

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 ФАЗОМЕТР НА ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ
ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ»

Виконала: студ. 2-го курсу, гр. КІВТ-22м
спеціальності 152 Метрологія та
інформаційно-вимірвальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Зінько Н.О.

(прізвище та ініціали)

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

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

«15» 12 2023 р

Опонент: д.т.н., доцент, проф. каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«19» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«20» 12 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність – 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК

18 вересня 2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Зінько Надії Олександрівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Цифровий фазометр на програмованих логічних інтегральних схемах»

керівник роботи Семенова Олена Олександрівна, к.т.н., доцент, асист. каф. ІРТС

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09.2023 р. №247



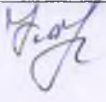

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2023р

3. Вихідні дані до роботи: Діапазон частот 10...500 кГц, допустима нестабільність частоти 10⁻⁵, напруга живлення пристрою 15 В, режим точності 1⁰, реалізація цифрового фазометра в програмному пакеті Quartus II

4. Зміст текстової частини: Вступ. Методи вимірювання фази. Розробка структурної схеми. Розробка і розрахунок функціональних вузлів цифрового фазометра. Програмна реалізація цифрового фазометра. Оцінка похибок Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема електрична структурна, принцип роботи цифрового фазометра, електричні схеми функціональних блоків цифрового фазометра в програмному пакеті Quartus II, функціональна електрична схема, моделювання функціональних блоків цифрового фазометра в програмному пакеті Quartus II

6. Консультанти розділів роботи

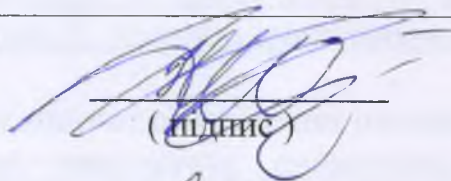
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., доцент, асистент каф. ІРТС Семенова О.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 17.09.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

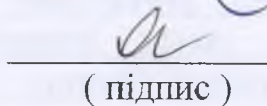
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примі
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2023-07.09.2023	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2023-17.09.2023	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	18.09.2023-27.09.2023	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2023-15.10.2023	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	16.10.2023-09.11.2023	
6.	Розробка графічної частини МКР.	10.11.2022-20.11.2022	
7.	Економічна частина.	21.11.2023-30.11.2023	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	01.12.2023-14.12.2023	
9.	Нормоконтроль.	15.12.2023-18.12.2023	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	19.12.2023-20.12.2023	
11.	Захист МКР ЕК.	21.12.2023-22.12.2023	

Студентка


(підпис)

Зінько Н.О.

Керівник роботи


(підпис)

Семенова О. О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.397

Зінько Н.О. Цифровий фазометр на ПЛІС. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, освітня програма – комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 102с. На українській мові. Бібліогр.: 19 назв; табл.: 18; рис.: 30.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробленню цифрового фазометра на програмованій логічній інтегральній схемі. Розглянуто принципи вимірювання фази і вибрано з них найбільш оптимальний. Вибрано елементну базу для розробки пристрою і структурну схему пристрою. Проведено розробку і розрахунок функціональних вузлів цифрового фазометра та реалізацію пристрою в програмному пакеті Quartus II.

В ході роботи було перевірено можливість роботи по частинах над проектом, про що свідчить реалізація цифрового фазометра одним розробником та каскаду дешифраторів семисегментного коду іншим. Після виконання даної роботи достатньо легко виконати об'єднання цих проектів в одне ціле для створення цифрової частини фазометра на програмованій логічній інтегральній схемі.

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

Для виробництва такі фазометри цілком придатні і мають майбутню перспективу використання в лабораторіях, ремонтних дільницях побутової радіо- та телеапаратури та ін.

Ключові слова: фазометр, цифровий, інтегральна схема

ABSTRACT

Zinko N.O. Digital phasemeter on PLD. Master's qualification work on specialty 152 - metrology and Information-Measuring Technology, educational program - computerized information-measuring technologies. – Vinnytsia: VNTU, 2023. – 102 p. In Ukrainian. Refs.: 19 titles; table: 18; figs.: 30.

The master thesis is dedicated to the development of a digital phasemeter on a programmable logic integrated circuit. The principles of phase measurement are considered and the most optimal one is chosen. The element base for the development of the device and the structural diagram of the device are selected. The development and calculation of the functional units of the digital phasor and the implementation of the device in the Quartus II software package were carried out.

During the investigation, the possibility of working on the project in parts was checked, as evidenced by the implementation of a digital phase meter by one developer and a cascade of seven-segment code decoders by another. After completing this study, it is quite easy to combine these projects into one whole to create the digital part of the phasemeter on programmable logic integrated circuit.

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

Such phasemeters are quite suitable for production and have future prospects for application in laboratories, repair stations for household radio and television equipment, etc.

Keywords: phasemeter, digital, integrated circuit

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ	6
1.1 Осцилографічний метод вимірювання фази	6
1.2 Компенсаційний метод вимірювання фази.....	9
1.3 Метод перетворення фазового зсуву в імпульси струму.....	11
1.4 Метод дискретного підрахунку.....	13
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	18
2.1 Вибір елементної бази та системи проєктування.....	18
2.2 Принцип роботи фазометра.....	18
2.3 Структурна схема приладу	20
3 РОЗРОБКА І РОЗРАХУНОК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ЦИФРОВОГО ФАЗОМЕТРА	23
3.1 Вхідний блок.....	23
3.2 Формувач стробуючого імпульсу ΔT	23
3.3 Формувач стробуючого імпульсу T	25
3.4 Лічильники для підрахунку значень n і N	27
3.5 Математична частина.....	30
3.6 Семисегментний перетворювач.....	35
4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО ФАЗОМЕТРА.....	39
4.1 Опис моделюючої програми Quartus II.....	39
4.2 Моделювання функціональних блоків цифрового фазометра в програмному пакеті Quartus II	47
5 ОЦІНКА ПОХИБОК.....	56
5.1 Експериментальна оцінка похибки цифрових фазометрів.....	56
5.2 Похибка квантування часових інтервалів в цифрових фазометрах.....	59
5.3 Розрахунок надійності та ефективності цифрового фазометра.....	62
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	65

6.1	Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	65
6.2	Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	69
6.3	Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	71
6.4	Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	85
6.5	Висновки до розділу.....	90
	ВИСНОВКИ.....	91
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	93
	Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	95
	Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи.....	101

ВСТУП

Актуальність теми.

Наразі значення вимірювань суттєво зросло, так як вони є джерела об'єктивної інформації про ті величини, котрі характеризують ефективність і якість виробничих процесів, а також стан та властивості досліджуваних об'єктів. Тому все ширше застосовуються цифрові вимірювальні прилади, причому як в лабораторних умовах, так у в польових. Тому, необхідними є методи і засобів вимірювань, які здатні забезпечити вищу точність вимірювань, а також швидкодія вимірювальних приладів, можливість їх роботи в автоматичному режимі, підвищення надійності, зменшення маси та габаритів.

При проектуванні електронної апаратури в науковців виникло безліч причин для застосування цифрового фазометра, а саме:

- висока здатність цифрових приладів, що відкриває широкі потенційні можливості підвищення точності вимірів;
- зручність відліку й реєстрації результату виміру;
- простота зберігання результатів виміру, можливість їхньої передачі й обробки без втрати інформації;
- висока в порівнянні з іншими системами приладів стійкість стосовно зовнішніх механічних і кліматичних впливів;
- можливість використання новітніх досягнень технології (інтегральних схем, друкованого монтажу), що дозволяє підвищити надійність і зменшити габаритні розміри й вартість апаратури;
- можливість автоматизації вимірів.

Потреба в цих приладах обмовлена високою потенційною точністю фазових вимірів і широким використанням фазових принципів у навігації, зв'язку, при проектуванні електронної апаратури і вже безпосередньо в процесі роботи даних приладів.

Впровадження у вимірювальну техніку ПЛІС забезпечує подальший розвиток засобів вимірювання, створення нового покоління програмованих вимірю-

вальних приладів. Вони все частіше стають джерелами даних для автоматизованих систем збирання, обробки, зберігання і відображення вимірювальної інформації.

Фазові методи вимірів знаходять широке застосування в радіотехніці. Інформація, що закладена у фазі, використовується для вимірювання відстаней та просторового розташування об'єкту, визначення параметрів і характеристик матеріалів та середовищ та інше. Точне установлення фазових співвідношень напруг чи струмів, що діють у електричних колах різних пристроїв, забезпечує поліпшення рівня вихідних параметрів електронної апаратури.

Метою роботи є розробка конструкції цифрового фазометра на програмованій логічній інтегральній схемі. Розробка передбачає створення побутового, і водночас, професійного цифрового фазометра, який дає можливість вирішити деякі протиріччя, що виникають при проектуванні даних пристроїв за традиційною розповсюдженою методикою. Проектування даного пристрою передбачає застосування альтернативного підходу, що дає можливість створити цифровий фазометр на ПЛІС з кращими техніко-економічними показниками, тобто отримати краще співвідношення між ціною і якістю.

Об'єкт дослідження: цифровий фазометр.

Предмет дослідження: електричні параметри цифрового фазометра.

Для досягнення поставленої мети треба виконати наступні **задачі**:

1. Розробити схему фазометра
2. Виконати комп'ютерне моделювання.
3. Провести експериментальні дослідження.
4. Зробити аналіз комерційного потенціалу розробки.

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

Апробація результатів. За результати роботи подана теза доповіді на міжнародну конференцію.

1 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ

Для вимірювання фазового зсуву застосовують наступні методи: осцилографічний, компенсаційний, перетворення фазового зсуву в імпульси струму та метод дискретної лічби. Всі ці методи далі розглянемо більш докладно для того щоб обрати найкращий з них [1].

1.1 Осцилографічний метод вимірювання фази

Вимір фазового зсуву осцилографічним методом можна реалізувати способами лінійної, синусоїдальної і кругової розгортки. Обмежимося розглядом перших двох способів, як найбільш розповсюджених.

Спосіб лінійної розгортки здійснюється так. У канали вертикального відхилення двопробеневого або двоканального осцилографа подають напруги $u_1 = U_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ і $u_2 = U_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$; генератор розгортки осцилографа ввімкнений. Корисно зрівняти амплітуди обох напруг. Осцилограма буде мати вигляд, представлений на рисунку 1.1.

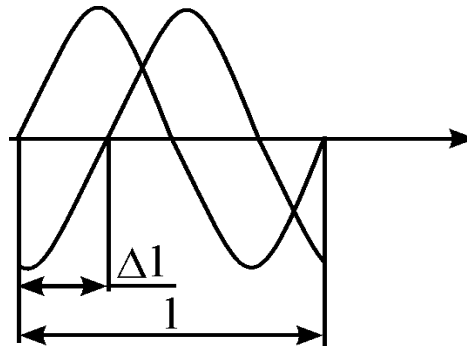


Рисунок 1.1 – Осцилограма при лінійній розгортці

Фазовий зсув обчислюють по формулі

$$\varphi = \frac{360\Delta l}{l}, \quad (1.1)$$

підставляючи обмірювані довжини відрізків l і Δl відповідні T і ΔT .

Спосіб синусоїдальної розгортки здійснюється за допомогою однопроменевого осцилографа. У канал вертикального відхилення подається напруга $u_Y = U_Y \sin(\omega t + \varphi)$, а в канал горизонтальний $u_X = U_X \sin(\omega t + \varphi)$, генератор розгортки ввімкнений. На екрані осцилографа з'являється осцилограма у вигляді еліпса (рисунок 2.2), рівняння якої відповідно до формули 1.1 має вигляд

$$y = \frac{B}{A} \left(x \cos \varphi + \sqrt{A^2 - x^2} \sin \varphi \right),$$

де B і A — максимальні відхилення по вертикалі і горизонталі відповідно.

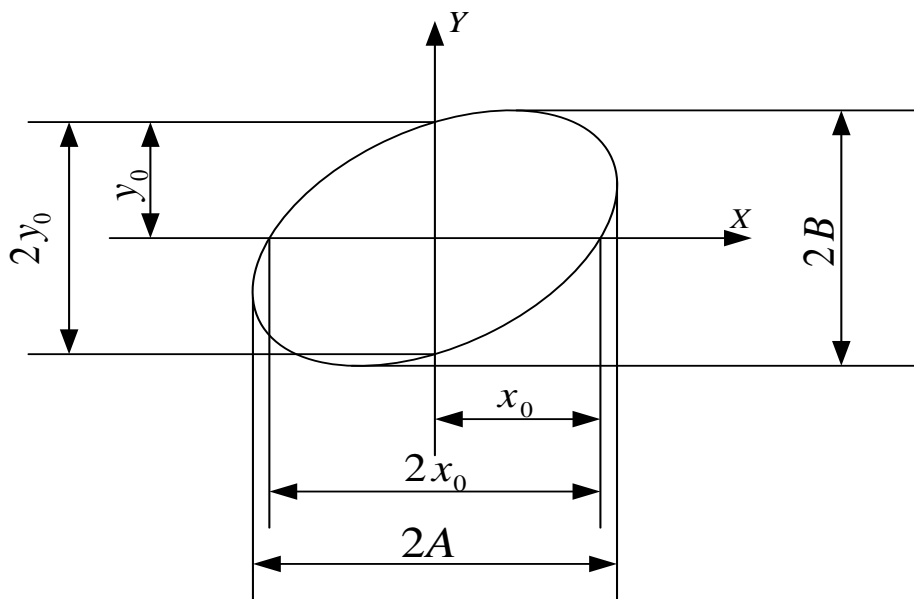


Рисунок 1.2 – Осцилограма при синусоїдальній розгортці

Вертикальний і горизонтальний відрізок відповідно буде $y_0 = B \sin \varphi$ і $x_0 = A \sin \varphi$. Звідси: $\sin \varphi = \pm y_0 / B = \pm x_0 / A$. Перед виміром зручно зрівняти максимальні відхилення по вертикалі і по горизонталі, тоді $y_0 = x_0$. Для обчислення фазового зсуву вимірюють по осцилограмі відрізки $2x_0$ і $2y_0$, що відтинаються

на координатних осях, або I сторону прямокутника $2A$ або $2B$, в який вписаний еліпс

$$\varphi = \pm \arcsin \frac{2y_0}{2B} = \pm \arcsin \frac{2x_0}{2A}. \quad (1.2)$$

Спосіб синусоїдальної розгортки не дозволяє визначити фазовий зсув однозначно. Коли осі еліпса збігаються з осями координат, фазовий зсув φ дорівнює 90^0 або 270^0 . Якщо велика вісь еліпса розташовується в першому і третьому квадрантах, то фазовий зсув $0 < \varphi < 90^0$ або $270^0 < \varphi < 360^0$; якщо в другому і четвертому, то $90^0 < \varphi < 180^0$ або $180^0 < \varphi < 270$. Для усунення неоднозначності потрібно ввести додатковий зсув 90^0 , і по зміні виду осцилограми легко визначити дійсний фазовий зсув. Наприклад, одержали φ , рівне 30^0 або 330^0 , ввели додатково $+ 90^0$. Якщо осцилограма залишилася в колишніх квадрантах, то $\varphi = 330^0$, якщо перемістилася в другий і четвертий, то $\varphi = 30^0$.

Осцилографічний метод не вимагає ніяких додаткових приладів і простий по ідеї. Однак він є непрямим, вимагає лінійних вимірів і обчислень, що призводить до значних похибок. Загальна похибка складається з випадкових похибок – виміру довжин відрізків, сполучення сліду променя з лініями масштабної сітки і кінцевого значення діаметра світлової плями на екрані осцилографа, і систематичних – інструментальної і методичної. Інструментальна похибка виникає за рахунок наявності власних фазових зсувів у каналах осцилографа. Методична похибка зв'язана з наявністю гармонік у досліджуваних напругах.

Похибку виміру відрізків можна зменшити ретельним фокусуванням променя при малій яскравості і застосуванням осцилографа з електронно-променевою трубкою, у якій масштабна сітка нанесена на внутрішню поверхню екрану. Фазовий зсув в каналах осцилографа легко знайти. При відсутності фазового зсуву на екрані з'явиться пряма лінія. Якщо з'являється еліпс, то потрібно виміряти значення фазового зсуву по формулі

$$\varphi = \pm \arcsin \frac{2y_0}{2B} = \pm \arcsin \frac{2x_0}{2A} \quad (1.3)$$

і внести в результат виміру відповідне виправлення. Якщо виправлення точно визначити не вдається, то похибку можна виключити методом компенсації для цього потрібно виконати два виміри: перше – як звичайно, а друге – подавши досліджувані напруги на протилежні входи осцилографа. У результаті першого виміру одержимо $\varphi_1 = \varphi + \Delta\varphi$, де $\Delta\varphi$ - невідомий фазовий зсув в каналах осцилографа. У результаті другого одержимо $\varphi_2 = (360^\circ - \varphi) + \Delta\varphi$. З різниці $\varphi_2 - \varphi_1 = 360^\circ - 2\varphi$ знаходимо шуканий фазовий зсув

$$\varphi = 180^\circ - \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right).$$

1.2 Компенсаційний метод вимірювання фази

Для виміру фазового зсуву компенсаційним методом з осцилографічною індикацією збирають вимірювальну установку, що складається з однопроменевого осцилографа, зразкового $\varphi_{обр}$ і допоміжного φ_e фазообертачів. Спочатку в установці усувають власний фазовий зсув. Для цього замикають перемикач П і напругу подають на обидва входи осцилографа. Показчик шкали зразкового фазообертача встановлюють на нуль, а допоміжний регулюють до одержання на екрані осцилографа прямої лінії. При цьому допоміжним фазообертачем компенсується власний фазовий зсув вимірювальної установки. Для кращої компенсації регулювання посилення обох каналів осцилографа встановлюють на максимум. Осцилограма при цьому виходить за межі екрану, але це не суттєво, тому що вимірів її робити не потрібно. Потім розмикають перемикач і подають напругу u_1 в канал У і u_2 - в канал Х; на екрані з'являється еліпс або його центральна частина у вигляді двох рівнобіжних ліній. Регулюючи зразковий

фазообертач, досягають злиття цих ліній в одну пряму, тобто загального нульового фазового зсуву.

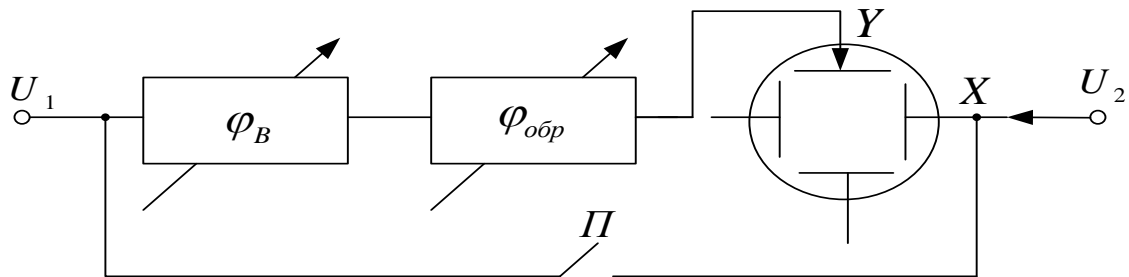


Рисунок 1.3 – Схема виміру фазового зсуву методом компенсації

Значення фазового зсуву між напругами u_1 і u_2 по показах шкали зразкового фазообертача визначається в такий спосіб. Якщо напруга випереджає по фазі напругу, то покази по шкалі зразкового фазообертача дорівнює фазовому зсуву: $\varphi = \varphi_{обр}$. Якщо напруга відстає, то $\varphi = 360^\circ - \varphi_{обр}$.

На надвисоких частотах компенсаційний метод реалізується методом короткого замикання. Збирають вимірювальну установку, що складається з генератора Г, що розв'язує атенюатора АГ і фазообертача φ , вихід якого замикають накоротко (рисунок 1.4, а). Коли генератор ввімкнений у тракту встановлюється стояча хвиля. У довільному перетині фазообертача поміщають зонд, з'єднаний з діодом і індикатором.

Регулюючи фазообертач, досягають нульового показання індикатора, тобто сполучають вузол напруги і площину перетину, де розташований зонд; роблять відлік по шкалі фазообертача φ_1 . Потім замість короткого замикання до виходу фазообертача приєднують випробуваний пристрій Z (відрізок хвилеводу, трансформатор, фільтр, перехідний пристрій і ін.), так само замкнуте накоротко (рисунок 2.4, б). Вузол напруги зміщується; регулюванням фазообертача зрушують вузол на колишнє місце, що фіксується по нульовому показанню мікроамперметра, і роблять другий відлік по шкалі фазообертача φ_2 . Фазовий зсув, внесений досліджуваним пристроєм φ , дорівнює

$$\varphi = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}.$$

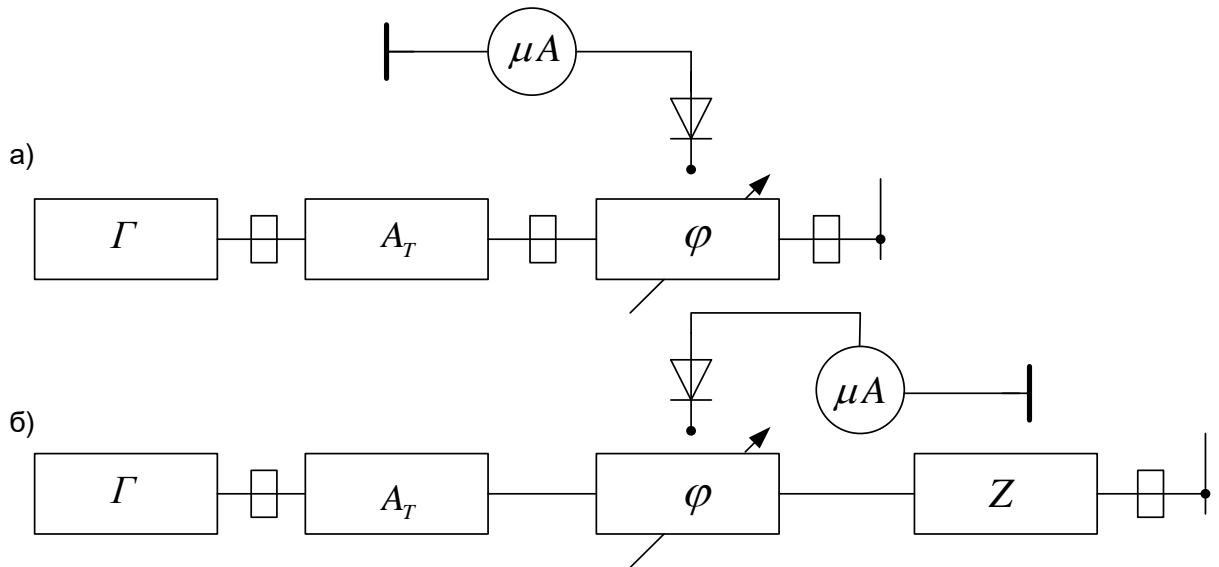


Рисунок 1.4 – Вимір фазового зсуву компенсаційним методом на надвисоких частотах

Для зменшення похибки тракт повинен бути погодженим, а індикатор чуттєвим. Як індикатор можна застосовувати селективний вольтметр, а генератор модулювати низькочастотною напругою. Частоти модуляції і настройки селективного мілівольтметра повинні збігатися. Корисно пам'ятати, що пристрій, геометрична довжина якого дорівнює довжині хвилі минаючого по ньому коливання, вносить фазове зрушення, рівне 360° [5].

1.3 Метод перетворення фазового зсуву в імпульси струму

Досліджувані напруги u_1 і u_2 надходять на два ідентичних канали, кожен з яких складається з вхідного пристрою В_{хП}, синхронізуючого мультивібратора СМВ і диференціюючого ланцюга ДЛ (рисунок 1.5 а). Мультивібратори виробляють меандри У, частота яких дорівнює частоті вхідних напруг (рисунок 1.5, б). Меандри диференціюються, і фронти отриманих при цьому коротких

імпульсів u_1 і u_2 точно відповідають моментам переходів через нуль вихідних напруг. Негативні імпульси обмежуються, а позитивні залишаються. Неважко переконатися, що інтервал ΔT між імпульсами 1 – 2, 3 – 4 і т.д. пропорційний фазовому зсуву; якщо його віднести до тривалості періоду T , то одержимо

$$\varphi = \frac{360\Delta T}{T}.$$

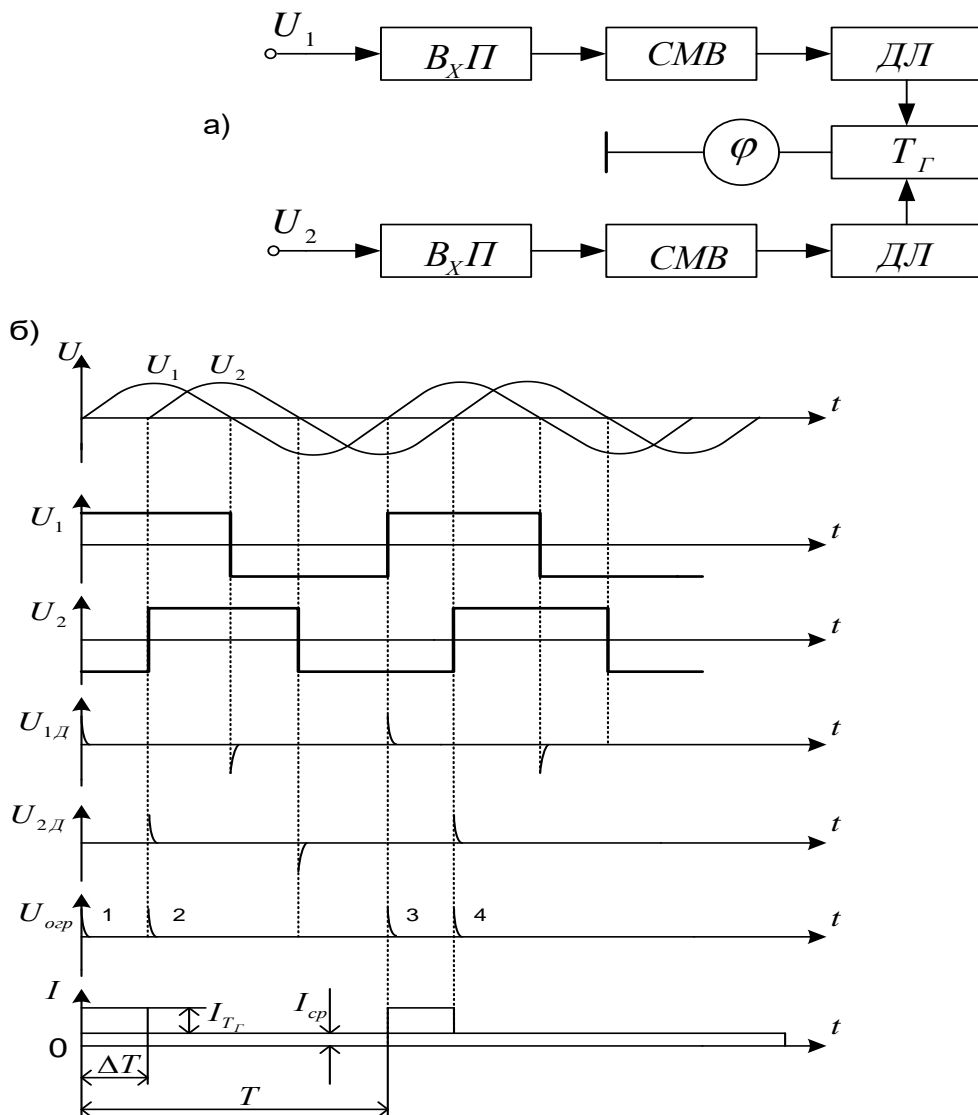


Рисунок 1.5 – Прямопоказуючий фазометр

Позитивні імпульси використовують для керування тригером Тг. Імпульс першого каналу відкриває тригер, а другого - закриває. У відповідному ланцюзі виникає прямокутний імпульс I_{Tz} , тривалість якого ΔT відповідає фазовому зсуву φ .

У ланцюг струму тригера включений магнітоелектричний міліамперметр, покази якого пропорційні середньому значенню струму за період

$$I_{\varphi} = \frac{1}{T} \int_0^{\Delta T} I_{Tz} dt = \frac{I_{Tz} \Delta T}{T} = a\varphi . \quad (1.4)$$

Прямопоказуючий прилад називається фазометром. Діапазон робочих частот фазометра, що працює на принципі перетворення фазового зсуву в імпульси струму, обмежений знизу інерційними властивостями магнітоелектричного індикатора (20 Гц), а зверху – паразитними параметрами схеми і інерційністю транзисторів, що погіршують фронт імпульсу і чіткість спрацювання тригера. Застосування тунельних діодів дозволяє збільшити верхню границю частот до 1 МГц. Похибка виміру складає 1,5—3°. [5]

1.4 Метод дискретного підрахунку

Вимір фазового зсуву методом дискретного підрахунку засновано на формулі (1.4), у яку варто підставити замість інтервалів часу ΔT і T відповідне їм число імпульсів з постійною частотою повторення. Прямопоказуючі фазометри такого типу називають електронолічильними, або цифровими фазометрами. Є кілька схем цифрових фазометрів, але переважне поширення одержали інтегруючі фазометри, у яких результат виміру являє собою середнє значення фазового зсуву за велике число періодів вимірюваної напруги. В таких фазометрах забезпечується гарна перешкодозахищеність.

Структурна схема цифрового фазометра середніх значень приведена на рисунку 1.6, а, а діаграми напруг, що пояснюють її роботу, — на рисунку 1.6, б.

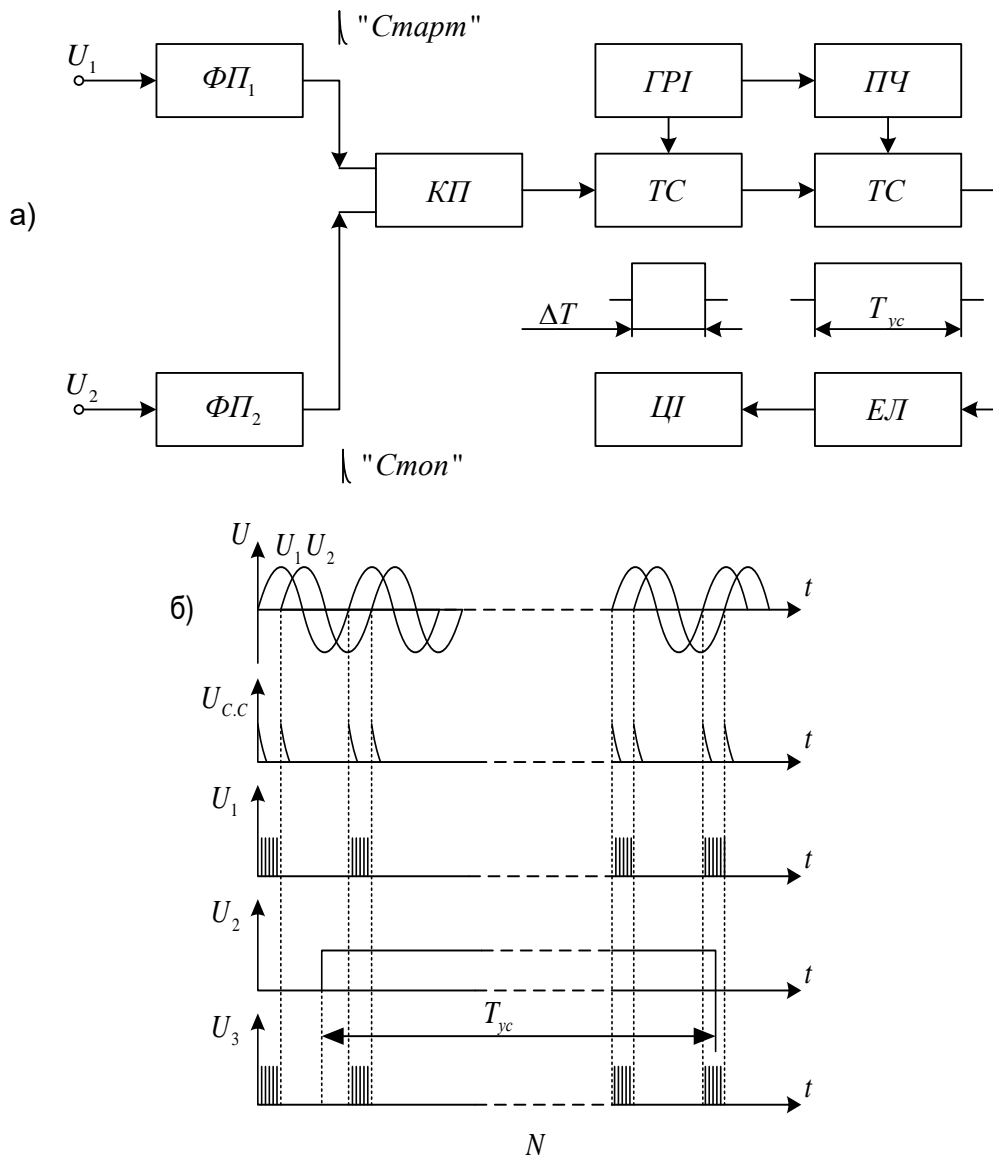


Рисунок 1.6 – Цифровий фазометр середнього значення

У схемі є два формуючі пристрої $\Phi\Pi_1$ і $\Phi\Pi_2$, керуючий пристрій $КП$, два тимчасових селектори $ТС_1$ і $ТС_2$, генератор рахункових імпульсів $ГРІ$, подільник частоти $ПЧ$, електронний лічильник $ЕЛ$ з цифровою індикацією $ЦИ$.

На входи формуючих пристроїв надходять дві напруги u_1 і u_2 , фазовий зсув між якими підлягає виміру. Коли напруга u_1 переходить через нуль від негативних значень до позитивного, на виході першого формуючого пристрою

з'являється стартовий імпульс, що впливає на керуючий пристрій так, що він відкриває перший тимчасовий селектор.

Коли напруга аналогічна u_2 переходить через нуль, на виході другого формуючого пристрою з'являється стоповий імпульс, що через керуючий пристрій закриває перший селектор. Отже, вірний часовий селектор знаходиться у відкритому стані один раз за період досліджуваних напруг протягом інтервалу часу ΔT . Цей інтервал заповнюється рахунковими імпульсами, що надходять від генератора ГРІ. Таким чином, через відкритий перший селектор ВР проходить група з n імпульсів

$$n = \frac{\Delta T}{T_{cx}} = \Delta T f_{cx},$$

де $T_{cx} = 1/f_{cx}$ – період повторення рахункових імпульсів.

Для усереднення результату виміру імпульси рахуються протягом інтервалу часу $T_{yc} = mT$, де T — період вхідних напруг. Імпульс тривалістю T_{yc} формується подільником частоти ПЧ із рахункових імпульсів; $T_{yc} = kT_{cx}$, де k - коефіцієнт множення періоду, а $1/k$ - коефіцієнт розподілу частоти. Імпульс надходить на другий селектор $ТС_2$ відкриває його, і на електронний лічильник пройдуть m груп рахункових імпульсів. Загальне число імпульсів, що пройшли на лічильник і далі на цифровий індикатор складає $N = nm$. Підставляючи значення n і m , а потім ΔT з формули, одержуємо

$$N = \frac{T_{yc} \cdot \Delta T}{T \cdot T_{cx}} = \frac{k \cdot T_{cx} \varphi \cdot T}{T \cdot T_{cx} \cdot 360} = \frac{k}{360} \varphi, \quad (1.5)$$

звідки обмірюваний фазовий зсув

$$\varphi = \frac{360}{k} N = aN. \quad (1.6)$$

Похибка виміру складається з випадкової похибки дискретності, тобто можливості втрати одного рахункового імпульсу в групі, і можливості втрати частини групи в інтервалі усереднення. Аналіз показує що максимальна похибка складає $\Delta\varphi = \frac{90}{f \cdot T_{yc}} = \frac{90}{m}$, де f частота досліджуваних напруг.

Відповідно до методів вимірювання фази існують різні фазометри але нас цікавлять тільки цифрові фазометри оскільки вони задовольняють вимоги, поставлені перед нами при проектуванні приладу. Тому розглянемо принцип побудови цифрового фазометра.

Принцип побудови цифрових фазометрів на діапазон інфразвукових і звукових частот (до 500 Гц) заснований на вимірі інтервалів часу між крапками переходу досліджуваних сигналів через нульовий рівень. При цьому калібратор вимірювального часу не використовується, тобто час виміру фазового зсуву змінюється в залежності від тривалості періоду досліджуваних сигналів.

Якщо за час між двома характерними крапками, що відповідають переходу через нуль миттєвих значень напруг, підраховано N_u імпульсів і при цьому один імпульс відповідає одному періоду T_u (інтервалу часу) зразкового генератора, то вимірюваний зсув фаз

$$\phi = \omega N_u T_z = \omega \frac{N_u}{f} \quad (1.7)$$

або

$$\phi = (360 ft)^0 = (360 f N_u T_z)^0 = (360 \frac{f N_u}{f_z})^0, \quad (1.8)$$

де T_r — період коливань струму зразкового генератора.

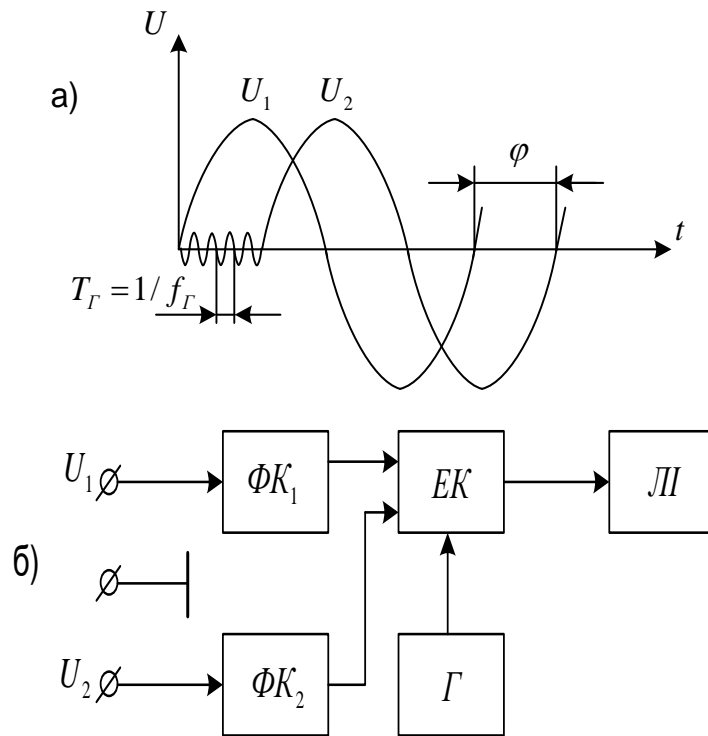


Рисунок 1.7 – Принцип виміру зсуву фаз цифровим методом

З отриманого виразу для кута зсуву фаз видно, що для його визначення необхідно знати частоту (період) досліджуваних сигналів. Принцип дії фазометра, що вимірює миттєві значення фазового зсуву, пояснюється приведеною на рисунку 1.7 структурною схемою. Досліджувані напруги подаються на формуючі каскади ΦK_1 і ΦK_2 , що виробляють однополярні імпульси в моменти зміни знаку напруг. Ці імпульси надходять далі на електронний клапан EK . На інший вхід електронного клапана подаються імпульси від генератора Γ . Імпульси від генератора надходять на лічильник імпульсів $ЛІ$ протягом часу, пропорційного зсуву фаз, тому що електронний клапан керується однополярними імпульсами двох формуючих каскадів.

Окремим видом цифрових фазометрів є мікропроцесорні фазометри. Вони відрізняються вищою точністю вимірювань, більш гнучким алгоритмом роботи та більшими функціональними можливостями, також у більшості випадків вони є простішими у використанні [5].

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1 Вибір елементної бази та системи проектування

Із перерахованих вище методів вимірювання фази метод перетворення фазового зсуву в імпульси струму є найкращим для впровадження у виробництво. Тому саме його і візьмемо за основу нашого фазометра.

Із надзвичайно швидким та широким впровадженням у сучасну електроніку інтегральних мікросхем на декілька порядків підвищується точність підрахунків та швидкість обробки результатів. Тому логічно обрати для виготовлення пристрою інтегральні мікросхеми, але з якнайширшими можливостями щоб зменшити кількість елементів. В наш час впроваджуються в пристрої мікроконтролери на основі ПЛІС. Вони представлені надзвичайно широкими модельними рядами різних фірм виробників, але майже всі програмуються за допомогою компіляторів, що використовують для створення файлу прошивки код однієї із мов програмування. Тому краще було б використовувати мікроконтролери, що використовують компілятори, які підтримують можливість створення файлу прошивки на основі принципової схеми пристрою. Це дозволить промоделювати пристрій перш ніж виконувати прошивання мікросхеми і це підвищить надійність при розробці фазометра. Таким вимогам відповідають мікроконтролери фірми Altera MAX7000S та FLEX10K. Програмний пакет Quartus II, що створено для їх прошивки, підтримує в якості початкового файлу як програмний код, так і можливість „збору” принципової схеми.

2.2 Принцип роботи фазометра

В основі методу вимірювання лежить перетворення двох синусоїдальних напруг u_1 і u_2 , фазовий зсув яких потрібно виміряти, в періодичні послідовності коротких імпульсів, що відповідають моментам переходів цих напруг через нуль з похідними однакового знаку (рисунок 2.1). Інтервали часу ΔT між най-

близкими імпульсами 1 і 2 пропорційні різниці фаз, що визначається (вважається, що напруга u_1 випереджає по фазі напругу u_2). Після перетворення вимірюється відносне значення інтервалу часу (по відношенню до періоду).

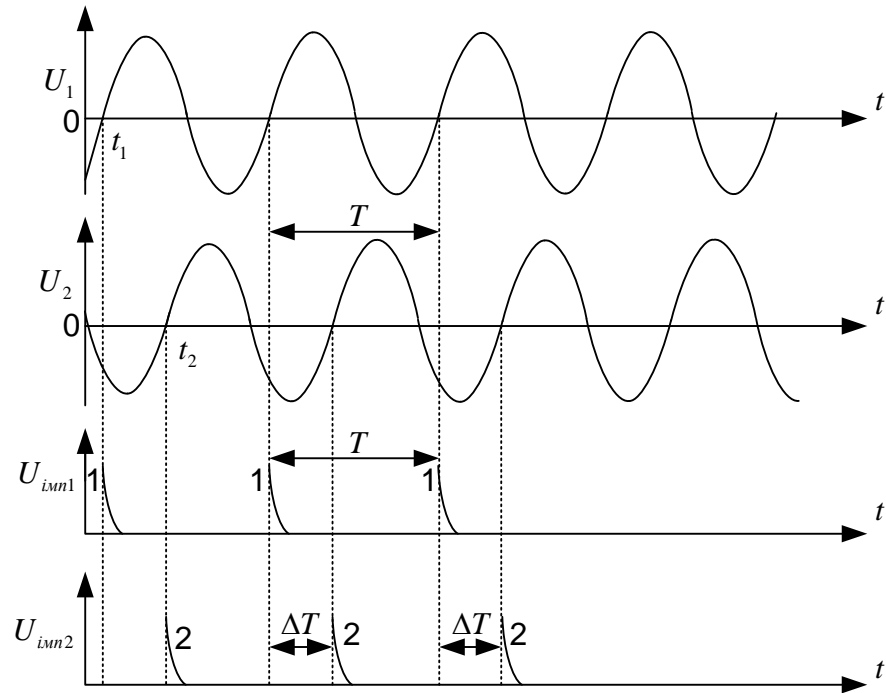


Рисунок 2.1 – Принцип роботи фазометра

Використовуючи відомі вирази $\varphi = \omega \cdot \Delta T$ та $\omega = 2\pi/T$, легко написати формулу, що встановлює зв'язок між фазовим зсувом φ в градусах та відносним інтервалом часу

$$\varphi = 360 \cdot \Delta T / T. \quad (2.1)$$

Слід відмітити, що перетворення фазового зсуву в інтервал часу супроводжується випадковою похибкою, що обумовлена дією шумових завад. Викладений метод отримав широке розповсюдження і зустрічається в різноманітних фазометрах, що відрізняються один від одного головним чином способом вимірювання відносного інтервалу часу.

2.3 Структурна схема приладу

Структурна схема цифрового фазометра зображена на рисунку 2.2. Вона складається із математичного блоку, двох лічильників, семисегментного перетворювача, вхідного блоку та цифрового індикатора.

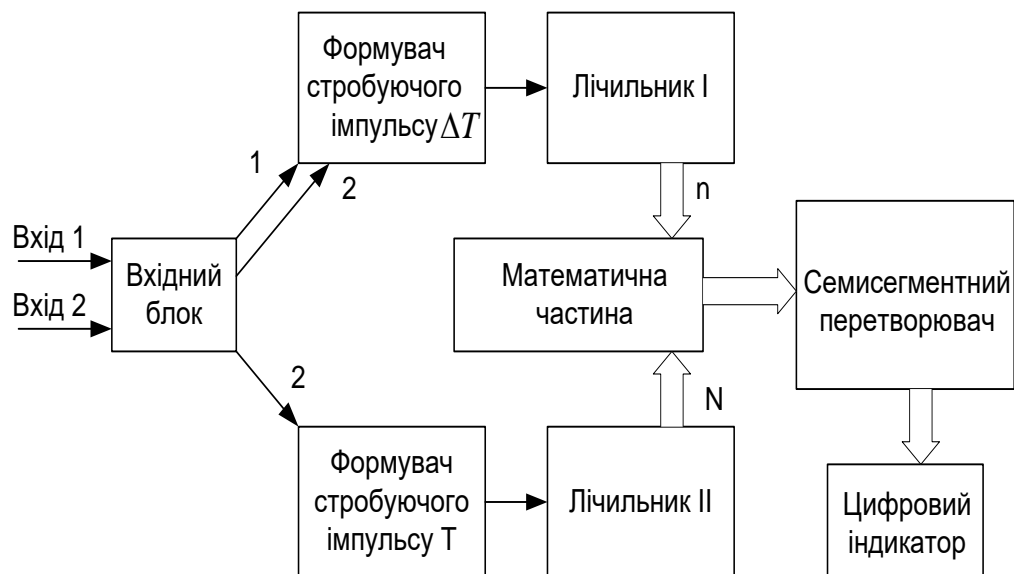


Рисунок 2.2 – Структурна схема цифрового фазометра

Такий цифровий фазометр, окрім загальних переваг у порівнянні із приладами, що виконані за схемами з жорсткою логікою роботи, володіє ще рядом специфічних „фазометричних” переваг. Суть одної із них у тому, що прилад дозволяє вимірювати фазові зсуви за один період досліджуваної напруги. Для пояснення принципу такого вимірювання скористаємось графіками, представленими на рисунку 2.3.

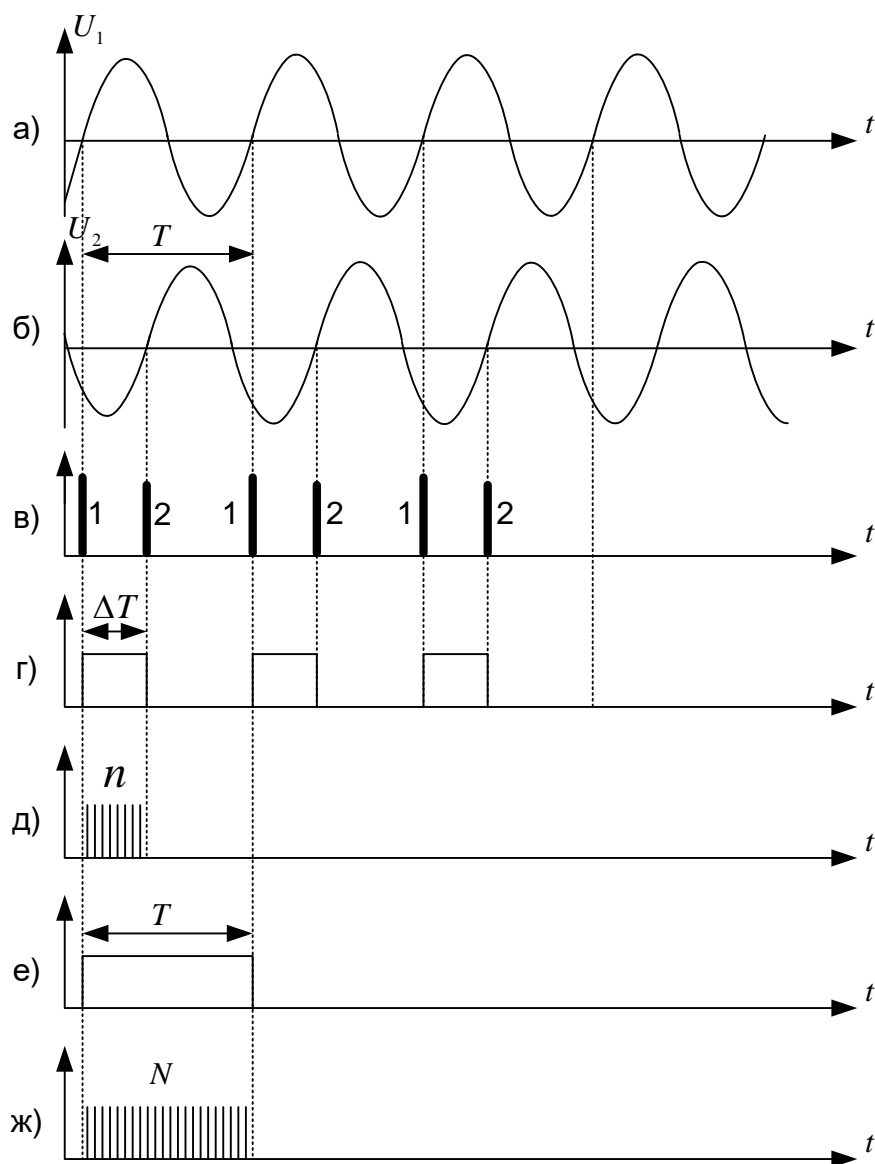


Рисунок 2.3 – Принцип роботи цифрового фазометра

Синусоїдальні напруги u_1 та u_2 , фазовий зсув між якими потрібно виміряти, перетворюється у короткі одно полярні імпульси (рисунок 2.3, а-в). Із першої пари імпульсів 1 та 2 в приладі формується стробуючий імпульс тривалістю ΔT (рисунок 2.3, г). За допомогою лічильника І підраховується кількість імпульсів квантування, що вміщуються в тривалість ΔT (рисунок 2.3, д)

$$n = F_{сч} \cdot \Delta T, \quad (2.2)$$

де $F_{сч}$ - частота імпульсів квантування.

Паралельно формується стробуючий імпульс тривалістю, рівною періоду досліджуваної синусоїдальної напруги (рисунок 2.3, а, в, е). Цей стробуючий імпульс подається на лічильник II та заповнюється лічильними імпульсами з тією ж частотою $F_{сч}$. Число імпульсів, підрахованих лічильником II за період T (рисунок 2.3, ж)

$$N = F_{сч} \cdot T. \quad (2.3)$$

Числа n та N передаються із лічильників I та II в математичний блок, де вираховується відношення n/N . Після множення відношення на 360, як видно з співставлення (2.2) та (2.3) з (2.1), отримуємо шукане значення фазового зсуву

$$\varphi = 360 \cdot n/N. \quad (2.4)$$

Описаним фазометром можливо виміряти фазові зсуви за q періодів. При цьому в лічильнику I накопичуються числа імпульсів, що заповнюють q інтервалів ΔT , а лічильник II фіксує число імпульсів, що потрапляють на інтервал qT .

3 РОЗРОБКА І РОЗРАХУНОК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ЦИФРОВОГО ФАЗОМЕТРА

3.1 Вхідний блок

Для перетворення вхідного аналогового сигналу у цифровий, застосовуємо типову схему компаратора. Можливо також використовувати і інші схеми, але даний варіант найбільш простий у застосуванні.

Принцип дії даної схеми показано на рисунку 3.1. Логічна одиниця формується на виході компаратора в той момент коли сигнал переходить в позитивне значення, а нуль тоді, коли сигнал приймає від'ємні значення.

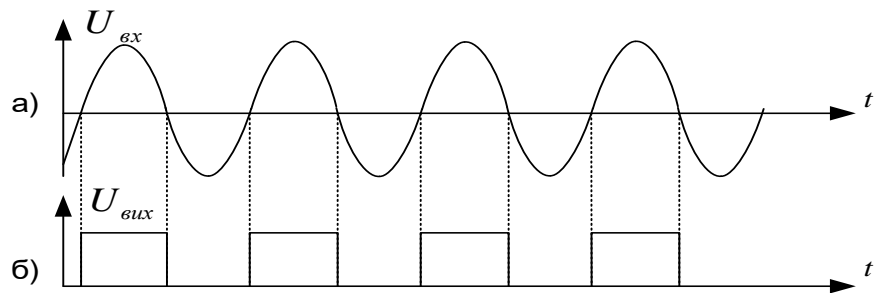


Рисунок 3.1 – Принцип роботи вхідного блоку

Електрична схема вхідного блоку зображена на рисунку 3.2.

3.2 Формувач стробуючого імпульсу ΔT

Для того, щоб визначити n (формула 3.2) потрібно порівняти вхідні сигнали, тобто визначити різницю часу між початками сигналів по обох входах.

Найкращим варіантом виходу з даної ситуації буде використання RS – тригерів.

RS – тригери – це тригери з роздільним установленням (запуском) за допомогою двох входів: S – (Set – установлення) – вхід установлення до одиничного стану $Q = 1$ та R (Reset – повернення, скидання) – вхід скидання до нульо-

вого стану $Q = 0$. Правила функціонування тригера зручно задавати таблицею відповідності, яку називають також перемикальною таблицею або таблицею станів. Для RS – тригера з прямими входами таку таблицю наведено на рисунку 3.3. Вона визначає стан Q^+ , до якого має перейти тригер з попереднього стану Q .

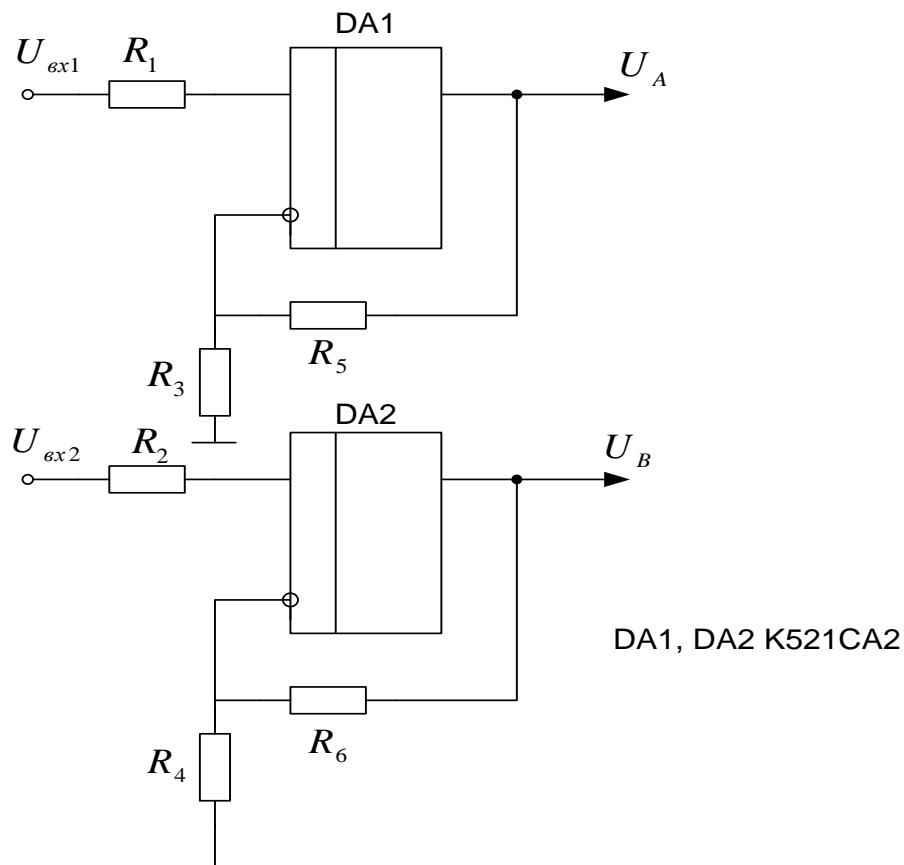


Рисунок 3.2 – Електрична схема вхідного блоку

На вхід R подамо сигнал з першого входу, а на S – з другого. Тоді на виході тригера будемо мати такий сигнал, який зображено на рисунку 3.3, г. А для уникнення забороненого стану, коли на обох входах знаходиться логічна одиниця, потрібно використати детектор початку фронту вхідного сигналу. Принцип його роботи зображено на рисунку 3.3, в. [2]

RS	Q^+
0 0	Q
0 1	1
1 0	0
1 1	X

Рисунок 3.3 – Перемикальна таблиця RS – тригера

3.3 Формувач стробуючого імпульсу T

Принцип роботи даного блоку є майже аналогічним попередньому формувачу стробуючого імпульсу ΔT . Тільки в даній ситуації для формування використовується тільки сигнал з одного входу фазометра (вхід 2).

Для рішення цієї задачі запропоновано використати формування стробуючого імпульсу T, який рівний п'яти періодам, тобто N буде збільшено в 5 раз. Цей варіант розв'язку дасть можливість зменшити випадкові похибки вимірювань. В результаті цих нововведень в схемі з'явиться ще один елемент – недвійковий лічильник з модулем лічби 6.

Існує кілька методів перетворення двійкових лічильників у недвійкові залежно від способу усунення надлишкових станів. Лічильник з природним порядком лічби утворюється виключенням старших надлишкових станів $N = M, \dots, 2^n - 1$ шляхом примусового скидання двійкового лічильника. Принцип такого перетворення розглянемо спочатку на ІС жорсткої структури, коли присутніми є лише її зовнішні виводи, зокрема, вхід скидання двійкового лічильника R. З надходженням лічильних імпульсів C вихідний код зростає в межах $N = 0, 1, \dots, M$ і перетворюється в дешифраторі в унітарний код. Коли на виході, номер якого збігається з модулем лічби M, з'являється активний рівень R_M , лічильник скидається до нуля і далі цикл лічби повторюється. Стан $N = M$, в якому лічильник перебуває короткочасно, не використовується, тому кількість фіксованих станів $N = 0, 1, \dots, M - 1$ становить потрібний модуль лічби M.

Тому для створення такого лічильника можна використати стандартний три розрядний двійковий лічильник додавши до нього логічну схему зупинки лічби. Отже, лічильник буде лічити кількість періодів вхідного сигналу і при появі на вході шостого періоду лічильник буде зупинений. Електрична схема і перемикальна таблиця лічильника зображені на рисунку 3.4.

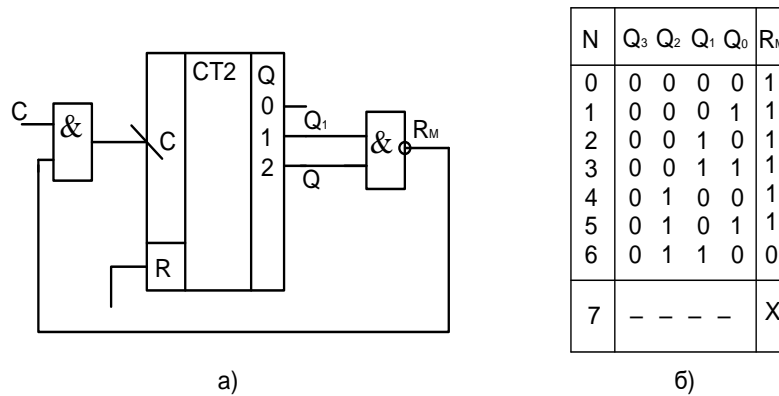


Рисунок 3.4 – (а) – схема лічильника і (б) – перемикальна таблиця лічильника з модулем лічби 6

Далі потрібно лише додати в схему RS – тригер щоб формувати стробуючий імпульс $T \cdot 5$. Це можливо зробити подавши на вхід S логічну одиницю в момент коли лічильник переходить в значення (001), а при зупинці лічильника призначені (110) подаємо одиницю на вхід тригера R.

Принцип роботи формувача стробуючий імпульсів $T \cdot 5$ ілюструють діаграми на рисунку 3.5.

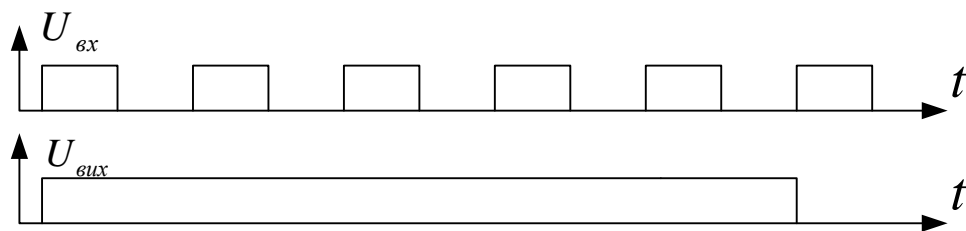


Рисунок 3.5 – Діаграми роботи формувача стробуючий імпульсів T

3.4 Лічильники для підрахунку значень n і N

В якості цих лічильників візьмемо декадні лічильники, модуль лічби яких 10. Ввімкнувши їх послідовно отримаємо ряд лічильників, які будуть підраховувати n або N таким чином, щоб кожен з них відповідав за свій розряд шуканого числа. Наприклад, якщо в 1 лічильнику буде число 9, а 2 лічильнику число 6, то це буде означати, що шукане число 96.

Серед ІС лічильників біля половини є декадні з модулем лічби $M = 10$. Такі лічильники є паралельні за схемою із зворотними зв'язками і задля гнучкості використання можуть містити в корпусі ІС окремі лічильники з модулем $M = 2$ і з модулем $M = 5$, послідовне з'єднання яких утворює асинхронний лічильник з модулем $M = 10$. Наявність в корпусі ІС ще декадного лічильника дає змогу отримати також модулі $M = 20, 50, 100$.

Користуючись входами скидання до нуля CLR, переустановлення до дев'ятого стану SET 9, декадні лічильники, як і двійкові, можна перетворити у недвійкові з довільним модулем шляхом примусового скидання.

Проведемо розрахунок кількості лічильників, потрібної для підрахунку n або N так як при різниці фаз 360° $n = N$. Для цього визначимо максимально можливе n .

Число імпульсів, що поступають на лічильник І за інтервал $T \cdot 5$ рівне

$$N = F_{ci} \cdot T \cdot 5, \quad (3.1)$$

де F_{ci} - частота лічильних імпульсів;

$T = 1/f$ - період вхідного сигналу. [2]

Проведемо розрахунок формули 3.1 для кількох діапазонів за допомогою таблиці 3.1.

Отже, для підрахунку n або N достатньо чотирьох послідовно з'єднаних декадних лічильники. Один із варіантів такої схеми представлений на рисунку 3.6.

Таблиця 3.1 – Основні показники моделюючої програми та її аналога

Діапазон частоти	Максимальний період сигналу в цьому діапазоні	Частота імпульсів квантування	Значення $N*5$
500...100 кГц	0,00001	180 МГц	9000
100...50 кГц	0,00002	36 МГц	3600
50...10 кГц	0,0001	18 МГц	9000
Максимальне N			9000

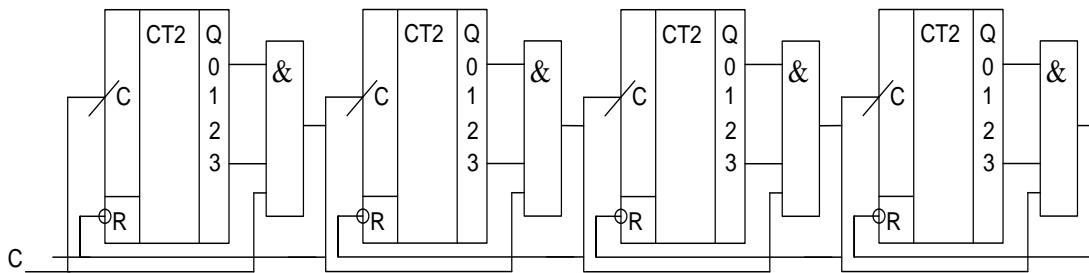


Рисунок 3.6 – Лічильник для n та N

Розглянемо побудову і аналіз функціонування даного лічильника з модулем лічби (коефіцієнтом поділу) $M = 10$.

Розкладаємо модуль на числа степеня 2 та додаткові одиниці

$$M = 10 = 2 * 5 = 2 * (4 + 1) = 2 * (2 * 2 + 1).$$

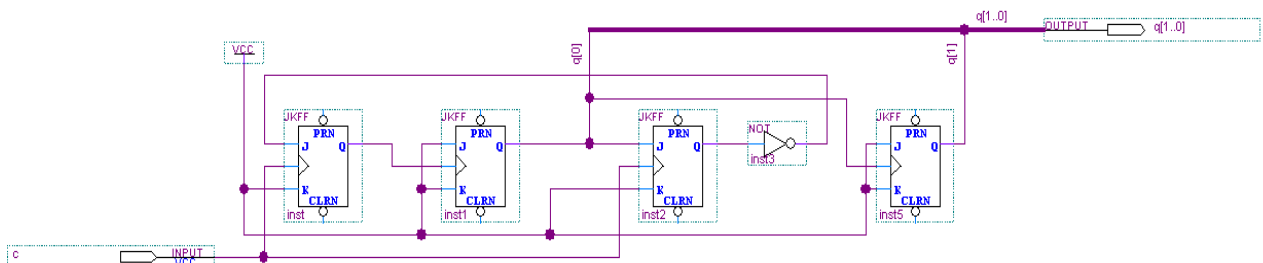


Рисунок 3.7 – Безвентильний лічильник на JK-тригерах з модулем лічби

$$M=10$$

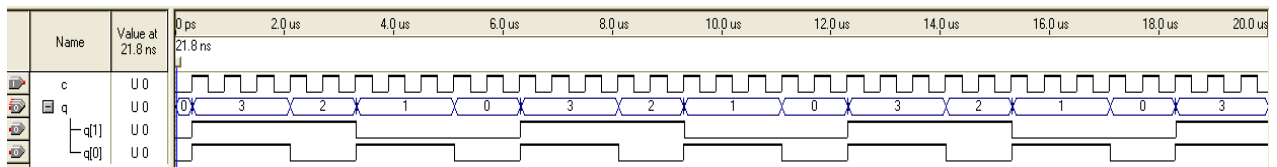


Рисунок 3.8 – Аналіз спроектованого подільника частоти

N	Q3 Q2 Q1 Q0	3		1		2		1		$Q_3^+ Q_2^+ Q_1^+ Q_0^+$	N^+
		C3 J3 K3 $dQ1$ 1 1	C2 J2 K2 dC Q1 1	C1 J1 K1 $dQ0$ 1 1	C0 J0 K0 dC $\overline{Q_2}$ 1						
0	0000	↑ 1 1	↑ 0 1	↑ 1 1	↑ 1 1	1 0 1 1	11				
11	1 0 1 1	---	↑ 1 1	↓ --	↑ 1 1	1 1 1 0	14				
14	1 1 1 0	---	↑ 1 1	---	↑ 0 1	1 0 1 0	10				
10	1 0 1 0	↓ --	↑ 1 1	↑ 1 1	↑ 1 1	1 1 0 1	13				
13	1 1 0 1	---	↑ 0 1	↓ --	↑ 0 1	1 0 0 0	8				
8	1 0 0 0	↑ 1 1	↑ 0 1	↑ 1 1	↑ 1 1	0 0 1 1	3				
3	0 0 1 1	---	↑ 1 1	↓ --	↑ 1 1	0 1 1 0	6				
6	0 1 1 0	---	↑ 1 1	---	↑ 0 1	0 0 1 0	2				
2	0 0 1 0	↓ --	↑ 1 1	↑ 1 1	↑ 1 1	0 1 0 1	5				
5	0 1 0 1	---	↑ 0 1	↓ --	↑ 0 1	0 0 0 0	0				

Рисунок 3.9 – Перемикальна таблиця

Розглянемо аналіз спроектованого подільника частоти.

Зазвичай функціонування пристрою зображають перемикальним графом. Для його побудови зручно скористатися перемикальною таблицею (рисунок 4.3), до якої доцільно внести початковий стан N , наприклад, у шістнадцятковій системі числення (як у САПР), його двійковий код $Q_3 \dots Q_0$ відповідно до номерів тригерів, функції збудження всіх розрядів $C_i J_i K_i$, включаючи синхросигнали C_i (бо лічильник не є паралельний), відтак стани Q_i^+ , до яких перемкнуться тригери по надходженні чергового лічильного імпульсу, і, нарешті, шістнадцятко-

вий код N^+ нового стану лічильника. Задля наочності позначимо над функціями збудження черговість перемикання розрядів, а під ними – значення цих функцій, які зчитуємо безпосередньо зі схеми.

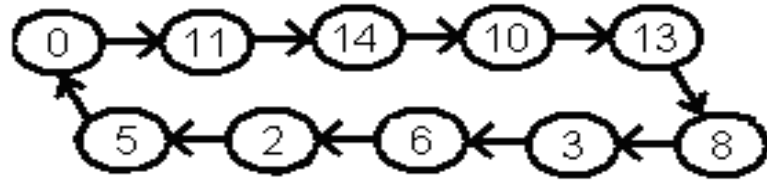


Рисунок 3.10 – Основний перемикальний граф

3.5 Математична частина

Розглянемо основні методи помноження і ділення двійкових чисел і виберемо оптимальний варіант.

Програмно в мікропроцесорах та мікроЕОМ множення двійкових чисел здійснюють шляхом зсуву за допомогою ЦПП та додавання часткових добутоків у суматорах згідно з відомими алгоритмами. Процедура множення виконується протягом багатьох тактів, що може спричинити зниження швидкодії в неприйнятних межах, зокрема, радіотехнічних пристроїв та систем з обробкою інформації в реальному масштабі часу. Підвищення швидкодії було досягнуто апаратно в ІС матрицевих помножувачах з ланцюжком суматорів часткових добутоків. При цьому усталення всього добутку розтягується в часі перемиканням кількості суматорів у найдовшій діагоналі матриці суматорів.

Найвища швидкодія досягається в комбінаційних помножувачах з безпосереднім формуванням розрядів остаточного добутку. Розглянемо для прикладу множення дворозрядних чисел $A=a_1a_0$ та $B=b_1b_0$ (таблиця 3.2).

Розрядність добутку $Y = y_3y_2y_1y_0$ вибирається як сума розрядів співмножників. Функцію для старшого розряду записуємо безпосередньо з таблиці, а інших розрядів мінімізуємо за допомогою діаграм термів (рисунок 3.7, а) із застосуванням редукції

$$\alpha = a_0b_1; \beta = a_1b_0; y_3 = \alpha\beta; y_2 = a_1b_1\overline{y_3}; y_1 = (\alpha + \beta)\overline{y_3}; y_0 = a_0b_0.$$

Таблиця 3.2 – Метод помноження двійкових чисел

i	$a_1a_0b_1b_0$	$y_3y_2y_1y_0$
0	00 00	0000
1	00 01	0000
2	00 10	0000
3	00 11	0000
4	01 00	0000
5	01 01	0001
6	01 10	0010
7	01 11	0011
8	10 00	0000
9	10 01	0010
10	10 10	0100
11	10 11	0110
12	11 00	0000
13	11 01	0011
14	11 10	0110
15	11 11	1001

Мінімізована схема (рисунок 3.11, б) практично не поступається за швидкістю реалізованій за первісними термами.

Для чисел зі старшим знаковим розрядом $A=aza_1a_0$, $B=bzb_1b_0$ знак добутку $Y=y_zy_3y_2y_1y_0$ формується окремо, за допомогою елемента Виключне АБО: $y_z = a_z \oplus b_z$.

Серед стандартних ІС комбінаційних помножувачів (макрофункцій) поширеними є з розрядністю співмножників 2x2, 2x4 та 4x4 (рис. 3.8, а, б, с). Старші розряди співмножників $a[]$, $b[]$ та добутку $y[]$ репрезентують знак числа, а

вхід G є стробовий. Бібліотека САПР містить також мегафункцію помножувача LPM_MULT , основними параметрами якої є LPM_WIDTHA , LPM_WIDTHB , LPM_WIDTHP – розрядність відповідно співмножників $a[]$, $b[]$ та добутку $y[]$.

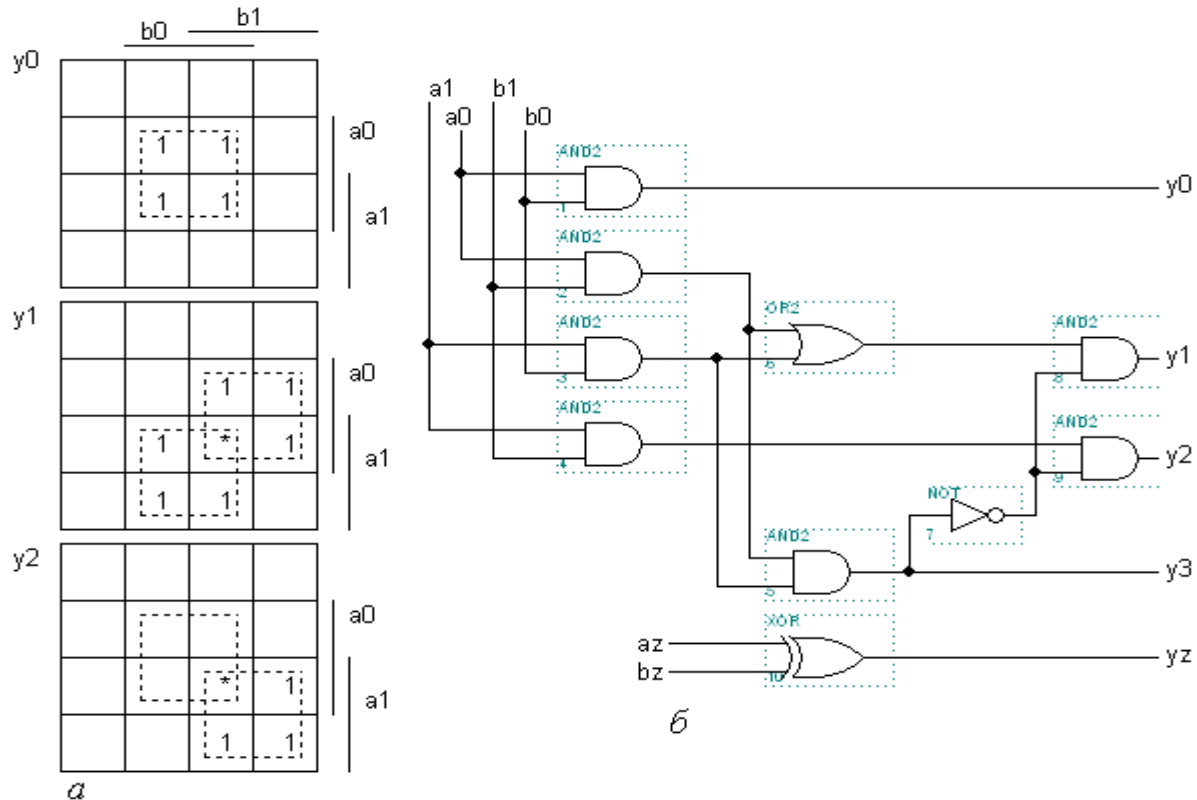


Рисунок 3.11 – (а) – діаграма термів і
(б) – мінімізована схема помножувача

З метою уніфікації обладнання та спрощення операційних пристроїв, призначених для виконання різних арифметичних та логічних операцій, у цифровій техніці застосовують багатофункціональні блоки – арифметико-логічні пристрої АЛП (ALU - arithmetic-logic Unit).

Подібно до суматора АЛП має входи двох операндів A , B , вхід і вихід перенесення c_0 , c_n та виходи результату F (для прикладу на рисунку 3.12, а наведено ІС чотирирозрядного АЛП, а на рис. 3.12, б – типову макрофункцію АЛП). Крім функцій суматора АЛП виконує ще низку логічних функцій, а також функцію компаратора з виходом K .

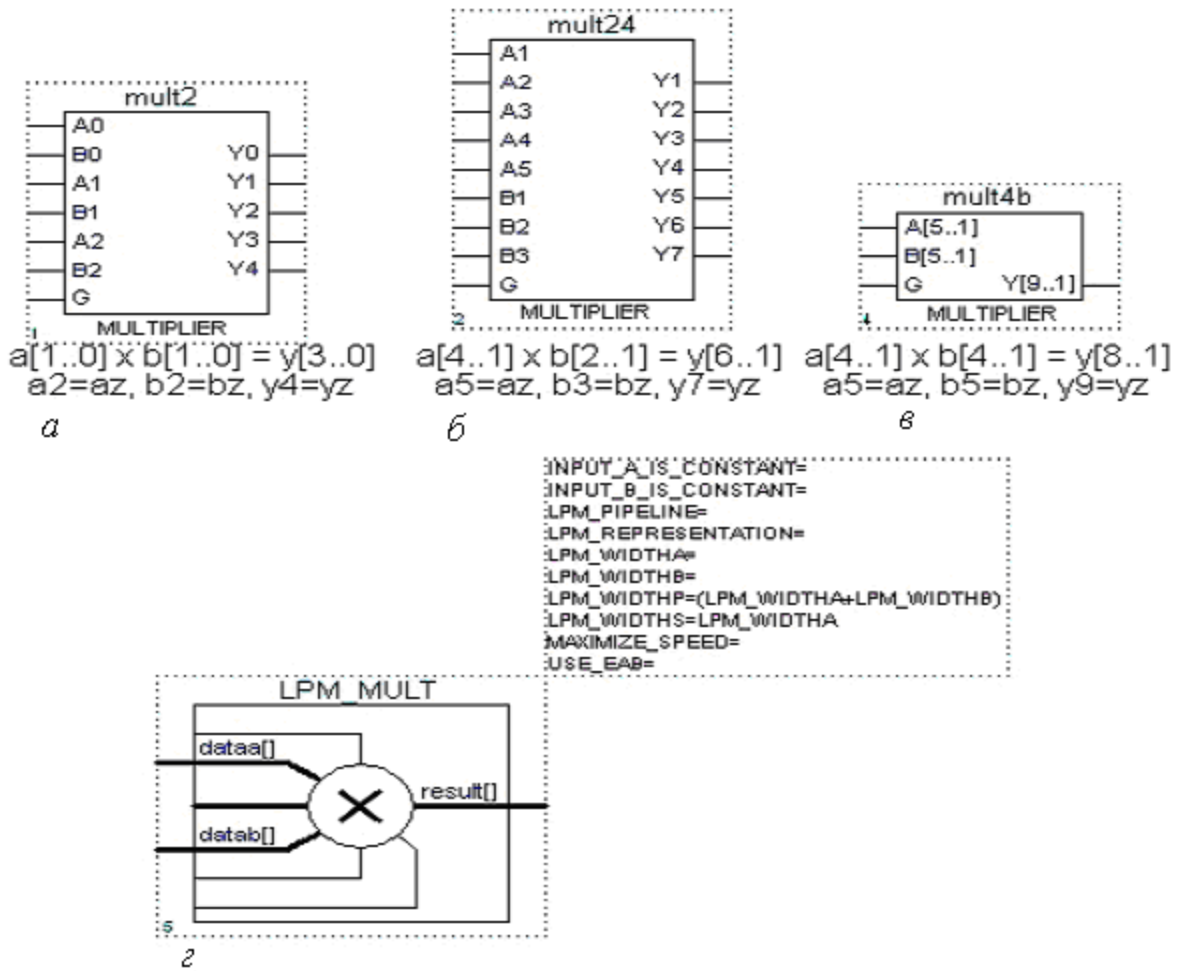


Рисунок 3.12 – Комбінаційні помножувачі

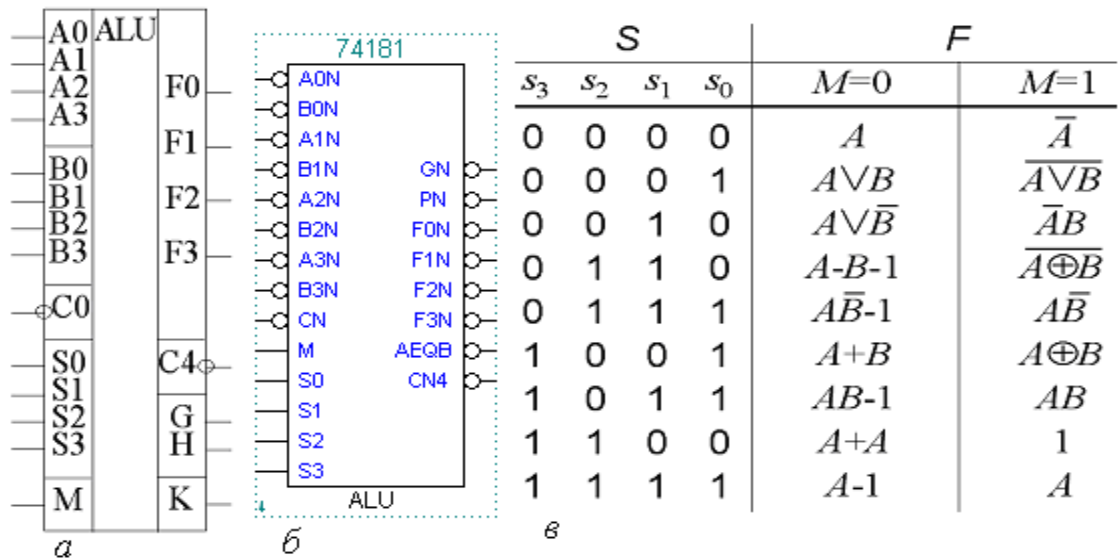


Рисунок 3.13 – АЛП

Логічну схему спроектовано таким чином, аби при виконанні різних арифметичних та логічних операцій максимально використовувались спільні логічні елементи. З'єднання елементів для виконання тої чи іншої функції здійснюється вхідним словом S вибору (селекції) операції та сигналом M модифікації операцій: при $M = 0$ виконуються арифметичні і деякі логічні операції, а при $M = 1$ міжрозрядні перенесення блокуються і реалізуються лише логічні операції. На рисунку 3.13, в наведено фрагмент типових операцій АЛП з таблиці його функцій, де знаками $+$ та \vee позначено відповідно арифметичне і логічне додавання, а множення ϵ тільки логічне. Чотирирозрядним словом S можна вибрати одну з 16 операцій та біт M ще подвоює їх кількість. Наприклад, дев'яте слово $S = 1001$ при $M = 0$ селекує арифметичну операцію $F = A + B$ а при $M = 1$ – логічну функцію $F = A \oplus B$.

З метою збільшення розрядності операндів АЛП каскадують так само, як і суматори: послідовним з'єднанням перенесень або для підвищення швидкодії через блоки пришвидшеного перенесення за допомогою спеціально для цього призначених виходів АЛП G , P генерації та передачі перенесення.

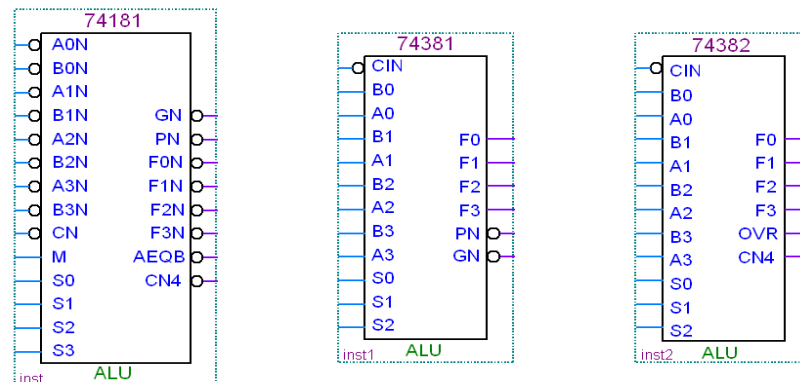


Рисунок 3.14 – Мікросхеми АЛП з бібліотеки макрофункцій

Використовувати АЛП доцільно на старих ІС жорсткої структури, але бібліотека САПР програмованих ІС також містить декілька різновидів макрофункцій (рисунок 3.14). [2]

Проаналізувавши всі варіанти помноження двійкових чисел виберемо елемент помноження з бібліотеки мегафункцій (рисунок 3.12) для помноження n на 360^0 .

Відповідно до формули 3.1 результат множення потрібно поділити на N . Для цього використаємо елемент ділення `Lpm_divide` з бібліотеки мегафункцій.

3.6 Семисегментний перетворювач

Перетворювачі кодів є ЦКП, що здійснюють перетворення цифрової інформації з однієї форми зображення до іншої. У загальному випадку вхідний m -розрядний і вихідний n -розрядний коди перетворювача можуть бути довільними – як числовими, так і комбінаторними. Прикладом нечислових комбінаторних кодів є коди цифрових індикаторів відображення інформації. Символи на індикаторній панелі формуються на основі рідких кристалів або світлодіодів шляхом 7-сегментного, 14-сегментного чи мозаїчного розкладу зображення. Сегменти поширеного в малогабаритних пристроях 7-сегментного індикатора позначають літерами a, b, c, d, e, f, g (рисунок 3.15, а). Під керуванням перетворювача кодів окремі частини панелі активізуються, наприклад, рідкі кристали, виконані у формі сегментів, темнішають на сріблястому тлі, утворюючи зображення потрібного символу. Якщо не активізовано сегменти f та c , індікується цифра 2, а якщо b та e – цифра 5 і т. ін.

Для відтворення стандартних знаків, зокрема, цифр 0...9 ДДК (BCD) налагоджено випуск серійних ІС – перетворювачів кодів, які в довідковій літературі називають дешифраторами 7-сегментного коду (рисунок 3.15, б). Крім інформаційних входів тетради ДДК $a[3..0] = D, C, B, A$ та сегментних виходів $a...g = OA...OG$ такі дешифратори мають інверсний вхід гасіння \overline{BIN} , яким всі сегменти обнуляються (індикатор гасне). Інверсним входом \overline{LTN} , навпаки, всі сегменти засвічуються, що зручно для перевірки індикатора (достатньо тимчасово заземлити цей вхід). Послідовним з'єднанням входів \overline{RBIN} і виходів \overline{RBON} ланцюжка знакомісць багаторозрядного індикатора досягається послідо-

вне гасіння нулів у старших розрядах, інакше було б важко зчитувати інформацію (як, наприклад, у звичайному калькуляторі).

Окремим випадком перетворювачів кодів є пристрої, для яких вхідним або вихідним є так званий унітарний код “1 із К”, в якому активний рівень може існувати тільки в одному розряді. Якщо активним є рівень лог. 1, то код називають прямим, а якщо лог. 0 – інверсним. Прикладом є унітарний десятковий код “1 з 10” відображення натиснутої цифрової клавіші, якщо натиснення більш однієї клавіші заборонено.

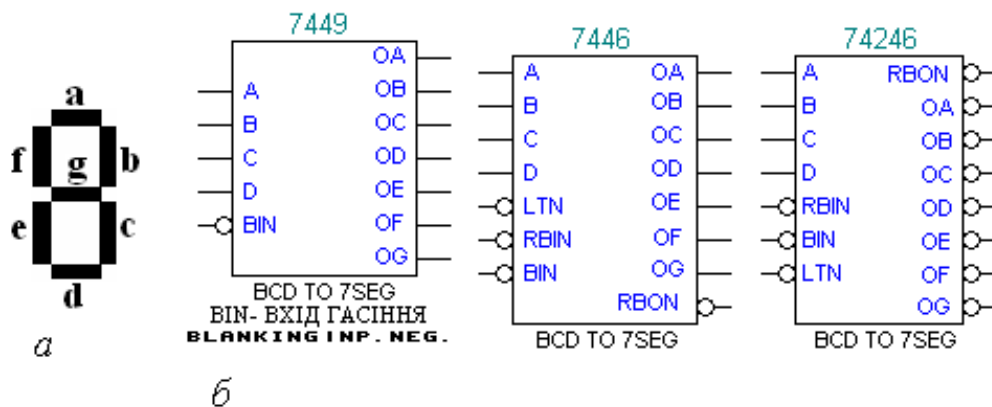


Рисунок 3.15 – (а) – розміщення елементів в семи сегментному індикаторі і (б) – семисегментні дешифратори

Дешифратором (двійковим дешифратором, який позначається DC – decoder) називається перетворювач m -розрядного двійкового коду до n -розрядного унітарного; при цьому розрядність коду розширюється, бо $n > m$. Дешифратори найчастіше застосовуються для вибору (селекції) інтегрованої мікросхеми або іншого пристрою з метою обміну інформацією, наприклад, для адресування до окремих комірок пам'яті.

За допомогою вхідного m -розрядного коду дешифратор спроможний керувати $n = 2^m$ вихідними лініями, що є розрядами унітарного коду. Такий дешифратор є повним, а якщо $n < 2^m$ – неповним. Наприклад, дешифратори 1:2,

2:4, перетворювачі двійкового коду в унітарні вісімковий 3:8 і шістнадцятковий 4:16 є повними, а перетворювач тетради ДДК до унітарного десяткового коду 4:10 є неповним.

Принцип побудови дешифратора розглянемо на прикладі перетворення двійкового коду $A=a_1a_0$ в унітарний $Y=y_3y_2y_1y_0$ (рисунок 3.16, а). З огляду на те, що кожна з вихідних функцій визначається одним мінтермом, вона вже є мінімальною:

$$y_0 = \overline{a_1} \overline{a_0}; y_1 = \overline{a_1} a_0; y_2 = a_1 \overline{a_0}; y_3 = a_1 a_0. \quad (3.2)$$

Взагалі, при m змінних функції повного дешифратора реалізуються за допомогою $n = 2^m$ елементів і з m входами кожний (рисунок 3.16, б). Активний рівень з'являється тільки на тому виході дешифратора, номер якого відповідає вхідному коду. Наприклад, при $a_1a_0 = 10_2 = 2_{10}$ дві одиниці прикладено до входів тільки одного елемента І з виходом y_2 , тому $y_2 = 1$, а на всіх інших виходах встановлюються рівні лог. 0. Визначити номер активного виходу дуже просто: досить скласти ваги розрядів на вхідному полі умовного графічного позначення дешифратора (рисунок 3.16,в), на яких діють рівні лог.1.

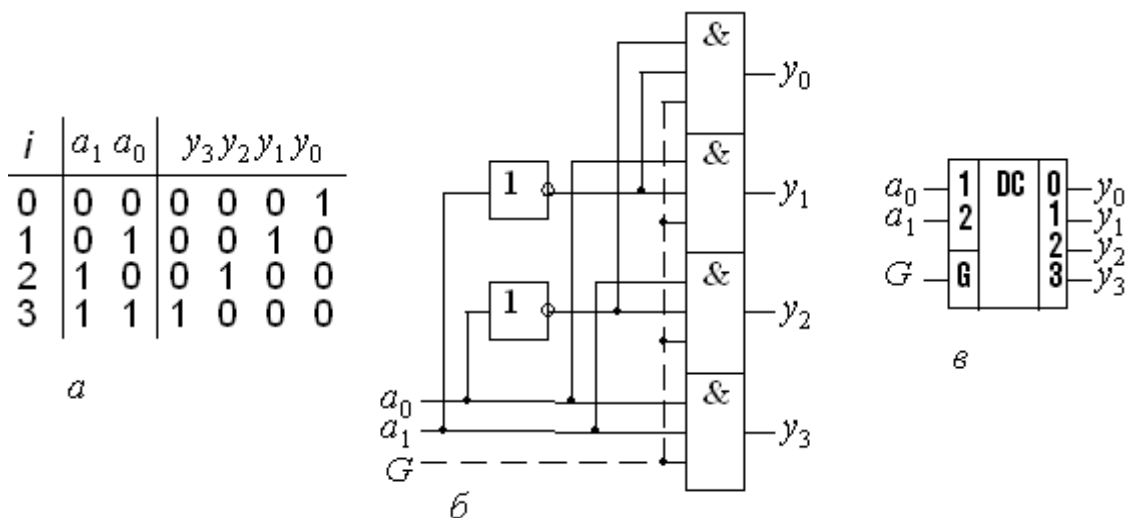


Рисунок 3.16 – (а) – таблиця даних, (б) – схема і

(в) – графічне позначення перетворювача двійкового коду в унітарний

Якщо додаткові входи елементів I з'єднати зі спільним входом G (від Gate – ворота) як на рисунку 3.12, б позначено пунктиром, здобудемо стробований дешифратор. При $G = 0$ елементи I блоковано і на всіх прямих виходах встановлюються рівні лог. 0, а при $G = 1$ схема функціонує як звичайний дешифратор. За допомогою входів G можна синхронізувати роботу дешифраторів, а також виконувати їх каскадування.

Найбільш кращим варіантом для нашого перетворювача буде семисегментний дешифратор 7449 з бібліотеки макрофункцій [2].

4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО ФАЗОМЕТРА

4.1 Опис моделюючої програми Quartus II

4.1.1 Головне робоче вікно

Головне робоче вікно програми Quartus II, яке з'являється одразу ж після запуску програми, показано на рисунку 4.1.

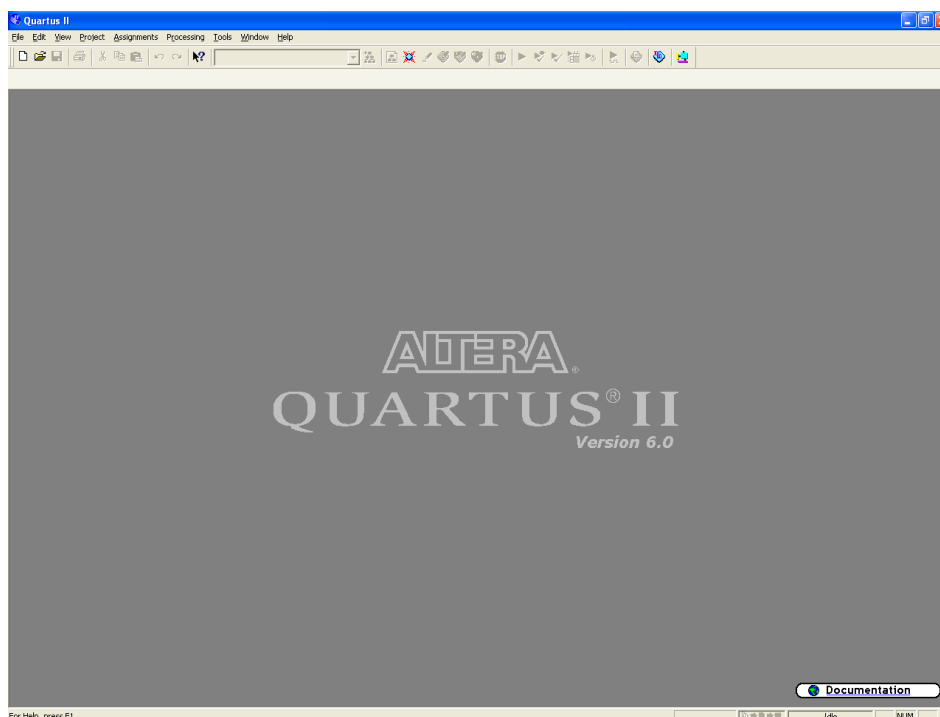


Рисунок 4.1 – Головне робоче вікно програми Quartus II

4.1.2 Меню Quartus II

Меню Quartus II є найголовнішим, оскільки з нього запускаються всі редактори, які призначені для повного циклу обробки проекту. Головне вікно програми із відкритим меню Quartus II показано на рисунку 4.2.

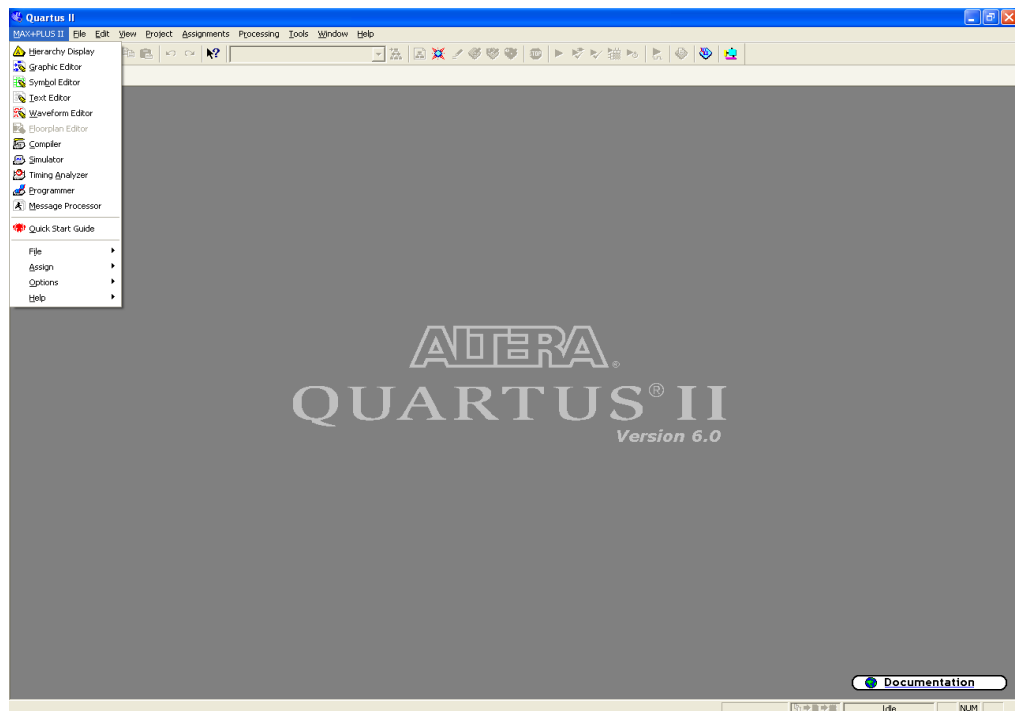


Рисунок 4.2 – Головне вікно програми з відкритим меню Quartus II

Складові меню Quartus II:

- Hierarchy Display – відкриває вікно з ієрархічним відображенням поточного проекту;
- Graphic Editor – запуск графічного редактора;
- Symbol Editor – запуск редактора символів;
- Text Editor – запуск текстового редактора;
- Waveform Editor – запуск редактора часових діаграм;
- Floorplan Editor – редактор зв'язків (порівневий планувальник);
- Compiler – відкриття вікна компілятора;
- Simulator – відкриття вікна системи моделювання;
- Timing Analyser – відкриття вікна часового аналізатора;
- Programmer – відкриття вікна системи програмування НВІС;
- Message Processor – запуск менеджера повідомлень.

Оскільки в даній роботі основним завданням є дослідження цифрових пристроїв на рівні моделювання без кінцевого результату програмування ПЛІС,

то доцільно зупинитися на описі важливих для даної роботи складових меню MAX+plus II.

4.1.3 Graphic Editor

Graphic Editor – графічний редактор призначений для введення проекту у вигляді схеми з'єднань символів елементів, що знаходяться у стандартних бібліотеках пакета або в бібліотеках користувача. Вікно графічного редактора показано на рисунку 4.3.

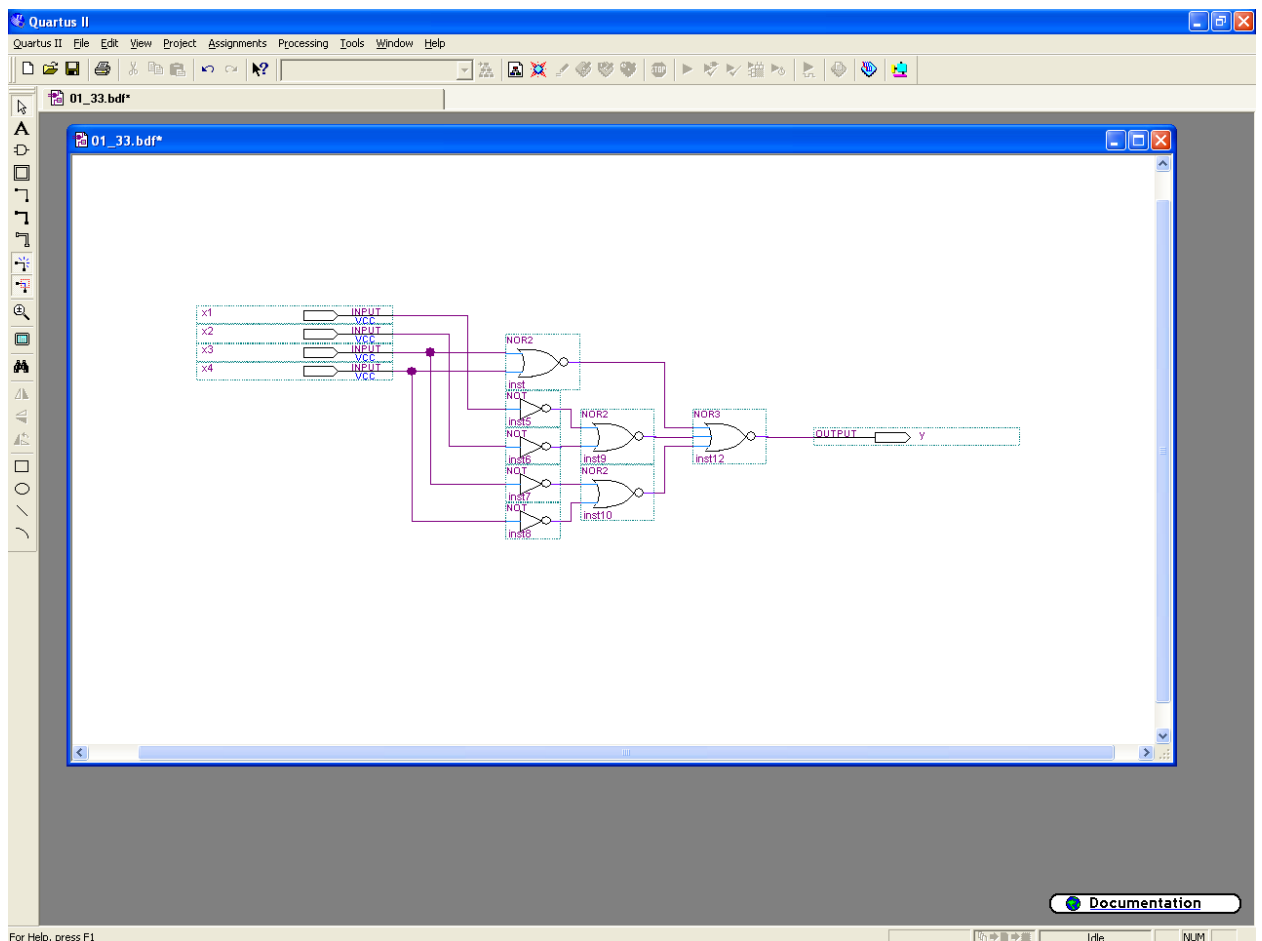


Рисунок 4.3 – Вікно графічного редактора

Для створення графічного проекту можна використовувати бібліотеки примітивів, макрофункцій і параметризованих мегафункцій. Примітиви вклю-

чають великий набір основних логічних елементів, тригерів, елементів входу і виходу (INPUT, OUTPUT), а також допоміжні елементи: GND (логічний нуль), VCC (логічна одиниця).

Параметризовані мегафункції дозволяють реалізувати багатовходові і багато розрядні елементи цифрової схемотехніки (шифратори, регістри, мультиплексори та ін.) шляхом введення ряду параметрів в спеціальних областях умовних графічних позначень цих елементів. При створенні графічних модулів можливий імпорт файлів з системи OrCAD.

Для розміщення елементів у вікні редактора використовується діалогове вікно Symbol (рисунок 4.4).

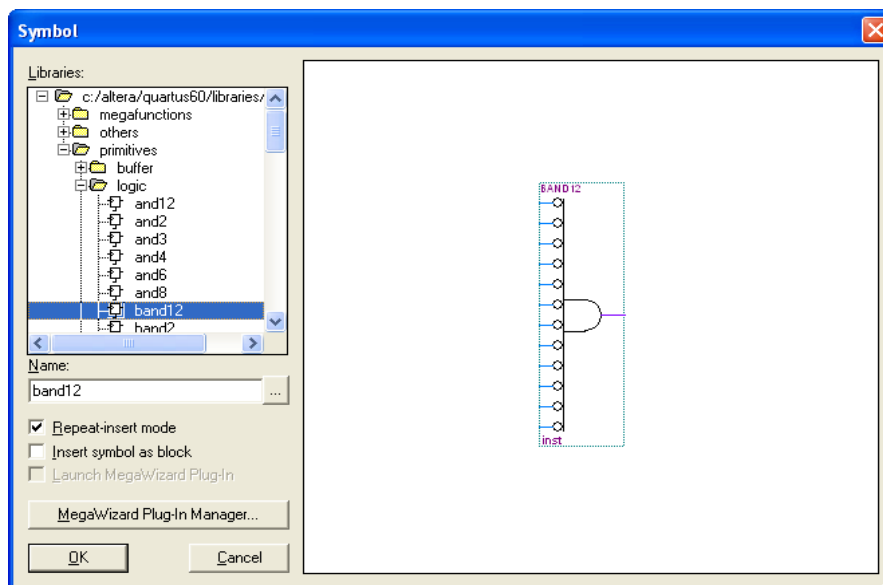


Рисунок 4.4 – Вікно вибору елемента

4.1.4 Symbol Editor

Symbol Editor – символний редактор (рисунок 4.5) дозволяє редагувати існуючі символи і створювати нові. Також будь-який відкомпільований проект може бути згорнутий у символ, поміщений у бібліотеку символів і використаний як елемент у будь-якому іншому проекті. Символьне представлення зручно використовувати при ієрархічній побудові проекту, адже проект самого вищого

рівня створюється в графічному редакторі, де використання символів є найдоцільнішим.

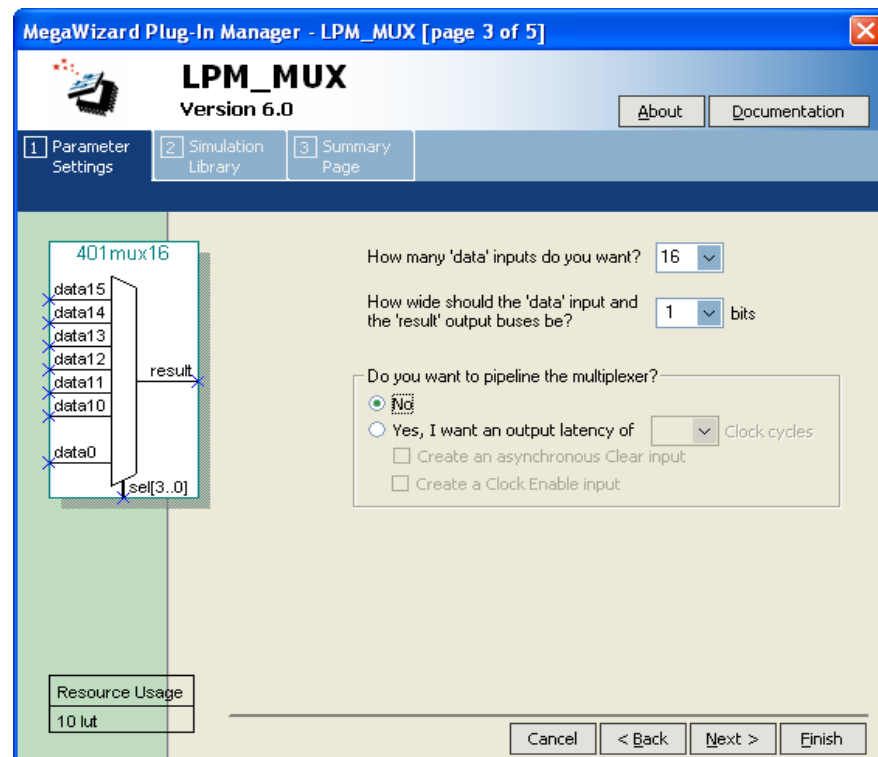


Рисунок 4.5 – Вікно редактора символів

4.1.5 Text Editor

Text Editor – текстовий редактор (рисунок 4.6) призначений для створення і редагування текстових файлів, в яких проєкт вводиться не графічно, а мовою опису пристроїв AHDL (Altera Hardware Description Language) або близькими до неї мовами типу VHDL чи Verilog HDL. В цьому редакторі дещо зменшується наочність та простота реалізації. Необхідним пунктом у цьому редакторі являється знання алгоритму побудови програм, а також вміння їх відлагоджувати і компілювати. Проте тут з’являється можливість досить швидко та оперативно оперувати із вхідними та вихідними змінними. Ще одна перевага даного редактора — це його пристосованість до логічних виразів. Тут з’являється можливість уникнення громіздких та складних структурних побу-

дов (хоча в графічному редакторі передбачено цьому випадку створення власних функцій, мікро- та макрофункцій). Це досить зручно при проектуванні ручним методом.

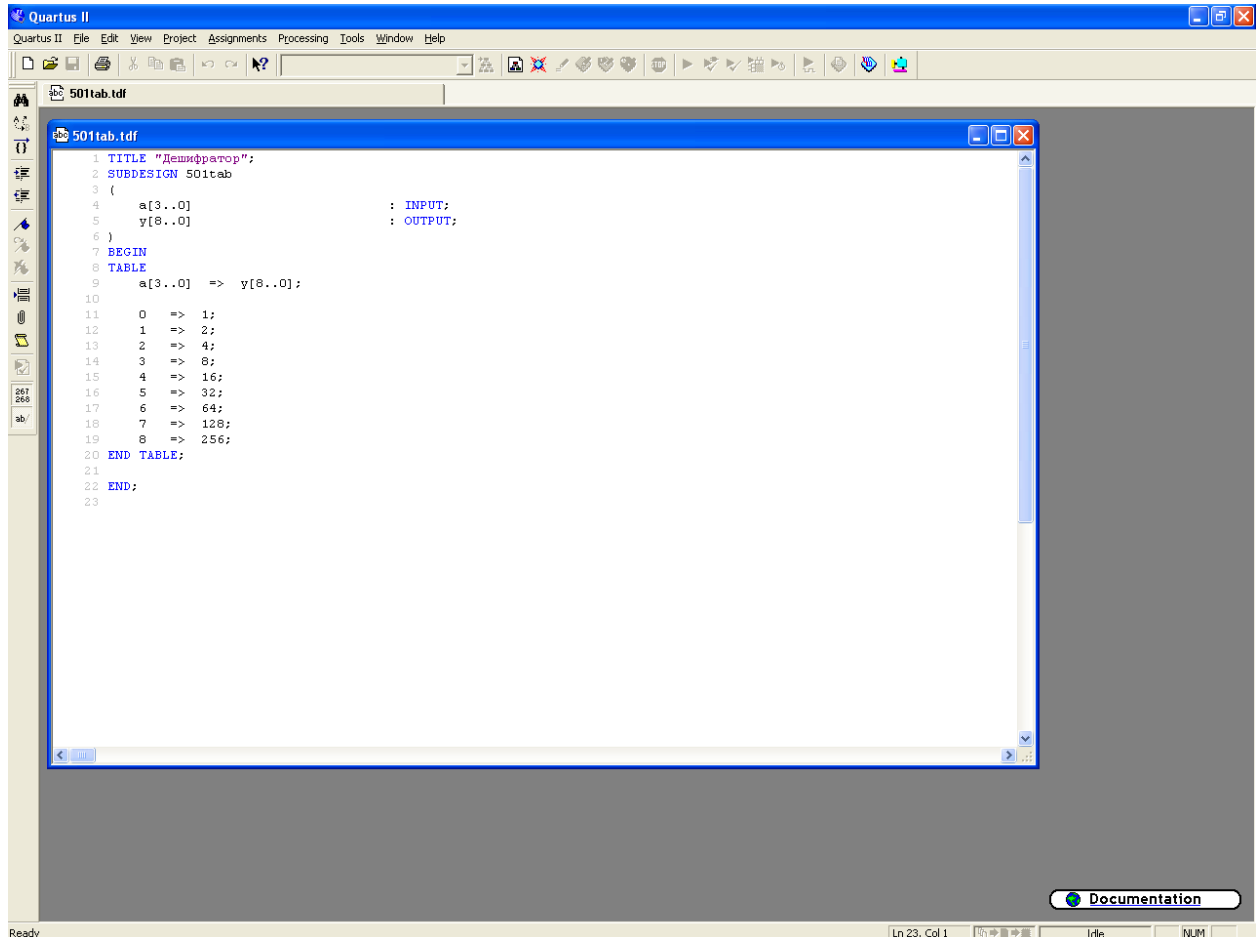


Рисунок 4.6 – Вікно текстового редактора

4.1.6 Waveform Editor

Waveform Editor – редактор часових діаграм (рисунок 5.7) виконує функцію введення вхідного вектора у вигляді діаграм (епюр) станів входів та формування на основі компіляції і функціонального моделювання логіко-часових діаграм виходів. Цей редактор являється досить важливим та зручним інструментом при проектуванні пристроїв. Він дає змогу проаналізувати роботу розроблюваного пристрою у всіх його точках (тут мається на увазі в будь-який момент

часу на будь-якій ділянці). Для цього потрібно ввести вихідну змінну, задану певною функцією, яка б вказувала на певну точку вихідної функції, а також дозволяє переглянути сигнал у довільній проміжній точці. Потім, сформувавши відповідні вхідні тестові сигнали, можна у досить зручний спосіб переглянути результат дослідження.

Основним етапом проектування являється визначення часових затримок та тривалості сигналів, що дає змогу визначити можливу непрацездатність спроектованого пристрою, ділянки невірної функціонування в силу затримок на логічних елементах.

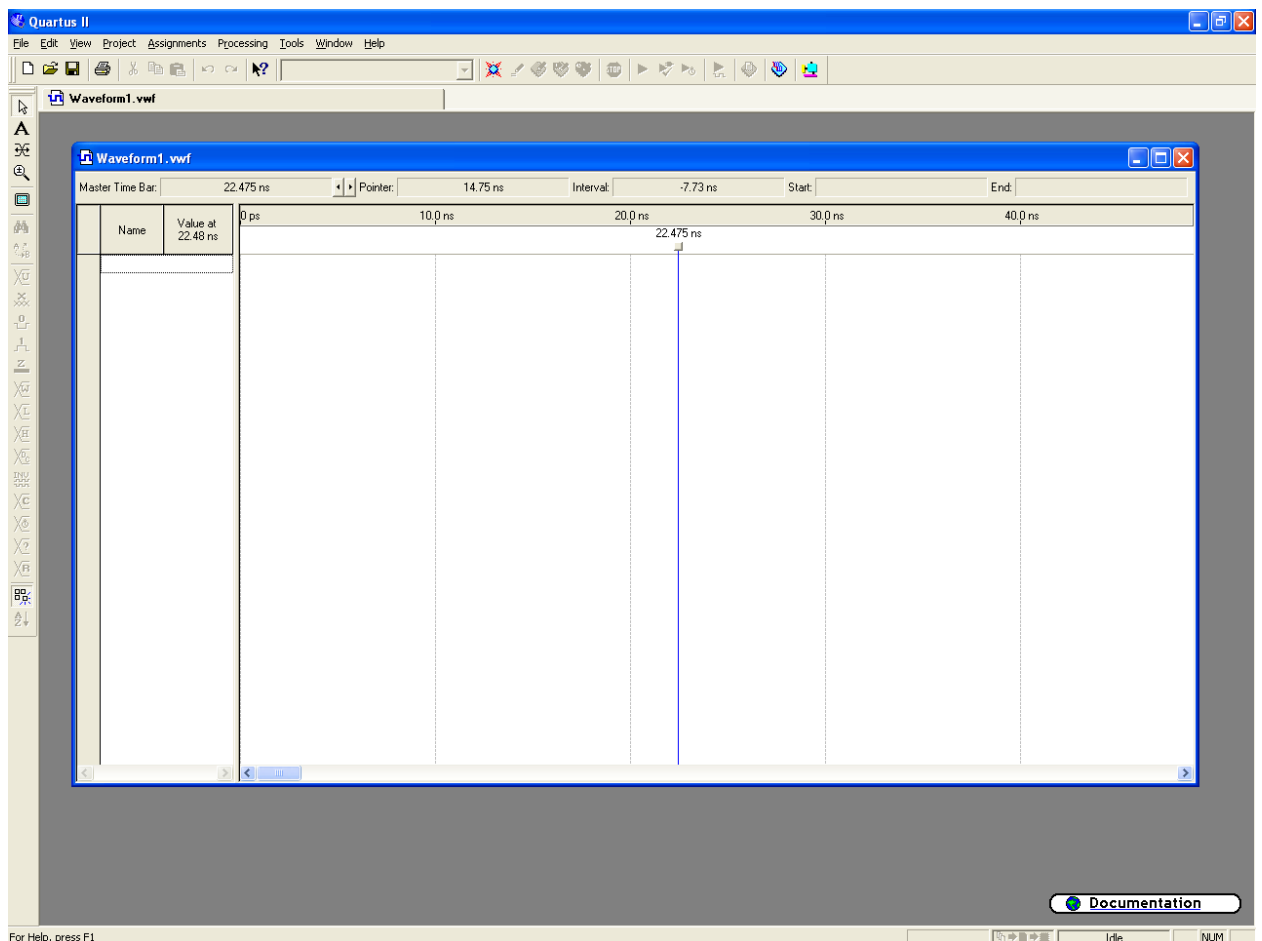


Рисунок 4.7 – Вікно редактора часових діаграм

Вікно редактора має два поля, розділені вертикальною лінією. Перше поле ліворуч складається з двох частин: Name – призначене для введення імені

вузла, Value – показані стани виводів, що відповідають положенню спеціальної вертикальної візирної лінії, що при відкритті вікна встановлена в початок горизонтальної осі, розміщеної в одиницях часу. Друге поле призначене для задання необхідних станів входів, при цьому використовується панель інструментів редактора, що розташована вертикально вздовж лівої сторони вікна.

4.1.7 Compiler

Compiler – підпрограма, що входить до пакету компілятора і призначена для перевірки коректності проекту і локалізації помилок, формування файлів програмування або конфігурування ПЛІС. Після запуску редактора з'являється вікно редактора (рисунок 4.8).

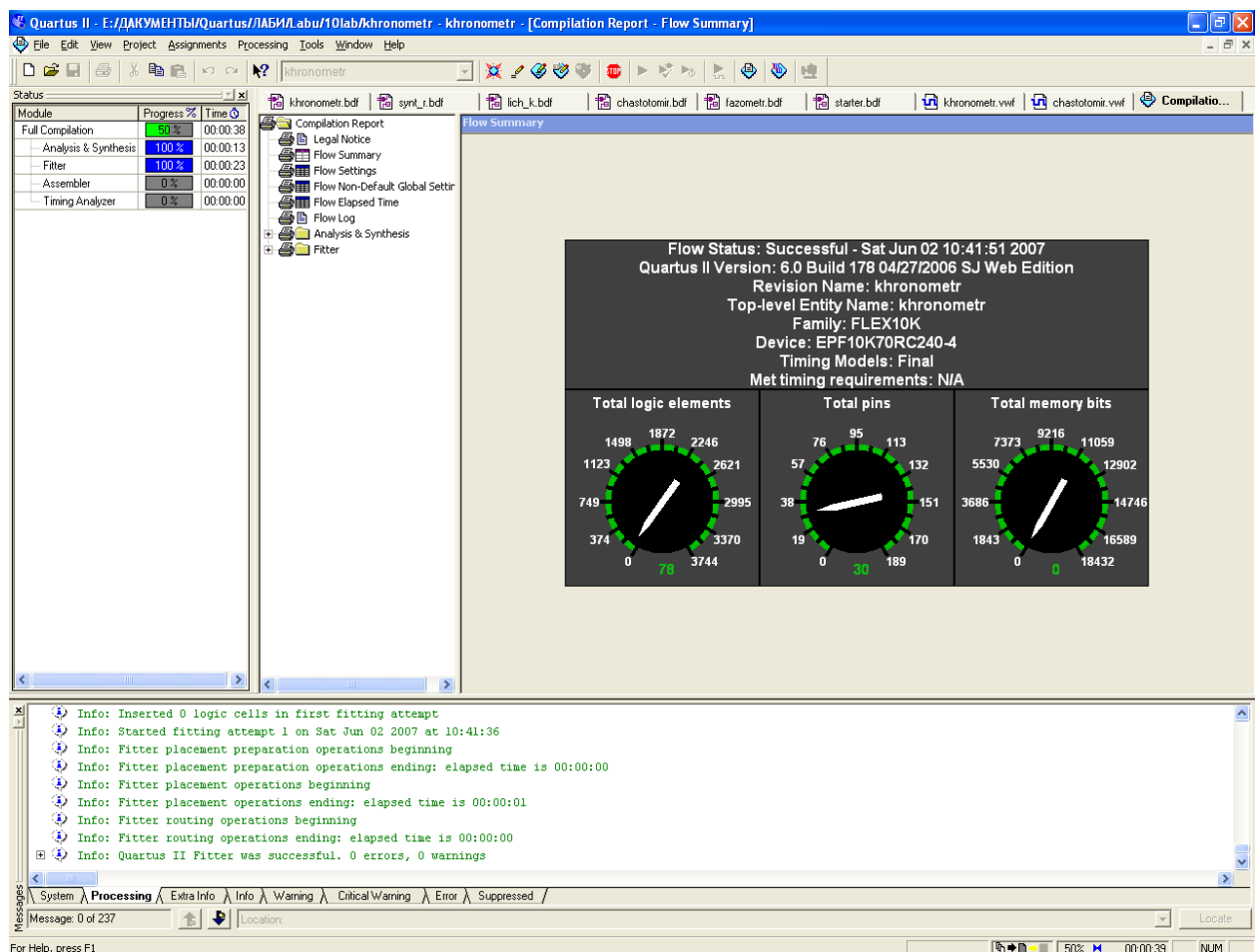


Рисунок 4.8 – Вікно редактора компіляції

4.1.8 Simulator

Simulator – підпрограма, що разом з редактором часових діаграм призначена для функціонального моделювання проекту з метою перевірки правильності логіки його функціонування. Вікно запуску процесу моделювання зображене на рисунку 4.9.

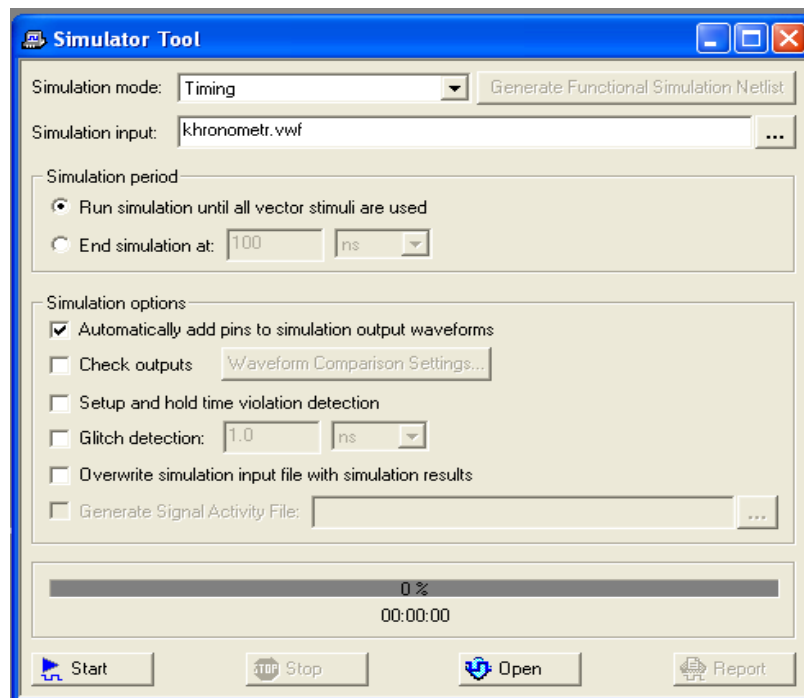


Рисунок 4.9 – Вікно запуску процесу моделювання

4.2 Моделювання функціональних блоків цифрового фазометра в програмному пакеті Quartus II

4.2.1 Формувач стробуючого імпульсу ΔT

Формувач стробуючого імпульсу ΔT реалізовано в Quartus II за допомогою графічного редактора. Електрична схема наведена на рисунку 5.10.

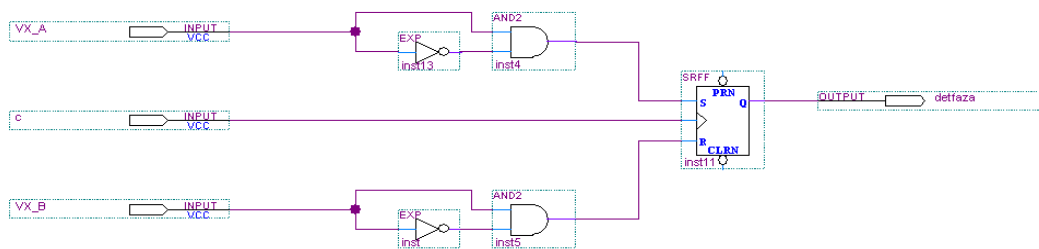


Рисунок 4.10 – Електрична схема формувача стробуючого імпульсу ΔT

Наведемо пояснення до схеми. На входні контакти VX_A та VX_B подаються сигнали з виходу вхідного блоку, а на вхід С подаються синхроімпульси (ті ж квантуючі імпульси, що подаються на лічильник для n та N). Елементи EXR та AND2 детектують початок фронту для того, щоб не утворювалась заборонена комбінація на входах тригера.

Результат моделювання діаграм представлено на рисунку 4.11.

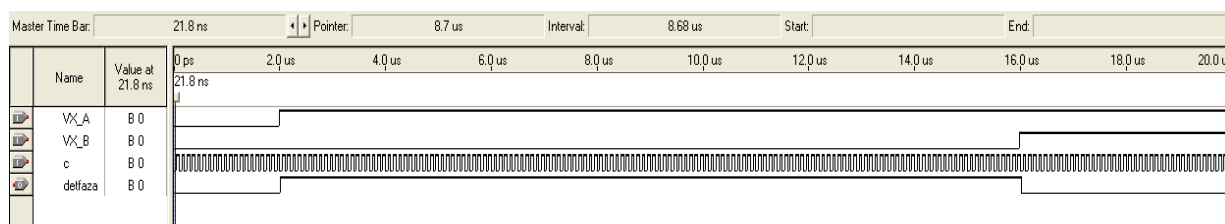


Рисунок 4.11 – Моделювання роботи формувача стробуючого імпульсу ΔT

За допомогою символного редактора дану схему зберігаємо в символ під назвою det_faz. Його вигляд зображено на рисунку 4.12.

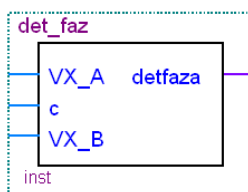


Рисунок 4.12 – Елемент det_faz

4.2.2 Формувач стробуючого імпульсу T

Формувач стробуючого імпульсу T реалізовано в Quartus II за допомогою графічного редактора. Електрична схема наведена на рисунку 4.13.

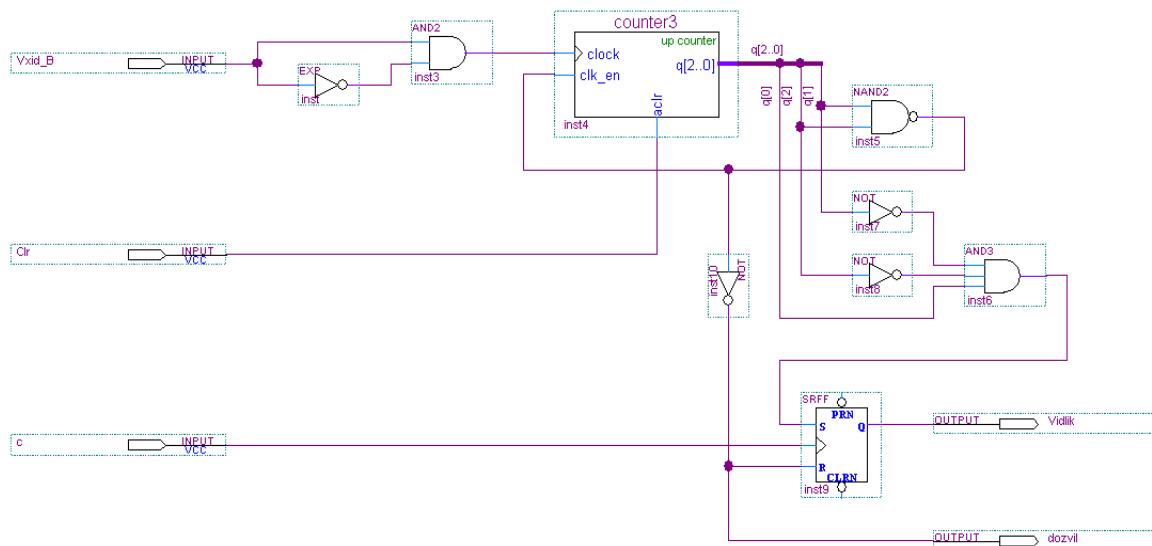


Рисунок 4.13 – Електрична схема формувача стробуючого імпульсу $T*5$

Наведемо пояснення до схеми. На вхідний контакт VX_V подаються сигнали з виходу вхідного блоку, а на вхід С подаються синхроімпульси (ті ж квадратурні імпульси, що подаються на лічильник для n та N). Вхід Clr призначений для скидання лічильника. Вихід dozvil призначений для подавання сигналу закінчення підрахунку.

Результат моделювання діаграм представлено на рисунку 4.14.

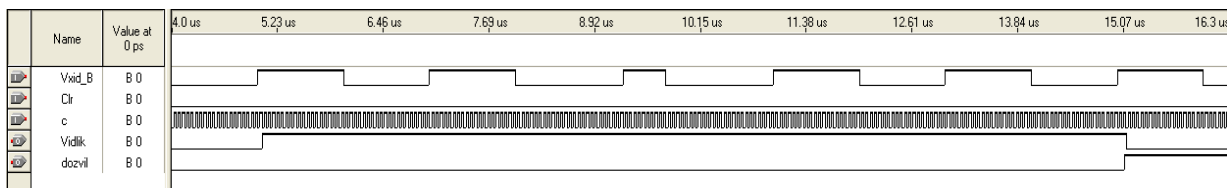


Рисунок 4.14 – Моделювання роботи формувача стробуючого імпульсу $T*5$

За допомогою символного редактора дану схему зберігаємо в символ під назвою `det_vid`. Його вигляд зображено на рисунку 4.15.



Рисунок 4.15 – Елемент `det_vid`

4.2.3 Лічильник для підрахунку n

Лічильник для підрахунку реалізуємо за допомогою чотирьох декадних лічильників. Електрична схема наведена на рисунку 5.16.

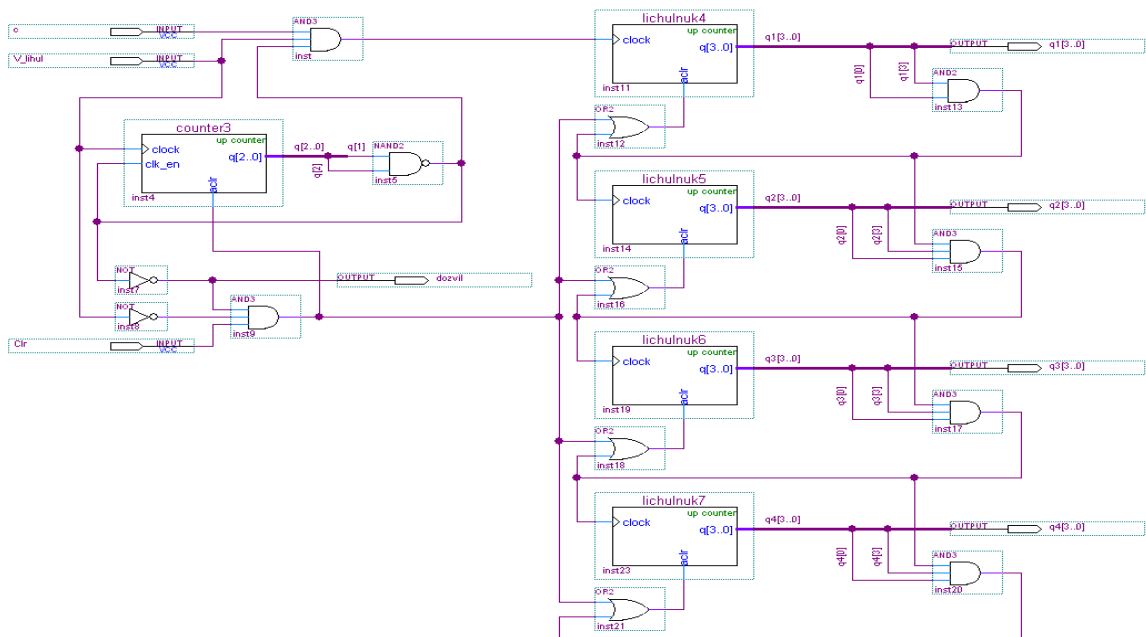


Рисунок 4.16 – Електрична схема лічильника для підрахунку n

Наведемо пояснення до схеми. На вхідний контакт `V_Lihul` подаються сигнали з виходу формувача стробуючих імпульсів ΔT , а на вхід `C` подаються синхроімпульси. Вхід `Clr` призначений для скидання лічильників. Вихід `dozvil`

призначений для подавання сигналу закінчення підрахунку. Ще один додатковий лічильник призначений для того, щоб підсумувати п'ять імпульсів ΔT .

Результат моделювання діаграм представлено на рисунку 4.17.

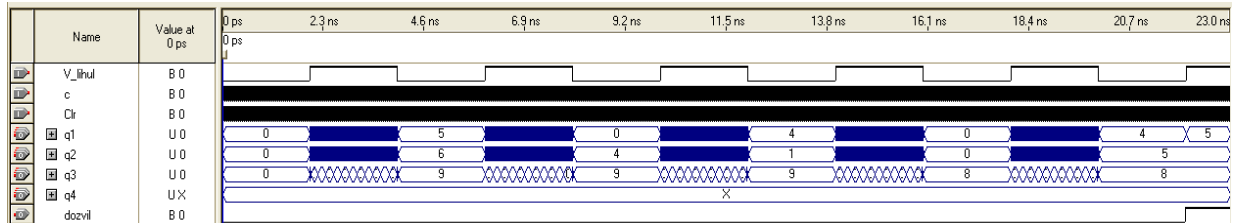


Рисунок 4.17 – Моделювання роботи лічильника

В результаті моделювання видно, що $n = 4855$.

За допомогою символного редактора дану схему зберігаємо в символ під назвою li4ulnuk_10. Його вигляд зображено на рисунку 4.18.

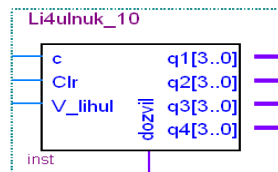


Рисунок 4.18 – Елемент li4ulnuk_10

4.2.4 Лічильник для підрахунку N

Лічильник для підрахунку реалізуємо за допомогою чотирьох декадних лічильників. Електрична схема наведена на рисунку 4.19.

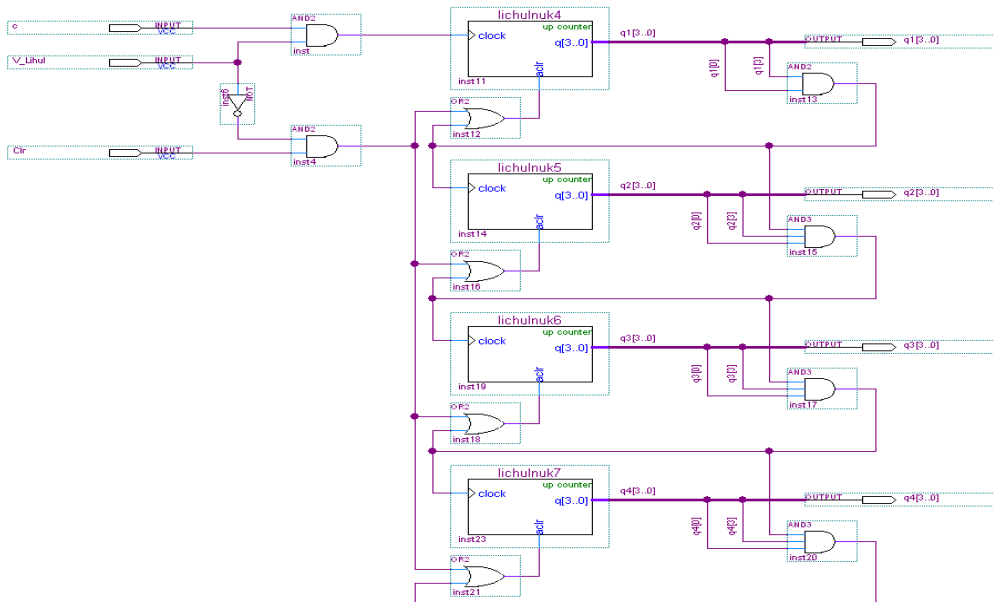


Рисунок 4.19 – Електрична схема лічильника для підрахунку N

Наведемо пояснення до схеми. На вхідний контакт V_Lihul подаються сигнали з виходу формувача стробуючих імпульсів T , а на вхід C подаються синхроімпульси. Вхід Clr призначений для скидання лічильників. Вихід $dozvil$ призначений для подавання сигналу закінчення підрахунку. Ще один додатковий лічильник призначений для того, щоб підсумувати п'ять імпульсів ΔT .

Результат моделювання діаграм представлено на рисунку 4.20.

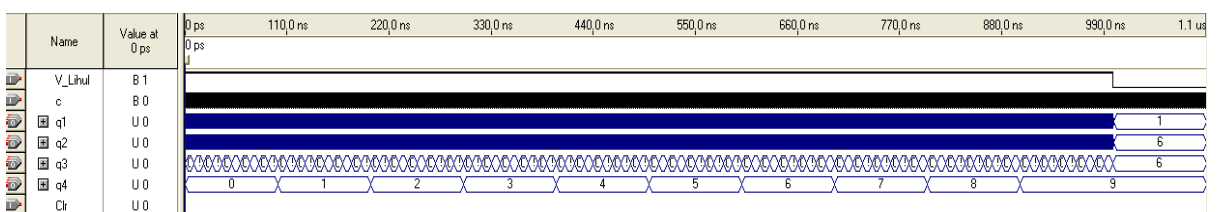


Рисунок 4.20 – Моделювання роботи лічильника

В результаті моделювання видно, що $N = 9661$.

За допомогою символного редактора дану схему зберігаємо в символ під назвою `li4ulnuk_10_2`. Його вигляд зображено на рисунку 4.21.

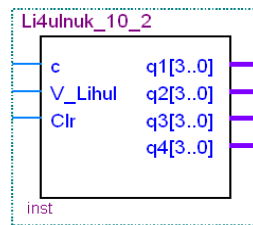


Рисунок 4.21 – Елемент li4ulnuk_10_2

4.2.5 Математична частина

Завданням даної математичної частини є помноження даних елемента li4ulnuk_10 на 360 і ділення цього результату на значення, отримані з елемента li4ulnuk_10_2. Електрична схема наведена на рисунку 4.22.

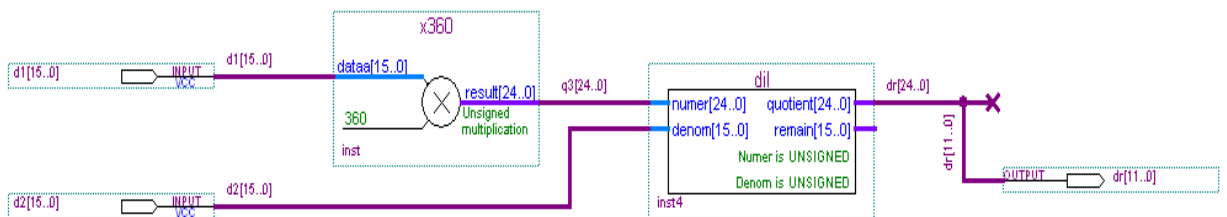


Рисунок 4.22 – Електрична схема математичної частини

Наведемо пояснення до схеми. На вхідний контакт d1[15...0] подаються дані з лічильника li4ulnuk_10, на контакт d2[15...0] подаються дані з лічильника li4ulnuk_10_2, на виході dr[11...0] формується значення шуканого зсуву фаз.

За допомогою символного редактора дану схему зберігаємо в символ під назвою matem_hast. Його вигляд зображено на рисунку 4.23.

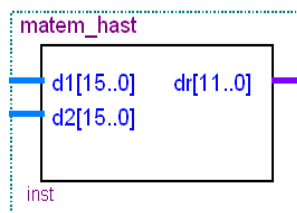


Рисунок 4.23 – Елемент matem_hast

4.2.6 Семисегментний перетворювач

Завданням семисегментного перетворювача є перетворення двійкового коду в код, призначений для семисегментного індикатора. Електрична схема наведена на рисунку 4.24.

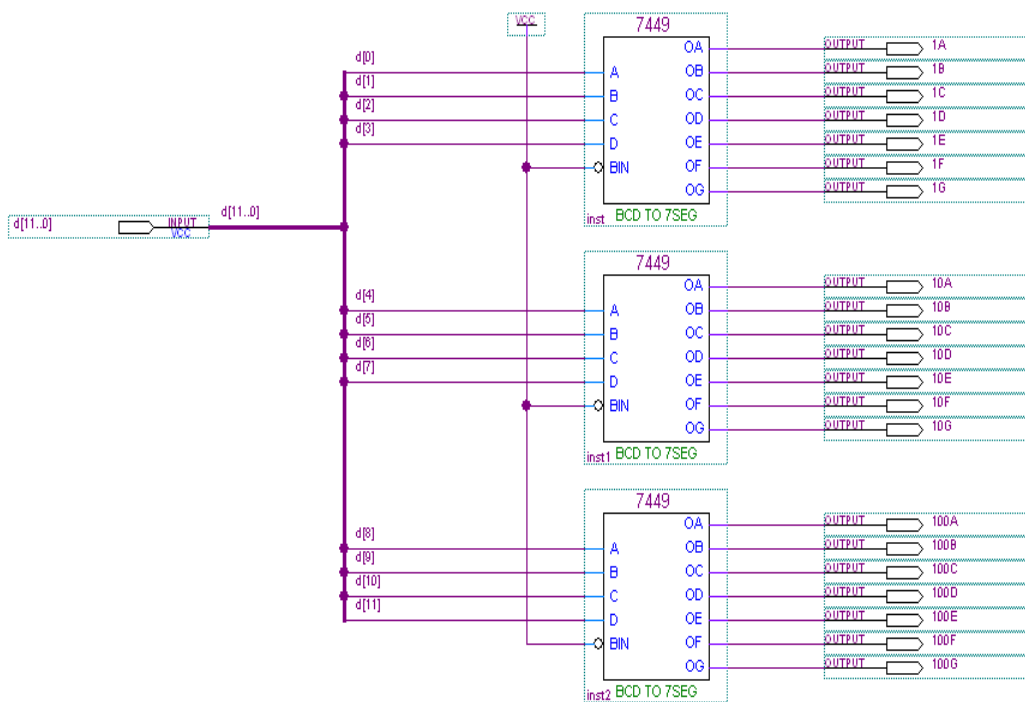


Рисунок 4.24 – Електрична схема семисегментного перетворювача

Наведемо пояснення до схеми. На вхідний контакт $d[11..0]$ подаються дані з лічильника `matem_hast`, а на вихідних контактах формується семисегментний код, формується значення шуканого зсуву фаз.

Результат моделювання діаграм представлено на рисунку 4.25.

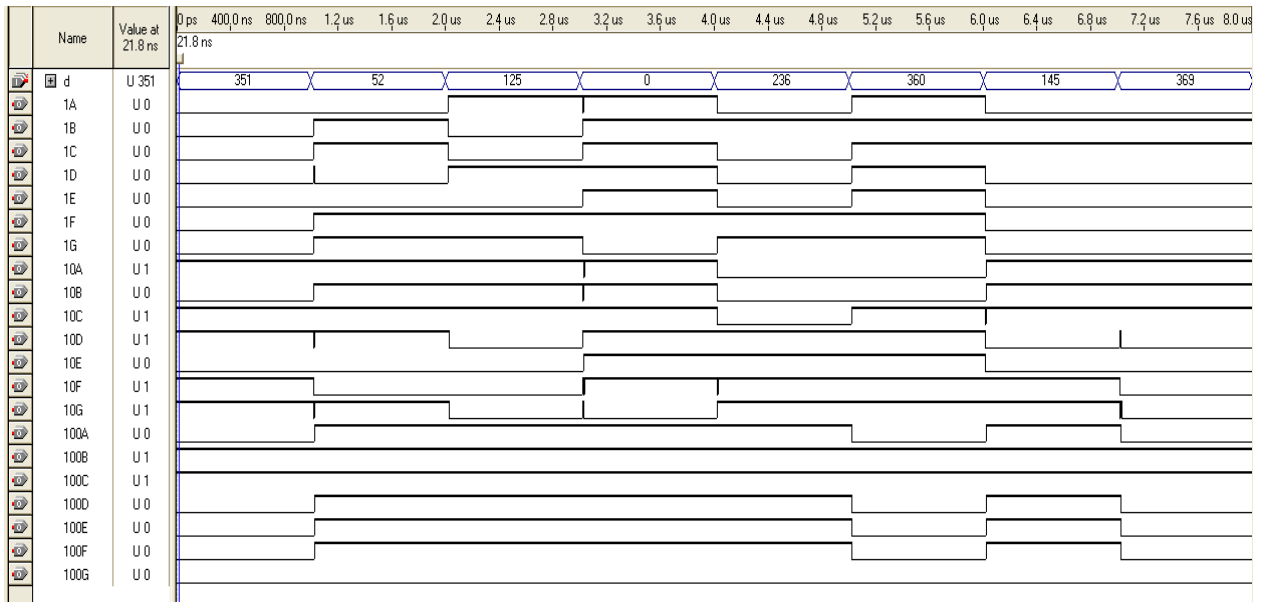


Рисунок 4.25 – Моделювання роботи семисегментного перетворювача

За допомогою символного редактора дану схему зберігаємо в символ під назвою `7_seg_peretv`. Його вигляд зображено на рисунку 4.26.

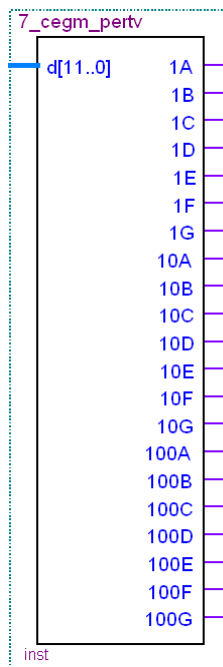


Рисунок 4.26 – Елемент `7_seg_peretv`

5 ОЦІНКА ПОХИБОК

5.1 Експериментальна оцінка похибки цифрових фазометрів

Висока роздільна здатність і мала кількість джерел похибок в цифрових фазометрах забезпечують потенційну можливість досягнення високої точності вимірювання. Є припущення, що похибка вимірювання цифрових фазометрів може бути зведена до величини не менше $0,01^0$. Відповідно, можна очікувати появу цифрових фазометрів, що перевищують по своїй точності існуючу сьогодні фазовимірювальну апаратуру. В цьому випадку широко використовувані в вимірювальній техніці методи визначення похибок шляхом порівняння показів зразкового і перевіряючого пристроїв можуть виявитись неприйнятними. Разом з тим розробка, виготовлення і експлуатація цифрових фазометрів, що є як самостійними пристроями, так і такими, що входять до складу інших вимірювальних пристроїв і систем, неможлива без забезпечення визначення їх похибки [3].

В зв'язку з цим представляють значний інтерес методи визначення похибок фазометрів, що не потребують застосування зразкової апаратури, оснований на застосуванні принципу „самоперевірки”.

В тих випадках, коли необхідно оцінити похибку фазометра на ряду точок шкали, доцільно використовувати спосіб „рівних відрізків”, оснований на практичній ідентичності значень 0^0 і 360^0 . На рисунку 6.1 приведена структурна схема, що ілюструє цей спосіб. Напряга від генератора поступає на випробуваний фазометр через кругові некалібровані фазообертачі. Повірка проводиться на точках 0^0 і $360^0/n$. На початку перевірки один із фазообертачів встановлюють на 0^0 , а за допомогою другого фазообертача досягають нульового відліку випробуваного фазометра.

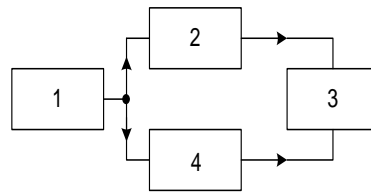


Рисунок 5.1 – Структурна схема перевірки цифрового фазометра методом „рівних відрізків”

- 1 – генератор;
- 2, 4 – кругові фазообертачі;
- 3 – повіряючий фазометр.

Для того, щоб визначити похибку фазометра на точці, що відповідає значенню фазового зсуву $\varphi_1 = 360^\circ / n$, за допомогою першого фазообертача створюють зсув фази, що забезпечує відлік по шкалі фазометра, рівний φ_1 . Далі обертанням другого фазообертача повертають покази приладу на 0° . Після цього за допомогою першого фазообертача встановлюють по фазометру покази, що відповідають φ_1 і за допомогою другого фазообертача встановлюють покази, що відповідають 0° . Такий процес повторюється $n-1$ раз. Останній раз перший фазообертач встановлюють на нульову відмітку шкали і відраховують покази фазометра φ_1' . Похибка вимірювання фазометром кута $360^\circ / n$ може бути при цьому визначена по формулі

$$\Delta\varphi_1 = (\varphi_1 - \varphi_1') / n .$$

Похибка перевірки розглянутим методом визначається похибкою установки нульових і відлікових значень фазових зсувів по повіряю чому фазометру. Сумарна випадкова похибка перевірки σ_{np} може бути визначена по формулі

$$\sigma_{np} = \sigma_0 \sqrt{n} + \sigma_\varphi \sqrt{n-1} ,$$

де σ_0 - середньоквадратична похибка установки нульового значення фазометра;

σ_φ - середньоквадратична похибка установки значення φ .

По даних авторів методом „рівних відрізків” можна виявити похибки фазометрів, починаючи з $0,1^0$.

Незручністю розглянутого методу є необхідність багатократного проведення вимірювань.

В тих випадках, коли систематична похибка фазометра не залежить від величини вимірюваного фазового зсуву, процедура перевірки фазометра може бути суттєво скорочена, так як похибка пристрою може бути визначена в будь-якій точці шкали. Величина випадкової похибки при необхідності визначається шляхом багаторазових вимірювань з наступною обробкою результатів.

Процедура визначення похибки може бути зведена до мінімуму в тому випадку, коли перевірка здійснюється в точці 180^0 . При цьому для здійснення перевірки достатньо мати генератор з симетричним виходом відносно корпусу.

Припустимо, що цифровий фазометр має похибку $\Delta\varphi$ на даних частотах і при даному співвідношенні вхідних сигналів. В цьому випадку покази пристрою будуть відповідати величині

$$\varphi_{\text{вим}} = \varphi + \Delta\varphi.$$

Вихідні напруги вимірювального генератора зсунуті по фазі один відносно одного на кут

$$\varphi_r = 180^0 + \Delta\varphi_r,$$

де $\Delta\varphi_r$ - фазова похибка вихідних напруг вимірювального генератора.

При визначенні похибки фазометра способом самоперевірки проводиться двократне вимірювання фазового зсуву між вихідними напругами генератора, причому при другому вимірюванні виходи генератора комутуються.

Результат першого вимірювання

$$\varphi_{\text{вим1}} = \varphi_{\Gamma1} + \Delta\varphi = 180^0 + \Delta\varphi_{\Gamma} + \Delta\varphi.$$

Результат другого вимірювання

$$\varphi_{\text{вим2}} = \varphi_{\Gamma2} + \Delta\varphi = 180^0 - \Delta\varphi_{\Gamma} + \Delta\varphi.$$

Похибка фазометра може бути визначена по середньому арифметичному результатів двох вимірювань

$$\Delta\varphi = (\varphi_{\text{вим1}} + \varphi_{\text{вим2}}) / 2 - 180^0.$$

При проведенні вимірювань необхідно враховувати що величина $\Delta\varphi$ включає в себе як систематичну похибку, обумовлену власними фазовими зсувами формуючого пристрою, так і випадкову похибку, викликану дискретністю перетворення. При обробці результатів вимірювання необхідно оцінити можливу величину похибки дискретного перетворення і при необхідності провести багаторазові виміри чи застосувати інші міри для зниження її впливу.

При експериментальній оцінці необхідно також оцінити похибку, обумовлену зв'язком між каналами формуючого пристрою. [3]

5.2 Похибка квантування часових інтервалів в цифрових фазометрах

При перетворенні часових інтервалів в цифровий код, як і при будь-якому іншому перетворенні аналогової величини в цифрову, виникають похибки, зв'язані з квантуванням аналогової величини по рівню. Процеси квантування часових інтервалів і інших аналогових величин мають багато спільного. Але в цей же час процеси квантування часових інтервалів в цифрових фазометрах відрізняються рядом специфічних особливостей, які в основному зводяться до того, що квантування часових інтервалів і цифрових фазометрах носить багатократний, звичайно періодичний чи квазіперіодичний характер. Є і інші особли-

вості, які частково зв'язані з появою флуктуацій часових інтервалів. В зв'язку з цим виникла необхідність розробки теорії квантування часових інтервалів, що враховує особливості процесів в цифрових фазометрах.

При дослідженні процесів квантування часових інтервалів в загальному випадку необхідно враховувати флуктуації їх фронтів. На рисунку 6.2 приведена модель перетворювача ФС в часові інтервали, що враховує крім вимірюваних сигналів $s_{1,2}(t)$ дію флуктуацій $\xi_{1,2}(t)$ на формувачі (Φ_1 і Φ_2) моментів початку t_{ni} і кінця t_{ki} часового інтервалу, обумовлених дестабілізуючими факторами і шумами. Дестабілізуючі фактори, зв'язані з відхиленням впливаючих величин (температури навколишнього середовища, напруги мережі і т.д.) від номінальних значень, призводять до повільних змін часових інтервалів.

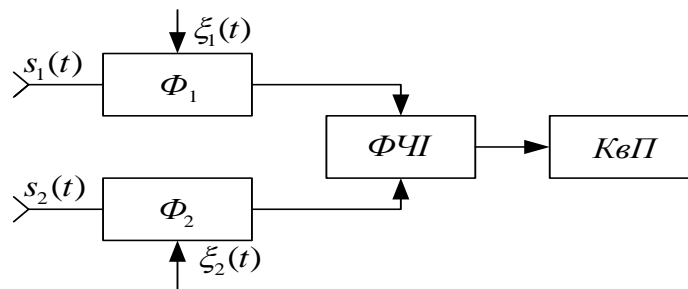


Рисунок 5.2 – (ФЧИ – формувач часових інтервалів;
КвП – квантуючих пристрій)

При дослідженні сумарної похибки перетворення часових інтервалів в код важливе місце займає вивчення впливу швидких флуктуацій моментів початку і кінця часових інтервалів, які викликаються як природними шумами, що вимірюються в складі вимірювальних сигналів і виникають в трактах цифрового фазометра, так і штучними. Найбільш інтенсивним джерелом природних шумів є формуючі тракти цифрового фазометра. Як показали дослідження, флуктуації часових інтервалів, що виникають в формуючих трактах фазометра, залежать від використовуваної елементної бази, діапазону частот, смуги пропу-

скання формуючих трактів і знаходяться в межах від десятків пікосекунд до одиниць і десятків наносекунд і більше.

В трактах діапазонних цифрових фазометрів звичайно виникають широкосмугові шуми, які призводять до некорельованих флуктуацій початку і кінця часового інтервалу. Особливе місце в теорії похибки квантування займає випадок штучного зашумлення, коли тим чи іншим шляхом забезпечуються некорельовані флуктуації початку і кінця часового інтервалу. Це може бути здійснено, наприклад, за допомогою елемента із випадково регульованою затримкою. Найбільший практичний інтерес представляє випадок жорсткої кореляції флуктуації початку і кінця часового інтервалу.

Розглянемо особливості побудови квантувача часового інтервалу, спрощена схема якого показана на рисунку 6.3. Квантуючий пристрій може працювати в режимі квантування одиночних часових інтервалів (без усереднення) чи багатократного квантування (з усередненням). В першому режимі часозадаючий пристрій формує імпульс, що дозволяє квантування одного часового інтервалу, в другому – квантування часових інтервалів.

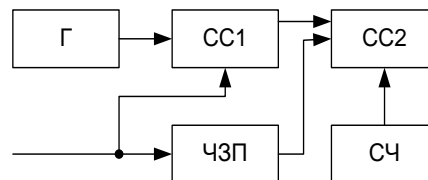


Рисунок 5.3 – Спрощена схема квантувача часових інтервалів

В цифрових фазометрах практично виключається можливість синхронізації імпульсів квантування і квантуючих часових інтервалів. Тому при дослідженні похибки квантування основна увага приділяється випадку несинхронізованого квантування. При цьому припускається, що початок першого часового інтервалу відносно послідовності квантуючих імпульсів має випадковий характер з рівномірною густиною ймовірностей в інтервалі $0 \dots t_0$ (t_0 - період проходження квантуючих імпульсів).

При дослідженні процесів квантування розглядаються сумарні похибки як при фіксованій (відомій), так і апріорно невідомій протяжності t_φ часового інтервалу. В другому випадку припускаємо, що протяжність часового інтервалу випадкова і його дробова частина, тобто залишок різниці $t_\varphi - nt_0$, де $n = [t_\varphi / t_0]$ - ціла частина відношення t_φ / t_0 , має рівномірну густину ймовірностей в інтервалі $0 \dots t_0$. Це припущення справедливе при звичайно виконуваний на практиці умові $t_\varphi < t_0$.

При розробці цифрових фазометрів з підвищеною точністю виникає проблема зменшення похибки квантування. В залежності від шляхів технічного виконання застосовуються наступні методи зменшення похибки: з використанням флуктуацій часових інтервалів; з використанням модуляції частоти квантуючих імпульсів; з регулюванням протяжності часових інтервалів; оптимального квантування; з підвищенням ефективної частоти квантування; з використанням двох і більше частот квантування.

5.3 Розрахунок надійності та ефективності цифрового фазометра

Під надійністю об'єкта, відповідно до ГОСТ 27.002-83, розуміють властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Надійність пристрою характеризується:

- інтенсивністю відмов пристрою;
- імовірністю безвідмовної роботи;
- середнім часом безвідмовної роботи.

Для спрощення розрахунків припускаємо, що:

- потік відмов є найпростішим;

- відмова будь-якого елемента призводить до відмови приладу в цілому;

- всі елементи одного і того ж типу рівно надійні.

Вихідними даними для розрахунку є:

- типи та кількість елементів у приладі;
- коефіцієнти середньостатистичної інтенсивності відмов радіоелементів [17].

Розрахунок середньої інтенсивності відмов приладу проводиться по наступній формулі

$$\lambda = (1 - K_1 \cdot K_2) \cdot \sum_{i=1}^N d_i n_i \lambda_i, \quad (5.1)$$

де K_2 - коефіцієнт виробничо-експлуатаційного запасу по похибці електронно-вимірювального приладу;

d_i - коефіцієнт зміни інтенсивності відмов при зміні режиму роботи ($d_i = 0,5$ - дискретний режим роботи, $d_i = 1$ - неперервний режим роботи);

λ - середня сумарна інтенсивність відмов приладу;

λ_i - середня інтенсивність відмов елементів i -го типу з врахуванням експлуатаційних коефіцієнтів;

n – кількість елементів i -го типу. [17]

Для цифрового фазометра $1 - K_1 \cdot K_2 = 0,092$.

Для мікросхеми добуток $d_i n_i \lambda_i$ становить $0,4 \cdot 10^{-6}$.

Враховуючи ці дані отримаємо, що середня інтенсивність відмов приладу становить:

$$\lambda = 0,092 \cdot \sum_{i=1}^n d_i n_i \lambda_i = 30,1 \cdot 10^{-6} \text{ (1/год)}.$$

Відповідно до вимог технічного завдання середній час безвідмовної роботи приладу повинен бути не менше 25000 год.

Для визначення імовірності безвідмовної роботи пристрою на протязі 25000 год. скористаємось формулою

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (5.2)$$

$$P(25000) = e^{-30,1 \cdot 10^{-6} \cdot 25000} = 0,992.$$

Середній час безвідмовної роботи визначається по формулі

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (5.3)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{30,1 \cdot 10^{-6}} = 3322 \text{ (год)}.$$

Приведена оцінка задовольняє вимогам ТЗ.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

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

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

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

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

6.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Цифровий фазометр на ПЛІС» є оцінювання науково-технічного рівня

та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 6.1 [18].

Таблиця 6.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

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

Продовження таблиці 6.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінки

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

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 6.2.

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 6.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 6.3 [18].

Таблиця 6.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	3	3	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	2	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	2	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	2	3	2
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
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)	2	2	2
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	32	33	33
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	32,7		

Таблиця 6.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

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

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Цифровий фазометр на ПЛІС» становить 32,7 бала, що, відповідно до

таблиці 6.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

6.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

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

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [19]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (6.1)$$

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

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

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

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

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

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

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (6.2)$$

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

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

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (6.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Діапазон вимірювань	Гц	10...5000	0,06...10000	2,2	0,25
Клас точності	0	1,5	2	1,33	0,3
Габарити	мм	180x100x30	96 x 96 x 95	1,3	0,15
Вага	кг	0,8	0,4	2	0,2
Напрацювання на відмову	год	8000	12000	1,5	0,1

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 2,2 \cdot 0,25 + 1,33 \cdot 0,3 + 1,3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,1 = 1,69.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,69 рази.

6.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Цифровий фазометр на ПЛІС», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

6.3.1 Витрати на оплату праці

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

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [18]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (6.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 16250,00 \cdot 22 / 22 = 16250,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1. Керівник проекту	16250,00	738,64	22	16250,00
2. Консультант-електронщик	15600,00	709,09	11	7800,00
3. Інженер-радіотехнік	15300,00	695,45	22	15300,00
4. Інженер-метролог	15300,00	695,45	11	7650,00
5. Технік I-ї категорії	7100,00	322,73	8	2581,82
Всього				49581,82

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Цифровий фазометр на ПЛІС» розраховуємо за формулою

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (6.5)$$

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

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

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (6.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо $M_M=6700,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [18];

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

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_l = 6700,00 \cdot 1,70 \cdot 1,35 / (22 \cdot 8) = 87,37 \text{ (грн.)}$$

$$З_{pl} = 87,37 \cdot 5,00 = 436,83 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 6.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
1. Монтаж макетної схеми	5,00	5	1,70	87,37	436,83
2. Наладка	2,00	6	2,00	102,78	205,57
3. Випробування	4,00	5	1,70	87,37	349,47
4. Виготовлення друкованої плати	1,00	6	2,00	102,78	102,78
5. Виготовлення корпусу	0,50	5	1,70	87,37	43,68
6. Монтаж плати	0,50	6	2,00	102,78	51,39
7. Монтаж інтерфейсу	0,30	5	1,70	87,37	26,21
8. Наладка інтерфейсу	1,00	5	1,70	87,37	87,37
9. Складання пристрою	0,20	6	2,00	102,78	20,56
Всього					1323,86

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (6.7)$$

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

$$Z_{\text{дод}} = (49581,82 + 1323,86) \cdot 10 / 100\% = 5090,57 \text{ (грн.)}$$

6.3.2 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

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (6.8)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (49581,82 + 1323,86 + 5090,57) \cdot 22 / 100\% = 12319,17 \text{ (грн.)}$$

6.3.3 Сировина та матеріали

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

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

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (6.9)$$

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

n – кількість видів матеріалів;

C_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;

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

$$M_1 = 3,0 \cdot 194,00 \cdot 1,02 - 0 \cdot 0 = 593,64 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір офісний А4 500/80	194,00	3,0	0	0	593,64
Диск оптичний	27,00	4,0	0	0	110,16
Канцелярське приладдя	182,00	4,0	0	0	742,56
Тека для паперів	125,00	3,0	0	0	382,50
Тонер HP 1200X	170,00	1,0	0	0	173,40
Флеш-пам'ять 16 Gb	129,00	1,0	0	0	131,58
Припой ПОС-61	545,00	0,010	0	0	5,56
Лак УР-231	230,00	0,020	0	0	4,69
Склотекстоліт	210,00	0,030	0	0	6,43
Провод монтажний	16,00	0,150	0	0	2,45
Спирт технічний	156,00	0,150	0	0	23,87
Клей	280,00	0,050	0	0	14,28

Продовження таблиці 6.7 – Витрати на матеріали

Термопластик	220,00	0,060	0	0	13,46
Полістирол	180,00	0,100	0	0	18,36
Всього					2222,94

6.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Цифровий фазометр на ПЛІС», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (6.10)$$

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

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

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

$$K_6 = 4 \cdot 2,10 \cdot 1,02 = 8,57 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Конденсатор електролітичний SMD	4	2,10	8,57
Резистори 0603	12	3,54	43,33
Індуктивності SMD	1	22,50	22,95
Діоди SMD TS4148RYG	4	6,80	27,74
Трансформатор	1	68,00	69,36
Запобіжник 0,5А	1	4,00	4,08
Кварцевий резонатор РГ-06-6	1	132,00	134,64
Мікроконтролер STMF0K6T6	1	560,00	571,20

Продовження таблиці 6.8 – Витрати на комплектуючі

Мікросхема 74НСТ14	1	85,00	86,70
Мікросхема TL072	1	100,00	102,00
Мікросхема МС34063	1	72,00	73,44
Індикатор р-кристалічний HD44780	1	120,00	122,40
Всього			1266,41

6.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

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

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (6.11)$$

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

$C_{\text{пр.}i}$ – 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.

$$B_{\text{спец}} = 7300,00 \cdot 1 \cdot 1,02 = 7446,00 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Генератор сигналів	1	7300,00	7446,00
Осцилограф	1	8679,00	8852,58
Частотомір	1	9200,00	9384,00
Всього			25682,58

6.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прг}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прг.}i} \cdot K_i, \quad (6.12)$$

де $C_{\text{инрг}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прг.}i}$ – 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.

$$B_{\text{прг}} = 9485,00 \cdot 1 \cdot 1,01 = 9579,85 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладне програмне забезпечення проектування PCAD 2000 Schematic	1	9485,00	9579,85
Всього			9579,85

6.3.7 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

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{г}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (6.13)$$

де $Ц_{б}$ – 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;

$T_{г}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (33599,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1399,96 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.1.

Таблиця 6.11 – 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	33599,00	2	1	1399,96
Вимірювальний комплекс метрологічної системи	12800,00	4	1	266,67
Програмне забезпечення комп'ютеризованої системи проектування	6560,00	2	1	273,33
Офісна оргтехніка	7830,00	5	1	130,50
Приміщення лабораторії досліджень	410000,00	25	1	1366,67
Монтажне обладнання	6500,00	4	1	135,42
Паяльна станція	6890,00	5	1	114,83
Всього				3687,38

6.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (6.14)$$

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

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ (грн.);

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

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

$$B_e = 0,32 \cdot 160,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 384,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.12.

Таблиця 6.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Обчислювальний центр та комп'ютеризована система проектування	0,32	160,0	384,00
Вимірювальний комплекс метрологічної системи	0,22	160,0	264,00
Робоче місце дослідника	0,09	160,0	108,00
Офісна оргтехніка	0,45	1,5	4,89
Монтажне обладнання	0,15	10,0	11,25
Паяльна станція	0,10	8,0	6,00
Генератор сигналів	0,18	40,0	54,00
Осцилограф	0,21	40,0	63,00
Частотомір	0,16	40,0	48,00
Всього			961,14

6.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Цифровий фазометр на ПЛІС» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження

на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (6.15)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (49581,82 + 1323,86) \cdot 20 / 100\% = 10181,14 \text{ (грн.)}$$

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

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (6.16)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (49581,82 + 1323,86) \cdot 30 / 100\% = 15271,70 \text{ (грн.)}$$

6.3.11 Інші витрати

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

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

$$I_{\text{в}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{ів}}}{100\%}, \quad (6.17)$$

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

$$I_{\text{в}} = (49581,82 + 1323,86) \cdot 50 / 100\% = 25452,84 \text{ (грн.)}$$

6.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

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

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

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (6.18)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загально виробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 105\%$.

$$B_{нзв} = (49581,82 + 1323,86) \cdot 105 / 100\% = 53450,96 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Цифровий фазометр на ПЛІС» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{дод} + Z_n + M + K_g + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сн} + I_g + B_{нзв}. \quad (6.19)$$

$$B_{заг} = 49581,82 + 1323,86 + 5090,57 + 12319,17 + 2222,94 + 1266,41 + 25682,58 + 9579,85 + 3687,38 + 961,14 + 10181,14 + 15271,70 + 25452,84 + 53450,96 = 216072,35 \text{ (грн.)}.$$

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

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (6.20)$$

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

$$ZB = 216072,35 / 0,95 = 227444,58 \text{ (грн.)}.$$

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

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

Результати дослідження проведені за темою «Цифровий фазометр на ПЛІС» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

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

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

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	500	800	1000	600

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 7500 осіб;

C_0 – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 5800,00 (грн.);

$\pm \Delta C_0$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 225,20 (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 [18]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (6.21)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 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 2023 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (225,20 \cdot 7500,00 + 6025,20 \cdot 500) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1279963,58 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (225,20 \cdot 7500,00 + 6025,20 \cdot 1300) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2592203,94 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (225,20 \cdot 7500,00 + 6025,20 \cdot 2300) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 4232504,39 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (225,20 \cdot 7500,00 + 6025,20 \cdot 2900) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 5216684,66 \text{ (грн.)}$$

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

$$ППП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (6.22)$$

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, $\tau=0,14$;

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

$$\begin{aligned} ППП &= 1279963,58/(1+0,14)^1 + 2592203,94/(1+0,14)^2 + 4232504,39/(1+0,14)^3 + \\ &+ 5216684,66/(1+0,14)^4 = 1122775,07 + 1994616,76 + 2856819,91 + 3088696,10 = \\ &= 9062907,84 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$PV = k_{инв} \cdot ЗВ, \quad (6.23)$$

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

$ЗВ$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 227444,58 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot ЗВ = 2 \cdot 227444,58 = 454889,17 \text{ (грн.)}.$$

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

$$E_{abc} = III - PV \quad (6.24)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 9062907,84 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 454889,17 (грн.).

$$E_{abc} = III - PV = 9062907,84 - 454889,17 = 8608018,67 \text{ (грн.)}$$

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

$$E_g = T_{ж} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}] - 1, \quad (6.25)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 8608018,67 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 454889,17 (грн.);

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

$$E_g = T_{ж} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}] - 1 = (1 + 8608018,67/454889,17)^{1/4} = 1,11.$$

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

$$\tau_{\min} = d + f, \quad (6.26)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні $d = 0,09$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,2.

$\tau_{\min} = 0,09 + 0,2 = 0,29 < 1,11$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Цифровий фазометр на ПЛІС» доцільно.

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

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (6.27)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,11 = 0,90 \text{ р.}$$

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

6.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Цифровий фазометр на ПЛІС» становить 32,7 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,69 рази.

Також термін окупності становить 0,90 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 фазометр на ПЛІС».

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено конструкцію цифрового фазометра на програмованій логічній інтегральній схемі. Хоча пристрій не було реалізовано безпосередньо на мікросхемі, проте цілком вдало пройшло моделювання розробки за допомогою симулятора та матриці затримок, які підтвердили вірність розрахунків та проектування пристрою загалом. Було доведено цілковиту реальність створення цифрового фазометра даного типу, при наявності потрібних матеріалів та засобів.

Застосування програмованих логічних інтегральних схем набагато спрощує реалізацію основних вузлів фазометра (таких, як лічильник, вузол порівняння та ін.) та їх взаємодію. Звідси виникають переваги у порівняно малій ціні пристрою.

В ході роботи було перевірено можливість роботи по частинах над проектом, про що свідчить реалізація цифрового фазометра одним розробником та каскаду дешифраторів семисегментного коду іншим. Після виконання даної роботи достатньо легко виконати об'єднання цих проектів в одне ціле для створення цифрової частини фазометра на програмованій логічній інтегральній схемі.

Недоліком даного пристрою є порівняно невисока точність цифрового фазометра. Проте таке спрощення схеми являється прийнятним у зв'язку із значним зменшенням ціни пристрою.

Також, що є суттєвим для вимірювальної техніки, зменшується в декілька разів собівартість пристрою. Ще одною із переваг такої реалізації фазометра є низька потужність споживання та застосування сучасних програмованих логічних інтегральних схем.

До недоліків слід віднести шуми квантування та похибка, яка виникає через неспівпадання квантуючого імпульсу із початком (чи закінченням пускового сигналу тригера). Проте перший недолік вдається згладити шляхом методу усереднення результатів. За таким методом потрібно виконати декілька вимі-

рювань, а потім просумувавши результат поділити його на кількість цих вимірювань. Таким чином буде отримано середнє значення, яке наблизатиметься до ідеального з наближенням кількості вимірювань до нескінченності. В роботі прийнято, що достатньою кількістю для заданих режимів точності являється число вимірювань, в одному циклі – п'ять раз.

Для виробництва такі фазометри цілком придатні і мають майбутню перспективу використання в лабораторіях, ремонтних дільницях побутової радіо- та телеапаратури та ін.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кофанов В.Л. Математичні та схемотехнічні основи цифрових пристроїв. Навч. посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 165 с.
2. Генератори електричних сигналів — Режим доступу до журн.: <http://www.twirpx.com/file/769611/>.
3. Щупляк Н. М. Основи електроніки та мікроелектроніки./ Н. М. Щупляк. Книга 2. – Дрогобич: 2012. – 217с.
4. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник.2-е вид – Київ: «Каравела», 2009р. 2
5. Руденко В.С., Ромашков В.Я., Трифонюк В.В. Промислова електроніка – Київ: Либідь, 1993р.
6. Будіщев М..С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка – Львів: Афіша, 2001р.
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. Пащенко Е.І. Радіопередавальні пристрої. Принципи побудови і основи експлуатації радіопередавальних пристроїв: Навчальний посібник / Е.І. Пащенко, О.В. Андреев -Житомир: ЖВІРЕ, 2006. - 176 с.
9. Ткачук В.М. Радіопередавальні пристрої: Навчальний посібник / В.М. Ткачук, С.М. Цирульник, Т.А. Петренко. – Вінниця: ВТК, 2015. - 188 с.
10. Пащенко Е.І. Пристрої генерування та формування сигналів. Частина 1. Навчальний посібник – Житомир: ЖВІРЕ. 2000. – 144 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. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
19. 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 ФАЗОМЕТР НА ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ

Виконала: студентка 2-го курсу, групи КІВТ-22м
спеціальності 152 – Метрологія та інформа-
ційно-вимірювальна техніка

(прізвище, назва програми підготовки, спеціальності)

Зінько Н.О.

(прізвище та ініціали)

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

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

«15» 12 2023 р.

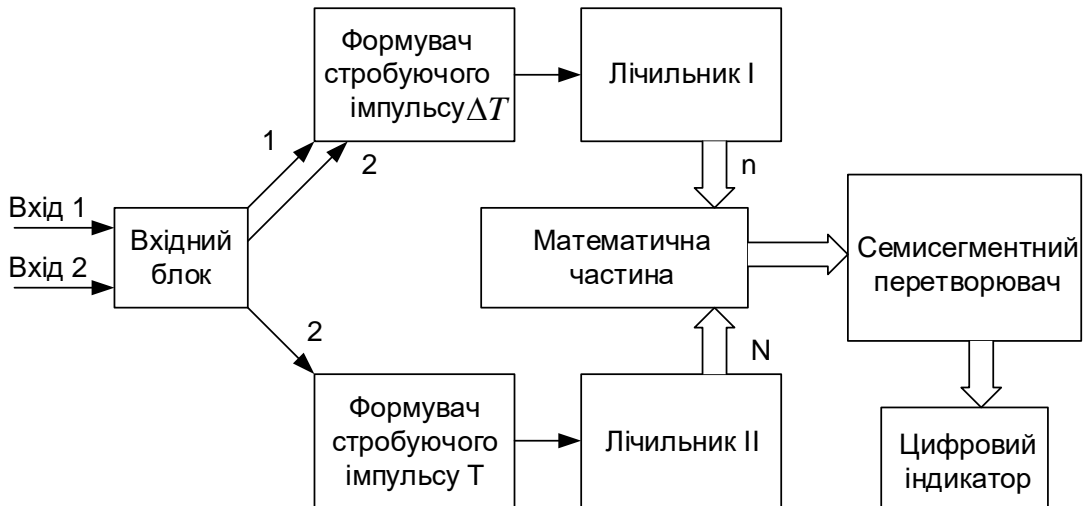


Рисунок 1 – Схема електрична структурна

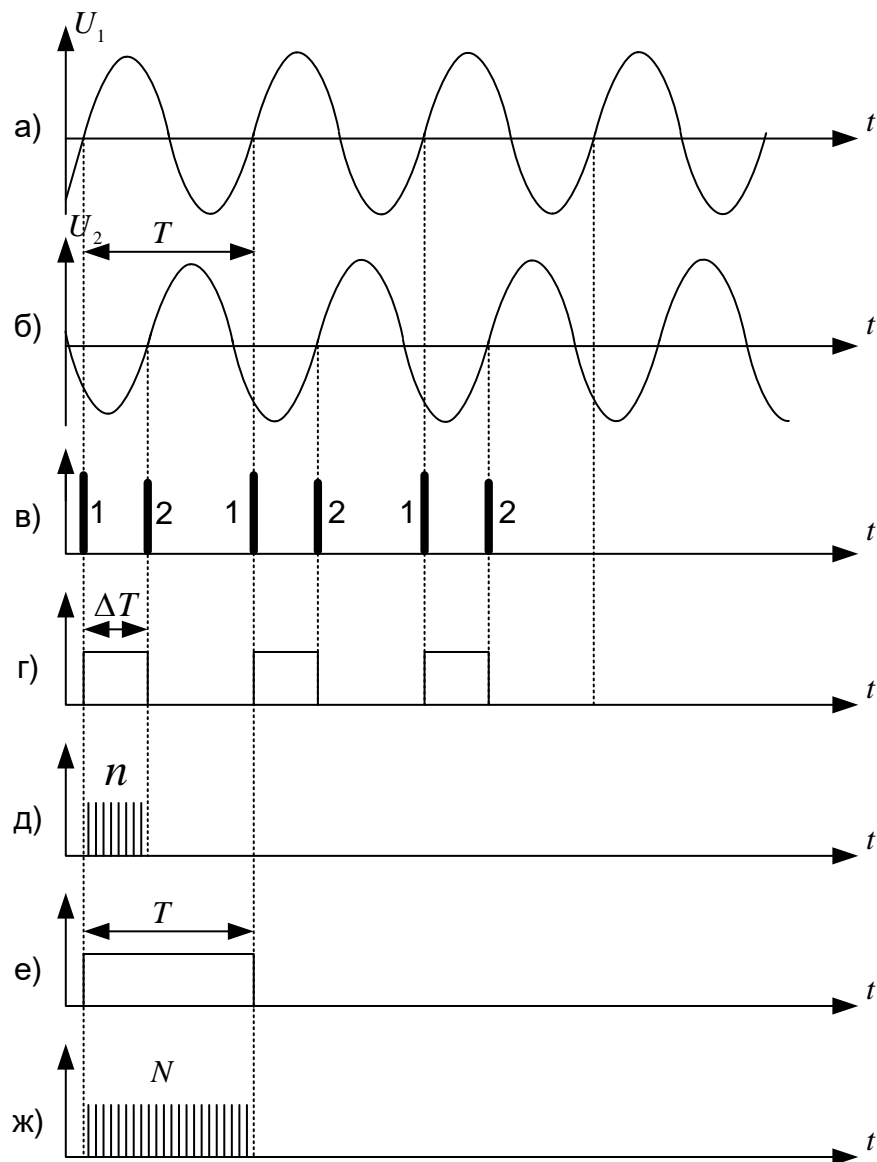


Рисунок 2 – Принцип роботи цифрового фазометра

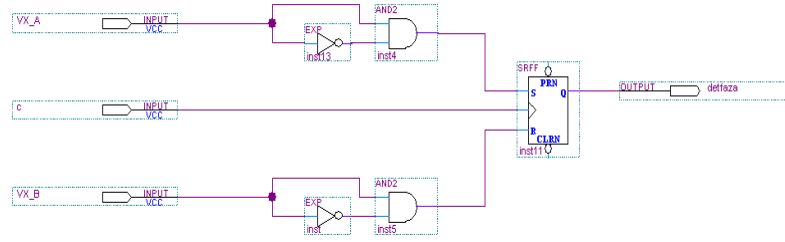


Рисунок 3 – Електрична схема формувача стробуючого імпульсу ΔT

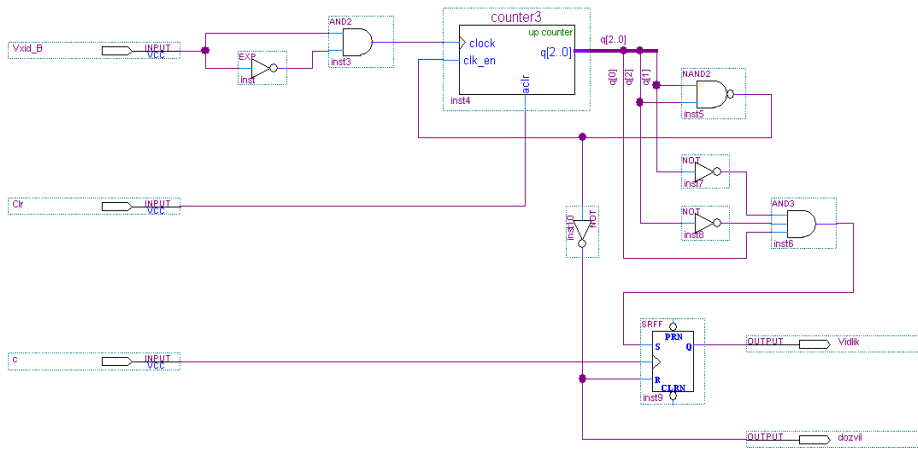


Рисунок 4 – Електрична схема формувача стробуючого імпульсу T

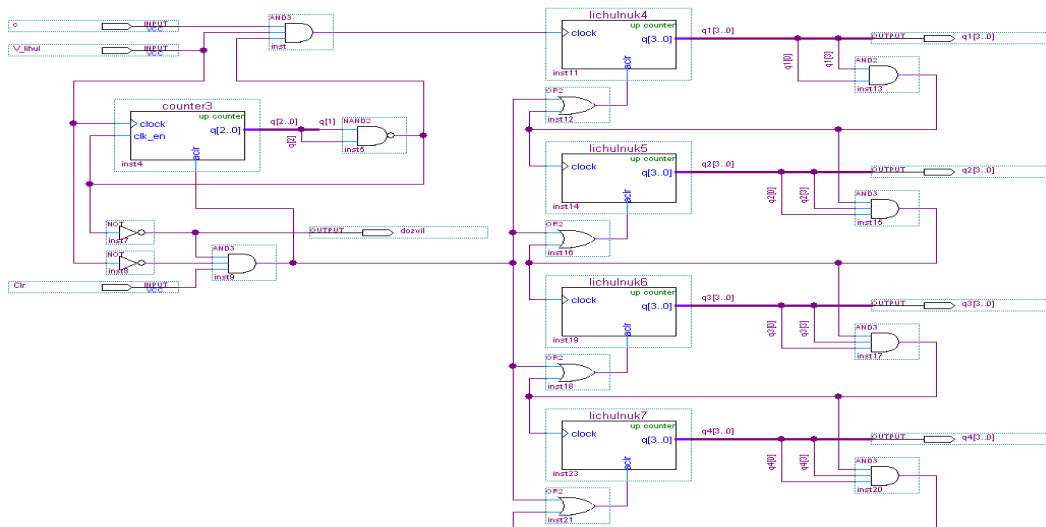


Рисунок 5 – Електрична схема лічильника для підрахунку n

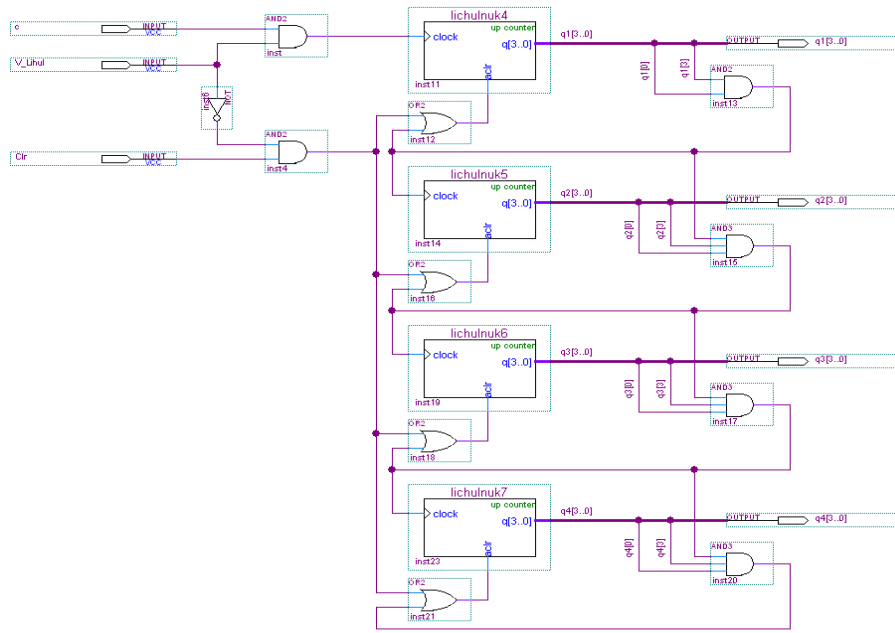


Рисунок 6 – Електрична схема лічильника для підрахунку N

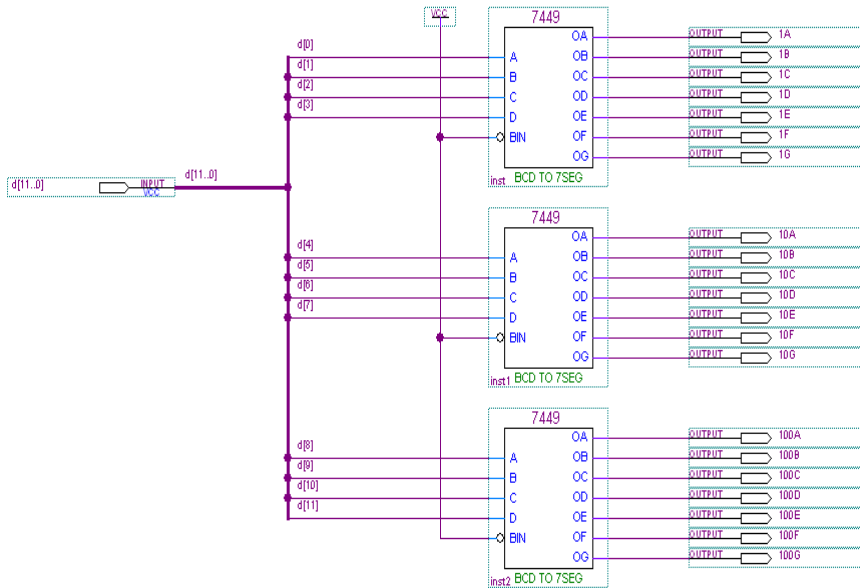


Рисунок 7 – Схема 7-сегментного перетворювача

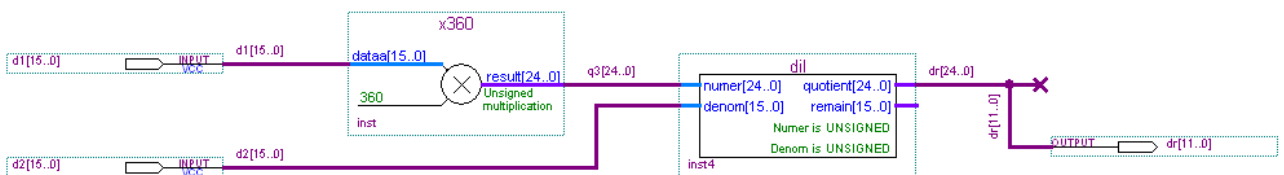


Рисунок 8 – Електрична схема математичної частини

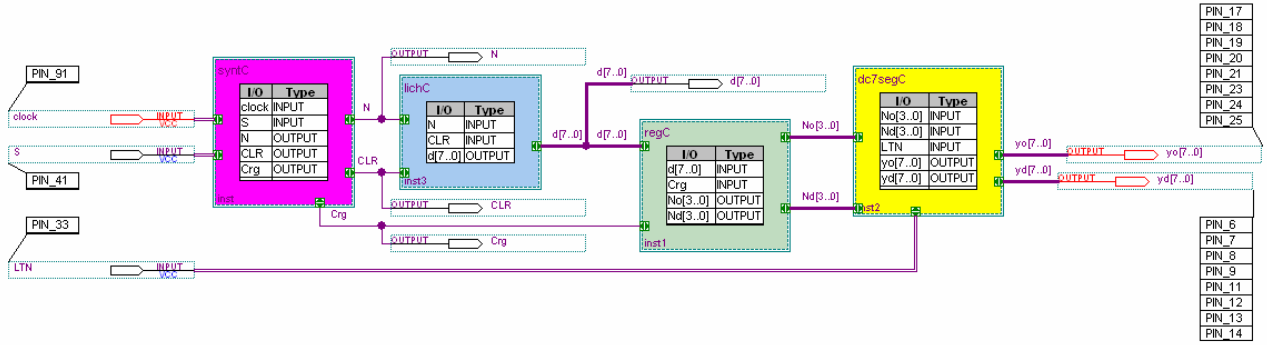


Рисунок 9 - Функціональна електрична схема

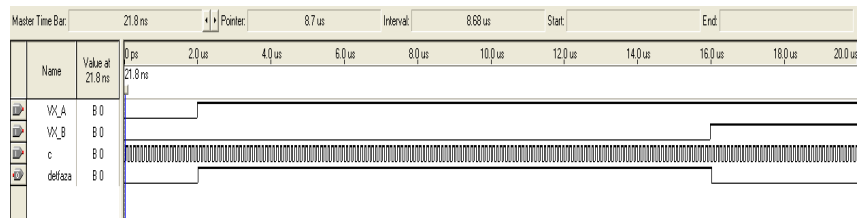


Рисунок 10 – Моделювання роботи формувача стробуючого імпульсу ΔT

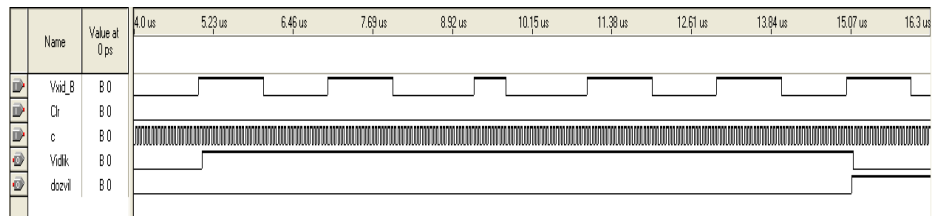


Рисунок 11 – Моделювання роботи формувача стробуючого імпульсу T

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
ЦИФРОВИЙ ФАЗОМЕТР НА ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ
ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Цифровий фазометр на програмованих логічних інтегральних схемах»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

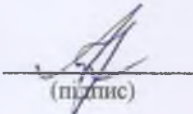
Підрозділ кафедра ІРТС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck


Оригінальність 82% Схожість 18%

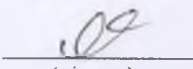
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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  Звягін О.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

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

Автор роботи  Зінько Н.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Семенова О.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)