

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні  
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти другий магістерський  
(другий магістерський) рівень

на тему Дослідження та розробка мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації

Виконав: студент (ка) II курсу, групи 8.1532

Сушко А. А.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Напряму підготовки 153  
(шифр)

Спеціальності Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Керівник доцент, доцент, к.т.н.

Верьовкін Л.Л.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Завідувач кафедри ЕІКС ІННІ ім. Ю.М. Потебні, професор, д.т.н., Коваленко В. Л.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні**

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень  
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_  
(шифр)

Спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕІСПЗ

Критська Т. В.

“20” грудня 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Сушко Антону Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження та розробка мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації

керівник проекту (роботи) Верьовкін Леонід Леонідович, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “01” травня 2023 року №639-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Спектральний діапазон довжин хвиль, в якому виконуються дослідження 300-1000 нм; межі виміру коефіцієнтів пропускання 0-125 %; оптична щільність 0,1-2,5 %; основна відносна погрішність виміру коефіцієнта пропускання не більше 0,5 %; робоча довжина кювети 5 мм; живлення пристрою – комбіноване: мережа 115/230В і батарея 9В.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Дослідження оптичних методів проведення клінічних аналізів. Розробка мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації. Техніко-економічне обґрунтування розробки мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації Охорона праці та техногенна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Оптична схема фотокolorиметра КФК-3-03-«ЗОМЗ». Структурна схема пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації. Моделювання розрахованої схеми інтегратора. Результати моделювання залежності вихідної напруги інтегратора від рівня вхідного сигналу. Схеми мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	<i>13.10.2023</i>
<i>II</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	<i>10.11.2023</i>
<i>III</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	<i>17.11.2023</i>
<i>IV</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	<i>23.11.2023</i>

7. Дата видачі завдання 01.05.2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
<i>1</i>	<i>Аналітичний огляд оптичних методів проведення клінічних аналізів</i>	<i>14.09.2023</i>	
<i>2</i>	<i>Дослідження конструкцій приладів для проведення клінічних аналізів оптичними методами</i>	<i>18.09.2023</i>	
<i>3</i>	<i>Аналіз оптичної системи фотоколориметра КФК-3-03-«ЗОМЗ»</i>	<i>13.10.2023</i>	
<i>4</i>	<i>Моделювання функціональної схеми пристрою</i>	<i>20.10.2023</i>	
<i>5</i>	<i>Розрахунок основних параметрів оптичного випромінювача</i>	<i>27.10.2023</i>	
<i>6</i>	<i>Розрахунок основних параметрів диференціального каналу обробки фотометричної інформації</i>	<i>03.11.2023</i>	
<i>7</i>	<i>Побудова пристрою мікропроцесорного блоку обробки інформації</i>	<i>10.11.2023</i>	
<i>8</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтуванн</i>	<i>17.11.2023</i>	
<i>9</i>	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>23.11.2023</i>	
<i>10</i>	<i>Написання пояснювальної записки</i>	<i>02.12.2023</i>	
<i>11</i>	<i>Оформлення графічного матеріалу</i>	<i>08.12.2023</i>	
<i>12</i>	<i>Попередній захист дипломної роботи</i>	<i>09.12.2023</i>	
<i>13</i>	<i>Оприлюднений захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>12.12.2023</i>	

Студент

( підпис )

Сушко А. А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

( підпис )

Верьовкін Л.Л.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

( підпис )

Верьовкін Л.Л.  
(прізвище та ініціали)

## Реферат

Дипломна робота містить 99 сторінок, 39 рисунків, 23 таблиці, 18 джерел літератури.

Об'єкт проектування – мікроелектронна система фотометричного аналізу.

Мета роботи – розробка та дослідження мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації.

Задачі роботи – проектування функціональної схеми каналу обробки фотометричної інформації пристрою, електричний розрахунок каналу обробки фотометричної інформації.

Методика досліджень – дослідження працездатності розробленого пристрою у процесі моделювання.

Короткий виклад результатів досліджень – мікропроцесорна схема обробки сигналів, що поступають з блоку формувачів, забезпечує виміри і розрахунки параметрів об'єкту дослідження, що дає можливість виконувати статистичну обробку накопиченої інформації і спостерігати за динамікою процесу захворювання і лікування.

Прогнозні пропозиції – розроблений прилад рекомендується для подальшого удосконалення.

**ФОТОМЕТРІЯ, RGB - СВІТЛОДІОД, КЮВЕТА, ФОТОДАТЧИК,  
ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, ОДНОВІБРАТОР, ФІЛЬТР, АЦП, ШІМ,  
МІКРОПРОЦЕСОР**

Робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 01 травня по 10 грудня 2023 року.

## Зміст

	Стор.
Вступ .....	6
1 Дослідження оптичних методів проведення клінічних аналізів .....	8
1.1 Фізичне обґрунтування оптичних методів проведення клінічних аналізів .....	9
1.2 Прилади для проведення клінічних аналізів оптичними методами ....	12
1.3 Конструкція приладів для проведення клінічних аналізів оптичними методами .....	12
1.4 Аналіз оптичної системи фотоколориметра КФК–3–03–«ЗОМЗ» .....	14
1.5 Оптичні системи світлового випромінювання .....	15
1.6 Фотоприймачі та їх характеристики .....	19
1.6.1 Фізичні основи внутрішнього фотоефекту .....	20
1.6.2 Принцип дії фотодіода .....	22
1.6.3 Основні характеристики електронно-дірочних фотоелементів .....	25
1.6.4 Люкс-амперна та спектральна характеристики фотодіодів .....	27
2 Розробка мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації .....	30
2.1 Моделювання функціональної схеми пристрою .....	30
2.2 Розрахунок основних параметрів оптичного випромінювача .....	33
2.2.1 Методи регулювання струму світлодіодного випромінювача .....	35
2.3 Розрахунок основних параметрів диференціального каналу обробки фотометричної інформації .....	40
2.4 Розрахунок основних параметрів підсилювача сигналу фотоприймача .....	44
2.4.1 Дослідження схем включення операційних підсилювачів .....	45
2.4.2 Розрахунок параметрів і номіналів елементів схеми попереднього підсилювача .....	48

2.5 Розрахунок параметрів і номіналів елементів інтегратора .....	51
2.6 Розрахунок основних характеристик вузла контролю .....	55
2.7 Розрахунок параметрів і номіналів елементів схеми АРП .....	61
2.8 Розрахунок погрішності вимірів каналу обробки фотометричної ін- формації .....	67
2.9 Побудова пристрою мікропроцесорного блоку обробки інформації...	69
2.10 Розробка блоку індикації .....	71
3 Техніко-економічне обґрунтування розробки мікроелектронної систе- ми фотометричного аналізу діагностичної інформації .....	75
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми пристрою .....	75
3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації .....	79
4 Охорона праці та техногенна безпека .....	81
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	81
4.2 Заходи з поліпшення умов праці .....	82
4.3 Виробнича санітарія .....	85
4.4 Електробезпека .....	87
4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека .....	89
4.6 Розрахунок захисного заземлення .....	90
Висновки та рекомендації .....	94
Перелік джерел .....	95
Додаток А .....	97

## Вступ

Медична техніка є незамінним інструментом лікаря в процесі діагностики, лікування і профілактики різних захворювань. Медичну техніку умовно можна розділити на три великі групи: апаратуру, інструменти і устаткування. Вона грає найважливішу роль для захисту здоров'я людей.

У цій області в світі останніми роками спостерігається значний прогрес. Найбільш складна область медичної техніки, що інтенсивно розвивається - медична апаратура, велику частину якої складають електромедичні прилади і апарати, які засновані на використанні електричної енергії і перетворенні її в сигнал, що надає лікувальну дію на пацієнта.

Медична апаратура в процесі свого функціонування певним чином пов'язана з пацієнтом. При цьому в системі апаратура – пацієнт, під контролем лікаря-фахівця встановлюється взаємний обмін енергією і інформацією від апаратури до пацієнта або навпаки [1].

Залежно від напрямку потоку енергії (інформації) всю електромедичну апаратуру можна розділити на дві групи: апаратуру що енергетично впливає на пацієнта з метою його лікування, і апаратуру що сприймає біологічну інформацію від пацієнта з метою її аналізу. За функціональною ознакою, медична апаратура, може бути розділена на діагностичну і терапевтичну.

Вироби терапевтичної апаратури прийнято називати апаратами, вироби діагностичної апаратури – приладами.

Терапевтична апаратура впливає на пацієнта з метою викликати бажані зрушення в його організмі – перебудову патологічного процесу у бік нормалізації.

Діагностичні прилади дають необхідну інформацію по реакції пацієнта (біологічно) на певну дію, або по внесеному тілом пацієнта збудженню в потік енергії (рентгенівське просвічування, і тому подібне). При діагностиці впливаючими приладами, аби виключити побічні шкідливі для організму

ефекти, прагнуть понизити до мінімально можливого рівня енергію дії. Нижня межа такого зниження залежить від чутливості організму до дії, або від чутливості методу реєстрації внесених збуджень [1, 2].

Сприймаючі діагностичні прилади дають інформацію про різні процеси в організмі: біопотенціали, які генеруються тканинами і органами, звукові тони серця, температуру тіла і ін. При цьому діагностичні прилади аналогічно будь-яким іншим вимірювальним приладам повинні робити мінімальний вплив на досліджуваний процес і володіти високою чутливістю до вимірюваного параметра.

Актуальною є можливість побудови приладу для проведення клінічних аналізів на основі оптичних методів контролю. Цей прилад називають фотоколориметр, і він відноситься як до впливаючих так і до сприймаючих діагностичних приладів, оскільки здійснює дію світловим випромінюванням на біологічно-активний зразок, взятий у пацієнта і в той же час сприймає світловий потік, який змінився за рахунок проходження його через біологічно-активний зразок.



## 1 Дослідження оптичних методів проведення клінічних аналізів

Для здобуття інформації про загальний стан пацієнта і окремих його внутрішніх органах в даний час в практичній медицині застосовуються різні прилади. Їх робота заснована на різних фізичних, хімічних, біологічних і інших ефектах. Робота однієї з груп приладів, які служать для проведення клінічних аналізів проб узятих з організму пацієнта, базується на оптичних методах вимірів. До таких приладів відносяться спектрофотометри, колориметри та ін. [3].

Проведемо аналіз оптичних методів визначення клінічних аналізів, фізичних законів і приладів для їх проведення.

Фотометричний метод заснований на вимірі і пропусканні, поглинанні або розсіяння світла визначуваною речовиною в області ультрафіолетових, видимих і інфрачервоних хвиль. Фотометричні методи підрозділяються на візуальні, в яких спостереження ведуть оком і об'єктивні, в яких спостереження здійснюється фізичними приладами, наприклад, фотоелементами, термoeлементами і болометрами. В залежності від характеру взаємодії аналізованої речовини зі світловою енергією, способу її виміру і типу її використаного оптичного вимірювального приладу розрізняють наступні методи.

Спектрофотометрія — визначення кількості речовини по поглинанню монохроматичного світла, вимірюваного спектрофотометрами, наприклад СФ - 4А.

Фотоелектрокалориметрія — визначення кількості речовини по поглинанню поліхроматичного світла, пропущеного світлофільтром і вимірюваного фотоелементом в досить вузьких інтервалах спектру, наприклад на ФЕК - 57, ФЕК - М.

Колориметрія – візуальне визначення концентрації речовини по інтенсивності забарвлення розчину на простих оптичних приладах (колориметр Дюбокса, фотометр Пульфріха). У фотоколориметрії і колориметрії вимірю-

ють інтенсивність світла, що пройшло через забарвлений розчин, колір якого доповнює колір поглиненого світла.

Турбідиметрія – визначення концентрації по поглинанню світла зваженими в рідині частками аналізованої речовини; міра каламутності рідини пропорційно концентрації.

Нефелометрія – визначення концентрації по інтенсивності світла, розсіяного (відбитого) зваженими частками каламутної системи, наприклад колоїдного розчину, суспензії, емульсії. Інтенсивність світлорозсіяння пропорційна концентрації зважених часток. Турбідиметричні і нефелометричні виміри проводять на нефелометрі НФМ зі світлофільтрами або на ФЕК - Н - 57.

Флуориметрія – визначення кількості речовини по інтенсивності флуоресценції, що виникає при опроміненні аналізованої речовини УФ променями і пропорційній його концентрації. Визначають на флуориметрах ФМ-1, ФМ-2 з ртутними кварцовими лампами ДРС-50.

### 1.1 Фізичне обґрунтування оптичних методів проведення клінічних аналізів

При фотометричних вимірах, за законом Ламберта, шари речовини рівної товщини поглинають рівні частини світла. Цей закон розглядає поступове ослабіння паралельного монохроматичного пучка світла при його поширенні в поглинаючій речовині.

Закон Бугера - Ламберта - Бера визначає залежність поглинання монохроматичного пучка світла від концентрації і товщини шару світлопоглинальної речовини в розчині [4]. Якщо є два розчини одну і ту ж речовини в одному і тому ж розчиннику, з яких один в два рази концентрованіше іншого, то світлопоглинання (абсорбція) в першому розчині буде рівне світлопоглинанню в другому розчині за умови, що товщина шару першого розчину в два рази менша, ніж товщина шару другого розчину.

Закон Бугера - Ламберта - Бера виражається рівнянням:

$$I_t = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon Ch} \quad (1.1)$$

де:  $I_0$  – інтенсивність пучка монохроматичного світла, що увійшло до шару світлопоглинального розчину товщини  $h$ ;  $I_t$  – інтенсивність світла розчину, що вийшов з шару;

$C$  – концентрація світлопоглинальної розчиненої речовини;

$E$  – молекулярний коефіцієнт поглинання світла, залежний від хімічної природи і фізичного стану світлопоглинальної речовини, від довжини хвилі монохроматичного світла

$h$  – товщина шару, який колориметрується.

Відомо, що  $\varepsilon C$  залежить від товщини шару  $h$  унаслідок резонансної взаємодії між молекулами, що світяться і світлопоглинальною. Якщо концентрація розчину виражена в моль/л, а товщина шару в см, то коефіцієнт називається молярним коефіцієнтом поглинання, або молярним коефіцієнтом екстинкції. Він характеризує оптичну щільність 1 мл розчину, налитого в кювету товщиною 1 см.

Оптичну щільність можна обчислити, користуючись формулою закону Бугера – Ламберта - Бера:

$$D = \varepsilon Ch = \lg \frac{I_0}{I}. \quad (1.2)$$

Молярний коефіцієнт показує, яка частина світлового потоку поглинається розчином при товщині шару 1 см. Якщо  $C = 1$  моль/л і  $h = 1$  см, то  $\varepsilon = D$  [4]. Величину  $D$  називають оптичною щільністю поглинаючої речовини.

Закон Бугера - Ламберта описує світлопоглинання при постійній концентрації речовини в розчині і різній товщині шару.

Закон Бера описує світлопоглинання при постійній товщині шару і різній товщині шару, і різній концентрації речовини.

Величини  $D$  і  $T$  залежать від довжини хвилі падаючого світла і концентрації світлопоглинальної речовини в розчині.

Розчини багатьох речовин виявляють відхилення від закону Бера. Найважливіші причини відхилень наступні:

1) присутність сторонніх електролітів в розчині викликають деформацію молекул і іонів забарвлених речовин (особливо комплексних), унаслідок чого світлопоглинання додатково міняється при розбавленні;

2) гідратація (сольватація) розчиненої речовини викликає непропорційно розбавленню зміна світлопоглинання розчину;

3) зміна взаємодії світлопоглинальних часток з розбавленням розчину.

4) зміна рН розчину впливає на світло поглинання;

5) зміна мірі дисоціації або асоціації світлопоглинальної речовини в розчині може змінити забарвлення (наприклад, метилового помаранчевого).

При зміні рН може також змінюватися склад комплексного з'єднання, поглинаючого світла. Зміна рН може зруйнувати комплексне з'єднання, що поглинає світло [4].

Можуть також відбуватися реакції таутомірного перетворення або гідролізу.

Аби зменшити відхилення від закону Бера, необхідно працювати в оптимальних умовах, вибравши відповідний реагент і спосіб приготування випробовуваного і стандартного розчинів. На величину світлопоглинання впливає температура, що викликає зміну хімічного складу світлопоглинальної речовини. Розчин повинен містити речовину, що володіє власним характерним забарвленням, або утворювати забарвлені з'єднання з відповідними реагентами. Забарвлення розчину має бути досить інтенсивним, і чим воно інтенсивніше, тим більш чутливий метод аналізу.

Забарвлення має бути стійким в часі і не мінятися із зміною рН- розчину і температури.

При зміні концентрації розчину повинен дотримуватися закон Бера.

## 1.2 Прилади для проведення клінічних аналізів оптичними методами

До приладів в основу принципу дії, яких покладені оптичні методи досліджень, відносяться спектрометри, спектрофотометри флуорометри, фотометри, нефелометри, колориметр та інші.

Фотоколориметр - оптичний прилад, який показує концентрацію речовини в розчині по інтенсивності забарвлення. Світлові потоки вимірюють фотоелементами, що дозволяє досягти вищої чутливості, точності і об'єктивності визначень, чим при користуванні візуальними колориметрами. Виміри значно прискорюються. Візуальні і фотоелектричні колориметри дозволяють визначати концентрацію речовин в межах від  $10^{-3}$  до  $10^{-8}$  моль/л.

Найчастіше в клінічній практиці для проведення клінічних аналізів застосовують фотоколориметр КФК-3-03-«ЗОМЗ» [1]. Для проведення аналізу достоїнств і недоліків цього приладу був проведений аналіз його принципу дії і методик дослідження за допомогою цього приладу.

## 1.3 Конструкція приладів для проведення клінічних аналізів оптичними методами

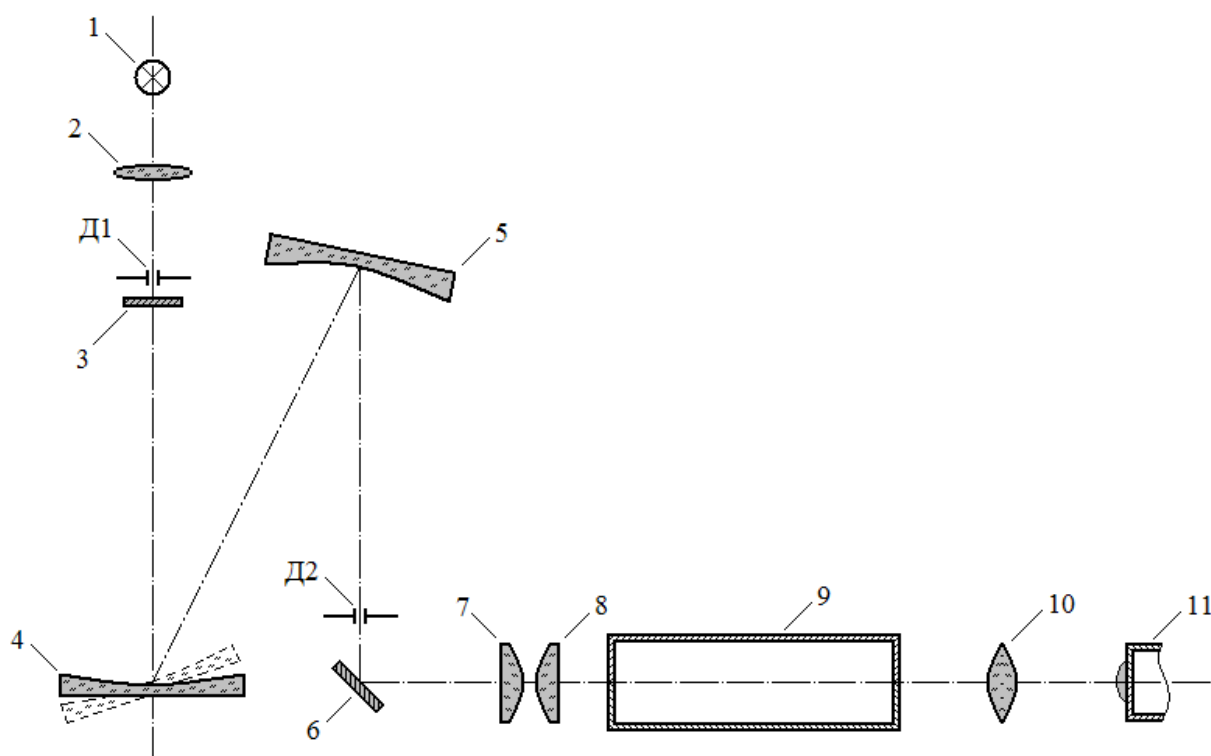
Фотоколориметр КФК-3-03-«ЗОМЗ» складається з двох основних вузлів:

- оптичної системи;
- електронного блоку обробки інформації .

Оптична система складається з:

- світлового випромінювача (галогенна лампа)
- системи лінз, кольорових і теплових світлофільтрів
- фотоприймачів (3шт.).

Оптична схема фотоколориметра КФК-3-03-«ЗОМЗ» представлена на рисунку 1.1. [1].



1 - лампа; 2 - конденсор; Д1 – входна щілина; 3 – нейтральний світлофільтр; 4 - увігнута дифракційна ґратка; 5 – увігнуте дзеркало; Д2 – вихідна щілина; 6 - теплозахисний світлофільтр; 7, 8 – об’єктив; 9 – кювет не відділення; 10 – лінза; 11 - фотоприймач

Рисунок 1.1 - Оптична схема фотоколориметра КФК-3-03-«ЗОМЗ»

Як джерело світла у фотоколориметрі КФК-3-03-«ЗОМЗ» застосована галогенна лампа. Вживання її обумовлене тим, що такі лампи випромінюють практично білий світ з рівномірною спектральною щільністю. Світловий потік лампи конденсором (2) перетворюється в паралельний пучок світла. Діафрагма Д1 служить для регулювання інтенсивності світлового променя. Теплозахисний і нейтральний світлофільтри (3, 6) служать тепловим бар'єром між лампою фотоколориметра і кюветою з пробєю, і запобігають нагріву кювети. Це необхідно аби зменшити додаткову погрішність приладу. Світлофільтр призначений для виділення з білого кольору лампи вузьких ділянок спектру для досліджуваного розчину.

Світловий потік ділиться на два, близько 10 % прямує на фотодіод і близько 90 % - на фотоелемент.

Для зрівнювання фотострумів, що знімаються з фотоприймача, при роботі з різними кольоровими світлофільтрами перед ним встановлений світлофільтр з кольорового скла.

При роботі з кюветами малої ємкості в кюветному відділенні встановлюється приставка для мікроаналізу.

#### 1.4 Аналіз оптичної системи фотоколориметра КФК-3-03-«ЗОМЗ»

До недоліків оптичної системи фотоколориметра КФК-3-03-«ЗОМЗ» можна віднести:

- витрату робочого часу на прогрівання галогенної лампи;
- використання як джерело світла галогенної лампи;
- наявність багатоелементної оптичної системи;
- наявність в оптичній системі рухливих вузлів (механізм зміни кювет).
- субстрактивний метод (за допомогою змінних світлофільтрів) формування необхідного спектру тестового випромінювання;
- необхідність багатократних калібрувань приладу (при зміні світлофільтрів і так далі);
- наявність в приладі декількох приймачів оптичного випромінювання, що ускладнює калібрування приладу і подовжує час проведення аналізу;
- складність управління оптичною системою в процесі вимірів, а також її висока вартість і великі габарити і вага.

Для усунення вищезгаданих недоліків властивих системам обробки інформації приладів для фотометрії необхідно:

- застосувати принципово новий метод здобуття світлового випромінювання з різною довжиною хвилі (кольором);
- застосувати для прийому оптичної інформації єдиний фотоприймач;
- застосувати диференціальний канал для обробки фотометричної інформації;

- застосувати для обробки результатів вимірів і управлінням приладу блок на основі мікропроцесора.

Для реалізації першої позиції необхідно відзначити, що монохроматичне випромінювання насправді не реалізується [4]. Випромінювання, що володіє кінцевою енергією займає кінцевий діапазон частот  $\omega$  (довжин хвиль  $\lambda$ ). Тому фотометричні величини (потік випромінювання  $\Phi$ , інтенсивність  $I$ , повну щільність променистої енергії  $u$ ) можна представити у вигляді спектральних розкладань аналогічних інтегралу Фур'є:

$$\begin{aligned}\Phi &= \int_0^{\infty} \Phi_{\omega}(\omega) d\omega = \int_0^{\infty} \Phi_{\lambda}(\lambda) d\lambda \\ I &= \int_0^{\infty} I_{\omega}(\omega) d\omega = \int_0^{\infty} I_{\lambda}(\lambda) d\lambda \\ u &= \int_0^{\infty} u_{\omega}(\omega) d\omega = \int_0^{\infty} u_{\lambda}(\lambda) d\lambda\end{aligned}\tag{1.3}$$

Таким чином випромінювання будь-якого кольору (з будь-якою довжиною хвилі) можна отримати методом синтезу, змішуючи три основні кольори.

Для реалізації другої позиції необхідно вибрати такий вигляд фотоприймача, який спільно з диференціальним каналом обробки оптичного випромінювання міг працювати даючи задовільні результати у всьому діапазоні довжин хвиль, в якому виробляються дослідження.

## 1.5 Оптичні системи світлового випромінювання

Процес здобуття різних кольорів за допомогою декількох основних (первинних) випромінювань або фарб називається колірним синтезом. Існує два принципово різних метода колірного синтезу: адитивний і субтрактивний.



У адитивному синтезі змішуються первинні випромінювання. Як первинні можуть бути використані два, три і більш різних за кольором випромінювань, але найбільш поширений трибарвний адитивний синтез. Первинні кольори і випромінювання, що створюють його, називаються основними. Основні випромінювання адитивного синтезу - синій, зелений і червоний, тобто випромінювання трьох основних зон спектру. Адитивний синтез кольору - відтворення кольору в результаті оптичного змішення випромінювань базових кольорів (червоного, зеленого і синього - R, G, B).

Просторове змішення - це різновид адитивного способу. Просторове змішення засноване на тому, що око не розрізняє дуже близько розташовані один до одного дрібні різноколірні ділянки, а сприймає їх зливо, як одне ціле. Якщо ці дрібні ділянки мають різне забарвлення, то ми бачимо лише їх узагальнений колір - колір адитивної суміші.

Змішення трьох основних спектральних кольорів порівну створює білий колір. Яскравість цих кольорів, яка змінюється, складається при змішенні кольорів. Колір, отриманий в результаті адитивного синтезу, відповідно буде завжди яскравіший, ніж кожен окремих колір, який був змішаний.

Колірна модель (або колірний простір) – це спосіб опису кольору за допомогою кількісних характеристик. В цьому випадку не лише легко порівнювати окремі кольори і їх відтінки між собою, але і використовувати їх в цифрових технологіях. У колірній моделі (просторі) кожному кольору можна поставити у відповідність строго певну точку. В цьому випадку колірна модель - це просто спрощена геометричне представлення, засноване на системі координатних осей і прийнятого масштабу. Проте колір, як складне фізичне і психофізіологічне явище, не укладається в єдину і просту модель, тому в області кольорознавства створена безліч моделей, виходячи з різних практичних вимог. У цифрових технологіях використовуються, як мінімум, чотири основні моделі: RGB, CMYK, HSB у різних варіантах, LAD.

У колірній моделі RGB можна описати більше 16 мільйонів кольорів. Кольори моделі RGB, які фізично реалізуються, використовуються для

адитивного синтезу інших кольорів. Ця властивість дозволяє представити колірний обхват пристрою на схемі колірної моделі RGB. Для цього необхідно помітити на схемі точки кольорів, які генерують складові джерела, наприклад точки червоного, зеленого і синього кольорів, а потім з'єднати їх прямими лініями. В результаті отриманий трикутник (рис. 1.2) відобразить лише ті кольори, які в змозі генерувати пристрій.

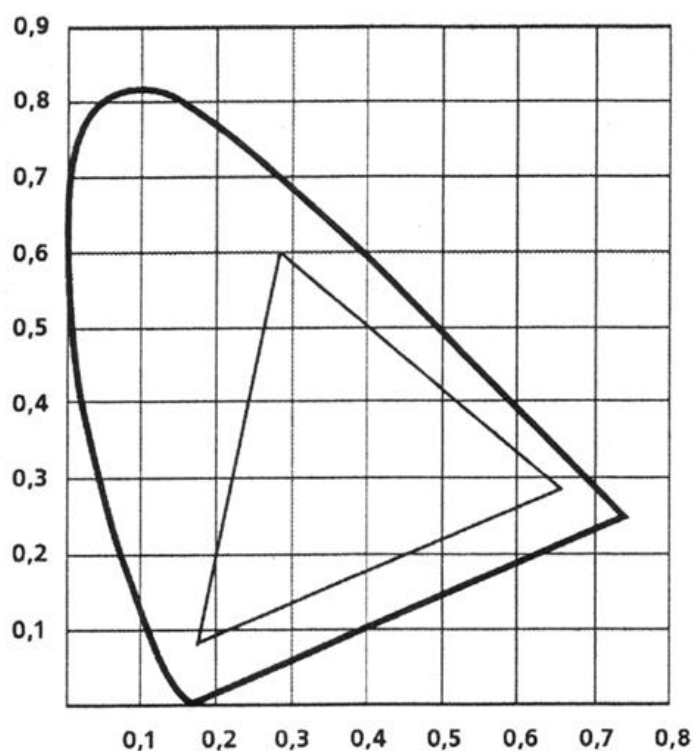


Рисунок 0.1 - Колірний обхват для пристрою з адитивним синтезом кольору (колірна модель RGB)

В даний час в промислових приладах і в побутовій техніці знаходять вживання різні джерела оптичного випромінювання, в основі яких лежать різні принципи здобуття світлової енергії. До таких джерел відносяться: лампи розжарювання, газорозрядні прилади напівпровідникові випромінювачі (світлодіоди), лазери.

Лампи розжарювання і газорозрядні прилади (до них відносяться і галогенні лампи) мають дуже велику інерційність і тепловиділення. Крім того, вони мають досить широкий спектр випромінювання, що наводить до необ-

хідності вживання теплових екранів і світлофільтрів для формування необхідного кольору. Вони володіють малим терміном служби і низькою надійністю.

Лазери мають високу когерентність випромінювання, малу інерційність в порівнянні з лампами розжарювання і газорозрядними приладами, але мають малий динамічний діапазон регулювання вихідної потужності, і вимагають досить громіздку систему охолодження.

Напівпровідникові випромінювачі (світлодіоди) максимально задовольняють вище переліченим вимогам до джерела оптичного випромінювання.

Кристал світлодіода – це практично точкове джерело світла, тому корпус може бути дуже мініатюрним. Конструкція корпусу світлодіода повинна забезпечити мінімальні втрати випромінювання при виході в зовнішнє середовище і фокусування світла в заданому тілесному куті. Крім того, має бути забезпечене ефективне відведення тепла від кристала.

Окрім високої світлової віддачі, малого енергоспоживання і можливості здобуття будь-якого кольору випромінювання, світлодіоди володіють цілим рядом інших властивостей. Відсутність спіралі накаливання завдяки нетепловій природі випромінювання світлодіодів обумовлює тривалий термін служби. Відсутність скляної колби визначає високу механічну міцність і надійність. Мале тепловиділення і низька напруга живлення забезпечують високий рівень безпеки, а безінерційність – високу швидкодію.

Світлодіод повинен працювати у відповідному режимі, аби повністю реалізувати свій ресурс. Яскравістю світлодіодів можна легко управляти, а якщо застосовувати змішення кольорів, можна управляти кольором приладу, до складу якого входять світлодіоди різних кольорів.

Світлодіоди допускається "живити" в імпульсному режимі, при цьому імпульсний струм, який протікає через прилад, може бути вище, ніж значення постійного струму (до 150 мА при тривалості імпульсів 100 мкс і частоті імпульсів 1кГц). Для управління яскравістю світлодіодів (і кольором, в разі змішення кольорів) використовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ).

## 1.6 Фотоприймачі та їх характеристики

В даний час як приймачі оптичного випромінювання (фотоприймачі) використовуються вакуумні фотоелементи, фотопомножувачі, фоторезистори, фотодіоди і фототранзистори. Вакуумні фотоелементи, фотопомножувачі використовують зовнішній фотоэффект, який лежить в основі їх роботи і відповідно визначає нерівномірність для люкс-амперної характеристики фотоприймача [4].

Принцип дії напівпровідникових приймачів оптичного випромінювання (фоторезистори, фотодіоди і фототранзистори) заснований на внутрішньому фотоэффекті, при якому електрони, залишаючись в речовині, змінюють свій енергетичний стан. Таке явище називається фотопровідністю. Найширше поширені в даний час такий вигляд напівпровідникових фотоприймачів як фотодіоди [5].

Слід розділяти два головні напрями використання напівпровідникових фотоелементів:

- а) перетворення світлових сигналів в електричні;
- б) перетворення світлової (наприклад, сонячною) енергії в електричну.

Перший напрям має велике значення для автоматики, вимірювальної техніки, рахунково-вирішальних механізмів і тому подібне

Другий напрям розвивається у зв'язку з космічними польотами і має також великі перспективи для «земної» енергетики.

Фотодіоди володіють найкращим поєднанням фотоелектричних параметрів, основних з точки зору використання в оптоелектроніці: високі значення чутливості і швидкодії, малі значення паразитних параметрів (наприклад, струм витоку). Простота їх складу дозволяє досягти фізичного і конструкційного оптимуму і забезпечити якнайповніше використання падаючого світла [5].

У зіставленні з іншими, складнішими фотоприймачами, вони володіють найбільшою стабільністю температурних характеристик і кращими експлуатаційними властивостями.

Основний недолік, на який зазвичай вказують, - відсутність посилення. Але він досить умовний. Майже в кожному оптоелектронному пристрої фотоприймач працює на ту або іншу погоджувальну електронну схему. І введення підсилювального каскаду в неї значно простіше і доцільніше, ніж додання фотоприймачу невластивих йому функцій посилення.

### 1.6.1 Фізичні основи внутрішнього фотоефекту

Падаючий на речовину потік світла може випробовувати віддзеркалення, поглинання або проходить наскрізь.

Якщо поглинене світло наводить до такого збільшення енергії електронів, що вони покидають об'єм, займаний речовиною, говорять про зовнішній фотоефект. Якщо при освітленні змінюється енергетичний стан носіїв заряду усередині твердого тіла, то ми маємо справу з внутрішнім фотоефектом. При цьому додаткова провідність, обумовлена носіями заряду, створеними випромінюванням, називається фотопровідністю.

При внутрішньому фотоефекті первинним актом є поглинання фотона. Тому процес освітлення вільних носіїв заряду під впливом випромінювання проходить по-різному залежно від особливостей процесу поглинання світла. До того ж поглинене світло не завжди викликає фотоефект [5].

Існує декілька видів поглинання світла.

а) Власне поглинання.

Цей вигляд поглинання має місце у тому випадку, коли оптичне збудження електронів походить з валентної зони в зону провідності. Для напівпровідника з прямими долинами при вертикальних переходах енергія фотона  $h\nu$  має бути не менше ширини забороненої зони, тобто

$$h\nu = E_g. \quad (1.4)$$

Для сильно легovanого напівпровідника n-типу коли рівень Фермі розташований вищим за край зони провідності на величину  $\xi_n$ , нижній кордон фотопровідності відповідатиме

$$h\nu = E_g + \xi_n. \quad (1.5)$$

У сильно легovanому напівпровіднику p-типа рівень Фермі лежить на величину  $\xi_p$  нижче за край валентної зони, тому

$$h\nu = E_g + \xi_p. \quad (1.6)$$

При великих енергіях фотонів поглинання у фундаментальній області веде до збільшення фотопровідності за рахунок зростання коефіцієнта поглинання  $\alpha$ . В разі власного поглинання  $\alpha$  досягає найбільшої величини  $10^6 \text{ см}^{-1}$ . В той же час таке поглинання збільшує концентрацію носіїв заряду поблизу поверхні напівпровідника або діелектрика, які мають менший час життя, чим носії заряду в об'ємі.

б) Домішкове поглинання.

Таке поглинання за наявності в забороненій зоні напівпровідника локальних рівнів домішки може викликати переходи електронів між рівнями домішки і зонами. Фотопровідність, обумовлена такими переходами, називається домішковою фотопровідністю. Для реалізації таких переходів потрібна менша енергія кванта, чим для реалізації переходів з валентної зони в зону провідності. Тому домішкове поглинання має місце при великих довжинах хвиль падаючого світла.

в) поглинання екситона.

При поглинанні екситона світла має місце створення зв'язаної пари електрон-дірка, яка є електрично нейтральним створенням. Тому поглинання світла, пов'язане з утворенням екситонів, спочатку не веде до виникнення вільних носіїв заряду. Проте в реальних кристалічних структурах екситони мають велику вірогідність дисоціювати безвипромінювальний (з утворенням електронів і дірок), чим рекомбінувати з випусканням кванта світла. Таким чином, утворення екситонів зрештою веде до виникнення вільних носіїв заряду, а отже, і фотоструму. Поглинання екситона, що характеризується вузь-

кими смугами поглинання, визначає і вузькі смуги фотоструму. При цьому спектр фотоструму в області поглинання екситона залежатиме від стану поверхні. Стан поверхні напівпровідника можна легко змінити шляхом дії на неї (механічне, хімічне і так далі). Таким чином можна змінити характер спостережуваного спектру фотоструму, обумовленого поглинанням екситона.

г) Поглинання вільними носіями заряду.

Поглинання світла вільними носіями заряду супроводиться збільшенням їх енергії. При цьому, на відміну від розглянутих вище за три види поглинання, число вільних носіїв не змінюється. Але в той же час змінюється рухливість носіїв заряду.

д) Поглинання кристалічною решіткою.

В результаті такого поглинання збільшується амплітуда коливань вузлів решітки. В цьому випадку не змінюється ні концентрація носіїв заряду, ні їх рухливість. Тому поглинання світла кристалічною решіткою не є фотоактивним.

Поглинання світла вільними носіями заряду і кристалічною решіткою не можуть безпосередньо викликати зміну концентрації носіїв заряду. Проте зростання концентрації носіїв заряду в цих випадках може відбуватися в результаті вторинних ефектів, коли поглинання світла значно збільшує кінетичну енергію вільних носіїв заряду або збільшує концентрацію фононів, які потім віддають свою енергію на збудження носіїв заряду.

### 1.6.2 Принцип дії фотодіода

Напівпровідниковий фотодіод – це напівпровідниковий прилад, зворотний струм якого залежить від освітленості [5].

Типові конструкції електронно-діркових фотоелементів (фотодіодів) представлена на рисунку 1.3.

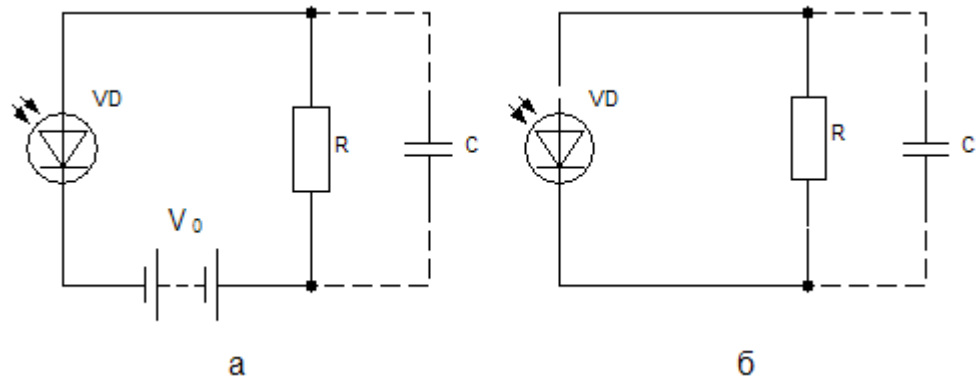


Рисунок 1.3 - Конструкції фотодіодів

Світло, яке падає на поверхню фотоелемента (n-напівпровідника), утворює пари електрон-дірка. «Неосновні» носії (тобто дірки в n-напівпровіднику) дифундують крізь шар n-напівпровідника до області переходу. Дірки, які підійшли до переходу, підхвачуються полем, яке існує на переході, і викидаються в р-напівпровідник. Такий процес йде до тих пір, поки позитивний заряд р-напівпровідника не зросте настільки, що подальший струм через р-n перехід припиняється. Цьому стану відповідає визначена різниця потенціалів між n і р напівпровідником – вентильна фото-ЕРС.

Фотодіоди, засновані на використанні р-n переходу, по суті, є різновидом вентильних фотоелементів. Існує різниця між р-n фотодіодами і старими типами вентильних фотоелементів, яка полягає в тому, що фотодіоди можуть використовуватися в режимі, не властивому вентильним фотоелементам, а саме, при значній напрузі, прикладеній в замикаючому напрямленні. Цей режим роботи фотоелемента іменується «фотодіодним», а режим без зовнішньої напруги – «вентильним» (рис. 1.4 а, б) [5].





а - схема включення – «фотодіодний» режим;

б - схема включення – «вентильний» режим

Рисунок 1.4 - Схеми включення фотодіода

Фотодіодна схема містить в зовнішньому колі ще джерело струму, включене так, щоб на р-п переході була напруга заперного знаку. Значення цієї напруги вибирають декілька менше пробійної напруги р-п переходу. При цій схемі включення струм (який в темноті є струм насичення р-п переходу і в хороших діодах дуже малий), який існує в колі, сильно змінюється при освітленні і, відповідно, змінюється і падіння напруги на опорі навантаження R. При правильному виборі напруги джерела і зовнішнього опору величина електричного сигналу може бути зроблена набагато більшою, чим в схемі фотоелемента, і тому фотодіоди широко використовуються для реєстрації і виміру світлових сигналів.

Загальне рівняння фотодіода включеного у вентильному режимі має вигляд:

$$I = I_f - I_s \cdot \left( \exp \frac{eU}{kT} - 1 \right), \quad (1.7)$$

де  $I$  – струм через фотодіод, А;  $I_f$  – фотострум, А;  $I_s$  – струм насичення, А;  $U$  – фото-ЕРС, В;  $T$  – температура, К.

Це рівняння можна переписати у вигляді:

$$U = \frac{kT}{e} \ln \left( 1 + \frac{I_f - I}{I_s} \right) \quad (1.8)$$

Підставивши  $I = (U - U_0) / R$  в (1.7) отримаємо основне рівняння фотодіода у фотодіодному режимі:

$$I_f - I_s \cdot \left( \exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) = \frac{U - U_0}{R}, \quad (1.9)$$

де  $U_0$  – зовнішня напруга, В.

### 1.6.3 Основні характеристики електронно-дірочних фотоелементів

Експериментальні результати, які наводяться нижче, отримані головним чином на кремнієвих фотодіодах. Такі фотодіоди серійно виготовляються промисловістю [5].

Якщо до р-п переходу прикладена напруга в зворотному напрямі (рис. 1.5), то різко зростають потенційні бар'єри для основних носіїв і струм через перехід визначатиметься потоками неосновних носіїв, падаючих на межі розділу А.

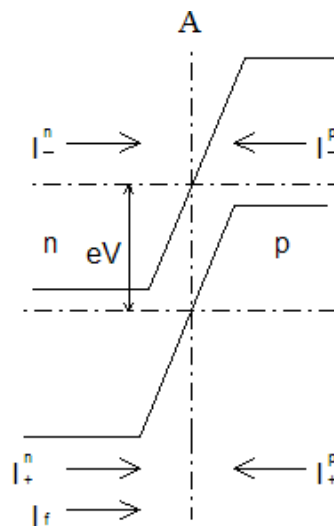


Рисунок 1.5 - Енергетичні рівні р-п фотоелемента, включеного в замкнутому напрямі (фотодіодний режим)

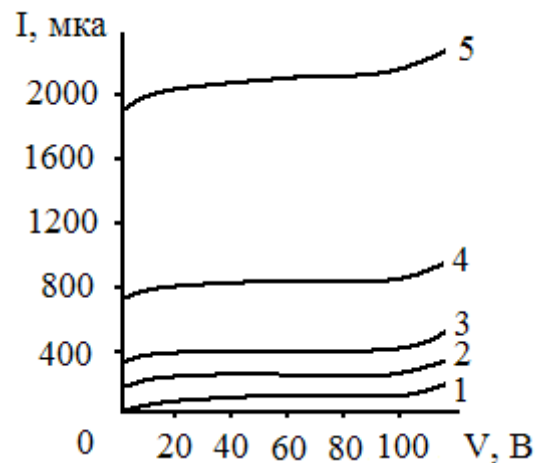
На ці потоки не впливає величина прикладеної напруги оскільки потенційний бар'єр для неосновних носіїв відсутній, а струм пропорційний їх

концентрації, яка визначається темпом термічної і оптичної генерації. Струм теж не залежить від напруги, тобто носить характер струму насичення.

У темноті струм рівний  $I_s$ , а при освітленні за рахунок появи додаткових неосновних носіїв зростає на величину  $I_f$ . Цей висновок виходить і з основного рівняння фотодіода (1.7). Дійсно, при чималих негативних  $U_0$  з (1.8) слідує:

$$I = I_s + I_f \quad (1.9)$$

Експериментально отримані вольт-амперні характеристики для фотодіода відповідають теорії (рис. 1.6).



1 – темновий режим;

2-5 – зростаюча інтенсивність освітлення

Рисунок 1.6 – Вольт-амперні характеристики у фотодіодному режимі

Лише в області великої напруги з'являється відхилення (зростання струму), пов'язане з розмноженням носіїв в р-п переході в сильних електричних полях.

При малій напрузі ( $U \ll kT/e$ ) після розкладання в ряд дужки в (1.7) отримуємо

$$I = I_f + I_s \frac{eU}{kT} = I_f + \frac{U}{R_0}, \quad (1.10)$$

де величина  $R_0 = kT/(eJ_s)$  відповідає внутрішньому опору р-п переходу при малих  $U$ .

Таким чином, у відсутність освітлення ( $I_f = 0$ ) струм лінійно зростає з  $U$  приблизно до  $U \sim kT/e$ , а потім прагне до насичення. В результаті освітлення величина струму при будь-якому  $U$  зростає на  $J_f$  в порівнянні з його значенням в темноті. Отже, при  $U = 0$   $J = J_f$  (струм короткого замикання).

#### 1.6.4 Люкс-амперна та спектральна характеристики фотодіодів

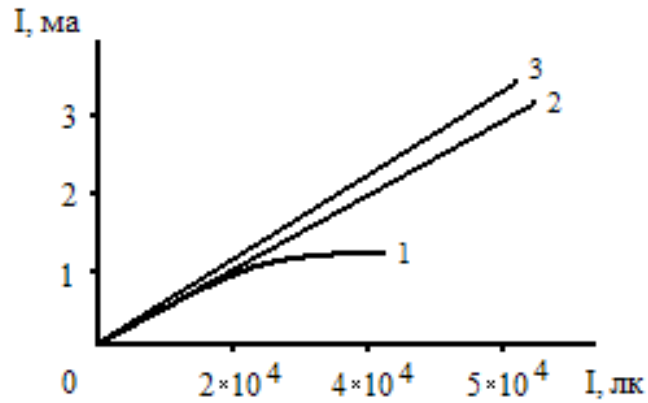
Величині струму короткого замикання у вентильному режимі і добавках струму у фотодіодному режимі пропорційні концентрації неосновних нерівноважних носіїв, що виникли при освітленні [5]. Ця концентрація в стаціонарних умовах, як завжди, пропорційна завданню темпу генерації  $\beta kI$  на середній час існування неосновних носіїв в базі.

Час існування лімітується двома процесами зникнення – рекомбінацією і відходом через р-п перехід. Зазвичай в правильно сконструйованих фотодіодах з досить тонкою базою впливом рекомбінації можна нехтувати, оскільки всі неосновні носії встигають за час, багато менше ніж  $\tau$  пройти через р-п перехід. В цих умовах струм  $I_f$  рівний помноженню елементарного заряду на повне число носіїв, які генеруються світлом в одиницю часу у всьому об'ємі. Таким чином, величина  $I_f$  прямо пропорційна  $I$  при будь-яких рівнях збудження.

У фотодіодному режимі аж до вельми великих освітленостей спостерігається строга лінійність [5]. Це є важливою гідністю фотодіодів. У вентильному режимі струму короткого замикання, початкова ділянка характеристики також лінійна, але при значних освітленостях (для різних зразків ця межа різна) спостерігається значний відступ від лінійності (рис. 1.7).

Це пов'язано з тим, що при великих освітленнях кінцева величина опору товщі напівпровідника, контактів і зовнішнього кола починає грати істотну роль і таким чином порушується режим струму короткого замикання.

Спектральні залежності фотодіодів представлені на рисунку 1.8.



1 - вентильний режим;

2, 3 - фотодіодний режим при різних напругах

Рисунок 1.7 - Типові люкс-амперні характеристики фотодіодів

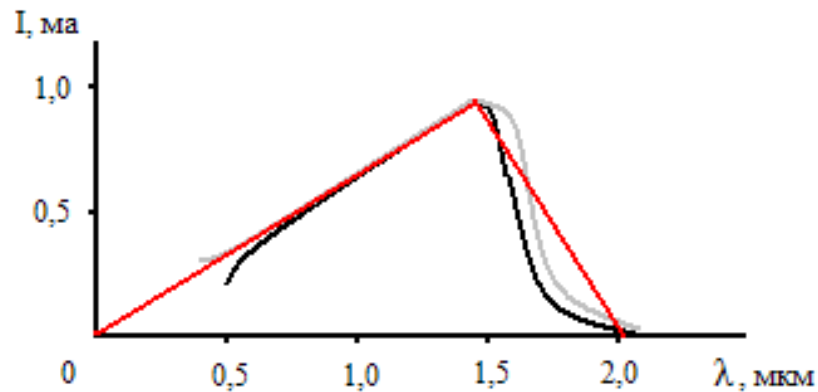


Рисунок 1.8 - Спектральний розподіл фотоструму для двох зразків фотодіодів

Довгохвильовий кордон відповідає краю власного поглинання. Спектральні характеристики для різних зразків декілька відрізняються одне від одного, особливо в області довжин хвиль коротше 1 мкм, проте приблизно можна вважати, що екстрапольована у бік коротких довжин хвиль крива проходить через нуль. Якщо врахувати, що на рисунку 1.8 криві побудовані в розрахунку на одиницю падаючої енергії, вказана обставина свідчить про те, що, як і слід було чекати, число виникаючих носіїв пропорційне не кількості світлової енергії, а кількості квантів. Для проведення орієнтовних розрахунків спектральну характеристику можна представити у вигляді трикутника з вершиною при 1,5 мкм і основою, яка тягнеться від 0 до 2 мкм. Насправді, для

квантів  $\sim 2,3$  eВ і у бік коротших довжин хвиль за рахунок ударної іонізації спад чутливості припиняється.

На підставі цього є можливість застосувати як приймач оптичного випромінювання кремнієві фотодіоди фірми Vishey, які мають мінімальну нерівномірність спектральної залежності.

Для створення малогабаритного приладу з параметрами вищими, ніж у фотоколориметра КФК-3-03-«ЗОМЗ» [5], необхідно змінити оптичну систему пристрою, який розробляється, зокрема блок оптичного випромінювання. Пристрій повинен володіти наступними параметрами.

- 1) Спектральний діапазон довжин хвиль 315 - 1000 нм.
- 2) Фотометричний діапазон 0 ... 125% (оптична щільність 0,1 ... 2,5).
- 3) Фотометрична точність 0,004 ... 0,5А.
- 4) Основна відносна погрішність виміру коефіцієнта пропускання не більше 0,5%.
- 5) Робоча довжина кювети - 5мм.
- 6) Індикація результатів вимірів на вбудованому цифровому табло.
- 7) Наявність каналу зв'язку з персональним комп'ютером.
- 8) Індикація довжини хвилі випромінювання.
- 9) Живлення пристрою – комбіноване (мережа 115/230В і батарея 9В).

Метою дипломної роботи являється розробка та дослідження мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розрахувати основні параметри диференціального каналу обробки фотометричної інформації;
- розробити схему мікропроцесорного блоку обробки інформації;
- забезпечити відображення інформації на індикаторі.

## 2 Розробка мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації

### 2.1 Моделювання функціональної схеми пристрою

Для проведення аналізу діагностичної інформації проведено моделювання пристрою, який включає, в себе наступні основні вузли: вузол управління світлодіодним випромінювачем, вузол світлодіодних випромінювачів, диференціальний блок обробки фотометричної інформації, мікропроцесорний блок обробки інформації з вбудованим АЦП, блок індикації, блок зв'язку з комп'ютером, блок живлення. Структурна схема пристрою приведена на рисунку 2.1. Характеристики і параметри пристрою приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики мікроконтролерного фотоколориметра

Найменування параметра	Значення
Спектральний діапазон довжин хвиль, в якому виконуються дослідження, нм	315 - 1000
Межі виміру коефіцієнтів пропускання, %	0 - 125
Оптична щільність	0,1 – 2,5
Основна відносна погрішність виміру коефіцієнта пропускання не більше, %	0,5
Робоча довжина кювети, мм	5
Живлення пристрою – комбіноване	мережа 115/230В і батарея 9В

До складу вузла управління струмами світлодіодного випромінювача, за допомогою якого виробляється формування необхідної довжини хвилі (кольору) для проведення досліджень, входять:

- драйвери світлодіодів (червоного, зеленого, синього);

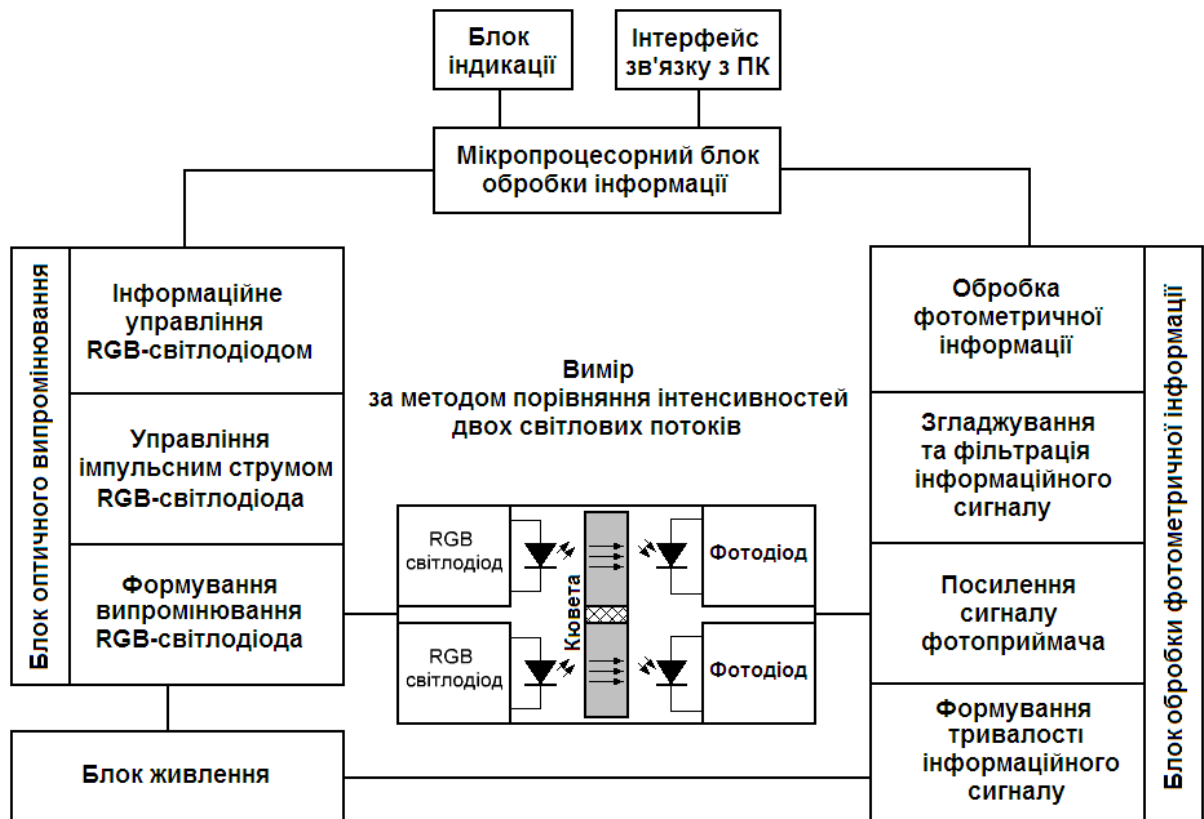


Рисунок 2.2 - Структурна схема пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації

- контролер для широтно-імпульсної модуляції струмів світлодіодів (ШИМ - контролер);
- вузол інтерфейсу I<sup>2</sup>C.

Драйвери світлодіодів (червоного, зеленого, синього) забезпечують стабільну величину ефективного значення струму через світлодіоди.

Контролер широтно-імпульсної модуляції струмів світлодіодів забезпечує регулювання тривалості імпульсів струму через світлодіоди і таким чином регулює інтенсивність їх свічення [6].

Вузол інтерфейсу I<sup>2</sup>C служить для зв'язку з блоком мікропроцесорного управління і здійснює прийом інформації про величину струму через кожен світлодіод (про інтенсивність свічення кожного світлодіода).

До складу диференціального каналу, за допомогою якого виконується обробка фотометричної інформації, що отримується від фотометричних датчиків, входять:



- підсилювачі сигналу фотоприймачів;
- інтегратори;
- вузол контролю;
- схема АРП.

Підсилювачі сигналу фотоприймачів забезпечують посилення сигналу фотоприймача (фотодіода) до величини необхідною для нормальної роботи вузла контролю і інтегратора.

Інтегратори виконують усереднення сигналів приймачів оптичного випромінювання диференціального каналу обробки інформації.

Схема АРП забезпечує неспотворену обробку сигналу диференціального каналу у всьому діапазоні вимірів приладу.

Вузол контролю виконує контроль роботи випромінювачів, фотоприймачів і трактів посилення диференціального каналу. Сигнали вузлів контролю поступають в мікропроцесорний блок обробки інформації. Це дає можливість понизити вірогідність здобуття помилкових результатів вимірів.

Мікропроцесорний блок обробки інформації призначений для первинної обробки інформації отриманої з диференціального блоку обробки фотометричної інформації. У нім виконуються виміри і розрахунки параметрів об'єкту дослідження. Блок управляє процесом зв'язку із зовнішнім персональним комп'ютером, де виробляється подальша обробка інформації. Передаючи отриману інформацію з мікропроцесорного блоку обробки інформації в блок зв'язку з персональним комп'ютером, є можливість зберегти отриману інформацію в базі даних. Це дає можливість виконувати статистичну обробку накопиченої інформації і спостерігати за динамікою процесу захворювання і лікування.

Блок індикації призначений для перетворення цифрового сигналу, який містить інформацію про той або інший параметр у візуальну інформацію, яка відображується на РКІ.

Блок зв'язку з комп'ютером забезпечує канал зв'язку з персональним комп'ютером, за допомогою якого можливий подальший аналіз отриманої інформації про результати вимірів.

## 2.2 Розрахунок основних параметрів оптичного випромінювача

Для забезпечення нормальної роботи оптичного випромінювача виконаного на основі RGB – світлодіода, необхідно вибрати світлодіод з наступними параметрами:

- потужність випромінювання не менше, 100мВт;
- кут діаграми спрямованості випромінювання світлового потоку не більше 30°;
- робочий прямий струм кожного каналу світлодіода не більш, 50 мА.

Вище переліченим умовам задовольняє повноколірний світлодіод AAF5060PBESEEVG, що випускається фірмою Kingbright [5] і має параметри і характеристики, приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Параметри світлодіода AAF5060PBESEEVG

Параметри	Номінал
Потужність випромінювання кожного каналу світлодіода на відстані 10 мм не менше, мВт	500
Основна довжина хвилі випромінювання червоного світлодіода, нм	621
Основна довжина хвилі випромінювання синього світлодіода, нм	470
Основна довжина хвилі випромінювання зеленого світлодіода, нм	525
Розширення спектральної лінії червоного світлодіода не більш, нм	20
Розширення спектральної лінії синього світлодіода не більш, нм	25
Розширення спектральної лінії зеленого світлодіода не більш, нм	38
Пряме падіння напруги на переході світлодіода при струмі $I_{np}=20\text{mA}$ не більш, В	2,5
Максимально допустимий струм через червоний світлодіод не більш, мА	50
Максимально допустимий струм через зелений (синій) світлодіод не більш, мА	50

На рисунку 2.2 приведені основні спектри випромінювання світло діода AAF5060PBESEEVG.

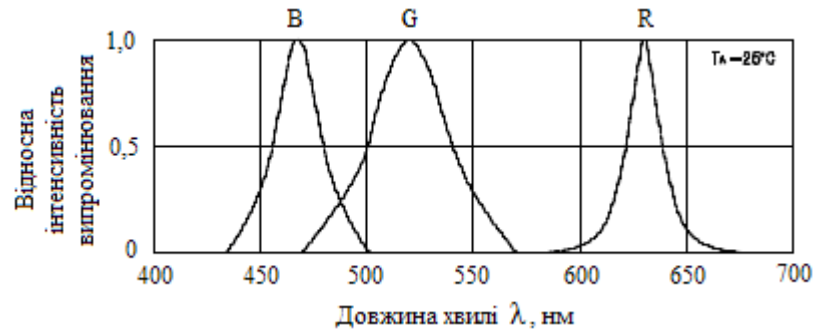


Рисунок 2.3 - Основні спектри випромінювання світлодіода AAF5060PBESEEVG

Для розрахунку динамічного діапазону рівнів випромінювання необхідно мати діаграми залежностей відносного рівня випромінювання від струму, що протікає через світлодіод. Діаграми представлені на рисунку 2.3.

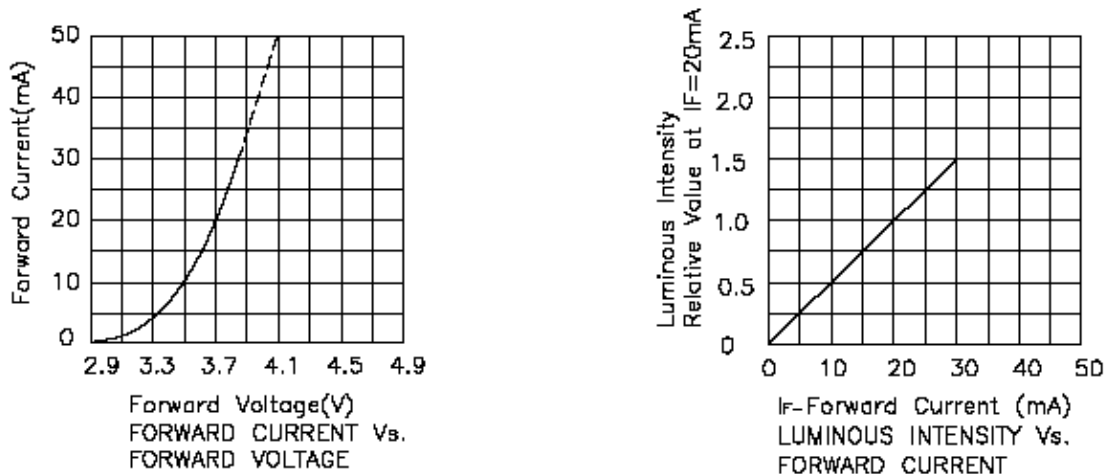


Рисунок 2.4 - Залежність відносного рівня оптичного випромінювання від струму, що протікає через світло діод

На рисунку 2.4 представлена діаграма спрямованості потоку оптичного випромінювання світлодіода AAF5060PBESEEVG [5].

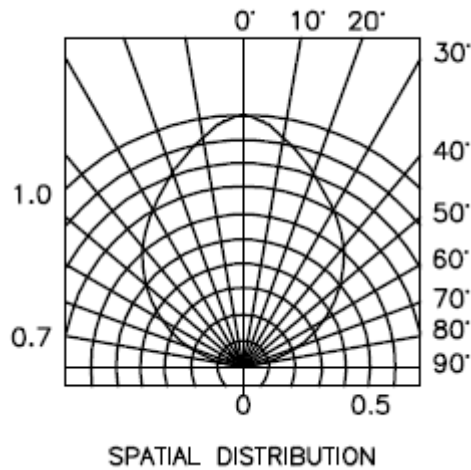


Рисунок 2.5 - Діаграма спрямованості потоку оптичного випромінювання

Як видно з рисунку 2.3 залежність прямого струму світлодіода і відносна інтенсивність його випромінювання лінійна в діапазоні від 0 до номінального значення струму світлодіода. Для розрахунку динамічного діапазону регулювання середнього значення струму через світлодіод набудемо середнього значення мінімального струму ( $I_{np\ min}$ ) через світлодіод рівним 5mA, а середнє значення максимального струму ( $I_{np\ max}$ ) рівним 30mA [6]. Розрахуємо динамічний діапазон зміни струму.

$$D = I_{np\ max} / I_{np\ min} \quad (2.3)$$

$$D = 30\text{mA} / 5\text{mA} = 6,$$

де  $I_{np\ max}$  - середнє значення максимального струму через світло діод,  
 $I_{np\ min}$  - середнє значення мінімального струму через світло діод.

### 2.2.1 Методи регулювання струму світлодіодного випромінювача

Оскільки інтенсивність свічення кристала світлодіода прямо пропорційна струму, що протікає через світлодіод, стає актуальним завдання регулювання даного струму [6]. Для живлення кола світлодіода застосовують, як правило, два варіанти схемних рішень:

- живлення кола світлодіода стабільним струмом від джерела напруги через баластний пристрій (резистор);

- живлення кола світлодіода імпульсним струмом з вживанням для регулювання рівня випромінювання широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) струму.

Перше рішення досить просте в схемному рішенні. Як обмежувач струму в ній застосовують пасивні елементи (резистори), або активні (транзистори - керовані опори) які працюють в режимі генераторів струму. Ці рішення мають низький коефіцієнт корисної дії, оскільки частина потужності джерела живлення марно розсіюється на баластному пристрої.

Друге рішення складніше в схемному відношенні, але має вищий коефіцієнт корисної дії за рахунок того, що елемент (транзистор), який управляє, працює в ключовому режимі [7]. Коефіцієнт корисної дії таких схем досягає 90%.

Оскільки робота приладу передбачається від комбінованого джерела живлення (мережеве і батарейне) в стаціонарних і польових умовах коефіцієнт корисної дії виявляється одним з визначальних чинників при виборі схемного рішення для живлення світлодіода. У даному конкретному випадку вибираємо схему живлення світлодіодів з ШІМ – модуляцією живлячого струму.

Основна гідність ШІМ - високий ККД його підсилювачів потужності, який досягається за рахунок використання їх виключно в ключовому режимі. Це значно зменшує виділення потужності на силовому перетворювачі (СП).

ШІМ використовує транзистори не в режимі опорів, а в режимі ключів, тобто транзистор весь час або розімкнений, або замкнений (знаходиться в стані насичення). В першому випадку струм через транзистор практично не тече і потужність, яка виділяється на ньому, дорівнює нулю, в іншому випадку опір транзистора малий і падіння напруги на ньому близько до нуля - потужність, яка виділяється, так само мала.

$$R \rightarrow \infty \leftrightarrow P = \frac{U^2}{R} \rightarrow 0 \quad (2.4)$$

$$R \rightarrow 0 \leftrightarrow P = I^2 R \rightarrow 0$$

ШІМ представляє собою імпульсний сигнал постійної частоти і змінної шпаруватості, тобто відношення тривалості імпульсу до його періоду дотримання [6]. За допомогою завдання шпаруватості (тривалість імпульсів) можна міняти середній струм на виході широтно-імпульсного перетворювача (ШІП). Оскільки об'єкт управління (ОУ) володіє інерцією, імпульси з виходу ШІП згладжуються і ОУ, при достатній частоті ШІМ - сигналу, поводить себе як при управлінні звичайним аналоговим сигналом.

При широтно-імпульсній модуляції у якості несучого коливання використовується періодична послідовність прямокутних імпульсів, а інформаційним параметром, пов'язаним з дискретним моделюючим сигналом, є тривалість цих імпульсів.

Періодична послідовність прямокутних імпульсів однакової тривалості має постійну складову, зворотно пропорційну до шпаруватості імпульсів, тобто прямо пропорційну їх тривалості [4].

Таким чином, ШІМ - це цифровий сигнал, за допомогою якого можна задати аналоговий струмовий сигнал для живлення світлодіода. На рисунку 2.5 приведена часова діаграма ШІМ з постійною шпаруватістю.



Рисунок 2.6 - Часова діаграма ШІМ

Період ШІМ  $T$  - величина постійна. На одному періоді укладається один одиничний імпульс шириною  $T_1$  і один нульовий імпульс шириною  $T_0$ . При цьому:

$$T = T_1 + T_0 = \text{const} \quad (2.5)$$

Шпаруватість ШІМ  $G$  - це і є еквівалент амплітуди аналогового сигналу або глибина регулювання, яка чисельно дорівнює:

$$G = D = T / T_1 = I_{np \max} / I_{np \min} \quad (2.6)$$

$$G = D = 30\text{mA} / 5\text{mA} = 6$$

Зміною ширини одиничного імпульсу можна регулювати середній рівень струму через світлодіод:

$$I = I_m G, \quad (2.7)$$

де  $I_m$  – максимальний струм генератора струму;  $G$  - глибина регулювання ШІМ.

Виходячи з даних розрахунків і з урахуванням того, що загальне управління приладом здійснюватиме блок мікропроцесорного управління, застосуємо для управління струмами світлодіодів вузла оптичного випромінювання мікросхему ААТ3129 [8]. ААТ3129 являється високоефективним конвертером DC/DC для управління RGB-світлодіодами. У її склад входять опорний генератор ( $f = 1\text{МГц}$ ), джерело опорної напруги, вузол «м'якого старту» - softstart, регульований генератор струму і схема управління ключами. Крім того, вона містить три вбудовані ключі на польових транзисторах для управління струмами навантажень не вище 50mA. Завантаження інформації в мікросхему виконується через серійний порт I<sup>2</sup>C. Мікросхема може підтримувати синтез 4096 кольорів. До складу мікросхеми входять вузол теплового захисту при короткому замиканні на будь-якому з виходів. Вбудований вузол softstart запобігає форсуванню пускового струму при подачі живлення. Висока частота перетворення дозволяє використовувати зовнішні конденсатори малої ємності. Технічні характеристики мікросхеми приведені в таблиці 2.3. Функціональна схема мікросхеми ААТ3129 приведена на рисунку 2.6.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики мікросхеми ААТ3129

Параметри мікросхеми ААТ3129	Номінал
Напруга живлення не більше, В	6
Напруга на виході перетворювача не більше, В	6
Напруга сигналу $U_{EN/SET}$ не більше, В	6
Максимальна розсіювана потужність не більше, Вт	0,625
Величина вихідного струму, mA	60
Частота перетворення, кГц	3
Опір часозадаючих кіл не менше, Ом	250
Тактова частота, МГц	5

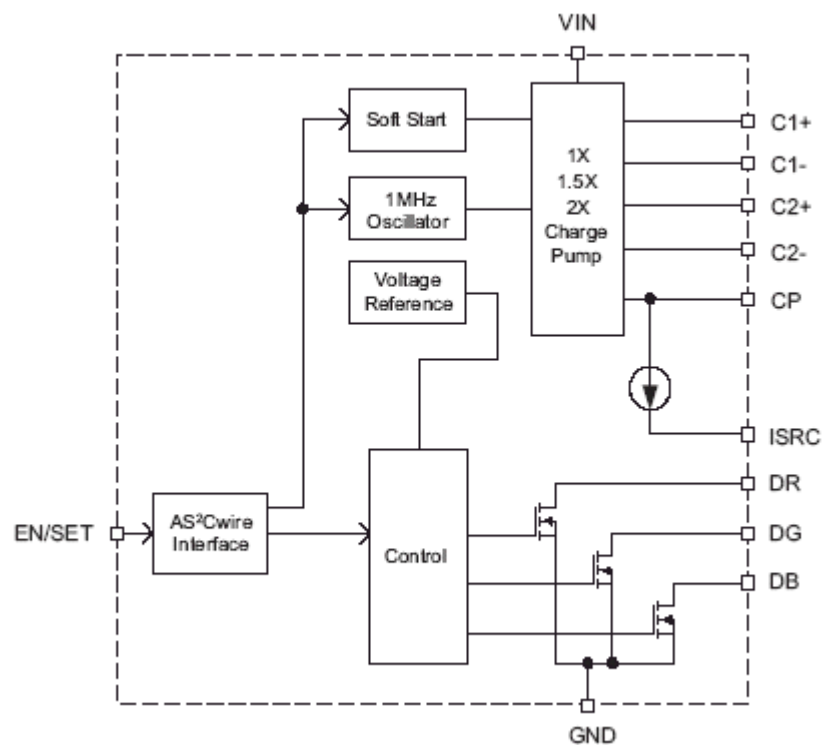


Рисунок 2.7 - Функціональна схема мікросхеми ААТ3129

На рисунку 2.7 приведена електрична схема для управління RGB – світлодіодом з елементами обв'язування.

Частота коливань перетворювача DC/DC контролера визначається по формулі [8]:

$$f_{ГЕН} = \frac{1}{1,4RC}, \quad (2.8)$$



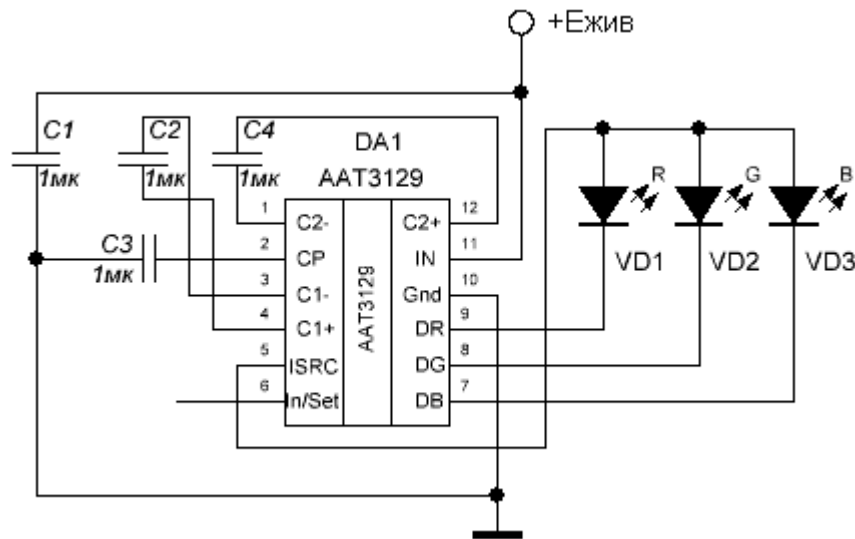


Рисунок 2.8 - Електрична схема для управління RGB – світлодіодом

де  $R$  – опір кола, який задає час;  $C$  – ємність конденсаторів кола, які задають час.

Розрахуємо величину конденсаторів перетворювача  $C1$  і  $C2$ , які задають час.

$$C = \frac{1}{1,4Rf_{ГЕН}} \quad (2.9)$$

$$C = 0,7 / (250\text{Ом} \times 3\text{кГц}) = 0,933 \text{ мФ}$$

Конденсатори, які задають час планарного виконання ємністю 1мкФ типу С1206 – 60В – 1мкф ± 10% [9]. Конденсатор вольтоподатку планарного виконання ємністю 1мкФ типу С1206 – 60В – 1мкф±10% згідно рекомендації фірми – виготівника інтегральної схеми [9].

### 2.3 Розрахунок основних параметрів диференціального каналу обробки фотометричній інформації

Для правильного вибору елементної бази розробляемого пристрою необхідно розрахувати основні параметри диференціального каналу обробки фотометричної інформації.

Розрахуємо динамічний діапазон виміру коефіцієнта пропускання [7].

$$K_D = \frac{K_0 \%}{K_B \%} \quad (2.8)$$

$$K_D = \frac{100}{1} = 100$$

де  $K_0$  - коефіцієнт пропускання за відсутності поглинання,  $K_B$  - коефіцієнт пропускання при максимальному поглинанні.

Розрахуємо динамічний діапазон зміни вихідної напруги операційного підсилювача при живленні однополярною напругою 5В.

$$K_{U_{вих}} = \frac{E_{жс} - U_H}{U_H} \quad (2.9)$$

$$K_{U_{вих}} = \frac{5 - 0,4}{0,4} = 11,5$$

Прийmemo для подальших розрахунків динамічний діапазон зміни вихідної напруги операційного підсилювача рівним 10.

Оскільки динамічний діапазон вхідного сигналу багато більше, ніж динамічний діапазон зміни вихідної напруги операційного підсилювача, необхідно застосувати схему автоматичного регулювання посилення, для забезпечення неспотвореної обробки вхідного сигналу [9].

Для забезпечення нормальної роботи диференціального каналу обробки фотометричної інформації, необхідно вибрати фотодіод з наступними параметрами:

- діапазон робочих потужностей фотодіода, 0...5 мВт/см<sup>2</sup>;
- кут діаграми спрямованості прийому світлового потоку не більш 30°;
- робочий діапазон довжин хвиль – 315...1000 нм.

Вище переліченим умовам задовольняє фотодіод TEMD5010, який випускається фірмою VISHAY [7] і має наступні параметри і характеристики, приведені в таблиці 2.4.

На рисунку 2.8 представлена залежність темного струму фотодіода TEMD5010 від робочої температури [7].

Таблиця 2.4 - Основні технічні характеристики фотодіода TEMD5010

Параметри світлодіода TEMD5010	Номінал
Максимальна зворотна напруга не менше, В	60
Зворотний темновий струм не більше, нА	30
Зворотний струм при потужності освітлення $E = 1 \text{ mW/cm}^2$ не менше, $\mu\text{A}$	45
Кут розкривання діаграми спрямованості	55
Діапазон робочих довжин хвиль, нм	300-1000
Час включення світлодіода не більше, нс	100
Час виключення світлодіода не більше, нс	100
Пряме падіння напруги на переході фотодіода при струмі $I_{np} = 50\text{mA}$ не більше, В	1,3
Робоча температура не більше, $^{\circ}\text{C}$	100

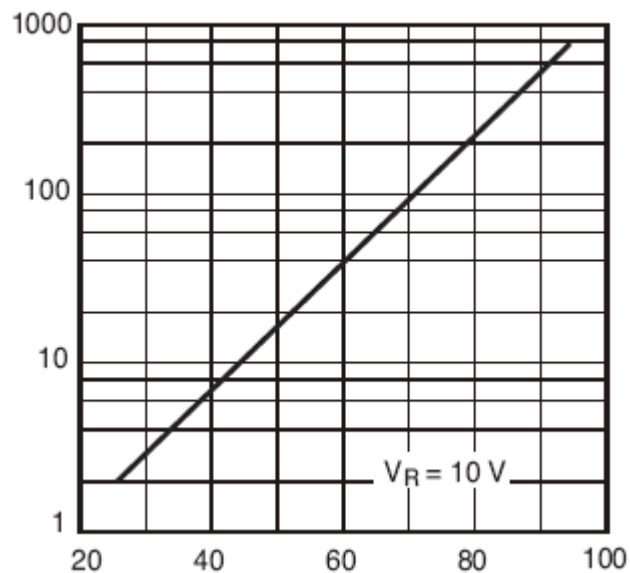


Рисунок 2.8 - Залежність темного струму фотодіода TEMD5010 від робочої температури

Для розрахунку динамічного діапазону рівнів випромінювання необхідно мати діаграми залежностей сили зворотного струму фотодіода від потужності світлового потоку (рис. 2.9).

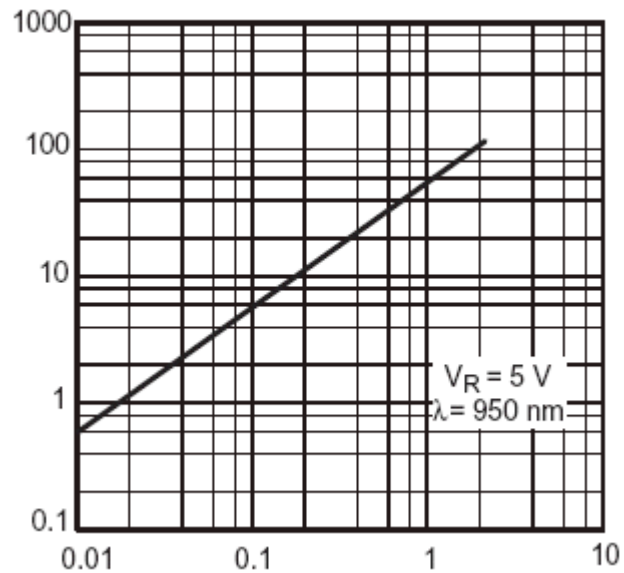


Рисунок 2.9 - Залежність сили зворотного струму фотодіода TEMD5010 від потужності світлового потоку

На рисунку 2.10 представлена діаграма спрямованості потоку оптичного випромінювання фотодіода TEMD5010 [7].

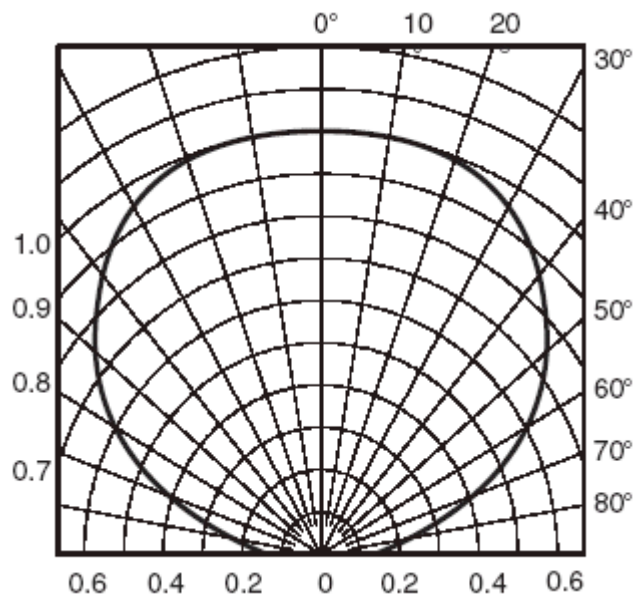


Рисунок 2.10 - Діаграма спрямованості потоку оптичного випромінювання

Як видно з рисунка 2.9 залежність зворотного струму фотодіода від потужності світлового потоку лінійна в діапазоні від 0,01 до 2 мВт/см<sup>2</sup>.

Схема включення фотодіода в режимі зворотного зсуву приведена на рисунку 2.11.

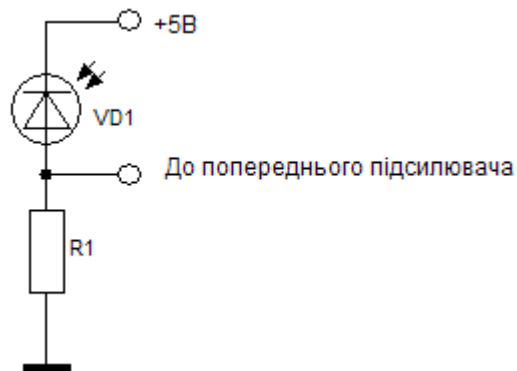


Рисунок 2.11 - Схема включення фотодіода в режимі зворотного зсуву

Величину резистора  $R1$ , на якому виділяється сигнал фотометричної інформації, приймаємо рівною  $1\text{кОм}$ . Такий вибір обумовлений тим, що із збільшенням резистора зростає рівень сигналу, але одночасно зростає і рівень перешкод на вході попереднього підсилювача.

Розрахуємо напругу вхідного сигналу за відсутності освітленості фотодіода.

$$U_{\text{ex тем}} = I_{\text{тем}} \times R1 \quad (2.10)$$

$$U_{\text{ex}} = 30\text{нА} \times 1\text{кОм} = 30\mu\text{В}$$

де:  $I_{\text{тем}}$  - значення максимального темного струму через фотодіод.

Розрахуємо напругу вхідного сигналу при освітленому фотодіоді при потужності світлового потоку рівному  $1\text{мВт/см}^2$ .

$$U_{\text{ex осв}} = I_{\text{осв}} \times R1 \quad (2.11)$$

$$U_{\text{ex осв}} = 60\mu\text{А} \times 1\text{кОм} = 60\text{мВ}$$

де  $I_{\text{осв}}$  - середнє значення світлового струму через фотодіод.

#### 2.4 Розрахунок основних параметрів підсилювача сигналу фотоприймача

До складу приймального вузла диференціального каналу обробки фотометричної інформації входить фотодіод, характеристики якого описані ви-

щим, із зниженим рівнем власних шумів і попередній підсилювач постійного струму.

Напруга сигналу фотодіода, складає 60 мВ. Для того, щоб мати можливість використовувати отриманий від фотодіода сигнал, необхідно виробити його попереднє посилення і нормування. Для попереднього посилення цього сигналу краще скористатися підсилювачем постійного струму, що має диференціальний вхід. Прикладом такого підсилювача постійного струму може бути операційний підсилювач [10]. Це дозволить зменшити синфазну складову перешкод - різного роду наведення від найближчих пристроїв, фон 50 Гц від мережі 220 В. Для того аби ще в більшій мірі понизити наведення і поліпшити співвідношення сигнал/шум бажано відмовитися від сполучного кабелю між фотодіодом і попереднім підсилювачем і розташувати попередній підсилювач в безпосередній близькості з фотодіодом тим самим, скоротивши до мінімуму вхідні кола попереднього підсилювача. Для того, щоб правильно спроектувати попередній підсилювач низьких частот на основі операційного підсилювача необхідно вибрати схему його включення, яка забезпечить необхідний коефіцієнт посилення і необхідну амплітудно-частотну характеристику [10].

#### 2.4.1 Дослідження схем включення операційних підсилювачів

У апаратурі найбільшого поширення набули інтегральні напівпровідникові операційні підсилювачі (ОП), які володіють найменшими габаритами і масою, можуть експлуатуватися в діапазоні температур  $-60 \dots +120$  °С. Вони мають коефіцієнт посилення (50 ... 100 тис. і більш) при смузі посилення від нуля до одиниць мегагерц.

Функції, виконувані ОП різноманітні. До них відносяться: посилення, генерування, модуляція, демодуляція, стабілізація, фільтрація і так далі. Відповідно багатобразна і номенклатура аналогових ІМС.

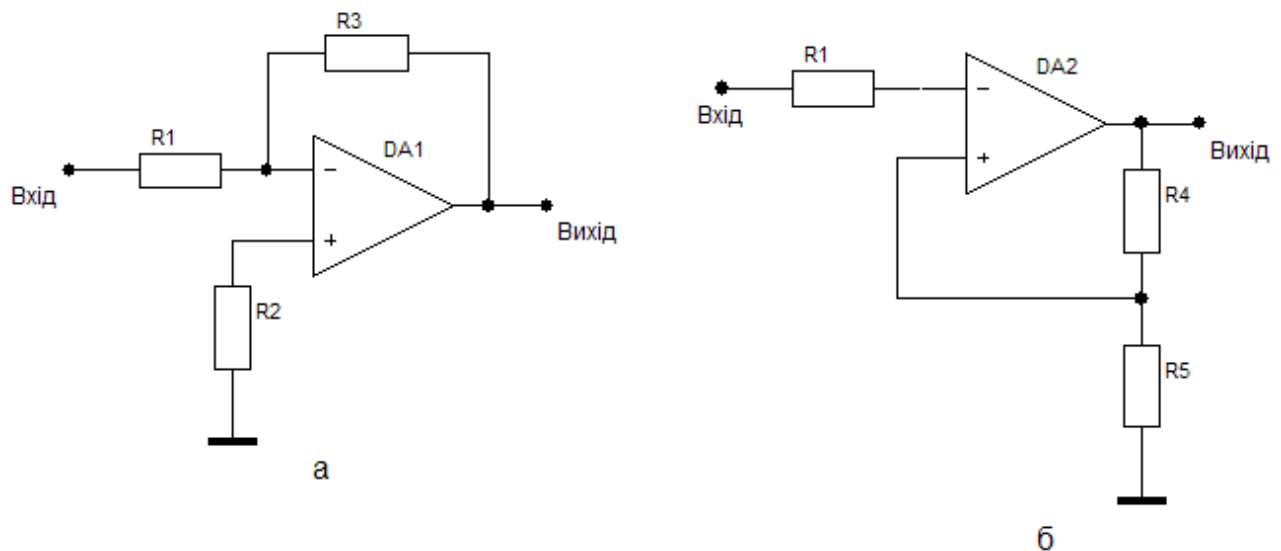
Найбільш типовою, універсальною схемою, яка використовується для побудови підсилювачів, є схема диференціального підсилювача (ДП). Важливою властивістю диференціального каскаду є здатність подавляти синфазний сигнал, або синфазну перешкоду [10].

Існує дві типові схеми включення ОП:

– яка інвертує (рис. 2.12, а), коли напруга сигналу подається на інвертуючий вхід, а фаза вихідного сигналу зрушується відносно вхідного на  $180^\circ$ .

– яка не інвертує (рис. 2.12, б), коли напруга сигналу подається на неінвертуючий вхід, а вихідний сигнал збігається по фазі з вхідним.

Опори резисторів, включених між кожним з входів і корпусом, мають бути рівні.



а – інвертуюче включення;

б – не інвертуюче включення ОП

Рисунок 2.12 - Типові схеми включення ОП

Опори резисторів, включених між кожним з входів і корпусом, мають бути рівні.

Коло зворотного зв'язку складається з резистивного дільника, що має коефіцієнт передачі:

для не інвертуючого включення

$$\beta = \frac{R1}{R3} \quad (2.12)$$

для інвертуючого включення

$$\beta = \frac{R3}{R2 + R3} \quad (2.13)$$

Коефіцієнт посилення підсилювача із замкнутою петлею негативного зворотного зв'язку (НЗЗ)

$$K_u = \frac{K_{on}}{1 + \beta K_{on}}, \quad (2.14)$$

де  $K_{on}$  – коефіцієнт посилення підсилювача без кола НЗЗ.

Якщо значення  $K_{on}$  велике, то  $K_u \approx \frac{1}{\beta}$

Коефіцієнт передачі підсилювача з НЗЗ рівний:

Для інвертуючого включення

$$K_u = \frac{R3}{R1} \quad (2.15)$$

Для не інвертуючого включення

$$K_u = 1 + \frac{R2}{R3} \quad (2.16)$$

Вхідний опір інвертуючого підсилювача дорівнює опорі резистора R1. Вихідний опір визначається по формулі:

$$R_{вих} = \frac{R_{вихОП}}{1 + \beta K_{оп}}, \quad (2.17)$$

де  $R_{вих\ ОП}$  – вихідний опір ОП без НЗЗ;  $\beta$  – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку;  $K_{оп}$  – коефіцієнт посилення напруги ОП без НЗЗ.

Відмітною властивістю не інвертуючого підсилювача є його високий вхідний опір, який визначається по формулі:

$$R_{вх} = R_{вх\ ОП} (1 + \beta K_{оп}), \quad (2.18)$$

де  $R_{вх\ ОП}$  – вхідний опір ОП.

Вихідний опір визначається так само, як і для інвертуючого включення підсилювача. Якщо ОП сполучений з подальшим каскадом безпосередньо (без розділового конденсатора), то необхідно, аби він був збалансований,



тобто аби напруга постійного струму на виході дорівнювала нулю при однаковій напрузі на обох входах [10].

#### 2.4.2 Розрахунок параметрів і номіналів елементів схеми попереднього підсилювача

Схема попереднього підсилювача пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації приведена на рисунку 2.13.

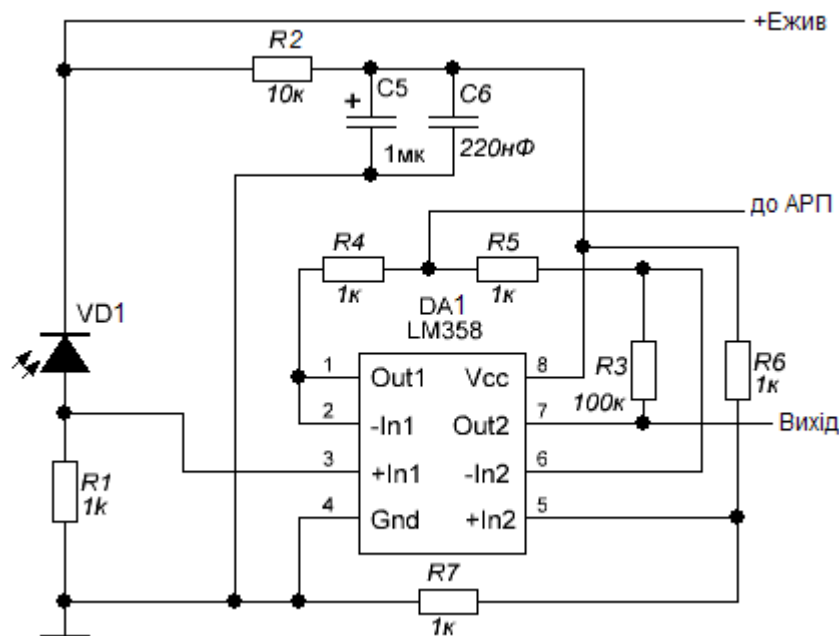


Рисунок 2.13 - Схема електрична принципова попереднього підсилювача

Для реалізації попереднього підсилювача сигналу фотоприймача застосуємо широтно-поширений операційний підсилювач LM358 (мікросхема DA1) [11]. Основні параметри LM358 приведені в таблиці 2.5.

Виходячи з того, що напруга сигналу фотодіода, складає приблизно 60мВ, а величина вихідного напруга сигналу має бути не менше 5В. розрахуємо необхідний коефіцієнт посилення попереднього підсилювача.

$$K_{non.nidc.} = U_{вих} / U_{фд}, \quad (2.19)$$

де  $U_{вих}$  – вихідна напруга сигналу;  $U_{фд}$  – напруга на виході фотодіода.

Таблиця 2.5 - Основні технічні характеристики мікросхеми LM358

Найменування параметра	Номінал
Напруга живлення не більше, В	$\pm(3-32)$
Напруга зсуву не більше, мВ	2
Вхідний струм не більше, нА	5
Коефіцієнт посилення не менше, дБ	100 (100000 разів)
Коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу не менше, дБ	70
Вхідний опір не менше, кОм	100
Вихідний опір не більше, кОм	1
Гранична частота посилення не менше МГц	1
Споживана потужність не більше, мВт	30
Діапазон робочих температур, °С	0 ... +80

$$K_{non.nidc.} = 5 / 0,06 = 83,3.$$

Для забезпечення запасу по коефіцієнту посилення попереднього підсилювача приймаємо коефіцієнт посилення попереднього підсилювача рівний 100.

Для нормальної роботи схеми фотодіода, який має високий вихідний опір необхідно аби вхідний опір схеми попереднього підсилювача був багато більше вихідного опору фотодіода [7]. Для того, щоб отримати високий вхідний опір попереднього підсилювача, використовуємо схему включення операційного підсилювача DA1.1 в режимі не інвертуючого підсилювача охопленого 100% зворотним зв'язком (повторювач сигналу).

Розрахуємо вхідний опір:

$$R_{ex} = R_{ex\ OI} (1 + \beta K_{OI}) \quad (2.20)$$

де  $R_{ex\ OI}$  – вхідний опір ОІ;  $\beta = 1$ ,  $K_{OI} = 100000$ .

$$R_{ex} = 100\text{кОм} (1 + 1 \times 100000) = 1 \times 10^4 \text{МОм}$$

Вхідний опір такої величини практично не досяжний, оскільки обмежується величиною опору витоків печатних плат. Проте можна відзначити, що умова узгодження вихідного опору фотодіода і вхідного опору попереднього підсилювача виконані. Для того, щоб привести потенціал на вході операційного підсилювача DA1.1 до потенціалу загального дроту і тим самим

збалансувати операційний підсилювач встановлений резистор R1 величина якого дорівнює 1кОм. Таким чином, вхідний опір ланки виконаної на операційному підсилювачі DA1.1 дорівнює 1 кОм.

Розрахуємо вихідний опір ланки, яка виконана на операційному підсилювачі DA1.1.

$$R_{вих} = \frac{R_{вих.ОП}}{1 + \beta K_{оп}} \quad (2.21)$$

$$R_{вих} = \frac{1000}{1 + 100000} = 1 \text{ Ом}$$

Для здобуття номінальної вихідної напруги розрахуємо величини резисторів встановлюваних в колах інвертуючого операційного підсилювача DA1.2 для здобуття необхідного коефіцієнта посилення. Приймаємо що для узгодження вхідних і вихідних опорів ланок виконаних на операційних підсилювачах DA1.1 і DA1.2 необхідно, аби ланка, виконана на підсилювачі DA1.2 мала величину вхідного опору рівну 1кОм. На підставі цього:

$$R2 = R4 = R_{вх} = 1\text{кОм}. \quad (2.22)$$

Для забезпечення необхідного коефіцієнта посилення (100 разів) розрахуємо величину резистора зворотного зв'язку R5.

$$R3 = R2 K_{noc} \quad (2.23)$$

$$R3 = 1 \text{ кОм} \times 100 = 100\text{кОм}$$

Розрахуємо вихідний опір схеми інвертуючого операційного підсилювача на DA1.2.

$$R_{вих} = \frac{R_{вих.ОП}}{1 + \beta K_{оп}} \quad (2.24)$$

$$R_{вих} = 1000 / (1 + 300) = 3 \text{ Ом}$$

Така величина вихідного опору достатня, для того, щоб схема мала узгодження з вузлами пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації

## 2.5 Розрахунок параметрів і номіналів елементів інтегратора

Інтегратори виконують усереднення (згладжування) сигналів, які поступають в диференціальний канал обробки інформації [10]. Крім того, вони грають роль фільтру нижніх частот, який не дає високочастотній перешкоді можливості проникати на вхід АЦП мікропроцесора і спотворювати результати вимірів [12].

На основі операційного підсилювача можна побудувати майже ідеальні інтегратори. На рисунку 2.14 показана схема, яка виконує цю функцію.

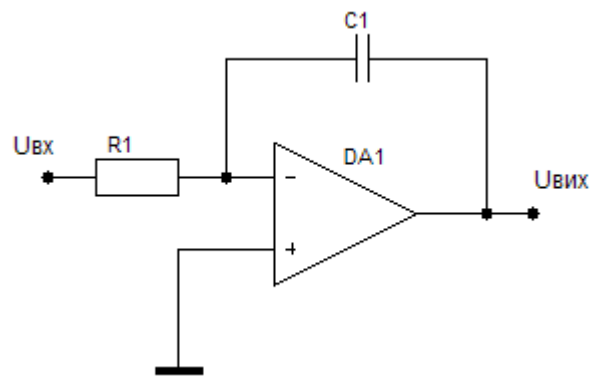


Рисунок 2.14 - Схема ідеального інтегратора на ОП

Його вихідна напруга  $U_{вих}$  пов'язана з вхідною напругою  $U_{вх}$  наступними співвідношеннями:

$$\frac{U_{вих}}{R} = -C \frac{dU_{вх}}{dt}$$

$$U_{вих} = -\frac{1}{RC} \int U_{вх} \cdot d\xi + const \quad (2.25)$$

де:  $R$  – опір резистора інтегратора;  $C$  – ємність конденсатора інтегратора.

Недоліком цієї схеми є дрейф вихідної напруги, обумовлений напругою зсуву і вхідними струмами ОП [10]. Це небажане явище можна ослабити, якщо до конденсатора  $C$  підключити резистор  $R2$  з великим опором, що забезпечує стабілізацію робочої точки за рахунок зворотного зв'язку по постійному струму як показано на рисунку 2.15.

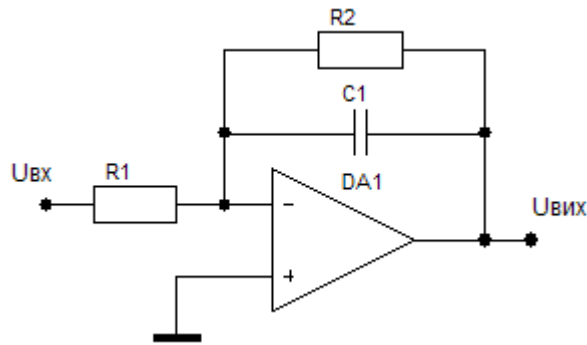


Рисунок 2.15 – Схема з стабілізацією робочої точки

Резистор зворотного зв'язку  $R2$  запобігає також насиченню ОП після заряду конденсатора, коли струм через конденсатор стане рівним нулю. Вихідна напруга цієї схеми при подачі на неї стрибка вхідної напруги амплітудою  $U_{вх}$  змінюється відповідно до вираження:

$$U_{вих} = -U_{вх} \frac{R2}{R1} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{R2 \cdot C}\right) \right] \quad (2.26)$$

На початковому інтервалі перехідного процесу при  $t \ll R1C1$ , зміна вихідної напруги  $U_{вих}$  буде достатньо близькою до лінійної і швидкість її зміни може бути обчислена з вираження:

$$\frac{U_{вих}}{\Delta t} = \frac{-U_{вх}}{R1 \cdot C} \quad (2.27)$$

Для побудови інтегратора застосуємо інтегральну схему LM358 яка є здвоєним операційним підсилювачем. Її параметри приведені в таблиці 2.3.

Вихідні дані для розрахунку елементів інтегратора:

- загальний коефіцієнт посилення інтегратора рівний 10;
- частота вхідних імпульсів 5кГц.

Для здобуття на виході інтегратора постійної напруги з мінімальним рівнем пульсацій необхідно аби виконувалася умова:

$$10 / f_{вх} \leq \tau_{инт} = RC \quad (2.10)$$

де:  $\tau_{инт}$  – постійна часу інтегратора.

Застосуємо як  $R2$  резистор номіналом  $100\text{кОм} \pm 10\%$ .

Розрахуємо величину конденсатора інтегруючого кола:

$$C = \frac{10}{f_{ex} R} \quad (2.29)$$

$$C = \frac{10}{5000 \cdot 1 \times 10^5} = 2 \times 10^{-8} \text{ Ф} = 20 \text{ нФ}$$

Як конденсатор інтегруючого кола застосуємо конденсатор ємністю  $22 \text{ нФ} \pm 10\%$

Розрахуємо величину резистора  $R1$ , яка одночасно визначає величину вхідного опору інтегратора.

$$R1 = \frac{R2}{K_{ндс}} = R_{ex} \quad (2.30)$$

$$R1 = \frac{1 \times 10^5}{10} = 10 \times 10^3 = 10 \text{ кОм}$$

Як  $R1$  застосуємо резистор номіналом  $10 \text{ кОм} \pm 10\%$

В результаті проведених розрахунків визначимо параметри спроектованого інтегратора. Постійна часу кола інтегратора буде рівна:

$$\tau_{им} = R2 \times C1 = 100 \text{ кОм} \times 22 \text{ нФ} = 22 \times 10^{-4} \text{ с} = 2,2 \text{ мс}$$

Для такої величини постійної часу кола інтегратора частота зрізу фільтру нижніх частот рівна [12]

$$f_{cp} = \frac{1}{4\tau_{им}} \quad (2.31)$$

$$f_{cp} = \frac{1}{4 \cdot 2,2 \times 10^{-3} \text{ с}} = 83 \text{ Гц}$$

Аналіз функціонування розрахованого інтегратора виконувався в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 2.16). Досліджена залежність вихідної напруги інтегратора від рівня вхідного сигналу (рис. 2.17). Досліджена залежність вихідної напруги інтегратора від тривалості імпульсу випромінювача (рис. 2.18).

Результати моделювання показують достатнє згладжування та фільтрацію сигналу, що поступає на вхід АЦП мікроконтролера пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації.

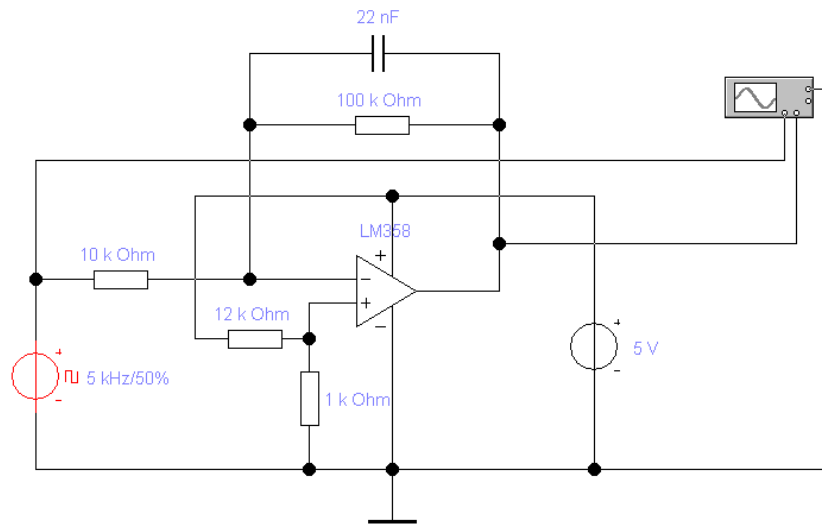


Рисунок 2.16 – Моделювання розрахованої схеми інтегратора

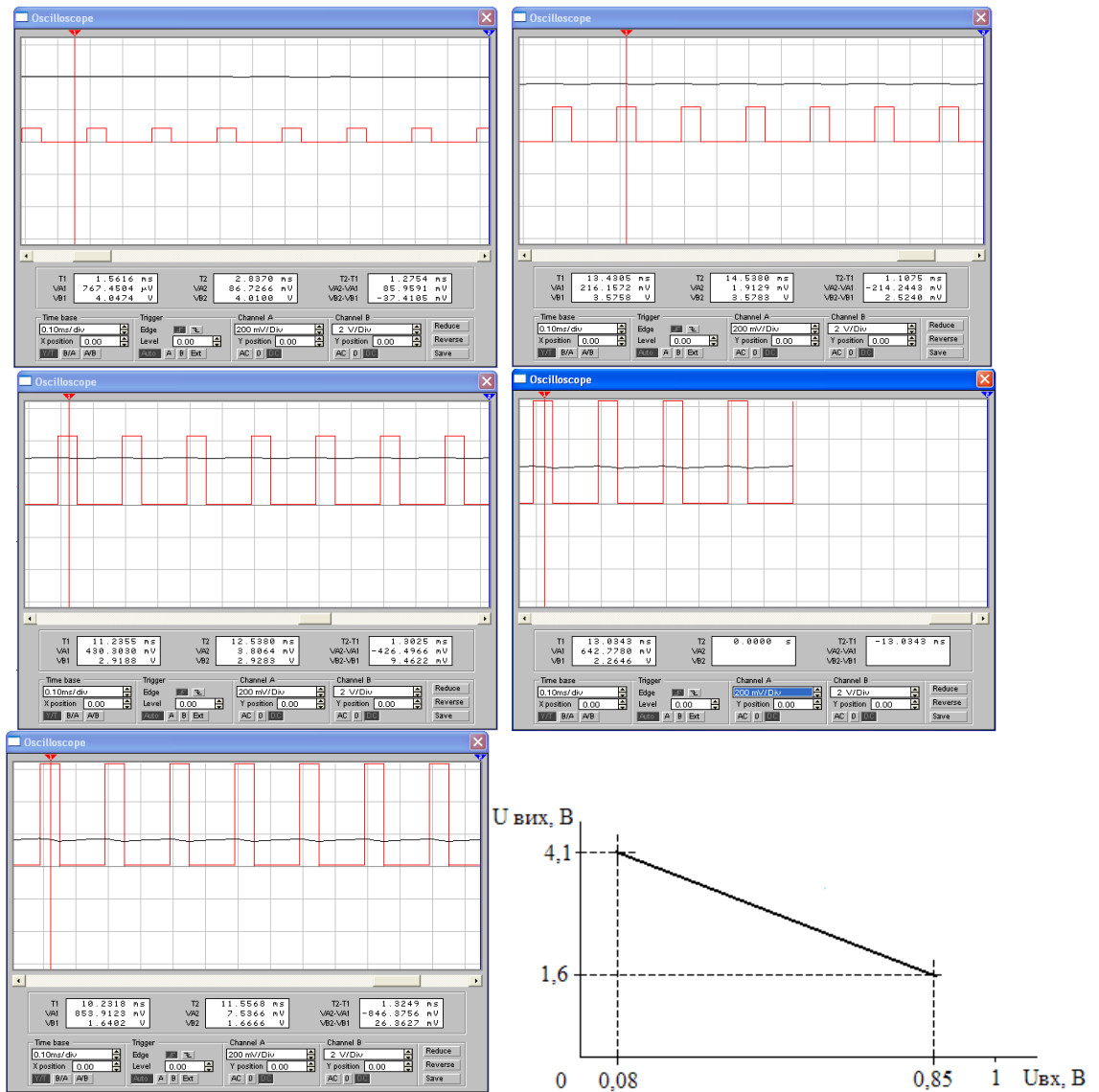


Рисунок 2.17 - Результати моделювання залежності вихідної напруги інтегратора від рівня вхідного сигналу

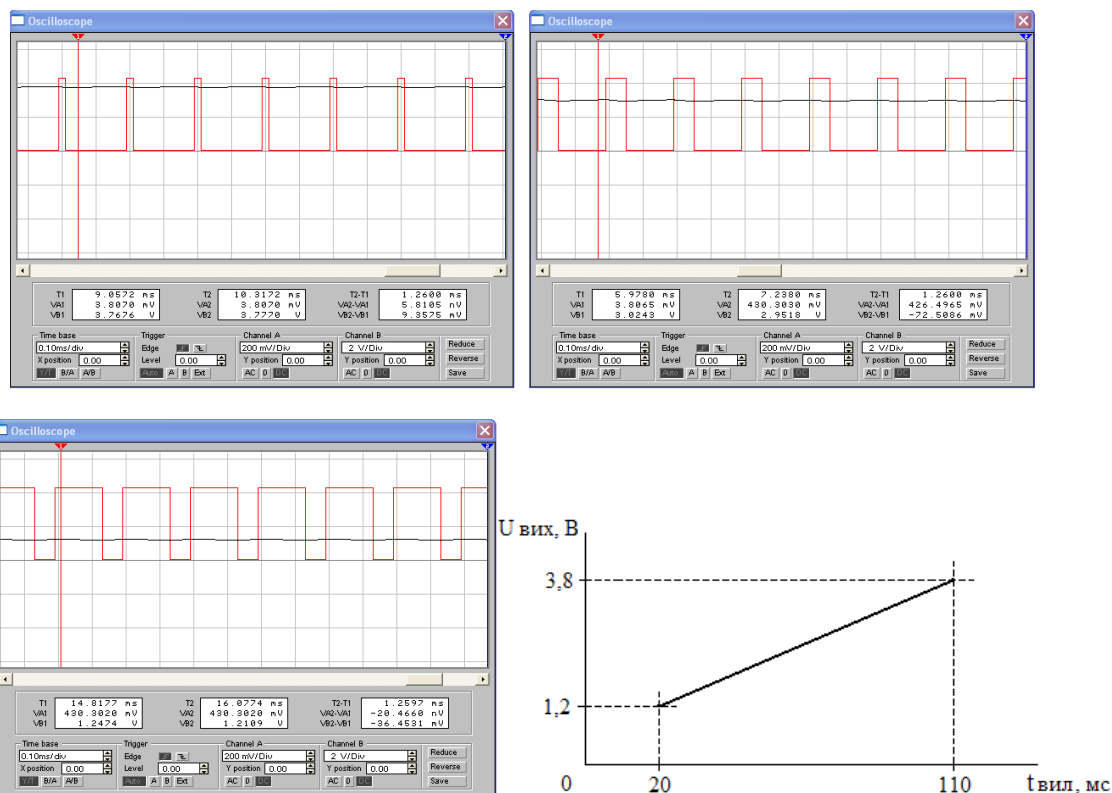


Рисунок 2.18 - Результати моделювання залежності вихідної напруги інтегратора від тривалість імпульсу випромінювача

## 2.6 Розрахунок основних характеристик вузла контролю

З виходу попереднього підсилювача прямокутний сигнал змінної тривалості і шпаруватості поступає у вузол контролю. У вузлі контролю з вхідного сигналу формується послідовність коротких імпульсів постійної тривалості, частота яких дорівнює частоті вхідного сигналу. Оскільки тривалість вихідних імпульсів оптичного випромінювача має діапазон змін більше ніж в 10 разів, то такий сигнал скрутно обробляти блоком мікропроцесорного управління. Для здобуття сигналу з нормованою (постійною тривалістю) у вузол контролю введений формувач тривалості вихідного сигналу [13].

Принципова схема вузла контролю приведена на рисунку 2.19.



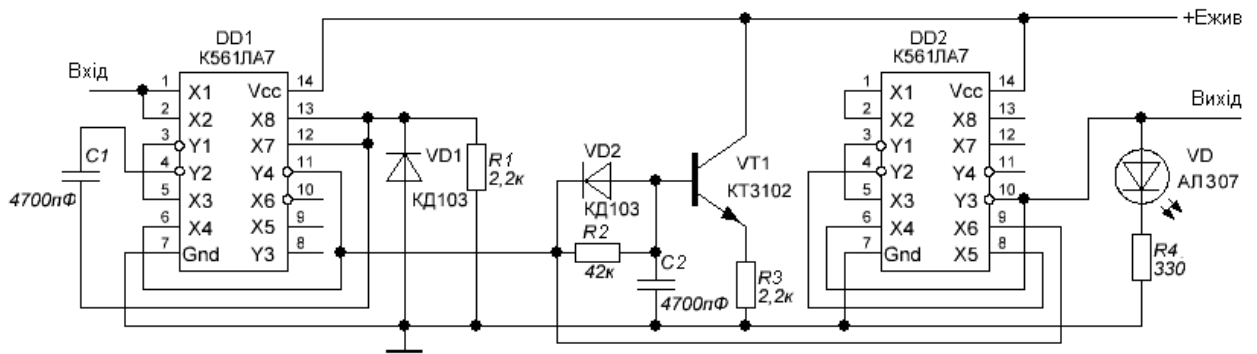


Рисунок 2.19 - Принципова схема вузла контролю

Для побудови схеми формувача імпульсів на логічних елементах застосуємо інтегральну схему SN7400 (вітчизняний аналог К561ЛА7) що містить в своєму складі чотири елементи 2І-НІ [14]. Основні технічні характеристики мікросхеми приведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Основні технічні характеристики мікросхеми SN7400

Найменування параметра	Номінал
$U_{cc}$ напруга живлення, В	5±10%
$U^1$ напруга логічною 1 не менше, В	2
$U^0$ напруга логічного 0 не більше, В	0,8
$I_{ex}^1$ вхідний втікаючий струм логічною 1 не більше, мА	-20
$I_{ex}^0$ вхідний витікаючий струм логічного 0 не більше, мА	0,1
Середній час перемикання не більш, нс	22
Діапазон робочих температур, °С	0-70
Середній струм споживання не більше, мА	10

На мікросхемі *DD1* виконаний формувач імпульсів постійної тривалості величина, якої менше ніж мінімальна тривалість вхідних імпульсів. Як вже було раніше розраховано, частота дотримання їх складає 5 кГц. Параметри широтно-імпульсного модулятора струмів світлодіодного випромінювача розраховані, так що максимальна шпаруватість вихідних імпульсів (глибина регулювання) дорівнює 10. таким чином, з формули шпаруватості

$$Q = T / t_{имп} , \quad (2.32)$$

де  $t_{imn}$  – тривалість імпульсу,  $T$  – період дотримання імпульсів.

Визначимо тривалість імпульсів на вході вузла контролю.

$$t_{imn} = T / Q = 1 / (Q \times F) \quad (2.33)$$

$$t_{imn} = 1 / (10 \times 5000) = 20 \text{ мс}$$

Тривалість вихідних імпульсів формувача має бути в 2 рази менше ніж тривалість імпульсів оптичного випромінювача при мінімальній потужності випромінювання, що складе приблизно 10 мс.

На елементі мікросхеми *DD1.1* виконаний інвертор вхідного сигналу. На елементах мікросхеми *DD1.2* і *DD1.3* виконаний одновібратор на виході якого виробляється імпульс тривалістю 10 мс. У цей момент напруга на виході вентиля *DD1.2* стрибком переходить в стан логічної «1» і починається заряд конденсатора *C1*, і на резисторі *R1* і вході вентиля *DD1.3* присутній рівень логічної «1». У міру заряду конденсатора його зарядний струм знижується по експоненціальному закону і відповідно знижується напруга на резисторі *R1* і вході вентиля *DD1.3*. Як тільки ця напруга стане менше рівня логічного «0» вентиля *DD1.3* він перемкнеться у вихідний стан і вся схема прийде у вихідне положення. Діаграма роботи вузла контролю приведена на рисунку 2.20.

Таким чином тривалість вихідного імпульсу одновібратора побудованого на вентилях *DD1.2* і *DD1.3* залежить лише від параметрів кола що складається з конденсатора *C1*, і резистора *R1*, визначимо величину резистора *R1* необхідну для нормальної роботи вентиля *DD1.3*. У вихідному перебуванні на його входах має бути присутнім рівень логічного «0», що забезпечується величиною резистора *R1* і розраховується по наступній формулі [7].

$$U^0 = 2 I_{ex}^0 R1 \quad (2.34)$$

де  $U^0$  – рівень напруги логічного «0»:  $I_{ex}^0$  - витікаючий вхідний струм при  $U^0 = 0,8\text{В}$ .

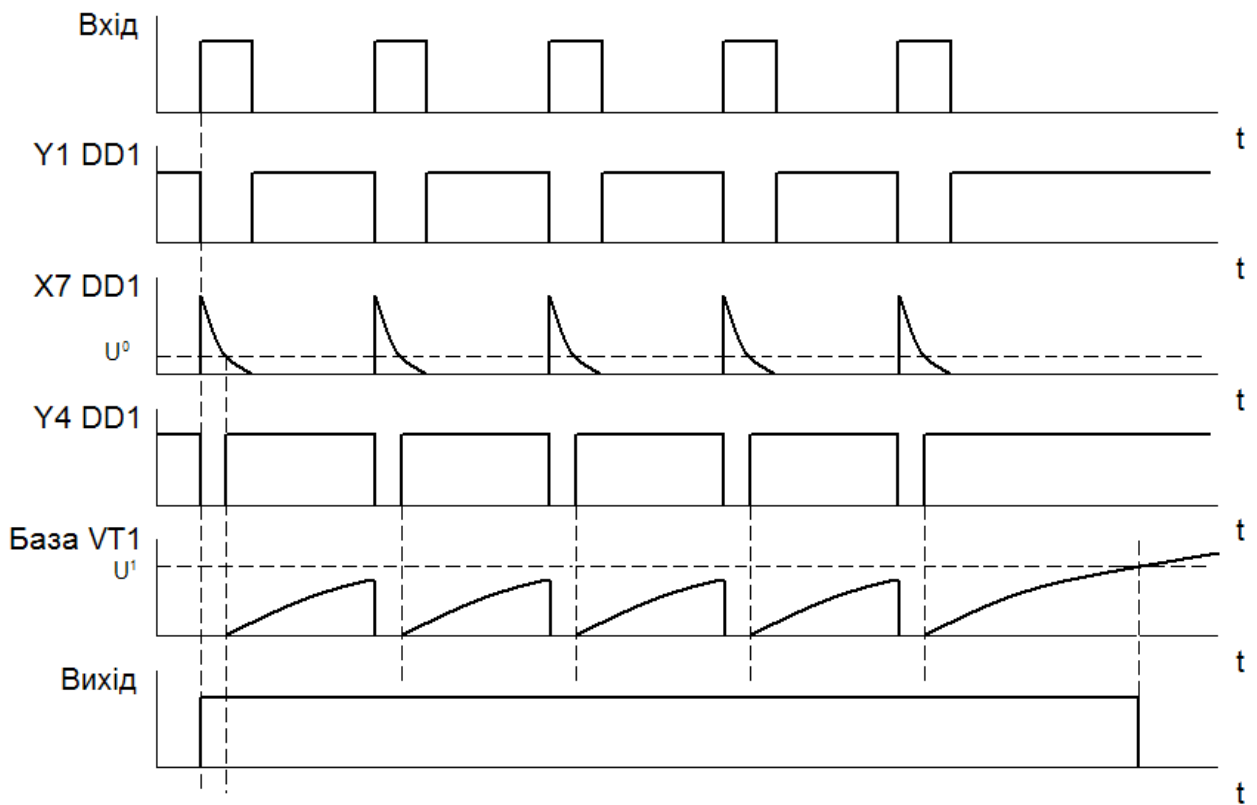


Рисунок 2.20 - Діаграма роботи вузла контролю

$$R1 = 0,8\text{В} / (2 \times 0,1\text{мА}) = 4\text{кОм}$$

Для надійнішої роботи схеми одновібратора приймемо величину опору резистора  $R1$  рівним 2,2 кОм із стандартного ряду резисторів, що випускаються промисловістю.

Тривалість перехідного процесу у  $RC$  колі, яке складається з конденсатора  $C1$  і резистора  $R1$  визначається по формулі:

$$T_{пер} = RC \quad (2.35)$$

де  $T_{пер}$  – час перехідного процесу;  $R$ ,  $C$  - величини резистора і конденсатора кола, яке задає час.

Виходячи з цього, розраховуємо необхідну величину конденсатора  $C1$ .

$$C1 = T_{пер} / R1 \quad (2.36)$$

$$C1 = 10\text{мс} / 2,2\text{кОм} = 4,54 \text{ нФ}.$$

Застосовано плівковий (керамічний) конденсатор  $C1$  ємністю 4700 пФ із стандартного ряду конденсаторів, що випускаються.

Таким чином, на виході формувача виконаного на мікросхемі  $DD1$ , при нормальній роботі випромінювачів будуть присутні імпульси тривалістю

10мс, частота постійна. При відмові випромінювачів на виході одновібратора встановлюється рівень логічною 1.

Для визначення моменту відмови випромінювачів служить схема, яка виконана на мікросхемі *DD2*, транзисторі *VT1*, і інтегруючому колі *R2*, *C2*. Імпульси з виходу одновібратора, зібраного на мікросхемі *DD1*, поступають одночасно на вхід тригера зібраного на логічних елементах *DD2.2* і *DD2.3* і інтегруюче коло, яке складається з резистора *R2* конденсатора *C2* і діода *VD1*. Імпульси поступають на вхід тригера, перемикають його, і на його виході, встановлюється рівень логічної «1». У цей момент на конденсаторі інтегруючого кола буде присутня пульсуюча напруга експоненціальної форми, максимальна величина якої, залежить від шпаруватості вхідного сигналу. Таким чином, чим більше шпаруватість, тим до більш високого рівня напруга може заряджати конденсатор *C2*. Номінали резистора *R2* і конденсатора *C1* розраховуються, виходячи з того, що за час паузи між вхідними імпульсами напруга на конденсаторі *C1* не досягне рівня напруги логічною 1. Як тільки станеться відмова випромінювачів, частота вхідного сигналу стане рівною нулю, напруга на конденсаторі *C1* досягне рівня напруги логічної «1», на виході вентиля *DD2.1*, що приведе до перемикання тригера, і він встановиться у вихідне положення.

Вихідними данні для розрахунку елементів інтегруючого кола:

- частота дотримання вхідних імпульсів  $F = 5\text{кГц}$ ;
- тривалість вхідних імпульсів  $t_i = 10\text{мс}$ ;
- напруга логічної «1»  $U^1 = 2,0\text{В}$ ;
- напруга логічного «0»  $U^0 = 0,8\text{В}$ .

Величину опору резистора *R3* в емітерному колі транзистора *VT1* приймаємо рівну 2,2 кОм, виходячи з тих же міркувань, що і при розрахунку резистора *R4*. З формули:

$$T_n = T - t_i = (1 / F) - t_i \quad (2.37)$$

де  $T_n$  – тривалість паузи;  $t_i$  – тривалість імпульсу;  $T$  – період дотримання імпульсів.

Визначимо величину максимальної тривалості паузи:

$$T_n = (1 / 5\text{кГц}) - 10\text{мс} \cong 190\text{мс}$$

Таким чином постійна часу кола, яке складається з резистора  $R2$  і конденсатора  $C2$  має бути більше, ніж  $T_n$  і менше ніж  $2T_n$  [15].

$$T_n \leq R2C1 \leq 2T_n \quad (2.38)$$

Виходячи з цього, виконаємо розрахунок номіналів елементів інтегруючого кола. Для того, щоб вхідні струми логічного елементу  $DD2.1$  не впливали на часові характеристики кола, в схему включений транзистор  $VT1$ . Він включений за схемою із загальним колектором (емітерний повторювач). Така схема включення транзистора характеризується високим вхідним опором, низьким вихідним опором, малою вхідною ємністю і коефіцієнтом передачі по напрузі, який наближається до одиниці (приблизно рівним 0,8 ... 0,9) [10]. Завдяки таким властивостям емітерного повторювача вхідні струми логічного елементу  $DD2.1$  не впливають на часові характеристики інтегруючого кола. Для побудови емітерного повторювача застосуємо широтно-поширений транзистор КТ3102, характеристики якого приведені в таблиці 2.7 [9].

Таблиця 2.7 – Основні параметри транзистора КТ3102

Найменування параметра	Номінал
Максимально допустимий струм колектора $I_{кmax}$ не більше, А	0,1
Максимально допустима напруга колектор-емітер $U_{кеmax}$ не більше, В	50
Максимальна потужність, що розсіюється на колекторі $P_{кmax}$ не більше, Вт	0,25
Коефіцієнт посилення по струму $h_{21e}$ не менше	100
Максимальна робоча температура, °С	85

Розрахуємо вхідний опір емітерного повторювача, виконаного на транзисторі  $VT1$ .

$$R_{вх} = R_e h_{21e} \quad (2.39)$$

де  $R_e = R3$  – опір в колі емітера транзистора;  $h_{21e}$  - коефіцієнт посилення транзистора по струму (дорівнює 100).

$$R_{вх} = R3 h_{21e} = 2,2\text{кОм} \times 100 = 220\text{кОм}$$

Для нормальної роботи інтегруючого кола, повинна дотримуватися умова:

$$2 \leq (0,1 \div 0,2) R_{ex} \quad (2.40)$$

Виходячи з цієї умови, визначаємо величину опору резистора інтегруючого кола.

$$R2 = 220\text{кОм} / 5 \approx 44\text{кОм}$$

Величину опору резистора  $R2$  приймаємо рівним 42 кОм із стандартного ряду опорів.

Розрахуємо величину ємності конденсатора  $C2$  інтегруючого кола, виходячи з умови:

$$T_n / R2 \leq C2 \quad (2.41)$$

$$C2 = T_n / R2 = 190\text{мкс} / 42\text{кОм} = 4,52\text{нФ}.$$

Як конденсатор  $C2$  застосовний конденсатор ємністю 4700 пФ і робочою напругою 60В.

В результаті на виході тригера при справності оптичного випромінювача з'являється потенціал логічної «одиниці». Таким чином, в мікропроцесорний блок обробки інформації видається інформація про нормальне функціонування всього тракту виміру.

Моделювання роботи схемних вирішень розрахованих формувачів виконувалося за допомогою програмного забезпечення Electronics Workbench.

## 2.7 Розрахунок параметрів і номіналів елементів схеми АРП

Динамічний діапазон зміни вхідного сигналу, що підлягає обробці, складає 100 разів (40дБ). Динамічний діапазон вихідного сигналу застосованого операційного підсилювача складає 10 разів (20дБ). Оскільки динамічний діапазон зміни вхідного сигналу багато більше динамічний діапазон вихідного сигналу застосованого операційного підсилювача те не виконується умова передачі вхідного сигналу на вихід диференціального блоку обробки без спо-

творень. Для того, щоб виробити без спотворень обробку в тракті каналу необхідно виконати умову неспотвореної передачі сигналу в тракті

$$D_{вх} < D_{вих.лан} \quad (2.42)$$

де  $D_{вх}$  - динамічний діапазон вхідного сигналу;  $D_{вих.лан}$  - динамічний діапазон сигналу вихідної ланки.

Для виконання умови неспотвореної обробки сигналу до складу диференціального блоку обробки фотометричної інформації введена схема автоматичного регулювання посилення (АРП). Схема автоматичного регулювання посилення може будуватися на наступних принципах:

- зміна коефіцієнтів посилення каскадів утворюючих тракт – активне регулювання;

- підтримка вхідного сигналу тракту шляхом його нормування при якому вихідна ланка тракту не входить в режим насичення або відсічення - пасивне регулювання.

Для реалізації першого принципу необхідно змінювати коефіцієнт посилення одного або декількох каскадів утворюючих тракт. Оскільки тракт виконаний на операційних підсилювачах включених за схемою інвертуючих підсилювачів, для зміни коефіцієнтів посилення побудованих за такими схемами каскадів необхідно змінювати величину опору резисторів в колі зворотного зв'язку операційних підсилювачів. Оскільки обидва вивода резистора, що знаходяться в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача, знаходяться під потенціалом, що відрізняється від потенціалу загального дроту, існує певна складність управлінням величиною цього опору. Як правило, для цих цілей застосовують резисторні оптрони.

Оскільки відносна погрішність вимірів приладом має бути не більше 1%, відносна погрішність визначення коефіцієнта посилення тракту має бути не більше 0,1%.

Для реалізації вищезгаданих вимог з точки зору погрішності і істотно не ускладнювати схемні рішення необхідно побудувати тракт з максимально-необхідним фіксованим коефіцієнтом посилення і ввести в його склад, керо-

ваного дільника вхідного сигналу. Реалізовано пасивне регулювання коефіцієнта посилення і забезпечена необхідна погрішність вимірів.

Структурна схема вузла автоматичного регулювання посилення представлена на рисунку 2.21.

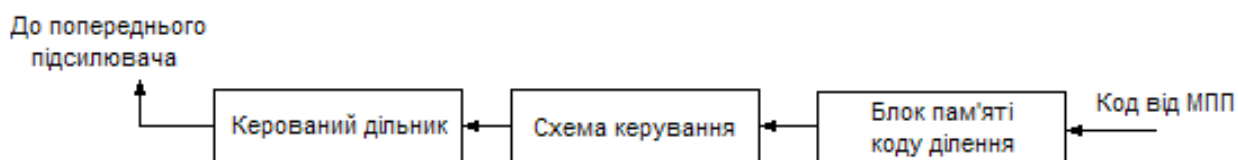


Рисунок 2.21 - Структурна схема вузла автоматичного регулювання посилення

Керований дільник є набором резисторів типа С2-29, погрішність яких не більше 0,1%. Принципова схема такого дільника приведена на рисунку 2.22.

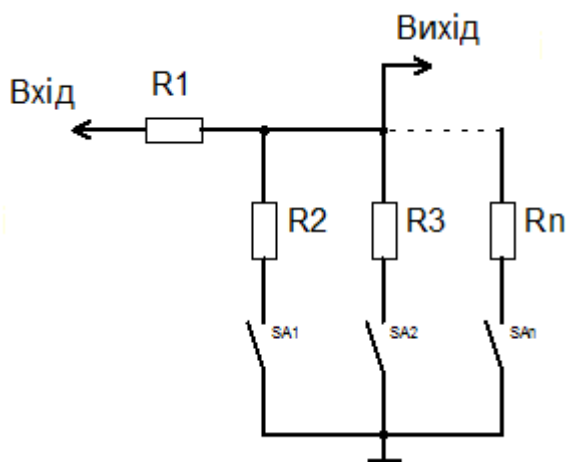


Рисунок 2.22 - Принципова схема керованого дільника

Резистори  $R1$ ,  $R2$ ,  $R_n$  утворюють дільник з постійним коефіцієнтом ділення, величина якого дорівнює

$$K_o = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{R1 + R_n}{R_n}. \quad (2.43)$$

Таким чином, по черзі замикаючи ключі  $SA1$ ,  $SA2$  ...  $SA_n$  змінюємо, коефіцієнт ділення керованого дільника і тим самим змінюємо коефіцієнт посилення тракту в цілому.



Для управління ключами  $SA_1, SA_2 \dots SA_n$  служить схема управління, на восьмиканальному мультиплексорі К561КП2. Мікросхема представляє собою комутатор на ключах виконаних на польових транзисторах, які комутують вісім вхідних сигналів на один вихід. Характеристики мікросхеми приведені в таблиці 2.8. Функціональна схема мікросхеми К561КП2 приведена на рисунку 2.23.

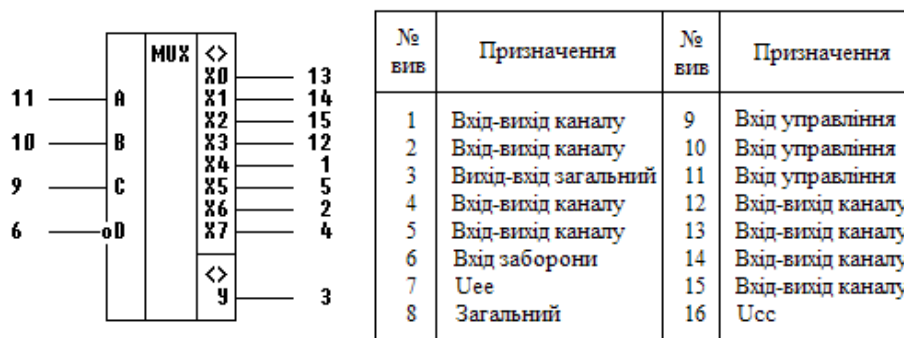
Таблиця 2.8 - Характеристики мікросхеми К561КП2

Найменування параметра	Номінал
Напруга живлення не більше, В	11
Максимально допустимий струм каналу не більше, мА	20
Максимальна потужність, що розсіюється на корпусі $P_{кmax}$ не більше, Вт	0,1
Опір відкритого каналу не більше, Ом	70
Опір закритого каналу не менше, МОм	5
Час перемикання каналу з відкритого в закритий стан не більш, нс	20
Час перемикання каналу із закритого у відкритий стан не більш, нс	25
Рівень «логічної одиниці» цифрових входів не менше, В	2,4
Рівень «логічного нуля» цифрових входів не більше, В	0,8
Максимальна робоча температура, °С	85

На цифрові входи регістра подається цифровий код з блоку мікропроцесорного управління, якому відповідає один з відкритих вихідних ключів і в результаті цього один з резисторів керованого дільника підключається до загального виходу схеми і таким чином відбувається ділення вхідного сигналу.

Один з вихідних ключів мікросхеми К561КП2 знаходяться у відкритому стані, поки на цифрових входах присутній вхідний код і сигнал дозволу. Для забезпечення останньої умови служить блок пам'яті коду ділення.

## Восьмиканальний мультиплексор



Таблиця істиності

Логічні рівні вхідних сигналів				Відкриті канали
D	C	B	A	
0	0	0	0	YX0
0	0	0	1	YX1
0	0	1	0	YX2
0	0	1	1	YX3
0	1	0	0	YX4
0	1	0	1	YX5
0	1	1	0	YX6
0	1	1	1	YX7
1	X	X	X	Усі закриті

Рисунок 2.23 - Функціональна схема мікросхеми K561КП2

Схема забезпечує зберігання коду ділення і розвантажує блок мікропроцесорного управління оскільки останньому немає необхідності зберігати в одному із зовнішніх регістрів мікропроцесора код ділення.

Блок зберігання коду ділення виконаний на мікросхемі K561ІР15, яка представляє чотирьохрозрядний регістр зберігання даних, виконаний по КМОН – технології.

Принципова схема блоку автоматичного регулювання посилення приведена на рисунку 2.24.

Резистори  $R2 - R8$  утворюють керований дільник вхідної напруги. На мікросхемі  $DD1$  виконаний ключ, який перемикає резистори керованого дільника  $R2 - R8$ . На мікросхемі  $DD2$  виконаний вузол зберігання коду ділення.

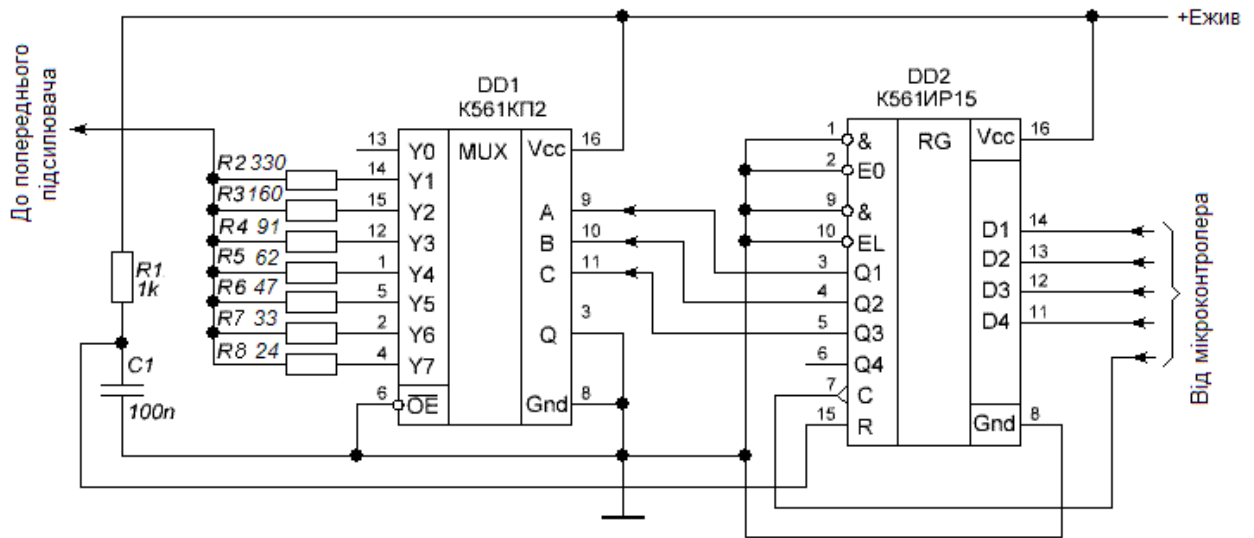


Рисунок 2.24 - Принципова схема блоку автоматичного регулювання посилення

Для розрахунку номіналів резисторів  $R2 - R8$  керованого дільника необхідно визначити коефіцієнт ділення кожного рівня дільника. Аби забезпечити нормальну роботу 10-ти розрядного аналогово-цифрового перетворювача що входить до складу застосованого мікроконтролера бажано аби відношення коефіцієнтів ділення двох рівнів, що стоять рядом, не перевищувало три. Всього число рівнів має бути не більше семи. Виходячи з цього, прийmemo наступні коефіцієнти ділення вхідного сигналу, які зведені в таблицю 2.9

Таблиця 2.9 - Коефіцієнти ділення вхідного сигналу

Коефіцієнт ділення	Код ділення	Кратність	Номінал резистора
1	000		
2	001	2	$R2 = 333\text{Ом}$
5	010	2,5	$R3 = 166,66\text{Ом}$
10	011	2	$R4 = 90,91\text{Ом}$
15	100	1,5	$R5 = 62,5\text{Ом}$
20	101	2	$R6 = 47,62\text{Ом}$
30	110	1,5	$R7 = 32,258\text{Ом}$
40	111	1,33	$R8 = 24,39\text{Ом}$

Розрахуємо величину номіналів резисторів дільника з урахуванням коефіцієнтів ділення.

$$R_o = \frac{R_1}{1 + K_o} \quad (2.44)$$

Як резистори керованого дільника застосуємо резистори С2-29 з точністю не гірше 0,1%.

## 2.8 Розрахунок погрішності вимірів каналу обробки фотометричної інформації

Сумарна погрішність кожного з каналів, які утворюють канал диференційної обробки фотометричної інформації, визначається як сума відносних погрішностей окремих вузлів, які входять до складу кожного з каналів.

$$\delta_{з\text{аг}} = \sum_i \delta_i = \delta_{\text{ПП}} + \delta_{\text{АРП}} + \delta_{\text{ИИТ}} + \delta_{\text{АЦП}} \quad (2.45)$$

де  $\delta_{\text{ПП}}$  – відносна погрішність коефіцієнта посилення попереднього підсилювача;  $\delta_{\text{ИИТ}}$  – відносна погрішність посилення інтегратора;  $\delta_{\text{АРП}}$  – відносна погрішність ослабіння вузла АРП;  $\delta_{\text{АЦП}}$  – відносна погрішність коефіцієнта перетворення вузла АЦП блоку мікропроцесорного управління.

Оскільки погрішність коефіцієнта посилення визначається погрішністю вхідного резистора і резистора в колі зворотного зв'язку, то  $\delta_{\text{ПП}}$  визначатиметься як:

$$\delta_{\text{ПП}} = \sum_i \delta_{R_i} = \delta_{R_{\text{вх}}} + \delta_{R_{\text{зз}}} \quad (2.46)$$

$$\delta_{\text{ПП}} = 0.1\% + 0.1\% = 0.2\%$$

де:  $\delta_{R_{\text{вх}}}$  – відносна погрішність виготовлення резистора застосованого у вхідному колі підсилювача;  $\delta_{R_{\text{зз}}}$  – відносна погрішність номіналу резистора застосованого в колі зворотного зв'язку підсилювача.

Погрішність коефіцієнта ослабіння вузла АРП визначається погрішністю вхідного резистора і резистора в колі дільника, і розраховується як:

$$\delta_{APП} = \sum_i \delta_{Ri} = \delta_{Rex} + \delta_{Rapn} \quad (2.47)$$

$$\delta_{APП} = 0.1\% + 0.1\% = 0.2\%$$

де  $\delta_{Rex}$  – відносна погрішність номіналу резистора застосованого у входному колі дільника;  $\delta_{Rapn}$  – відносна погрішність виготовлення резистора застосованого в колі яка визначає коефіцієнт ослабіння вузла АРП.

Оскільки погрішність коефіцієнта інтеграції розрахованого інтегратора визначається погрішністю входного резистора і конденсатора в колі зворотного зв'язку, то  $\delta_{INT}$  визначатиметься як:

$$\delta_{INT} = \sum_i \delta_{Ri} = \delta_{Rex} + \delta_{Cзз} \quad (2.48)$$

$$\delta_{INT} = 0.1\% + 0.1\% = 0.2\%$$

де  $\delta_{Rex}$  – відносна погрішність виготовлення резистора застосованого у входному колі підсилувача;  $\delta_{Cзз}$  – відносна погрішність виготовлення конденсатора застосованого в колі зворотного зв'язку підсилувача.

Абсолютна погрішність вузла АЦП блоку мікропроцесорного управління визначається по формулі

$$\Delta_{ACП} = \frac{U_{ex,max}}{2^{Kp}} \quad (2.49)$$

$$\Delta_{ACП} = \frac{5B}{2^{10}} = 4,88mB$$

де:  $U_{ex,max}$  – максимальна входна напруга АЦП не більш 5В;  $K_p$  – розрядність перетворювача АЦП (дорівнює 10).

Відносна погрішність коефіцієнта перетворення АЦП визначається за умови що

$$1B < U_{ex} < 5B$$

і дорівнює

$$\delta_{ACП} = \frac{\Delta_{ACП}}{U_{ex}} \quad (2.50)$$

$$\delta_{ACП} = \frac{4,88mB}{1B} 100\% = 0,48\% .$$

Таким чином, при найгіршому режимі вимірів максимальна погрішність шкіряного з каналів складі не більше 1,08%.

При визначенні величини реальної погрішності вимірів за допомогою приладу слід врахувати, що при калібруванні приладу з переліку вищезгаданих погрішностей виключаються погрішності попереднього підсилювача і інтегратора як величини постійні і що компенсуються диференціальним методом виміру. Таким чином, максимальна погрішність виміру диференціального каналу обробки фотометричної інформації рівна

$$\delta_{заг} = \sum_i \delta_i = \delta_{АРП} + \delta_{АЦП} \quad (2.51)$$

$$\delta_{заг} = 0,2\% + 0,48\% = 0,68\% .$$

Можна відзначити, що погрішність виміру розрахованого приладу приблизно в 2 рази нижча, ніж його прототипу (КФК-3-03-«ЗОМЗ»).

## 2.9 Побудова пристрою мікропроцесорного блоку обробки інформації

Для первинної обробки інформації, яка вимагає проведення математичних дій над вхідними даними, такі як підрахунок кількості імпульсів, в одиницю часу, ділення одного числа на інше і так далі такі операції в даний час найчастіше виконуються за допомогою мікропроцесорів або мікроконтролерів, що володіють чималими математичними можливостями.

Вживання мікроконтролера найвигідніше оскільки:

- значно зменшуються габарити;
- зменшується споживаний струм;
- існує можливість програмно задавати режими роботи;
- при певному програмному забезпеченні можливе нарощування функціональних можливостей;
- існує можливість стиковки мікроконтролера (МК) з ПК для зняття, зберігання і подальшої обробки і аналізу інформації.

Сьогодні в світі випускаються значна кількість типів мікроконтролерів. Лідирують такі компанії, як Atmel, Dallas Semiconductor, Intel, Infineon Technologies, Microchip Technology Inc., Philips Semiconductors, Zilog та ін. Основна класифікаційна ознака МК – розрядність даних, що обробляються арифметико-логічним пристроєм (АЛП). За цією ознакою вони діляться на 4-, 8-, 16-, 32-, 64-розрядні.

Найбільша частка світового ринку МК належить восьмирозрядним пристроям (близько 50% у вартісному вираженні). За ними слідують 16-розрядні. Найчисленнішу групу утворюють CISC-МК, але останніми роками намітилася тенденція зростання доли RISC- МК.

В даний час створено і серійно випускається величезна кількість інтегральних схем, мікропроцесорів і мікроконтролерів, тому досліджувати їх характеристики і проводити порівняльний аналіз їх роботи просто не має сенсу, оскільки зазвичай серйозні виробники прикладають до своїх виробів детальний опис їх роботи, технічні характеристики і дають гарантії їх безвідмовної роботи при дотриманні споживачами умов експлуатації.

На одному з таких мікропроцесорів можна побудувати схему обробки сигналів, що поступають з блоку формувачів. Atmega48 містить вбудований АЦП, що значно спрощує схему, зменшує габарити і енергоспоживання приладу.

Atmega48 – 8-розрядний однокристальний мікроконтролер. Містить EEPROM (СПЗП) – 2КБ 8, RAM (ОЗП) – 64×8, 21 лінію введення - виведення, 16-розрядний лічильник/таймер, пріоритетний рівень переривання, двонаправлений інтегрований послідовний інтерфейс шини (RS232), вбудований генератор, п'ять 8-розрядних каналів АЦП .

Вбудований інтерфейс шини (RS232), дозволяє мікропроцесору виступати в ролі як ведучого, так і відомого пристрою. Ця здатність полегшує введення - виведення даних і розширення ОЗП, доступ до EEPROM (СПЗП), зв'язок процесора з іншим процесором, і ефективний інтерфейс до широтної різноманітності спеціалізованих периферійних пристроїв.

Алгоритм функціонування пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації представлено на рисунку 2.25. Після опитування кнопок встановлюється режим роботи. Виконання програми починається після натиснення кнопки «Пуск». Сформований код обробляється мікроконтролером, розраховується коефіцієнт поглинання. Після виміру параметрів випромінювання результат виводиться на рідину кристалічний індикатор.

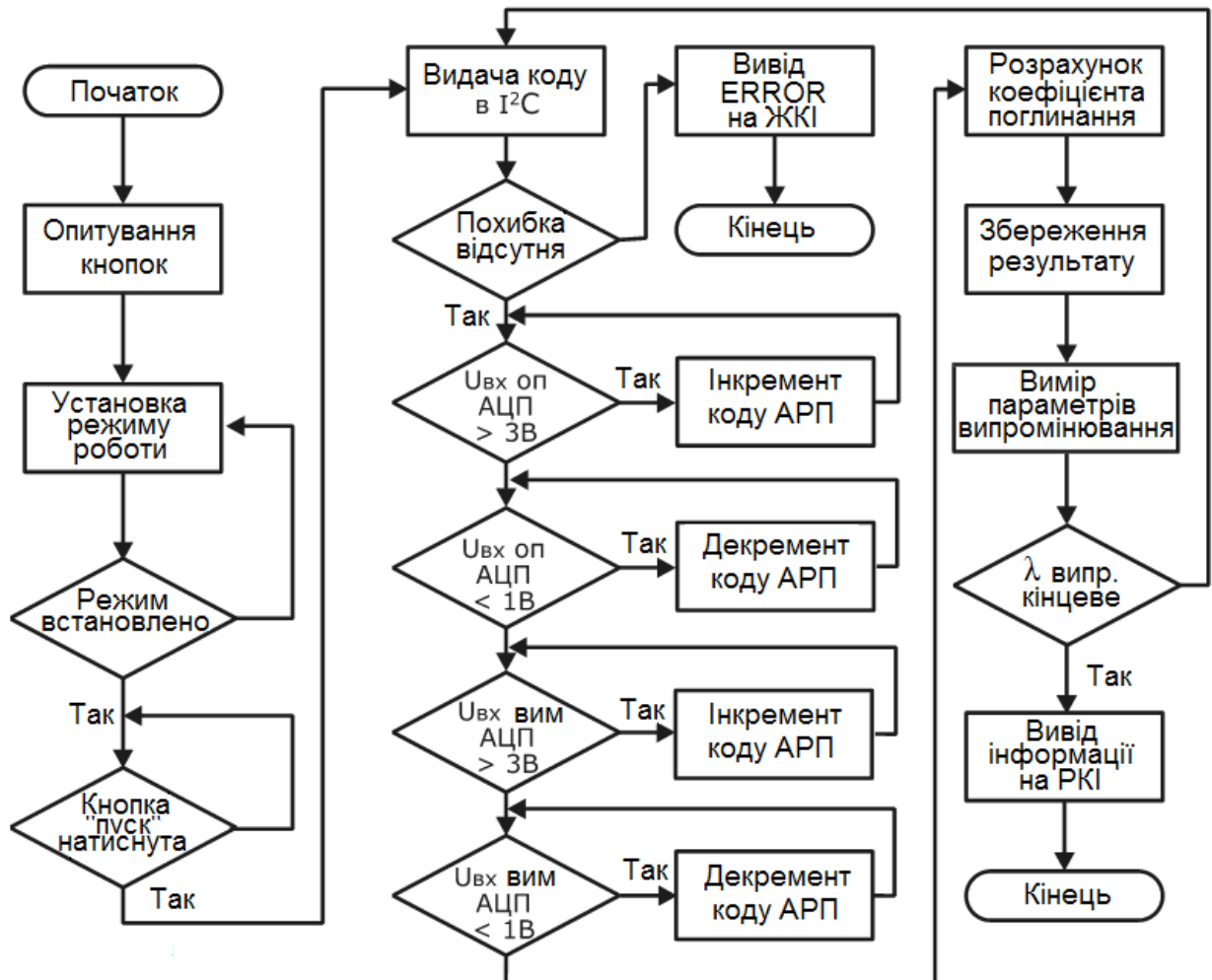


Рисунок 2.25 – Алгоритм функціонування пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації

## 2.10 Розробка блоку індикації

Для побудови блоку індикації застосуємо рідкокристалічний модуль MT-10S1. Модуль випускають в двох видах з світлодіодним підсвічуванням і



без нього. Модуль дозволяє відображувати до двадцяти символів в рядку при матриці символу 5×8 і курсор. Між символами є інтервали в одну точку, що відображається. Кожному символу на РКІ, відповідає його код у вічку ОЗП модуля. Модуль містить два види пам'яті – код символів, що відображуються, і призначеного для користувача знакогенератора, а також логіку управління РК панеллю. Зовнішній вигляд модуля представлений на рисунку 2.26.

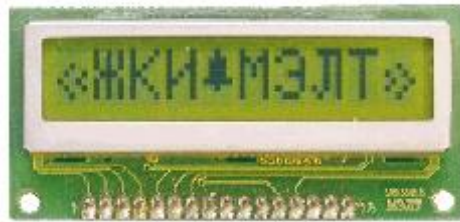


Рисунок 2.26 - Зовнішній вигляд модуля MT-10S1

Основні характеристики модуля MT-10S1. Модуль управляється по паралельному 4 бітовому або 8 бітовому інтерфейсу. Модуль може записувати дані в ОЗП модуля з шини даних, читати статус стану з шини даних, запам'ятовувати до 12 зображень символів користувача, виводити миготливий і не миготливий курсор, управляти контрастністю і підсвічуванням. Технічні характеристики модуля приведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічні характеристики модуля MT-10S1

Назва	Позначення	Min	Max	Одиниці
Час циклу читання / запис	$t_{цикл}$	1000	-	нс
Тривалість імпульсу дозволу читання / запис	$PW_{EH}$	500	-	нс
Час наростання і спаду	$t_{Er}$		25	нс
Час передустановки адреси	$t_{AS}$	60	-	нс
Час утримання адреси	$t_{AH}$	20	-	нс
Час видачі даних	$t_{DDR}$	-	400	нс
Час затримки даних	$t_{DHR}$	10	-	нс
Час передустановки даних	$t_{DSW}$	200	-	нс
Час утримання даних	$t_H$	10	-	нс

Сигнали на вхідній шині відповідають сигналам ТТЛ – логіці, напруга живлення панелі 5В при струмі вжитку не більш 1мА.

Таким чином, використання модуля МТ-10S1 спільно з мікропроцесорним блоком обробки інформації дає можливість побудувати панель індикації і управління приладом. За допомогою кнопок, що знаходяться на передній панелі приладу можна вибирати різні види вимірів, результат яких буде відображатися на табло модуля МТ-10S1.

Загальна схема електрична принципова розробленої мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації представлена на рисунку 2.27.

В результаті проведених досліджень і розрахунків можна зробити наступні висновки.

1. Великий допустимий динамічний діапазон виміру оптичної щільності досліджуваних речовин дозволяє досліджувати самі різні речовини.
2. Розраховані основні параметри диференціального каналу обробки фотометричної інформації, що дозволяє скоротити час проведення вимірів.
3. Використання як приймач фотометричної інформації – фотоприймач з широким частотним діапазоном сигналу, який приймається, дало можливість максимально спростити оптичну конструкцію прийому вузла прийому фотометричної інформації.
4. Використання в оптичному тракті подвійної нерухомої кювети з малим оптичним шляхом дало можливість роботи з оптичним джерелом малої потужності.
5. Низька живляча напруга і споживана потужність приладу дає можливість експлуатувати прилад, як в стаціонарних, так і в польових умовах.

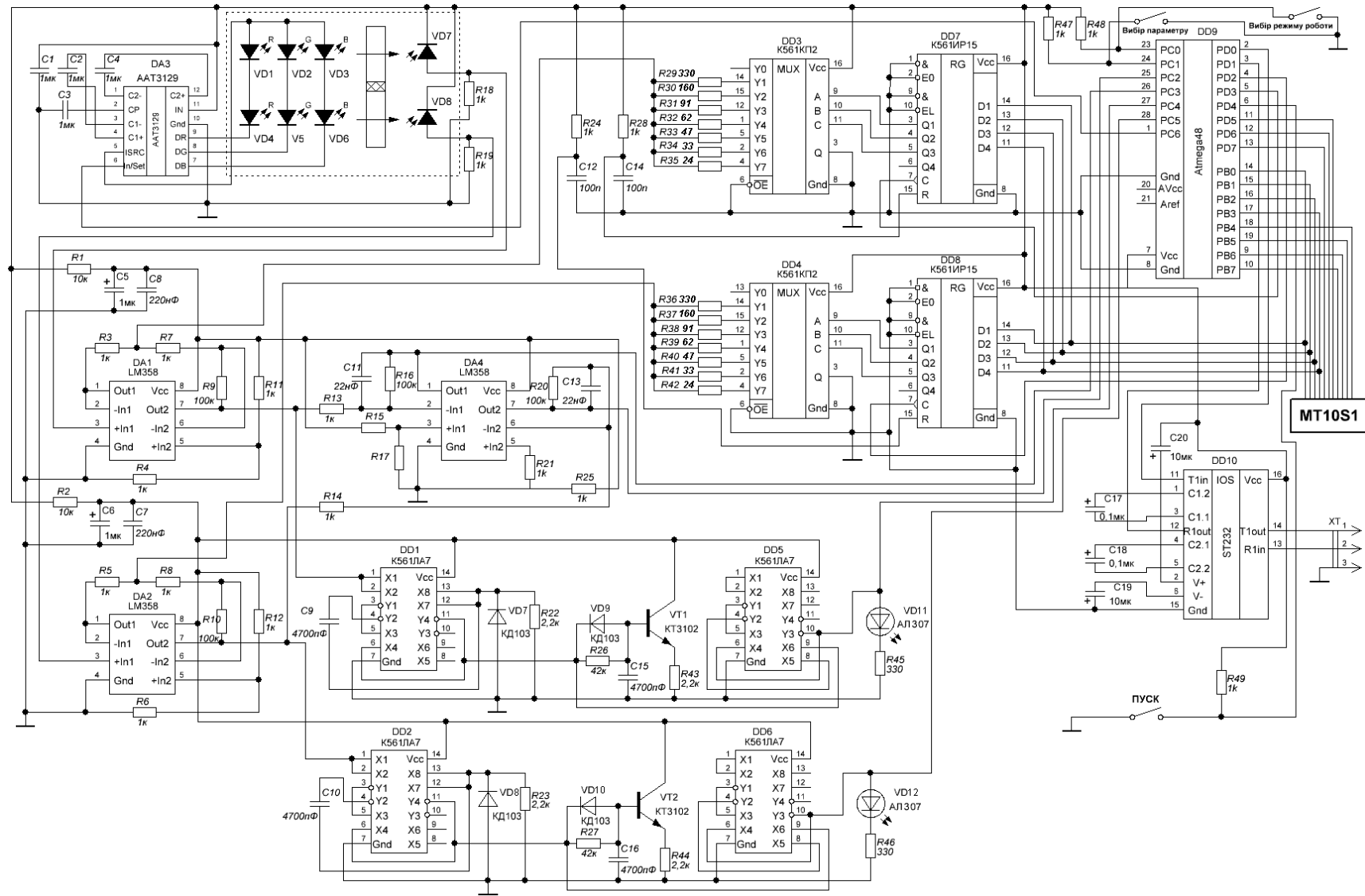


Рисунок 2.27 - Схема мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації

### 3 Техніко-економічне обґрунтування розробки мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації

#### 3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми пристрою

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонкоплівкових гібридних мікрозборок, або за технологією печатних плат на фольгованому текстоліті. Обидві технології передбачають, що всі елементи будуть навісними, а напilenням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення схеми мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [15].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Технологія печатних плат на фольгованому текстоліті	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано травленням фольгованого текстоліту.
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [15].

У матриці прийняті наступні позначення:  $i$  – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3)  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ;  $X_i$  - локальний пріоритет, тобто відносна вага  $i$ -го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	$X_i$
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
	$\Sigma$						9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію, то  $i = 1, 2, 3, 4$ .

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}},$$

де  $\sum$  - сума по стовпці  $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$ .

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидко-дія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	3	1/5	1	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
$\Sigma$					6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостій-кість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
$\Sigma$					5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживан-ня»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	$X_i$
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
$\Sigma$					6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
Σ					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
Σ					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [15].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схеми мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Печатних плат на фольгованому текстоліті	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Тонкоплівкових гібридних мікроборки	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведено порівняння чотирьох типів технологій реалізації схеми мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології печатних плат на фольгованому текстоліті. Проте найбільший глобальний пріоритет мають технологія тонкоплівкових гібридних мікроборки та печатних плат на фольгованому текстоліті. Саме технологія печатних плат на фольгованому текстоліті й буде використовуватися для виготовлення схеми мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації.

### 3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблиці 3.11. Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 88,27 грн.



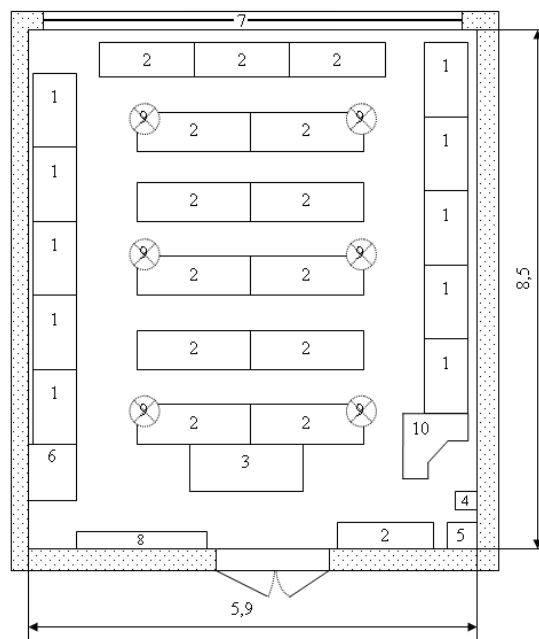
Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості матеріалів на виробництво мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Кількість ед/цикл	Ціна за од., грн.	Всього витрат, грн.
АТmega48	шт.	1	18,11	18,11
LM7805	шт.	3	4,77	14,31
ААТ3129	шт.	1	7,23	7,23
ААF5060PBESEEVG	шт.	1	14,04	14,04
74НС173	шт.	2	2,40	4,80
74НС4051	шт.	2	1,20	2,40
Резистор пост.	шт.	45	0,01	0,45
Конденсатор пост.	шт.	20	0,10	2,00
Конденсатор електр.	шт.	2	0,60	1,20
Діоди	шт.	6	0,51	3,06
Трансформатор	шт.	1	12,00	12,00
Запобіжник	шт.	1	0,01	0,01
Роз'єми	шт.	3	1,00	3,00
Дріт	м	3	0,90	2,70
ПОС-61	кг	0,01	7,20	0,07
ФЛЮС	кг	0,01	3,40	0,03
Спирт	л.	0,1	12,00	1,20
Марля	м <sup>2</sup>	1	0,75	0,75
Пластик	м <sup>2</sup>	0,1	5,00	0,50
Всього				88,27

## 4 Охорона праці та техногенна безпека

### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При виконанні дипломної роботи комп'ютерне моделювання та розрахунок електронної схеми мікроелектронної системи фотометричного аналізу діагностичної інформації проводилися в приміщенні кафедри ЕІСПЗ, макет якої представлено на рисунку 4.1.



1 - стіл комп'ютерний; 2 - стіл аудиторний; 3 - стіл викладача; 4 - автомат відключення електричного живлення; 5 - шафа силова; 6 - шафа універсальна; 7 - вікно; 8 - дошка аудиторна; 9 - світильник 4-х ріжковий; 10 - стіл адміністратора мережі

Рисунок 4.1 – Макет приміщення в якому проводилися роботи

Площа приміщення складає  $50,15 \text{ м}^2$ ; об'єм  $175,52 \text{ м}^3$ ; довжина приміщення  $8,5 \text{ м}$ ; ширина приміщення  $5,9 \text{ м}$ ; висота приміщення  $3,5 \text{ м}$ ; число ві-

кон 1; число робочих місць 10; освітлення: природне (через бічне вікно) і загальне штучне. Параметри приміщення задовольняють нормативним значенням: площа  $6\text{ м}^2$ , об'єм  $20\text{ м}^3$  на одного працюючого.

Лабораторія є приміщенням легкої категорії (виконуються легкі фізичні роботи), тому повинні дотримуватися такі вимоги (період року – холодний) [16]:

- оптимальна температура повітря –  $22 - 24\text{ }^\circ\text{C}$  (допустима –  $20 - 24\text{ }^\circ\text{C}$ );
- оптимальна відносна вологість –  $40 - 60\%$  (допустима не більше  $75\%$ );
- швидкість руху повітря не більше  $0,1\text{ м/с}$ .

Оцінка шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця працівника лабораторії представлені в таблиці 4.1.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

На ділянці проведення експерименту значна частина моделювання вироблялася на персональному комп'ютері IBM PC і макетному стенді, оснащеному блоками живлення, програмованими пристроями вхідних дій, реєструючим і вимірювальним устаткуванням. Печатні плати виготовлялися за технологією травлення фольгованого текстоліту на спеціальному стенді з витяжною шафою, розташованому в науково-дослідній лабораторії кафедри.

Тривала робота перед екраном монітора наводить до різних функціональних розладів організму, навантаження на очі. Захворювання поступово накопичуються. В основному страждають кисті, зап'ястя, плечі, шийна область.

#### 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

При проведенні моделювання схеми приладу, якість експерименту багато в чому залежить від освітлення, тому в лабораторії має бути передбачене штучне освітлення [17].

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника лабораторії

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> : I клас небезпеки _____ II клас небезпеки _____ III-IV клас небезпеки _____						
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>						
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ						
4	Шум, дБА						
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
7	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон промислової частоти, кВ/м - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м <sup>2</sup>						
8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С (тепл. п) - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	23 – 25 ≤ 0,2 40 – 60 100	23 0,1 60				100 100 100
9	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці - легка, категорія напруженості праці - мало напружена					

Незадовільне освітлення може спотворити інформацію, крім того, викликає стомлення організму в цілому. Неправильне освітлення може з'явитися причиною травматизму.

Залежно від класу приміщення по вибухонебезпеці і від чистоти середовища виробничих приміщень, визначається схема розташування світильників, їх марка і конструктивного виконання [17].

Для освітленості приміщення з розмірами  $A = 8,5$  м,  $B = 5,9$  м та висотою  $H = 3,5$  м використовуються 6 світильників з чотирма лампами розжарювання. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні  $p_{\text{пот}} = 70\%$ ,  $p_{\text{ст}} = 50\%$ ,  $p_{\text{пол}} = 10\%$ . Затінювання робо-

чих місць немає. Висота світильника  $h_c = 0,9\text{ м}$ , висота робочої поверхні над рівнем підлоги  $h_p = 0,8\text{ м}$ . Нормативна величина освітленості робочих місць з відео-терміналами складає  $E_n = 300 - 500\text{ лк}$ . В даному приміщенні освітленість  $350 - 500\text{ лк}$ .

При монтажі компонентів на плату і формуванні топологічного рисунка струмопровідного шару виникає потенційна небезпека небажаної дії на організм речовин, що звертаються в технологічному процесі, і матеріалів. Всі речовини, що забруднюють повітря, надають шкідливу дію, якщо вони потрапляють в організм в кількостях, що перевищують деяку порогову величину (ГДК). У виробництві плат застосовують певні речовини, які шкідливі для організму. Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюється залежно від гранично допустимої концентрації речовин в повітрі робочої зони. Це та концентрація яка переноситься без відхилень від нормального стану в перебігу робочого дня при щоденному диханні. Згідно СН 245-71 встановлюють чотири класи шкідливих речовин: 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні; 2-й клас – речовини високо небезпечні; 3-й клас – речовини помірно небезпечні; 4-й клас – речовини мало небезпечні. Дія токсичних речовин виявляється в гострих і хронічних отруєннях.

При монтажі електронних плат застосовують ацетон, етиловий спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати. Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нервово - психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних доріг і на шкіру, що наводить до дерматитів.

Основні засоби техніки безпеки – герметизація апаратури і устаткування, наявність припливний витяжній вентиляції в приміщенні проведення робіт і витяжна шафа для виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням (рис. 4.2).

Витяжна шафа оснащена вентилятором моделі CE 140L-125. Вентилятор має крильчатки із заломленими вперед лопатками і двигун із зовнішнім ротором. Корпус виготовлений з листової сталі, що гальванізується. Для захисту двигуна від перегріву вентилятор оснащений вбудованими термоконтактами з ручним перезапуском.

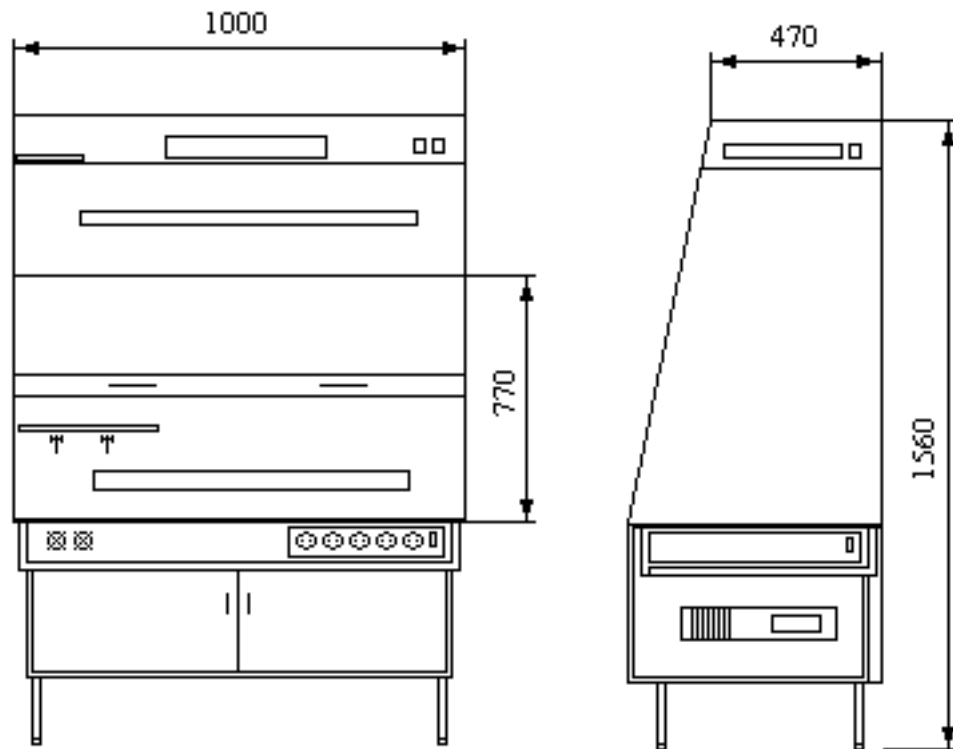


Рисунок 4.2 – Витяжна шафа для виготовлення печатних плат

### 4.3 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відео терміналах і персональних комп'ютерах є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робочих місцях повинні відповідати діючим санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень [17].

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відео терміналах і персональних комп'ютерах є основною, повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Оптимальні норми мікроклімату для приміщень з відео-терміналами і персональними комп'ютерами

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більше)	Відносна вологість повітря %	Швидкість руху повітря м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0.1

До категорії 1а відносяться роботи, які виконуються сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких витрата енергії складає до 120 ккал/ч. До категорії 1б відносяться роботи, які виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводяться деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/год.

У приміщенні проведення експерименту підтримується мікроклімат відповідний нормативам, для категорії робіт «Легка – 1а»

Ергономічне розташування робочого міста за персональним комп'ютером оцінюється вимогами:

- до візуальних параметрів засобів відображення інформації індивідуального користування;
- до емісійних параметрів ПК - параметрів випромінювань дисплеїв, системних блоків, джерел живлення, зокрема безаварійного, і ін.

Робота з дисплеями при неправильному виборі яскравості і освітленості екрану, контрастності знаків, квітів знаку і фону, за наявності відблисків на екрані, тремтіння і мигтіння зображення - приводить до зорового стомлення,

головних болів, до значного фізіологічного і психічного навантаження, до погіршення зору.

Візуальні параметри і світловий клімат визначають зоровий дискомфорт, який може виявлятися при використанні будь-яких типів екранів дисплеїв, - на електронно-променевих трубках, рідкокристалічних, газорозрядних, електролюмінесценціях панелях або на інших фізичних принципах.

#### 4.4 Електробезпека

Для забезпечення захисту від поразки електричним струмом у використуваних електроустановках повинні застосовуватися технічні способи і засоби захисту.

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відповідно до ПБЕ являється приміщенням без підвищеної небезпеки. Приміщення сухе, добре опалюване з струмонепровідною підлогою, з температурою 18-24 °С, з вологістю 40-50%. З електроустаткувань в ньому знаходяться відео термінальні пристрої та учбові стенди, які знаходяться під напругою  $U = 220 \text{ В}$ , частотою  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Вибір того або іншого способу або засобу захисту (або їх поєднань) в конкретному електроприладі, і ефективність його вживання залежать від цілого ряду чинників, у тому числі від:

- номінальної напруги;
- роду, форми і частоти струму використовуваного приладу;
- способу електропостачання (від стаціонарної мережі, від автономного джерела живлення електроенергією);
- вигляду виконання (стаціонарні, пересувні, переносні);
- умов зовнішнього середовища;



- схеми можливого включення людини в ланцюг протікання струму (прямий однофазний, прямий двофазний дотик; включення під напругу кроку);

- вигляду робіт (монтаж, наладка, випробування) і ін.

Основними технічними засобами захисту є:

- захисне заземлення;
- автоматичне відключення живлення (занулення);
- пристрої захисного відключення;
- ізоляція струмопровідних частин.

Принцип роботи ПЗВ (рис. 4.3) полягає в тому, що воно постійно контролює вхідний сигнал і порівнює його з наперед заданою величиною. Якщо вхідний сигнал перевищує встановлене значення, то пристрій спрацьовує і відключає захищену електроустановку від мережі. Як вхідні сигнали пристроїв захисного відключення використовують різні параметри електричних мереж, які несуть в собі інформацію про умови поразки людини електричним струмом.

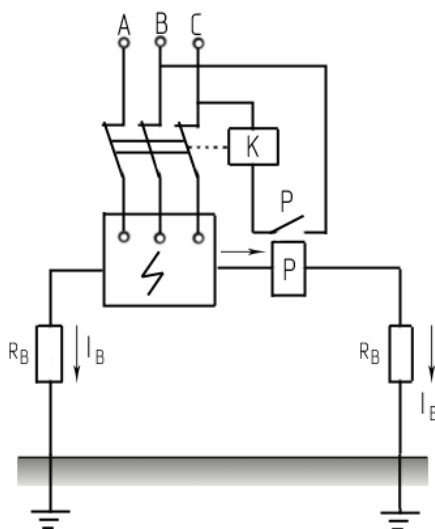


Рисунок 4.3 - Проста схема пристрою захисного відключення

Основними елементами будь-якого пристрою захисного відключення є датчик, перетворювач і виконавчий орган.

Основними параметрами, по яких підбирається те або інші ПЗВ є: номінальний струм навантаження, тобто робочий струм електроустановки, який

протікає через нормально замкнуті контакти ПЗВ в черговому режимі; номінальна напруга; встановлене значення напруги; час спрацьовування пристрою [18].

#### 4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Виробництво напівпровідникових приладів, згідно ДБН В.1.1–7–2002, відноситься до категорії Б, оскільки це виробництво зв'язане із застосуванням речовин спирту і ацетону з температурою спалаху пари від 28 до 60°C горючих газів. Для зниження пожежної небезпеки використовують обмежену кількість матеріалів які обертаються в процесі, зберігаються, здатні горіти.

Характерними причинами виникнення пожеж в лабораторії є необережне поводження з вогнем, порушення технологічних процесів, неправильні електропроводки і устаткування, неправильне користування електричними приладами і ін. Для лабораторії встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Основні будівельні конструкції будівлі, в якій знаходиться ділянка, виконані з тих, що не згорають і важко згорають матеріалів, що цегельних і виштукатурюють. Отже, вогнестійкість будівлі має 2 рівень. Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно ДБН В.1.1–7–2002, в лабораторії є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях приміщення ділянки. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі.

Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість пересування людей при евакуації – 16 м/мін [18].

Згідно правилами влаштування електроустановок ПВЕ, будівля, в якій знаходиться ділянка по заходах захисту від блискавок, відноситься до категорії 3 і захищається від прямих ударів блискавок, і від замету високих потенціалів через землю, тобто підземні металеві комунікації приєднуються при введенні в об'єкт, що захищається, до заземлювачів електроустаткування. Отже, грозозахист заснований на стержневих громовідводах.

Для попередження пожеж на ділянці необхідно створити строгий протипожежний режим. Створюється загально об'єктова і лабораторна інструкція по ПБ, проводиться первинний протипожежний інструктаж на робочому місці; створюється план протипожежних заходів і евакуації людей на випадок пожежі.

Як вогнегасні речовини можна застосовувати воду, вуглекислоту, хімічну і повітряно-механічну піну. Для гасіння вогнищ усередині будівлі на майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлюють пожежні крани, які розміщені в шафах, де знаходиться і рукав з протипожежним стволом. Для гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислий вогнегасник ОУ-2, в кількості двох вогнегасників на приміщення. Існують пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники лабораторії № 216 організовано без паніки покидають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідує або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Добролюбова, або управо для виходу на вулицю 40 років Радянської України (рис. 4.4).

#### 4.6 Розрахунок захисного заземлення

Заземленню підлягають вимірювальні установки, напруга живлення яких 220 В. У якості заземлювача візьмемо сталеві вертикальні стержні довжиною  $l = 2,5$  м, діаметром  $d = 0,04$  м, діаметр сполучної смуги  $b = 0,04$  м. Контур заземлення розташовано на горизонтальному майданчику біля корпусу академії. Грунт – суглинок.

Допустимий опір заземлюючого пристрою ( $R_n$ ) дорівнює 4 Ом [17]. Визначимо питомий електричний опір ґрунту (суглинка),  $\rho$  якого дорівнює 100 Ом·м [18].

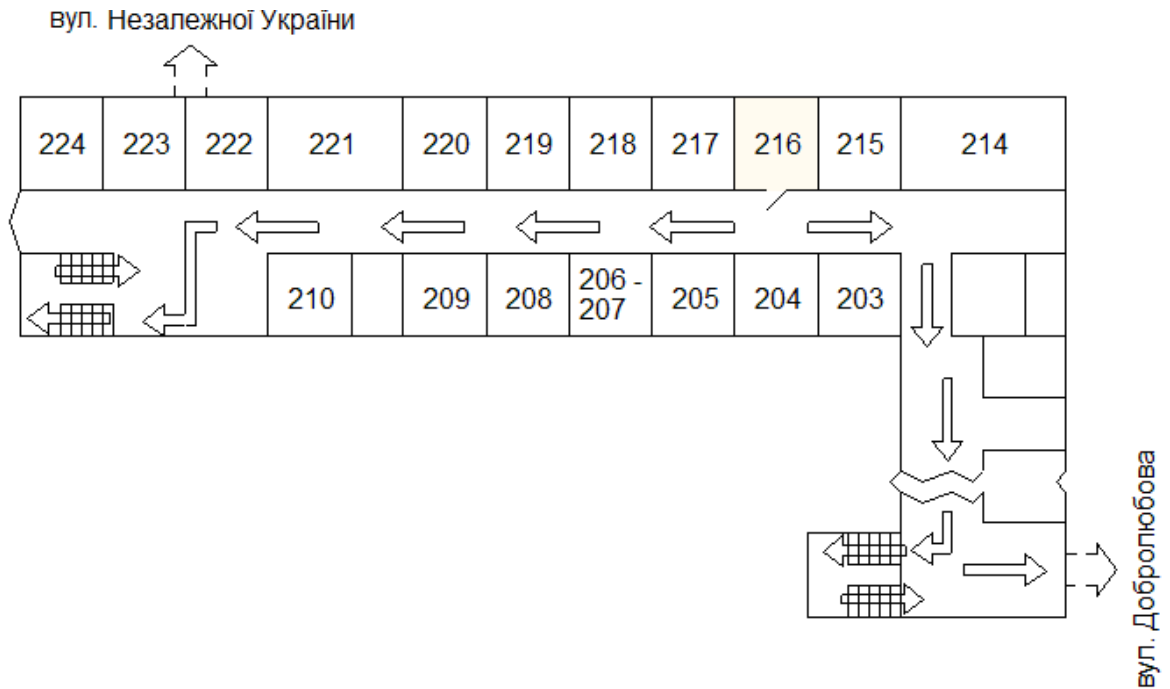


Рисунок 4.4 – План евакуації при пожежі із аудиторії № 216

Розрахуємо опір розтікання струму одного вертикального стержня:

$$R_e = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{4 \cdot 2,5}{0,04} = 35,1 \text{ Ом}$$

Прийmemo число заземлювачів:

$$n = \frac{R_l}{R_n} = \frac{35,1}{4} = 8,775 \approx 9$$

Визначимо довжину горизонтальної смуги (по контуру):

$$l_2 = a \cdot n,$$

де  $a$  – відстань між вертикальними електродами ( $a = 2$  м)

$$l_2 = 2 \cdot 9 = 18 \text{ м}$$

Опір горизонтальної смуги:

$$R_{2c} = \frac{\rho}{\pi \cdot l_2} \cdot \frac{4 \cdot l_2}{b} = \frac{100}{3,14 \cdot 18} \cdot \ln \frac{4 \cdot 18}{0,04} = 13,2 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт екранування для вертикального заземлювача [17]:

$$\eta_e = \frac{0,68 + 0,56}{2} = 0,62$$

і для горизонтальної смуги

$$\eta_z = \frac{0,34 + 0,4}{2} = 0,37$$

Опір групи вертикальних заземлювачів:

$$R_{zp} = \frac{R_{63}}{n \cdot \eta_z} = \frac{35,1}{9 \cdot 0,62} = 6,3 \text{ Ом}$$

Опір горизонтальної смуги з врахуванням екранування:

$$R_z = \frac{R_{zo}}{\eta_z} = \frac{13,2}{0,37} = 35,6 \text{ Ом}$$

Опір заземлювача в цілому:

$$R_3 = \frac{R_{zp} \cdot R_z}{R_{zp} + R_z} = \frac{6,3 \cdot 35,6}{6,3 + 35,6} = 5,3 \text{ Ом}$$

Як видно, опір заземлювача перевищує нормативний (4 Ом), тому збільшимо кількість заземлювачів:

$$n = 10,$$

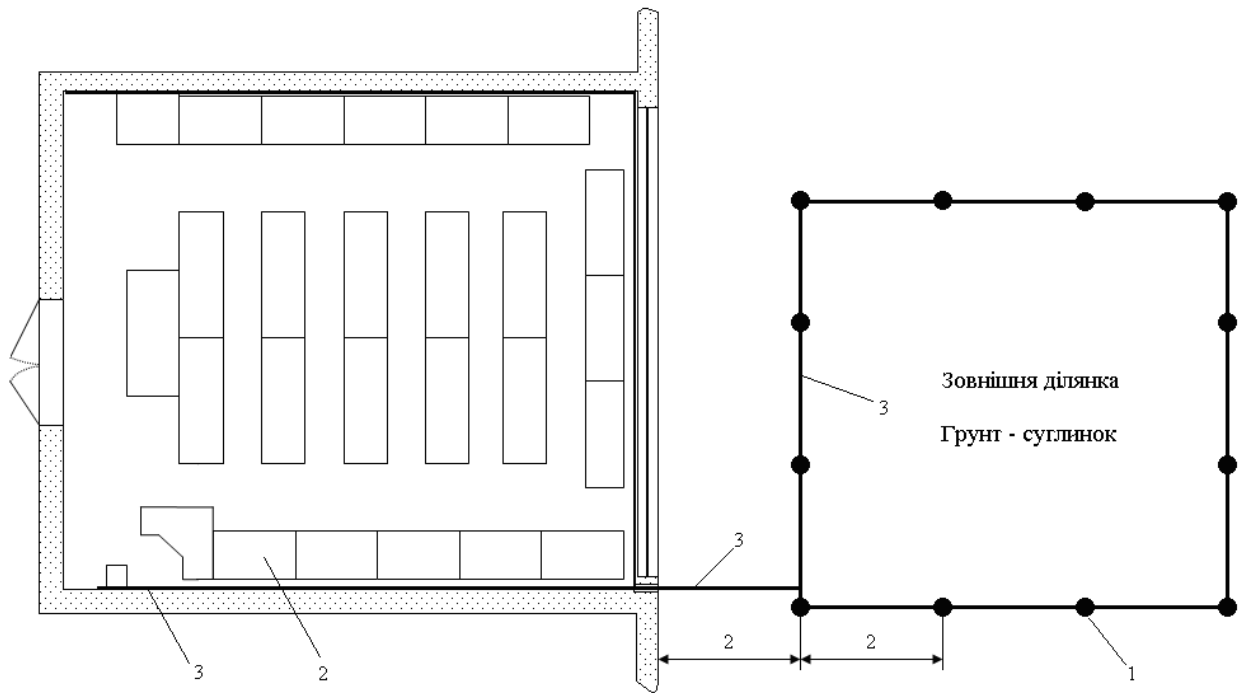
тоді опір заземлювача в цілому складе  $R_3 = 4,6 \text{ Ом}$ , що теж більше  $R_H$ .

Якщо  $n = 11$ , то  $R_3 = 4,2 > R_H$ .

Якщо  $n = 12$ , то  $R_3 = 3,99 < R_H$ .

Число заземлювачів дорівнює 12, які розміщені по контуру зовнішньої ділянки, як показано на рисунку 4.5.

Таким чином, для виконання захисного заземлення використовується 12 вертикальних стержнів діаметром 0,04 м, завдовжки 2,5 м, кожен з яких має опір 31,5 Ом. Опір сполучної смуги 13,2 Ом. Опір заземлювачів в цілому складе 3,99 Ом, що забезпечує безпечну роботу на установках лабораторії.



1 – заземлювачі

2 – електроустаткування що заземлюється

3 – сполучна смуга

Рисунок 4.5 – Розміщення заземлюючих електродів на зовнішній ділянці та сполучної смуги лабораторії проведення експерименту

## Висновки та рекомендації

1. Вживання диференціального методу виміру в блоці обробці фотометричної інформації дає можливість понизити погрішність вимірів і спростити калібрування приладу. Це також дає можливість скоротити час проведення вимірів.

2. Мікропроцесорна схема обробки сигналів, які поступають з блоку формувачів, забезпечує виміри і розрахунки параметрів об'єкту дослідження, що дає можливість виконувати статистичну обробку накопиченої інформації і спостерігати за динамікою процесу захворювання і лікування.

3. Блок індикації перетворює цифровий сигнал, який містить інформацію про той або інший параметр у візуальну інформацію, яка відображається на РКІ.

Рекомендується результати розрахунків мікроконтролерного пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації використовувати для подальшої модернізації схеми з метою її удосконалення.

## Перелік посилань

1. Галкін О.Ю. Медичні біотехнології. Наглядна медична біотехнологія: атлас для студ. напряму підготов. 6.0514 "Біотехнологія". Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 36 с.
2. Булах І.Є., Лях Ю.Є., Марценюк В.П., Хаїмзон І.І Медична інформатика: Підручник для мед. ВНЗ III-IV р. акред. Київ : Рекомендовано МОЗ, 2012. 424 с.
3. Кравченко І.А. Біотехнологія в фармації та медицині. Навч. посібн. Одеса : Астропринт, 1999. 84 с.
4. Лисенко О.В. Розв'язування задач із фізики: електрика та магнетизм: навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2017. 287 с.
5. Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Тарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 189 с.
6. Кравченко О.П. Фізичні основи функціональної мікроелектроніки: Навч. посібник. Київ : Либідь, 1993. 216 .
7. Гершунський Б.С. Основи електроніки та мікроелектроніки. Підручник. Київ : Вища шк., 1989. 423 с.
8. Кожем'яко В.П., Лисенко Г.Л., Суприган В.А. Схемотехніка побудови оптоелектронних інтегральних схем обробки інформації. Навчальний посібник. Вінниця : ВДТУ, 2003. 104 с.
9. Воробйова О.М., Панфілов І.П., Савицька М.П., Флейта Ю.В. Електроніка та мікросхемотехніка: підручник. Одеса : ОНАЗ, 2015. 298 с.
10. Корчак Ю., Фургала Ю., Рихлюк С. Оптоелектронна інформатика. Том 1. Основні принципи та прилади: навчальний посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. 312 с.



11. Czerwinski R. Finite State Machine Logic Synthesis for Complex Programmable Logic Devices R. Czerwinski, D. Kania. Berlin : Springer, 2013. 172 p.
12. Grzes T.N., Solov'ev V.V. Minimization of power consumption of finitestate machines by splitting their internal states : Journal of Computer and Systems Sciences International, 2015. 367 p.
13. Борисенко О. А. Цифрова схемотехніка : підручник. Суми : Сумський державний університет, 2016. – 200 с. ISBN 978-966-657-642-5
14. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є .М., Хрипко С. Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6
15. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень / Белуха М.Т. - Київ : Вища шк., 1997. - 271с.
16. Кожемякін Г.Б. Рижков В.Г., Белоконь К.В.. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.
17. Ткачук К.Н. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности / Ткачук К.Н. – Київ : Вища шк., 1988. - 240 с.
18. Горобец А.И. Охрана труда в радиоэлектронной промышленности / А.И. Горобец, А.И. Степаненко. – Київ : Техника, 1987. – 345 с.

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні  
Запорізька міська рада  
Запорізька обласна державна адміністрація  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Національний університет «Києво-Могилянська Академія»  
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Київський національний університет будівництва і архітектури  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
Національний транспортний університет

**III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців**

**«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

**17-20 жовтня 2023 року**



Запоріжжя, 2023

УДК 621.311

Сушко Антон, магістрант 2 курсу  
 Науковий керівник – доцент, кандидат технічних наук Верьовкін Л.Л.

## МІКРОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ФОТОМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

*Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні  
 Запорізького національного університету,  
 кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*

Прилади фотометричного аналізу діагностичної інформації повинні робити мінімальний вплив на досліджуваний процес і володіти високою чутливістю до вимірюваного параметра.

Фотоколориметр - оптичний прилад, який показує концентрацію речовини в розчині по інтенсивності забарвлення. Світлові потоки вимірюють фотоелементами, що дозволяє досягти вищої чутливості, точності і об'єктивності визначень, чим при користуванні візуальними колориметрами. Виміри значно прискорюються. Візуальні і фотоелектричні колориметри дозволяють визначати концентрацію речовин в межах від  $10^{-3}$  до  $10^{-8}$  моль/л.

Проведено моделювання пристрою аналізу діагностичної інформації, який включає, в себе наступні основні вузли: вузол управління світлодіодним випромінювачем, вузол світлодіодних випромінювачів, диференціальний блок обробки фотометричної інформації, мікропроцесорний блок обробки інформації з вбудованим АЦП, блок індикації, блок зв'язку з комп'ютером, блок живлення (рис. 1).

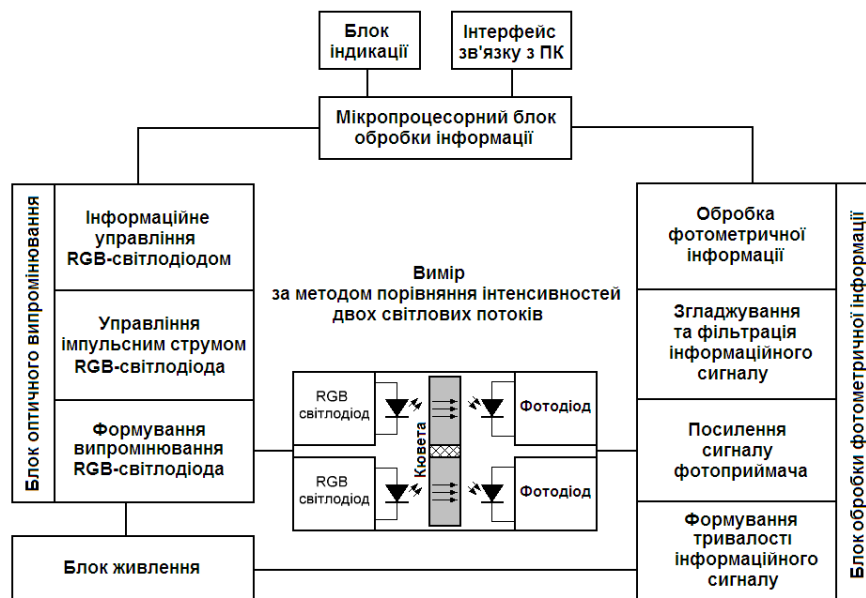


Рисунок 1 - Структурна схема пристрою для фотометричного аналізу діагностичної інформації

Вживання диференціального методу виміру в блоці обробці фотометричної інформації дає можливість понизити погрішність вимірів і спростити калібрування приладу. Це також дає можливість скоротити час проведення вимірів.

Максимально скорочено оптичну конструкцію вузла прийому фотометричної інформації, використанням фотоприймача з широким частотним діапазоном сигналу, який приймається.

Використання в оптичному тракті подвійної нерухомої кювети з малим оптичним шляхом дало можливість роботи з оптичним джерелом малої потужності.

Мікропроцесорна схема обробки сигналів, які поступають з блоку формувачів, забезпечує виміри і розрахунки параметрів об'єкту дослідження, що дає можливість виконувати статистичну обробку накопиченої інформації і спостерігати за динамікою процесу захворювання і лікування.

Блок індикації перетворює цифровий сигнал, який містить інформацію про той або інший параметр у візуальну інформацію, яка відображається на РКІ.

Низька живляча напруга і споживана потужність приладу дає можливість експлуатувати прилад, як в стаціонарних, так і в польових умовах.

### **Список використаних джерел**

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М, Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: Підручник. – Запоріжжя: ЗДІА, 2016. – 214 с.