно спрощує розробку та тестування проектів.

PROTEUS VSM 8.2 не потребує спеціального налагодження і може бути встановлений на комп’ютерах стандартних модифікацій. Однак для моделювання складних пристроїв у реальному часі, особливо з великою кількістю вимірювальних приладів та складним програмним забезпеченням, необхідні сучасні високопродуктивні комп’ютери.

5.2 Моделювання витокового повторювача та підсилювача – обмежувача

До складу частотоміра із програмним керуванням входить два аналогових вузли, це витоковий повторювач та підсилювач обмежувач. Тому моделювання цих вузлів є необхідним завданням, щоб перевірити роботу пристрою, що проектується. Проведене моделювання дозволить перевірити правильність виконання електричних розрахунків та скоротити час для налаштування дослідних схем.

До складу PROTEUS VSM 8.2 входять бібліотеки аналогових елементів таких як: резистори, конденсатори, транзистори, операційні підсилювачі та велика кількість вимірювальних приладів за допомогою яких є можливість перевірити роботу аналогових схем у різних режимах.

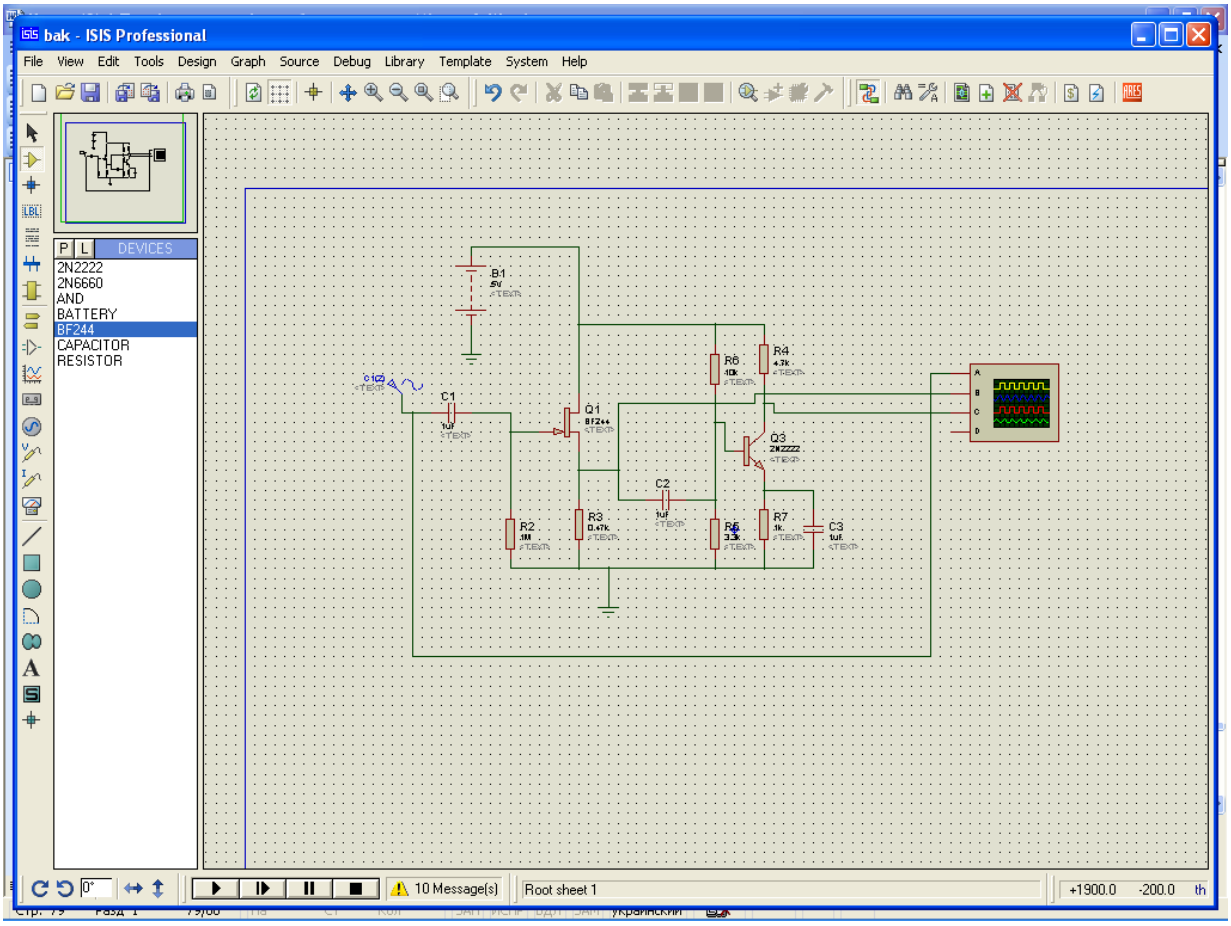


Рисунок 5.1 – Схема ви токового повторювача та підсилювача-обмежувача у PROTEUS VSM 8.2

Оцінимо якість роботи аналогової частини пристрою за показами вимірювальних приладів підсилювача на біполярному транзисторі. Для цього на вхід схеми потрібно подати сигнал певної амплітуди та частоти, потім за допомогою цифрового осцилографа зняти покази у різних ділянках схеми. Використаємо генератор синусоїдних коливань, вікно настройки параметрів цього генератора зображено на рисунку 5.2.

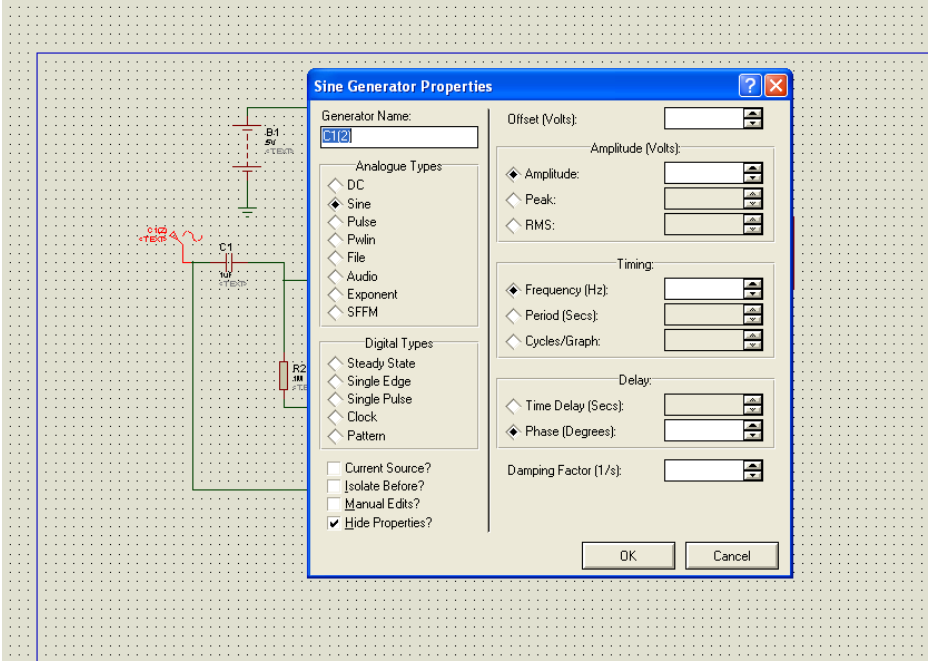


Рисунок 5.2 - Вигляд вікна настройок параметрів генератора сигналів

Для моделювання аналогової частини пристрою налаштовуємо генератор на рівень вихідної напруги 2мВ та вихідну частоту 10 МГц. До схеми також підімкнено осцилограф, що дозволяє нам перевірити форму вихідного сигналу та завдяки тому, що осцилограф цифровий виміряти її значення.

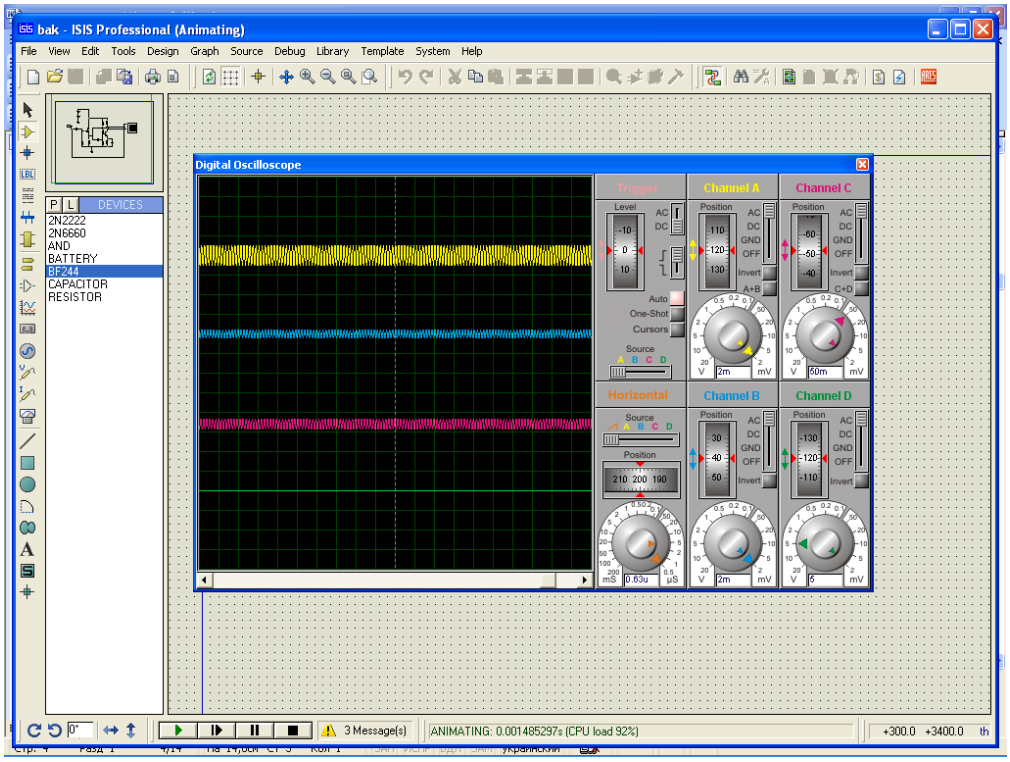


Рисунок 5.3 – Осцилограми вхідного та вихідного сигналу

Оцінивши отриані осцилограми отримаємо наступні значення напруг: вхідна напруга дорівнює 2мВ, після проходження ви токового повторювача вхідна напруга зменшується до рівня 1, 4 мВ, після проходження підсилювача-обмежувачанапруга зростає до 48мВ. Визначимо коефіцієнти передачі ви токового повторювача та підсилювача обмежувача:

$$K_{U\text{ВП}} = {U_{\text{вихВП}}}/{U_{\text{вх}}},$$

$$K_{U\text{ВП}} = \frac{1{,}4}{2} = 0{,}7 \text{ рази}$$

$$K_{U\text{ПО}} = {U_{\text{вихПО}}}/{U_{\text{вхПО}}},$$

$$K_{U\text{ПО}} = \frac{48}{1{,}4} = 34{,}3 \text{ рази}$$

Результати моделювання підтверджують високі показники спроектованих вузлів та правильність вибору схемо технічних рішень та проведених електричних розрахунків.

5.3 Моделювання цифрової частини

Цифрова частина пристрою складається з таких частин:

а) попередній дільник для сигналів частота яких перевищує 1 МГц;

б) цифрового мультиплексора, який вмикає подільник частоти коли частота сигналів перевищує 1 МГц;

в) керуючого мікроконтролера який здійснює підрахунок імпульсів та автоматично визначає діапазон вимірювань;

г) алфавітно – цифрового індикатора, який здійснює відображення дійсного значення частоти.

Для перевірки правильності усіх цих частин достатньо провести моделювання цифрової частини пристрою в діапазоні до 1МГц та більше 1МГц.

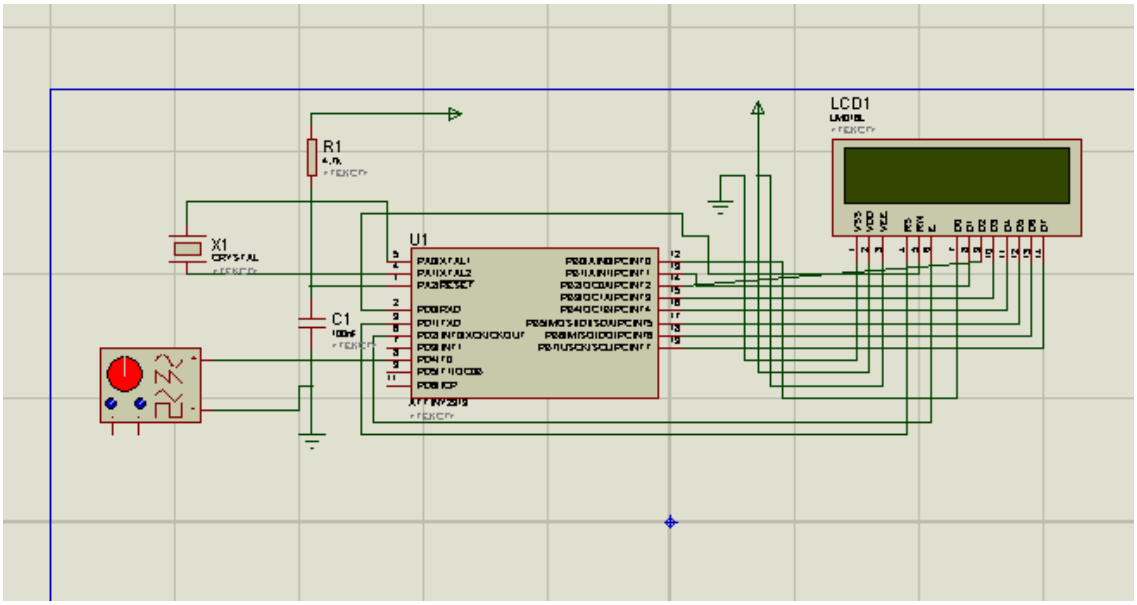


Рисунок 5.4 - Вигляд схеми для моделювання

Проведем моделювання пристрою в області частот нижче одного МГц.

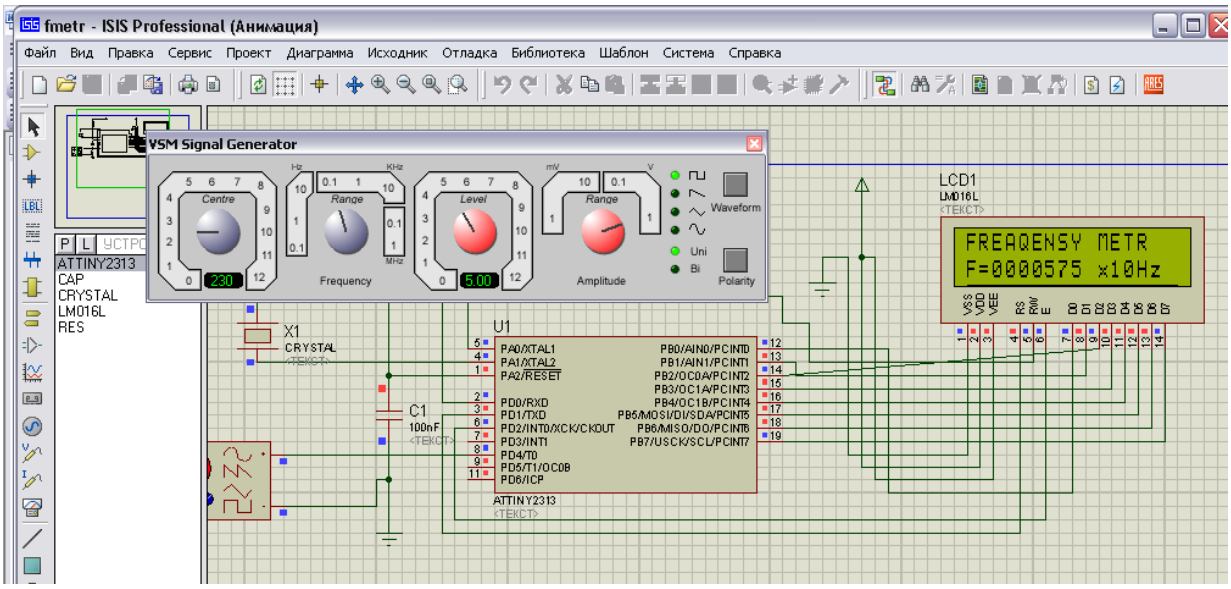


Рисунок 5.5 -Дослідження пристрою в області частот нижче одного МГц

Як видно цифрова частина частотоміра працює вірно. З показів індикатора видно, що керуюча програма для мікроконтролера написана вірно,

мікрокотролер вірно здійснює вибір діапазонів вимірювань, та коректне відображення результатів вимірювань.

В ході виконання моделювання було перевірено роботу аналогової та цифрової частини схеми мікроконтролерного частотоміра. Результати моделювання доводять правильність виконання розрахунків та розробки програмного забезпечення

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час дослідження частотоміра із програмним керуванням на працівника могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

– підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
– підвищений рівень шуму на робочому місці;
– підвищена чи понижена вологість повітря;
– підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
– підвищена чи понижена іонізація повітря;
– недостатня освітленість робочої зони;
– підвищена яскравість світла; понижена контрастність;
– пряма і відбита блисткість.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження та розумове перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо розробку заходів щодо безпечного виконання поставленого завдання.

6.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Вимоги щодо організації та обладнання робочих місць під час дослідження частотоміра із програмним керуванням: площа, відведена на одне робоче місце має становити не менше 6 кв. м., а об’єм – не менше 20 куб. м. Конструкція робочого місця повинна забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози (тобто такої, яка дозволяє працівникові виконувати роботу з мінімальним напруженням тіла, і яка дозволяє уникнути перевтоми в ході і після закінчення робочого процесу). Раціональна робоча поза має важливе значення для збереження здоров’я працівника, оскільки тривале перебування його в незручній і напруженій позі може призвести до таких захворювань, як сколіоз (викривлення хребта), варикозне розширення вен, плоскостопість тощо.

Установлено, що робота в зігнутому положенні збільшує затрати енергії на 20%, а при значному нахиленні — на 45% порівняно з прямим положенням корпуса [2].

За потреби особливої концентрації уваги під час виконання робіт суміжні робочі місця операторів необхідно відділяти одне від одного перегородками висотою 1,5 - 2 м.

Робочі місця слід розташовувати відносно джерела природного світла (вікон) таким чином, щоб світло падало збоку, переважно зліва. Також робоче місце має відповідати сучасним вимогам ергономіки:

– стіл повинен мати висоту поверхні 680 - 800 мм., ширину 600 - 1400 мм. і глибину 800 - 1000 мм. (такі параметри забезпечують можливість виконання операцій в зоні досяжності працівника);

– робочий стілець робочий стілець має бути підйомно-поворотним, з можливістю регулювання висоти, бажано зі стаціонарними або змінними підлікотниками і напівм'якою нековзкою поверхнею сидіння, що легко чиститься і не електризується;

– екран комп'ютера має розташовуватися на оптимальній відстані від користувача, що становить 600 – 700 мм., але не менше за 600 мм. з урахуванням літерно-цифрових знаків і символів.

Приміщення, де здійснювалося дослідження частотоміра із програмним керуванням за небезпекою ураження електричним струмом належить до приміщень без підвищеної небезпеки (сухе, мало запорошене, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів).

Персональні комп'ютери, периферійні пристрої, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники), електропроводи та кабелі за виконанням і ступенем захисту мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів. Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок

короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, застосовувати негорючу ізоляцію.

Лінія електромережі для живлення персональних комп'ютерів і периферійних пристроїв виконується як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Усі провідники відповідають номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту.

Заземлені конструкції, що знаходяться в приміщеннях, де розміщені робочі місця операторів (батареї опалення, водопровідні труби, кабелі із заземленим відкритим екраном), надійно захищені діелектричними щитками або сітками з метою недопущення потрапляння людини під напругу.

Персональні комп'ютери і периферійні пристрої підключаються до електромережі тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. У штепсельних з'єднаннях та електророзетках, крім контактів фазового та нульового робочого провідників, мають бути спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Їхня конструкція має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше, ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним.

6.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1. Мікроклімат

Стан повітря робочої зони у виробничому приміщенні називають мікрокліматом або метеорологічними умовами. Мікроклімат або метеорологічні умови виробничих приміщенні, визначаються за такими параметрами:

- температурою повітря у приміщенні, С;
- відносною вологістю повітря, %;
- рухливістю повітря, м/с;
- тепловим випромінюванням, Вт/м3.

Всі ці параметри поодинці, а також у комплексі впливають на фізіологічну функцію організму його терморегуляцію і визначають самопочуття.

Дослідження частотоміра із програмним керуванням за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [3]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії згідно ДСН 3.3.6.042-99 [4] наведені в табл.6.2.1.

Таблиця 6.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t,°C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для створення і автоматичної підтримки в приміщенні незалежно від зовнішніх умов допустимих значень температури, вологості, чистоти і швидкості руху повітря обладнані системами опалення та кондиціонування повітря. Систематично проводиться вологе прибирання.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

Оточуюче нас повітря (атмосфера) є найважливішим фактором забезпечення життя. В природних умовах повітря, як правило, не забруднене отруйними речовинами і життю людини не загрожує. Органи чутливості людини не дозволяють з достатньою точністю визначати якість повітря і запобігати загрозі отруєння.

В приміщенні, де здійснюється дослідження частотоміра із програмним керуванням, у повітрі можуть перевищувати ГДК такі речовини як вуглекислий газ, пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні через відкриті вікна та заноситься на одязі і взутті працівниками.

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщені, наведені в таблиці 6.2.2.

Таблиця 6.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м^3		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл..6.2.3).

Таблиця 6.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см^3	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації позитивних та негативних іонів необхідно передбачати установки або прилади зволоження або штучної іонізації, кондиціювання повітря.

6.2.3. Виробниче освітлення

Освітлення відіграє важливу роль у житті людини. Біля 90% інформації сприймається через зоровий канал, тому правильно виконане раціональне освітлення має важливе значення для виконання всіх видів робіт. Недостатня освітленість або її надмірна кількість знижують рівень збудженості центральної нервової системи і, природно, активність усіх життєвих процесів. Раціональне освітлення є важливим фактором загальної культури виробництва. Неможливо забезпечити чистоту та порядок у приміщені, в якому напівтемрява, світильники брудні або в занедбаному стані.

Приміщення, в яких встановлені персональні комп'ютери, повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [5]. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 6.2.4:

Таблиця 6.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, $e_н$, %			
						Штучне освітлення		Природнє освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Штучне освітлення в досліджуваному приміщенні здійснюється системою загального рівномірного освітлення. У разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення).

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

1) Максимальне використання бічного природного освітлення.

2) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.

3) Штучне освітлення в приміщенні забезпечується світильниками типу РСП08×250 (однолампові) з лампами ДРЛ-250.

6.2.4. Виробничий шум

Виробничий шум – це сукупність різних за гучністю і тоном звуків, які виникають у повітряному середовищі. В досліджуваному приміщенні наявний як постійний, так і непостійний шуми. Нормування непостійного шуму, а також орієнтовна оцінка загального рівня постійного шуму здійснюється скоректованим за частотою загальним рівнем звукового тиску – так званим рівнем звуку, який вимірюється в дБА за шкалою «А» шумоміра.

Непостійний шум характеризується еквівалентним рівнем звуку LA екв., що являє собою середньоквадратичний рівень звуку непостійного шуму, який має такий самий вплив на людину, як і постійний шум.

Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску не повинні перевищувати 50 дБА (табл.6.2.5).

Таблиця 6.2.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму (згідно ДСН 3.3.6.037-99 [6])

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньогеометричними частинами (Гц)									Допуст-мий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Рівень шуму в приміщенні не перевищує допустимих значень.

6.2.5. Виробничі випромінювання

Розрізняють природні та штучні джерела електромагнітних полів (ЕМП). У процесі еволюції біосфера постійно перебуває під впливом ЕМП природного походження (природний фон): електричне та магнітне поля Землі, космічні ЕМП, передусім ті, що генеруються Сонцем. У період науково-технічного прогресу людство створило і все ширше використовує штучні джерела ЕМП. У теперішній час ЕМП антропогенного походження значно перевищують природний фон і є тим несприятливим чинником, чий вплив на людину з року в рік зростає.

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих. Значення напруженості електромагнітних полів на робочих місцях з ВДТ мають відповідати нормативним значенням. Інтенсивність потоків інфрачервоного випромінювання має не перевищувати допустимих значень (табл.5.2.6).

Таблиця. 6.2.6 - Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань і електростатистичного поля

Види поля	Допустима поверхнева щільність потоку енергії, Вт/кв.м
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-С (220 — 280 мм)	0,001
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-В (280 — 320 мм)	0,01
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-А (320 — 400 мм)	10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в видимій частині спектру 400 — 760 мм	10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в інфрачервоній частині спектру 0,76 — 10,0 мкм	35,0 — 70,0
Напруженість електричного поля відеодисплейного терміналу	20кВ/м

Для дотримання наведених нормативів слід використовувати офісну техніку з сертифікатом якості та дотримуватися встановлених режимів праці та відпочинку з ПК.

6.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об’єкта, при якому з регламентованою ймовірністю відкидається можливість виникнення та розвиток пожежі, і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

З урахуванням ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [10] приміщення, де здійснюється дослідження частотоміра із програмним керуванням відноситься до категорії вибухопожежонебезпеки В (тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться, не відносяться до категорій А, Б і питома пожежне навантаження для твердих і рідких легкозаймистих та горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 $м^2$ кожна перевищує 180 МДж/$м^2$).

Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки – П-IIа (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали) [11].

6.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Усі заходи системи запобігання пожежі в приміщенні можна поділити на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні.

Організаційні заходи пожежної безпеки передбачають: організацію пожежної охорони на об’єкті, проведення навчань з питань пожежної безпеки (включаючи інструктажі та пожежно-технічні мінімуми), застосування наочних засобів протипожежної пропаганди та агітації, проведення перевірок, оглядів стану пожежної безпеки приміщень, будівель, об’єкта в цілому та ін.

До технічних заходів належать: суворе дотримання правил і норм, визначених чинними нормативними документами при реконструкції приміщень, будівель та об’єктів, технічному переоснащенні виробництва, експлуатації чи можливому переобладнанні електромереж, опалення, вентиляції, освітлення і т. ін.

Заходи режимного характеру передбачають заборону куріння та застосування відкритого вогню в недозволених місцях, недопущення появи сторонніх осіб у вибухонебезпечних приміщеннях чи об'єктах, регламентацію пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт тощо.

Експлуатаційні заходи охоплюють своєчасне проведення профілактичних оглядів, випробувань, ремонтів технологічного та допоміжного устаткування, а також інженерного господарства (електромереж, електроустановок, опалення, вентиляції)

6.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Система протипожежного захисту – це сукупність організаційних заходів а також технічних засобів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних чинників пожежі та обмеження матеріальних збитків від неї.

До основних засобів пожежогасіння, що використовуються в приміщеннях такого класу відносять вогнегасники, розміщення яких в приміщеннях позначається встановленим поруч вказівним знаком

Згідно категорії пожежовибухонебезпеки будівлі, класу приміщення і за вибухо- і пожежонебезпекою П-IIа та Наказу Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», в приміщенні має бути встановлено 2 порошкових або вуглекислотних вогнегасники із зарядом речовини від 3 до 5 кг. [12]

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам, але особливу увагу потрібно

звернути на утримання в справному стані засобів протипожежного захисту та своєчасне інформування пожежної охорони про несправність пожежної техніки, впровадження систем протипожежного захисту.

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі здійснено проектування програмованого частотоміра. Від існуючих приладів данний частотомір відрізняється можливістю дистанційного керування за допомогою персонального комп’ютера. Наявність послідовного інтерфейсу та простих команд керування дозволяє інтегрувати даний частотомір до різноманітнох інформаційно-вимірювальних систем.

У ході роботи над бакалаврською кваліфікаційною роботою було здійснено вибір структурної схеми т аобрано елементи для її реалізації. Проведено електричні розрахунки окремих вузлів пристрою.

Для розробки програмного забезпечення було здійснено розробку алгоритму роботи пристрою, який дозволить реалізувати усі функції пристролю задані у технічному завданні. Розроблено програмне забезпечення до мікроконтролера та графічний інтерфейс користувача для використання пристрою разом із персональним комп’ютером.

Також було проведено моделювання основних вузлів програмованого мікроконтролера. Результати моделювання підтверджують проведені розрахунки, вибір елементної бази та правильність роботи програмної частини.

У розділі охорони праці наведено основні вимоги для забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці для розробників та експлуатантів даного приладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Вознесенський А.С., Шкуратнік В.Л. Електроніка та вимірювальна техніка. М .: Гірська книга: Изд-во МДГУ, 2008. (5)

2 Гребньов В.В. Мікроконтролери сімейства AVR фірми Atmel.-М.: ІП Радио Софт, 2002.

3 Евстифеев А.В. Мікроконтролери AVR семества Tiny і Mega фірми "Atmel" - М .: Видавничий дім «Додека-XXI», 2004.

4 ІвлєвВ.І., БатинВ.В., БелянушкінА.В.[таін.] .Азбука фізики для студентів: навч. посібник. Саранськ: Вид-во мордою. ун-ту, 2014. (1)

5 Конструкторсько-технологічне проектування електронної апаратури: Підручник для вузів / К.І.Білібін, А.І.Власов і ін. За заг. ред. В.А.Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ ім М. Е. Баумана, 2002.

6 Основи використання цифрових мультиметрів. [Електронний ресурс] Код доступу: http://www.kipia.info/publication/multimetryi/

7 ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с.

8 НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop _0 _ 00-7_ 15-18_01_ua.php.

9 Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86

10 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972

11 ДБН В.2.5-28-20018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html

12 ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html

13 ДСНіП3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/ z0203-03.

14 ДСанПіН 3.3.6-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://zakon.nau.ua/doc/?code=z0203-03

15 НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ z0226-12.

16 ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

17 ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn _v.1.1-7-2002.pdf.

18 Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text.

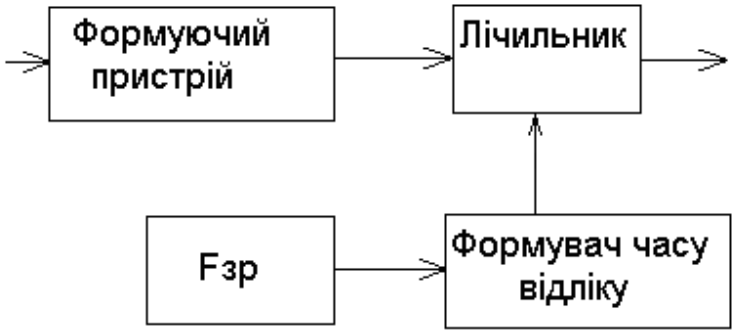
Додаток А

(обов’язковий)

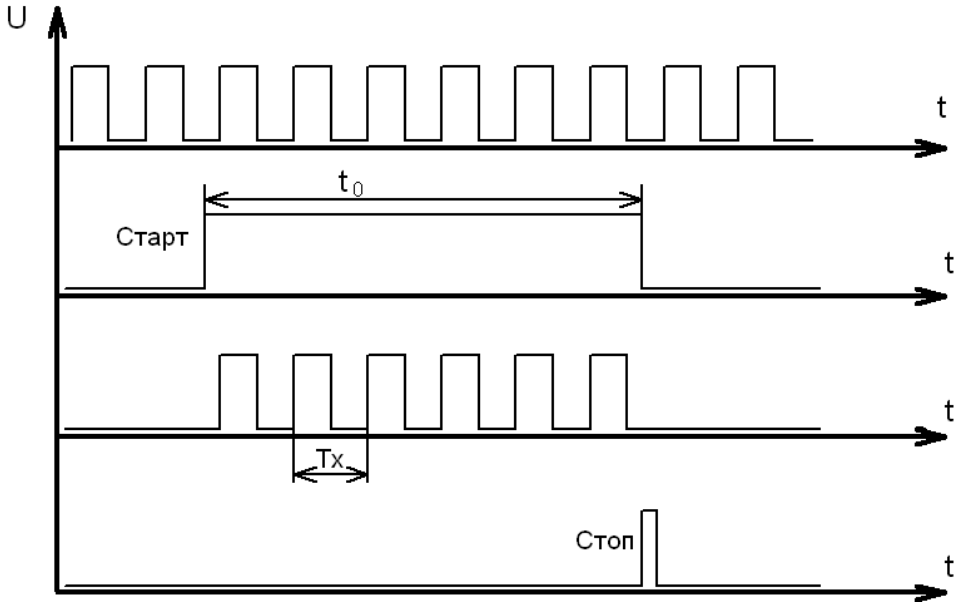
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТОМІРА ІЗ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

назва бакалаврської кваліфікаційної роботи

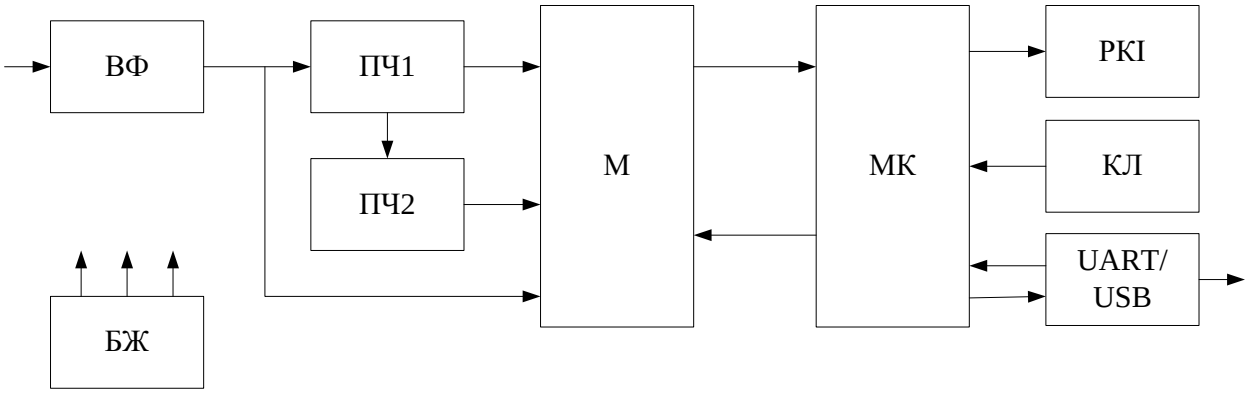


а)

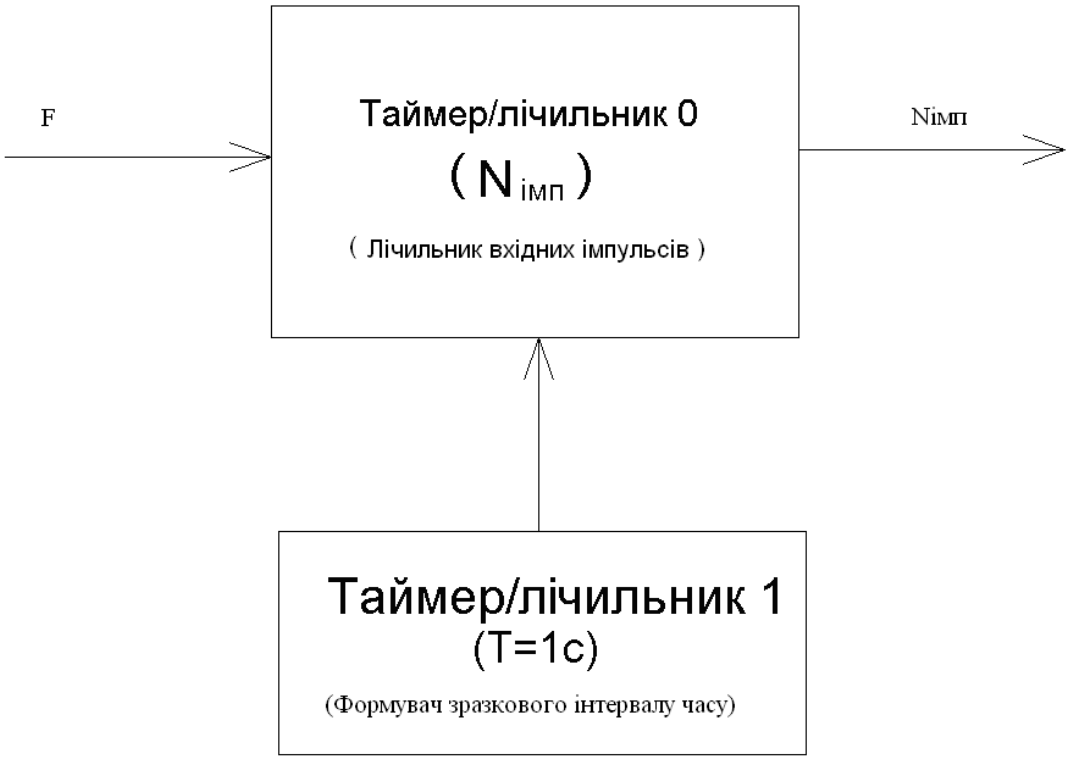


б)

Структурна схема(а) та принцип дії(б) цифрового частотоміра

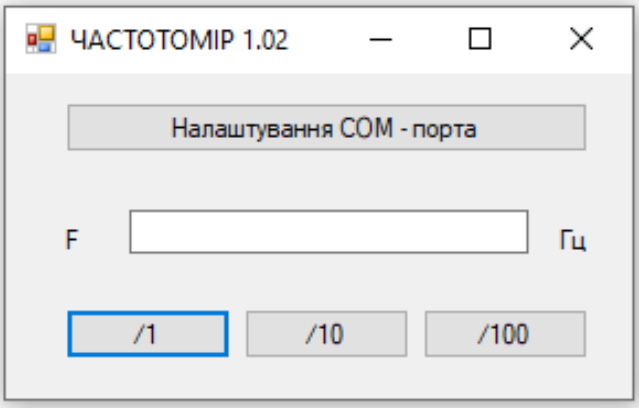


а)

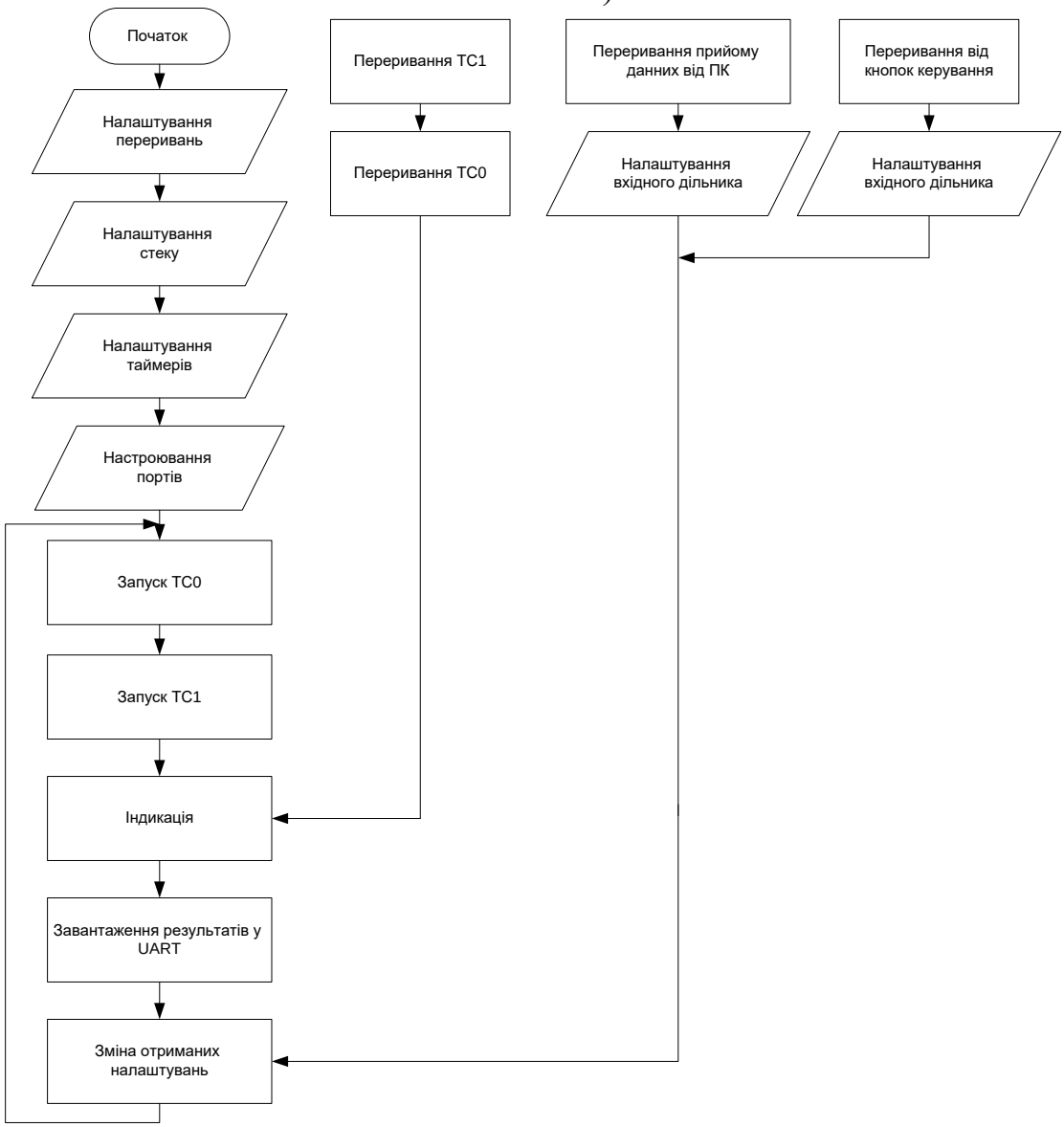


б)

Структурна схема(а) та конфігурація таймерів лічильників для реалізації частотоміра із програмним керуванням

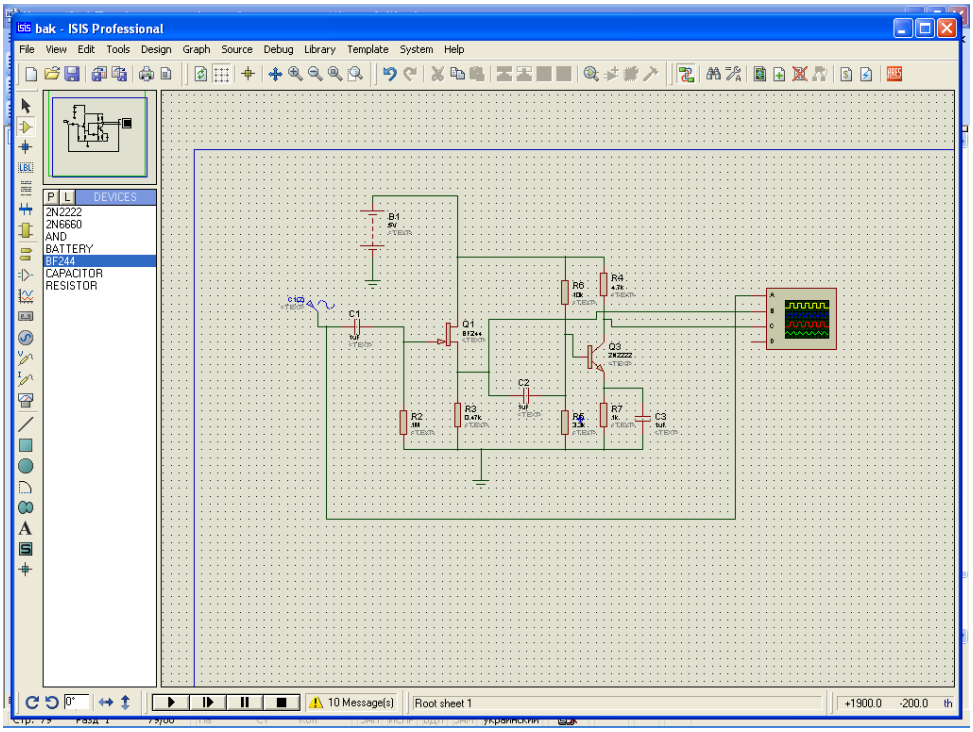


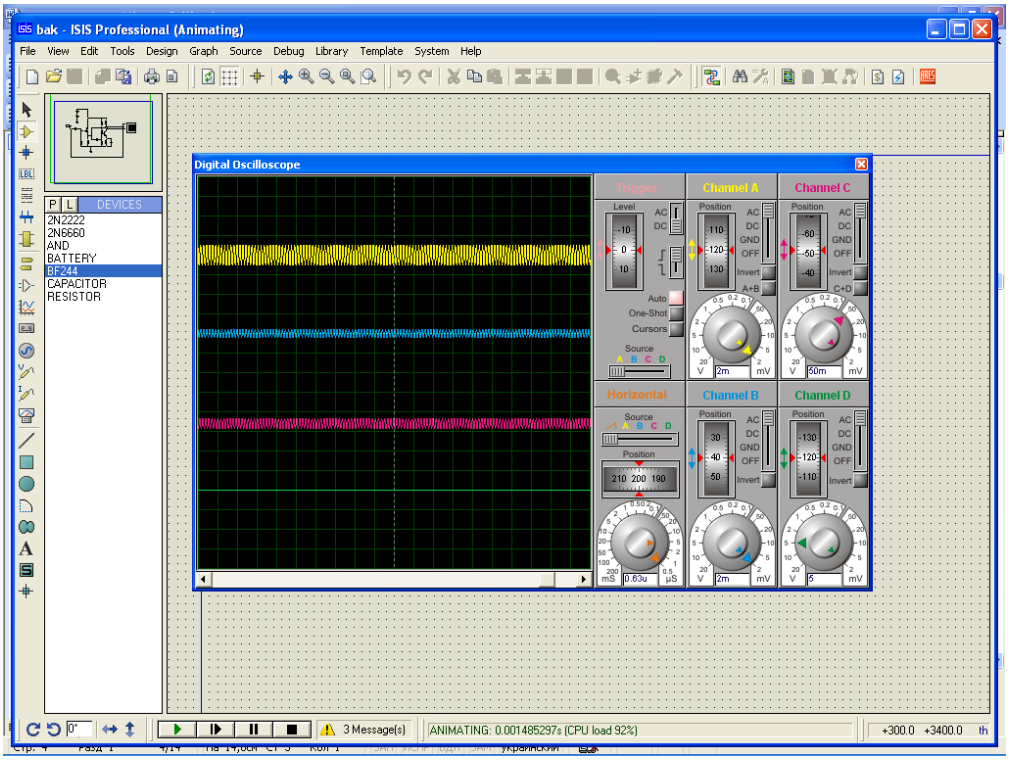
а)



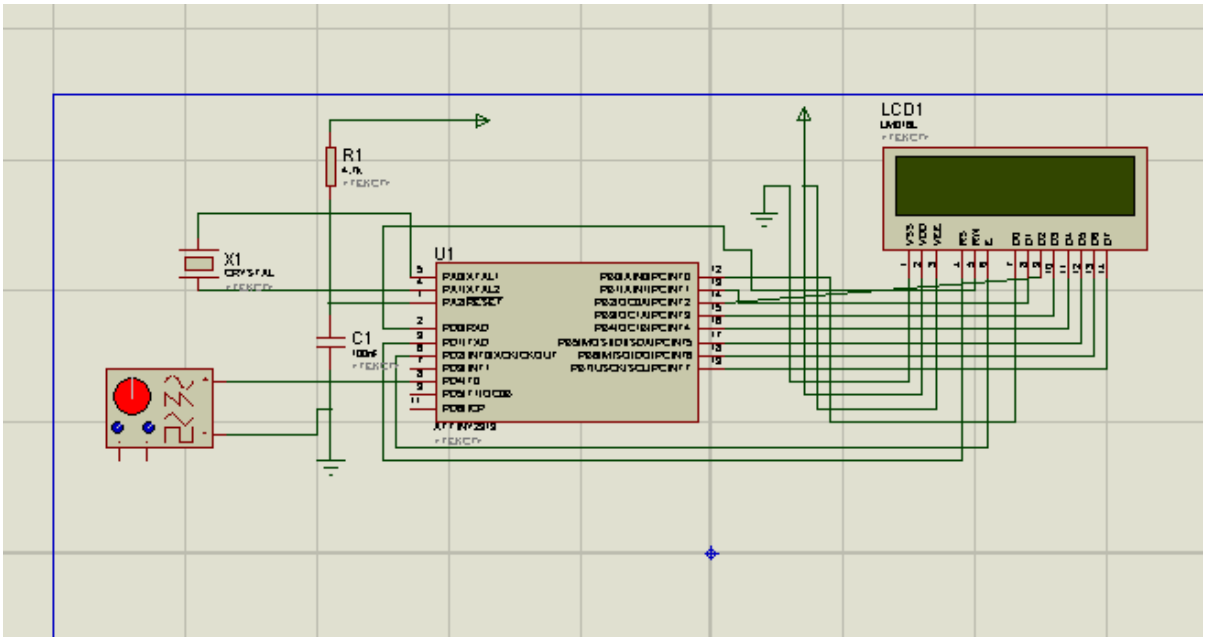
б)

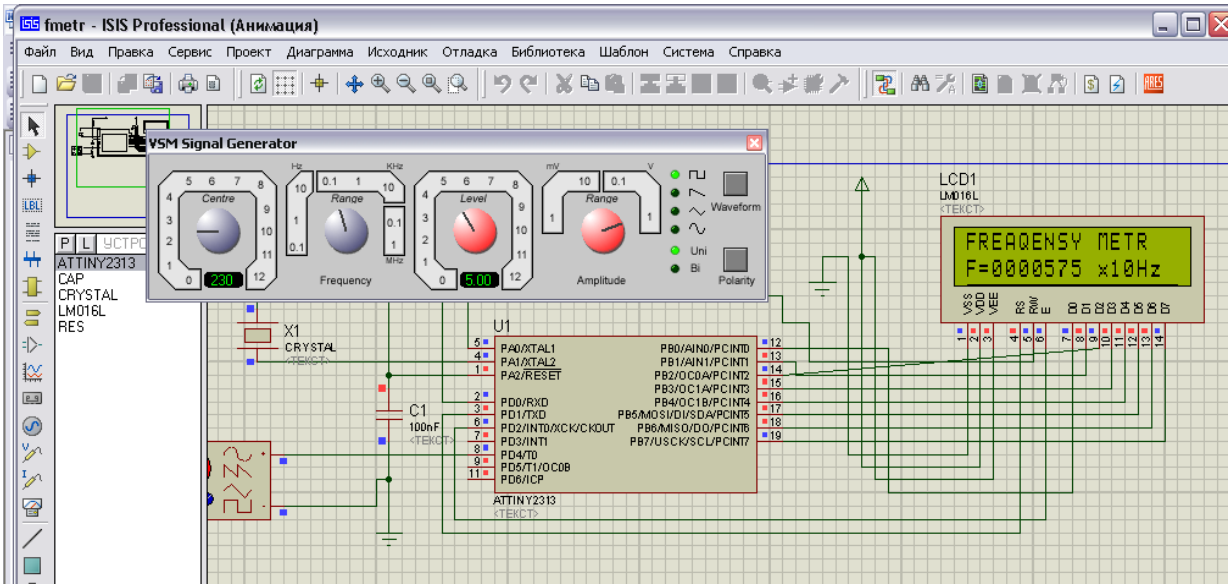
Графічний інтерфейс користувача(а) та алгоритм роботи частотоміра із програмним керуванням





Результати моделювання аналогової частини частотоміра із програмним керуванням





Результати моделювання цифрової частини частотоміра із програмним керуванням

Додаток Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Дослідження частотоміра із програмним керуванням

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ каф. ІКСТ ФІЕС гр. ПЗТ-21б

кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібностітекстових запозичень,виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 8,08 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☑ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату,фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Кичак В.М. завідувач каф. ІКСТ _____
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

Василківський М.В. гарант ОПП _____
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____ _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ Макогон В.І. ст. викладач каф. ІКСТ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____ Гура В.І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток В

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ЧАСТОТОМІРА ІЗ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

```
//*********************************************************************
********
//
//  Author(s)...: GURA V
//
//  Target(s)...: ATTINNY2313
//
//  Compiler....: IAR 5.11A
//
//  Description.:  Проект частотоміра .
//
//  Data.......: 13.02.2025
//
//*********************************************************************
********
#include <ioavr.h>
#include <intrinsics.h>
#include "lcd_lib.h"
#include "bcd.h"

//макроси для работи з бітами
#define ClearBit(reg, bit)       reg &= (~(1<<(bit)))
#define SetBit(reg, bit)         reg |= (1<<(bit))

#define _delay_ms(ms)   __delay_cycles((F_CPU / 1000) * (ms));
#define _delay_us(us)     __delay_cycles((F_CPU / 1000000) * (us));


volatile unsigned long n = 0;
unsigned char k;
volatile unsigned long m=0;
__flash unsigned char text[] = "PERIOD";


//обробник  переривання таймера T0
#pragma vector = TIMER0_OVF0_vect
__interrupt void Timer0CompVect(void)
{
  n=n+256;
}
```

```
//обробник переривання таймера T1
#pragma vector = TIMER1_COMPA_vect
__interrupt void Timer1CompVect(void)
{
  TCCR0B=0x00;
  TCCR1B=0x00;
  k=TCNT0;
  m=n+k;
  n=0;
  TCNT0=0;

  TCNT1H=0x00;
  TCNT1L=0x00;

 // TCCR1B=0x05;
 // TCCR0B=0x07;
}

int main( void )
{

  // Declare your local variables here

// Crystal Oscillator division factor: 1

CLKPR=0x80;
CLKPR=0x00;


// Port B initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out
Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTB=0x00;
DDRB=0xFF;

// Port D initialization
// Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State6=P State5=P State4=P State3=P State2=0 State1=0 State0=0
PORTD=0x78;
DDRD=0x07;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: T0 pin Rising Edge
// Mode: Normal top=FFh
```

```
// OC0A output: Disconnected
// OC0B output: Disconnected
TCCR0A=0x00;
TCCR0B=0x07;
TCNT0=0x00;
OCR0A=0x00;
OCR0B=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 19.531 kHz
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: On
// Compare A Match Interrupt: On
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x05;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x4C;
OCR1AL=0x4B;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// Interrupt on any change on pins PCINT0-7: Off
GIMSK=0x00;
MCUCR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x4A;

// Universal Serial Interface initialization
// Mode: Disabled
// Clock source: Register & Counter=no clk.
// USI Counter Overflow Interrupt: Off
```

```
USICR=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;

// Global enable interrupts

 __enable_interrupt();

   while(1)
 {
  LCD_Init();
 // LCD_Goto(0,1);
 // LCD_SendStringFlash(text);
  //LCD_SendString("string_string");
  LCD_Goto(0,0);
  LCD_SendStringFlash(text);

  LCD_Goto(0,1);
  LCD_WriteData('P');
  LCD_WriteData('=');
  //LCD_SendStringFlash('F=');
  BCD_7IntLcd(m);
  m=0;
  //BCD_7IntLcd(1002);
  LCD_WriteData(' ');
 // LCD_WriteData('x');
 // LCD_WriteData('1');
 // LCD_WriteData('0');
  LCD_WriteData('m');
  LCD_WriteData('s');


  TCCR1B=0x05;
  TCCR0B=0x07;
  __delay_cycles(20000000);

 }

}

 /* while(1)
  {
```

```
 LCD_Goto(0,1);
 LcdSendData(1);
 LcdSendData(2);
 LcdSendData (3);



  _delay_ms(2000);
}
return 0;*/
```