

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота
другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка системи контролю оптичного
поглинання полімерних сонячних елементів

Виконав: студент II курсу, групи 8.1530 - з - дн
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні
системи

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Москаленко А.Ю.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.т.н, Ніконова А.О.

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

Рецензент заст. нач. цеха ПрАТ «Укрграфіт» Небеснюк О.І.

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

Запоріжжя
2022

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

Факультет _____
Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»
(код і назва)
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

“ _____ ” _____ 20__ року

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

Москаленку Андрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

керівник роботи Ніконова Аліна Олександрівна, к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом ЗНУ від “30” травня 2021 року № 975-с

2 Строк подання студентом роботи 28 січня 2022 року

3 Вихідні дані до роботи полімерний сонячний елемент, постійна напруга 5 – 24 В, область прозорості 400 – 1100 нм, моделювання в Proteus, Mathcad, Excel

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Системи геліоенергетики на основі сонячних батарей 2. Розробка системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів 3. Техніко - економічне обґрунтування. 4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем системи

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

1. Полімерні сонячні елементи 2. Дослідження прозорості основи полімерного сонячного елемента 3. Схема вимірювання інтенсивності відбитого випромінювання від основи 4. Структурна схема системи

контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів 5. Датчик вимірювання інтенсивності відбитого випромінювання 6. Структурні блоки виміральної системи 7. Електрична схема мікроконтролерної системи 8. Моделювання роботи мікроконтролерної системи в редакторі Proteus

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	<i>Ніконова А.О., доцент</i>		
II	<i>Ніконова А.О., доцент</i>		
III	<i>Ніконова А.О., доцент</i>		
IV	<i>Ніконова А.О., доцент</i>		

7 Дата видачі завдання 26.05.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>03.09.2021</i>	
2	<i>Розрахункова частина</i>	<i>30.12.2021</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування розробки</i>	<i>29.12.2021</i>	
4	<i>Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки</i>	<i>29.12.2021</i>	
5	<i>Розробка графічної частини роботи</i>	<i>10.01.2022</i>	
6	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>10.01.2022</i>	
7	<i>Нормоконтроль</i>	<i>27.01.2022</i>	
8	<i>Попередній захист роботи</i>	<i>28.01.2022</i>	

Студент _____ *Москаленко А.Ю.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Ніконова А.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

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

Реферат

Дипломна робота містить 86 сторінок, 40 рисунків, 14 таблиць, 28 посилань на літературу.

Об'єкт дослідження – мікроелектронна інформаційна система для геліоелектроніки.

Мета роботи – дослідження та розробка системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів.

Задачі роботи: виконати математичне та схемотехнічне моделювання системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів.

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

Короткий виклад результатів досліджень – спроектовано структурну схему системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів, проведено схемотехнічне моделювання окремих складових системи, проведено моделювання сигналів переривань на основі мікроконтролера.

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

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження інформаційних системах геліоелектроніки.

**ПОЛІМЕРНИЙ СОНЯЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ, ОПТИЧНЕ ПОГЛИНАННЯ,
МІКРОКОНТРОЛЕР, PROTEUS, MATHCAD**

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем, з 26.05.2021 р. по 28.01.2022 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	6
1. Системи геліоенергетики на основі сонячних батарей	8
1.1 Традиційні сонячні батареї на основі кремнієвих технологій	8
1.2 Полімерні сонячні батареї	13
1.3 Основні параметри сонячних батарей	16
1.4 Системи контролю оптичного поглинання	18
2. Розробка системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів.....	21
2.1 Моделювання процесу розповсюдження світла на поверхні полімерних сонячних елементів.....	21
2.1.1 Оптико-фізичні процеси у полімерних сонячних елементах.....	21
2.1.2 Моделювання інтенсивності відбитого світла у полімерному сонячному елементі.....	24
2.1.3 Вимірювання електричних параметрів полімерного сонячного елемента.....	28
2.1.4 Вибір архітектури полімерного сонячного елемента.....	30
2.2 Структурна схема системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів	32
2.3 Розробка мікроконтролерного пристрою для системи опрацювання сигналів переривання датчика VL6180X системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів	41
2.4 Моделювання роботи мікроконтролера для системи опрацювання сигналів переривання датчика VL6180X системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів	58
3. Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронних схем системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних	

елементів.....	62
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів.....	62
3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів	66
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів	67
4.1 Характеристика потенційних шкідливих та небезпечних виробничих факторів	67
4.2 Заходи з поліпшення умов праці	70
4.3 Виробнича санітарія.....	73
4.4 Електробезпека.....	76
4.5 Протижежна безпека.....	77
Висновки та рекомендації.....	81
Перелік посилань.....	83

Вступ

Сонячна батарея – це сукупність великої кількості фотоелементів, розміщених на якій-небудь поверхні. Фотоелемент є напівпровідниковим пристроєм, який перетворить енергію Сонця в електричний струм. Фотоелементи «традиційних» сонячних батарей виробляють з кремнію. Процес виробництва таких батарей складний і доволі дорогий. Крім того, виникають проблеми з утилізацією відпрацьованих фотоелементів, оскільки в цих фотоелементах окрім кремнію міститься ще і кадмій. І нарешті, кремнієві фотоелементи у міру роботи сильно нагріваються. Після чого їх продуктивність починає знижуватися. Тому кремнієвим батареям окрім фотоелементів потрібні ще і дорогі системи охолодження. Все це потребує розробок ефективніших способів перетворення сонячної енергії [1].

Альтернативою кремнієвим сонячним батареям можуть стати полімерні сонячні батареї. Це нова технологія, над розвитком якої працює багато дослідницьких колективів [2-6]. Для створення полімерних сонячних батарей окремі плівкові фотоелементи поєднують між собою. До переваг полімерних сонячних батарей, у порівнянні зі звичайними – кристалічними, можна віднести компактність, легкість, гнучкість. Такі батареї недорогі у виробництві (для їхнього виготовлення не використовується дорогий кремній) і екологічні, тому що вони виявляють на навколишнє середовище менш значний вплив. Але, такі батареї мають недолік – невелику ефективність перетворення сонячної енергії. Наразі ККД полімерних сонячних батарей є нижчою, ніж у традиційних кремнієвих [5].

Для подолання цієї проблеми вкрай необхідно проводити дослідження з питання покращення структурних властивостей полімерних матеріалів, з яких виготовляють сонячні батареї. Одним із важливих питань у цьому

напрямку досліджень є підвищення ефективної поглинальної властивості робочих матеріалів.

Тому, актуальною є проблема контролю поглинальної властивості полімерних сонячних елементів на різних етапах розробок цього нового типу пристроїв геліоенергетики.

1. Системи геліоенергетики на основі сонячних батарей

1.1 Традиційні сонячні батареї на основі кремнієвих технологій

Сонячна батарея складається з окремих сонячних елементів, які з'єднуються послідовно й паралельно для того, щоб збільшити вихідні значення струму й напруги. При послідовному з'єднанні елементів збільшується вихідна напруга, при паралельному з'єднанні збільшується вихідний струм. Для того, щоб збільшити і струм, і напругу комбінують два ці способи з'єднання. Крім того, при такому способі з'єднання вихід з ладу одного із сонячних елементів не приводить до виходу з ладу всього ланцюжка, тобто підвищує надійність роботи всієї батареї. Таким чином, сонячна батарея складається з послідовно з'єднаних сонячних елементів. Величина максимально можливого струму, що віддається батареєю, прямо пропорційна числу паралельно включених елементів, а величина вихідної напруги пропорційна числу послідовно включених елементів. Так, комбінуючи типи з'єднання, збирають батарею з необхідними параметрами.

Конструктивно сонячна батарея являє собою плоску панель, що складається з розміщених на ній фотоелементів і електричних з'єднань, захищену з лицьової сторони прозорим твердим покриттям. Число фотоелементів у батареї може бути різним, від декількох десятків до декількох тисяч. Площа панелі у великих промислових сонячних батареях може досягати тисячі квадратних метрів, а максимальна генеруєма потужність - десятків кіловат. На рисунку 1.1. показаний приклад використання сонячної батареї на основі кристалічного кремнію [1,2].

Сонячна батарея при нормальному сонячному освітленні генерує потужність 20- 25 Вт при напрузі 13 В, що цілком та достатньо для живлення,

наприклад, переносного комп'ютера. У потужних сонячних батареях, наприклад у батареях фірми RZMP, використані фотоелектричні елементи виготовлені на основі мультикристалічного напівпровідникового кремнію, що мають покриття, що просвітлює, нітрид кремнію й срібні контактні смужки - контакт для зняття струму.

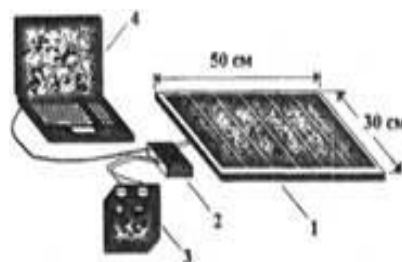


Рисунок 1.1 - Приклад використання сонячної батареї малої потужності: 1 - панель сонячної батареї; 2 - комутатор; 3 – акумулятор; 4- споживач.

Сонячний фотоелектричний модуль являє собою цілу плиту з алюмінієвого профілю, у якій між двома шарами герметизуючої плівки укладені фотоперетворювачі послідовно з'єднані між собою мідною шиною. Прозорою ізоляцією служить високоміцне загартоване скло. На внутрішній стороні сонячного модуля встановлена розподільна коробка з діодним блоком усередині (для мінімізації втрат потужності при затемненні) з виведеними в неї контактами [3,4].

Зовнішній вигляд сонячної батареї типу RZMP-220 показано на рисунку 1.2. Така сонячна батарея має наступні характеристики: геометричні розміри - 1642×948×34 мм; максимальна потужність - 200 Вт; струм короткого замикання - 7,5 А; напруга холостого ходу – 35,7 В.

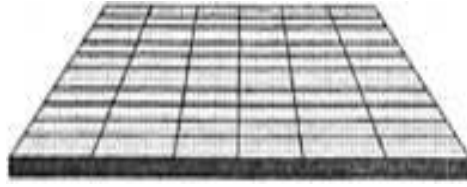


Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд сонячної батареї типу RZMP-220

Сонячні батареї забезпечують більшу автономність і незалежність від ліній електропередач. Сонячна електрика має багато переваг: - це чисте, тихе й надійне джерело енергії, особливо у віддалених районах, де немає централізованого електропостачання. Фотоелектричні системи протягом усього строку експлуатації генерують значно більше енергії, чим було витрачено при їхнім виробництві. У сонячних країнах, подібних Іспанії, сонячні батареї за 2 року повертають енергію, витрачену на їхнє виробництво, а служать приблизно 25 років. Як приклад, можна привести дані про сонячну батарею, виготовлену з фотоелектричних елементів в основі кристалічного кремнію, встановленої на одному з ранчо в штаті Техас. Ця сонячна батарея, встановлена на нерухливій підставі, при нормальному освітленні генерує потужність близько 6 кВт [3,4].

Однак, у цей час, головне застосування сонячні батареї знайшли в космонавтиці, де вони займають основне місце серед інших джерел автономного енергоживлення. Сонячні батареї постачають електроенергію апаратурі супутників і системи життєзабезпечення космічних кораблів і станцій, а також заряджають електрохімічні акумулятори, використовувани на тіньових ділянках орбіти.

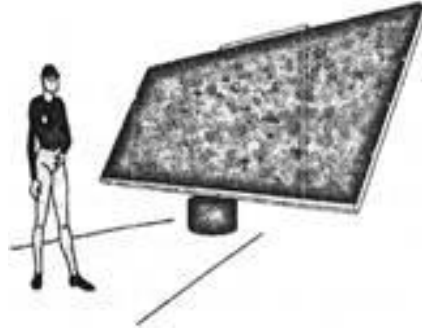


Рисунок 1.3 - Сонячна батарея потужністю 6кВт.

На міжнародній космічній станції (МКС) сонячні батареї мають наступний пристрій: дві гнучкі складні панелі сонячних батарей утворюють так зване крило сонячної батареї, усього на фермових конструкціях станції розміщено чотири пари таких крил. Кожне таке крило має довжину 35 м і ширину 11,6 м, а його корисна площа становить 298 м^2 . Вироблена кожних таким крилом, сумарна потужність досягає 32,8 кВт. Сонячні батареї генерують постійну напругу від 115 до 173 В, яке потім, за допомогою спеціальних перетворювачів, трансформується в стабілізовану, постійну напругу, величиною 124 В. Це стабілізована напруга безпосередні використовується для живлення електроустаткування станції. Станція робить один оберт навколо Землі за 90 хвилин і приблизно половину цього часу вона проводить у тіні Землі, де сонячні батареї не працюють. Тоді її електропостачання походить від буферних нікель-водневих акумуляторних батарей, які підзаряджаються, коли МКС знову виходить на сонячне світло [3,4].

Як приклад використання сонячних батарей на космічних апаратах на рисунку 1.4. показаний зовнішній вигляд супутнику й панелі сонячних батарей "Космос-242". Тут використовувалися фото чутливі елементи, виготовлені на основі кристалічного кремнію. Загальна площа сонячних батарей на цьому супутнику становила приблизно 52 м, що дозволяє генерувати потужність близько 5 кВт.

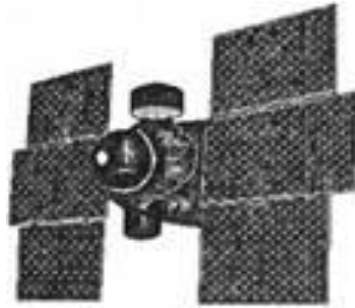


Рисунок 1.4 - Сонячна батарея, установлена на супутнику "Космос-242"

На рисунках 1.5 та 1.6 наведений загальний вид і панелі сонячних батарей, установлених на космічних станціях "Союз" і "Мир". На станції "Мир" площа сонячних батарей становила 114 квадратних метрів, і вони давали 10.1 кіловат потужності. З метою найбільш оптимального використання сонячного випромінювання та для одержання максимальної віддачі потужності, сонячні батареї постійно розверталися, за допомогою електричних моторів, перпендикулярно напрямку падаючого на них світла. Практично у всіх сучасних системах космічних станцій сонячні батареї закріплені рухливо, щоб дозволити їм розвертатися, не розвертаючи всього космічного корабля [3,4].



Рисунок 1.5 - Зовнішній вигляд космічної станції "Союз". 1-сонячні батареї; 2- корпус станції

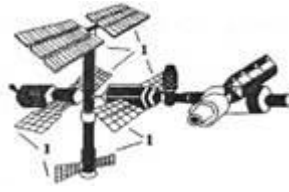


Рисунок 1.6 - Зовнішній вигляд космічної станції «Мир»: 1 - сонячні батареї

У перспективі, альтернативою кремнієвим сонячним батареям можуть стати полімерні сонячні батареї.

1.2 Полімерні сонячні батареї

Це нова технологія, над розвитком якої працюють десятки науково - дослідницьких інститутів і фірм по усьому світу. Полімерний фотоелемент – це плівка, яка складається з активного шару (полімеру), електродів з алюмінію, гнучкої органічної підкладки й захисного шару [5].

Для створення рулонних полімерних сонячних батарей окремі плівкові фотоелементи поєднують між собою. Якості полімерних сонячних батарей у порівнянні зі звичайними - кристалічними: компактність, легкість, гнучкість. Такі батареї недорогі у виробництві (для їхнього виготовлення не використовується дорогий кремній) і екологічні, тому що вони виявляють на навколишнє середовище менш значний вплив. Недолік - ефективність перетворення сонячної енергії полімерних сонячних батарей поки дуже низька. Цей недолік і обмежував створення таких батарей на рівні зразків - прототипів. Перші полімерні батареї в промислових масштабах почали випускати в Данії (рисунок 1.7) [5].

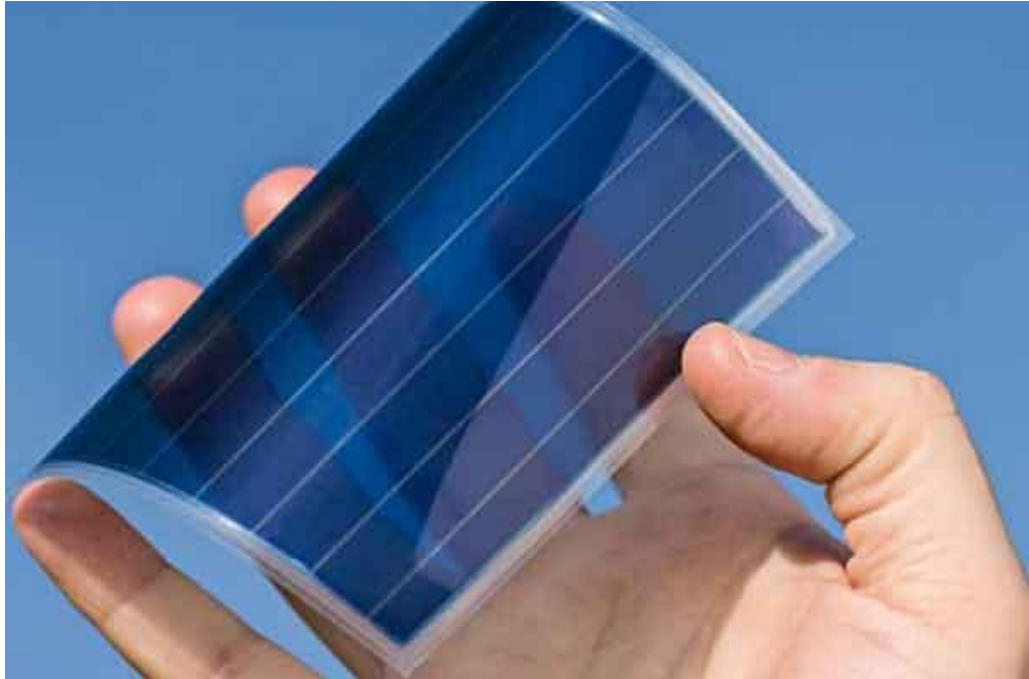


Рисунок 1.7 – Полімерний сонячний елемент

Ці сонячні батареї мають ККД 6,5% при освітленості в 0,2 ват на квадратний сантиметр. Це найвищий рівень, досягнутий для сонячних батарей з органічних матеріалів. І хоча кращі кремнієві сонячні батареї мають ККД 40%, проте, до полімерних батарей в усьому світі проявляють дуже сильний інтерес. Виробництво полягає в багатошаровому пресуванні сонячного фотоелемента на гнучку плівку, яку потім можна скручувати, розрізати й робити із плівки сонячні батареї абсолютно будь-яких розмірів [5].

Другим плюсом полімерних батарей є їх добра гнучкість. Таку батарею можна різати ножем, можна згортати в трубку, можна наклеїти на будь-яку поверхню абсолютно довільної форми [5].

За бажання таку батарею можна наклеїти навіть на одяг. Полімерна батарея була наклеєна на звичайну шапку. І в сонячну погоду потужності батареї вистачило на те, щоб від неї працював невеликий переносний радіоприймач.

І нарешті, не можна не згадати і про чистоту процесу виробництва таких батарей. Виявляється, їх виробництво не шкідливіше, ніж виробництво

звичайного пластикового посуду і про шкідливі викиди в атмосферу, звичайних батарей, що відбуваються при виробництві, з кремнію скоро можна забути.

Цілком можливо, що через якийсь час ми забудемо про газ і вугілля, оскільки при подальшому розвитку цієї технології цілком можливо що електроенергія, що виробляється, з використанням сонячних полімерних батарей виявиться дешевшою за процес здобуття електроенергії шляхом спалювання традиційних енергоносіїв [5].

Нобелівський лауреат Алан Хигер (Alan Heeger) з центру полімерів і органічних твердих часток університету Каліфорнії в Санта-Барбарі (Center for Polymers and Organic Solids — CPOS), Кванхе Лі (Kwanghee Lee) з корейського інституту науки і технології в Гванджу (Gwangju Institute of Science and Technology) і їх колеги з CPOS створили так звані тандемні полімерні сонячні батареї, що поставили рекорд по ККД для фотоелектричних перетворювачів на базі органічних матеріалів.

Автори нової батареї з'єднали в одне ціле два фотоелектричні вічка з різними поглинальними характеристиками, аби використовувати ширший діапазон спектру (один шар сприймає коротші, інший — довші хвилі).

Батарея була виготовлена шляхом послідовного осадження шарів з розчину, що містить напівпровідники-полімери і похідні фуллеренів, що сформували гетероструктури.

Шар з прозорого окислу титану (TiO_x) розділяє (і скріплює) переднє і заднє фотовічка. Цей шар служить для транспорту електронів з першого шару і також є міцною основою для другого фотоелектричного шару.

"Результат такої сонячної батареї — ККД в 6,5% (при освітленості в 0,2 вата на квадратний сантиметр), що вище, ніж в наявних сонячних панелей, зроблених з органічних матеріалів", — стверджує Хигер. І хоча кращі сонячні батареї в світі вже досягли ефективності в 40,7%,

полімерні/органічні фотоелектричні перетворювачі представляють величезний інтерес через свою дешевизну і простоту виготовлення [5].

1.3 Основні параметри сонячних батарей

Для подальших досліджень необхідно обрати параметри моделювання сонячних елементів та сонячних панелей.

Напруга у фотоелектричних модулях. Напруга сонячної панелі визначається кількістю фотоелектричних елементів, з'єднаних послідовно. Кожен фотоелектричний елемент має робочу напругу трохи менше 0.5 В. В даний час є модулі з кількістю елементів 36, 48, 54, 60, 72 і 96. Найбільш поширені модулі з кількістю елементів 36, 60 і 72. Вважається, чим менша напруга при максимальній потужності фотоелектричного модуля, тим ефективнішим є модуль [6,7].

Якість виготовлення. Якість фотоелектричного елемента може бути різною. Потрібно перевіряти якість виготовлення і відсутність візуальних дефектів на сонячних елементах, склі, захисній плівці і рамі фотоелектричного модуля. Ефективність модуля залежить від шунтового і послідовного опорів, шумових струмів, зворотного опору та інше. Якість сонячного елемента залежить від якості кремнію, контактних паст і припою. Між склом і елементами розташована EVA-плівка, яка з часом мутніє. Від якості цієї плівки може залежати термін служби модуля і втрата його потужності [6,7].

Також строк придатності модуля залежить від якості герметизації задньої захисної плівки та всього модуля. Задня плівка захищає модуль від попадання вологи. При неякісних даних елементах волога накопичується всередині модуля і руйнує контакти і контактну групу деталей і модуль може

вийти з ладу. Одним з елементів модуля є - алюмінієва рама. Дефекти, спричинені корозією рами внаслідок окислення, більше мають візуальний характер. Але в деяких випадках це може призводити до руйнування конструкції [6,7].

Толерантність. Під толерантністю мається на увазі відхилення реальної потужності модуля від заявленої паспортної. Толерантність може бути як позитивною, так і негативною. Наприклад, модуль із паспортною потужністю 240 Вт може мати потужність 230 Вт; це означатиме, що даний модуль має негативний толеранс. Позитивний толеранс означає, що сонячна панель не тільки гарантовано матиме при стандартних тестових умовах вихідну потужність 240 Вт, але навіть і більше [6,7].

Температурний коефіцієнт. Температурний коефіцієнт відображає вплив на вихідний струм і напругу модуля підвищення або зниження температури модуля. Як відомо, напруга і потужність модуля при підвищенні температури зменшуються, а струм підвищується. Чим менший температурний коефіцієнт зміни потужності, тим фотоелектричний модуль є кращий [6,7].

Ефективність перетворення сонячного світла. Чим більший ККД, тим меншу площу модулів потрібно для генерації однакової потужності енергії.

Загальна кількість енергії, витраченої при виробництві модуля. Цей параметр не є обов'язковим, носить тільки інформаційний характер. Загальна кількість енергії, яку було витрачено при виробництві сонячного модуля від видобутку кремнію до доставки в магазин готової продукції. Цей параметр відображає, наскільки енергоємним було виробництво модуля і наскільки швидко сонячний модуль виробить таку ж кількість енергії, яку було витрачено на його виробництво (так звана окуповуваність енергії) [6,7].

Термін служби та гарантія. Заявлений термін служби сонячної панелі може відображати впевненість виробника в якості виробленої продукції.

Солідні виробники мають гарантію 25 років на 80-90% потужності модуля, а також 5 і більше років на механічні пошкодження [6,7].

Розміри і потужність. Вартість модуля залежить від його потужності прямо пропорційно. Однак, чим більше одинична потужність модуля, тим менше буде його вартість за Вт. Тип сонячних елементів, застосованих в модулі, також визначає його розмір. Тому необхідно розрахувати, яка потужність потрібна для постачання електроенергії до навантаження і кількості модулів [6,7].

Пікова потужність всіх модулів виміряна при стандартних тестових умовах. Тестові умови за STC: маса повітря $AM = 1.5$, радіація $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$ і температура фотоелектричного елемента $T_c = 25 \text{ }^\circ \text{C}$. Такі умови при реальній роботі модулів не існують - модулі нагріваються зазвичай до 40-60 градусів, освітленість майже завжди нижче 1000 Вт/м^2 (виняток становлять морозні ясні дні). Тому багато виробників також дають характеристики модулів при NOCT (normal operation conditions) - зазвичай для температури модуля $45\text{-}47 \text{ }^\circ \text{C}$ і освітленості 800 Вт/м^2 , при цьому ефективність модулів приблизно на 25-30% нижче пікового. У морозний ясний день ефективність модулів може доходити до 125% від пікової [6,7].

1.4 Системи контролю оптичного поглинання

Для діагностики відбивальних характеристик покриттів сонячних елементів традиційно використовуються оптичні методики, безперечною перевагою яких для таких об'єктів є вимір макроскопічних характеристик, що визначають властивості речовини в цілому (не знаючи точних параметрів: складу, структури, кількості шарів і тому подібне). Інформативними для цього класу об'єктів можна відзначити спектроскопію [8], звичайну і спектральну еліпсометрію [9,10], багатокутове розсіяння [11], статистичні

методи, ґрунтовані на аналізі дифракційних картин відбитого світла [11,12]. Ці методи базуються на явищах взаємодії випромінювання з речовиною, і відмінності в здатності відбивати або поглинати світло.

Перевага оптичних методів полягає в їх гнучкості по відношенню до об'єкту дослідження, що дозволяє поєднувати декілька методик одночасно або переходити від однієї до іншої, що важливо при проведенні експерименту. Оптичну схему легко перебудувувати, як з точки зору зондуючої частини, створюючи пучки необхідної конфігурації, необхідної апертури і поляризації, так і з точки зору приймальної апаратури, використовуючи при цьому цифрові камери, фотодіоди, або інші сенсорні пристрої з необхідною обробкою отримуваних даних. Розташування досліджуваних зразків також не є критичним, і їх кріплення може бути конфігуроване способом, зручним в експериментальному плані.

Але, в умовах практичної («польової») експлуатації сонячних батарей використання прицезійної контрольно-вимірювальної апаратури є досить проблематичним. Виникає необхідність у створенні нових систем контролю оптичних параметрів сонячних елементів, які б мали компактні габаритні розміри, спрощені оптичні системи із мінімальним набором елементів, ефективні автоматизовані системи реєстрації та обробки вимірювальних параметрів.

Тому, метою роботи є дослідження та розробка системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів.

Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно виконати наступний комплекс завдань:

- 1) проаналізувати вимоги до сучасних систем реєстрації оптичних параметрів сонячного випромінювання у геліоенергетичних установках;

- 2) розробити оптимальну за параметрами структурну схему системи вимірювання оптичного поглинання випромінювання у полімерних сонячних елементах;

- 3) провести фізико-математичне моделювання процесу поглинання світла в обраній системі;
- 4) провести моделювання основних структурних блоків системи за допомогою сучасних САПР;
- 5) провести техніко-економічні дослідження системи та розробити заходи з охорони праці та техногенної безпеки робіт, що планується виконати.

2. Розробка системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

2.1 Моделювання процесу розповсюдження світла на поверхні полімерних сонячних елементів

2.1.1 Оптико-фізичні процеси у полімерних сонячних елементах

Наразі проблема розповсюдження та поглинання світла у полімерних сонячних елементах є недостатньо вивченою і у загальному вигляді має наступні теоретичні підстави.

Полімерні сонячні батареї зазвичай є пошарово накладеними один на одного тонкими плівками з полімерних матеріалів, що виконують різні функції. Залежно від субстрату, товщина однієї батареї може бути від 500 нм. Так, на прозору полімерну основу (субстрат), покриту шаром оксиду індію-олова, який має функцію електроду, наносять фотоактивний шар, що складається з електрон-акцептора і електрон-донора [13-15].

Є два типи фотоактивних шарів :

- 1) об'ємний гетероперехід (твердофазна суміш двох матеріалів);
- 2) два окремі шари електрон-ацептор і електрон-донор, нанесені послідовно.

Поверх фотоактивного шару розташовується металевий електрод, кальцієвий, алюмінієвий або срібний, залежно від архітектури батареї. У сучасних зразках між фотоактивних шаром і електродами поміщають додаткові шари: електрон-провідний або дірко-провідний, або відповідно електрон-блокуючий і дірко-блокуючий. Розташування цих шарів відносно фотоактивного шару визначається архітектурою батареї [13-15].

Архітектура батареї буває двох типів: пряма (стандартна) або зворотна (перевернута). У перевернутій, як випливає з назви, електричні заряди

екстрагуються протилежними електродами. Так, дослідження показали, що у батареї стандартної архітектури ефективність вища, ніж у перевернутих, проте стабільність нижча.

У полімерних сонячних батареях фотоактивний шар складається з двох типів матеріалів: донора і акцептора. При попаданні світла на поверхню батареї, донор (зазвичай зв'язаний полімер) поглинає фотон світла. Довжина хвилі (енергія) цього фотона залежить безпосередньо від хімічної структури донора і його організації в плівці шару (наприклад, кристалічності). Поглинена енергія фотона збуджує електрон з основного стану у збуджений стан, або з верхньої зайнятою молекулярною орбіталі (англ. HOMO) до нижчої вільною молекулярною орбіталі (англ. LUMO) [13-15].

Отримана в результаті такого збудження квазічастинка називається екситон Френкеля і складається з дірки (тобто відсутності електрона, позитивного заряду) і збудженого електрона (негативного заряду). Екситон не має заряду і не може служити носієм, проте може переміщатися по зв'язаній системі донора. Залежно від спінового стану екситони можуть бути синглетними і триплетними. Термін життя синглетного екситона складає наносекунди, а триплетного біля мілісекунди або більше. За певних умов синглетний екситон може перейти в триплет. Екситон переміщається в системі донора не далі 5-20 нм, залежно від виду полімеру. Далі він має дві можливості [13-15]:

- 1) дисоціювати і розділитися на окремі позитивний і негативний заряди, якщо екситон зустріне на своєму шляху акцептор;
- 2) розпастися з випромінюванням поглиненої енергії (шляхом фосфоресценції або люмінесценції, залежно від типу екситона), якщо найближча молекула донора розташована за межами можливої довжини переміщення екситона.

Для полімерних сонячних батарей останній випадок є втратою ефективності: важливі є тільки екситони, які можуть дисоціювати. Енергія сполучення дірки і електрона в екситоні в полімерних системах дуже висока,

близько 0,5-1 eV і тому при кімнатній температурі термодинамічної складової недостатньо, щоб розділити екситон на заряди. Тому для розділення екситона важливі два аспекти: відсутність порядку в системі (англ. disorder) і присутність другого компонента, акцептора [13-15].

Нижча вільна молекулярна орбіталь акцептора повинна мати меншу енергію, щоб ініціювати дисоціацію екситона і полегшити перехід електрона на молекули акцептора. Так, дисоціація екситона відбувається на межі двох фаз: донора і акцептора, тому ефективність дисоціації екситонів набагато вище в системах зі змішаними фазами. Якість меж двох фаз, так званого інтерфейсу, багато в чому визначає ефективність батареї, особливо силу генерованого струму. При дисоціації екситона, електрон переходить на акцептор, а дірка залишається у фазі донора [13-15].

Проте, після дисоціації дірка і електрон не є окремими зарядами. Вони перебувають на межі розділу фаз в зв'язаному стані у вигляді так званого перехідного комплексу або комплексу перенесення заряду (англ. charge transfer complex), що складається з електрона і дірки, все ще пов'язаних між собою, але з меншою енергією, ніж в екситоні. Такий комплекс може або розділитися остаточно під дією внутрішнього поля (визначуваного різницею в енергетичних рівнях донора і акцептора) або ж рекомбінувати (об'єднатися в електрон на основному рівні без виділення енергії шляхом випромінювання). Подібна рекомбінація називається здвоєною (geminate), тому що обидва рекомбінуючі партнери мають загальне походження (з одного і того ж екситона) [13-15].

Якщо ж електрону і дірці вдалося розділитися, то вони переміщуються до електродів, де екстрагуються відповідними електродами. Електрон переміщується по фазі акцептора до катода, а дірка - по фазі донора до анода. Якщо на своєму шляху окремі заряди зустрічають протилежний заряд, який не потрапив до електроду з якихось причин, то вони також рекомбінують. Така рекомбінація називається нездвоєна, тому що рекомбінуючий електрон і дірка мають різне походження (з різних екситонів). Рекомбінація зарядів є

одним з чинників, що обмежують ефективність сонячних батарей, оскільки рекомбіновані заряди не можуть бути екстраговані [13-15].

Оскільки для успішного транспорту зарядів кожна фаза має бути безперервною в усьому фотоактивному шарі, щоб заряд безперешкоди дістався до електродів, найкраща екстракція спостерігається у батареях, де шар акцептора нанесений на шар донора без перемішування. Проте для дисоціації екситонів такий підхід неефективний по причині маленького кордону розділу фаз [13-15].

Так, оптимальна морфологія фотоактивного шару є компромісом між транспортом електронів і дисоціацією екситонів на межі фаз. Оптимальна морфологія шару залежить від великого числа чинників: хімічної структури донора і акцептора, їх термічних властивостей, температури і розчинника, а також методу отримання шару [13-15].

Зважаючи на все зазначене вище, можна зробити висновок, що процес поглинання світла у самій структурі полімерного сонячного елемента є досить складним процесом. Фіксація ефектів у такій моделі пов'язана із використанням непрямих випробувань. Це не дасть нам вирішити одне із основних завдань – еспресності вимірювання.

Тому, у роботі пропонується застосувати модель відбитого випромінювання від однієї із складових архітектури полімерного сонячного елемента - прозору полімерну основу (субстрат), покриту шаром оксиду індію-олова, який має функцію електроду. У залежності від інтенсивності відбитого випромінювання пропонується провести вимірювання електрофізичних параметрів полімерного сонячного елемента (ВАХ).

2.1.2 Моделювання інтенсивності відбитого світла у полімерному сонячному елементі

Як відомо, повний коефіцієнт пропускання оптичної системи, яка складається із окремих оптичних елементів, з урахуванням втрат на

відбивання, поглинання і розсіювання світла розраховується за формулою [16]:

$$T_{\Sigma} = \prod_{i=1}^M (1 - R_i) \prod_{k=1}^N (1 - \alpha^k)^{l^k}, \quad (2.1)$$

де, M – число поверхонь оптичних елементів, що заломлюють світло; N – число оптичних елементів, через які проходить світло; R_i – коефіцієнт відбиття i -ої поверхні; α^k – показник ослаблення світла k -тим елементом, який одночасно враховує поглинання і розсіювання світла склом; l^k – товщина k -го елемента вздовж оптичної системи.

Коефіцієнт R_i , який буде основною складовою дослідження будемо визначати за наступним виразом:

$$R_i = \frac{I_R}{I_0}, \quad (2.2)$$

де, I_0 – інтенсивність падаючого випромінювання, I_R – інтенсивність відбитого випромінювання.

У якості основи (субстрата) на якій проводилась дослідження було використано комерційну плівку Kapton, як таку що володіє досить сприйнятними механічними властивостями, хімічною стійкістю та доволі малою вартістю, порівняно із іншими структурами [16].

Нами було проведено експеримент по дослідженню прозорості плівки Kapton у видимому оптичному діапазоні. Експеримент було проведено на стандартному спектрофотометрі СФ-26. У якості джерела світла використовувалась лампа накаливання. Спектр представлено на рисунку 2.2.

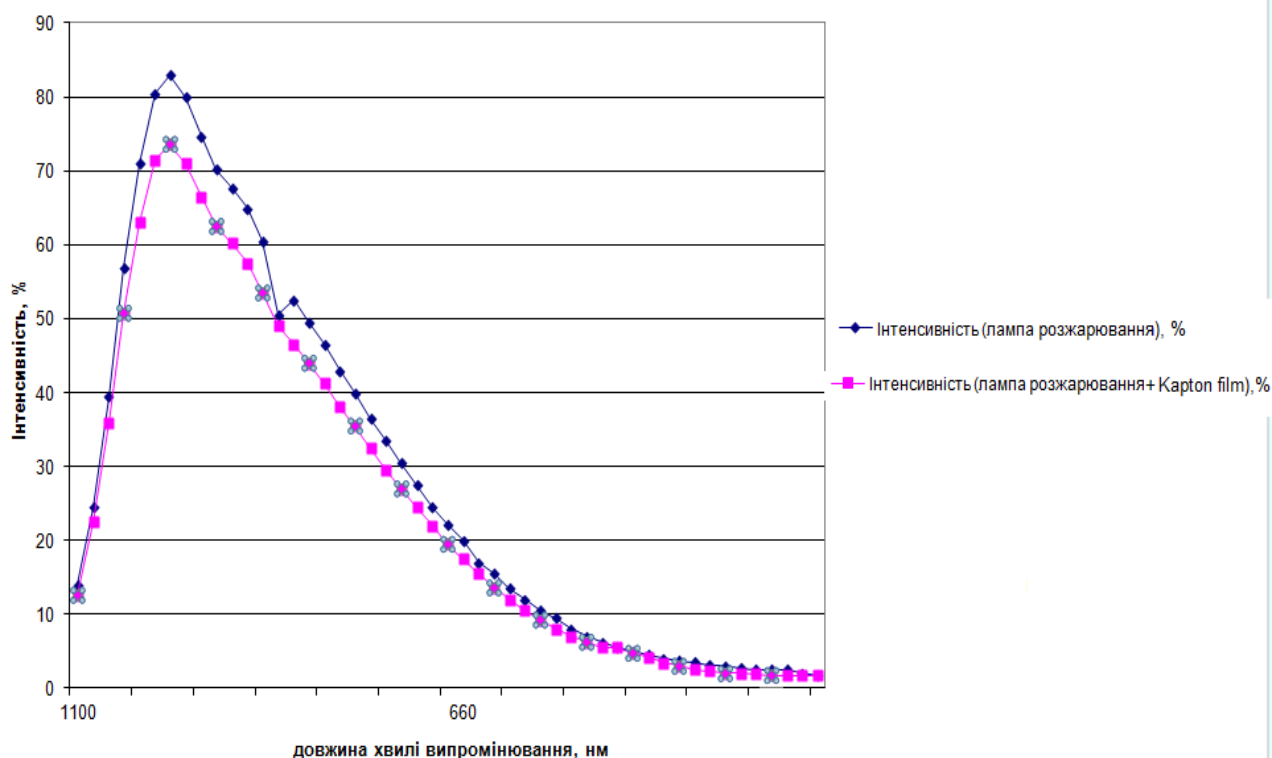


Рисунок 2.2 – Прозорість плівки Kapton у видимому оптичному діапазоні

Як видно із рисунка 2.2, плівка Kapton не містить характерних ліній поглинання у видимому оптичному діапазоні. Отже, при подальших розробках та дослідженнях у видимому та близькому до інфрачервоного діапазонах її вплив на результати експериментів буде мінімальним.

Інтенсивність відбитого випромінювання від плівки вимірювалась за допомогою промислових вимірювачів потужності ИМО. Схема експерименту по вимірюванню інтенсивності відбитого випромінювання від плівки Kapton представлено на рисунку 2.3.

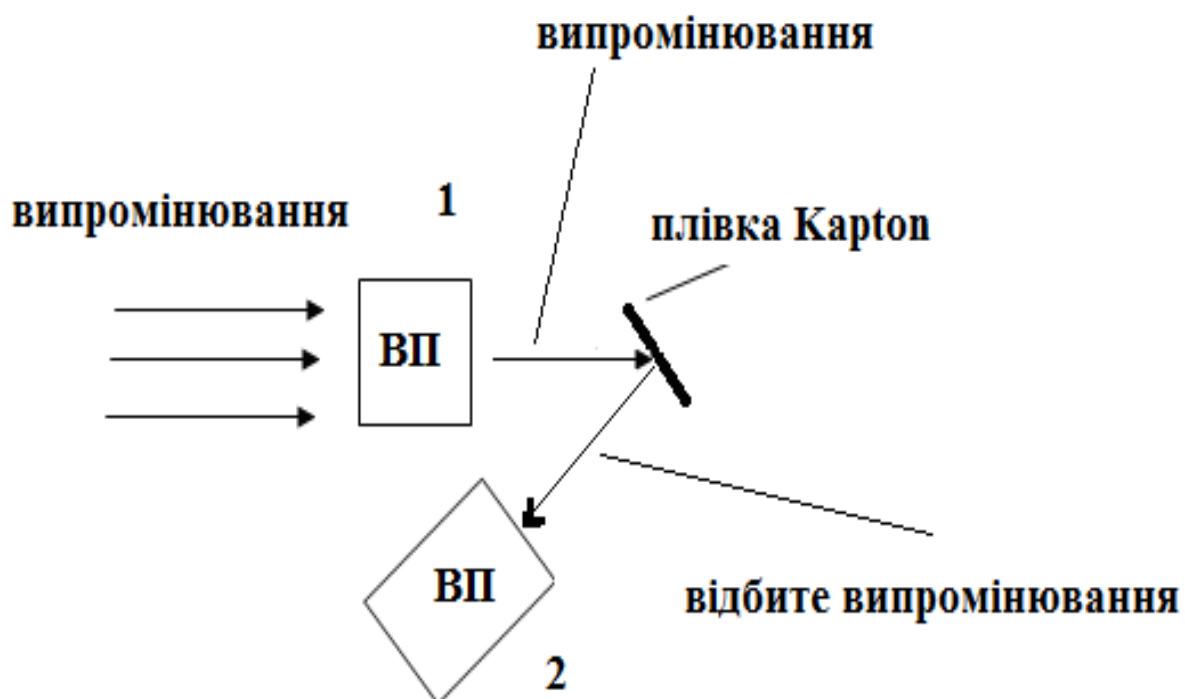


Рисунок 2.3 - Схема експерименту по вимірюванню інтенсивності відбитого випромінювання від плівки Картон: ВП – вимірювач потужності ИМО.

Інтенсивність падаючого випромінювання вимірювалась у положенні 1, відповідно інтенсивність відбитого випромінювання вимірювалась у положенні 2.

2.1.3 Вимірювання електричних параметрів полімерного сонячного елемента

Вимірювання електричних характеристик полімерного сонячного елемента проводилось на базі раніше досліджуваного пристрою вимірювання критичних параметрів сонячних елементів.

Електрична схема пристрою вимірювання параметрів представлена на рисунку 2.4.

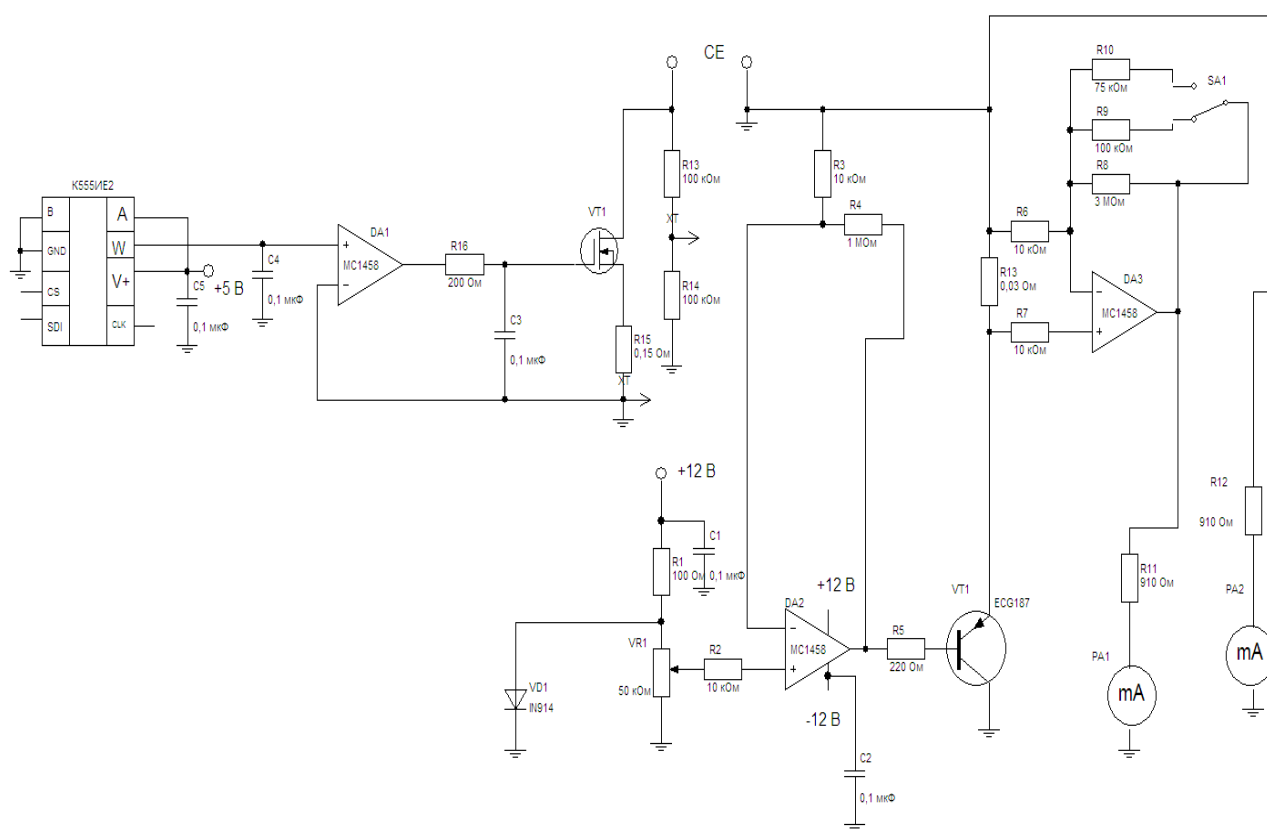


Рисунок 2.4 - Електрична схема вимірювального пристрою параметрів сонячних елементів

Вимір напруги на сонячному елементі здійснюється вольтметром М1, а струму, що протікає через шунтуючий транзистор - амперметром М2. Також у якості вимірювальних пристроїв можуть слугувати універсальний вимірювач, або сполучена із вимірювальною схемою ПЕОМ.

Паралельний стабілізатор напруги є регулювальником, охопленим петлею зворотного зв'язку, що використовує вхідну напругу для управління струмом бази. Незалежно від первинної напруги на вході паралельний стабілізатор змінює свій шунтуючий опір так, щоб вихідна напруга підтримувалася на необхідному рівні. Для регулювання базового струму транзистора використовується операційний підсилювач. Резистор опором 220 Ом служить для обмеження струму бази.

Регулювальник порівнює вхідну напругу, що поступає від фотоелектричного перетворювача, з опорною напругою. Зазвичай як джерело опорної напруги використовується схема на стабілітроні. У схемі використовуємо прямозміщений кремнієвий діод, який слугує низьковольтним джерелом опорної напруги.

Діод D1, прямий зсув на якому заданий резистором, визначає діапазон напруги регулювальника, обмежуючи напругу на регулювальному резисторі «калібрування». Опорна напруга з цього потенціометра подається на неінвертуючий вхід підсилювача. На інвертуючий вхід підсилювача через резистор R3 подається напруга фотоелектричного перетворювача. Резистором R4 задається величина коефіцієнта посилення операційного підсилювача (в даному випадку вона складає 10). Завдяки своїй особливості операційний підсилювач намагається вирівняти напругу на своїх інвертуючому і неінвертуючому входах, управляючи струмом, який протікає через шунтуючий регулювальний транзистор Q1. Транзистор знижує вхідну напругу до такої величини, що воно стає рівною напрузі на відведенні резистора VR1. Ця напруга може регулюватися в межах 0—0,7 В.

Потужність (у ватах) визначається перемноженням показів приладів. Вольтметр підключається безпосередньо до елемента. Він розрахований на струм 1 мА, з послідовним обмежуючим резистором R12, який дозволяє відображати 1 В при відхиленні на повну шкалу. З іншого боку, для виміру струму разом з амперметром M2 використовується операційний підсилювач. Схема побудована так, що струм емітера транзистора Q1 повинен протікати

через резистор R13. Цей струм відповідає струму, що генерується сонячним елементом.

При протіканні струму на резисторі R13 створюється невелике падіння напруги. Воно посилюється диференціальним підсилювачем, напруга на інвертуючий і неінвертуючий входи якого подається через резистори R6 і R7 відповідно.

Величина коефіцієнта посилення контролюється резисторами R8—R10. Резистор R8 постійно підключений між виходом і інвертуючим входом. Його опір складає 3 МОм, а відповідне значення коефіцієнта посилення — 300. Коли через резистор R13 протікає струм, рівний 100 мА, вихідна напруга підсилювача складає 1 В.

Вихідна напруга диференціального підсилювача вимірюється вольтметром, ідентичним вольтметру M1. Цей прилад відкалібровано в одиницях струму. У нашому випадку напрузі 1 В відповідає струм 100 мА. При підключенні паралельно резистору R8 резистора R10 коефіцієнт посилення зменшується до 60. В цьому випадку напрузі 1 В на виході підсилювача відповідає струм 500 мА, що протікає через R13. Таким чином розширено діапазон вимірюваних струмів, що охоплює значення 100—500 мА. Аналогічно при паралельному підключенні резистора R9 до резистора R8 можна вимірювати струми в діапазоні 0—3 А.

2.1.4 Вибір архітектури полімерного сонячного елементу

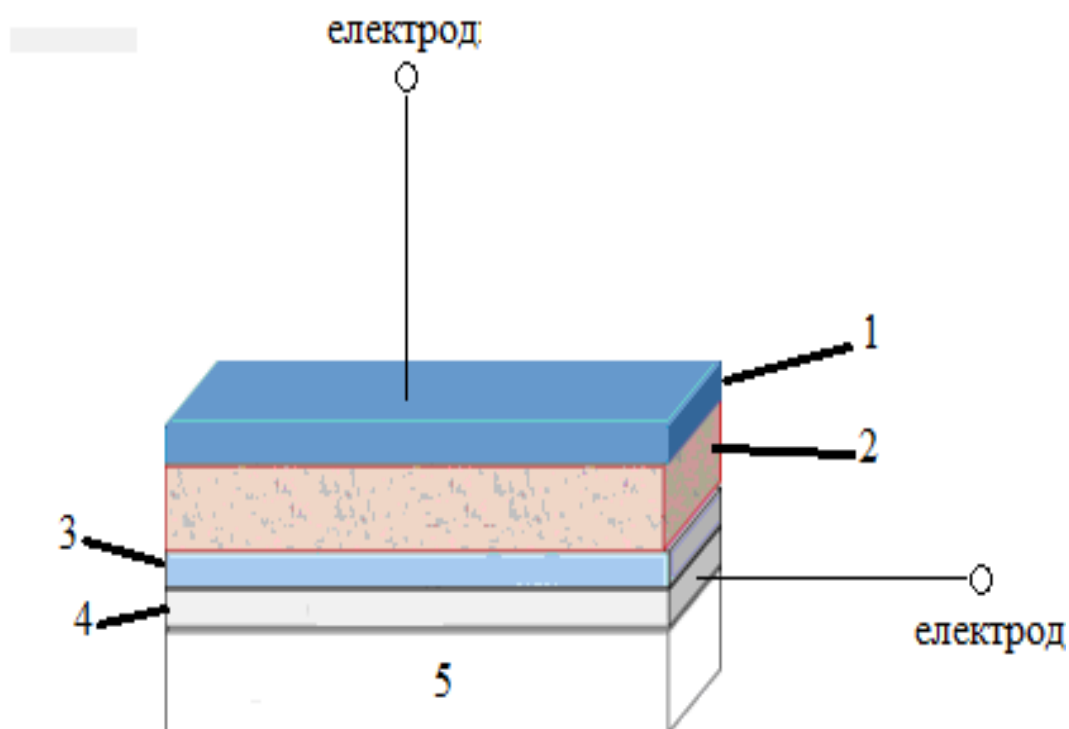
Архітектура батареї буває двох типів: пряма (стандартна) або зворотна (перевернута). У перевернутій, як випливає з назви, електричні заряди екстрагуються протилежними електродами. Так, дослідження показали, що у батарей стандартної архітектури ефективність вища, ніж у перевернутих, проте стабільність нижча.

Низька стабільність обумовлена тим фактом, що в стандартних батареях як електрод використовується кальцій, який швидко окислюється на повітрі до кальцію оксиду, який має гіршу провідність. У свою чергу, зворотна архітектура дозволяє використати в якості електродів срібло і золото, стійкіші до окислення.

Для поліпшення екстракції електронів в перевернутих батареях часто використовують прозорі оксиди, що проводять, такі як титана оксид і цинку оксид, часто у вигляді наночасток або наноструктурованих плівок. Останнім часом більше уваги приділяється дослідженням інших шарів, здатних покращувати екстракцію електронів, у тому числі полімерних.

Для поліпшення екстракції дірок застосовуються прозорі полімери, що проводять, наприклад суміш поли (3,4-етилендиокситиофена) і полистиролсульфоната (PEDOT: PSS) або інші оксиди, що проводять, з більше відповідними для цього електронними рівнями, такі як ванадію оксид, молібдену оксид. Останнім часом все більший інтерес викликають напівпровідники на основі графена і графена оксиду [13-15].

На підставі проведених досліджень по моделюванню полімерного сонячного елемента обираємо стандартну архітектуру, як таку, що має більшу ефективність. Архітектура представлена на рисунку 2.5



- 1 - кальцієвий електрод;
- 2 - фотоактивний шар;
- 3 - дірко - провідний шар;
- 4 - оксид індія-олова;
- 5 - основа - плівка Картон

Рисунок 2.5 – Архітектура полімерного сонячного елемента

У якості основи нами запропоновано використати плівку Картон, яка володіє гарними механічними та оптико-фізичними параметрами.

2.2 Структурна схема системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

Зазвичай, схема по дослідженню інтенсивності відбитого випромінювання має структуру, яка представлена на рисунку 2.6 [18]:

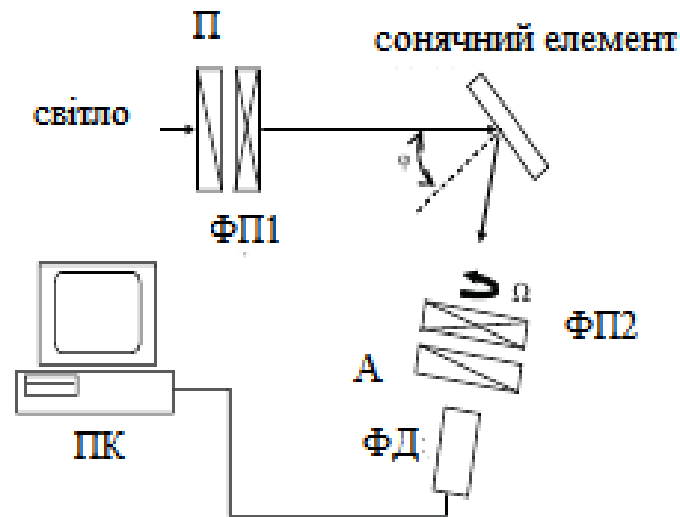


Рисунок 2.6 – Стандартна схема вимірювання інтенсивності відбитого світлового потоку: П – поляризатор, ФП – фазова пластинка, А – аналізатор, ФД – фотодетектор, ПК – персональний комп’ютер.

Але, представлена схема є складною у налаштуванні та має суворі вимоги до зовнішніх факторів (механічні коливання, оптичні шуми, обмеженість у габаритах). Це у свою чергу зменшує такий показник, як експресність методу вимірювання.

Тому, нами було запропоновано наступну структурну схему системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів, яка представлена на рисунку 2.7.

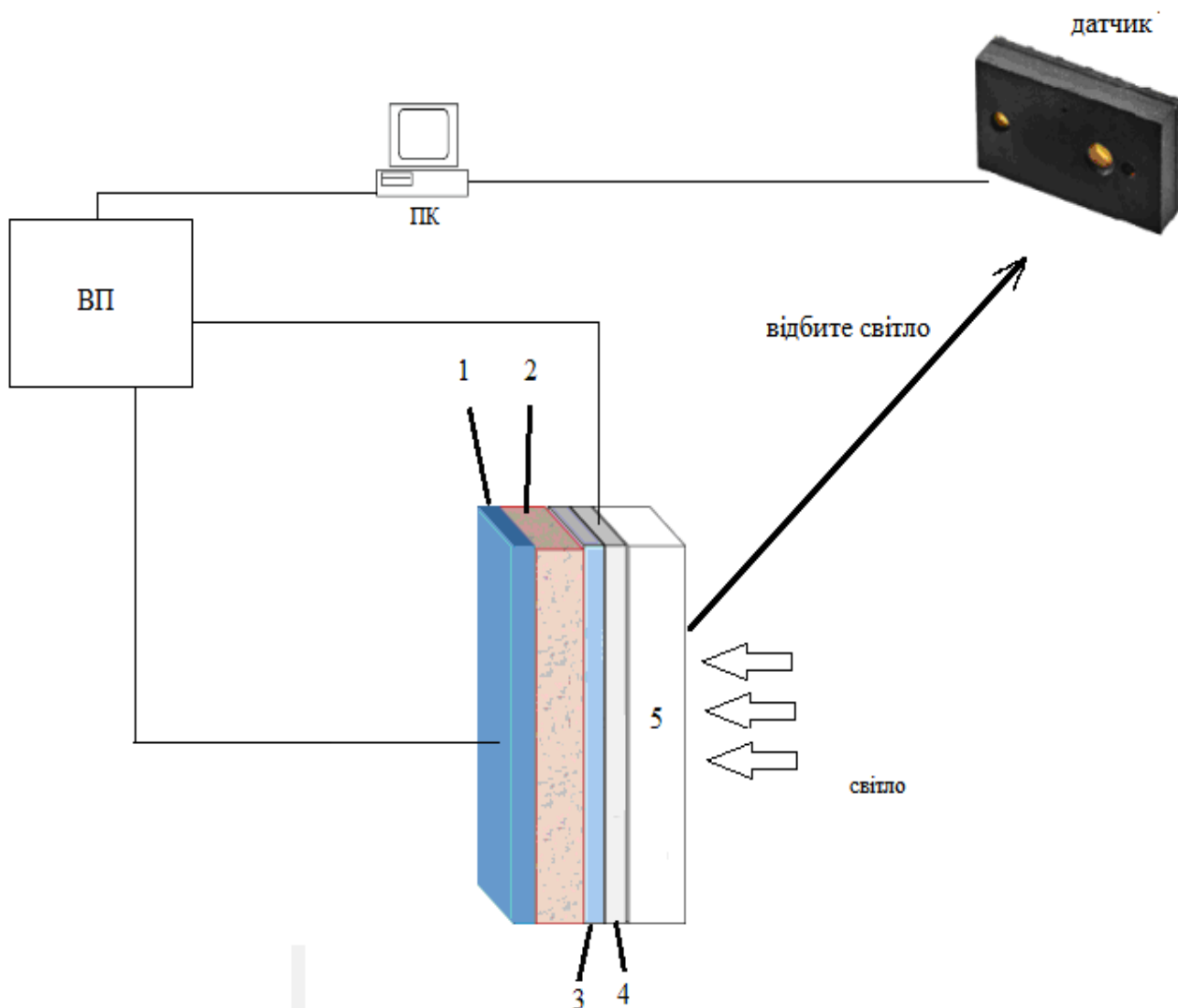


Рисунок 2.7 - Структурну схему системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів: 1 - кальцієвий електрод; 2 - фотоактивний шар; 3 - дірко - провідний шар; 4 - оксид індія-олова; 5 - основа - плівка Картон; ВП вимірювальний пристрій.

В основу структурної схеми покладено використання елементів технології ST FlightSense [19,20].

Нова технологія ST FlightSense™ розробки STMicroelectronics використовує принцип виміру часу поширення світла і дає набагато більш високу точність завдяки використанню модулів VL6180X.

Модулям VL6180X доступний цілий ряд переваг [19,20]:

- інтеграція в одному модулі випромінювача, датчиків наближення і освітленості;
- закінченість вимірювальної системи, що не вимагає додаткових оптичних елементів;
- діапазон вимірюваних відстаней - 0.100 мм (і більше);
- незалежність від коефіцієнта відображення об'єкту, що детектується, і зовнішньої освітленості;
- вимір освітленості - 0,08.100000 лк;
- можливість глибокого калібрування;
- гнучка система живлення.

ІЧ -датчики широко поширені в системах розпізнавання рухів та у вимірниках відстані. Загальноприйнятою є технологія, в якій використовується вимір інтенсивності відбитого світла.

Нова технологія ST FlightSense™ використовує інший принцип виміру. Параметри світлового потоку до об'єкту визначається за часом поширення світла від передавача до приймача. Чим ближче об'єкт, тим менше часу потрібно світлу, щоб здолати відстань. При цьому його амплітуда не грає вирішальної ролі.

В результаті датчики, створені за технологією ST FlightSense, здатні не лише визначати наявність або відсутність об'єкту, але і вимірювати відстань до нього, незалежно від світлових втрат на поглинання і розсіювання. Це призводить до того, що перелік рухів, що детектуються, істотно розширюється.

Проте варто відмітити, що обидві представлені технології детектування вимагають рішення цілого комплексу завдань, таких як [19,20]:

- компенсація перехресних оптичних перешкод;
- компенсація фонового освітлення;
- формування вузькосмугового спектру випромінювача і приймача;
- формування жорстко детермінованих ІЧ -пучків.

Усі ці проблеми були вирішені при створенні нового датчика освітлення і наближення VL6180X виробництва STMicroelectronics.

VL6180X - унікальний датчик освітлення і наближення, що використовує технологію FlightSense і реалізований в мініатюрному корпусі LGA12 розмірами 4,8×2,8×1,0 мм (рисунок 2.8) [19,20].



Рисунок 2.8 – Датчики VL6180X

Незважаючи на малі габарити, VL6180X є закінченою системою, що включає датчик наближення (Proximity sensor), датчик освітленості (Ambient Light Sensor), випромінювач (VCSEL light source), ОЗУ і ПЗП, мікроконтролер (рисунок 2.9). VL6180X призначений для монтажу на друковану плату і не вимагає ніяких додаткових оптичних елементів. Результати вимірів доступні по I2C- інтерфейсу [19,20].

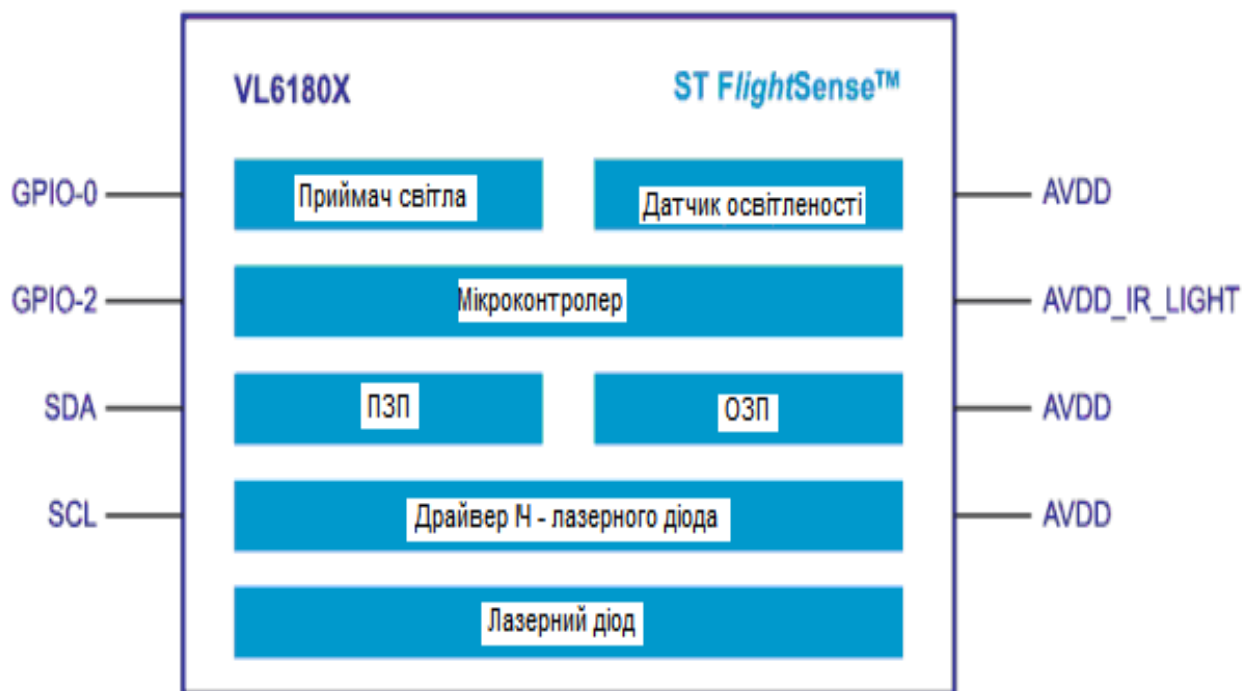


Рисунок 2.9 - Архітектура датчика VL6180X

VL6180X здатний визначати відстань до об'єктів в діапазоні 0.100 мм з міліметровою точністю незалежно від характеристик об'єкту, а також вимірювати освітленість в широкому динамічному діапазоні (таблиця 2.1) [19,20].

Таблиця 2.1 Характеристики VL6180X

Характеристика	VL6180X
Корпус	LGA12 4,8×2,8×1,0 мм
Вимірювана відстань, мм	0...100 (16 біт)
Робоча довжина хвилі, нм	850
Динамічний діапазон вимірювання освітленості, лк	0,08...100 000 (16 біт, 8 налаштувань підсилення)
Діапазон напруг живлення, В	2,6...3,0
Інтерфейс, кГц	I2C, 400
Робочий діапазон температур, °С	-20...70

Серед ключових переваг сенсора слід зазначити:

- закінчену і продуману електронно-оптичну систему;
- вимір освітленості з широким динамічним діапазоном;
- роботу в різних режимах перетворення і споживання (важливо для мобільних пристроїв);
- можливість побудови складних 1D/2D/3D-систем управління.

VL6180X використовує технологію визначення відстані FlightSense, при якій вимірюється час прольоту світлових імпульсів від передавача до приймача. Спектр фотоприймача досить вузький і погоджений із спектром випромінювача для мінімізації впливу фонового випромінювання.

На точність виміру впливають декілька чинників: власні погрішності VL6180X, оптичні перехресні перешкоди (Optical crosstalk) і зовнішній шум фонового освітлення (Ambient illumination). Для їх мінімізації застосовується декілька основних механізмів: калібрування зміщення, програмне калібрування, компенсація перехресних перешкод.

VL6180X має вбудований датчик освітленості (Ambient Light Sensor, ALS). Його спектр у загальних рисах відповідає спектру денного освітлення (рисунок 2.10). Кут огляду ALS складає 42° [19,20].

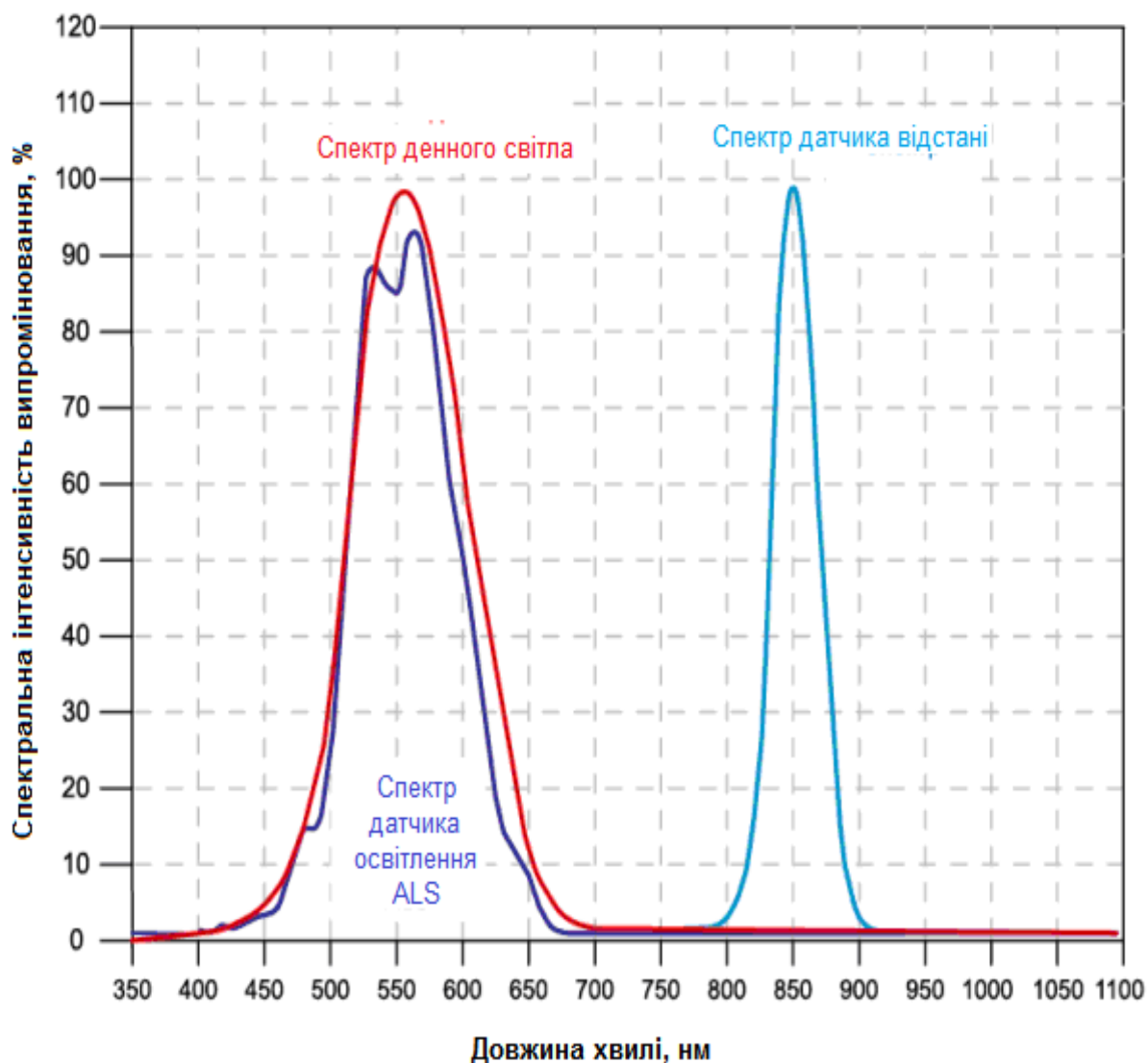


Рисунок 2.10 - Спектр оптичних елементів VL6180X

Датчик забезпечений підсилювачем з програмованим коефіцієнтом посилення 1; 1,25; 1,67; 2,5; 5; 10; 20; 40. При виконанні вимірів час інтеграції складає 50.100 мс і може бути налагоджено програмним способом. Діапазон вимірюваної освітленості залежить від наявності або відсутності додаткового захисного скла. Так, наприклад, за відсутності скла діапазон складає від 0,08 лк (при коефіцієнті посилення 40) до 20800 лк (при коефіцієнті посилення 1). За наявності скла з коефіцієнтом прозорості 10% діапазон досягає 0,8.100000 лк.

VL6180X призначений для роботи в різних системах управління, у тому числі - і у складі портативної електроніки. З цієї причини низьке споживання може виявитися досить важливою вимогою.

VL6180X має значне імпульсне споживання в процесі проведення вимірів, але середнє значення струмів виявляється досить низьким. Додаткового зниження споживання VL6180X можна досягти двома способами: використати обмеження на максимальну відстань і/або використати режими зниженого споживання. Крім того, сумарне споживання системи може бути зменшене за рахунок роботи по перериванню.

VL6180X здатний генерувати сигнали переривань для зовнішнього мікроконтролера. При цьому велику частину часу уся система, за винятком VL6180X, знаходиться в сплячому режимі.

Існує чотири типи переривання при вимірі освітленості [19,20]:

- переривання після закінчення поточного перетворення;
- переривання при зниженні результату виміру нижче встановленого значення;
- переривання при перевищенні результатом виміру верхнього встановленого значення;
- переривання при випаданні результату виміру із заданого вікна.

VL6180X є закінченою вимірювальною системою, яка не вимагає додаткових оптичних елементів, має відмінні метрологічні характеристики, компактні розміри і гнучку систему споживання, відрізняється гнучкою системою споживання і можливістю роботи в різних режимах.

2.3 Розробка мікроконтролерного пристрою для системи опрацювання сигналів переривання датчика VL6180X системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

Незважаючи на досить значні переваги перед традиційними технологіями, невизначеним питанням є використання мікроконтролера при опрацюванні сигналів переривань.

У якості розрахункової моделі у роботі використано систему переривання аналогічну кодуєчому пристрою з подальшим перетворенням двійкового коду в циклічний код. Кодуючий пристрій реалізовано на основі сканованої матриці (4×4), подібної до матриці перемикачів, на дешифраторі 74139 і мультиплексорі 74153 [21-23].

Кодуючий пристрій на основі сканованої матриці (рисунк 2.11) формує до 16 восьми розрядних двійкових кодів. Особливість пристрою – матричне (4 рядки на 4 стовпці) включення перемикачів в блоці переривань і відповідна організація блоку сканування цієї матриці.

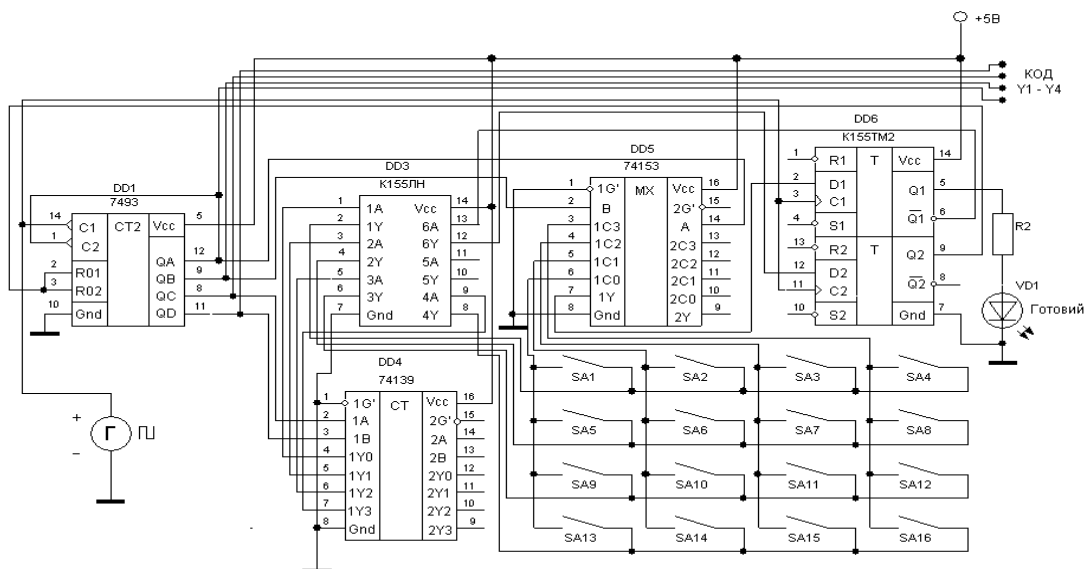


Рисунок 2.11 - Принципова схема кодуєчого пристрою на основі сканованої матриці перериваючих пристроїв

Блок сканування утворюють дешифратор 74139 і мультиплексор 74153. Їх адресні входи підключені до відповідних розрядних виходів лічильника на мікросхемі 7493. Сканування забезпечується послідовним опитуванням чотирьох рядків матриці вихідними сигналами з дешифратора і пошуком мультиплексором моменту переривання у всіх чотирьох місцях для кожного з цих рядків.

Формувач сигналу готовності виконано на базі D – тригерів (мікросхема DD6 K155ИЕ5), тактованих генератором імпульсів. При надходженні переривання пристрій сканує матрицю, а досягши результату фіксує код, формує сигнал «Готовий» і обнуляє лічильник.

Схема контролю парності застосовується для виявлення одиночних помилок, викликаних перешкодами в лінії зв'язку або в блоках пам'яті. Метод заснований на підрахунку числа одиниць в переданих в лінію або переданих в пам'ять на зберігання порції інформації, причому, якщо число одиниць парне - функція парності P (Parity) дорівнює нулю. Для чотирирозрядного двійкового числа таблиця станів схеми контролю парності представлена наступною картою Карно (рисунок 2.12), а результати надано в таблиці 2.2 [21-23]:

	Y4				
	1		1		
1		1			Y1
	1		1		
1		1			
	1		1		
	Y3				
Y2					

Рисунок 2.12 - Таблиця станів схеми контролю Рівняння функціонування:

$$\begin{aligned}
P &= \overline{Y_4 Y_3 Y_2 Y_1} + \overline{Y_4 Y_3 Y_2 \overline{Y_1}} + \overline{Y_4 Y_3 \overline{Y_2} Y_1} + \overline{Y_4 Y_3 Y_2 Y_1} + \\
&+ \overline{Y_4 \overline{Y_3} Y_2 \overline{Y_1}} + \overline{Y_4 \overline{Y_3} Y_2 Y_1} + \overline{Y_4 Y_3 \overline{Y_2} \overline{Y_1}} + \overline{Y_4 Y_3 Y_2 \overline{Y_1}} = \\
&= \overline{Y_4 Y_3} (\overline{Y_2 Y_1} + Y_2 \overline{Y_1}) + \overline{Y_4 Y_3} (\overline{Y_2 Y_1} + Y_2 Y_1) + \overline{Y_4 Y_3} (\overline{Y_2 Y_1} + \\
&+ Y_2 Y_1) + \overline{Y_4 Y_3} (\overline{Y_2 Y_1} + Y_2 \overline{Y_1}) = \overline{Y_4 Y_3} (Y_2 \oplus Y_1) + \\
&+ \overline{Y_4 Y_3} (Y_2 \oplus \overline{Y_1}) + \overline{Y_4 Y_3} (Y_2 \oplus Y_1) + \overline{Y_4 Y_3} (Y_2 \oplus Y_1) = \\
&= (Y_2 \oplus Y_1) (\overline{Y_4} \oplus \overline{Y_3}) + (\overline{Y_2} \oplus \overline{Y_1}) (Y_4 \oplus Y_3) = (Y_2 \oplus Y_1) \oplus (Y_4 \oplus Y_3)
\end{aligned}$$

Схемна реалізація і умовне позначення приведені на рисунку 2.13.

Таблиця 2.2 – Таблиця станів схеми контролю парності

Входи				Вихід
Y4	Y3	Y2	Y1	P
0	0	0	0	x
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
0	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0

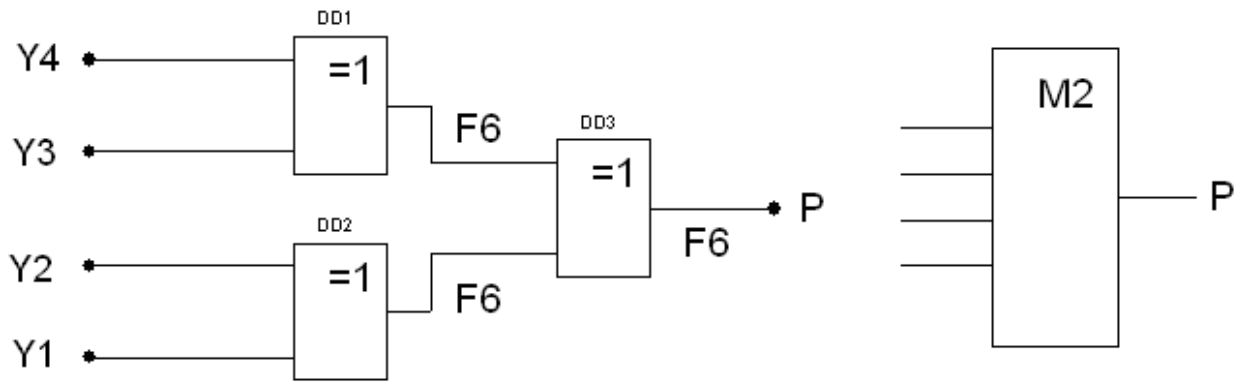


Рисунок 2.13 – Схема контролю парності

Символом M2 позначена операція - "сума по модулю два".

По 4-дротяній лінії зв'язку (рисунок 2.14) передається паралельний двійковий код $Y_4Y_3Y_2Y_1$, а приймається код $X_4'X_3'X_2'X_1'$ [21-23].

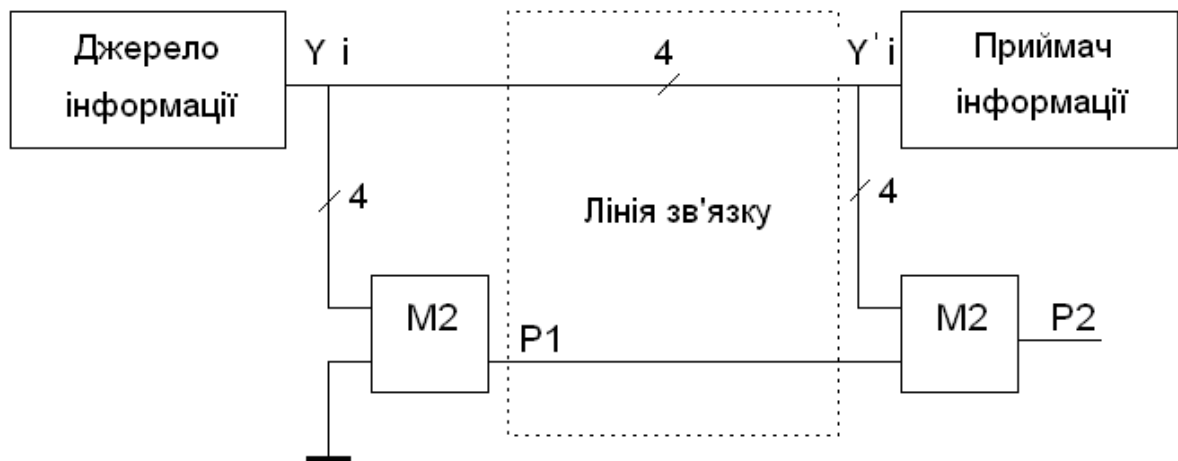


Рисунок 2.14 – Передача двійкового паралельного коду

Тоді величина $P_1 = (Y_4 \oplus Y_3) \oplus (Y_2 \oplus Y_1)$. На приймальному кінці лінії зв'язку $P_2 = (Y_4' \oplus Y_3') \oplus (Y_2' \oplus Y_1')$. Підставляючи в останню формулу вираження для P_1 і групуючи змінні в однойменні пари, отримаємо: $P_2 = (Y_4 \oplus Y_4') \oplus (Y_3 \oplus Y_3') \oplus (Y_2 \oplus Y_2') \oplus (Y_1 \oplus Y_1')$. З останнього вираження

виходить, що якщо передача прошла без спотворень то $Y_i=Y'_i$ и $Y_i \oplus Y'_i=0$, а $P2=0$. При спотворенні одного і в загальному випадку непарного числа біт функція $P2=1$. Експериментальна схема контролю парності представлена на рисунку 2.15 [21-23].

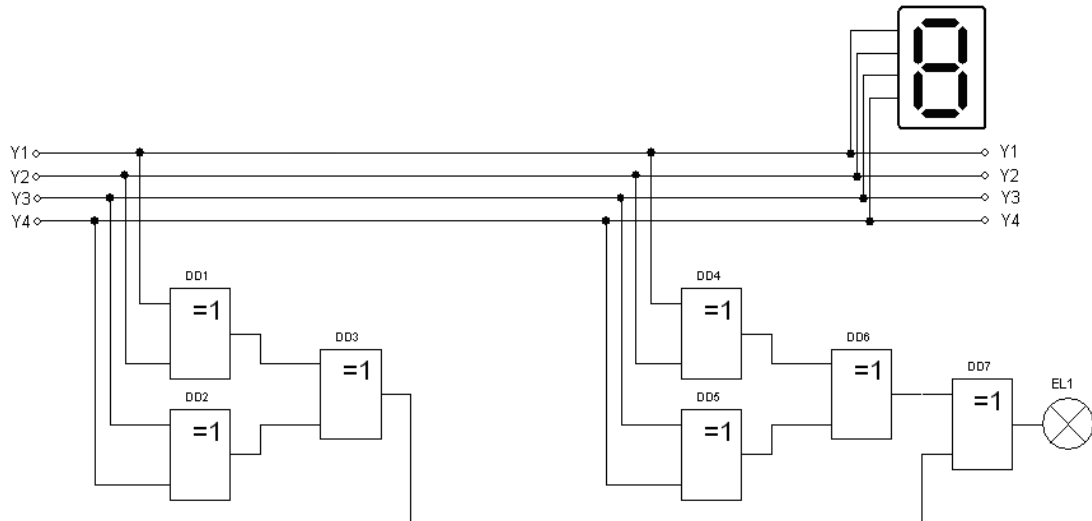


Рисунок 2.15 – Експериментальна схема контролю парності

Генератор імпульсів призначений для узгодження роботи всіх вузлів пристрою, що розробляється [21-23].

Широка зміна частоти імпульсів (близько 50 тисяч разів), що генеруються, забезпечує генератор, зібраний за схемою, що представлена на рисунку 2.16. Мінімальна частота імпульсів тут близько 0,25 Гц. Тривалість імпульсів регулюється резистором R1. Частоту дотримання можна визначити по формулі [21-23]:

$$f = \frac{1}{2} R1C1,$$

Де f – частота, Гц; $R1$ – опір, Ом; $C1$ – ємність, Ф.

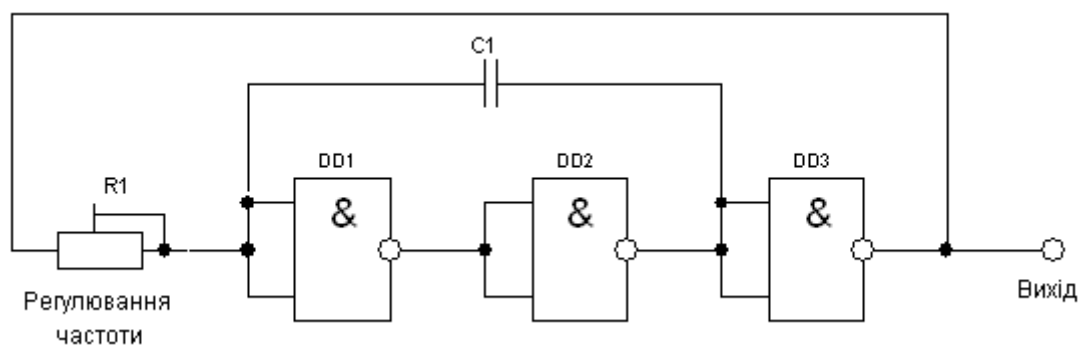


Рисунок 2.16 – Схема генератора імпульсів

Розроблений пристрій введення інформації представлений на рисунку 2.17.

Блок сканування утворюють дешифратор 74139 і мультиплексор 74153. Їх адресні входи підключені до відповідних розрядних виходів лічильника на мікросхемі 7493. Сканування забезпечується послідовним опитуванням чотирьох рядків матриці вихідними сигналами з дешифратора і пошуком мультиплексором моменту переривання у всіх чотирьох місцях для кожного з цих рядків [21-23].

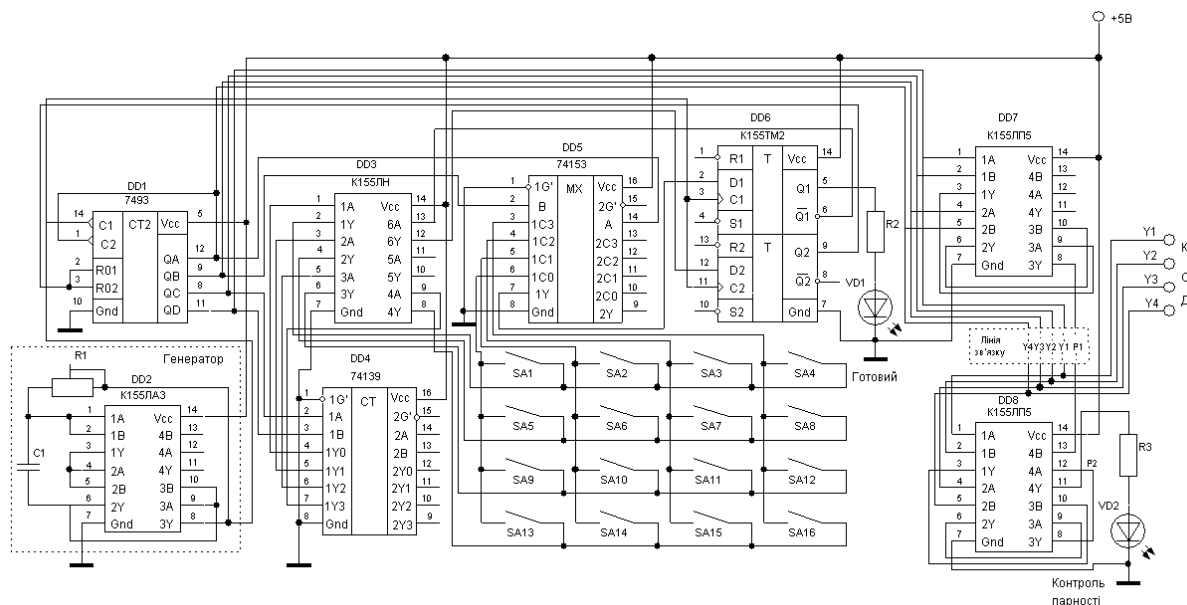


Рисунок 2.17 - Схема електрична принципова розробленого пристрою введення інформації

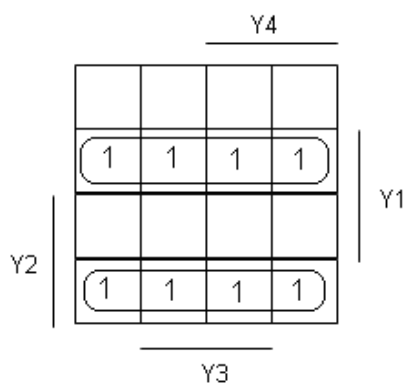
Для перетворення двійкової коди в зворотний код необхідно побудувати таблицю функціонування шифратора (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Таблиця функціонування перетворювача двійкового коду в циклічний код Грея [21-23]

Двійковий код				Циклічний код Грея			
Y4	Y3	Y2	Y1	A4	A3	A2	A1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1	0	1
0	1	1	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	0
1	1	0	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0	1	1
1	1	1	0	1	0	0	1
1	1	1	1	1	0	0	0

Складемо рівняння функціонування пристрою і спростимо їх за допомогою карт Карно [21-23].

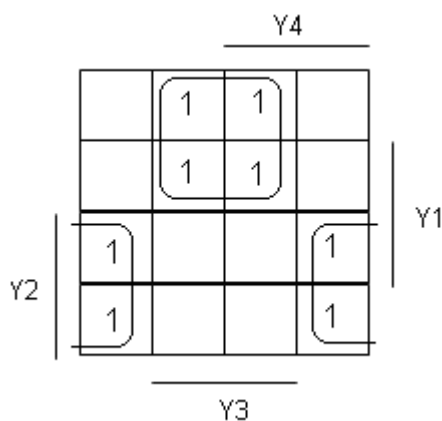
$$A1 = \overline{Y4}Y3\overline{Y2}Y1 + \overline{Y4}Y3Y2\overline{Y1} + \overline{Y4}Y3\overline{Y2}Y1 + \overline{Y4}Y3Y2\overline{Y1} + Y4\overline{Y3}\overline{Y2}Y1 + Y4\overline{Y3}Y2\overline{Y1} + Y4Y3\overline{Y2}Y1 + Y4Y3Y2\overline{Y1}$$



Після спрощення отримуємо:

$$A1 = Y1\bar{Y}2 + \bar{Y}1Y2 = Y2 \oplus Y1$$

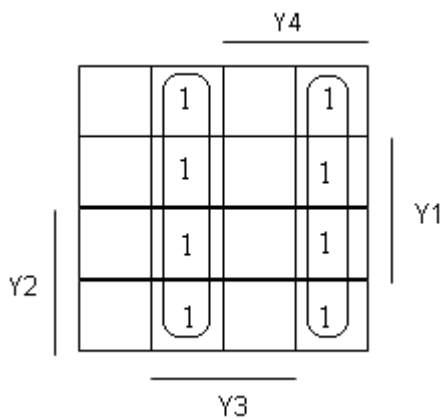
$$A2 = \bar{Y}4\bar{Y}3\bar{Y}2\bar{Y}1 + \bar{Y}4\bar{Y}3Y2\bar{Y}1 + \bar{Y}4Y3\bar{Y}2\bar{Y}1 + \bar{Y}4Y3Y2\bar{Y}1 + Y4\bar{Y}3\bar{Y}2\bar{Y}1 + Y4\bar{Y}3Y2\bar{Y}1 + Y4Y3\bar{Y}2\bar{Y}1 + Y4Y3Y2\bar{Y}1$$



Після спрощення отримуємо:

$$A2 = \bar{Y}3Y2 + Y3\bar{Y}2 = Y3 \oplus Y2$$

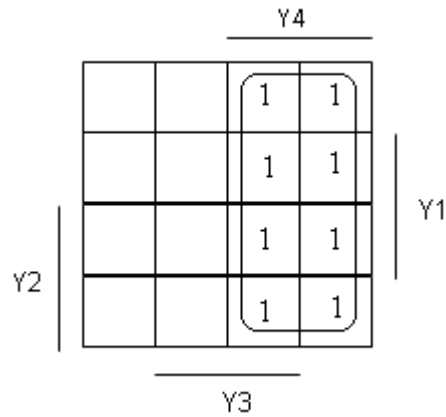
$$A3 = \bar{Y}4\bar{Y}3\bar{Y}2\bar{Y}1 + \bar{Y}4\bar{Y}3Y2\bar{Y}1 + \bar{Y}4Y3\bar{Y}2\bar{Y}1 + \bar{Y}4Y3Y2\bar{Y}1 + Y4\bar{Y}3\bar{Y}2\bar{Y}1 + Y4\bar{Y}3Y2\bar{Y}1 + Y4Y3\bar{Y}2\bar{Y}1 + Y4Y3Y2\bar{Y}1$$



Після спрощення отримуємо:

$$A3 = \overline{Y4}Y3 + Y4\overline{Y3} = Y4 \oplus Y3$$

$$A4 = Y4\overline{Y3}\overline{Y2}\overline{Y1} + Y4\overline{Y3}\overline{Y2}Y1 + Y4\overline{Y3}Y2\overline{Y1} + Y4\overline{Y3}Y2Y1 + Y4Y3\overline{Y2}\overline{Y1} + Y4Y3\overline{Y2}Y1 + Y4Y3Y2\overline{Y1} + Y4Y3Y2Y1$$



Після спрощення отримуємо:

$$A4 = Y4$$

Згідно з отриманими рівняннями функціональна схема перетворювача двійкового коду в циклічний код Грея представлена на рисунку 2.18.

Схема електрична принципова перетворювача двійкового коду в циклічний код Грея зібрана на мікросхемі К155ЛП5 (рисунок 2.19) [21-23].

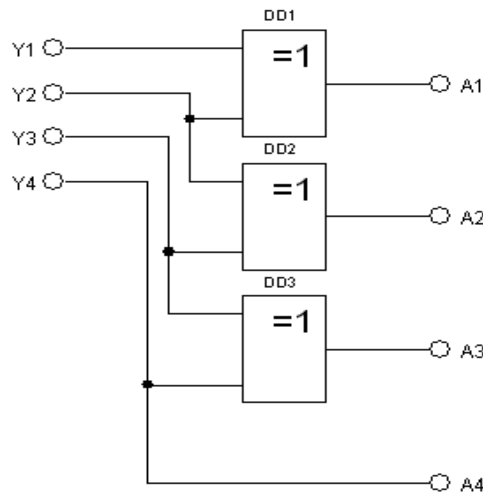


Рисунок 2.18 - Функціональна схема перетворювача двійкового коду в циклічний код Грея

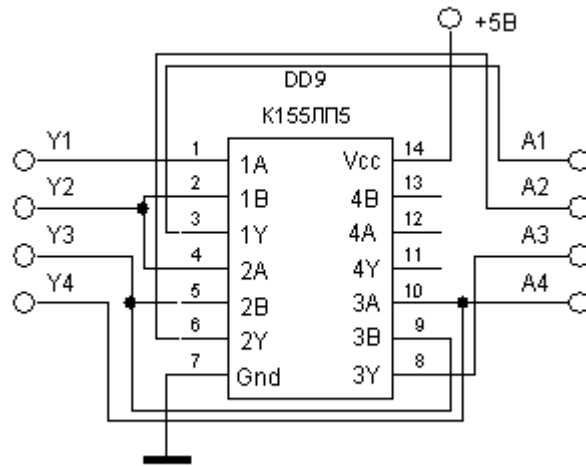


Рисунок 2.19 - Схема електрична принципова перетворювача двійкового коду в циклічний код Грея

Для зберігання проміжної інформації використовуємо буферний регістр, який може бути реалізований за схемою регістра з паралельним введенням і паралельним виведенням інформації на тактованих D-тригерах (рисунок 2.20) [21-23].

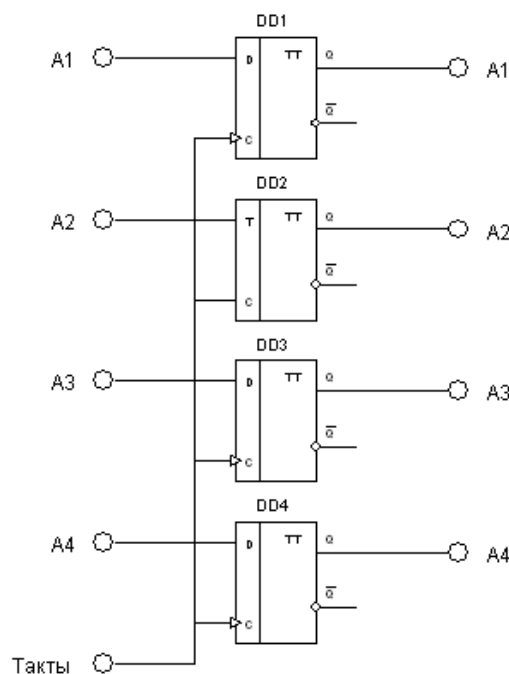


Рисунок 2.20 - Регістр з паралельним введенням і паралельним виведенням інформації на тактованих D-тригерах

Схема електрична принципова буферного регістру пропонується реалізувати на мікросхемі К155ТМ2 (рисунок 2.21) [21-23].

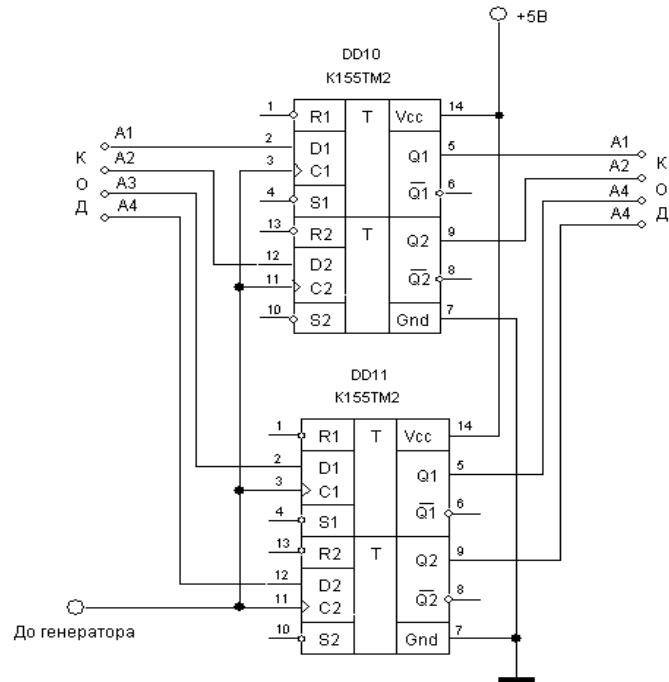


Рисунок 2.21 - Схема електрична принципова буферного регістру

Для реалізації пристрою постійного запам'ятовування (16×4) використовуємо схему на основі діодної матриці, в якій діоди розташовуються на пересіченні горизонтальних і вертикальних шин, що є лініями рядів і стовпців [21-23].

Дешифратор адреси вибирає ту адресну шину код якої заданий кодом адреси. Інформація прочитується з розрядних шин. Логічна одиниця з'явиться на тих розрядних шинах, які через діод підключені до адресної шини. Схема принципова пристрою постійного запам'ятовування 16×4 представлена на рисунку 2.22. Відповідно до умов завдання на вхід пристрою подається код, що задає адресу, від пристрою введення інформації [21-23].

Програма функціонування
 1110, 1010, 1101, 0101, 0110, 1000, 0101, 0000
 1000, 1001, 1111, 0110, 0100, 1001, 0101, 0011

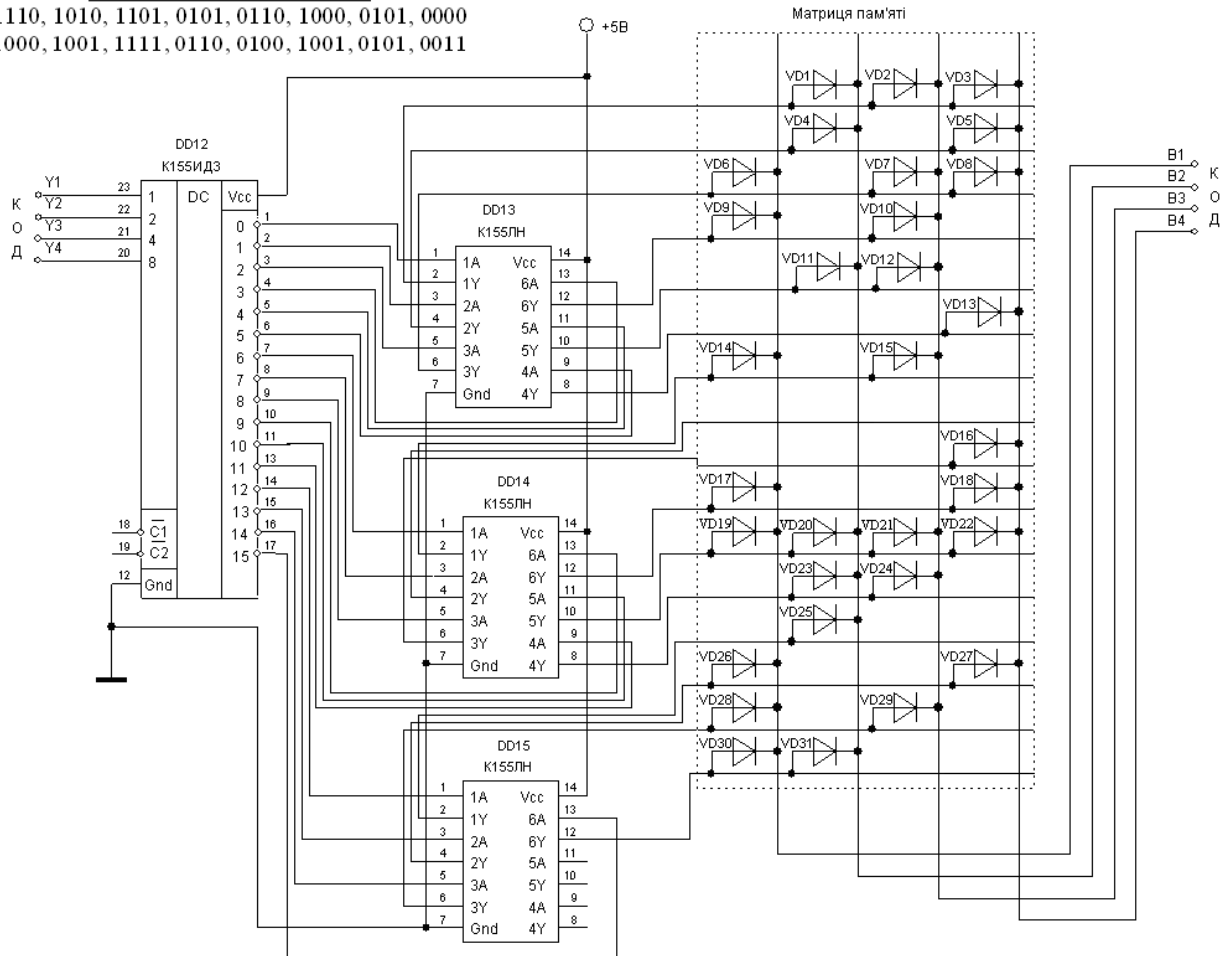


Рисунок 2.22 - Схема принципова пристрою постійного запам'ятовування 16×4

У якості акумулятора інформації використовуємо 4-розрядний регістр, в якому зберігається результат операції, виконаний в пристрої постійного запам'ятовування 16×4. Таким чином він може бути схемою, яка зібрана на регістровій пам'яті.

У паралельному регістрі на тактованих D-тригерах (рисунок 2.20) код числа, що запам'ятовується, подається на інформаційні входи всіх тригерів і записується в регістр з приходом тактового імпульсу. Вихідна інформація змінюється з подачею нового вхідного слова і приходом наступного імпульсу запису. Число тригерів дорівнює максимальній розрядності слів, що зберігаються. Схема електрична принципова акумулятора представлена на рисунку 2.23[21-23].

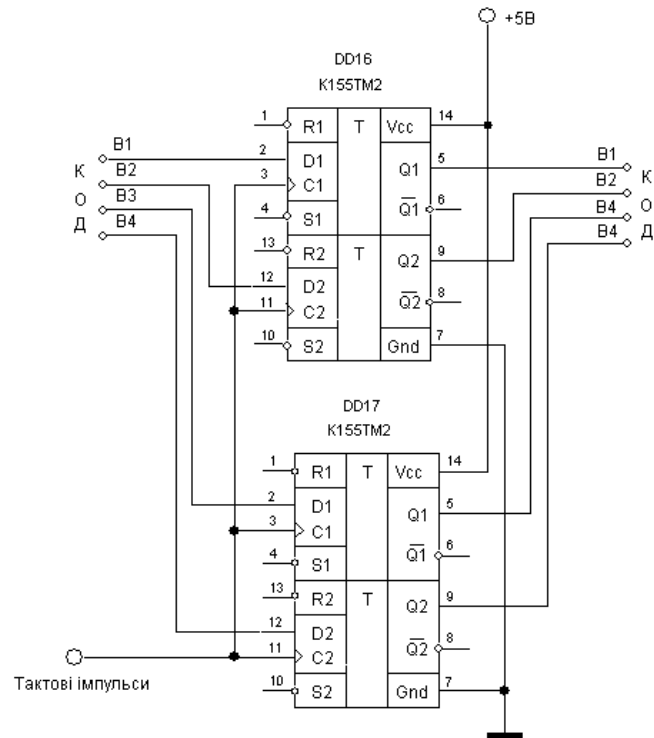


Рисунок 2.23 - Схема електрична принципова акумулятора

Для проведення логічних операцій у роботі мікроконтролера пропонується використати арифметичний логічний пристрій, який є чотирьох розрядним паралельним суматором з послідовним перенесенням. Число напівсуматорів тут дорівнює числу розрядів. Вихід перенесення P кожного суматора сполучений з входом перенесення наступного, більш старшого розряду. Доданки A_i і B_i складаються у всіх розрядах одночасно, а перенесення P поступає із закінченням операції складання в попередньому розряді [21-23].

Схема функціонування чотирьох розрядного паралельного суматора представлена на рис. 2.24.

У вигляді окремих мікросхем випускаються одно розрядні, двох розрядні і чотирьох розрядні суматори. У сімействі ТТЛ це мікросхеми відповідно К155ІМ1, ІМ2 і ІМ3 [21-23].

Схема електрична принципова чотирьох розрядного паралельного суматора представлена на рисунку 2.25.

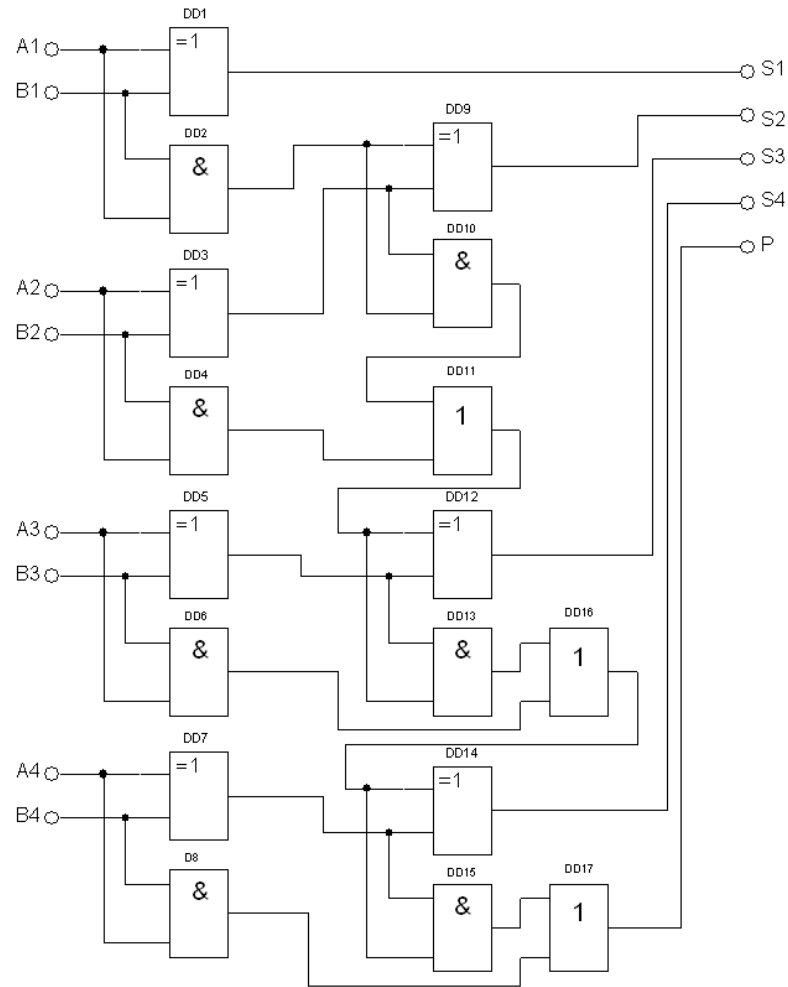


Рисунок 2.24 - Схема функціонування чотирьох розрядного суматора з послідовним перенесенням

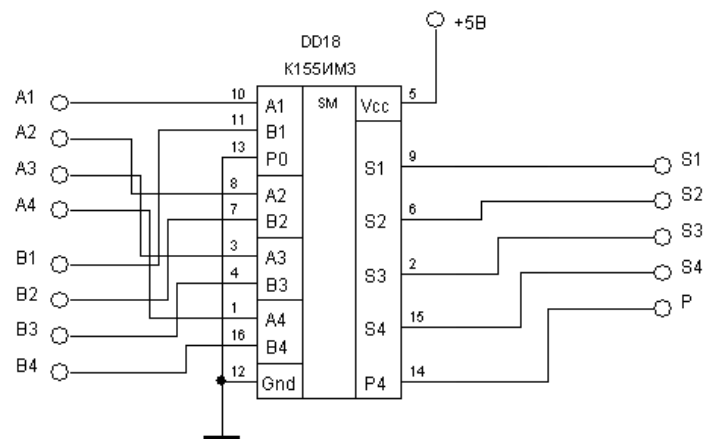


Рисунок 2.25 - Схема електрична принципова чотирьох розрядного паралельного суматора

У якості пристрою виведення інформації використовуємо семи сегментний індикатор. Функціональна схема перетворювача двійкового коду чисел в код семи сегментного індикатора представлено на рисунку 2.28 [21-23].

Схема електрична принципова може бути виконана на мікросхемах ТТЛ логіки [21-23].

Загальну схему розробленого пристрою представлено на рисунку 2.29.



Рисунок 2.28 - Функціональна схема перетворювача двійкового коду чисел в код семи сегментного індикатора

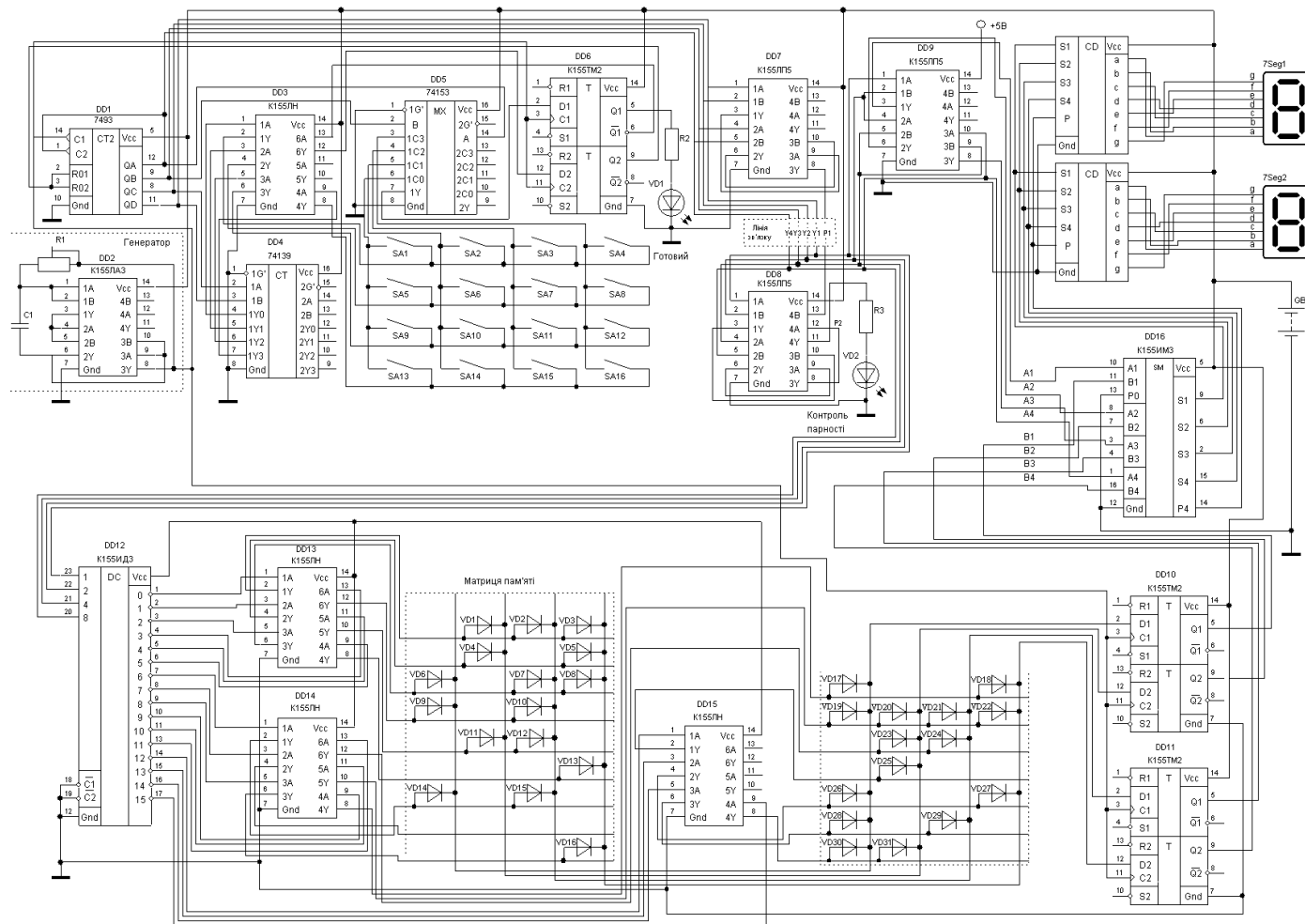


Рисунок 2.29 - Загальна схема розробленого пристрою

2.4 Моделювання роботи мікроконтролера для системи опрацювання сигналів переривання датчика VL6180X системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

У роботі було проведено моделювання роботи основних функціональних блоків мікроконтролерної системи опрацювання сигналів переривання датчика VL6180X за допомогою редактора Proteus [24].

Для спрощення електричної схеми пристрою було використано блок модулів Spice підсхем. Матрицю пам'яті та клавіатурну модель переривання сигналу було змінено на окремі функціональні блоки. У результаті такої заміни схему було значно спрощено для подальшого аналізу. Схема пристрою у редакторі Proteus представлена на рисунку 2.30.

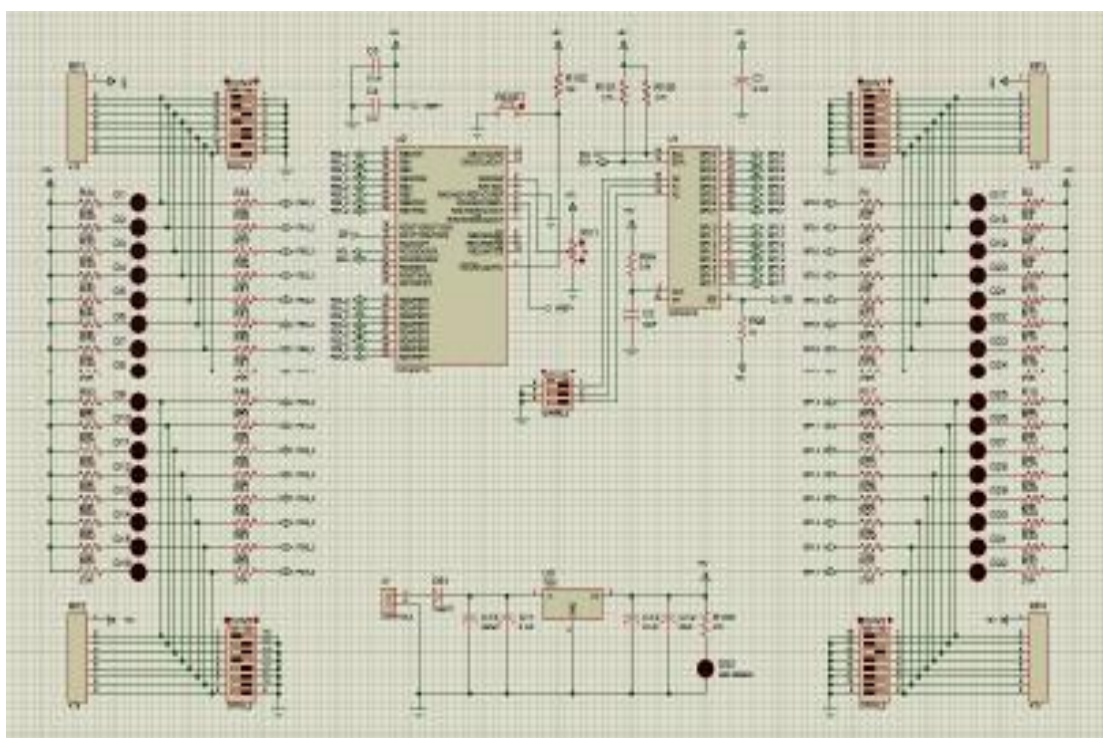


Рисунок 2.30 – Схема мікроконтролерного пристрою опрацювання сигналів переривання датчика VL6180X за допомогою редактора Proteus

На рисунку 2.31 представлено епюру інформаційного сигналу датчика, а на рисунку 2.32 – результат обробки в мікроконтролерній системі.

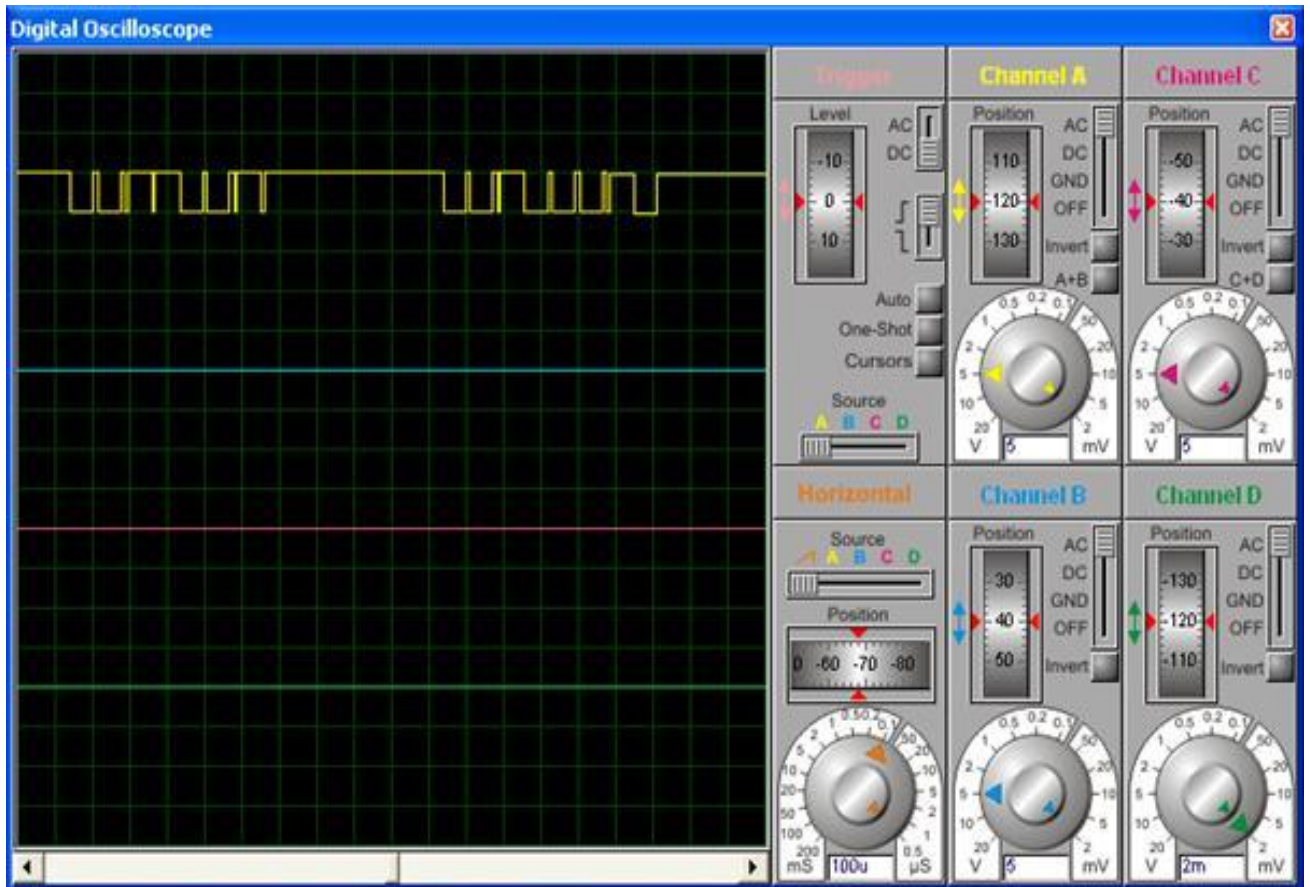


Рисунок 2.31 – Інформаційний сигнал датчика

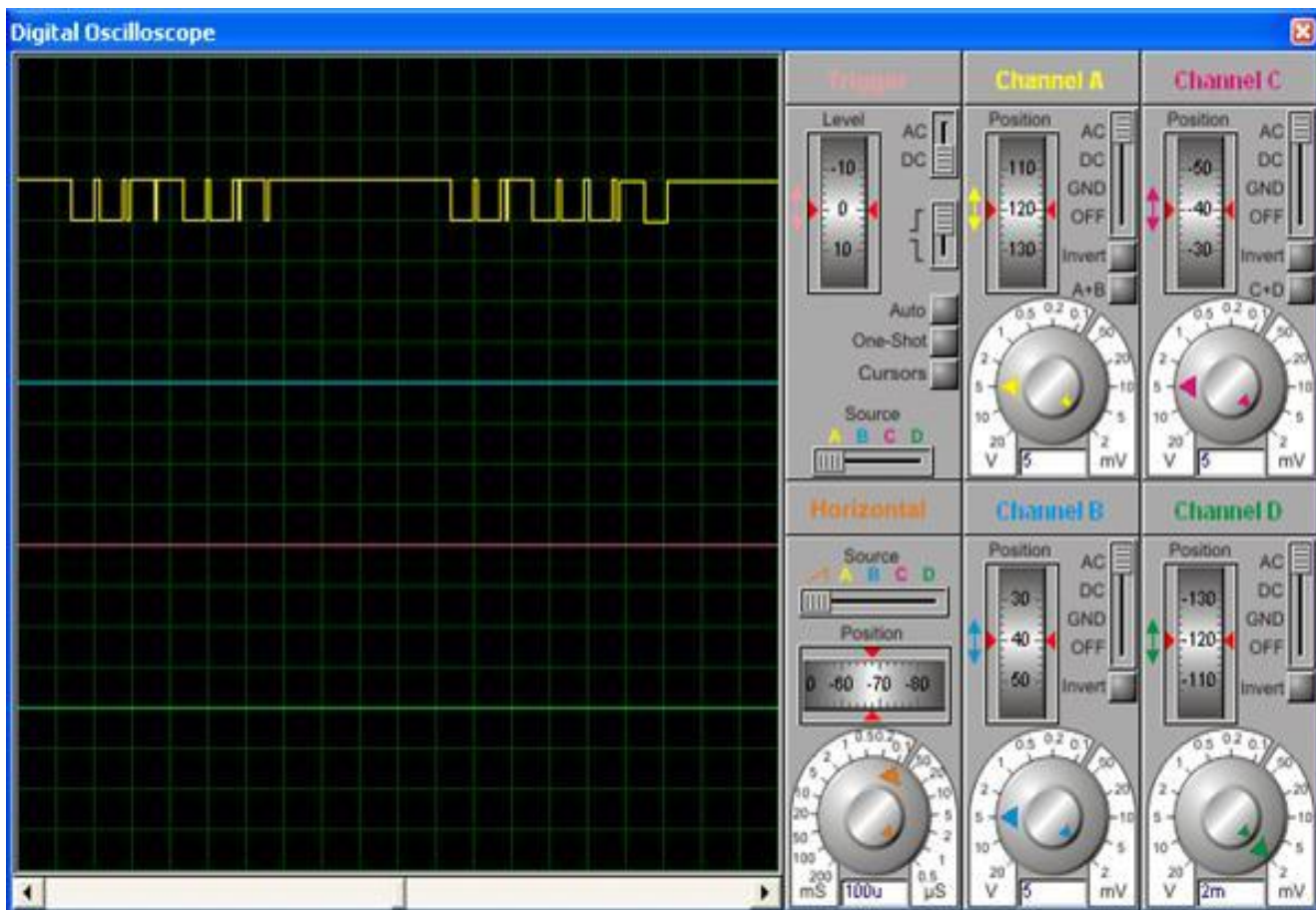


Рисунок 2.32 – Осцилограма сигналів мікроконтролера

Як видно із представлених епюр, розрахункові дані добре співпадають із результатами моделювання.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) у роботі пропонується застосувати модель реєстрації електрофізичних параметрів полмірного сонячного елементу у залежності від інтенсивності відбитого випромінювання від прозорої полімерної основи;

2) у якості основи (субстрата) на якій проводилась дослідження було використано комерційну плівку Kapton, як таку що володіє досить сприйнятними механічними властивостями, хімічною стійкістю та доволі малою вартістю, порівняно із іншими структурами;

3) в основу структурної схеми покладено використання елементів технології ST FlightSense, яка дає набагато більш високу точність завдяки використанню модулів VL6180X;

4) у якості розрахункової моделі обробки сигналів датчика VL6180X у роботі використано систему переривання аналогічну кодуєчому пристрою з подальшим перетворенням двійкового коду в циклічний код, сформовану на мікросхемах 74139, 74153, K155И;

5) розрахункові дані добре співпадають із результатами моделювання.

3 Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронних схем системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонко плівкових гібридних мікроборок.

Для вибору технології виготовлення електронних схем передавального блоку проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [25].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Напівпровідникові інтегральні схеми	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані на поверхні та в об'ємі загального кристала напівпровідника
B	Товстоплівкові гібридні інтегральні схеми	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкові гібридні інтегральні схеми	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкові гібридні мікроборки	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці парних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [25].

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

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

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

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

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

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

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

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

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

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

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

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

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

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

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

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

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

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

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

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

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [19].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта виготовлення електронної схеми системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів з використанням технології тонкоплівкових гібридних мікроборок.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

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

ридних мікрозборок							
--------------------	--	--	--	--	--	--	--

Проведено порівняння чотирьох типів технологій виготовлення електронних схем передавального блоку за наступними критеріями: 1) швидкість; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології напівпровідникових інтегральних схем.

3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

Витрати на матеріали і напівфабрикати, вказані в таблиці 3.11, склали 1739,00 грн.

Таблиця 3.11 - Розрахунок вартості основних покупних виробів

Матеріали і напівфабрикати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість матеріалів і напівфабрикатів, грн.
Фольгований склотекстоліт	м ²	0,2	50	10
Хлорне залізо	кг	0,5	40	20
Датчик VL6180X	шт.	1	150	150
ІМС K155	шт.	16	50	800
ІМС 7493	шт.	1	160	160
ІМС 74153	шт.	1	163	163
Діод	шт.	31	5	155
Світлодіод	шт.	2	2	4
Індикатор	шт.	1	30	30
Конденсатори	шт.	1	12	12
Резистор	шт.	3	5	15
Папір писальний	уп.	1	120	120
Транспортно-заготівельні витрати				100
Разом				1739

4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи контролю оптичного поглинання полімерних сонячних елементів

4.1 Характеристика потенційних шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Роботи по розробці системи проводяться в лабораторії комп'ютерної техніки кафедри МЕЕІС ІННІ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ ЗНУ (далі – лабораторія).

Під час роботи на виробництві на людину можуть впливати один, або низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Безпека того чи іншого технологічного процесу може бути визначена за їх кількістю і за ступенем небезпеки кожного з них зокрема. Безпека праці на виробництві визначається ступенем безпеки окремих технологічних процесів.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори стандартом ГОСТ 12.0.003-74 поділяються на фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. Останні за характером впливу на людину підрозділяються на фізичні й нервово-психічні перевантаження, а інші - на конкретні небезпечні й шкідливі виробничі фактори. До небезпечних виробничих факторів відносяться фактори, вплив яких призводить до травм, до шкідливих – фактори, які спричиняють захворювання [26].

В процесі роботи на підприємстві на працівника можуть впливати такі небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- машини, що рухаються, автотранспорт і механізми;
- рухомі незахищені елементи механізмів, машин і виробничого обладнання;
- падаючі вироби техніки, інструмент і матеріали під час роботи;
- ударна хвиля (вибух посудини, що працює під тиском пари рідини);
- струмені газів і рідин, що стікають, із посудин і трубопроводів під тиском;

- підвищене ковзання (через зледеніння, зволоження й замаслювання поверхонь, по яких переміщується робочий персонал);
- підвищені запыошеність й загазованість повітря;
- підвищена чи знижена температура поверхонь техніки, обладнання й матеріалів;
- підвищена чи знижена температура, вологість і рухомість повітря;
- підвищений рівень шуму, вібрації, ультра- та інфразвука;
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- гострі кромки, задирки й шорсткість на поверхнях обладнання й інструментів;
- відсутність чи нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;
- знижена контрастність об'єктів в порівнянні з фоном;
- пряма блискість (прожекторне освітлення територій виробництв, світло фар автотранспорту) і відбита блискість (від розлитої води й інших рідин на поверхні територій виробництв);
- підвищена пульсація світлового потоку;
- підвищений рівень ультрафіолетової й інфрачервоної радіації;
- хімічні речовини (токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію людини);
- хімічні речовини, що проникають в організм через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірні покриви і слизові оболонки;
- патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, найпростіші) і продукти їхньої життєдіяльності;
- перевантаження (статичні й динамічні) і нервово-психічні чинники (емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів, розумова перенапруга, монотонність праці).

Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати граничнодопустимих значень, встановлених у санітарних нормах, правилах і нормативно-технічній документації.

Розглянемо більш детально небезпечні та шкідливі фактори, які характерні для підприємств, що спеціалізуються на виготовленні приладів мікро- та наноелектроніки.

Небезпечні фактори:

1. Балони з киснем. Обладнання, яке працює під тиском, повинне мати запобіжні пристрої, які не допускають підвищення тиску в обладнанні вище дозволеного.

2. Печі. Всі гарячі частини обладнання, трубопроводів, посудин, дотик до яких може викликати опіки, повинні мати теплову ізоляцію.

3. Електричне виробниче обладнання. Рухомі частини виробничого обладнання, до яких можливий доступ працюючих, повинні мати механічні захисні огорожі. Огородження, дверцята і кришки повинні бути забезпечені пристроями для надійного утримання їх в закритому (робочому) положенні і в разі необхідності заблоковані для їх відключення при знятті огороження. Всі електродвигуни, щити, оболонки кабелів повинні мати надійні заземлення, приєднані до стаціонарного корпусу заземлення. При виконанні ремонтних робіт на обертових механізмах кабелі живлення повинні бути від'єднані і на них має бути накладене переносне заземлення [27].

Шкідливі фактори:

1. Підвищений рівень шуму. Шум має шкідливий вплив на організм людини. При його тривалому впливі знижується гострота слуху, змінюється кров'яний тиск, послаблюється увага, погіршується зір, відбувається зміна в дихальних центрах, порушується координація руху. Інтенсивний шум є причиною порушень роботи серцево-судинної системи, нормальної функції шлунку та ряду інших порушень в організмі людини. Оскільки шкідлива дія шуму залежить і від його частотного складу, поріг буде неоднаковим для різних шумів. Пороги шкідливої дії шуму приймаються за нормативи шуму,

тобто за гранично допустимі рівні шуму на виробництві. В якості таких згідно з ГОСТ 12.1.003-83* ССБТ прийняті наступні нормативи: для низькочастотного шуму граничні значення - 90-100дБ, для середньо частотного шуму - 85-90дБ, а для високочастотного - 75-85 дБ. Для надійного контролю правильності вимірювання параметрів шуму введено додатковий критерій для судження про те, чи не перевищує шум допустимих рівнів. Таким критерієм є чіткість сприйняття мовлення, виголошеного з нормальною гучністю в працюючому цеху на відстані 1,5 м від випробуваного. Гарною розбірливістю (і, як наслідок, допустимим рівнем шуму) вважається правильне повторення не менше 40 з 50 багатозначних чисел (22, 44, 78 і т. д.).

2. У повітрі робочої зони можливий підвищений вміст шкідливих речовин, таких як кислоти, основи та розчинники. Їх концентрацію у повітрі значно зменшує вентиляція та спеціальні витяжки, або витяжні шафи.

Основні методи боротьби з пилом:

- Зволоження водою до допустимих меж;
- Вентиляційний пристрій, що уловлює пил від місць утворення з очищенням повітря перед викидом в атмосферу;
- Застосування засобів індивідуального захисту (спецодяг, респіратори, захисні окуляри).

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Задля безпечної роботи на виробництві співробітники повинні мати заглушки (для цехів із підвищеним рівнем шуму), шапочку (для підтримання достатньої чистоти виробництва), респіратори та протигази (для уникнення впливу шкідливих парів на організм), халати та фартухи, резинові рукавиці (для електроізоляції) та кислотостійкі рукавиці.

На роботах із шкідливими та небезпечними умовами праці згідно зі ст.8 Закону України «Про охорону праці» робітникам видається безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджуючі засоби:

- халат бавовняний (білий або світлих тонів), ГОСТ 12.4.103-83;
- ковпак (шапочка, косинка) бавовняний (білий або світлих тонів), ГОСТ 12.4.011-89;
- взуття шкіряне (тапочки), ГОСТ 12.4.137-2001;
- рукавички хірургічні гумові, ГОСТ 3-88;
- рукавички гумові, ГОСТ 12.4.103-83;
- нарукавники поліетиленові;
- протигаз фільтруючий, ГОСТ 12.4.121-83;
- коробки фільтруючі марки „Г”, ГОСТ 12.4.122-83;
- мило туалетне, ГОСТ 28546-90;
- рушники (серветки) з паперу (одноразового використання);
- рушник із бавовняної тканини [28].

Вимоги безпеки перед початком роботи:

1. Привести в порядок спецодяг. Робочий одяг не повинний мати звисаючих кінців, чи кінців, що розвіваються, має бути наглухо застебнутий, звисаючі кінці косинок, хусток мають бути підібрані, манжети рукавів повинні щільно обхоплювати руки біля кистей. Волосся має бути закрито щільно облягаючим головним убором. Робота в легкому взутті (тапочках, босоніжках) не допускається. Перевірити і одягти засоби індивідуального захисту. Покласти власний одяг у шкафчик.

2. Впевнитись в тому, що освітлення (загальне чи місцеве) забезпечує чітку видимість поділок на контрольно-вимірювальних приладах, а також поверхонь деталей, що оброблюються.

3. Впевнитись у повній працездатності робочого устаткування.

Задля підтримання рівня безпеки на виробництві під час виконання робіт забороняється:

1. Працювати з незакріпленими деталями;
2. Чистити устаткування під час його роботи;
3. Працювати на несправному устаткуванні, з несправним інструментом, самостійно виконувати його ремонт;
4. Знімати загороджувальні щитки на частинах устаткування, що рухаються;
5. Працювати з інструментом, правила експлуатації якого невідомі;
6. Працювати з інструментом і на устаткуванні, застосування якого не передбачено технологічним процесом;
7. Працювати без необхідних засобів індивідуального захисту;
8. Користуватися для виконання виробничих процесів протипожежним інвентарем із протипожежних стендів;
9. Чистити робочий одяг стисненим повітрям;
10. Одягатися, роздягатися, митися на робочому місці.

З метою підвищення безпеки роботи на виробництві проводиться ретельний контроль працездатності та справності вентиляцій, печей та іншого робочого обладнання, яке знаходиться в експлуатації. Проте на будь-якому виробництві можливі надзвичайні випадки. Вимагається припинити роботу в наступних випадках:

1. Виявлення несправності устаткування і інструмента;
2. Припинення подачі електроенергії;
3. Відключення загального чи місцевого освітлення;
4. Відключення систем загальнообмінної чи місцевої витяжної вентиляції;
5. Пошкодження засобів індивідуального захисту;
6. Погіршення самопочуття;
7. Одержання травми [28].

4.3 Виробнича санітарія

Згідно ГОСТ 12.1.005-88, роботи на виробництві належать до категорій:

- Іб(легка) – робота виконується сидячи, стоячи або в русі з незначними фізичними навантаженнями – 140-174 Вт.

- Іа (середньої тяжкості) – робота виконується в русі при переміщенні вантажів до 1кг або сидячи чи стоячи з фізичними навантаженнями – 175-232 Вт.

Важливим показником, який впливає на здоров'я людей, що працюють на підприємстві, є мікроклімат. Мікроклімат підприємства не відповідає усім діючим нормам. Показниками, які характеризують мікроклімат, є:

- температура повітря (контролюється за допомогою гігроскопічного психрометра). У теплу пору року температура перевищує допустиму через непрацездатність ряду вентиляційних пристроїв. Зростання температури вище допустимих значень негативно впливає на продуктивність праці людини. У холодну пору року температура повітря робочої зони знаходиться у межах оптимальних значень (18-23°C).

- швидкість руху повітря знаходиться у межах норми (0,1-0,2м/с).

- відносна вологість повітря у виробничих приміщеннях нижче оптимального значення влітку та дещо перевищує допустиме значення відносної вологості у холодну пору року (75-77%).

- інтенсивність теплового випромінювання працюючого від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлювальних приладів, інсоляції на постійних і тимчасових робочих місцях не повинна перевищувати 35 Вт/м при опроміненні 50% поверхні тіла та більше, 70 Вт/м при опроміненні 25-50% поверхні тіла та 70 Вт/м при розмірах опромінюваної поверхні не більше 25% поверхні тіла. Джерелом теплового випромінювання є печі. Інтенсивність теплового випромінювання на виробництві перевищує норми через відсутність якісної теплоізоляції [27, 28].

Мета обладнання приміщення системою вентиляції залежить від конкретних умов. У різних цехах для різних етапів виробництва приладів використовуються системи вентиляції для різних цілей:

- виведення надлишків тепла, тобто підтримання припустимої температури повітря.
- виведення шкідливих речовин, тобто підтримання гранично припустимих концентрацій цих речовин у повітрі робочої зони.
- виведення залишків вологи, тобто підтримання припустимої відносної вологості повітря.

У теплу пору року на виробництві гостро постає питання кондиціонування повітря. Через нестачу кондиціонерів місцевого призначення температура робочих зон перевищує допустиму норму, а відносна вологість нижче бажаного рівня, що може впливати як на працездатність, так і на здоров'я персоналу.

Зорові роботи у приміщенні об'єкту належать до класу найвищої точності (найменший розмір об'єкта менше 0,15мм). Природне освітлення робочих місць здійснюється через віконні прорізи, що відповідає боковому освітленню. Норма бокового освітлення для даного класу робіт – 3,5%. Фактичні значення бокового освітлення відповідають нормі (4%).

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 норма освітленості робочих місць при комбінованому штучному освітленні для зорових робіт найвищої точності становить 2000 лк. Фактичне значення освітленості робочих місць при штучному освітленні відповідає нормі.

В основу точкового методу розрахунку розрахунку освітленості покладене рівняння, яке пов'язує освітленість та силу світла:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot r^2} \quad (4.1)$$

Площа приміщення – 100 м², висота – 5м освітлюється 4 світильниками типу РСП113-400 з лампами ДРЛ потужністю 400Вт. Світильники розміщені по кутам квадрата зі стороною 5м. Висота підвісу світильників над робочою

поверхнею $h_p=4,5\text{м}$. Нормована освітленість в контрольній точці А рівна 250 лк.

1. Знаходимо $\text{tg}\alpha=d/h$, $\alpha=\text{arctg } d/h$ $\cos^3\alpha$: $\alpha=37^\circ$, $\cos^3\alpha=0,49$

2. Визначаємо I_α за кривою сили світла світильників РСП13 (ДРЛ) при умовній лампі зі світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 1000$ лм. Знаходимо силу світла I_α при $\alpha = 37^\circ$ (інтерполюючи між значеннями сили світла для кута): $\alpha = 35^\circ$ та 45° , $I_{\alpha 1000} = 214$ кд.

Світловий потік установленної у світильнику лампи ДРЛ потужністю 400Вт рівний 19000лм. Тому:

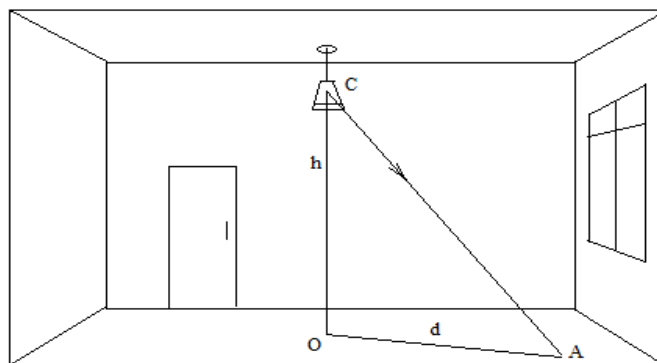
$$I_\alpha = 214 \frac{19000}{1000} = 214 \cdot 19 = 4066 \text{ [кд]} \quad (4.2)$$

3. Розраховуємо освітленість від одного світильника в горизонтальній площині в контрольній точці А (рис.4.1). Приймаючи коефіцієнт запасу $k = 1,5$ для одного світильника і $\mu=1,05$ отримаємо:

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha \times \mu}{k \times h_p^2} = \frac{4066 \times 0,49 \times 1,05}{1,5 \times 4,5^2} = 68,8 \text{ [лк]} \quad (4.3)$$

Оскільки в розрахунковій точці кожен із 4 світильників створює однакову освітленість, то сумарна горизонтальна освітленість в точці А складатиме:

$$\sum E_A = 4 \cdot 68,8 = 275,2 \text{ [лк]} \quad (4.4)$$



С - світильник, О - проекція світильника на розрахункову площину,

А – контрольна точка

Рисунок 4.1 – Розрахунок освітлення точковим методом

Фактична освітленість перевищує нормовану приблизно на 10%, що знаходиться в допустимих межах.

4.4 Електробезпека

В організації, що експлуатує будь-які види електротехніки має бути забезпечено їх утримання у справному стані. Відповідальність за це несе інженер з охорони праці або фахівець, що виконує функції по забезпеченню охорони праці.

Експлуатація такого устаткування повинна проводитися відповідно до інструкцій, правил і норм безпеки, вимог охорони праці та ін. Електричне обладнання повинне своєчасно проходити технічне планове обслуговування, ремонт, профілактичні випробування та інші види обслуговування, що забезпечують його справну роботу.

До роботи на електричному обладнанні допускаються особи, які мають необхідну групу електробезпеки, пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, що пройшли інструктаж з правил експлуатації і техніки безпеки. У компанії обов'язково повинні проводитися інструктажі з охорони праці та техніки безпеки для всього електротехнічного і неелектротехнічного персоналу, крім того, для всіх працівників повинні бути розроблені відповідні інструкції. Персонал, що працює з електричним обладнанням, повинен бути забезпечений засобами електрозахисту і спецодягом, а самі електричні установки - укомплектовані засобами захисту і всім необхідним для пожежогасіння.

Перевірку дотримання даних вимог підприємствами проводять органи енергонагляду, державної інспекції праці та ін.

Заходи попередження ураження людей електрострумом включають огорожу і ізоляцію будь-яких частин електричного обладнання та установок, що знаходяться під напругою. Також на підприємствах повинно бути організовано, де це можливо і де необхідно відповідно до правил і норм,

застосування малої напруги. Обов'язковою мірою є заземлення або занулення всіх металевих конструкцій і кабелів, а також використання засобів індивідуального та колективного електрозахисту. Також до організаційних заходів відносяться заходи по допуску до роботи з електрикою і нагляду під час роботи фахівців на електроустановках.

Заземленню або зануленню підлягають такі конструкції і елементи:

- металеві корпуси технічних засобів і обладнання;
- електроприводи;
- вторинні обмотки трансформаторів;
- каркаси щитів управління, шаф та ін.;
- пересувні електричні установки та обладнання;
- інші кабельні та металеві конструкції.

Заземлення та занулення повинні проходити інструментальну перевірку відразу після монтажу, при експлуатації - не рідше 1 разу на рік, а також після проведеного ремонту.

Забезпечення заходів електробезпеки на підприємстві регламентується Міжгалузевими правилами охорони праці, Правилами улаштування електроустановок та іншими нормативними актами, затвердженими державними органами [26, 28].

4.5 Пожежна безпека

Співробітники, відповідальні за забезпечення пожежної безпеки приміщень призначаються замовленням директора установи.

Особи, призначені за заявою, є відповідальними за забезпечення пожежної безпеки приміщень або ділянок території.

Відповідальні за пожежну безпеку зобов'язані в кінці робочого дня проводити щоденний огляд закріплених за ними об'єктів.

При огляді слід контролювати прибирання приміщень:

- корзини для збору відходів повинні бути пустими;
- електроприлади, що знаходяться в приміщенні знеструмлені, штепсельні вилки витягнуті з електричних розеток;
- вікна закриті і зафіксовані;
- проходи та виходи із приміщень вільні та обладнані знаками охоронної безпеки та планами евакуації;
- електричне освітлення, за виключенням чергового освітлення відключене;
- вхідні двері закриті;
- автоматична сигналізація включена і функціонує;
- первинні засоби пожежогасіння повинні знаходитися в спеціально відведених місцях і доступ до них повинний залишатися вільним.

Якщо при огляді виявлено порушення дійсних правил, слід негайно повідомляти про порушення, що пред'являються відповідальним за запобіжну безпеку або керівнику установи.

Для запобігання виникненню пожеж від електричного струму, висвітлення, нагріву струмоведучих частин, дугового розряду та ін. необхідно дотримуватися "Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів", інструкції по експлуатації електричних приладів. Всі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до норм і правил пожежної безпеки. Засоби пожежотушіння повинні розміщатися в пожежних шафах і обов'язково позначені відповідним знаком пожежної безпеки. Всі наявні первинні засоби пожежогасіння повинні постійно утримуватися в справному стані і регулярно, відповідно до технічних умов експлуатації, випробовуватися на придатність до використання [28].

Співробітники установи зобов'язані виконувати правила пожежної безпеки.

Для запобігання пожежі в приміщеннях будівлі забороняється:

- використовувати нагрівальні електроприбори для опалення приміщень;
- приготування та розігрівання їжі поза спеціально відведеними місцями, узгоджених з Державною протиповітряною службою;
- використовувати електричні прилади, споживана потужність яких перевищує допустиму потужність електромережі;
- залишати без нагляду будь-які прилади та пристрої, що знаходяться під напругою;
- підключати електроприбори без стандартних штепсельних роз'ємів;
- використовувати несправні електричні вимикачі, розетки, штепсельні роз'єми з розбитими корпусами, обгорілі і контактами;
- з'єднання, які нагріваються в місцях контакту;
- світильники без колпаків;
- здійснювати монтаж мереж без дотримання вимог "Правил пристроїв електроустановок";
- використовувати для захисту електромережі некалібровані плавкі вставки або автоматичні вимикачі, струм спрацьовування яких перевищує максимально допустиме значення для електромережі.

Всі перемикання та ремонтні роботи в електромережах повинні виконуватися спеціалістами, що мають допуск до роботи та групу електричної безпеки не нижче третьої.

Підключати до електричних мереж несправні електроприлади заборонено.

Забороняється:

- виконувати нагрів труб опалення, водопостачання та каналізації паяльними лампами або іншим способом із застосуванням відкритого вогню. Нагрівання слід виконувати - гарячою водою, паром, розігрітим піском або іншими пожежобезпечними способами;
- зберігати ємності з горючими, легкозаймистими рідинами, балони з горючими газами, горючі предмети та матеріали на шляхах евакуації, а саме

в коридорах, на сходових клітках, у вестибюлі, в тамбурах евакуаційних виходів, а також в підвалах, на горищах, в технічних приміщеннях електрощитових, в вентиляційних камерах;

- зберігати на місцях проведення ремонтних і реконструкційних робіт пиломатеріали в кількості, що перевищує добову потребу, по залишати закінчення робочого дня легкозаймисті відходи;

- захаращувати шляхи евакуації меблями, матеріалами, обладнанням коридорів, сходові клітки, вестибюлі, тамбури евакуаційних виходів з будинку, доступ до первинного засобів пожежогасіння, електророзподільні щити і пристрої, що вимикають;

- закривати на важко відкривані засуви двері евакуаційних виходів в період перебування в будівлі людей;

- проводити перепланування і перепрофілювання приміщень, зводити на території різного роду споруди та прибудови без дотримання протипожежних вимог і без узгодження з органами державного пожежного нагляду;

- використовувати наявні засоби пожежогасіння не за прямим призначенням [26-28].

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) у роботі пропонується застосувати модель реєстрації електрофізичних параметрів полмірного сонячного елемента у залежності від інтенсивності відбитого випромінювання від прозорої полімерної основи;

2) у якості основи (субстрата) на якій проводилась дослідження було використано комерційну плівку Kapton, як таку що володіє досить сприятливими механічними властивостями, хімічною стійкістю та доволі малою вартістю, порівняно із іншими структурами;

3) в основу структурної схеми покладено використання елементів технології ST FlightSense, яка дає набагато більш високу точність завдяки використанню модулів VL6180X;

4) у якості розрахункової моделі обробки сигналів датчика VL6180X у роботі використано систему переривання аналогічну кодуєчому пристрою з подальшим перетворенням двійкового коду в циклічний код, сформовану на мікросхемах 74139, 74153, K155И;

5) розрахункові дані добре співпадають із результатами моделювання;

6) подальше удосконалення системи передбачає використання додаткових функцій датчиків VL6180X: поєднання вимірювань світлових характеристик із елементами просторового позиціонування, що є перспективним при використанні паралельних інформаційних технологій геліоенергетики.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках інформаційних систем геліоенергетики та фотовольтаїки;

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

Перелік посилань

1. Yu G.; Pakbaz K.; Heeger A. J. Appl. Phys. Lett. 1994, 64 (25), 3422–3424.
2. Litzov I., Brabec C. Development of Efficient and Stable Inverted Bulk Heterojunction (BHJ) Solar Cells Using Different Metal Oxide Interfaces. Materials 2013, 6, 5796-5820.
3. Moon I. Selective emitter using porous silicon for crystalline silicon solar cells I. Moon, K. Kim, M. Thamilselvan // Solar Energy Materials and Solar Cells. — 2009. — Vol. 93 (6 — 7). — P. 846 — 850.
4. Bilylov R. Multicrystalline silicon solar cells with porous silicon emitter / R. Bilylov, R. Ludemann, W. Wettling // Solar Energy Materials & Solar Cells. — 2000. — Vol. 60. — P. 391 — 420.
5. Непечатные солнечные полимерные элементы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elektrik.info/> (дата звернення: 26.04.2021).
6. Фаренбух А. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / А. Фаренбух, Р. Бьюб. — Москва: Энергоатомиздат, 1987 — 280 с.
7. Андреев В. М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В. М. Андреев, В. А. Грилихес, В. Д. Румянцев. — Ленинград: Наука, 1989. — 310 с.
8. Кузнецова Л. П., Ефимова А. И., Осминкина Л. А., Головань Л. А., Тимошенко В. Ю., Кашкаров П. К., ФТТ, 44, № 5: 780 (2002).
9. Беяева А. И., Галуза А. А., Коломиец С. Н., Физика и техника полупроводников, 38, № 9 : 1050 (2004).
10. Russev S. C., Drolet J. P., and Ducharme D., Appl. Opt., 37, No. 25 : 5912 (1998).

11. Chang J. J., Hsieh T. E., Wang Y. L., Tseng W. T., Liu C. P., and Lan C. Y., *Thin Solid Films*, 472 : 164 (2005).
12. Sterligov V. A., Subbota Yu. V., Shirshov Yu., Pochekeylova L. P., Venger Eu. F., Konakova R. V. and Ilyin I. Yu., *Appl. Opt.*, 38, No. 12: 2666 (1999).
13. Sariciftci N. S., Smilowitz L., Heeger A. J., Wudl F., *Photoinduced Electron Transfer from Conducting Polymers onto Buckminsterfullerene*, *Science* 258, (1992) 1474.
14. Yu, G.; Pakbaz, K.; Heeger, A. J. *Appl. Phys. Lett.* 1994, 64 (25), 3422–3424.
15. Litzov I., Brabec C. *Development of Efficient and Stable Inverted Bulk Heterojunction (BHJ) Solar Cells Using Different Metal Oxide Interfaces*. *Materials* 2013, 6, 5796-5820.
16. Хвильова оптика. Частина 1. Електромагнітна теорія світла та інтерференція: Підручник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи та технології» спеціалізації «Комп'ютерно інтегровані оптико-електронні системи і технології» та спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» спеціалізації «Фотоніка та оптоінформатика» [Текст] /Уклад.: В.Г. Колобродов. –Київ : НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2017. 208 с.
17. Павлик С. І., Строїтелева Н. І., Ніконова А. О., Небеснюк О. Ю., Кідалов В. В., Хрипко С. Л., Левінзон Д. І., Світанько М. В., Верьовкін Л. Л. *Формування та дослідження наноструктурованих матеріалів для фотовольтаїки: монографія* // Під ред. Левінзона Д.І.; Запоріж. Держ. Інж. Акад. – Запоріжжя ЗДІА, 2108 320 с. ISBN 978-617-685-046-5.
18. Барчук О. И., Биленко К. С., Голобородько А. А., Курашов В. Н., Оберемок Е. А., Савенков С. Н. *Влияние структуры поликремниевых пленок на оптические характеристики отраженного света / Наносистемы,*

наноматеріали, нанотехнології Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies 2009, т. 7, № 2, сс. 421—431.

19. VL6180X. Proximity and ambient light sensing (ALS) module. Rev.6 – ST Microelectronics, 2014 Режим доступа <http://st.com> (дата звернення: 26.04.2021)

20. Презентація. Optical Sensing: 1D to 3D using Time-of-Flight Technology. Shaping the Future of MEMS & Sensors, September 10, 2013 Режим доступа <http://st.com> (дата звернення: 26.04.2021).

21. Верьовкін Л.Л. Функціональні вузли мікропроцесорних систем. Методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка».

22. Верьовкін Л.Л. Функціональні вузли мікропроцесорних систем. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.

23. Верьовкін Л.Л. Цифрові логічні автомати. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 36 с.

24. 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.

25. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень / Белуха М.Т. Київ : Вища шк., 1997. 271с.

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

27. 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.

28. 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.