

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри
к.ф.-м.н., І.І. Чичура

«__» _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

на тему:

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ТОВЩИНИ ПЛІВОК В
ПРОЦЕСІ ЇХ КОНДЕНСАЦІЇ АБО РОЗЧИНЕННЯ**

Виконав:

Лютянський Олексій Олександрович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник:

к.ф.-м.н., Туряниця І.І., доц.
(вчене звання, ПШБ, посада)

_____ (підпис)

Ужгород – 2023

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування
Освітньо-кваліфікаційний рівень «БАКАЛАВР»
Напрямок підготовки Автоматизація

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
доц. Чичура І.І.

“20” червня 2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

студенту Лютянському Олексію Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема КБР «Автоматизований пристрій контролю товщини плівки в процесі її конденсації або розчинення»

керівник роботи Туряниця Іван Іванович канд. фіз.-мат. наук, доцент
(вчене звання, ПІБ, науковий ступінь)

затверджені Розпорядженням по ІТФ від “12” травня 2023 року № 16.

2. Строк подання студентом роботи “12” червня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи: Розрахувати параметри і сконструювати автоматизований пристрій для контролю товщини плівки при її зміні. В конструкції ПВП використати волоконно-оптичний Y-відгалужувач. В якості джерела і приймача випромінювання використати світлодіод та фотодіод. Робоча довжина хвилі оптичної системи $\lambda=0,8\text{мкм}$. Точність вимірювання товщини плівки $\Delta d = \frac{\lambda}{2}$. Під вакумний ковпак розмістити тільки багатомодове оптичне волокно.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки(перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналіз технічного завдання. 2. Аналіз літератури і аналогів. 3. Розрахунок передавальної характеристики. 4. Обґрунтування вибору структурної та принципової електричних схем. Розрахунок друкованої плати. Написання коду для Arduino. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Схема комбінована структурна – 1ф. А3. 2. Схема електрична принципова – 1ф. А3. 3. Друкована плата – 1ф. А2. 4. Складальне креслення – 1ф. А3.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання КБР	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вивчення тех. літератури та написання огляду аналогів	1.03 - 15.03.23	
2	Завершення розробки і виконання базових розрахунків ПВП	15.03 - 1.04.23	
3	Розробка структурної і принципової схем об'єкта проектування	1.04 - 10.04.23	
4	Розробка друкованого вузла та іншої документації	11.04 - 20.04.23	
5	Розрахунок показників надійності	20.04 - 30.04.23	
6	Виконання графічної документації	1.05 - 10.05.23	
7	Написання та оформлення пояснювальної записки	11.05 - 20.05	
8	Представлення	12.06.23	
9			
10			

Студент

Лютинський О.О.
(підпис)

Керівник КБР

Мисюк
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи: 60 с., 4 табл., 9 рис., 11 джерел.

ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ, Y-ВІДГАЛУЖУВАЧ, ПЕРВИННИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

Об'єкт дослідження — пристрій контролю товщини плівки.

Мета роботи — розробка автоматизованого пристрою контролю товщини плівки в процесі її зміни. Проект включає вибір первинного вимірювального перетворювача та розрахунок вихідних характеристик; вибір та обґрунтування структурної та принципової схем; розрахунок друкованої плати та оцінка надійності вузла.

Методи дослідження — пошук та збір інформації в інтернет ресурсах та відповідній літературі, а також аналіз знайденої інформації.

У результаті виконання роботи розроблена схема первинного вимірювального перетворювача з використанням Y-відгалужувача. Також був розроблений повний комплект документації для виготовлення електричного вузла блоку реєстрації.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualifying bachelor thesis: 60 p., 4 chart, 9 draw., 11 sources.

INTERFERENCE, Y-BRANCH, PRIMARY MEASURING TRANSDUCER.

Object of research — film thickness control device.

The purpose of the work — development of an automated device for controlling film thickness during its change. The project includes the selection of the primary measuring transducer and the calculation of the output characteristics; selection and justification of structural and principle schemes; calculation of the printed circuit board and assessment of node reliability.

Research methods — search and collection of information in Internet resources and relevant literature, as well as analysis of the information found.

As a result of the work, a scheme of the primary measuring transducer using a Y-branch was developed. A complete set of documentation was also developed for the manufacture of the electrical unit of the registration unit.

ЗМІСТ

Вступ.....	(8)
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	(9)
2 ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПЕРВИННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА.....	(10)
2.1 Методи визначення товщини плівок.....	(10)
2.2 Оптичний метод.....	(11)
2.3 Мікрозважування.....	(13)
2.4 Радіометричний метод.....	(13)
2.5 Метод кварцового вібратора.....	(14)
3 ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРВИННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА.....	(17)
3.1 Пояснення вибору структури ПВП.....	(17)
3.2 Характеристика джерела випромінювання.....	(19)
3.3 Характеристика приймача випромінювання.....	(20)
3.4 Характеристика оптичного волокна.....	(21)
3.5 Розрахунок світлової енергії, що падає у оптичне волокно.....	(22)
3.6 Розрахунок інтерферуючих променів.....	(22)
3.7 Розрахунок струму фотодіода.....	(25)
3.8 Графік залежності вихідної напруги від часу.....	(28)
4 ПРОЕКТУВАННЯ БЛОКУ СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ.....	(31)
4.1 Огляд схем підсилення.....	(32)
4.2 Обґрунтування вибору комбінованої структурної схеми.....	(33)
4.3 Обґрунтування вибору принципової схеми.....	(34)
4.4 Розрахунок друкованої плати.....	(36)
4.5 Оцінка показників надійності.....	(40)

КБР.АКІТ.19050030. 01.000 ПЗ								
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Автоматизований пристрій контролю товщини плівки в процесі її конденсації або розчинення	Літера	Аркуш	Аркушівв
розробив		Лютянський О.О.	<i>[Підпис]</i>			у	6	55
Перевірив		Турянниця І.І.	<i>[Підпис]</i>			УжНУ, ІТФ 4 курс гр. АКІТ		
Н. Контр.		<i>[Підпис]</i>	<i>[Підпис]</i>					
Затв.		<i>[Підпис]</i>	<i>[Підпис]</i>					

5 КЕРУВАННЯ НАПИЛЕННЯ ЧЕРЕЗ ARDUINO.....	(48)
5.1 Мета додавання Arduino.....	(48)
5.2 Підключення елементів.....	(48)
5.3 Код для реалізації.....	(49)
Висновки.....	(52)
Список використаних джерел.....	(54)
Додатки.....	(56)

АКТ

АКТ

ВСТУП

Блок контролю товщини плівки в процесі її зміни займає важливе місце в системі нанесення діелектричних плівок, виготовлення інтерференційних фільтрів та ін. Тому постає проблема високої точності і зручності вимірювання товщини плівки, зменшення маси та габаритів вимірювального блоку, також виведення інформації в зручній формі для користувача.

Було обрано метод вимірювання товщини плівки, який базується на реєстрації інтерференційної картини. Перевагами даного методу є більша автоматизація, на відмінну від інших видів, достатньо велика точність вимірювання. Також пристрій який працює за даним методом є можливість зробити якомога простим та надійним. Це досягається також використанням в конструкції ПВП волоконно-оптичного Y-відгалужувача.

Метою даного проекту є розробка автоматизованого пристрою для контролю товщини плівки в процесі її зміни. До проекту входить вибір первинного вимірювального перетворювача та розрахунок вихідної характеристики; вибір та обґрунтування структурної та принципової схем; розрахунок друкованої плати та оцінка надійності вузла.

					<i>КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ</i>	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		8

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Вимірювач товщини тонких плівок призначений для контролю товщини плівки в процесі її зміни.

Принцип роботи — реєстрація інтерференційної картини на тонких плівках

Даний пристрій повинен складатись із двох основних блоків:

- Первинний вимірювальний перетворювач, що складається з волоконно-оптичного У-відгалужувача, джерела випромінювання та приймача.
- Блок реєстрації, який представляє собою електронний блок для обробки вихідного сигналу з ПВП та виведення сигналу в потрібному вигляді для мікроконтролера, який дозволить повністю автоматизувати процес реєстрації піків інтерференційної картини, або самописця для наглядності результату.

ПВП приладу буде містити волоконно-оптичний У-відгалужувач. В якості джерела випромінювання та приймача слід використати світлодіод та фотодіод, які працюють в інфрачервоній області спектру.

Особливістю даного приладу є простота конструкції ПВП, яка не вимагає чистки, завдяки використанню оптоволокна, також конструкція проста в складанні та використанні.

									Арк
									9
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ				

- Методи, засновані на вимірюванні параметрів напиленої на підкладку плівки на протязі визначеного проміжку часу.

- Методи, засновані на вимірюванні параметрів потоку матеріалу, який випаровується.

- Методи, засновані на вимірюванні реакції якої-небудь контрольної підкладки на удари частинок, які випаровуються, об її поверхню.

Методи першого класу дозволяють безпосередньо вимірювати масу (або товщину) плівки в процесі нанесення, а методи другого і третього типів - швидкість нанесення плівки. Незважаючи на це користуючись методами першого типу, в принципі завжди можна визначити і швидкість нанесення плівки шляхом вимірювання приростів товщини (або маси) шару за одиницю часу (диференціювання), а користуючись методами другого і третього типів можна визначити масу (або товщину) плівки шляхом додавання приростів швидкості нанесення за одиницю часу (інтегрування).

Методи вимірювання товщини і швидкості нанесення плівок, не дивлячись на різновид фізичних принципів, які лежать в їх основі володіють універсальністю і можуть бути використані для вимірювання як параметрів потоку матеріалу, що випаровується, так і параметрів плівки, яка наноситься на підкладку.

Опишемо деякі з найбільш поширених методик вимірювання товщин плівок.

2.2 Оптичний метод

Оптичні методи в основному базуються на явищах інтерференції. Наприклад, «кольоровий метод» вимірювання товщини тонких плівок заснований на інтерференції рівно нахилених променів, паралельних поверхні тонкої плівки. При визначенні товщини під час напилення спостерігають колір контрольної пластини у відбитому світлі. За допомогою цього методу можна вимірювати плівки довільної товщини до 1 м. При використанні методу смуг рівного хроматичного порядку

										Арк
										11
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ					

(РХП) на паралельних пластинах спостерігаються інтерференційні картини з малими повітряними проміжками.

Процес вимірювання ділиться на кілька операцій. Спочатку готують плоско-паралельні пластини і на одну з пластин наносять досліджувану плівку. При цьому частина плати екранується шматком фольги. Після напилення фольгу знімають, створюючи на дошці прямокутні сходи. Потім на цю пластину напилюється непрозорий шар срібла, повторюється вихідний рельєф, а на іншу пластину наноситься напівпрозорий шар срібла. Пластини притискаються одна до одної і освітлюються паралельними пучками білого світла. Інтерференційна картина, що утворюється в повітряному проміжку між пластинами, проектується через лінзу на щілину спектрометра. На фокальній площині утворюються дві системи ліній з однаковою послідовністю кольорів.

Точність вимірювання 0,5 мм. Цей метод служить для калібрування проти інших посередніх методів.

Товщину плівки можна виміряти, вимірявши ступінь поглинання світла, коли воно проходить через плівку. Інтенсивність поглиненого світла описується наступним виразом:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{-4\pi k t}{\gamma_0}\right) \quad (1)$$

Де k – коефіцієнт поглинання; t – товщина плівки; γ_0 – довжина хвилі.

Але I та I_0 повинні бути заміряні всередині середовища, що поглинає. Тому 0 слід замінити на $(1-R)$, де R – коефіцієнт відбивання, який значно залежить від товщини

Цей метод найбільше підходить для вимірювання товщини металевих плівок, що полегшує контроль товщини багат шарових покриттів.

2.3 Мікрозважування

Для вимірювань тонкоплівкових покриттів користуються мікровагами різної складності їх пристроїв. Принципи, на яких засновані прилади такого роду, дуже різноманітні.

1. Згин тонкої стрічки, один з кінців якої нерухомий, а на інший поміщається тіло, що зважується;
2. Розтяг тонких кварцових чи вольфрамових спіралей (пружинні б терези);
3. Скручування довгої тонкої нитки (крутильні терези);
4. Магнітні підвіски;
5. Системи підвісів на обертовій осі.

Найкращі результати дає використання в пристроях автоматичного балансування, розроблених на дії електростатичних або електромагнітних сил, що виводять систему з рівноваги.

За допомогою мікрозважування можна проводити перевірку інших посередніх методів контролю товщини.

2.4 Радіометричний метод

При використанні цього методу плівка, товщину якої потрібно виміряти, і контрольний зразок, виготовлений з того самого матеріалу одночасно опромінюється в пучку α - або β - частинок. Товщина визначається через співвідношення утворених внаслідок опромінення активностей плівки і контрольного зразка.

										Арк
										13
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ					

2.5 Метод кварцового вібратора

Найбільш поширеним методом контролю процесу напилення в сучасних промислових установках для отримання тонких плівок став метод "кварцового резонатора", який вирізняється серед інших універсальністю та простотою проведення необхідних вимірів. Ним можна вимірювати як товщини плівок, так і швидкість нарощування плівок різних матеріалів – металів, діелектриків напівпровідників. Перевага також полягає в тому, що товщину та швидкість осадження можна безпосередньо контролювати під час процесу напилення.

В основі методу лежить вимірювання відхилення резонансної частоти кварцового кристалічного резонатора, зумовленого зміною маси кварцової пластини. При збільшенні маси пластини механічного резонатора, подібно до кристалу кварцу, внаслідок нанесення речовини на його поверхню, резонансна частота зміщується. Можна показати, що

$$J_n^2 = J_{0n}^2 \frac{1}{1 + \frac{K_n \cdot 2m}{A \rho t}} \quad (2)$$

де J_n та J_{0n} – резонансні частоти збуреного та незбуреного кристалу; t – товщина пластинки; ρ – густина покриття; m – повна маса, що нанесена на площу A ; K_n – постійна; n – порядок обертогу. Таким чином,

$$\frac{\Delta_j}{J_{0n}} = - \frac{K_m}{A \rho t} \quad (3)$$

І для основної частоти $n = 1$ маємо

$$\frac{m}{A} = - \frac{\rho t \Delta_j}{K_j} \quad (4)$$

Введемо постійну N , що визначається як $N = j \cdot t$,

$$\Delta_j = - \frac{j}{t} \cdot \frac{K}{\rho} \cdot \frac{m}{A} = \frac{A^2 K m}{N \rho A} = C_j \frac{m}{A} \quad (5)$$

Тут C_j – постійна, що називається "масовою чутливістю" кристалу. Знак мінус показує, що приріст маси викликає зменшення резонансної частоти. На практиці для кожного кристалу кварцу величину визначають експериментально.

Однак є інша можливість визначити залежність зсуву частоти від товщини плівки. Запишемо залежність між зсувом частоти і зміною маси кварцевого резонатора

$$\frac{\Delta_j}{j_0} = \frac{\Delta m}{m_0} \quad (6)$$

Якщо маса напиленої плівки Δm , її густина ρ , площа, яку займає плівка на кварцовій пластині, S , то можна записати:

$$h = \frac{\Delta m}{\rho S} \quad \text{або} \quad h = \frac{m_0}{j_0 S} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \Delta_j \quad (7)$$

На практиці правильно показати залежність товщини від частоти вимірювання кварцевого датчика, а не від зсуву частоти. Оскільки $\Delta_j = j_0 - j$, то після перетворень маємо:

$$h = \frac{m_0}{S\rho} - \frac{m_0}{j_0 S\rho} j \quad (8)$$

Отже, залежність $h = \varphi(t)$ є прямою з кутовим коефіцієнтом $\frac{m_0}{j_0 S\rho}$.

Пропорційність між зсувом частоти та з масою 1 покриття зберігається при зміщенні частоти Δ_j до 5% від основного значення. Точність методу визначається точністю вимірювання частоти та зсуву частоти і при застосуванні сучасної радіоапаратури може досягти часток процента. Практично точність вимірювань лімітується точністю визначення постійної C_j . Однак кварцові кристали дуже чутливі до зміни температури, що є основним джерелом помилок при визначенні товщини. Крім цього, певне значення має адгезія до кварцевого матеріалу, що напилюється, оскільки при високих ($j \sim 10^7$ Гц) частотах відбувається самоочищення поверхні кварцової пластинки від бруду та сторонніх частинок.

Слід відзначити також, що густина плівок, знання якої необхідне для визначення товщини h , може відрізнятися від значення, властивого масивним зразкам. Це особливо проявляється при малих товщинах (порядку десятків ангстрем), де густина плівки – функція товщини.

					<i>КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

3 ПРОЕКТУВАННЯ ПВП

3.1 Обґрунтування вибору структури ПВП волоконно-оптичного датчика товщини

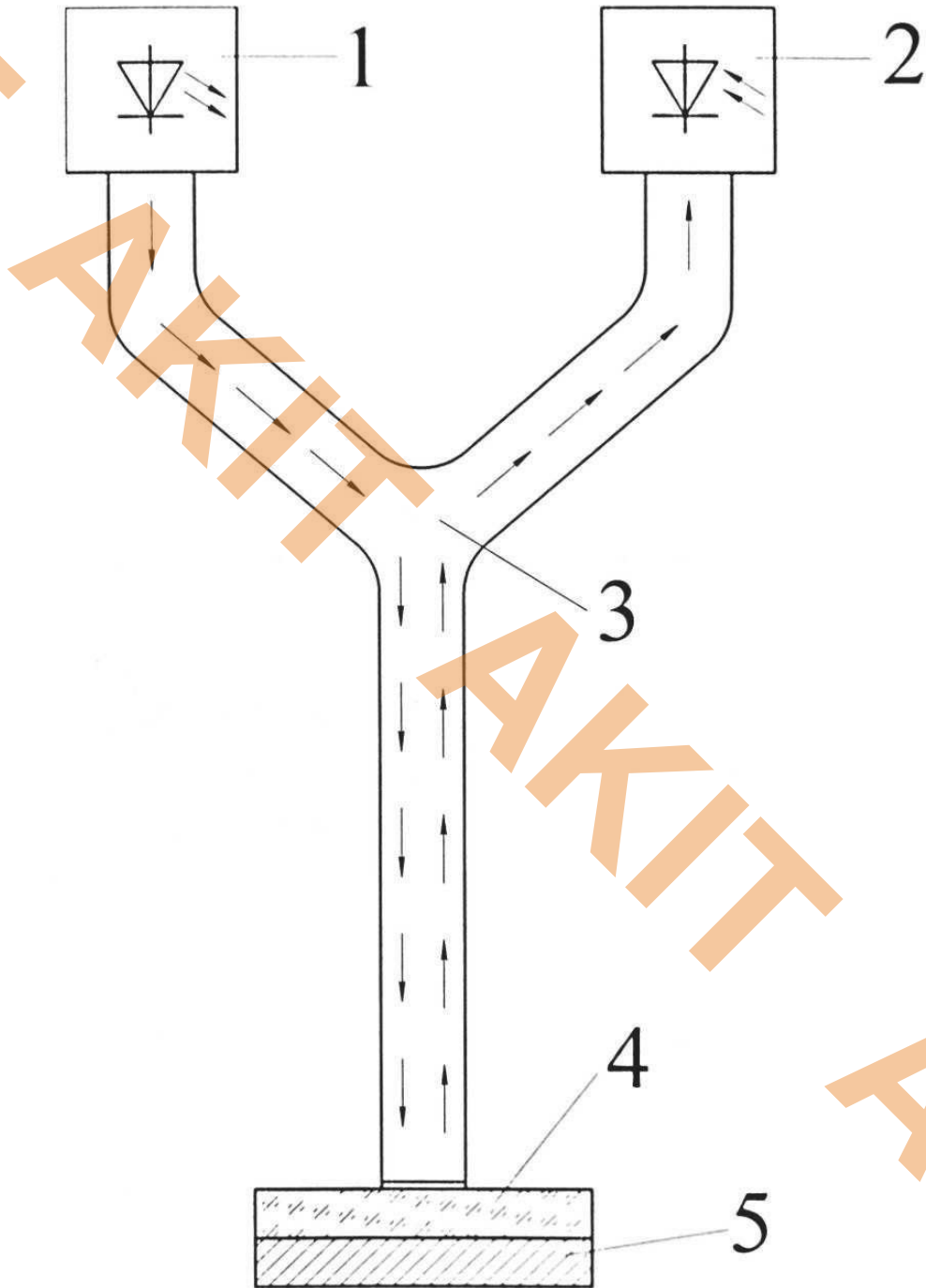


Рисунок 3.1 — схема волоконно-оптичного датчика

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ

Арк

17

3.2 Характеристика джерела випромінювання.

Умовам оптичного узгодження відповідає лазерний світлодіод M8080-3-1230.

Спектральна характеристика потужності випромінювання приведена на рис 3.2.

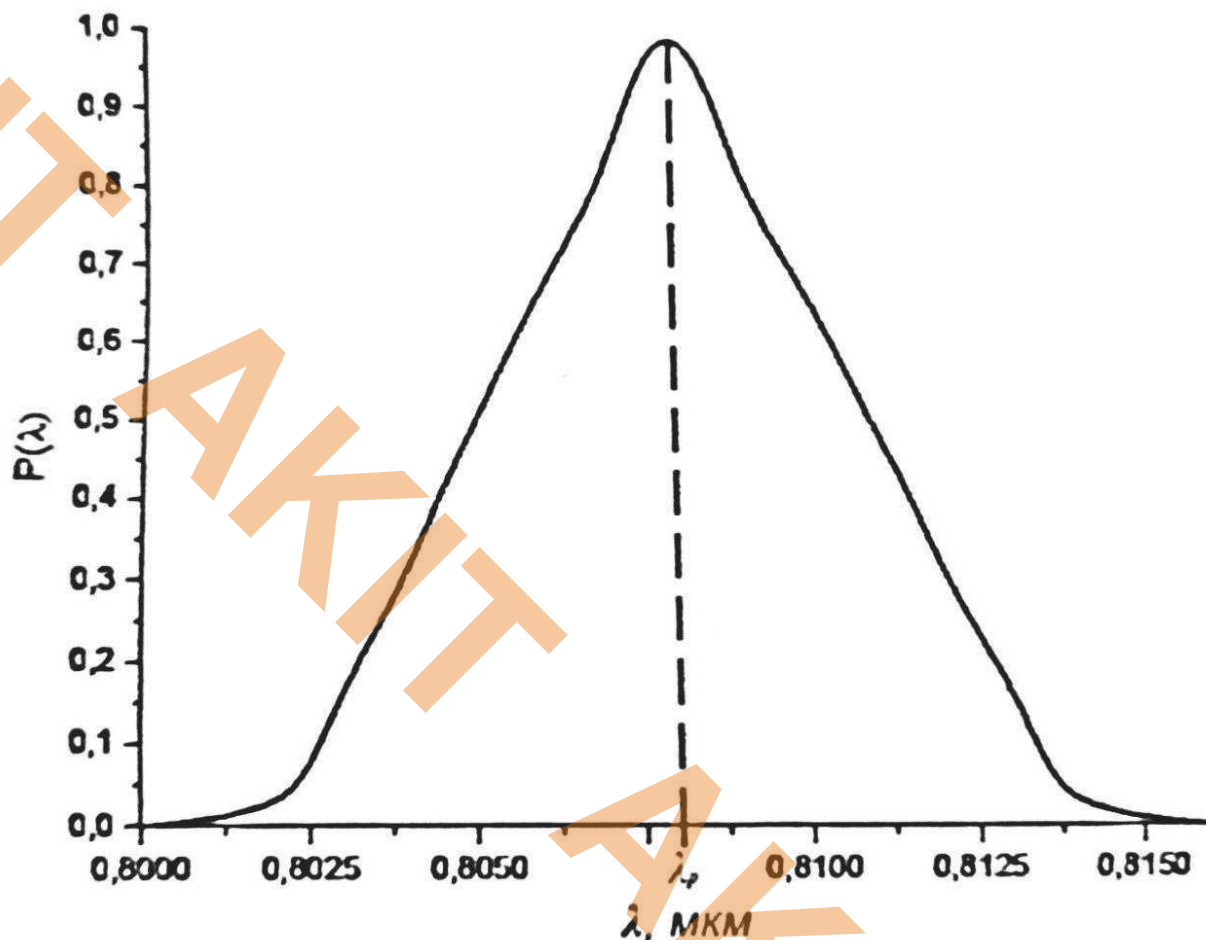


Рисунок 3.2 — Спектральна залежність потужності вимірювання світлодіода M8080-3-1230 ($\lambda_p=0,808$ мкм).

Характеристики світлодіода:

- Максимум спектрального розподілу знаходиться в діапазоні $\lambda=0,803...0,813$ мкм.
- Інтегральна потужність випромінювання при $I_{\text{пр}} = 100$ мА складає не менше 50 мВт.
- Оптимальний робочий струм 100 мА.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ

Арк

19

- Вихідний опір R - 4,0 Ом.
- Діаметр вихідного світлового пучка 0,25мм.
- Діапазон робочих температур t -40...85°C

3.3 Характеристика приймача випромінювання

Діапазон чутливості багатьох фотодіодів значно ширший в порівнянні з випромінювальною здатністю світлодіода. Додатково при виборі фотодіода враховувалися конструктивні особливості щодо його стиковки з оптичним волокном для більш стабільної роботи обраної оптопари. Цим вимогам задовольняє фотодіод OPT101, спектральна характеристика чутливості якого приведена на рис 3.3.

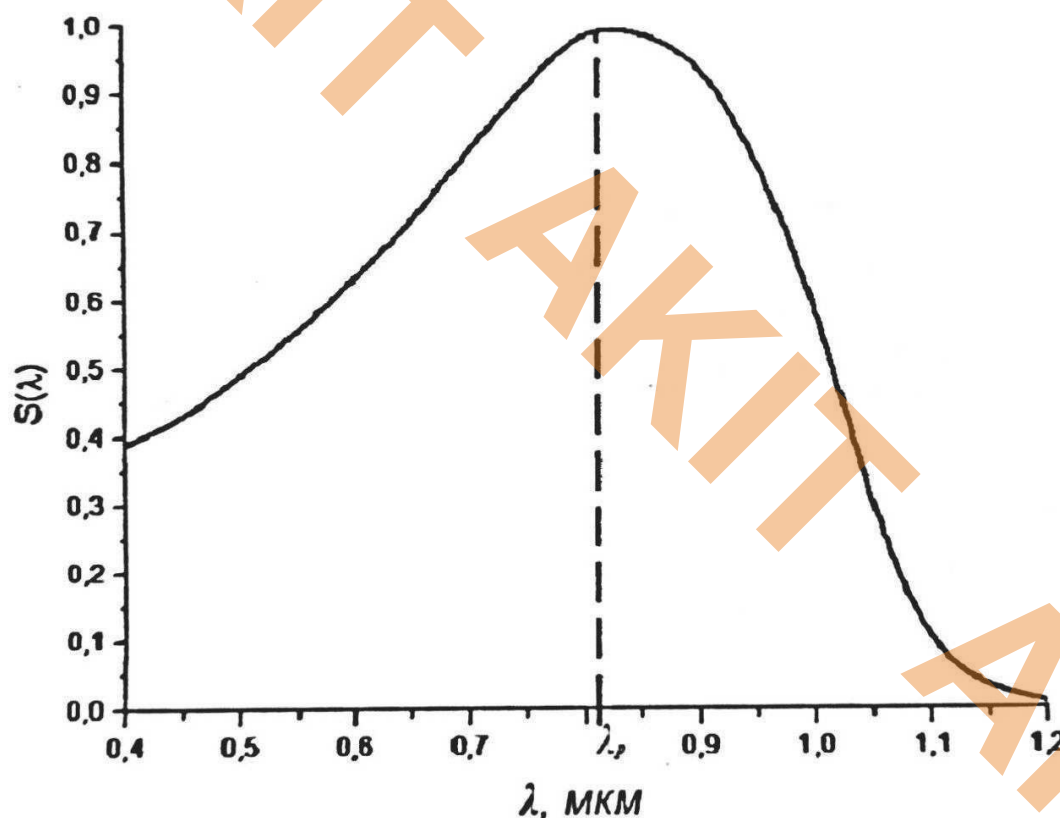


Рисунок 3.3 — Спектральна характеристика чутливості фотодіода OPT101 ($\lambda_p = 0,808$ мкм).

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Характеристика фотодіода:

- Струмова інтегральна чутливість $S_{\text{ін}} \geq 0,55$ А/Вт.
- Номінальна робоча напруга U_p – від 2,7 до 36В.
- Постійна часу при включенні або виключенні не більше $\tau = 0,005$ мкс.
- розмір чутливого елемента – $2,9 \times 2,9$ мм².
- плоский кут зору $2 \cdot \beta$ не менше 36° .

3.4 Характеристика оптичного волокна

- Матеріал волокна - кварц, легований бромом (FinMark PS001MM PVC).
- тип волокна - багатомодове.
- показник заломлення n – 1,553 на довжині хвилі λ – 0,81 мкм.
- діаметр серцевини – $d_c = 0,1$ мм.
- втрати у волокні 2,7...3,0 дБ/км.
- робочий інтервал температури : від -60 до +170°C.

3.5 Розрахунок світлової енергії, що попадає у оптичне волокно.

Величина електричного сигналу на виході фотодіода знаходяться в прямій залежності від величини світлового потоку. Оцінимо значення цієї світлової енергії. Нехай струм світлодіода дорівнює $I_{\text{пр}} = 50$ мА. При цьому інтегральна потужність випромінювання буде становити $P_{\text{інт}} = 40 \cdot 10^{-3}$ Вт. Оскільки діаметри випромінюючої площадки світло діоду серцевини оптичного волокна різні, то в оптичне волокно при їх стиковці зайде тільки незначна частина світлової енергії $P_{\text{вх}}$, яку можна обчислити за формулою (4):

										Арк
										21
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата						

$$P_{1\text{вх}} = P_{\text{інт}} \cdot \frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{д}}} \quad (1)$$

Де $S_{\text{в}}$ і $S_{\text{д}}$ – відповідно площі випромінюючої площадки світлодіоду і серцевини оптичного волокна. Враховуючи приведені технічні параметри відмічених елементів, обчислимо $P_{1\text{вх}} = 8 \cdot 10^{-6}$ Вт.

Величина $P_{1\text{вх}}$ є малою в зрівнянні з $P_{\text{інт}}$. Тому для збільшення величини світлового потоку, що надходить на оптичне волокно, використовуються оптичні з'єднувачі в які входять фокони. Це дозволить збільшити ефективність вводу світла в оптичне волокно в 4 рази, тоді $P_{2\text{вх}} = 32 \cdot 10^{-6}$ Вт.

3.6 Розрахунок інтерферуючих променів

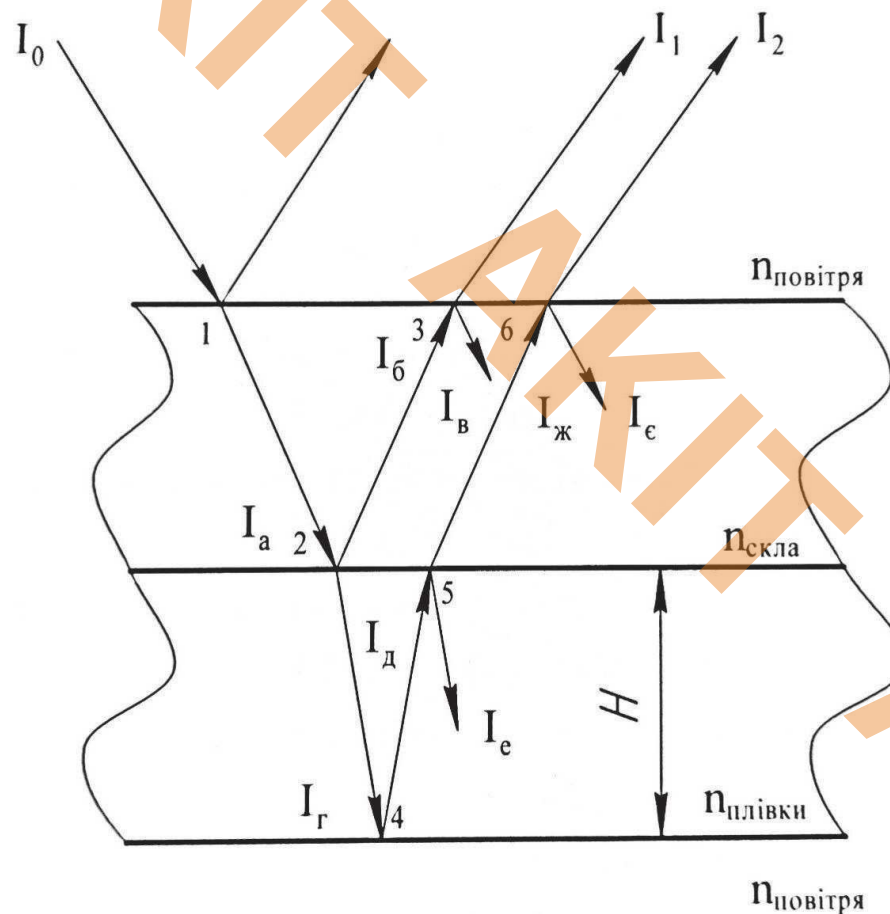


Рисунок 3.4 — Картина інтерференції в підкладці

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

На межі оптичних середовищ відбувається ослаблення світлового променя, і при нормальному попаданні променя на межу двох середовищ коефіцієнт пропускання визначається за формулою:

$$\tau = 1 - \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (2)$$

Де n_1 і n_2 , показники заломлення суміжних середовищ.

Коефіцієнти відбивання середовищ визначаються за формулами:

$$\left(\frac{n_{\text{скла}} - n_{\text{пов.}}}{n_{\text{скла}} + n_{\text{пов.}}} \right)^2 = R_1 \quad (3)$$

$$\left(\frac{n_{\text{плівки}} - n_{\text{скла}}}{n_{\text{плівки}} + n_{\text{скла}}} \right)^2 = R_2 \quad (4)$$

$$\left(\frac{n_{\text{плівки}} - n_{\text{пов.}}}{n_{\text{плівки}} + n_{\text{пов.}}} \right)^2 = R_3 \quad (5)$$

Знаходження інтенсивності променя I_a

Інтенсивність променя I_a в підкладці до точки 2, знаходиться за добутком інтенсивності світла що падає на підкладку I_0 на коефіцієнт ослаблення на границях середовищ (2):

$$I_a = (1 - R_1) I_0 \quad (6)$$

Інтенсивність променя I_6 який відбився в точці 2:

$$I_6 = I_a R_2 \quad (7)$$

Відбитий промінь I_b в точці 3:

$$I_b = I_a R_1 R_2 = (1 - R_1) I_0 R_1 R_2 \quad (8)$$

Інтенсивність променя I_1 що вийшов з підкладки визначається як різниця падаючого I_6 променя та відбитого I_b :

$$I_1 = I_6 - I_b = (1 - R_1) I_0 R_2 - (1 - R_1) I_0 R_2 R_1 = (1 - R_1)^2 I_0 R_2 \quad (9)$$

Знаходження інтенсивності променя I_2

Інтенсивність променя, що попадає в плівку з точки 2 визначається як різниця падаючого I_a променя та відбитого I_6 :

$$I_a - I_6 = I_a - I_a R_2 = I_a(1 - R_2) = I_0(1 - R_1)(1 - R_2) \quad (10)$$

Плівка поглинає світло, тому врахуємо поглинання за законом Бугера-Ламберта-Бера, інтенсивність променя який попадає в точку 4 буде:

$$I_r = I_0(1 - R_1)(1 - R_2)e^{-\alpha H} \quad (11)$$

де α – коефіцієнт поглинання, H – товщина плівки.

Промінь, що відбився в точці 4:

$$I_d = I_0(1 - R_1)(1 - R_2)R_3 e^{-\alpha H} \quad (12)$$

Для променя I_d врахуємо поглинання при доходженні до точки 5:

$$I_d = I_0(1 - R_1)(1 - R_2)R_3 e^{-\alpha H} e^{-\alpha H} = I_0(1 - R_1)(1 - R_2)R_3 e^{-2\alpha H} \quad (13)$$

Інтенсивність променя що відбився в точці 5:

$$I_e = I_0(1 - R_1)(1 - R_2)R_3 R_2 e^{-2\alpha H} \quad (14)$$

Інтенсивність променя що попадає в підкладку з точки 5 визначається як різниця падаючого променя I_d і відбитого I_e :

$$\begin{aligned} I_e &= I_0(1 - R_1)(1 - R_2)R_3 e^{-2\alpha H} - \\ &- I_0(1 - R_1)(1 - R_2)R_3 R_2 e^{-2\alpha H} = \\ &= I_0(1 - R_1)(1 - R_2)R_3 e^{-2\alpha H}(1 - R_2) = \\ &= I_0(1 - R_1)(1 - R_2)^2 R_3 e^{-2\alpha H} \end{aligned} \quad (15)$$

Промінь, що відбився у точці 6:

$$I_{ж} = I_0(1 - R_1)(1 - R_2)^2 R_3 e^{-2\alpha H} R_1 \quad (16)$$

Інтенсивність променя який виходить з підкладки в точці 6 визначається як різниця падаючого променя $I_{ж}$ відбитого I_e :

$$I_2 = I_0(1 - R_1)^2(1 - R_2)^2 R_3 e^{-2\alpha H} \quad (17)$$

Інтерференція двох променів буде знаходитись за формулою:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi \quad (18)$$

φ знаходиться за формулою:

$$\varphi = \frac{4\pi H n}{\lambda} \quad (19)$$

Де λ – довжина хвилі, n – показник заломлення плівки.

Товщину плівки H розпишемо як добуток швидкості напilenня на час:

$$H = V \cdot t \quad (20)$$

Де V – швидкість напilenня (мкм/с), t – час напilenня (секунди).

3.7 Розрахунок струму фотодіода

В якості приймача випромінювання, як вже відмічалось, використовують фотодіод який перетворює потік світлового випромінювання в електричний сигнал. В аналітичних розрахунках струму фотодіода необхідно знати не тільки величину потоку, але і ефективність використання фотодіодом випромінювання світлодіода пов'язану з різними спектральними розподілами його випромінюючої здатності і чутливості фотодіоду. Струм фотодіода для нашого випадку можна оцінити за формулою

$$I_{\text{фд}} = \tau_{\text{о,р}} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^a(\lambda) \cdot P_{\lambda}^a(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda \quad (21)$$

Де $S^a(\lambda)$ – спектральний розподіл чутливості фотодіода в абсолютних одиницях [А/Вт].

τ – пропускання ВОДТ. Цю величину будемо вважати сталою.

$\tau(\lambda)$ – спектральна залежність пропускання чутливого елемента при заданій температурі.

Підставивши в (27) замість $S^a(\lambda)$ вираз (24), отримаємо:

$$S_{\text{ІНТ}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) \cdot S_m^a(\lambda_m) d\lambda = S_m^a(\lambda_m) d\lambda \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) d\lambda \quad (28)$$

З виразу (28) знайдемо значення $S_m^a(\lambda_m)$

$$S_m^a(\lambda_m) = \frac{S_{\text{ІНТ}}}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) d\lambda} \quad (29)$$

$P_{\text{ІНТ}}$ що входить в формулу (26) представимо як

$$\begin{aligned} P_{\text{ІНТ}} &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^a(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) \cdot P_m^a(\lambda_m) d\lambda = \\ &= P_m^a(\lambda_m) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (30)$$

Звідси:

$$P_m^a(\lambda_m) = \frac{P_{\text{ІНТ}}}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda} \quad (31)$$

Підставивши знайдені вирази (29) і (31) в (26), отримаємо вираз для $I_{\text{фд}}$

$$I_{\text{фд}} = \tau_0 \cdot S_{\text{ІНТ}} \cdot P_{\text{ІНТ}} \cdot \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) P^B(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda} \quad (32)$$

При розрахунках $I_{\text{фд}}$, замість $P_{\text{ІНТ}} \cdot \tau_0$, то ми підставимо значення інтенсивності I яке знаходиться за формулою (18).

Так як спектральна ширина смуги випромінювання світлодіода набагато вужча в порівнянні з спектральною чутливістю фотодіода, тому для спрощення вираз $\frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) P^B(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda}$ з формули (32) ми можемо знехтувати і взяти рівним одиниці.

Кінцева формула для визначення струму фотодіода буде така:

$$I_{\text{фд}} = S_{\text{ІНТ}} \cdot I \quad (33)$$

Підставивши результуючу інтенсивність I , яка попадає на площадку приймача, та $S_{\text{інт}}$ в (33) знаходимо $I_{\text{фд}}$.

Обрахуємо вихідну напругу фотодіода:

$$U_{\text{вих}} = I_{\text{фд}} \cdot R_{\text{ф}}$$

$R_{\text{ф}}$ візьмемо рівним 10^3 Ом

Підставимо значення для $t = 1 \text{ с.}$ та розрахуємо вихідну напругу світлодіода за формулами які були приведені.

Інтенсивність I_1 :

$$I_1 = (1 - 0,04)^2 0,000016 \cdot 0,0625 = 0,000000922$$

Інтенсивність I_2 :

$$I_2 = 0,00016(1 - 0,04)^2 \cdot (1 - 0,0625)^2 0,183e^{-2 \cdot 35000 \cdot 3 \cdot 10^{-9}} = \\ = 0,000002,38$$

Кут φ :

$$\varphi = \frac{4 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^{-9} \cdot 2,5}{8 \cdot 10^{-7}} = 0,117$$

Результуюча інтенсивність:

$$I = 9,22 \cdot 10^{-7} + 2,38 \cdot 10^{-6} + 2\sqrt{9,22 \cdot 10^{-7} \cdot 2,38 \cdot 10^{-6}} \cos(0,117) = \\ = 6,24 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

Струм фотодіода:

$$I_{\text{фд}} = 0,55 \cdot 3,12 \cdot 10^{-6} = 1,72 \cdot 10^{-6} \text{ А}$$

$$U_{\text{вих}} = 1,72 \cdot 10^{-6} \cdot 10000 = 1,7210^{-2} \text{ В}$$

Склавши таблицю значень (Табл. 1Д) в результаті по цим значенням можемо побудувати графік залежності вихідної напруги фотодіода від часу:

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

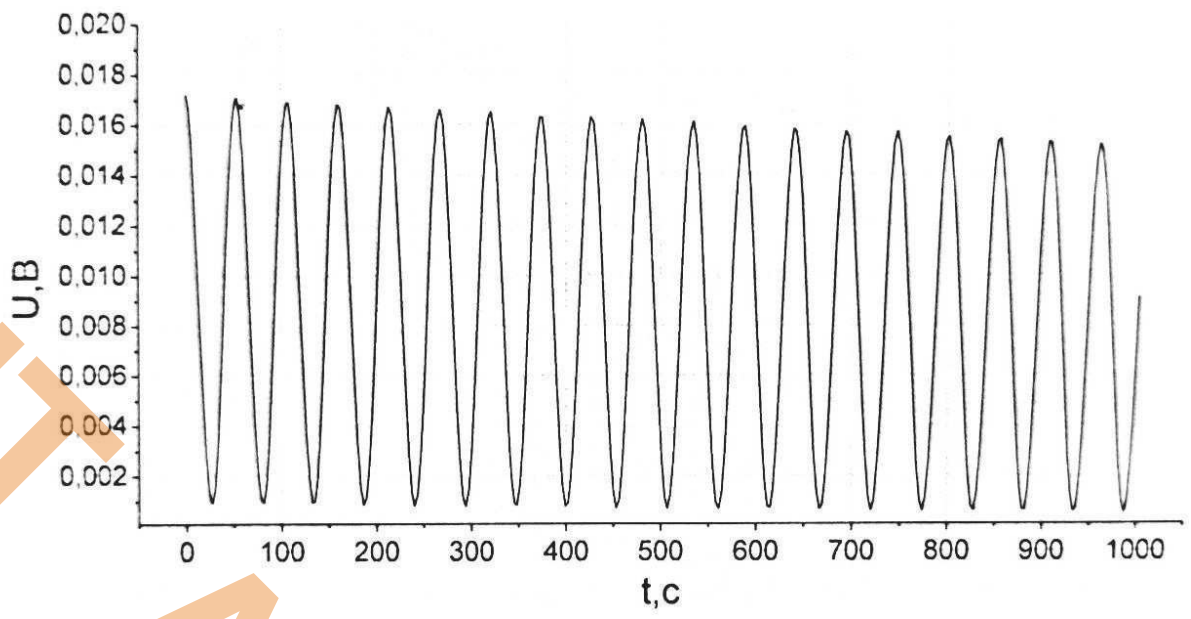


Рисунок 3.5 — Залежність вихідної напруги від часу.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ

Арк

30

4 ПРОЕКТУВАННЯ БЛОКУ СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ

4.1 Огляд схем підсилення

Очевидно що найкращі схеми підсилення сигналів із фотоприймачів це схеми на операційних підсилювачах, тому такий тип підсилення використовується найчастіше. Існують багато призначених для цього різномісних схем підсилення. Обрати потрібну схему можна в відповідності до вимог таких параметрів: лінійністю, постійним зміщенням, шумом та полосою пропускання. Основною задачею є точне перетворення вихідного сигналу фотодіоду в лінійно залежний від нього сигнал, та підсилення його до потрібного рівня.

Основними схемами на ОП є неінвертуючі та інвертуючі, режим роботи яких здійснюється в межах лінійного участку передавальної характеристики.

Неінвертуючий підсилювач

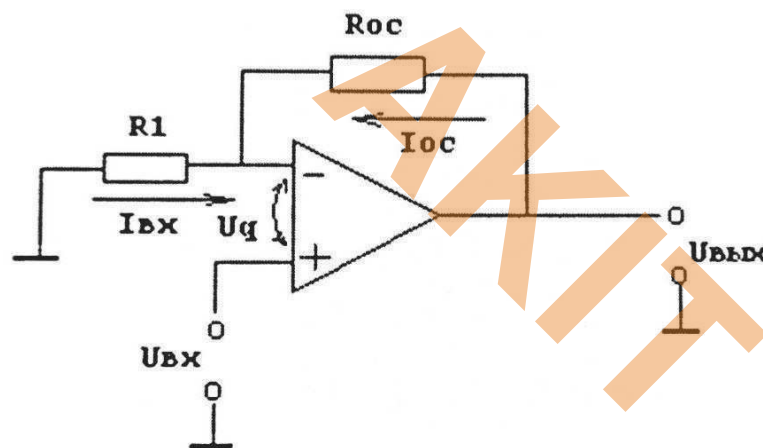


Рисунок 4.1 — Схема неінвертуючого підсилювача[9].

Дана схема (рис 2.1) використовує операційний підсилювач, вона має високий повний вихідний опір, причому коефіцієнт підсилення всієї схеми по напрузі може бути жорстко заданий за допомогою опорів R_1 та R_{oc} (опір зворотного зв'язку). В даній схемі сигнал подається на неінвертуючий вхід ОП. Підсилювач включає

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

послідовний від'ємний зворотній зв'язок по напрузі, виникаючий на R_{oc} , яка подається на не інвертований вхід. Повний опір всієї системи виявляється високим, так як єдиним шляхом для струму між виходом і землею є високий повний вихідний опір ОП.

Інвертуючий підсилювач

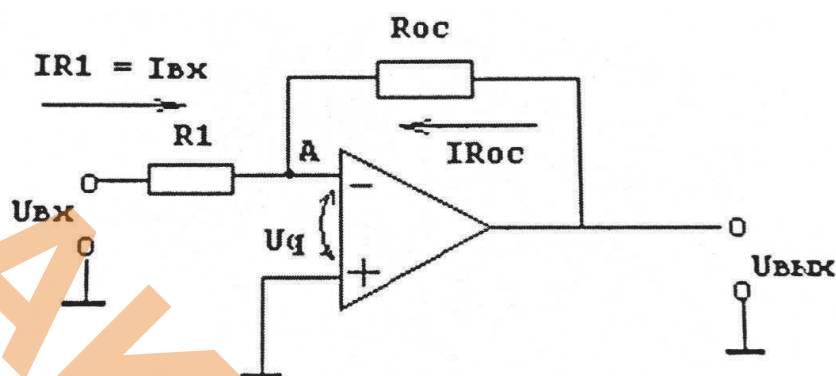


Рисунок 4.2 — Схема інвертуючого підсилювача[9].

Вхідний і вихідний сигнали інвертуючого підсилювача здвинуті по фазі на 180° . Зміна знаку вихідного сигналу відносно вхідного створюється введенням по не інвертованому входу ОП за допомогою резистора R_{oc} паралельний зворотній зв'язок по напрузі. Неінвертуючий вхід пов'язаний з загальною точкою входу і виходу схеми (заземлюється). Вхідний сигнал подається через резистор R_1 на інвертуючий вхід ОП. Якщо на схему подати позитивну напругу $U_{вх}$ то U_q стане позитивним, а вихідний потенціал почне знижуватись. Вихідна напруга буде змінюватись в від'ємному напрямі до тих пір, поки напруга на інвертуючому вході в точці А не стане почти рівна нулю: $U_q = U_{вх}/K_{оп} \gg 0$. Таким чином R_1 та R_2 діють як подільник напруги між $U_{ввх}$ і $U_{вх}$ і $\frac{U_{ввх}}{U_{вх}} = R_{oc}/R_1$. Точка А називається потенційно заземленою.

В дану схему входять наступні блоки:

- 1- Стабілізатор напруги +9В
- 2- Джерело опорної напруги (регульоване)
- 3- Повторювач напруги
- 4- Перетворювач «напруга-струм»
- 5- Підсилювач масштабуючий
- 6- ІЧ випромінювальний діод
- 7- Перетворювач «випромінювання-напруга»
- 8- Біполярний стабілізатор напруги $\pm 15\text{В}$
- 9- Волоконно-оптичний Y-відгалужувач.

Ця комбінована структурна схема задовільняє потрібні функції по досягненню необхідного рівня сигналу на виході (2-4,7В) для подачі його в подальшому на самописець або мікроконтролер для обробки Також виконує живлення фотоприймача (ОРТ101), та випромінювального діода

4.3 Обґрунтування вибору принципової схеми

Була побудована принципова схема для блоку реєстрації електронного сигналу з волоконно-оптичного датчика автоматизованого контролю товщини плівки (рис 4.4). Схема була вдосконалена, в порівнянні з стандартними схемами підсилення на ОП, та адаптована під конкретну задачу згідно технічного завдання. Водночас схема не є складною, водночас вона є надійною. Приймач та випромінювач було вирішено розмістити окремо від основної плати блоку реєстрації.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

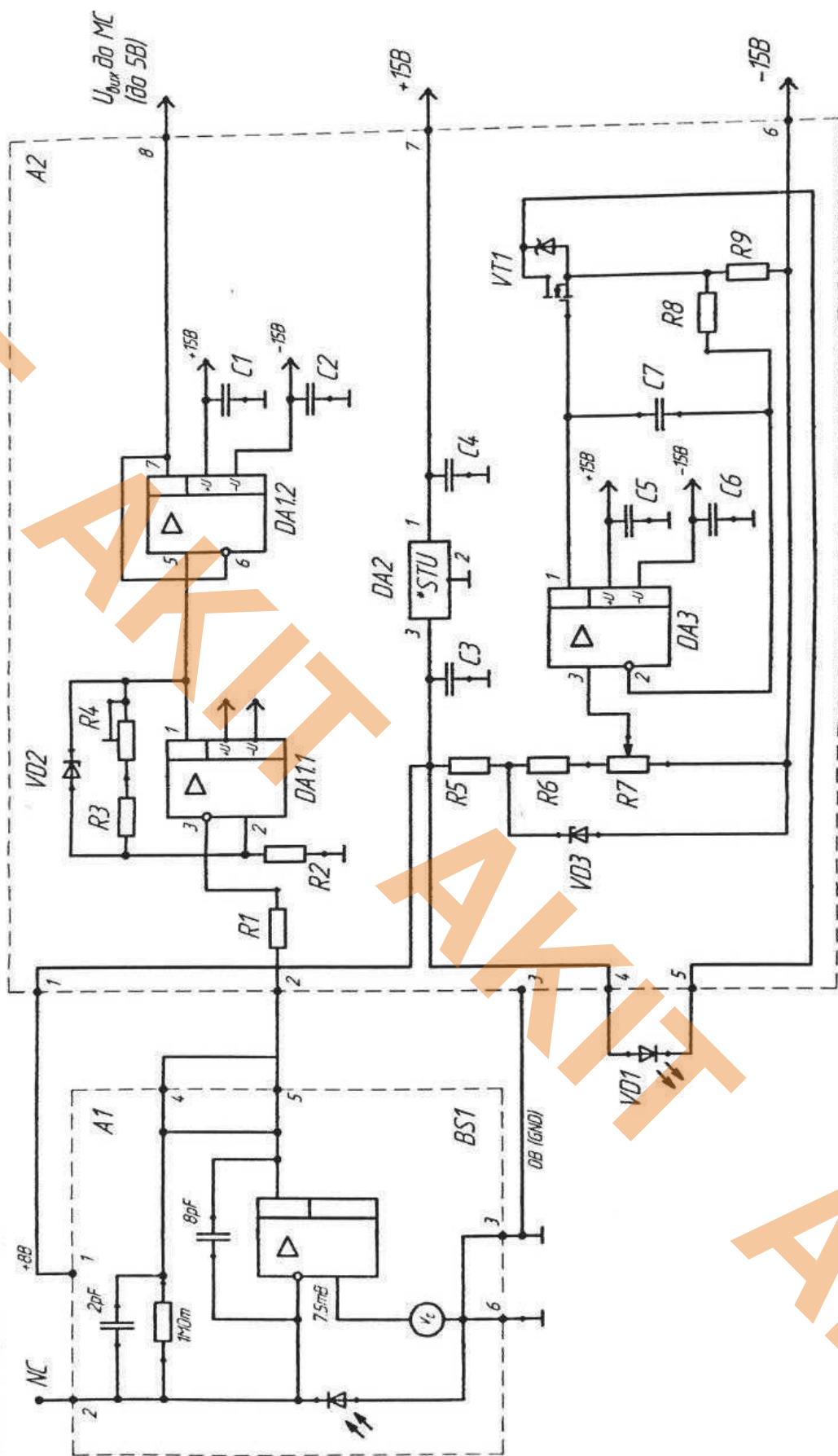


Рисунок 4.4 — Схема електрична принципова блоку реєстрації

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата
-----	-----	---------	--------	------

КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ

Арк

35

Так як використовується фотоприймач OPT101, який являє собою зібрану схему датчика (BS1) з фотодіодом та операційним підсилювачем в корпусі DIP-8, тобто сигнал з фотоприймача виходить вже підсилений з коефіцієнтом підсилення рівним 100 [10], тобто максимальна напруга на виході фотоприймача, якщо врахувати данні попередньої курсової роботи з дисципліни «Аналітичні прилади», буде 1,72 В. Цього рівня не вистачає для подачі на мікроконтроллер (2-4,7В) чи самописець, тому було задіяно операційний підсилювач (DA1) з коефіцієнтом підсилення рівним 2. В схемі вбудований підстроювальний резистор, який дає можливість плавно настроювати коефіцієнт підсилення ОП.

Також схема підтримує необхідний рівень живлення фотоприймача та фотодіода, та дає можливість регулювати опорне джерело живлення випромінювального діода.

Даний блок реєстрації використовує біполярне живлення $\pm 15\text{В}$.

4.4 Розрахунок друкованої плати

Розрахунок габаритних розмірів друкованої плати

Для визначення розмірів отворів плати друкованої під виводи елементів необхідно знайти еквівалентні діаметри $d_{\text{екв}}$ виводів з прямокутним перерізом

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (4.1)$$

де a і b – сторони прямокутника.

Для мікросхеми LF353:

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{0,38^2 + 0,25^2} \approx 0,45 \text{ мм}$$

А для стабілізатора $\mu\Phi 7807$:

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{0,77^2 + 0,34^2} \approx 0,84 \text{ мм}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Таблиця 4.1 — Розрахункова таблиця установочних площ

Категорія установочних площин	Елементи та їх тип	Діаметр виводу, мм	Установочна площа S, мм	Кількість	Установочна площа однотипних елементів S, мм
$S_{\text{мг}}$	Резистори RM0207S	0,6	26,45	7	185,15
	Резистори Type 82P	0,43	31,6	2	63,3
	Конденсатори Z5U-LS508	0,51	9,6	5	48,3
	Конденсатори T110	0,51	41,68	2	83,3
	Мікросхеми LF353	0,45	83,9	2	167,8
	Стабілізатор $\mu A7807$	0,84	48,6	1	48,6
	Стабілітрони BZX85	0,85	22,75	2	45,5
	Транзистор IRF3205	0,69	49,4	1	49,4
Всього					691,3

Враховуючи допуски на розміри ЕРЕ, необхідність вільного проходження у монтажних отворах, діаметри отворів повинні бути на $0,2 \div 0,3$ мм більшими від

					КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		37

розрахованих. Згідно ГОСТ 4.010.010-78 рекомендується також обмеження номенклатури діаметрів отворів, що підвищує технологічність монтажних процесів. Тому обмежимося трьома розмірами - 0,7; 0,8 та 1,1.

Розрахунок площі монтажної зони S_M для низької густини монтажу виконаємо на основі формули (4.2) [6]:

$$S_{MG} = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KG} \quad (4.2)$$

де S_{MG} , S_{CG} , S_{KG} відповідно сумарні площі установи малогабаритних в (всі мініатюрні елементи), середньо габаритні (МС у прямокутних корпусах, постійні опори вище 0.5 Вт конденсатори у круглих корпусах і т.д) та крупно габаритні (трансформатор, напівпровідникові прилади на радіаторах т. д.).

Під установчою площею ЕРЕ розуміють площу прямокутника(квадрата), у яку вписується ЕРЕ разом з виводом та контактними площинками при його установці на плати друкованої.

Результати розрахунків установчих площ ЕРЕ. Варіанти встановлення їх за ОСТ 4.010.030-81, а також розміри виводів елементів наведені у табл.4.1.

Площа монтажної зони згідно (4.2):

$$S_M = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KG} = 4 \cdot 691,3 = 2765 \text{ мм}^2$$

З переліку рекомендованих лінійних розмірів ДП, найближчі розміри монтажної зони становить $50 \times 60 \text{ мм}$, тоді $S_M = 3000 \text{ мм}^2$, а з врахуванням S_{KP} габаритні розміри плати складають $60 \times 75 \text{ мм}$, $S_{II} = 4500 \text{ мм}^2$.

Розрахунок діаметру контактних площинок

Розрахунок мінімального діаметра контактної площинки D навколо монтажного отвору проведемо за формулою (ГОСТ 23751-75)[6]:

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

$$D = (d + \Delta d_{bb}) + 2b_m + \Delta t_{bb} + (\delta_b^2 + \delta_p^2 + \Delta t_{mb}^2)^{0,5} \quad (4.3)$$

де d – номінальне значення діаметрів монтажного отвору;

Δd_{bb} – верхнє граничне відхилення діаметру контактної площинки;

b_m – гарантійний поясок на зовнішньому шарі;

Δt_{bb} – верхнє граничне відхилення ширини провідника;

δ_d – допуск на розташування отворів;

δ_p – допуск на розташування контактних площин;

Δt_{mb} – нижнє граничне відхилення ширини провідника.

Для плати друкованої 3 класу точності з покриттям:

$$\Delta d_{bb} = 0,1 \text{ мм}; 0,05 \text{ мм}; \quad \Delta t_{mb} = 0,8 \text{ мм};$$

$$b_m = 0,1 \text{ мм}; \quad \delta_p = 0,15 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{bb} = 0,1 \text{ мм}; \quad \delta_d = 0,08 \text{ мм}.$$

Для отвору $d=0,7$ мм мінімальний діаметр контактної площини $D_{0,7}$ рівний:

$$D_{0,7} = (0,7 + 0,05) + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + (0,08^2 + 0,15^2 + 0,8^2) = 1,71 \text{ мм}.$$

Для отвору з $d=0,8$ мм:

$$D_{0,8} = (0,8 + 0,05) + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + (0,08^2 + 0,15^2 + 0,8^2) = 1,81 \text{ мм}.$$

Для отвору з $d=1,1$ мм:

$$D_{1,1} = (1,1 + 0,05) + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + (0,08^2 + 0,15^2 + 0,8^2) = 2,16 \text{ мм}.$$

Мінімальне значення номінальної ширини провідників для плати $t=0,25$ мм,
а допуск на ширину провідників Δt з покриттям $\Delta t = \pm_{0,10}^{0,15}$ мм.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Таблиця 4.2 — Карта робочих режимів Блоку реєстрації

Позн.	Типономінал	Викон. функ.	Режим роботи	Напруга, В		P _{роз} , Вт	k _и	k _р
				Пост				
1	2	3	4	5		6	7	8
R1	RM0207S-0.6- 100кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,06	-
R2	RM0207S-0.6- 10кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,06	-
R3	RM0207S-0.6- 5кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,06	-
R4	Type 82P-5кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,075	-
R5	RM0207S-0.6- 1кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,06	-
R6	RM0207S-0.6- 68кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,06	-
R7	Type 82P-1кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,075	-
R8	RM0207S-0.6- 10кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,06	-
R9	RM0207S-0.6- 1кОм ±1%	Под. напр	в/д	15/250		-	0,06	-
C1	Z5U-LS508- 0.1мкФ- 25В±10%	Фільтр	в/д	15/25		-	0,6	-
C2	Z5U-LS508- 0.1мкФ- 25В±10%	Фільтр	в/д	15/25		-	0,6	-

Таблиця 4.3 — Показники надійності елементів блоку реєстрації

№	Найменування і типомінали елементів	n, шт	λ_0 , год ⁻¹	k_e	Θ , °C	k_H	λ_1 , год ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8
1	R1-RM0207S-0.6-100кОм $\pm 1\%$	1	2,2	2,14	20	0,06	0,28
2	R2, R8- RM0207S-0.6-10кОм $\pm 1\%$	2	2,2	2,14	20	0,06	0,28
3	R3- RM0207S-0.6-5кОм $\pm 1\%$	1	2,2	2,14	20	0,06	0,28
4	R4- Type 82P-5кОм $\pm 10\%$	1	2,0	2,14	20	0,075	0,32
5	R5, R9- RM0207S-0.6-1кОм $\pm 1\%$	2	2,2	2,14	20	0,06	0,28
6	R6- RM0207S-0.6-68кОм $\pm 1\%$	1	2,2	2,14	20	0,06	0,28
7	R7- Type 82P-1кОм $\pm 10\%$	1	2,0	2,14	20	0,075	0,32
8	C1,C2-Z5U-LS508-0.1мкФ-25B $\pm 10\%$	2	3,0	2,14	20	0,06	3,85
9	C3,C4- T110-2.2мкФ-20B $\pm 4\%$	2	0,6	2,14	20	0,75	0,96
10	C5-C7- Z5U-LS508-0.1мкФ-25B $\pm 10\%$	3	3,0	2,14	20	0,06	3,85
11	DA1,DA3-LF353	2	26	2,14	20	0,2	11,1
12	DA2- μ A7807	1	34	2,14	20	0,05	3,63
13	VD2,VD3- BZX85/C4V7-4.6B $\pm 5\%$	2	2,0	2,14	20	0,07	0,29
14	VT1-IRF3205	1	7,0	2,14	20	0,005	0,07
15	Пайки	80	1	2,14	20	-	80
Разом							130,25

Значення сумарної інтенсивності відмов для всіх елементів, які входять до принципової схеми рівне:

									Арк
									46
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ				

$$\lambda_{\Sigma} = 130,25 \cdot 10^{-8} [\text{год}^{-1}]$$

На підставі отриманого значення λ_{Σ} за формулою (4.7) розраховують величину до принципової схеми рівне:

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{(130,25 \cdot 10^{-8})} = 767754,31 = 767 [\text{тис. год}].$$

Значення ІБР за час $t=2000$ год оцінюють за формулою (6.5):

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t} \approx 1 - (130,25 \cdot 10^{-8} \cdot 1000) = 0,9986.$$

					<i>КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ</i>	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		47

5 КЕРУВАННЯ НАПИЛЕННЯ З ARDUINO

5.1 Мета додавання Arduino

Метою додавання Arduino є керування живленням випарника на основі аналогового сигналу напруги у формі хвилі. Коли максимальне значення напруги буде досягнуто вразі, мікроконтролер активує реле, щоб вимкнути подачу струму на випарник. Одночасно він надішле сигнал на серводвигун, щоб заблокувати випарник.

Необхідне обладнання:

- Плата Arduino Uno;
- Релейний модуль для Arduino;
- Серводвигун який буде зміщувати заслонку(TowerPro SG90);
- Перемички.

5.2 Підключення до Arduino

З'єднання ланцюга:

1. Потрібно підключити контакт 5V Arduino до контакту VCC модуля реле;
2. Контакт GND Arduino підключити до GND модуля реле;
3. Цифровий контакт Arduino (контакт 7) підключаємо до входу сигналу (IN) релейного модуля;
4. Підключаємо загальний контакт (COM) модуля реле до позитивної клеми джерела живлення для випарника;
5. Під'єднуємо нормально відкритий (NO) контакт релейного модуля до позитивної клеми випарника;
6. Підключаємо сигнальний контакт серводвигуна до цифрового контакту Arduino (контакт 9);

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

7. Контакти живлення та заземлення серводвигуна до контактів 5В та GND Arduino;
8. Аналоговий сигнал напруги (з повторювача напруги) до аналогового входу Arduino (A0);
9. GND аналогового сигналу до GND контакту Arduino.

5.3 Код для реалізації

Код який реалізує бажану функціональність:

```
#include <Servo.h>

const int relayPin = 7; // Цифровий пін, підключений до модуля реле
const int servoPin = 9; // Цифровий пін, підключений до сервопривода
const int analogPin = A0; // Аналоговий пін, підключений до напруги
const int maxCount = 2; // Кількість перетинів порогу

int relayState = LOW; // Стан реле (LOW - вимкнено, HIGH - увімкнено)
int count = 0; // Лічильник перетинів порогу
float maxVoltage = 0.0; // Максимальна напруга
unsigned long previousTime = 0; // Попередній час

Servo servo; // Сервопривід

void setup() {

  pinMode(relayPin, OUTPUT);

  pinMode(analogPin, INPUT);

  servo.attach(servoPin);

  servo.write(0); // Початкове положення сервопривода (блокуємо испарювач)

}
```

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

```

void loop() {
    unsigned long currentTime = millis(); // Поточний час в мілісекундах
    // Оновлюємо максимальну напругу кожні 50 секунд
    if (currentTime - previousTime >= 50000) {
        maxVoltage = 0.0; // Скидаємо максимальну напругу
        previousTime = currentTime; // Оновлюємо попередній час
    }

    float voltage = analogRead(analogPin) * (5.0 / 1023.0); // Зчитуємо аналогову
напругу та переводимо її у вольти
    if (voltage > maxVoltage) {
        maxVoltage = voltage; // Оновлюємо максимальну напругу
    }

    if (count >= maxCount) {
        relayState = HIGH; // Увімкнути реле
        servo.write(90); // Перемістити сервопривод у відкрите положення
(розблокувати испарювач)
    } else {
        relayState = LOW; // Вимкнути реле
    }

    digitalWrite(relayPin, relayState); // Встановлюємо стан реле
    // Скидаємо лічильник, якщо напруга нижче максимальної
    if (voltage < maxVoltage) {
        count = 0;
    }
}

```

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Також був розроблений повний комплект документації для виготовлення електричного вузла блоку реєстрації.

АКТИТ
АКТИТ
АКТИТ
АКТИТ

					<i>КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ</i>	Арк
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інтерференційні картини в тонких пластинках і плівках. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://mozok.click/2531-nterferencyn-kartini-v-tonkih-plastinkah-plvkah.html>.
2. Фізика і хімія твердого тіла, т.16, №3(2015) с.487-490, Я.В.Грицище, В.Ю.Лоя, М.І.Козак.
3. Передавальна характеристика волоконно-оптичного датчика температури з чутливим елементом з халькогенідного скла, І.І.Туряниця, І.І.Чичура, О.В.Козусенок.
4. Texas Instruments Inc. Datasheet OPT101 Monolithic Photodiode and Single-Supply Transimpedance Amplifier – JANUARY 1994 – JUNE 2015.
5. Бутурлакін О.П., Овчаренко В.В., Чичура І.І. Друковані плати (частина 1). Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів інженерно-технічного факультету спеціальностей «Приладобудування» та «Електронні системи». – Ужгород, УжНУ, 2016. – 40 с.
6. Бутурлакін О.П., Овчаренко В.В., Федак В.В. Надійність електронної апаратури. Методичні рекомендації до виконання розрахунків по оцінці показників надійності радіоелектричної апаратури. Методична розробка для студентів інженерних спеціальностей. УжНУ, 2016, – 56 с.
7. EasyEDA. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://easyeda.com/>.
8. OPT101 Monolithic Photodiode and Single-Supply Transimpedance Amplifier. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/opt101.pdf>.
9. Визначення товщини плівки. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/vigotovlennya-mk-mizhnarodna-gilka-standarty/111-dstu-iso-2808-2019-farbi-ta-laki-viznachennya-tovshchini-pl-vki.pdf>.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

10. Методичні вказівки. [Електронний ресурс]. – режим доступу:
<https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/22/3-22-mz10.pdf>.

11. Підсилювачі. [Електронний ресурс]. – режим доступу:
<https://org2.knuba.edu.ua/mod/book/view.php?id=32480&chapterid=501>.

					<i>КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

Додатки

					КБР.ЛБ.19050030. 01.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		56