

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра електроніки та наносистем

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему Оптико-електронний вимірювач швидкості об'єкта

08-05.МКР.171.08.000

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕЛ-18м,  
спеціальності 171 – «Електроніка»

(шифр і назва спеціальності)

Юськов М. М.

(Прізвище та ініціали)

Керівник, д.т.н., професор

Білинський Й. Й.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент, д.т.н., професор

Семенов А. О.

(Прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра електроніки та наносистем  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр  
Спеціальність 171 – «Електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувач кафедри ЕНС  
д.т.н., проф. Білинський Й.Й

---

«3» вересня 2019р.

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Юськову Миколі Миколайовичу

1. Тема МКР: Оптико-електронний вимірювач швидкості об'єкта

науковий керівник роботи Білинський Й. Й. д.т.н., професор

затверджено наказом ВНТУ від «3» вересня року №.254

2. Строк подання студентом роботи: 11.12.2019

3. Вихідні дані для виконання роботи:

Розробити електричну схему та друковану плату оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта з наступними параметрами: напруга живлення -  $U_{ж} = +5 \text{ В}$ ; наявність живлення від мережевого блоку та від резервної батареї; робоча частота -  $1 \text{ МГц}$ ; пікове споживання струму -  $100 \text{ мА}$ ; розміри плати – не більше  $60 \times 40 \times 1,5 \text{ мм}$ ; максимальне значення струму в провіднику -  $0,03 \text{ А}$ .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз сучасного стану існуючих вимірювачів швидкості; структурна та електрична схеми оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта; алгоритм роботи мікроконтролера, моделювання роботи схеми; заходи з охорони праці та навколишнього середовища, розрахунки з економіки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
схема електрична принципова та перелік елементів, плата друкована, складальне креслення та специфікація.

6. Консультанти розділів МК роботи

1. Науковий керівник \_\_\_\_\_ докт. техн. наук, професор кафедри ЕНС  
(підпис) наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

Й. Й. Білинський  
ініціали та прізвище

2. Економічна частина \_\_\_\_\_ ст. викл. кафедри ЕПВМ  
(підпис) наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

В. В. Кавецький  
ініціали та прізвище

3. Охорона праці \_\_\_\_\_ канд. техн. наук, доц. кафедри БЖДПБ  
(підпис) наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

О. В. Березюк  
ініціали та прізвище

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Дата попереднього захисту «11» вересня 2019 р.

Рецензент \_\_\_\_\_ докт. техн. наук, професор кафедри РТ  
(підпис) наук. ступінь, вчене звання (посада)

А. О. Семенов  
ініціали та прізвище

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завдання видав  
науковий керівник \_\_\_\_\_ Білинський Й. Й. д.т.н., професор  
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

Завдання отримав магістрант \_\_\_\_\_ Юськов М. М.  
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

## РЕФЕРАТ

**Юськов Микола Миколайович** «Оптико-електронний вимірювач швидкості об'єкта». – 56 використаних джерела, - 106 с, - 6 додатків.

У роботі розглянуто основні вимірювачі швидкості об'єкта, а також були виділені основні недоліки таких систем та можливе вирішення їх. Розроблено структурну схему оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта та описано призначення її основних складових компонентів. Промодельовано розроблену електричну схему в різних режимах роботи, що підтверджує можливість її практичної реалізації. Розраховано параметри друкованої плати та обрано її тип – двостороння. Визначена мінімальна ширина провідника з умови допустимого падіння напруги, яка складає 60 мкм. Допустима густина струму для мідного провідника складає , товщина фольги дорівнює 35 мкм та максимальний потрійний струм 0,03А. При моделюванні використовувалися проекти ISIS Proteus та ARES PCB Layout, була створена електрична принципова схема, друкована плата та складальне креслення.

## ABSTRACT

**Yuskov Mykola** « Opto-electronic object speed meter ». - 56 sources used, - 106 p, - 6 applications.

The main systems of object speed meter management are considered in the work, as well as the main disadvantages of such systems and possible solutions are highlighted. The structural scheme of the opto-electronic object speed meter developed and the purpose of its main constituent components is described. The developed electrical circuit in different modes of operation is modeled, which confirms the possibility of its practical implementation. Circuit board parameters are calculated and its type is double-sided. The minimum conductor width is determined from the condition of a permissible voltage drop of 60 mkm. The allowable current density for a copper conductor is , the foil thickness is 35 mkm and the maximum triple current is 0.03A. ISIS Proteus and ARES PCB Layout designs were used in the simulation, electrical schematic, circuit board and assembly drawing were created.

## ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u> .....	7
<u>1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ПРИЛАДІВ ВІМІРЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ</u> .....	10
<u>1.1 Багатоелементні оптоелектронні пристрої</u> .....	11
<u>1.2 Сенсори на основі фотоелектронних перетворювачів</u> .....	14
<u>1.3 Прилади для вимірювання оптичної величини сигналу</u> .....	16
<u>1.4 Частотні перетворювачі оптичного випромінювання</u> .....	22
<u>1.5 Оцінювання наукового, технічного та економічного рівня НДР</u> .....	26
<u>1.6 Оцінювання комерційного потенціалу розробки</u> .....	28
<u>1.7 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості для нового рішення</u> .....	31
<u>1.8 Висновки та задачі подальших досліджень</u> .....	33
<u>2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ВІМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ ОБ'ЄКТА</u> .....	34
<u>2.1 Розробка структурної схеми оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта</u> .....	34
<u>2.2 Схема електрична принципова оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта</u> .....	35
<u>2.3 Розробка еквівалентних схем вторинного перетворювача оптичного сигналу з фототранзистором</u> .....	37
<u>2.4 Розрахунок параметрів та характеристик вторинного перетворювача оптичного сигналу на основі фототранзистора</u> .....	45
<u>2.5 Розробка алгоритму роботи мікроконтролера</u> .....	50
<u>2.6 Моделювання роботи схеми</u> .....	52
<u>2.7 Висновки до другого розділу</u> .....	55
<u>3 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПЛАТИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ВІМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ ОБ'ЄКТА</u> .....	56
<u>3.1 Обґрунтування вибору та аналіз мікроконтролера</u> .....	56
<u>3.2 Вибір типу та матеріалу друкованої плати</u> .....	57
<u>3.3 Вибір класу точності та методу проектування друкованої плати</u> .....	59
<u>3.4 Розрахунок ширини провідників</u> .....	60

	5
<u>3.5 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT</u> .....	61
<u>3.6 Висновки до третього розділу</u> .....	64
<u>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</u> .....	65
<u>4.1 Виробнича санітарія та гігієна праці</u> .....	65
<u>4.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат</u> .....	65
<u>4.1.2 Виробниче освітлення</u> .....	66
<u>4.1.3 Виробничі віброакустичні коливання</u> .....	68
<u>4.1.4 Виробничі випромінювання</u> .....	68
<u>4.2 Промислова та пожежна безпека під час проведення розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта</u> .....	70
<u>4.2.1 Безпека щодо організації робочих місць</u> .....	70
<u>4.2.2 Електробезпека</u> .....	70
<u>4.2.3 Пожежна безпека</u> .....	71
<u>4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій</u> .....	71
<u>4.3.1 Дослідження безпеки роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії іонізуючих випромінювань</u> .....	73
<u>4.3.2 Дослідження безпеки роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії електромагнітного імпульсу</u> .....	74
<u>4.4 Висновки</u> .....	75
<u>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</u> .....	76
<u>5.1 Розрахунок витрат на проведення НДР з дослідження та розробки пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості</u> .....	76
<u>5.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки</u> .....	82
<u>5.3 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності</u> .....	85
<u>5.4 Висновки до розділу</u> .....	89
<u>ВИСНОВКИ</u> .....	90
<u>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</u> .....	92
<u>Додаток А Технічне завдання</u> .....	97

<u>Додаток Б</u> <u>Схема електрична принципова оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта</u> .....	100
<u>Додаток В</u> <u>Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера</u> .....	101
<u>Додаток Г</u> <u>Допустимі значення виробничих факторів</u> .....	102
<u>Додаток Д</u> <u>Креслення друкованої плати оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта</u> .....	105
<u>Додаток Е</u> <u>Складальне креслення оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта</u> .....	106

## ВСТУП

### Актуальність теми

На сьогоднішній день, у зв'язку зі збільшенням кількості як громадського так і спеціалізованого транспорту, все більш актуальнішим стає питання вимірювання швидкості рухомих об'єктів. Це повинні бути не громіздкі пристрої типу «радарів», а компактні пристрої які можна установити на автомобіль будь-якої марки (від вантажівок до легкових авто). Оскільки сучасні комп'ютерні системи приводять нас до створення автівок без водія, тобто авто яким буде керувати комп'ютер, а «очима» такого «водія» і будуть різноманітні сенсори – як руху, розпізнавання об'єктів і т.д. так і швидкості відповідних об'єктів. Сенсори швидкості можуть поділятися за двома основними принципами роботи. Тобто одні вимірюють швидкість за рахунок вимірювання зміни індукції магнітного поля, а інші за величиною оптичного сигналу. Основним недоліком теперішніх оптичних вимірювачів швидкості є те що вони добре працюють в денний час, а при смерканні та вночі їх ефективність значно падає.

Актуальністю даної роботи є те, що можна використати фототранзистор з широкою спектральною чутливістю як сенсор, що дасть можливість розширити діапазон вимірювання за рахунок ІЧ-випромінювання.

### Мета дослідження

Метою роботи є розширення діапазону вимірювання оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта за рахунок використання фототранзистора з широкою спектральною чутливістю.

### Задачі дослідження:



- проаналізувати існуючі пристрої та системи вимірювачів швидкості об'єктів та обрати найбільш оптимальний принцип побудови пристрою;
- запропонувати структурну та електричну принципову схеми пристрою;
- розробити друковану плату та складальне креслення пристрою.

**Об'єктом дослідження** є процес перетворення оптичного випромінювання в електричний інформативний сигнал.

**Предметом дослідження** є параметри та характеристики оптико-електронного вимірювача швидкості об'єктів.

**Методи дослідження:**

- аналіз літературних джерел;
- математичне моделювання з використанням пакету ISIS PROTEUS та ARES PCB Layout.

**Наукова новизна роботи**

Отримав подальший розвиток частотний оптичний метод вимірювання швидкості об'єкта за рахунок використання інфрачервоного випромінювання.

**Структура роботи**

Магістерська класифікаційна робота складається з чотирьох розділів. В першому розділі проведено аналіз існуючих вимірювачів швидкості об'єктів, відзначені переваги та недоліки тих чи інших варіантів її реалізації, а також особливості їх конструктивного виконання. В другому розділі проведено розробку структурної схеми пристрою, також на її основі розробку схеми електричної принципової, наведено їх опис, призначення та особливості функціонування основних вузлів. Третій розділ роботи присвячений розробці топології друкованої плати, вибору матеріалу та способу її виготовлення, а також розробці складального креслення виробу. В четвертому розділі було

розглянуто такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії, визначення кута розсіювання лазерного променя за заданою безпечною відстанню, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта, безпека в надзвичайних ситуаціях. В п'ятому розділі було розглянуто такі питання з економічної діяльності, як зростання чистого прибутку, абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

## **1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Прилади вимірювання оптичного випромінювання застосовуються у багатьох галузях науки і техніки. Однією з таких галузей є контроль-но-вимірвальна апаратура, а, зокрема, вимірвачі швидкості. Тому проведемо огляд сучасного стану розвитку вимірвачів оптичного випромінювання для з'ясування можливості їх використання при побудові вимірвачів швидкості.

Постійно зростаючі вимоги до задач автоматизації техніки, контролі якості та діагностиці технічних і нетехнічних процесів обумовлює відповідне підвищення рівня вимог до параметрів вимірвальної апаратури, зокрема, первинних вимірвальних перетворювачів, які є складовою частиною вимірвальних приладів [1, 4]. Отже, виникла потреба в створенні чутливих інтегральних перетворювачів, що задовольняють високому рівню вимог, поряд з умовою ефективного застосування елементної бази мікроелектроніки, слугує стимулом при розробці приладів на основі інтегральних перетворювачів оптичного випромінювання.

Сучасному розвитку контроль-но-вимірвальних приладів відповідає широке поширення систем обчислювальної техніки, використанням мікропроцесорних засобів вимірювань з вбудованими цифровими блоками опрацювання і керування. Об'єднання первинних перетворювачів з цифровими мікропроцесорними пристроями дозволяє створити систему інтелектуальних приладів, де крім зняття інформації відбувається її одночасне опрацювання, фільтрація, стиск і коригування [4-6].

Це створює умови розробки нових ефективних і надійних сенсорів оптичного випромінювання як для реєстрації інформаційних сигналів, так і при їх обробленні.

## 1.1 Багатоелементні оптоелектронні пристрої

Завдяки унікальним властивостям оптичного випромінювання за допомогою ОЕВП (оптоелектронних вимірювальних перетворювачів) можна розв'язувати багатofункціональні завдання управління з високими характеристиками по точності, швидкодії, надійності, пропускну здатності і практично необмеженими можливостями математичної і логічної обробки інформації [7, 8].

Координатні фоторезистори (фотопотенціометри) є тонкоплівковими багат шаровими структурами, які мають профільований резистивний шар, з довжиною декількох десятків міліметрів за розрізняючої здатності в десятки мікромметрів [9]. У новітніх фотопотенціометрах присутня недостатня часова і температурна стабільність, хоча вони надійні і технологічні. Координатні фотоприймачі, принцип роботи яких оснований на поперечному фотоефекті, називаються диференційними. Вихідний сигнал такого фотоприймача дорівнює різниці сигналів із фоточутливих елементів і пропорційний до зміщення зображення щодо "нульового" положення. До таких фотоприймачів належать секторні чи квадратні фоторезистори і фотодіоди [10]. Загальний недолік розглянутих координатних фотоприймачів полягає у залежності координатної характеристики від розмірів і форми світлового зонда (зображення) і від розподілу освітленості.

Характеристики пристроїв на основі багатоелементних перетворювачів оптичного випромінювання (БПОВ) застосовуються для опису властивостей одноелементних фотоприймачів. Однак специфіка конструкторського виконання зумовила і ряд нових параметрів. Похибки БПОВ зумовлені нерегулярністю розміщення елементів, розкидом чутливості елементів і паразитними міжелементними зв'язками. До найбільш досконалих БПОВ відносять прилади із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) [11].

Найпоширенішими матеріалами які використовуються для отримання фотодіодних БПОВ є кремній та германій. За останні роки [13] отримані

позитивні результати в розробці фотодіодів і багатоелементних структур на їх основі з застосуванням з'єднань групи  $A^{III}A^{IV}$ : GaAs, GaAlAs, InAs, InSb, CdSe, які працюють при температурах 77 – 200 К. Створено фотодіодні БПОВ з кращими фотоелектричними параметрами на основі CdHgTe, PbSnTe, PbS, PbSe, PbTe [12]. Загалом чутливість фотодіодного елемента визначається напівпровідниковим матеріалом і структурою р-п переходу. Використання фотодіодних елементів в режимі накопичення дозволяє отримати більшу величину електричного сигналу, що виділяється на  $R_i$ , в порівнянні з режимом постійного струму. Але в режимі накопичення заряду знижується швидкодія БПОВ. Різниця в величині вихідного сигналу потребує наявності в кожному елементі, в режимі постійного струму, малoshумових підсилювачів.

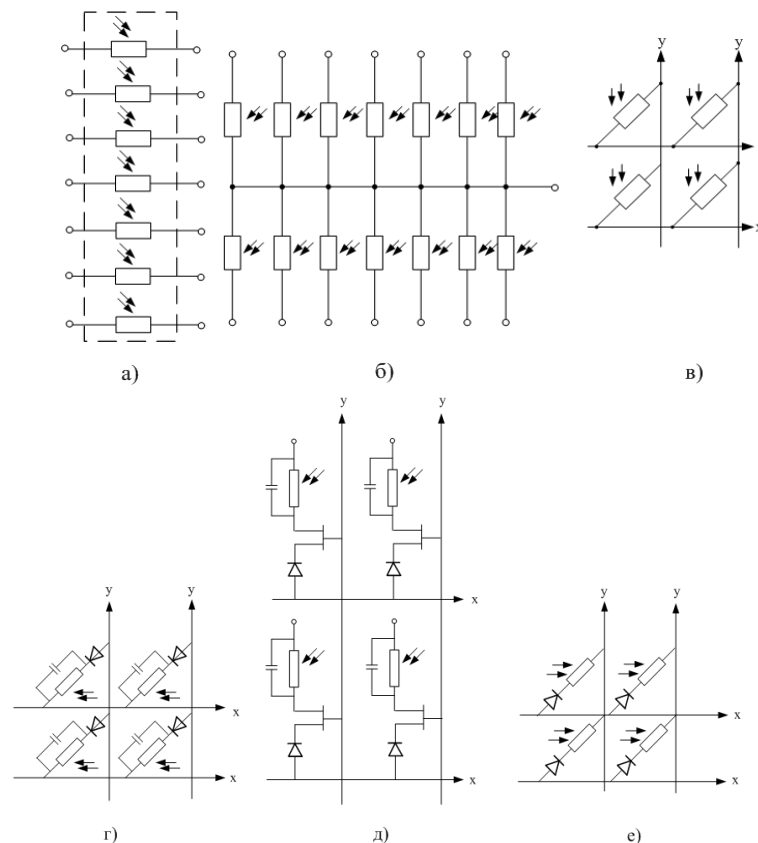


Рисунок 1.1 – Структури побудови фоторезистивних БПОВ

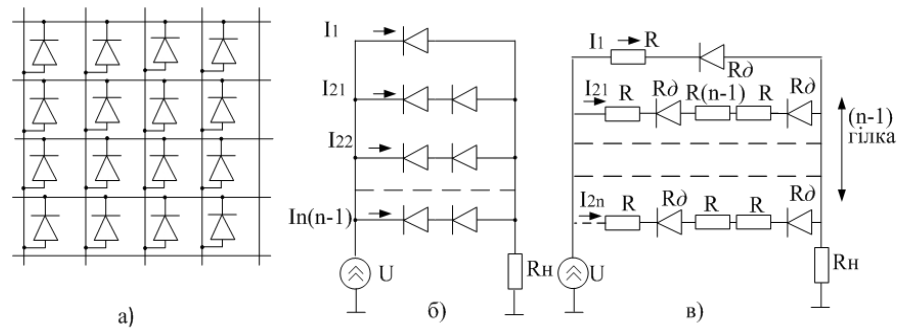


Рисунок 1.2 – Схеми включення фоторезистивних елементів в матрицю (а), спрощені еквівалентні схеми опитування елемента в матриці (б, в)

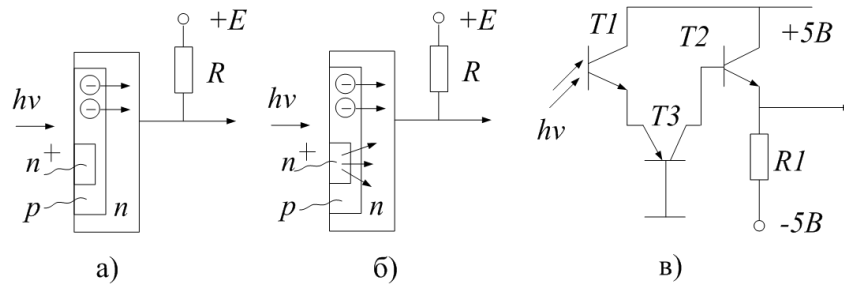


Рисунок 1.3 – Включення елемента по схемі "обриваної бази": а) діодний режим; б) транзисторний режим; в) схема з підвищеною швидкодією

Використання фотодіодних елементів в матриці показано на рис. 1.2 а. Найбільш цікавим є випадок двох освітлених елементів і опитування неосвітленого елемента, індекс якого співпадає з індексом стрічки одного освітленого елемента, причому індекс стовпця співпадає з індексом стовпця другого освітленого елемента.

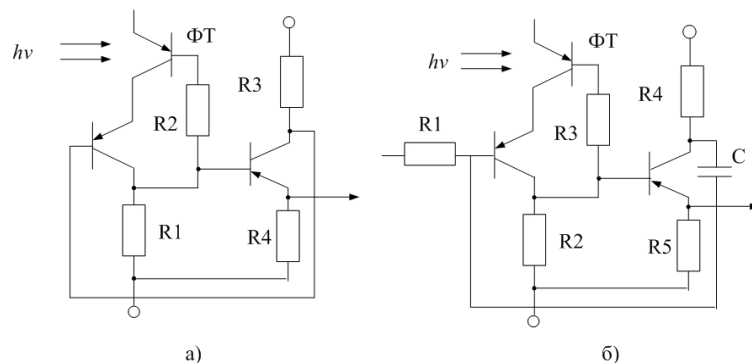


Рисунок 1.4 – Електричні схеми стабілізації фототранзисторного елемента: а) зворотній зв'язок по постійному струму; б) зворотній зв'язок по змінному струму

В сьогоднішні використовують фототранзисторні БПОВ як на основі біполярних, так і уніполярних фототранзисторів. В схемах дані елементи можуть підключатись не лише по схемі обірваної бази (рис. 1.3), але і по схемі стабілізації режиму роботи фототранзистора (рис. 1.4).

Фототранзисторні БПОВ створюють в основному з германію, кремнію і арсенід галію. Ця обставина обмежує область спектральної чутливості елементів видимим і ближнім інфрачервоним діапазоном спектру.

Отже, фоторезистивні і фотодіодні елементи БПОВ дають можливість виявлення оптичних сигналів в видимому та ближньому ІЧ-діапазоні довжин хвиль. Фізична модель фототранзисторного БПОВ показує, що цей діапазон дещо звужується.

## 1.2 Сенсори на основі фотоелектронних перетворювачів

Сенсори на основі фотоелектронних перетворювачів застосовуються у декількох напрямках: для безпосереднього детектування від різних джерел випромінювання та в оптико-електронних приладах з відкритим або закритим каналом. Що створює потребу підсилення отримання первинних сигналів, зачасу слабких на фоні різних електромагнітних завад.

Для даних сенсорів, при використанні в комп'ютерних системах, найкраще використовувати цифрову схемотехніку, для одержання дискретного вихідного сигналу [15]. Так, в роботі [14] представлено схему цифрового фоточутливого сенсора, на базі використання логічних КМОП. Структурну схему даного цифрового завадостійкого фоточутливого сенсора зображено на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Структурна схема цифрового фоточутливого сенсора

Тригер Шмітта в схемі з фоточутливим сенсором дозволяє підвищити завадостійкість та точність спрацювання при порівняно довгих імпульсах.

Принципова схема з урахуванням вище запропонованого зображена на рис. 1.6, де в якості фотоприймача використано фототранзистор. Використання тригера Шмітта реалізовано на елементах DD2.1., DD2.2. Резисторами R5, R6 можна керувати петлею гістерезису даного тригера. RS-тригер утворюють елементи DD2.3, DD2.4. Інвертування сигналів, які подаються на входи RS-тригера здійснюється елементом DD2.2.

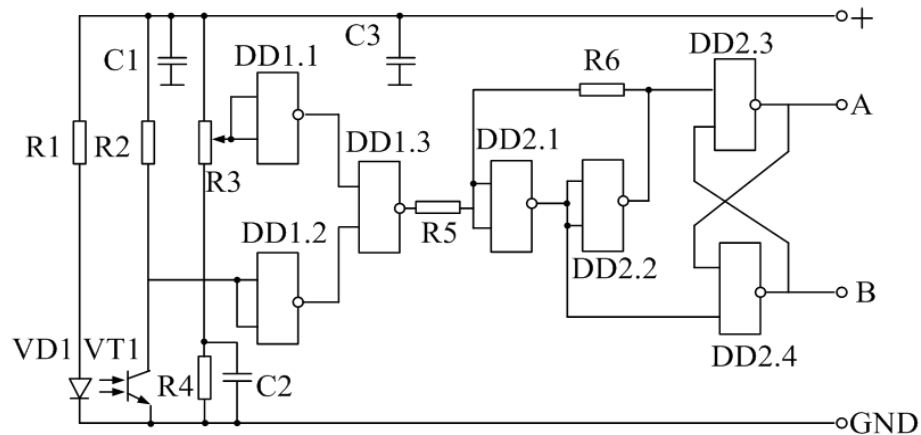


Рисунок 1.6 – Принципова схема цифрового фото сенсора

Схема підсилювача сигналу фотодіода зображено на рис. 1.7. Робота якого основана на перетворенні напруга-струм, причому лінійність вихідної напруги забезпечується за допомогою резистора.

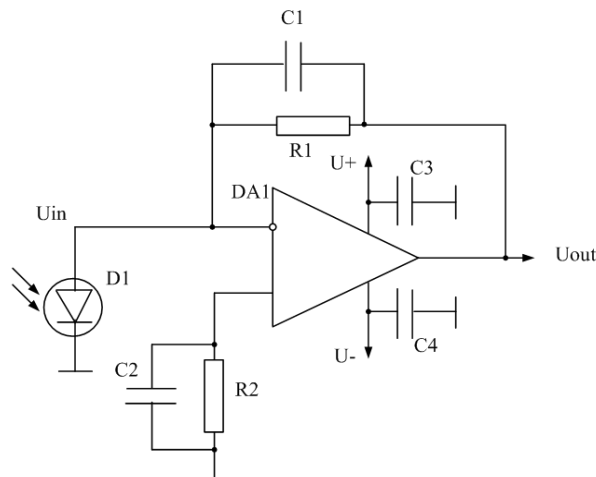


Рисунок 1.7 – Принципова схема підсилювача сигналу з фотодіода



Використання фоточутливого сенсора в умовах широкодіапазонної зміни освітленості, потребує логарифмічних підсилювачів [14].

Схема логарифмічного підсилювача фотосенсора зображена на рис. 1.8.

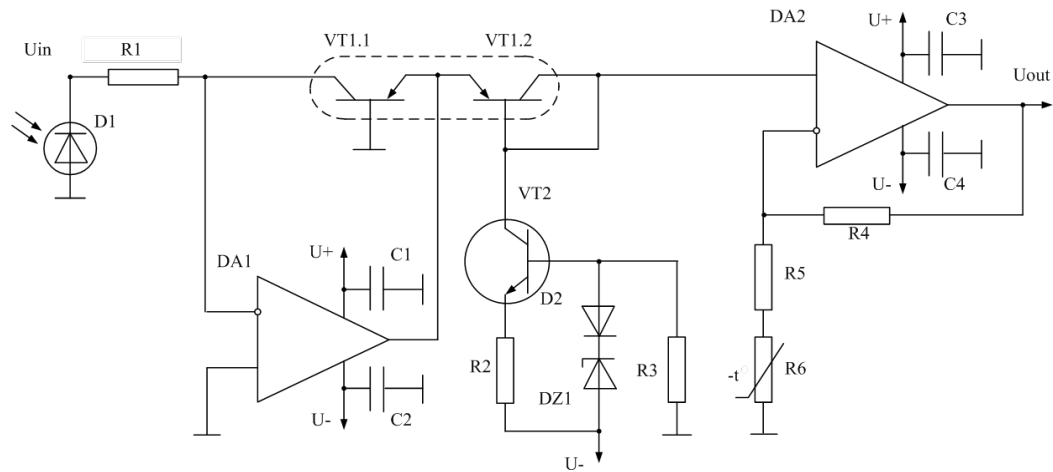


Рисунок 1.8 – Принципова схема логарифмічного підсилювача фотосигналу

Останнім часом у більшості оптронів фотоприймачами є фотодіоди. Але при великих електромагнітних завадах мають перевагу фототранзистори, за рахунок власного внутрішнього коефіцієнту підсилення. Оскільки швидкодія фототранзистора визначається процесами перезарядки колекторно-емітерної ємності [16] то, для збільшення смуги пропускання необхідно зменшувати опір навантаження фототранзистора. Реалізація цієї умови найефективніше виконується при застосуванні ОП [17].

Отже, як видно, виникає потреба у приладах, що підсилюють слабкі електричні сигнали фотодіодів та фототранзисторів при використанні їх в умовах з високими електромагнітними завадами.

### 1.3 Прилади для вимірювання оптичної величини сигналу

Як ми знаємо, напівпровідники володіють високою чутливістю до оптичного впливу [1, 3]. В роботі [18] розглянуті фоточутливі прилади з інжекційним підсиленням фотоструму. Експериментальні дослідження

показали, що чутливість інжекційних фотоприймачів до освітленості набагато вище, ніж у безінжекційних, тому такі фотоперетворювачі мають хороші порогові характеристики.

Створення нових напівпровідникових структур що наближаються до квантових розмірів, та використовують хвильову природу носіїв заряду для отримання принципово нового класу приладів подано у роботі [19]. Використання польових транзисторів, в каналах яких використовується вказана природа, це транзистори з високою рухливістю електронів, тунельно-резонансні та гетеробіполярні структури. Область використання зазначених вище приладів можлива в оптоелектроніці в якості перетворювачів інфрачервоного діапазону. В роботі [20] розглянуті можливості інтеграції різних по функціональному призначенню пристроїв що працюють на гетероструктурах і можливість створення фотоприймачів в одній епітаксильній структурі.

Двосторонні сонячні елементи, тобто, прилади, які можуть приймати сонячне випромінювання з обох поверхонь і ефективно перетворювати його в електричну потужність, були винайдені ще в 1960 р. В роботі [21] показано розвиток двосторонніх сонячних і описано еволюцію їх дизайну: починаючи з приладів з подвоєним р-п переходом, закінчуючи приладами з одинарним р-п переходом. Примінення двосторонніх сонячних елементів сприяло успіху розвитку кремнієвого фоточутливого елемента. Це сталося оскільки вдалося вирішити дві проблеми: запобігання рекомбінації на поверхні, що віддалена від р-п переходу, і створення умов щодо перенесення носіїв через товщину кристалічної пластини. Ці питання є негачними і для сьогочнішніх приладів. Японець Морі у 1960 році запропонував підхід до створення двосторонніх сонячних панелей, на основі збираючого р-п переходу. Двосторонні сонячні панелі знаходять своє застосування в двосторонніх плоских пластинчатих PV модулях, що мають змогу виробляти суттєво більшу вихідну потужність.

В роботі [22] запропоновано фотоприймач (рис. 1.9), з джерелом напруги 1, що задяки регулятору 2 під'єднано до джерел світла 3 і 4, які

знаходяться біля фотоприймачів 5 і 6, до середньої точки яких під'єднано джерело струму 7, а інші кінці під'єднані до входів приймачів струму 8 і 9. Вимірювання напруги між якими відбувається за допомогою вольтметра 10. Фотопотік  $\Phi$ , що вимірюється, напрямлено на один з фотоприймачів.

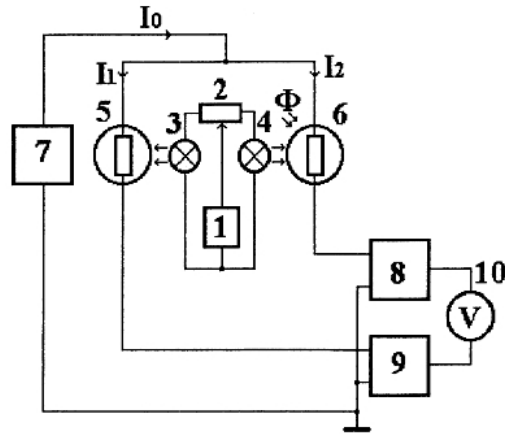


Рисунок 1.9 – Фотоприймальний прилад

Напруги на виході 8 і 9 однакові і, при відсутності фотопотоку  $\Phi$ , показання електровимірювального приладу 10 дорівнює нулю. Якщо ж фотопотоку існує, то фотоприймач 6 освітлено додатково. А значить що його опір менше, ніж фотоприймача 5. Що приводить до того що струм  $I_3$  збільшується, а  $I_2$  на стільки ж зменшується, оскільки  $I_1 + I_2 = \text{const}$ . Тобто напруга на виході приймача 8 зростає, а приймача 9 - спадає. Так виникає показання приладу 10, яке пропорційне фотопотоку, що вимірюється.

Інший фоточутливий прилад, який складається з двох електродів, розділених світлочутливим шаром подано в роботі [23], його різниця в тому, що в якості світлочутливого шару використовується діелектрик, напівпровідник або суміш. Задяки чому він змінює свою діелектричну проникність під дією світла.

У поданому пристрої під дією світла відбувається зміна поляризації фоточутливого шару. В наслідок чого змінюється діелектрична проникність. Ємність приладу залежить від діелектричної проникності діелектрика, що

залежить від величини світлового потоку. У випадку, якщо даний прилад містить фоточутливий шар з суміші діелектрика та напівпровідника, збільшення фоточутливості створюється за рахунок зміни сумарної діелектричної проникності матеріалів всіх компонентів під дією світла. Для цього необхідно значно менші потужності світлового потоку, в порівнянні з фотоефектом. Що дає змогу підвищити чутливість до фотопотоків з низькою інтенсивністю.

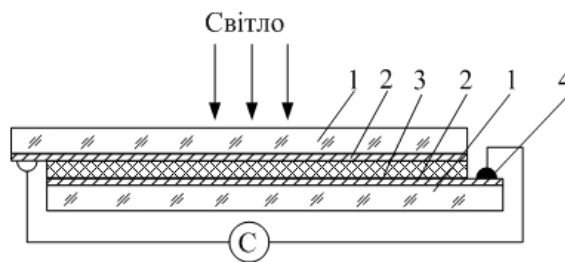


Рисунок 1.10 – Прилад на основі діелектрика

Конструкцію даного приладу подано на рис. 1.11. Поміж скляні пластини 1, на які нанесено прозорий струмопровідний шар 2, поміщено фоточутливий матеріал 3. До контактів 4, підключені провідники, що подають сигнал про зміну ємності якщо світло попадає через прорізь у фотонепрозорій пластині 5, що обмежує потік світла.

До напівпровідникової електроніки можна віднести фотоприймальний прилад [24], який може бути використаний при створенні атмосферних оптичних ліній зв'язку, зокрема при створенні лазерних систем телеорієнтації об'єктів що рухаються. даний прилад подано на рис. 1.11. Принцип його роботи наступний. При попаданні лазерного імпульсу на 1 (фотодіод) на 2 (опорі навантаження) відбувається скачок фотоструму у вигляді імпульсу напруги від'ємної полярності. Через підсилювачем 3 даний сигнал проходить 4 (керований дільник), паралельно підсилюється 5 (підсилювачем напруги) і іде на 8 (детектор сигналу), на 6 (неінвертуючий вхід додаткового підсилювача), на 10 (вхід амплітудного детектора сигналу) і на 11 (неінвертуючий вхід детекторного компаратора). Імпульси з виходу 6

(додакового підсилювача) поступають на вхід 7 (детектора шуму). Напряга з виходів 7 (детектора шуму) і 8 (детектора сигналу) поступає на 9 (два інвертуючих входи двохвходового інтегратора), на неінвертуючий вхід якого подається напруга зміщення  $U_{см2}$  від його джерела опорної напруги.

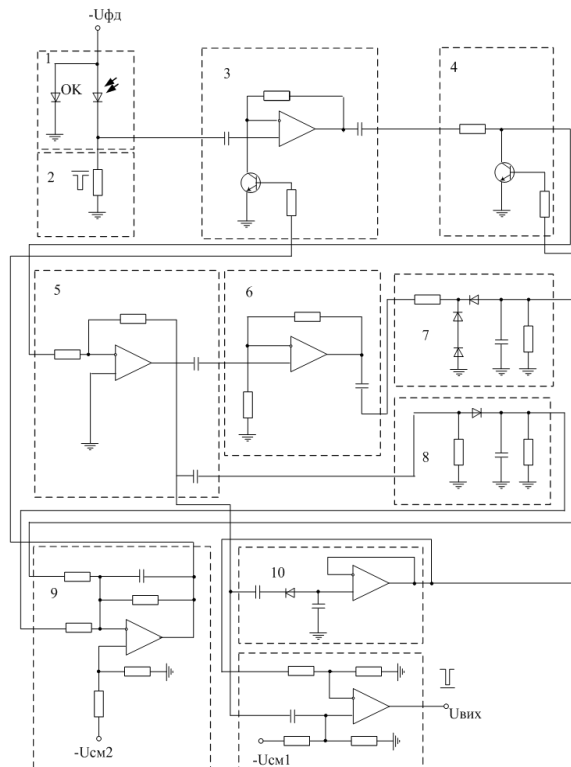


Рисунок 1.11 – Фотоприймальний прилад

Вихідна напруга двохвходового інтегратора 9 поступає на 3 (вхід управління керованого попереднього підсилювача), при цьому забезпечується незмінний рівень шуму в умовах зміни зовнішньої освітленості і стабілізуючи амплітуду сигналу на виході 5 (підсилювача напруги) при чому інтенсивність вхідних лазерних імпульсів змінюється. Вихідна напруга 10 (амплітудного детектора сигналу) поступає на вхід 4 (керування керованого діляника) і забезпечує стабілізацію амплітуди сигналу на виході 5 (підсилювача напруги). Вихідна напруга також поступає на інверторний вхід 11 (компаратора) і забезпечує зміну порога компаратора 11, відповідно зі зміною амплітуди приймального сигналу.

На рисунку 1.12 подано структуру фотоприймача, холодною діафрагмою 1, підкладкою, що виконана із GaAs 2, буферним шаром 3 – з CdZnTe, та нижній варізонного шару 4, робочого шару 5, верхнього варізонного шару 6, широкозонного шару незмінного складу 7, просвітлюючого покриття 8, індієвого стовпця 9, контакту фоточутливого елемента, індієвого стовпця 10, контакту до мультиплексора, кремнієвого мультиплексора 11, палця газової кріогенної машини 12, індієвого контакту 13, та вікна діафрагми 14.

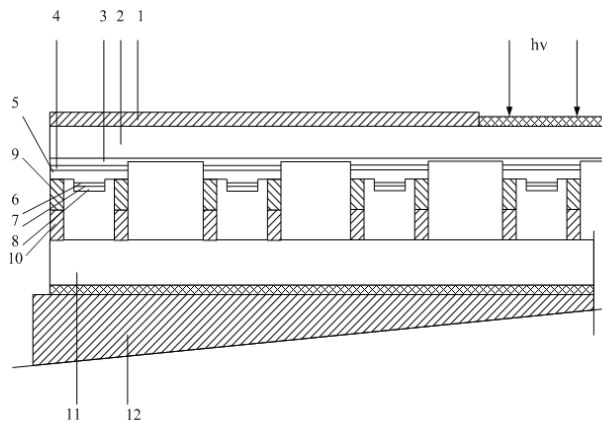
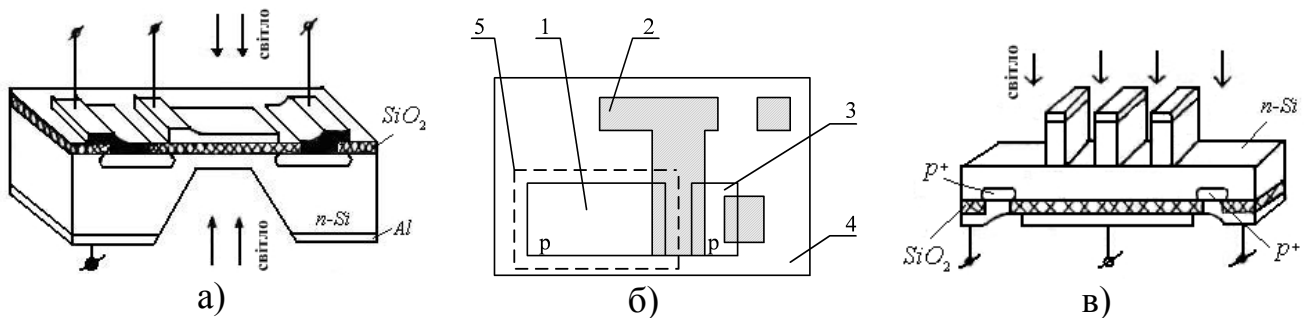


Рисунок 1.12 – Фотоприймач на основі багатошарової структури

Фоточутливі МДН структури дають суттєві результати при створенні приладів обробки оптичної інформації [25]. Для вирішення проблем інтегральної фотоелектроніки і фотосенсоріки розроблено МДН-фототранзистор [26].



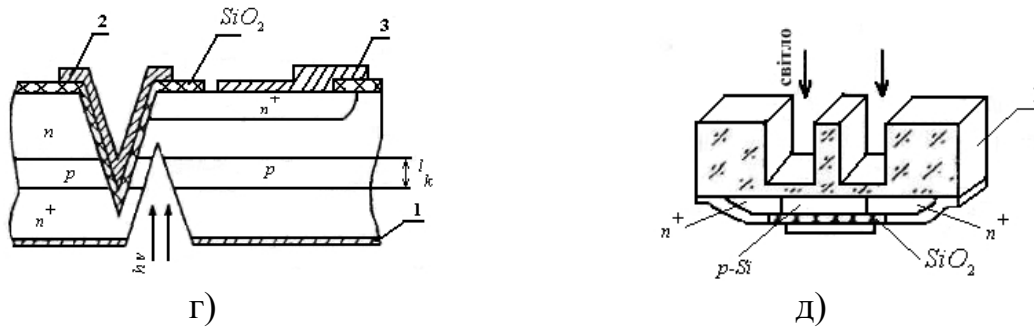


Рисунок 1.13 – Різновиди МДН-фототранзисторів

Модифікації МДН фототранзисторів представлено на рис. 1.13: а) МДН фототранзистор з двостороннім освітленням; б) топологія МДН фототранзистора на виточці з фотодіодом: витік – 1, затвор – 2, стік – 3, підкладка n-типу – 4, паз – 5; в) МДН фототранзистор з пазами під областями затвора, виточку, стоку; г) V-МОНФТ; д) МДН фототранзистор на діелектричній підкладці: 1 – діелектрична підкладка [12].

#### 1.4 Частотні перетворювачі оптичного випромінювання

Прилади на основі перетворювачів оптичного діапазону, засновані на використанні реактивних властивостей напівпровідникових структур подано у роботі [27]. Так, прилад на резонансній основі з електромагнітним резонатором представляє собою LC-контур, частота якого змінюється під впливом оптичного випромінювання на ємність або індуктивність.

Автогенератори повсякденно використовують нелінійні напівпровідникові ємності, в яких бар'єрна ємність залежить від зміщення на p-n переході [27]. Доцільність використання таких пристроїв при вимірюванні оптичного випромінювання зумовлена доброю завадостійкістю і чутливістю перетворення оптичного сигналу в частоту.

Зміна частоти генераторів, на основі варикапів, може бути здійснена, при зміні параметрів навколишнього середовища. Так, зі зміною вологості, освітленості, температури середовища відбувається зміна ємності варикапа.

Завдяки цим властивостям, *p-n* переходу, створено пристрій для індикації теплового та оптичного випромінювання [28]. В даному пристрої застосовується структура *p-n-p* типу, що вмикається в LC- контур генератора, дія оптичного або теплового випромінювання впливала на резонансну частоту генератора.

Твердотільні фоточутливі генератори працюють на використанні лавинного множення носіїв заряду на *p-n* переході [29, 30]. Залежність реактивного опору ( $R_X$ -опору) схеми від дії оптичного сигналу приводить до залежності власної резонансної частоти від останнього.

У роботі [31] подано прилад для вимірювання величини оптичного сигналу, в якому відбувається зміна фотореактивних властивостей під дією оптичного випромінювання, з частотним вихідним сигналом. Одноперехідний транзистора представляє собою особливий інтерес. Оскільки частотні перетворювачі фізичних величин, таких як тиск, магнітне поле, температура, оптичне випромінювання на основі даного транзистора знайшли широке застосування в техніці [2, 32]. Оскільки, схема автогенератора на основі одноперехідного транзистора складається з мінімуму елементів, при цьому стабільна в роботі.

В [33] подано схему, яка складається з фотоприймального приладу з та одноперехідного фототранзистора, на виході якого також отримується частотний сигнал, що дає можливість отримати більш лінійну залежність вихідної частоти від світлової потужності, а також підвищити чутливість і збільшити спектральний діапазон оптично вимірювальних сигналів. Електрична схема релаксаційного генератора подана на рис. 1.14 з конденсатором в колі емітера фототранзистора, та отримує заряд через опір  $R_a$ . Період коливань  $f$  визначається як:

$$T = \frac{1}{f} = R_e C \ln \frac{E - U_0}{E - U_a(\bar{O})}, \quad (1.1)$$



де  $U_a$ ,  $U_0$  – це напруги вмикання емітера та напруги на емітері у ввімкненому стані;  $E$  – напруга живлення.

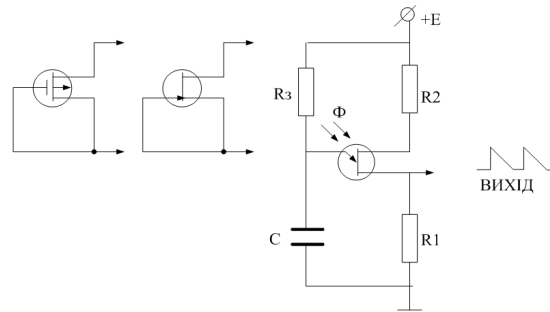


Рисунок 1.14 – Схема генератора на одноперехідному транзисторі

При дії світла на фототранзистор, головний параметром, що змінюється від світлового потоку  $\Phi$ , є напруга  $U_a$ . Розрахунок якої виходить з формули (1.1). Для того щоб досягти лінійну залежність  $f$  від  $\Phi$ , в схемі автогенератора емітерний резистор замінюють на польовий транзистор. Як показано в роботі [34] в цьому випадку формула (1.1) значно спрощується:

$$T = \frac{1}{f} = C \frac{U_a - U_0}{2_i} \approx \tilde{N} \frac{U_a}{2_i}. \quad (1.2)$$

В останній час намітилась тенденція більш широкого дослідження фоточутливих GaAs польових транзисторів з точки зору використання фотореактивних властивостей цих приладів для побудови оптично керуємих НВЧ генераторів [35]. Детально проаналізовано основні фізичні механізми оптичної перебудови в генераторах на GaAs польових транзисторах. На основі експериментальних досліджень показано, що залежність вихідної частоти генератора від зміни ємності на затвор-витік польового транзистора і максимальна частотна модуляція отримується в схемі з загальним витком [35, 36].

Досить цікавим є фоточутливий прилад на основі гіраторного вимірювального перетворювача (рис. 1.15) [37], у якому як додатковий транзистор використано польовий каналний фототранзистор 1, між витком

та стоком якого ввімкнена резонансна ємність 2, стік польового транзистора з'єднаний із загальною шиною, а витік даного транзистора з частотним виходом через 3 (роздільну ємність), в якості додаткового транзистора використовується польовий n-канальний фототранзистор 4, перетворювальна ємність 5 ввімкнена між витоком та стоком 4, витік 4 під'єднано до загальної шини, стік під'єднано до затвора транзистора 1 та через 6 (резистор зміщення) з'єднано з джерелом живлення, а роздільна ємність 3 з'єднує затвор із виходом.

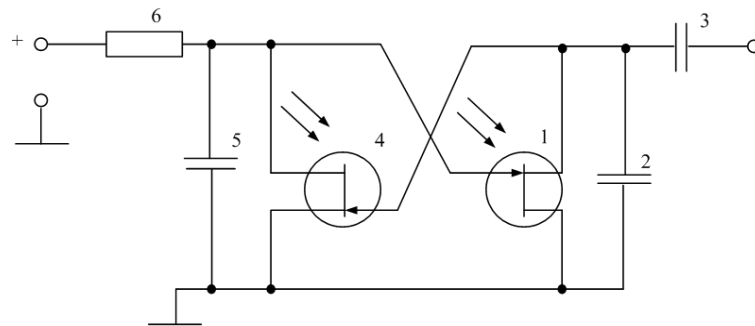


Рисунок 1.15 – Гіраторний вимірювальний перетворювач на основі фоточутливих транзисторів

Пристрій працює слідуючим чином: 4 (транзистор) із транзистором 1 (підключеним у зворотному зв'язку) генерує коливання. Транзистор 1, ємність 5 та 4 разом утворюють гіратор (еквівалентну індуктивність), який включено паралельно до 5 (вимірювальною ємності), що створює коливальний контур (КК). Частота якого змінюється зі зміною параметрів контуру. В якості сенсорів використовуються польові фототранзистори, у яких освітлюється область переходу затвор – стік. Дія світла на р-n-переходи транзисторів створює зміну стокових струмів фототранзисторів та величини еквівалентної індуктивності КК, що змінює вихідну частота сенсора.

## 1.5 Оцінювання наукового, технічного та економічного рівня НДР

Однозначно визначити техніко-економічний рівень нової розробки при великій кількості технічних та економічних показників достатньо важко. Однак бажано визначити узагальнюючу оцінку техніко-економічного рівня НДДКР з розробки пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта. Перспективність теми даної магістерської кваліфікаційної роботи можна оцінити за допомогою бального методу оцінок НДДКР. Бальна оцінка полягає в тому, що кожному параметру присвоюється певний бал в залежності від різних факторів. Для узагальнюючої оцінки технічного рівня береться сума балів за всіма показниками.

Таблиця 1.1 Порівняння технічних показників аналогу та нової розробки

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога
Напруга живлення логічної частини схеми	В	6	5	1,2
Напруга живлення обмоток реле схеми	В	15	12	1,25
Струм навантаження	мА	500	500	1,0
Максимальний струм	мА	600	600	1,0
Об'єм незалежної статичної ОЗУ	байт	56	56	1,0
Діапазон робочих температур	°С	0...+100	0...+120	1,2

В таблиці 1.2 наведено критерії та бальна оцінка для визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи.

Таблиця 1.2 – Критерії та бальна оцінка для визначення наукового, технічного та економічного рівня науково-дослідної роботи.

Критерії оцінки	Шкала критеріїв	Індекс оцінки
Час, необхідний для проведення НДР	2 роки і менше	+2
	3 роки	+1
	4 роки	0
	5-6 років	-1
	7 років і більше	-2
Технічні показники результатів розробки	Вище рівня кращих світових зразків	+2
	На рівні кращих світових зразків	0
	Нижче рівня кращих світових зразків	-2
Можливості отримання авторських свідоцтв на винахід	Впевненість в отриманні авторських свідоцтв	+2
	Часткові можливості	0
	Можливості немає	-1
Строк окупності витрат	2 роки і менше	+3
	3-4 роки	+2
	5 років	0
	6-7 років	-1
	8 років і більше	-2

Виходячи з цього, для ефективного дослідження доцільно орієнтуватися на час проведення НДДКР - 2 роки і менше (+2), при чому технічні показники результатів плануються на рівні кращих світових зразків (0); існує впевненість в отриманні авторських свідоцтв (+2); строк окупності витрат в межах 5-ти років складе (0) балів.

В таблиці 1.3 наведено можливі результати оцінки теми НДДКР.

Таблиця 1.3 – Можливі результати оцінки теми НДДКР

Сума індексів	Оцінка теми
Позитивна(+)	Розробка є досить перспективною
Задовільна(0)	Розробка перспективна
Негативна(-)	Розробка не перспективна

Проаналізувавши дані таблиць 1.2 та 1.3, та підрахувавши загальну суму балів  $(+2+0+2+0=+4)$ , робимо висновок, що розробка є досить перспективною.

### 1.6 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки (результатів НДДКР), створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу. Рекомендується здійснювати оцінювання комерційного потенціалу розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 1.3[55].

Таблиця 1.4 - Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	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 роботоздатність 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

Продовження таблиці 1.4

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

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо до таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	експерт		
	1	2	3
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	2
2	2	3	4
3	3	2	3
4	2	3	2
5	3	2	2
6	2	3	2

Продовження таблиці 1.5

7	3	2	3
8	2	3	3
9	3	3	3
10	3	2	3
11	2	3	3
12	3	2	3
Сума балів	30	30	30
Середньоарифметична сума балів СБ	30		

За даними таблиці 1.5 зробимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними в таблиці 1.6 [55].

Таблиця 1.6 - Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11 - 20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 30 балів, що, згідно таблиці 1.6, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній).

## 1.7 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості для нового рішення

В процесі дослідження розробки пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта необхідно розглянути основні технічні показники, які по-різному впливають на загальну якість розробки, для аналізу якості інноваційного рішення.

Узагальнений коефіцієнт якості ( $B_n$ ) для нового технічного рішення розраховуємо за формулою [55]:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (1.3)$$

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

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

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

$\beta_i$  – відносне значення  $i$ -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення  $\beta_i$  для різних випадків розраховують за такими формулами:

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

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (1.4)$$

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:



$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}} ; \quad (1.5)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та майбутньої розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Порівняння основних параметрів пристрою що проектується та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Напруга живлення логічної частини схеми	В	6	5	1,2	0,25
Напруга живлення обмоток реле схеми	В	15	12	1,25	0,25
Струм навантаження	мА	500	500	1,0	0,15
Максимальний струм	мА	600	600	1,0	0,05
Об'єм незалежної статичної ОЗУ	байт	56	56	1,0	0,05
Діапазон робочих температур	°С	0...+100	0...+120	1,2	0,25

Узагальнений коефіцієнт якості ( $B_n$ ) для нового технічного рішення пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,2 \cdot 0,25 + 1,25 \cdot 0,25 + 1,0 \cdot 0,15 + 1,0 \cdot 0,05 + 1,0 \cdot 0,05 + 1,2 \cdot 0,25 = 1,16$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, запропонована розробка пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості переважає існуючі аналоги приблизно в 1,16 рази.

### **1.8 Висновки та задачі подальших досліджень**

Проведено аналіз сучасного стану розвитку приладів вимірювання оптичного випромінювання, з'ясовано основні задачі, що ставляться перед ними та розглянуто способи їх реалізації за допомогою сучасних технічних засобів.

Новим напрямом в розробці та створенні приладів для вимірювання оптичних сигналів є мікроелектронні вимірювальні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором та первинними сенсорами такими як фотодіодів, фототранзисторів, сонячних елементів.

На основі проведеного аналізу літературних джерел, видно що перетворювачі оптичних величин набули широкого поширення. Розглянемо можливість використання частотних перетворювачів оптичних сигналів для вимірювання швидкості рухомих об'єктів.

Виявлено, що використання мікроконтролера в приладах для вимірювання швидкості рухомих об'єктів дає більше можливостей для гнучкого налаштування системи, а також для координації різних її елементів.

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 30 балів, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній). При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, удосконалений пристрій переважає існуючі аналоги приблизно в 1,16рази. Отже можна зробити висновок про доцільність проведення НДДКР з розробки пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості.

## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ ОБ'ЄКТА

Запропонований оптичний вимірювач швидкості об'єкта на основі використання в якості чутливого елемента фототранзистора з широкою спектральною чутливістю, що дасть можливість точно вимірювати швидкість об'єктів як вдень, так і вночі.

### 2.1 Розробка структурної схеми оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта

Відповідно до визначених задач розроблено структурну схему пристрою, яку показано на рис. 2.1.

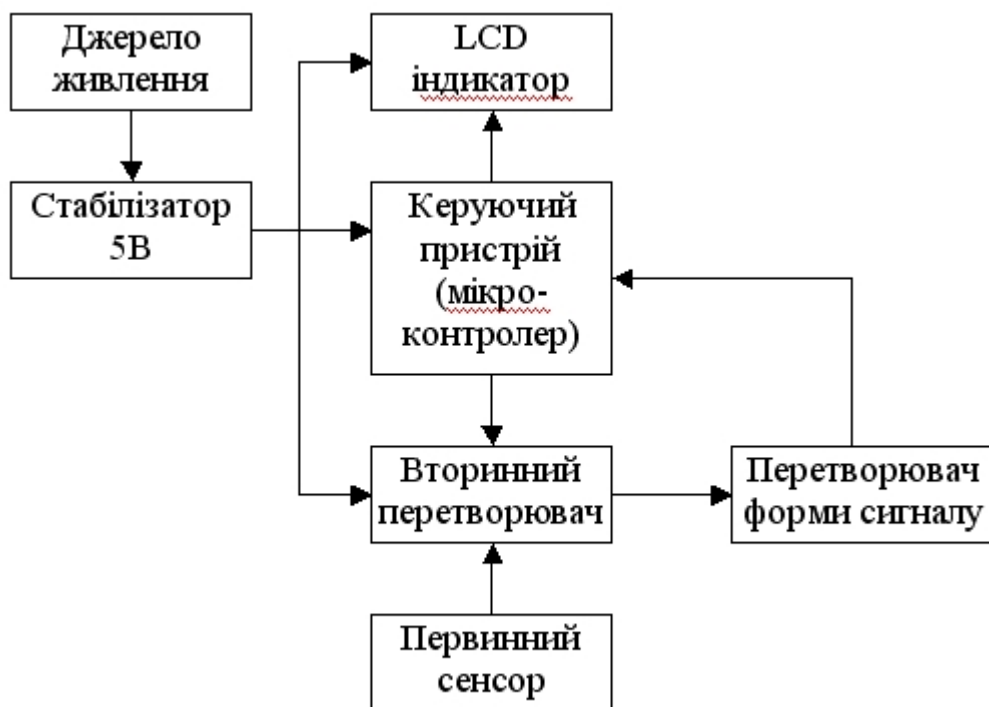


Рисунок 2.1 – Структурна схема вимірювача швидкості об'єкта

Структурна схема містить наступні компоненти. Блок живлення для живлення усіх блоків оптичного вимірювача швидкості об'єктів. Стабілізатор напруги на 5В, який служить джерелом напруги, що відповідає значенням високих рівнів напруг мікроконтролера. LCD індикатор, який служить для відображення результатів роботи пристрою, зокрема, для відображення результатів вимірювання швидкості об'єкта. Керуючий пристрій на основі мікроконтролера, який обробляє вхідну інформацію, розраховуючи відповідну швидкість об'єкта та надсилаючи її на LCD індикатор, та у відповідні моменти часу при певних умовах формує сигнали керування компонентами пристрою, таким чином координуючи роботу в цілому. Первинний сенсор на основі фототранзистора з широкою спектральною чутливістю, який сприймає оптичну інформацію з досліджуваного об'єкта та передає її на вторинний перетворювач. Вторинний перетворювач, який являє собою автогенератор на основі транзисторних структур з від'ємним опором, частота вихідного сигналу якого залежить від величини освітлення фототранзистора. Тобто він служить для перетворення оптичного сигналу в частотний. Перетворювач форми сигналу служить для перетворення синусоподібного сигналу з вторинного перетворювача у більш прийнятний для мікроконтролера імпульсний сигнал.

## **2.2 Схема електрична принципова оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта**

Відповідно до структурної схеми запропоновано електричну схему пристрою (рис. 2.2).

Для даної схеми було обрано мікроконтролер Attiny2313. Цей мікроконтролер має достатні функціональні можливості для реалізації поставлених задач.

Схема працює наступним чином. Пристрій живиться або від мережевого блоку живлення на 5 В або від акумуляторної батареї. Джерелом

стабільної напруги в 5В являється лінійний стабілізатор DA1 з конденсаторами C1, C2.

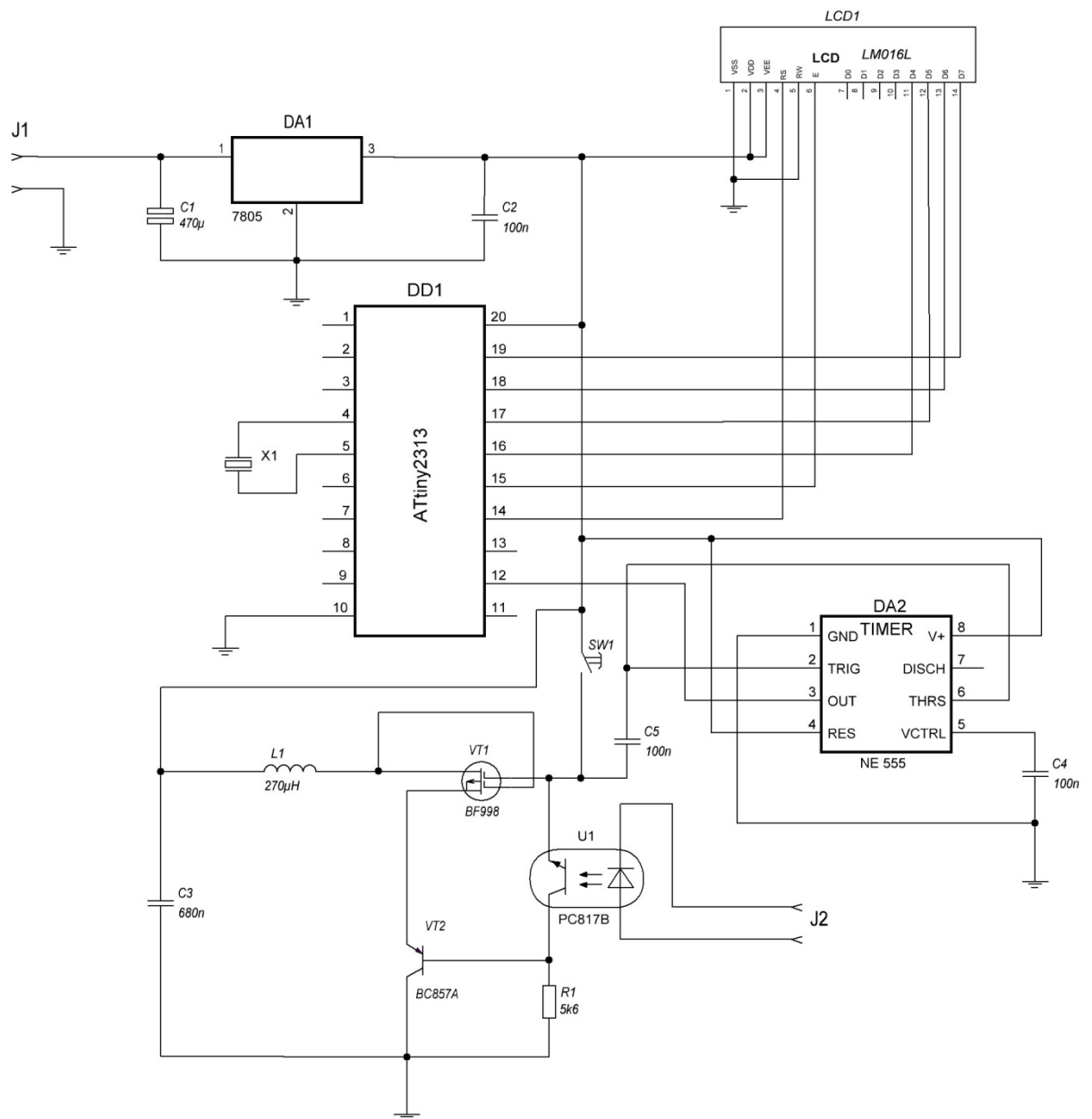


Рисунок 2.2 – Схема електрична пристрою вимірювача швидкості

Принцип роботи пристрою лежить в наступному. Вторинний перетворювач являє собою автогенератор на основі транзисторних структур з від'ємним опором.

Індуктивність L1 разом з еквівалентною ємністю, що виникає на електродах стоку польового транзистора VT1 та колекторі біполярного

транзистора VT2, утворюють гармонічні синусоїдальні коливання певної частоти. Резистор R1 та біполярний фототранзистор, який реалізовано у вигляді оптопари, задають режим живленням транзисторам VT1 та VT2. При дії світла на фототранзистор змінюється опір його бази, що призводить до зміни еквівалентної ємності схеми. Тобто відбувається зміна частоти на виході схеми. Використання даної схеми для вимірювання швидкості об'єктів і засновано на використанні даного принципу. Вихідна частота залежить від величини світлового потоку, що попадає на фототранзистор. Тобто, вимірюючи зміну світлового сигналу на вході, отримуємо зміну частоти на виході вторинного перетворювача, причому швидкість зміни цього сигналу буде пропорційна швидкості вимірюваного об'єкта.

Отже, синусоподібний сигнал надходить на DA2, який являє собою асинхронний RS-тригер зі специфічними порогоми входів, точно заданими аналоговими компараторами та вбудованим подільником напруги, де він перетворюється в сигнал прямокутної форми після чого надходить на мікроконтролер ATtiny 2313, який зчитує кількість і швидкість зміни сигналів і виводить на LCD1 індикатор значення частоти.

Написавши рівняння Еренфеста для електричного кола та вивівши з них функцію перетворення вихідного сигналу можна створити програму для мікроконтролера, яка дасть змогу перетворювати значення частоти на LCD1 індикаторі в значення швидкості відповідного вимірювального об'єкта.

### **2.3 Розробка еквівалентних схем вторинного перетворювача оптичного сигналу з фототранзистором**

Для виявлення властивостей частотного перетворювача величини оптичного сигналу необхідно розробити математичну модель, на основі якої можна отримати залежність активної і реактивної складової повного опору структури від величини оптичного сигналу, аналітичний вираз функції перетворення та рівняння чутливості перетворювача величини оптичного сигналу. Розрахунки виконано на основі еквівалентних схем біполярного

транзистора, двозатворного МДН-транзистора, які складають вторинний перетворювач величини оптичного сигналу на рис. 2.3.

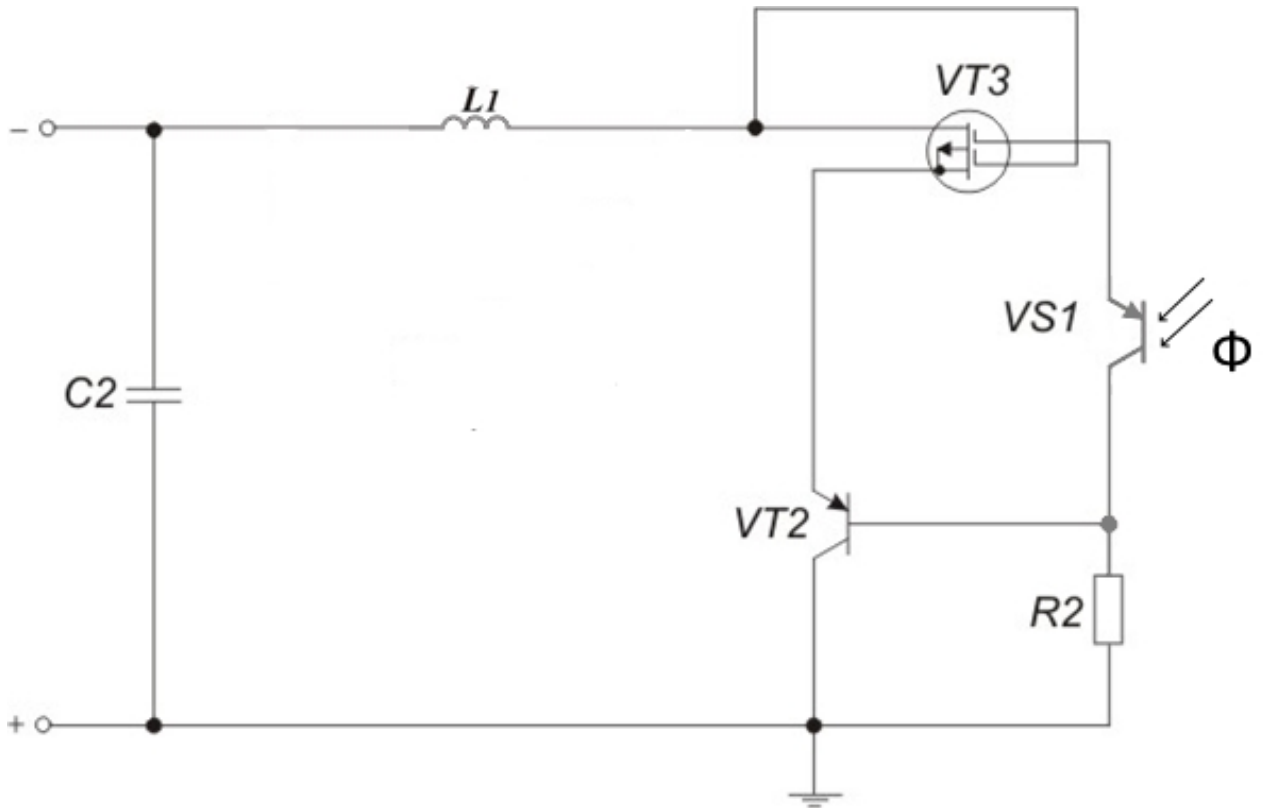


Рисунок 2.3 – Вторинний частотний перетворювачоптичного сигналу з фототранзистором

Для визначення основних параметрів, що характеризують роботу перетворювачаоптичного сигналу (рис. 2.3), на основі еквівалентної схеми, зображеної на рис. 2.5, необхідно розрахувати повний опір на електродах емітер-затвор біполярного транзистора VT2 та МДН-транзистора VT3.

Враховуючи, що фототранзистор можна представити у вигляді еквівалентної схеми з фотодіода та біполярного транзистора (рис. 2.4), складемо еквівалентну схему розробленого перетворювача (рис. 2.5). Відповідно, дослідження фоточутливих властивостей фототранзистора зводиться до розглядання фоточутливих властивостей діода, з яких він складається. Еквівалентна схема фототранзистора у складі еквівалентної схеми перетворювача представлена у вигляді еквівалентного фотодіода  $VD$  утвореного пасивною базою і областю колектора, а також підсилювального транзистора  $VT$  (рис. 2.4).

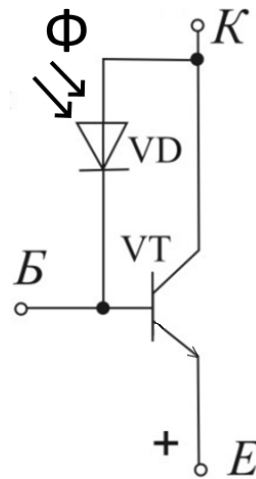


Рисунок 2.4– Еквівалентна схема фототранзистора

При попаданні світлового потоку на n-область бази в ній генеруються нерівноважні електрони та дірки. Дірки будуть являтися неосновними носіями. Збільшення їх концентрації, приводить до росту дрейфової складової компонента струму з бази в колектор. Величина первинного фотоструму буде виражатись таким же співвідношенням, що й і фотодіода на основі р-n-переходу. Відмінність тільки в тому, що нерівноважні носії, беручи участь у фотострумові фототранзистора, збираються з області бази, ширина якої  $W$  менша, чим дифузійна довжина  $L_p$ . Тому густина первинного фотоструму буде виражатись формулою:

$$j_{\phi} = q \frac{\Delta p \cdot W}{\tau_p} \quad (2.1)$$

Внаслідок того що нерівноважні дірки йдуть з бази в колектор, база заряджається негативно щодо емітера, це еквівалентно прямому зсуву емітерного переходу фототранзистора. При прямому зсуві емітерного р-n-переходу з'являється інжектована компонента струму з емітера в базу. При коефіцієнті передачі емітерного струму  $n$  в базі рекомбінують  $(1-n)$  інжектованих носіїв або в  $n$  раз менше, ніж число інжектованих носіїв. В умовах стаціонарного струму число прорекомбінуваних носіїв в базі повинно дорівнювати числу, що пішли з початковим фотострумом. Тому інжекційний струм повинен бути в  $n$  раз більше, ніж первинний фотострум. Струм колектора  $I_K$  буде складатися з трьох компонент: первинного фотоструму  $I_{\phi}$ , інжекційного  $nI_{\phi}$  і теплового  $I_{K0}$  струму

$$I_K = I_{\phi} + nI_{\phi} = (n+1)I_{\phi} + I_{K0}$$



Використовуючи вираз для коефіцієнта посилення в базового струму через конструктивно-технологічні параметри біполярного транзистора, отримуємо:

$$I_K = I_\Phi \frac{2L_p^2}{W^2} + I_{K0}$$

Величина первинного фотоструму  $I_\Phi$  виражається через параметри світлового потоку і характеристики напівпровідникового матеріалу стандартним чином:

$$I_\Phi = q\Delta p \frac{W}{\tau_p} = qGW = qW\eta\alpha\Phi \quad (2.2)$$

При освітленні бази в ній виникають електронно-діркові пари. Так само як і в фотодіоді, пари, які досягли в результаті дифузії колекторного переходу, розділяються полем переходу, неосновні носії з бази рухаються в колектор, при цьому його струм збільшується. Основні носії залишаються в базі, знижуючи її потенціал щодо емітера. При цьому на емітерному переході створюється додаткова пряма напруга, що викликає додаткову інжекцію з емітера в базу і відповідне збільшення струму колектора.

Розглянемо, наприклад, роботу фототранзистора в схемі з загальним емітером при відключеній базі. Фотострум колекторного переходу додається зі зворотним струмом колектора, тому у формулі для струму транзистора замість  $J_{K0}$  слід поставити:

$$J_{K0} + J_\Phi/J = (J_{K0} + J_\Phi)/(1-n) \quad (2.3)$$

При  $J_{K0} \gg J_\Phi$ ,  $J = J_\Phi / (1-n)$ , тобто фотострум фототранзистора посилюється в  $n$  раз в порівнянні струмом фотодіода. Відповідно в  $n$  раз збільшується і чутливість. Струм може бути посилений в 1000 разів, тому чутливість фототранзистора у багато разів більше чутливості фотодіода. Однак оскільки добуток коефіцієнта підсилення на смугу частот величина постійна, то гранична частота зменшується в  $n$  раз.

Наявність дифузії носіїв обумовлює значну інерційність приладу  $\Phi = 10^{-5}-10^{-6}$  с. При звуженні бази час дифузії зменшується, але зменшується і чутливість. Для германієвих фототранзисторів  $SI = 0,2-0,5$  А/лм,  $V_{роб} = 3$  В,

$I_{\text{темн}} = 300 \text{ мкА}$ ,  $\phi = 0,2 \text{ мс}$ . У корпусі приладу передбачено прозоре вікно, через яке світловий потік потрапляє зазвичай на базову область фототранзистора. Площа фото чутливої площадки становить  $1\text{-}3 \text{ мм}^2$

Таким чином, знаючи залежності елементів фототранзистора від дії освітленості, перейдемо до визначення функції перетворення, яка являє собою залежність частоти генерації від величини оптичного сигналу. Для цього необхідно розрахувати повний опір на електродах емітер-колектор біполярних транзисторів на основі еквівалентної схеми (рис. 2.5).

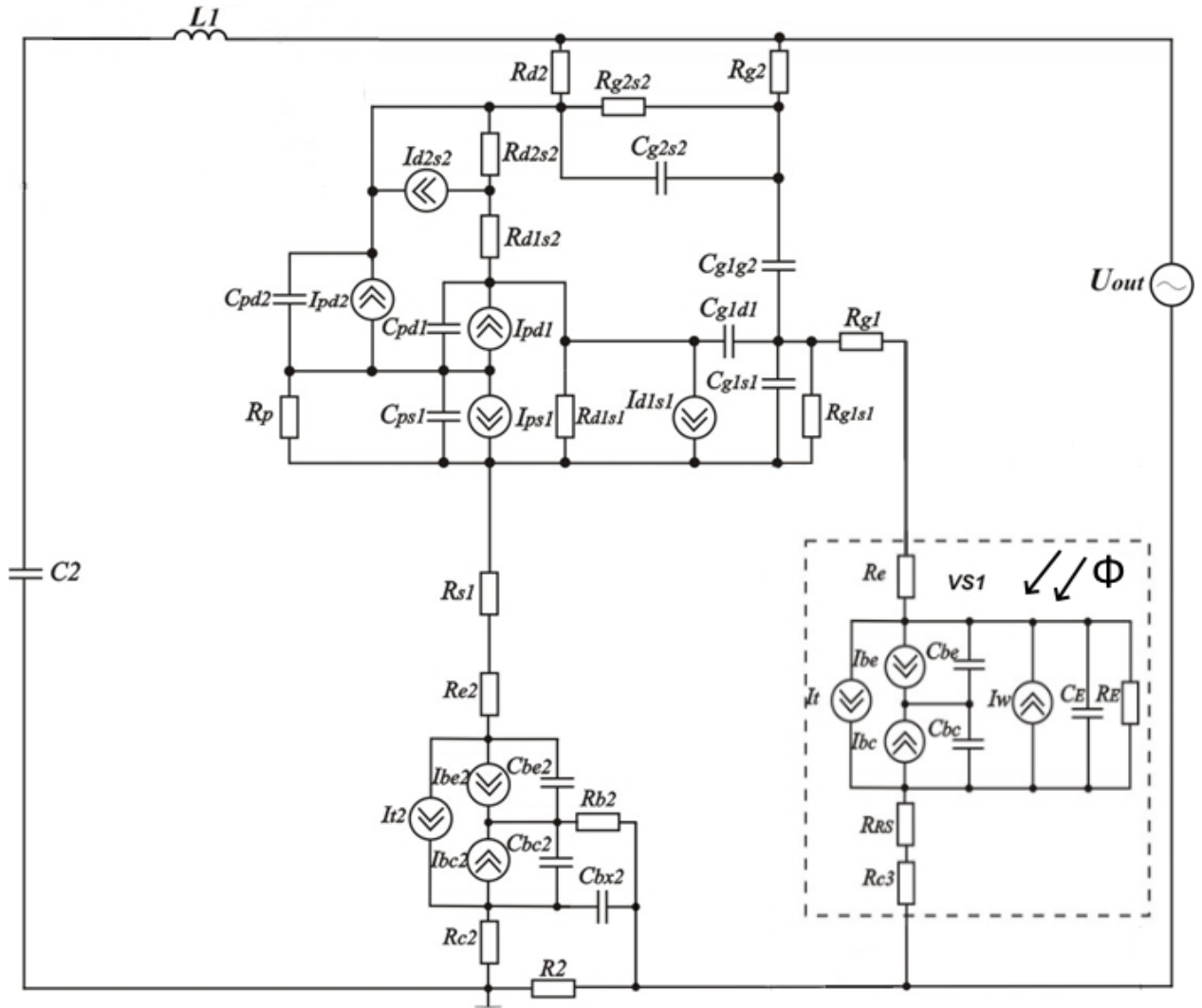


Рисунок 2.5—Еквівалентна схема частотного перетворювача оптичного сигналу з фототранзистором

Для зручності розрахунків на рис. 2.6 зображена перетворена еквівалентна схема оптичного перетворювача.

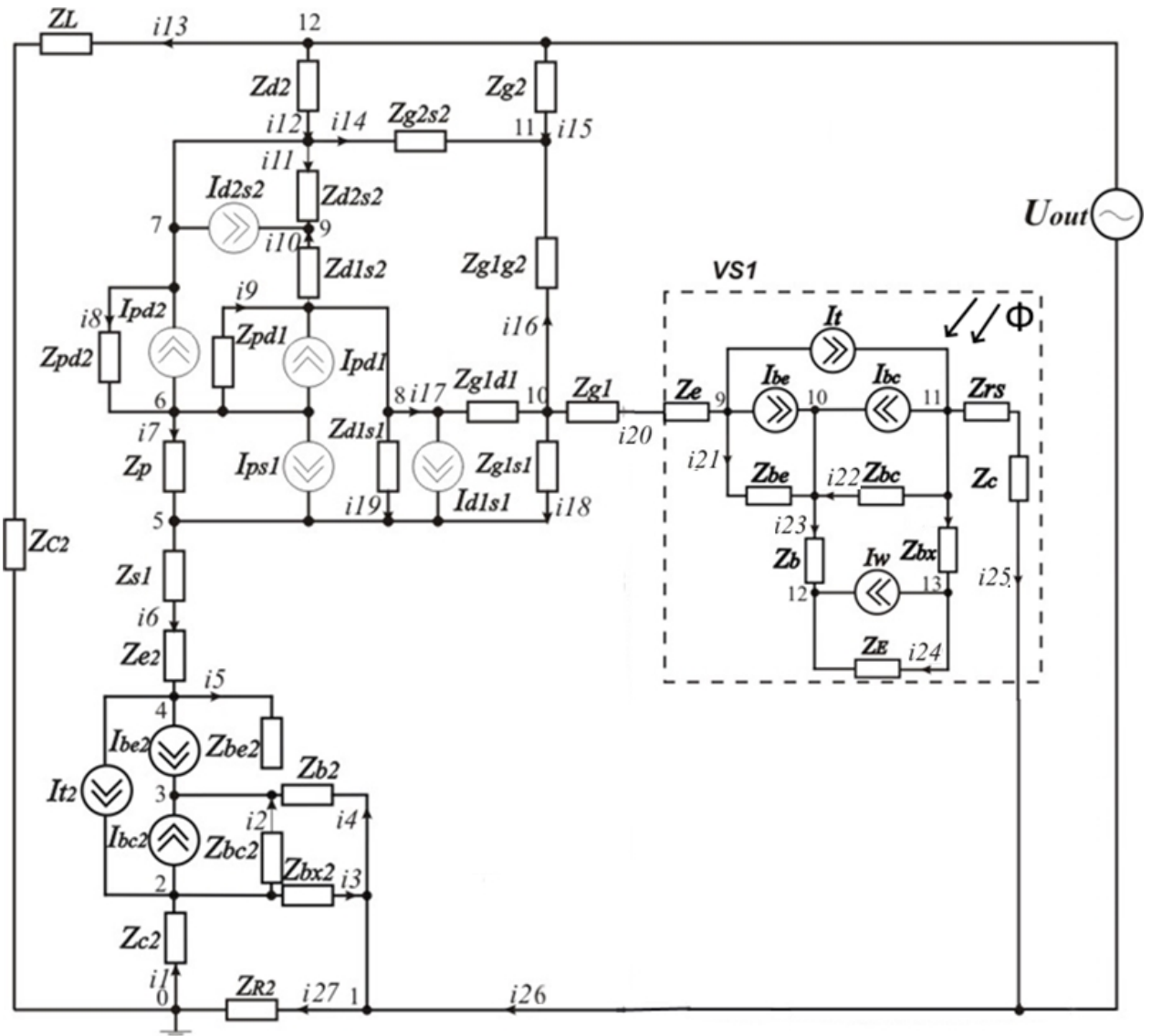


Рисунок 2.6– Перетворена еквівалентна схема частотного перетворювача величини оптичного сигналу з фототранзистором

В еквівалентній схемі на рис. 2.5 використано наступні позначення:  $R_1$  – опір резистора  $R_1$ ;  $R_2$  – опір резистора  $R_2$ ;  $R_{C2}$  – опір колектора транзистора  $VT2$ ;  $R_{e2}$  – опір емітерів транзистора  $VT2$ ;  $R_{b2}$  – опір бази транзистора  $VT2$ ;  $R_{s1}$  – опір витоку транзистора  $VT3$ ;  $R_{g1s1}$  – опір витік-перший затвор двозатворного транзистора  $VT3$ ;  $R_{g1}$  – опір першого затвору транзистора  $VT3$ ;  $R_{d1s2}$ ,  $R_{d2s2}$  та  $R_{d1s1}$  – опори витоку-стоку двозатворного транзистора  $VT3$ ;  $R_p$  – опір підкладки транзистора  $VT3$ ;  $R_{g1s1}$  – опір витік-перший затвор двозатворного транзистора  $VT3$ ;  $R_{g2s1}$  – опір витік-другий затвор двозатворного транзистора  $VT3$ ;  $R_{g2}$  – омичний опір другого затвора

двозатворного транзистора  $VT3$ ;  $R_{s1}$  – опір р-п переходу стоку транзистора  $VT3$ ;  $R_{e1}^{VS}$  та  $R_{e2}^{VS}$  – опір емітера фототранзистора  $VS1$ ;  $R_{c2}^{VS}$  – опір колектора біполярного фототранзистора  $VS1$ ;  $R_{b2}^{VS}$  – опір бази транзистора  $VS1$ ;  $C_2$  – ємність конденсатора  $C_2$ ;  $C_{bx2}$  – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора біполярного транзистора  $VT2$ ;  $C_{bc2}$ ,  $C_{be2}$  – ємність переходу база-колектор та база-емітер транзистора  $VT2$  відповідно;  $C_{ps1}$ ,  $C_{pd1}$  – ємності підкладка-витік та підкладка-стік МДН-транзистора  $VT3$  відповідно;  $C_{pd2}$  – ємність підкладка-стік МДН-транзистора  $VT3$ ;  $C_{g1d1}$  – ємність затвор 1-стік МДН-транзистора  $VT3$ ;  $C_{g2d2}$  – ємність затвор 2-стік МДН-транзистора  $VT3$ ;  $C_{g1s1}$  – ємність затвор-витік МДН-транзистора  $VT2$ ;  $C_{g1g2}$  – ємність між першим і другим затвором МДН-транзистора  $VT2$ ;  $C_{bx2}^{VS}$  – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора біполярного транзистора  $VS1$ ;  $C_{bc2}^{VS}$  – ємність переходу база-колектор біполярного фототранзистора  $VS1$ ;  $C_{be2}^{VS}$  – ємності переходів база-емітер біполярного фототранзистора  $VS1$ ;  $I_{be2}$ ,  $I_{bc2}$ ,  $I_{t2}$  – струми транзистора  $VT2$  відповідно, які визначаються за формулами:

$$I_{be} = I_s \exp\left(\frac{U_{be}}{NE \cdot V_t} - 1\right), \quad I_{bc} = I_s \exp\left(\frac{U_{bc}}{NC \cdot V_t} - 1\right), \quad I_t = \frac{I_{be} - I_{bc}}{Q},$$

де  $I_s = I_{ss} \exp\left(\frac{U_{js}}{NS \cdot V_t} - 1\right)$  – струм насичення;  $V_t = \frac{kT}{q}$  – зворотний струм р-п переходу підкладки,  $U_{be}$  – напруга база-емітер,  $U_{bc}$  – напруга база-колектор,  $U_{js}$  – контактна різниця потенціалів колектор-підкладка,  $NE$  – коефіцієнт неідеальності емітерного переходу,  $NC$  – коефіцієнт неідеальності колекторного переходу;  $NS$  – коефіцієнт неідеальності переходу підкладки;  $Q$  – заряд в базі.

Об'ємний опір бази описується виразом

$$R_b = \begin{cases} R_{bm} + (R_{bx} - R_{bm}) / K_{Qb} \text{ при } I_{Rb} = \infty; \\ R_{bm} + 3(R_{bx} - R_{bm}) \frac{\operatorname{tg} x - x}{x * \operatorname{tg}^2 x} \text{ при } I_{Rb} > 0, \end{cases}$$

$$x = \frac{\sqrt{1 + 14,59025 I_b / I_{Rb}} - 1}{2,4317 \sqrt{I_b / I_{Rb}}};$$

де  $R_{bx}$  – максимальний об'ємний опір бази при нульовому зміщенні;  $R_{bm}$  – максимальний опір бази при великих струмах;  $I_{Rb}$  – струм бази, при якому опір бази зменшується на 50% від повного перепаду між  $R_b$  та  $R_{bm}$ .

Струми стік-витік  $I_{d1s1} = I_{d2s2}$  МДН-транзистора в лінійному режимі ( $U_{ds} < (U_{gs} - U_{nop})$ ) визначаються за формулою [16]

$$I_{d1s1} = I_{d2s2} = \frac{\mu C_0 W}{L} \left( (U_{gs} - U_{nop}) U_{ds} - \frac{U_{ds}^2}{2} \right), \quad (2.4)$$

де  $U_{ds}$  - напруга стік-витік;  $\mu$  - рухливість носіїв заряду,  $U_{gs}$  - напруга затвор-витік;  $W$  - ширина каналу,  $L$  - довжина каналу.

Порогова напруга МДН-транзистора визначається за формулою

$$U_{nop} = \varphi_{SiO_2} + 2\varphi_B - \frac{Q_s}{C_0} + \frac{1}{C_0} \sqrt{4\varepsilon_s q N_A \varphi_B},$$

де  $Q_s$  - питомий поверхневий заряд, Ф/м<sup>2</sup>;  $\varepsilon_s$  - відносна електрична проникність напівпровідника;  $N_A$  - концентрація домішок;  $C_0$  - питома ємність оксиду.

Потенціал Фермі описується за формулою

$$\varphi_B = \pm kT / q \ln(N_A / n_i),$$

де  $n_i$  - концентрація носіїв заряду.

В режимі насичення при  $U_{ds} \geq (U_{gs} - U_{nop})$  струм стік-витік визначається як

$$I_{ds} = \frac{\mu C_0 W}{6L} \left( (U_{gsat} + 2\varphi_B)^2 + U_{gs} (U_{gsat} + 2\varphi_B) - 12\varphi_B (U_{gs} - \varphi_B - \frac{4}{3} K \varphi_B^{1/2}) \right),$$

де  $K = (\varepsilon_s q N_A / C_0)^{1/2}$ ,  $U_{dsat}$  - напруга стік-витік в режимі насичення

$$U_{dsat} = U_{gs} - 2\varphi_B + K^2 (1 - (1 + 2U_{gs} / K^2)^{1/2}).$$

Опір стік-витік  $R_{ds}$  в лінійній області визначається виразом

$$R_{ds} = \frac{L}{W \mu C_0} (U_{gs} - U_{nop}),$$

а в області насичення

$$R_{ds} = \frac{12 \left[ L(U_d - U_{dSat})^{1/2} - 2(\varepsilon_S / qN_A)^{1/2} (U_d - U_{dSat}) \right]}{W\mu C_0 (2\varepsilon_S / qN_A)^{1/2}} \times \frac{1}{(U_{dSat} + 2\varphi_B)^2 + U_{gs} (U_{dSat} + 2\varphi_B) - 12\varphi_B (U_{gs} - \varphi_B - 4/3K\varphi_B^{1/2})},$$

де  $U_d$  - напруга на стокові.

Струм підкладка-витік  $I_{ps1}$  та струми підкладка-стік  $I_{pd1}$ ,  $I_{pd2}$  визначаються за формулами:

$$I_{pd1} = I_{pd2} = I_S (\exp(U_{pd} / (N_D U_{nop})) - 1), \quad (2.5)$$

$$I_{ps1} = I_S (\exp(U_{ps} / (N_S U_{nop})) - 1), \quad (2.6)$$

де  $U_{ps}$  - напруга підкладка-витік,

$U_{pd}$  - напруга підкладка-стік,

$N_D$  та  $N_S$  - коефіцієнти неідеальності переходів підкладка-стік та підкладка-витік відповідно.

На перетвореній схемі (рис. 2.6) використані позначення:

$$\begin{aligned} Z_{R2} &= R_2; & Z_{C2} &= R_{C2}; & Z_L &= j\omega L; & Z_{bc2} &= -j/\omega(C_{bc2}); & Z_{be2} &= -j/(\omega C_{be2}); \\ Z_{bx2} &= -j/(\omega C_{bx2}); & Z_{e2} &= R_{e2}; & Z_{e1}^{vs} &= R_{e1}^{vs}; & Z_{C1}^{vs} &= R_{C1}^{vs}; & Z_{bc1}^{vs} &= -j/\omega(C_{bc1}^{vs}); & Z_{c2}^{vs} &= R_{C2}^{vs}; \\ ; & Z_{bc2}^{vs} &= -j/\omega(C_{bc2}^{vs}); & Z_{be2}^{vs} &= -j/\omega(C_{be2}^{vs}); & Z_{bx2}^{vs} &= -j/\omega(C_{bx2}^{vs}); & Z_{s1} &= R_{s1}; \\ Z_{pd2} &= -j/(\omega C_{pd2}); & Z_{pd1} &= -j/(\omega C_{pd1}); & Z_{d1s1} &= R_{d1s1}; & Z_{g1d1} &= -j/(\omega C_{g1d1}); \\ Z_{d2} &= R_{d2}; & Z_{g2} &= R_{g2}; & Z_p &= R_p / (1 + \omega^2 R_p^2 C_{ps1}^2) - j(R_p^2 \omega C_{ps1} / (1 + \omega^2 R_p^2 C_{ps1}^2)); \\ Z_{g1s1} &= R_{g1s1} / (1 + \omega^2 R_{g1s1}^2 C_{g1s1}^2) - j(R_{g1s1}^2 \omega C_{g1s1} / (1 + \omega^2 R_{g1s1}^2 C_{g1s1}^2)); & Z_{g1} &= R_{g1}; \\ Z_{g2s2} &= R_{g2s2} / (1 + \omega^2 R_{g2s2}^2 C_{g2s2}^2) - j(R_{g2s2}^2 \omega C_{g2s2} / (1 + \omega^2 R_{g2s2}^2 C_{g2s2}^2)). \end{aligned}$$

## 2.4 Розрахунок параметрів та характеристик вторинного перетворювача оптичного сигналу на основі фототранзистора

Вольт-амперна характеристика розробленого перетворювача має ділянку від'ємного опору, що дозволяє компенсувати втрати енергії в коливальному контурі, який утворений еквівалентною ємністю на електродах емітер-затвор біполярного транзистора VT2 та МДН-транзистора VT3 із пасивною індуктивністю  $L_1$ .

На основі системи рівнянь (2.7) за допомогою програмного пакету Matlab13 розрахована активна та реактивна складові повного опору, теоретичні та експериментальні залежності яких від величини оптичного сигналу показані на рис. 2.6–2.7 для схеми перетворювача із транзистором VT2–BC957 А, VT3 - BF998, конденсатором  $C2$  - 370 нФ та резистором  $R2$  - 8 кОм.

Для визначення функції перетворення необхідно знайти залежність частоти генерації від величини оптичного сигналу. Система рівнянь Кірхгофа, складена на основі еквівалентної схеми (рис. 2.7), прийнявши вузол 0 як базисний, має вигляд:

$$\begin{cases}
 \phi_2 y_3 + \phi_3 y_4 + \phi_{20} y_{27} = U_{out} (y_3 + y_4 + y_{27}); \\
 -\phi_2 (y_1 + y_2 + y_3) + \phi_3 y_2 = -U_{out} y_3 + I_{bc2} - I_{t2}; \\
 \phi_2 y_5 - \phi_3 (y_2 + y_4 + y_5) + \phi_4 y_5 = -U_{out} y_1 - I_{be2} - I_{bc2}; \\
 \phi_3 y_5 - \phi_4 (y_5 + y_6) + \phi_5 y_6 = I_{be2} + I_{t2}; \\
 \phi_4 y_6 - \phi_5 (y_6 + y_7 + y_{18} + y_{19}) + \phi_6 y_7 + \phi_8 y_{19} + \phi_{10} y_{18} = -(I_{ps1} + I_{d1s1}); \\
 \phi_5 y_7 - \phi_6 (y_8 + y_7 + y_9) + \phi_7 y_8 + \phi_8 y_9 = I_{ps1} + I_{pd2} + I_{pd1}; \\
 \phi_6 y_8 - \phi_7 (y_2 + y_8 + y_{11} + y_{14}) + \phi_9 y_{11} + \phi_{11} y_{14} = I_{d2s2} - I_{pd2} - U_{out} y_{12}; \\
 \phi_5 y_{19} + \phi_6 y_9 - \phi_8 (y_9 + y_{10} + y_{17} + y_{19}) + \phi_9 y_{10} + \phi_{10} y_{17} = I_{d1s1} - I_{pd1}; \\
 \phi_7 y_{11} + \phi_8 y_{10} - \phi_9 (y_{10} + y_{11}) = -I_{d2s2}; \\
 \phi_5 y_{18} + \phi_8 y_{17} - \phi_{10} (y_{16} + y_{17} + y_{18} + y_{20}) + \phi_{11} y_{16} + \phi_{13} y_{20} = 0; \\
 \phi_7 y_{14} - \phi_{11} (y_{14} + y_{15} + y_{16}) + \phi_{10} y_{16} = -U_{out} y_{15}; \\
 \phi_7 y_{12} + \phi_{14} y_{15} = U_{out} (y_{12} + y_{13} + y_{15}); \\
 \phi_{10} y_{20} - \phi_{13} (y_{20} + y_{21}) + \phi_{14} y_{21} = -(I_{be1}^{vs} + I_{t1}^{vs}); \\
 \phi_{10} y_{20} - \phi_{13} (y_{20} + y_{21}) + \phi_{14} y_{21} = -(I_{be1}^{vs} + I_{t1}^{vs}); \\
 \phi_{13} y_{21} - \phi_{14} (y_{21} + y_{22} + y_{23}) + \phi_{15} y_{22} + \phi_{16} y_{23} = I_{be1}^{vs} + I_{bc1}^{vs}; \\
 \phi_{14} y_{22} - \phi_{15} (y_{22} + y_{24} + y_{25}) + \phi_{16} y_{24} + \phi_{17} y_{25} = 0; \\
 \phi_{15} y_{25} - \phi_{16} (y_{23} + y_{26}) + \phi_{17} y_{25} + \phi_{14} y_{23} + \phi_{18} y_{26} = I_{t1}^{vs} - I_{bc1}^{vs};
 \end{cases} \quad (2.7)$$

де провідності гілок схеми визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 1/Z_{C1}; \quad y_2 = 1/Z_{bc2}; \quad y_3 = 1/Z_{bx2}; \quad y_4 = 1/Z_{b2}; \quad y_5 = 1/Z_{be2}; \\
 y_6 &= 1/(Z_{s1} + Z_{e2}); \quad y_7 = 1/Z_p; \quad y_8 = 1/Z_{pd2}; \quad y_9 = 1/Z_{pd1}; \quad y_{10} = 1/Z_{d1s2}; \\
 y_{11} &= 1/Z_{d2s2}; \quad y_{12} = 1/Z_{d2}; \quad y_{13} = 1/(Z_L + Z_{C3}); \quad y_{14} = 1/Z_{g2s2}; \quad y_{15} = 1/Z_{g2}; \\
 y_{16} &= 1/Z_{g1g2}; \quad y_{17} = 1/Z_{g1d1}; \quad y_{18} = 1/Z_{g1s1}; \quad y_{19} = 1/Z_{d1s1}; \quad y_{20} = 1/(Z_{g1} + Z_{e1}^{vs}); \\
 y_{21} &= 1/Z_{be1}^{vs}; \quad y_{22} = 1/Z_{b1}^{vs}; \quad y_{23} = 1/Z_{bc1}^{vs}; \quad y_{24} = 1/Z_{bx1}^{vs}; \quad y_{25} = 1/Z_{c2}^{vs}; \quad y_{26} = 1/Z_{c1}^{vs}; \\
 y_{27} &= 1/Z_{b2}^{vs};
 \end{aligned}$$

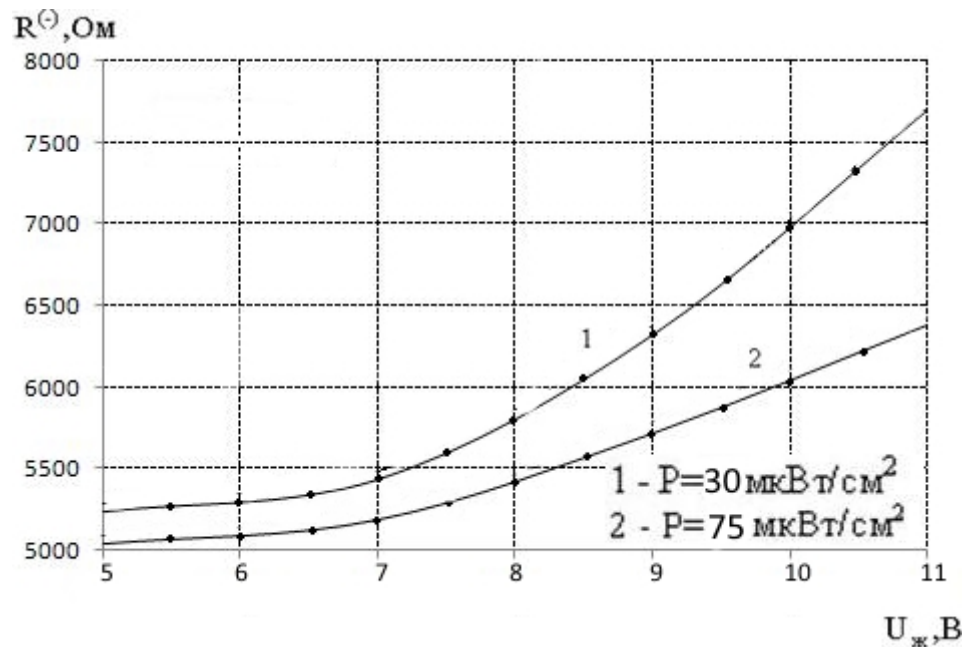


Рисунок 2.7–Теоретичні та експериментальні залежності активної складової повного опору від напруги живлення



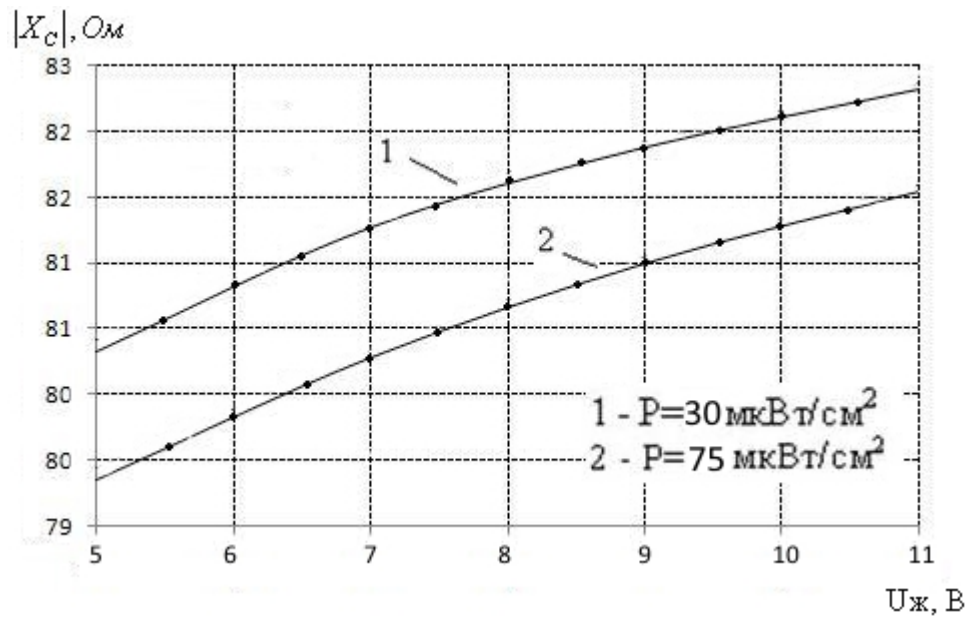


Рисунок 2.8– Теоретичні та експериментальні залежності реактивної складової повного опору від напруги живлення

З рис. 2.7 та 2.8 видно, що із збільшенням напруги живлення активна складова повного опору збільшуються, а зі збільшенням потужності оптичного сигналу – крива залежності опускається.

На рис. 2.9 подані експериментальні залежності частоти генерації перетворювача оптичного сигналу з фототранзистором від напруги живлення  $U_1$ .

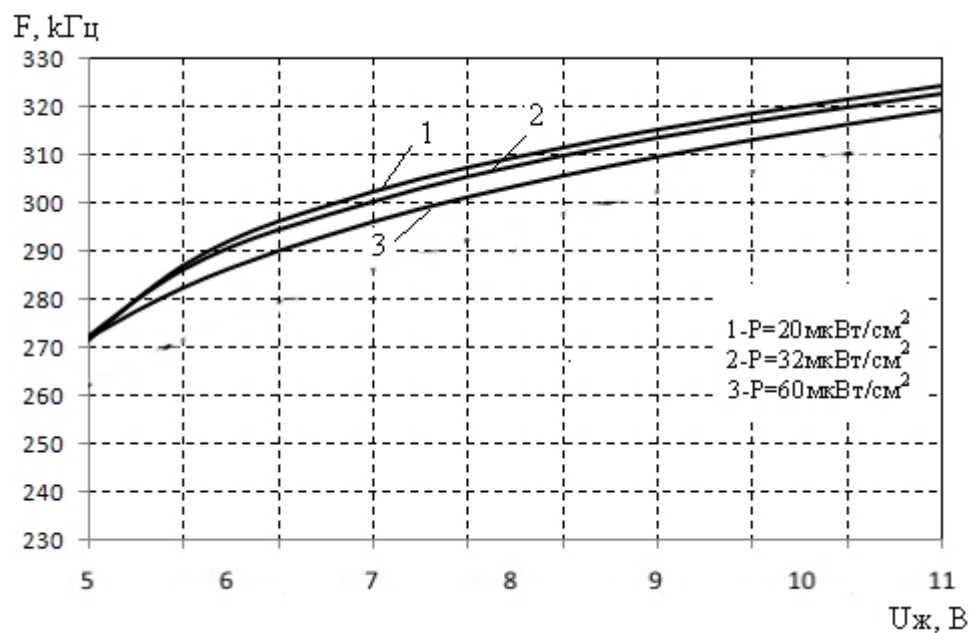


Рисунок 2.9– Експериментальні залежності частоти генерації оптичного перетворювача із фототранзистором від напруги живлення для різних оптичних потужностей

З рис. 2.9 видно, що сприятливим режимом роботи перетворювача, при якому частота генерації лінійно залежить від напруги живлення, є робота при напрузі керування 6 В.

На рис. 2.10 подані експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації магнітного перетворювача із фототранзистором від зміни величини величини оптичного сигналу.

Як видно з рис. 2.10, частота генерації збільшується із збільшенням потужності оптичного сигналу, а на ділянці від 20 до 50 мкВт/см<sup>2</sup> спостерігається більша залежність частоти генерації від зміни оптичного сигналу, також з рис. 2.10 видно, що експериментальні та теоретичні залежності мають добрий збіг.

Залежність частоти генерації від величини оптичного сигналу визначається по контуру зворотного струму згідно еквівалентної схеми (рис. 2.6) на основі теорії стійкості Ляпунова.

Функція перетворення магнітного перетворювача із фототранзистором описується виразом (2.8)

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_w(P) \cdot C_{3\theta} + C_w(P) \cdot C_{c\theta} + C_{c\theta} \cdot C_{3\theta}}{L \cdot C_w(P) \cdot C_{c\theta} \cdot C_{3\theta}}}, \quad (2.8)$$

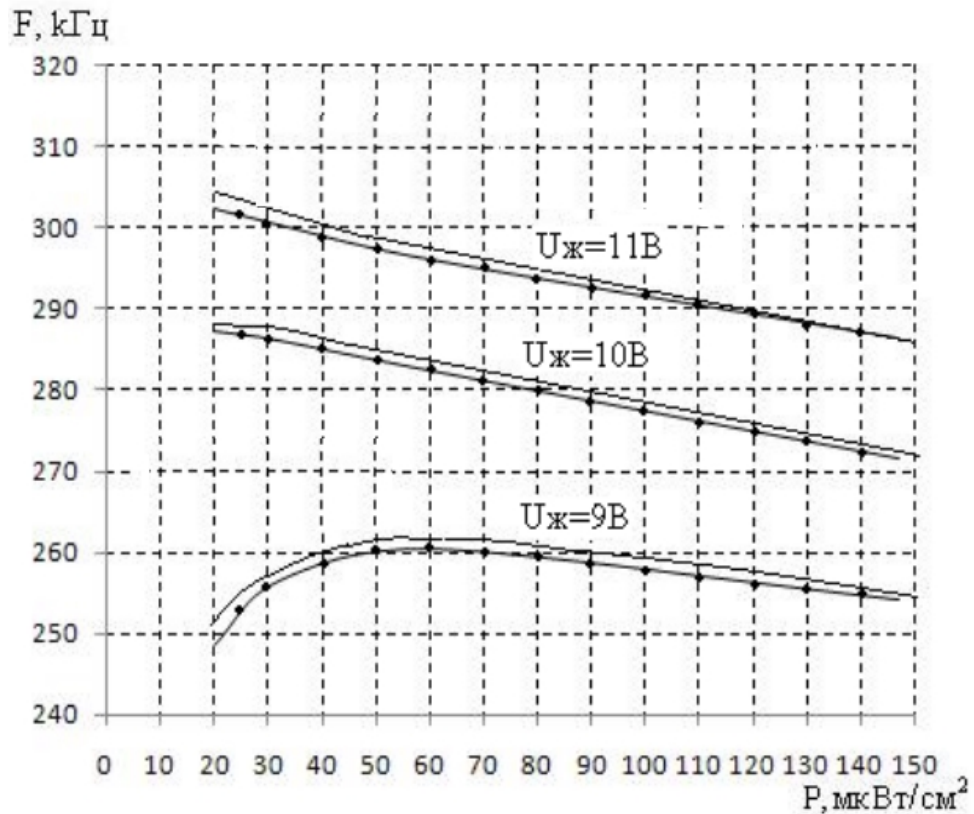


Рисунок 2.10– Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації оптичного перетворювача із фототранзистором від зміни величини потужності оптичного сигналу

На основі (2.8) визначена чутливість магнітного перетворювача із фототранзистором,

$$S_P^F = \frac{1}{4} \frac{(C_{3B} + C_{CB}) \cdot \left( \frac{\partial}{\partial P} C_W(P) \right) \cdot (C_W(P) \cdot C_{3B} + C_W(P) \cdot C_{CB} + C_{CB} \cdot C_{3B}) \cdot \left( \frac{\partial}{\partial P} C_W(P) \right)}{L \cdot C_W(P) \cdot C_{CB} \cdot C_{3B} \cdot \pi \sqrt{\frac{C_W(P) \cdot C_{3B} + C_W(P) \cdot C_{CB} + C_{CB} \cdot C_{3B}}{L \cdot C_W(P) \cdot C_{CB} \cdot C_{3B}}}}$$

Графік залежності чутливості від величини потужності оптичного сигналу представлений на рис. 2.11.

З рис. 2.11 видно, що максимальну чутливість оптичний перетворювач при напрузі живлення 9 В. Із зміною потужності оптичного сигналу від 20 до 85 мкВт/см<sup>2</sup>, чутливість змінюється від 800 до 17 Гц/мкВт/см<sup>2</sup>.

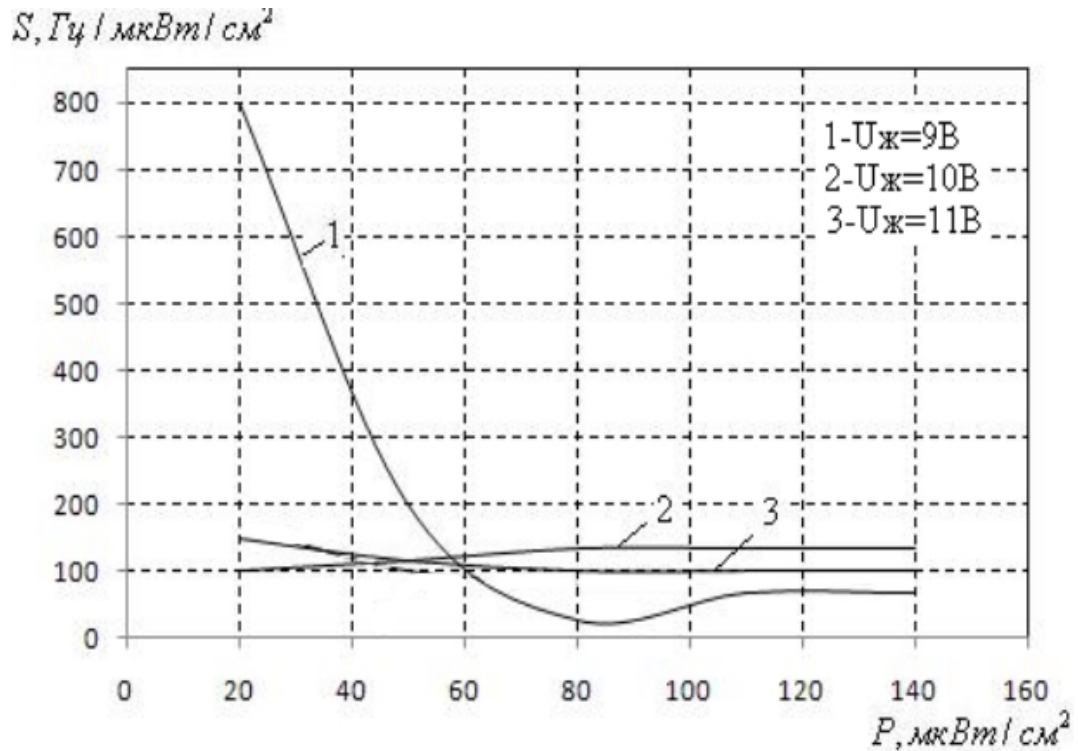


Рисунок 2.11 – Залежність чутливості оптичного перетворювача із фототранзистором від зміни величини потужності оптичного сигналу

У результаті математичного моделювання отримано аналітичні вирази, які можуть бути використані для інженерного розрахунку рівняння чутливості і функції перетворення частотного оптичного перетворювача з пасивним елементом, що забезпечить вибір оптимального режиму його живлення.

Проведено розрахункові дослідження, які показали, чутливість частотного перетворювача з фототранзистором в діапазоні від 0 до 160  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , чутливість змінюється від 800 до 85  $\text{Hz}/\mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

## 2.5 Розробка алгоритму роботи мікроконтролера

На рисунку 2.12 зображено блок-схему алгоритму роботи мікроконтролера.

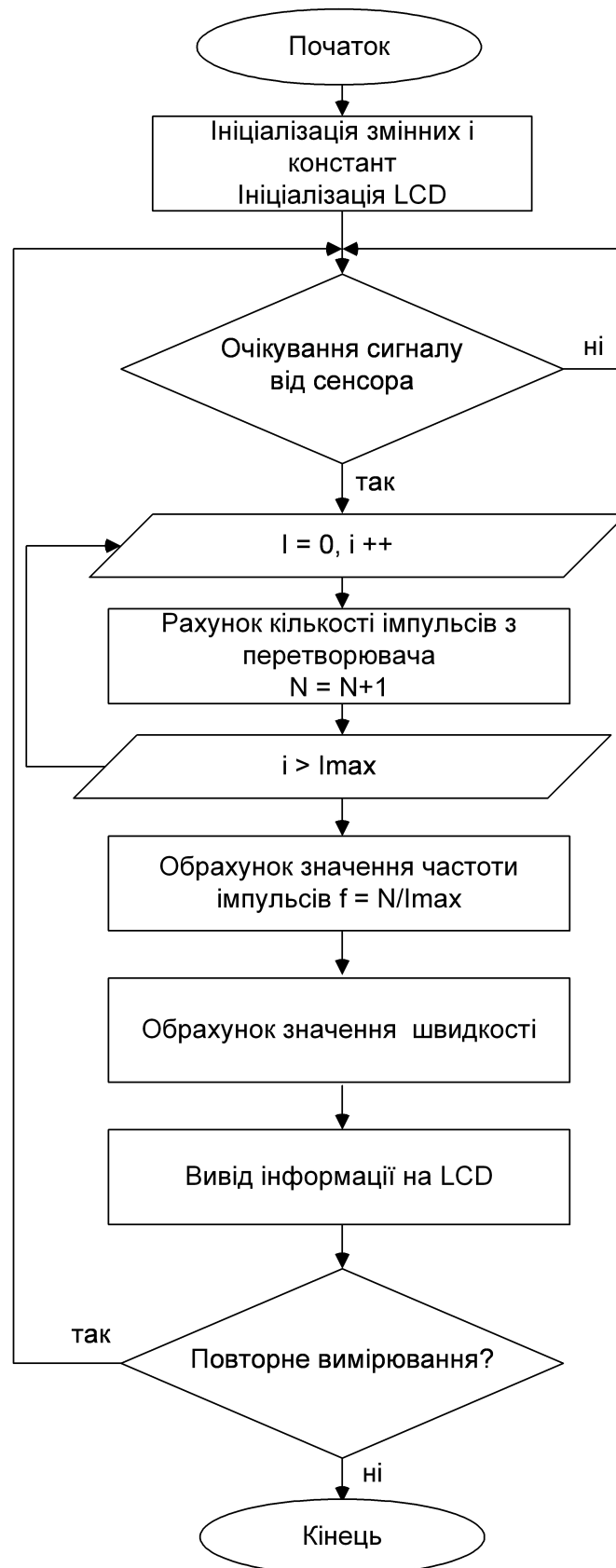


Рисунок 2.12 – Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

Після увімкнення живлення мікроконтролер починає роботу із ініціалізації змінних і констант, які необхідні для подальшого процесу вимірювання. Також відбувається ініціалізація під'єднаних до нього пристроїв, зокрема, LCD індикатора.

Після ініціалізації мікроконтролер переходить в режим вимірювання, постійно опитуючи стан виводів, до яких підключений формувач імпульсного сигналу. Поки надходження сигналу відсутнє пристрій залишається в цьому стані.

Після того, як на відповідні виводи мікроконтролера надійде сигнал з перетворювача, у циклі за певний час підраховуються імпульси і визначається частота сигналу. Після цього на основі значення цієї частоти відбувається її перерахунок в значення швидкості об'єкта.

Після виконання відповідних розрахунків, обраховане значення виводиться на LCD індикатор і мікроконтролер знову переходить у режим очікування наступних вимірів.

## **2.6 Моделювання роботи схеми**

Для моделювання роботи електричної схеми оптичного вимірювача швидкості об'єкта обрано програмне середовище Proteus, так як воно дає змогу в подальшому автоматично розробити топологію друкованої плати для даного пристрою. Використовуючи стандартні компоненти бібліотек було зібрано схему для моделювання (рис. 2.13).

Для мікроконтролера ATTINY 2313 було створено програму мовою C та скомпільовано HEX-файл для його прошивки.

Для моделювання роботи схеми використано оптопару PC817B. В залежності від напруги живлення світлодіода змінюється струм між колектором та емітером транзистора цієї оптопару, і внаслідок цього змінюється резонансна частота коливального контуру.

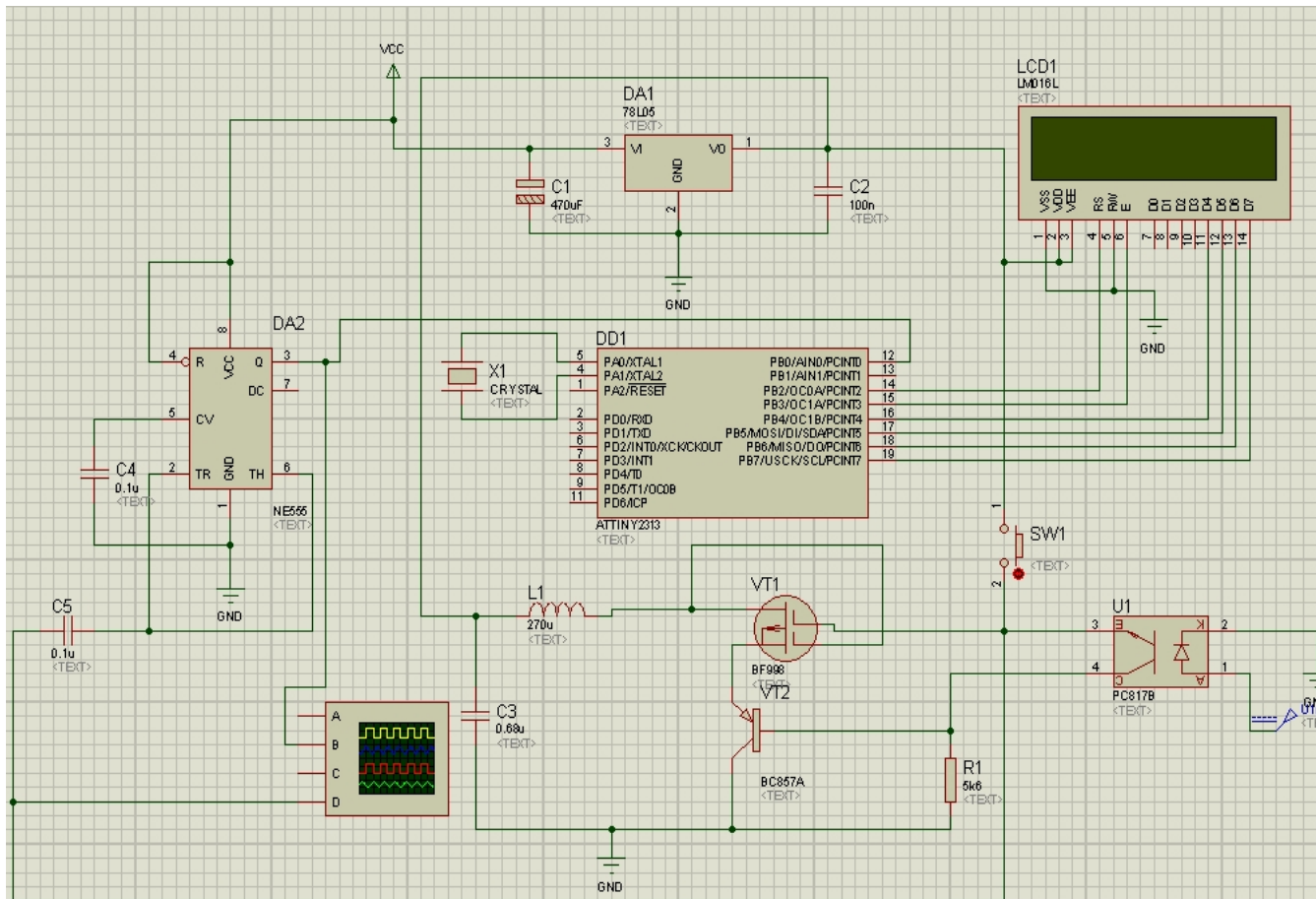


Рисунок 2.13 – Зображення схеми для моделювання

Для мікроконтролера ATtiny 2313 було створено програму мовою C та скомпільовано HEX-файл для його прошивки.

Для моделювання роботи схеми використано оптопару PC817B. В залежності від напруги живлення світлодіода змінюється струм між колектором та емітером транзистора цієї оптопари, і внаслідок цього змінюється резонансна частота коливального контуру.

Гармонічний сигнал з виходу схеми генератора подається на перетворювач, зібраний на основі таймера NE555, та перетворюється на сигнал прямокутної форми тієї ж частоти. З виходу перетворювача сигнал поступає на лічильник мікроконтролера.

На рисунку 2.14 зображено осцилограми з виходу схеми генератора (канал D) та після пристрою перетворення в прямокутний сигнал (канал B).

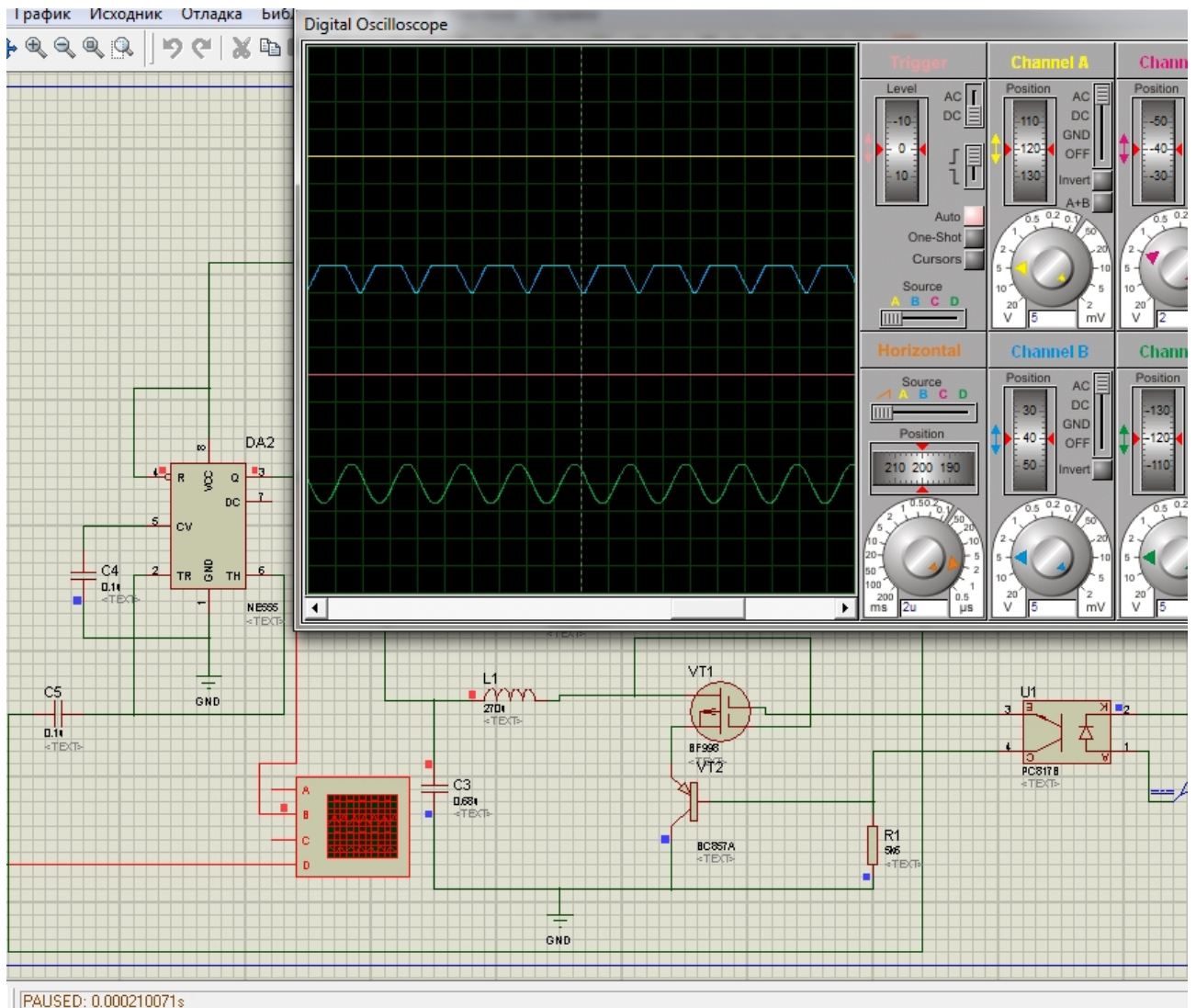


Рисунок 2.14 – Зображення осцилограм вихідних сигналів схеми

Гармонічний сигнал з виходу схеми генератора подається на перетворювач, зібраний на основі таймера NE555, та перетворюється на сигнал прямокутної форми тієї ж частоти. З виходу перетворювача сигнал поступає на лічильник мікроконтролера.

На рисунку 2.14 зображено осцилограми з виходу схеми генератора (канал D) та після пристрою перетворення в прямокутний сигнал (канал B).

В цьому режимі на світлодіод було подано напругу в 1,1 В. При цьому виходячи з осцилограм частота генерації складає близько 240 кГц. Це відображено на рідкокристалічному екрані (рис. 2.15).



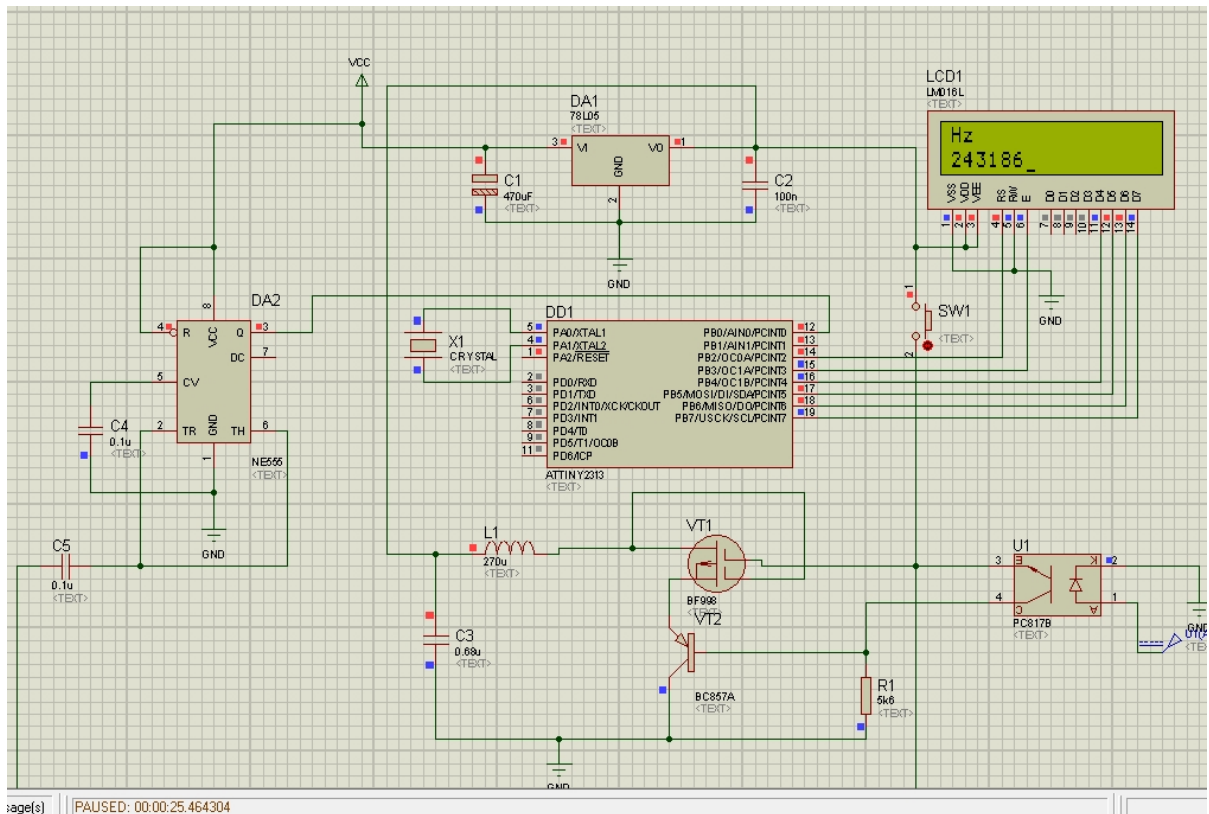


Рисунок 2.15 – Результати вимірювання схеми на рідкокристалічному екрані

Отже, отримані результати моделювання підтверджують працездатність розробленого приладу. Написавши рівняння Еренфеста для електричного кола та вивівши з них функцію перетворення вихідного сигналу можна перетворювати значення частоти на LCD1 індикаторі в значення швидкості відповідного вимірювального об'єкта.

## 2.7 Висновки до другого розділу

1. Розроблено структурну схему оптичного вимірювача швидкості об'єкта та описано призначення її основних складових.
2. На основі структурної схеми розроблено схему електричну принципову з використанням мікроконтролера для координації всіх компонентів пристрою.
3. Промодельовано електричну схему в різних режимах роботи і тим самим підтверджено її функціональність.

## 3 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПЛАТИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ ОБ'ЄКТА

Основними вимогами до конструкції пристрою є економічність, простота підключення та процесу вимірювання швидкості. Для зручності для первинного сенсору передбачено створити роз'єм для швидкої заміни у випадку його виходу з ладу. Решта елементів будуть розміщені на платі.

### 3.1 Обґрунтування вибору та аналіз мікроконтролера

Одним з основних елементів схеми являється мікроконтролер. З міркувань економічності, надійності і габаритів було обрано мікроконтролер AVR архітектури ATtiny2313 (рис. 3.1).

Як бачимо він має два порти. Для розробленого пристрою їх вистачає, один порт для виводу інформації на рідкокристалічний дисплей, а інший для роботи з рештою зовнішніх елементів.

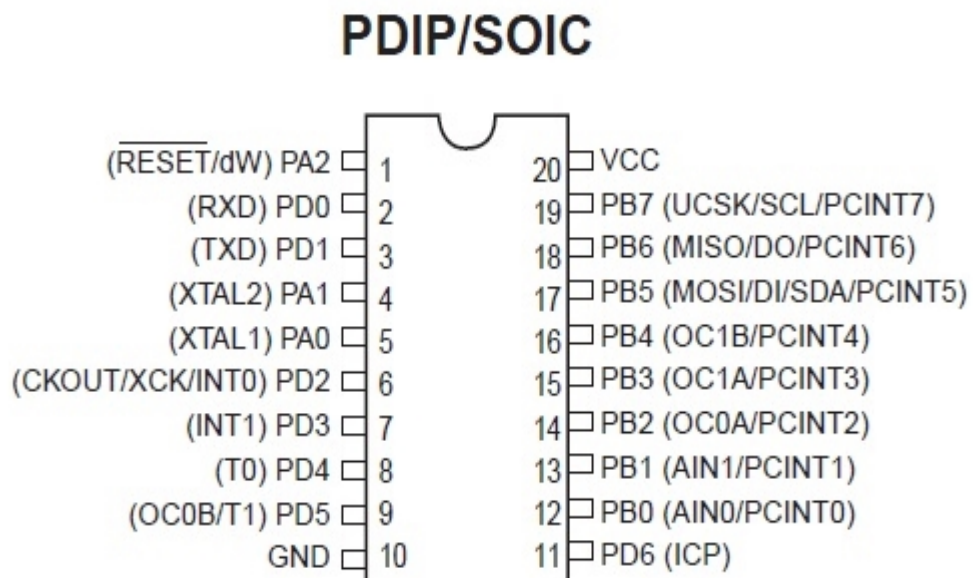


Рисунок 3.1 – Вигляд мікроконтролера ATtiny 2313 з описом виводів

Даний мікроконтролер має такі характеристики:

- Розрядність – 8 біт;
- 32 8-бітних робочих регістра;
- 2 кБ програмованої Flash пам'яті;
- 128 байта енергонезалежної пам'яті EEPROM;
- 128 байта оперативної пам'яті SRAM;
- корпус PDIP 20 вивідний;
- 18 програмованих ліній вводу-виводу;
- споживання в активному режимі при частоті 1 МГц – 230мкА.

### **3.2 Вибір типу та матеріалу друкованої плати**

При виборі типу друкованої плати для конструкції потрібно враховувати техніко-економічні показники. Модель даного приладу не є досить складною за своєю конструкцією і складається з доступних радіоелементів. Вибираємо двосторонню друковану плату, яка характеризується високими комутаційними якостями за рахунок металізації в отворах, підвищеною міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати та низькою вартістю.

Для виготовлення друкованої плати використовують фольговані та нефольговані діелектрики. Вихідними матеріалами для їх виготовлення є папір або склотканина, просякнуті синтетичними смолами, або полімерні плівки з лавсану, фторопласту та ін. На поверхню фольгованих матеріалів мідна фольга приклеюється з однієї чи двох сторін листа в процесі виготовлення. Її товщина становить 20 – 50 мкм.

До матеріалу висуваємо такі вимоги:

- висока технологічність;
- високі електрофізичні властивості;
- забезпечення високої адгезії;
- мінімальні механічні короблення.

В табл. 3.1 подано основні властивості матеріалів друкованих плат [38].

Найчастіше для виготовлення друкованих плат використовують склотекстоліт і гетинакс наступних марок:

- ГФ – фольгований гетинакс;
- СФ – фольгований склотекстоліт;
- ФГС – склотекстоліт фольгований травильний;
- СФПН – склотекстоліт фольгований нагрівостійкий;
- СТФ – склотекстоліт теплостійкий.

Таблиця 3.1 – Властивості матеріалів друкованих плат

Параметри	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, г/см <sup>3</sup>	1,3...1,4	1,3...1,45	1,6...1,8
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+105	-60...+120
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	22	22	8...9

Найоптимальніші параметри для розробки оптичного вимірювача швидкості, згідно табл. 3.1, має склотекстоліт. Тому обираємо двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86, який має товщину фольги 35 мкм, товщину матеріалу з фольгою 1,5 мм. та діапазон робочих температур від –60 до +120 °С. Даний матеріал, згідно з [38], володіє досить високим значенням ударної міцності, та здатен витримувати перевантаження в 25g та механічні удари з тривалістю імпульсу в 13 мілісекунд. Будучи вкритим захисним лаковим покриттям, фольгований склотекстоліт стає не чутливим до вологи у всьому робочому температурному діапазоні, що задовольняє умовам поставленого технічного завдання.

### 3.3 Вибір класу точності та методу проектування друкованої плати

Для даного приладу оптимальним варіантом буде вибір друкованої плати 2-го класу точності, що не вимагає використання дорогих високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання.

До друкованих плат висуваються такі вимоги:

1. Висока точність розташування струмопровідного рисунка
2. Велика величина опору діелектрика
3. Висока механічна міцність
4. Добра здатність до паяння, особливо після тривалого зберігання.

Досягається шляхом вибору типу покриття та технологією його нанесення.

Точність розташування струмопровідного рисунка регламентується вимогами держстандартів. З цією метою введено поняття класу точності друкованих плат.

Таблиця 3.2 – Класи точності друкованих плат

Параметри конструкції плат, мм	Клас точності				
	1	2	3	4	5
1. Ширина друкованих провідників	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
2. Відстань між суміжними провідниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
3. Ширина гарантійного пояса	0,3	0,2	0,1	0,05	0,0025
4. Відносна товщина ДП	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

Для даного виробу (згідно таблиці 3.2), з огляду на не складне трасування оптимальним варіантом буде вибір 2-го класу точності друкованої плати (не вимагає використання високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання).

Даний клас характеризується наступними параметрами конструкції:

- а) ширина провідника – 0,45 мм;

- б) відстань між сусідніми доріжками – 0,45 мм;
- в) ширина гарантійного пояса – 0,2 мм;
- г) відносна товщина ДП – 0,4 мм.

Установка навісних елементів на друкованій платі здійснюється згідно з ГОСТ 4ГО.010.030-81 та ГОСТ4.ГО.010.009. При розташуванні елементів необхідно враховувати наступні фактори: забезпечення високої надійності, мінімізація розмірів, забезпечення тепловідводу та ремонтпридатності.

Елементи розташовуємо з однієї сторони паралельно сторонам плати по принципу найкоротших зв'язків.

Вибираємо крок координатної сітки 1,25 мм. Координатну сітку на початок координат розташовуємо згідно з ГОСТ 2.417-78. Отвори та елементи друкованого малюнку розташовуємо на платі відносно початку координат [39].

Всі контактні площадки розміщуємо у вузлах сітки. Це ж стосується і виводів елементної бази.

### 3.4 Розрахунок ширини провідників

Ширина провідників визначається у розрахунку на струм, який проходить через них, та максимально можливе падіння напруги.

Для допустимого струму :

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \times t}, \quad (3.1)$$

де  $j_{\text{доп}}$  – допустима густина струму для мідного провідника,  $j_{\text{доп}} = 17 \text{ А/мм}^2$  ;

$t$  – товщина фольги,  $t = 35 \text{ мкм}$ ;

$I_{\max}$  – максимальний постійний струм, який проходить через провідник;

$I_{\max} = 0,03 \text{ А}$ , згідно індивідуального завдання.

$$b_{\min} = \frac{0,03}{17 \times 0,035} = 0,05(\text{мм}) = 50(\text{мкм}) < 250(\text{мкм})$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги:

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \times \rho \times l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \times t}, \quad (3.2)$$

де  $\rho$  – питомий опір провідників,  $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$ ;

$I_{\max}$  – струм, який проходить по провіднику,  $I_{\max} = 0,03 \text{ А}$ ;

$l_{\max}$  – максимальна довжина провідника,  $l_{\max} = 0,1 \text{ м}$ ;

$U_{\text{доп}}$  – допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення  $U_{\text{доп}} = 5 \times 0,05 = 0,25 \text{ В}$ );

$t$  – товщина фольги;

$$b_{\min} = \frac{0,03 \times 0,0175 \times 0,1}{0,25 \times 0,035} = 0,06(\text{мм}) = 60(\text{мкм}) < 250(\text{мкм})$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують обраних для другого класу точності.

### 3.5 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT

Розробка друкованої плати в ARES розпочинається з виклику команди Tools>NetlisttoARES в програмі моделювання ISISProteus [40]. Після виклику команди буде автоматично запущено вікно програми ARES з пропозицією вибору необхідного типу друкованої плати, що буде розроблятися. В якості друкованої плати вибираємо плату з двосторонньою металізацією, після чого зберігаємо проект.

В процесі завантаження списку з'єднань для кожного символу схеми в бібліотеках корпусів компонентів \*.LIB знаходиться відповідний корпус.

Якщо необхідний корпус відсутній у бібліотеці, то за допомогою вкладки PackageMode створюємо новий корпус або проводимо вибірку одного із існуючих корпусів.

Перед початком процесу автоматичного трасування друкованої плати, за допомогою вкладки Technology>DesignRules проводимо необхідні налаштування допустимого розміщення провідників, їх мінімальної та максимально можливої товщини, а також зазорів між ними. Для початку трасування виконуємо команду Tools>AutoRouter. Отримаємо розведену плату (рис. 3.2).

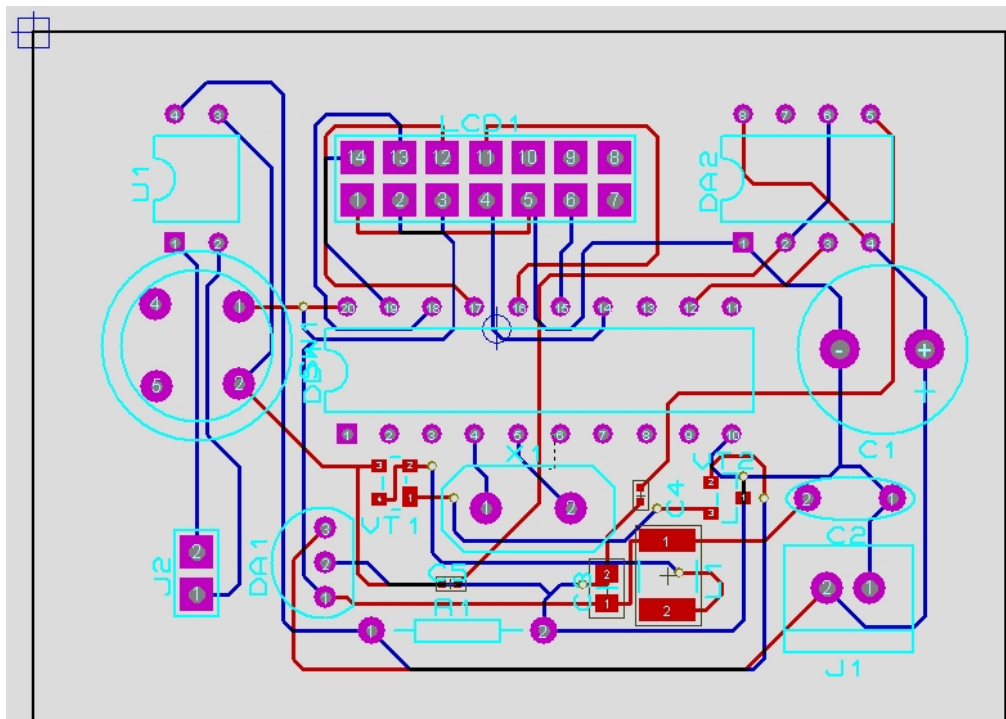


Рисунок 3.2 – Розведена плата в ARES Proteus Layout

Скориставшись функціональними можливостями ARES, побудуємо візуальну трьохвимірну модель друкованої плати з встановленими компонентами. Для цього необхідно виконати команду Output>3DVisualization.

Побудована трьохвимірна модель пристрою (рис. 3.3). А також зображено вигляд плати без елементів (рис. 3.4).



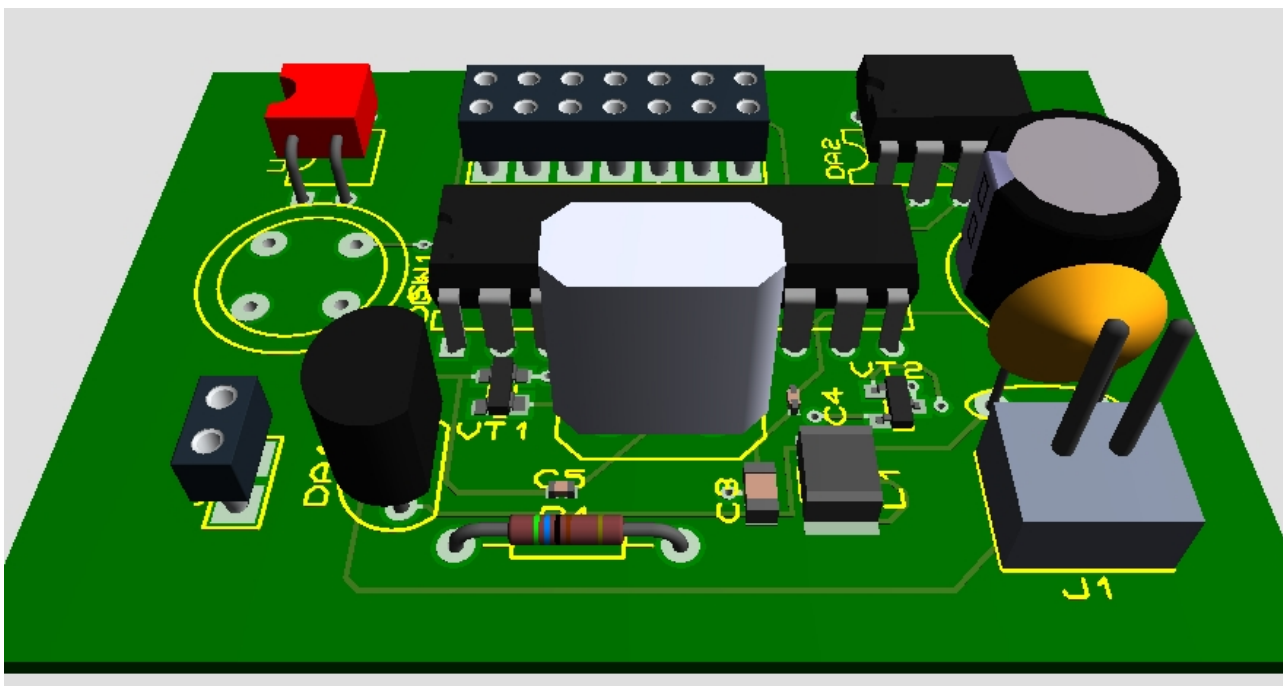


Рисунок 3.3 – Зображення моделі плати пристрою з елементами

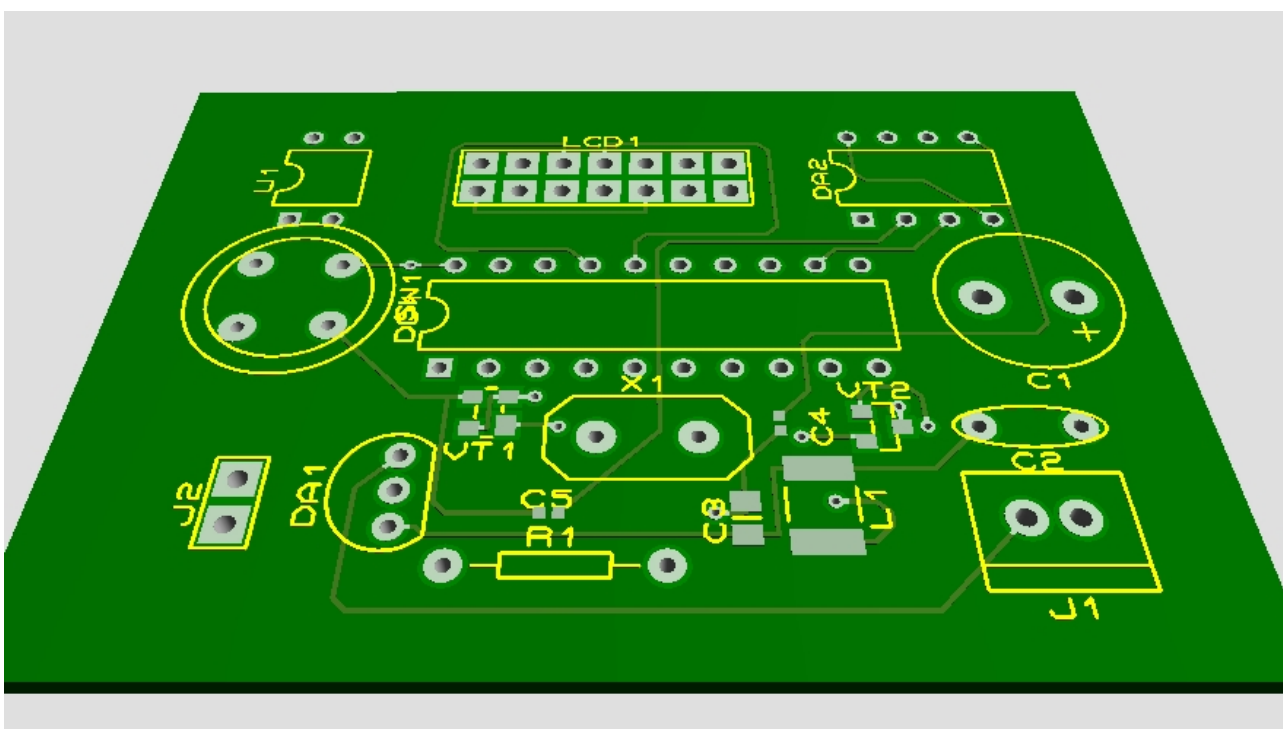


Рисунок 3.4 – Зображення моделі плати пристрою без елементів

Отже, створено модель плати та навісних елементів в програмному пакеті ARES PROTEUS.

### 3.6 Висновки до третього розділу

Здійснено розрахунок параметрів друкованої плати та обрано її тип – двостороння. Цей тип характеризується високими комутаційними властивостями, підвищеною міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати, високою щільністю розташування електронних компонентів та низькою вартістю.

У якості матеріалу друкованої плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86 (ГОСТ 10316 – 78), який має товщину 1,5 мм. Для даного типу плати проведено розрахунок ширини друкованих провідників.

Використовуючи ARESPCBLayout створено проект та проведено моделювання пристрою. На основі проектів ISISProteus та ARESPCBLayout створено електричну принципову схему, друковану плату та складальне креслення, які наведені в додатках.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Мінімізація імовірності виникнення виробничого травматизму та захворювань при забезпеченні регламентованих параметрів умов праці є головним завданням охорони праці.

У даному розділі наводиться аналіз небезпечних, шкідливих і уражаючих для людини та навколишнього довкілля чинників, які утворюються при проведенні розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта. Тут висвітлюються, зокрема, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення кута розсіювання лазерного променя за заданою безпечною відстанню, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення розробки, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Під час розробки вказаного пристрою на працівників вливають ті чи інші небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп згідно [41]. Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: понижена або підвищена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, недостатність або відсутність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, відбита або пряма блискучість, підвищена яскравість світла. Психофізіологічні НШВФ: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, монотонність праці, перенапруження аналізаторів.

### **4.1 Виробнича санітарія та гігієна праці**

#### **4.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат**

Визначаємо для приміщення, де проводяться роботи з розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта, категорію важкості робіт за

фізичним навантаженням – легка Іб.

Відповідно до [42] допустимі показники мікроклімату у робочій зоні для теплого та холодного періодів року приведені у таблиці Г.1 додатку Г.

Розкид значень температури повітря вздовж висоти робочої зони допускається до 3°C. При опроміненні менше 25% поверхні тіла людини, нормована інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК), які використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, з метою контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, що використовуються в даному виробничому приміщенні наведено в таблиці Г.2 додатку Г.

З метою встановлення необхідних за нормативами показників мікроклімату та чистоти повітря робочої зони передбачено такі заходи: у приміщенні повинна бути встановлена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року; з метою підвищення вологості повітря потрібно використовувати зволожувачі або розташовувати місткості з водою за типом акваріумів поблизу опалювальних приладів; застосування витяжної вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

#### **4.1.2 Виробниче освітлення**

З метою створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях великі вимоги пред'являються до якісних та кількісних параметрів освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, де проводяться роботи з розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта, згідно [43] визначаємо, що вони відносяться до III розряду зорових робіт.

Вибираємо контраст об'єкта з фоном – великий, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт 2.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості для штучного освітлення приведені в таблиці Г.3 додатку Г.

Оскільки приміщення розташоване в м. Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а вікна розташовані за азимутом 315°, то для таких умов КЕО визначатиметься за формулою [43, 44]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (4.1)$$

де  $e_n$  – табличне значення КЕО, %;

$m_N$  – коефіцієнт світлового клімату;

$N$  – номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,6} = 2 \cdot 0,9 = 1,8 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,1 (\%).$$

З метою забезпечення нормативних значень показників освітлення передбачено такі заходи: при недостатньому природному освітлені в світлу пору доби доповнення штучним завдяки використанню люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; використання загального штучного освітлення у темну пору доби.

### **4.1.3 Виробничі віброакустичні коливання**

Зважаючи на те, що при експлуатації пристроїв крім усього іншого обладнання застосовується устаткування, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, необхідно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Встановлено, що приміщення, де проводиться робота з розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта може містити робочі місця із шумом та вібрацією, який створюється електродвигунами системи вентиляції.

З метою попередження травмування працюючих під дією шуму та вібрації вони підлягає нормуванню. Основним документом з питань промислового шуму, діючим в Україні, є [45], згідно з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у промислових приміщеннях не повинні перевищувати значень, які наведено в таблиці Г.4 додатку Г. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці Г.5 додатку Г для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

З метою покращення віброакустичного клімату у приміщенні передбачено такі заходи: своєчасне здійснення профілактичного ремонту; застосування в конструкціях обладнання віброізоляції та акустичних екранів.

### **4.1.4 Виробничі випромінювання**

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, де проводиться робота з розробки може містити лазерні випромінювання.

Згідно [46] регламентуються гранично допустимі рівні (ГДР) для кожного режиму роботи лазера і його спектрального діапазону. Граничні дози при однократному впливі на очі і шкіру прямого чи розсіяного лазерного випромінювання наведені в таблиці Г.6 додатку Г.

З метою забезпечення нормованих показників лазерного випромінювання у приміщенні передбачено такі заходи: захист відстанню; використання спеціальних окулярів із світлофільтрами для запобігання ураження органів зору.

Вихідні дані: потужність лазера  $W = 0,65$  Вт, тривалість опромінення  $t = 4$  с, безпечна відстань  $L = 3$  м.

В якості засобу захисту працюючих від лазерного випромінювання вибираємо захист відстанню.

Безпечну відстань  $L$  можна розрахувати за формулою:

$$L = \frac{1,2}{\varphi} \sqrt{\frac{W}{E}} \quad [\text{м}], \quad (4.2)$$

звідки

$$\varphi = \frac{1,2}{L} \sqrt{\frac{W}{E}} \quad [\text{рад}], \quad (4.3)$$

де  $W$  – потужність лазера, Вт;

$E$  – гранично допустима щільність потужності, Вт/м<sup>2</sup>;

$\varphi$  – кут розсіювання променя, рад.

Гранично допустима щільність потужності для хвилі з довжиною  $\lambda = 1800 \dots 2500$  нм і тривалості опромінення від 3 до 100 с визначається за формулою:

$$E = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t} \quad [\text{Вт/м}^2]. \quad (4.4)$$

Підставивши у формулу (4.4) відоме значення тривалість опромінення, отримаємо гранично допустима щільність потужності:

$$E = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{4} = 2500 \quad (\text{Вт/м}^2).$$

Використовуючи формулу (4.3) знайдемо кут розсіювання лазерного променя

$$\varphi = \frac{1,2}{3} \sqrt{\frac{0,65}{2500}} = 0,006 \text{ (рад)}.$$

## **4.2 Промислова та пожежна безпека під час проведення розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта**

### **4.2.1 Безпека щодо організації робочих місць**

Конструкція робочого місця, його розміри і взаємне розташування його елементів мають відповідати антропометричним, психофізіологічним та фізіологічним характеристикам працівника, а також характеру роботи [47].

Площа одного робочого місця повинна становити не менше 6,0 м<sup>2</sup>, об'єм приміщення – не менше ніж 20 м<sup>3</sup>, висота – не менше 3,2 м [48].

Інтер'єр приміщень потрібно оздоблювати дифузно-віддзеркалювальними матеріалами з коефіцієнтом відбиття: стелі 0,7-0,8; стін 0,4-0,5; підлоги 0,2-0,3. Поверхня підлоги повинна бути гладкою, не слизькою, без вибоїн, зручною для вологого прибирання, мати антистатичні властивості. Забороняється використовувати під час оснащення інтер'єру полімери, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

### **4.2.2 Електробезпека**

Причинами ураження електричним струмом у даному приміщенні можуть бути: робота під напругою при ремонтних роботах, несправність електрообладнання, випадковий дотик до струмоведучих частин або металевих частин, які опинилися під напругою. У відповідності до [48] це



приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності значної (більше 75 %) вологості. Через це безпека експлуатації електрообладнання повинна гарантуватись рядом заходів, що передбачають використання ізоляції струмовідних елементів, захисного заземлення, захисних блокувань тощо [49].

#### **4.2.3 Пожежна безпека**

Відповідно до [50] приміщення, в якому проводиться робота з розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта, відноситься до категорії пожежної небезпеки Б. Це приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій приміщення, що розглядається наведені в таблиці Г.7. В таблиці Г.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Встановлюємо, що приміщення, де проводиться робота з розробки, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [51].

#### **4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій**

В даній частині розділу необхідно провести дослідження безпеки роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу так як саме ці фактори можуть вивести з ладу пристрій, чи порушити його роботу.

Вплив радіації призводить як до оборотних, так і необоротних змін електричних властивостей твердотільних приладів і інтегральних схем. Оскільки такі зміни можуть приводити до відмов електронних блоків, значні зусилля останнім часом направляються на розробку методів, що дозволяють уникнути погіршення параметрів мікроелектронного обладнання при опроміненні. У багатьох випадках вирішувати цю проблему доцільно шляхом створення радіаційно-стійких приладів і інтегральних схем [52].

До часток, які при влученні в прилади й схеми можуть викликати небажані наслідки, відносяться електрони, протони, фотони, альфа-частинки, важкі іони. Основні наслідки впливу опромінення на електронні пристрої – іонізація і зсув атомів. Вони викликають різні зміни в напівпровідникових приладах.

При бомбардуванні кремнію фотони й заряджені частинки можуть викликати зсув атомів з положення рівноваги. У випадку фотонів цей процес реалізується за рахунок появи комптоновських електронів з досить великою енергією, які потім взаємодіють із ядрами мішені. Поки ядрам передається мінімальна енергія (для кремнію 2,1 eV), буде відбуватися зсув атомів. Відсутність атома у своєму нормальному положенні – це перший вид радіаційного дефекту.

В опроміненому кремнії можуть зустрічатися різні типи дефектів. Елементарні дефекти іноді називають точковими або ізольованими. Можливе виникнення областей з більшим числом досить близько розташованих дефектів. Така область називається кластером дефектів або каскадом зсувів. Згідно з фізикою напівпровідників, атоми домішок в решітках кремнію мають дискретні рівні енергії, які лежать у забороненій зоні між мінімумом зони провідності й максимумом валентної зони. Порушення періодичності атомної решітки може привести до виникнення деяких рівнів енергії в забороненій зоні. До їхньої появи призводять, зокрема, радіаційні дефекти, і саме ці дефектні стани або центри впливають на електричні властивості напівпровідникових приладів. Тому є необхідним провести дослідження

стійкості роботи оптико-електронного вимірювача швидкості саме при впливах іонізуючих випромінюваннях та електромагнітному імпульсі.

#### 4.3.1 Дослідження безпеки роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази ( $D_{epi}, P$ ), при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але РЕА ще буде працювати з необхідною якістю.

В якості критерію по стійкості роботи можна використати граничне значення дози радіації :

$$D_{ep} = k \cdot D_{zv} \cdot k_{nosl}, \quad (4.5)$$

де  $k$  – коефіцієнт надійності (приймається  $k = 0,92$ );

$D_{zv}$  – доза, яка відповідає початку зворотних змін в елементах;

$k_{nosl}$  - коефіцієнт послаблення радіації (приймається  $k_{nosl} = 5$ ).

Доза, яка відповідає початку зворотних змін в елементах, що дорівнює мінімальному значенню  $D_{epi}$ . Оскільки дана мережа міститиме в своїй будові мікросхеми, тому допустима експозиційна доза цих елементів РЕС становитиме  $D_{epi} = 10^3$  (Р). Отже подальші розрахунки проводяться відповідно до цього значення [53].

Шляхом підстановки числових значень в (4.5) розраховується  $D_{ep}$  :

$$D_{ep} = 0,92 \cdot 10^3 \cdot 5 = 4600(P)$$

Отже, працездатність оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії іонізуючих випромінювань можлива при значеннях  $D_{ep} < 4600P$ .

### 4.3.2 Дослідження безпеки роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: напруга живлення:  $U_{ж} = 12В$ ; максимальна довжина горизонтальної струмопровідної частини електричної принципової схеми:  $l_B = 5$  м.

В якості показника стійкості елементів пристрою до дії електромагнітного імпульсу використовують коефіцієнт безпеки [53]:

$$K_6 = 20 \lg \frac{U_\delta}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 [\text{дБ}] \quad (4.6)$$

де  $U_\delta$  - допустиме коливання напруги живлення;

$U_{B(\Gamma)}$  - напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних системах.

Спочатку визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_\delta = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N \quad (4.7)$$

де  $N$  - допустимі коливання (приймається  $N = 5\%$ )

Шляхом підстановки числових даних в (4.7) отримується:

$$U_\delta = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 (В).$$

Визначається максимально очікувана напруга в горизонтальних лініях [54]:

$$U_B = \frac{U_\delta}{10^{\frac{K}{20}}} \quad (4.8)$$

Після підстановки числових даних:

$$U_B = \frac{12,6}{10^{\frac{40}{20}}} = 0,126 (В).$$

З формули визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля [54]:

$$U_B = E_\Gamma \cdot l_B. \quad (4.9)$$

Отже,  $E_\Gamma$  визначається:

$$E_\Gamma = \frac{U_B}{l_B}. \quad (4.10)$$

Після підстановки числових даних в формулу (4.10):

$$E_\Gamma = \frac{0,126}{5} = 0,0252 (B/m)$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з формули [54]:

$$E_\Gamma = 10^{-3} \cdot E_B. \quad (4.11)$$

Тоді  $E_B$  буде:

$$E_B = 0,0252 \cdot 1000 = 25,2 (B/m).$$

Це значення вертикальної складової напруженості електромагнітного поля можна вважати граничним, до якого гарантується безпечна робота оптико-електронного вимірювача швидкості.

#### 4.4 Висновки

Під час написання даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії, визначення кута розсіювання лазерного променя за заданою безпечною відстанню, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Згідно з виконаними розрахунками безпека роботи оптико-електронного вимірювача швидкості в умовах дії електромагнітного імпульсу

можлива при напруженості вертикальної складової електричного поля в значеннях  $E_B < 25,2 \text{ В/м}$ .

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розрахунок витрат на проведення НДР з дослідження та розробки пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості

В техніко-економічному обґрунтуванні представленому в першому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи було приблизно обґрунтовано доцільність проведення НДР. Тому в даному розділі будуть проведені більш детальні розрахунки витрат на проведення НДР з дослідження та розробки пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості.

Для економічного розрахунку проведення НДР потрібно скласти кошторис витрат, який передбачає розрахунок визначених основних статей витрат.

Основна заробітна плата дослідників та розробників, яка розраховується за формулою [56]:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.1)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

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

$t$  – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 5.1 – Основна заробітна плата дослідників та розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.

1. Керівник проекту	11000,00	523,81	21	11000,00
2. Інженер-конструктор електронних засобів	10000,00	476,19	21	10000,00
3. Технік-лаборант	5500,00	261,90	21	5500,00
Разом				26500,00

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ), що здійснюють підготовку робочих місць та пристроїв необхідних для досліджень, підготовку та формування моделей тощо, розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, за формулою [56]:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.2)$$

де  $t_i$  - норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

$n$  - число робіт по видах та розрядах;

$C_i$  - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.3)$$

де,  $M_M$  - мінімальна місячна оплата праці, грн.,  $M_M = 4173,00$  грн.;

$K_c$  - коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час

Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками,  $K_c = 1$ ;

$K_i$  - тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

$T_p$  - число робочих днів в місяці,  $T_p = 21$  дн;

$t_{зм}$  - тривалість зміни,  $t_{зм} = 8$  годин.

Проведені розрахунки внесемо до таблиці 5.2.

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та працівників, які приймали участь в дослідженнях та розробці НДР розраховується як 11 % від основної заробітної плати розробників та працівників:

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} Z_p, \quad (5.4)$$

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

$$Z_{\text{д}} = (26500,00 + 1091,94) \cdot 11 / 100 \% = 3035,11 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.2 – Витрати на основну заробітну плату працівників

Найменування робіт	Трудоміст- кість, нормо- годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Встановлення обладнання	5,0	2	1,1	27,32	136,62
2. Інсталяція програмного забезпечення	5,5	4	1,35	33,53	184,43
3. Налаштування цифрових блоків	4,6	5	1,7	42,23	194,24
4. Відлаштування датчиків приймача	3,2	5	1,7	42,23	135,13
5. Формування структурної схеми	2,5	3	1,35	33,53	83,83
6. Підбір характеристик компонентів блоку	5,5	6	2	49,68	273,23
7. Випробування блоку	1,5	5	1,7	42,23	63,34
8. Регулювання блоку	0,5	5	1,7	42,23	21,11
Разом					1091,94

Нарахування на заробітну плату розробників  $Z_n$  розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{zn}, \quad (5.5)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату.



$$H_3 = (26500,00 + 1091,94 + 3035,11) * 22 / 100\% = 6737,95 \text{ (грн.)}$$

Витрати на матеріали на даному етапі проведення НДР пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [56]:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (5.6)$$

де, -  $H_i$  - витрати матеріалу  $i$ -го найменування, кг;

$C_i$  - вартість матеріалу  $i$ -го найменування, грн./кг.;

$K_i$  - коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = 1,1$ ;

$n$  - кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір канцелярський офісний	уп.	111,00	5	555,00
Папір креслярський	шт.	24,00	15	360,00
Начиння канцелярське	шт.	157,00	5	785,00
Органайзер офісний	шт.	172,00	5	860,00
Картридж для графічного принтера	шт.	420,00	2	840,00
Картридж для принтера	шт.	691,00	3	2073,00
Диск оптичний	шт.	17,00	3	51,00
FLASH-пам'ять	шт.	333,00	1	333,00
Всього				5857,00

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$M = 5857,00 * 1,1 = 6442,70 \text{ грн.}$$

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню можуть бути

розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.7)$$

де  $Ц_б$  – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

$T_в$  – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці.

Таблиця 5.4 - Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Комп'ютерна аналітична система	17200,00	4	1	358,33
Графічно-обчислювальний комплекс	15600,00	5	1	260,00
Програмний продукт проектування	9100,00	3	1	252,78
Осцилограф	9075,00	5	1	151,25
Офісна техніка	7065,00	4	1	147,19
Лабораторія	300620,00	25	1	1002,07
Всього				2171,62

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [56]:

$$B_e = B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (5.8)$$

де,  $B$  – вартість 1 кВт-години електроенергії,  $B = 2,50$  грн./кВт –година;

$P$  – встановлена потужність обладнання, кВт.;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

$K_n$  – коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Комп'ютерна аналітична система	150	0,62	1	232,50
Графічно-обчислювальний комплекс	140	0,72	1	252,00
Осцилограф	30	0,062	1	4,65
Всього				489,15

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет-послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників.

Величина інших витрат складе:

$$I = (26500,00 + 1091,94) * 220 / 100 = 60702,26 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B = 26500,00 + 1091,94 + 3035,11 + 6737,95 + 6442,70 + 2171,62 + 489,15 + 60702,26 = 107170,72 \text{ (грн.)}$$

Загальна (повна) вартість всієї НДДКР визначається за формулою:

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha}, \quad (5.9)$$

де  $\alpha$  - частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даної НДДКР, у відносних одиницях.

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha} = \frac{107170,00}{1,0} = 107170,00, \text{ грн.}$$

Прогнозування загальних витрат  $ЗВ$  на виконання та впровадження результатів виконаної НДДКР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta}, \quad (5.10)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної НДДКР (від 0,1... до 0,9).

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta} = \frac{107170,00}{0,9} = 119078,00, \text{ грн.}$$

## **5.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки**

В умовах ринку узагальнюючим позитивним результатом, що його отримує підприємство (організація) від впровадження результатів тієї чи іншої розробки, є збільшення чистого прибутку підприємства (організації). Зростання чистого прибутку ми можемо оцінити у теперішній вартості грошей.

Саме зростання чистого прибутку забезпечить підприємству (організації) надходження додаткових коштів, які дозволять покращити

фінансові результати діяльності та виплатити кредити (якщо вони потрібні для впровадження результатів розробки).

При проведенні даної розробки не можливо прямо оцінити зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. У цьому випадку збільшення чистого прибутку підприємства для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \quad (5.11)$$

де  $\Delta C_0$  - покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки;

$N$  - основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

$\Delta N$  - покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$C_0$  - основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

$n$  - кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

$\lambda$  - коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2019 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ .

$\rho$  - коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати  $\rho = 0,2 \dots 0,3$ ;

$v$  - ставка податку на прибуток. У 2019 році  $v = 18\%$ .

В результаті впровадження результатів наукової розробки покращується якість нашої розробки в 1,16 разів, що дозволяє підвищити ціну її реалізації на 30,0 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року - на 400 шт., протягом другого року - ще на 300 шт., протягом третього року - ще на 200 шт. Орієнтовно: реалізація аналогічного пристрою до впровадження результатів наукової розробки складала 3500 шт., а її ціна –5680,00 грн.

Спрогнозуємо збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1 = [30,00 \cdot 3500 + (5680,00 + 30,00) \cdot 400] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 393174,00 \text{ (грн)}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_2 = [30,00 \cdot 3500 + (5680,00 + 30,00) \cdot (400 + 300)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 675094,00 \text{ (грн)}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_3 = [30,00 \cdot 3500 + (5680,00 + 30,00) \cdot (400 + 300 + 200)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 863040,00$$

### **5.3 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності**

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення таких робіт:

1. Розраховують теперішню вартість інвестицій, що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю ми можемо вважати прогнозовану величину загальних витрат  $ZB=119078,00$  грн. на виконання та впровадження результатів НДДКР.
2. Розраховують очікуване збільшення прибутку, що його отримає підприємство (організація) від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження.
3. Для спрощення подальших розрахунків будують вісь часу, на яку наносять всі платежі (інвестиції та прибутки), що мають місце під час виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів.

Платежі показуються у ті терміни, коли вони здійснюються.

Проведемо відповідні розрахунки.

У першому році підприємство отримає збільшення чистого прибутку на 393174,00 грн відносно базового року.

У другому році - збільшення чистого прибутку на 675094,00 грн (відносно базового року).

У третьому році - збільшення чистого прибутку на 863040,00 грн (відносно базового року).

Тоді рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рис. 5.1

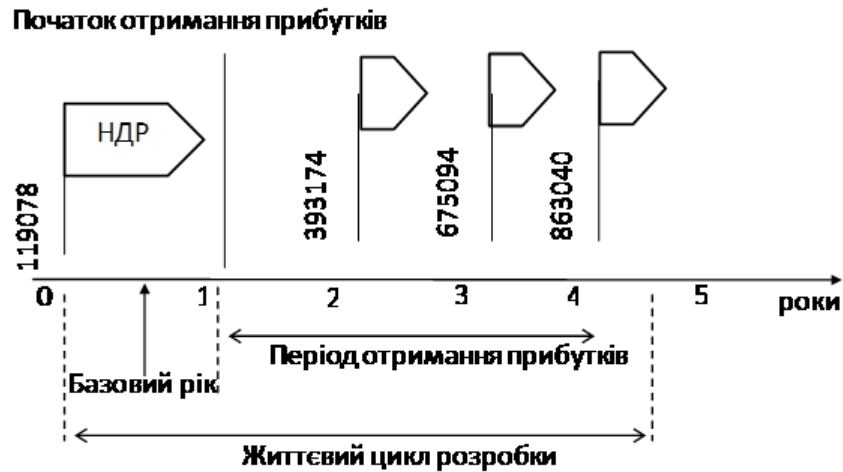


Рисунок 5.1 - Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

4. Розраховують абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{abc}$ . Для цього використовуємо формулу [56]:

$$E_{abc} = (ПП - PV), \quad (5.12)$$

де  $ПП$  - приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;  
 $PV$  - теперішня вартість інвестицій  $PV = 3B$ , грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків  $ПП$  розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.13)$$



де  $\Delta\Pi$  - збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

$T$  - період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

$\tau$  - ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;

$t$  - період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$\begin{aligned} \Pi\Pi &= \frac{393174,00}{(1+0,2)^2} + \frac{675094,00}{(1+0,2)^3} + \frac{863040,00}{(1+0,2)^4} = \\ &= 273037,00 + 390679,00 + 416203,00 = 1079921,00 \end{aligned}$$

Розрахуємо абсолютну ефективність інвестицій, вкладених у реалізацію проекту. Отримаємо:

$$E_{abc} = (1079921,00 - 119079,00) = 960842,00 \text{ грн.}$$

Оскільки  $E_{abc} > 0$ , то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_g$ . Для цього використаємо формулу:

$$E_g = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.14)$$

де  $E_{abc}$  - абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

$PV$  - теперішня вартість інвестицій  $PV = 3B$ , грн;

$T$  - життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = \sqrt[4]{1 + \frac{960842,00}{119078,00}} - 1 = 0,74$$

Розраховану величину  $E_e$  порівнюємо з мінімальною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.15)$$

де  $d$ - середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні (0,14...0,2);

$f$  - показник, що характеризує ризикованість вкладень (0,05...0,1).

$$\tau = d + f = 0,18 + 0,03 = 0,21.$$

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{ок}$  можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}. \quad (5.16)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e} = \frac{1}{0,74} = 1,36 \text{ року.}$$

Якщо  $T_{ок} < 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

#### 5.4 Висновки до розділу

Зростання чистого прибутку забезпечить підприємству (організації) надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності та виплатити кредити. Зростання чистого прибутку для даної розробки складе 1079921,00 грн.

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності. Абсолютна ефективність вкладених коштів для даної розробки складе 960842,00 грн., а відносна ефективність забезпечить прибутковість в межах 74%, що більше мінімальної яка складає 21%. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{ок}=1,36$  року, що менше нормативного терміну.

Враховуючи наведені показники діяльності можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи з дослідження та проектування пристрою оптико-електронного вимірювача швидкості.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасного стану розвитку приладів вимірювання оптичного випромінювання, з'ясовано основні задачі, що ставляться перед ними та розглянуто способи їх реалізації за допомогою сучасних технічних засобів. Новим напрямом в розробці та створенні приладів для вимірювання оптичних сигналів є мікроелектронні вимірювальні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором та первинними сенсорами такими як фотодіодів, фототранзисторів, сонячних елементів. Виявлено, що використання мікроконтролера в приладах для вимірювання швидкості рухомих об'єктів дає більше можливостей для гнучкого налаштування системи, а також для координації різних її елементів.

2. Розроблено структурну схему оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта та описано призначення її основних складових. На основі структурної схеми розроблено схему електричну принципову з використанням мікроконтролера для координації всіх компонентів пристрою. Промодельовано електричну схему в різних режимах роботи і тим самим підтверджено її функціональність.

3. Здійснено розрахунок параметрів друкованої плати та обрано її тип – двостороння. У якості матеріалу друкованої плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86 (ГОСТ 10316 – 78), який має товщину 1,5 мм. Для даного типу плати проведено розрахунок ширини друкованих провідників. Розроблено креслення друкованої плати та складальне креслення, які наведені в додатках. Створено модель плати та навісних елементів в програмному пакеті ARES PROTEUS.

4. В четвертому розділі було розглянуто такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці і

виробничої санітарії, визначення кута розсіювання лазерного променя за заданою безпечною відстанню, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта, безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. В п'ятому розділі було розглянуто такі питання з економічної діяльності, як зростання чистого прибутку, абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Викулин И.М. Полупроводниковые датчики / И.М. Викулин, В.И Стафеев – М.: Советское радио, 1975. – 104 с.
2. Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов / И.М. Викулин, В.И Стафеев– М.: Радио и связь, 1990. – 263 с.
3. Осадчук В.С. Индуктивный эффект в полупроводниковых приборах / Владимир Степанович Осадчук. – К.: Вища школа, 1987. – 155 с.
4. Геролд Г. Современные интеллектуальные измерительные преобразователи / Г. Геролд // Экспресс-информация: Контрольно-измерительная техника. – М: ВИНТИ, 1990. – №28. – С. 1 – 8.
5. Бабаян Р.Р. Преобразователи неэлектрических величин с частотным выходом / Р.Р. Бабаян // Приборы и системы управления. – 1996. – №11. – С. 24 – 27.
6. Физика твердого тела: энциклопедический словарь: в 2 т. / [под ред. В.Г. Барьяхтара]; Национальная академия наук Украины. – К.: Наукова думка, 1998. – 648 с.
7. Литвин І.С. Оптиелектронні перетворювачі для попередньої обробки інформації в системах управління // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1998. – № 325. – С. 97 – 100.
8. Литвин І.С. Вплив первинних перетворювачів оптичного випромінювання та їх характеристик на ефективність обробки зображень // Вісн. нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2007. – № 581. – С. 64 – 70.
9. Грязин Г.Н. Оптико-электронные системы для обзора пространства. – Л.: Машиностроение, 1988. – 218 с.
10. Техническое зрение роботов / В.И. Мошкин, А.А. Петров, В.С. Титов и др.; Под общ. Ред. Ю.Г. Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

11. Пресс Ф.П. Формирователи видеосигналов на приборах с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1978. – 136 с.
12. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л., Смолин О.В. Микроэлектронные фотоприемные устройства. – М.: Энергоатомиздат. – 1984.
13. Интегральные схемы на МДП-приборах. Под. Ред. У. Пеннея. Пер. с англ. под ред. Кармазинского Н.М. – М.: Мир. – 1975.
14. А.Г. Швец, И.М. Раренко. Некоторые аспекты схемотехники оптикоэлектронных сенсоров // *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. – 2006. – № 4. – С. 24 – 27.
15. У. Томпкинс, Дж. Уэбстер. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с комп'ютерами IBMPC: Пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 592 с.
16. У. Тсанг. Техника оптической связи: Фотоприемники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 526 с.
17. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982 – 512 с.
18. Бусурин В.И., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
19. Долманов И. Н. Полупроводниковые приборы с резонансным туннелированием электронов / Долманов И. Н., Толстыхин В. И., Еленский В. Г. / *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1990. – № 7. – С. 66 – 89.
20. McKinnon W.R., Hurd C.M. Conduction in illuminated GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As heterostructures // *J. Appl. Phys.* – 1987. – Vol. 61, № 6. – P. 2250 – 2256.
21. Andrés Cuevas. The early history of bifacial solar cells // *Proc. 14<sup>th</sup> Photovoltaic Science and Engineering Conf., Bangkok, - 2004.* - P. 719-722.
22. Пат. 36423 УКРАЇНА, МКІ 6 G01J 5/24. Фотоприймальний пристрій/ О. Б. Шевчук; заявник та патентовласник Укр. держ. акад. зв'язку ім. О. С. Попова. – № 99126859; заявл. 16.12.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3.
23. Пат. 85367 УКРАЇНА, МПК 6 H01G 9/20. Фоточутливий пристрій / Ю. Ю. Бачеріков; заявник та патентовласник Інст. фізики напівпров. ім. В. Є.

- Лашкаръова НАНУ. – № 2004032273; заявл. 29.03.2004; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.
24. Пат. 2296303 РФ, МПК G01J 1/44. Photoreceiver / А. Н. Червяков, Ю. И. Зеленюк, Л. Н. Костяшкин, В. П. Семенов, С. Ф. Стрепетов; заявитель и патентообладатель Федер. гос. унит. предпр. «Гос. Рязанский приборн. завод». – № 2005134336/28, заявл. 07.11.2005; опубл. 27.03.2007, Бюл. № 9.
25. Ковтонюк Н.Ф., Фоточувствительные МДП-приборы для преобразования изображения / Ковтонюк Н.Ф., Сальников Е.Н. – М.: Радио и связь, 1990. – 160с.
26. Костенко В.Л., Киселев Е.Н. МДП-фототранзистор с непрозрачным затвором// Тез.докл. VI Междунар. н.-т. конф.: Волоконно-оптические линии связи и системы передачи информации. – Запорожье, 1995. – С. 48 – 49.
27. Пат. 40236УКРАЇНА, МКИ G 01K 7/01. Мікроелектронний вимірювач температури / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук; заявник та патентовласник Він. нац. техн. унів. – № 2000106038; заявл. 26.10.2000; опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6.
28. Гольдман В.С. Индуктивно-частотные преобразователи неэлектрических величин / Гольдман В.С. – М.: Энергия, 1968. – 96 с.
29. Алимбиев В.Н. Об индуктивных свойствах квазимонополярных полупроводников / Алимбиев В.Н., Баранов Л.И. // Радиотехника и электроника. – 1973. – Т.18, №12. – 256 с.
30. Носов Ю.Р. Фотоприемники в оптоэлектронике / Носов Ю.Р. – М.: ЦНИИ “Электроника”, 1986. – С. 24 – 42.
31. Викулин И.М. Фотоприемники на однопереходном транзисторе / Викулин И.М. и др. // Приборы и техн. эксперимента. – 1973. – №3. – С. 7 – 20.
32. Бабичев Г.Г. и др. Преобразователь давления с частотным выходом на основе однопереходных тензотранзисторов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – № 3. – С. 48 – 51.



33. Викулин И. М., Курмашев Ш. Д., Мингалев В. А. Фотоприемник на основе однопереходного и Полевого фототранзисторов // *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. – 2006. – № 4. – С. 28 – 30.
34. Викулин И.М., Ильин С.В. Мингалев В.А. Многофункциональный сенсор с цифровой индикацией // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2003. – № 6. – С. 46 – 47.
35. Sun H.J. Photoeffect in common-source and common-drain GaAs MESFET oscillator / Sun H.J., Gutmann P.J, Borrego J.M. // *Solid-State Electron*. – 1981. – V.24 – P.935.
36. Lorigu B. Optical frequency modulated GaAs oscillator / Lorigu B., Guena J, Sautereau J.F. // *Electronics Letters*. – 1981. – T.24, № 24. – P.901 – 902.
37. Пат. 40903 УКРАЇНА, МКИ G 01R27/26. Фоточутливий гіраторний вимірювальний перетворювач / П. А. Молчанов, А. В. Бурехін, П. С. Муляр; заявник та патентовласник Він. нац. техн. унів. – № 2000105974; заявл. 23.10.2000; опубл. 15.08.2001, Бюл. № 7.
38. Медведев А. В. Печатные платы. Конструкции и материалы: монографія / А. В. Медведев. – М.: Техносфера, 2005. – 304 с.
39. Основы проектирования электронных средств. Часть 1: Учебное пособие / Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В./ - 2011г. – 368 с.
40. Proteus. Редактор ISIS [Електронний ресурс] // *radio-hobby*. – Режим доступ: <http://radio-hobby.org/modules/instruction/instr.php?id=15>.
41. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
42. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
43. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
44. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
45. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

46. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
47. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
48. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.
49. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. – Х: "Форт", 2009. – 736 с.
50. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
51. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
52. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.
53. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
54. СанПиН 5804-91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров.
55. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.
56. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75 с.

**Додаток А**  
**Технічне завдання**





**Додаток Б**  
**Схема електрична принципова оптико-електронного вимірювача**  
**швидкості об'єкта**

## **Додаток В**

### **Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера**

**Додаток Г**  
**Допустимі значення виробничих факторів**







**Додаток Д**  
**Креслення друкованої плати оптико-електронного вимірювача**  
**швидкості об'єкта**

**Додаток Е**  
**Складальне креслення оптико-електронного вимірювача швидкості**  
**об'єкта**

Додаток А  
(обов'язковий)

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра електроніки та наносистем

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувач кафедри ЕНС  
д.т.н., проф. Білинський Й. Й.

---

«17» вересня 2019 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**  
до магістерської кваліфікаційної роботи

**Оптико-електронний вимірювач швидкості об'єкта**  
зі спеціальності 171 - «Електроніка»

Керівник,  
д.т.н., професор  
\_\_\_\_\_ Білинський Й. Й.

Дипломник,  
студент гр. ЕЛ-18м  
\_\_\_\_\_ Юськов М. М.

Вінниця, 2019 р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### 1. Найменування і область застосування

Найменування – Оптико-електронний вимірювач швидкості об'єкта.

Область застосування – розширення діапазону вимірювання швидкості об'єктів за рахунок ІЧ-випромінювання.

### 2. Основа для (дослідження) розробки

Основою для виконання цієї магістерської кваліфікаційної роботи є завдання на МКР та наказ ректора ВНТУ № 254 від «03» вересня 2019 р.

### 3. Мета та призначення дослідження (розробки)

Мета розробки – розширення діапазону вимірювання оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта за рахунок використання фототранзистора з широкою спектральною чутливістю.

Призначення розробки – розробка оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта.

### 4. Джерела розробки

У процесі розробки оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта рекомендовано залучати патентний пошук та використовувати спеціальну літературу, а саме:

1. А.Г. Швець, И.М. Раренко. Некоторые аспекты схемотехники оптоэлектронных сенсоров // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2006. – № 4. – С. 24 – 27.
2. У. Томпкинс, Дж. Уэбстер. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBMPC: Пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 592 с.
3. У. Тсанг. Техника оптической связи: Фотоприемники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 526 с.
4. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982 – 512 с.
5. Бусурин В.И., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

### 5. Технічні вимоги

5.1 Вимоги до електричних параметрів та режимів:

- напруга живлення, В.....5;
- робоча частота, МГц.....1;
- максимальне значення струму в провіднику, А.....0,03;
- пікове споживання, мА.....100;

5.2 Вимоги до конструкції:

- матеріал друкованої плати – двосторонній фольгований склотекстоліт

товщина, мм.....1.5;

- розміри, не більше, мм, 60×40×1,5;

5.3 Вимоги до стійкості при механічній дії:

Оптико-електронний вимірювач швидкості об'єкта має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час та після дії механічних навантажень: вібраційних з частотою 1–2000 Гц і максимальним прискоренням 1–5 g, багатократних ударів тривалістю 13 мс з прискоренням 25–70 g, лінійних навантажень з максимальним прискоренням 25 g.

5.4 Вимоги до стійкості при кліматичній дії:

Оптико-електронний вимірювач швидкості об'єкта має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час і після дії кліматичних факторів: температури повітря від +120°C (верхнє значення) до –60°C (нижнє значення); відносної вологості навколишнього середовища 70 % при температурі +35°C.

5.5 Вимоги до надійності:

Мінімальне напрацювання пристрою у вказаних режимах та умовах має бути не меншим за 10 000 год. Інтенсивність відмов у режимах й умовах роботи не має перевищувати.

## **6 Економічні показники:**

Орієнтовна ефективність і термін окупності витрат на розробку й освоєння виробництва продукції, лімітна ціна, економічна перевага розробленої продукції порівняно з кращими зразками.

## **7 Стадії і етапи розробки:**

7.1 Розробка технічного завдання.

7.2 Огляд відомих схем вимірювачів швидкості за літературними й патентними джерелами.

7.3 Вибір та аналіз варіантів рішення.

7.4 Вибір оптимального варіанта й детальна розробка його конструктивної схеми.

7.5 Розробка функціональної та електричної схеми вимірювача.

7.6 Моделювання роботи вимірювача.

7.7 Розробка складального креслення.

7.8 Техніко-економічні розрахунки, розробка заходів безпеки життєдіяльності.

7.9 Оформлення текстової документації та ілюстративних матеріалів для захисту МКР.

## **8 Порядок контролю і приймання:**

- рубіжний контроль виконання окремих розділів МКР;
- попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи;
- захист МКР перед ДЕК

## Додаток В

## Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера



Рисунок В.1 –  
Блок-схема  
алгоритму  
роботи  
мікроконтролер  
а





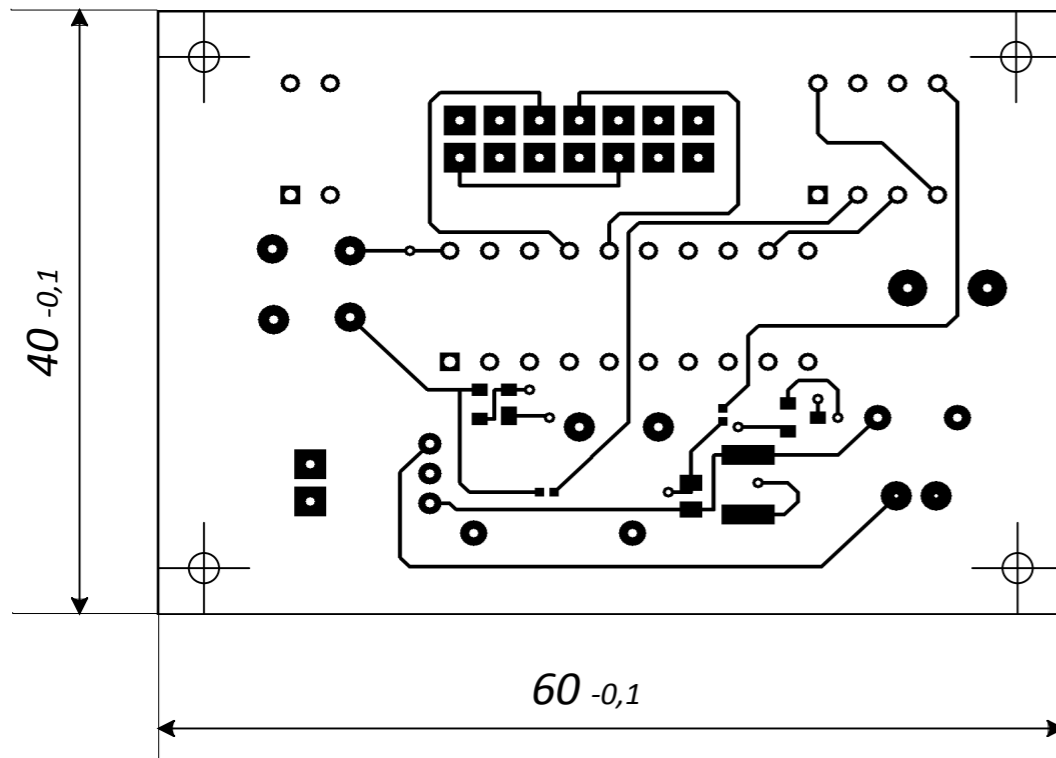
	Найменування	К-ть	
	<u>Конденсатори</u>		
C1	470 мкФ ±20%	1	
C3	680 нФ ±5%	1	
C2, C4, C5	100 нФ ±10%	3	
	<u>Резистор</u>		
R1	5,6 кОм ±5%	1	
	<u>Котушка індуктивності</u>		
L1	270 мкГн ±5%	1	
	<u>Транзистори</u>		
VT1	BF998	1	
VT2	BC857A	1	
	<u>Оптопара</u>		
U1	PC817B	1	
	<u>Кварцовий резонатор</u>		
X1	16 МГц	1	
	<u>Перемикач</u>		
SW1	SWBUTTON	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1	ATTINY 2313	1	
DA1	78L05	1	
DA2	NE555	1	
	<u>Роз'єми</u>		
J1	SIL-100-02	1	
J2	CONN-H2	1	
	<u>Дисплей</u>		
LCD1	LM016L	1	

					08-05.МКР.171.08.001 ПЕЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Юськов М. М.			Оптико-електронний вимірювач швидкості об'єкта Перелік елементів	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Білинський Й.Й.						
Реценз.		Семенов А. О.				ЕЛ-18м		
Н. контр.		Кравченко Ю.С.						
Затверд.		Білинський Й.Й.						

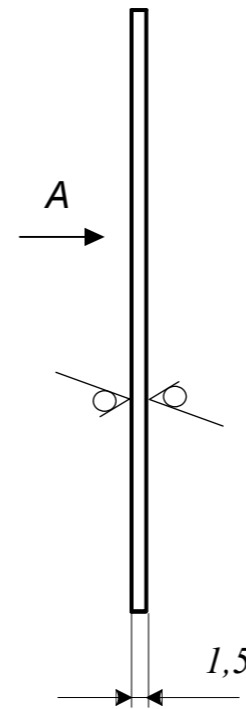
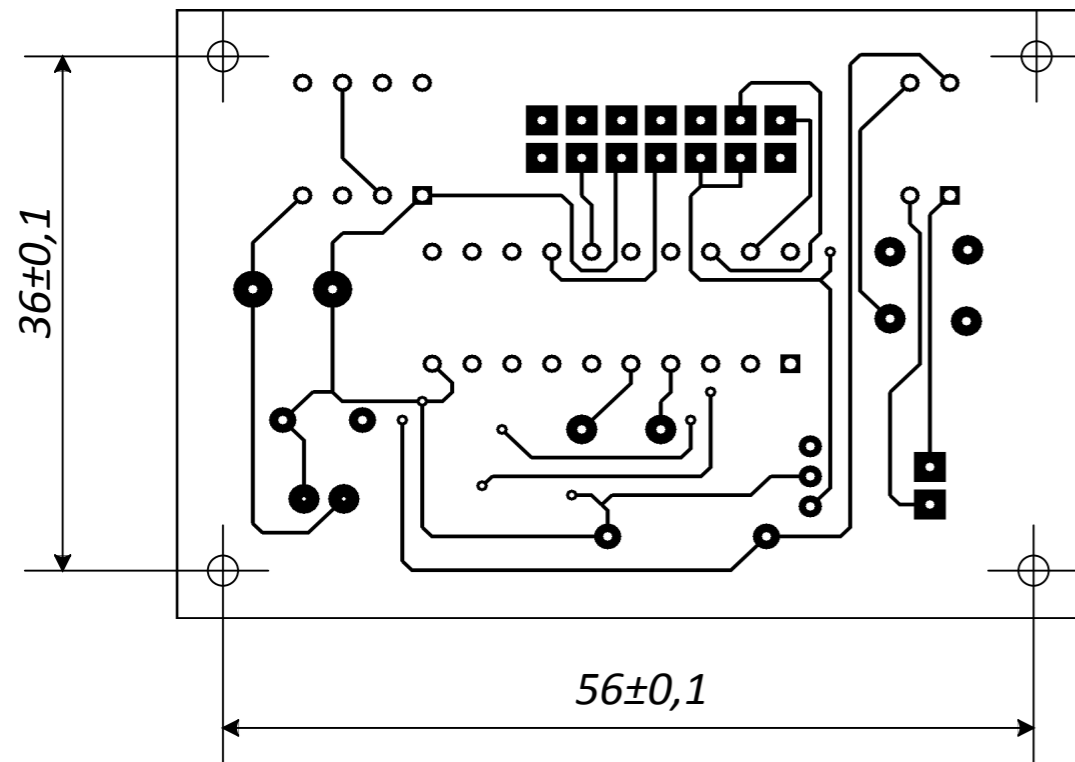
Додаток Д

Креслення друкованої плати оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта

- 1.\* Розмір для довідок.2 . Провідники, умовно позначені суцільними лініями, виконати шириною 0,45 мм.
3. Відстань між провідниками не менше 0,25 мм.



Вид А



Умове позначення отвору	Діаметр отвору, мм	Наявність металізації в отворі	Діаметр/ширина контактної площадки, мм	Кількість отворів
◦	0,5	є	1	8
○	0,8	є	1,4	26
●	0,5	є	2	2
⦿	0,8	є	1,8	4
⦿	0,8	є	2	6
⦿	0,8	є	2,6	2
◻	0,8	є	1,4	3
◼	0,8	є	2,2	16
⊕	2	немає		4

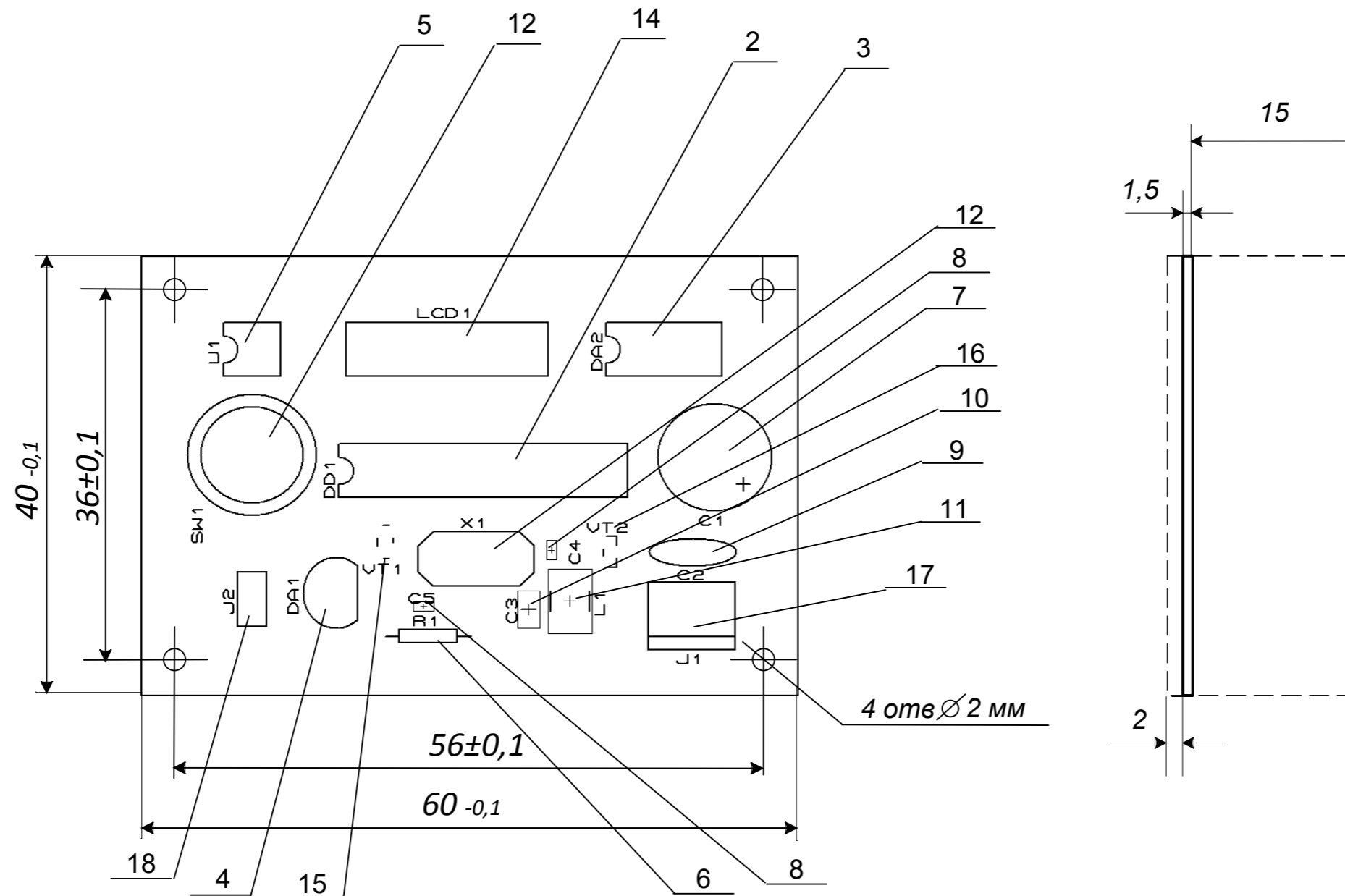
					08-05.МКР.171.08.002					
					Плата друкована			Літ	Маса	Масштаб
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				У	Д	П
	Розроб.	Юськов М.М.						Аркуш		Аркушів
	Перевір.	Білинський Й.Й.								
	Т. контр.									
	Реценз.	Семенов А. О.								
	Н. контр.	Кравченко Ю.С.								
	Затверд.	Білинський Й.Й.								
					Склотекстоліт СФ-2-35-1,5			ЕЛ-18м		

Додаток Е

Складальне креслення оптико-електронного вимірювача швидкості об'єкта

1. Радіоелементи кріпити за допомогою припою ПОС-61 ГОСТ 21931-76.

2. Таврувати фарбою БМ, білою, шрифт ЗПР-3



					08-05.МКР.171.08.003 СК				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЛАТА Складальне креслення	Лім	Маса	Масштаб	
						У	Д	П	2:1
Розроб.		Юськов М.М.				Аркуш 1		Аркушів 1	
Перевір.		Білинський Й.Й.							
Т. контр.									
Реценз.		Семенов А. О.							
Н. контр.		Кравченко Ю.С.							
Затверд.		Білинський Й.Й.							
						ЕЛ-18м			

Форм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			08-05.МКР.171. 08.003 СК	Складальне креслення	1	
				<u>Деталі</u>		
A3		1	08-05.МКР.171.08.002	Плата СФ-2-35-1,5	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		2		ATTINY 2313	1	
		3		NE555	1	
		4		78L05	1	
		5		PC817B	1	
		6		MINRES 10 kOhm 1/4 W 5%	1	
		7		CAP ELEC 470 $\mu \pm 20\%$	1	
		8		CAP SMD 100n $\pm 10\%$	2	
		9		CAP CER_DISC 100n $\pm 10\%$	1	
		10		CAP SMD 680n $\pm 10\%$	1	
		11		INDCT4532X175 270 $\mu \pm 5\%$	1	
		12		SWBUTTON	1	
		13		16 MHz HC-49S	1	
		14		LM016L	1	
		15		BF998	1	
		16		BC857A	1	
		17		SIL-100-2	1	
		18		CONN-H2	1	

08-05.МКР.171.08.003

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Плата	Літ.	Маса	Масштаб
						Арк.	Аркушів	
						ЕЛ-18м		

## Додаток Г

### Допустимі значення виробничих факторів

Таблиця Г.1 – Нормовані допустимі показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	≤0,2
Теплий	Іб	21-28	19-30	60 при 27°С	0,1-0,3

Таблиця Г.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр	Значення	Клас небезпеки
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	0,15	4
Іони n <sup>+</sup> , n <sup>-</sup>	число іонів в 1 см <sup>3</sup> повітря	50000	–

Таблиця Г.3 – Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення та мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підзоряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	г	великий	середній	400	200	200	2	1,2

Таблиця Г.4 – Нормовані рівні шуму та еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця Г.5 – Нормовані рівні вібрації

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
36	33	33	39	45	51	33

Таблиця Г.6 – Граничні дози при однократному впливі на очі і шкіру прямого чи розсіяного лазерного випромінювання

Довжина хвилі $\lambda$ , нм	Тривалість опромінення $t$ , с	$H_{ГДР}$ , Дж/м <sup>2</sup> ; $E_{ГДР}$ , Вт/м <sup>2</sup>
$1400 < \lambda \leq 1800$	$10^{-10} < t \leq 1$	$H_{ГДР} = 2 \cdot 10^4 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$1 < t \leq 10^2$	$E_{ГДР} = 2 \cdot 10^4 / \sqrt[5]{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^2$
$1800 < \lambda \leq 2500$	$10^{-10} < t \leq 3$	$H_{ГДР} = 7 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$3 < t \leq 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^2$
$2500 < \lambda \leq 10^5$	$10^{-10} < t \leq 10^{-1}$	$H_{ГДР} = 2,5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$10^{-1} < t \leq 1$	$H_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{t}$
	$1 < t \leq 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^2$

Таблиця Г.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колона	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Само несучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
2	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	REI 15 M0	R 30 M0

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 –  $M \leq 25$  см – для горизонтальних конструкцій;  $M \leq 40$  см – для вертикальних і похилих конструкцій; M2 –  $M > 25$  см – для горизонтальних конструкцій;  $M > 40$  см – для вертикальних і похилих конструкцій, nn – не нормується.

Таблиця Г.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд

Об'єм приміщення, тис. м <sup>3</sup>	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м <sup>2</sup>			Кількість людей	Відстань між будівлями та спорудами, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м <sup>2</sup> , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше



						а л м ш и р и н и ев ак о в и х о д у							
до 15	Б	2	40	25	15	45	9	9	12	6	н.о.	—	—

Примітки: н.о. – не обмежується, н.н. – не нормується.