МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший бакалаврський
(рівень вищої освіти)

на тему *Розробка реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання*

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1531
спеціальності *G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка»*
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Мікро- та наносистемна техніка
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

К.В. Мудрей
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.ф.-м.н., Світанько М.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, професор, д.т.н., Коваленко В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Факультет _____
Кафедра __*електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*
Рівень вищої освіти _*перший бакалаврський*_____
Спеціальність *G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка»* (код і назва)

Освітня програма __*Мікро- та наносистемна техніка* _____
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ЕІСПЗ*
Критська Т.В.
"___30_" травня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Мудрею Кирилу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) ___ *Розробка енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання*
_____
керівник роботи *Світанько Микола Вікторович, к.ф.-м.н., доцент*,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "*27" грудня 2024 року № 2029-с*

2 Строк подання студентом роботи ___*30 травня 2025 року*

3 Вихідні дані до роботи _*200 – 400 нм, 1Гц – 100 кГц, З – 10 мДж, 220 В, З-32В,*_____

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)*1. Вимірювачі енергетичних харктеристик ультрафіолетового (УФ) випромінювання 2. Розробка є реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання 3. Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання*

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)*1. Вимірювачі енергетичних харктеристик ультрафіолетового (УФ)*

випромінювання 2. Схема електрична принципова попереднього підсилювача 3. Моделювання схеми попереднього підсилювача

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	*Світанько М.В., доцент*	*28.12.2024*	*28.12.2024*
II	*Світанько М.В., доцент*	*28.12.2024*	*28.12.2024*
III	*Світанько М.В., доцент*	*28.12.2024*	*28.12.2024*

7 Дата видачі завдання *28 грудня 2024 року*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Літературний огляд*	*29.03.2025*	
2	*Розрахункова частина*	*26.04.2025*	
3	*Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки*	*30.05.2025*	
4	*Розробка графічної частини роботи*	*30.05.2025*	
5	*Оформлення пояснювальної записки*	*30.05.2025*	
6	*Нормоконтроль*	*30.05.2025*	
7	*Попередній захист роботи*	*30.05.2025*	

Студент _____ *Мудрей К.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Світанько М.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л.Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 69 сторінок, 21 рисунок, 7 таблиць, 41 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – реєстратори енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання.

Мета роботи – Розробка реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання.

Завдання роботи – розробити структурну схему реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання; розробити електричні схеми основних апаратурних блоків пристрою; провести моделювання роботи електричних схем пристрою.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено структурну схему пристрою, досліджено можливий варіант створення більш ефективної системи випромінювач – реєстрація на основі SiPM фотодетекторів.

Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – система може бути використана в подальших розробках мікроелектронних оптичних і біологічних інформаційних систем.

УЛЬТРАФІОЛЕТОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, СПЕКТРОФОТОМЕТР, ПІРОЕЛЕКТРИЧНИЙ ДАТЧИК, ФОТОДІОД, МІКРОКОНТРОЛЕР.

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 28.12.2024 р. по 30.05.2025 р.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ ……. 6

1. Вимірювачі енергетичних характеристик ультрафіолетового (УФ) випромінювання…… 7

1.1 Стан проблеми реєстрації УФ випромінювання …… 7

1.2 Реєстратори УФ випромінювання із напівпровідниковими датчиками 11

1.3 Пірометричні реєстратори УФ випромінювання ……...…….. 18

2. Розробка реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання ……..... 22

2.1 Структурна схема реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання…… 22

2.2 Джерело УФ випромінювання ……..…….. 23

2.3 Спектральний комплекс вимірювання енергії УФ випромінювання… 24

2.4 Блок вимірювання потужності випромінювання ……..…….. 28

2.5 Удосконалення системи реєстрації сигналів УФ випромінювання …. 35

2.5.1 Реєстрація оптичного сигналу SiPM фотопомножувачем …… 35

2.5.2 Керування роботою SiPM фотодетекторами ..…… 37

2.6 Моделювання роботи функціональних блоків системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури……. 40

3. Охорона праці та техногенна безпека при виготовленні схем реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання…… 44

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів…… 44

3.2 Заходи з поліпшення умов праці…… 46

3.3 Виробнича санітарія……... 46

3.4 Електробезпека……... 47

3.5 Пожежна та техногенна безпека об’єкту …….. 48

3.6 Розрахунок освітлення робочого місця…… 50
Висновки та рекомендації……... 53
Перелік посилань……..…… 55

Вступ

Дослідження потужності ультрафіолетового випромінювання (УФ) є актуальною задачею оскільки ультрафіолетове випромінювання використовується для знезараження води, для створення атмосфери з високим ступенем стерильності при експлуатації в цехах по виготовленню мікросхем, в системах навігації ракет для знищення літаків, тощо [1–4]. Особливо важливо в наш час вимірювати УФ випромінювання в озоновому шарі. При контролі забруднення повітря та води також проводяться виміри УФ. Датчики УФ знаходять нові галузі застосування, до яких відноситься оптична комунікація на УФ випромінюванні, вивчення Сонця та атмосфери в світовому діапазоні 300 – 400 нм, вивчення атмосфери планет, а також у інших астрономічних дослідженнях.

В якості датчиків УФ найчастіше використовують фотодіоди на основі широкозонних напівпровідникових матеріалів та кремнію [3–11]. Останнім часом значна кількість публікацій присвячена датчикам УФ на основі оксиду цинку [5]. Аналіз літературних джерел, де описуються результати розробок дозиметрів УФ на основі фотодіодів, показує, що існує загальний підхід до конструювання таких дозиметрів, але автори не наводять схемні рішення, номінали електронних компонент, які будуть змінюватися при використанні різних фотодіодів.

Тому, актуальним є питання розробки пристроїв реєстрації енергетичних характеристик УФ випромінювання.

1. Вимірювачі енергетичних характеристик ультрафіолетового (УФ) випромінювання

1.1 Стан проблеми реєстрації УФ випромінювання

Загальний аналіз існуючих вимірювачів УФ випромінювання наведено в роботах [1, 2], [10–12]. У роботі [12] відзначено, що практично всі пристрої для вимірювання УФ-випромінювання виконують функції радіометра та дозиметра, оскільки величина експозиційної дози розраховується через величину енергетичної освітленості. Загальним недоліком всіх існуючих приладів є вузький діапазон вимірів дози та високі значення основної відносної похибки вимірів [12]. Існують різні підходи при конструюванні вимірювачів УФ. Один з підходів базується на застосуванні поверхневих акустичних хвиль, а саме розроблено пасивний бездротовий датчик УФ випромінювання на поверхневих акустичних хвилях. Принцип дії таких датчиків заснований на зміні загасання і швидкості поверхневих акустичних хвиль від інтенсивності УФ випромінювання завдяки поглинанню УФ напівпровідником, котрий розміщено на п’єзоелектричній підкладинці. Різні модифікації таких дозиметрів описано в роботах [13–20]. Існують дозиметри УФ на основі оптичних волокон [18], з застосуванням фотохромних та люмінісцентних матеріалів [19]. Ми вважаємо, що одним із простих та зручних варіантів є виготовлення вимірювача потужності УФ на базі напівпровідникового фотодіода.

У роботі [21] була представлена розробка пристрою для вимірювання УФ, базується на використанні сенсора на основі CdS, чутливого до УФ області спектру [5–9], розробленого в інституті фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ (м. Київ, Україна). Пошарова структура фотодіода (сенсора) представлена на рисунку 1.1 Фоточутлива до УФ

гетероструктура p-Cu1.8S/n-CdS була нанесена вакуумним методом термічного випаровування на ситалову підкладинку металізовану молібденом.

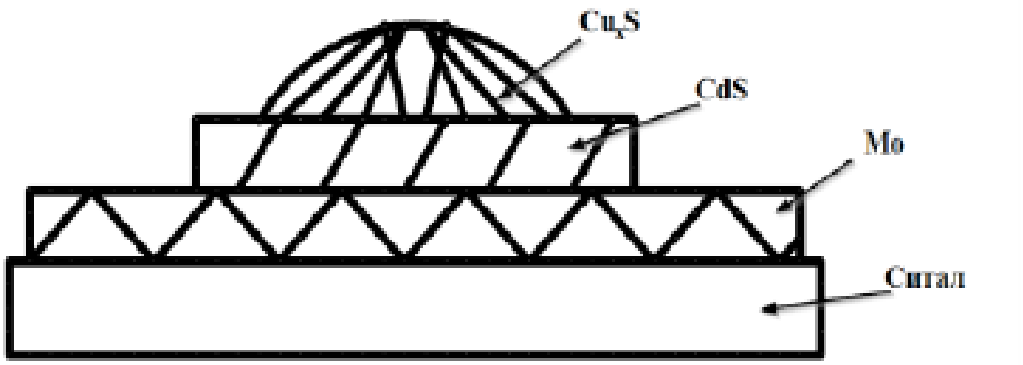


Рисунок 1.1 - Пошарова структура сенсора на основі p-$Cu_{1.8}$S/n-CdS

У попередніх дослідженнях [5-9] була показана доцільність використання для сенсорів короткохвильового випромінювання на основі A_2B_6 нового типу поверхнево-бар'єрних структур з прозорою складовою нанометрової товщини виродженого напівпровідника Cu1.8S p-типу провідності. Тонка плівка сульфіду міді не тільки збільшує пропускання світла у фоточутливу складову сенсора – шар CdS, а саме при товщині 30 – 40 нм спостерігається ефективний вклад гарячих електронів, які емітують з $Cu_{1.8}$S в CdS. На такій товщині всі генеровані світлом з довжиною хвилі 200-350 нм електрони у шарі напівпровідника Cu1.8S зберігають надлишкову енергію, необхідну для подолання рекомбінаційного бар'єру на межі поділу гетероконтакту. Внесок таких носіїв у загальний струм в названій області спектру складає майже 50 %. До речі, цим пояснюється той факт, що на довжині хвилі λ~250 нм чутливість у сенсорів Cu1.8S/CdS у два рази вища, ніж діодів Шоткі на основі GaP. Детальна інформація стосовно технології та характеристик розроблених сенсорів представлена в роботах [5–9]. Таким чином, розроблені сенсори мають наступні переваги:

1. Швидке перемикання, оскільки застосування виродженого напівпровідника дозволяє характеризувати сенсор як діод Шоткі.

2. Тонкоплівкове виконання фотодіодів спрощує реалізацію планарної матеріало- і енергозберігаючої технології виготовлення приладів, що дозволяє суттєво знизити собівартість виробництва.

3. За допомогою розробленої технології проблема створення сенсорів великої площі вирішується простіше.

При застосуванні фотодіода в конструкції вимірювача, УФ випромінювання попадає на фотодіод, вихідний струм якого змінюється. Величина вихідного струму залежить від потужності УФ випромінювання та знаходиться в межах 0.0001-0.2 мА, тому після фотодіода необхідно ставити підсилювач. Для розробки схеми підсилювача в якості аналога в роботі [21] авторами було проаналізовано схему підсилювача UV Sensor V2 на основі GUVA-S12SD (Рис. 1.2) [22].

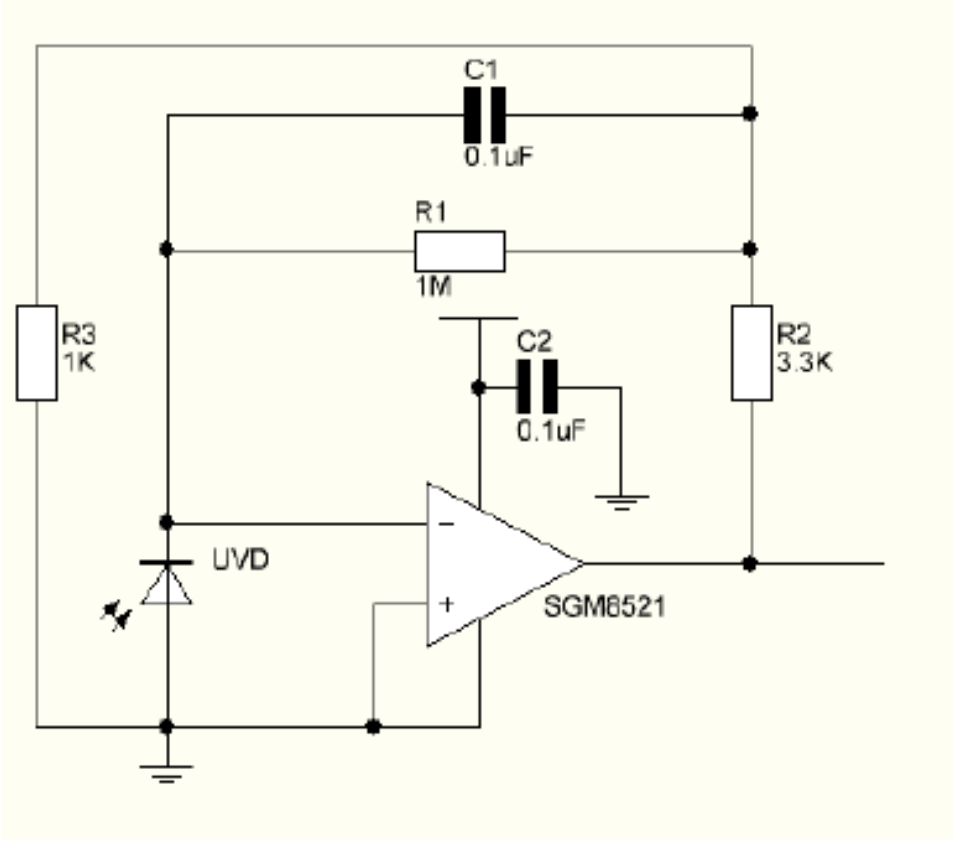


Рисунок 1.2 -Схема підсилювача на основі GUVA-S12SD

Перевагою схеми з фотоприймачем GUVA-S12SD та операційним підсилювачем SGM8521 (Рис. 1.2) є однополюсне живлення, а недоліком є

постійний коефіцієнт підсилення, що обмежує динамічний діапазон виміру напруг, оскільки інтенсивність УФ випромінювання може змінюватись на кілька порядків для покращення роботи підсилювача у порівнянні з аналогом, авторами роботи [21] була розроблена схема (Рис. 1.3), яка має наступні переваги: однополюсне живлення; змінний коефіцієнт підсилення.

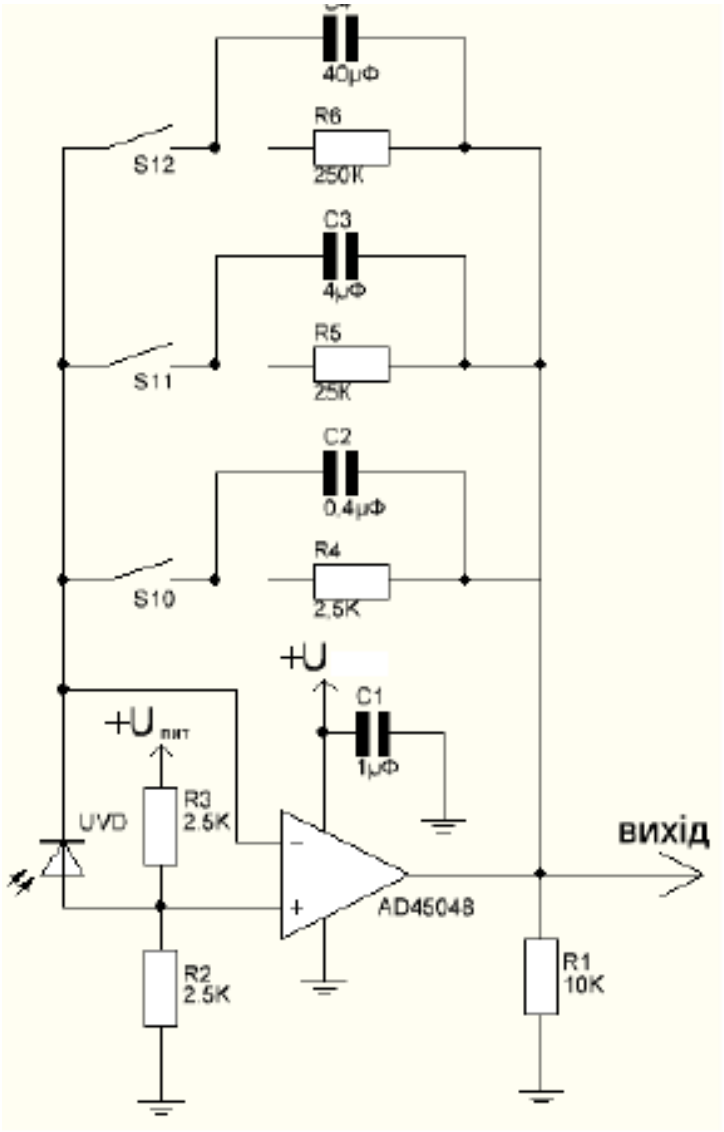


Рисунок 1.3 - Розроблена в роботі [21] схема підсилювача

Для отримання вимірювань потужності ультрафіолету зі схеми знімається напруга, оскільки було використано фотодіод (на схемі позначений як UVD), який має струмовий вихід. Тому необхідно використати підсилювач на основі перетворювача «струм-напруга».

1.2 Реєстратори УФ випромінювання із напівпровідниковими датчиками

На сьогоднішній час в Україні поширені реєстратори УФ випромінювання із датчиками, виготовленими із напівпровідникових структур [23,24].

TENMARS TM-218 – портативний прилад для вимірювання потужності випромінювання металогалогенних або флуоресцентних ламп, а також сонячного світла в області спектра ультрафіолету UVC.

Пристрій має ергономічний дизайн і міцний корпус для роботи в польових умовах. Невеликі габарити вимірювача забезпечують його мобільність. TENMARS TM-218 має широкий діапазон: 0 ~ 9999 мВт/см^2, 10.00 ~ 40.00 мВт/см^2, чотиризначний РК-дисплей із підсвічуванням для зручного зчитування показань за будь-якої освітленості, вбудовану пам'ять для автоматичного/ручного зберігання 200 вимірювань, індикацію низького заряду батареї та звукову сигналізацію.

Вбудовані функції автоматичного перемикання діапазонів вимірювання, утримання даних на дисплеї, відображення максимального, мінімального та середнього значення вимірювання, одночасне відображення інтенсивності ультрафіолетового випромінювання і температури та автоматичне вимкнення живлення пристрою для економії заряду батареї значно полегшує роботу з пристроєм.

Вимірювач інтенсивності ультрафіолетового випромінювання (UVC) TENMARS TM-218 використовують для вимірювання, санітарного та технічного контролю джерел ультрафіолетового випромінювання та для контроля стану навколишнього середовища щодо ультрафіолетового випромінювання (пляж, вулиця, відкрита місцевість, солярії), для лабораторно-дослідних потреб тощо [23,24].

.

Особливості й переваги вимірювача інтенсивності ультрафіолетового випромінювання (UVC) TENMARS TM-218[23,24].

- Портативний прилад для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання в області UVC, а також сонячного світла.
- Час дискретизації – кожні 2 секунди.
- Ергономічний дизайн і міцний корпус пристрою забезпечують надійну роботу в польових умовах.
- Невеликі габарити вимірювача забезпечують його мобільність.
- Широкий діапазон УФ-інтенсивності: 0 ~ 9999 мВт/см^2, 10.00 ~ 40.00 мВт/см^2
- Чотиризначний РК-дисплей із підсвічуванням для зручного зчитування показань за будь-якої освітленості.
- Вбудована пам'ять для автоматичного/ручного зберігання 200 вимірювань.
- Індикація низького заряду батареї.
- Автоматичне перемикання діапазонів вимірювання.
- Утримання даних на дисплеї.
- Відображення максимального, мінімального та середнього значення вимірювання.
- Одночасне відображення інтенсивності ультрафіолетового випромінювання і температури.
- Автоматичне вимкнення живлення пристрою для економії заряду батареї.

Вимірювач застосовують для вимірювання, санітарного та технічного контролю джерел ультрафіолетового випромінювання та для контроля стану навколишнього середовища щодо ультрафіолетового випромінювання (пляж, вулиця, відкрита місцевість, солярії), для лабораторно-дослідних потреб тощо. У таблиці 1.1 представлені основні технічні характеристики

TENMARS TM-218. Загальний вигляд реєстратора представлений на рисунку 1.4[23,24].

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики вимірювача інтенсивності ультрафіолетового випромінювання (UVC) TENMARS TM-218

Вимірювання ультрафіолетового випромінювання	
Діапазон вимірювання спектру	220 нм ~ 280 нм
Точка калібрування	254 нм
Діапазон вимірювання опромінення	1 мкВт/см² ~ 40.00 мВт/см²
Точність вимірювання опромінення	± 4 %+1 цифра
Роздільна здатність при вимірюванні опромінення	1 мкВт/см², 0.01 мВт/см²
Вимірювання температури	
Діапазон вимірювання	0 °C ~ 70.0 °C (32.0 °F ~ 158.0 °F)
Точність вимірювання	± 1.0 °C (± 2.0 °F)
Роздільна здатність при вимірюванні температури	0.1 °C/0.1 °F
Загальні характеристики	
Час дискретизації	кожні 2 секунди
Датчик	39,5 Ø x 30,5 (висота) мм
Довжина лінії світлоприймача	приблизно 100 см
Розміри пристрою	132 x 60 x 38 мм
Вага пристрою	приблизно 320 грам



Риунок 1.4 - Вимірювач інтенсивності ультрафіолетового випромінювання (UVC) TENMARS TM-218

Вимірювач DELTA OHM HD2302.0 [23,24].

DELTA OHM LP471UVC – радіометричний датчик для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання в спектральному діапазоні 220…280 нм (рисунок 1.5)



Рисунок 1.5 - Радіометричний датчик для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання DELTA OHM LP471UVC

Характеристики датчика інтенсивності ультрафіолетового випромінювання DELTA OHM LP471UVC [23,24]:

- Модуль SICRAM входить до комплекту поставки.
- Діапазон вимірювання: 0.1 мВт/м^2 ~ 2000 Вт/м^2.
- Спектральний діапазон: 220 ~ 280 нм.
- Пік при 260 нм.
- Діаметр датчика: 30 мм.
- Довжина датчика: 38 мм.
- Довжина кабелю: 2 м.
- Кварцовий фільтр для косинусної корекції.
- Датчик сумісний лише з портативними приладами DELTA OHM.

УФ-радіометр LS125

УФ-радіометр LS125 — це багатофункціональний вимірювач ультрафіолетового випромінювання, який може бути оснащений 9 різними типами датчиків (детекторів) в залежності від задачі і галузі застосування. Його основна функція – відображення даних .

Датчик UVC-X0 є одним із 9 детекторів для оснащення УФ-радіометра LS125. Діапазон хвиль спектральної чутливості датчика становить 230-280 нм. Це цифровий датчик, який професійно визначає інтенсивність та енергію на піку 254 нм високопотужних ультрафіолетових бактерицидних ламп.

Прилад призначений для вимірювання енергетичної освітленості (інтенсивності), створюваної ртутними бактерицидними лампами з робочою довжиною хвилі 254 нм та для оцінки розподілу УФ-випромінювання по приміщенню в робочих кліматичних умовах.

Ультрафіолетова дезінфекція та стерилізація широко використовуються в лікарнях, центрах контролю захворювань, фармацевтичних фабриках, харчових фабриках, школах, дитячих садках, кінотеатрах, автобусах, офісах, будинках тощо. Для контролю стану і ефективності ультрафіолетової

дезінфекції та стерилізації, а також інтенсивності УФ випромінювання, необхідно використовувати УФ-радіометр LS125 з датчиком UVC-X0.

ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ [23,24]І:

1. Великий діапазон вимірювань, максимальна потужність може бути виміряна до 200 000 мкВт/см².
2. Прилад може одночасно вимірювати енергію і потужність потоку УФ випромінювання.
3. Завдяки використанню новаторської технології цифрового датчика, збір і обробка всіх даних здійснюється всередині датчика, що запобігає перешкодам при передачі даних вимірювань на сам прилад і забезпечує більш стабільні і достовірні результати вимірювань.
4. УФ-радіометр LS125 з датчиком UVC-X0 забезпечує одночасний вивід на дисплей значення потужності в реальному часі, максимальне значення, мінімальне значення, середнє значення, час вимірювання та значення енергії.
5. Можливість перемикання одиниць вимірювання, а саме мкВт/см², мВт/см², Вт/м². Перетворення даних між різними одиницями не потребує ручного розрахунку.

У таблиці 1.2 представлені основні технічні характеристики радіометра LS125. Загальний вигляд радіометра LS125 представлений на рисунку 1.6 [23,24].

Таблиця 1.2 - Основні технічні характеристики радіометра LS125

1	Максимум спектральної чутливості детектора (робоча довжина хвилі) Діапазон спектральної чутливості детектора Апертура (діаметр) вхідного окна детектора	254 ±2 нм 230 – 280 нм 10 мм
2	Діапазон вимірювання енергетичної освітленості Розподільча здатність Діапазон вимірювання щільності енергії Точність вимірювань	0,1 мкВт/см^2 – 200000 мкВт/см^2 0,01 мкВт/см^2 0-9999999 мкДж/см^2 менше ніж ± 10%
3	Індикація результатів вимірювання Дисплей	Цифрова 240x160 матричний LCD
4	Споживча потужність приладу	не більше ніж 0,5 Вт
5	Час встановлення показів Час вимірювання Швидкість зчитування результатів вимірювань	1 секунда 0-99999 секунд 1/6 секунди
6	Час безперервної роботи Живлення	6 годин 1,5В батарейки (4 штуки)
7	Габаритні розміри: Блока відображення інформації Головки радіометричної (датчика)	26мм x 76мм x 148мм діаметр – 39 мм, висота – 15 мм
8	Маса приладу	194 г
9	Клас захисту	M1, E1 згідно ДСТУ OIML D11



Рисунок 1.6 – Радіометр LS125[23,24]

1.3 Пірометричні реєстратори УФ випромінювання

Інститутом Фізики НАНУ був розроблений інший тип пристрою реєстрації енергетичних характеристик УФ випромінювання, де у конструкції вимірювального елемента використовувались піроелектричні перетворювачі на основі кремнієвих структур [25].

Ватметр піроелектричний ВП-1 призначений для вимірювання середньої потужності безпосереднього когерентного і некогерентного електромагнітного випромінювання в спектральному діапазоні 0,25 – 14 мкм.

У таблиці 1.3 представлені основні технічні характеристики ватметра ВП-1. Загальний вигляд ватметра ВП1 представлений на рисунку 1.7 [25].

Таблиця 1.3 Технічні характеристики ватметра ВП-1

Матеріал сенсора	піроелектрик
Діапазон вимірювання потужності	2 – 2000 мВт
Час між двома вимірюваннями	0,5 с
Похибка вимірювання	7 %
Маса	0,7 кг

Переваги:

- висока чутливість і точність вимірювання у всьому діапазоні температур;
- можливість використання в стаціонарному і переносному режимах;
- незалежність результатів вимірювання від стану навколишнього середовища (забруднення газами, водяною парою, пилом та ін.);
- висока точність вимірювання температури для рухомих і/або вібруючих об’єктів;
- відсутність впливу магнітних полів;
- незалежність точності вимірювання від забруднення поверхні об’єкта (часткове забруднення окислами, шлаками і т.д.).

Застосування:

- метрологічна атестація та контроль потужності лазерних джерел випромінювання в промисловості та медицині.



Рисунок 1.7 - Ватметр ВП1

Отже, як зазначалось вище, існує загальний підхід до конструювання вимірювачів УФ випромінювання, але автори не наводять схемні рішення, номінали електронних компонент, які будуть змінюватися при використанні різних фотодіодів.

Тому, метою роботи є розробка реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

1) провести аналіз існуючих методів реєстрації ультрафіолетового діапазону випромінювання;

2) розробити структурну схему реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання;

3) розробити електричні схеми основних апаратурних блоків пристрою;

4) провести моделювання роботи електричних схем пристрою за допомогою сучасних САПР;

5) розробити заходи за умовами дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

2. Розробка реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання

2.1 Структурна схема реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання

На рисунку 2.1 представлена структура схема реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання.

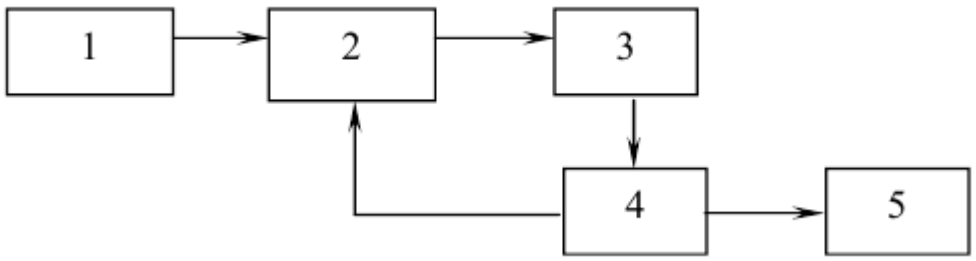


Рисунок 2.1 - Структура схема реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання: 1 – джерело УФ випромінювання, 2 – спектральний комплекс реєстратора, 3 – блок вимірювання потужності випромінювання, 4 - блок підсилення та обробки сигналу реєстрації, 5 блок візуалізації отриманого результату (індикатор або персональний комп’ютер (ПК)).

Особливістю структурної схеми є те, що за її допомогою можна проводити калібрування потужності джерела випромінювання та безпосередньої реєстрації одночасно. Це досягається за рахунок того, що система має спектральний комплекс, який пов’язаний із блоком підсилення та обробки сигналу та наявністю зворотного зв’язку із ПК.

2.2 Джерело УФ випромінювання

У якості джерела випромінювання на етапі калібрування використовувалась ртутно-гелієва спектральна газорозрядна лампа ДРГС-12, потужність випромінювання якої на максимальній пропускній здатності становить 50 Вт [26]. Вигляд лампи ДРГС – 12 представлений на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Лампа ДРГС – 12

Спектральні характеристики лампи предсталені на рисунку 2.2[26].

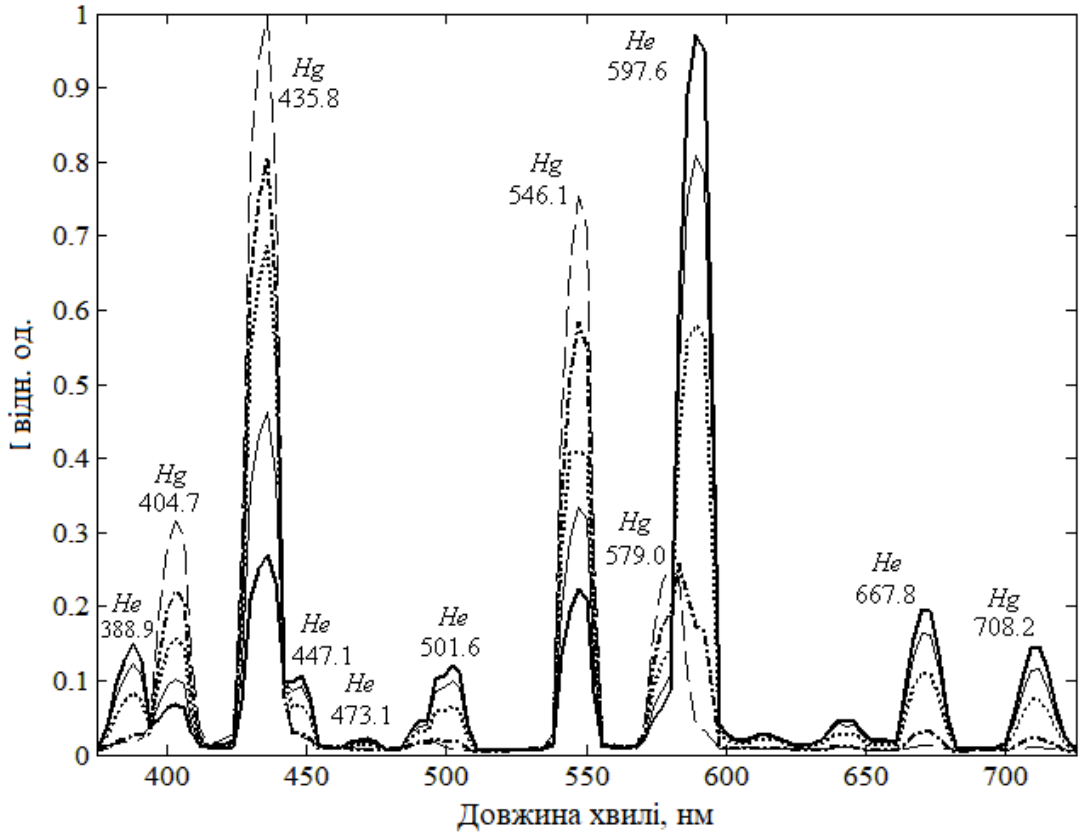


Рисунок 2.2 - Спектральні характеристики лампи ДРГС – 12 [26].

2.3 Спектральний комплекс вимірювання енергії УФ випромінювання

Спектральний комплекс реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання розроблено на базі спектрофотометра СФ-46 навчально-накової лабораторії кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення (ЕІСПЗ) ІННІ ім. Ю.М.Потебні ЗНУ. Окрім власної спектральної системи, що є складовою СФ-46, комплекс доповнено спектральними світлофільтрами УФС, що надасть більш точно відокремлювати окремі довжини УФ. Це дає можливість одночасно проводити калібрування пристрою і безросередньо проводити вимірювання енергетичних характеристик. На рисунку 2.3 представлені спектральні характеристики світлофільтрів.

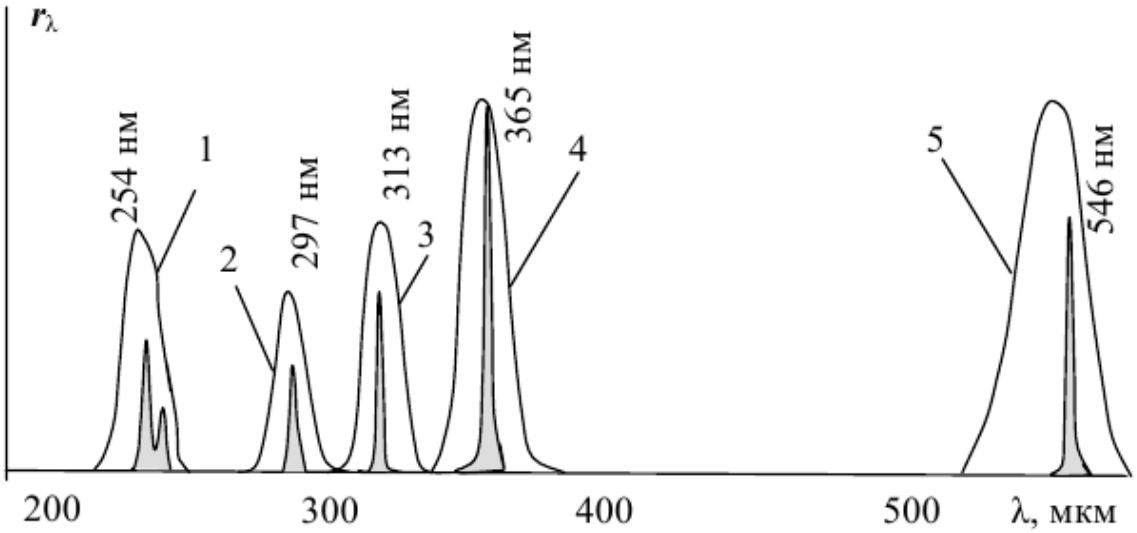


Рисунок 2.3 – спектральні характеристики світлофільтрів

Спектрофотометр СФ-46 призначений для виконання спектрофотометричних вимірів в області 190 – 1100 нм. За його допомогою можна виміряти спектральні залежності коефіцієнтів пропускання, оптичної густини твердих і рідких зразків, швидкість зміни оптичної густини, визначити концентрацію розчину у разі лінійної залежності оптичної густини від концентрації (рисунок 2.4).

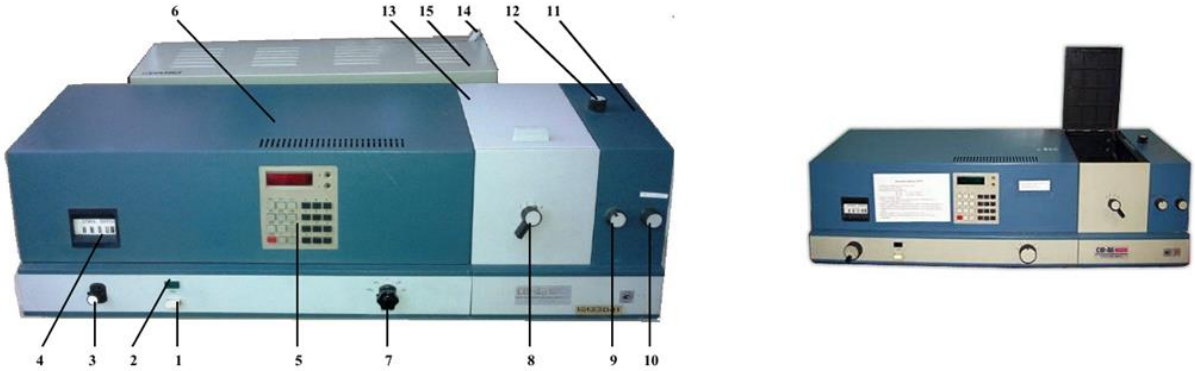


Рисунок 2.4 - Спектрофотометр СФ-46: 1 – кнопка «МЕРЕЖА»; 2 - індикаторна лампа; 3 - рукоятка повороту дифракційної решітки; 4 - відліковий пристрій установки довжин хвиль; 5 – клавіатура

мікропроцесорної системи (МПС); 6 – монохроматор; 7 – перемикач щілини; 8 – рукоятка каретки; 9 – рукоятка перемикання шторки; 10 – рукоятка «НУЛЬ»; 11 – камера з фотоприймачами та підсилювачем; 12 – рукоятка зміни фотоелементів; 13 – кюветне відділення; 14 – важіль; 15 – освітлювач зі стабілізатором.

На рисунку 2.5 представлена блок-схема спектрофотометра СФ-46. На рисунку 2.6 представлена оптична схема спектрофотометра СФ-46.

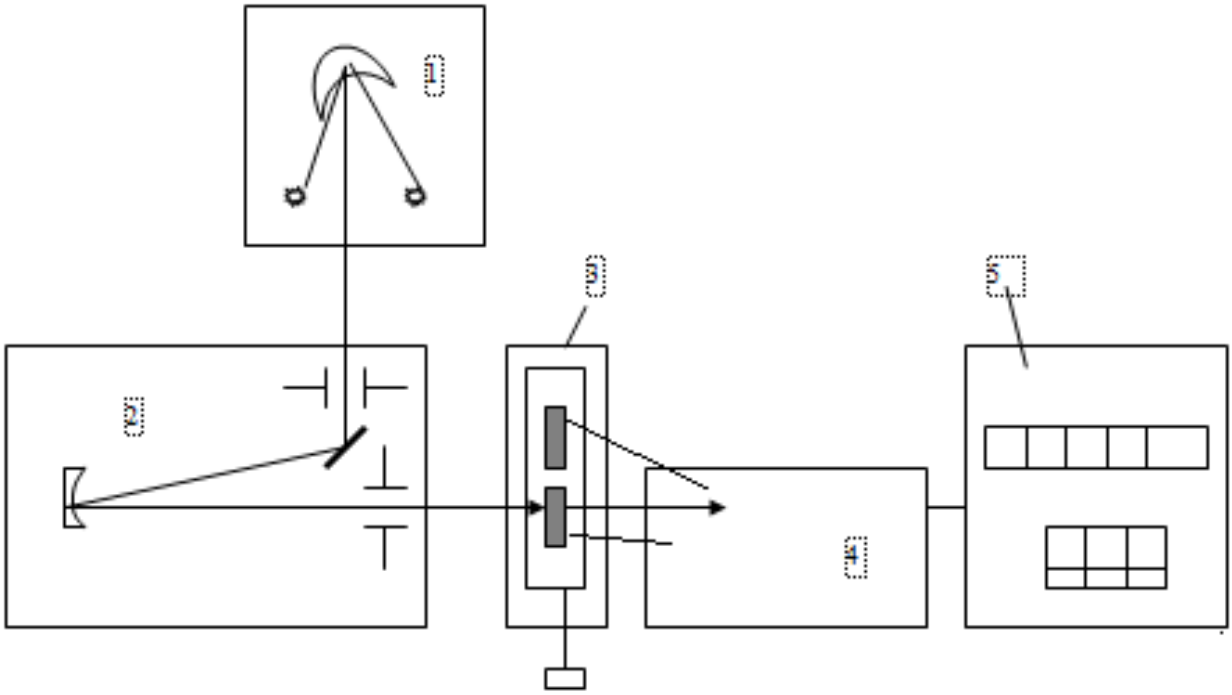


Рисунок 2.5 - Блок-схема спектрофотометра СФ-46: 1 – освітлювач; 2 – монохроматор; 3 – кюветне відділення; 4 – блок приймально-підсилювальний; 5 – мікропроцесорна система

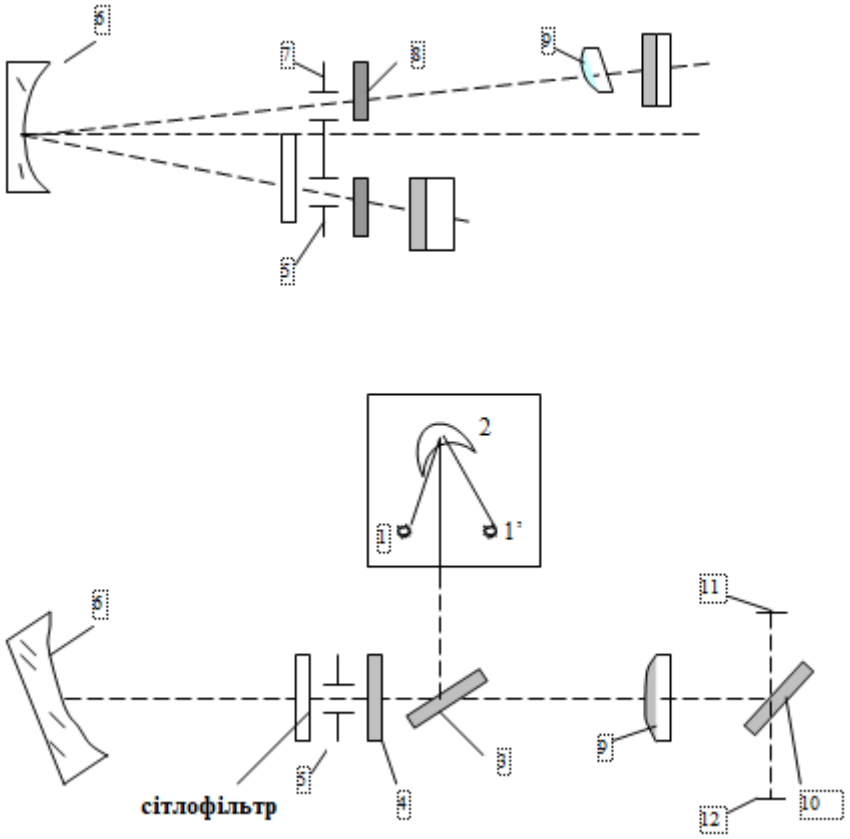


Рисунок 2.6 - Оптична схема спектрофотометра СФ-46

Випромінювання від джерела 1 (рис. 3) або 1 падає на дзеркальний конденсор 2, який направляє його на плоске поворотне дзеркало 3 і дає зображення джерела випромінювання в площині лінзи 4, розташованої поблизу вхідної щілини 5 монохроматора.

Монохроматор побудований за вертикальною автоколімаційною схемою. Світло, що пройшло через вхідну щілину випромінювання падає на увігнуту дифракційну решітку 6 зі змінним кроком і криволінійним штрихом. Дифракційна решітка, крім диспергуючих властивостей, має властивість фокусувати спектр. Застосування змінного кроку та криволінійного штриха значно зменшує аберраційні спотворення увігнутих дифракційних ґрат і дозволяє отримати високу якість спектра у всьому робочому діапазоні. Дифрагований пучок фокусується у площині вихідної щілини 7 монохроматора, розташованої над вхідною щілиною 5. Сканування

здійснюється поворотом дифракційної решітки, при цьому монохроматичне випромінювання різних довжин хвиль проходить через вихідну щілину 7, лінзу 8, контрольний або вимірюваний зразок, лінзу 9 і за допомогою поворотного дзеркала 10 падає на світлочутливий шар фотоелемента 11 чи 12. Для зменшення розсіяного світла та зрізання вищих порядків дифракції в спектрофотометрі використовуються два світлофільтри: зі скла ПС11 для роботи в області спектру 230 – 450 нм та зі скла ОС14 для роботи в області спектру 600 – 1100 нм. Зміна світлофільтрів здійснюється автоматично.

Лінзи виготовлені з кварцового скла з високим коефіцієнтом пропускання в ультрафіолетовій області спектру. Для забезпечення роботи спектрофотометра у широкому спектральному діапазоні використовуються два фотоелементи та два джерела випромінювання суцільного спектру. Сурм'яно-цезієвий фотоелемент із вікном з кварцового скла застосовується для вимірювань в області спектру від 190 до 700 нм, киснево-цезієвий фотоелемент – для вимірювань у сфері спектру від 600 до 1100 нм. Довжина хвилі, при якій слід переходити від вимірювання з одним фотоелементом до вимірювання з іншим фотоелементом, вказана в паспорті спектрофотометра.

Дейтерієва лампа призначена для роботи в області спектру від 190 до 350 нм, лампа розжарювання – для роботи в області спектру від 340 до 1100 нм. Для перевірки градуювання використовується ртутно-гелієва лампа ДРГС-12.

2.4 Блок вимірювання потужності випромінювання

Канал реєстрації УФ випромінювання складається із безпосереднього датчика та каналу підилення зареєстрованого сигналу.

У якості датчика пропонується використати кремнієвий УФ фотодіод S1226 (параметри вказано в таблиці 2.1), виробництва «Hamamatsu Photonics KK» [27]

Таблиця 2.1 – Кремнієвий УФ фотодіод S1226 серії, виробництва фірми «Hamamatsu Photonics KK» [27].

Параметр	Значення
Активна площа кристала сенсора ($мм^2$):	1,2
Спектральна характеристика (нМ):	190 … 1000
Робоча температура:	- 40 ... +100 °C
Спектральна чутливість А / Вт (200 нм):	0,1 ... 1,12
Темновий струм (А):	$2 \cdot 20*10^{-12}$
Струм короткого замикання при 25°C, освітленості 1000 люкс і довжині хвилі - 200 нм:	0.5 – 0.66 (32%) 2.2 – 2.9 (25%) 4.4 – 5.9 (25%) 12 – 16 (25%)

Інший прилад - UVTOUCH радіометр виробництва фірми «Sglux GmbH» [10] має сенсорний екран (Touch screen), функцію дозиметра і даталоггера (Data logger) - пристрій для запису даних у часі або в залежності від місця розташування), передача цифрового сигналу сенсора з використанням інтерфейсу CAN bus, калібрування за індивідуальним замовленням (таблиця 2.2). Можливість використання різних сенсорів виробництва компанії «Sglux GmbH» (силікон карбідних фотосенсорів, стійких до УФ випромінювання, що відрізняються чутливістю і спектральними характеристиками).

Таблиця 2.2 – Параметри сенсора UVTOUCH [10]

Параметр	Значення
Спектральна чутливість:	УФ А, УФ В, УФ С
УФ індекс:	широкосмуговий, та УФ + «Блакитний»
Абсолютна чутливість (в залежності від модифікації):	100нВт/см^2 … 1мВт/см^2 5мк Вт/см^2… 50мВт/см^2 1мВт/см^2 … 10Вт/см^2
Температурний коефіцієнт UVTOUCH сенсора:	<0,1% / К

Перевага цифрового UVTOUCH сенсора в порівнянні з аналоговим сенсором є більший динамічний діапазон Фірмою «Sglux GmbH» пропонуються фотодіоди, які можуть використовуватися в якості сенсора для УФ вимірювача. Наприклад, силікон карбідний фотодіод, чутливий до ультрафіолету, SG01L-18ISO90 з параметрами, вказаними в таблиці 2.3, та спектральною характеристикою, поданою на рисунку 2.7.

Через малі значення темнового струму (фемтоампери) цього фотодіоду – існує можливість вимірювання УФ випромінювання з малою величиною інтенсивності. Також з даними силікон-карбідним фотодіодом можливі широкосмугові вимірювання без фільтрів або ж вузькосмугове вимірювання з фільтрами діапазонів випромінювання УФ А, УФ В, УФ С або вимірювання відповідно формі еритемной кривої.

Таблиця 2.3 – Параметри фотодіоду SG01L-18ISO90 [10]

Параметр	Значення
Активна площа кристалу ($мм^2$):	1
Темновий струм (А):	$5*10^{-15}$
Струм короткого замикання (10 $мкВт/см^2$) випромінювання викликає струм даного фотодіода:	12 нА
Температурний коефіцієнт:	<+ 0,1% / К
Робочий температурний діапазон:	-55 ... +170 °С
Спектральна чутливість:	0,13 А / Вт
Довжина хвилі максимальної. спектральної чутливості:	295 нм
Діапазон чутливості (S = 0,1 Smax):	220 ... 360 нм
Нечутливість до видимого діапазону випромінювання (відношення максимальної чутливості до чутливості при видимому світлі) (Smax / $S_{> 405нм}$):	10^{10}

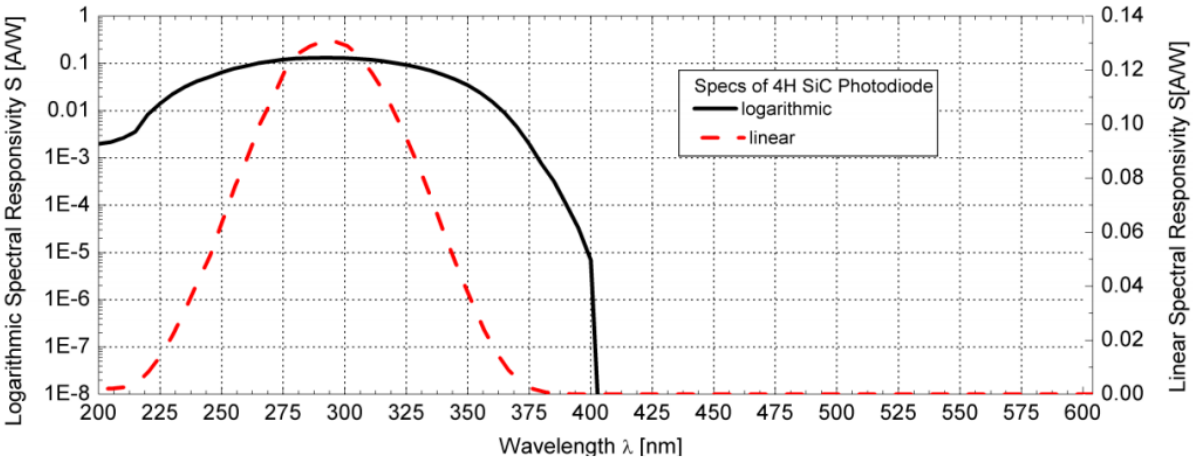


Рисунок. 2.7 – Спектральна характеристика SiC фотодіода SG01L-18ISO90

Для покращення якості зареєстрованого сигналу розроблено схему попереднього підсилювача пристрою (рисунок 2.8).

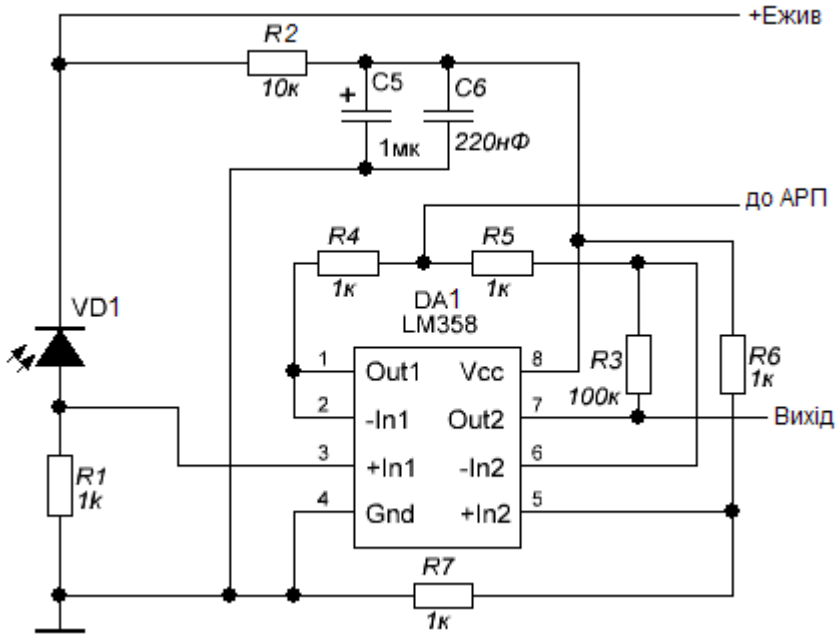


Рисунок 2.8 - Схема електрична принципова попереднього підсилювача

Для реалізації попереднього підсилювача сигналу фотоприймача застосуємо широко поширений операційний підсилювач LM358 (мікросхема DA1). Основні параметри LM358 приведені в таблиці 2.4 [29-31].

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

$$К_{поп.підс.} = U_{вих} / U_{фд}, \quad (2.1)$$

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

Таблиця 2.4 - Основні технічні характеристики мікросхеми LM358

Найменування параметра	Номінал
Напруга живлення не більше, В	±(3-32)
Напруга зсуву не більше, мВ	2
Вхідний струм не більше, нА	5
Коефіцієнт підсилення 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 підсилення, не менше МГц	1
Споживана потужність не більше, мВт	30
Діапазон робочих температур, °С	0 … +80

$$К_{поп.підс.} = 5 / 0,06 = 83,3.$$

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

Для нормальної роботи схеми фотодіода, що має високий вихідний опір необхідно аби вхідний опір схеми попереднього підсилювача був багато більше вихідного опору фотодіода. 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 [29-31]:

$$R_{вх} = R_{вх\ ОП} (1 + \beta K_{ОП}) , \qquad (2.2)$$

де $R_{вх\ ОП}$ – вхідний опір ОП; $\beta = 1$, $K_{ОП} = 100000$.

$R_{вх} = 100кОм\ (1 + 1 \times 100000) = 1 \times 10^4$ 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, встановлено резистор R1, величина якого дорівнює 1кОм. Таким чином, вхідний опір ланки, виконаної на операційному підсилювачі DA1.1, дорівнює 1 кОм.

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

$$R_{вих} = \frac{R_{вих.ОП}}{1 + \beta K_{ОП}} \qquad (2.3)$$

Для отримання номінальної вихідної напруги розрахуємо величини резисторів встановлюваних в колах інвертуючого операційного підсилювача DA1.2 для отримання необхідного коефіцієнта підсилення. 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:

$$R2 = R4 = R_{вх} = 1кОм. \qquad (2.4)$$

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

$$R3 = R2\ K_{пос} \qquad (2.5)$$

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

Розрахуємо вихідний опір схеми інвертуючого операційного підсилювача на DA1.2[29-31].

$$R_{вих} = \frac{R_{вих.ОП}}{1 + \beta K_{ОП}} \quad (2.6)$$

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

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

2.5 Удосконалення системи реєстрації сигналів УФ випромінювання

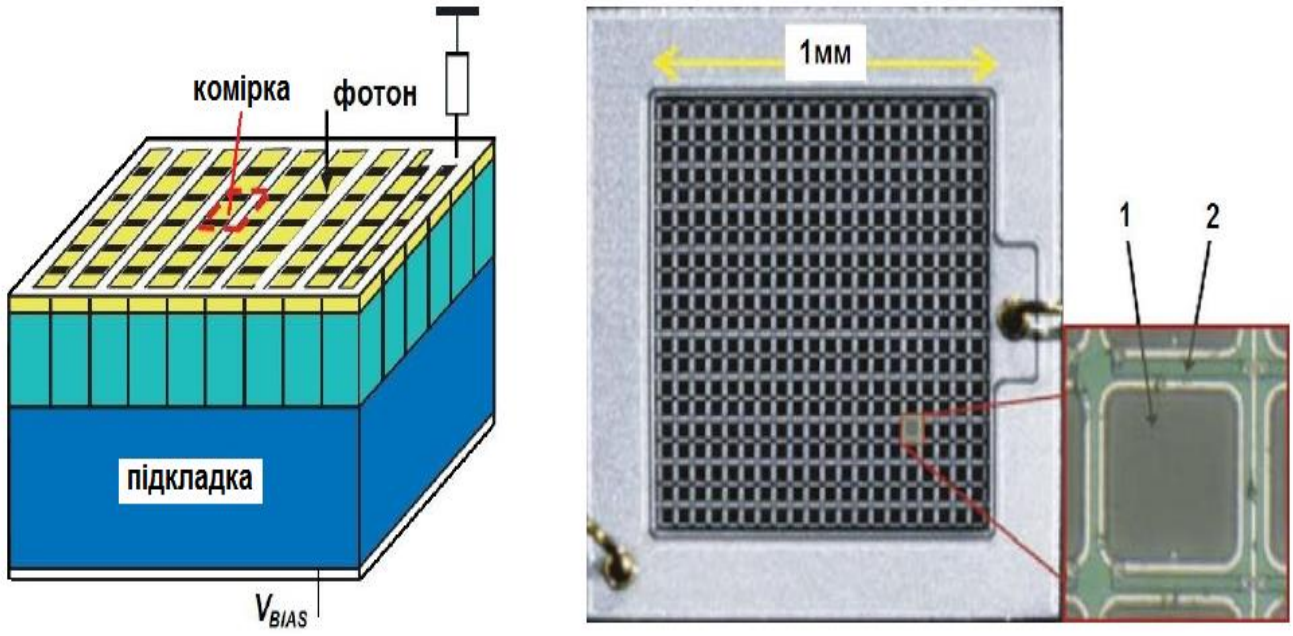
2.5.1 Реєстрація оптичного сигналу SiPM фотопомножувачем

У роботі було досліджено можливий варіант створення більш ефективної системи випромінювач – реєстрація.

Актуальним напрямом поліпшення фотоприймачів із внутрішнім посиленням є використання p-n переходу, працюючого при напрузі вище пробивного, тобто, у режимі гейгерівського розряду. Такі пристрої, названі лавинними однофотонними фотодіодами (Single Photon Avalanche Diode, SPAD), здатні реєструвати одиночні фотони з високою ефективністю [32]. У гейгерівському режимі роботи сигнал від одного фотона, що надходить на 50-омне навантаження, може становити кілька вольт. Для реєстрації наступного фотона необхідно погасити лавину, що утворилася, причому для запобігання деградації параметрів фотодетектора відновлення вихідного стану після реєстрації фотона необхідно виконати максимально швидко. Найчастіше гейгерівський розряд гаситься за допомогою резистора (пасивне

гасіння) або електронних схем гасіння лавини та відновлення робочої напруги на p-n переході (активне гасіння). Недолік SPAD – фіксована амплітуда вихідного сигналу, незалежна від величини зовнішнього впливу, нечутливість детектора до зовнішнього впливу під час спрацьовування і по моменту відновлення, висока величина темнового струму, прямо пропорційна площі p-n переходу [32].

Зазначені недоліки SPAD більшою мірою усунуті в кремнієвому фотопомножувачі (SiPM; інші назви – багатопіксельний лічильник фотонів, мікропіксельний лавинний фотодіод). Він є фотоприймачем, що містить на одній кремнієвій підкладці матрицю осередків, кожна з яких включає SPAD і резистор з опором від 0,2 до 2 МОм (рисунок 2.9) [32]. SiPM містить від сотень до десятків тисяч паралельно з'єднаних осередків з розміром сторін від одиниць до десятків мікрометрів та 2 зовнішніх виводів, за допомогою яких встановлюється напруга зміщення та знімається струмовий сигнал. Напруга всіх осередків однакова і кілька вольт перевищує напруга пробою p-n переходу (VBR). [23].



а б

Рисунок 2.9 – Конструкція SiPM: а – спрощений вигляд [32]; б – фотографія кристала та окремого осередку [32]; 1 – лавинний фотодіод; 2 - резистор, що гасить

Зазначимо такі особливості конструкції та параметрів [32]:

- коефіцієнт заповнення залежить від розмірів комірки та її топології, знижується з зменшенням розміру осередку та становить від 30 до 80 % для осередків з розміром від 30×30 до 100×100 мкм;

– на відміну від APD коефіцієнт посилення SiPM майже лінійно залежить від перевищення напруги пробою [32], тому вимоги до стабільності напруги усунення SiPM менш жорсткі;

- технологічний розкид коефіцієнта посилення, обумовлений розкидом ємності осередку і пробивної напруги, зазвичай не перевищує 10% і може бути компенсований підстроюванням величини напруги зміщення.

2.5.2 Керування роботою SiPM фотодетекторами

Прикладом спеціалізованої ІС (рисунок 2.10), яка дає можливість здійснити керування SiPM фотодетекторами є мікросхема SPIROC (SiPM

Integrated Read-Out Chip) [33], яка призначена для зчитування струмового сигналу 36 паралельними каналами, визначення моменту досягнення ним максимуму по кожному з каналів без використання сигналів зовнішньої синхронізації, зберігання, оцифрування сигналів та передачі даних для подальшої обробки.

ІС містить частину схеми, що задає робочий режим фотодетектора, а саме 36- канальний мікропотужний 8-розрядний ЦАП, за допомогою якого змінюється потенціал сигнального входу, що підключається безпосередньо до SiPM без роздільного конденсатора.

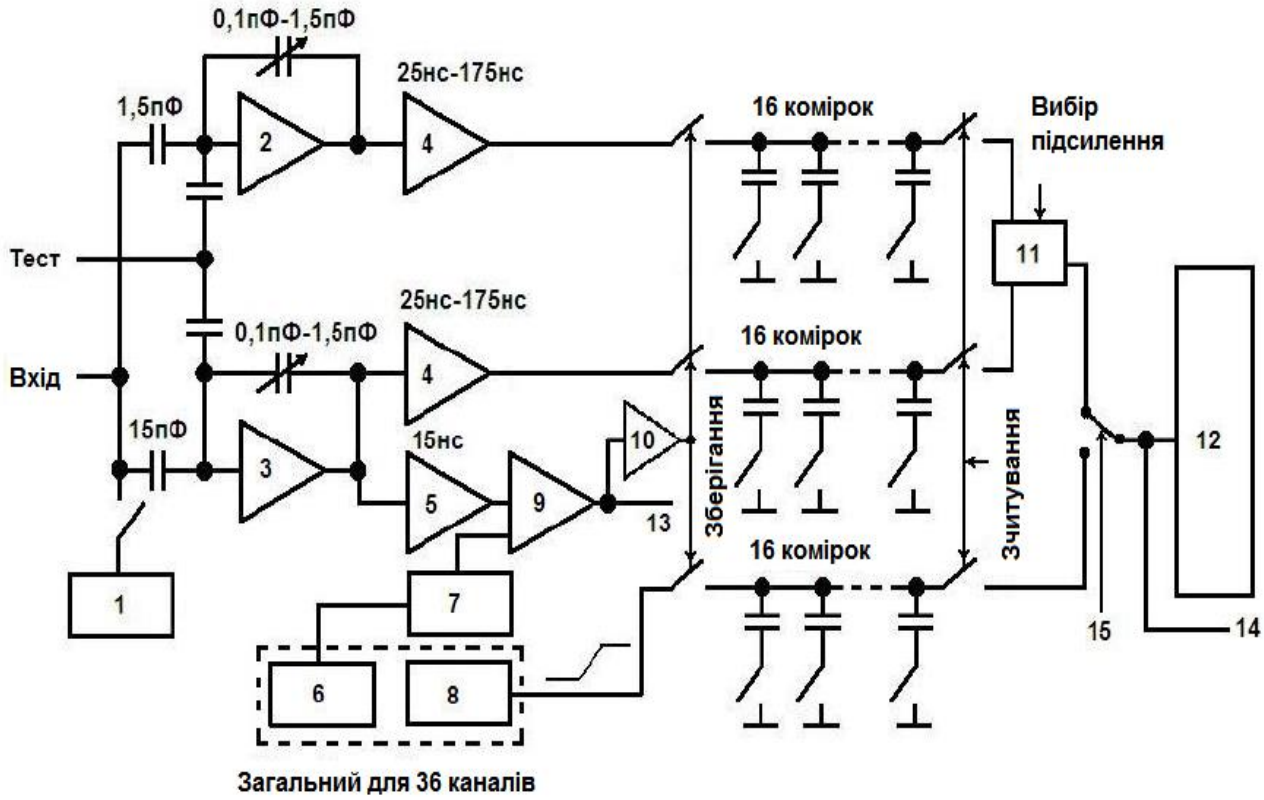


Рисунок 2.10 – Спрощена схема спеціалізованої ІС SPIROC [33]: 1 - 36-канальний 8-розрядний цифро-аналоговий перетворювач; 2 - зарядочутливий підсилювач з «малим» посиленням; 3 – зарядочутливий підсилювач із «великим» посиленням; 4 – «повільний» підсилювач формувач; 5 – «швидкий» підсилювач-формувач; 6 – одноканальний 10-розрядний цифроаналоговий перетворювач для встановлення порога всіх каналів; 7 – 4-розрядний пристрій підстроювання порога кожного каналу; 8 – генератор

пилкоподібної напруги з тривалістю «пили» від 0,3 до 5 мкс; 9 – дискримінатор; 10 - елемент із змінною затримкою; 11 – блок вибору посилення; 12 - 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач Вілкінсона; 13 - вихід синхросигналу; 14 – аналоговий вихід; 15 - керуючий сигнал генератора пилкоподібної напруги.

Вихідна напруга ЦАП регулюється в діапазоні від 0,5 до 4,5, що дозволяє налаштовувати величину VBIAS для зменшення технологічного розкиду посилення фотодетекторів, з'єднаних з різними входами ІС.

Необхідний динамічний діапазон оброблюваних сигналів SiPM величиною від 1 до 2000 фотоелектронів забезпечується парою зарядочутливих підсилювачів (ЗЧП), що підключаються паралельно до кожного входу ІС через інтегральні конденсатори різного номіналу: 1,5 пФ для ЗЧУ з малим посиленням і 15 пФ для ЗЧУ з великим. Кожен ЗЧП також має ступінчасте регулювання посилення за рахунок підключення ООС конденсаторів величиною від 0,1 до 1,5 пФ. До виходів ЗЧП підключений «повільний» УФ типу CR-RC2, час піку якого регулюється в межах від 25 до 175 нс, і аналоговий пристрій (АП) глибиною 16 осередків для зберігання миттєвих значень вихідного сигналу УФ.

Кожен канал має незалежну схему реєстрації моменту надходження вхідного імпульсу, що включає «швидкий» УФ з часом піку близько 15 нс, дискримінатор з 4-розрядним підстроюванням порога спрацьовування, аналогове ЗУ глибиною 16 осередків, допоміжні схеми керування та комутації сигналів. До системи реєстрації моменту надходження вхідних імпульсів відносяться також генератор пилкоподібної напруги та один 10-розрядний ЦАП для встановлення загального порога всіх дискримінаторів.

Перетворення сигналів, що зберігаються в аналогових ЗУ, цифрову форму виконується за допомогою 36-канального 12-розрядного аналого-цифрового перетворювача, виконаного за схемою Вілкінсона і обробляє сигнали, що надходять за цикл в 100 мкс.

ІС виконана за SiGe-технологією фірми AMS з проектною нормою 0,35 мкм і характеризується такими основними параметрами:

– для виходу «швидкого» УФ: коефіцієнт перетворення – 120 мВ/фотоелектрон, час піку – 15 нс, відношення сигнал/шум – 24. Такі параметри дозволяють встановити поріг спрацьовування дискримінатора лише на рівні 0,5 фотоелектрона;

– для виходу «повільного» УФ у режимі максимального посилення при часі піку 100 нс коефіцієнт перетворення становить 10 мВ/фотоелектрон, відношення сигнал/шум – 11 (3 для режиму мінімального посилення);

- нелінійність перетворення вхідний заряд - вихідна напруга менше 1% динамічному діапазоні вхідних сигналів до 60 дБ;

- напруга живлення аналогової частини - 5 В, цифровий - 3,5 В;

- розмір кристала - 7,2×4,2 мм;

– максимальна потужність, що розсіюється, залежить від режиму роботи і становить 25 мкВт/канал.

2.6 Моделювання роботи функціональних блоків системи реєстрації сигналів люмінесценції квантово-біологічної структури

Для встановлення правильності проведених розрахунків в роботі було проведено моделювання схеми попереднього підсилювача.

Моделювання проводилось за допомогою редактора САПР електронних схем Proteus [35].

На рисунках 2.11 та 2.12 представлено результати моделювання.

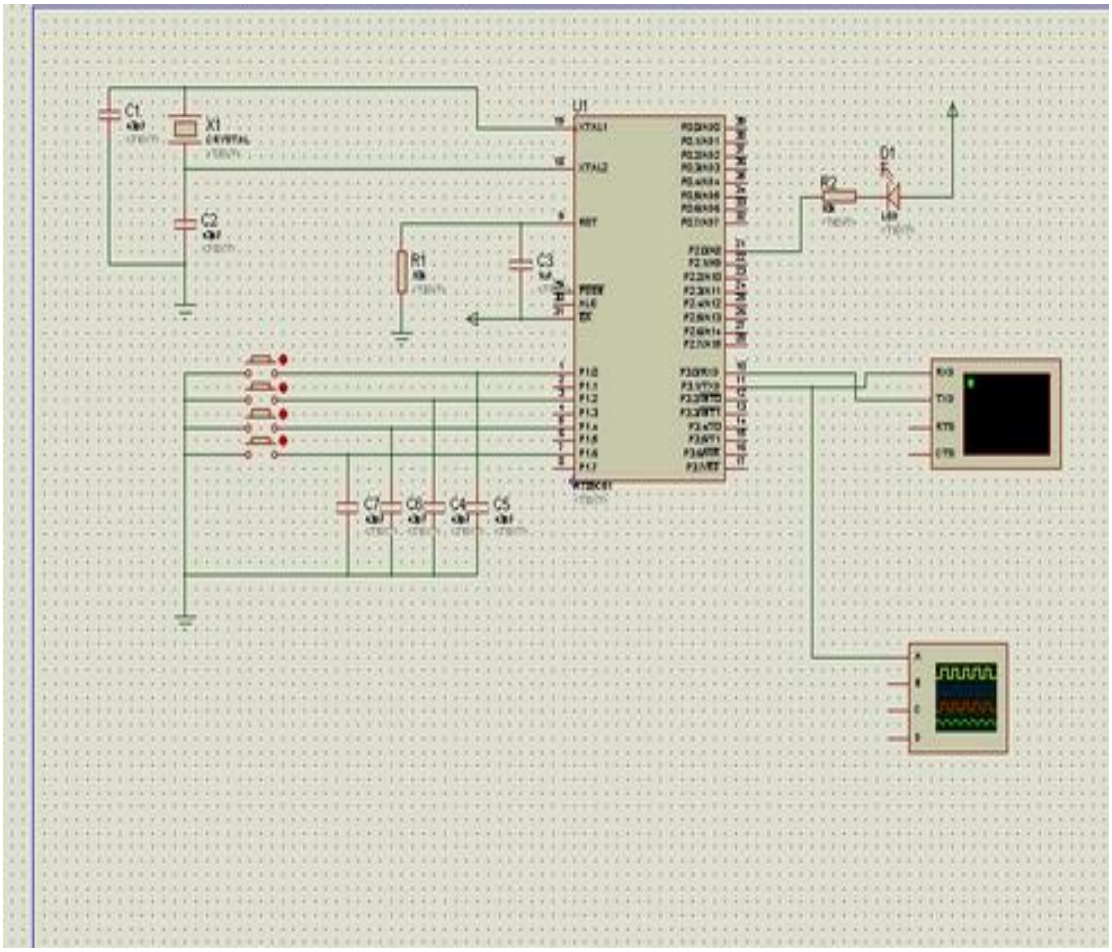


Рисунок 2.11 - Схема попереднього підсилювача у програмному середовищі Proteus

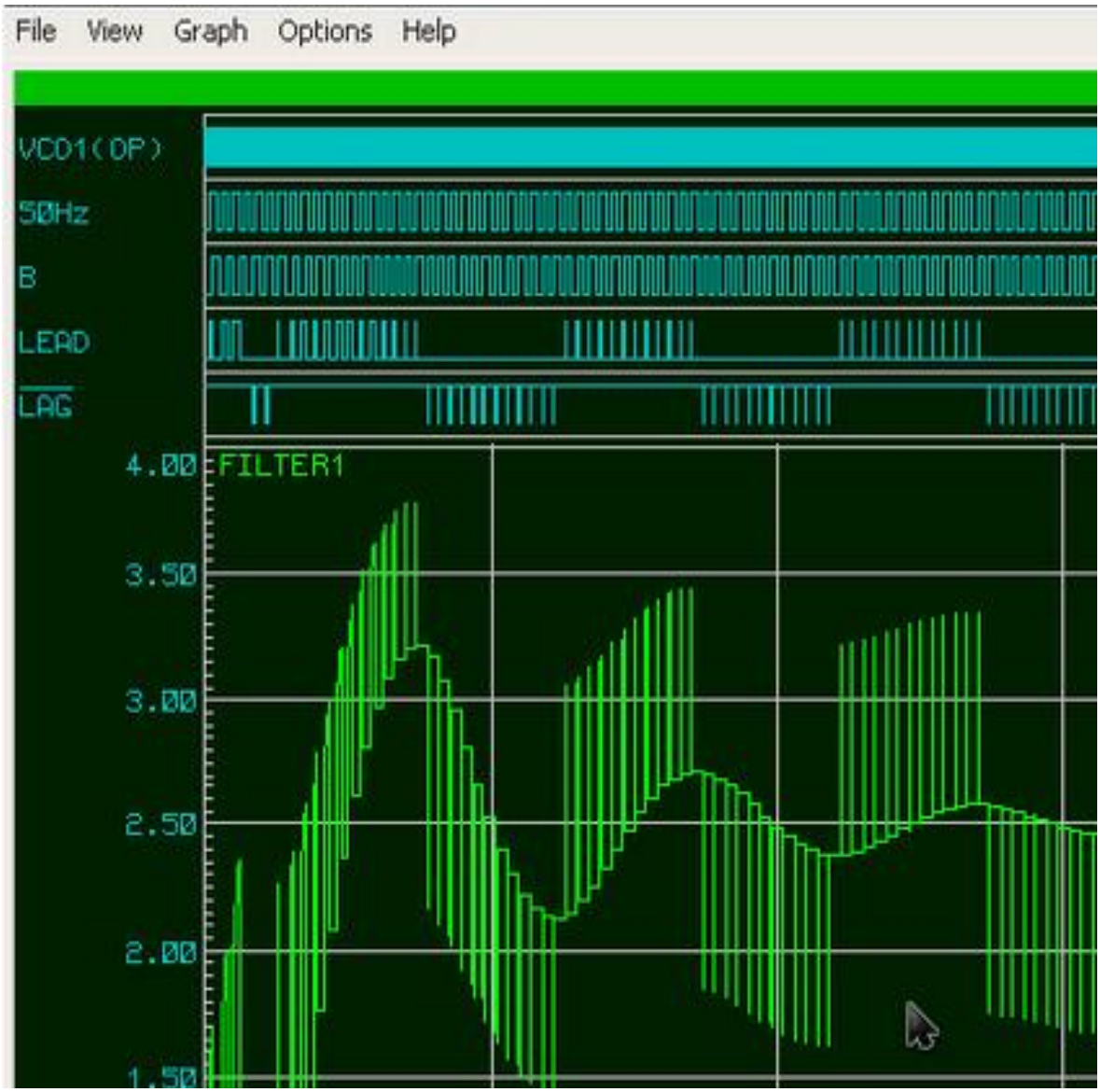


Рисунок 2.12 - Діаграми функціювання схеми попереднього підсилювача у програмному середовищі Proteus

На діграмі чітко видно, що інформаційний сигнал має структуру подвійнних логічних станів, що підтверджує теоретичні розрахунки.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) розроблено структурну схему пристрою, особливістю якої є те, що за її допомогою можна проводити калібрування потужності джерела випромінювання та безпосередньої реєстрації одночасно;

2) у якості джерела випромінювання на етапі калібрування використовувалась ртутно-гелієва спектральна газорозрядна лампа ДРГС-12;

3) спектральний комплекс реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання розроблено на базі спектрофотометра СФ-46 навчально-накової лабораторії кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення (ЕІСПЗ) ІННІ ім. Ю.М.Потебні ЗНУ;

4) канал реєстрації УФ випромінювання складається із безпосереднього датчика та каналу підсилення зареєстрованого сигналу. У якості датчика пропонується використати кремнієвий УФ фотодіод S1226 виробництва «Hamamatsu Photonics KK»;

5) для покращення якості зареєстрованого сигналу розроблено схему попереднього підсилювача пристрою;

6) для реалізації попереднього підсилювача сигналу фотоприймача застосуємо широко поширений операційний підсилювач LM358;

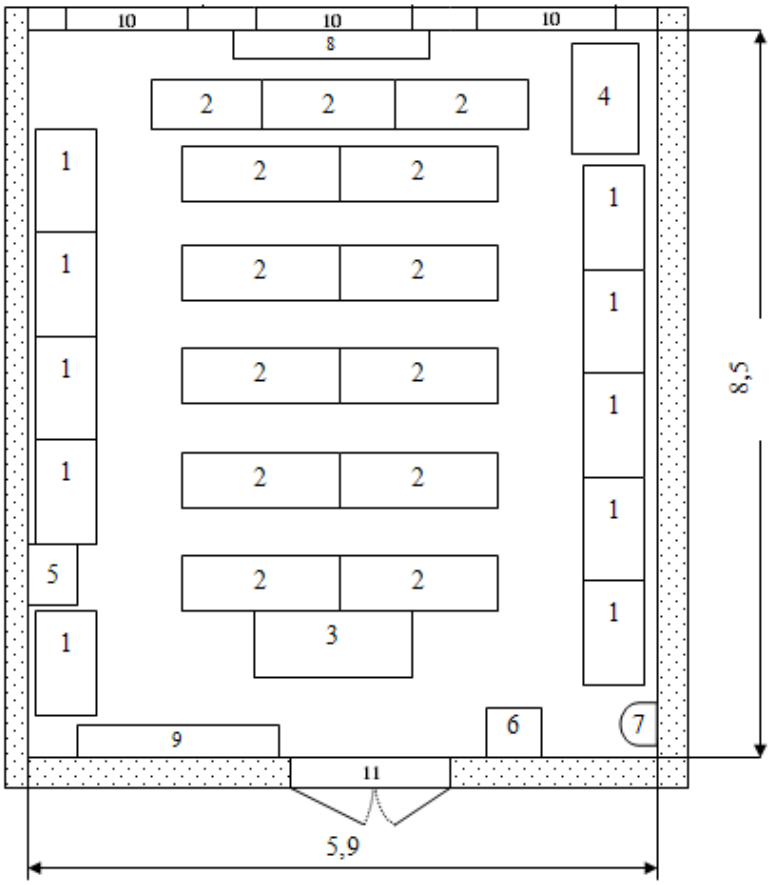
7) у роботі було досліджено можливий варіант створення більш ефективної системи випромінювач – реєстрація на основі SiPM фотодетекторів, що керуються мікросхемою SPIROC;

8) розраховані показники параметрів блоку попереднього підсилювача пристрою добре узгоджуються із результатами моделювання в середовищі Proteus.

3 Охорона праці та техногенна безпека при виготовленні схем реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У даному розділі як об’єкт дослідження розглянуто приміщення в якому проводяться лабораторні роботи та роботи з відеотермінальними пристроями. План приміщення наведено на рисунку 3.1.



1 - стіл комп’ютерний, 2 - стіл аудиторний, 3 - стіл викладача, 4 - установка Холла, 5 - шафа силова, 6 - сейф, 7 - умивальник, 8 - спліт система, 9 - дошка аудиторна, 10 - вікно, 11 - двері

Рисунок 3.1 – План розташування робочих місць

Приміщення, в якому знаходяться відео термінальні пристрої, має такі характеристики:

- довжина приміщення 8,5 м;
- ширина приміщення 5,9 м;
- висота 4 м;
- число вікон 3;
- кількість робочих місць 28;
- забарвлення інтер'єру: біла стеля, блідо-бежеві стіни, підлога бетонна, обтягнута лінолеумом коричневого кольору.

Відповідно до ПХТ 12.0.003-74 небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні [36-41].

У даному приміщенні діють такі фізичні небезпечні та шкідливі фактори:

• підвищений рівень вібрацій, інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації;

• підвищені чи знижені барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря;

• небезпечне значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість електричного чи магнітного полів;

• недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла;

Також присутні небезпечні та шкідливі психофізіологічні фактори, до яких належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Одним із заходів є підвищення комфортності роботи шляхом раціоналізації параметрів робочого місця та робочого приміщення з ергономічної точки зору [36-41].

Обсяг приміщення на одного працюючого за санітарними нормами має становити не менше 20 $м^3$, а площа приміщення – не менше 6 $м^2$. Ширина основних проходів у приміщенні повинна становити не менше 1,5 м. Ширина виходів з приміщення повинна бути не менше 1 м, висота – не менше 2,2 м. Дане приміщення має обсяг V=188,06 $м^3$, а площу S=50,15 $м^2$. Таким чином наше приміщення не відповідає нормам з ергономічної точки зору.

Для зменшення впливу психофізіологічних факторів складено правильний графік трудового дня, встановлено необхідний час перерв, темп та ритм роботи, які необхідні для зменшення дії на організм людини фізичних зусиль, що в свою чергу дозволяють захистити людину від перевтомлення та втрати здоров'я [36-41].

3.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, шум [35].

Для нашого приміщення температура підтримується завдяки вентиляції (природної і штучної) в теплу пору року та за допомогою опалення та герметизації приміщення в холодну пору року. Оптимальні норми температури для холодної пори року 21-23°С, для теплої складає 22-24°С.

Наше приміщення відповідає цим температурним нормам.

У даному приміщенні є два види вентиляції:

– природна (аерація через вікна і двері);

– примусова (приточно-витяжна).

Функціонально близьким, але відмінним від вентиляції за способом повітрообміну є кондиціонування. В даному приміщені є наявність кондиціонера, який підтримує в приміщенні комфортні умови незалежно від зовнішніх умов (визначеної температури, вологості, чистоти повітря і швидкості повітряних потоків).

Вологість повітря в даному приміщенні не більше 40-60%, що відповідає оптимальним нормам. Це реалізується за допомогою вентиляції і кондиціонування приміщення, а також за рахунок проведення вологих збирань.

У приміщенні є наявність відео термінальних пристроїв та учбових стендів для проведення лабораторних робіт. Всі ці устаткування мають низький рівень шуму, що в свою чергу не перевищує допустиму норму рівня шуму в 65 дБ.

В нашому приміщенні, де знаходяться відео термінальні пристрої, використовується змішане освітлення, тобто поєднання природного і штучного освітлення.

В якості природного - бокове освітлення через вікна. В даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється за методом світлового потоку з урахуванням потоку, відбитого від стін і стелі [40].

Нормами для даних робіт в даному приміщенні встановлена необхідна освітленість робочого місця Ен = 300лк (середня точність роботи по розрізненню деталей розміром від 1 до 10 мм).

3.4 Електробезпека

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відповідно до ПУЕ і ГОСТу 12.1.013-78 являється приміщенням без підвищеної небезпеки [38].

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.

Причини ураження електричним струмом [38].

1. Пошкодження устаткування.
2. Пошкодження ізоляції.
3. Коротке замикання на землю або на корпус.
4. Порушення правил техніки безпеки и роботи с електроустаткуванням.

Для забезпечення електробезпеки в даному приміщенні використовуються такі технічні засоби:

- захисне заземлення;
- мала напруга;
- захисне відімкнення;
- ізоляція струмопроводів;
- знаки безпеки.

Захисне заземлення — навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою.

Учбові стенди, які знаходяться в приміщенні, працюють на мінімально можливих напругах, що забезпечує додаткову безпеку.

Усі електроустаткування можна у разі потреби вимкнути через електронний щит управління, який миттєво знеструмлює усі стенди та відео термінальні пристрої. Скрізь, де встановлені розетки є попереджувальні знаки.

3.5 Пожежна та техногенна безпека об’єкту

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “Б” [36-41].

Основними причинами пожеж в даному приміщенні є:

- необережне поводження з вогнем;

- незадовільний стан електротехнічних пристроїв, порушення правил їх

- монтажу та експлуатації;

- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Приміщення за класом пожеж відноситься до категорії “Е” [41]. Це горіння обладнання та установок, які знаходяться під електричною напругою. Серед необхідних засобів гасіння пожежі в даному приміщені є два вуглекислих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщені вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустаткування. В приміщенні є план евакуації згідно з яким люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі. Ширина шляхів евакуації в світлі повинна бути не менше 1 м, дверей - не менше 0.8 м. При дверях, що відкриваються з приміщень в загальні коридори, за ширину евакуаційного шляху коридором слід приймати ширину коридору, зменшену:

- на половину ширини дверного полотна - при однобічному розташуванні дверей,

- на ширину дверного полотна - при двосторонньому розташуванні дверей.

Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. У підлозі на шляхах евакуації не допускаються перепади висот менше 45 см і виступи, винятком порогів в дверних отворах. Висота дверей у просвіті на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м.

3.6 Розрахунок освітлення робочого місця

Загальний світловий потік визначається за формулою [36-41]:

$$F_{зсп} = \frac{E_н \cdot S \cdot z1 \cdot z2}{V} \quad (3.1)$$

де $E_н$ - нормована освітленість ($E_н$ = 300лк), S - площа приміщення; z1 - коефіцієнт, що враховує старіння ламп і забруднення світильників (z1=1,5); z2 - коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення приміщення (z2 = 1,1); V - коефіцієнт використання світлового потоку, визначається в залежності від коефіцієнтів відбиття від стін, стелі, робочих поверхонь, типів світильників і геометрії приміщення.

Площа приміщення:

$$S = A \cdot B = 8{,}5 \cdot 5{,}9 = 50{,}12 см^2 \quad (3.2)$$

Виберемо з таблиці коефіцієнт використання світлового потоку за наступними даними:

- коефіцієнт відбиття білої стелі Rп=70%;
- коефіцієнт відбиття від стін, забарвлених в світлу фарбу Rст=50%;
- коефіцієнт відбиття від підлоги, покритої лінолеумом темного кольору Rр=10%;
- індекс приміщення

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8{,}5 \cdot 5{,}9}{4 \cdot (8{,}5 + 5{,}9)} = 0{,}87 \quad (3.3)$$

Знайдений коефіцієнт [3]: V = 0,62.

За формулою (1.1) визначаємо загальний світловий потік:

$$F_{зсп} = \frac{300 \cdot 50{,}15 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}5}{0{,}62} = 40039 \text{ лк.}$$

Для організації загального штучного освітлення виберемо лампи типу ЛБ65.

Люмінесцентні лампи мають ряд переваг перед лампами розжарювання: їх спектр ближче до природного; вони мають велику економічність (більша світловіддача) і термін служби у 10-12 раз більше. Поряд з цим є й недоліки: їх робота супроводжується іноді шумом; гірше працюють при низьких температурах; їх не можна застосовувати у вибухонебезпечних приміщеннях; мають малу інерційність. Для нашого приміщення люмінесцентні лампи підходять.

Світловий потік однієї лампи ЛБ65 становить не менш $F_л$ = 4600 лм. Число N ламп, необхідних для організації загального освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{F_{зсп}}{F_л} = \frac{40039}{4600} = 12 \qquad (3.4)$$

В якості світильників вибираємо ПВЛ-1, 2×65 Вт. Електрична потужність однієї лампи ЛБ65 $W_л$ = 65 Вт.

Потужність всієї освітлювальної системи:

$$W_{ос} = W_л \cdot N = 65 \cdot 12 = 780 Вт \qquad (3.5)$$

Розміщення світильників ПВЛ-1, 2×65 Вт представлено на рисунку 3.2.

Таким чином, щоб забезпечити світловий потік $F_{зсп}$ = 40039 лм в даному приміщенні використовується 6 світильників по 2 лампи ЛБ65 в кожному. Згідно з розрахунками освітленість приміщення відповідає встановленим нормам.

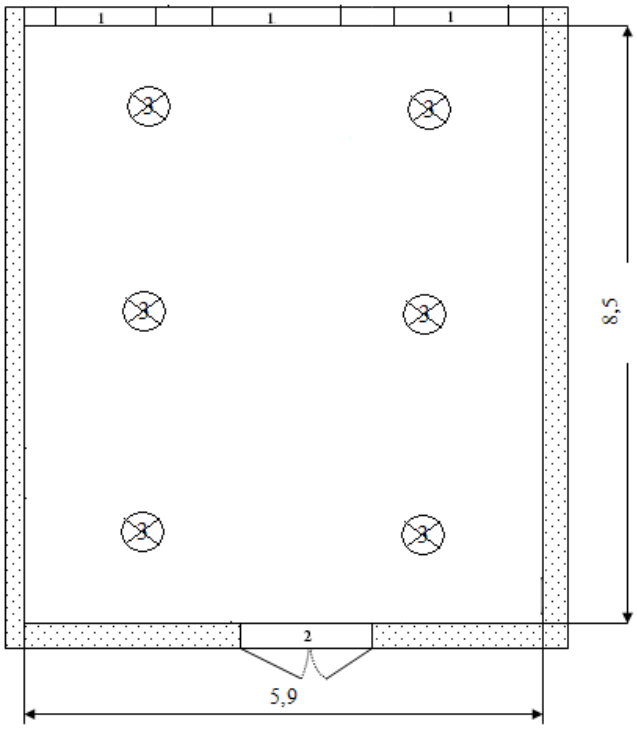


Рисунок 3.2 – План розташування світильників

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами виконання роботи можна зробити наступні висновки:

1) розроблено структурну схему пристрою, особливістю якої є те, що за її допомогою можна проводити калібрування потужності джерела випромінювання та безпосередньої реєстрації одночасно;

2) у якості джерела випромінювання на етапі калібрування використовувалась ртутно-гелієва спектральна газорозрядна лампа ДРГС-12;

3) спектральний комплекс реєстратора енергії ультрафіолетового діапазону випромінювання розроблено на базі спектрофотометра СФ-46 навчально-наукової лабораторії кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення (ЕІСПЗ) ІННІ ім. Ю.М.Потебні ЗНУ;

4) канал реєстрації УФ випромінювання складається із безпосереднього датчика та каналу підсилення зареєстрованого сигналу. У якості датчика пропонується використати кремнієвий УФ фотодіод S1226 виробництва «Hamamatsu Photonics KK»;

5) для покращення якості зареєстрованого сигналу розроблено схему попереднього підсилювача пристрою;

6) для реалізації попереднього підсилювача сигналу фотоприймача застосуємо широко поширений операційний підсилювач LM358;

7) у роботі було досліджено можливий варіант створення більш ефективної системи випромінювач – реєстрація на основі SiPM фотодетекторів, що керуються мікросхемою SPIROC;

8) розраховані показники параметрів блоку попереднього підсилювача пристрою добре узгоджуються із результатами моделювання в середовищі Proteus.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках мікроелектронних оптичних і біологічних інформаційних систем;

2) макетний варіант системи може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

Перелік посилань

1. P. O. of the E. Union, Advances in solar ultraviolet spectroradiometry. Publications Office of the European Union, 1997,

2.V. D. Ryzhikov et al., “A Portable Meter of the Ultraviolet Radiation in Biologically Active Ranges of Solar Radiation Based on the ZnSe Semiconductor,” Telecommun. Radio Eng., vol. 55, no. 5, p. 9, 2001, DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v55.i5.130.

3. T. V. Blank and Y. A. Gol’dberg, “Semiconductor photoelectric converters for the ultraviolet region of the spectrum,” Semiconductors, vol. 37, no. 9, pp. 999–1030, Sep. 2003.

4. R. Anaeva, A. Berkeliev, and E. Al., “UF-fotopriemnik na osnovepoverkhnostno-bar`ernoj struktury` Ga1-xAlxP (Xs=0,5+0,1) UV photodetector based on the Ga1-xAlxP surface-barrier structure (Xs=0.5+0.1),” FTP, vol. 15, no. 6, pp. 1122–1125, 1981.

5. S. Y. Pavelets, Y. N. Bobrenko, T. V. Semikina, B. S. Atdaev, G. I. Sheremetova, and M. V. Yaroshenko, “Ultraviolet Sensors Based on ZnxCd1 – xS Solid Solutions,” Ukr. J. Phys., vol. 64, no. 4, p. 308.

6.S. Y. Pavelets, Y. N. Bobrenko, T. V. Semikina, G. I. Sheremetova, and M. V. Yaroshenko, “Photovoltaic converters of ultraviolet radiation with gradedgap layers based on CdxZn1-xS solid solutions,” Optoelectron. Semicond. Technol., vol. 49, pp. 69–73, 2014.

7. Y. Bobrenko,“Thin-film solar converters based on the p-Cu1.8S/n-CdTe surface-barrier structure,” Semicond. physics, quantum Electron. Optoelectron., vol. 18, no. 1, pp. 101–105.

8.Y. N. Bobrenko, S. Y. Pavelets, A. M. Pavelets, T. V. Semikina, and N. V. Yaroshenko, “Surface-barrier photoconverters with graded-gap layers in the space-charge region,” Semiconductors, vol. 49, no. 4, pp. 519–523, Apr. 2015.

9. S. Y. Pavelets, “Effective polycrystalline sensor of ultraviolet radiation,” Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron., vol. 20, no. 3, pp. 335–339, Oct. 2017.

10 V. Dorogan, T. Vieru, M. Manole, R. Savastru, and T. Zisu, “Ultraviolet radiation sensors on the basis of semiconductors,” 2001, p. 858.

11.V. D. Ryzhikov et al., “Professional and household dosimeters for UV biologically active ranges of solar radiation on the basis of ZnSe semiconductor-metal nanostructures,” 2010, p.

12. V. K. Butenko, Y. G. Dobrovolsky, B. G. Shabashkevich, and V. G. Yuriev, “Dosimeters for energy illumination of ultraviolet radiation of the Tensor type,” Technol. Des. Electron. Equip., no. 5, pp. 43–45, 2006.

13. W. Peng, Y. He, C. Wen, and K. Ma, “Surface acoustic wave ultraviolet detector based on zinc oxide nanowire sensing layer,” Sensors Actuators A Phys., vol. 184, pp. 34–40, Sep. 2012,

14. V. Chivukula, D. Ciplys, M. Shur, and P. Dutta, “ZnO nanoparticle surface acoustic wave UV sensor,” Appl. Phys. Lett., vol. 96, no. 23, p. 233512, Jun. 2010,

15. W.-C. Tsai, H. Kao, K.-H. Liao, Y.-H. Liu, T.-P. Lin, and E. S. Jeng, “Room temperature fabrication of ZnO/ST-cut quartz SAW UV photodetector with small temperature coefficient,” Opt. Express, vol. 23, no. 3, p. 2187, Feb. 2015,

16. S. Kumar, G.-H. Kim, K. Sreenivas, and R. P. Tandon, “ZnO based surface acoustic wave ultraviolet photo sensor,” J. Electroceramics, vol. 22, no. 1–3, pp. 198–202, Feb. 2009,

17. W. Wen-Bo et al., “Transparent ZnO/glass surface acoustic wave based high performance ultraviolet light sensors*,” Chinese Phys. vol. 24, no. 5, p. 057701, 2015

18. A. I. Sidorov, Sensory photonics. Textbook. St. Petersburg: University, ITMO, 2019.

19. V. D. Dubrovin, A. I. Ignatiev, N. V. Nikonorov, A. I. Sidorov, T. A. Shakhverdov, and D. S. Agafonova, “Luminescence of silver molecular clusters in photo-thermo-refractive glasses,” Opt. Mater. (Amst)., vol. 36, no. 4, pp. 753–759, Feb. 2014.

20. “1pcs UV Photodiode 220 to 370nm Ultraviolet Metal Shell Photodiode: Amazon.com: Industrial & Scientific.” URL: http : // https://www.amazon.com/Photodiode-370nUltravioleMetaShell/dp/B07VVHPNFX. / (дата звернення: 10.01.2025).

21. Аршан Є. В., Бондаренко Р. І., Калачников О. В., Сіднєв О. Б., Семікіна Т. В. Вимірювач потужності ультрафіолетового випромінювання. Microsyst ElectronAcoust, 2020, vol. 25, №. 2 pp. 44-48.

22. “Analog UV Sensor V2.” веб-сайт. URL: http : // www.trossenrobotics.com/analog-uv-sensor-v2.aspx. / (дата звернення: 10.01.2025).

23. TENMARS TM-218 веб-сайт. URL: http : // https://simvolt.ua/o-nas// (дата звернення: 10.01.2025).

24. DELTA OHM HD2302.0 веб-сайт. URL:https://promsystem.com.ua (дата звернення: 10.01.2025).

25. Інститут фізики НАНУ веб-сайт http://www.iop.kiev.ua/ua/development// (дата звернення: 10.01.2025).

26. ДРГС-12 лампа, ртутно-гелієва218 веб-сайт. URL: http : // https://svitlomag.com(дата звернення: 10.01.2025).

27. веб-сайт URL: http // http://www.hamamatsu.com//index.html(дата звернення: 10.01.2025).

28. веб-сайт URL: http // http://www.sglux.com(дата звернення: 10.01.2025).

29. Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамола О. Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Підручник для студентів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Львів : “Новий Світ – 2000”; “Магнолія плюс”. 2003. 208 с.

30. Гуржій А.М., Самсонов В.В., Поваротнюк Н.І. Імпульсна та цифрова техніка: Підручник. – Харків : Компанія “Сміт”, 2005. 424 с.

31. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В. Кісельов Є. М. Мікропроцесорна техніка // Методичні вказівки до самостійної роботи та виконання контрольної роботи. Запоріжжя : ЗДІА. 2014. С.15-29.

32. Danilov, M. Novel photo-detectors and photodetector systems / M. Danilov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2009. Vol. A604. P. 183-189.

33. SPIROC (SiPM Integrated Read-Out Chip): dedicated very front-end electronics for an ILC prototype hadronic calorimeter with SiPM readout / M. Bouchel [et al.] // Topical workshop on electronics for particle physics 2010, 20–24 September 2010, Aachen, Germany.

34. Antognetti, P.; Massobrio, G.: Semiconductor device Modeling with SPICE. New York: McGrawwHill, 1988.

35. Antognetti, P.; Massobrio, G.: Semiconductor device Modeling with SPICE. New York: McGrawwHill, 1988.

36. Атаманчук П. С., Мендерецький В. В., Панчук О. П., Білик Р. М. Охорона праці в галузі : навч. посіб. Київ : ЦУЛ, 2017. 322 с. URL: http://ebooks.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi56/0041366.pdf.

37. Бєлоконь К. В., Куріс Ю. В., Манідіна Є. А. Інформаційні технології в охороні праці : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 263 "Цивільна безпека" ден. та заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 160 с. URL: http://ebooks.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/2018/f359035.pdf.

38. Бєлоконь К. В., Рижков В. Г., Куріс Ю. В., Манідіна Є. А. Основи охорони праці : навч.-метод. посіб. Запорііжжя : ЗДІА, 2015. 180 с. URL http://ebooks.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/do2018/f356296.pdf.

39. Бєлоконь К. В., Суржицька Л. А., Цимбал В. А., Карнаух А. А. Цивільний захист : конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 69 с. URL: http://files.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/do2018/f356329.pdf.

40. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В.Г. Рижков – Запоріжжя, 2005. – 43 с.

41. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В.Г. Рижков. – Запоріжжя, 2005. – 24 с.