

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ЗАПОРІЗЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-
НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

ім. Ю.М. Потебні

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

на тему «Розробка електричної схеми реєстратора інтенсивності
плоскополяризованого випромінювання»

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи МН-18-1бд
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва освітньої програми)

Д.М. Кравченко

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри МЕЕІС, доцент, к.ф.-м.н.,
Світанько М.В.

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

Рецензент завідувач кафедри електротехніки та
енергоефективності ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ,
професор, д.т.н., Коваленко В.Л.

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

Запоріжжя

2022

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

Освітня програма 153 Мікро- та наносистемна техніка
(шифр, назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Т.В. Критська

«18» червня 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВАЧІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Кравченко Діані Максимівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Розробка електричної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Світанько М.В., к.ф.-м.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “17”січня 2022 року № 90-с

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра 18 червня 2022р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра вимірювач потужності ФН; напруга живлення 220 В; поляризатор турмаліновий; діапазон довжин хвиль випромінювання: 0,4 мкм – 0,7 мкм вимірювань

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристики та системи дослідження поляризованого випромінювання 2. Розробка електричної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання

3. Охорона праці та техногенна безпека при розробці реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання.

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

1. Структурна схема реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання 2. Схема електрична принципова перетворювача напруги

реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання 3. Моделювання роботи реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Світанько М.В., доцент каф. МЕЕІС	06.09.2021	30.11.2021
II	Світанько М.В., доцент каф. МЕЕІС	06.09.2021	30.04.2022
III	Світанько М.В., доцент каф. МЕЕІС	06.09.2021	30.03.2022

7. Дата видачі завдання 06.09.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1.	Літературний огляд	06.09.2021 – 30.11.2021	
2.	Розрахункова частина	18.01.2022 – 30.04.2022	
3.	Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки	18.01.2022 – 30.03.2022	
4.	Розробка графічної частини роботи	02.05.2022 – 30.05.2022	
5.	Оформлення пояснювальної записки	02.05.2022 – 30.05.2022	
6.	Нормоконтроль	06.01.2022 – 10.06.2022	

Студент _____ Кравченко Д.М.
(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 52 сторінок, 20 рисунків, 3 таблиці, 24 посилань на літературу.

Об'єкт дослідження – мікроелектронна система для дослідження опто-схематичних інформаційних каналів.

Мета роботи – розробка електричної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання.

Задачі роботи: виконати математичне та схемотехнічне моделювання функціональних блоків реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання.

Методика досліджень – моделювання приладу за допомогою програмного забезпечення PROTEUS, EWB.

Короткий виклад результатів досліджень – виконано розрахунки параметрів системи реєстрації плоскополяризованого випромінювання, проведено схемотехнічне моделювання роботи пристрою.

Результати впроваджень – система пройшла апробацію на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження в оптичній схемотехніці.

ПОЛЯРИЗАТОР, АНАЛІЗАТОР, ІНТЕНСИВНІСТЬ ВИПРОМІНЮВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, PROTEUS.

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем, з 06.09.2021 р. по 18.06.2022 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	6
1 Характеристики та системи дослідження поляризованого випромінювання.....	7
1.1 Загальні властивості поляризованого випромінювання	7
1.2 Класичні методи дослідження властивостей плоскополяризованого випромінювання	10
1.3 Електрооптичні методи отримання та дослідження плоскополяризованого випромінювання	14
1.4 Системи реєстрації параметрів плоскополяризованого випромінювання.....	16
2. Розробка електричної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання	19
2.1 Розробка структурної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання	19
2.2 Фотодіодна схема реєстрації плоскополяризованого випромінювання	21
2.2.1 Схеми каскадів фотодіодного реєстратора	21
2.2.2 Енергетичний розрахунок фотодіодного реєстратора плоскополяризованого випромінювання	23
2.3 Схема реєстрації плоскополяризованого випромінювання на фотоелектронному помножувачі	24
2.3.1 Блок живлення реєструючого каналу	25
2.3.2 Драйвер керування польовим транзистором	28
2.4 Перетворювач рівня сигналу послідовного інтерфейсу RS-232/RS-485.....	31
2.5 Моделювання функціональних блоків реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання.....	33

2.5.1 Моделювання роботи фотодіодного реєстратора плоскополяризованого випромінювання.....	33
2.5.2 Моделювання драйверу керування польовим транзистором.....	37
3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання	40
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	40
3.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	41
3.3 Виробнича санітарія.....	41
3.4 Електробезпека.....	43
3.5 Пожежна та техногенна безпека.....	44
3.6 Норми вмісту шкідливих речовин при виробництві друкованих плат пристрою реєстрації плоскополяризованого випромінювання	45
Висновки та рекомендації.....	49
Перелік посилань.....	50

Вступ

Поляризоване світло знаходить широке застосування в наукових дослідженнях і в техніці. У багатьох випадках доводиться плавно регулювати освітлення того або іншого об'єкта. Поставивши перед джерелом світла поляризатор і аналізатор, можна, поволі повертаючи аналізатор, плавно змінювати освітлення об'єкта (від максимального до повної темряви) [1].

Поляризаційні фільтри застосовують для гасіння дзеркальних відблисків, наприклад при фотографуванні картин, скляних та порцелянових виробів, поверхні води. Якщо вмістити поляроїд між джерелом світла й дзеркальною поверхнею, то відблиски можна зовсім згасити. Також цікавим ефектом поляризаційного фільтра є посилення контрасту й насиченості кольорів на фотографіях, зроблених на яскравому сонці [1].

У будівельній і машинобудівній техніці явище поляризації застосовується для вивчення напружень, що виникають в окремих вузлах споруд і машин. Це явище застосовується і з декоративною метою (наприклад, в облаштуванні вітрин, під час театральних постановок, тощо), у геології й деяких інших галузях науки й техніки [1].

Особливо важливою проблемою для практичного використання поляризованого випромінювання є досить висока точність вимірювання інтенсивності плоскополяризованого світла, так як воно є домінуючим чинником із усього спектру електромагнітного випромінювання оптичного діапазону.

Наявність ефективної прицезійної апаратури для вимірювання оптичних показників завжди була досить актуальною темою у галузі інформаційних систем та у сучасному приладобудуванні.

1. Характеристики та системи дослідження поляризованного випромінювання

1.1 Загальні властивості поляризованного випромінювання

Електромагнітна хвиля має дві складові: вектори напруженості \vec{E} і \vec{H} . Вектор \vec{E} завжди буде знаходитися в якійсь одній площині (рисунок 1.1), наприклад, EOX [1-3]

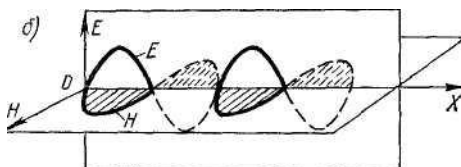


Рисунок 1.1 – Складові електромагнітної хвилі

Таке світло надто слабе, щоб на нього могло відреагувати наше око. Виявляється, що повинно бути не менше 90 таких актів випромінювання в одну секунду, щоб людина помітила світло. Звичайна річ, що світло, яким ми в житті користуємось, ще складніше. У такого світла, внаслідок хаотичного руху елементарних джерел світла (електронів, атомів, молекул) присутні багатосупеневі напрями коливань (площин коливань) векторів напруженості електричного поля.

Випромінювання, в якому коливання вектора E відбуваються лише в одному напрямку, називається поляризованим (наприклад, випромінювання електрона в поодинокому акті). Площина, в якій розташовані вектор E та вектор r , що визначає напрямок поширення випромінювання (тобто

світловий промінь), називається площиною поляризації. На рисунку 1.2 зображена площина поляризації A , а на рис 3б наведені умовні позначення поляризованого світла у взаємно-перпендикулярних площинах [1-3].

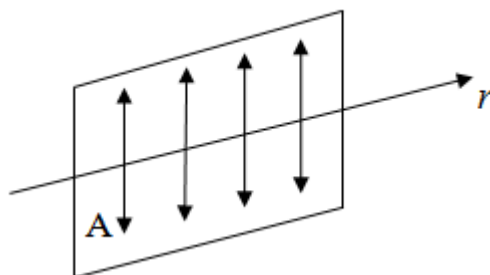


Рисунок 1.2 – Площина поляризації

Розглядають наступні види поляризації:

- лінійна або площинна;
- кругова;
- еліптична.

У розроблюваному пристрої буде застосовуватись модель лінійної поляризації. Світлові хвилі є поперечними. Поляризуватися можуть лише поперечні хвилі.

Світло називається плоскополяризованим або лінійно-поляризованим, якщо в ньому відбуваються коливання \vec{E} тільки в одному напрямі, перпендикулярному до напрямку поширення хвилі. На межі розділення двох середовищ, наприклад, діелектрика і повітря, частина світлових променів відбивається, а частина заломлюється. З'ясовано, що відбитий промінь і заломлений є частково плоскополяризованими. Причому, у відбитому промені коливання (вектора E) відбуваються переважно перпендикулярно до площини падіння, а в заломленому – в площині падіння. При певному куті падіння променя природного світла на границю розділення середовищ, відбитий промінь виявляється повністю поляризованим [1-3].

Якщо кут падіння світлового променя на межу розділення середовищ рівний поляризаційному куту α_B (куту Брюстера), то відбитий промінь буде повністю лінійно поляризований, а заломлений тільки частково поляризований (рисунок 1.3) [1-3]:

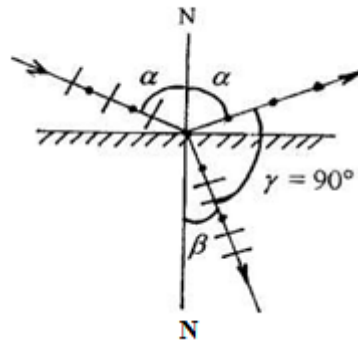


Рисунок 1.3 - Поляризація світла при його відбиванні під кутом Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n \quad (1.1),$$

де, α_B – кут Брюстера; n – показник заломлення середовища.

При проходженні світла крізь кристали (за винятком тих, котрі належать до кубічної системи) світловий промінь роз'єднується на два промені, які поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах (рисунок 1.4). Це явище одержало назву подвійного променезаломлення. Для одного з цих двох променів не виконуються закони заломлення світла (він відхиляється від напрямку падаючого променя навіть при перпендикулярному падінні на передню грань кристалла) і тому він називається **незвичайним e** . Другий промінь, який задовольняє законам заломлення, зветься **звичайним o** . Подвійне променезаломлення пояснюють різними швидкостями поширення звичайних (v_o) та незвичайних (v_e) променів або різними показниками заломлення n_o і n_e [1-3].

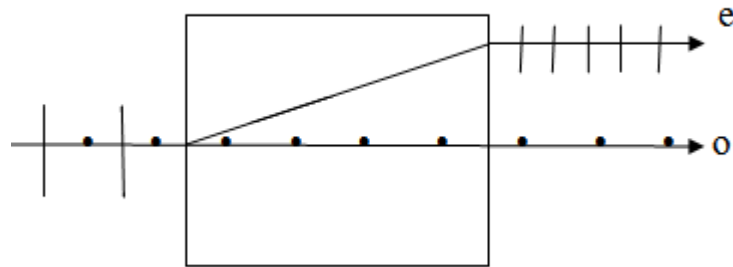


Рисунок 1.4 - Подвійне променезаломлення в кристалі

У кристалах існує напрямок, вздовж якого звичайний та незвичайний промені поширюються з однаковими швидкостями ($v_e = v_o$), просторово не розділяючись. Цей напрямок називається оптичною віссю кристала. Найбільша різниця швидкостей звичайного та незвичайного променів спостерігається в напрямку, перпендикулярному оптичній осі кристала. Площина в кристалі, яка проходить крізь оптичну вісь та падаючий промінь називається головною. У звичайному промені вектор E коливається перпендикулярно головній площині, а у незвичайному – в головній площині.

1.2 Класичні методи дослідження властивостей плоскополяризованого випромінювання

У деяких кристалах, таких як турмалін, герпатит, один з променів при подвійному промене-заломленні поглинається сильніше за інший. Так, наприклад, в турмаліні звичайний промінь поглинається практично повністю на шляху довжиною 1мм, а в герпатиті – на шляху 0,1 мм. Кристали герпатиту наносять на целулоїдну плівку, орієнтуючи їх певним чином. Такий поляризатор називається **поляроїдом**. Слід визначити, що і турмалін і герпатит характеризується селективним поглинанням не лише у відношенні променів з різними площинами поляризації, але й з різними

довжинами хвиль. Саме тому поляризоване світло, що виходить з кристала, виявляється забарвленим, причому в різних напрямках забарвлення різне. Це явище називається дихроїзмом. Таким чином, поляризатори пропускають промені з певною площиною поляризації, яку назовемо площиною поляризатора, і затримують промені з коливанням E , які відбиваються перпендикулярно до площини поляризатора.

Поляризатор можна використовувати для аналізу поляризованого світла, в цьому випадку його називають **аналізатором**, або для отримання поляризованого світла і тоді його називають **поляризатором** [1-3].

При проходженні плоскополяризованого світла крізь деякі речовини спостерігається обертання площини поляризації. Такі речовини називаються оптично активними. До них відносять деякі кристали (наприклад, кварц), рідини (нікотин, розчин цукру, скипідар), розчини біомолекул (білків, нуклеїнових кислот, полісахаридів).

Було встановлено, що кут обертання площини поляризації φ оптично активною речовиною становить [4,5]:

$$\varphi = \varphi_0 l \quad (1.2)$$

де, l – відстань, яку світло проходить в оптично активній речовині; φ_0 – стала обертання, або питома обертання.

Для розчинів було встановлено такий закон [4,5]:

$$\varphi = [\varphi_0] C l \quad (1.3)$$

де, C – концентрація оптично активної речовини; l – товщина шару розчину (довжина кювети).

Питома обертання $[\varphi_0]$ для даної оптичної системи залежить від температури, властивостей розчинника та довжини світлої хвилі.

Залежність $[\varphi_0]$ від довжини хвилі визначається законом Біо [4,5]:

$$[\varphi_0] \sim 1/\lambda^2, \quad \text{або} \quad \varphi = \frac{a}{\lambda^2} \quad (1.4)$$

де a – постійна, яка залежить від природи речовини.

Застосовуючи різні світлофільтри, можна дослідити залежність $[\varphi_0]$ від λ . Ця залежність називається дисперсією оптичного обертання (ДОО). Явище ДОО використовується для дослідження структури білків та нуклеїнових кислот, оскільки більшість біомолекул вміщують оптично активні центри.

Прилади, які призначені для дослідження ДОО, називаються спектрополяриметрами. Молекули оптично активних речовин належать до класу оптичних ізомерів. Такі молекули не мають дзеркальної симетрії. При поширенні променя крізь речовину напрямок коливань вектора E буде поступово повертатися дедалі більше та більше. Величина повороту площини поляризації розчином оптично активної речовини виявиться тим більшою, чим більша кількість оптично активних молекул зустрінеться на шляху цього променя, тобто чим більша концентрація розчину і товщина його шару [4,5].

Явище повертання площини поляризації світла оптично активними речовинами лежить в основі поляриметрії або сахариметрії – досить чутливого методу визначення концентрації розчину оптично активних речовин.

Прилади, які дозволяють вимірювати кут повороту площини поляризації світла оптично активною речовиною, називаються **поляриметрами**. Поляриметри, призначені для визначення концентрації цукру в розчині, отримали назву **сахариметри** [4,5].

Для розчинів активних речовин кут φ повороту площини поляризації пропорційний довжині l шляху світлового поляризованого променя в досліджуваному розчині, а також його концентрації C [4,5]:

$$\varphi = \varphi_0 C l \quad (1.5)$$

Коефіцієнт пропорційності φ_0 називається питомим кутом обертання площини поляризації або питомим обертанням і характеризує оптичну активність речовини.

Питоме обертання чисельно дорівнює куту, на який повертається площина поляризації монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 589$ нм при його

проходженні через шар розчину оптично активної речовини товщиною $l = 1$ дм, що має концентрацію $C = 1$ г/100см³ при температурі 20⁰С. Наприклад, для розчину цукру $\varphi_0 = 0,665$ град/(дм г/100см³). Отже, вимірявши з допомогою поляриметра кут φ повороту площини поляризації світла досліджуваним розчином оптично активної речовини, за відомими l і φ_0 можна визначити концентрацію розчину за формулою [4,5]:

$$C = \frac{\varphi}{\varphi_0 l} \quad (1.6)$$

Фізична суть поляриметричного методу визначення концентрації розчину оптично активних речовин полягає в наступному: світло від джерела S поляризується за допомогою поляризатора P (рисунок 1.5) [4,5].

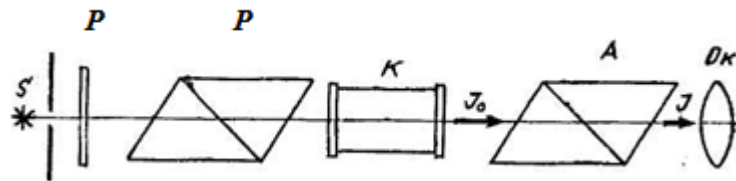


Рисунок 1.5 – Схема поляриметричного методу визначення концентрації розчину оптично активних речовин

При відсутності кювети K з досліджуваним розчином поляризований промінь інтенсивністю I_0 попадає на аналізатор A (на практиці дуже часто в ролі поляризатора і аналізатора використовуються призми Ніколя). Інтенсивність I світлової хвилі, яка пройшла через аналізатор за законом Малюса: якщо плоскополяризоване світло, що виходить з кювети з оптично активною речовиною, попадає на **аналізатор**, то останній пропускає через себе лише частину його. Залежність між пропущеною через аналізатор інтенсивністю I світла і падаючою на нього інтенсивністю I_0 запишеться так [4,5]:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (1.7)$$

Де, α – кут між головними площинами поляризатора і аналізатора.

Повертаючи аналізатор відносно поляризованого світлового променя як осі обертання, на певний кут α можна змінити інтенсивність світла, що вийшло із аналізатора, а, отже, і освітленість поля зору окуляра Ок. При $\alpha = \pi/2$ поляризований промінь не попадає в поле зору окуляра. В цьому випадку прийнято говорити, що аналізатор встановлений на темряву. При розташуванні між поляризатором і аналізатором кювети з розчином оптично активної речовини поле зору посвітлішає внаслідок повороту цієї речовиною площини поляризації світла на деякий кут, що зумовлює часткове пропускання світла через аналізатор. Очевидно, що на такий же кут потрібно повернути аналізатор, щоб знову встановити його на темряву. На вимірюванні цього кута і базується поляриметричний метод визначення концентрації розчинів оптично активних речовин [4,5].

Для вказаних вище досліджень виготовляють цілий ряд спеціальних приладів, таких, як: поляриметр, сахариметр, поляризаційний мікроскоп, поляризаційний спектрофотометр та інші [4,5].

1.3 Електрооптичні методи отримання та дослідження плоскополяризованого випромінювання

У техніці оптичних систем передачі використовують зовнішню і пряму модуляцію електромагнітних випромінювань оптичного діапазону. Зовнішня модуляція заснована на зміні параметрів випромінювання (інтенсивності, поляризації і інших) при проходженні світлового променя через яке-небудь середовище (рисунок 1.6). Зовнішня модуляція заснована на наступних фізичних явищах [6].

Електрооптичний ефект – зміна параметрів показника заломлення деяких матеріалів під дією електричного поля, створюваного джерелом модулюючого сигналу [7,8].

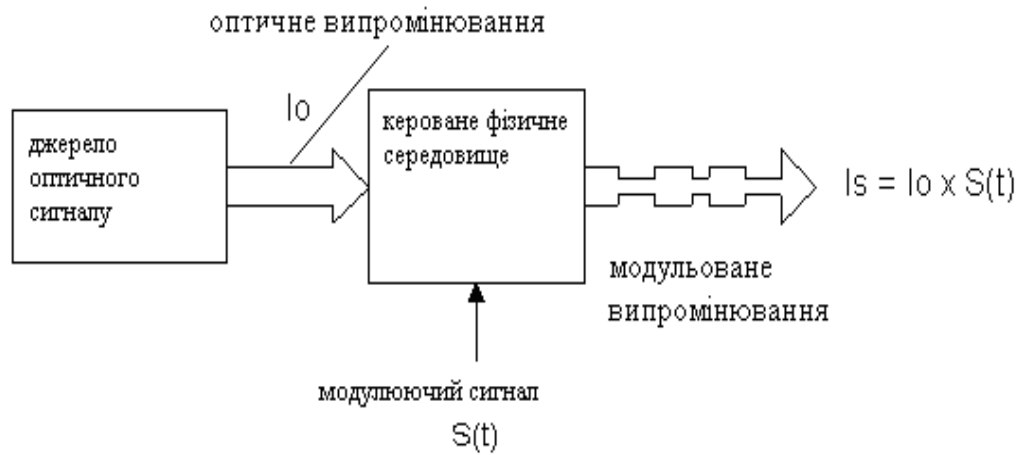


Рисунок 1.6 - Принцип зовнішньої модуляції

Магнітооптичний ефект Фарадея – зміна параметрів показника заломлення деяких матеріалів під дією магнітного поля, створюваного джерелом модулюючого сигналу [7,8].

Пружньооптичний ефект – зміна параметрів показника заломлення деяких матеріалів під дією акустичної (або механічної) хвилі, що створюється джерелом модулюючого сигналу (ефект Брега, ефект Рамана – Ната).

Ефект електроабсорбції – зміна параметрів прозорості деяких матеріалів під дією електричного поля, створюваного джерелом модулюючого сигналу.

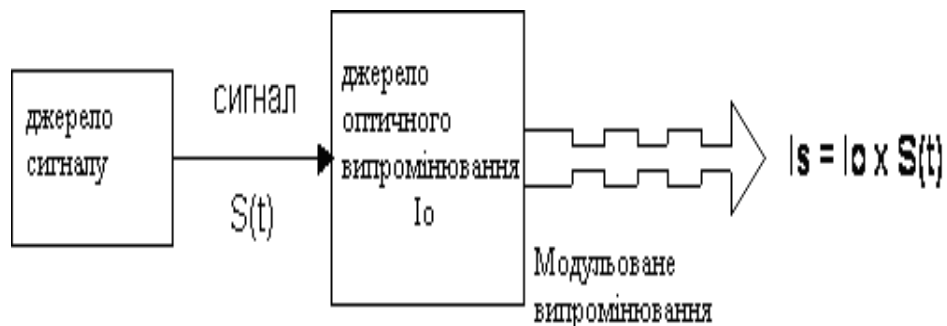


Рисунок 1.7 - Принцип прямої модуляції

Найбільш широке вживання в модуляторах оптичних передавачів отримали електрооптичний і електроабсорбційний ефекти. Модулятори на їх основі називаються ЕОМ і АБОМ. Ці модулятори відрізняються високою швидкістю і отримали використання у високошвидкісних системах передачі (від 2,5 Гбіт/с до 100 Гбіт/с і вище). Але, матеріали, що використовуються у АБОМ мають обмежений строк використання із-за процесів деградації, що виникають унаслідок руйнівної дії потужного (лазерного) випромінювання.

Пряма модуляція, інколи її називають безпосередньою, передбачає дію модулюючого сигналу на джерело оптичного випромінювання (рисунок 1.7). Пряма модуляція відрізняється відносною простотою і реалізується в інтегральних схемах, що важко реалізувати при зовнішньої модуляції.

Проте використання прямої модуляції має частотну (швидкісну) межу - близько 5 ГГц (2,5 - 5,0 Гбіт/с) [9]. Це зумовлено кінцевим часом життя носіїв зарядів і фотонів в середовищах перетворення (активному шарі лазерного діода).

1.4 Системи реєстрації параметрів плоскополяризованого випромінювання

На протязі останніх десяти років схем реєстрації плоскополяризованого випромінювання мали таку загальну концепцію: пристрій реєстрації в основному складався з чотирьох блоків [10-12]: об'єктива, вузла призми, вузла фотоприймачів, електронного блока. Блок електроніки разом з блоком фотоприймачів призначений для перетворення двох складових поляризованого світлового потоку від оптичного блоку у відповідні електричні сигнали у вигляді послідовностей одноелектронних імпульсів, їх подальшого підсилення, реєстрації та перетворення його у цифрову форму (ТТЛ-сигнал), придатну для сприйняття сигналу засобами обчислювальної

техніки з метою отримання результатів вимірювань, подальшої програмної обробки даних, їх накопичення та зберігання. Поляризоване світло поступає на вхід оптичної частини, яка представлена у вигляді об'єктива, діафрагми, світлофільтра та поляризаційного елемента, де розкладається на два пучка світла, які, у свою чергу, надходять на фотодіоди, звідти – на підсилювачі. Блок живлення з'єднано з фотодіодами, термодатчиками та підсилювачами. До фотодіодів прикріплено термодатчики. Вихідні сигнали з підсилювачів та термодатчиків поступають в регістри і через комутатор направляються у процесор та пам'ять, також до комутатора приєднано таймер.

На рисунку 1.8 представлено систему реєстрації та обробки плоскополяризованого ультрафіолетового (УФ) випромінювання [10-12].

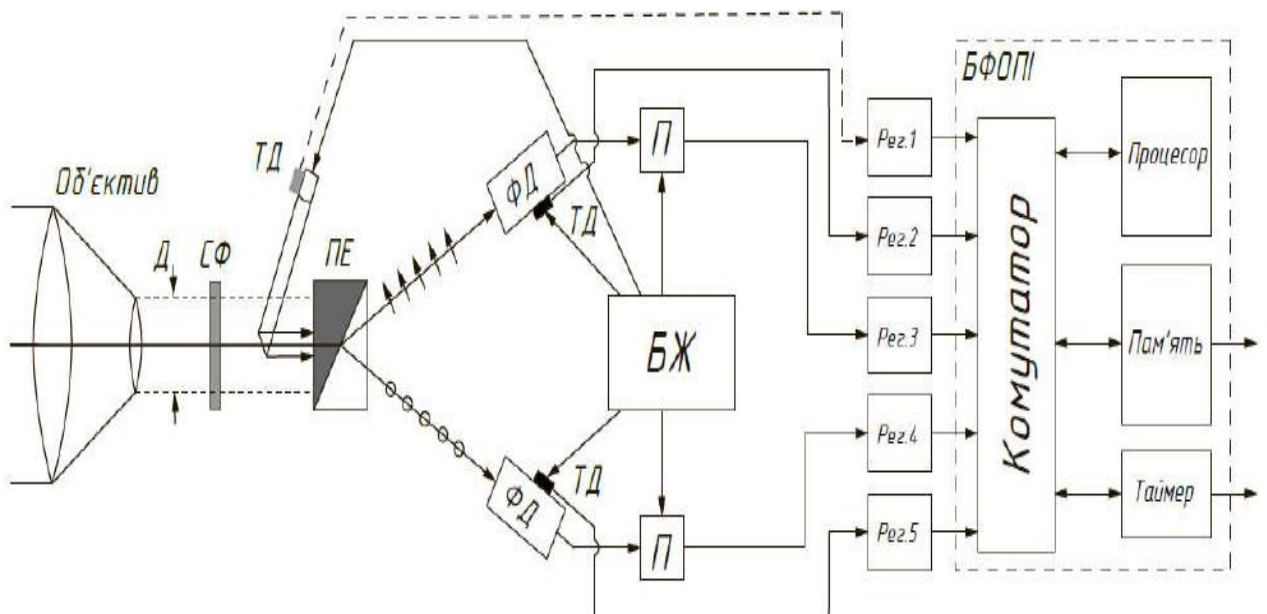


Рисунок 1.8 - Система реєстрації та обробки плоскополяризованого УФ випромінювання: Д – діафрагма, СФ – світлофільтри, ПЕ – поляризаційний елемент, ТД – термодатчики, ФЕП – фотоелектронні помножувачі, БВН – блок високої напруги, П – підсилювач, ДІ – дискримінатори імпульсів,

БЖ – блок живлення, Рег. – реєстр, БФОП – блок формування, обробки та передачі інформації.

Як видно із проведеного огляду стану проблеми реєстрації плоскополяризованого випромінювання, існуючі класичні системи передбачають використання складного та дорогого обладнання.

Системи, які розробляються останнім часом дещо превантажені додатковими функціональними блоками, що ускладнює їх налагодження та керування. Також, у літературних джерелах майже відсутні приклади схемотехнічної реалізації таких систем.

Тому, метою роботи є розробка електричної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- 1) обрати оптимальну модель формування плоскополяризованого випромінювання для моделювання роботи пристрою;
- 2) розробити структурну схему пристрою;
- 3) провести розрахунок технічних показників;
- 4) провести дослідження по удосконаленню схематичної бази пристрою та виконати моделювання його окремих блоків;
- 5) розробити заходи по охороні праці та безпеки життєдіяльності при розробці пристрою.

2 Розробка електричної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання

2.1 Розробка структурної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання

Спираючись на розглянуті у попередньому розділі моделі поляризації випромінювання, в роботі пропонується схема, заснована на явищі двопронезаломлення у нелінійних кристалах. Така система має значну ортогональність електричних складових випромінювання за рахунок властостей самого середовища. У такій схемі за рахунок розділення світлового потоку можливо не використовувати поляризатор на вході системи, що значно спрощує оптичну схему пристрою та зменшує його вартість.

На рисунку 2.1 представлено структурну схему розроблюваного пристрою.

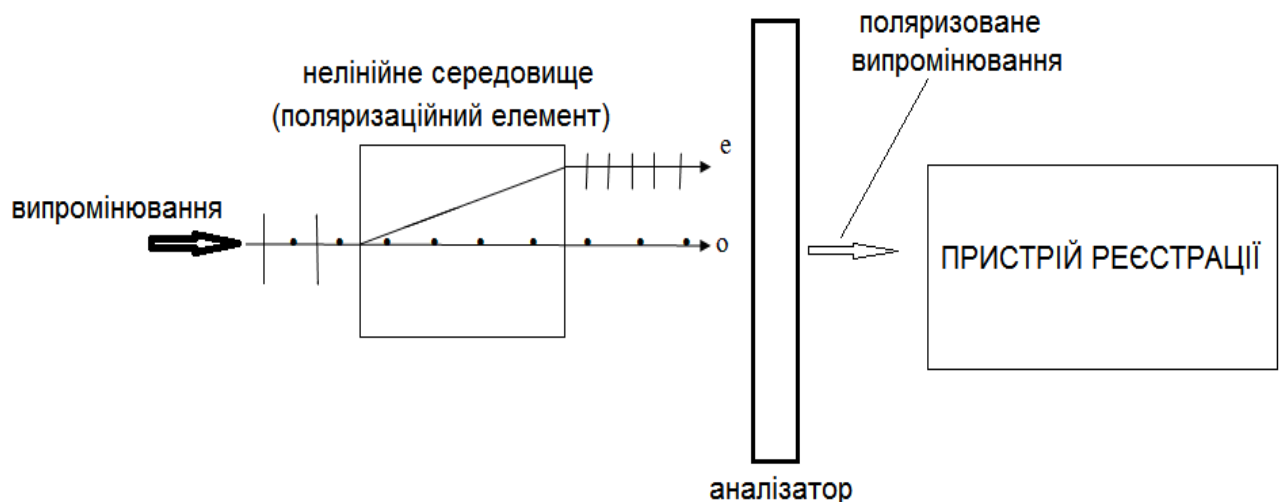


Рисунок 2.1 – Структурна схема реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання

У якості нелінійного середовища було обрано матеріали RbTiOPO_4 (RTP) та $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO), як найбільш привабливі за своїми фізико-

оптичними характеристиками. Величина двопронезаломлення цих матеріалів практично порівняна із двопронезаломленням для таких кристалів, як KTiOPO_4 (КТР) та KN_2PO_4 (KDP), але вони мають більший поріг оптичного руйнування та є стійкими до вологого середовища [13-16].

Смуга пропускання ВВО складає від 190 нм до 3200 нм і не має характерних ліній поглинання [13-16].

Вимірювання показників заломлення проводилися за методом найменшого відхилення на гоніометрі ГС-5. Для вимірювань використовувалася призма з робочими поверхнями розміром $3 \times 5 \text{ мм}^2$ і кутом при вершині $\sim 30^\circ$, зорієнтована таким чином, що в положенні найменшого відхилення хід променів був спрямований вздовж кристалооптичної вісі Х. Вимірювання проводились в інтервалі довжин хвиль від 0,266 мкм до 1,064 мкм. Як джерело випромінювання використовувався He-Ne лазер ($\lambda = 0,633$ мкм), а також АГ:Nd³⁺ лазер і його гармоніки.

Результати вимірювань показників заломлення представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Показники заломлення

λ , мкм	n_o	n_e
0,266	1,7585	1,6129
0,532	1,6740	1,5551
0,633	1,6674	1,5501
1,064	1,6553	1,5392

За значенням показників заломлення методом найменших квадратів розраховані коефіцієнти рівняння Селмейера [15]:

$$n^2 = A + \frac{B}{(\lambda^2 - C)} - D\lambda^2, \quad (2.1)$$

де n – показник заломлення; A , B , C і D – коефіцієнти; λ - довжина хвилі.

Результати розрахунку коефіцієнтів рівняння Селмейєра представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Коефіцієнти рівняння Селмейєра

	A	B	C	D
n_0	2,7360	0,01877	0,01823	0,01353
n_e	2,3752	0,01223	0,01668	0,01517

Рівняння Селмейєра дає можливість побудувати залежність показників заломлення від довжини хвилі випромінювання у широкому спектральному діапазоні.

У якості аналізатора використовується кристал турмаліну. Інтенсивність випромінювання, яке проходить через аналізатор, визначається за допомогою закону Малюса: залежність між пропущеною через аналізатор інтенсивністю I світла і падаючою на нього інтенсивністю I_0 запишеться так [4,5]:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (2.2)$$

Де, α – кут між головними площинами поляризатора і аналізатора.

2.2 Фотодіодна схема реєстрації плоскополяризованого випромінювання

2.2.1 Схеми каскадів фотодіодного реєстратора

Для того, щоб зареєструвати оптичний сигнал необхідно використати фотоприймальний пристрій (ФП). Він включає лінзу, оптичний фільтр, корпус, фотодіод, схему посилення сигналу, компаратор [17].

У схемі використовується фотодіод КОФ137В, який має наступні характеристики:

- 1) чутливість: 0,75 А/Вт;

2) темновий струм: 10 нА.

Підсилювач представляє собою каскад із трьох підсилювачів, виконаних на операційному підсилювачі (ОП) ADA4817-1. Перший каскад є перетворювачем струм-напруга з коефіцієнтом посилення 2400. Другий і третій каскади - це однакові підсилювачі з коефіцієнтом посилення 10.

На рисунках 2.2 та 2.3 представлені електричні схеми першого та другого (третього) каскадів підсилення фотоприймального пристрою відповідно.

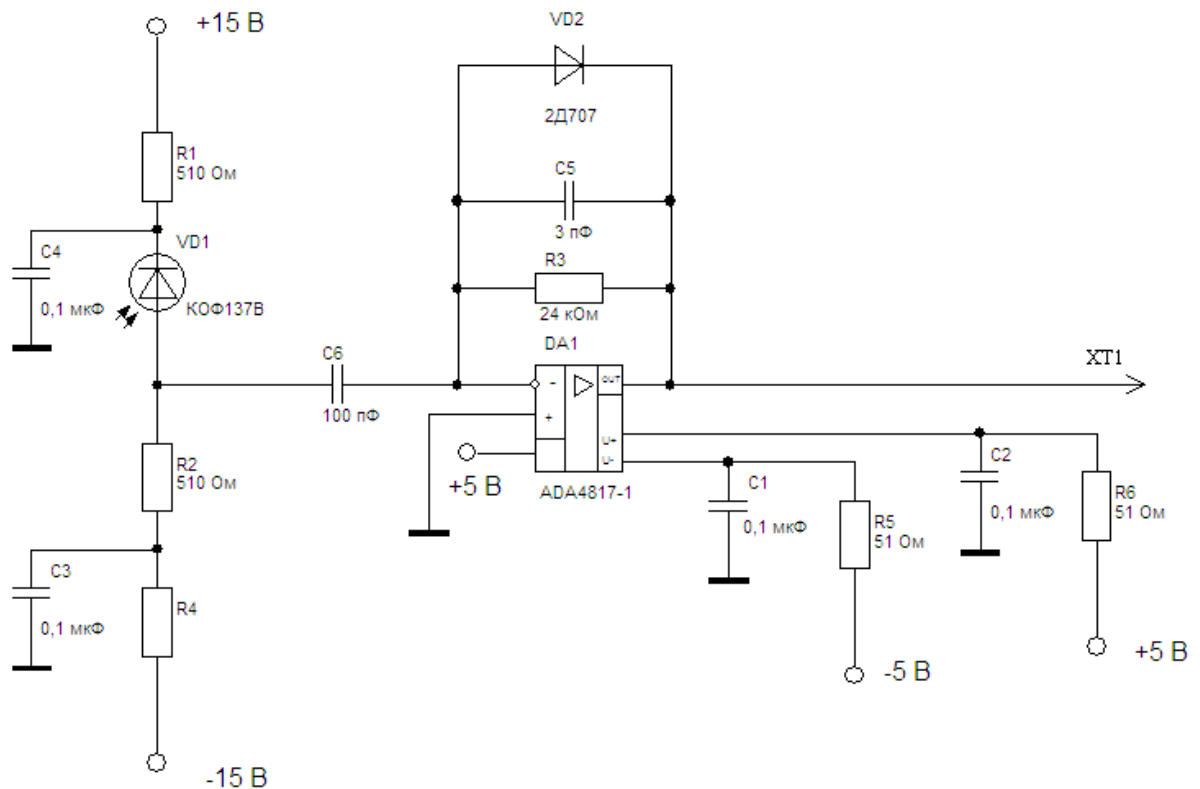


Рисунок 2.2 - Схема першого каскаду підсилення фотоприймального пристрою електрооптичної системи вимірювання відстані

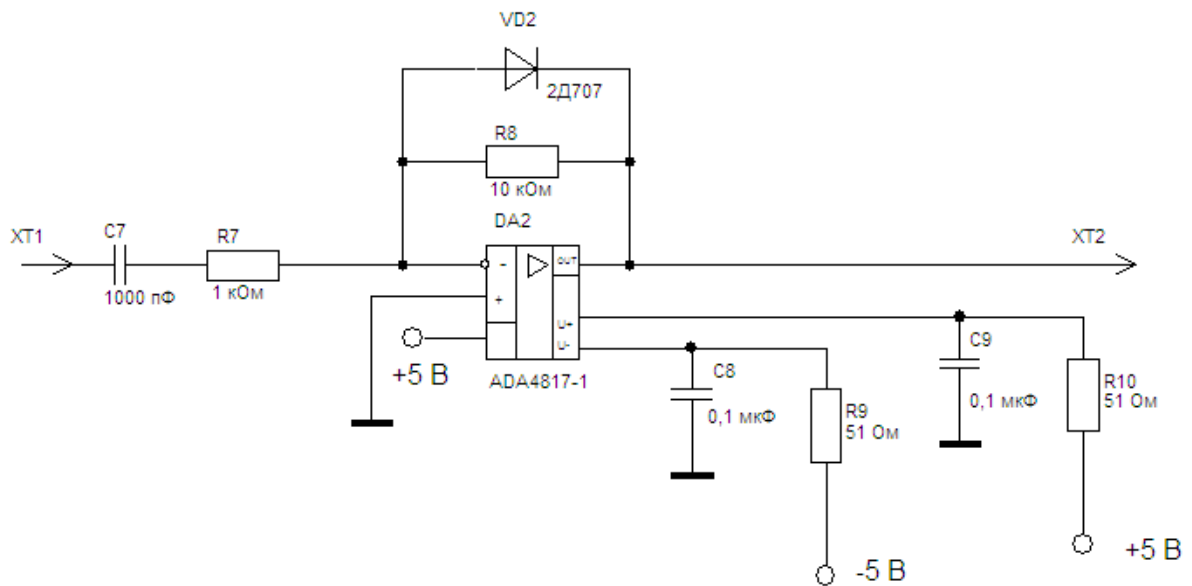


Рисунок 2.3 - Схема другого (третього) каскаду підсилення фото приймального пристрою електрооптичної системи вимірювання відстані

2.2.2 Енергетичний розрахунок фотодіодного реєстратора плоскополяризованого випромінювання

У будь-якого фотоприймача, окрім темного струму фотодіода, є шумовий струм, залежний від смуги пропускання, який розраховується по формулі [17]:

$$i_{шум} = 0,1 \frac{nA}{\sqrt{Гц}} * \sqrt{f_{гп}} \quad (2.3)$$

Виходячи з формули (2.3) шумовий струм прямо пропорційний корню квадратному із смуги пропускання фотоприймача.

Для знаходження шумового струму розрахуємо смугу пропускання фотоприймача. Резистор і конденсатор в зворотному зв'язку є фільтром верхніх частот, а в парі з обв'язувальним конденсатором цей резистор утворює фільтр верхніх частот. Для розрахунку частоти зрізу RC-фільтра застосовують формулу[17]:

$$f_{\varphi} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.4)$$

Використовуючи формулу (2.4) знайдемо верхню і нижню границі смуги пропускання фотоприймача[17]:

$$f_{\kappa} = \frac{1}{2\pi * R7 * C1} = \frac{1}{2\pi * 2,4 * 10^3 * 1 * 10^{-9}} \approx 66,4 \text{ КГц} \quad (2.5)$$

$$f_{\varepsilon} = \frac{1}{2\pi * R7 * C2} = \frac{1}{2\pi * 2,4 * 10^3 * 3 * 10^{-12}} \approx 22,1 \text{ МГц} \quad (2.6)$$

Знаючи значення верхньої та нижньої границі можна розрахувати смугу пропускання [17]:

$$f_{np} = f_{\varepsilon} - f_{\kappa} = 22,1 * 10^6 - 66,4 * 10^3 = 22,0336 \text{ МГц} \quad (2.7)$$

Підставляючи значення, отримане в (2.7), у формулу (2.3) розрахуємо величину шумового струму:

$$P = \frac{3 \text{ мкА}}{0,75 \text{ А / Вт}} = 4 \text{ мкВт}$$

Для того, щоб визначити корисний сигнал на фоні шумів, він має бути в 5-10 разів більш ніж сума темного струму фотодіода і шумового струму приймача.

2.3 Схема реєстрації плоскополяризованого випромінювання на фотоелектронному помножувачі

Для створення реєструючого каналу в роботі запропоновано використання фотоелектронного помножувача (ФЕП). Фотоелектронний помножувач – це фотоелектричний приймач випромінювання перетворюючий світловий сигнал в електричний. ФЕП широко використовуються для реєстрації слабких випромінювань, оскільки

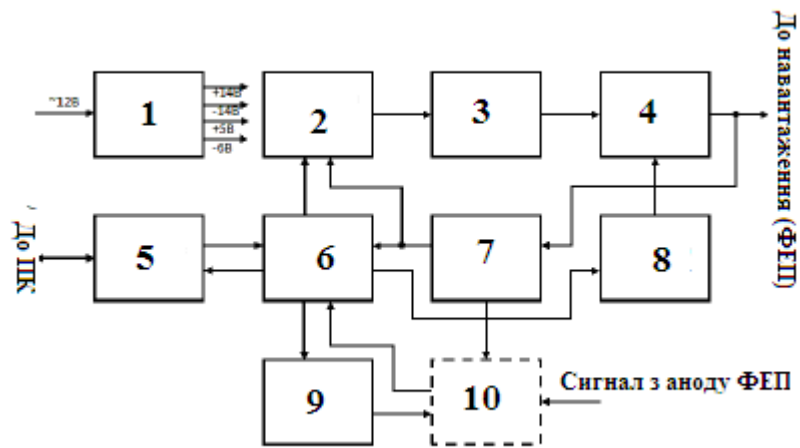
володіють великим посиленням при низькому рівні власних шумів, а також для вивчення короткочасних процесів.

Завдяки простій конструкції і масовому випуску промисловістю фотоелектронні помножувачі є найбільш доступними фотоприймачами для реєстрації гранично слабких світлових потоків, вони не вимагають дорогої підсилювальної апаратури, в відмінність від напівпровідникових детекторів (наприклад – лавинних діодів), при цьому перевершуючи їх по багатьом параметрам. Але для їх роботи все ж необхідне певне устаткування, у тому числі джерела живлення, вартість яких залишається досить високою, частенько – більше вартості самих помножувачів. Альтернативою придбанню джерела живлення може бути його самостійне виготовлення.

2.3.1 Блок живлення реєструючого каналу

Існує безліч схем джерел для самостійного виготовлення [18]. На жаль, їм властиві деякі недоліки, головною з яких є необхідність регулювати вихідну напругу уручну, що недопустимо при загальній тенденції до автоматизації наукових експериментів.

Структурна схема пропонованого джерела живлення, вільного від цього недоліку наведена на рисунку 2.4.



- 1 – джерело живлення;
- 2- вузол захисту від перенапруги;
- 3 – драйвер польового транзистора;
- 4 – перетворювач напруги;
- 5 – інтерфейс RS-232/ RS-485;
- 6 – мікроконтролер;
- 7 – вимірювальний підсилювач;
- 8 – вузол включення перетворювача;
- 9 – ФНЧ;
- 10 – підсилювальний дискримінант

Рисунок 2.4 - Структурна схема джерела живлення

Основним вузлом пристрою є мікроконтролер Atmega8, що здійснює управління останніми вузлами і контроль їх роботи, а також – стабілізацію напруги. Мікроконтролер обмінюється інформацією з програмою, що управляє, на персональному комп'ютері за допомогою інтерфейсу RS-232/RS-485, проте, може бути застосований і поширеніший USB, якщо використовувати мікросхему перетворювача USB-UART. Перетворювач напруги представляє собою імпульсне трансформаторне зворотньоходове джерело живлення з повторювачем напруги на виході. Оскільки вихідна напруга (до 2500 В) значно перевищує напругу, яка може бути виміряна за допомогою АЦП мікроконтролера безпосередньо, то застосовується

вимірник підсилювання з коефіцієнтом посилення менше одиниці (по модулю). Також, передбачена можливість підключення підсилювача-дискримінатора для рахунку фотонів (на схемі показаний умовно).

Конструктивно джерело виконано у вигляді двох блоків: блоку перетворювача і блоку управління, кожен з яких поміщений в окремий екранований відсік в корпусі пристрою.

Принципова електрична схема блоку перетворювача показана на рисунку 2.5

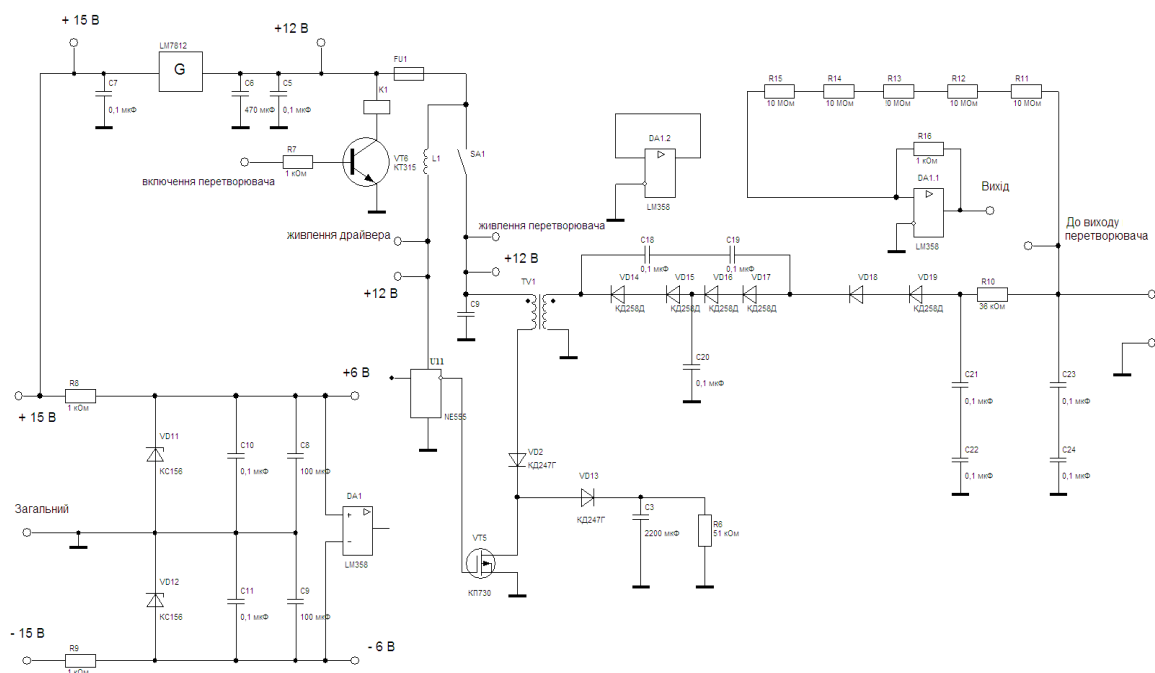


Рисунок 2.5 – Електрична принципова схема блоку перетворювача

Перетворювач складається з наступних вузлів: стабілізатора живлення вимірника підсилювача, стабілізатора живлення перетворювача напруги, вузла включення перетворювача напруги, вимірювального підсилювача, первинного ланцюга перетворювача напруги, помножувача (потроювача) напруги і вихідного фільтру.

Стабілізатор живлення вимірювального підсилювача – двополярний, є два параметричних стабілізатори напруги, виконані на резисторах R8 і R9 і

стабілітронах VD11 і VD12. Один - для стабілізації позитивної напруги, інший – для стабілізації негативної. Конденсатори C8-C11 виконують роль фільтрів.

Стабілізатор живлення перетворювача виконаний на мікросхемі LM7812. Роль фільтрів виконують конденсатори C5-C7. Вузол включення перетворювача напруги призначений для подачі живлення на високовольтний перетворювач по команді мікроконтролера. При подачі логічної «1» від контролера на базу транзистора VT6, він відкривається і подає живлення на обмотку реле, при цьому контакти реле замикаються і подають живлення на перетворювач. Запобіжник FU1 необхідний для захисту від перевантаження по споживаному струму. Котушка індуктивності L1 виступає в ролі фільтру живлення драйвера польового транзистора U1. Для перетворювача напруги був використаний високовольтний польовий транзистор VT5 типу IRF730. Ланцюг з діодів VD2 і VD13, резистора R6 і конденсатора C3 пригнічує власні коливання в трансформаторі T1.

Випрямляч зібраний за однонапівперіодною схемою з потроєнням напруги (схема Кокрофта-Уолтона - [19]). Також присутній RC-фільтр, що складається з резистора R10 і конденсаторів C23 і C24. Вимірювальний підсилювач виконаний на операційному підсилювачі LM358 DA1.

2.3.2 Драйвер керування польовим транзистором

Для ефективнішого управління польовим транзистором і зниження теплових втрат запропоновано застосувати драйвер польового транзистора U1, конструктивно виконаний у вигляді субмодуля, встановлюваного на плату перетворювача. Використання драйвера дозволило понизити потужність, розсіювану на ключовому транзисторі настільки, що стала можливою його експлуатація без додаткового тепловідводу. Принципова

схема використаного драйвера польового транзистора приведена на рисунку 2.6

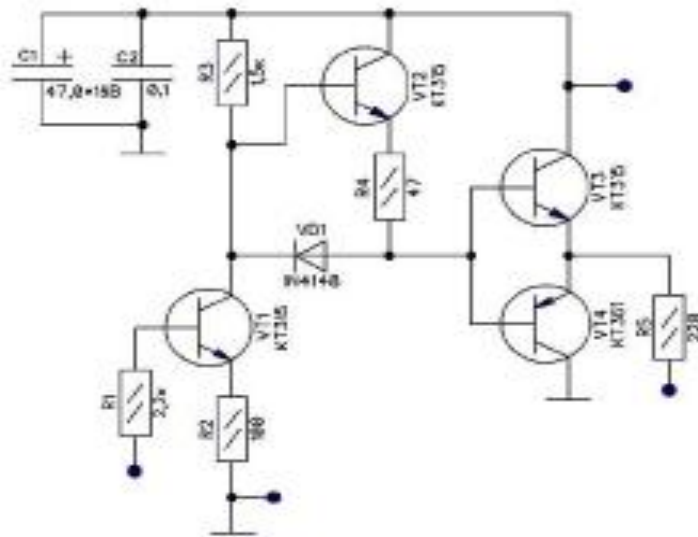


Рисунок 2.6 - Принципова схема драйвера польового транзистора

На вході драйвера знаходиться підсилювальний каскад, виконаний за схемою із загальним емітером на транзисторі VT1. Транзистор VT2 забезпечує поліпшення форми фронту імпульсу при закриванні транзистора VT1 (він прискорює зарядку ємності баз транзисторів вихідного каскаду в обхід резистора R3). На транзисторах VT3 і VT4 зібраний двотактний вихідний каскад, виконаний по схемі зведеного емітерного повторювача.

Принципова схема блоку управління показана на рисунку 2.7

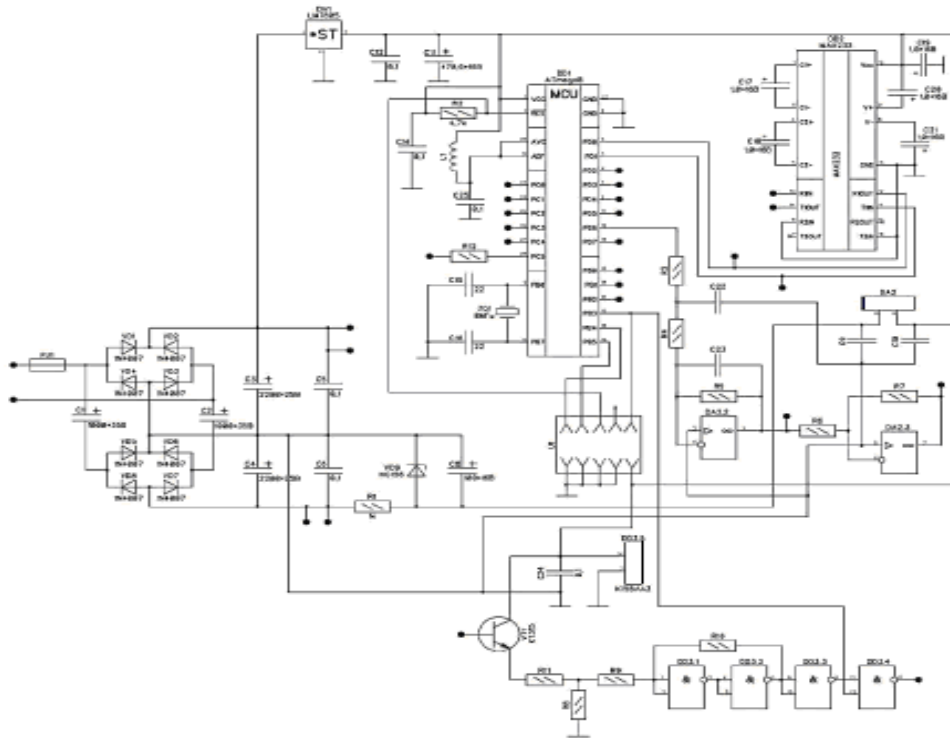


Рисунок 2.7 - Принципова схема блоку управління

Блок управління складається з джерела живлення, мікроконтролера, інтерфейсу RS-232/RS-485 фільтру нижніх частот і вузла захисту від перенапруження.

Змінна напруга від мережевого трансформатора (на схемі не показаний) через запобіжник FU1 поступає на діодний міст, виконаний на діодах VD1-VD4 типу 1N4007.

Пулсації випрямленої напруги згладжуються фільтром, виконаним на конденсаторах C3 і C5. Для здобуття негативної напруги передбачений додатковий міст на діодах VD5-VD7 типу 1N4007 і згладжуючий фільтр на конденсаторі C4 і C6. На цей міст змінна напруга подається не безпосередньо, а через конденсатори C1 і C2. На стабілітроні VD7 типу KC156 і резисторі R1 виконаний параметричний стабілізатор напруги -6В для живлення операційного підсилювача. Для живлення мікросхем напруга +14В знижується стабілізатором на мікросхемі DA1 типу LM7805 до 5В.

Для зменшення перешкод АЦП від цифрової частини схеми застосований послідовний LC-фільтр живлення. Роль фільтру виконує дросель L1 і конденсатор C25.

Блок інтерфейсу RS-232/RS-485 складається з мікросхеми MAX232 в типовому включенні і призначений для зв'язку з комп'ютером.

На операційному підсилювачі DA2.1 виконаний фільтр нижніх частот з частотою зрізу 50 Гц, на DA2.2 - підсилювач з коефіцієнтом посилення $K_p=1$. ФНЧ перетворює сигнал з широтно-імпульсною модуляцією в постійну напругу, яку можна використовувати для управління порогом дискримінації імпульсного підсилювача для ФЕП. Рахунок імпульсів, що поступають від підсилювача, також може здійснюватися мікроконтролером.

У схемі захисту від перенапруження застосований тригер Шмітта на двох елементах DD3.1 і DD3.2, елемент DD3.4 виконує роль вентиля (пропускає або не пропускає імпульси з контролера на драйвер польового транзистора залежно від стану, в якому знаходиться тригер). Коли напруга на виході вимірювального підсилювача, яке подається на базу транзистора VT1, перевищує певне значення, що задається співвідношенням резисторів, що входять в схему, тригер перемикається в одиничний стан, на виході елементу DD3.3 з'являється рівень логічного «0» і забороняє подачу імпульсів на перетворювач.

2.4 Перетворювач рівня сигналу послідовного інтерфейсу RS-232/RS-485

Найбільш доступна і поширена з мікросхем – MAX232, що випускається багатьма виробниками. Типова схема включення з даних Texas Instruments наведена на рисунку 2.8 нижче [20]:

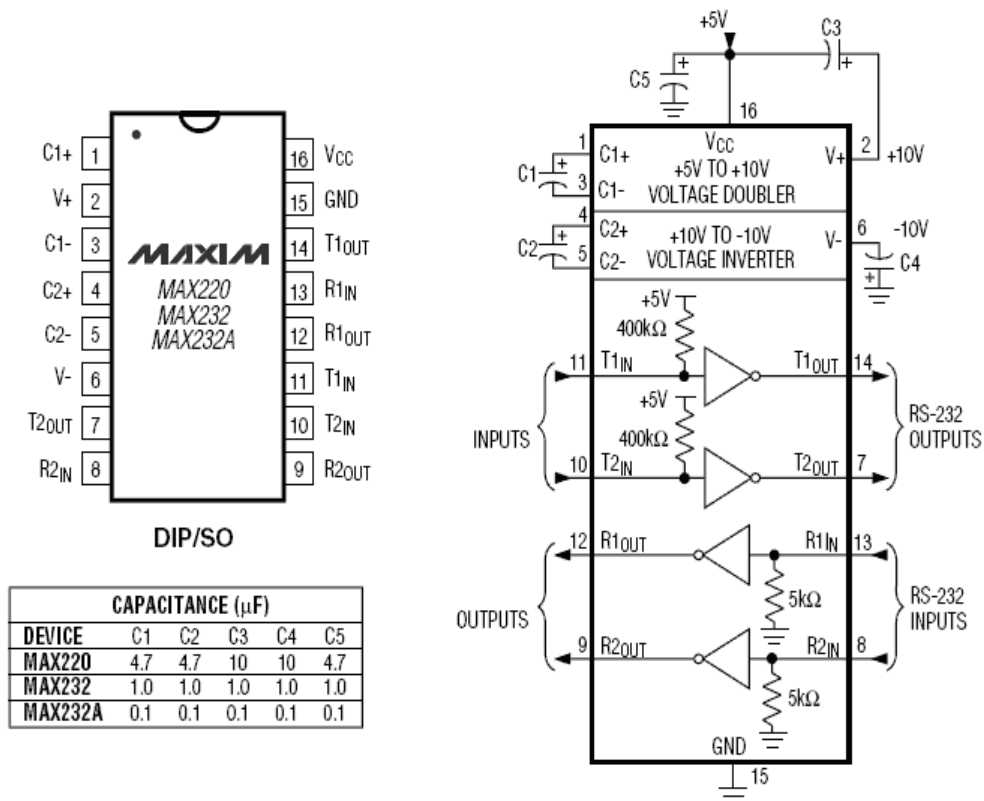


Рисунок 2.8 – Типова схема підключення перетворювача MAX232 фірми Texas Instruments

MAX232 – інтегральна схема, яка перетворює сигнали послідовного порту RS-232 у сигнали, придатні для використання в цифрових схемах на базі TTL або КМОП технологій. MAX232 працює прийомочередавачем і перетворює сигнали RX, TX, CTS і RTS. Функціональність і цоколівка мікросхеми стала стандартом і її аналоги випускаються безліччю виробників напівпровідників. Схема забезпечує рівень вихідної напруги, що використовується в RS-232 (приблизно $\pm 7,5$ В), перетворюючи вхідну напругу + 5 В за допомогою внутрішнього зарядового перетворювача на зовнішніх конденсаторах. Це спрощує реалізацію RS-232 в пристроях, що працюють на напругах від 0 до + 5 В, так й не потрібно ускладнювати джерело живлення тільки для того, щоб використовувати RS-232. Приклад застосування аналогічного перетворювача інтерфейсу з використанням

MAX203E у перемикаючому порту для обміну зібраними даними зображено на рисунку 2.9 [20].

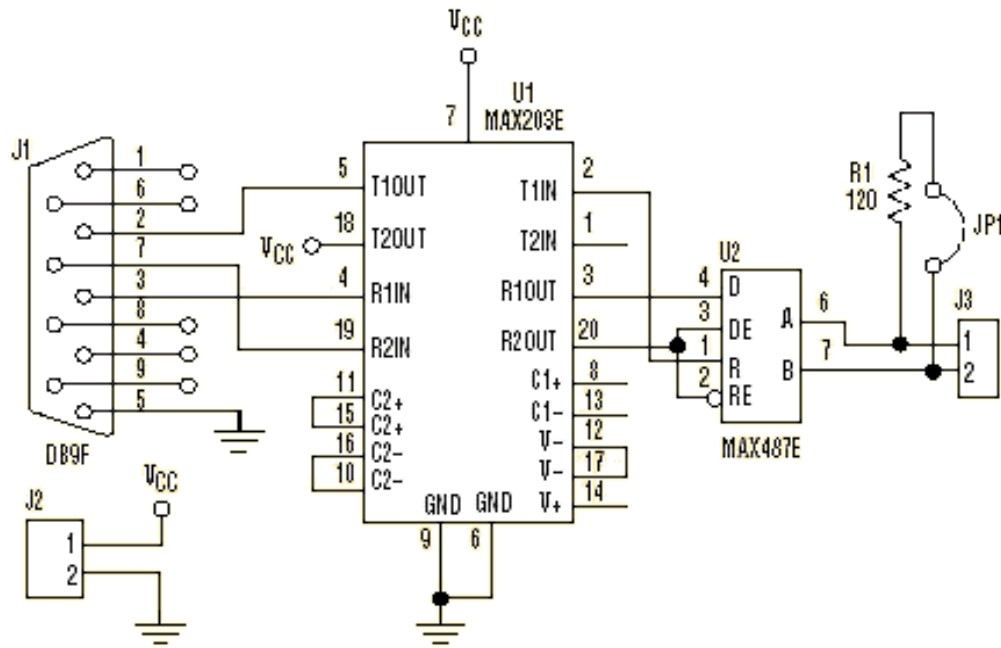


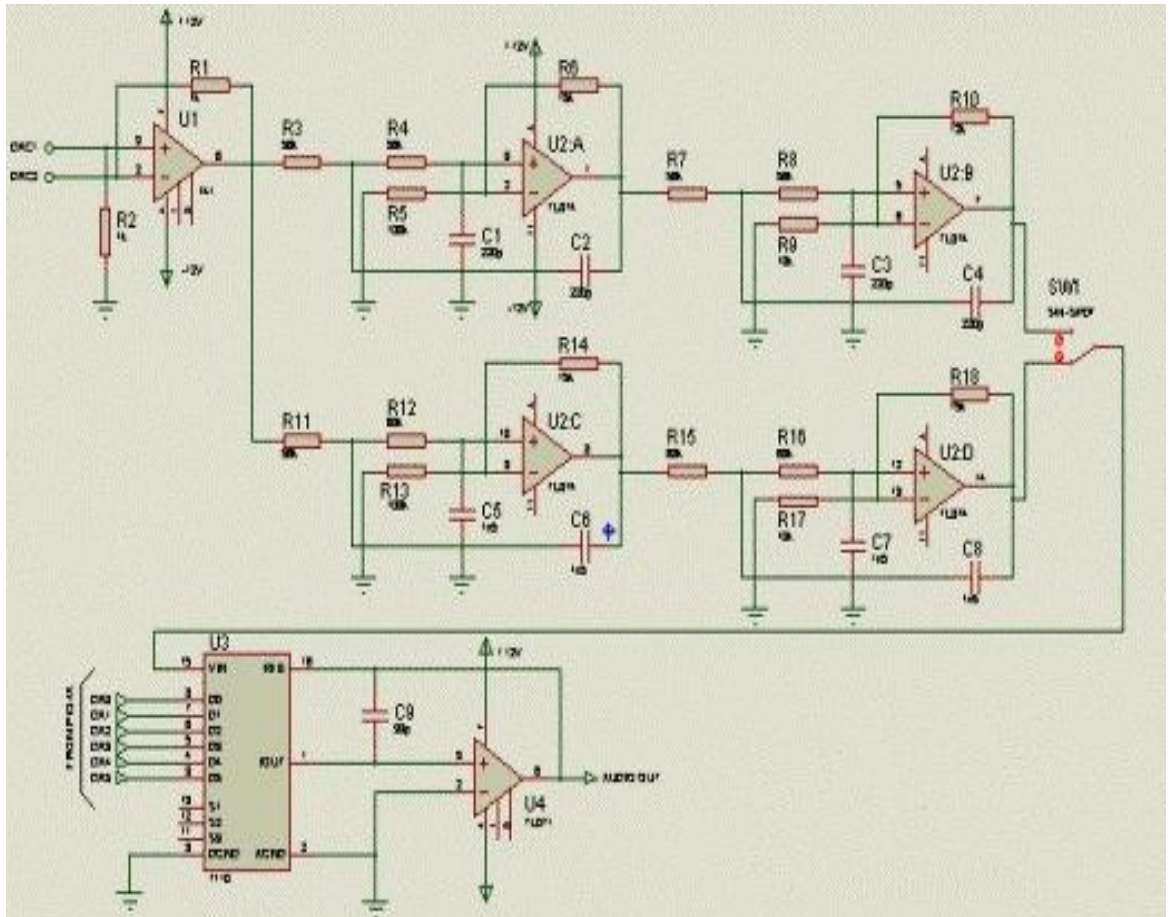
Рисунок 2.9 – Приклад перемикаючого порту між ПК та мережею RS–485

2.5 Моделювання функціональних блоків реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання

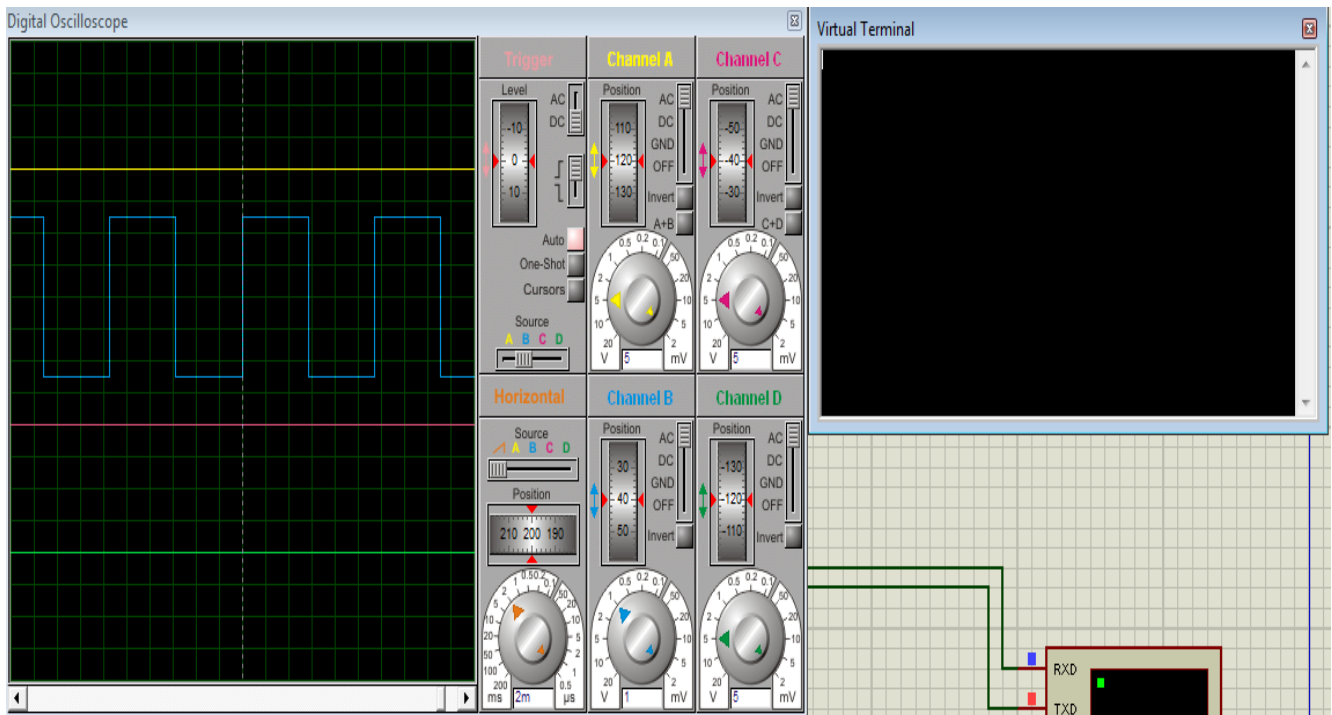
2.5.1 Моделювання роботи фотодіодного реєстратора плоскополяризованого випромінювання

У процесі моделювання підсилювальний блок який складається із операційних підсилювачів, для спрощення моделювання в середовищі Proteus було замінено на мікросхему UC3485 [21].

На рисунку 2.10 представлено результати моделювання блоку живлення фотоелектронного помножувача реєстратора вимірювання інтенсивності плоскополяризованого випромінювання.



a)



б)

Рисунок 2.10 - Результати моделювання блоку живлення фотоелектронного помножувача в середовищі Proteus: а – електрична схема; б) – покази осцилографа.

Покази осцилографа свідчать про стабільний режим роботи моделі блоку живлення фотоелектронного помножувача.

Для оцінки стабільної роботи підсилювача сигналу фотоприймального пристрою в роботі також було проведено моделювання другого каскаду підсилення. Моделювання проведено в середовищі Electronics Workbench. На рисунку 2.11 представлено результати моделювання. Як видно із показів реєструючого пристрою (осцилографа) сигнал із виходу каскаду має стабільний характер [21].

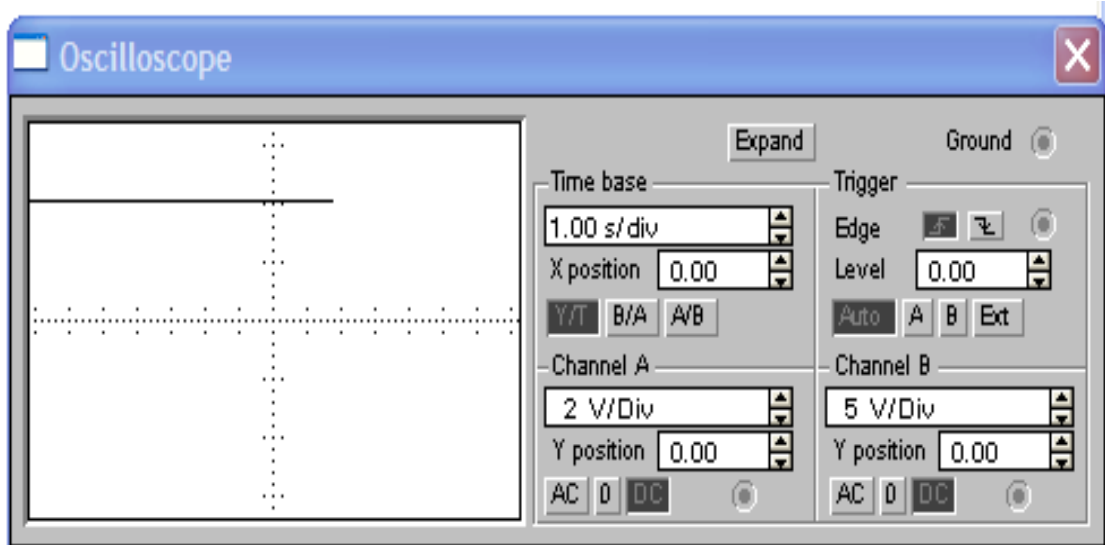
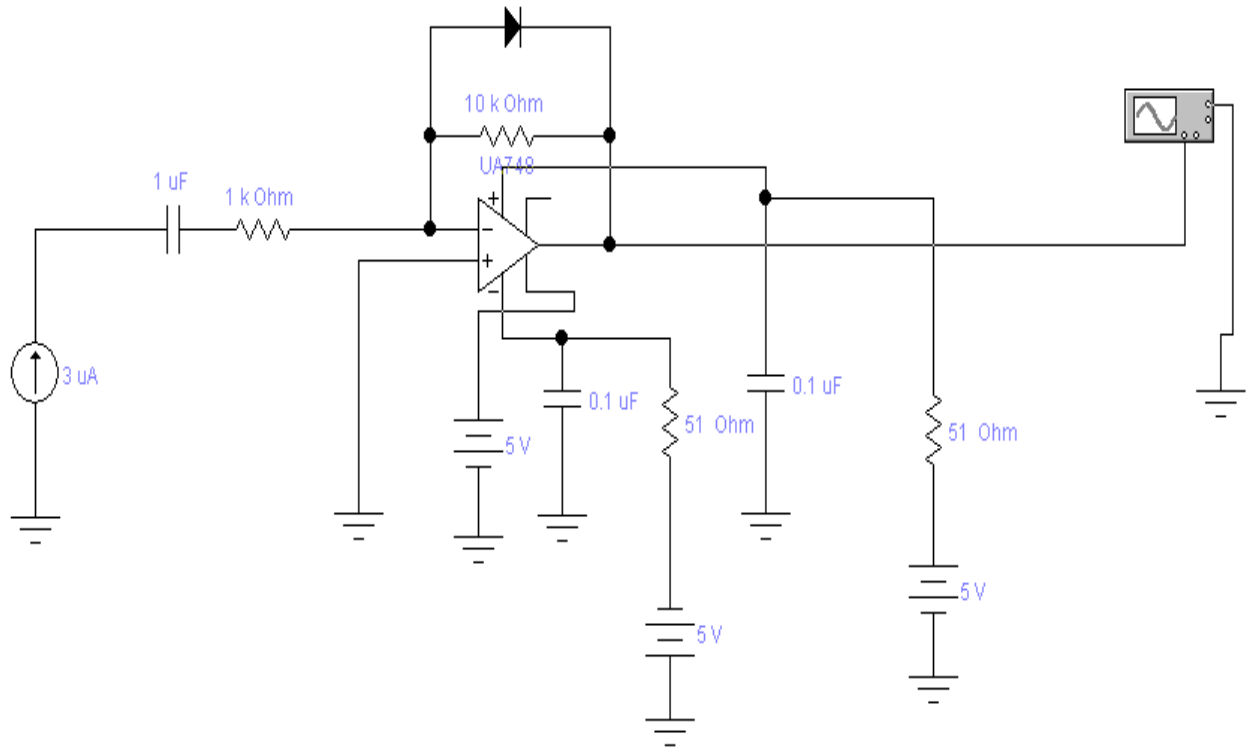
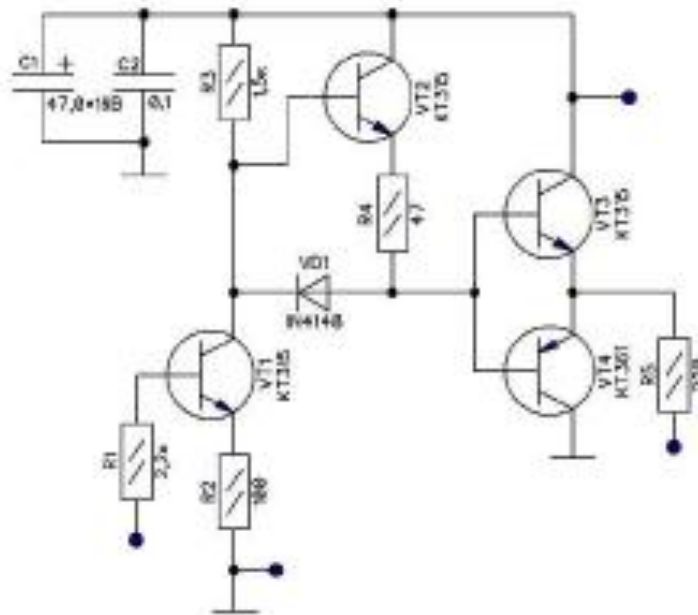


Рисунок 2.11 – Моделювання другого каскаду підсилення фотоприймального пристрою

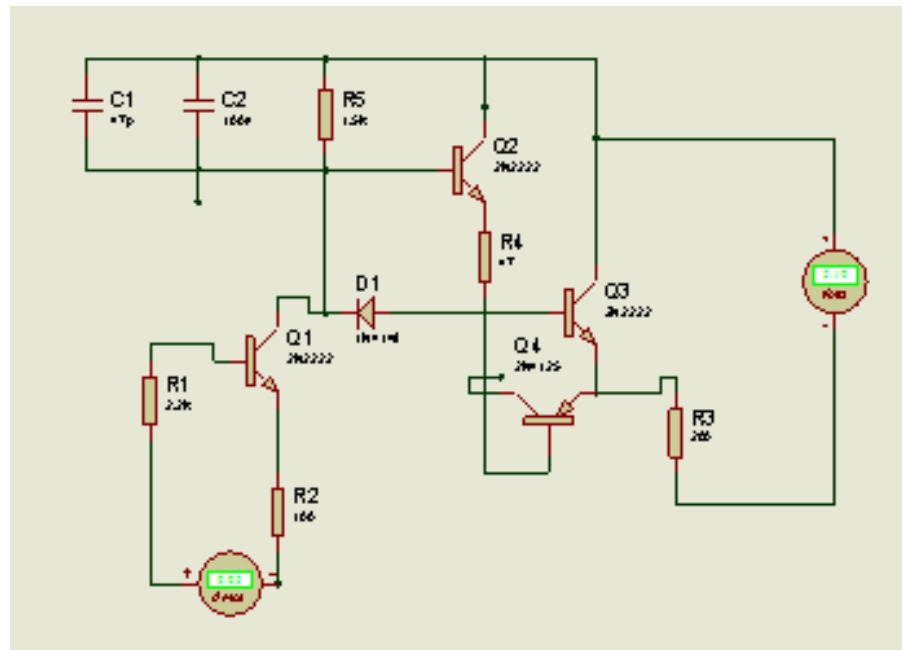
2.5.2 Моделювання драйверу керування польовим транзистором

Для підтвердження стабільної роботи блоку живлення в роботі було проведено моделювання драйверу керування польовим транзистором в середовищі Proteus [21].

Результати моделювання представлено на рисунку 2.12.



a)



б)

Рисунок 2.12 – Моделювання драйвером керування польовим транзистором: а – електрична схема; б – моделювання в редакторі драйвера в середовищі Proteus

Свідчення, зафіксовані на вимірювальних пристроях показують стабільний режим роботи пристрою.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) у роботі пропонується схема, заснована на явищі двопронезаломлення у нелінійних кристалах, що значно спрощує оптичну ланку пристрою та зменшує його вартість;

2) запропоновано дві електричні схеми пристрою реєстрації реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання: схема реєстратора на фотодіоді та схема реєстрації на фотоелектричному помножувачі. Обидві схеми є досить ефективними. Поєднання цих схем у комплексі значно розширює метрологічні можливості реєстратора;

3) запропоновано схему джерела живлення ФЕП на мікроконтролері із використанням додаткового драйверу керування силовими компонентами блоком перетворювача;

4) для реалізації каналу автоматизації джерела живлення запропоновано мережу RS-485 із перемикаючим портом RS-232/RS-485 доступу до ПК;

5) результати моделювання функціональних блоків пристрою за допомогою САПР електронної техніки добре узгоджуються із розрахунками.

3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричної схеми реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Приміщення, в якому планується проводити роботи, має такі характеристики:

- довжина приміщення 8, м;
- ширина приміщення 6 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.

Небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні [22-24].

В 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 [23].

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 $1,5 \text{ м}$. Ширина виходів з приміщення повинна бути не менше 1 м , висота – не менше $2,2 \text{ м}$. Дане приміщення має обсяг $V=188,06 \text{ м}^3$, а площу $S=50,15 \text{ м}^2$. 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 [23].

3.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, шум [24].

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 $21-23^\circ\text{C}$, для теплої складає $22-24^\circ\text{C}$.

Наше приміщення відповідає цим температурним нормам.

В 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 приміщенні 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 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 [23].

Нормами для даних робіт в даному приміщенні встановлена необхідна освітленість робочого місця $E_n = 300 \text{лк}$ (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 [24].

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 [24].

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” [24].

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.

Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщенні вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустаткування. В приміщенні є план евакуації згідно якого 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 Норми вмісту шкідливих речовин при виробництві друкованих плат пристрою реєстрації плоскополяризованого випромінювання

У напівпровідниковому виробництві використовується велика кількість хімічних речовин та сполук, які через стічні води та атмосферу наносять шкоду природі, тому законодавством встановлені норми, які не повинні бути перевищеними [22-24].

Відпрацьовані матеріали, тобто залишки хімічного походження, зливають у спеціальні каналізації, які ведуть до станції нейтралізації. Відходи проходять комплекс робіт по нейтралізації та знешкодженню на очищувальних спорудах.

Норми вмісту шкідливих речовин в атмосфері приведені в таблиці 3.1 [22-24].

Відходи періодично зливаються у накопичувачі. Це необхідно для забезпечення певної концентрації відходів на вході промислових стоків у окисній споруді, яка не повинна перевищувати наступні норми:

- фтор - 50 мг/л;
- залізо - 1500мг/л;
- мідь - 500 мг/л;
- свинець - 10 мг/л;
- аміак - 20 мг/л.

Таблиця 3.1 - Норми вмісту шкідливих речовин

Речовина	Вміст в атмосфері	Клас небезпеки даної речовини	Вплив на людину при перевищенні концентрації
NO ₂	2	2	Речовина з гостро направленою механічною дією, вимагає автоматичного контролю за концентрацією
H ₂ SO ₄	1	2	Речовини, які викликають алергічні хвороби
CH ₃ COOH	5	3	
H ₃ BO ₃	10	3	
HCl	5	2	Речовини з гостро направленою механічною дією
Соли HF	1/0,2	2	
HNO ₃	2	3	Аерозоль фіброгенної дії
Аміак	20	4	Аерозоль фіброгенної дії та може викликати алергічні захворювання

У аудитрої категорично забороняється:

- перекачувати відроблені розчини кислот та лугів у посереднювач кислот-но-лужних промивних вод;
- підвищувати встановлені вхідні концентрації;
- зливати хімічні відходи у загальну каналізацію;
- скидати промислові стоки з температурою вище 30°C.

Необхідно дотримуватися встановлених норм та правил, що допоможуть зберегти оточуюче середовище, а також будуть запобігати виникненню захворювань людини [22-24].

Стічні води, які надходять від технологічного устаткування підлягають нейтралізації та знежирюванню на комплексі очисних споруд.

За режимом скидання концентрації та виду забруднених стічних вод поділяються на три групи:

- промивні води які, викидаються безперервно та містять в своєму складі кислоти, луги, солі металів, в порівняно невеликих кількостях;
- хромстоки які містять в своєму складі солі хрому;
- відпрацьовані розчини кислот та лугів, які скидаються періодично в порівняно невеликих об'ємах та містять в своєму складі хімічні забруднення в великих концентраціях.

Концентрація складаємих забруднень не повинна перевищувати РН 6÷9, цинк - 2 мг/л, залізо - 3 мг/л, мідь - 2 мг/л, кадмій - 0,1 мг/л, нікель - 2 мг/л, хром загальний - відсутній, фтор - 5 мг/л, аміак - 0,2 мг/л, нафтопродукти та органічні речовини - відсутні.

Відпрацьовані розчини кислот та лугів від гальванічних ванн цехів підприємств в об'ємі 5 м³/г, яка надходить по окремому трубопроводу, у відповідності з раніш розробленою інструкцією, в об'ємі 0,1 м³/г, надходить в співвідношенні ємності насосної системи, звідти насосами подається в накопичувач очисних споруд.

У аудитрої забороняється:

- перекачувати хромстоки в усереднювач промивних кислото лужних стоків;
- перекачувати хромстоки в накопичувач відпрацьованих розчинів;
- допускати потрапляння в промивні ванни електроліту, розчинів кислот та лугів;
- перевищувати встановлені вхідні концентрації;
- злив розчинників, нафтопродуктів, фарбників та інших відходів виробництва в кислотну каналізацію;
- скидати стоки з осадом: металевою стружкою, кремнієвого порошку, піску і інших механічних домішок;
- скидати промислові стоки в дощову каналізацію;
- разом скидати хімічні забруднення, що містять аварійну загазованість приміщень;

- скидати промислові стоки з концентрацією більше ПДК після станцій нейтралізації.

Вивід і злив відпрацювань (відходів) на станцію нейтралізації здійснюється тільки при наявності результатів хімічного аналізу і за згодою з обслуговуючим персоналом.

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) у роботі пропонується схема, заснована на явищі двоприменезаломлення у нелінійних кристалах, що значно спрощує оптичну ланку пристрою та зменшує його вартість;

2) запропоновано дві електричні схеми пристрою реєстрації реєстратора інтенсивності плоскополяризованого випромінювання: схема реєстратора на фотодіоді та схема реєстрації на фотоелектричному помножувачі. Обидві схеми є досить ефективними. Поєднання цих схем у комплексі значно розширює метрологічні можливості реєстратора;

3) запропоновано схему джерела живлення ФЕП на мікроконтролері із використанням додаткового драйверу керування силовими компонентами блоком перетворювача;

4) для реалізації каналу автоматизації джерела живлення запропоновано мережу RS-485 із перемикаючим портом RS-232/RS-485 доступу до ПК.

5) результати моделювання функціональних блоків пристрою за допомогою САПР електронної техніки добре узгоджуються із розрахунками.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) реєстратор може бути використаний в подальших розробках інформаційних оптохемотехнічних систем.

2) макетний варіант пристрою може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

Перелік посилань

1. Поляризація світла (Електромагнітного випромінювання) // *Астрономічний енциклопедичний словник / за заг. ред. І. А. Климишина та А. О. Корсунь. — Львів : Голов. астроном. обсерваторія НАН України : Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка, 2003. — С. 370—371.*
2. Воловик П. М. Курс фізики для університетів / Київ : Ірпінь, Перун, 2005.
3. Вакарчук І. О. Квантова механіка / Львів : ВЦ ЛНУ ім. І.Франка, 2007.
4. Ємчик Л. Ф., Кміт Я. М. Медична і біологічна фізика / Львів : Світ, 2003.
5. Капустяник В., Мокрий В. Оптико-спектральні методи в науково-технічній експертизі / Львів : ВЦ ЛНУ ім. І.Франка, 2004.
6. Mansuripur M. *Optics and Photonics News / Masud Mansuripur. // Optics and Photonics News. — 1999.*
7. Bennett H. S. *Faraday Effect in Solids / H. S. Bennett, E. A. Stern // PHYSICAL REVIEW. — 1965. — №137. — С. 448–461.*
8. Schatz P. *The Faraday Effect / P. Schatz, A. McCaffery. // Quarterly Reviews, Chemical Society. — 1969. — С. 552–584.*
9. Silvano Donati, Giliani and Sabina Merlo. *Laser Diode Feedback Interferometer for Measurement of Displacements without Ambiguity. IEEE Journal of Quantum Electronics. Vol.31, NO. 1, January 1995.*
10. Мороженко О. В. *Методи і результати дистанційного зондування планетних атмосфер. Київ : Наукова думка, 2004. 647 с.*
11. Неводовский П. В., Мороженко А. В., Неводовский Е. П., Гераимчук М. Д. *Изучение характеристик аэрозоля стратосферы Земли методом ультрафиолетовой поляриметрии. Оптика и спектроскопия. 2009. 107. № 2. С. 231–23.*

12. Мороженко О. В., Неводовський П. В., Видьмаченко А. П., Гераїмчук М. Д., Івахів О. В., Делець О. С. Про застосування ультрафіолетової поляриметрії для супутникових досліджень стратосферного аерозолу Землі. Український метрологічний журнал. 2014. № 2. С. 27–32.

13. Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A.L., Pisarevsky A.I. et al. Sum frequency radiation in RTP crystals// In Proc. Laser Optics.- 90.- Leningrad.- 1990.- P.440.

14. Yu.S.Oseledchik Yu.S., Osadchuk V.V., Prosvirnin A.L., Selevich A.F. Growth of BBO from Na₂O-NaF solution//J.Crystal Growth.- V. 131.-1993.- P.199-203.

15. Oseledchik Yu.S, Pisarevsky A.I., Prosvirnin A.L. et al. Nonlinear optical properties of the flux growth RTP crystal//Optical Materials.- V.3.- 1994.- P.237-242.

16. Oseledchik Yu.S., Prosvirnin A.L., Svitanko N.V., Kudrjavitcev D.P., Lozova E.A. SrB₄O₇ – nonlinear optical material for deep UV//ICCM'2005.- Kharkov, Ukraine.-2005.-P.91.

17. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання : навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. Кн. 1. 376 с.

18. Photomultiplier tubes - Basics and applications [Текст]:учебник/Toshikazu Nakamata и др. - Токуо:Hamamatsu Photonics K.K., 2007 - 323 с.

19. Switchmode power supply handbook : /Keith Billings et al. - New York : McGrawHill. 2011. 850 с.

20. Calcutt D., Cowan F., Parchizadeh H. 8051 Microcontrollers : An Applications Based Introduction. Oxford : Newnes, 2004.

21. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування

технологічними процесами". Медвідь В. Р., Пісьціо В. П., Тернопіль: ТНТУ, 2018 26 с.

22. Бегун В. В., Науменко І. М. Безпека життєдіяльності : Навч. посібник. Київ : МОНУ, 2004. – 328 с.

23. 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.

24. 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.