

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ЦИФРОВИЙ ЧАСТОТОМІР РАДІОТЕХНІЧНИХ СИГНАЛІВ НА ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Овчар В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

Осадчук Я.О.

(прізвище та ініціали)

« 12 » 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

« 13 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 13 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2024 року

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

Овчару Володимирі Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах»

керівник роботи к.т.н., доц., доцент кафедри ІРТС Осадчук Я.О.

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

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

2. Строк подання студентом роботи 09.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: діапазон вимірюваних частот до 50 МГц; точність вимірювання 0,1; частота кварцового генератора 25,175 МГц; розрядність індикатору не менше 6; розмір цифр по висоті не менше 10 мм; час вимірювання не більше 1 с; час готовності до роботи, не більше 1 с.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Елементи теорії цифрових частотомірів. Методи вимірювання частоти. Опис програмного пакету для емуляції роботи частотоміра на ЕОМ. Розробка частотоміра. Моделювання пристрою. Економічна частина.. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Структурна схема пристрою; принципові схеми основних вузлів пристрою (подільник частоти, лічильник, блок індикації, синтезатор частот; узагальнена принципова схема пристрою; комп'ютерна емуляція роботи пристрою; конструкція пристрою.

6. Консультанти розділів роботи

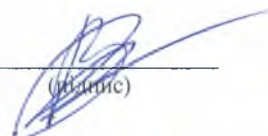
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент каф. ІРТС, доцент, д.т.н. Осадчук Я.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-07.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	09.12.2024-12.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	14.12.2024-17.12.2024	

Студент


(підпис)

Овчар В.О.

Керівник роботи


(підпис)

Осадчук Я.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Овчар В.О. Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 104 с. На українській мові. Бібліогр.: 37 назв; табл.: 10; рис.: 26.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробленню цифрового частотоміра на програмованій логічній інтегральній схемі.

В ході виконання магістерської дипломної роботи було спроектовано та промодельовано цифровий частотомір на базі технології ПЛІС. Вибрано оптимальну структурну схему пристрою. Наведено обґрунтування та вибір програмних засобів пакету Quartus II. Розглянуто методи вимірювання частоти та вибір конкретного методу. Також проводиться пояснення роботи пристрою, розробка кожного блоку загальної структури. Виконано автоматичне проектування пристроїв (на ВІС програмованої структури) у графічному редакторі Quartus II. Наведено всі файли проекту, дано стисле тлумачення результатів, порівняння їх з результатами проектування вручну.

В економічній частині роботи було обчислено науково-технічний рівень розробки, її комерційний потенціал та економічну ефективність, а також витрати на її здійснення.

Ключові слова: частотомір, цифровий, інтегральна схема.

ABSTRACT

Ovchar V.O. Digital frequency counter of radio engineering signals on programmable logic integrated circuits. Master's qualification work in speciality 172 - Electronic communications and radio engineering, educational programme - radio engineering: VNTU, 2024. 104 p. In Ukrainian. Bibliography: 37 titles; tables: 10; figures: 26.

The master's thesis is devoted to the development of a digital frequency counter on a programmable logic integrated circuit.

In the course of the master's thesis, a digital frequency counter based on FPGA technology was designed and modelled. The optimal structural scheme of the device was selected. The rationale and choice of Quartus II software package are presented. The methods of frequency measurement and the choice of a particular method are considered. The operation of the device is explained, and each block of the overall structure is developed. Automatic design of devices (on VLSI of programmable structure) is performed in the Quartus II graphic editor. All project files are presented, a brief interpretation of the results is given, and they are compared with the results of manual design.

In the economic part of the work, the scientific and technical level of development, its commercial potential and economic efficiency, as well as the costs of its implementation were calculated.

Keywords: frequency meter, digital, integrated circuit.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЦИФРОВИХ ЧАСТОТОМІРІВ	10
1.1 Класифікація частотомірів.....	10
1.2 Цифровий частотомір середніх значень	11
1.3 Цифровий періодомір.....	15
1.4 Стежний частотомір	18
1.5 Частотоміри номінальних значень і процентні	20
1.6 Висновки до розділу.....	21
2 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ	22
2.1 Резонансний метод вимірювання частоти	22
2.2 Метод заряду і розряду конденсатора	24
2.3 Електромеханічний метод	26
2.4 Мостовий метод вимірювання частоти	27
2.5 Метод дискретного підрахунку	29
2.6 Висновки до розділу.....	31
3 ОПИС ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ ДЛЯ ЕМУЛЯЦІЇ РОБОТИ ЧАСТОТОМІРА НА ЕОМ	32
3.1 Загальний огляд пакету Quartus II	32
3.2 Вхідний інтерфейс	33
3.3 Головне робоче вікно програми	34
3.4 Меню Quartus II	35
3.5 Graphic File	36
3.6 Symbol File	37
3.7 Text Editor	38
3.8 Waveform File	38
3.9 Особливості аналізу схеми	40
3.10 Висновки до розділу.....	41
4 РОЗРОБКА ЧАСТОТОМІРА	42
4.1 Вибір елементної бази та системи проєктування.....	42
4.2 Розробка структурної схеми частотоміра.....	44
4.3 Принцип роботи частотоміра	45
4.4 Етапи проєктування у програмному середовищі Quartus II.....	47
4.5 Подільник частоти	50

4.6 Лічильник імпульсів.....	50
4.7 Блок індикації	51
4.8 Контроль вимірювань	53
4.9 Узагальнення схеми пристрою.....	54
4.10 Висновки до розділу.....	56
5 МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ.....	57
5.1 Вибір параметрів моделювання	57
5.2 Моделювання роботи подільника частоти	57
5.3 Моделювання роботи лічильника	57
5.4 Моделювання роботи частотоміра.....	58
6 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	60
6.1 Задача компонування	60
6.2 Розробка варіанту конструкції	60
6.3 Оцінка похибок приладу.....	62
6.4 Розрахунок надійності по раптовим відмовам	64
7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	68
7.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	68
7.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	70
7.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	72
7.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором	83
7.5 Висновки до розділу.....	88
ВИСНОВКИ	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина	95
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	103

ВСТУП

Актуальність теми.

Частотомір – вимірювальний пристрій для вимірювання частоти періодичного процесу або частот гармонічних складових спектру сигналу.

Цифрові частотоміри і вимірювачі часових інтервалів представляють, мабуть, найчисленнішу групу серед цифрових вимірювальних пристроїв. Такі прилади є багатофункціональними високоточними вимірювальними приладами і широко застосовуються в різних галузях техніки.

До основних переваги цифрових частотомірів можна віднести:

- широкий діапазон вимірюваних частот;
- досить висока точність вимірювання;
- можливість підрахунку вимірюваної величини у цифровій формі.

Однак не всі практичні проблеми, пов'язані з цифровими схемами, можна вирішити за допомогою самих мікропроцесорів або інших пристроїв. Тому що багато проблем (в тому числі пов'язаних із забезпеченням правильної роботи мікропроцесорів) можна вирішити за допомогою пристрою, який має мінімальну затримку у виконанні логічних функцій. Для вирішення цієї проблеми доступні три підходи.

1.Застосування наборів стандартної цифрової логіки загального застосування, наприклад, наборів логічних мікросхем 74-й серій і типових периферійних ВІС.

2.Використання замовлених НВІС.

3. Використовуються програмовані логічні схеми (PLC).

Останнім часом спостерігається значний прогрес у технології створення ПЛІС, а також у розробці спеціалізованих інструментів, які призначені для проектування цифрових пристроїв на ПЛІС та виготовлення готової продукції. Ця технологічна інновація представлена значним збільшенням кількості ідентичних логічних елементів, розміщених на одному кристалі.

На жаль, різні виробники ПЛІС мають різний ступінь доступності власного програмного забезпечення та ступінь його відмінності. Повні версії програмного забезпечення всіх компаній є комерційними продуктами, які коштують дорого. Проте деякі організації пропонують безкоштовні версії своїх програмних продуктів із певними обмеженнями.

У підсумку можна сказати, що на даний момент використання ПЛІС, зокрема марки «Альтера», є передусім альтернативою розробці та виробництву невеликих серій цифрових пристроїв, що задовольняють сучасні запити споживачів щодо властивостей електронної техніки. продуктів. Середовище розробки для цифрових пристроїв, включаючи безкоштовні версії, є ефективним і простим у використанні для цієї мети.

Метою роботи є розробка конструкції цифрового частотоміра на програмованій логічній інтегральній схемі.

Об'єкт дослідження: цифровий частотомір.

Предмет дослідження: електричні параметри цифрового частотоміра.

Для досягнення поставленої у роботі мети треба виконати такі **задачі**:

1. Розробити структурну схему частотоміра.
2. Розробити електричну схему частотоміра.
3. Виконати імітаційне моделювання.
4. Здійснити експериментальні дослідження.
5. Проаналізувати комерційного потенціалу можливої розробки.

Основні результати роботи: розроблений та досліджений цифровий частотомір на програмованій логічній інтегральній схемі. З результатів дослідження випливає, що пристрій функціонує.

Апробація результатів. За результати магістерської роботи підготовлена та подана теза доповіді на міжнародну науково-технічну конференцію.

1 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЦИФРОВИХ ЧАСТОТОМІРІВ

1.1 Класифікація частотомірів

Сучасні частотоміри класифікуються за наступними ознаками

Спосіб вимірювання:

1. інструменти прямого оцінювання, такі як аналог);
2. пристрої порівняння (наприклад, резонансні, гетеродинні, електронні записи).

Значення вимірювання базується на значенні фізичного вимірювання.

1. для визначення частоти коливань синусоїдальної форми (аналог);
2. визначити частоту гармонійних складових (гетеродин, резонанс, коливання);
3. для визначення частоти конкретних подій (електронне вимірювання, конденсатор).

За дизайном:

1. щитовидна;
2. переносний;
3. досі.

За секторами:

1. електричні вимірювальні прилади (такі як стрілочний частотомір системи, вібрації або частково конденсатор і електронний частотомір);
2. радіочастотні вимірювальні прилади (резонансні, гетеродинні, конденсаторні та електронні частотоміри).

Слід зауважити, що межа між цими групами приладів досить прозора.

За принципом роботи [9]:

1. Найбільшою популярністю користуються частоти, характерні для найбільшої кількості груп. Ці пристрої полегшують вимірювання середньої частоти за заданий період часу T_0 . Діапазон частот, який вимірюється, досить широкий - від десятків герц до сотень мегагерц, а за допомогою спеціальних адаптерів, напр.

Технологія може бути використана для передачі інформації на частоті до 3000 МГц.

2. Частотоміри, які мають миттєві значення, найчастіше використовуються для вимірювання частот, які є специфічними для вузького діапазону, особливо низьких та інфранизьких частот.

3. Трекові частотоміри найбільш успішні у вимірюванні середніх частот, зазвичай вони знаходяться в діапазоні кілогерц - одиниць мегагерц.

4. Частоти номінальних значень і процентних змін вимірюються частотомірам, щоб оцінити зміни частоти в обмеженому діапазоні частот. Перший дозволяє виконувати підрахунок в абсолютних значеннях, тоді як другий дозволяє підраховувати один відносно одного. Поширення низькочастотної області.

1.2 Цифровий частотомір середніх значень

Для цифрового лічильника частоти, який запобігає, принцип роботи заснований на вимірюванні кількості імпульсів певної частоти протягом типового періоду часу t_0 .

Частота періодичного сигналу є фізичною характеристикою, яка визначається як кількість коливань за одиницю часу.

На рис. 1.1 зображено структурну схему цифрового частотоміра середніх значень, а також тимчасові діаграми його роботи. 1.2 [9].

Структурна схема частотоміра включає наступні основні компоненти. RS - це каталізатор, друга частина - це схема, яка відповідає частоті, G - узгоджений генератор частоти, а f_i - дільник, який створює інтервал часу вибірки T_0 . Лічильник LF підраховує кількість імпульсів певної частоти f_x , які присутні в заданому інтервалі часу t_0 . Схема SW1 використовується для квантування інтервалу часу на імпульси однакової частоти. Генератор імпульсів F створює з вхідних сигналів прямокутні пульсоїди певної амплітуди та тривалості.

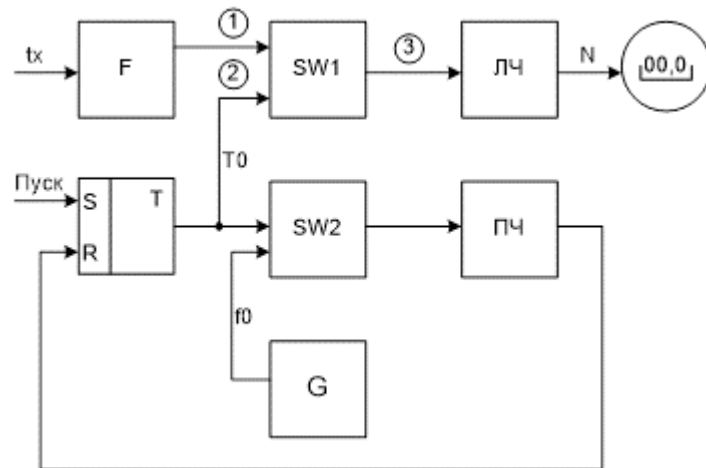


Рисунок 1.1 – Структурна схема частотоміра середніх значень [9]

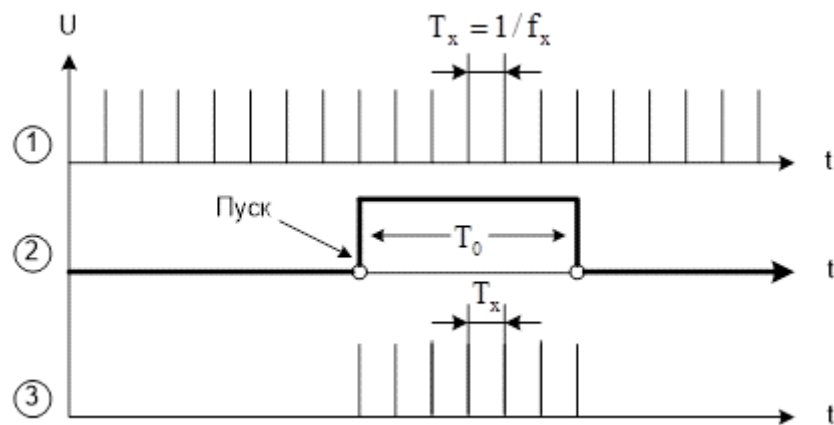


Рисунок 1.2 – Часові діаграми роботи частотоміра середніх значень [9]

За командою «Пуск» флоп Т перемикається в логічний стан, це відкриває відповідні схеми, SW1 і SW2. Імпульси, а потім частота f_x через формувач F і розімкнуту ланцюг SW1 надходять на вхід двійкового лічильника ЛЧ, який виконує своє завдання. Саме в цей момент через розімкнуту ланцюг, який з'єднує вихід генератора G із входом дільника ПЧ частоти, необхідний часовий інтервал обчислюється із забезпечення бажаної частоти f_0 . Після того, як період часу для вибірки закінчився, задній фронт імпульсу t_0 перемикає точку перевертоту T в стан логічного нуля, схеми узгодження SW1 і SW2 замикаються, а код N попередньо визначається в лічильнику НЧ. Визначається кількість імпульсів певної частоти, яку має двійковий лічильник протягом певного періоду часу [9]

$$N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 f_x, \quad (1.1)$$

де t_1, t_2 — час початку та закінчення періоду вибірки діапазон [9]

Часовий інтервал вибірки складається з дільника частоти i , отже, визначається

$$t_0 = k \cdot T_0, \quad N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 f_x, \quad (1.2)$$

де k - коефіцієнт поділу дільника частоти;

T_0 - тривалість імпульсів зразка при f_0 .

Беручи до уваги вищенаведені рівняння, перетворення типового цифрового частотоміра представлено [9]

$$N_F = k \cdot T_0 \cdot f_x = \frac{k \cdot f_x}{f_0}. \quad N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 f_x, \quad (1.3)$$

Це співвідношення є рівнянням для перетворення частотної інформації, оскільки воно описує зв'язок між вихідними та вхідними значеннями. Середня частота цифрового лічильника зі статичними характеристиками є лінійною.[9]

У цифровому лічильнику, який обчислює відстань у незмінному абсолютному порядку, максимально допустима зміна відстані нормалізується як максимальна кумулятивна похибка [9]

$$\delta = \frac{\Delta}{x_H} \cdot 100\% = \frac{1}{N} \cdot 100\%. \quad N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 f_x, \quad (1.4)$$

Враховуючи це, рівняння для середньої похибки квантування цифрового частотоміра має вигляд [9]

$$\delta = \frac{1}{N_F} \cdot 100\% = \frac{f_0}{k \cdot f_x} \cdot 100\%. \quad (1.5)$$

Аналіз наведеного рівняння демонструє, що похибка квантування в основному є похідною від значення вимірювання. При аналізі високих частот похибка значна. Крім того, похибка квантування також залежить від значення інтервалу часу вибірки, який визначається коефіцієнтом розділення частоти k дільника [9].

Визначимо нижню межу вимірювання $f_{x \min}$. Щоб досягти цього, ми встановимо типове значення квантування помилки.

$$\delta_{\text{кн}} = \frac{100 \cdot f_0}{k \cdot f_{x \min}} \Rightarrow f_{x \min} = \frac{100 \cdot f_0}{k \cdot \delta_{\text{кн}}}. \quad (1.6)$$

Знайдемо максимальне показання частотоміра, характерне для середніх значень. Ця властивість обмежена потужністю дворозрядного лічильника [9]

$$N_{\max} = 2^n, \quad (1.7)$$

де n - кількість цифр у двійковому числі лічильника.

Підставивши частоту $N_{\max}$ у рівняння для перетворення отримаємо вимірювання максимальної частоти

$$f_{x \max} = \frac{2^n \cdot f_0}{k}. \quad (1.8)$$

Аналіз рівняння похибки квантування частотоміра демонструє, що похибка зменшується зі збільшенням інтервалу часу вибірки та збільшенням вимірюваного значення. Однак вищий t_0 призводить до більш тривалого періоду вимірювання, що призводить до зниження продуктивності.

Оскільки частота зменшується зі збільшенням f_x , цей тип лічильника ефективний у середньому та високому діапазоні частот (від частоти кілогерц до десятків мегагерц).[9]

Другою складовою похибки вимірювання частоти є стандартна похибка вимірювання часу, яка спричинена неточністю початкового значення t_0 та подальшими змінами температури та часу.[9]

Цифрові частотоміри цього типу розраховують середнє значення частоти за час t_0 . У зв'язку з цим їх називають частотомірами, що усереднюють. У діапазоні низьких частот і нижче підвищується ефективність частотомірів, заснованих на вимірюванні періодів сигналу.[9]

1.3 Цифровий періодомір

У сфері вимірювання частоти найпоширенішим атрибутом періодичного сигналу є його період.

Період T періодичного сигналу є найкоротшим періодом часу, протягом якого миттєве значення сигналу, вибраного з випадковою рівномірністю, регулярно повторюється.

З математичної точки зору це інтерпретується наступним чином: період T - це найменший період часу, пов'язаний із рівнянням $u(t+iT)=u(t)$, де u - будь-яке ціле число, а T - будь-яке додатне число.

Принцип роботи цифрового періодоміра заснований на вимірюванні періоду мовчання сигналу T_x за допомогою імпульсів частоти вибірки f_0 , ці імпульси є основою для вимірювання частоти вибірки.[9]

Структурна схема цифрового періодоміра проілюстрована на рис. 1.3, часові графіки, які пояснюють процедуру, зображені на рис. 1.4.[9]

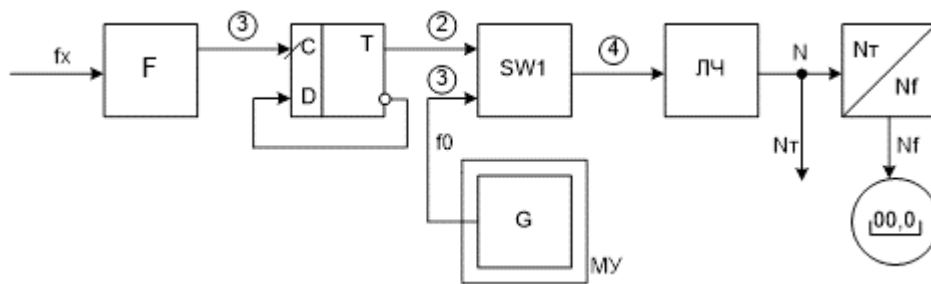


Рисунок 1.3 - Структурна схема періодоміра миттєвих значень [9]

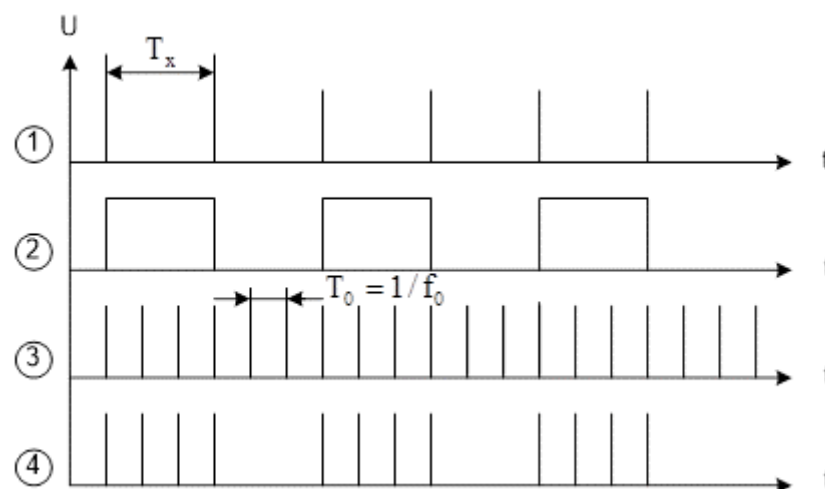


Рисунок 1.4 - Часові діаграми роботи періодоміра миттєвих значень [9]

Основними компонентами структури є формувач F, пристрій вибору періоду для PVP, генератор частоти дискретизації G, схема узгодження SW1, двійковий лічильник LF, перетворення коду з NT в NF і пристрій цифрового відображення. [9]]

Відкалібровані по амплітуді і тривалості імпульсів з виходу формувача F, ці імпульси надходять на вхід пристрою відбору періоду. PVP - це тригер зворотного відліку, який створює імпульси з частотою f_x . Ці імпульси направляють період вимірювання T_{hx} . У схемі узгодження SW1 тривалість періоду T_x ділиться на імпульси вихідної частоти f_0 . Схема узгодження називається SW1, вона протиставляє значення періоду T_x часовому відрізку N T_0 , який формується в процесі обчислення кількості імпульсів квантування (ця

функція аналогічна елементу порівняння). Протягом кожного періоду T_h ланцюг SW1, який відповідає входам, відкритий. Імпульси f_0 , отримані з виходу генератора G через розімкнуту ланцюг SW1, потраплять на вхід лічильника НЧ. У лічильнику LF кожному періоду T_x призначається код

$$N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_0 dt = \frac{T_x}{T_0} = T_0 T_x = \frac{f_0}{f_x}. \quad (1.9)$$

Остаточне співвідношення є формулою перетворення для цифрового періодометра (цифрового частотоміра, який обчислює миттєві значення).

Чисельне значення похибки квантування цифрового частотоміра визначається [9]

$$\delta_{\text{кТ}} = \frac{1}{N_T} \cdot 100\% = \frac{1}{T_x f_0} \cdot 100\% = \frac{f_x}{f_0} \cdot 100\%. \quad (1.10)$$

Одним можливим методом зменшення помилки, пов'язаної з квантуванням, є збільшення частоти квантування f_0 і вимірювання, пов'язаного з T_h . Збільшення частоти f_0 обмежується швидкістю базового елемента, який використовується для реалізації частотоміра. В результаті, щоб зменшити компонент помилки частоти, пов'язаний з T_0 і T_x , квантується не один, а кілька періодів відомої частоти.[9]

Крім похибки квантування частоти миттєвих значень лічильника, існує похибка, пов'язана з неточністю початкового налаштування частоти генератора G, його часовою і температурною нестабільністю, а також вибором періоду.[9]

Завдяки поєднанню структури періодоміра з інструментом перетворення коду, який виконує операцію $1/T_x$, схема цифрового частотоміра завершується.[9]

Давайте визначимо нижню та верхню межі вимірювань, пов'язаних із цим інструментом. Нижня межа вимірювання визначається як [9] .

$$N_{\max} = \frac{f_0}{f_x} \Rightarrow 2^n = \frac{f_0}{f_{x\min}} \Rightarrow f_{x\min} = \frac{f_0}{2^n}. \quad (1.11)$$

Щоб визначити максимальну частоту, якої можна досягти, ми встановимо типове значення вимірювання та знайдемо максимальну частоту [9]

$$\delta_{\text{кн}} = \frac{f_{x\max}}{f_0} \cdot 100\% \Rightarrow f_{x\max} = \frac{\delta_{\text{кн}} \cdot f_0}{100\%}. \quad (1.12)$$

Сфера застосування цифрового частотоміра - вимірювання низьких і субнизьких частот (до одиниці кілогерц).[9]

1.4 Стежний частотомір

Вимірювання частоти є безперервним у часі в вимірювачах частоти. Загалом усі нецифрові (електронні чи механічні) частотоміри, які не є електронними, вважаються треками. Перевага цих пристроїв полягає в тому, що вони можуть зчитувати показання в будь-який потрібний час.

Теоретично для вимірювання слідових кількостей також можна використовувати цифрові частотоміри. Подумайте про цифровий частотомір, який працює за тими самими принципами. Прилад побудований за декадним принципом. Кожна з декад включає частотні аналізатори (ЧА₁, ЧА₂ і ЧА₃), зсовуючий регістр ЗР, який управляє індикаторами (І₁, І₂, І₃) і ключами К₁-К₉. В молодшій декаді зсовуючий регістр є відсутнім. Декади з'єднуються між собою через змішувачі ЗМ₁ і ЗМ₂. Частотні аналізатори включають частотні дискримінатори ЧД₁- ЧД₉ по числу одиниць в декаді і коректуючі дискримінатори ЧД₁₀, виключаючи старшу декаду.

Частота f_x , що вимірюється, поступає на входи аналізатора ЧД₁ і змішувача ЗМ₁. Пороги спрацьовування частотних дискримінаторів вибрані у

відповідності з виразом

$$f_i = (\Delta f \tau + 0,5\Delta f) \cdot 10^{-n+1}, \quad (1.13)$$

де i - порядковий номер частотного дискримінатора,

Δf - дискретна по частоті в старшій декаді;

n - номер оцінюваного розряду, починаючи із старшого;

f_i - поріг спрацьовування 1-го частотного дискримінатора.

Для молодшої декади ЧА₃ пороги спрацьовування частотних дискримінаторів визначаються виразом

$$f_i = \Delta f_i \cdot 10^{-n+1}. \quad (1.14)$$

Джерело зразкових дискретних частот ДДЧ повинне видавати N зразкових частот, причому $N = 9(n - 1)$.

Дана схема найбільш ефективно працює при вимірюванні досить високих частот - порядку сотень кілогерців. При вимірюванні низьких частот, окрім збільшення часу вимірювання, з'являються труднощі при побудові змішувачів і частотних дискримінаторів. В цьому випадку доцільно використовувати помножувачі частоти.

Пороги спрацьовування частотних дискримінаторів молодшої декади доцільно задавати у вигляді смуги, рівній величині дискретної, з центральним значенням, рівним відповідному цілому відліку, наприклад 0,5-1,5 кГц для дискримінатора ЧД₁; 1,5-2,5 кГц для дискримінатора ЧД₂ і т. д.

В даному частотомірі відлік, що знімається по індикатору, представляє собою середнє значення частоти за час, визначений постійними часу усереднювання в частотних дискримінаторах. Основною складовою похибки в даному приладі є похибка дискретності. Для тридекадного приладу похибка вимірювання складе величину не менше 0,1%.

Недоліком приладу є необхідність формування синусоїдальних напруг з виходів джерела зразкових дискретних частот. Іншим недоліком його є неможливість безпосереднього зв'язку приладу з реєструючими і обчислювальними пристроями, оскільки результат вимірювання не представлений у вигляді двійкового або двійково-десятькового коду. Для усунення цього недоліку необхідне введення в схему спеціальних кодуючих вузлів, що ускладнює прилад.

1.5 Частотоміри номінальних значень і процентні

Частотоміри номінальних значень (рис.1.5) і процентні (рис.1.6) призначені для точного вимірювання частот в деякому вузькому діапазоні.

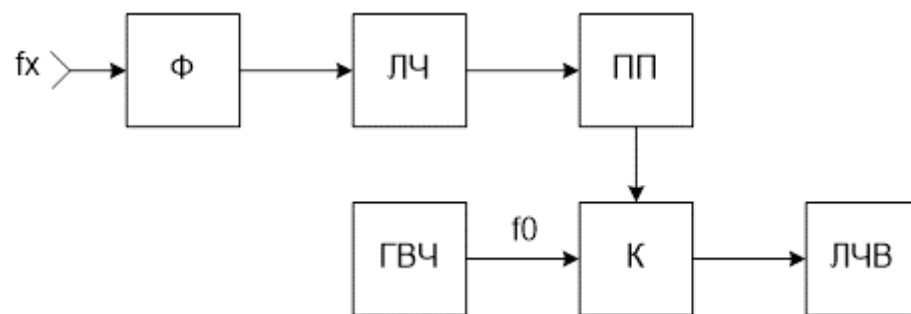


Рисунок 1.5 - Структурна схема частотоміра номінальних значень

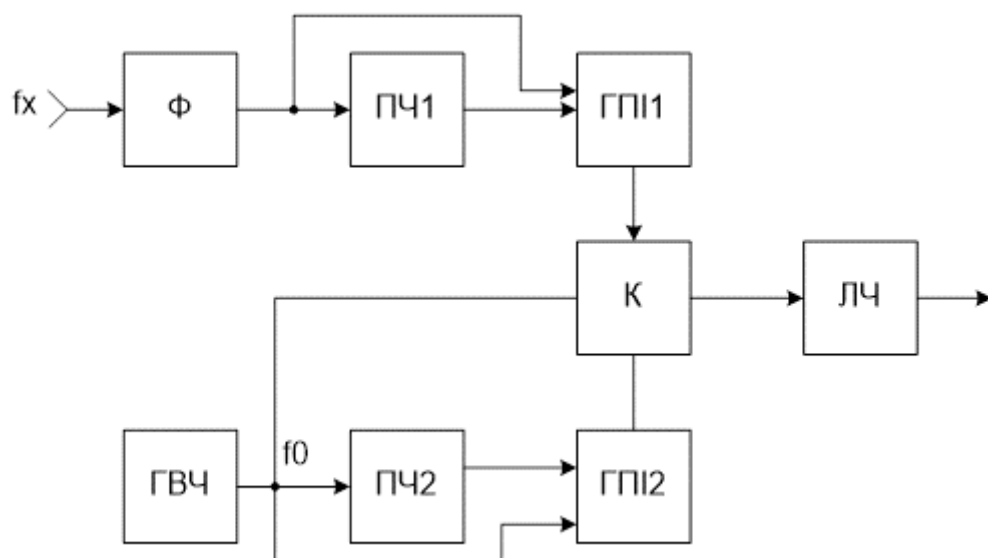


Рисунок 1.6 - Структурна схема процентного частотоміра

1.6 Висновки до розділу

У розділі розглянуто принципи функціонування, будову та математичні моделі цифрових частотомірів. Розглянуто типові структурні схеми цифрових частотомірів і математичні моделі, що описують процеси вимірювання періоду та частоти повторення сигналів. Також проведено аналіз можливих похибок вимірювань та методів їх зменшення.

2 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ

Спектр частот, який охоплює радіотехнологія, автоматизація, зв'язок тощо, охоплює від часток гектара до сотень гігахерців, напр. від низьких до високих частот. Обраний метод вимірювання частоти базується на діапазоні вимірювання, необхідному ступені точності та інших міркуваннях. Вимірювання частоти змінного струму в силових ланцюгах з діапазоном частот 20-2500 Гц проводиться з низькою точністю за допомогою частотоміра електромагнітної, електродинамічної та феродинамічної системи з прямим відліком частоти на логометричному вимірювачі масштаб.

Для вимірювання частоти імпульсів – використовуються електронно – лічильні та конденсаторні частотоміри, для визначення частот спектральних складових – резонансні та гетеродинні.

З методів вимірювання для вимірювання низьких і високих частот застосовують частотоміри, принцип дії яких впливає з методів заряду і розряду конденсатора, мостового, порівняння вимірюваної частоти з еталоном і резонансного. Найбільш масштабними і точними широкосмуговими приладами є цифрові частотоміри, побудовані методом дискретного вимірювання.

2.1 Резонансний метод вимірювання частоти

Резонансний метод заснований на порівнянні вимірюваної частоти з власною частотою коливальної складової. Він призначений для вимірювання діапазону частот від 100 кГц до 100 ГГц. Основним компонентом резонансного частотоміра є генератор. На частотах від 100 МГц до 1 ГГц сфокусовані резонансні контури використовуються як коливальна система. На більш високих частотах сегменти коаксіальної лінії або стрічки використовуються як альтернатива відкритим ланцюгам.

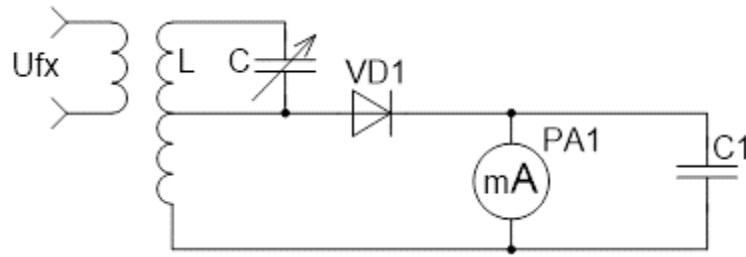


Рисунок 2.1 - Схема резонансного хвилеміра

На рис. 2.1 зображено схему резонансного хвилеміра з системою, яка коливається у вигляді петлі із зосередженими параметрами L і C . Частота резонансної хвилі визначається за формулою

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (2.1)$$

Схема, що вимірює відстань, має індуктивний зв'язок з джерелом коливань, а також автоматичний зв'язок з індикатором. Індикатор розпізнає напругу, пов'язану з котушкою L .

Вплив вхідної та індикаторної ланцюгів на вимірювальну схему можна визначити шляхом додавання до неї реактивної X_{vn} та активної R_{vn} складових. Вказується напруга, що подається на ланцюг індикатора.

$$U_{\text{індик}} = \frac{U \cdot p}{\sqrt{(r + r_{\text{вн}})^2 + (x + x_{\text{вн}})^2}} \cdot \frac{1}{2\pi f_x C}, \quad (2.2)$$

де r і x – резистентний і чутливий компоненти схеми, яка вимірює опір;

p – ступінь включеного індикаторного ланцюга;

U — величина напруги на петлі.

Напруга матиме максимальне значення біля X_{vn} . Розрахунок частоти базується на ємності конденсатора, яка максимізується при найвищій напрузі. У резонансних частотомірах зв'язок між джерелом коливань і індикатором має

бути дуже слабким, оскільки існує неправильне уявлення щодо вимірювання через вплив резистивної поведінки.

Основна похибка обчислюється за формулою

$$\delta f_x = \delta f_{\text{обр}} + 2\delta f_{\text{нр}} + \delta f_{\text{пр}} + \delta f_{\text{отс}}, \quad (2.3)$$

де $\delta f_{\text{обр}}$ — відносна похибка зразкового пристрою в процесі калібрування;

$\delta f_{\text{нр}}$ — відносна похибка процесу налаштування;

$\delta f_{\text{пр}}$ — невиконання градуювання, викликане неточним позначенням поділок шкали;

$\delta f_{\text{отс}}$ — помилка в підрахунку.

2.2 Метод заряду і розряду конденсатора

Суть методу полягає у вимірюванні швидкості потоку розряду конденсатора, це робиться кожного періоду з вимірюною частотою f_x (рис. 2.2).

Якщо конденсатор C живиться від Е.Р.С. Джерело для перемикача P . Е до напруги U_1 , а потім відпустивши його через мікроамперметр магнітної системи до напруги U_2 , загальна кількість отриманої електроенергії буде дорівнювати загальній кількості потужності, поданої на мікроамперметр, тобто $q = C \cdot (U_1 - U_2)$. Якщо частота перемикача P змінюється кожну секунду, де вимірюється частота розряду, то загальна кількість електрики, що протікає через мікроамперметр протягом періоду, є середнім значенням струму розряду за цей період, або точніше $I_{\text{ср}} = q \cdot f_x = C \cdot (U_1 - U_2) \cdot f_x$.

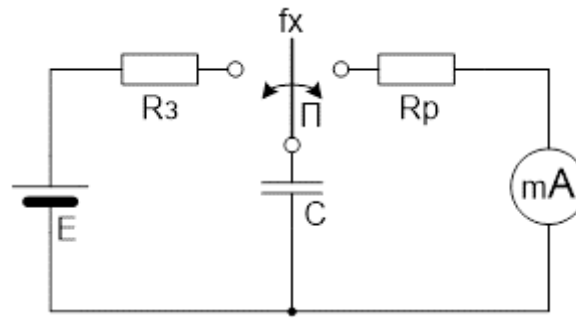


Рисунок 2.2 - Спрощена схема конденсаторного частотоміра

Його виводять із наведеного вище виразу, який означає, що струм через пристрій прямо пропорційний вимірюваній частоті формулою

$$f_x = \frac{I_{cp}}{C(U_1 - U_2)}. \quad (2.4)$$

Якщо ємність C і напруга $U=U_1-U_2$ підтримувати постійними, то шкалу мікроамперметра можна змінити на шкалу частоти. Конденсаторні частотоміри працюють за таким принципом: перемикання конденсатора від заряду до розряду здійснюється електронним перемикачем з частотою f_x , коли на його вхід подається напруга вимірюваної частоти, це призводить до перемикання конденсатора. Пряма залежність між струмом I_{sp} і частотою f_x можлива, якщо виконується умова $C \cdot (U_1 - U_2) = \text{const}$. В результаті в схему частотоміра включений обмежувач, який підтримує постійну напругу U_1 в процесі зарядки і U_2 в процесі розряду конденсатора у всьому діапазоні частот. Діапазон частот, нижче якого проводяться вимірювання, обмежений ємністю різних конденсаторів, а також шунтуванням мікроамперметра. Конденсаторні частотоміри використовуються для вимірювання частот від 10 Гц до 500 кГц з основною похибкою 2 % при входній напрузі від 0,5 до 200 В.

2.3 Електромеханічний метод

Електромеханічний частотомір — це логометр, який обчислює частоту за допомогою комбінації електродинамічних, феродинамічних і принципів випрямлення з опорами в колах, які приймають елементи. Вони працюють за принципом зміни опору, який є реактивним, залежно від частоти змінного струму. На рисунку 2.3а зображено схему електродинамічного частотоміра.

Конденсатор С1 включений в послідовність з котушкою 1, цей фазовий зсув між напругою вимірної частоти U_{fx} і струмом I_1 становить приблизно 90 градусів. Нерухома котушка 3, конденсатор С2, індуктивність L2 і опір R2 з'єднані з рухомою котушкою послідовно. Векторна діаграма, яка описує процедуру для пристрою, зображена на рисунку 2.3, б.

Формула шкали рівняння електродинамічного логометра

$$\alpha = F \left(\frac{I * I_1 \cos \psi_1}{I * I_2 \cos \psi_2} \right). \quad (2.5)$$

У схемі частотоміра I_2 дорівнює I , тому $\cos(90^\circ - 90) = 1$, $\cos(90^\circ - 40) = \cos(40^\circ - 90) = \sin(90^\circ - 40) = x_2 / z_2$. Тут z_2 — прямий опір кола струму I_2 , а x — кут зсуву між U_{fx} та I_2 .

Перерахувавши відношення потоків I_1/I_2 до відношення взаємних опорів гілок, маємо $I_1/I_2 = z_2/z_1$. Після скорочень маємо

$$\alpha = F \left(\frac{I_1}{I_2} \cos \psi_1 \right) = F \left(\frac{x_2}{x_1} \right), \quad (2.6)$$

оскільки

$$x_1 = \frac{1}{w_x C_1}, \quad x_2 = w_x L_2 - \frac{1}{w_x C_2}, \quad w_x = 2\pi f_x,$$

$$\alpha = F \frac{w_x L_2 - 1/(w_x C_2)}{1/(w_x C_1)} = F(f_x) \quad (2.7)$$

Параметри L_2 і C_2 підібрані так, щоб на деякій середній частоті діапазону обмотка котушки 2 знаходилася в резонансному стані $f_{x0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$ і сила струму в колі дорівнювала I_{20} (стрілка частотоміра знаходиться в середньому положенні). При $f_x > f_{x0}$ індукується резистивна поведінка котушки 2, а при $f_x < f_{x0}$ – ємнісна. У результаті стрілка відхилення частоти лічильника має той самий або протилежний напрямок, що й середнє положення, залежно від частоти альтернативного струму f_x .

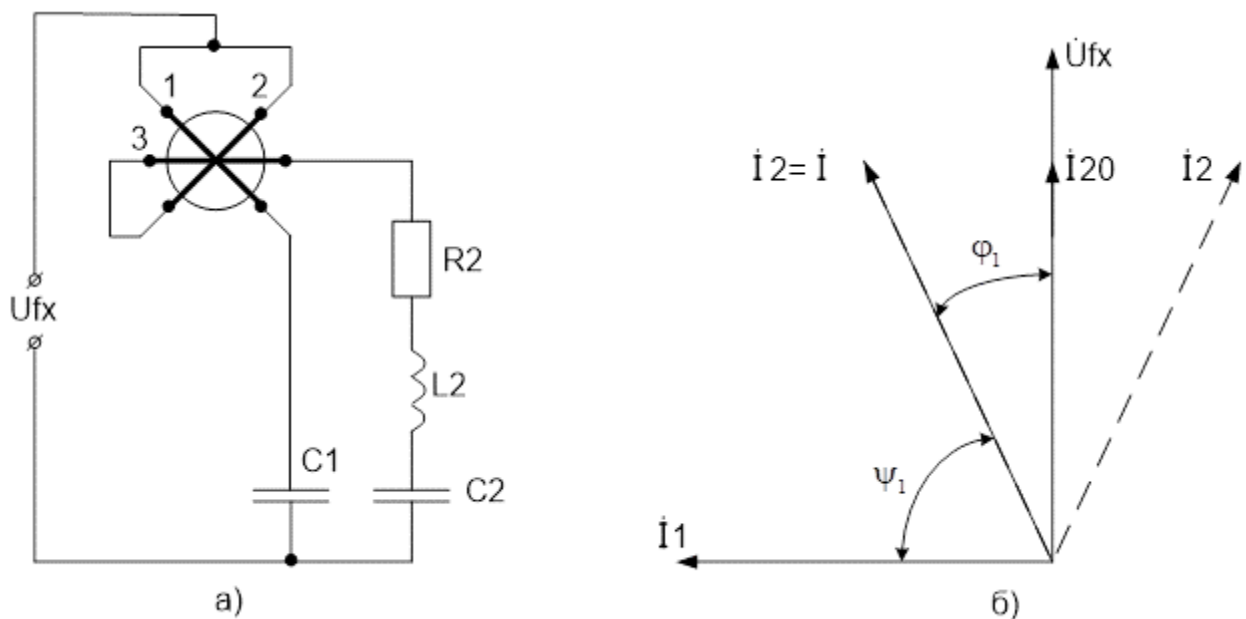


Рисунок 2.3 - Схема електродинамічного частотоміра (а) і його векторна діаграма (б)

2.4 Мостовий метод вимірювання частоти

Цей підхід заснований на використанні частотно-залежних мостів змінного струму, які живляться від напруги спостережуваної частоти. Найбільш

поширеною конфігурацією мостових схем для вимірювання частоти є ємнісний міст, зображений на рис.2.4.

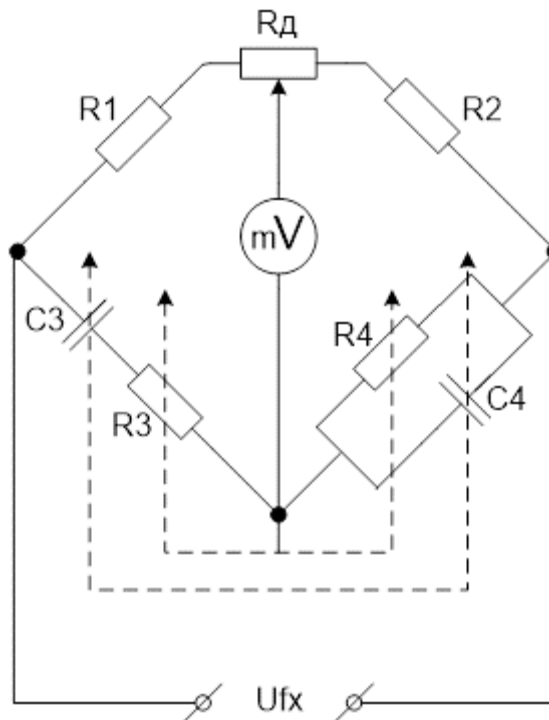


Рисунок 2.4 - Схема моста для вимірювання частоти

Нехтуючи опором R_d , який становить 1-2% від величини опору R_1 , можна вивести умову для цієї схеми рівноваги

$$R_1 \cdot \frac{1}{1/R_4 + j\omega_x C_4} = R_2 \cdot (R_3 + \frac{1}{j\omega_x C_3}). \quad (2.8)$$

З умови можна вивести два рівняння

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} + \frac{C_1}{C_3}, \quad (2.9)$$

$$R_3 \omega_x C_4 = \frac{1}{R_4 \omega_x C_3}. \quad (2.10)$$

Точна частота, з якою міст буде рівномірно рознесений

$$f_x = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_3R_4C_3C_4}}. \quad (2.11)$$

Якщо $C_3 = C_4 = C$; $R_3 = R_4 = R$ і $R_1 = 2R_2$, то частота обчислюється за формулою $f_x = 1/(2\pi RC)$. Частоту, на якій відбувається балансування, можна змінити за допомогою конденсаторів або резисторів. Як правило, використовуються ті самі конденсатори, а значення (R_3 , R_4) змінних подвійних резисторів, частота яких змінюється, змінюється. Діапазон вимірювань розширюється за рахунок зміни значень C_3 і C_4 . Мостовий метод частотного аналізу використовується для оцінки низьких частот, які знаходяться в діапазоні 20 Гц-20 кГц з похибкою вимірювання 0,5-1%.

Як ваговий індикатор використовується цифровий мілівольтметр, а для оцінки частоти 200 Гц-5 кГц використовується телефон. Несинусоїдальна напруга вимірюваної частоти є проблематичною, міст все ще незбалансований через наявність гармонік, і в результаті збільшується похибка вимірювання.

2.5 Метод дискретного підрахунку

Основним принципом електронних лічильників або цифрових частотомірів є метод обчислення кількості імпульсів N , які вводяться в пристрій протягом визначеного періоду часу T_x , припускаючи, що пристрій правильно налаштований. Якщо N імпульсів зареєстровано протягом часу Δt , то середня частота вимірюваного сигналу f_x протягом часу Δt приймається як середня.

$$f_x = N / \Delta t. \quad (2.12)$$

Якщо $\Delta t = 1$, кількість виміряних імпульсів дорівнює невідомій частоті f_x

$$N = f_x. \quad (2.13)$$

На рис. 2.5 показана структурна схема цифрового частотоміра. Напруга, що досліджується, подається на частотомір. Пристрій введення (VDP) збільшує або зменшує напругу вхідного сигналу до рівня, який впливає на форму пристрою (FP). FP перетворює напругу на вимірюваній частоті в серію прямокутних пульсоїдів однакової амплітуди, частота яких ідентична частоті напруги. Селектор часу (TS) передає ці коливання в електронний обчислювач (EL) протягом періоду часу, який формується генератором часових позначок (TM).

Доступ до результатів вимірювання здійснюється з EL і відображається на цифровому лічильнику. Блок автоматизації (БА) контролює процес вимірювання та ініціює процес запуску та скидання показань лічильника, змінюючи відображуваний час від 2 до 5 секунд. Кількість імпульсів N на виході селектора протягом інтервалу часу Δt , яку фіксує лічильник, є фактичною частотою.

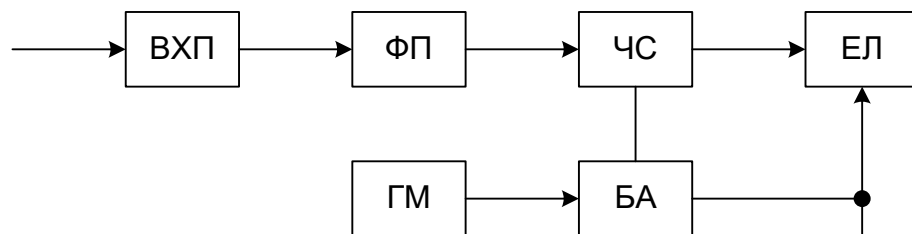


Рисунок 2.5 - Структурна схема цифрового частотоміра

Для зменшення похибки вимірювання низьких частот в цифрових частотомірах збільшують часові ворота, якщо вимірювана частота не дуже мала; застосовують помножувачі, які дозволяють підвищувати вимірювані частоти в $10n$ раз; переходять від вимірювання частоти досліджуваного сигналу до вимірювання його періоду.

2.6 Висновки до розділу

У даному розділі наведені результати аналізу основних методів вимірювання частоти періодичних сигналів, зокрема: резонансний метод вимірювання частоти, метод заряду і розряду конденсатора, електромеханічний метод, мостовий метод і метод дискретного підрахунку. Розглянуто принципи функціонування, будову та математичні моделі зазначених методів вимірювання частоти. Розглянуто типові структурні схеми частотомірів і математичні моделі, що описують процеси вимірювання частоти повторення сигналів. Також проведено аналіз можливих похибок вимірювань та методів їх зменшення.

3 ОПИС ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ ДЛЯ ЕМУЛЯЦІЇ РОБОТИ ЧАСТОТОМІРА НА ЕОМ

3.1 Загальний огляд пакету Quartus II

З середини 1999 року фірма Altera, один з ведучих виробників мікросхем програмованої логіки, вийшла на новий рівень технології і почала виробництво ПЛІС надвисокого ступеня інтеграції АРЕХ 20К. Револьюційність цього сімейства, крім ступеня інтеграції, полягає в поєднанні на перший погляд несумісного матричної і вентиляльної архітектури [13].



Рисунок 3.1 – Титульний вигляд програми Quartus II

До недавнього часу мікросхеми програмованої логіки можна було поділити на два класи матричні і вентиляльні. Структура матричних ПЛІС базувалася на так званих термах виробництва (product-term), а вентиляльних на модулях LUT (look-up-table).

До матричних ПЛІС в номенклатурі фірми ALTERA відносяться мікросхеми сімейств Classic, MAX3000, MAX5000, MAX7000, MAX9000, до вентиляльних FLEX6000, FLEX8000, FLEX10K. Кожна архітектура найкращим чином підходить для реалізації певних логічних функцій.

В мікросхемах АРЕХ20К вдалося об'єднати переваги обох архітектур.

Для програмної підтримки ПЛІС сімейства АРЕХ фірма Altera розробила і пропонує нову систему розробки Quartus.

САПР MAX+PLUS II є більш простим в освоєнні в порівнянні з Quartus II. Він підтримує сімейства MAX, FLEX і ACEX, які містять мікросхеми з 5В

живленням і кількістю функціональних перетворювачів від 32 до 4992 і має меншу кількість налаштувань. В даний час цей САПР фірма Altera не розвиває і рекомендує переходити на систему Quartus II.

Фірма Altera активно розвиває САПР Quartus II, який є основним та підтримує всі новітні сімейства мікросхем і володіє особливостями, яких немає в MAX+PLUS II. Основні конкуренти - компанія Xilinx. Інші значні конкуренти в даній галузі це Lattice и Actel.

В порівнянні з системою MAX+PLUS II ця САПР володіє новими, більш могутніми можливостями, відповідними складності і інтеграції мікросхем APEX. САПР QUARTUS дозволяє створювати цифрові пристрої, декілька, що містять, мільйонів логічних вентилів з перевагами, які ще не бачили в системах проектування PLD. Система проектування Quartus II використовує функції, які дозволяють збільшити продуктивність, зменшити час відладки, скоротити цикл проектування і спростити розробку.

Ці функції включають наступне:

- Логічний аналіз SignalTap
- Зростаюча перекомпіляція
- Сумісна розробка
- Об'єднання EDA інструментів NativeLink
- Багатопроцесорна підтримка

В рамках даного огляду повний опис САПР Quartus, природно, неможливо, тому хотілося б відзначити найістотніші моменти для розробника.

3.2 Вхідний інтерфейс

Високий ступінь інтеграції ПЛІС сімейства APEX підвищує значущість високорівневих форм проєктних описів. Одним з основних елементів представлення функціонування пристроїв стають мегафункції описи типових схем середньої і високої інтеграції[13].

Найбільший інтерес можуть представляти наступні мегафункції:

1.Інтерфейс з шиною PCI.

2.Цифрова обробка сигналів (швидке перетворення Фур'є, цифрові фільтри і ін.).

3.Периферійні пристрої (приймач-передавач 16450, контролер прямого доступу до пам'яті 8237, контролер переривань 8259, комунікаційний інтерфейс 8251 і ін.).

Широкі можливості надає LPM (бібліотека модулів, що параметризуються). Функції бібліотеки логічні схеми (ОЗУ, лічильники, суматори, мультиплексори, пам'ять і ін.), розмірність і особливості яких визначає сам користувач.

Зручну роботу з функціями і високу наочність відображення забезпечує схемний (блоковий) редактор. Окрім зображення простих схем він дозволяє формувати ієрархічну структуру у вигляді блок-схеми, кожний "квадратик" якої, у свою чергу може бути складним вузлом, описаним будь-яким з перерахованих способів.

Для більш компактного і швидкого опису нетипових схем зручно використовувати високорівневі мови опису стандартні VHDL, Verilog HDL і схожий з ними AHDL, знайомий ще користувачам системи MAX+PLUS II. Конструкції мов дозволяють описувати кінцеві автомати, арифметичні операції (складання, віднімання, множення, рівність), умовні операції "якщо-то", таблиці істинності, булеві рівняння.

3.3 Головне робоче вікно програми

Система є повноцикловою, тобто підтримує не окремі етапи проектування (як системи типу CAD - computer aided design), а наскрізний процес від введення і контролю опису до програмування мікросхем ПЛІС. Такі системи одержали назва EDA - electronic design automation. На рисунку 3.2 показане головне робоче вікно програми, котре з'являється після запуску програми.



Рисунок 3.2 - Головне робоче вікно програми

3.4 Меню Quartus II

Меню Quartus II можна вважати найголовнішим, так як з нього запускаються усі редактори, призначені для повного циклу оброблення проєкту. на рисунку 3.3 показано головне вікно програми Quartus II із відкритим меню.

Складові меню Quartus II [11]:

Graphic File - запуск графічного редактора;

Symbol File - запуск редактора символів;

Text Editor - запуск текстового редактора;

Waveform File - запуск редактора часових діаграм;

Compiler - відкриття вікна компілятора;

Simulator - відкриття вікна системи моделювання;

Timing Analyser - відкриття вікна часового аналізатора;

Programmer - відкриття вікна системи програмування НВІС.

після чого обраний елемент буде розміщений саме в цьому місці (позиціювання елемента відбувається по верхньому лівому куті умовної позначки елемента).

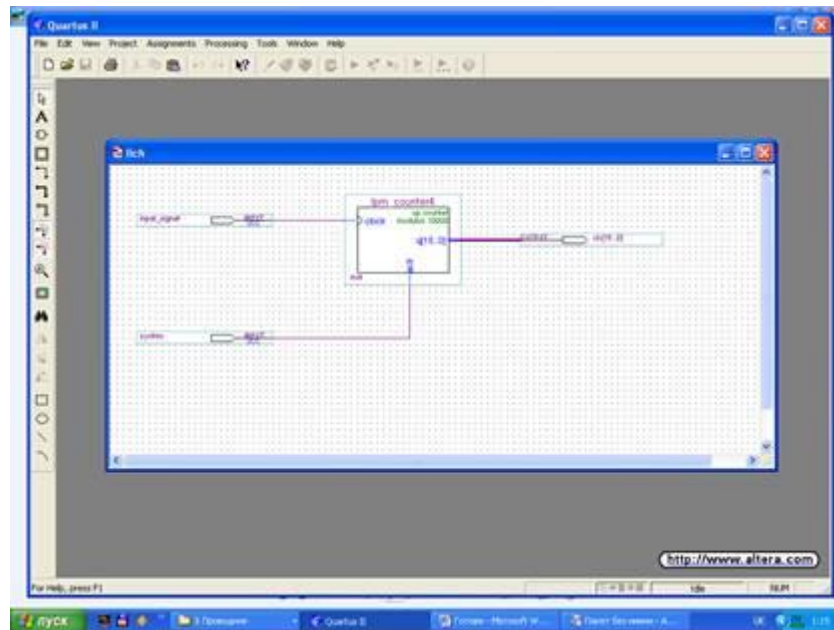


Рисунок 3.4 – Вікно графічного редактора

3.6 Symbol File

Symbol File символний редактор дозволяє редагувати існуючі символи і створювати нові.

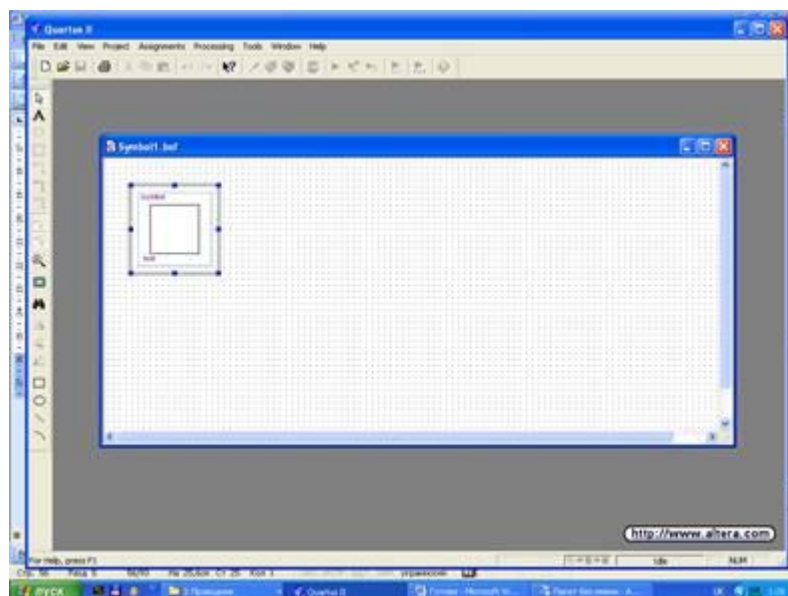


Рисунок 3.5 - Вікно редактора символів

Також будь-який відкомпільований проєкт можна згорнути у символ, який поміщений у бібліотеку символів і застосований як елемент у якомусь іншому проєкті. Зручно використовувати символне представлення при ієрархічній побудові проєкту, адже проєкт самою вищою рівня створюється в графічному редакторі, де використання символів є найдоцільнішим. Подвійний натиск лівою клавішою миші на символі призводить до відкриття файлу проєкту в редакторі, в якому він був створений.

3.7 Text Editor

Text Editor - текстовий редактор, призначений для створення і редагування текстових файлів, що містять опис логіки проєкту або мовою опису пристроїв AHDL (Altera Hardware Description Language) чи на подібних до нього мовах типу VHDL, Verilog HDL. Текстові файли в системі Quartus II мають розширення .tdl (Text Design File). Текстовий редактор має шаблони конструкцій мови AHDL, які прискорюють написання програм. Компілятор з цієї мови інтегрований у всі пакети проєктування фірми Quartus II, також розробки інших фірм і забезпечує пряму компіляцію в файл конфігурації в будь-який BIC цієї фірми.

3.8 Waveform File

Waveform File - редактор часових діаграм, який виконує подвійну функцію: на етапі введення забезпечує введення логіки проєкту у вигляді діаграм станів входів і виходів, з на етапі моделювання забезпечує проведення попереднього тестування проєкту на функціональному рівні. Вхідними даними для нього являються файл проєкту після компіляції і тестові стани входів, а також результатом логіко-часова діаграма виходів.

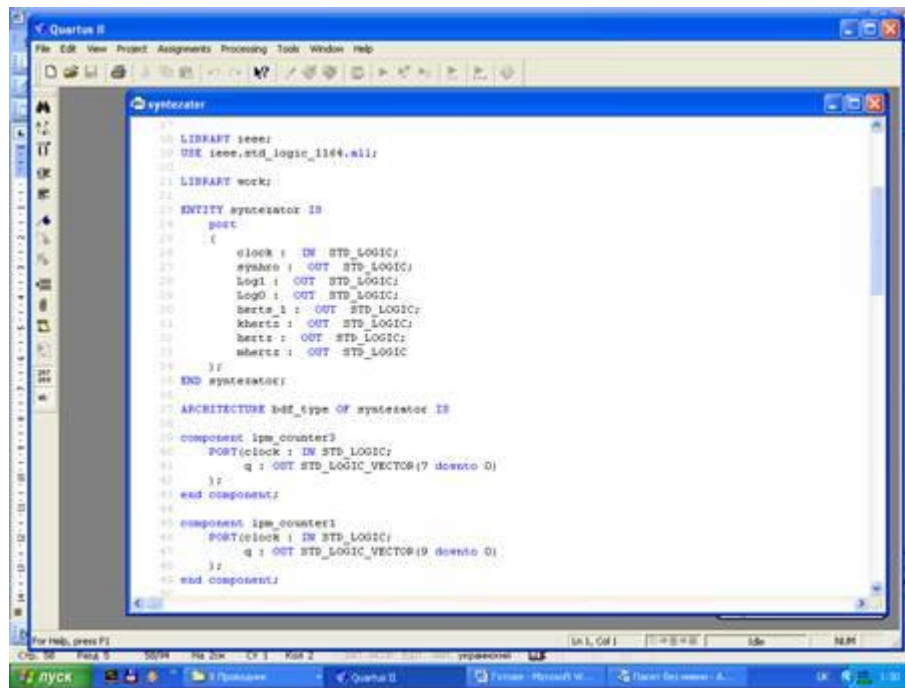


Рисунок 3.6 - Вікно текстового редактора

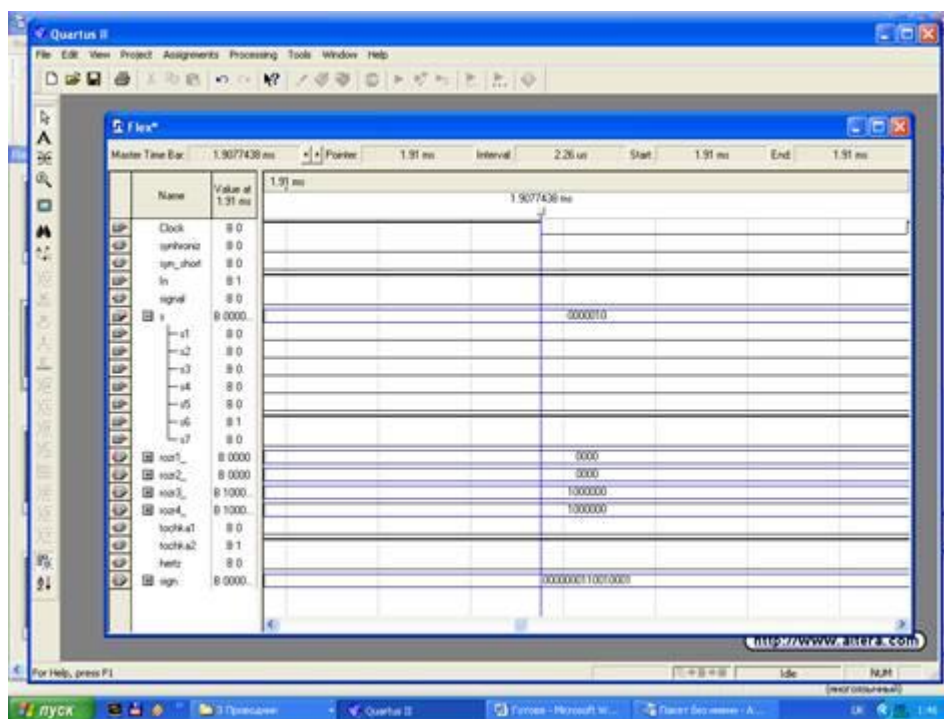


Рисунок 3.7 - Вікно редактора часових діаграм

Вікно редактора має три поля, розділених вертикальними лініями. Перше поле ліворуч Name призначене для введення імені вузла, у другому полі Value показані стани виводів, що відповідають положенню спеціальної вертикальної візирної лінії, що при відкритті вікна встановлена в початок горизонтальної осі.

розміченої в одиницях часу. Третє поле призначене для задання необхідних станів входів, при цьому використовується панель інструментів редактора, що розташована вертикально вздовж лівої сторони вікна.

3.9 Особливості аналізу схеми

Як і MAX+PLUS II, Quartus II дозволяє провести функціональний і часовий аналіз готової схеми за допомогою системи моделювання (симулятора). Проте разом з нею в Quartus вперше включено потужніший засіб тестування схеми аналізатор SignalTap, що представляє собою параметризовану мегафункцію, що входить в комплект стандартної поставки Quartus. SignalTap реєструє стани не тільки на контактах ПЛІС, але і у внутрішніх точках, заданих розробником, в реальному масштабі часу і заносить цю інформацію в пам'ять ESB. Далі дані поступають в комп'ютер через комунікаційний кабель MasterBlaster і виводяться на екран в редакторі тимчасових діаграм (Waveform Editor) для перегляду, аналізу і відладки схеми.

MasterBlaster забезпечує апаратний інтерфейс між мікросхемами сімейства APEX і комп'ютером і виконує завантаження і аналіз ПЛІС через шину USB з швидкістю до 8 Мбіт/с або послідовний порт RS-232 з швидкістю до 115000 біт/с. MasterBlaster підтримує всі можливі напруги для ПЛІС фірми Altera (1,8, 2,5, 3,3 і 5,0 В). Аналізатор SignalTap може працювати також і через ByteBlasterMV.

Compiler - підпрограма, що входить до пакету компілятора і призначена для перевірки коректності проекту і локалізації помилок, формування файлів програмування або конфігурування ПЛІС.

Quartus надає користувачу різні можливості зміни алгоритму синтезу за допомогою опцій компіляції, що задаються через систему меню. Відзначимо основні можливості Quartus, що мають принципове значення.

- nSTEP-компіляція. Складні схеми з високим ступенем інтеграції вимагають, як правило, декілька циклів компіляції до отримання кінцевих

результатів. Проте, чим складніша схема, тим більше часу займає цей процес. nSTEP-компіляція дозволяє компілювати тільки ту частину проєкту, яка була змінена після попередньої ітерації. Це не тільки скорочує терміни розробки виробу, але і зберігає незмінними розміщення на кристалі і тимчасові характеристики решти частини схеми.

- CoreSyn Synthesis. При синтезі проєкту компілятор аналізує логічні функції і розміщує їх на кристалі в ресурси відповідної архітектури (LUT, матричні комірки або блоки пам'яті), чим досягається висока продуктивність і густина розміщення на кристалі.

- Часовий синтез. Перед компіляцією розробник може задати деякі тимчасові параметри, які він хоче отримати в ПЛІС після проєктування. До таких параметрів відносяться: затримка розповсюдження сигналу T_{pd} , час спрацювання від тактового сигналу T_{co} , час встановлення T_{su} , внутрішня і системна частоти.

Simulator - підпрограма, що разом з редактором часових діаграм призначена для функціонального моделювання проєкту з метою перевірки правильності логіки його функціонування.

3.10 Висновки до розділу

У розділі в пакеті Quartus II здійснено загальний огляд пакету Quartus II. Проаналізований його вхідний інтерфейс і головне робоче вікно програми. Здійснений короткий опис таких меню Quartus II як: Graphic File, Symbol File, Text Editor, Waveform File. Наведені особливості аналізу схеми у пакеті Quartus II.

4 РОЗРОБКА ЧАСТОТОМІРА

4.1 Вибір елементної бази та системи проєктування

З перерахованих методів вимірювання частоти найбільш практичним для використання на виробництві є прямий метод. У результаті ми будемо вважати його відправною точкою для нашого частотоміра.

При швидкому і широкому впровадженні інтегральних мікросхем в сучасну електроніку точність обчислень і швидкість обробки зростає на кілька порядків, в результаті для створення пристрою буде вигідно вибрати інтегральні мікросхеми, але з максимально можливою кількістю скорочень з метою зменшення кількості компонентів. Сьогодні мікроконтролери на основі FPGA широко поширені в пристроях. Вони представлені різноманітними надзвичайно широкими класами моделей від різних виробників. Однак майже всі з них полегшуються компіляторами, які використовують код певної мови програмування для створення файлу прошивки. Як наслідок, ефективніше використовувати мікроконтролери, які використовують компілятори, які полегшують створення файлу прошивки на основі принципової діаграми пристрою.

Це полегшить моделювання пристрою перед пришиванням мікросхеми. Це підвищить надійність конструкції частотоміра. Цим вимогам відповідають мікроконтролери Altera MAX7000S і FLEX10K, особливо тому, що вони вже змонтовані на платі, яка буде впроваджена у виробництво. Також для їх мікропрограми створено програмний пакет Quartus, який підтримує початковий випуск як програмного коду, так і потенціал для «складання» принципової схеми.

Розглянемо основні логічні функції і співвідношення алгебри логіки, які необхідні для проєктування [10].

Примітиви – у програмному забезпеченні відображають найпростіший функціональний елемент проєкту. Примітиви (вони використовуються в

графічних і текстових файлах) поділяються за функціональним призначенням на п'ять груп. Основними елементами примітивів, використовуваних при роботі МКР:

1) порти (рис.4.1,а): односпрямовані INPUT (вводу), OUTPUT (виводу) і двоспрямований BIDIR (вводу-виводу);

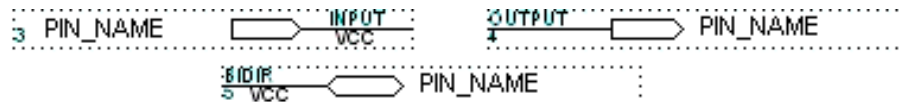
1) порти (рис. 4.1, а): односпрямований вхід (вхід), вихід (кінець) і двонаправлений бідир (вхід і вихід).

2) буферизація (рис. 4.1, б): ГЛОБАЛЬНА – для збільшення ємності для розгалужених ланцюгів синхронізації, скидання, дозволу тощо; TRI Primitive – буфер, який має три стани виводу з високим ступенем роздільної здатності виводу; LCELL Primitive (від logic cell – логічна комірка) – буфер, який розподіляє ресурси мікросхеми між її окремими осередками (логічний синтезатор може автоматично включати буфер LCELL у схему, але його неможливо видалити); EXP Primitive (від expander – розширювач) – термін, який логічно пов'язаний з іншим терміном, використовується для сприяння зв'язку між осередками одного блоку логічних матриць (LAB) або між осередками інших блоків (при використанні LCELL і EXP як елемент затримки, на його величину слід враховувати вплив дестабілізуючих факторів, насамперед температури навколишнього середовища та нестабільності джерела живлення);

3) логічні компоненти (рис. 4.1, в): зображення констант, пов'язаних із графічними файлами (GND – log. 0 і VCC – log. 1); загальні елементи (NOT, OR, NOR, AND, NAND, XOR, XNOR), а також деякі їх еквівалентні паралельні компоненти (BOR, BNOR, BAND, BNAND);

Макроси - це звичайні блоки, які зазвичай мають високий рівень, вони були оптимізовані для різних логічних операцій. Понад 300 макро-функцій, отриманих із 74-ї серії (з цифровою нумерацією 74...), а також ті, які є специфічними для цієї програми (позначені малими літерами), були включені в систему MAX.... Макроси (вони використовуються як у графічних, так і в письмових файлах) мають 21 різне функціональне призначення.

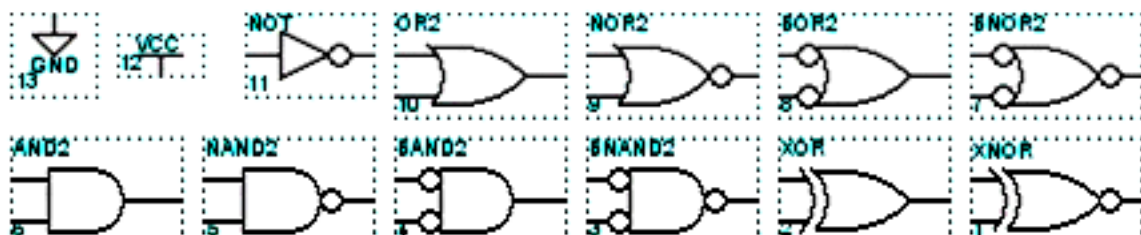
Мегафункції призначені як стандарт високого рівня, який насправді не існує, але може використовуватися як компоненти для схем поряд з іншими стандартними блоками (примітивні функції, декодери, мультиплексори тощо).



а)



б)



в)

Рисунок 4.1 – Основні елементи примітивів: а – порти; б – буфери; в – логічні примітиви

4.2 Розробка структурної схеми частотоміра

Частота кварцового генератора складає 25,175МГц чого абсолютно достатньо для вимірювання частоти до 50МГц із точністю 0,1. Але не рекомендовано вимірювати такі великі частоти при низьких параметрах задаючого генератора тому обмежимося діапазоном 0,1кГц÷999,9кГц. Для цього згідно вибраного методу вимірювання частоти складемо структурну схему [11].

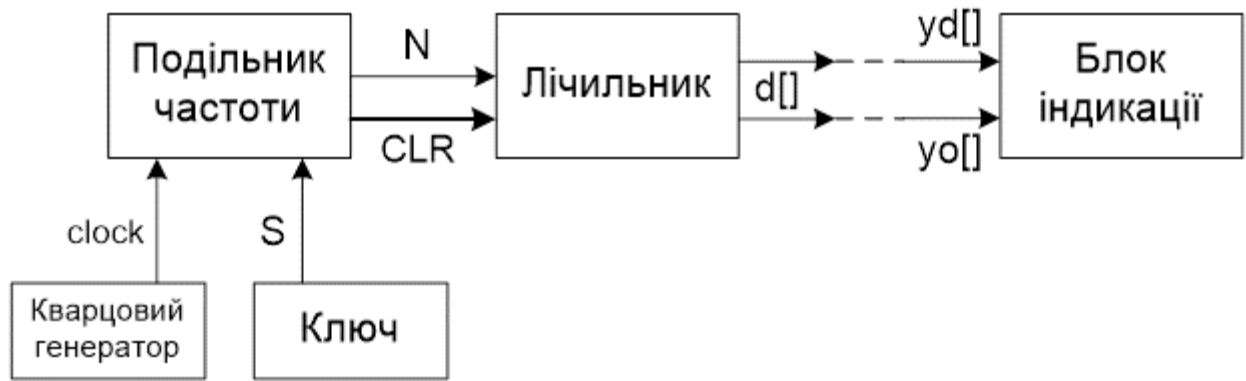


Рисунок 4.2 - Структурна схема частотоміра

Де clock вхідні імпульси від задаючого генератора, що поступають на подільник частоти для поділу на потрібні нам частоти. З виходу подільника частоти отримаємо імпульси з періодом 1 секунда - це сигнал N, що використовується для блоку індикації щоб зображення не постійно мерехтіло, а мало статичний вигляд на протязі деякого часу. Для інженерної практики часу в 1 секунду повністю вистачає для вимірів, та 10мс для синхронізації лічильника. Ці синхроімпульси мають частоту 100Гц і для лічби кількості імпульсів що надійде на вхід за цей період.

4.3 Принцип роботи частотоміра

В основу цифрового частотоміра покладено частотно-імпульсний метод перетворення безперервної величини в код. Цей метод полягає в заповненні відомого часового інтервалу Δt імпульсами сигналу вимірюваної частоти f_x , підрахунку їх кількості N та індикації результату. Якщо протягом інтервалу, наприклад, $\Delta t = 1$ с проходить 1 імпульс, частота дорівнюватиме $f_x = 1$ Гц, якщо проходить 10 імпульсів за секунду – частота $f_x = 10$ Гц і т. д. Якщо ж інтервал становитиме $\Delta t = 1$ мс, то кількість імпульсів відображатиме частоту в кілогерцах, для інтервалу $\Delta t = 1$ мкс – у мегагерцах тощо. Отже, наведене перетворення характеризується кроком квантування (квантом – значенням

одного імпульсу) $q = 1/\Delta t$, який становить для трьох зазначених випадків відповідно $q = 1$ Гц, 1 кГц, 1 МГц. З урахуванням зазначеного вимірювана частота визначається як $f_x = Nq = N/\Delta t$. Розглянемо структурну схему цифрового частотоміра [11].

Із сигналу clock з частотою $f = 25,175$ МГц від кварцового генератора в синтезаторі частот формуються дві основні послідовності імпульсів з частотами f_0 та f_x (рис. 5.3). Послідовність $f_0 = f / K_0$ задає відомий часовий інтервал $\Delta t = T_0/2 = 1/2f_0 = K_0/2f$. Послідовність $f_x = f / K_x$ відображає невідому вхідну частоту, яку потрібно виміряти (цю частоту можна змінювати ключем S). Імпульси f_x пропускаються на вимірювальному інтервалі Δt через елемент І (ворота), тому на виході утворюється серія з N імпульсів (пачка імпульсів), кількість яких дорівнює $N = \Delta t / T_x = (K_0/2f) f_x$, звідки маємо $f_x = N/(K_0/2f) = Nq$, де крок квантування $q = 2f/K_0$. Якщо знімати покази частоти в мегагерцах, і взяти крок квантування, наприклад, $q = 0,1$ МГц, то слід вибрати коефіцієнт поділу частоти $K_0 = 2f/q = 20f \approx 504$ (з округленням до найближчого парного числа) [11].

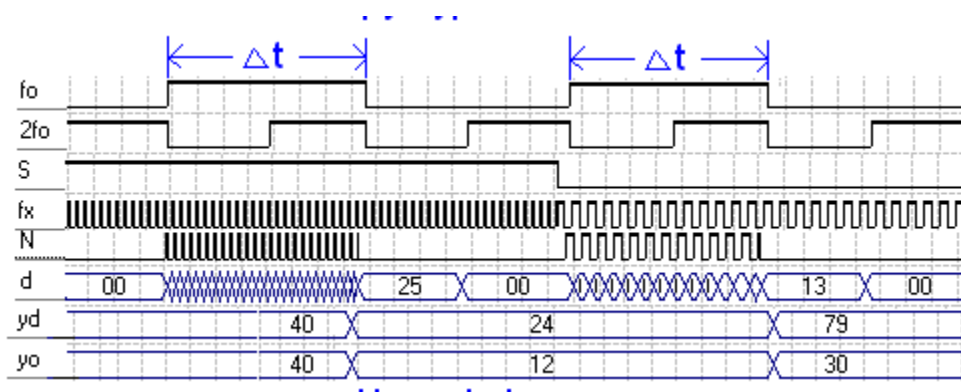


Рисунок 4.3 – Часові діаграми роботи частотоміра

У лічильнику підраховується кількість N в серії імпульсів і на його виходах по закінченні серії утворюється паралельний код $d[]$, що відображає цю кількість. Аби не перетворювати код до десяткової системи числення з метою зручності відліку, доцільно лічильник вибрати двійково-десятковим з кількістю

декад, яка дорівнює числу десяткових розрядів відліку. У навчальному проєкті обмежуємося двома декадами, розуміючи, що його промисловий варіант відрізнятиметься лише потрібною кількістю розрядів відліку. Щоб лічильник починав підраховувати кількість імпульсів у серії з нуля, перед надходженням кожної серії його потрібно обнулити. Імпульси очищення CLR, затримані відносно вимірювального інтервалу Δt на час зчитування, можна сформувати очікувальним мультівібратором або, як у прикладі, порівнянням сигналів на виходах останнього f_0 і передостаннього $2f_0$ розрядів подільника частоти за допомогою логічної функції АБО-НЕ і детектора фронтів.

Якщо код $d[]$ з виходів лічильника подати безпосередньо на індикатор, його покази будуть миготіти під час лічби на інтервалі Δt . Запобігти цьому можна гасінням індикатора на час лічби і формуванням паузи між вимірюваннями, достатньої для індикації. У прикладі безперервність індикації забезпечується за допомогою регістра, до якого код $d[]$ записується по закінченні кожної серії синхроімпульсами Crg , що формуються в синтезаторі детектором фронтів перед імпульсами очищення лічильника CLR.

З виходів регістра тетради десятків Nd і одиниць No перетворюються у двох розрядах дешифратора семисегментного коду в групи y_d та y_o , які надходять до двох знакомісць цифрового індикатора FLEX DIGIT.

4.4 Етапи проєктування у програмному середовищі Quartus II

1 Створити блок-схему ієрархічного проєкту верхнього рівня

1. Визначити ім'я і основні параметри проєкту 10XXchastotomir, вибрати родину мікросхем FLEX10K, її тип та корпус

2 Створити графічний файл блок-схеми, вставити до нього функціональні блоки синтезатора частот, лічильника, регістра і дешифратора семисегментного коду та потрібні порти входів і виходів. Дати імена вставленим елементам та заповнити мапи входів/виходів у блоках.

3 З'єднати компоненти блок-схеми та розвести сигнали між блоками. З'єднання виконати іменами

4 Виконати з'єднання сигналів мікросхеми з її зовнішніми виводами згідно з таблицями розведення цих виводів на друкованій платі. Піктограмою збереження автоматично дати ім'я графічному файлу та зберегти зміни в ньому.

2 Створити проекти нижчого рівня ієрархії для функціональних блоків з метою відпрацювання вузлів блок-схеми.

2.1 Створити проект синтезатора частот на рівні мегафункцій у графічному редакторі.

а) Аналогічно п. 1.1 визначити ім'я проекту (відмінне від назви блоку у файлі блок-схеми, наприклад) і його параметри.

б) Аналогічно п. 1.2 створити графічний файл, вставити до нього подільники частоти – лічильники з модулями K_0 і K_x , подільник частоти і мультиплексор для перемикавання вимірюваної частоти, логічні елементи І, АБО-НЕ та детектори фронтів для формування основних вихідних сигналів, вхідні і вихідні порти, а також, у разі потреби, допоміжні буфери для усунення ризиків від небезпечних змагань сигналів.

в) З'єднати компоненти схеми, розвести сигнали, піктограмою збереження дати ім'я графічному файлу за назвою проекту із включенням його до поточного проекту, включити до проекту також файл детектора фронтів і виконати компіляцію.

г) Створити файл часових діаграм, виконати функціональне моделювання і переконатися в правильності проектування.

г) Скопіювати графічний файл синтезатора частот, відкрити проект блок-схеми частотоміра, створити новий графічний файл, вставити до нього копію і піктограмою збереження дати нове ім'я графічному файлу (таке саме, як ім'я блоку в блок-схемі) із включенням його до поточного проекту. Включити до проекту блок-схеми також файл детектора фронтів аналогічно п. 2.1,в.

2.2 Створити проект лічильника на рівні макрофункцій у графічному

а) Аналогічно п. 2.1,а...г дати ім'я проєкту, відмінне від назви блоку у файлі блок-схеми, дібрати ІС серії 74 лічильника, вставити її до графічного файла і настроїти макрофункцію, доповнити схему портами і виконати необхідні з'єднання, скомпілювати і змодельовати проєкт та переконатися в правильності функціонування пристрою.

б) Аналогічно п. 2.1,г включити до проєкту блок-схеми копію графічного файла з новим ім'ям лічильника, яке збігається з ім'ям блоку в блок-схемі.

2.3 Створити проєкт дешифратора 7-сегментного коду на рівні макрофункцій у текстовому редактор

а) Аналогічно п. 2.1,а дати ім'я проєкту, відмінне від назви блоку у файлі блок-схеми.

б) Створити текстовий файл, дібрати потрібну макрофункцію дешифратора 7-сегментного коду з інверсними виходами і включити її до файла (FUNCTION Prototype Statement, parameterized), дати імена зразкам та з'єднати входи і виходи зразка з портами (LOGIC Section, Boolean Equation).

в) Піктограмою збереження дати ім'я текстовому файлу за назвою проєкту із включенням його до поточного проєкту, виконати компіляцію і функціональне моделювання та переконатися в правильності функціонування пристрою.

г) Аналогічно п. 2.1,г включити до проєкту блок-схеми копію текстового файла з новим ім'ям дешифратора, яке збігається з ім'ям блоку в блок-схемі.

3 Виконати компіляцію і функціональне моделювання проєкту блок-схеми в цілому та переконатися в правильності функціонування системи.

3.1 Відкрити проєкт блок-схеми і переконатися, що до проєкту включено файл блок-схеми і файли всіх його блоків і компонентів з інших проєктів (інакше додати файли, яких бракує, та вилучити зайві файли).

3.2 Скомпілювати проєкт та, у разі потреби, налагодити його усуненням помилок, які подаються у вікні повідомлень червоними позначками.

3.3 Створити файл часових діаграм, виконати функціональне моделювання та переконатися в правильності проєктування.

4.5 Подільник частоти

Розглянемо принципову схему подільника частоти зібрану на елементах, що підтримує Quartus II. Принципова схема зображена на рисунку 4.4. [11,12].

Вхідний сигнал поступає на 8-ми розрядний лічильник з основою 251 щоб вхідний сигнал поділити до частоти 100кГц. Далі цей сигнал поступає на наступний 10-ти розрядний лічильник з основою лічби 1000. В результаті чого на виводі, що відповідає старшому розряду отримаємо імпульси з частотою 100Гц. Але їх ще не можна використовувати, тому що для синхронізації краще використовувати “голку” - це короткотривалий імпульс, фронтом якого і будемо керувати. Для його створення подамо наш імпульс на синхровхід синхронного D тригера з динамічним керуванням, а на D вхід подамо імпульси від задаючого генератора. В результаті на виході тригера отримаємо, під час появи фронту імпульсу із вихода лічильника, імпульс тривалістю 39,7нс.

Для того, щоб отримати імпульси із частотою 1Гц, старший розряд другого лічильника подамо на декадний лічильник, на його виході отримаємо потрібні імпульси, які аналогічним чином перетворюємо на “голку”.

Для вірного відображення потрібно погасити одну із крапок на індикаторах, тому сформуємо високий та низький рівень за допомогою інвертора та 2 логічних елементів І та ВиключнеАБО.

Якщо розглянемо таблиці відповідності для цих елементів, то побачимо, що якщо на входах елементу І наявні різні сигнали, то на виході отримаємо лог.0 Аналогічним чином на виході ВиключногоАБО отримуємо лог.1.

4.6 Лічильник імпульсів

Тепер розглянемо принципову схему лічильника, що зображена на рисунку 4.5.

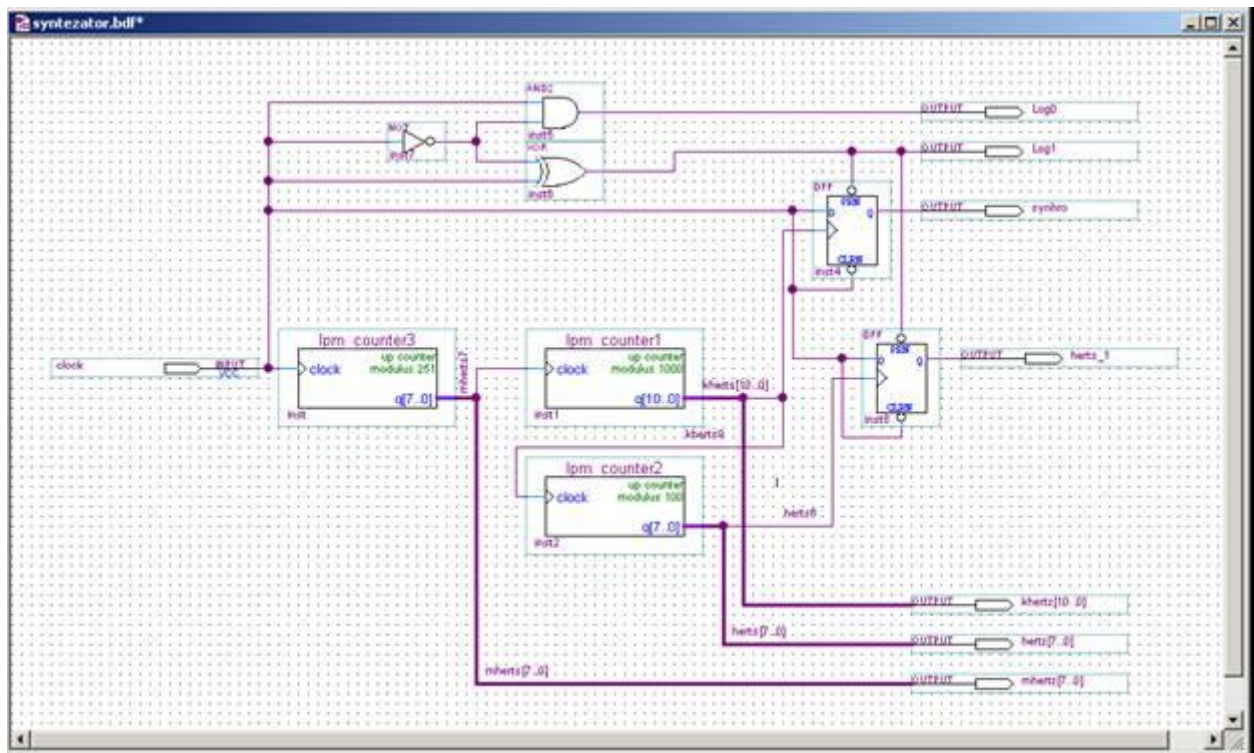


Рисунок 4.4 - Принципова схема подільника частоти

Він складається із 4 декадних лічильників, які з'єднані між собою паралельно відносно синхровходів та послідовно відносно даних. На вхід першого подається вхідний сигнал, що вимірюємо. Тоді на його виході із частотою 100Гц будуть формуватись десяті частини вимірюваної частоти. Якщо старший розряд подамо на вхід другого лічильника, то на його виході отримаємо одиниці. Аналогічним чином сформуємо десяті та соті частини числа вхідних імпульсів за 10мс. Тобто якщо на вхід подано 154,3кГц, то з виходу лічильника отримаємо число 1543, далі потрібно лише запалити відповідну крапку на індикаторі.

4.7 Блок індикації

Далі розглянемо блок індикації (рис.4.6). Він складається фактично із 16-ти розрядного D тригера та декодерів семисегментного коду.

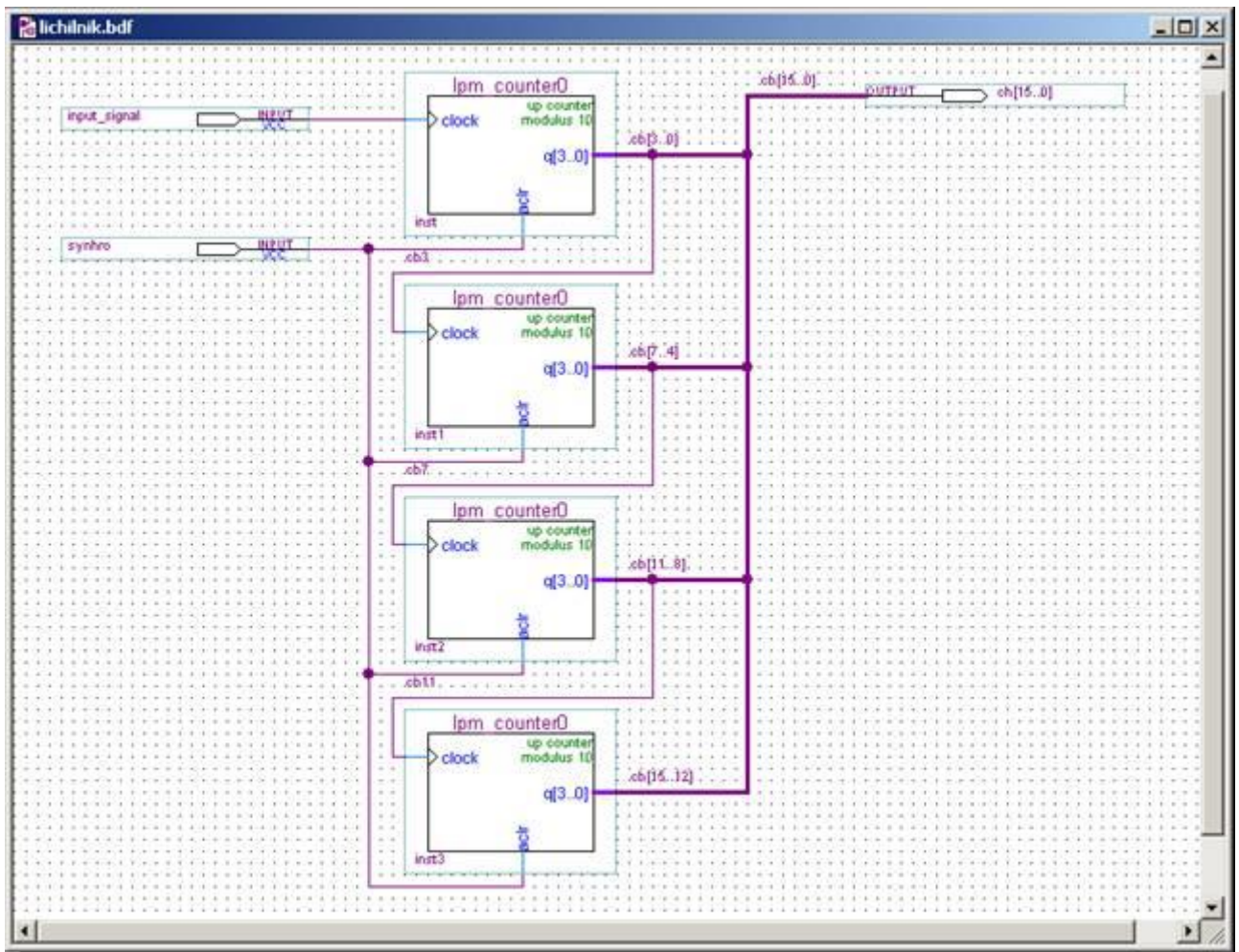


Рисунок 4.5 - Принципова схема лічильника

Проте виникає проблема в тому, що не вистачає двох розрядного індикатора для відображення частоти. Тому об'єднаємо мікросхеми між собою. Причому всі підрахунки буде виконувати FLEX10K через його швидкодію, а значення двох старших розрядів будемо передавати за допомогою шлейфу на MAX7000S, який просто буде виконувати функції двох дешифраторів семисегментного коду. Це буде найоптимальніша конфігурація. Звісно, можна використати для передачі не 8 виводів, а лише 3, щоб передавати імпульси на 2 старші лічильники та синхроімпульси, але це збільшило б і без того немалу похибку через несинхронність вимірів лічильниками старшими та молодшими.

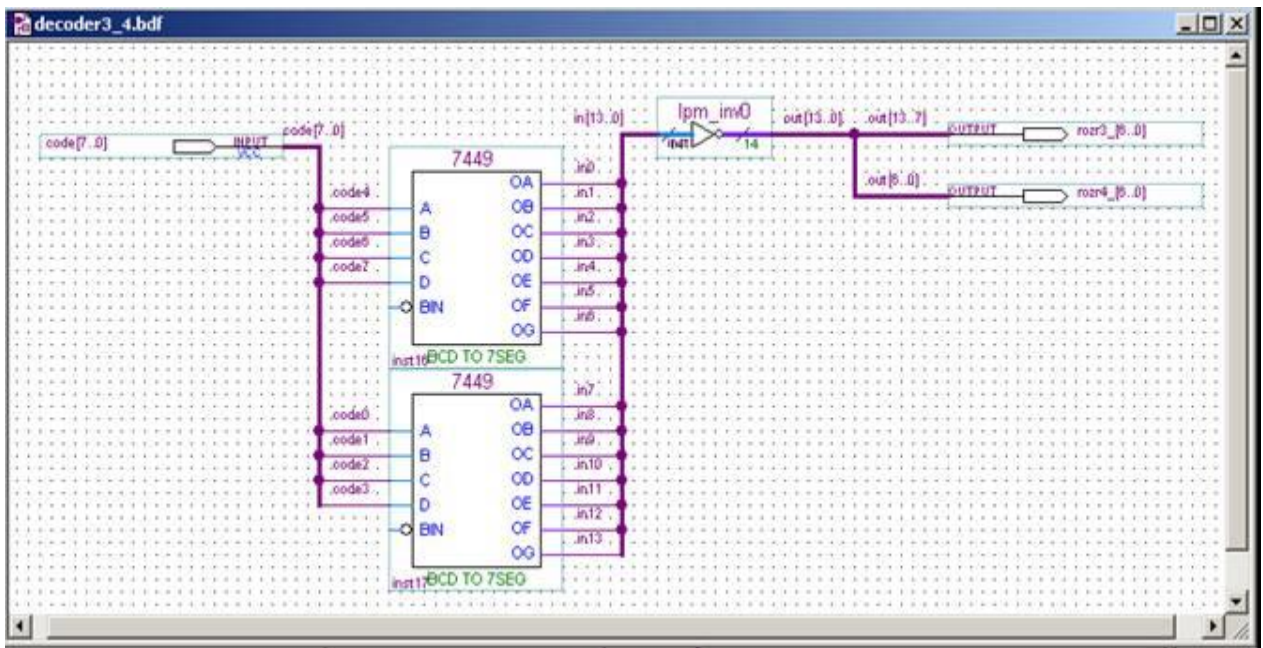


Рисунок 4.6 - Блок для індикації молодших розрядів значення частоти

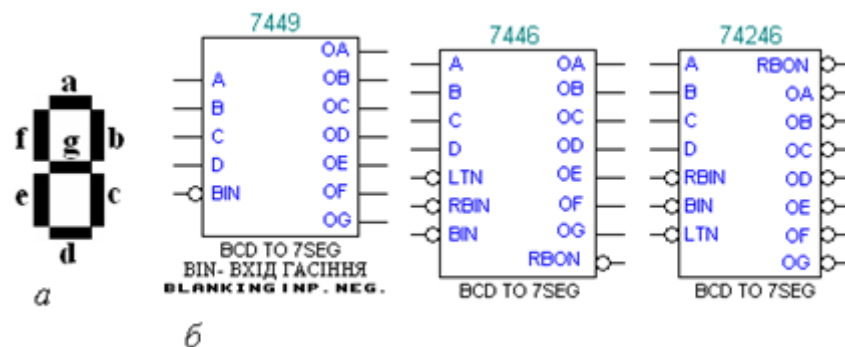


Рисунок 4.7 – Розміщення елементів в семи сегментному індикаторі (а) та семи - сегментні дешифратори (б)

4.8 Контроль вимірювань

Частотомір повинен мати можливість перевірки вірності вимірювань як і будь-який вимірювальний пристрій. З цією метою вводиться ще один блок, який фактично є синтезатором частот 0,8; 1,6; 25; 400; 200; 100 кГц. Фактично він є собою тим же самим подільником частоти, але на вихід він посилає єдиний сигнал, який знімається з виходів лічильників. Селекція потрібного сигналу

відбувається за допомогою перемикачів, що розміщені на платі. Сьомий перемикач подає на вихід синтезатора вхідний сигнал, що подається на вхід мікросхеми від зовнішнього джерела.

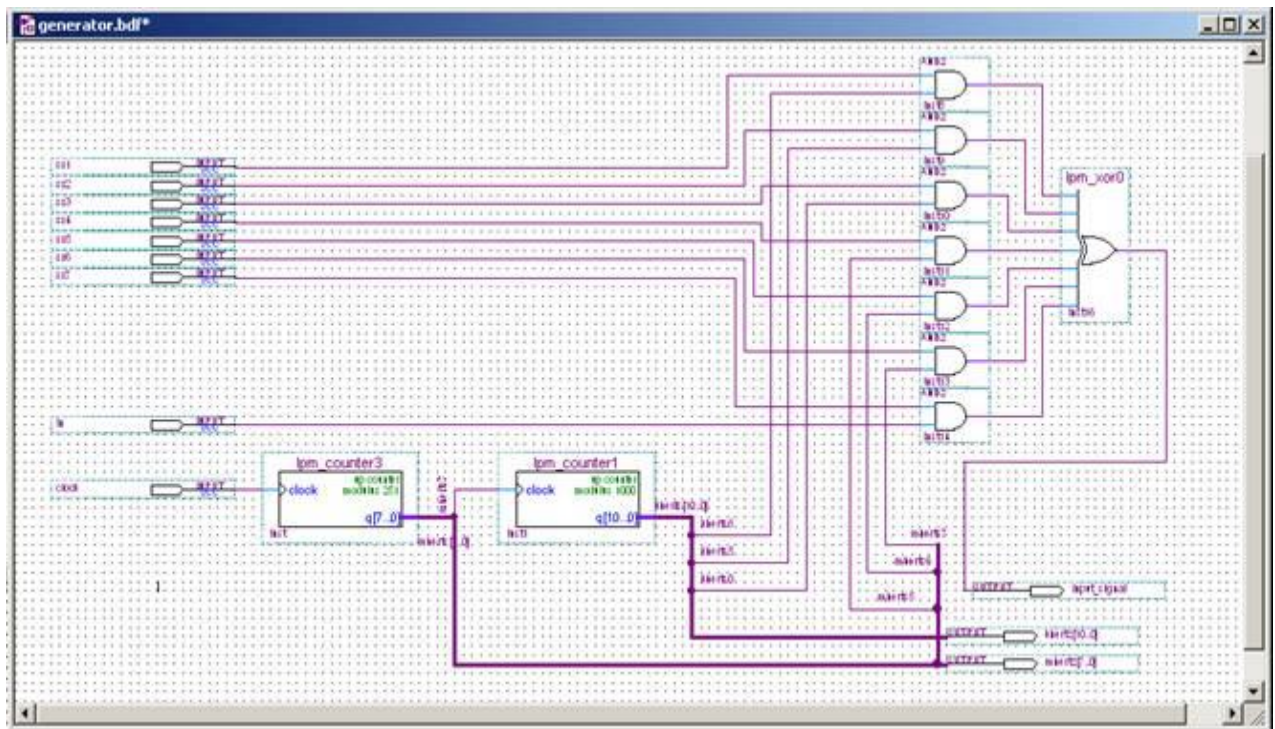


Рисунок 4.8 - Синтезатор частот

4.9 Узагальнення схеми пристрою

Таким чином, в результаті було отримано досить просту блокову структуру цифрового частотоміра, схема якого зображена на рисунку 4.9.

Це є найбільш поширеним варіантом виконання таких пристроїв.

Як видно, два старших розряди виводяться на виводи мікросхеми, за допомогою 8-ми розрядного шлейфу вони з'єднуються з відповідними виводами MAX7000S, що виконує функції двох дешифраторів 7-сегментного коду

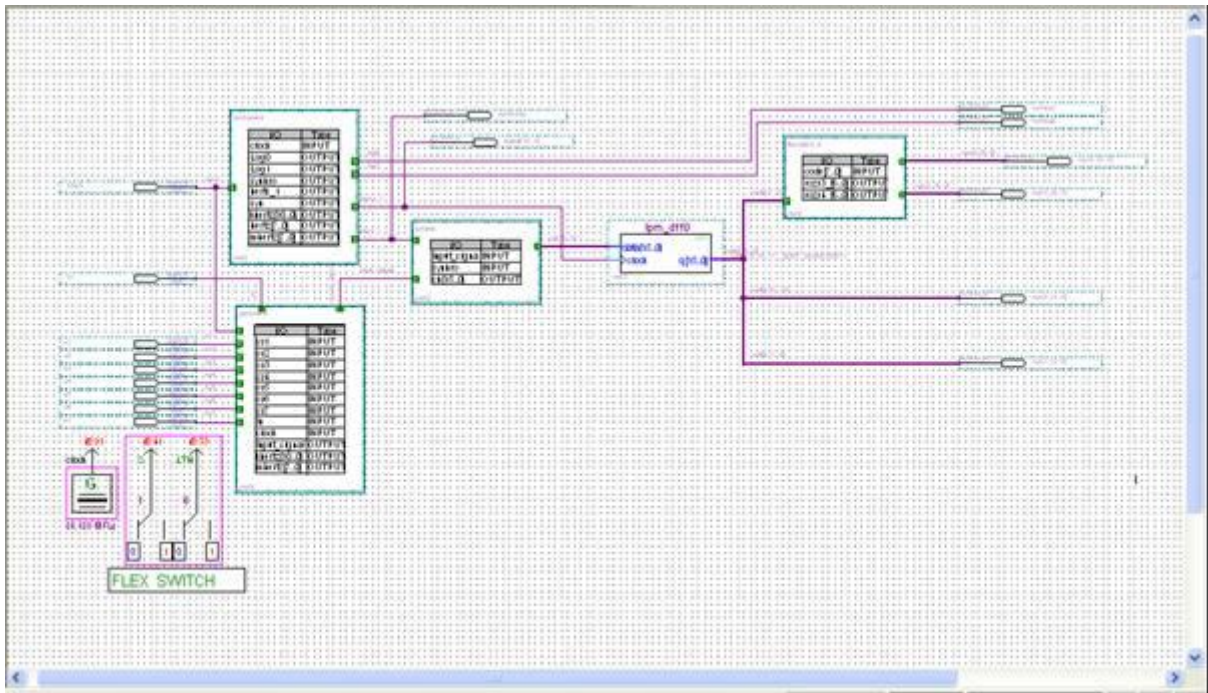


Рисунок 4.9 - Принципова схема частотоміра

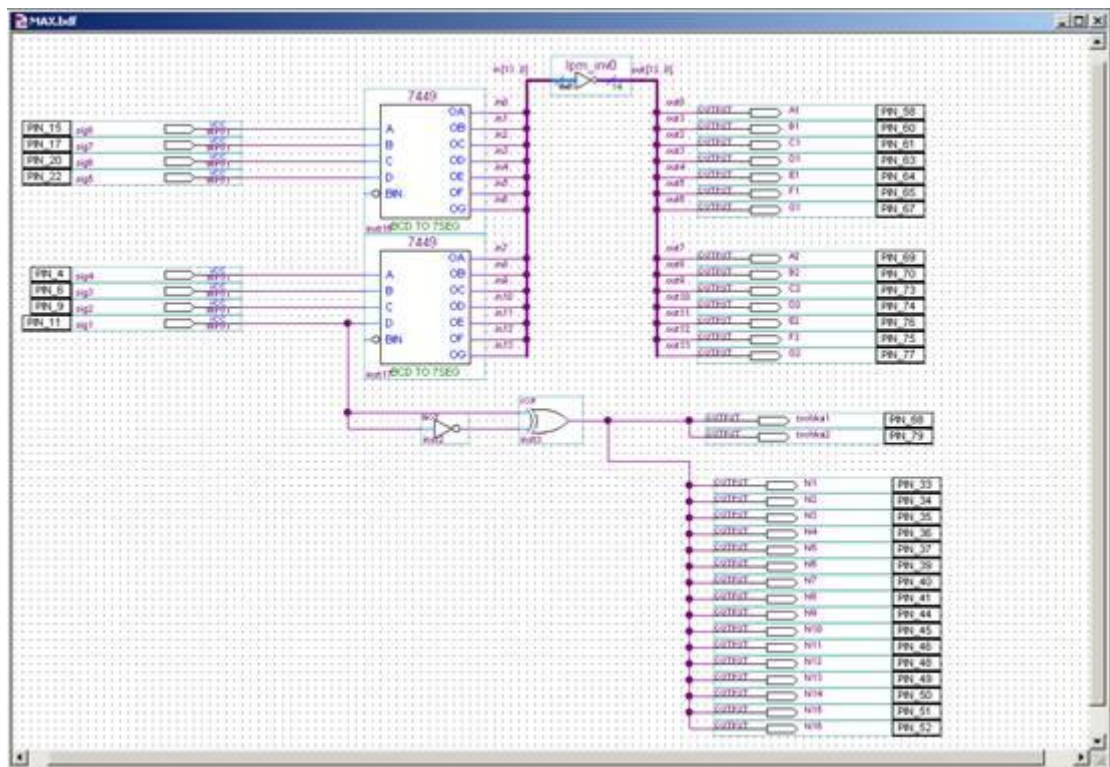


Рисунок 4.10 - Функціональна схема MAX700S

4.10 Висновки до розділу

У розділі в пакеті Quartus II розроблені функціональні блоки цифрового частотоміра. Зокрема розробка структурна схема частотоміра та описано принцип його роботи. Наведені етапи проєктування у програмному середовищі Quartus II. Наведені електричні схеми розроблених в пакеті програм Quartus II таких блоків цифрового частотоміра як подільник частоти, лічильник імпульсів, блок індикації. Описаний контроль процесу вимірювань.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ

5.1 Вибір параметрів моделювання

В склад пакету Quartus входить утиліта для моделювання роботи пристрою, в якій можна задавати вхідні сигнали та час моделювання. Оберемо час моделювання 30мс. Цього повністю вистачить для того щоб схема усталилась та можна було розглянути всі процеси. Для дослідження виведемо основні сигнали - це вхідний сигнал задаючого генератора, стан перемикачів, що виконують селекцію опорних сигналів, синхроімпульс, “толку”, сигнал, що знімається з виходу синтезатора, вихідні розряди, причому 2 молодших уже у вигляді семи сегментного коду, а 2 старших у вигляді чотирьохрозрядного коду.

5.2 Моделювання роботи подільника частоти

На рисунку 5.1 наведено процес формування так званої “толки” із прямокутних імпульсів з 50% заповненням. Як результат створюються імпульси з періодом 10мс і тривалістю 19нс. Якщо взяти до уваги, що всі цифрові елементи, які використовуємо працюють від фронту синхроімпульсу, то цього повністю вистачить[11,15].



Рисунок 5.1 - Формування синхроімпульсу

5.3 Моделювання роботи лічильника

Як вже було вище описано, лічильник складається із чотирьох декадних лічильників, котрі виконують підрахунок вхідних імпульсів і скидаються при надходженні фронту синхроімпульсу. На рисунку 5.2 зображено діаграми

вхідних на вихідних сигналів при частоті, яка знімається із синтезатора, рівній 25кГц.

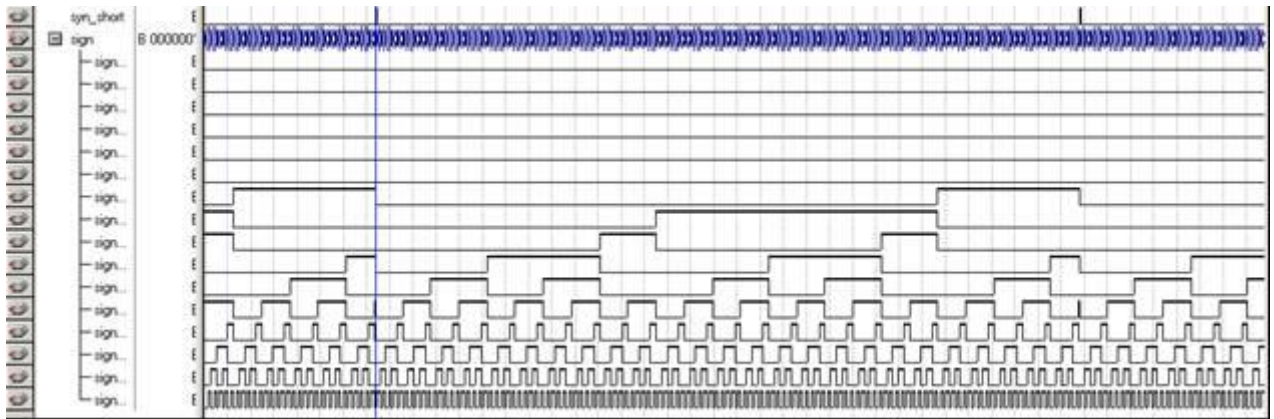


Рисунок 5.2 - Моделювання роботи лічильника

Як видно з рисунку після першого синхроімпульсу лічильники скидаються і розпочинають підрахунок то тих пір, поки не надійде слідуючий синхроімпульс, при цьому в той же час D тригер запам'ятовує значення сигналів на виходах лічильників та встановить їх на входах дешифраторів семисегментного коду.

5.4 Моделювання роботи частотоміра

Розглянувши роботу основних елементів розглянемо роботу всього пристрою. Осцилограми напруг зображено на рисунку 5.3 .

З наведених осцилограм можна побачити, що вихідні сигнали мають статичний характер протягом 10мс і не змінюється, поки не змінився вхідний сигнал [9].

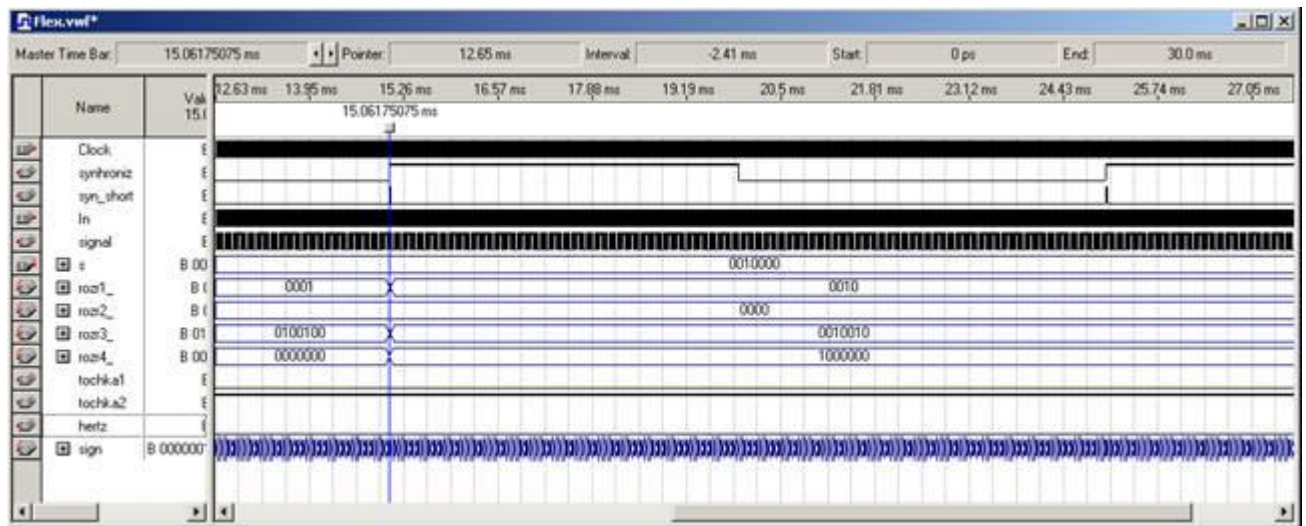


Рисунок 5.3 - Моделювання роботи частотоміра

З осцилограм видно, що вхідні сигнали мають статичний характер на протязі 10мс і не змінюються, якщо не змінився вхідний сигнал.

6 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

6.1 Задача компоновання

Компоновання - розміщення у просторі або на площині різних елементів - є одним із важливих завдань при конструюванні.

Основна задача, що вирішується при компонованні - це вибір форми, основних габаритних розмірів, орієнтовний вибір маси і розміщення у просторі будь-яких елементів апаратури. Перший проект макета виконується без масштабу, виконує функцію креслення і займає менше часу, ніж креслення.

Конструктивний ескіз виконується з використанням геометричних розмірів радіодеталей, їх форми і маси, а також електричних, магнітних, механічних, теплових та інших властивостей зв'язку. Маючи принципову схему і ескіз компоновання, можна оцінити потенційну величину і характер паразитних зв'язків, розрахувати тепловий режим і виконати розрахунки надійності.

Результатом компоновальних робіт на стадії ескізного проектування буде складання загальної компоновальної схеми виробу з розбиттям її на окремі функціональні блоки, компоновання робочого місця оператора, розміщення пристрою на об'єкті.

6.2 Розробка варіанту конструкції

Як відомо, основним компонентом будь-якого електронного обладнання для радіо є структура носія, ця складова гарантує структурну цілісність виробу. Крім того, він призначений для розміщення, механічного кріплення, захисту від механічного тягаря перевантаження та захисту від руйнівного впливу навколишнього середовища. Тому важливо починати з матеріалу кріплення та конструкції корпусу.

Врахуємо те, що ми проєктуємо пристрій, у корпусі якого маємо обов'язково передбачитись місце для елементів живлення. Щодо матеріалу корпусу, то ми могли б обрати алюміній. Це зробило б прилад стійкішим до ударів, однак істотно зросла б маса пристрою. А ще існує небезпека враження електричним струмом. Тому за матеріал корпусу оберемо термопластмасу.

В даному варіанті (рисунок 6.1) ПЛІС розміщена у корпусі, в якому передбачено вирізи під ЖКІ, роз'єми та кнопки (кнопка включення та виключення пристрою, кнопка корекції частоти, кнопка, що визначає режим індикації результату, кнопка переходу в режим вимірювання чи то періоду сигналу, чи то частоти тощо).

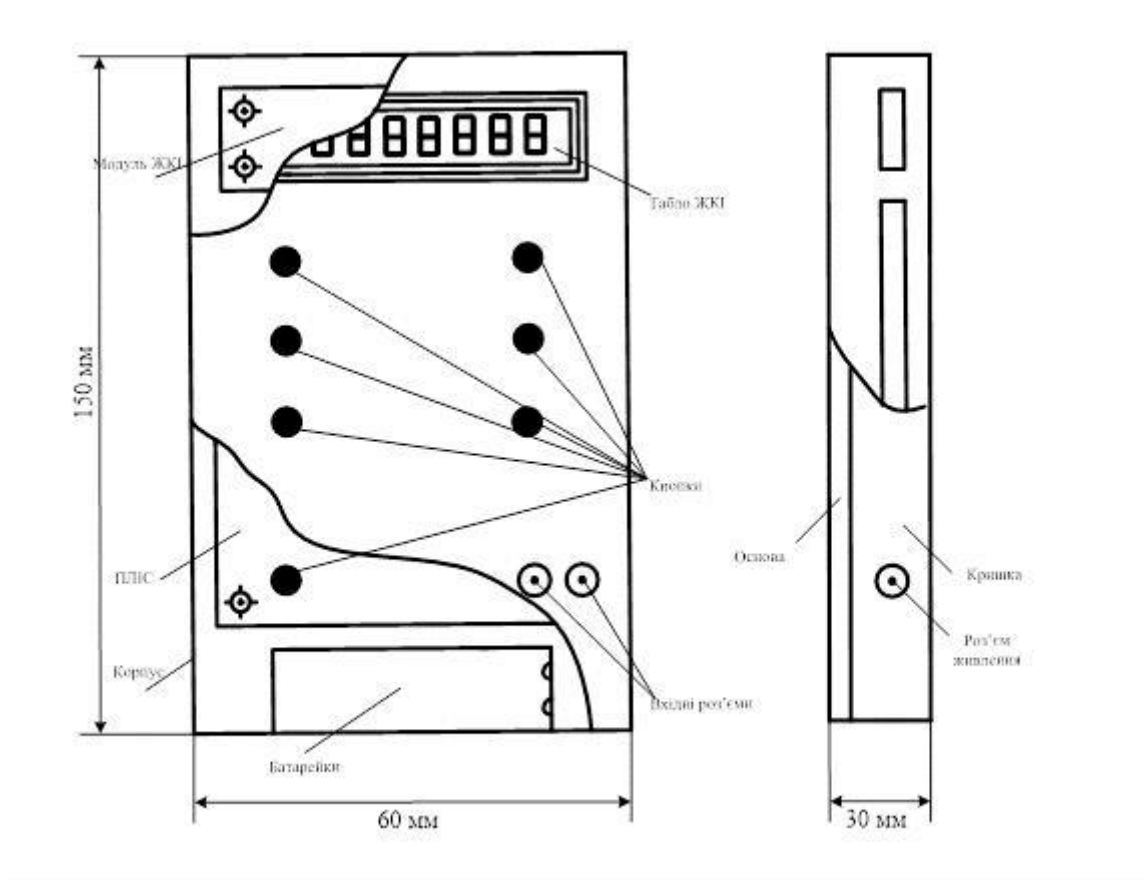


Рисунок 6.1 – Конструкція пристрою

Вони розміщені на корпусі, зокрема на передній панелі. В такому випадку корпус буде мати прямокутну форму, при цьому досить зручно і ефективно використовується простір і відсутні зайві порожнини. В середині корпусу

передбачено відсік для батарейок. Цим забезпечується зручність у користуванні пристроєм, коли його використовують у польових умовах. Також передбачено в даному варіанті ключовий роз'єм для додаткового живлення, який безпосередньо підключає пристрій до мережі 220 В, який розміщений на боковій панелі та роз'єм для подачі сигналу на вхід пристрою, розміщений на передній панелі, типу BNC, гніздо.

Дана конструкція проста і ремонтпридатна, кришка і корпус скріплюється за допомогою гвинтиків. Плата розміщена у горизонтальній площині, що сприяє хорошему тепловому режиму роботи пристрою.

6.3 Оцінка похибок приладу

6.3.1 Похибка вимірювання частоти

Для визначення меж, в яких знаходиться відносна похибка вимірювання частоти сигналів скористуємося формулою[14]

$$\delta_f = \pm \left[|\delta_0| + \frac{|\Delta f_{\text{доп}}|}{f_x} \right], \quad (6.1)$$

де δ_0 - відносна похибка частоти кварцевого генератора ($\pm 5 \cdot 10^{-7}$);

$\Delta f_{\text{доп}}$ - апаратна роздільна здатність

$$\Delta f_{\text{доп}} = \frac{1}{\tau_{\text{рах}}}, \quad (6.2)$$

де $\tau_{\text{рах}}$ - час рахунку частотоміра, с,

$$\Delta f_{\text{доп}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ (Гц)}.$$

Отже,

$$\delta_f = \pm \left[5 \cdot 10^{-7} + \frac{1}{10^{-7}} \right] = \pm 6 \cdot 10^{-7}.$$

6.3.2 Похибка вимірювання періоду

Відносна похибка вимірювання періоду знаходиться за формулою

$$\delta_T = \pm \left[|\delta_0| + |\delta_{\text{зап}}| + \frac{|\Delta t_{\text{доп}}|}{f_x} \right], \quad (6.3)$$

де $\Delta t_{\text{доп}}$ - апаратурна роздільна здатність;

$\delta_{\text{зап}}$ - відносна похибка запуску

$$\delta_{\text{зап}} = \pm 2 \cdot \frac{3 \cdot G_m + U_n}{S \cdot T_x \cdot n}, \quad (6.4)$$

G_m - середньоквадратичне значення шуму вимірювального тракту ($G_m \leq 1,2 \cdot 10^{-5}$)

U_n - пікове значення завади вхідного сигналу ($U_n \leq 1 \cdot 10^{-3}$);

S - крутизна перепаду напруги вхідного сигналу, В/с;

T_x - період вхідного сигналу;

n – число усереднених періодів,

$$\delta_{\text{зап}} = \pm 2 \cdot \frac{3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-3}}{10^4 \cdot 10^{-7} \cdot 10^7} = \pm 2 \cdot 1,036 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-4} = 2,072 \cdot 10^{-7}.$$

Отже,

$$\delta_T = \pm \left[5 \cdot 10^{-7} + 2,072 \cdot 10^{-7} + \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1} \right] = \pm 1,7072 \cdot 10^{-6}.$$

Отже, найбільший час затримки проходження сигналу із входу на вихід при моделюванні роботи пристрою становить 38.500нс, що є досить прийнятною величиною для вимірів.

Таким чином, розроблений частотомір має досить пристойні параметри, що виражається малою величиною похибки вимірювань. Звичайно, вона існує, причому на межі діапазону є достатньо суттєвою – 2%, але це можна пояснюється високою частотою синхронізуючого сигналу і максимальною простотою. На середині діапазону похибка значно зменшена і складає близько 0,03%.

Щоб зменшити похибку, пов'язану з низькими частотами при цифровому вимірюванні частоти:

збільшення періоду часу, наприклад, коли виміряна частота не дуже мала. використовуються помножувачі, що дозволяє вимірювати в 10n раз більше частот.

- Відстежуйте не частоту досліджуваного сигналу, а його тривалість.

6.4 Розрахунок надійності по раптовим відмовам

Надійність, згідно з ГОСТ 27.002-83, є одним з найважливіших показників оцінки виробу, після проведення розрахунків можна зробити висновок про надійність виробу та конструкції виробу. Зокрема, на надійність пристрою впливає надійність його окремих компонентів, кількість з'єднань між ними, способи кріплення компонентів, а також зовнішні фактори, теплові та електричні навантаження на компоненти, які є видимими.

Надійність пристрою вимірюється:

- 1). Інтенсивністю відмов пристрою;
- 2). Імовірністю безвідмовної роботи;
- 3). Середнім часом безвідмовної роботи.

Скористаємося методикою розрахунку експлуатаційної надійності за допомогою математичних моделей [15,16]

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (6.5)$$

де λ_e - це експлуатаційна інтенсивність відмов, с-1;

λ_0 - це інтенсивність відмов за нормальних умов і номінального електричного навантаження, с-1;

k_i - складові коефіцієнти математичної моделі.

Для електронно - вимірювальної апаратури сумарна інтенсивність відмов рівна

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{OBSL} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (6.6)$$

де K_{AM} - коефіцієнт, який залежить від амортизації електронної апаратури, за відсутності систем амортизації у виробі $K_{AM}=1$, при наявності систем амортизації у виробі $K_{AM}=0,85$;

K_{OBSL} - коефіцієнт, який залежить від якості технічного обслуговування електронної апаратури, для професійних виробів $K_{OBSL}=0,5$;

λ_{ei} - експлуатаційна інтенсивність і - того типу електронної апаратури;

N – це число типів електронних елементів у пристрої.

Так як пристрій є переносним, використовується в лабораторних, побутових умовах та в наукових цілях, то $K_e=1$. Оскільки основним елементом конструкції є ПЛІС, то запишемо математичну модель для даного елементу конструкції та знайдемо значення інтенсивності відмов. Коефіцієнти для обчислення математичної моделі визначаються згідно табличних даних.

Для програмованих логічних інтегральних мікросхем інтенсивність відмов рівна

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_p \cdot K_e \cdot K_\phi, \quad (6.7)$$

де λ_0 - інтенсивність відмов елемента, що відповідає температурі навколишнього середовища і номінальному навантаженню;

K_p - коефіцієнт навантажень (за коефіцієнта навантаження 0,7)

$$\frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{max}}} = \frac{0,07}{0,1} = 0,7. \quad (6.8)$$

Отже, $K_\phi=2$, $K_\epsilon=0,88$, $K_p=5$.

Маємо інтенсивність відмов для мікросхеми

$$\lambda_E = 0,86 \cdot 10^{-6} \cdot 0,88 \cdot 2 \cdot 5 = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ (год-1)}.$$

Сумарна інтенсивність відмов рівна

$$\lambda_E = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ (год-1)}.$$

Надійність пристрою характеризується напрацюванням на відмову, котра знаходиться за такою формулою

$$T = \frac{1}{\sum \lambda_E}, \quad (6.9)$$

$$T = \frac{1}{7,6 \cdot 10^{-6}} = 131578 \text{ (год)}.$$

Середній час напрацювання на відмову складає $T=131578$ годин. Імовірність безвідмовної роботи приладу протягом $t=15000$ годин буде дорівнювати

$$P(t_i) = e^{(-\sum \lambda \cdot t)}, \quad (6.10)$$

$$P(t_i) = e^{(-7,6 \cdot 10^{-6} \cdot 15000)} = 0,892.$$

Середній час безвідмовної роботи визначається по формулі

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (6.11)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{7,6 \cdot 10^{-6}} = 131578 \text{ (год.)}$$

7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

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

7.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Цифрові частотоміри є важливими інструментами у вимірювальній техніці, які використовуються для точного визначення частоти сигналів. Їхня ефективність та надійність залежить від ряду технічних характеристик, а також від переваг, які вони пропонують у порівнянні з аналоговими системами.

Технічні характеристики цифрових частотомірів:

1) Діапазон частот. Цифрові частотоміри можуть вимірювати частоти в широкому діапазоні, зазвичай від кількох герц до кількох гігагерц. Деякі спеціалізовані моделі можуть вимірювати частоти в ультрависокому діапазоні, що робить їх універсальними для різних застосувань.

2) Точність вимірювань. Точність вимірювань є однією з ключових характеристик цифрових частотомірів. Вони зазвичай забезпечують високу точність, що може досягати 0,001% і нижче, залежно від специфікацій виробника і умов експлуатації. Це дозволяє використовувати їх у критичних застосуваннях, де необхідні точні вимірювання.

3) Швидкість вимірювання. Цифрові частотоміри забезпечують швидке отримання результатів, що є важливим для застосувань, де потрібно вимірювати частоту в реальному часі. Швидкість обробки сигналів може становити мікросекунди або навіть наносекунди.

4) Стабільність вимірювань. Стабільність вимірювань є важливою характеристикою, яка залежить від якості компонентів і алгоритмів обробки сигналів. Високоякісні цифрові частотоміри забезпечують стабільні результати навіть при зміні умов навколишнього середовища.

5) Можливість одночасної обробки багатоканальних сигналів. Багатоканальні цифрові частотоміри можуть одночасно вимірювати частоти декількох сигналів, що підвищує їх ефективність у складних системах. Це дозволяє зменшити час вимірювань і підвищити продуктивність.

6) Функції зберігання та аналізу даних. Багато цифрових частотомірів оснащені функціями зберігання даних та можливістю експорту інформації. Це дозволяє користувачам зберігати результати вимірювань для подальшого аналізу і документування.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями [36].

Таблиця 7.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	4	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	4	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	2	3

Продовження таблиці 7.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	3
Сума балів	38	40	40
Середньоарифметична сума балів CB_c	39,3		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 7.1, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в [36].

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах» становить 39,3 бала, що, відповідно до [36], свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

7.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [37]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (7.1)$$

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

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

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

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

Результати порівняння зведемо до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірю- вання	Аналог	Проектований продукт	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Діапазон вимірюваних частот	Гц	10 Гц ... 2,5 ГГц	0,1кГц- 999,9кГц	0,85	0,15
Точність вимірювання	-	0,4	0,1	4	0,3
Напрацювання на відмову	год.	3500	4500	1,29	0,2
Габаритні розміри	мм	173 х 80 х 35	150 х 60 х 30	1,23	0,25
Вага	г	400	200	2	0,1

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 0,85 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,3 + 1,29 \cdot 0,2 + 1,23 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,1 = 2,09.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,09 рази.

7.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

7.3.1 Витрати на оплату праці

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [36]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (7.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

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

$$Z_o = 18350,00 \cdot 7 / 21 = 5409,11 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту (проектний менеджер-координатор)	18350,00	772,73	7	5409,11
Інженер-конструктор радіоелектронної апаратури	17800,00	750,00	42	31500,00
Інженер-метролог	17650,00	681,82	6	4090,92
Провідний фахівець	8150,00	388,10	14	5433,33
Всього				46433,36

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (7.3)$$

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

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

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (7.4)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення (табл. Б.2, додаток Б) [36];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок;

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

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_l = 8000,00 \cdot 1,35 \cdot 1,15 / (21 \cdot 8) = 73,93 \text{ (грн.)}.$$

$$З_{pl} = 73,93 \cdot 8,00 = 591,43 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 7.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
Встановлення допоміжного обладнання	8,00	2	1,35	73,93	591,43
Інсталяція програмного забезпечення	5,60	3	1,50	82,14	460,00
Монтаж макетної схеми	5,10	5	1,35	73,93	377,04
Наладка	2,01	6	1,50	82,14	165,11
Випробування	6,50	5	1,10	60,24	391,55
Виготовлення друкованої плати	4,20	4	1,00	54,76	230,00
Підгонка корпусу пристрою	2,30	4	1,50	82,14	188,93
Монтаж плати	0,80	6	2,00	109,52	87,62
Випробування системи	7,80	2	1,10	60,24	469,86
Всього					2961,52

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (7.5)$$

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

$$Z_{\text{доп}} = (46433,36 + 2961,52) \cdot 10 / 100\% = 4939,49 \text{ (грн.)}.$$

7.3.2 Відрахування на соціальні заходи

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

$$З_n = (З_o + З_p + З_{доо}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (7.6)$$

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

$$З_n = (46433,36 + 2961,52 + 4939,49) \cdot 22 / 100\% = 11953,56 \text{ (грн.)}.$$

7.3.3 Сировина та матеріали

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

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot Ц_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot Ц_{ej}, \quad (7.7)$$

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

n – кількість видів матеріалів;

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

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

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

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

$$M_1 = 4,0 \cdot 205,00 \cdot 1,11 - 0 \cdot 0 = 910,20 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за од., грн	Норма витрат, од.	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір офісний А4 білий (80%)	205,00	4,0	0	0	910,20
Диск оптичний (CD-R)	26,00	4,0	0	0	115,44
Органайзер офісний ЕКО-81BIC	235,00	4,0	0	0	1043,40
Канцелярське приладдя	155,00	4,0	0	0	688,20
Картридж змінний Canon 216AF	999,00	1,0	0	0	1108,89
FLASH-пам'ять 16Gb	139,00	1,0	0	0	154,29
Папір креслярський А1 (плакатний)	40,00	6,0	0	0	266,40
Тека для паперів	98,00	4,0	0	0	435,12
Склотекстоліт СТФ 2 – 1.5 ДЕСТ 102-78	265,00	0,1	0	0	23,53
Припой ПОС-61 ДЕСТ 21931-86	525,00	0,0	0	0	6,99
Флюс ФКСП ОСТ	370,00	0,03	0	0	10,27
Провод монтажний	15,50	1,12	0	0	19,27
Спирт технічний	165,00	0,1500	0	0	27,47
Клей	380,00	0,0350	0	0	14,76
Термопластик	620,00	0,0500	0	0	34,41
Полістирол	520,00	0,0750	0	0	43,29
Всього					4901,94

7.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_{ϵ}), які використовують при проведенні НДР на тему «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_{\epsilon} = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (7.8)$$

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

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

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

$$K_{\epsilon} = 1 \cdot 799,00 \cdot 1,11 = 886,89 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Мікросхеми ПЛІС	1	799,00	886,89
Цифровий індикатор	1	289,00	320,79
Корпус пристрою (універсальний)	1	268,00	297,48
Батарейки	4	42,00	186,48
Роз'єми	2	22,00	48,84
Перемикачі	10	18,00	199,80
Інше	1	250,00	277,50
Всього			2217,78

7.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (7.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

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

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 6300,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 6993,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 7.7.

Таблиця 7.7 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Блок інтерфейсний	1	6300,00	6993,00
Програматор мікроконтролерний	1	12100,00	13431,00
Всього			20424,00

7.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{інпр}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (7.10)$$

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

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

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

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npr} = 9020,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 9922,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 7.8.

Таблиця 7.8 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Прикладний пакет моделювання процесів MatLab	1	9020,00	9922,00
Пакет Quartus II	1	6380,00	7018,00
Proteus Custom Packages	1	9680,00	10648,00
Всього			27588,00

7.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

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

$$A_{обл} = \frac{C_{обл}}{T_{обл}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (7.11)$$

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

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

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

$$A_{обл} = (37888,00 \cdot 2) / (3 \cdot 12) = 2104,89 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 7.9.

Таблиця 7.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, (грн.)	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, (грн.)
Обчислювальний центр та комп'ютеризована система проектування	37888,00	3	2	2104,89
Вимірювальний комплекс метрологічної системи	27499,00	5	2	916,63
Програмне забезпечення комп'ютеризованої системи проектування	9850,00	2	2	820,83
Генератор сигналів	9680,00	7	2	230,48
Осцилограф	8799,00	7	2	209,50
Частотомір повірочний	9999,00	7	2	238,07
Вольтметр	7999,00	7	2	190,45
Монтажне обладнання	6520,00	2	2	543,33

Продовження таблиці 7.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Лабораторія	399000,00	30	2	2216,67
Паяльна станція	7122,00	5	2	237,40
Всього				7708,26

7.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{vni}}{\eta_i}, \quad (7.12)$$

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

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

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

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

$$B_e = 0,45 \cdot 240,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 1185,84 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 7.10

Таблиця 7.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Обчислювальний центр та комп'ютеризована система проектування	0,45	240,0	1185,84
Вимірювальний комплекс метрологічної системи	0,32	240,0	843,26
Досліджуваний пристрій	0,04	42,0	18,45
Генератор сигналів	0,10	42,0	46,12

Продовження таблиці 7.10 – Витрати на електроенергію

Осцилограф	0,12	42,0	55,34
Частотомір	0,16	32,0	56,22
Вольтметр	0,10	32,0	35,14
Монтажне обладнання	0,15	12,0	19,76
Паяльна станція	0,10	4,0	4,39
Програматор мікроконтролерний	0,01	2,0	0,22
Всього			2264,73

7.3.9 Службові відрядження

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

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

Витрати за статтею відсутні.

7.3.11 Інші витрати

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

$$I_{\text{с}} = (3_{\text{o}} + 3_{\text{р}}) \cdot \frac{H_{\text{іс}}}{100\%}, \quad (7.13)$$

де $H_{\text{іс}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{іс}} = 50\%$.

$$I_{\text{с}} = (46433,36 + 2961,52) \cdot 50 / 100\% = 24697,44 \text{ (грн.)}.$$

7.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

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

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (7.14)$$

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

$$B_{нзв} = (46433,36 + 2961,52) \cdot 100 / 100\% = 49394,89 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{оод} + З_n + M + K_{в} + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{в} + B_{нзв}. \quad (7.15)$$

$$B_{заг} = 46433,36 + 2961,52 + 4939,49 + 11953,56 + 4901,94 + 2217,78 + 20424,00 + 27588,00 + 7708,26 + 2264,73 + 0,00 + 0,00 + 24697,44 + 49394,89 =$$

$$= 205484,98 \text{ (грн.)}.$$

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

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (7.16)$$

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

$$ЗВ = 205484,98 / 0,95 = 216299,98 \text{ (грн.)}.$$

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

Результати дослідження проведені за темою «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

Розробка чи суттєве вдосконалення машини (механізму, приладу, пристрою) для використання кінцевими споживачами.

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

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

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	200	350	400	300

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 7800 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 7500,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 197,50 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [36]

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (7.17)$$

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

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 40\%$;

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

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (197,50 \cdot 7800,00 + 7697,50 \cdot 200) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 838499,20 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (197,50 \cdot 7800,00 + 7697,50 \cdot 550) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1571947,79 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (197,50 \cdot 7800,00 + 7697,50 \cdot 950) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2410174,75 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (197,50 \cdot 7800,00 + 7697,50 \cdot 1250) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 3038844,97 \text{ (грн.)}.$$

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

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (7.18)$$

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

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

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,09$;

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

$$\begin{aligned} ПП &= 838499,20/(1+0,09)^1 + 1571947,79/(1+0,09)^2 + 2410174,75/(1+0,09)^3 + \\ &+ 3038844,97/(1+0,09)^4 = 769265,32 + 1323077,01 + 1861097,13 + 2152794,39 = \\ &= 6106233,84 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (7.19)$$

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

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 216299,98 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 216299,98 = 432599,95 \text{ (грн.)}.$$

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

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (7.20)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 6106233,84 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 432599,95 (грн.).

$$E_{абс} = ПП - PV = 6106233,84 - 432599,95 = 5673633,89 \text{ (грн.)}.$$

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

$$E_g = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (7.21)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 5673633,89 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 432599,95 (грн.);

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

$$E_g = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 5673633,89/432599,95)^{1/4} = 0,94.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{мін}$

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (7.22)$$

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

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,3.

$\tau_{мін} = 0,11 + 0,3 = 0,41 < 0,94$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах» доцільно.

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

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (7.23)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,94 = 1,07 \text{ р.}$$

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

7.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах» становить 39,3 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,09 рази.

Також термін окупності становить 1,07 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах».

ВИСНОВКИ

У магістерський кваліфікаційній роботі було виконано розроблення схеми цифрового частотоміра на програмованій логічній інтегральній схемі. Для цього було використано програмний пакет фірми Altera Quartus II. Цілком вдало пройшло моделювання розробки за допомогою симулятора, який підтвердив вірність розрахунків та проектування пристрою загалом.

Цифровий частотомір показує значення частоти електричного сигналу, що вимірюється, в десятковій формі. Частотоміри здатні виміряти значення частоти від декількох коливань в секунду (герц, Гц) до дуже високих частот порядку тисяч мегагерц (МГц).

До основних переваг цифрових частотомірів слід віднести:

- широкий діапазон вимірюваних частот;
- високу точність вимірювання;
- можливість підрахунку вимірюваної величини в цифровій формі.

Застосування ПЛІС набагато спрощує реалізацію основних вузлів частотоміра (таких як лічильник та ін.) та їх взаємодію. Звідси виникають значні переваги і порівняно мала ціна пристрою. Адже проектування цілої системи пристроїв потребує значних затрат людських та інженерних ресурсів. Оскільки частотомір побудовано на основі блочної структури, це дозволяє швидко змінювати його параметри в досить широких межах. Поблочне проектування допомагає досягти бажаного результату у більш стислі терміни. Тим паче, що пакет Quartus II передбачає роботу в декількох типах редакторів, які після її остаточної компіляції можна в досить зручній формі об'єднати в одному, наприклад графічному, для подальшого програмування мікросхеми.

Суттєвим для вимірювальної техніки є те, що дещо зменшується собівартість пристрою частотоміра. Ще одною з переваг такої реалізації частотоміра являється низька потужність споживання (за рахунок спрощення цифрової частини пристрою) та застосування сучасних програмованих логічних інтегральних схем фірми Altera.

Окремим розділом розглянуті методи вимірювання частоти. Показані переваги, недоліки, структурні схеми, принципи роботи кожного з методів. На основі цього проведений вибір конкретного методу, зокрема метод дискретного підрахунку, оскільки він розрахований на широкосмугові пристрої.

Також проведено детальний аналіз класифікацій частотомірів за різними ознаками. Детально розглянуті частотоміри за принципом роботи. Наведені схеми, принципи роботи, переваги та недоліки, основні співвідношення.

В економічній частині магістерської кваліфікаційної роботи були обчислені такі показники як науково-технічний рівень, комерційний потенціал, економічна ефективність, витрати. При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,09 раз, що підтверджує висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кофанов В.Л. Математичні та схемотехнічні основи цифрових пристроїв. Навч. посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 165 с.
2. Дерев'янка, О. О. Цифрові частотоміри: принципи роботи та застосування / О. О. Дерев'янка. — Київ: Видавництво "Наукова думка", 2020. — 256 с.
3. Щупляк Н. М. Основи електроніки та мікроелектроніки./ Н. М. Щупляк. Книга 2. – Дрогобич: 2012. – 217с.
4. Петров, І. І. Основи вимірювальної техніки: навчальний посібник / І. І. Петров. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. — 312 с.
5. Сидоренко, В. В. Цифрові технології обробки сигналів: монографія / В. В. Сидоренко. - Харків: ХНУ, 2021. - 450 с.
6. Коваленко, Т. М. Аналіз і моделювання цифрових частотомірів / Т. М. Коваленко, А. Р. Мазур. - Дніпро: ДНУ, 2022. - 198 с.
7. Цифрова схемотехніка електронних систем. Підручник / В.І., Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, В.В. Багрій, В.М. Співак, Т.О. Терещенко. 3-те вид. допов. і переробл.— К.: Вища школа, 2010. – 426 с. (гриф надано МОН України – протокол № 1.4/18-Г-414 від 14.02.2008 р.). ISBN 966-642-193-3.
8. Романенко, О. А. Методи вимірювання частоти в електронних системах: посібник / О. А. Романенко. — Одеса: ОНУ, 2023. — 180 с.
9. Поджаренко В. О., Кулаков П. І., Ігнатенко О. Г., Войтович О. П. Основи метрології та вимірювальної техніки. Навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ 2006. 152 с.
10. Коваленко, І. В. Цифрові вимірювальні системи. – Одеса: ОНАХТ, 2018. – 230 с.
11. Ткачук Р. А. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

12. Лободзінська Р.Ф., Костюк О.А., Нікольський О.І., Шеремета О.П. Конструювання і технологія радіоелектронних засобів. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 91 с.
13. Елементна база радіоелектронної апаратури. Пасивні радіокомпоненти: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. В. О. Піддубний, І. О. Товкач. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 99 с..
14. Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту/Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 128 с.
15. Панфілов І.П. Компонентна база радіоелектронної апаратури: навч. посіб.; модуль 2 / Панфілов І.П., Савицька М.П., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 192 с.
16. Новиков А. О. Основи теорії надійності та стандартизації виробів електронної техніки : навчальний посібник / А. О. Новіков, Шубін О. В. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 152 с.
17. Калінін В. І., Костюк О. А., Грудін А. А. Математичні моделі та методика оцінки експлуатаційної надійності елементів і виробів електронної техніки. Частина I, II, III. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 71с.
18. Голубєв, О. В. Сучасні методи вимірювання параметрів сигналів. – Київ: Видавництво КПІ, 2020. – 310 с.
19. 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.

20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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
24. Engineering Metrology and Measurements / N.V. Raghavendra, L. Krishnamurthy. - Oxford University Press, October 1, 2013. - 676 p
25. Borysenko O., Horiachev O., Serdiuk V., Yermakov M. “Protection of information based on factorial numbers”, Ukrainian Scientific Journal of Information Security, 2018, vol. 24, issue 3, pp. 169-174.
26. Єрмаков М.С. “Завадостійкий біноміальний таймер”, «Інтелектуальний потенціал – 2020» - збірник наукових праць молодих науковців і студентів / Колектив авторів – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2020. – Частина 1. С. 21-22.
27. О. А. Борисенко, А. О. Горішняк, В. В. Сердюк, М. М. Яковлев, М. С. Єрмаков “Оцінка завадостійкості рівноважних кодів”, Тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційна безпека та інформаційні технології” - Кропивницький 2020. – с 31.
28. Quartus II Handbook Version 10.1. Інтернет ресурс. http://www.altera.com/literature/hb/qts/quartusii_handbook.pdf
29. О. А. Борисенко, А. О. Горішняк, В. В. Сердюк, М. М. Яковлев, М. С. Єрмаков “Програмування та інформаційно-комунікаційні технології”, II Міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційна безпека та

інформаційні технології”: тези доповідей, 2 – 3 квітня 2020 р. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С. 31.

30. Ємельянов В.В. Конспект лекцій з дисципліни “Системи мобільного зв’язку”, частина 2 – “Радіопередавальні та радіоприймальні пристрої” для студентів усіх форм навчання спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. – Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки, 2018. – 74 с.

31. Денисюк В.О., Цирульник С.М. Мікропроцесорні системи управління: навч. посіб. Вінн. нац. аграр. ун-т. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 204 с.

32. Магро В. І., Рябчій В. Д., Гусев О. Ю. Вимірювання сигналів у радіотехніці: навч. посіб. Міністерство освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2018. 191 с.

33. Пістун Є. П., Стасюк І. Д. Основи автоматики та автоматизації : навчальний посібник. Друге видання, змінене і доповнене. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 332 с.

34. Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. Виконавчі пристрої систем автоматизації: навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 220 с.

35. Губар В. Г., Адаменко І. О. Фізико-теоретичні основи проєктування радіоелектронної апаратури. [Електронний ресурс] : навч. посіб. Для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 10,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 221 с.

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

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

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ЦИФРОВИЙ ЧАСТОТОМІР РАДІОТЕХНІЧНИХ СИГНАЛІВ НА ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Овчар В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент кафедри ІРТС



Осадчук Я.О.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.

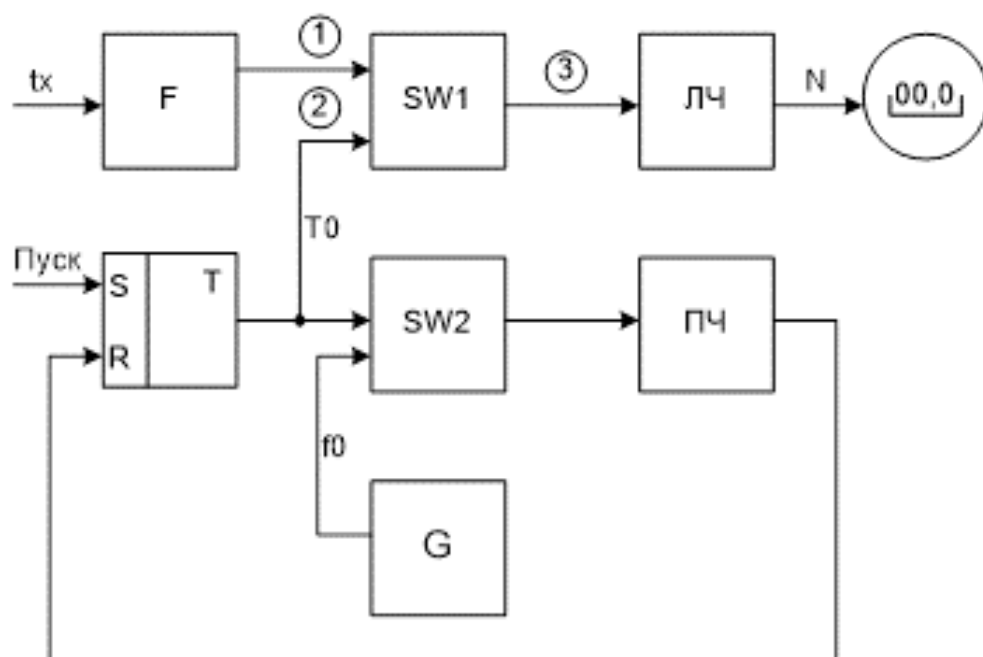


Рисунок 1 – Структурна схема частотоміра середніх значень

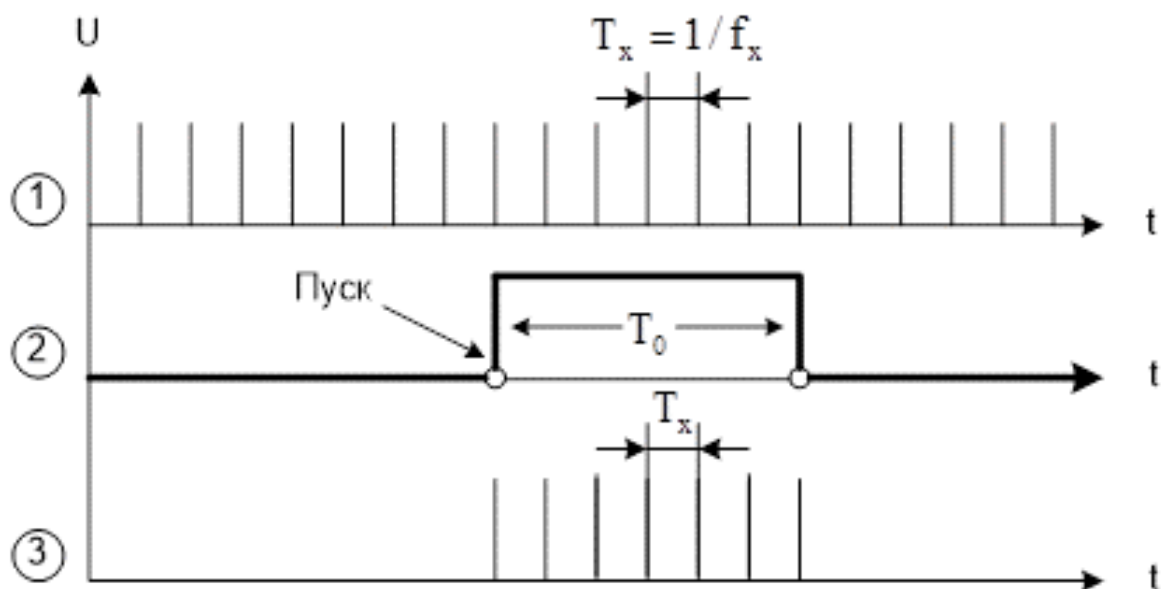


Рисунок 2 – Часові діаграми роботи частотоміра середніх значень

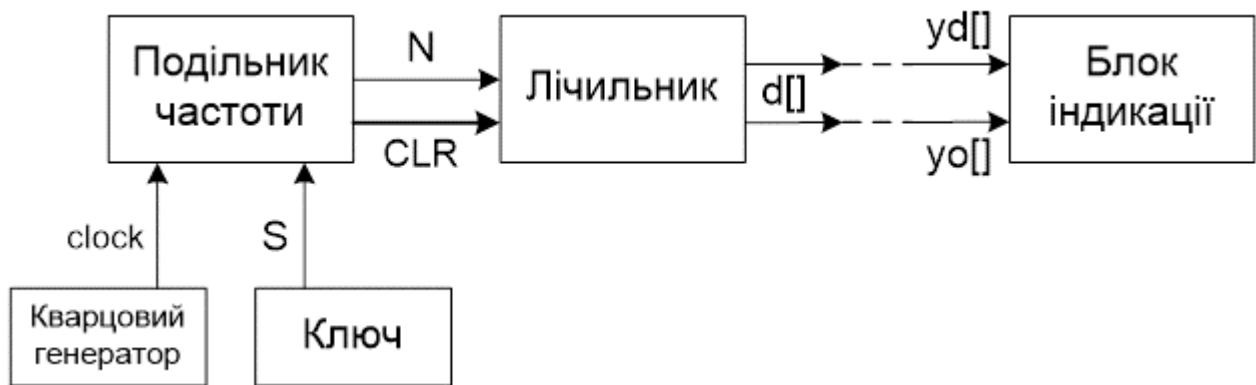


Рисунок 5 – Структурна схема цифрового частотоміра радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах

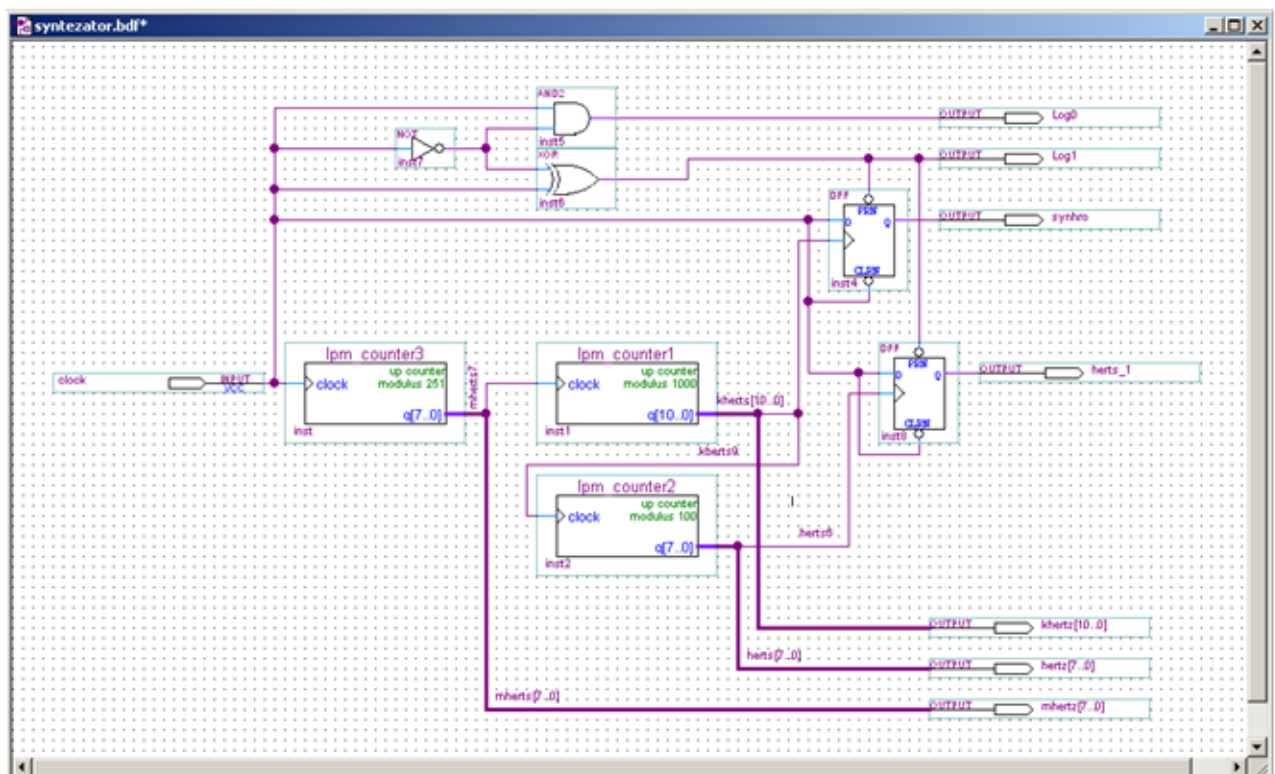


Рисунок 6 – Принципова схема подільника частоти

Рисунок 10 – Узагальнена принципова схема пристрою



Рисунок 11 – Моделювання роботи подільника частоти

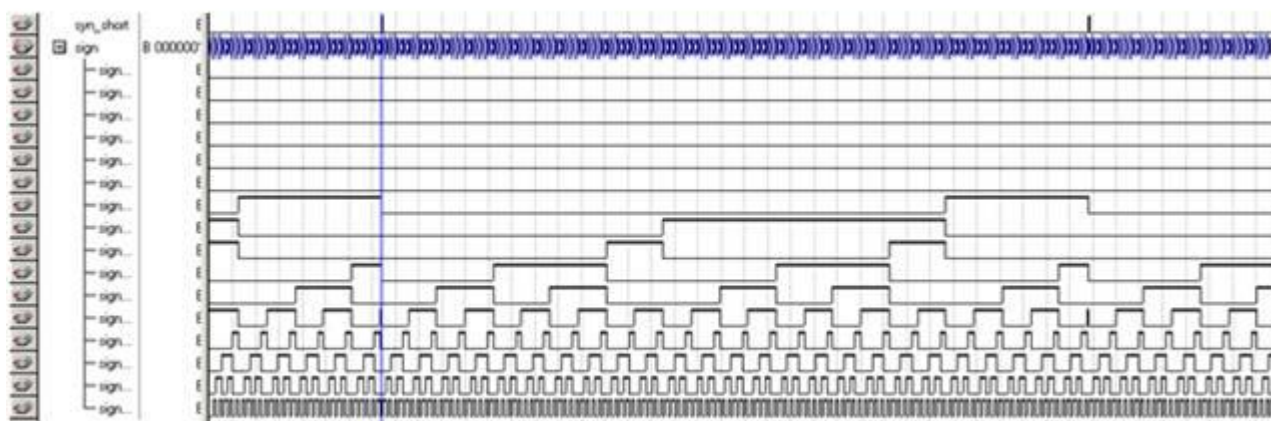


Рисунок 12 – Моделювання роботи лічильника

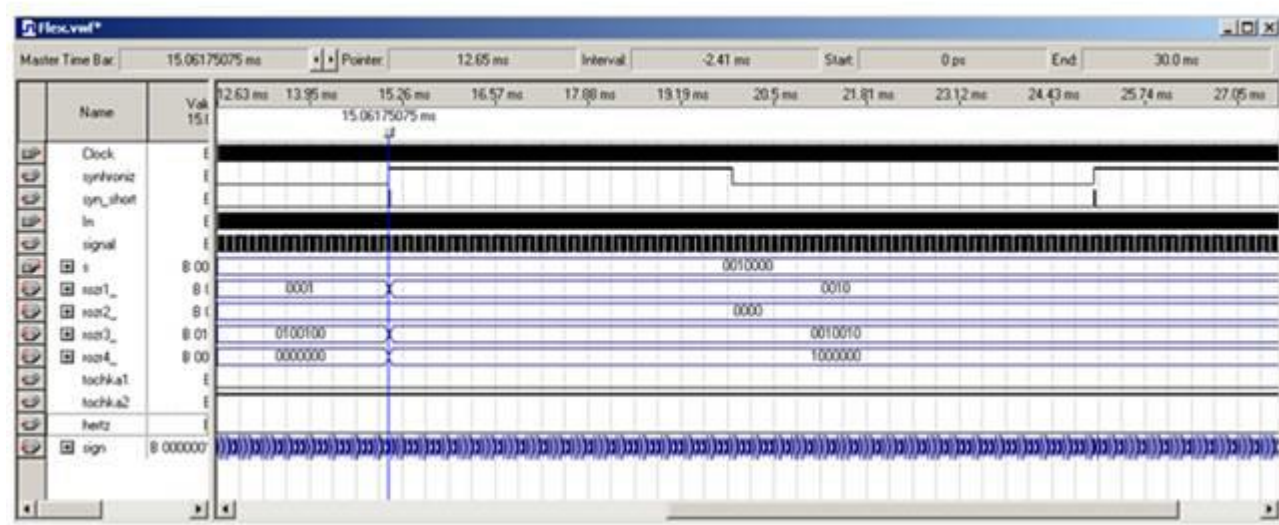


Рисунок 13 – Моделювання роботи частотоміра

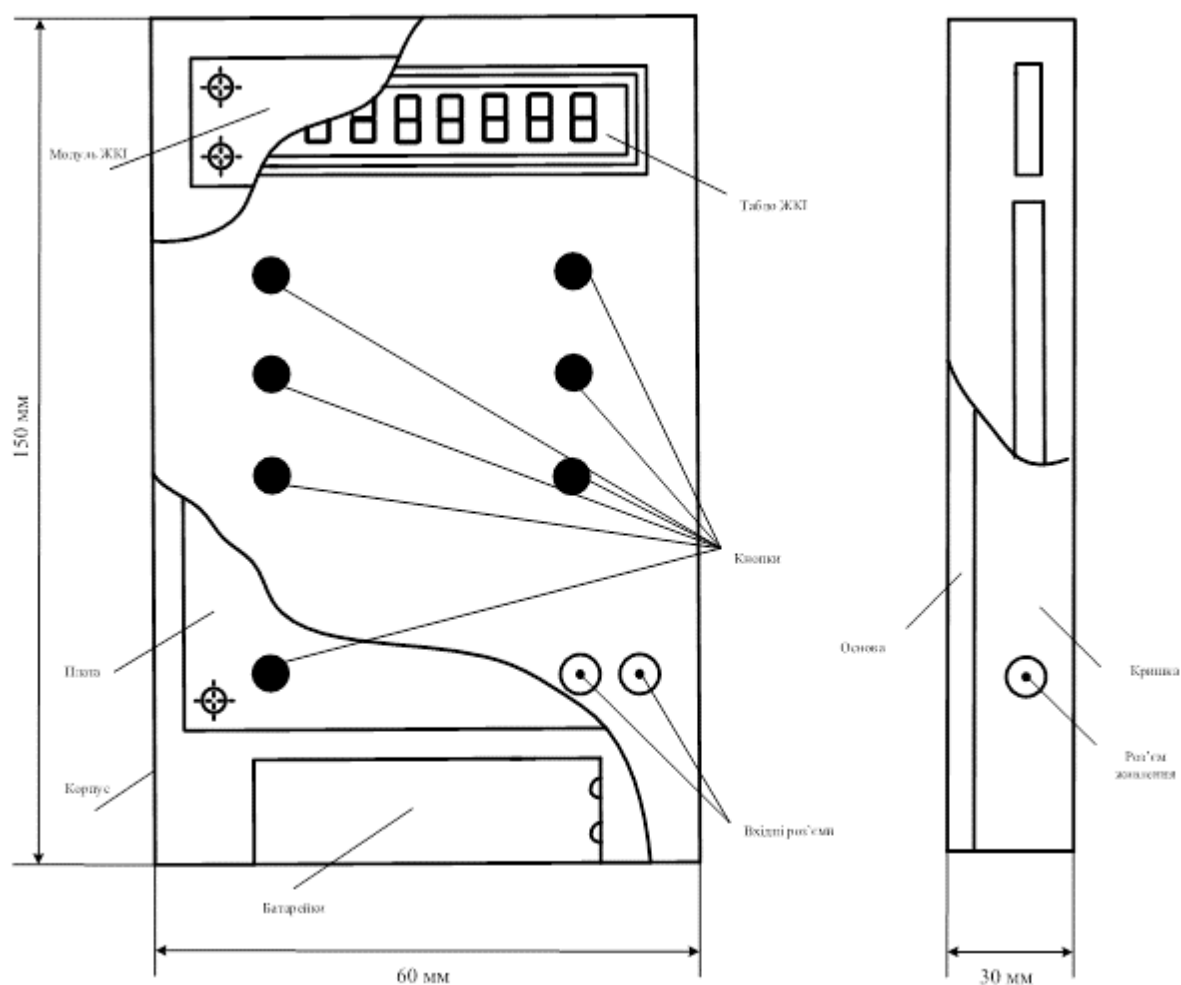


Рисунок 14 – Конструкція цифрового частотоміра радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах

Додаток Б
(обов'язковий)

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

**ЦИФРОВИЙ ЧАСТОТОМІР РАДІОТЕХНІЧНИХ СИГНАЛІВ НА
ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Цифровий частотомір радіотехнічних сигналів на програмованих логічних інтегральних схемах»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 90,0% Схожість 10,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

Особа, відповідальна за перевірку  Андрій СЕМЕНОВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

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

Автор роботи  Володимир ОВЧАР
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Ярослав ОСАДЧУК
(підпис) (прізвище, ініціали)