

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроніки та комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

_____ (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

зі спеціальності 171 Електроніка

освітньої програми "Електронні системи та компоненти"

на тему: «Пристрій вимірювання періоду і частоти сигналу»

Здобувача групи ЕС-91 Шаповалова Даніїла Олександровича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Даніїл Шаповалов

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник старший викладач, к.т.н. Олексій Горячев

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Суми – 2023

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

Сумський Державний Університет
Факультет _____ ЕЛІТ _____ Кафедра _____ ЕКТ _____
Спеціальність _____ Електроніка _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри Опанасюк А.С.

«_____» _____ 20__ р.

Завдання на дипломний проект студентів

Шаповалов Даніїл Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Пристрій вимірювання періоду і частоти сигналу

затверджено наказом по інституту від «30» березня 2023р. № 0310 - VI

2. Термін здачі студентом закінченого проекту 05.06.2023

3. Вихідні дані до проекту що дозволяє вимірювати Діапазон вимірюваних частот електричних коливань 1 Гц – 50 МГц, амплітуда сигналу до 10 В, керування пристроєм виконується мікроконтролером

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) огляд літератури та поставлення задачі проекту, вибір та обґрунтування алгоритму функціонування та схеми структурної пристрою, розробка функціональних блоків пристрою, вибір елементної бази та розробка схеми електричної, розробка програмного забезпечення

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схема електрична структурна, Схема алгоритму, Схема електрична функціональна, Схема електрична принципова

Календарний план

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літератури та постановка задачі розробки	10.04.2023	
2	Розробка алгоритму та структурної схеми	24.04.2023	
3	Розробка схеми функціональної	8.05.2023	
4	Вибір елементної бази та розробка схеми електричної принципової	15.05.2023	
5	Розробка програмного забезпечення	22.05.2023	
6	Представлення роботи керівнику	29.05.2023	

Студент-дипломник Шаповалов Даніїл Олександрович

Керівник проекту Горячев Олексій Євгенійович

« _____ » _____ 20__ р.

РЕФЕРАТ

Тема дипломного проекту: «Пристрій вимірювання періоду і частоти сигналу». Дипломний проект складається з 4 розділів, розділи у свою чергу розбиті на окремі підрозділи. Робота містить 47 сторінок. Робота включає у себе схему алгоритму, структурну схему системи, електричну функціональну схему, електричну принципову схему. При написанні роботи було опрацьовано 8 джерел.

У першому розділі дипломного проекту був зроблений огляд актуальних методів вимірювання частоти і періоду сигналу. Обрано напрямок проектування, основні вимоги до проектуваного пристрою. Поставлена задача проектування.

У другому розділі зроблений вибір й обґрунтування алгоритму функціонування проектуваного пристрою, розроблена структурна схема пристрою вимірювання періоду і частоти сигналу.

У третьому розділі була розроблена функціональна схема, на основі якої була побудована схема електрична принципова. Був виконаний вибір та розрахунок необхідних елементів пристрою.

У четвертому розділі описується розробка програмного забезпечення пристрою, яке приведено у додатку роботи. Зроблені висновки по виконаній роботі.

Ключові слова: ВИМІРЮВАННЯ, ЧАСТОТА, МІКРОКОНТРОЛЕР

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	5
1.1 Методи вимірювання частоти та періоду сигналу	6
1.2 Постановка задачі проектування.....	14
2. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИБОРУ.....	15
2.1 Розробка алгоритму функціонування проектного пристрою.....	15
2.2 Розробка структурної схеми проектного пристрою.....	19
3. РОЗРОБЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ВУЗЛІВ І БЛОКІВ ПРИБОРУ.....	22
3.1 Розробка функціональної схеми проектного пристрою.....	22
3.2 Вибір та розрахунок елементної бази.....	24
3.3 Опис мікроконтролера.....	25
3.4 Опис компаратора.....	28
3.5 Розрахунок навантажувальних резисторів.....	29
3.6 Опис роботи пристрою.....	31
4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	33
ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	36
ДОДАТОК А.....	37

					<i>ЕлІТ 6.171.00.02.398 ПЗ</i>					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пристрій вимірювання періоду і частоти сигналу СумДУ гр. ЕС-91					
Розроб.		Шоповалов Д.О.								
Перевір.		Горячев О.Є.								
Реценз.										
Н. Контр.		Горячев О.Є.								
Затверж.		Опанасюк А.С.			Лит.	Аркуш	Аркушів			
							2	44		

ВСТУП

Частотоміри та періодоміри є незамінними вимірювальними приладами у багатьох галузях виробництва та у радіоаматорській практиці. Нині використовуються як цифрові, і аналогові методи вимірювання частоти. Кожен метод має свої переваги та недоліки. У цифрових приборах підраховують кількість періодів вимірюваної частоти за одиницю часу за допомогою лічильника, показання якого виводяться потім на цифровий індикатор. В аналоговій апаратурі сигналу вимірюваної частоти спочатку формують імпульси струму або напруги, амплітуда н форма яких незмінні, а потім вимірюють постійну складову струму або напруги цих імпульсів стрілочним приладом магнітоелектричної системи. Постійна складова прямо пропорційна частоті імпульсів, тому можна користуватися рівномірною (лінійною) шкалою вимірювального приладу.

Цифрова електроніка – один з найперспективніших напрямків у сучасній електроніці, у науці, виробництві і в навчальному процесі. Без неї немислимий подальший науково-технічний прогрес. Перевагою цифрових пристроїв, порівняно з аналоговими, є велика точність і швидкість виконання різних операцій, висока надійність, а також мале споживання електроенергії та мінімізація розмірів самих пристроїв через використання в них інтегральних мікросхем різного ступеня інтеграції.

В наш час все частіше в якості керуючого блоку електронних пристроїв і систем будь-якого призначення використовуються мікроконтролери. Вимірювальні пристрої в цьому не є виключенням. Мікроконтролери дозволяють створювати складні і ефективні системи і пристрої управління, що призначені для збору, обробки і зберігання будь-якої вимірювальної інформації. На відміну від звичайних мікропроцесорів, які потребують для роботи наявності додаткових зовнішніх інтерфейсних схем, в мікросхемі мікроконтролерів інтегровані пристрої вводу-виводу, таймери, генератори, аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі та інші периферійні пристрої. Використання в сучасних

					ЕЛІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

мікроконтролерах потужного обчислювального пристрою, побудованого на одній мікросхемі значно знижує розміри, енергоспоживання і вартість побудованих на його базі пристроїв. Основні витрати, пов'язані з побудовою системи керування пристрою, при використанні мікроконтролера вдається перенести, з апаратної в програмну область розробки. Програмування мікроконтролерів зазвичай здійснюється мовою асемблера або Сі, хоча існують компілятори для інших мов. Використання мови низького рівня пов'язано з необхідністю зменшувати час реакції пристрою на зовнішні сигнали і виконання процедури обробки інформації, а також розмір програмного коду.

Метою даного курсового проекту є проектування цифрового частотоміра з мікроконтролерним керуванням, що дозволяє вимірювати частоту електричних коливань від одиниць герц до 50 МГц, і амплітудою від 0,15 до 10 В з веденням рахунку числа імпульсів вхідного досліджуваного сигналу.

					<i>ЕліТ 6.171.00.02.398 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Серед пристроїв вимірювання частоти, що використовуються в наш час цифрові частотоміри забезпечують більш високу точність вимірювання, проте аналогові частотоміри істотно простіше, дешевше та доступніше цифрових. У деяких випадках, наприклад, при плавному підстроюванні частоти, стежити за показаннями цифрового частотоміру незручно, тоді як аналоговий частотомір дозволяє спостерігати динаміку процесу.

Основним недоліком більшості конструкцій аналогових частотомірів є зростання абсолютної похибки виміру при розширенні частотного діапазону у бік високих частот. Так, на базі стрілочного приладу класу точності 1.0, шкала якого має 100 поділів, можна виготовити частотомір, що володіє в діапазоні 0-10 кГц похибкою вимірювання 100 Гц, але в діапазоні 0.10 МГц той же частотомір матиме похибку, вже в 10 тобто 100 кГц [2]. Клас точності приладу змушує нас обмежуватися при відліку частоти лише двома вірними цифрами, що набагато гірше, ніж у цифрових частотомірів. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати перетворення частоти, замінюючи вимір невідомої частоти виміром різниці між нею та близькою до неї опорною частотою. Таке рішення, однак, призводить до значного ускладнення конструкції частотоміра. У ньому з'являються селектор гармонік опорної частоти, перетворювачі частоти та фільтри нижніх частот. Всі ці вузли містять моточні вироби та потребують налаштування. При цьому стрілочний прилад необхідно градуювати заново. При переході з одного піддіапазону на інший вимірювальний прилад зазнає значних струмових навантажень [2,3].

Для вибору і обґрунтування алгоритму роботи та структурної схеми проектованого пристрою розглянемо далі актуальні методи вимірювання частоти та періоду сигналу.

					ЕлІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1.1 Методи вимірювання частоти та періоду сигналу

Найбільш поширеними на практиці методами вимірювання частоти та періоду сигналу є:

- метод перезарядження конденсатора;
- методи порівняння:
 - осцилографічний;
 - резонансний метод;
 - гетеродинний метод;
- метод дискретного рахунку.

На основі методів перезаряду конденсатора та дискретного рахунку створені прямопоказуючі прилади частотоміри. Методи порівняння є трудомісткими, вимагають обробки отриманих даних та використовуються в основному для градуювання генераторів різних вимірювальних приладів. Для реалізації необхідний зразковий генератор вищої точності і пристрій порівняння (звірення) частот [2-4].

Допустима похибка визначається застосуванням методом і полягає в межах:

- від 1 до 2 % при вимірі методом перезарядження конденсатора;
- від 10^{-4} до 10^{-8} - при вимірі методами порівняння;
- 10^{-8} і менше – при вимірі методом дискретного рахунку.

Розглянемо докладніше перелічені вище методи.

1.1.1 Метод заряду та розряду конденсатора

Використання методу заряду та розряду конденсатора дозволяє створювати прості в експлуатації та недорогі частотоміри, що працюють у діапазоні 0,02...1 МГц, але мають порівняно невисоку точність. Їхня відносна наведена похибка може досягати 5%. Принцип дії конденсаторного частотоміра може бути пояснений за допомогою схеми на рис. 1.1 [3].

					ЕлІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

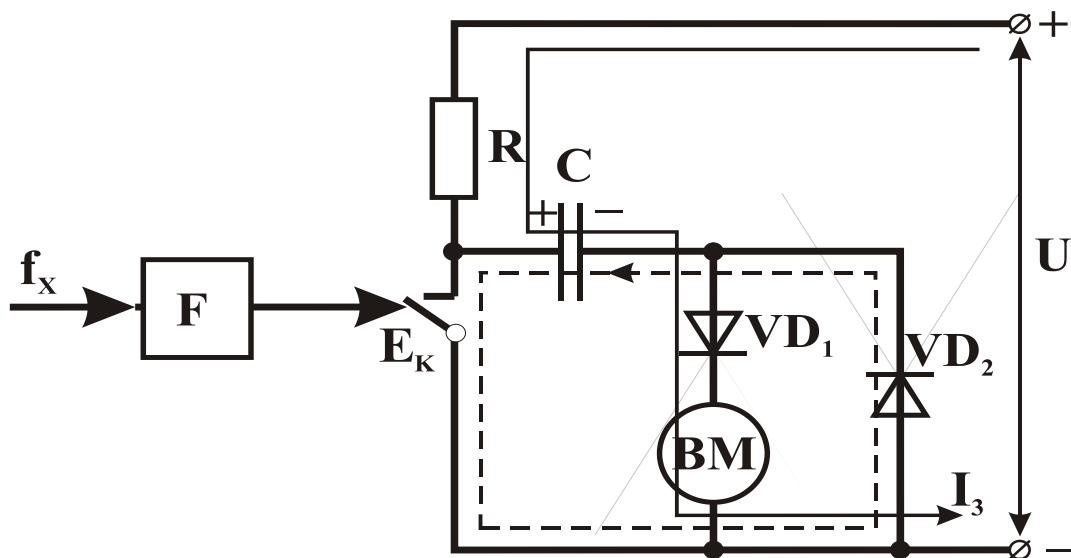


Рисунок 1.1. Конденсаторний частотомір

Вхідний періодичний сигнал будь-якої форми невідомої частоти f_x перетворюється за допомогою перетворювача імпульсний керуючий сигнал E_k типу меандр, що має ту ж частоту. Сигнал E_k керує перемикачем: при позитивній полярності перемикач замкнутий, при негативній - розімкнутий. При замкнутому положенні перемикача відбувається заряд ємності зі струмом I_3 , що протікає через діод VD_1 . При розімкнутому ключі дана ємність розряджається струмом I_p , що протікає через діод VD_2 , вимірювальний прилад BM і опір R [3].

Неодмінною умовою роботи частотоміра є вимога того, щоб ємність протягом зарядного часу встигла повністю зарядитися до деякого постійного значення E , а при розряді напруга на ємності практично ставалі нульовою. Тоді максимальне значення розрядного струму I_p залишатиметься незмінним I_{max} , час розряду постійним. При цьому середнє значення струму, що протікає через вимірювальний пристрій, визначиться формулою:

$$I_{cp} = (1/T_x) \int_0^{\tau} I_{max} dt$$

Звідси Покази вимірювального приладу будуть пропорційними частоті $f_x = 1/T_x$, отже

$$I_{cp} = f_x \cdot I_{max} \cdot \tau.$$

Даний метод в даний час використовується вкрай рідко через досить низьку точність і обмеженість діапазону вимірювання частоти.

1.1.2 Вимірювання частоти методами порівняння

Осцилографічний метод вимірювання частоти [4].

Використання осцилографа як пристрій порівняння дозволяє реалізувати такі методи вимірювання частоти:

- визначення частоти шляхом інтерференційних форм (фігур Ліссажу);
- визначення інтервалів часу (періоду, тривалості імпульсу тощо) з використанням каліброваної розгортки осцилографа;
- визначення частоти за допомогою міток яскравості на круговій розгортці.

Похибка вимірювання інтервалу часу за допомогою осцилографа викликана нелінійністю його розгортки та похибками відліку початку та кінця інтервалу.

При лінійній розгортці сигнал частоти f_x порівнюється з частотою міток калібратора тривалістю f . Вимірювання проводиться наступним чином. Напруга з частотою f_x подається на вхід Y , а напруга виходу калібратора тривалості - канал Z (на модулятор трубки) при увімкненому генераторі розгортки. На екрані встановлюють кілька періодів вимірюваної частоти і регулюють частоту міток так, щоб їх зображення потрапляло в одну й ту саму точку кожного періоду. У цьому випадку вимірювана частота:

$f_x = f / n$ (n – число міток, що знаходяться у межах періоду досліджуваного напруги).

Синусоїдальна розгортка має місце в тому випадку, якщо внутрішній генератор розгортки вимкнений. Напруга зразкової частоти подається в канал X , а невідомої частоти – в канал Y . Змінюючи еталонну частоту, домагаються

отримання осцилограми у вигляді фігури Лісажу, що буде нерухомою або повільно переміщатися. При рівності чи кратності частот фігура буде нерухомою, і якщо вона обертається, то швидкість обертання чи повторення її форми характеризує нерівність частот:

$$\Delta f_x = f_e - f_x = n / T,$$

n – кількість обертань за інтервал часу спостереження.

Метод синусоїдальної розгортки застосовується при кратності частот до 10. За більшої кратності фігури виходять складними і важко підрахувати кількість їх перетинів із прямими лініями. Метод застосовний у діапазоні частот від 10 Гц до 20 МГц. Діапазон частот в основному визначається частотними властивостями осцилографа або ЕПТ при прямій подачі напруги на її пластини.

Третій метод реалізується за умови, що невідома частота f_x більша за зразкову f_0 . Кругова розгортка створюється при підведенні до входів Y і X осцилографа гармонійних сигналів зразкової частоти, взаємно зрушених по фазі на 90° . Подаючи гармонійний сигнал з частотою f_x , що вимірюється, на вхід Z модуляції яскравості променя осцилографа і регулюючи частоту f_0 , можна отримати практично нерухому модульовану по яскравості кругову розгортку. Якщо N – число яскравих дуг (або темних проміжків) на круговій розгортці, то частота $f_x = N \cdot f_0$.

Усі три перераховані методи мають невисоку точність (відносна похибка вимірювань становить порядку 1%...5%). Верхня межа діапазону вимірюваних частот визначається параметрами осцилографа і більшості з них не може перевищувати 300 МГц [4].

Резонансний метод вимірювання частоти.

Сутність резонансного методу полягає у порівнянні вимірюваної частоти f_x з власною резонансною частотою f_p градуйованого коливального контуру або резонатора. Зазвичай цей метод застосовується в діапазоні НВЧ, але може використовуватися і в діапазоні ВЧ. Узагальнена структурна схема резонансного частотоміра наведено на рис. 1.2 [5].

					ЕЛІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

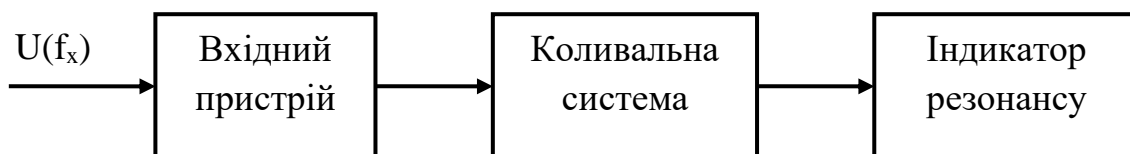


Рисунок 1.2. Узагальнена структурна схема резонансного частотоміра

Коливальна система збуджується сигналом джерела вимірюваної частоти $U(f_x)$ через вхідний пристрій. Інтенсивність коливань у коливальній системі різко зростає в останній момент резонансу, тобто. при $f_x = f_p$. Даний момент фіксується за допомогою індикатора резонансу, пов'язаного з коливальною системою, і значення частоти f_x , що вимірюється, зчитується з градуйованої шкали механізму налаштування.

В якості коливальної системи на частотах до сотень МГц використовуються коливальні контури; на частотах до 1 ГГц – контури з розподіленими постійними типами відрізків коаксіальної лінії; на частотах, що перевищують 1 ГГц – об'ємні резонатори [5].

Резонансні частотоміри найбільш широке застосування отримали при технічному обслуговуванні радіоелектронної апаратури, коли істотну роль відіграють такі якості контролю її параметрів, як простота, надійність, відносна дешевизна. Маючи вказані властивості, резонансні частотоміри використовуються при періодичному контролі параметрів засобів радіолокації, радіонавігації, апаратури зв'язку. У зв'язку з розвитком електронно-лічильних частотомірів резонансні частотоміри поступово витісняються зі сфери експлуатації. Проте на сьогодні є досить велика номенклатура цих приладів [5].

Гетеродинний метод вимірювання частоти.

Гетеродинний метод є одним із різновидів методів порівняння вимірюваної частоти f_x з частотою еталонного генератора $f_{кв}$ (аналог методу нульового биття); як останній використовується гетеродин. Спрощена структурна схема гетеродинного частотоміра представлена на рис. 1.3. Вона містить: вхідний

пристрій, кварцовий генератор, змішувач, гетеродин, підсилювач низької частоти та індикатор (нульового биття) [2,5].

Дія гетеродинного частотоміра зводиться до наступного простого принципу: при перемиканні ключа До положення 1 проводиться коригування шкали гетеродина; при положенні 2 - Вимірювання частоти, що подається на вхідний пристрій.

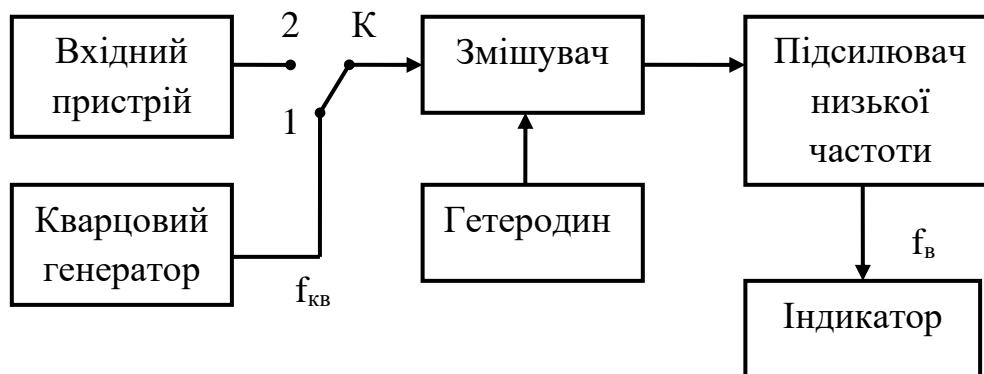


Рисунок 1.3. Спрощена структурна схема гетеродинного частотоміра

Коригування шкали гетеродина (ключ К знаходиться в положенні 1) здійснюється безпосередньо перед проведенням вимірювання за допомогою додаткового кварцового генератора. Сигнал, що надходить з кварцового генератора, має складну форму і містить ряд гармонійних складових з кратними частотами: $f_{кв1}, f_{кв2}, \dots, f_{кві}, \dots, f_{квп}$ де i - номер гармоніки. Частоти цих гармонік кварцового генератора називаються кварцовими точками.

При вимірюваннях відліковий лімб гетеродина встановлюють у положення, що відповідає найближчій до вимірюваної частоти f_x кварцовій точці (приблизне значення частоти, що вимірюється, повинно бути відомо інакше процес вимірювання дуже ускладнюється). Оскільки вимірюваний та гетеродинний сигнали надходять на змішувач, на його виході виникають коливання із сумарними, різницевиими та комбінаційними частотами. Індикаторний прилад фіксує наявність сигналу биття на мінімальній частоті різниці:

$$f_{\delta} = |f_{\text{кві}} - f_{\Gamma}| .$$

Даний сигнал проходить через підсилювач низької частоти, а високочастотні складові, які у результаті змішування частот кварцового генератора і гетеродина, через підсилювач низької частоти не проходять. Змінюючи ємність у контурі гетеродина, одержують нульові биття, отже частота гетеродина стає рівною частоті кварцової гармоніки $f_{\text{кві}} \approx f_{\Gamma}$.

Після цього приступають до вимірювання невідомої частоти f_x переводячи ключ К у положення 2. Обертаючи відліковий лімб гетеродина, досягають нульового биття і за відкоригованою шкалою гетеродина визначають значення частоти $f_x \approx f_{\Gamma}$.

1.1.3 Цифровий метод вимірювання частоти

Цифровий метод вимірювання частоти (метод дискретного рахунку) реалізований у цифрових частотомірах. Дані прилади зручні в експлуатації, мають широкий діапазон вимірюваних частот (від декількох герц до сотень мегагерц) і дозволяють отримати результат вимірювання з високою точністю (відносна похибка вимірювання частоти $10^{-6} - 10^{-9}$). Як зазначалося, цифрові частотоміри є багатофункціональними приладами. Залежно від режиму їх роботи можна проводити вимірювання не тільки частоти та відношення двох частот, але й інтервалів часу, тобто періоду проходження періодичних сигналів та інтервалу, заданого часовим положенням двох імпульсів [2-6].

Принцип вимірювання частоти гармонійного сигналу цифровим способом пояснює рис. 1.4, де наведено структурну схему цифрового частотоміра в режимі вимірювання частоти.

Досліджуваний гармонічний сигнал, що має частоту f_x , подається на вхідний пристрій, що підсилює або послаблює його до значення, необхідного для роботи наступного блоку частотоміра.

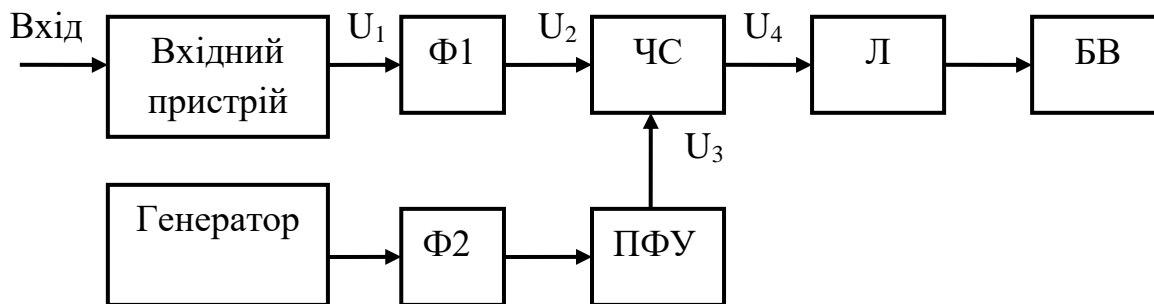


Рисунок 1.4. Цифровий частотомір у режимі вимірювання частоти

З виходу вхідного пристрою знімається гармонійний сигнал U_1 , що далі надходить на перший формувач імпульсів (Ф1). Формувач перетворює його в послідовність коротких однополярних імпульсів U_2 з періодом $T = 1 / f_x$ і званих лічильними. Причому передні фронти цих імпульсів практично збігаються з моментами переходу сигналу U_1 через нульове значення осі часу при його зростанні. Формувач Ф1 складається з підсилювача-обмежувача та компаратора (тригера Шмітта).

Лічильні імпульси U_2 надходять на один із входів часового селектора (ЧС), на другий вхід якого від пристрою формування та управління (ПФУ) подається строб-імпульс U_3 прямокутної форми та каліброваної тривалості $T_0 > T_x$. Інтервал часу T_0 називається часом рахунку. Часовий селектор відкривається строб-імпульсом U_3 і протягом його тривалості пропускає групу (пакет) імпульсів U_2 на вхід лічильника (Л). У результаті лічильник отримує пакет з N_x імпульсів U_4 . З цього:

$$T_0 = N_x \cdot T_x - \Delta t_n + \Delta t_k = N_x \cdot T_x - \Delta t_d,$$

де Δt_n і Δt_k – похибки дискретизації початку і кінця інтервалу T_0 викликані випадковим положенням строб-імпульсу щодо лічильних імпульсів u_2 ;

$$\Delta t_d = \Delta t_n - \Delta t_k - \text{загальна похибка дискретизації.}$$

Нехтуючи похибкою Δt_d , отримуємо, що число імпульсів у пакеті

$$N_x = T_0 / T_x = T_0 \cdot f_x.$$

Отже, частота, що вимірюється, пропорційна числу рахункових імпульсів, що надходять на лічильник.

1.2 Постановка задачі проектування

Метою дипломного проекту визначено розробку на основі завдання на проектування пристрою вимірювання частоти (періоду) періодичного сигналу. Цей пристрій повинен забезпечувати виконання наступних вимог:

- реалізація вимірювального блоку на мікроконтролері;
- вимірювана частота електричних коливань до 50 МГц (відповідно, граничний період коливань буде досягати 20нс), і амплітудою від 0,15 до 10 В;
- похибка вимірювання повинна становити не більше ніж 10^{-6} ;

Також серед якостей пристрою, виконанню яких при проектуванні приділятиметься увага, слід виділити:

- простота схеми;
- довговічність;
- мінімальний нагрів компонентів;
- низьке енергоспоживання.

Для побудови проектованого пристрою з урахуванням зазначених вимог з буде використовуватися цифровий метод вимірювання частоти на основі рахунку кількості лічильних імпульсів за період вхідного досліджуваного сигналу.

					ЕЛІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

2. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

2.1 Розробка алгоритму функціонування проектного пристрою

У цифровій електроніці поширені дві схеми, що дозволяють вимірювати частоту та період сигналу на основі підрахунку числа імпульсів за зразковий період часу. Ці схеми мають такі назви: частотомір середніх значень і частотомір миттєвих значень. Обидві ці схеми мають певні обмеження для їх застосування, пов'язані з наявністю похибки, яка по-різному поводить себе залежно від значення частоти, що вимірюється. Для розробки алгоритму роботи проектного пристрою, що усуває дані обмеження, розглянемо роботу зазначених схем.

Цифровий частотомір середніх значень рахує кількість імпульсів вимірюваної частоти f_x за часовий інтервал t_0 , який формується зразковою мірою часу (рисунок 2.1). Генератор G тактової частоти f_0 , RS-тригер, схеми збігу SW і подільник частоти утворюють зразкову міру часу, що формує зразковий часовий інтервал t_0 . Формувач імпульсів F із вхідних сигналів формує прямокутні імпульси, калібровані за амплітудою і тривалістю. Двійковий лічильник $CT2$ рахує число імпульсів вимірюваної частоти f_x за зразковий інтервал часу t_0 .

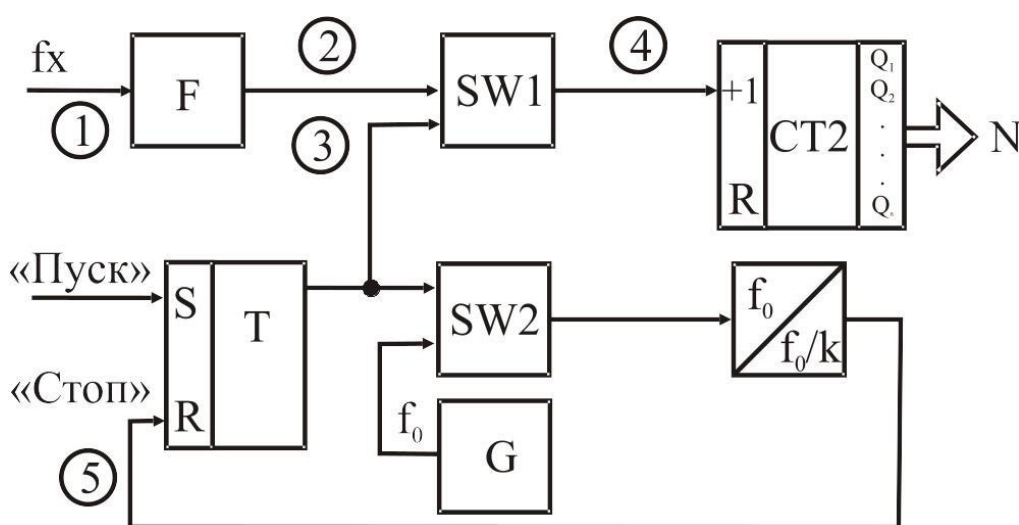


Рисунок 2.1. Схема частотоміра середніх значень

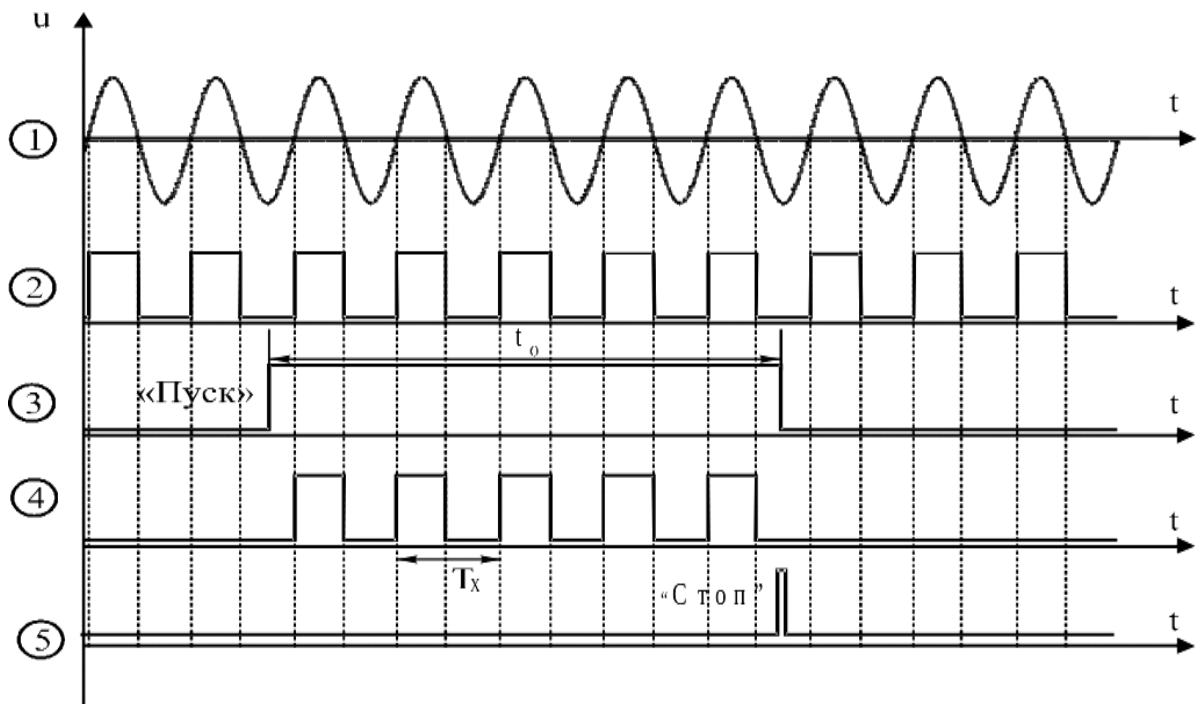


Рисунок 2.2. Часові діаграми роботи частотоміра середніх значень

Похибка квантування цифрового частотоміра середніх значень

$$\delta = 1 / N_f \cdot 100\% = f_0 / (k \cdot f_x) \cdot 100\%.$$

З наведеної формули можна зробити висновок, що похибка квантування частотоміра середніх значень суттєво залежить від вимірюваної величини. Вона буде найбільшою при вимірюванні низьких частот. Через це область застосування розглянутого пристрою обмежено вимірюванням середніх частот, більше 1000 Гц. Також слід звернути увагу на залежність похибки квантування від величини часового інтервалу t_0 , який визначається частотою генератора f_0 і коефіцієнтом k подільника частоти. Похибку квантування можна зменшити за рахунок збільшення часового інтервалу, однак, це призведе до збільшення часу вимірювання, тобто до зниження швидкодії. Оскільки похибка менша при великих значеннях, f_x , то частотоміри середніх значень ефективні в області середніх і високих частот.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Цифровий частотомір миттєвих значень квантує період вимірюваного сигналу T_x імпульсами від зразкової міри часу зразкової з частотою f_0 (рисунок 2.3).

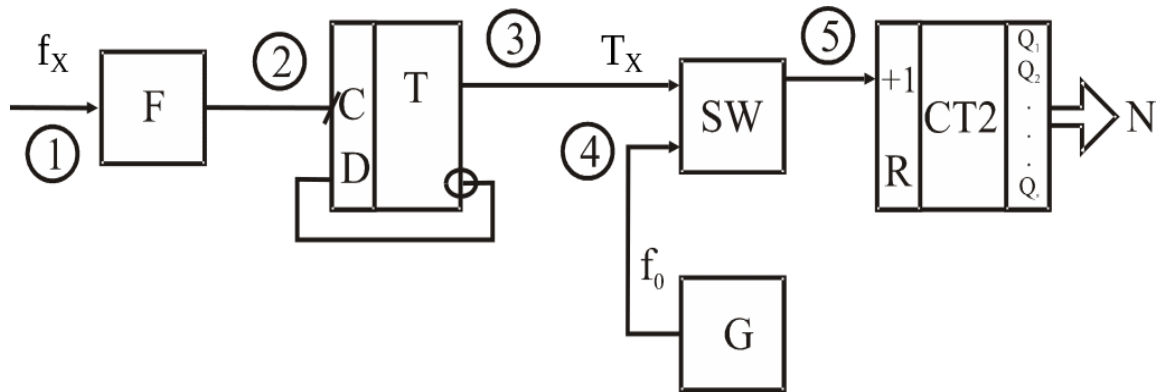


Рисунок 2.3. Схема частотоміра миттєвих значень

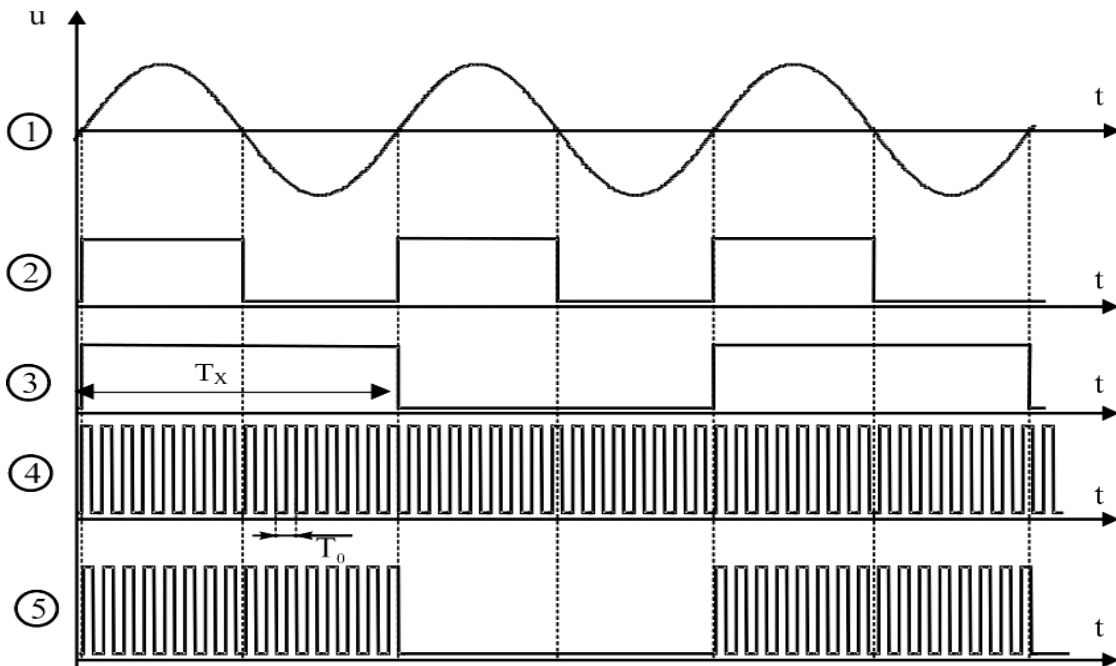


Рисунок 2.4. Часові діаграми роботи частотоміра миттєвих значень

Вхідний сигнал з вимірюваною частотою f_x поступає на вхід формувача F, з виходу якого імпульси калібровані за амплітудою і тривалістю надходять на вхід лічильного тригера T. На прямому виході тригера з імпульсів виділяється вимірюваний період T_x . У схемі збігу SW період T_x квантується імпульсами

генератора G тактової частоти f_0 Коли протягом періоду T_x схема збігу відкрита, імпульси виходу генератора G надходять на вхід лічильника СТ2.

Похибка квантування цифрового частотоміра миттєвих значень

$$\delta = 1 / N_f \cdot 100\% = 1 / (T_x \cdot f_0) \cdot 100\% = f_x / f_0 \cdot 100\%.$$

Як і в попередній схемі похибка квантування частотоміра миттєвих значень залежить від вимірюваної величини. Шляхом її зменшення може бути збільшення зразкової частоти генератора f_0 і періода вимірюваної величини T_x . Збільшення зразкової частоти обмежується швидкодією елементної бази, на якій побудовано частотомір. Інший варіант зменшення похибки для фіксованих значень періоду T_0 і T_x це квантування декількох періодів вимірюваної частоти, що, нажаль, призводить до зниження швидкодії вимірювання. Отже, враховуючи збільшення похибки зі зростанням вимірюваної частоти, застосування цифрового частотоміра миттєвих значень обмежене вимірюванням низьких та інфранизьких частот, до одиниць кілогерц.

Як бачимо з аналізу двох схем цифрового частотоміра, обидві вони забезпечують якість та швидкодію вимірювання, але при цьому мають один істотний недолік, пов'язаний з обмеженням на діапазон вимірюваної частоти. Вихід за межі цього діапазону призводить до різкого збільшення похибки вимірювання та зменшення швидкодії. У завданні до дипломної роботи вказаний діапазон частот, який виходить за межі як першої так і другої схеми, а також обмеження похибки вимірювання, тому просто проігнорувати зазначене вище обмеження не можна.

Для розробки цифрового частотоміра, що використовує існуючі методи вимірювання, але при цьому позбавленого недоліку цих методів, пропонується алгоритм, який використовує як метод вимірювання частотоміру середніх значень, так і частотоміра миттєвих значень. Проектований пристрій спочатку визначатиме орієнтовне, тобто приблизне, значення вимірюваної частоти. Далі, залежно від отриманого значення буде виконуватися керуюча дія, яка приведе в

дію або елементи вимірювання середнього значення частоти або елементи вимірювання миттєвого значення частоти.

Такий спосіб вимірювання реалізуємо в проектованому пристрої, тому що керуюча його частина буде побудована на мікроконтролері, що дозволить програмно реалізувати розгалуження алгоритму.

Пропонований алгоритм містить наступні кроки:

- пристрій очікує надходження вимірюваного сигналу на вхід;
- за наявності вхідного сигналу проводиться попереднє вимірювання частоти за допомогою квантування ним зразкового інтервалу часу;
- оцінюється отримане значення - якщо воно більше за граничне значення частоти (1000 Гц), виконується уточнюючий вимір на основі підрахунку імпульсів вимірюваної частоти за заданий інтервал часу. Якщо попередньо виміряне значення частоти менше граничного значення, то виконується уточнюючий вимір на основі підрахунку імпульсів зразкової частоти за період вхідного сигналу.
- отримане значення виводиться на пристрій для відображення інформації.

Схема алгоритму роботи проектованого пристрою представлена на рисунку 2.3. Алгоритм роботи пристрою буде виконуватися циклічно, що буде реалізовано на рівні програми мікроконтролера.

2.2 Розробка структурної схеми проектованого пристрою

Узагальнена структурна схема проектованого пристрою вимірювання частоти і періоду сигналу приведена на рисунку 2.4.

Цифровий частотомір утворюють вхідний пристрій, блок живлення, блок формування імпульсів сигналу вимірюваної частоти, мікроконтролер, що виконує функції керування і підрахунку імпульсів, блок цифрової індикації.

У ролі джерела живлення може виступати гальванічний елемент або акумулятор. За допомогою перетворювача напругу джерела живлення підвищують до 5 В (напруга, необхідна для стабільної роботи пристрою).

									Лист
									19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

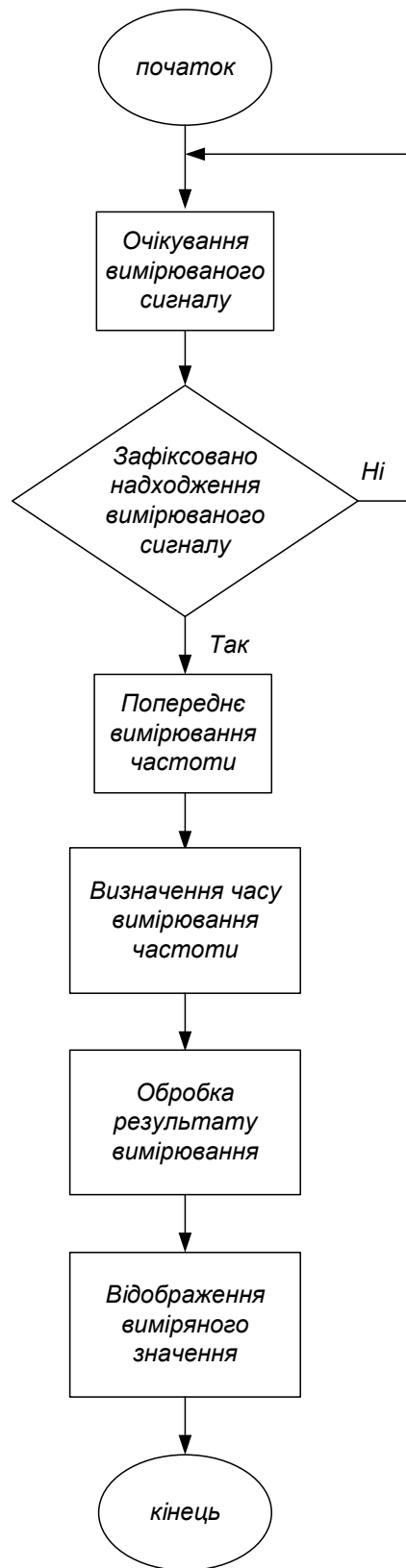


Рисунок 2.3 - Схема алгоритму роботи проектного пристрою

Після подачі напруги живлення здійснюється ініціалізація регістрів мікроконтролера.

З вхідного пристрою на перетворювач імпульсів надходить сигнал, який перетворюється на прямокутний імпульс. Як перетворювач імпульсів виступає цифровий компаратор. Далі прямокутний імпульс надходить із компаратора на порт мікроконтролера для подальшого дорахування. Мікроконтролер підраховує ці імпульси і заносить в пам'ять регістрів. Після закінчення рахунку інформація зберігається у цифровому компараторі. Число поданих на вхід мікроконтролера імпульсів підраховується, і після кожного імпульсу порівнюється поточне та збережене значення.

У разі зміни поточного значення подача імпульсів на мікроконтролер припиняється. Накопичене в молодшому регістрі число, перетворене на додатковий код, і буде тим числом, яке було виміряне мікроконтролером. Двійковий код на виходах чотирьох восьмирозрядних регістрів перетворюється на двійково-десятковий, а потім на код, для управління пристроєм індикації, яким є два чотирирозрядні семисегментні індикатори.

Значення вимірної частоти з'являється у пристрої індикації як графічної інформації.

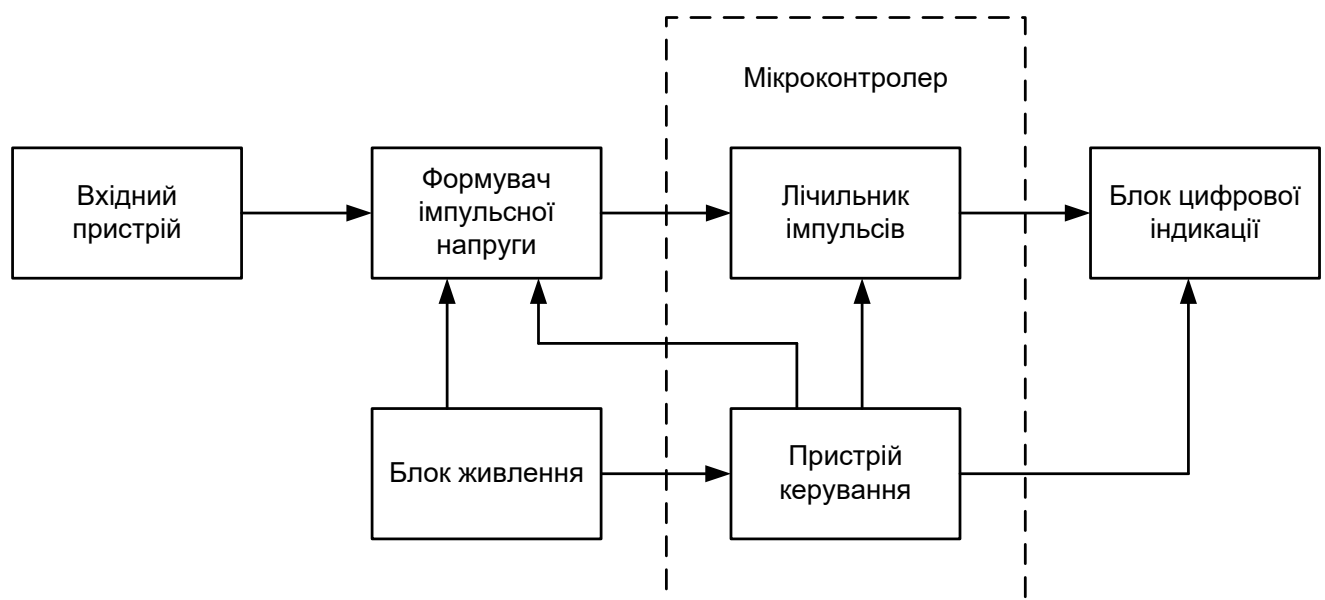


Рисунок 2.4 - Структурна схема проектованого пристрою

3. РОЗРОБЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ВУЗЛІВ І БЛОКІВ ПРИСТРОЮ

3.1 Розробка функціональної схеми проектованого пристрою

Принцип роботи проектованого приладу полягає в підрахунку імпульсів, що прийшли на його вхід за фіксований проміжок часу. Його основні технічні характеристики:

- інтервал частоти сигналу, що вимірюється - від 1 Гц до 50 МГц при мінімальній напрузі вхідного сигналу 0,5 В;
- Розрядність індикатора - 8, що дозволяє вимірювати високочастотні сигнали з точністю до 1 Гц.
- Напруга живлення - 5В, а споживаний струм залежить від індикаторів, що використовуються.

На рисунку 3.1 показана функціональна схема частотоміра. У мікроконтролері, що використовується, шістнадцятирозрядний таймер-лічильник має восьмибітний дільник і трибітний лічильник переповнень, що в сумі становить 27 розрядів. Таким чином, лічильник може рахувати до 134217727. Швидкодія мікроконтролера обмежена частотою 50 МГц. Це значення є максимальною частотою сигналу, що вимірюється. Секундний інтервал буде відраховуватися за допомогою програмно організованих циклів, в які також введено динамічну індикацію показань.

Після закінчення рахунку отримати значення вимірної частоти простим опитуванням регістрів можна з шістнадцятирозрядного лічильника таймера і трирозрядного лічильника переповнень. Дані, що зберігаються у восьмирозрядному дільнику, отримують шляхом дорахування. На вхід дільника подаються одиночні імпульси. Коли буде зафіксовано його переповнення, тобто коли у всіх розрядах буде виявлено нулі, обчислюється записане в ньому значення, що дорівнює 256 за вирахуванням числа поданих імпульсів. Після цього двійкове число перетворюється на двійково-десятькове, а потім – в код

					ЕЛІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

семиелементного індикатора. Передбачено можливість не висвічувати в індикаторі незначущі нулі. При наступному вимірі записане значення виводиться на систему індикації.

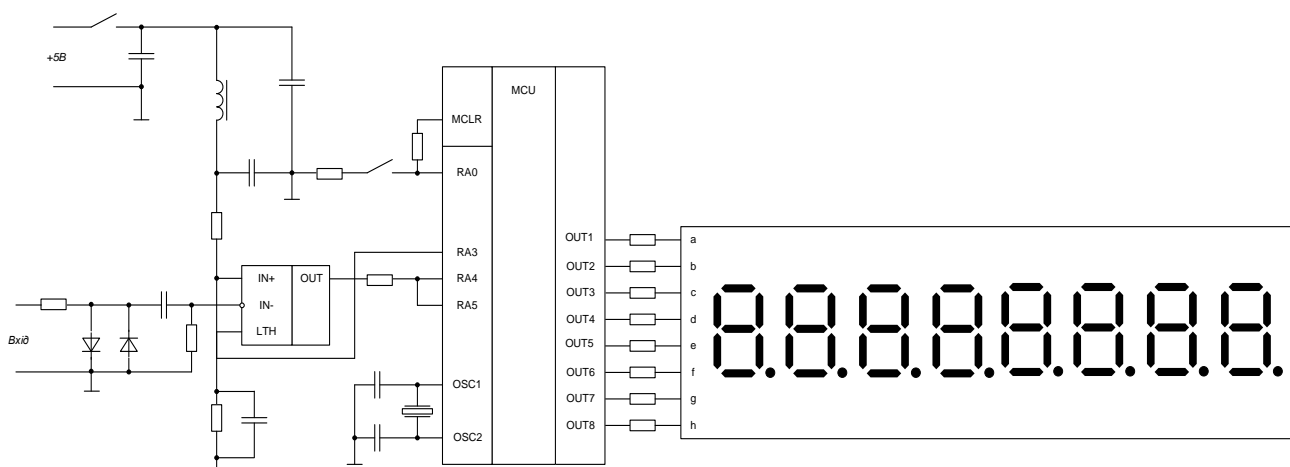


Рисунок 3.1 - Функціональна схема пристрою автоматичного регулювання освітлення

Для відображення вимірювальної інформації у пристрої будемо застосовувати світлодіодні індикатори підвищеної яскравості.. Аноди індикаторів через струмообмежувальні резистори підключені до порту мікроконтролера. Індикація йде справа наліво, тобто перший розряд - правий за схемою.

Програмний спосіб відліку часу вимірювання дозволяє застосовувати кварцові резонатори на будь-яку частоту. Слід лише змінити програмні цикли, а це дуже просто, тому що всі інструкції в мікроконтролері виконуються за два такти. Верхнє значення зразкової частоти становить 8 МГц, нижнє визначається тим, що вихідний сигнал дільника синхронізується сигналом тактової частоти процесора і може бути вище 1/4 ... 1/12 її значення залежно від типу процесора. З огляду на восьмирозрядний асинхронний дільник, визначимо мінімальну зразкову частоту:

$$f_g = f_v \cdot k / 2^{N_d},$$

де f_B – максимальне значення вимірюваної частоти,

k – коефіцієнт ділення,

N_d – розрядність дільника.

Звідси $f_g = 5 \cdot 10^7 \cdot 4 / 256 = 781,25$ кГц.

3.2 Вибір та розрахунок елементної бази

Пропонований частотомір зібраний на мікроконтролері та семисегментних світлодіодних індикаторах із загальним катодом. Його роздільна здатність становить 1 Гц, що може бути корисним під час проведення точних вимірів. Принципова електрична схема частотоміра показана на рисунку 3.2. На вході пристрою встановлено компаратор DA1, який включений за типовою схемою з входом, що інвертує. Поріг спрацьовування компаратора можна змінювати підбором резистора R4 – що більше його опір, то вище поріг.

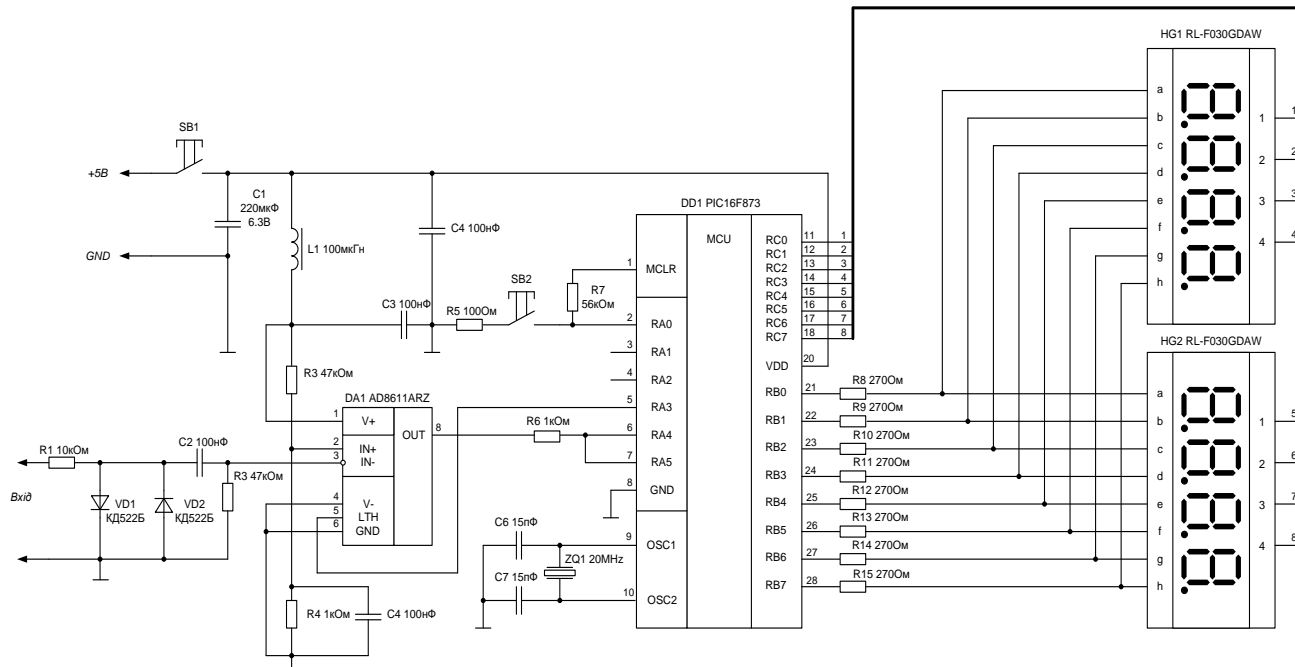


Рисунок 3.2 - Схема принципова електрична проектованого пристрою

Робота компаратора управляється сигналом на вході LATCH (на схемі LTH, вивод 5) DA1, який надходить з лінії порту RA3 (вивод 5 DD1) і дозволена при низькому логічному рівні на цьому вході.

У розробленому частотомірі застосовано мікроконтролер PIC16F873, який має 28 виводів. Це дозволило використовувати 16 виходів для безпосереднього керування сегментами та розрядами світлодіодних індикаторів. Крім того, цей мікроконтролер має три таймери з передітелями. Восьмирозрядний таймер TMR0 та його восьмирозрядний предделитель разом із двома додатковими регістрами використовуються для підрахунку вимірюваної частоти. Вилучення значення дільника виконується відомим способом, що полягає у дорахуванні до нуля з одночасним підрахунком числа імпульсів дорахунку. Таким чином, максимальна роздільна здатність лічильника становить 32 двійкових розрядів.

Оскільки ці два таймери можуть працювати одночасно без участі АЛП мікроконтролера, з'явилася можливість забезпечити динамічний запуск індикаторів. На час переривань із переповнення таймерів програма припиняє індикацію. Час, за який виконується переривання, незначний, тому візуально не відстежується (видно тільки при частотах резонатора нижче 5 МГц).

3.3 Опис мікроконтролера

Схему мікроконтролера наведено на рисунку 3.3. Виходи порту В мікроконтролера використовуються живлення сегментів індикаторів, а виходи порту С — управління ними. Виводи порту А RA0 та RA1 керуються кнопками SA1 та SA2 (відповідно «Час вимірювання» та «Пуск»). Вивод RA5 з'єднаний безпосередньо з лічильним входом RA4. З виходу RA5 на лічильний вхід подається логічний 0, що закриває вхід для проходження лічильних імпульсів та імпульси зчитування. Опис призначення інших виводів мікроконтролера надано в таблиці 3.1.

					ЕЛІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

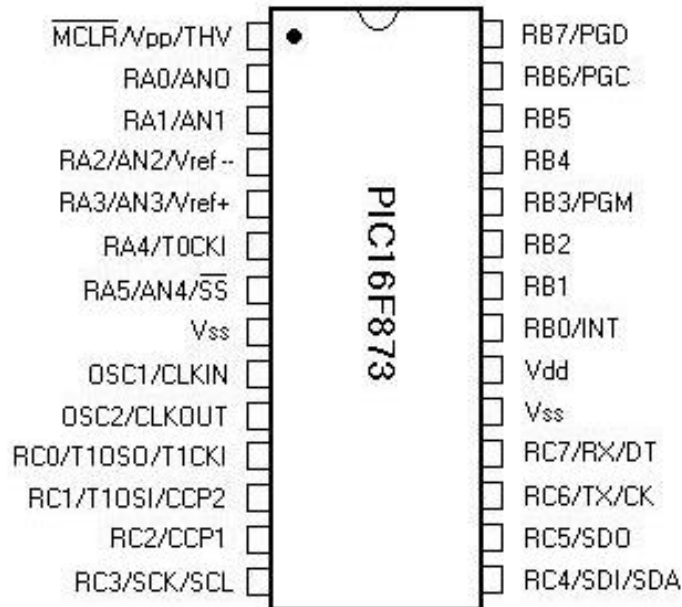


Рисунок 3.3 - Схема розташування виводів мікроконтролера

Таблиця 3.1 - Призначення виводів мікроконтролера.

Найменування виводів	Призначення виводів
MCLR/Vpp	Низький рівень у цьому вході генерує сигнал скидання для контролера. Активний низький. Вхід через тригер Шмітта.
RA0, RA1, RA2, RA3, RA5	Двонаправлена лінія введення/виводу. Аналоговий вхід каналу 0,1,2,3,5 відповідно.
RA4/T0CKI	Вхід через тригер Шмітта. Ніжка порту введення/виводу з відкритим стоком або вхід частоти для таймера/лічильника T0CKI
Vss	Порт підключення напруги живлення
Vdd	Загальний (Земля)
OSC1/CLKIN	Для підключення кварцу. / Генератор, вхід тактової частоти режимі RC-генератора.
OSC2/CLKOUT	Для підключення кварцу. / Генератор, вихід тактової частоти у режимі RC-генератора
RC0-RC7	Виводи керування цифровими індикаторами.
RB0-RB7	Виводи для живлення цифрових індикаторів.

Особливості ядра мікроконтролера:

- Усі інструкції виконуються за один такт, крім інструкцій переходу, що виконуються за два такти;
- Швидкість роботи: тактова частота до 20 МГц; мінімальна тривалість такту 200 нс;
- FLASH пам'ять програм до 8К x 14 слів;
- Пам'ять даних (ОЗП) до 368 x 8 байт;
- EEPROM пам'ять даних до 256 x 8 байт;
- Механізм переривань (до 14 внутрішніх/зовнішніх джерел переривань);
- Восьмирівневий апаратний стек;
- Прямий, непрямий та відносний режими адресації;
- Скидання при включенні живлення (POR);
- Таймер включення (PWRT) та таймер запуску генератора (OSC);
- Сторожовий таймер (WDT) з власним вбудованим RC-генератором для підвищення надійності роботи;
- Програмований захист коду;
- Режим економії енергії (SLEEP);
- Обираються режими тактового генератора;
- Економічна, високошвидкісна технологія КМОП FLASH/ EEPROM;
- Повністю статична архітектура;
- Програмування на платі через послідовний порт із використанням двох виводів;
- Для програмування потрібне лише єдине джерело живлення 5В;
- Налагодження на платі з використанням двох висновків;
- Доступ процесора на читання/запис пам'яті програм;
- Широкий діапазон робочих напруг живлення: від 2,0 до 5,5В;
- Сильноточні лінії введення/виводу: 25 мА;
- Комерційний та промисловий температурні діапазони;

					ЕЛІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- Низьке споживання енергії: - < 2 мА при 5 В, 4 МГц - 20 мкА (типове значення) при 3 В, 32 кГц - < 1 мкА (типове значення) у режимі STANDBY.

3.4 Опис компаратора

У схемі застосований цифровий компаратор AD8611, вироблений фірмою Analog Devices. Це одноканальний компаратор із затримкою поширення 8 нс, що має роздільне живлення вхідного та вихідного каскадів. Завдяки роздільному живленню вхідний каскад може працювати від біполярної напруги живлення ± 5 В та однополярної напруги живлення +5 В.

Мала затримка поширення робить AD8611 гарним вибором для схем синхронізації та приймачів ліній передачі. Затримки поширення по передньому та задньому фронту добре узгоджені та мають однаковий характер температурної залежності. Призначення виводів даної мікросхеми наведено у таблиці 3.2 та рисунку 3.4.

Таблиця 3.2. Призначення виводів компаратора AD8611

Найменування виводу	Призначення
+IN	Не інвертуючий вхід
-IN	Інвертуючий вхід
V+	Вхід позитивної напруги живлення
V-	Вхід негативної напруги живлення
OUT	Вихід
LATCH	Вхід керування засувкою
GND	Заземлення

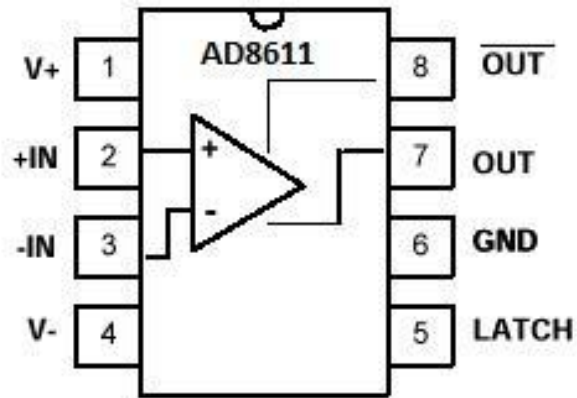


Рисунок 3.4 - Схема розташування виводів компаратора

Технічні характеристики компаратора:

- Час затримки поширення трохи більше 8 нс;
- Робота від двох джерел +/-5 або одного +5в;
- TTL/КМОП сумісний вихід;
- Зміщення нуля трохи більше 3 мВ;
- Коефіцієнт посилення вхідного сигналу не менше 3000;
- Допустимо вхідну диференціальну напругу до 8 В;
- Внутрішня клямка виходу;
- Диференціальні входи та виходи;
- Час встановлення клямки 0,5 нс;
- Потужність споживання трохи більше 40 мВт.

3.5 Розрахунок навантажувальних резисторів

Щоб виключити вплив одного виходу мікросхеми DD1 на інший, в результаті зміни режиму роботи та електромагнітних наведень між друкованими провідниками, з'єднуємо виходи DD1 з входами HG1 і HG2, навантажуюємо виходи В0-В7 можливим струмом для даної мікросхеми, підключаючи R8-R15 по загальній шині відповідним виходам (рисунок 3.5).

$$R(8-15) = \frac{\Delta U}{I_{в.маx}} = \frac{(5-0,5) \cdot 10^{-3}}{35 \cdot 10^{-6}} = 0,264 \cdot 10^3 = 264 \text{ Ом}$$

Вибираємо стандартне значення опору резистора, що дорівнює 270 Ом.

Розрахуємо потужність:

$$P = I^2 \cdot R = 20,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,27 \cdot 10^3 = 0,003 \text{ Вт}$$

Вибираємо з ряду потужностей значення 0,125 Вт

Вибираємо резистор марки С2-23-0.125-130 Ом +/-1%

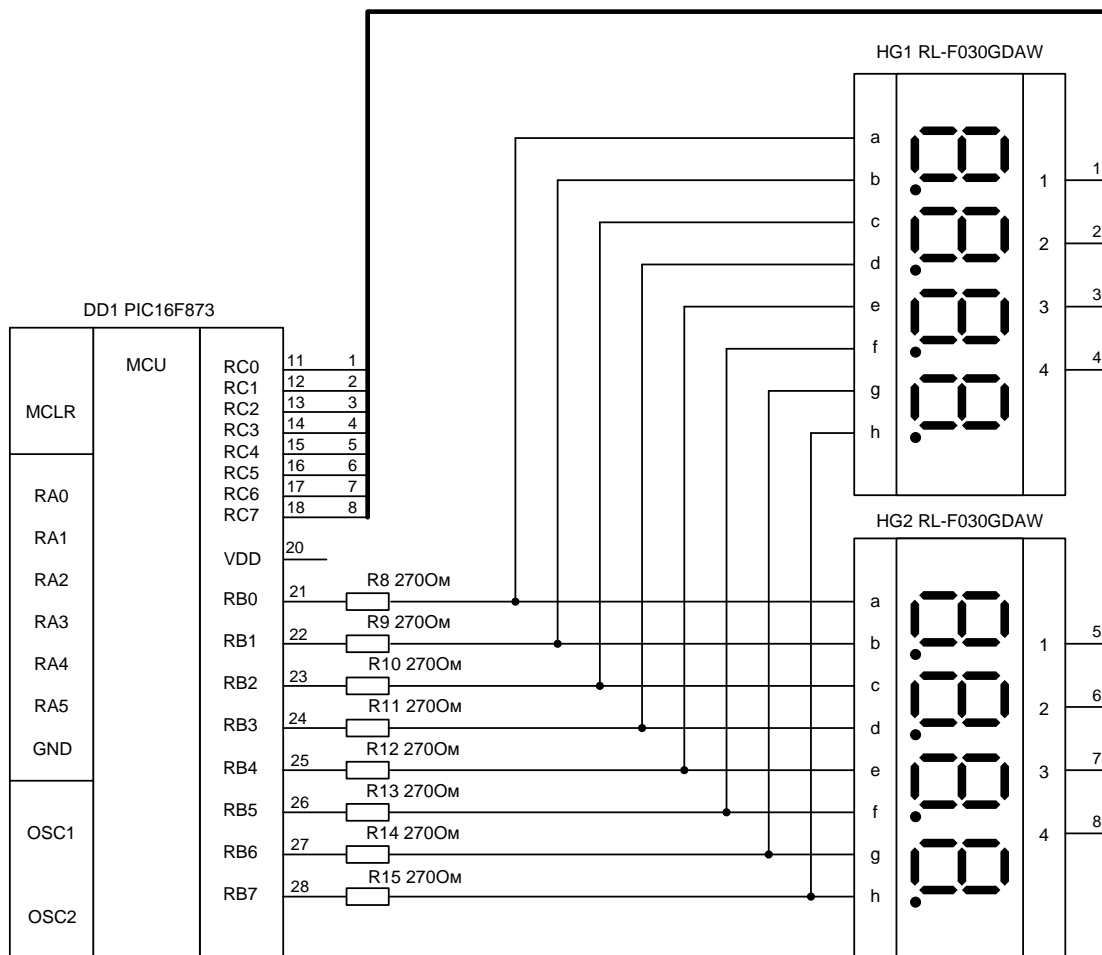


Рисунок 3.5 Схема для розрахунку навантажувальних резисторів

3.6 Опис роботи пристрою

Резистори R8-R15 струмообмежуючі, від їх опорів залежить яскравість свічення індикаторів HG1, HG2.

Вхідний сигнал перетворюється компаратором DA1 прямокутні імпульси з рівнями ТТЛ, які надходять на вхід мікроконтролера для їх подальшого рахунку. Восьмирозрядні регістри дільника, таймера TMR0 та двох лічильників переривання з переповнення TMRP підраховують ці імпульси. Вимірювальний інтервал задає TMR1.

Інформація в регістрах таймера TMR0 та лічильників доступу для читання, а ось вміст високочастотного (до 90 МГц) регістра дільника недоступний. Тому для отримання інформації, що зберігається в ньому, застосований спосіб, що вже став класичним: дорахування імпульсів до переповнення дільника. Після зупинки рахунку значення TMR0 зберігається у цифровому компараторі. Число поданих на вхід дільника імпульсів підраховується, і після кожного імпульсу порівнюється поточне та збережене значення TMR0.

При зміні поточного значення TMR0 подача імпульсів припиняється. Накопичувальне в молодшому регістрі число, перетворене на додатковий код, і буде тим числом, яке було в переддільнику.

Двійковий код на виходах чотирьох восьмирозрядних регістрів перетворюється на двійково-десятковий, а потім на код, для управління семисегментними індикаторами. Після подачі напруги живлення здійснюється ініціалізація регістрів мікроконтролера. Частота перемикання розрядів при динамічній індикації повинна бути такою, щоб не було видно мерехтіння індикатора. Як відомо, ця частота повинна бути не нижче 25 Гц.

Вибрана тривалість індикації одного розряду на восьмирозрядному індикаторі становить 3 мс, тому частота 41,7 Гц. За такої частоти мерехтіння індикатора не помітно.

					ЕЛІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Періодично мікроконтролер перевіряє стан контактів кнопки SA1. Якщо кнопка SA1 натиснута, то стан прапора часу вимірювання змінюється на протилежне, при цьому також змінюється положення коми на індикаторі. Далі послідовно на індикатор виводиться інформація інших розрядів. Послідовність виведення на індикацію порушується лише перериваннями.

Частотомір після увімкнення повинен показати на схемі індикації число 87654321 і потім перейти в режим рахунку, індикуючи за відсутності вхідного сигналу нуль у першому розряді.

Для перевірки можна подати на вхід мікроконтролера сигнал із генератора зразкової частоти. На індикаторі висвітиться його частота - 4 МГц. Калібрують частотомір за допомогою зовнішнього генератора.

Не можна подавати вимірюваний сигнал безпосередньо на виведення таймера мікроконтролера (РА4/TCLC), оскільки на цей виход подається сигнал дорахунку. Щоб запобігти перевантаженню та можливого псуванню елементів пристрою, включений струмообмежувальний резистор R6.

					<i>ЕлІТ 6.171.00.02.398 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У програмі використано два переривання: одне – за результатом порівняння значень шістнадцятирозрядних регістрів спеціальної події (CCPR1H та CCPR1L) та регістрів таймера TMR1 (TMR1H та TMR1L). Інше – з переповнення таймера TMR0. Регістри CCP1 та TMR1 використовуються для формування часового інтервалу вимірювання частоти. Дільник на 10 для отримання інтервалу 1с і ще один дільник на 10 для отримання інтервалу 10с реалізовані на окремих регістрах, які заповнюються при перериванні. Після збереження значень контекстних регістрів перевіряються прапори переривання. Якщо переривання відбулося після переповнення таймера TMR0, то лічильник інкрементується і програма виходить з переривання.

При перериванні за результатом порівняння модуля CCP1 заповнюється регістр дільника на 10 та перевіряється прапор часу вимірювання. Якщо встановлено час виміру 10с, заповнюється регістр дільника на 10. Після закінчення часу виміру виконуються дорахунок та визначення вмісту дільника. Отримані дані перекодуються у дев'ять розрядів двійково-десятькового коду. Для економії енергії батарей портативного приладу всі нульові нулі гасяться. При виконанні операцій під час переривань робота таймерів TMR1 та TMR1 не зупиняється, тому цикл вимірів повторюється безперервно.

Лістинг програми наведено у Додатку А. Програма містить такі етапи:

1. Встановлення регістрів загального призначення. Серед цих регістрів: лічильники перерахунку, регістр сегментів, регістр значення дільника, регістр зберігання значення таймера, накопичувачі переривань, регістр двійкових значень, регістри тимчасового зберігання, регістри рахунку мілісекунд та секунд.

2. Визначення регістрів індикації: зберігають дані для індикації десятих, одиниць, десятків, сотень, тисяч, десятків тисяч, сотень тисяч, мільйонів, десятків мільйонів. Також тут визначаються регістри результату перерахунку.

					ЕлІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

3. Визначення бітів стану регістрів прапорів.
4. Ініціалізація роботи пристрою.
5. Визначення таблиці сегментів загального катода.
6. Індикація результатів виміру. Обнулюється регістр катодів, інвертується його значення та встановлюється нульовий біт. Номер регістру молодшого розряду записується в регістр непрямої адресації. Вибирається двійково-десятькове значення, перетворюється на семисегментне для індикації та зберігається в регістрі сегментів. Інверсний розряд індикації порівнюється з розрядом коми, якщо вони не збігаються, то встановлення сегмента коми пропускається. У іншому випадку сегмент коми включається. Значення розряду переписується до порту В. Значення катода завантажується до порту С. Регістр катода зсувається для індикації наступного розряду.
 7. Збереження та відновлення значень регістрів при перериванні.
 8. Підрахунок переривань від таймера TMR0.
 9. Дорахунок імпульсів.
 10. Перекодування 32 розрядів двійкового коду на 9 розрядів двійково-десятькового коду. Загальна кількість розрядів перекодування записується у лічильник. Обнулюються регістри рахунку та біт позики. Переміщуючи дані в регістри рахунки, всі регістри зсуваються вліво. Зсув фіксується у лічильнику.
 11. Вилучення результату з напівбайтів.
 12. Гасіння незначущого нуля.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проекту було складено принципову схему частотоміра на мікроконтролері на підставі вимог технічного завдання та основних експлуатаційних характеристик. Розроблений частотомір на мікроконтролері здатний працювати з частотами від 1Гц до 40МГц, при напрузі живлення 4,5-5В, мінімальному струмі 10мА.

Актуальністю розробленого пристрою є його простота і дешевизна.

У процесі роботи над курсовим проектом було проведено огляд методів вимірювання частоти і періоду сигналу, що використовуються на сьогоднішній день. На основі аналізу цих методів, їх переваг та недоліків, був розроблений алгоритм та структурна схема проектованого пристрою.

Для здійснення функцій вимірювання та управління пристроєм було прийнято рішення використовувати мікроконтролер, що дозволяє використовувати гнучкий алгоритм роботи та можливість доналаштування пристрою в залежності від завдання, що виконується.

Далі в процесі розробки було виконано розрахунок елементів електричної схеми, згідно з довідкових даних, розроблене програмне забезпечення мікроконтролера. Результати роботи представлені у вигляді електричної принципової схеми та лістингу програми керування пристроєм.

					3Ф 6.050802.745 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра зі спеціальності 0908 171 "ЕЛЕКТРОНІКА" освітньої програми "ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ" /Укладачі: І.А. Кулик, А.І. Новгородцев, О.В. Бережная, В.В. Гриненко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2018. – 18с.
2. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація: навч. посіб. / Макота Оксана Іванівна, Олійник Ліліанна Петрівна, Комаренська Зоряна Михайлівна ; Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2019. - 1712с. : іл.,табл.
3. Ігнаткін В. У. Основи метрології: навч. посіб. / В. У. Ігнаткін, О. В. Томашевський, В. М. Матюшин Електрон. дані. – Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2017. - 120с.
4. Л.В. Баль-Прилипко, Н.М. Слободянюк, Г.Є. Поліщук, М.З. Паска, В.Г. Бурак. Стандартизація, метрологія, сертифікація та управління якістю: Підручник /. - К.: ЦП «Компринт» - 2017. - 573 с.
5. Гнусов, Ю. В. Метрологія та вимірювання: навч. посіб. / Ю. В. Гнусов, В. В. Тулупов, В. М. Пересічанський; Харків. нац. ун-т внутр. справ. - Харків, 2019. - 125 с
6. Engineering Metrology and Measurements / N.V. Raghavendra, L. Krishnamurthy. - Oxford University Press, October 1, 2013. - 676 p.
7. <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC16F873>
8. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8611_8612.pdf

					ЕлІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

ДОДАТОК А

```

;=====
; GENERAL PURPOSE REGISTERS.
;=====
        CBLOCK  H'20'
ANOD
MCK
CEK
TEMP
COU
COUN
COUS
WTEMP
STEMP
FTEMP
SEG
ZPT
TMROL
TMRO1
TMROH
TMROC
        ENDC

;=====
; DEFINITION OF INDICATION REGISTERS.
;=====
DSAT EQU  040H
EDINI     EQU  041H
DESI EQU  042H
SOTI EQU  043H
TUSI EQU  044H
DTUSI     EQU  045H
STUSI     EQU  046H
MILI EQU  047H
DMILI     EQU  048H
R0  EQU  049H
R1  EQU  04AH
R2  EQU  04BH
R3  EQU  04CH
R4  EQU  04DH

;=====
; DEFINITION OF THE STATUS BITS OF THE FLAG REGISTERS.
;=====
FLAG EQU  50H

;=====
; START.
;=====
        ORG 0
        GOTO INIT
        ORG 4
        GOTO PRER

```



```

;=====
;  INITIALIZATION.
;=====
INIT
BCF STATUS,RP1
BSF STATUS,RP0
MOVLW    B'00100111'
MOVWF    OPTION_REG^80H
MOVLW    B'11100000'
MOVWF    INTCON
MOVLW    B'00110111'
MOVWF    TRISA^80H
CLRF     TRISB^80H
CLRF     TRISC^80H
CLRF     PIE2^80H
MOVLW    B'00000100'
MOVWF    PIE1^80H
MOVLW    0x07
MOVWF    ADCON1
BCF STATUS,RP0
CLRF     SSPCON
CLRF     RCSTA
CLRF     T2CON
MOVLW    0xF4
MOVWF    CCP1H
MOVLW    0x24
MOVWF    CCP1L
MOVLW    B'00110000'
MOVWF    T1CON
CLRF     TMR1L
CLRF     TMR1H
BSF T1CON,0
MOVLW    B'00001011'
MOVWF    CCP1CON
CLRF     ADCON0
CLRF     TMR0
CLRF     FLAG
CLRF     PORTA
CLRF     PORTB
CLRF     PORTC
CLRF     ANOD
CLRF     ZPT
MOVLW    .9
MOVWF    ZPT
CLRF     MCK
CLRF     CEK
CLRF     DSAT
CLRF     EDINI
CLRF     DESI
CLRF     SOTI
CLRF     TUSI
CLRF     DTUSI
CLRF     STUSI
CLRF     MILI

```

					ЕлІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38


```

GOTO BINDEC
APOINT
BCF  PORTA,5
NOP
NOP
BSF  PORTA,5
RETURN

```

```

;=====
; 32-BIT BIN TO 9-BIT 2_10 CODE CONVERSION.
;=====

```

```

BINDEC
MOVLW  .32
MOVWF  COUS
CLRF  R0
CLRF  R1
CLRF  R2
CLRF  R3
CLRF  R4

```

```

BIDE
BCF  STATUS,0
RLF  TMROL,1
RLF  TMRO1,1
RLF  TMROH,1
RLF  TMROC,1
RLF  R4,1
RLF  R3,1
RLF  R2,1
RLF  R1,1
RLF  R0,1
DECFSZ COUS,1
GOTO  RASDEC
GOTO  PLACE

```

```

RASDEC
MOVLW  R4
MOVWF  FSR
CALL  BCD
MOVLW  R3
MOVWF  FSR
CALL  BCD
MOVLW  R2
MOVWF  FSR
CALL  BCD
MOVLW  R1
MOVWF  FSR
CALL  BCD
MOVLW  R0
MOVWF  FSR
CALL  BCD
GOTO  BIDE

```

```

BCD
MOVLW  3
ADDWF  0,0
MOVWF  TEMP
BTFSZ  TEMP,3

```

					ЕлІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
						42
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

MOVWF    0
MOVLW   30
ADDWF   0,0
MOVWF   TEMP
BTFSC   TEMP,7
MOVWF   0
RETURN

```

```

;=====
; 11. EXTRACTING THE RESULT FROM TETRADES.
;=====

```

PLACE

```

MOVLW   B'00001111'
ANDWF   R0,0
MOVWF   DMILI
MOVLW   B'11110000'
ANDWF   R1,0
MOVWF   MILI
SWAPF   MILI,1
MOVLW   B'00001111'
ANDWF   R1,0
MOVWF   STUSI
MOVLW   B'11110000'
ANDWF   R2,0
MOVWF   DTUSI
SWAPF   DTUSI,1
MOVLW   B'00001111'
ANDWF   R2,0
MOVWF   TUSI
MOVLW   B'11110000'
ANDWF   R3,0
MOVWF   SOTI
SWAPF   SOTI,1
MOVLW   B'00001111'
ANDWF   R3,0
MOVWF   DESI
MOVLW   B'11110000'
ANDWF   R4,0
MOVWF   EDINI
SWAPF   EDINI,1
MOVLW   B'00001111'
ANDWF   R4,0
MOVWF   DSAT
CALL    DARK
CALL    PUSK
GOTO    REPER

```

```

;=====
; 12. NON-SIGNIFICANT ZERO EXTENSION.
;=====

```

DARK

```

TSTF    DMILI
BTFSS   STATUS,2
RETURN
TSTF    MILI
BTFSS   STATUS,2

```

```

RETURN
MOVLW    .10
MOVWF    MILI
TSTF    STUSI
BTFSS    STATUS,2
RETURN
MOVLW    .10
MOVWF    STUSI
TSTF    DTUSI
BTFSS    STATUS,2
RETURN
MOVLW    .10
MOVWF    DTUSI
TSTF    TUSI
BTFSS    STATUS,2
RETURN
MOVLW    .10
MOVWF    TUSI
TSTF    SOTI
BTFSS    STATUS,2
RETURN
MOVLW    .10
MOVWF    SOTI
TSTF    DESI
BTFSS    STATUS,2
RETURN
MOVLW    .10
MOVWF    DESI
TSTF    EDINI
BTFSS    STATUS,2
RETURN
MOVLW    .10
MOVWF    EDINI
TSTF    DSAT
BTFSS    STATUS,2
RETURN
MOVLW    .10
MOVWF    DSAT
RETURN

```

```

;=====
END
;=====

```

					ЕЛІТ 6.171.00.02.398 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44