

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти _____ другий магістерський _____
(другий магістерський рівень)

на тему Розробка мікроелектронної інформаційної системи визначення
інтенсивності сонячного вилучення

Виконав: студент (ка) II курсу, групи 8.1530

Тарасенко В. В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Напряму підготовки _____
(шифр)

Спеціальності 153

Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Керівник _____ доцент, доцент к.т.н. _____

Верьовкін Л.Л.

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

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

м. Запоріжжя - 2021 рік

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

Рівень вищої освіти другий магістерський
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)
Напрямок підготовки 153
(шифр)
Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЕЕІС
Критська Т.В.

“ 10 ” грудня 20 21 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Тарасенко Владислав Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка мікроелектронної інформаційної системи визначення інтенсивності сонячного вилучення

керівник проекту (роботи) Верьовкін Леонід Леонідович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “30” червня 2021 року №974-с





2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Напряма живлення 5В, елементна база ТТЛ 155 серії, введення інформації за допомогою 10 клавішної клавіатури

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Дослідження методів спостереження та розрахунку інтенсивності сонячного вилучення. Розробка електронної схеми пристрою для дослідження інтенсивності сонячного вилучення Техніко-економічне обґрунтування розробки електронної схеми пристрою. Охорона праці та техногенна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Алгоритм роботи мікроконтролерного пристрою моніторингу інтенсивності сонячного вилучення. Загальна схема пристрою. Показання дисплея при натисненні кнопок «Вимір» та «Збереження»

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	 15.09.2021
<i>II</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	 5.10.2021
<i>III</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	 18.11.2021
<i>IV</i>	<i>Верьовкін Л.Л., доцент</i>	 27.11.2021

7. Дата видачі завдання 26.06.2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Дослідження пристроїв кодування інформації</i>	<i>14.09.2021</i>	
2	<i>Пристрої відображення кодової інформації</i>	<i>18.09.2021</i>	
3	<i>Пристрої введення цифрової інформації</i>	<i>25.09.2021</i>	
4	<i>Світлодіодні напівпровідникові знакосинтезуючі індикатори</i>	<i>02.10.2021</i>	
5	<i>Моделювання пристрою введення інформації</i>	<i>09.11.2021</i>	
6	<i>Блок кодування інформації</i>	<i>16.11.2021</i>	
7	<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>20.11.2021</i>	
8	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>23.11.2021</i>	
9	<i>Написання пояснювальної записки</i>	<i>30.11.2021</i>	
10	<i>Оформлення графічного матеріалу</i>	<i>08.12.2021</i>	
11	<i>Попередній захист дипломної роботи</i>	<i>10.12.2021</i>	
12	<i>Оприлюднений захист кваліфікаційної роботи</i>		

Студент

Тарасенко В. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Верьовкін Л.Л.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено



(підпис)

Верьовкін Л.Л.
(прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 84 сторінки, 28 рисунків, 14 таблиць, 19 джерел літератури, 2 додатка.

Об'єкт дослідження – прилади для дослідження сонячної інсоляції.

Мета роботи – розробка мікропроцесорного приладу для дослідження сонячної інсоляції.

Задачі роботи - обрати датчик виміру інсоляції; розробити схему пристрою для дослідження сонячної інсоляції; провести аналіз функціонування розробленого приладу; розрахувати схилення сонця, годинного кута сонця і тривалості сонячного випромінювання протягом доби в певній точці.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus v7.7, SPlan 5.0.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблений компактний автономний пристрій для моніторингу інсоляції сонячного випромінювання з внутрішньою пам'яттю на 128 вимірів. Для представлення результатів пристрій оснащений 4-рядковим знакогенеруючим дисплеєм, на який виводяться результати вимірів.

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

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження при створенні будь-яких конструкцій, що використовують сонячну енергію.

ІНСОЛЯЦІЯ, ФОТОТРАНЗИСТОР, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ,
МІКРОСХЕМА, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, МІКРОПРОЦЕСОР,
ТОПОЛОГІЯ

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних інформаційних систем, з 1.09.2021 р. по 10.12.2021 р.

Зміст

	Стор.
Вступ	6
1 Дослідження методів спостереження та розрахунку інтенсивності сонячного вилучення	8
1.1 Типи сонячної радіації	8
1.2 Методи розрахунку інтенсивності сонячного вилучення	10
1.3 Розрахунок середньочасового приходу сонячного випромінювання на довільно-орієнтований приймальний майданчик	13
1.4 Аналіз принципу побудови дозиметрів інтенсивності сонячного вилучення	19
1.5 Фотоелектричні властивості датчика інтенсивності сонячного вилучення	23
2 Розробка електронної схеми пристрою для дослідження інтенсивності сонячного вилучення	34
2.1 Аналіз вимог до функціональних параметрів	34
2.2 Розробка функціональної схеми апаратної частини і розрахунок параметрів	36
2.3 Розробка принципової схеми пристрою	41
2.4 Розробка конструкції печатного вузла	46
2.5 Розрахунок схилення сонця, годинного кута сонця і тривалості сонячного випромінювання протягом доби в певній точці	49
3 Техніко-економічне обґрунтування розробки електронної частини пристрою слідкування за сонцем	54
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми пристрою слідкування за сонцем	54
3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми пристрою слідкування за сонцем	58
4 Охорона праці та техногенна безпека	60

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	60
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	63
4.3 Виробнича санітарія	64
4.4 Електробезпека	66
4.5 Пожежна та техногенна безпека	67
4.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення	69
Висновки та рекомендації	74
Перелік джерел	75
Додатки	77

Вступ

При створенні будь-яких конструкцій, які використовують сонячну енергію, необхідно знати повну кількість сонячного світла, придатного для фотоелектричного перетворення. Хоча енергія сонячного випромінювання в певні моменти часу може бути велика, рідко вдається встановити по цих миттєвих значеннях характер сонячного випромінювання протягом доби. Для цього необхідно усереднити значення сонячної енергії за тривалий період часу.

Кількість потенційно корисного сонячного випромінювання, що потрапляє на освітлювану поверхню визначається поняттям, що зветься інсоляцією. Сонячна інсоляція сильно змінюється від однієї точки земної поверхні до іншої. Крим отримує значно більше сонячного світла, чим Запоріжжя або Київ. При знаходженні величини інсоляції якого-небудь району необхідно враховувати тривалість сонячного опромінення (у годинах).

Тривалість сонячного випромінювання, це час корисного використання сонячної енергії. Для виміру тривалості сонячного опромінення необхідно підрахувати кількість годин за день, протягом яких світить сонце, тобто кількість корисних для використання годин. На вимір будуть впливати декілька чинників: вплив пори року; місцеві погодні умови; характер місцевості, що освітлюється сонцем.

Інсоляцією називають опромінення поверхні паралельним пучком променів, що поступають з напрямку, в якому видний в даний момент часу центр сонячного диска.

Астрономічна інсоляція визначається обертаннями Землі довкола Сонця і власної осі, нахиленої під кутом 23,5 до екліптики [1]. Земному спостерігачеві вона представляється гармонійним ваганням положення сонячної паралелі відносно небесного екватора з періодом в 365 діб і кутовим фазовим зсувом (схиленням Сонця).

Вірогідна інсоляція залежить від стану атмосфери і хмарного покриву. Тривалість вірогідної інсоляції на території України складає близько 60% тривалість астрономічної інсоляції і визначається, в основному, висотою стояння Сонця.

Фактична інсоляція завжди відрізняється від вірогідної і може бути визначена лише натурними спостереженнями. Фактична інсоляція залежить від орієнтації і конфігурації забудови, віконних отворів, положення розрахункового приміщення, балконів і лоджій.

Нормування і розрахунок інсоляції є зараз, найбільш актуальною світлотехнічною, економічною і соціально-правовою проблемою. З переходом землекористування і будівництва на ринкову основу норми інсоляції житла стали головним чинником, стримуючим прагнення інвесторів, власників і орендарів земельних ділянок до переушільнення міської забудови з метою здобуття максимального прибутку.

1 Дослідження методів спостереження та розрахунку інтенсивності сонячного вилучення

1.1 Типи сонячної інсоляції

Сонячна інсоляція це основне джерело енергії й теплоти для земної поверхні та атмосфери. Порівняно з нею інсоляція зірок і Місяця, а також вихід теплоти з надр Землі мізерні. Сонячна інсоляція складається з електромагнітних хвиль, які поширюються зі швидкістю світла (300000 км/с) та корпускулярної інсоляції з потоку заряджених протонів і електронів, швидкість яких в 10 разів менша, а енергія в 10 разів менша, ніж енергія теплової інсоляції. До електромагнітної інсоляції належать ультрафіолетове, інфрачервоне, рентгенівське випромінювання, гамма-промені, світло, радіохвилі. Радіохвилі мають довжину від міліметрів до кілометрів, рентгенівське і гамма-випромінювання - менше тисячних часток мікрметра, а температурна інсоляція від 0,002 до 100...120 мікрметрів. Остання становить 99% всієї сонячної енергії. В її складі 47% припадає на інфрачервоні промені (0,76...120 мкм), 46% - видиме світло (0,40...0,76 мкм), 7% - ультрафіолетові хвилі (0,002...0,4 мкм). У метеорології виділяють короткохвильову інсоляцію (0,1...4 мкм) і довгохвильову (понад 4 мкм). Сонячна інсоляція на 99% є короткохвильовою. Довгохвильову інсоляцію з довжиною хвиль від 4 до 100...120 мкм випромінюють земна поверхня і атмосфера.

Інсоляцію, яка надходить до земної поверхні безпосередньо від сонячного диска, називають прямою сонячною радіацією. Відстань від Землі до Сонця дуже велика, тому пряму інсоляцію розглядають у вигляді паралельних променів, які надходять з нескінченності. Інтенсивність прямої сонячної інсоляції - це кількість променистої енергії, що падає на одиницю

площі. Вона вимірюється в джоулях (Дж) за системою одиниць СІ або кіловатах (кВт). Зовні системною одиницею інтенсивності інсоляції, або теплоти, є калорія, яка дорівнює 4,19 Дж.

Безпосередньо від Сонця приходить пряма сонячна інсоляція, її інтенсивність до вступу в атмосферу, тобто на верхній межі атмосфери. називають сонячною константою. Вона залежить тільки від відстані від Сонця і за рекомендацією Міжнародної комісії з інсоляції має стандартне значення 1,37 кВт на квадратний метр. Зміни сонячної сталої протягом багатьох років не встановлено. За 1,5 доби Сонце дає Землі стільки енергії скільки всі електростанції світу за рік. І це між іншим тільки 0,000000002 частина випромінювання Сонця. Інсоляція залежить від зміни відстані до Сонця протягом року, від кута падіння сонячних променів, обумовленого широтою. тому в дні весняного і осіннього рівнодення добова інсоляція (потік сонячної теплоти на горизонтальну площадку) найбільша на екваторі 37,7 МДж на квадратний метр і зменшується до нуля на полюсі. Взимку за полярним колом, де Сонце не показується над горизонтом, інсоляція дорівнює нулю, а на екваторі 36 МДж на квадратний метр. У день літнього сонцестояння для північної півкулі добова інсоляція на полюсі сягає 46 МДж на квадратний метр, водночас на екваторі - 33 МДж на квадратний метр. Влітку добова інсоляція в південній півкулі дещо більша в зв'язку з меншою відстанню до Сонця.

Проходячи крізь атмосферу, частина сонячної інсоляції розсіюється атмосферними газами, частина поглинається, решта досягає земної поверхні, частково відбивається, а в більшості поглинається і нагріває її. Частина розсіяної інсоляції виходить в міжпланетний простір, а частина йде до земної поверхні, частково відбивається, а частково поглинається нею, тому інтенсивність прямої сонячної інсоляції біля земної поверхні зменшується. Вона залежить від тривалості освітлення і кута падіння сонячних променів, обумовленого висотою Сонця над горизонтом, а також прозорості

атмосфери. Сильно ослаблює сонячну інсоляцію хмарність (в середньому на 20%).

У чистій атмосфері при високому положенні Сонця інтенсивність прямої інсоляції дорівнює 1,6 кал на квадратний см за хвилину, а на висоті 4...5 км у горах до 1,7 кал на квадратний см за хвилину.

Атмосферні гази (азот, кисень, озон, вуглекислий газ, водяна пара) і аерозолі поглинають в цілому 15...20% сонячної інсоляції. Близько 25% інсоляції перетворюється в розсіяну, її розсіюють постійні гази ідеальної атмосфери. Вона відрізняється від прямої тим, що йде від усього небосхилу і складається з більш короткохвильових променів (синіх і фіолетових). З розсіяною радіацією пов'язані такі явища: блакитний колір неба, денне освітлення (вся атмосфера стає джерелом освітлення), сутінки після заходу і перед сходом Сонця; білі ночі влітку, коли Сонце не опускається нижче 18° за горизонт; кольорові світанки і вечірня зоря. Ослаблення інсоляції за рахунок поглинання і розсіювання атмосферою залежить від коефіцієнта прозорості. Середня прозорість атмосфери 0,7...0,8, а якби атмосфера складалася тільки з газів 0,9. Коефіцієнт прозорості залежить від мутності атмосфери, від погоди, від географічної широти, висоти Сонця. Він показує, яка частина інсоляції досягає земної поверхні і дорівнює відношенню прямої інсоляції на земній поверхні до сонячної інсоляції, яка потрапляє на верхню межу атмосфери.

1.2 Методи розрахунку інтенсивності сонячного вилучення

Розрізняють геометричні (просторово-часові) і енергетичні методи розрахунку інтенсивності сонячного вилучення [2].

Геометричні методи відповідають на питання: куди, з якого напрямку і якої площі перетину, в який час дня і року і впродовж якого часу поступає (або не поступає) потік сонячних променів.

Енергетичні методи визначають щільність потоку, створювану ним опроміненість і експозицію в променистих або ефективних (світлових, бактерицидних і ін.) одиницях виміру.

Розробка методів, що не виходять за рамки класичних розділів математики і фізики, в основному була завершена в 70-х рр. ХХ століття. В даний час створені алгоритми і комп'ютерні програми, що дозволяють розраховувати будь-які характеристики інсоляції і що викликаються нею фотохімічних і біологічних ефектів.

Важливим чинником є кут падіння сонячного світла на поверхню Землі. При обертанні Землі навколо Сонця її вісь не перпендикулярна наряду на Сонце, а нахилена до нього під кутом біля $23,5^\circ$. Фактично злегка нахилені осі обертання 5 з 9 планет Сонячної системи.

Отже, сонячні промені падають на Землю не точно перпендикулярно до екватора. Замість цього точка перпендикулярного падіння переміщається протягом року то північніше, то на південь від екватора. Цей ефект відбивається в зміні пір року.

Коли Північний полюс відхилений від Сонця, як показано на рисунку 1.1, Сонце освітлює області земної кулі, що обертається значно, більше на південь від екватора; для тих, хто живе в Північній півкулі, Сонце проходить по піднебінню низько над горизонтом. В результаті цього дні стають короткими.

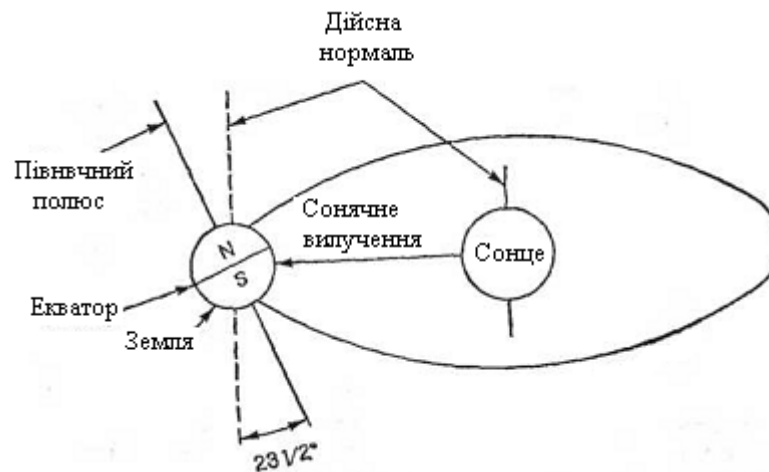


Рисунок 1.1 - Відхилення Північного полюсу від Сонця

Чим коротше дні, тим менше енергії поступає від Сонця, і настає зима.

З обертанням Землі докола Сонця Північний полюс поступово обертається до Сонця. Весною взаємне розташування Землі і Сонця таке, що сонячна енергія падає безпосередньо на екватор.

Тим часом Земля продовжує свій рух докола Сонця. Коли вона проходить половину орбіти, Північний полюс повертається у бік Сонця (рис. 1.2). Це дозволяє сонячній інсоляції концентрувати свою енергію на північ від екватора.

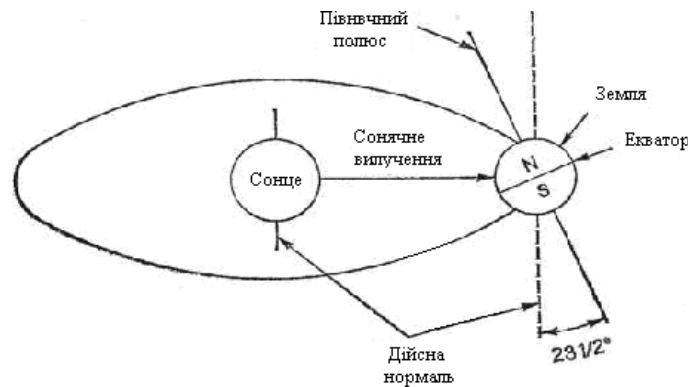


Рисунок 1.2 – Відхилення Північного полюсу у бік Сонця

Дні стають довшими, і Земля дістає можливість поглинати і запасати більшу кількість поступаючої сонячної енергії. Для нас збільшення інсоляції відчувається як настання літа. Різниця між тривалістю літнього і зимового дня для більшої частини континентальної території України складає 6 ч. Земля продовжує свою подорож, проходить повний цикл і знову приходить в початкову точку. Потім сезонний і сонячний цикли починаються знову.

Зміна висоти підйому сонця над горизонтом протягом року можна точно передбачити і легко врахувати. З іншого боку, місцеві погодні умови також помітно впливають на сонячну інсоляцію, але їх важче передбачити.

Більш всього на погоду впливають хмари. Нехай навіть не повністю закриваючи сонце, вони можуть значно ослабити проходження сонячного світла. Залежно від типу хмарності інтенсивність сонячного випромінювання може зменшуватися на 20...50 %. Особливу проблему представляє різноманітність форми і розмірів хмар. Легкі, перисті хмари лише трохи

знижують кількість сонячного світла, що досягає земної поверхні. Отже, ними можна якоюсь мірою нехтувати. З іншого боку, щільні, купчасті хмари пропускають дуже мало світла. Якщо в хмарному покриві є розриви, сонце буде то появлятися, то знов пропадати. Отже, необхідно оцінити кількість сонячного світла, проникаючого через хмарний покрив.

Необхідно визначити нижній крайній рівень світла, ще доцільний для фотоелектричного перетворення. Розрахунок ведеться, якщо інтенсивність світла перевищує цей рівень. Інакше розрахунок припиняється.

Туман, дощ також вносять свої поправки. Фактично погода – єдина у своєму роді змінна умов навколишнього середовища. Ділянки місцевості, що знаходяться на відстані всього лише 50 км. один від одного, можуть мати абсолютно різні умови інсоляції. Характер місцевості, що освітлюється сонцем також є визначальним чинником в освітленості площі, на яку потрапляє сонячне випромінювання. Сонце, що заходить, ставить ще одну проблему, оскільки цілком імовірно, що вершини дерев загородять його промені.

Сукупність декількох чинників звужує кордони найбільшої продуктивності сонячного випромінювання в інтервалі приблизно від 10 ч ранку до 4 ч дня. При цьому необхідно враховувати зміну кута падіння сонячних променів при русі сонця по небосхилу протягом дня, якщо у вашому розпорядженні немає пристрою стеження за рухом Сонця. Сонячні промені, падаючі на освітлювану поверхню під дуже малим кутом, стають малопридатними для використання. Всіма вищевикладеними чинниками і визначається загальний час корисного використання сонячної енергії.

1.3 Розрахунок середньочасового приходу сонячного випромінювання на довільно-орієнтований приймальний майданчик

Для збільшення значення приходу сонячного випромінювання (СВ) на приймальний майданчик (ПМ), останній повинен мати безперервну

де $R_{\text{пр}}^{\beta\gamma}$ і $R_{\text{пр}}^{\Gamma}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2$) - відповідно, потужність потоку прямого СВ на довільно орієнтований по кутах β° і γ° ПМ і на горизонтальний ПМ; $T_{\beta\gamma}$ і T_{Γ} (ч) - розрахункові періоди часу для довільно орієнтованого і горизонтального ПМ (рівні 1ч в повні світлові години дня і менш однієї години в періоди сходу і заходу сонця; для останніх випадків вони - різні, оскільки для довільно-орієнтованого і горизонтального ПМ Сонце сходить і заходить в різні періоди часу); t - поточний час доби.

Значення $K_{\text{пр}}$ в (1.3) є функцією багатьох змінних. Зокрема, величина приходу прямого СВ залежить від кута падіння прямого СВ на ПМ (тобто θ°) і може бути знайдена для горизонтальної і довільно орієнтованого ПМ по формулах:

$$R_{\text{пр}}^{\beta\gamma}(t) = R_{\text{пр}}(t) \cdot \cos \vartheta^{\beta\gamma}(t), \quad (1.4)$$

$$R_{\text{пр}}^{\Gamma}(t) = R_{\text{пр}}(t) \cdot \cos \vartheta^{\Gamma}(t), \quad (1.5)$$

де $K_{\text{пр}}(t)$ - потужність приходу прямого сонячного випромінювання на приймальний майданчик, перпендикулярний прямому СВ при оптичній масі атмосфери m , $\theta^{\beta\gamma}$ и θ^{Γ} - кути падіння прямого СВ на довільно орієнтований і горизонтальний ПМ, відповідно.

Визначимо косинуси кута падіння прямого СВ на довільно-орієнтований і горизонтальний ПМ по наступних формулах:

$$\cos \vartheta^{\beta\gamma} = A + B \cdot \cos \omega^0 + C \cdot \sin \omega^0, \quad (1.6)$$

$$\cos \vartheta^{\Gamma} = \sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0 + \cos \varphi^0 \cdot \cos \omega^0 \cdot \cos \delta^0, \quad (1.7)$$

$$\text{де } A = (\sin \varphi^0 \cdot \cos \beta^0 - \cos \varphi^0 \cdot \sin \beta^0 \cdot \cos \gamma^0) \cdot \sin \delta^0,$$

$$B = (\cos \varphi^0 \cdot \cos \beta^0 + \sin \varphi^0 \cdot \sin \beta^0 \cdot \cos \gamma^0) \cdot \cos \delta^0,$$

$$C = \sin \beta^0 \cdot \sin \gamma^0 \cdot \cos \delta^0.$$

$$\delta(n_i) = \delta_0 \cdot \sin(360 \cdot (284+n)/365), \quad (1.8)$$

Значення δ° в (1.6) і (1.7) визначається по (1.8), а ω° з врахуванням зроблених вище допущень можна знайти по формулі:

$$\omega^0(t) = 15\% \cdot (t - t_{\text{нолд}}), \quad (1.9)$$

де t , ч - даний момент часу в добі; $t_{\text{полуд}}$, ч - дійсний полудень по сонячному часу в даній точці А (φ° , ψ°), тобто $t_{\text{полуд}} = 12$ ч.

З обліком (1.7) і (1.8) вираження (1.3) набере наступного вигляду:

$$K_{np} = \frac{\int_{\Gamma^{\beta\gamma}} (R_{iD}^0(t) \cdot \cos \vartheta^{\beta\gamma}(t)) dt}{\int_{\Gamma^{\Gamma}} (R_{iD}^0(t) \cdot \cos \vartheta^{\Gamma}(t)) dt} = \frac{\int_{\Gamma^{\beta\gamma}} \cos \vartheta^{\beta\gamma}(t) dt}{\int_{\Gamma^{\Gamma}} \cos \vartheta^{\Gamma}(t) dt} \quad (1.10)$$

Виробимо в (1.10) заміну змінних, враховуючи те, що $\theta^\circ(t)$ лінійно залежить від t , тобто

$$t = \frac{\omega^0}{15^\circ/4} + t_{\text{полуд}} \quad (1.11)$$

$$dt = d\left(\frac{\omega^0}{15^\circ/4} + t_{\text{полуд}}\right) = d\omega^0 \quad (1.12)$$

Підставляючи (1.11) і (1.12) в (1.10), отримуємо:

$$K_{np} = \frac{\int_{\Omega^{\beta\gamma}} \cos \vartheta^{\beta\gamma} d\omega}{\int_{\Omega^{\Gamma}} \cos \vartheta^{\Gamma} d\omega} \quad (1.13)$$

де $\theta^{\beta\gamma}$ і θ^{Γ} , відповідно, розрахункова тривалість сонячного сяння в градусах для довільно-орієнтованого і горизонтального ПМ (для повних вартових розрахункових інтервалів рівне 15° , а для періодів сходу-заходу сонця - менш 15°).

Підставляючи (1.6) і (1.7) в (1.13) і інтегруючи його отримуємо:

$$\begin{aligned} K_{np} &= \frac{\int_{\Omega^{\beta\gamma}} (A + B \cdot \cos \omega^0 + C \cdot \sin \omega^0) d\omega}{\int_{\Omega^{\Gamma}} (\sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0 + \cos \varphi^0 \cdot \cos \omega^0 \cdot \cos \delta^0) d\omega} = \\ &= \frac{\left(\frac{\pi}{180^\circ} \cdot \omega^0 \cdot A + B \cdot \sin \omega^0 - C \cdot \cos \omega^0 \right) \Big|_{\omega_1^{\beta\gamma}}^{\omega_2^{\beta\gamma}}}{\left(\frac{\pi}{180^\circ} \cdot \omega^0 \cdot \sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0 + \cos \varphi^0 \cdot \sin \omega^0 \cdot \cos \delta^0 \right) \Big|_{\omega_1^{\Gamma}}^{\omega_2^{\Gamma}}} \quad (1.14) \end{aligned}$$

де $\omega_1^{\beta\gamma}$, ω_1^{Γ} , $\omega_2^{\beta\gamma}$, ω_2^{Γ} - значення годинного кута Сонця на початок і кінець розрахункового інтервалу часу, відповідно для довільно орієнтованого

і горизонтального ПМ. Оскільки перша складова чисельника і знаменника після інтеграції матиме розмірність, виражену в градусах (ω°), а всі інші складові - безрозмірні, то для приведення першої складової до безрозмірних величин (радіанам) введений коефіцієнт перерахунку градусів в радіани.

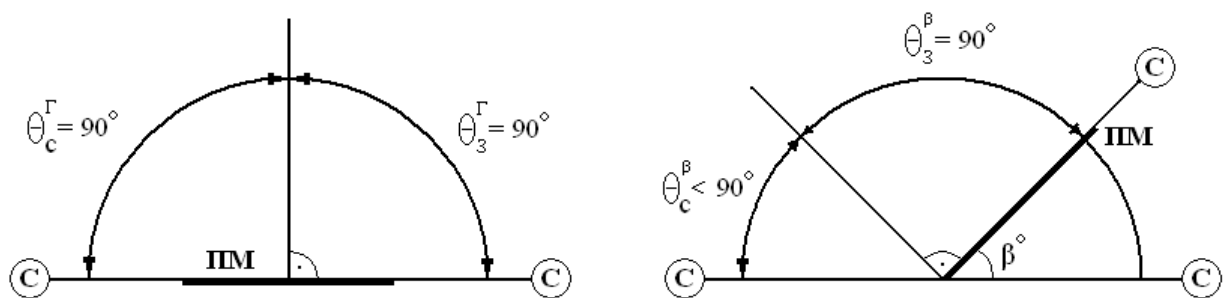
Підставляючи в межі інтеграції отримуємо, що годинні розрахункові інтервали часу $K_{\text{пр}}$ визначатимуться по наступній формулі:

$$K_{\text{пр}} = \frac{(\sin \omega_2^{\beta\gamma} - \sin \omega_1^{\beta\gamma}) \cdot B + \frac{\pi}{180^\circ} \cdot (\omega_2^{\beta\gamma} - \omega_1^{\beta\gamma}) \cdot A - (\cos \omega_2^{\beta\gamma} - \cos \omega_1^{\beta\gamma}) \cdot C}{(\sin \omega_2^\Gamma - \sin \omega_1^\Gamma) \cdot \cos \varphi^0 \cdot \cos \delta^0 + \frac{\pi}{180^\circ} \cdot (\omega_2^\Gamma - \omega_1^\Gamma) \cdot \sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0} \quad (1.15)$$

Вочевидь, що для реалізації (1.15) для сходу-заходу Сонця, необхідно знати годинні кути сходу-заходу Сонця для довільно орієнтованого і горизонтального ПМ. Також вочевидь, що тривалість сонячного сяння для вказаних ПМ буде різною через наявність або відсутність нахилу ПМ (рис. 1.4).

Розрахуємо годинні кути сходу-заходу Сонця для довільно орієнтованого і горизонтального ПМ.

Годинні кути сходу-заходу Сонця горизонтального ПМ можна розрахувати, прирівнявши до нуля (1.8), що відповідає $\theta^\Gamma = 90^\circ$, тобто $\cos \theta^\Gamma = 0$.



- а) горизонтальний приймальний майданчик;
- б) нахилений на південь приймальний майданчик під кутом β°

Рисунок 1.4 - Кути падіння Сонця для сходу-заходу

З цього виходить, ω_3^Γ , ω_c^Γ визначається співвідношеннями:

$$\omega_c^\Gamma = -\arccos(-\operatorname{tg}\varphi^0 \cdot \operatorname{tg}\delta^0), \quad (1.16)$$

$$\omega_3^\Gamma = +\arccos(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta), \quad (1.17)$$

де $\omega_c^\Gamma < 0$ и $\omega_3^\Gamma > 0$ виходячи з умови (1.9). Відповідним чином прирівнюючи нулю (1.7) і представляючи $\sin \omega$ і $\cos \omega$ у вигляді:

$$\sin \omega = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\omega}{2}} \quad \text{і} \quad \cos \omega = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\omega}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\omega}{2}}, \quad (1.18)$$

а також замінюючи змінну в (1.7) для зручності розрахунків:

$$x = \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}, \quad (1.19)$$

отримуємо замість (1.7) наступне вираження:

$$A + B \cdot \frac{1 - x^2}{1 + x^2} + C \cdot \frac{2 \cdot x}{1 + x^2} = 0. \quad (1.20)$$

Перетворимо (1.20) в звичайне біквдратне рівняння вигляду:

$$(A - B) \cdot x^2 + 2 \cdot C \cdot x + (A + B) = 0. \quad (1.21)$$

Знаходимо коріння (1.21):

$$x_{1,2} = \frac{-2 \cdot C \pm \sqrt{4 \cdot C^2 - 4 \cdot (A - B) \cdot (A + B)}}{2 \cdot (A - B)}. \quad (1.22)$$

Виробляючи зворотну заміну змінних в (1.22) отримуємо, що ω_c і ω_3 будуть рівні:

$$\omega_B = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{-C + \sqrt{C^2 - A^2 + B^2}}{A - B} \right), \quad (1.23)$$

$$\omega_3 = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{-C - \sqrt{C^2 - A^2 + B^2}}{A - B} \right). \quad (1.24)$$

Оскільки схід Сонця в часі доби на довільно-орієнтований ПМ не може статися раніше, ніж для горизонтальний ПМ із-за обмеження прямої видимості по горизонту, то $\omega_c^{\beta\gamma}$, $\omega_3^{\beta\gamma}$ необхідно визначати по наступних

формулах (з врахуванням рисунка 1.4):

$$\omega_c^{\beta\gamma} = \max \left[\omega_c^{\Gamma}; 2 \cdot \arctg \left(\frac{-C + \sqrt{C^2 - A^2 + B^2}}{A - B} \right) \right], \quad (1.25)$$

$$\omega_3^{\beta\gamma} = \min \left[\omega_3^{\Gamma}; 2 \cdot \arctg \left(\frac{-C - \sqrt{C^2 - A^2 + B^2}}{A - B} \right) \right]. \quad (1.26)$$

З врахуванням сказаного вище для початкового (t_1) і кінцевого (t_2) моменту часу в даному розрахунковому інтервалі часі, рівному одній годині, початкові і кінцеві значення річних кутів Сонця для горизонтальної і довільно-орієнтованих ПМ ($\omega_1^{\beta\gamma}$, ω_1^{Γ} , $\omega_2^{\beta\gamma}$, ω_2^{Γ}) можна знайти по наступних формулах:

$$\omega_1^{\Gamma} = \min \left(\omega_3^{\Gamma}; \max \left(\omega_c^{\Gamma}; (15^0 (t_1 - 12)) \right) \right), \quad (1.27)$$

$$\omega_2^{\Gamma} = \min \left(\omega_3^{\Gamma}; \max \left(\omega_c^{\Gamma}; (15^0 (t_2 - 12)) \right) \right), \quad (1.28)$$

$$\omega_1^{\beta\gamma} = \min \left(\omega_3^{\beta\gamma}; \max \left(\omega_c^{\beta\gamma}; (15^0 (t_1 - 12)) \right) \right), \quad (1.29)$$

$$\omega_2^{\beta\gamma} = \min \left(\omega_3^{\beta\gamma}; \max \left(\omega_c^{\beta\gamma}; (15^0 (t_2 - 12)) \right) \right). \quad (1.30)$$

Вираження (1.15) для $K_{\text{пр}}$ відповідає годинним розрахунковим інтервалам часу і придатне для інших, триваліших розрахункових інтервалів часу. Зокрема, для добового інтервалу часу і азимуту ПМ рівного 0 формула (3.53) перетвориться повністю у формулу С.А. Клейна, оскільки при $\gamma^0 = 0$ годинні кути сходу-заходу Сонця рівні між собою, але протилежні по знаку. Тим самим (1.15) є більш універсальним вираженням для розрахунку $K_{\text{пр}}$ для різних розрахункових інтервалів часу.

1.4 Аналіз принципу побудови дозиметрів інтенсивності сонячного вилучення

При створенні будь-яких конструкцій, що використовують сонячну енергію, необхідно знати загальну кількість сонячного світла, придатного для

фотоелектричного перетворення. Хоча енергія сонячного випромінювання в певні моменти часу може бути велика, рідко вдається встановити за цими миттєвими значеннями характер сонячного випромінювання протягом доби. Для цього необхідно усереднити значення сонячної енергії за тривалий період часу.

Для обліку всіх факторів, що впливають на зміну використовуваної сонячної енергії, необхідно ввести одиницю вимірювання. Найбільш ефективною є тривалість сонячного опромінення, тобто час корисного використання сонячної енергії (в годинах).

Для вимірювання тривалості сонячного опромінення необхідно підрахувати кількість годин за день, протягом яких світить сонце, тобто, кількість корисних для використання годин. На вимір впливатимуть кілька чинників:

- вплив пори року;
- місцеві погодні умови;
- характер місцевості, освітлюється сонцем.

Найбільш важливим фактором є кут падіння сонячного світла на поверхню Землі. При обертанні Землі навколо Сонця її вісь не перпендикулярна напрямку на Сонце, а нахилена до нього під кутом близько 23° . Отже, сонячні промені падають на Землю неточно перпендикулярно до екватора. Замість цього точка перпендикулярного падіння переміщається протягом року то північніше, то на південь від екватора. Цей ефект відбивається в зміні пір року.

Зміна висоти підйому сонця над горизонтом протягом року можна точно передбачити і легко врахувати. З іншого боку, місцеві погодні умови також помітно впливають на сонячну інсоляцію, але їх важче передбачити.

Найбільше на погоду впливають хмари. Нехай навіть не повністю закриваючи сонце, вони можуть значно послабити проходження сонячного світла. Залежно від типу хмарності інтенсивність сонячного випромінювання може зменшуватися на 20...50%. Щоб все точно врахувати, необхідно

визначити нижній граничний рівень світла, ще доцільний для фотоелектричного перетворення. Розрахунок ведеться, якщо інтенсивність світла перевищує цей рівень. В іншому випадку розрахунок припиняється.

Туман, дощ також вносять свої поправки. Фактично погода - єдина в своєму роді змінна умов навколишнього середовища.

Захід сонця ставить ще одну проблему, так як цілком ймовірно, що вершини дерев загородять його промені в 4 години дня. При цьому необхідно враховувати зміну кута падіння сонячних променів під час руху сонця по небосхилу протягом дня. Сонячні промені, які падають на освітлювану поверхню під дуже малим кутом, стають малоприслужними для використання.

Всіма вищевикладеними чинниками і визначається загальний час корисного використання сонячної енергії.

Вимірювач інсоляції повинен задовольняти зазначеним вище вимогам. Для того щоб встановити реальну тривалість часового інтервалу, протягом якого сонячне освітлення корисно стосовно до фотоелектричних перетворювачів, доцільно вибрати в якості датчика випромінювання кремнієвий сонячний елемент.

Для даної конструкції буде потрібно малопотужне джерело живлення, який генерує напругу 1,5 В при струмі 3 мА. Його можна виготовити з декількох невеликих елементів, з'єднаних послідовно. Потім сонячну батарею слід приєднати до кварцового механічного годинника, споживаючого дуже мало енергії. Коли сонячне світло попаде на фотоелектричний перетворювач, електрична енергія, що виділяється, приведе годинник в рух. Реєструючи проміжок часу за день, протягом якого працював годинник, отримуємо тривалість сонячного вилучення за день (у годинах).

Аби виявити різницю в інтенсивності сонячного вилучення, до сонячної батареї підключається резистор, який грає роль навантаження сонячних елементів, декілька знижуючи їх напругу. Поки інтенсивність світла не перевищує певний рівень, відповідний рівню корисної роботи

сонячної батареї, напруги, що розвивається нею, недостатньо для живлення годинника і цей час не реєструється.

Кут нахилу вісі (полярний кут) визначається географічним положенням і відповідає широті місця, в якому змонтовано пристрій. Географічна координата Запоріжжя відповідає 47° південної широти. Тоді вісь слідкуючого пристрою буде повернута на кут 47° до горизонту. На Північному полюсі вона перпендикулярна поверхні Землі (рис. 1.5).

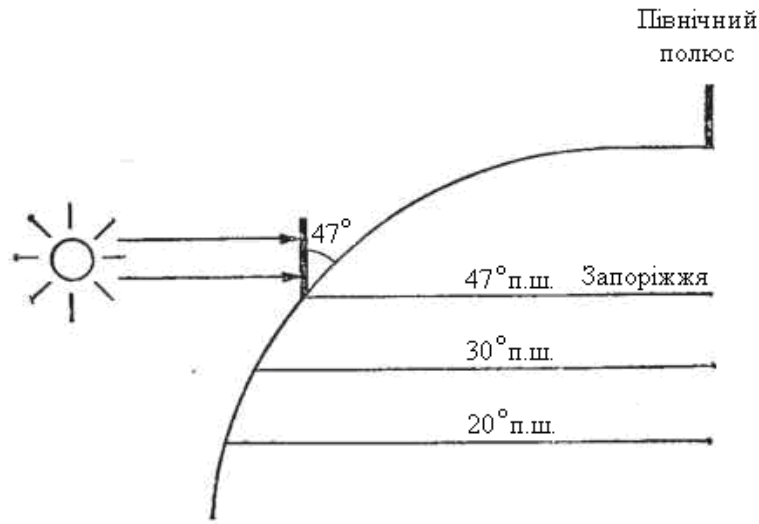
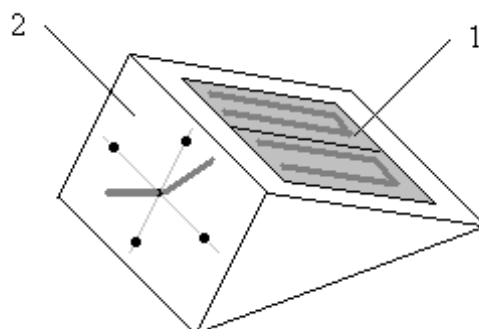


Рисунок 1.5 – Повертання вісі слідкуючого пристрою в залежності від географічної координати

Слід направити датчик на південь. Азимутальний кут сонячної батареї складає 47° (рис. 1.6).



1 – сонячний датчик інсоляції;

2 – сонячний годинник

Рисунок 1.6 – Конструкція вимірювача сонячної інсоляції

Виміри починаються рано вранці, зі світанку. Тепер до самого заходу сонця прилад фіксуватиме число годинника, протягом якого сонце дає достатню для використання кількість енергії. При цьому автоматично враховуються вплив пропливаючих хмар і періоди падіння променів під гострим кутом до поверхні (при яких на батарею падає дуже мала кількість енергії). В кінці дня можна безпосередньо зняти свідчення числа корисного сонячного годинника за день. Якщо стрілка показує на 5, значить, було 5 корисних годин.

За допомогою іншого методу можна набути сукупного значення інсоляції. Просто наголошуються свідчення щодня без переведення годинників і підраховується повна кількість зворотів стрілки впродовж виміру. В результаті виходять умови інсоляції за тривалий період часу.

Можна визначити середнє значення тривалості сонячного опромінення (у годинах) декількома різними способами: за тиждень, за сезон, за рік. Все залежить від того, які необхідні данні.

1.5 Фотоелектричні властивості датчика інтенсивності сонячного вилучення

Розглянемо процеси, що відбуваються в р-п-переході датчика інсоляції і поблизу нього при освітленні монохроматичним випромінюванням [3]. Нехай р-п-перехід розташований поблизу від освітлюваної поверхні напівпровідника, вільної від поверхневих станів (рис. 1.7, 1.8).

Виберемо таку енергію квантів випромінювання, аби фотони поглиналися в напівпровіднику:

$$h\nu = E_g,$$

причому електронно-діркові пари виникали б лише в р-області на відстані менш дифузійної довжини електронів від р-п переходу.

При використанні СЕ як джерело електроенергії до його виводів має бути приєднаний опір навантаження R_H . Розглянемо спочатку два крайні випадки: $R_H=0$ (режим короткого замикання) і $R_H=\infty$ (режим холостого ходу).

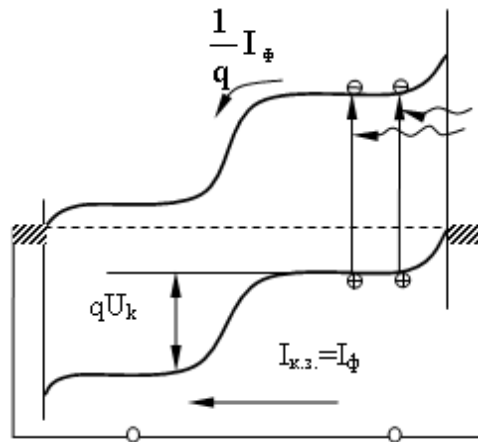


Рисунок 1.7 - Зонна енергетична діаграма р-n-переходу при освітленні в режимі короткого замикання

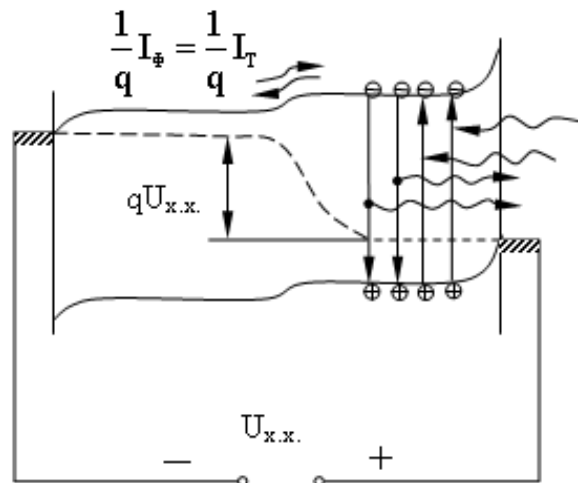


Рисунок 1.8 - Зонна енергетична діаграма р-n-переходу при освітленні в режимі холостого ходу

Зонна діаграма освітленого р-n-переходу не відрізняється від зонної діаграми при термодинамічній рівновазі (тобто без освітлення і без прикладеної напруги зсуву), оскільки зовнішнє закорочення забезпечує нульову різницю потенціалів між n- і р-областями. Проте через р-n-перехід і зовнішній напівпровідник тече струм, обумовлений фотогенерацією електронно-діркових пар в р-області. Фотоелектрони, що утворилися в

безпосередній близькості від області об'ємного заряду, захоплюються електричним полем р-n-переходу і потрапляють в n-область. Останні фотоелектрони дифундують до р-n переходу, прагнучи заповнити їх спад, і зрештою також потрапляють в n-область.

У n-області виникає направлений рух електронів до тильного металевого контакту, перетікання в зовнішнє коло і в контакт до р-області. На кордоні контакту до р-області відбувається рекомбінація електронів, що підійшли сюди, з дірками, що фотогенеруються.

Енергетичні діаграми n- і р-областей поблизу контактів відповідають ідеальним не випрямляючим (тобто омичним) контактам між металом і напівпровідником, коли енергетичний бар'єр для протікання носіїв відсутній. Це досягається сильнішим легуванням n- і р-областей поблизу контактів, з тим, аби $E_c - E_f$ і $E_f - E_v$, дорівнювали нулю, а також підбором металів (різних для контакту до n- і р-області), що мають рівень Фермі на тій же висоті, що і в напівпровіднику. При розімкненому зовнішньому колі р-n переходу фотоелектрони потрапляючи в n-область, накопичуються в ній заряджають n-область негативно. Надлишкові дірки, що залишаються в р-області, заряджають р-область позитивно. Різниця потенціалів, що виникає таким чином, є напругою холостого ходу $U_{x,x}$. Полярність $U_{x,x}$ відповідає прямому зсуву р-n-переходу. Величина $U_{x,x}$ завжди менше контактної різниці потенціалів U_k , що означає, що в діаграмі р-n-переходу завжди зберігається «сходінка» ΔE_c . Потенційна енергія електронів, що знаходиться в дна зони провідності у n-області менше, ніж в р-області. Це є причиною ефективного витягування фотоелектронів з р-області в n-область. Таким чином, потік фотоелектронів не залежатиме від напруги зсуву р-n переходу (як позитивного, так і негативного аж до напруги, при якій починається лавинне множення носіїв струму). Потік носіїв, що генеруються світлом, утворює фотострум I_ϕ . Величина I_ϕ дорівнює числу носіїв, що фотогенеруються, пройшли через р-n-перехід в одиницю часу:

$$I_{\Phi} = q \frac{P_u}{h\nu}, \quad (1.31)$$

де P_i – потужність поглиненого монохроматичного випромінювання. Тут передбачається, що в напівпровіднику кожен поглинений фотон з енергією

$$h\nu = E_g$$

створює одну електронно-діркову пару. Ця умова звичайна добре виконується для сонячних елементів на основі Si і GaAs.

При нульових внутрішніх омичних втратах в сонячних елементах режим короткого замикання (рис. 1.6) еквівалентний нульовій напрузі зсуву р-п переходу, тому струм короткого замикання $I_{кз}$ дорівнює фотоструму:

$$I_{кз} = I_{\Phi} \quad (1.32)$$

У режимі холостого ходу (рис. 1.7) фотострум врівноважується «темновим» струмом I_T – прямим струмом через р-п перехід, що виникає при напрузі зсуву величиною U_{xx} . З врахуванням

$$i = i_0 \exp\left[\left(\frac{qU}{AkT}\right) - 1\right], \quad (1.33)$$

для абсолютних значень темнового струму маємо:

$$I_T = I_0 \exp\left[\left(\frac{qU_{xx}}{AkT}\right) - 1\right] = I_{\Phi}, \quad (1.34)$$

звідки (при $I_{\Phi} \gg I_0$)

$$U_{xx} = \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{I_{\Phi}}{I_0} + 1\right) \approx \frac{AkT}{q} \ln \frac{I_{\Phi}}{I_0}, \quad (1.35)$$

Темновий струм супроводиться рекомбінацією неосновних носіїв струму (в даному випадку електронів в р-області). При актах рекомбінації потенційна енергія електронно-діркових пар виділяється або за допомогою випромінювання фотонів з $h\nu \approx E_g$, або витрачається на нагрівання кристалічної решітки. Ці процеси схематично показані додатковими стрілками на рисунку 1.7. Таким чином, режим холостого ходу сонячних

елементів еквівалентний режиму роботи світлодіодів [4], а також випрямляючих діодів в пропускному напрямі.

Знайдемо тепер узагальнене вираження для ВАХ освітленого р-n-переходу. Для цього передбачимо, що до нього підключено джерело живлення з варійованим навантаженням (рис. 1.8).

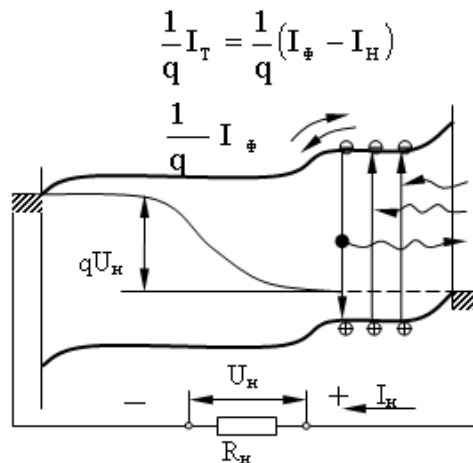


Рисунок 1.8 - Зонна енергетична діаграма р-n-переходу при освітленні в режимі включення на опір навантаження

При позитивній напрузі зсуву фотострум I_{Φ} віднімається з темного струму р-n-переходу, а при негативному – підсумовується з ним. Вираження для ВАХ, що включає (1.32) і (1.34) як окремі випадки, записується у вигляді:

$$I_n = I_0 \left[\exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) - 1 \right] - I_{\Phi}, \quad (1.36)$$

Неважко відмітити, що графічно ВАХ освітленого р-n-переходу може бути отримана шляхом переміщення всієї темної ВАХ (1.8) уздовж осі струмів вниз на величину I_{Φ} , як це показано на рисунку 1.9. Числові дані тут відповідають р-n-переходу в досліджуваному елементі тобто AgSi-p площею 1см^2 при значеннях фотоструму $I_{\Phi} = 0$ (темнова ВАХ), а також при різних освітленостях. Важливою є та обставина, що в квадранті IV напрям струму через р-n-перехід протилежний полярності прикладеної напруги, тобто при цьому освітлений р-n-перехід сам є джерелом енергії. Режиму короткого

замикання тут відповідає точка нульової напруги зсуву на р-п-переході, а режиму холостого ходу – точка нульового струму через р-п перехід.

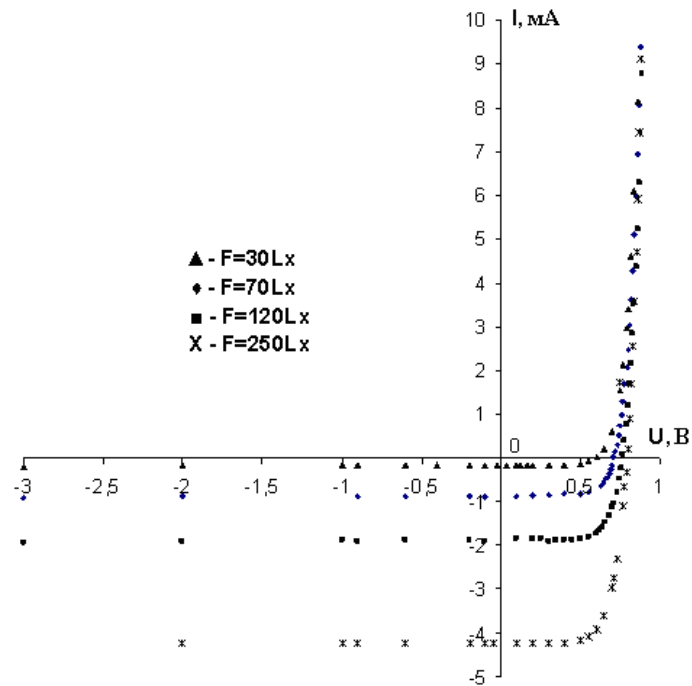


Рисунок 1.9 - Світлова ВАХ досліджуваного елемента при різних освітленостях

Відрізок ВАХ, розташований в квадранті IV, може бути вимірний при підключенні до р-п переходу варійованого опору навантаження. Напрямок струму в навантаженні завжди збігається з напрямом I_{ϕ} , а сам струм навантаження I_n дорівнює результуючому струму через р-п-перехід (1.36).

Приймаючи напрям I_{ϕ} за позитивне, для I_n можемо записати [3, 5]:

$$I_n = I_{\phi} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qU_n}{AkT}\right) - 1 \right], \quad (1.37)$$

де U_n – напруга на навантаженні, рівна напрузі на р-п переході.

Вираження (1.37) описує навантаження ВАХ освітленого р-п переходу. Навантаження ВАХ кремнієвого р-п переходу для значення $F = 250 \text{ Lx}$ представлена на рисунку 1.10.

При відомих параметрах навантаження ВАХ (1.37) і заданому значенні R_n величини I_n і U_n знаходяться методом послідовних наближень при спільному рішенні (1.37) і

$$I_H = \frac{U_H}{R_H}, \text{ або графічно.}$$

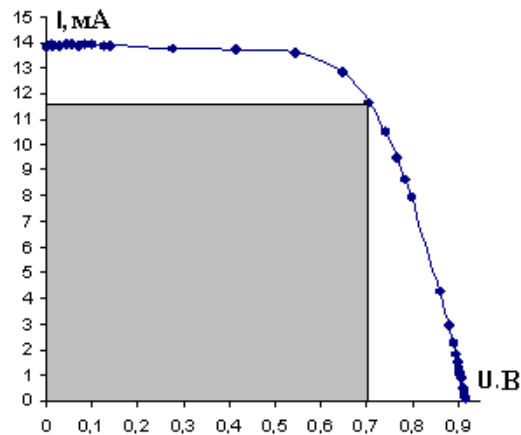


Рисунок 1.10 - Навантаження ВАХ датчика інсоляції

У міру збільшення R_H струм через навантаження зменшується, оскільки із збільшенням прямого зсуву р-п-перехід як би шунтує навантаження. Таким чином, освітлений р-п перехід відповідно до вираження (1.37) може бути представлений у вигляді еквівалентної схеми (рис. 1.11).

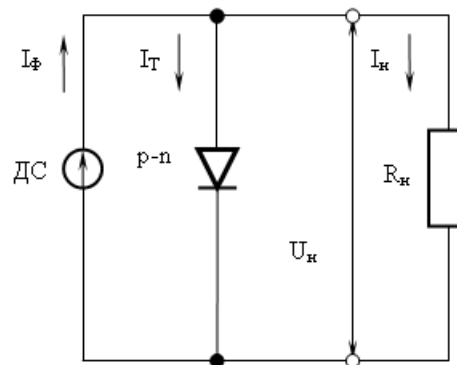


Рисунок 1.11 - Еквівалентна схема освітленого р-п переходу з опором навантаження

Тут джерело струму (ДС) імітує генерацію постійного фотоструму, не залежного від напруги р-п-переходу, а діод є незасвіченим р-п-переходом. При варіюванні R_H фотострум перерозподіляється між навантаженням і р-п-переходом. Електрична потужність, що виділяється в навантаженні, визначається по формулі (нехтуємо одиницею у формулі (1.37))

$$P = I_n U_n = I_\phi U_n - I_0 U_n \exp\left(\frac{qU_n}{AkT}\right), \quad (1.38)$$

У режимах короткого замикання і холостого ходу $P = 0$, оскільки або U_n , або I_n дорівнюють нулю. Вочевидь, існує деяке оптимальне значення $R_n = R_{opt}$, своє для кожного рівня освітленості, при якому P досягає максимального значення P_{max} . Умову максимуму потужності можна отримати з (1.8), поклавши

$$\frac{dP}{dU_n} = 0$$

$$\frac{dp}{dU_n} = I_\phi - I_0 \left[\frac{qU_{onm}}{AkT} \exp\left(\frac{qU_{onm}}{AkT}\right) + \exp\left(\frac{qU_{onm}}{AkT}\right) \right] = 0$$

Тут $U_n = U_{opt}$ – напруга на оптимальному навантаженні. Після алгебраїчних перетворень і логарифмування отримуємо:

$$\frac{AkT}{q} \ln \frac{I_\phi}{I_0} = \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{qU_{onm}}{AkT} + 1\right) + U_{onm},$$

Помічаємо, що ліва частина є U_{xx} по формулі (1.5), звідки:

$$U_{onm} \approx U_{xx} - \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{qU_{onm}}{AkT} + 1\right), \quad (1.39)$$

Формула (1.39) дозволяє визначити U_{opt} методом послідовних наближень. Як перше наближення в праву частину підставляється $U_{opt} = U_{xx}$, а другого наближення – знов отримане U_{opt} . Двох обчислень вистачає для здобуття чотирьох вірних значущих цифр. Значення I_{opt} визначається при підстановці U_{opt} в (1.37) з урахуванням (1.34):

$$I_{onm} \approx I_\phi - I_0 \exp\left[\frac{qU_{xx}}{AkT} - \ln\left(\frac{qU_{onm}}{AkT} + 1\right)\right] \approx I_\phi \left(1 - \frac{AkT}{qU_{onm}}\right), \quad (1.40)$$

Далі визначаємо $R_{opt} = U_{opt}/I_{opt}$ і нарешті, P_{max} (опускаючи доданок другого порядку малості, але компенсуючи це допущенням, що $U_{opt}/U_{xx}(1)$:

$$P_{max} = I_{onm} U_{onm} \approx I_\phi \left[U_{xx} - \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{qU_{onm}}{AkT} + 1\right) - \frac{AkT}{q} \right], \quad (1.41)$$

На рисунку 1.10 площа заштрихованого прямокутника рівна P_{\max} . «Якість» навантаження ВАХ тим вище, чим ближче її форма до прямокутної. Параметром, що визначає «якість» ВАХ, є чинник заповнення ВАХ (ξ):

$$\xi = \frac{P_{\max}}{I_{\text{кз}} U_{\text{хх}}} = \frac{I_{\text{онм}} U_{\text{онм}}}{I_{\text{кз}} U_{\text{хх}}}, \quad (1.42)$$

Вираження (1.41) можна переписати у вигляді

$$P_{\max} = I_{\Phi} \left(\frac{E_{\max}}{q} \right), \quad (1.43)$$

де

$$E_{\max} = q \left[U_{\text{хх}} - \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{qU_{\text{онм}}}{AkT} + 1 \right) - \frac{AkT}{q} \right], \quad (1.44)$$

є та енергія, яка виділяється в навантаженні з розрахунку на один поглинений фотон при оптимальному узгодженні р-п переходу із зовнішнім колом. Проаналізуємо чинники, що впливають на величину E_{\max} . Для цього виразимо $U_{\text{хх}}$ за допомогою (1.35),

$$i_0^{\text{оф}} = kT n_i^2 \left(\frac{\mu_n}{L_n N_A} + \frac{\mu_p}{L_p N_D} \right) \quad \text{і} \quad n_i p_i = n_i^2 = N_c N_v \exp \left(- \frac{E_g}{kT} \right),$$

таким чином (для простоти $A=1$):

$$U_{\text{хх}} = \frac{kT}{q} \left(\ln i_{\Phi} - \ln i_0 \right) = \frac{kT}{q} \left\{ \ln i_{\Phi} - \ln \left[kT N_c N_v \left(\frac{\mu_n}{L_n N_A} + \frac{\mu_p}{L_p N_D} \right) \exp \left(- \frac{E_g}{kT} \right) \right] \right\},$$

Зробивши заміну

$$N_c N_v = \frac{N_c}{N_D} \frac{N_v}{N_A} N_D N_A,$$

прологарифмувавши вираження в квадратних дужках і перегрупувавши члени, отримаємо:

$$U_k = \frac{1}{q} \left[E_c - E_v - E_c - E_f - E_f - E_v \right] = \frac{E_g}{q} + \frac{kT}{q} \left[\ln \left(\frac{N_D}{N_c} \right) + \ln \left(\frac{N_A}{N_v} \right) \right],$$

$$\begin{aligned}
U_{xx} &= \frac{E_g}{q} - \frac{kT}{q} \left\{ \ln \left(\frac{N_c}{N_D} \right) + \ln \left(\frac{N_v}{N_A} \right) + \ln \left[\frac{kT}{i_\Phi} \left(\frac{\mu_n N_D}{L_n} + \frac{\mu_p N_A}{L_p} \right) \right] \right\} = \\
&= U_k - \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{kT}{i_\Phi} \left(\frac{\mu_n N_D}{L_n} + \frac{\mu_p N_A}{L_p} \right) \right]
\end{aligned}
\tag{1.45}$$

Тепер (1.44) можна переписати у вигляді:

$$E_{\max} = E_g - kT \left\{ \ln \left(\frac{N_c}{N_D} \right) + \ln \left(\frac{N_v}{N_A} \right) + \ln \left[\frac{kT}{i_\Phi} \left(\frac{\mu_n N_D}{L_n} + \frac{\mu_p N_A}{L_p} \right) \right] + \ln \left(\frac{qU_{opt}}{kT} + 1 \right) + 1 \right\}, \tag{1.46}$$

З (1.46) видно, що верхньою оцінною межею для E_{\max} є значення ширини забороненої зони E_g напівпровідника, яка визначає величину потенційної енергії однієї фото генерованої електронно-діркової пари. В принципі кванти з енергією $h\nu = E_g$ вже можуть бути поглинені напівпровідником. Проте енергія цих квантів не використовується в погодженому навантаженні повністю. У другому членові правої частини виразу (1.46) представлені втрати фундаментального характеру, що обмежують коефіцієнт корисної дії сонячного елемента з р-п-переходом. Перші два доданки втрат у фігурних дужках (разом з множником kT) відображають той факт, що контактна різниця потенціалів U_k менше значення E_g/q . «Втрати на U_k » залежать від щільності полягань у валентній зоні і зоні провідності напівпровідника, а також від концентрацій основних носіїв в n- і p-областях р-п-переходу.

Третій доданок відображає той факт, що $U_{xx} < U_k$. «Втрати на U_{xx} » залежать від концентрацій основних носіїв і електрофізичних параметрів (рухливість, дифузійні довжини) неосновних носіїв в n- і p-областях р-п-переходу. Четвертий доданок – «втрати на U_{opt} ». Вони залежавши від трьох попередніх доданків (вираз (1.39) для U_{opt}) і відображають той факт, що $U_{opt} < U_{xx}$. Нарешті, п'ятий доданок (kT помножене на одиницю) можна інтерпретувати як «втрати на оптимальний струм», пов'язані з тим, що в точці оптимального навантаження ВАХ освітленого р-п переходу оптимальний струм менше фотоструму (вираз (1.40) для I_{opt}).

Для контролю сонячних елементів, поважно визначити фотоелектричні властивості р-n переходу залежно від рівня освітленості. В умовах, коли кількість носіїв струму, що фотогенеруються, залишається багато менше кількості основних носіїв, варіювання освітленості означатиме, що прямо пропорційно змінюється і щільність фотоструму I_{ϕ} .

Розрахунки показали що корисна енергія E_{\max} збільшується при збільшенні I_{ϕ} , тобто рівня освітленості. Це відбувається за рахунок збільшення U_{xx} , а також пов'язаного з ним збільшення $U_{\text{опт}}$ і наближенні $I_{\text{опт}}$ до значення I_{ϕ} . Коефіцієнт корисної дії р-n-переходу як фотоелектричний перетворювач монохроматичного випромінювання може бути визначений у вигляді відношення E_{\max} до енергії одного поглиненого фотона $h\nu$:

$$\eta_{h\nu} = \frac{E_{\max}}{h\nu}, \quad (1.47)$$

«монохроматичний» ККД р-n переходу помітно зростає при збільшенні щільності фотоструму, тобто освітленості.

Метою дипломної роботи являється розробка мікроелектронної інформаційної системи визначення інтенсивності сонячного вилучення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- обрати датчик виміру інтенсивності сонячного вилучення;
- розробити схему пристрою для дослідження інтенсивності сонячного вилучення;
- провести аналіз функціонування розробленого приладу;
- розрахувати схилення сонця, годинного кута сонця і тривалості сонячного випромінювання протягом доби в певній точці.

2 Розробка електронної схеми пристрою для дослідження інтенсивності сонячного вилучення

2.1 Аналіз вимог до функціональних параметрів

Основним завданням мікроконтролерного пристрою моніторингу сонячної інсоляції є контроль кількості сонячної інсоляції що попала за певні проміжки часу на спеціальний датчик. Тому основними властивостями пристрою, що розробляється, мають бути: малі габарити, автономне живлення, робота в автономному режимі тривалий час і низька вартість.

Для розробки пристрою для моніторингу сонячної інсоляції необхідно, в першу чергу, представляти якими параметрами повинен володіти фоточутливий елемент. Для цього потрібно визначити в яких межах необхідно проводити виміри. Досягти необхідних меж можна різними способами. По-перше має значення чутливість фотоелемента. Різні фотоелементи мають різні рівні чутливості, що визначається як типом елемента, так і матеріалом напівпровідників. Також різні фотоелементи мають різні рівні максимального засвічення, що теж необхідно враховувати при виборі фотоелемента. Регулювання меж вимірів може здійснюється за допомогою зміни опорів у вимірювальній схемі. При використанні резисторів з різним номіналом, можливе забезпечення декількох діапазонів вимірів. Ще один спосіб зміни меж виміру - спеціальні світлопроникні насадки для створення загального номінального коефіцієнта ослабіння.

Існує декілька різновидів фотоелементів.

Фоторезистор — напівпровідниковий прилад, що змінює величину свого опору при опроміненні світлом [6].

Фотодіод - приймач оптичного випромінювання, який перетворює світло, що попало на його фоточутливу область, в електричний заряд за рахунок процесів в р-n переході [6].

Фототранзистор - транзистор (зазвичай біполярний), в якому інжекція нерівноважних носіїв здійснюється на основі внутрішнього фотоефекту; служить для перетворення світлових сигналів в електричні з одночасним посиленням останніх [7].

Фотодіод може працювати у фотодіодному і фотогальванічному режимах.

У фотодіодному режимі р-n перехід зміщується зворотною напругою, величина якої залежить від конкретного фотодіода. Чим більше напруга, тим швидше він працюватиме і тим більші струми протікатимуть через нього. Недоліком фотодіодного режиму є посилення шумів при збільшенні освітленості і постійний при цьому рівень корисного сигналу [6].

У фотогальванічному режимі до діода не прикладається жодна напруга, фотоелемент сам стає джерелом ЕРС з великим внутрішнім опором. Недоліком цього режиму протилежний до попереднього - при збільшенні освітленості шум залишається постійним, тоді як корисний сигнал зменшується [7].

У фотогальванічному режимі струм короткого замикання у фотодіоді буде прямо пропорційний освітленості. Значить слід враховувати спектральну чутливість фотодіода [6].

Оскільки робота пристрою вимагає перетворення безперервних значень освітленості в електричний сигнал, мікроконтролер повинен володіти вбудованим модулем АЦП. Зважаючи на таку основну вимогу до пристрою, що розробляється, як малі габарити, в основу пристрою треба закладати мікроконтролер малих габаритів. Для поставленого завдання відмінно личать маловивідні мікроконтролери, які окрім маленького розміру мають низьку робочу напругу, що сприяє автономності.

Для представлення результатів вимірів операторові пристрій має бути оснащений цифровим дисплеєм. На дисплеї повинна відображатися інформація про рівень інсоляції в джоулях. Крім того, пристрій має бути оснащений елементами управління, що дозволяють операторові ініціювати

процес виміру, зберігати результат останнього виміру, а також переглядати результати минулих вимірів.

Як відомо, потужність світлового потоку в поверхні Землі на екваторі досягає $1,1 \text{ кВт/м}^2$ (на широті Запоріжжя близько $0,9 \text{ кВт/м}^2$). Приблизно 40 % цієї енергії може бути перетворено в електричну сонячними батареями, створеними англійською компанією Sandia National Laboratories на основі нитрид-арсениду галію-індію. У ряді випадків доцільне використання і звичайних сонячних батарей з ККД 20% [8].

ККД сонячних батарей залежить від багатьох чинників, але вирішальною є орієнтація її елементів відносно джерела випромінювання. Для підтримки оптимальної освітленості сонячних батарей розроблені різні системи слідкування — від простих аналогових до аналого-цифрових [9]. Регулювання подібних пристроїв ускладнене тим, що поріг їх спрацьовування міняється в залежності не лише від диференціальної, але і від загальної інтенсивності освітлення. Крім того, для установки таких систем у вихідний стан потрібне втручання обслуговуючого персоналу.

2.2 Розробка функціональної схеми апаратної частини і розрахунок параметрів

Для реалізації поставлених завдань необхідно вибрати елементну базу, яка не лише відповідатиме технічним вимогам, але і матиме перспективи розвитку і модернізації. Також елементна база повинна вибиратися з врахуванням вимог до технічних і функціональних параметрів пристрою, що розробляється [10].

Головним компонентом для пристрою, що розробляється, є мікроконтролер, який для виконання поставлених завдань повинен мати вбудований аналого-цифровий перетворювач, мати малі габарити і володіти

низьким енергоспоживанням, володіти сумісністю з модулем пам'яті або володіти вбудованим.

Як такий мікроконтролер, вибраний мікроконтролер фірми MicroChip PIC16F877-20 (рис. 2.1). Мікроконтролер випускається в різних корпусах, в т.ч. в корпусі DIP40 з відстанню між виводами 2,54 мм. Корпус зручний для установки в макетну плату.

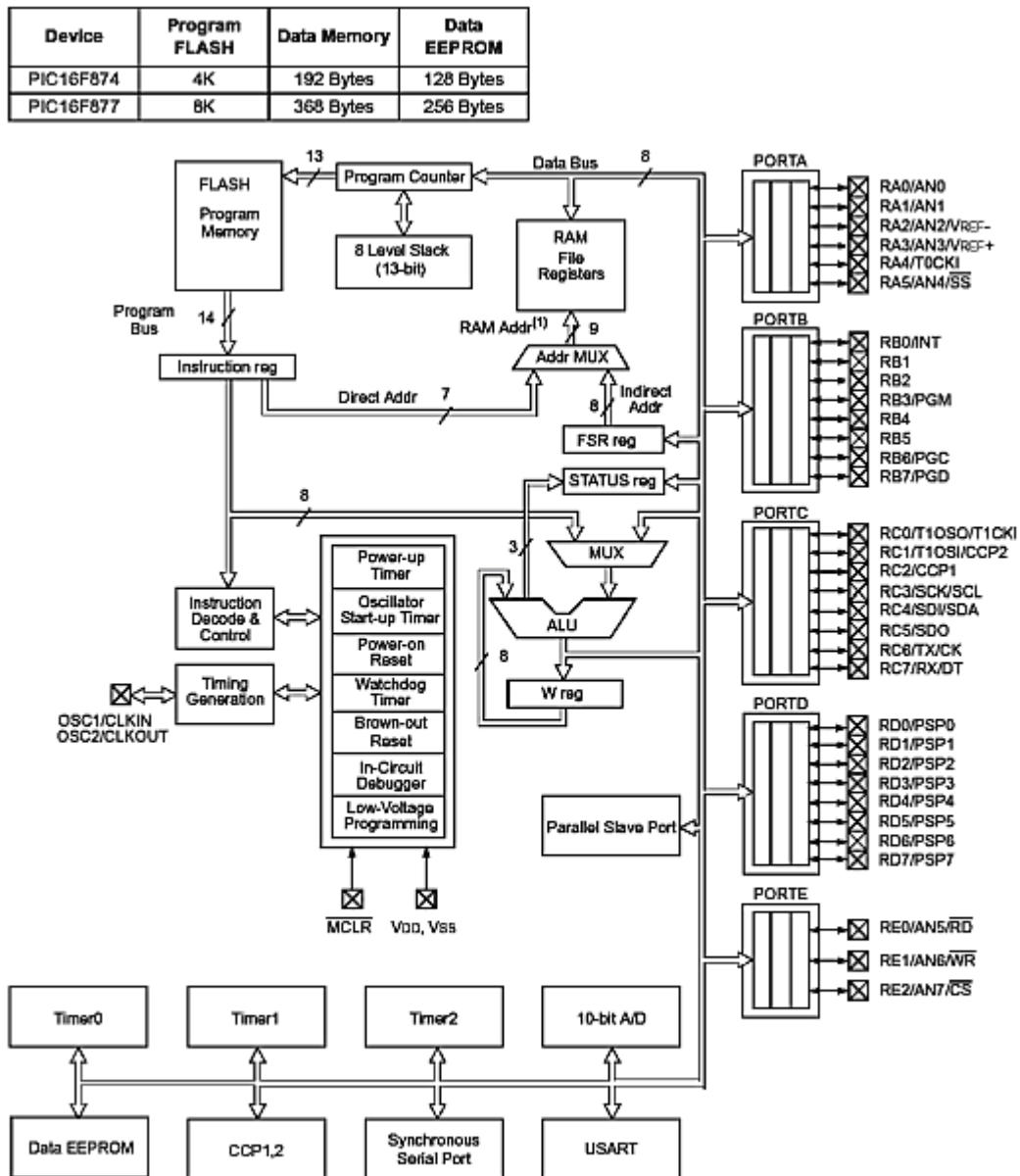
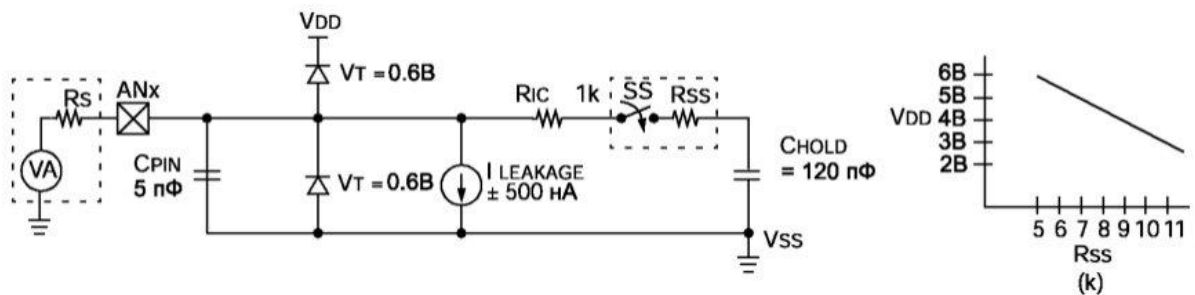


Рисунок 2.1 - Загальна схема мікроконтролера PIC16F877

Для виконання вимірів в схемі буде потрібно модуль АЦП. Мікроконтролер PIC16F877 володіє вбудованим 8-канальним 10-розрядним модулем АЦП. Розрядність модуля дозволить виробляти добовий вимір інсоляції в $\text{Вт}/\text{м}^2$, а швидкість його роботи дозволить виробляти виміри навіть при частоті модуляції сигналу понад 300 Гц.

Схема аналогового входу АЦП мікроконтролера PIC16F877 показана на рисунку 2.2.



C_{PIN} - вхідна ємкість;

V_T - порогова напруга;

$I_{LEAKAGE}$ - струм витоку виводу;

R_{IC} - опір з'єднання;

SS - перемикач клямки;

C_{HOLD} - конденсатор клямки.

Рисунок 2.2 - Схема аналогового входу АЦП PIC16F877

Для забезпечення необхідної точності перетворення, конденсатор C_{HOLD} повинен встигати повністю заряджати до рівня вхідної напруги. Опори R_S і R_{SS} безпосередньо впливають на час зарядки конденсатора C_{HOLD} . Величина опору ключа вибірки (R_{SS}) залежить від напруги живлення V_{DD} . Максимальне значення внутрішнього опору джерела аналогового сигналу 10кОм, що рекомендується. При менших значеннях опору джерела сигналу - менше сумарний час перетворення.

Після того, як буде вибраний один з декількох аналогових вхідних каналів, але перш ніж вироблятиметься перетворення, повинно пройти певний час. Для знаходження даного часу скористаємось рівнянням (2.1). Це

рівняння дає результат з помилкою в $1/2 \text{ LSb}$ (2048 кроків АЦП). Помилка в $1/2 \text{ LSb}$, це максимальна погрішність, що дозволяє функціонувати модулю АЦП з необхідною точністю.

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF}, \quad (2.1)$$

де T_{ACQ} - час затримки підсилювача; T_C - час заряду конденсатора C_{HOLD} ; T_{COFF} - температурний коефіцієнт.

$$T_C = - C_{HOLD} (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \text{Ln}(1/2047) = - 120\text{пФ} (1\text{кОм} + 7\text{кОм} + 10\text{кОм}) \text{Ln}(0,0004885) = 16,47\text{мкс}$$

$$T_{ACQ} = 2\text{мкс} + 16,47\text{мкс} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0,05\text{мкс}/^\circ\text{C})] = 19,72\text{мкс}$$

Після того, як перетворення завершено, необхідно програмно забезпечити затримку не менше $2.0T_{AD}$, перш ніж почнете наступне перетворення. Протягом цього часу конденсатор C_{HOLD} не підключений до вибраного вхідного каналу АЦП. Типове значення часу T_{AD} RC генератора АЦП дорівнює 4мкс, може варіюватися від 2мкс до 6мкс.

Для зберігання результатів вимірів буде потрібно блок незалежної перезаписуваної пам'яті. Мікроконтролер PIC16F877 володіє блоком пам'яті EEPROM в 256 байт. Для зберігання одного результату буде потрібно 2 байти.

Таким чином, вбудованого блоку EEPROM вистачить на 128 вимірів і у використанні додаткового блоку немає необхідності [11].

Одним з основних елементів схеми є фоточутливий елемент. Зважаючи на специфіку експлуатаційних умов, а так само виходячи з функціональних вимог до пристрою, що розробляється, вибраний первинний перетворювач освітленості. Для поставленого завдання найбільш личить фотодіод ФД-24К. Велика площа робочої поверхні робить фотодіод дуже чутливим порівняно із стандартними фотодіодами. У технічній характеристиці струмова чутливість приведена без врахування ефективної площі фотодіода, а просто дана залежність фотоструму від світлового потоку, що потрапляє на фотодіод.

Власна постійна часу даного фотодіода складає 10^{-5} с, що дає можливість виробляти цикли вимірів інсоляції з необхідною частотою, заявленою у вимогах до пристрою, що розробляється. Функціональна вимірювальна схема з використанням фотодіода і операційних підсилювачів показана на рисунку 2.3 [12].

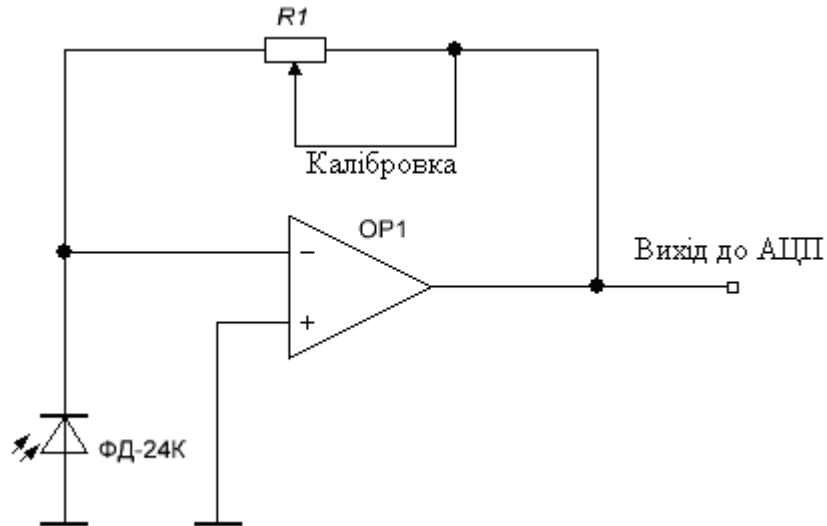


Рисунок 2.3 - Вимірювальна схема на основі операційного підсилювача

Різниця напруги на входах диференціального підсилювача завжди близька до нуля, отже, фотодіод працює в режимі короткого замикання. При цьому вхідний струм підсилювача також має дуже малу величину, що визначається високим вхідним опором, а струм через резистор зворотного зв'язку дорівнює по величині струму фотодіода, але протилежний по напрямку [12].

Вихідна напруга в такому разі визначатиметься як

$$U = R1 \cdot I,$$

де $R1$ - опір резистора в ланцюзі зворотного зв'язку, а I - фотострум, що формується фотодіодом.

При однополярному живленні від +5 В потрібно враховувати, що операційні підсилювачі, використовувані в схемі, повинні працювати коректно. Для даної схеми були вибрані операційні підсилювачі фірми MicroChip MCP6001. Темновий струм фотодіод дорівнює нулю, але при нульовому вхідному сигналі при однополярному живленні вибраний

операційний підсилювач не може сформувати вихідну напругу нижче 25 мВ. Тому в схему було введено зсув вхідного сигналу операційного підсилювача, реалізований шляхом подачі на неінвертуючий вхід позитивного потенціалу [13]. Отже, темновий струм в схемі перевищує значення 25 мВ і таким чином ліквідується «сліпа» зона вимірів. Отриманий зсув зрівнюється відніманням величини цього зсуву з результатів перетворень, вироблених в АЦП, програмно в мікроконтролері.

Для відображення інформації про виміри був вибраний знакогенеруючий дисплей 4×20 LM044L на основі контролера HD44780. Контролер має 2 вивода живлення (GND +5В) один вивід — регулювальник контрастності, 3 керуючих вивода і 8-вивідну шину даних. Вбудований знакогенератор також підтримує кирилицю.

Для живлення компонентів схеми вирішено використовувати одну гальванічну батарею 9В. Так як всі елементи схеми живляться від напруги в +5В (в т.ч. на вході АЦП U_{REF+} повинно бути рівно 5В, інакше виміри не будуть коректні), в схемі необхідно також використовувати перетворювач напруги і джерело опорної напруги в +5В Як джерело опорної напруги вибраний елемент TL431. Даний елемент є стабілітроном з регульованим двома зовнішніми резисторами вихідним значенням напруги від +2,4 до 36В.

2.3 Розробка принципової схеми пристрою

На основі функціональної схеми (рис. 2.4) розроблена принципова схема пристрою.

Відповідно до функціональних вимог до пристрою, що розробляється, розроблена програма для мікроконтролера, що дозволяє користувачеві виробляти цикли вимірів інсоляції, вивід на екран результатів вимірів, збереження результатів в незалежну пам'ять, переглядати результати вимірів,

виробляти очищення пам'яті. Спрощений алгоритм роботи пристрою показаний на рисунку 2.5.

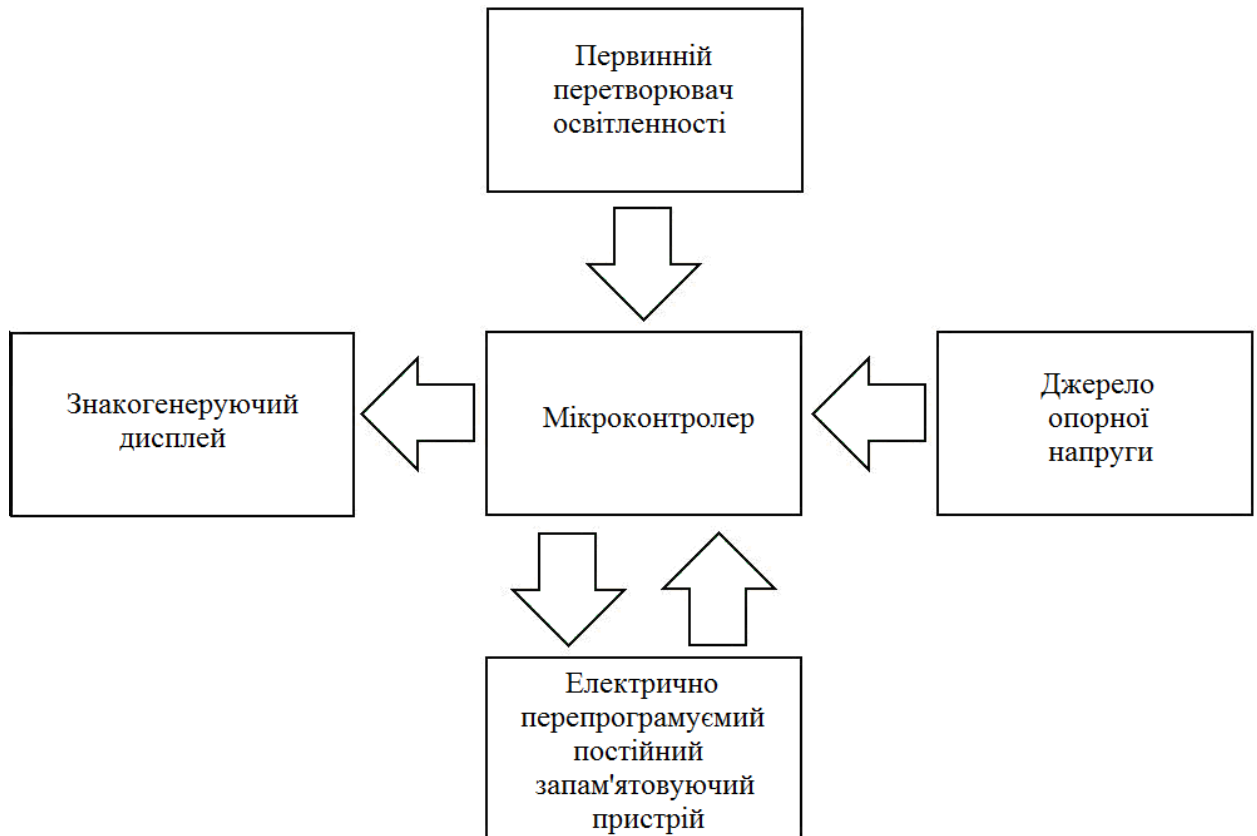


Рисунок 2.4 - Схема взаємодії основних вузлів

Повна блок-схема програми, розробленої для мікроконтролера, приведена в Додатку А.

Розробка і відладка програми, а також моделювання роботи пристрою вироблялося в середовищі розробки Proteus v7.7.

Крім того, що Proteus володіє великою бібліотекою елементів з регульованими параметрами, що дозволяє змоделювати роботу практично будь-якої схеми, вона також дозволяє моделювати роботу досить великої кількості мікроконтролерів. За допомогою вбудованих компіляторів можна генерувати виконувані HEX-файли і завантажувати їх у віртуальну пам'ять програм контролерів. Програма також володіє дуже зручним інтерфейсом для покрокової відладки вихідного коду прямо під час моделювання.

Розроблена схема представлена на рисунку 2.6. Оскільки програмно неможливо змоделювати роботу фотодіода, замість нього в схемі для

моделювання в Proteus використовується генератор напруги, оскільки у фотогальванічному режимі фотодіод фактично є генератором ЕРС [14].

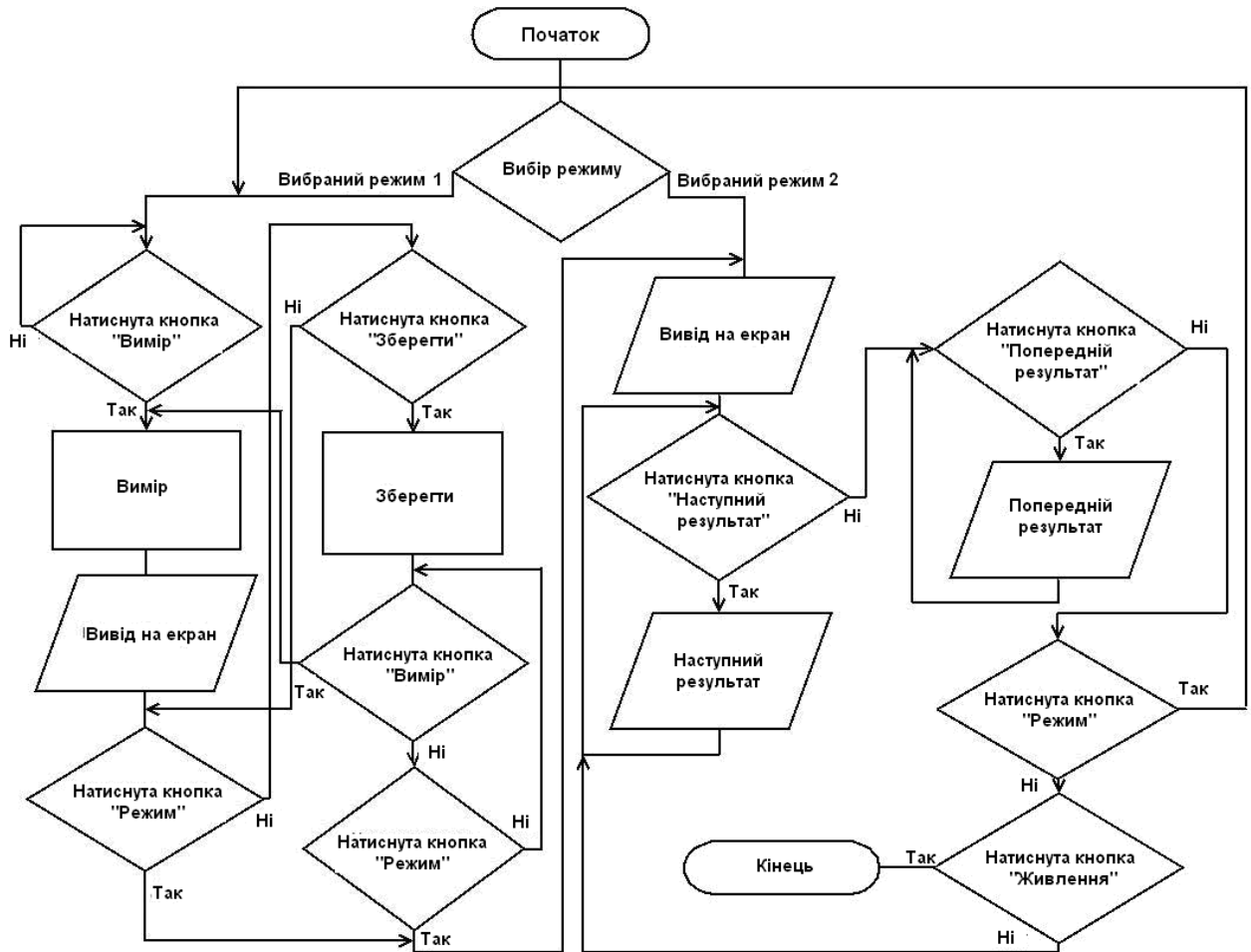


Рисунок 2.5 - Спрощений алгоритм програми роботи пристрою моніторингу інтенсивності сонячного вилучення

При освітленості в 1000 лк фотодіод ФД-24К генерує на вході операційного підсилювача Е.Р.С. величиною 430 мВ. На скріншоті (рис. 2.7) наведений приклад, коли інсоляція синусоїдально міняється від 0 до 50 Вт/м² з частотою в 300 Гц.

Свідчення дисплея після натиснення кнопок «Вимір» і «Збереження» представлено на рисунку 2.8. Екран перегляду минулих вимірів представлений на рисунку 2.9.

Пристрій вимірює щоденну інсоляцію. Мікроконтролер управляє картою пам'яті через SPI інтерфейс. Інтервал між записами встановлений в

п'ять хвилин. Мікроконтролер автоматично визначає наявність карти пам'яті, відкриває файл і починає запис.

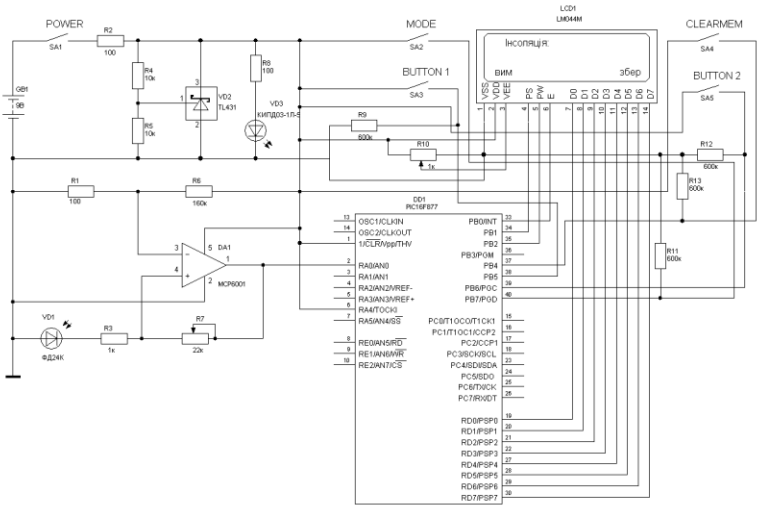


Рисунок 2.6 – Схема мікропроцесорного приладу для моніторингу інтенсивності сонячного вилучення

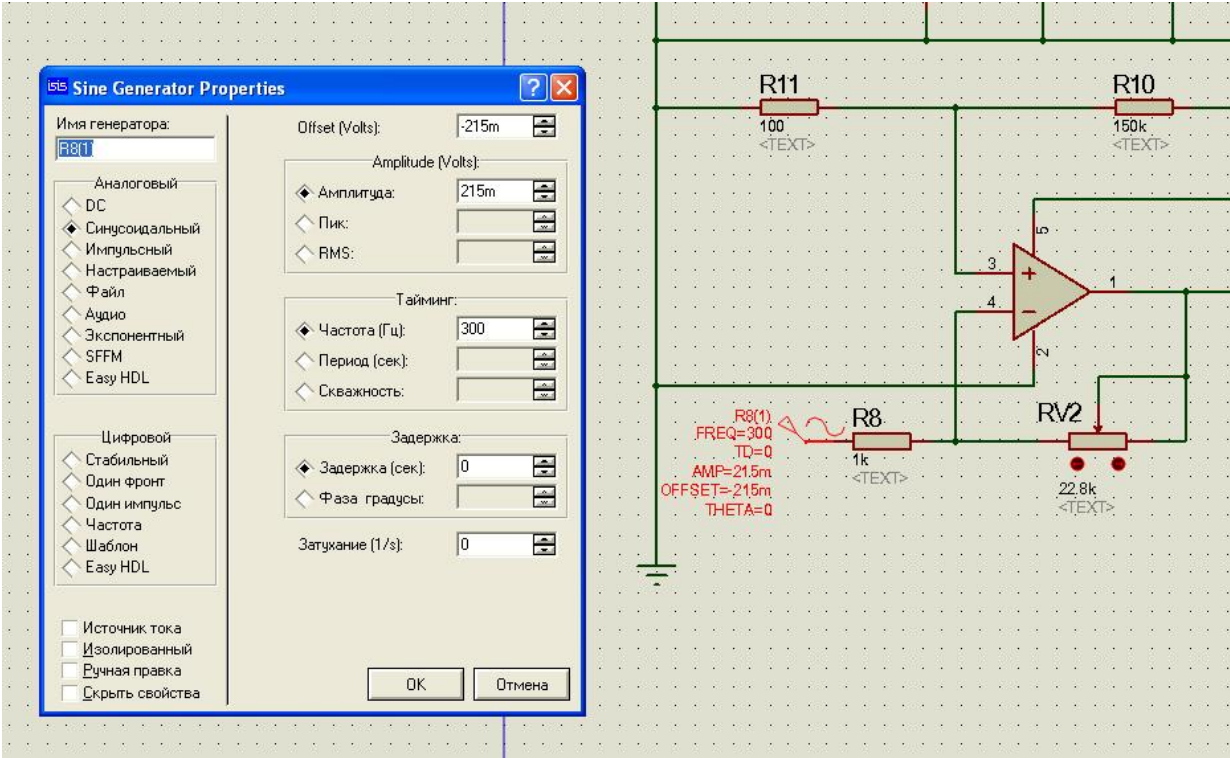


Рисунок 2.7 – Моделювання зміни освітленості фотодіода

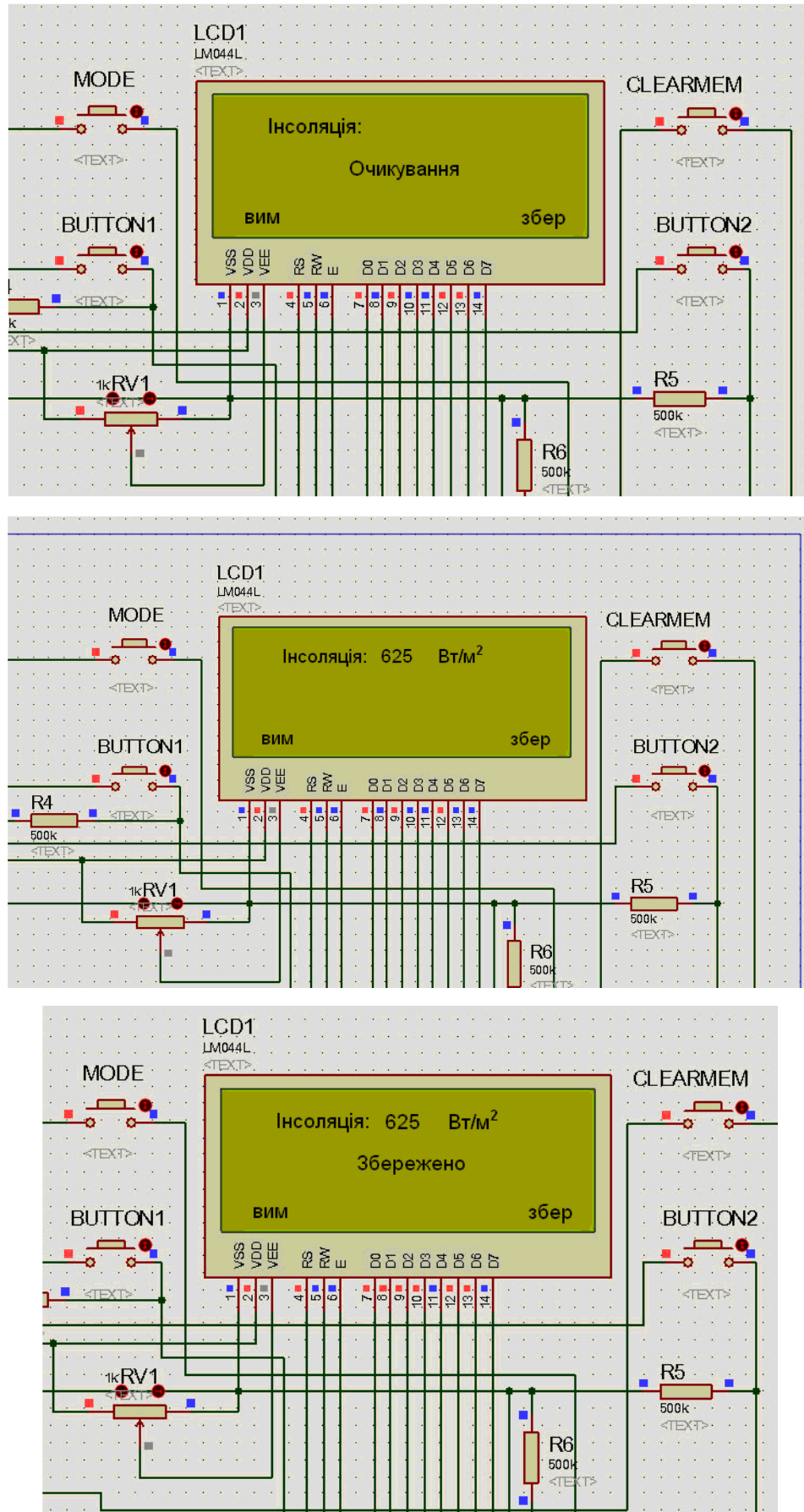


Рисунок 2.8 – Показання дисплея при натисненні кнопок «Вимір» та «Збереження»

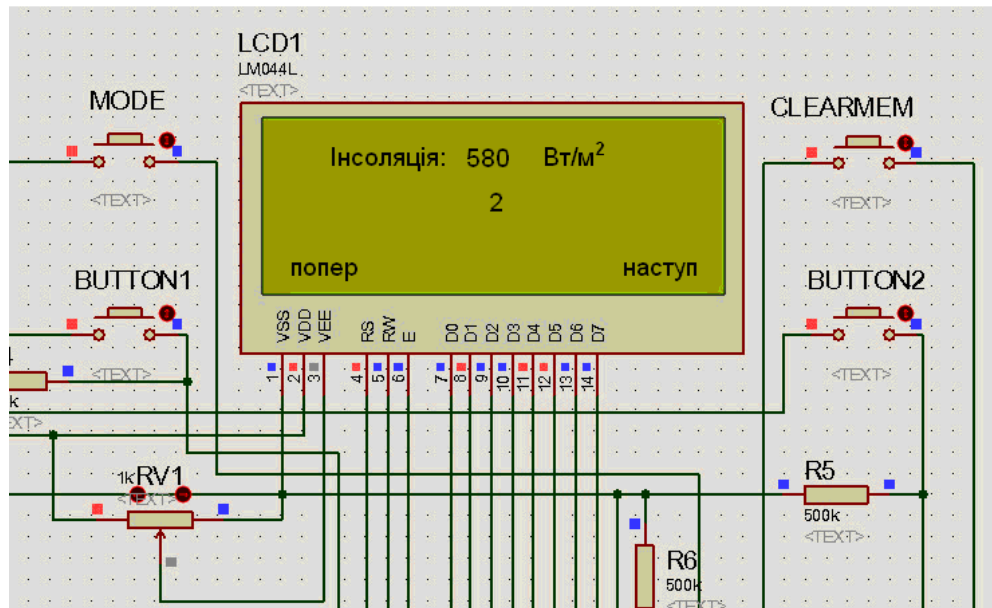


Рисунок 2.9 – Режим перегляду минулих вимірів

На РК-дисплеї в режимі реального часу відображається ім'я файлу, поточний номер запису і вимірні значення даних АЦП. Використання флеш-карти пам'яті дозволило реєструвати великий об'єм даних і швидко їх переглядати на персональному комп'ютері.

Для оцінки сонячної енергії в досліджуваній місцевості реєструємо інсоляцію (Вт/м^2). На рисунку 2.10 представлений графік значень інсоляції на часовій шкалі (інтервал 5 мін). Щоденна кількість сонячної енергії може бути легко обчислена інтеграцією графіка. Для точного виміру сонячного випромінювання використовують дорогі пірометри. Проте, для спрощення і здешевлення вимірів, цілком можна обійтися невеликим вічком від калькулятора. Особливістю даного пристрою є використання PIC мікроконтролера і карти пам'яті Multimedia Card для виміру і зберігання даних.

2.4 Розробка конструкції печатного вузла

Відповідно до технічного завдання до даного дипломного проекту розроблена конструкція печатного вузла пристрою, що розробляється (рис. 2.11).

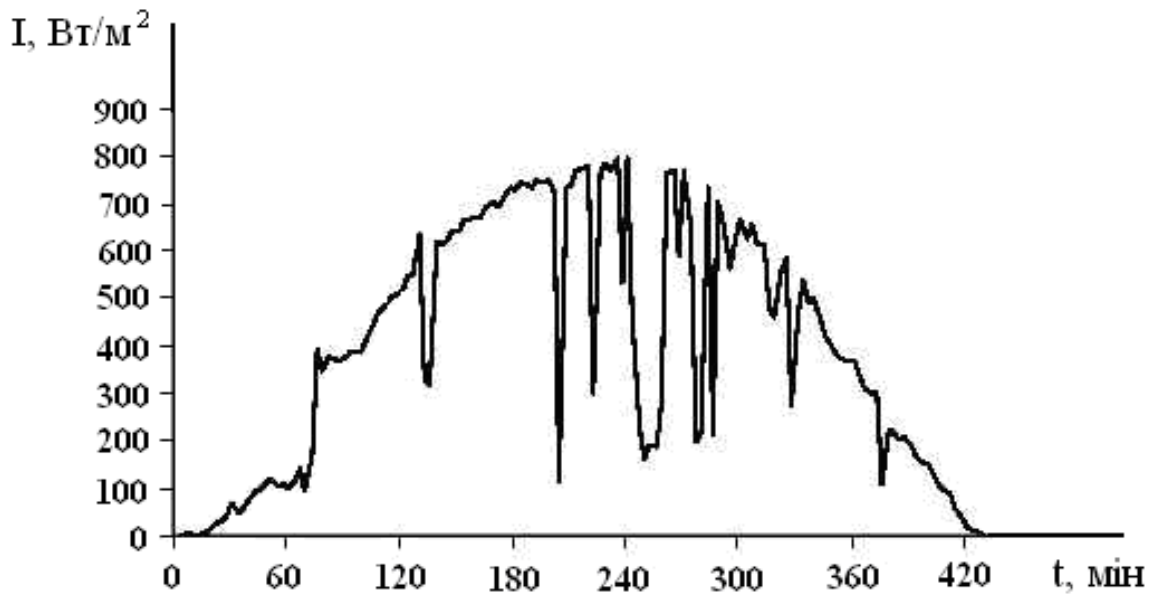


Рисунок 2.10 – Графік інтенсивності сонячного вилучення за день.
Повна інсоляція дорівнює $4777 \text{ Вт} \times \text{час} / \text{м}^2$

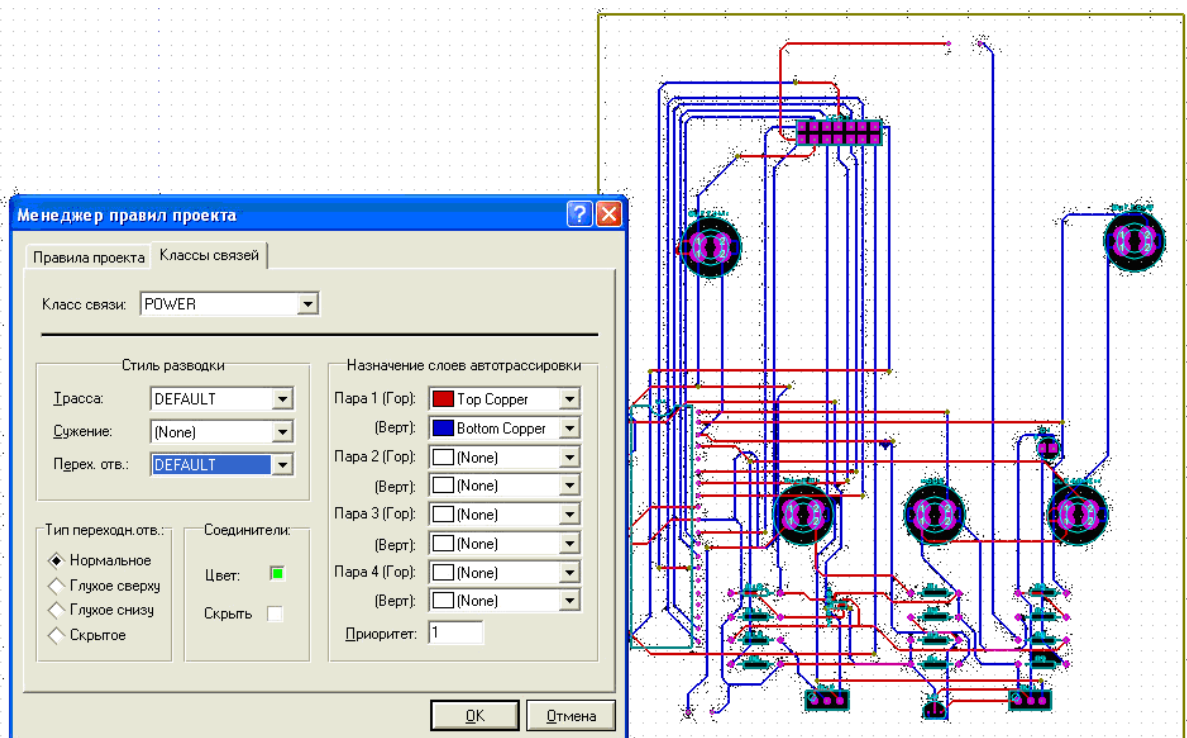


Рисунок 2.11 – Моделювання конструкції печатного вузла пристрою для моніторингу інсоляції

Розробка конструкції печатного вузла, а також трасування печатної плати вироблялося засобами пакету ARES, що є компонентом Proteus.

Засоби даного середовища дозволяють виробляти експорт корпусів елементів і зв'язків між ними безпосередньо з компонента ISIS, призначеного для відладки і моделювання роботи схеми в компонент ARES натисненням однієї кнопки.

Середовище розробки дозволяє виробляти розставляння і трасування маршрутів як уручну, так і автоматично або поєднувати ручне розставляння і трасування.

Перед автоматичним трасуванням можна створити правила трасування, які будуть автоматично дотримані [13]. Якщо правила дотримати не вдається, необхідно виробити розставляння елементів заново і повторити операцію трасування.

Правилами трасування визначені мінімально допустимими зазори між елементами плати. При автоматичному трасуванні використовувалися наступні правила:

- Контактний майданчик – контактний майданчик: 0,254 мм
- Контактний майданчик – траса: 0,508 мм
- Траса – траса: 0,508 мм
- Графіка: 0,508 мм
- Край – проріз: 0,508 мм

Крім того, перед трасуванням можна вибрати види і типів трас і перехідних отворів.

Для даної розводки вибрані наступні параметри:

- Перехідні отвори – нормальні, 1,27 мм
- Ширина трас – 0,3 мм

2.5 Розрахунок схилення сонця, годинного кута сонця і тривалості сонячного випромінювання протягом доби в певній точці

Розрахунок схилення сонця - S , годинного кута сонця - w і тривалість сонячного випромінювання протягом доби T_d в точці A с координатами $(\varphi^{\circ}_{п.ш}, \psi^{\circ}_{с.д})$ у дану добу року

Розглядається точка A с координатами $(\varphi^{\circ}_{п.ш}, \psi^{\circ}_{с.д})$. Відомий номер доби з початку року - n . Задані кордони часового поясу в якому знаходиться точка A по довготі $(\psi^{\circ_{\min}}, \psi^{\circ}, \psi^{\circ_{\max}})$, при $\varphi^{\circ}_{п.ш} = \text{const}$, де ψ° - довгота, по якій зональний (поясний) і декретний час збігаються.

Розрахунок виконується по наступних формулах [15]. Схилення Сонця S в дану добу n визначається по формулі Купера:

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin(360 \cdot (284+n)/365), \quad (2.2)$$

де $\delta_0 = +23^{\circ}27' = 23,45^{\circ}$ для північної півкулі, а n - номер доби з початку року.

Годинний кут сонця w в точці A $(\varphi^{\circ}_{п.ш}, \psi^{\circ}_{с.д})$ у даний момент місцевого часу доби t визначається по формулі:

$$\omega^{\circ} = 150/\text{ч} \cdot (t - t_{\text{cc}}) + (\psi^{\circ} - \psi^{\circ}_{\text{зонаі}}) \quad (2.3)$$

де $t, \text{ч}$ - фактичний місцевий декретний час; $t_{\text{cc}}, \text{ч}$ - декретний полудень даного часового поясу («літній» і «зимовий» час), співпадаючий з середньою довготою даної зони; ψ° - фактична довгота точки A .

Тривалість сонячного дня в дану добу в точці A - T_c розраховується по формулі:

$$T_c = 2/15 \cdot (\arccos(-\text{tg}\varphi^{\circ} \cdot \text{tg}\delta^{\circ})) \quad (2.4)$$

Розрахунок зміни потужності потоку сонячної інсоляції (СР) в перебігу доби в точці A $R_h(t)$ (Вт/м²) і потоку СР за дану добу $D_h(t)$ на горизонтальний майданчик.

Припущення і умови: прозоре (ясне) піднебіння; відома дата (номер дня протягом року - n); відома широта і довгота точки A - φ і ψ , град; відоме максимальне значення R_h^{max} (Вт/м²) протягом доби, відповідне знаходженню

сонця в дану добу в найбільш високій точці (місцевий полудень); зміна СР в добі відбувається по синусоїді.

Розрахункові співвідношення [15]:

$$R_h(t) = R_h^{\max} - \sin(\pi \cdot t' / T_c) = R_h^{\max} - \sin\lambda \quad (2.5)$$

де λ - в радіанах; $0 \leq \lambda \leq 3,14$; t' , ч - час після сходу сонця $0 \leq t' \leq T_c$; визначається з врахуванням прийнятої моделі зміни СР в добі (рис. 2.12).

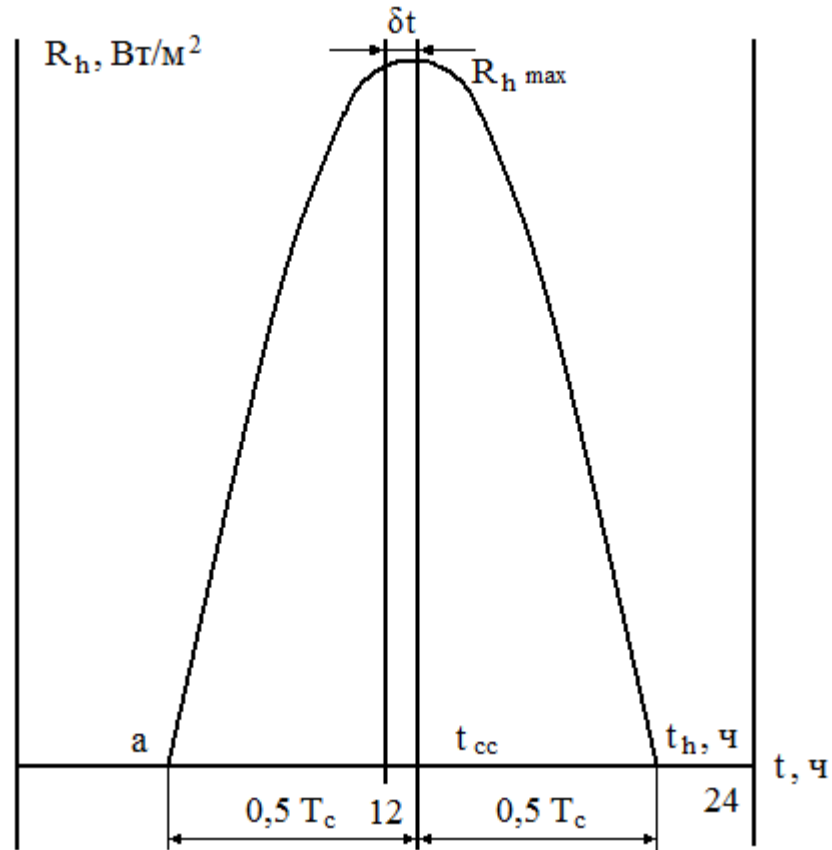


Рисунок 2.12 – Модель зміни сонячної інсоляції протягом доби

На рисунку: δt , ч - зміщення в часі точки з R_h^{\max} з обліком декретного і "літнього" - "зимового" часу по відношенню до сонячного полудню; t_{cc} , ч - місцевий час точки з R_h^{\max} в дану добу; точка а - координата початку відліку t , ч, ($t_a = t_{cc} - 0,5 \cdot T_c$); T_c , ч - тривалість сонячного дня в дану добу, визначається по (2.4).

Наявність залежності $R_h(t)$ в перебігу доби дозволяє визначити і значення потоку СР за дану добу двома шляхами: чисельною інтеграцією $R_h(t)$ по t або аналітично по формулі [15]

$$D_h = \int R_h(t) dt \approx \int R_h^{\max} \cdot \sin(\pi \cdot t' / T_c) dt \approx (2 \cdot T_c / \pi) \cdot R_h^{\max} \cdot 10^{-3}. \quad (2.6)$$

Для розрахунку D_h в Мдж/м² необхідно (2.5) перетворити до виду:

$$D_h = \int R_h(t) dt \approx 3,57 \cdot 10^{-3} \int R_h^{\max} \cdot \sin(\pi \cdot t' / T_c) dt \approx 2 \cdot T_c / \pi \cdot R_h^{\max} \cdot 3,57 \cdot 10^{-3}. \quad (2.7)$$

Розрахунок зміни максимальній добовій прямій сонячній інсоляції – R_r^{\max} (Вт/м²) протягом року і потоку СР за $D_{\text{рік}}^r$ (кВт·ч/м²·рік) на горизонтальний майданчик.

Припущення і умови: прозоре (ясне) піднебіння; вважається, що $R_h^{\max}(t)$ протягом долі міняється по синусоїдальному закону, досягаючи максимуму в день літнього сонячного стояння 21.06 і мінімуму в день зимового сонячного стояння 21.12; розрахунок D_{hi} (кВт·ч/м²·добу) виробляється по аналітичних залежностях (2.6) і (2.7); приймається, що $E_{hi}(t)$ між суміжними місяцями змінюється по лінійному закону між значеннями E_{hi} і E_{hi+1} (де i та $i+1$ - номери двох суміжних місяців року), відповідних середині кожного місяця (рис. 2.13); вважається заданою величина максимуму щільності СР (R^{\max}) за рік, відповідна 21.06 кожного місяця; перший день року має номер n , рівний 1; вважається, що для періоду року з 1.04 по 31.10 діє декретний і “літній” час, коли максимум добової СР відповідає 14 ч; а для останнього періоду - 13 ч. (для умов України). У таблиці 2.1 приведені номери всіх 12 розрахункових днів року. Розрахунок річного значення сонячної інсоляції в даній точці виробляється по розрахунковій моделі [15], представленій на рисунку 2.14.

Основні розрахункові співвідношення:

$$D_{\text{рік}}^r \text{ (кВт·час/м}^2\text{·рік)} = \int R^r(t) \cdot 10^{-3} dt, \quad (2.8)$$

де $R^r(t)$, (Вт/м²), визначається по наступній формулі, що враховує задане значення R^{\max} , (Вт/м²) для 21.06 для $\vartheta = 0$ і поточне протягом року значення кута падіння сонця $\vartheta(t)$:

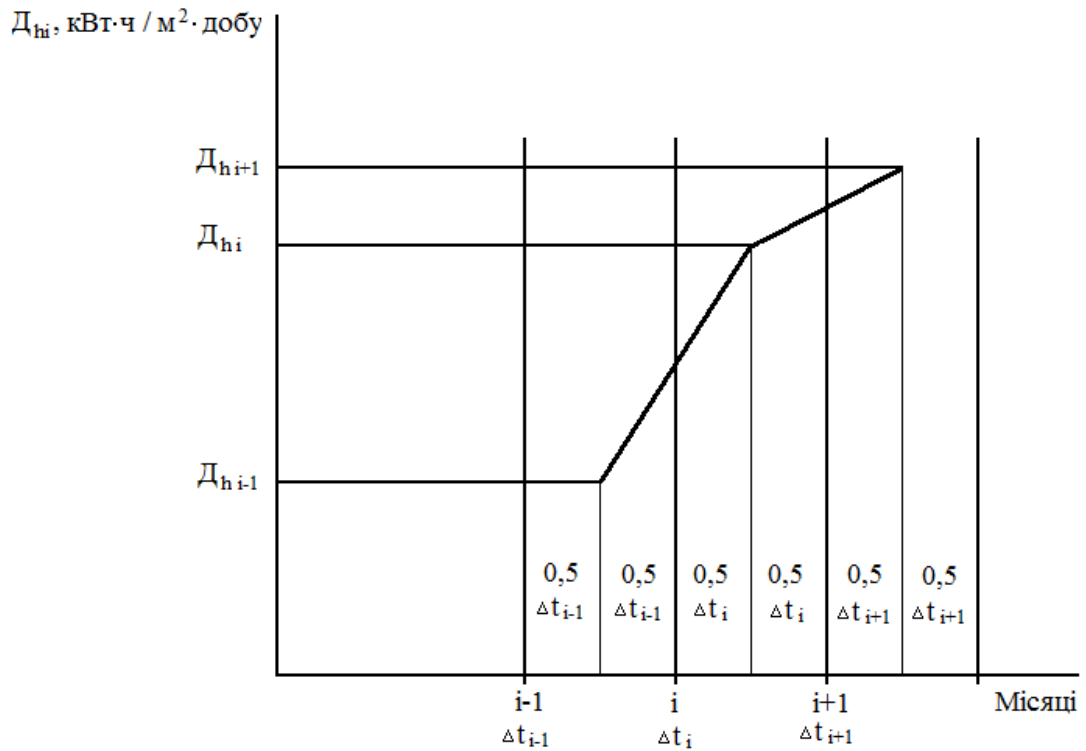


Рисунок 2.13 - Модель зміни потоку сонячної інсоляції за дану добу $D_h(t)$ протягом трьох суміжних місяців року

Таблиця 2.1 - Номери днів року, відповідні середині кожного місяця

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
днів в місяці	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
середній день місяця	15.1	14.2	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	15.1	15.11	15.12
номер середнього дня, n	15	45	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
δt_i , дні	15	30	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30

$$R^{\Gamma}(t) = R^{\max} \cdot \cos\vartheta(t), \quad (2.9)$$

де $\cos\vartheta(t)$, град. визначається по формулі, що враховує горизонтальне розташування майданчика, тобто

$$\cos\vartheta(t) = \sin\varphi \cdot \sin\delta(t) + \cos\varphi \cdot \cos\omega \cdot \cos\delta(t), \quad (2.10)$$

де φ , град. - північна широта точки А; δ , град. - змінна, що визначається по (2.2) в залежності від номера року $n(t)$ (табл. 2.1).

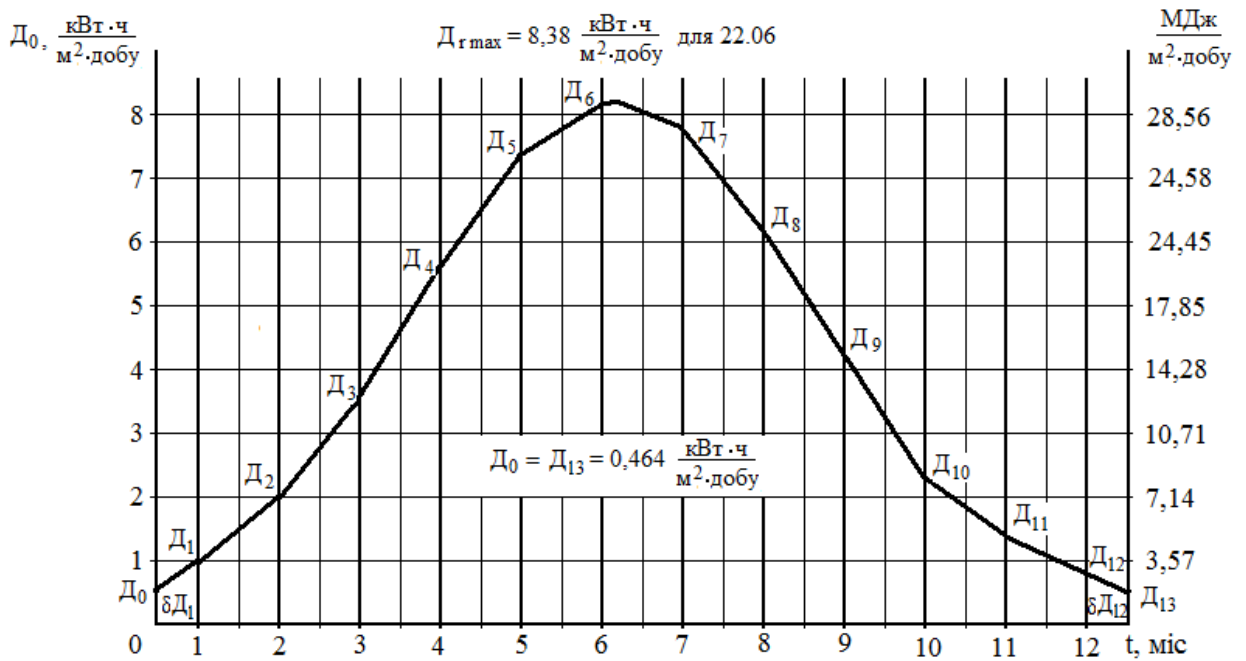


Рисунок 2.14 - Розрахункова модель для визначення тривалості сонячного випромінювання в точці А

Пристрій, що розробляється, повинен задовольняти вимогам автономності, а первинний перетворювач освітленості має у свою чергу бути не лише по можливості менш енергоємним, але і володіти високою швидкодією. Зважаючи на специфіку експлуатаційних умов, найбільш відповідним перетворювачем є фотодіод на основі р-і-п технології, підключений у фотогальванічному режимі.

Розроблено компактний автономний пристрій для моніторингу інсоляції сонячного випромінювання з внутрішньою пам'яттю на 128 вимірів. Для представлення результатів пристрій оснащений 4-рядковим знакогенеруючим дисплеєм, на який виводяться результати вимірів. Пристрій також оснащений елементами управління, що дозволяють за допомогою розробленого програмного забезпечення виконувати виміри, зберігати отримані результати в пам'ять, а також виводити на екран результати минулих вимірів.

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки пристрою для дослідження сонячної інсоляції

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми пристрою для дослідження сонячної інсоляції

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

Для вибору технології виготовлення схеми пристрою для дослідження сонячної інсоляції проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [16].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

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

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

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

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [16].

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

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

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

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

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

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

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

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

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схеми пристрою для дослідження сонячної інсоляції з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

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

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

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми пристрою для дослідження сонячної інсоляції

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблицях 3.11, 3.12. Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 247,32 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості матеріалів на виробництво схеми пристрою для дослідження сонячної інсоляції

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Мікросхема PIC16F877	шт.	1	90	90
Мікросхема MCP6001	шт.	1	10,80	10,80
Індикатор LM044M	шт.	1	76,50	76,50
Стабілрон TL431	шт.	1	25	25
Резистор МЛТ 0,125	шт.	12	0,16	1,92
Фотодіод ФД24К	шт.	1	8,20	8,20
Світлодіод КИПД03А-1Л-5	шт.	1	10,00	10,00
Всього				222,42

Таблиця 3.12 – Розрахунок вартості напівфабрикатів

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Фольгований текстоліт 40 × 60	шт.	1	8,00	8,00
Травильник	уп.	1	4,90	4,90
Графарет	шт.	2	6	12,00
Всього				24,90

4 Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце магістранта, має такі характеристики: довжина приміщення 6.5 м; ширина приміщення 3.7 м; висота приміщення 3.5 м; число вікон 2; число робочих місць 3; освітлення природне (через бічні вікна) і загальне штучне. Загальна площа дорівнює 24.1 кв.м. Тобто на кожне робоче місце припадає по 8 кв.м., що відповідає нормам (не менше 6 кв.м.).

На рисунку 4.1 наведено план розташування робочих місць магістрантів. На робочому місці магістрант піддається впливу наступних несприятливих факторів [17]:

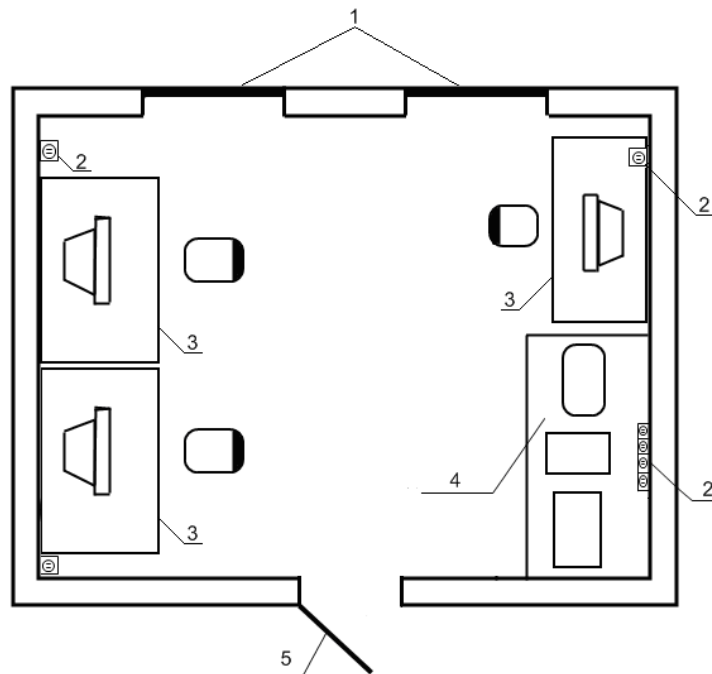
- недостатнє освітлення;
- шум від працюючих машин (комп'ютерів, робочих стендів) На даному робочому місці шум непостійний. Джерелом шуму є робочі стенди. Шум діє на робітника протягом 5 годин;
- електромагнітне випромінювання. На робочому місці допустимі рівні електромагнітних випромінювань за електричної та магнітної складових в діапазоні 5-2000 Гц;
- виділення надлишків теплоти. Тепловий поріг починається з $J = 10 \text{ мВт/см}^2$;
- підвищена запиленість.

Розвитку стомлюваності на робочому місці сприяють такі чинники [18]:

- неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення, тому велике значення надається характеристикам робочого крісла. Велике значення також

надається правильній робочій позі користувача. Істотне значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків, контраст і співвідношення яскравості символів і фону екрану. Під час користування комп'ютером медики радять встановлювати монітор на відстані 50...60 см від очей.

- характер протікання праці. Трудовий процес організований таким чином, що магістрант змушений з перших хвилин робочого дня вирішувати найбільш складні і трудомісткі задачі, у той час як у перші хвилини роботи функціональна рухливість нервових клітин мозку низька. Тому дотримання правильного режиму праці і відпочинку при роботі грає дуже важливу роль.



- 1 – вікна;
- 2 – розетка;
- 3 – робоче місце;
- 4 – місце для стендів;
- 5 – двері

Рисунок 4.1 – План розташування робочих місць магістрантів

Важливе значення має чергування праці та відпочинку, зміна одних форм роботи іншими.

Джерела небезпечних та шкідливих чинників на магістранта [19]:

- рівень шуму в приміщенні протягом робочого дня непостійний (табл. 4.1). При цьому протягом однієї години діє шум з рівнем звуку 83 дБА, протягом наступних двох годинників $\frac{3}{4}$ з рівнем звуку 86 дБА, останню годину $\frac{3}{4}$ 81 дБА при тому що норматив повинен бути не більше 70 дБА. Основними джерелами шуму є: комп'ютери, робочі стенди. Отже, робоче місце по показнику рівня шуму відноситься до класу умов праці 3.2 – шкідливий.

- основним джерелом електромагнітного випромінювання приміщення є персональні комп'ютери з системними блоками.

Таблиця 4.1 Оцінка чинників виробничого і трудового процесу робочого місця магістранта

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Пил, переважно фіброгенної дії. мг/м ³	4	3.9				50
2	Шум, дБА	70	83		13		75
3	Мікроклімат в приміщенні:						
	- температура повітря С°	22-24	18-24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,15-0,2				100
	- відносна вологість повітря %	40-60	45-60				100

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До засобів захисту відносяться: вентиляція, штучне освітлення, звукоізоляція. Існують нормативи, що визначають комфортні умови і гранично допустимі норми запиленості, температури повітря, шуму, освітленості. У системі заходів, що забезпечують сприятливі умови праці, велике місце відводиться естетичним чинникам: оформлення виробничого інтер'єру, обладнання, застосування музики та інші, які мають певний вплив на організм людини. Важливу роль відіграє забарвлення приміщень, яка повинна бути світлою.

З метою запобігання або зменшення впливу на працюючих шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовують засоби колективного та індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту призначені для [17]:

1) нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

2) нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри). При недоліку природного освітлення необхідно буде користуватися штучним. Як джерела світла при штучному освітленні рекомендується застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ; захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огородження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне керування тощо);

3) захисту від шуму, вібрації (огородження, звукоізоляція, віброізоляція). Для зменшення рівня шуму, який перевищує норму в лабораторному приміщенні можна застосовувати оздоблювальні матеріали з шумопоглинаючим ефектом;

- 4) захисту від ураження електричним струмом (різні види огороження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне керування).
- 5) забезпечення недоступності струмоведучих частин досягається ізолюванням струмовідних кабелів і проводів;
- 6) захисту від дії механічних факторів (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);
- 7) захисту від хімічних факторів (огороження, герметизація, вентиляція та очищення повітря, дистанційне керування, знаки безпеки);
- 8) захисту від високих і низьких температур навколишнього середовища (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанційне керування).

4.3 Виробнича санітарія

Оскільки у приміщенні присутнє лабораторне устаткування, комп'ютери, шафи та робоча документація, то спостерігається деяка запиленість. За нормою запиленість в приміщенні не повинна перевищувати 4 мг/м^3 , а в даному приміщенні вона складає $3,9 \text{ мг/м}^3$.

Для запобігання дещо підвищеної запиленості рекомендується встановлювати витяжні пристрої, а також проводити вологе прибирання лабораторного приміщення, а перед початком і після кожної академічної години навчальних занять, до і після кожного заняття провітрювати приміщення, що забезпечить поліпшення якісного складу повітря.

Раціональне колірне оформлення приміщення направлено на поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення її продуктивності та безпеки. Забарвлення приміщень впливає на нервову систему людини, його настрій і в кінцевому рахунку на продуктивність праці. Основні виробничі приміщення доцільно офарблювати відповідно до кольору технічних засобів. Освітлення приміщення і устаткування має бути м'яким,

без блиску.

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях лабораторного приміщення внутрішніми джерелами, а також шуму проникаючого зовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити застосуванням пружних прокладок між підставою приладу і опорною поверхнею. Як прокладки використовуються гума, повсть, пробка, різної конструкції амортизатори. Під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми, повсті, завтовшки 6 - 8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин [17].

Таким чином, для зниження шуму, створюваного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що проникає з зовні необхідно: послабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);

- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);
- застосовувати раціональне розташування обладнання;
- використовувати архітектурно-планувальні і технологічні рішення ізоляцій джерел шуму.

Температура в приміщеннях є одним з провідних чинників, що визначають метеорологічні умови виробничого середовища. Високі температури надають негативну дію на здоров'я людини. Робота в умовах високої температури супроводжується інтенсивним потовиділенням, що приводить до обезводнення організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів, викликає серйозні і стійкі зміни в діяльності серцево-судинної системи, збільшує частоту дихання [17].

При низькій температурі висока відносна вологість збільшує тепловтрати організму в результаті інтенсивного поглинання водяними парами енергії випромінювання людини. Це веде до переохолодження

організму – гіпотермії. Низька вологість викликає пересихання слизистих оболонок дихальних шляхів.

В приміщенні нормована температура повітря повинна складати в теплий період 22-24°C (в холодний період 21-23°C), відносна вологість 40-60 %, швидкість руху повітря 0,1-0,2 м/с.

Фактичні параметри: температура в теплий період – 18-24 °С, відносна вологість 45-60%, швидкість руху повітря 0,15-0,2 м/с.

У приміщеннях, обладнаних ПЕВМ, повинна проводитися щоденне, вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи на ПЕВМ. Рівні позитивних і негативних аероіонів в повітрі приміщень, де розташовані ПЕВМ, повинні відповідати санітарно-епідеміологічним нормативам, що діють.

Недостатнє освітлення робочого місця утрудняє тривалу роботу, викликає підвищене стомлення і сприяє розвитку короткозорості. Дуже низькі рівні освітленості викликають апатію, сонливість, а в деяких випадках сприяють розвитку відчуття тривоги. Таким чином буде доцільно зробити розрахунок фактичної освітленості приміщення [19].

4.4 Електробезпека

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ і іншого устаткування, що опинилося під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизма має правильна організація обслуговування

діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт. При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" (ПТЕ і ПТБ споживачів) і "Правила установки електроустановок" (ПУЕ) Залежно від категорії приміщення необхідно вжити певних заходів, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустановок. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або напруга живлення їх не повинна перевищувати 42 В. В особливо небезпечних приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинна перевищувати 12 В [17]. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера електронщика, класифікується як приміщення з підвищеною небезпекою.

Щоб захистити людину від ураження електричним струмом, захисне заземлення має задовольняти ряду вимог, викладених у ПУЕ і ГОСТ 12.1.030 - 81 "ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення ». Ці вимоги залежать від напруги електроустановок та потужності джерела живлення. В електроустановках змінного струму напругою до 1000 В у мережі з ізолюваною нейтраллю або ізолюваним виводом джерела однофазного струму опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Важливо відзначити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, тому що забезпечує додаткове заземлення нульового захисного дроту.

4.5 Пожежна та техногенна безпека

Пожежі в лабораторному приміщенні становлять особливу небезпеку, тому що пов'язані з великими матеріальними втратами. Характерна

особливість лабораторних кімнат - невеликі площі приміщень. Як відомо, пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалювання. У даному приміщеннях присутні всі три основні чинника, необхідні для виникнення пожежі.

Горючими компонентами в кімнаті є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання в лабораторному приміщенні можуть бути електронні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

В сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості приміщень лабораторних кімнат встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Однією з найбільш важливих завдань пожежного захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. Враховуючи високу вартість електронного обладнання, а також категорію його пожежної небезпеки, будівлі для лабораторного приміщення і частини будівлі іншого призначення, в яких передбачено розміщення ЕОМ, повинні бути 1 та 2 ступеня вогнестійкості.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. В лабораторних приміщеннях застосовуються головним чином

вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (ВВК3,5), перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу. Вогнегасник ОУ5 (ВВК3,5) переносний з місткістю балона 5 літрів (3,5 кілограма), призначений для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою не більш 10 кВ. В даному приміщенні знаходиться один такий вогнегасник.

З приміщень, на випадок пожежі, має бути передбачена й забезпечена евакуація людей через так звані евакуаційні виходи. Найважливішою вимогою успішної евакуації людей і цінностей є улаштування внутрішніх переходів, пожежних сходів і аварійного освітлення. Виходи вважають евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

1) першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;

2) будь-якого поверху, крім першого, в коридор, що веде на сходову клітку, в тому числі через хол. При цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;

У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники організовано без паніки покидають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідує або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Добролюбова, або управо для виходу на вулицю 40 років Радянської України (рис. 4.2).

4.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення

Для освітленості приміщення з розмірами $A = 6,5$ м, $B = 3,7$ м та вистою $H = 3,5$ м використовуються 2 світильники ОДР з двома люмінесцентними лампами типа ЛБ - 40.

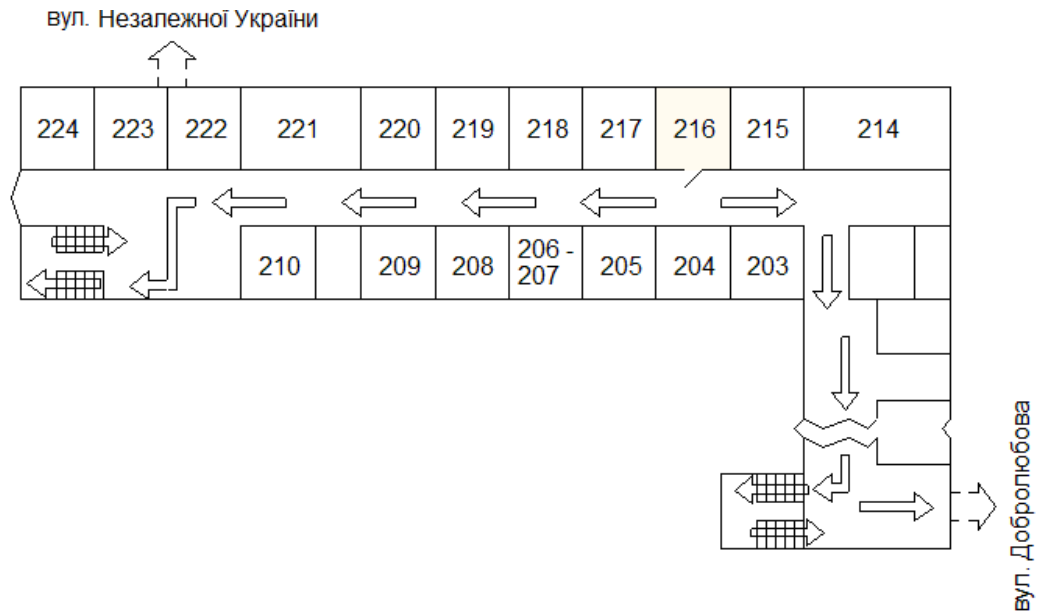


Рисунок 4.2 – План евакуації при пожежі із аудиторії

Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні $p_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$, $P_{\text{підлоги}} = 10\%$. Затінювання робочих місць немає. Висота звісу світильника $h_z = 0$, висота робочої поверхні над рівнем підлоги $h_p = 0.8$ м. Нормативна величина освітленості для відеоплейних терміналів складає $E_n = 400$ лк. При перевірці відповідності освітленості в приміщенні нормативному рівню, коли відома кількість світильників, ламп, їх тип і потужність, фактичну освітленість в приміщенні визначаємо по формулі:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k_{\text{зан}}}, \text{ (лк)} \quad (4.1)$$

де $N = 2$ – число світильників, шт.;

$F = 3120$ лм – світловий потік лампи;

$n = 2$ – число ламп в світильнику;

S - площа освітлюваного приміщення;

$z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення для люмінесцентних ламп (відношення $E_{\text{сеп}} / E_{\text{мін}}$);

$k_{\text{зан}} = 1,5$ – коефіцієнт запас, що враховує зниження освітленості із-за забруднення і старіння лампи ;

η – коефіцієнт використання освітлювальної установки.

Для визначення η необхідно знати тип світильника, індекс приміщення і коефіцієнт віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги. Оскільки тип світильника і коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку відомі, то для знаходження η необхідно визначити значення індексу приміщення i .

$$i = \frac{A \cdot B}{h_n \cdot (A + B)} \quad (4.2)$$

де A і B - відповідно довжина і ширина приміщення в м;

h_n - висота від робочої поверхні до світильника, визначається висотою приміщення (H , м) і висотою умовної робочої поверхні ($h_p = 0.8$ м) по формулі:

$$h_n = H - h_s - h_p = 3.5 - 0 - 0.8 = 2.7 \text{ (м)} \quad (4.3)$$

Підставляємо набуте значення у формулу (4.2) і знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{6.5 \cdot 3.7}{2.7 \cdot (6.5 + 3.7)} = \frac{24.05}{27.54} = 0.87$$

Підставляємо всі знайдені величини в формулу (4.1):

$$E_\phi = \frac{2 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{11107.2}{39.6825} = 279.9, \text{ (лк)}$$

Оскільки отримана величина $E_\phi < E_n$ для досягнення нормативної освітленості необхідно або збільшити кількість світильників, або збільшити потужність ламп. Порахуємо міру збільшення W :

$$W = \frac{E_n}{E_\phi} = \frac{400}{279.9} = 1.42 \text{ разів}$$

Тепер можна обчислити необхідну кількість світильників:

$$N_1 = N \cdot W = 2 \cdot 1.43 = 2.84 \text{ шт.}$$

Збільшимо кількість світильників до 3 штук. Тоді

$$E_{\phi} = \frac{5 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{27768}{39.6825} = 699.7, (\text{лк})$$

Таким чином, при збільшенні кількості світильників на три штуки фактична освітленість E_{ϕ} практично відповідає нормативному значенню освітленості $E_n = 400$ лк.

Такий же ефект може бути отриманий при заміні лампи з великим світловим потоком. Порахуємо необхідний світловий потік лампи:

$$F_1 = F \cdot W = 3120 \cdot 1.42 = 4430.4, (\text{лм})$$

Так, якщо всі лампи типу ЛБ-40 в приміщенні замінити на лампи типу ЛТБ-65 з $F=3980$ лм E_{ϕ} буде рівне:

$$E_{\phi} = \frac{2 \cdot 3980 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{14168.8}{39.6825} = 357, (\text{лк})$$

Таким чином, в цьому випадку фактична освітленість також практично відповідатиме нормативному значенню.

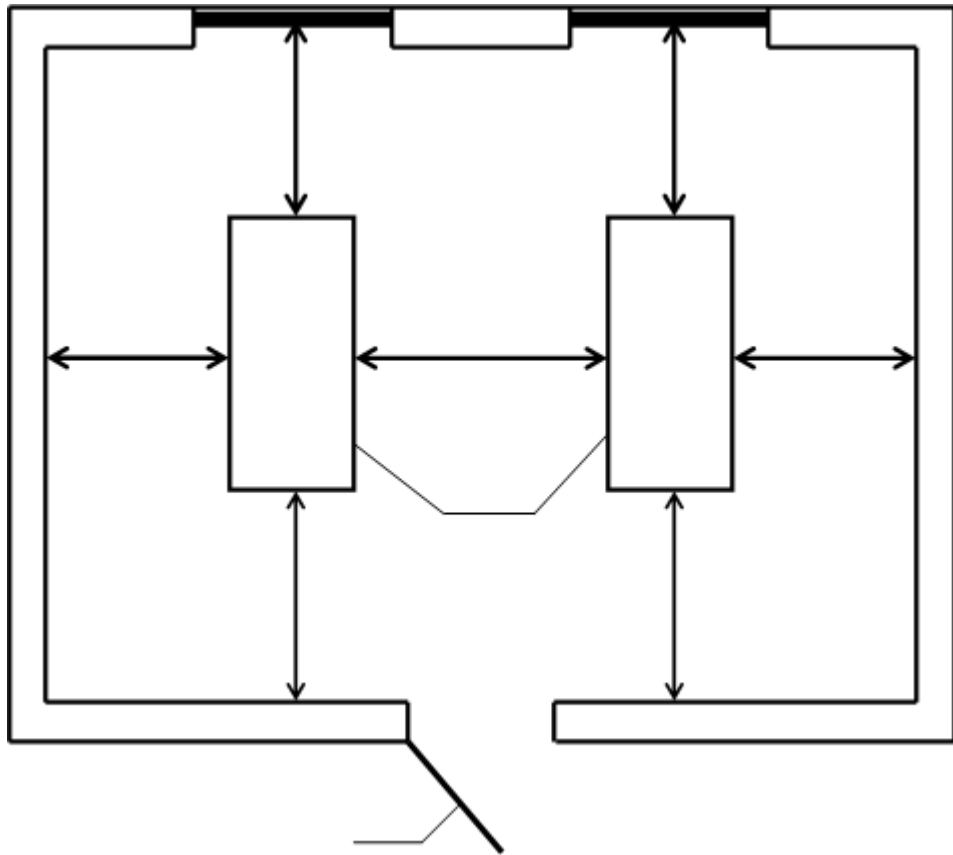
На рисунку 4.3 представлена схема розташування двох світильників, в кожному з яких знаходиться по дві лампи типу ЛТБ-65.

Згідно СНіП 23-05-95 для місцевого освітлення (у складі комбінованого освітлення) слід використовувати світильники з непрозорими відбивачами. Світильники місцевого освітлення слід розташовувати так, щоб їх елементи, що світять, не потрапляли прямо у поле зору працівників як даного так і інших робочих місць [13].

Вираження для освітленості даної точки “а” поверхні спостережуваного об’єкту визначається вираженням:

$$E_a = \frac{J_{c\phi}}{l_{ca}^2} \cos \gamma_{ca}.$$

Тут $J_{c\phi}$ – сила світла, що випромінюється світильником, кд/м²; l_{ca} – довжина шляху світлового променя від елемента, що світить, до точки “а” спостережуваного об’єкту, м; γ_{ca} – кут, що утворюється світловим променем в напрямі від елемента, що світить, до точки “а” і нормаллю до спостережуваної поверхні в точці “а”, рад.



1 – світильник;

2 – двері

Рисунок 4.3 – План розташування світильників в лабораторному приміщенні

Висновки та рекомендації

1. Зважаючи на специфіку експлуатаційних умов, найбільш відповідним перетворювачем в пристрої для моніторингу інсоляції є фотодіод на основі р-і-п технології, підключений у фотогальванічному режимі.

2. Розроблена мікропроцесорна схема дозволяє проводити добовий моніторинг інсоляції, з подальшою обробкою інформації на ПЕОМ. Застосування в схемі індикатора значно поширює експлуатаційну природність приладу при розрахунках місцевих вимірів сонячної радіації.

3. Проведений аналіз функціонування приладу підтверджує повільність застосування елементної бази для досягнення вимог поставлених в технічному завданні.

3. Приведений розрахунок схилення сонця, годинного кута сонця і тривалості сонячного випромінювання протягом доби в певній точці, дозволяє використовувати результати вимірів для обробки на ПЕОМ.

Рекомендується подальше удосконалення приладу, розробка програмного забезпечення обробки результатів моніторингу інсоляції, застосування приладу при створенні будь-яких конструкцій, що використовують сонячну енергію.

Перелік посилань

1. Бакулин П. И. Курс общей астрономии М. : Наука, 1976. 536 с.
2. Бахарев Д.В., Орлова Л.Н. О нормировании и расчете инсоляции. К. : Светотехника, 2006. № 1. С. 18-27.
3. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М. : Физмат-гиз, 1963. 496 с.
4. Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды М. : Энергоатомиздат, 1983. 208 с.
5. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. Физические и технологические основы. М. : Высш. шк., 1986. 464 с.
6. Трищенко М. А., Фример А.И. Фотоэлектрические полупроводниковые приборы с р–n-переходами, в сборнике: Полупроводниковые приборы и их применение, - М. : Высш. шк., 1971. С. 56 – 68.
7. Амброзьяк А., Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов, пер. с польск. М. : Высш. шк., 1970. С. 34 – 89.
8. Семенова Н.Н., Шилова А.Е. Преобразование солнечной энергии. М. : Наука, 1985. 467 с.
9. Байерс Т. 20 конструкций с солнечными элементами. М. : Мир, 1988. 197 с.
10. Николаев И.М., Филинюк Н.А. Микроэлектронные устройства и основы их проектирования. М. : Энергия, 1979. 271 с.
11. Ермолаев Ю.П., Пономарев М.Ф. Конструкции и технология микросхем (ГИС и БГИС). М. : Сов. радио, 1980. 261 с.
12. Ненашев А.П., Коледов Л.А. Основы конструирования микроэлектронной аппаратуры. М. : Радио и связь, 1981. 315 с.

13. Коледов Л.А., Волков В.А., Докучаев Н.И. Конструирование и технология микросхем. Курсовое проектирование. М. : Высш.шк., 1984. 231 с.
14. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М. : Энергия, 1979. 292 с.
15. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов. М. : Издательский дом МЭИ, 2008. 317 с.
16. Белуха М.Т. Основы наукових досліджень. Київ : Вища шк., 1997. 271 с.
17. Малишева І.В. Методичні вказівки до виконання розділу «Охрана праці та техногенна безпека» дипломного проекту (роботи) для студентів ЗДІА спеціальності спеціальності 7.05080102, 8.05080102 «Фізична та біомедична електроніка» денної та заочної форми навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 24 с.
18. Ткачук К.Н. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности. К. : Выща шк., 1988. 240 с.
19. Горобец А.И., Степаненко А.И. Охрана труда в радиоэлектронной промышленности. К. : Техника, 1987. 135 с.

Блок-схема програми мікроконтролера

