

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО
Завідувач кафедри

" " грудень 2023 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему

"Автоматизований модуль моніторингу потужності сонячного
випромінювання"

Виконав: студент II курсу маг., групи АКІТ

Веретко В.І.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник:

ст. викл. Чичура І.І.

(вчене звання, ПІБ, посада)

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 30 рис., 5 додатків, 19 посилань.

Об'єкт проектування – Автоматизований модуль моніторингу потужності сонячного випромінювання на основі кремнієвого фотодіода.

Пристрій призначений для моніторингу сонячної активності при розвідувально-пошукових роботах по оцінці перспектив встановлення сонячної електростанції чи теплового колектора. Проектований пристрій передбачає збір інформації про сонячну активність та накопичення статистичних даних. У основі роботи, лежить використання широкопasmового фотоприймача зі спеціальним світлофільтром. Чутливий елемент пристрою запропоновано виконати у окремому корпусі з відповідною протяжною лінією зв'язку для зручності розміщення в польових умовах.

Ключові слова: датчики освітленості, вимірювання сонячної радіації, фотоелектрична станція, мікроконтролер Atmega, сонячна радіація.

ABSTRACT

Explanatory note: 74 p., 30 figures, 5 appendices, 19 references.

The design object is an automated solar radiation power monitoring module based on a silicon photodiode.

The device is intended for monitoring solar activity during reconnaissance-search work to assess the prospects for installing a solar power plant or heat collector. The designed device provides for the measurement of information about solar activity and the accumulation of statistical data. The basis of the work is the use of a broadband photo receiver with a special light filter. The sensitive element of the device is proposed to be made in a separate housing with a corresponding long line of communication for the convenience of placement in the field.

Key words: light sensors, measurement of solar radiation, photovoltaic plant, microcontroller Atmega, solar radiation.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз технічних вимог до об'єкту проектування	8
2 Огляд і аналіз аналогів об'єкта проектування	9
2.1 Сонячна радіація та її види	9
2.2 Світлові характеристики	23
2.3 Огляд і аналіз приймачів світла	27
2.4 Огляд сучасного стану розробки схем нормуючої електроніки для фотодіодів	30
2.4.1 Схеми включення фотодіода	30
2.4.2 Фотодіодні підсилювачі	32
2.5 Опис мікроконтролера Atmega8L	34
2.6 Аналоги об'єкта проектування	42
3 Проектно-конструкторський розділ	49
3.1 Розробка первинного вимірювального перетворювача проектованого пристрою	49
3.1.1 Вибір фотоприймача люксметра	49
3.1.2 Розрахунок передавальної характеристики	53
3.2 Розробка підсилювача приймача люксметра	56
3.2.1 Розробка структурної схеми люксметра	56
3.2.2 Розробка принципової електричної схеми люксметра	58
3.2.3 Базові розрахунки по принциповій електричній схемі	60
3.3 Розрахунки по проектуванню друкованої плати	63
4 Розробка конструкції корпусу проектованого пристрою	69
4.1 Корпус сенсора пристрою	69
Висновки	72
Перелік посилань	73
Додатки	74

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ				
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизований модуль моніторингу потужності сонячного випромінювання Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Веретко В.І.					У	4	112	
Перевірив	Чичура І.І.								
Н. Контр.	Гютюнников					УжНУ, ІТФ, курс 2м, спец. АКІТ			
Затвердив	Чичура І.І.								

ВСТУП

Регулярне зростання вартості енергоносіїв та постійне збільшення власного споживання енергетичних енергоспоживання спонукає жителів приватних будинків та інколи навіть багатоповерхівок звертати увагу на відновлювані джерела енергії. Серед таких джерел одними з найбільших інтересів користуються сонячні джерела енергії. Не зважаючи на певні труднощі, до яких можна віднести: високу вартість сонячних панелей та акумуляторів, їх старіння та потреба в періодичній заміні, необхідність достатньої кількості підходящих площ для встановлення та ряду інших особливостей, перспектива в одержанні частковій або повній енергонезалежності є одним з дуже актуальних питань.

Для визначення доцільності та економічної вигідності від встановлення сонячної електрогенеруючої системи потрібно провести ряд дій та розрахунків, що включають складні роботи з моделювання ефективності встановлення тієї чи іншої системи, її орієнтування та вибір найбільш оптимальної та доступної локації. У таких роботах зручно використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання роботи сонячних систем. Проте для отримання більш коректних та точних результатів доцільно скористатися пристроєм для збору інформації про інтенсивність сонячного випромінювання. Такий пристрій, що здатен працювати автономно та накопичувати інформацію про сонячну активність за заданий проміжок часу дозволить більш точно проаналізувати та змодельовати ефективність роботи проекрованої сонячної електростанції в заданих умовах.

Дана робота присвячена проектуванню проектуванню автоматизованого модуля для моніторингу сонячного випромінювання, що дозволить ефективно проводити розвідувальні роботи з теоретичною оцінкою ефективності роботи сонячної системи, ще до її встановлення.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		7

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

Вимоги які необхідно врахувати при конструюванні приладу для моніторингу сонячного випромінювання:

Проектований пристрій повинен забезпечувати тривалу роботу в польових умовах для накопичення інформації про середню сонячну активність, тому чутливий елемент пристрою повинен бути добре захищеним або навіть виконаним в окремому корпусі з електричним зв'язком з основним вимірювальним модулем. Фотоприймач повинен володіти достатньою чутливістю у заданому діапазоні довжин хвиль та сприймати світлове випромінювання у широкому діапазоні інтенсивності без використання додаткових світлофільтрів.

Схема проектованого пристрою, виконана на сучасній елементній базі з невисокою вартістю та високою надійністю компонентів з застосуванням сучасного надійного та ефективного мікроконтролера.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ

2.1 Сонячна радіація та її види

Одним з найважливіших параметрів, що потребують постійного контролю та спостереження над роботою сонячних електростанцій (СЕС), є рівень сонячної радіації (радіації). Випромінювання сонця що надходить ззовні атмосфери називають позаземним випромінюванням. Вона практично стала і становить середньому 1367 Вт/м². Однак це значення варіюється в межах

Приблизно 47% сонячної радіації посідає видимий спектр діапазоні довжин хвиль від 380 до 780 нм. Інфрачервона частина спектру має довжину хвилі більше 780 нм і складає 46% сонячного випромінювання. І, нарешті, на ультрафіолетову частину діапазону з довжинами хвиль нижче 380 нм припадає 7% позаземного сонячного випромінювання. Однак, проходячи через атмосферу, частина сонячної радіації поглинається і розсіюється, внаслідок чого поверхня Землі без значного розсіювання досягає близько 1000 Вт/м² сонячного випромінювання. Це випромінювання досягає поверхні Землі, не змінюючи свого напрямку, і називається прямим нормальним випромінюванням (або променевим випромінюванням). Крім прямої радіації, земної поверхні досягає дифузна радіація, яка відбивається та розсіюється атмосферою. Вони також випромінюють випромінювання, відбите поверхні Землі. Повна сонячна радіація, що падає на горизонтальну поверхню, називається глобальною (сумарною) радіацією і є сумою розсіяної радіації, що падає на цю поверхню, проекції прямої нормальної радіації на горизонтальну площину і радіації, що відображена землею поверхнею. Ці три параметри є одними з найважливіших для розрахунку та прогнозування вихідної потужності СЕС, тому їх вимір є обов'язковим для контролю роботи сонячних елементів.

Прилади для вимірювання наземної сонячної радіації

Прилади, призначені для вимірювання будь-якої форми випромінювання, називають радіометрами. У цьому розділі узагальнено типи наявних у продажу

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		9

радіометрів, які найчастіше використовуються для вимірювання сонячного випромінювання в технологіях застосування сонячної енергії. Оцінки ресурсів сонячної енергії ґрунтуються тільки на широкосмугових вимірюваннях (тобто охоплюють увесь короткохвильовий спектр довжин хвиль $[0,29 - 4 \text{ мкм}]$). Для оцінки спектрального розподілу випромінювання необхідні спеціалізовані пристрої (спектрорадіометри), що, у свою чергу, корисно для вивчення спектрального відгуку фотоелектричних (ФЕ) елементів. Однак такі інструменти зазвичай використовуються лише у дослідницьких центрах.

Піргеліометри та піранометри

Піргеліометри та піранометри – це два типи радіометрів, які використовуються для вимірювання сонячної радіації. Їх конструкція відрізняється здатністю приймати сонячне випромінювання із двох різних частин неба. Сучасні піргеліометри застосовують для вимірювання прямої нормальної сонячної радіації (DNI), а піранометри, в свою чергу, застосовуються для вимірювання загальної горизонтальної радіації (GHI) та дифузної горизонтальної радіації (DHI) або глобальної радіації від похилої поверхні (GTI). У таблиці 2.1 сумовані деякі ключові характеристики цих двох радіометрів.

Піргеліометри та піранометри зазвичай використовують термоелектричний або фотоелектричний пасивний приймач для перетворення випромінювання сонця (Вт/м^2) на пропорційний електричний сигнал (мікрівольти $[\text{мкВ}]$ постійного струму).

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		10

Таблиця 2.1 – Короткий аналіз типів сонячних радіометрів та їх застосування

Тип пристрою	Вимірює	Поле зору (повнийкут)	Короткі характеристики
Піргеліометр	DNI	5°– 6°	Монтується на автоматичний сонячний трекер щоб вирівнювати з сонячним диском
Піранометр	GHI	2π стерадіан	Монтується на стійку або горизонтальну поверхню, вільну від перешкод ¹
Піранометр	DNI	2π стерадіан	Монтується на автоматичному сонячному трекері, що оснащено механізмом затінення або вручну налаштованою платформою для накладання тіней для блокування DNI від поверхні детектора ¹
Піранометр	GHI	2π стерадіан	Монтується в ППО плоского сонячного колектора (фіксує або відстежує в одній чи двох осях) ¹

¹ Опціонально встановлюються піранометри на основі термопар з вентилятором та системою підігріву для зменшення забруднення оптичних поверхонь та теплових похибок. Слід стежити, щоб основа піранометра на термобатарей було захищено від прямого сонячного випромінювання.

Термоелектричні датчики мають спеціальне оптично чорне покриття, що забезпечує широкий та однорідний спектральний відгук на всі довжини хвиль сонячного випромінювання приблизно від 300 до 3000 нм. Найбільш поширеним термоелектричним датчиком, який використовується в радіометрах, є термопара. У піргеліометрах та піранометрах використовуються «чорні датчики термопари», а також «чорно-білі піранометри термопари». У «чорних термопарних піранометрах» поверхня, що піддається сонячному випромінюванню, повністю покрита чорним поглинаючим нальотом. Випромінювання, що поглинулося створює різницю температур між чорною стороною термобатарей та її іншою

сторonoю. Така різниця температур викликає появу сигналу напруги. У чорно-білих теплових батареях поверхня, що опромінюється, частково чорна, частково біла. У цьому випадку різниця температур між чорною та білою поверхнями створює сигнал напруги. Через відносно велику теплову масу термопар їх час відгуку 95% зазвичай складає 1–30 секунд. Тобто, вихідний сигнал затримується по відношенню до сонячного потоку. Деякі інструменти включають постачання сигналів у спробі зменшити цю тимчасову затримку. Нещодавно у продаж надійшли нові датчики з термопарою меншого розміру та часом відгуку близько 0,5 секунди.

На відміну від термопари, звичайні фотоелектричні датчики зазвичай реагують лише на видиму та ближню інфрачервону область спектру приблизно від 400 до 1100 нм. Прикладом фотоелектричних датчиків можуть бути кремнієві (Si) піранометри, фотодіодні піранометри та твердотільні піранометри. Ці датчики мають дуже швидкий час відгуку – близько мікросекунд.

Для термопари або кремнієвого датчика в доступних приладах електричний сигнал, що генерується під впливом сонячного випромінювання з рівнем сонячної радіації, що складає близько 1000 Вт/м^2 , становить близько 10 (мВ) постійного струму (за умови відсутності вихідного підсилення і резистора, що підходить для відповідного шунтуючого резистора для фотодіодного датчика). Цей доволі низький рівень сигналу потребує належного електричного заземлення та екранування під час його встановлення. Деякі виробники вже пропонують піранометри із вбудованими підсилювачами та/або цифровими виходами.

Піргеліометри

Усі сучасні піргеліометри повинні мати поле зору 5° , дотримуючись рекомендацій ВМО (2014). Однак поле зору (FOV) старих пристроїв може бути більшим, наприклад, $5,7\text{--}10^\circ$. Піргеліометри встановлені на автоматичних

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		12

трекерах для забезпечення суміщення приладів із сонячним диском та повної експозиції детектора від сходу до заходу сонця. (Рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Вигляд сучасного піргеліометра DR01 фірми Hukseflux та його схематичне зображення: (3) корпус, (4) захисний ковпачок, (5) вікно з підігрівом, (2) приціл, (1) індикатор вологості, (7) кабель

Співвісність піргеліометра з сонячним диском визначається простою діоптрією - візирним пристосуванням, в якому невелика світлова пляма (сонячне зображення) падає на позначку в центрі мішені, розташовану поблизу задньої частини приладу. (Рисунок 2.2).

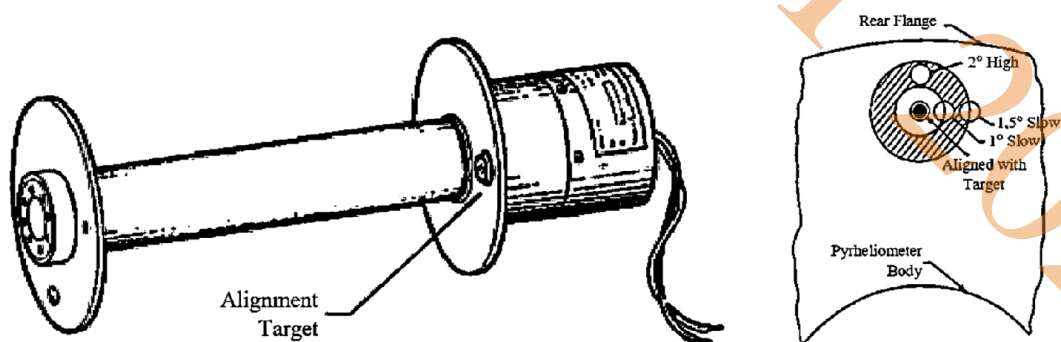


Рисунок 2.2 – Схеми конфігурації оптичного вирівнювання піргеліометра, що враховує помилки вирівнювання для вибраних положень світлової плями.

Найбільш точні вимірювання ДНІ виконуються за допомогою електричного резонаторного радіометра (SPR), що самокалібрується. Цей удосконалений радіометр є основою Всесвітньої радіометричної рекомендації (WRR), міжнародно визнаного стандарту вимірювання ДНІ на основі детекторів. По конструкції СПР немає вікон і тому, зазвичай, обмежуються повним дотриманням правил експлуатації за умов ясного піднебіння захисту цілісності порожнини ресивера (рис. 2.3).

Доступні знімні вікна та усі погодні конструкції для автоматизованої безперервної роботи цих піргеліометрів за допомогою контролю температури; Однак додавання захисного вікна зводить нанівець «абсолютність» характеру вимірювання ДНІ. Вікно призводить до додаткових похибок у вимірюваннях, пов'язаних із властивостями оптичного пропускання вікна (з кварцу або фториду кальцію), а також зі зміною внутрішнього теплообміну через герметичну систему. Більше того, ППР вимагають певних періодів самокалібрування, протягом яких неможливо проводити експлуатаційні виміри. Це створює прогалини у високоточних часових рядах ДНІ, які можна виміряти за допомогою віконних SPR доти, доки звичайний піргеліометр не буде придатним для забезпечення необхідної точності. У поєднанні з вищевикладеною проблемою їхньої високої вартості та дорогої експлуатації ці фактори пояснюють, чому SPR, за рідкісним винятком, не використовуються для вимірювання ДНІ для моніторингу СЕС.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		14

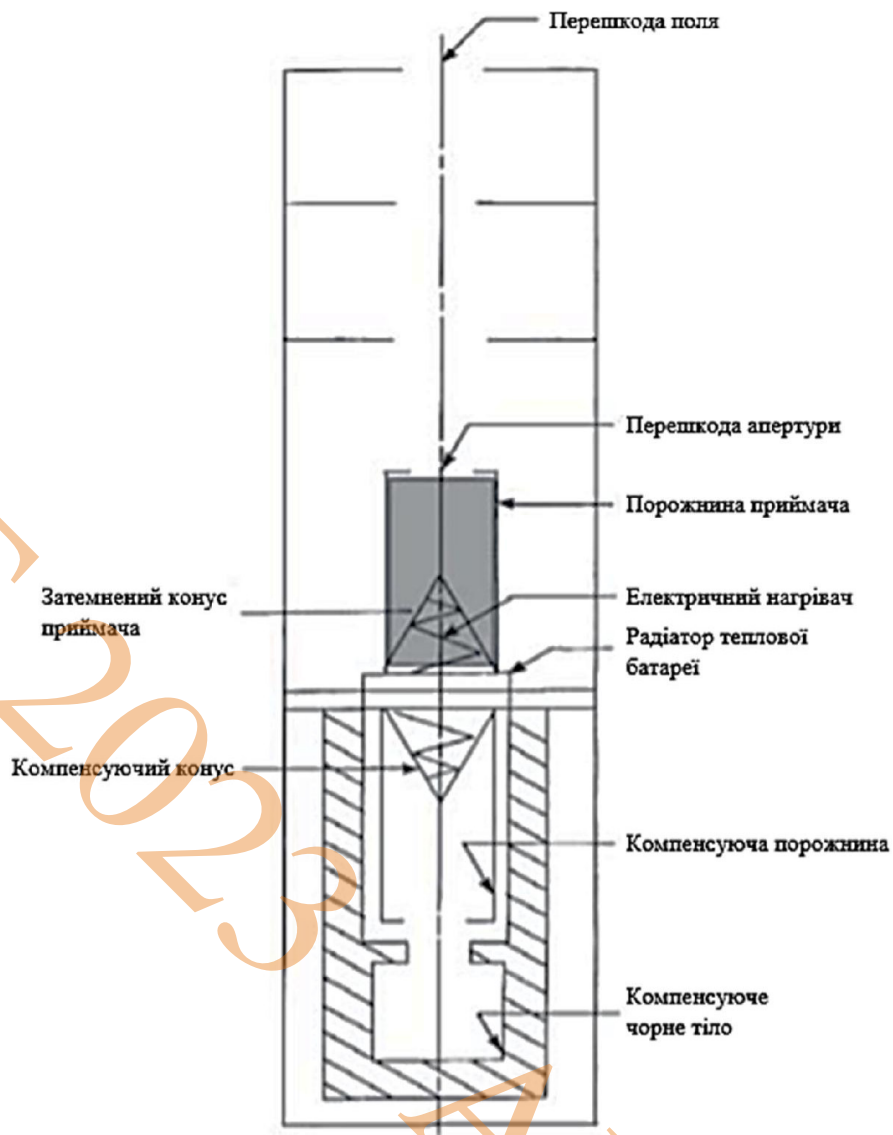


Рисунок 2.3 – Схем моделі автоматичного радіометра Хікі – Фріден (АРХФ).

Піранометри

Піранометр має термоелектричний або фотоелектричний датчик, що виконаний із напівсферичним кутом огляду (2π стерадіан або 360°) (Рисунок 2.4).

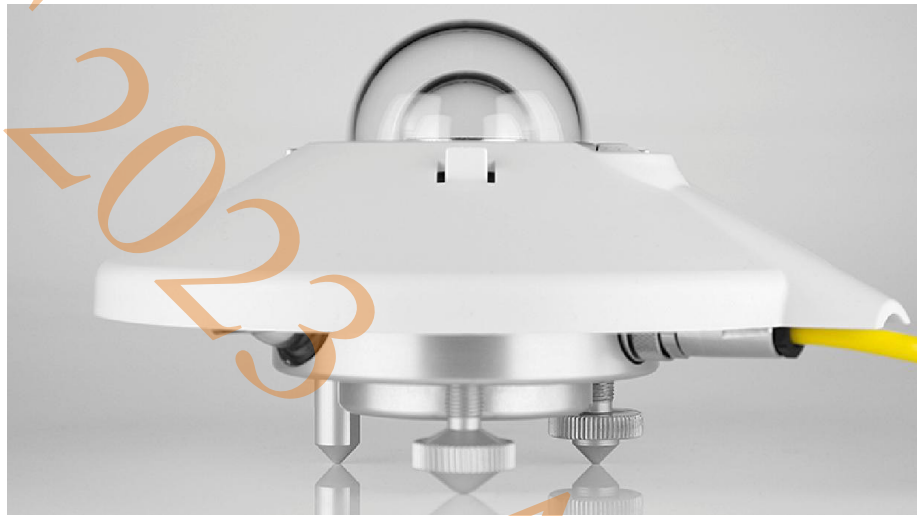
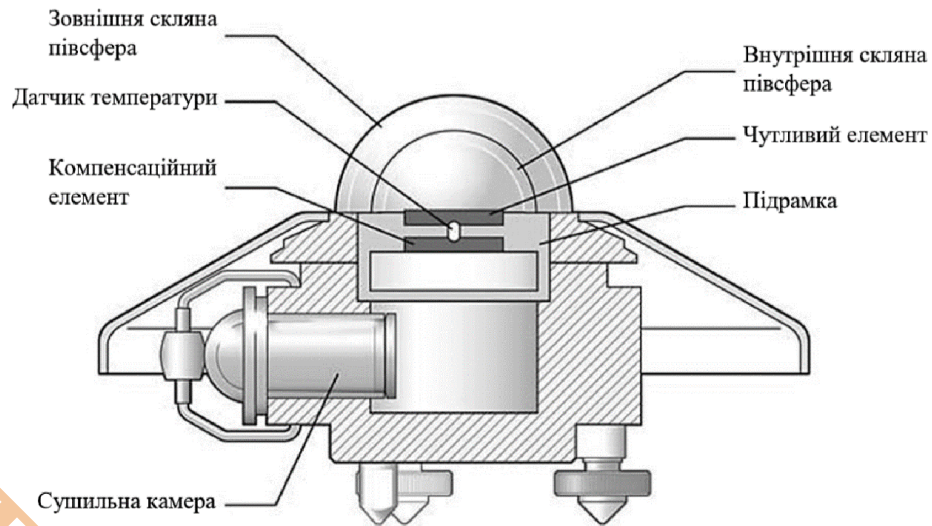


Рисунок 2.4 – Приклад пірометра (рисунок в горі) та схема основних компонентів пірометра (рисунок знизу).

Цей тип радіометра встановлюється горизонтально для вимірювання GHI. За такої горизонтальної установки піранометр має повний огляд піднебіння. В ідеалі місце встановлення пристрою не повинно мати природних чи штучних перешкод на своєму горизонті. Або піранометр може встановлюватися під нахилом для вимірювання GTI, наприклад у разі широтного нахилу або вертикальної сонячної системи. У перевернутому положенні він вимірюватиме

відбите світло. Локальне альбедо легко одержати шляхом поділу останнього на GHI.

Детектор піранометра встановлюється під захисним куполом із прецизійного кварцу або іншого оптичного матеріалу з високим пропусканням або дифузором. Обидві конструкції захищають детектор від погодних умов та забезпечують оптичні властивості, що відповідають прийому напівсферичного сонячного випромінювання. Піранометри можуть бути оснащені вентиляторами, які постійно нагнітають повітря, іноді нагріте під інструмент і над куполом. Вентиляція знижує можливість забруднення оптики піранометра пилом, росою, інеєм, снігом, льодом, комахами або іншими матеріалами. Вентилятори та нагрів також впливають на характеристики теплового зсуву піранометрів з одиночними детекторами чорного. Вентиляційні установки можуть, особливо в режимі обігріву, споживати значну кількість електроенергії (5-20 Вт), що збільшує кількість потужності, необхідної для вироблення електроенергії у віддалених районах. Доступні вентилятори як постійного, так і змінного струму, але сучасні дослідження демонструють, що вентилятори постійного струму перевершують їх.

У фотодіодних детекторах над детектором використовується дифузор, що зумовлює їхню низьку вартість (рис. 2.5). Акрилові розсіювачі можуть бути стійкішими до пилу, ніж оптичні скляні бані, але їх характеристики з часом можуть погіршуватися.

Піранометри можна використовувати для вимірювання дифузного випромінювання. Необхідний при цьому вимірювальний прилад називається дифузометром. Він складається з піранометра і конструкції, що затіняє, блокує потрапляння прямого випромінювання на датчик. Для цього використовуються тіньові кульки та диски, тіньові кільця або тіні. Затіняючі сфери та диски повинні відстежувати Сонце та покривати лише незначну частину неба, що відповідає кутовій області, визначеній для вимірювання DNI (зазвичай близько 5°).

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 2.5 – Різні види фотодіодні піранометри: 1) Kipp&Zonen, модель SP Lite2; 2) Apogee Instruments, Inc., модель SP-110-SS; 3) LI-COR, модель LI-200R; 4) ECO, модель ML-01

Кільця тіні покривають весь сонячний шлях протягом дня. Фактично, вони призначені для покриття шляху Сонця в наступні дні, тому регулювання положення кільця, що затіняє, потрібно тільки через день. Таким чином, кільця, що затіняють, також блокують значну частину дифузного випромінювання неба. Тому необхідні коригувальні функції для визначення DHI по налаштуванню кільця, що затіняють. Це, своєю чергою, пояснює, чому точність визначення DHI нижче, ніж точність вимірювання DHI з використанням затінення диска чи сфери.

Інші види приладів

Піргеометр

					KMP.AKIT.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		18

Піргеометр - прилад, що вимірює спектр ближнього інфрачервоного випромінювання в діапазоні довжин хвиль від приблизно 4,5 мікрон до 100 мікрон. Більшість піргеометрів виключають короткохвильове випромінювання за допомогою фільтрів, близьких до прозорих у довгохвильовій ділянці спектру та непрозорих у діапазоні 300-3000 нм. Деякі піргеометри без фільтрів або з фільтрами, що не виключають випромінювання в області менше 3000 нм, можна використовувати лише в нічний час (рис. 2.6).

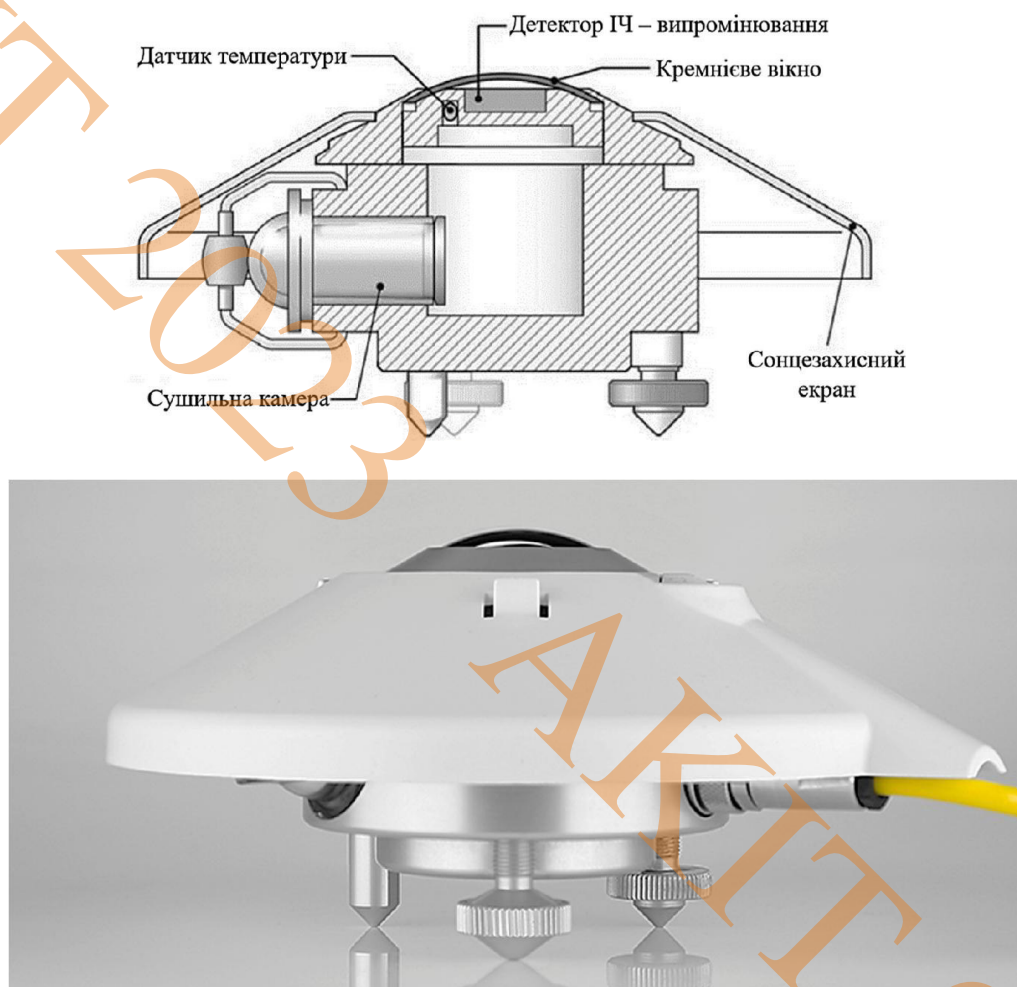


Рисунок 2.6 – Приклад конструкції (рисунок вгорі) та зовнішнього вигляду піргеометра (внизу).

Розроблено два типи піргеометрів: у пристроях першого типу приймальна поверхня теплової батареї закрита напівсферичним ковпаком, усередині якого

розташований інтерференційний фільтр; у другому типі термобатарей закрита плоскою пластиною, де розміщений інтерференційний фільтр.

В обох випадках поверхня, на якій розташований інтерференційний фільтр, виготовлена із кремнію. Перший тип пристрою забезпечує повне напівсферичне поле зору, другий - поле зору 150° , при цьому напівсферичний потік моделюється відповідно до заводських рекомендацій виробника. Аргументом на користь використання останнього методу може бути те, що розміщення фільтрів на внутрішній поверхні напівсфери призводить до більшої помилки, ніж моделювання течії при кутах падіння менше 30° . Обидва типи пристроїв працюють за принципом, згідно з яким значення, яке вимірюється безпосередньо пристроєм, являє собою різницю між енергетичною освітленістю, що створюється джерелом, і температурою випромінювання чорного тіла пристрою.

У недавніх порівняннях брали участь пристрої подібної конструкції у різних поєднаннях розмірів. Такі дослідження показали, що при ретельній перевірці потоки радіації, виміряні в нічний час, дають меншу кількість похибок для обох типів приладів. Однак за наявності значної сонячної радіації різницю між пристроями можуть бути суттєвими. Причина такої великої розбіжності в тому, що кремнієвий ковпачок з інтерференційним фільтром може пропускати сонячне випромінювання і не бути ідеальним відбивачем сонячної енергії, внаслідок чого сонячна компонента може досягти приймача та відбувається сонячне нагрівання. Похибки, що виникають, можна зменшити затіненням приладу, аналогічно тому, як це робиться при вимірюванні розсіяного сонячного випромінювання, вентиляцією приладу згідно з рекомендаціями ISO 1990a), реєстрацією температури цоколя.

Піррадіометр

Однією з проблем приладів для вимірювання повного випромінювання є поглиначів, неселективних в широкому діапазоні довжин хвиль. Також важко

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

знайти допустимі фільтри з постійними характеристиками пропускання випромінювання в діапазоні 300 – 100 000 нм. Тому методом вимірювання сумарної радіації, що рекомендується, є одночасне проведення роздільних вимірювань короткохвильової і довгохвильової радіації за допомогою піранометра і піргеометра відповідно.

Використання термочутливих датчиків потребує точного знання теплового балансу цього датчика. В іншому випадку необхідно звести конвективні втрати теплової датчика практично до нуля, захистивши датчик від прямого вітру. Технічні труднощі, пов'язані з такими тепловими втратами, пов'язані з тим, що залишкові потоки радіації визначаються менш точно, ніж повні потоки радіації. На практиці різні лабораторії розробляють власні піррадіометри на основі методики, яку вважають найефективнішою з точки зору зниження конвективного теплоперенесення в давачі. Отже, піррадіометри – це такі радіометри, які використовуються для вимірювання як короткохвильового, так і довгохвильового випромінювання. За останні кілька десятиліть створено нехай і недосконалі, але засновані на надійних принципах вимірювання піррадіометри.

Розглянемо деякі конструктивні рішення, які використовували низку компаній.

Піррадіометр NovaLynx, модель 240-8111, являє собою напівсферичний радіометр загального призначення, що використовується для точного визначення сумарної радіації в короткохвильовому та довгохвильовому діапазоні випромінювань (від 0,3 до 30 мкм) з двома роздільно працюючими приймачами і вбудованим датчиком термостійкості для визначення (рис. 1.2.7).

Дві чорні поглинаючі випромінювання пластини діють як датчики: одна пластина спрямована вгору, а інша вниз. Кожен датчик передає поглинену енергію окрему 90-контактную мідну термопару постійної температури.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		21

Обидва виходи становлять приблизно $15 \text{ мкВ}/(\text{Вт}/\text{м}^2)$, один відбиває загальне нижнє випромінювання, інший — загальне верхнє випромінювання. Різниця між цими двома показаннями дає чисту радіацію.

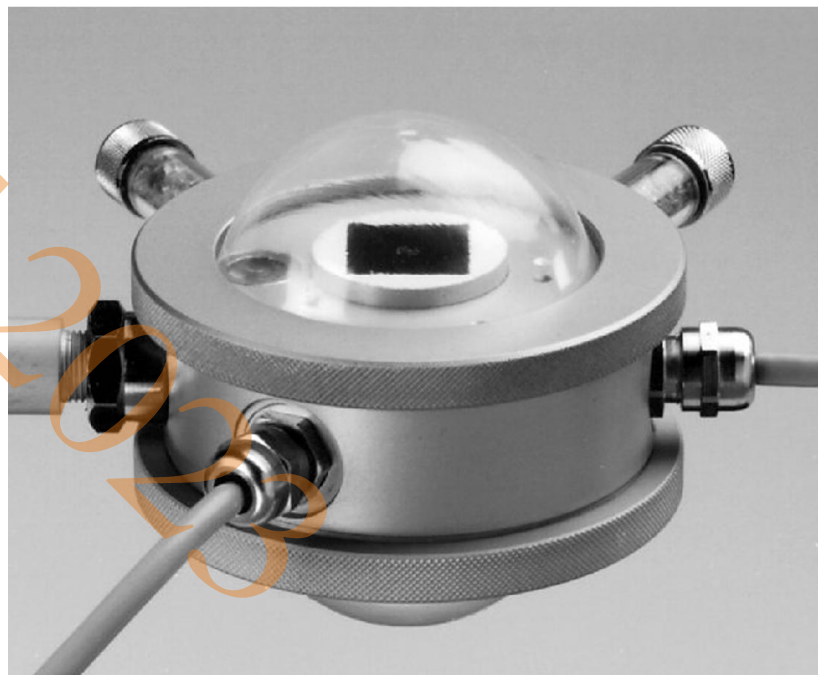


Рисунок 2.7 – Піррадіометр NovaLynx, модель 240-8111. Надано NovaLynx

Піррадіометр Mirdleton Solar NSR1 призначений для вимірювання випромінювання як у видимому, так і інфрачервоному спектрі (від 0,3 до 60 мкм) як єдиної суми енергій і чистого повного потоку випромінювання в горизонтальній площині (рис. 2.8).

NSR1 має окремі верхні та нижні термоелектричні датчики, екрановані поліетиленовими купольними вікнами. Куполи однаково прозорі як для короткохвильового, так і для довгохвильового випромінювання, що

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		22

випромінюється атмосферою або поверхнею Землі. Датчики мають час відгуку, що настраюється, і збалансовану короткохвильову і довгохвильову чутливість.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд піррадіометера Mirdleton Solar NSR1.

2.2 Світлові характеристики

Історично склалося так, що за фотометричні одиниці приймалися характеристики випромінювання, пов'язані з його впливом на око людини. Однак часто для опису властивостей випромінювання і його взаємодій з речовиною користуються енергетичними одиницями. Вимірювання енергетичних характеристик випромінювання входить у задачі радіометрії. Таким чином, користуються двома системами одиниць: фотометричною та енергетичною. Наприклад, ККД випромінювача визначають енергетичними одиницями, а зорове відчуття від його випромінювання – фотометричними. В таблиці 2.2 наведені основні енергетичні та відповідні їм фотометричні величини [1].

Таблиця 2.2 Основні енергетичні та фотометричні величини.

Енергетична величина	Позначення	Одиниця вимірювання	Фотометрична величина	Позначення	Одиниця вимірювання
Енергія	Q_E	Дж	Світлова	Q_Φ	лм·с

випромінювання			енергія		
Потік випромінювання (потужність)	Φ_E, P	Вт	Світловий потік	Φ_Φ	лм
Енергетична світність	R_E	Вт/м ²	Світність	R_Φ	лм/м ²
Енергетична освітленість	E_E	Вт/м ²	Освітленість	E_Φ	лк
Сила випромінювання	I_E	Вт/ср	Сила світла	I_Φ	кд
Енергетична яскравість	B_E	Вт/м ²	Яскравість	B_Φ	лм/м ²

Сила світла. Кожне джерело, що дає світло у видимій області спектра, як природне, так і штучне, характеризується силою світла, одиниця якої входить у число основних міжнародної системи. На відміну від енергетичної сили світла, сила світла джерела видимого світла визначається потоком випромінювання, що сприймається людським оком, з урахуванням різної чутливості ока до різних ділянок спектра.

Оскільки одиниця сили світла є основною, то їй привласнюється власна розмірність I_Φ , яка входить в усі світлотехнічні величини.

Необхідність встановлення еталона сили світла висуває перед практичною світлотехнікою багато питань: який спектральний склад світла варто вважати найбільш "природним", як порівнювати джерела з різним спектральним складом і т.п. Очевидно, необхідно домовитися про якісь єдині способи порівняння і визначення величин, що повинні характеризувати джерела світла й умови висвітлення. У свій час було запропоновано багато подібних зразків (свічка Гефнера, одиниця Віоля та ін.), які на сьогодні мають лише історичне значення. Основним недоліком цих зразків були труднощі їхнього відтворення.

Представлялося доцільним вибрати таке джерело, випромінювання якого визначалося б можливо більш загальними законами фізики. Оскільки випромінювання росте пропорційно четвертому ступеню температури і при цьому

істотно змінюється розподіл по довжинах хвиль, то було потрібне дуже точне встановлення температури випромінювача. Виходячи з цих розумінь у якості джерела було обране абсолютно чорне тіло. Для визначення одиниці сили світла – кандели (кд) була обрана температура затвердіння платини при нормальному атмосферному тиску (2042 К). При цьому приймалося, що один квадратний метр випромінювача володіє в перпендикулярному його поверхні напрямку силою світла 600 000 кандел.

Метрологічні утруднення, зв'язані з визначенням кандели, спонукали перейти до такого її визначення, що ґрунтувалося б на потужності випромінювання фіксованої довжини хвилі або частоти видимої частини спектра. У якості такої частоти була обрана частота $540 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$, що відповідає довжині хвилі 555 нм. При цьому в тілесному куті один стерadian у даному напрямку повинна випромінюватись потужність 683 Вт. Стосовно обраної частоти або відповідної довжини хвилі "середнє" людське око має найбільшу чутливість.

На основі кандели як основної одиниці визначаються інші світлотехнічні одиниці.

Світловий потік. Ця величина визначається як добуток сили світла на тілесний кут, у якому поширюється потік. У загальному випадку нерівномірного випромінювання

$$\Phi_{\phi} = \int_{\Omega} I_{\phi} d\Omega. \quad (2.1)$$

При рівномірному випромінюванні в усіх напрямках

$$\Phi_{\phi} = 4\pi I_{\phi}. \quad (2.2)$$

До введення міжнародної системи СІ основною світлотехнічною величиною був саме світловий потік, що визначався як потужність світлового випромінювання, що оцінювалась відповідно до спричиненого ним відчуття. Це визначення підкреслює суб'єктивний, фізіологічний характер світлотехнічних величин.

За одиницю вимірювання світлового потоку приймають люмен (лм) – потік всередині тілесного кута в один стерadian при силі світла в одну канделу.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		25

Світлова енергія (кількість світла). Ця величина являє собою добуток світлового потоку на час його дії:

$$Q_{\Phi} = \int_0^t \Phi_{\Phi} dt. \quad (2.3)$$

Одиниця світлової енергії – люмен·секунда (лм·с).

Світність

$$R_{\Phi} = \frac{d\Phi_{\Phi}}{dS}. \quad (2.4)$$

Одиниця світності визначається як світність джерела, кожен квадратний метр якого дає світловий потік в один люмен.

Освітленість

$$E_{\Phi} = \frac{d\Phi_{\Phi}}{dS}. \quad (2.5)$$

Розмірність освітленості збігається з розмірністю світності. Одиниця освітленості в системі СІ – люкс (лк) – це освітленість поверхні, на кожен квадратний метр якої потрапляє світловий потік в один люмен.

Вираз для освітленості поверхні джерелом світла силою J кандел, розташованим на відстані r метрів від освітлюваної поверхні, має вигляд

$$E_{\Phi} = \frac{1}{r^2} \cos(\alpha), \quad (2.6)$$

де α – кут між напрямком поширення світла і нормаллю до освітлюваної поверхні. Звідси люкс може бути визначений як освітленість поверхні, що знаходиться на відстані один метр від джерела світла з силою в одну канделу і розташованої перпендикулярно напрямку поширення світла.

Яскравість. Одиниця яскравості – визначається як кандела на квадратний метр ($\text{кд}/\text{м}^2$) – і визначається як яскравість джерела, кожен квадратний метр випромінюючої поверхні якого має в даному напрямку силу світла, рівну одній канделі в одиничному тілесному куті

$$B(\theta) = \frac{dI(\theta)}{dS \cdot \cos(\theta)}. \quad (2.7)$$

2.3 Огляд і аналіз приймачів світла

У фотоелектричних приймачах в результаті взаємодії оптичного випромінювання з речовиною звільняються носії зарядів. Це призводить до підвищення електропровідності приймача. Фотоелектричні приймачі можна розділити на дві групи.

Зовнішній фотоэффект використовується в вакуумних і газонаповнених фотоелементах, а також у вторинних фотоелектронних помножувачів (ВЕУ). У цьому випадку кванти випромінювання викликають емісію електронів з поверхні катода в вільний простір (в колбу, де створено вакуум або яка наповнена газом).

Внутрішній фотоэффект використовується в напівпровідникових приймачах. У цьому випадку енергія квантів збільшує число носіїв заряду всередині кристалічної решітки.

Відносна спектральна чутливість у фотоелектричних приймачів дуже різна. Тому вони добре узгоджуються з різноманітними джерелами випромінювання. На Рисунок 2.1 показані приблизні графіки спектральної чутливості деяких фотоприймачів. Так як на спектральний розподіл роблять вплив легуючі добавки і технологія виготовлення, то спектральний розподіл чутливості різних приймачів з одним і тим же основним напівпровідниковим матеріалом будуть трохи відрізнятися. Приймачі на основі германію мають максимум чутливості поблизу 1,5 мкм. Приймачі на основі кремнію добре підходять до спектрального розподілу лампи розжарювання і GaAs - діода.

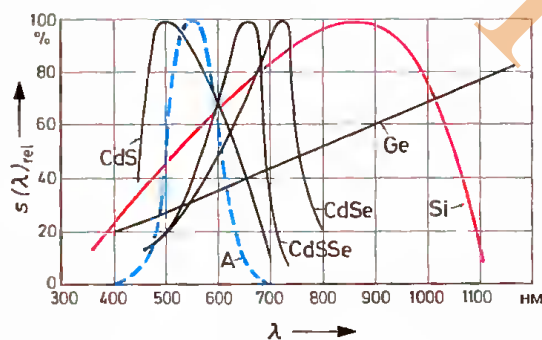


Рисунок 2.9 Спектральна чутливість напівпровідникових фотоприймачів:

А - спектральна чутливість ока (ДЛЯ порівняння).

Абсолютна чутливість дорівнює

$$s_{\Phi} = \frac{J}{\Phi} \quad (\text{наприклад, в мкА/лм}),$$

або

$$s_E = \frac{J}{E} \quad (\text{наприклад, в мкА/лк}).$$

Однак, найкраще виразити чутливість через потік випромінювання Φ_e і енергетичну освітленість E_e . При цьому повинно бути відомо спектральний розподіл випромінювання або, принаймні, вказана колірна температура T_f .

У багатьох оптичних системах використовується модуляція потоку випромінювання, тобто величина потоку випромінювання плавно або стрибкоподібно (наприклад, серія імпульсів) змінюється в часі. Бажано, щоб такий змінний в часі сигнал був перетворений в електричний сигнал з мінімальними спотвореннями.

Так як на генерацію та перенесення носіїв заряду, а також самовідновлення приймача потрібен певний час, то диференціальна чутливість S_d зменшується із зростанням частоти сигналу.

Гранична частота відповідає частоті, на якій чутливість приймача зменшується до значення $0,707 (1/\sqrt{2})$ від величини при постійному в часі освітленні. Гранична частота фотоелектричних приймачів різних типів відрізняється дуже сильно (від декількох герц до мегагерц).

Фоторезистором називають приймач випромінювання, у якого під впливом потоку випромінювання внаслідок внутрішнього фотоелектричного ефекту змінюється опір. Значення опору фоторезистора не залежить від напрямку струму. З напівпровідникових матеріалів для фоторезисторів найчастіше використовують сполуки кадмію (наприклад, сульфід кадмію CdS). Для фоторезисторів, які працюють в ІЧ - області, також використовують сульфід свинцю PbS . Зв'язок між опором R і освітленістю E описується наближеною формулою $R \sim E^{-Y}$, де значення Y «крутизни»)) лежить приблизно між 0,6 і 1. При зміні освітленості опір фоторезистора повільно змінюється на нове значення R . Ця інерційність

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

може зменшуватися при високій освітленості. Фоторезистори на основі CdS застосовують у пристроях регулювання штучного освітлення, експонетри, в системах автоматизації виробничих процесів і т. д. При цьому частота перемикання не повинна перевищувати приблизно 10 Гц.

Фотодіодами називаються напівпровідникові прилади, основані на внутрішньому фотоефекті і використовують однобічну провідність рп - переходу. При освітленні фотодіода виникає електрорушійна сила (фотогальванічний режим) або (за наявності живлення) змінюється значення зворотного струму (фотодіодний режим). Один і той же приймач при необхідності може використовуватися в обох режимах роботи.

При роботі в фотогальванічному режимі генерується напруга холостого ходу U_L логарифмічно зростає з освітленістю аж до величини насичення (приблизно від 450 до 550 мВ для кремнію Si). Ця напруга незалежить від розмірів площадки приймача. Навпаки, струм короткого замикання I_K (режим роботи при малому зовнішньому опорі) лінійно збільшується із зростанням площі фоточутливої площадки і освітленості.

Кремнієві фотоелементи з великою площею поверхні використовуються в якості сонячних фотоелементів, які безпосередньо перетворюють енергію падаючого на них випромінювання в електричну енергію. Коефіцієнт корисної дії становить при цьому від 8 до 11%.

У фотодіодному режимі зворотний струм рп - переходу зростає пропорційно освітленості. В якості напівпровідникового матеріалу використовується германій (висока чутливість), а частіше Всього кремній (незначна залежність темного струму від температури). Гранична частота дуже висока (знаходиться в діапазоні мегагерц).

Фототранзистор являє собою напівпровідниковий прилад з двома р-п - переходами, що володіє властивістю посилення фотоструму при впливі променистої енергії. Тому фототранзистори мають більш високу чутливість, але більш низьку граничну частоту, ніж аналогічні їм фотодіоди.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Огляд сучасного стану розробки схем нормуючої електроніки для фотодіодів

2.4.1 Схеми включення фотодіода

Є два способи отримати сигнал від фотодіода: вимірювання напруги та вимірювання струму. Для вимірювання напруги схема повинна мати високий опір, щоб струм, що протікає через вхід, був мінімальним. Ця умова забезпечується у схемі, представлений малюнку 2.10а. Тут фотодіод включений послідовно з входом операційного підсилювача, через який струм не тече в ідеалі. Ланцюг зворотного зв'язку, що складається з резисторів R_1 і R_2 , встановлює коефіцієнт посилення напруги на фотодіоді так само, як якщо воно було подано на вхід підсилювача. Вочевидь, що вимір напруги буде нелінійним. Залежність вихідної напруги від вхідної енергії світла буде логарифмічною, оскільки чутливість фотодіода змінюється залежно від прикладеної до нього постійної напруги.

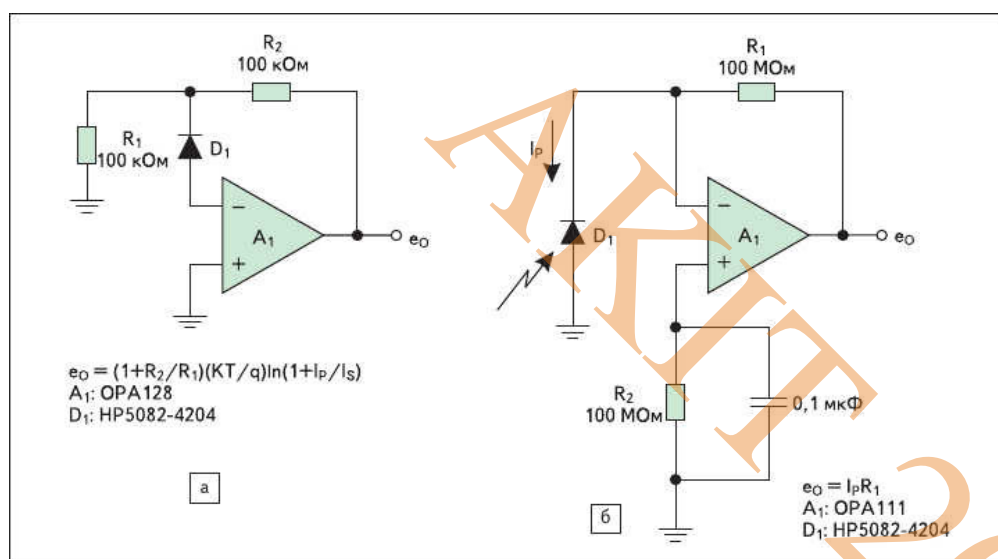


Рисунок 2.10 Вихідним сигналом фотодіода може бути: а) напруга, б) струм [2]

Постійна чутливість при постійній напрузі дозволяє зробити висновок, що для отримання лінійної залежності вихідного сигналу від енергії світла необхідно використовувати вимірювання струму. Вимірювач цього струму повинен мати

нульовий вхідний опір, щоб падіння напруги на діоді також дорівнювало нулю. Нульовий імпеданс забезпечує операційний підсилювач, оскільки завдяки високому коефіцієнту посилення його зворотний зв'язок встановлює нульову різницю напруги між входами. Це ключовий момент принципової схеми перетворювача струм у напругу, показаного малюнку 2.10б. Він забезпечує вхідний опір, що дорівнює R_1/A , де A - коефіцієнт посилення операційного підсилювача з розімкненим контуром. Хоча опір R_1 зазвичай дуже великий, результуючий вхідний опір залишається дуже невеликим порівняно з вихідним опором фотодіодів.

Струм діода практично не протікає через вхід операційного підсилювача, повністю переходячи на резистор зворотного зв'язку R_1 . Для отримання такого ефекту операційний підсилювач встановлює на своєму виході напругу, що дорівнює добутку струму фотодіоду та опору R_1 . Для отримання максимально можливого коефіцієнта перетворення струму напруга опір R_1 вибирається настільки великим, наскільки дозволяють існуючі обмеження. При великому значенні опору цей резистор починає давати значний дрейф температурний напруги через температурного коефіцієнта вхідного струму підсилювача. Щоб компенсувати цю помилку, до підсилювача, що не інвертує входу, зазвичай підключають резистор R_2 з тим же опором, що і R_1 , як показано на малюнку 2.2, і додають ємнісну розв'язку для усунення більшої частини шуму. Залишкова похибка постійного струму визначається різницею вхідних струмів підсилювача і розкидом опорів двох резисторів. Недоліком даного способу корекції помилок є падіння напруги, що створюється на діоді, внаслідок чого виникає струм його витоку. Цей витік може звести нанівець поправку, отриману від R_2 , оскільки фотодіоди зазвичай мають велику область рп-переходу для отримання високої чутливості. Струм витоку пропорційний цій величині і може бути навіть більшим за вхідні струми операційного підсилювача.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		31

2.4.2 Фотодіодні підсилювачі

Однією з основних областей застосування операційних підсилювачів на польових транзисторах з рп-переходом на входах (вхід польового транзистора) посилення сигналів фотодатчиків, переважно фотодіодів. Для цього розроблено багато різних схем підсилювачів. Ви можете вибрати потрібну схему за необхідними параметрами: лінійності, постійного зсуву, шуму та смуги пропускання. Ці фактори впливають на вибір конкретної моделі операційного підсилювача з безлічі нових пристроїв з малими вхідними струмами, низьким рівнем шуму і високою швидкістю.

Основне завдання - точне перетворення вихідного сигналу фотодіода в лінійно залежний сигнал, як завжди, існує суперечність між швидкістю та роздільною здатністю, а основним обмежуючим фактором є шум. У центрі цієї суперечності знаходиться вищезгаданий перетворювач струм-напруга. Але він має обмеження з багатьох чинників, у результаті з'являються альтернативні зміни з оптимізацією різних параметрів.

Традиційний 1-МОм підсилювач напруги керований струмом забезпечує густину вихідного шуму як мінімум 130 нВ/Гц при кімнатній температурі. Можливо розглядати 130 нВ, як теоретично мінімальну величину шуму підсилювача, так як ця величина шуму створюється 1 МОм резистором, що входить в схему. Будь-які шуми в операційному підсилювачі тільки погіршують становище. Охолодження резистора до температури 77.2 К, температури рідкого азоту, знижує цю величину до 65 нВ/Гц, за умови, що резистор витримає це охолодження, але чи єдиний це вихід? Чи реально подолати теоретичний рівень шуму 130 нВ без охолодження?

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

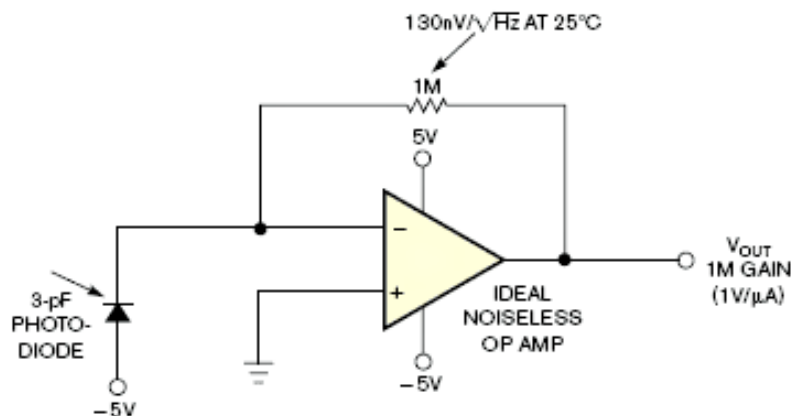


Рисунок 2.11. Класичний підсилювач напруги.[3]

На Рисунку 2.11 показаний один із видів IC1 підсилювача, LTC6240 компанії Linear Technology, забезпечує коефіцієнт підсилення еквівалентний 1 МОм, але має густину вихідного шуму всього 43 нВ/Гц, приблизно одну третину від величини забезпечувану традиційним 1-МОм підсилювачем напруги, керованим струмом при кімнатній температурі. Це досягається шляхом задавання попереднього коефіцієнта підсилення еквівалентного 10 МОм, а потім зменшенням вихідного сигналу в десять разів. Транзисторний каскад забезпечує посилення напруги і працює від джерела живлення 54 В для забезпечення відповідного розмаху вихідної напруги. Завдяки отриманню розмаху вихідної напруги 50 В до аттенюатора, схема забезпечує розмах вихідної напруги 5 В після аттенюатора. Резистор номіналом 10 МОм задає коефіцієнт посилення каскаду підсилювача напруги керованого струмом і має густину шуму 400 нВ/Гц. Після ослаблення сигналу, реальний коефіцієнт посилення впаде до 1 МОм, а густина шуму до 40 нВ/Гц, що є домінуючою складовою спостережуваної реальної величини схеми 43 нВ/Гц. Для отримання такої величини шуму шляхом охолодження, потрібна температура 33 К, значно холодніше температури рідкого азоту. Необхідно звернути увагу так само на додаткове перевага даного способу, завдяки зниженню величини напруги зсуву операційного підсилювача в десять разів. Найгірший випадок напруги зсуву виходу схеми складає 105 мкВ в діапазоні температур. Ширина смуги пропускання схеми складає 28 кГц.

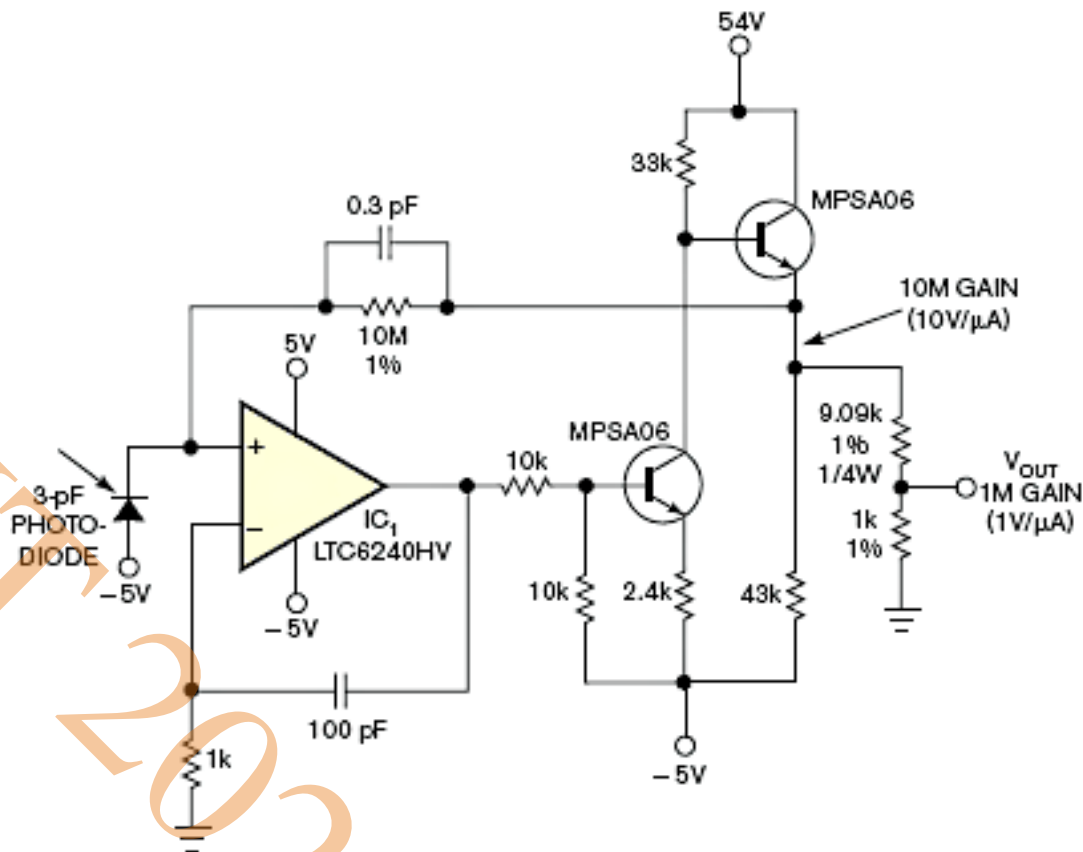


Рисунок 2.12 Ефективний підсилювач фірми Linear Technology [4]

2.5 Опис мікроконтролера Atmega8L

Мікроконтролер atmega8L виконаний за технологією CMOS.

8-бітний, що базується на архітектурі RISC avr. Виконуючи одну повну інструкцію за такт, atmega8 досягає продуктивності 1 MIPS на МГц, забезпечуючи оптимальне співвідношення продуктивності та потужності.

У мікроконтролерах AVR реалізована Гарвардська архітектура, згідно з якою розділені не лише протоколи адресації пам'яті програм та пам'яті даних, а й шини доступу до них. Кожна з областей пам'яті даних (ОЗП та ЕСПЗУ) також розташована у своєму адресному просторі.

Програмна пам'ять варта зберігання послідовності команд, управляючих роботою мікроконтролера, і має 16-битную організацію. Усі AVR мають Flash-пам'ять програм, яка може бути різного розміру – від 1 до 256 КБ. Його головна перевага в тому, що він побудований за принципом електричного перепрограмування, тобто дозволяє багаторазово прати та записувати інформацію. Програма заноситься до Flash-пам'яті AVR як за допомогою

штатного програматора, так і за допомогою SPI-інтерфейсу, у тому числі безпосередньо на зібраній платі. Всі мікроконтролери AVR, окрім Tiny11 та Tiny28, мають можливість внутрішньосхемного програмування (функція ISP) через інтерфейс зв'язку SPI.

Усі мікроконтролери сімейства Mega здатні до самопрограмування, тобто. самостійної зміни вмісту своєї програмної пам'яті. Ця особливість дозволяє створювати на їх основі дуже гнучкі системи, алгоритм роботи яких змінюватиметься самим мікроконтролером залежно від будь-яких внутрішніх умов чи зовнішніх подій. Гарантована кількість циклів перезапису Flash-пам'яті в мікроконтролерах AVR другого покоління складає щонайменше 10 000 тактів за типового значення 100 000 тактів. (В офіційній технічній документації Atmel Corp. вказано значення 10 тисяч циклів.

Пам'ять даних: розділена на три частини: реєстрова пам'ять, оперативна пам'ять (ОЗП – оперативний пристрій або ОЗП) та незалежна пам'ять (ЕСППЗП або EEPROM).

Реєстрова пам'ять – включає 32 регістри загального призначення (RON або GPR), об'єднаних у файл, та службові регістри вводу/виводу (RVV). Обидва вони розташовані в адресному просторі оперативної пам'яті, але не є його частиною. В області регістрів введення/виводу розташовуються різні службові регістри (реєстри управління мікроконтролера, регістри станів тощо), а також регістри управління периферійними пристроями, що входять до складу мікроконтролера. По суті, управління мікроконтролером полягає в управлінні цими регістрами.

Пам'ять EEPROM використовується для тривалого зберігання різної інформації, яка може змінюватися під час роботи мікроконтролерної системи. Всі AVR мають блок енергонезалежної пам'яті даних EEPROM, що електрично перезаписується, розміром від 64 байт до 4 КБ. Цей тип пам'яті, доступний програмі мікроконтролера безпосередньо під час виконання, зручний для зберігання проміжних даних, різних констант, коефіцієнтів, серійних номерів, ключів і т.п. Завантаження EEPROM може здійснюватися ззовні як через інтерфейс SPI, так і за допомогою звичайного програміста. Кількість циклів

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		35

стирання/запису – не менше 100 000. Внутрішнє статичне ОЗП (SRAM) має байтовий формат і використовується для зберігання даних.

Розмір оперативної пам'яті може змінюватись у різних чіпах від 64 байт до 4 КБ. Кількість циклів читання та запису в оперативній пам'яті не обмежена, але при відключенні живлення вся інформація втрачається.

Технічні характеристики:

- пам'ять для програм 8 КБ із можливістю перезапису 10 000 разів
- 512 байт флеш-пам'яті для збереження змінних даних.
- 1 КБ ОЗП та 32 регістри загального призначення
- два 8-бітові таймери/лічильники з окремим прескалером, режим порівняння
- 16-бітовий таймер/лічильник з окремим прескалером, режимом порівняння, режимом захоплення
- таймер реального часу із незалежним генератором
- 3 канали ШІМ
- 6 каналів 10-бітного АЦП
- двопровідний послідовний інтерфейс
- програмований послідовний USART
- Інтерфейс SPI із режимами Master/Slave.
- програмований сторожовий таймер з окремим незалежним генератором
- вбудований аналоговий компаратор
- скидання при включенні живлення, програмований захист від збоїв живлення
- вбудований калібрований RC-генератор
- обробка внутрішніх та зовнішніх переривань
- 5 режимів зі зниженим енергоспоживанням: режим очікування, шумозаглушення АЦП, енергозбереження, зниження енергоспоживання та режим очікування.
- напруга живлення 4,5 – 9 ст.
- тактова частота 0-16 МГц
- 23 порти введення/виводу згруповані в 3 групи:
- порт В (pb0 – pb7): два виходи (pb6 та pb7) використовуються для підключення кварцового резонатора. контакти rv2 – rv5 зарезервовані для

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

внутрішньосхемного програмування. таким чином, порти pb0 та pb1 залишаються для загального використання.

- порт c (pc0 – rs6: 7 виходів): порти pc0 – rs5 можна використовувати як аналогові входи. rs6 зазвичай використовується для скидання.
- порт d (pd0–pd7: 8 контактів): ці порти можна використовувати для програм загального призначення.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

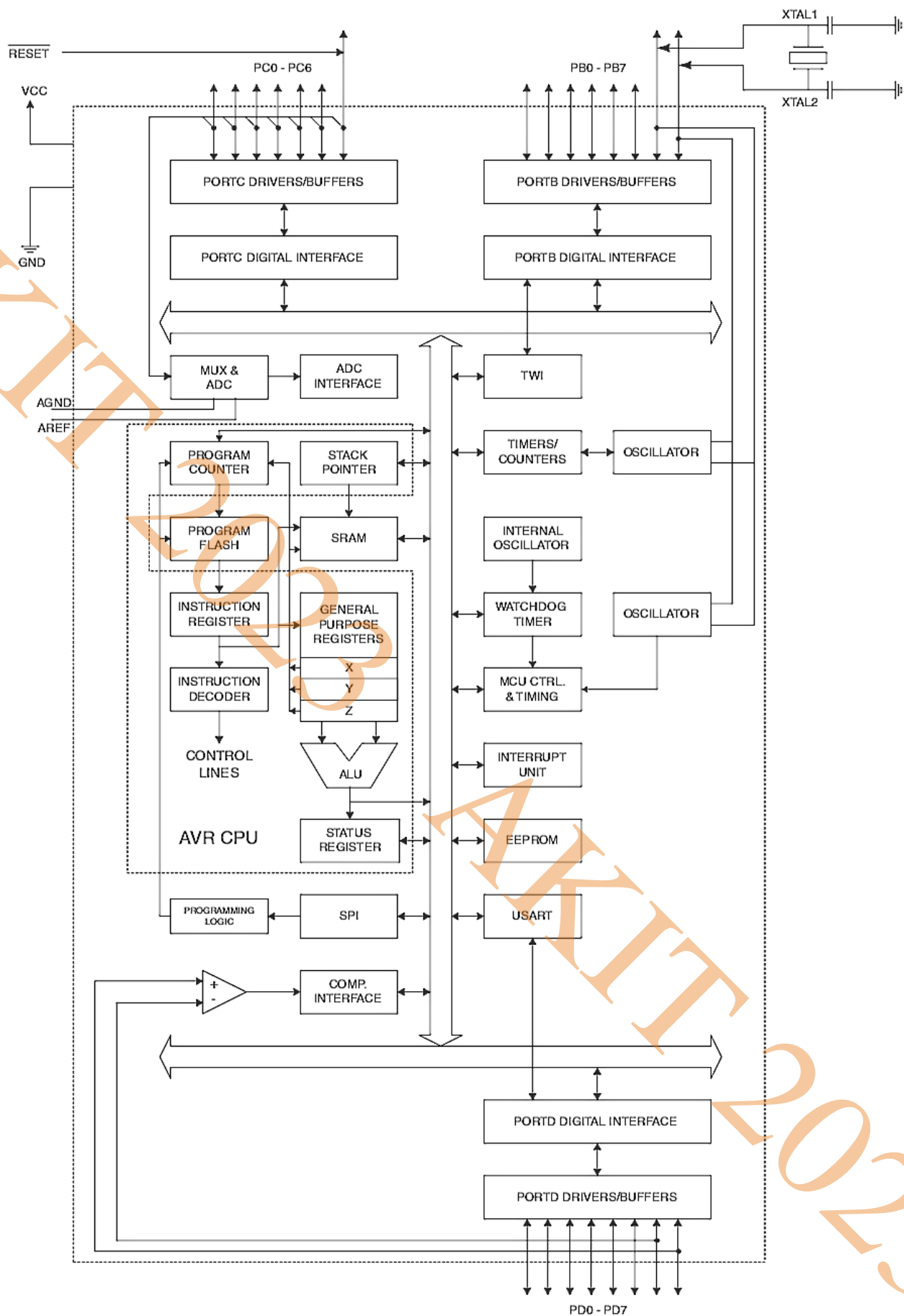


Рисунок 2.13. Блок-схема мікроконтролера АТmega8L [5].

Цоколювка та опис виводів мікроконтролера:

Мікроконтролер ATmega8L (Рисунок 2. 14) виконаний в типовому корпусі TQFP з 32-ма виводами. Описи портів мікроконтролера приведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Опис виводів мікроконтролера:

№	Найменування	Призначення	Короткий опис
7	VCC	Вхід	Напруга живлення від 4,5 до 9 В
8,22	GND	Вхід	Загальний (земля)
20	AVcc	Вхід	Напруга живлення для АЦП
21	AREf	Вхід	Від опорної напруги для АЦП

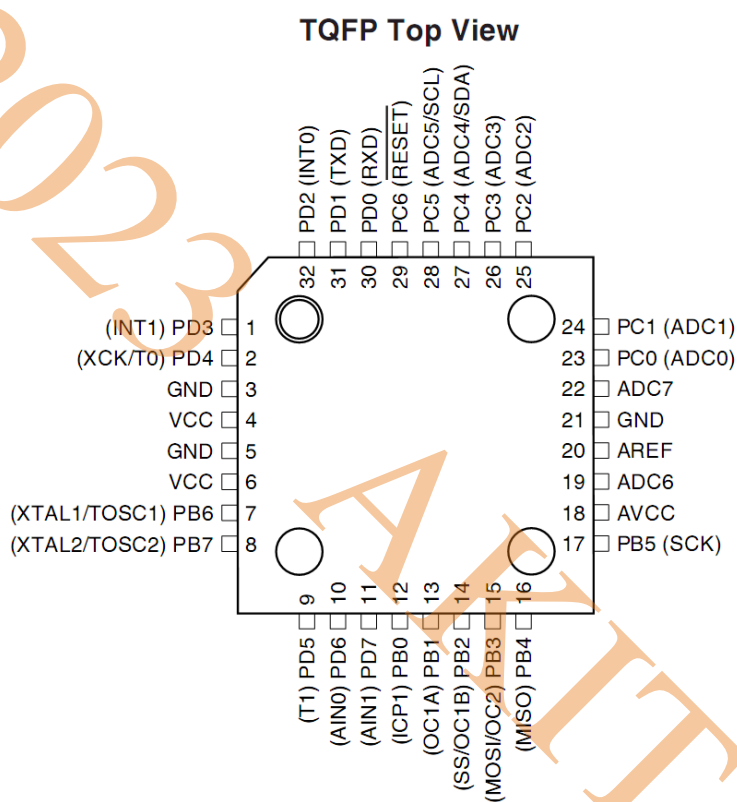


Рисунок 2.14 Найменування виводів мікроконтролера [6]

VCC Напруга живлення цифрових елементів

GND Земля

Порт В (PB7.. PB0) Порт В - 8-розрядний порт двонаправленого введення-виведення з вбудованими самопідєднуючимися резисторами (обираються для кожного біту). Вихідний буфер порту В має симетричну характеристику приводу

управління як для високого ступеню синхронізації так і для вбудованого джерела. Вхідні піни порту В є зовнішньо ізольованими на низькому рівні по джерелу струму, якщо вбудовані резистори активовані. Також у порті В піни можуть знаходитися в третьому стані коли активується режим скидання, навіть якщо лічильник не працює.

Залежно від вибору налаштування режиму лічильника, PB6 може бути використаний як вихід для інвертуючого підсилювача - генератора або як вхід для внутрішнього кола операційного лічильника.

Залежно від вибору налаштування режиму лічильника порт PB7 можна використовувати як вихід з інвертуючого підсилювача - генератора.

Внутрішній калібрований RC - генератор може використовуватися як TOSC2..1 вхід для асинхронного лічильника часу якщо AS2 біт встановлений в позицію ASSR.

Інші функції порту В можна знайти у спеціалізованому описі мікроконтролера Atmega8 на ст.23.

Порт С (PC7.. PC0) Порт С - 7-розрядний порт з функціональністю схожою до порту В але деякими відмінностями..

Порт D (PD7.. PD0) повторює функціональні можливості портів В та С а також може слугувати для великої кількості спеціалізованих функцій мікроконтролера Atmega8, які детально описані в datasheet на ст. 61.

RESET - вхід скидання. Дана функція спрацьовує тільки при подачі імпульсу необхідної тривалості, навіть якщо генератор контролера є неактивним.

XTAL1 вхід інвертуючого підсилювача генератора та вхід зовнішньої синхронізації.

XTAL2 вихід інвертуючого підсилювача генератора.

AVCC вхід живлення для порту F і аналог-цифрового перетворювача. Він повинен бути ззовні зв'язаним з V_{CC} , навіть якщо АЦП не використовується. При використанні АЦП цей вихід зв'язаний з V_{CC} через фільтр низьких частот.

AREF вхід підключення джерела опорної напруги для АЦП.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

PEN вхід дозволу програмування для режиму послідовного програмування через інтерфейс SPI. Якщо під час дії скидання при подачі живлення на цей вхід подати сигнал низького рівня, то мікроконтролер переходить в режим послідовного програмування через SPI. У робочому режимі PEN не виконує жодних функцій.

Таблиця 2.4 а. Порт В:

№	Назва	Тип	Опис
14	PB0	Вхід / Вихід	цифровий порт PB0
14	ICP1	Вхід	захоплення входу 1
15	PB1	Вхід / Вихід	цифровий порт PB1
15	OC1A	Вихід	вихід порівняння / ШІМ 1А
16	PB2	Вхід / Вихід	цифровий порт PB2
16	OC1B	Вихід	вихід порівняння / ШІМ 1В
17	SS	Вхід	вхід Slave для SPI
17	PB3	Вхід / Вихід	цифровий порт PB3
17	OC2	Вихід	вихід порівняння / ШІМ 2
17	MOSI	Вхід / Вихід	вхід даних в режимі Slave для SPI та ISP / вихід даних у режимі Master для SPI та ISP
18	PB4	Вхід / Вихід	цифровий порт PB4
18	MISO	Вхід / Вихід	вхід даних в режимі Master для SPI та ISP / вихід даних у режимі Slave для SPI та ISP
19	PB5	Вхід / Вихід	цифровий порт PB5
19	SCK	Вхід / Вихід	тактовий вхід в режимі Slave для SPI та ISP / тактовий вихід в режимі Master для SPI та ISP
9	PB6	Вхід / Вихід	цифровий порт PB6 при роботі від вбудованого генератора
9	XTAL1	Вхід	тактовий вхід, кварцовий або керамічний резонатор
9	TOSC1	Вхід	не використовується при роботі від зовнішнього генератора
10	PB 7	Вхід / Вихід	цифровий порт PB7 при роботі від вбудованого генератора
10	XTAL2	Вхід	для підключення кварцового або керамічного резонатора
10	TOSC2	Вихід	тактовий вихід при роботі від вбудованого генератора

Таблиця 2.4 б. Порт С:

№	Назва	Тип	Опис
23	PC0	Вхід / Вихід	цифровий порт PC0
23	ADC0	Вхід	аналоговий вхід канал 0
24	PC1	Вхід / Вихід	цифровий порт PC1
24	ADC1	Вхід	аналоговий вхід канал 1
25	PC2	Вхід / Вихід	цифровий порт PC2
25	ADC2	Вхід	аналоговий вхід канал 2
26	PC3	Вхід / Вихід	цифровий порт PC3
26	ADC3	Вхід	аналоговий вхід канал 3

27	PC4	Вхід / Вихід	цифровий порт PC4
27	ADC4	Вхід	аналоговий вхід канал 4
27	SDA	Вхід / Вихід	канал даних для 2-проводового послідовного інтерфейсу
28	PC5	Вхід / Вихід	цифровий порт PC5
28	ADC5	Вхід	аналоговий вхід канал 5
28	SCL	Вихід	тактовий вихід для 2-проводового послідовного інтерфейсу
1	PC6	Вхід / Вихід	цифровий порт PC6
1	RESET	Вхід	зовнішній скидання

Таблиця 2.4 в. Порт D:

№	Назва	Тип	Опис
2	PD0	Вхід / Вихід	цифровий порт PD0
2	RxD	Вхід	вхід приймача USART
3	PD 1	Вхід / Вихід	цифровий порт PD1
3	TxD	Вихід	вихід передавача USART
4	PD2	Вхід / Вихід	цифровий порт PD2
4	INT0	Вхід	зовнішнє переривання канал 0
5	PD3	Вхід / Вихід	цифровий порт PD3
5	INT1	Вхід	зовнішнє переривання канал 1
6	PD4	Вхід / Вихід	цифровий порт PD4
6	XCK	Вхід / Вихід	зовнішній такт для USART
6	T0	Вхід	зовнішній вхід Timer 0
11	PD5	Вхід / Вихід	цифровий порт PD5
11	T1	Вхід	зовнішній вхід Timer 1
12	PD6	Вхід / Вихід	
12	AIN0	Вхід	вхід аналогового компаратора канал 0
13	PD7	Вхід / Вихід	цифровий порт PD7
13	AIN1	Вхід	вхід аналогового компаратора канал 1

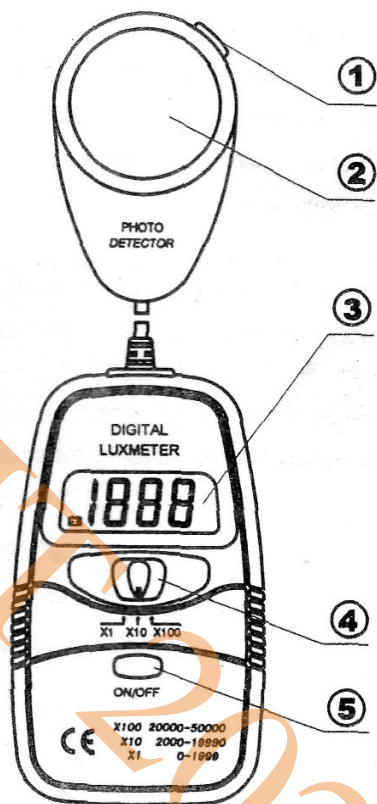
2.6 Аналоги об'єкту проектування

Нижче приведено декілька доступних на ринку України цифрових люксометрів їх параметри, будова, принцип роботи, загальні характеристики та ціни:

1. Цифровий вимірювач освітленості Mastech MS6610 призначений для вимірювання освітленості приміщень, офісів, лабораторій, а також для вивчення кліматичних умов. Фотодатчик виконаний окремо від корпусу приладу, що робить проведення вимірювань набагато зручнішим.[7]

Опис фронтальної панелі приладу:

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		42



- 1 – кнопка утримання показів дисплея (HOLD);
- 2 – фотодатчик (PHOTO DETECTOR);
- 3 – РК дисплей (LCD);
- 4 – тумблер перемикання діапазонів;
- 5 – кнопка вмикання/вимикання приладу (ON/OFF).

Рисунок 2.15 Цифровий вимірювач освітленості Mastech MS6610:

Функції та характеристики пристрою:

- фотодатчик складається з одного кремнієвого фотодіода з фільтром;
- робочі умови: температура від 0 °С до 40 °С при відносній вологості повітря $\leq 80\%$;
- частота відбору показів: 2 відліки/секунду;
- тип дисплея: рідкокристалічний дисплей з максимальним показом 1999;
- живлення приладу: 1 батарея 6F22 (9 В);
- розміри фотодатчика: 83x52x20.5 мм;
- розміри приладу: 125.5x72x27 мм;
- довжина шнура фотодатчика: приблизно 150 см;
- маса приладу: 140 г (без батареї);
- діапазони вимірювання і точність (при температурі від 18 °С до 28 °С при відносній вологості повітря $\leq 80\%$):

Діапазон	Роздільність	Точність
0 – 1999 лк	1 лк	$\pm(5\% + 2 \text{ цифри})$
2000 – 19990 лк	10 лк	$\pm(5\% + 2 \text{ цифри})$
20000 – 50000 лк	100 лк	$\pm(5\% + 2 \text{ цифри})$

- кореляційний коефіцієнт:

ртутна лампа x 1.1

флуоресцентна лампа x 1.0

лампа з ниткою розжарення x 1.0

денне світло x 1.0

- спектральна характеристика фотодатчика:

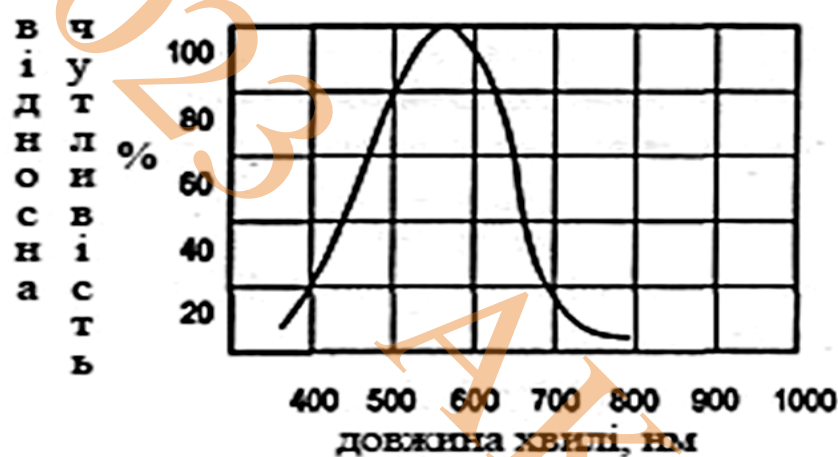


Рисунок 2.16 Залежність відносної чутливості від довжини хвилі приймача випромінювання

Таблиця 2.5 Рекомендована освітленість приміщень.

Тип приміщення	Освітленість, лк
Офісні приміщення	
Конференц-зали, приймальні	200 ~ 750
Робочі кабінети	700 ~ 1500
Креслярські та комп'ютерні зали	1000 ~ 2000
Фабричні приміщення	
Відділ упаковки та відвантаження товарів	150 ~ 300
Стеження за роботою виробничих ліній	300 ~ 750
Відділ контролю	750 ~ 1500

Лінії монтажу електронних компонентів	1500 ~ 3000
Готельні приміщення	
Хол, гардероб	100 ~ 200
Служба реєстрації та обслуговування гостей	200 ~ 1000
Магазини	
Вхід, сходи, коридори	150 ~ 200
Вітрини, стіл для упаковки товарів	750 ~ 1500
Освітлені вітрини	1500 ~ 3000
Лікарні	
Палати	100 ~ 200
Кабінети для обстеження хворих	200 ~ 750
Операційна, маніпуляційний кабінет	750 ~ 1500
Школи	
Класи	300 ~ 750
Лабораторії, бібліотека, креслярський зал	750 ~ 1500

2. Люксметр DE-3350

У приладі використовується фотодіод та фільтр корекції світла. Окремий світлочутливий датчик для вимірювання в оптимальному положенні. [8]

Характеристики:

- Функція утримання даних.
- Окремий світлочутливий датчик для зручності вимірювання.
- На дисплеї відображається текуча шкала діапазону вимірювання та підсвічуванні одиниці вимірювання.
- Індикація розрядки елементів живлення.
- Регулювання зміщення.
- Режим високоточного вимірювання.
- Великий ЖК дисплей та різні цифрові показники даних
- Споживання струю: ~ 2,5 мА
- Час реакції: 2,5 раз/с

Характеристики	Значення
Індикація	1/2 розрядні цифрові покази, максимальне відображуване число 1999
Діапазон	400-700 (нм)
Максимальна чутливість на довжині хвилі	550
Одиниці вимірювання	люкс (LUX) або фут-кандел (FC); 1FC=10,76 люкс (лк)
Вибір діапазону вимірювання	200/2000/20000 лк 20/200/2000 FC
Шкала діапазону вимірювання	0,1...19990 лк 0,01...1999 FC
Похибка (23°C ±5°C)	Люкс: 200, 2000: ±(4% ИВ + 5 ЕМР) 20000, 200000: ±(5% ИВ + 4 ЕМР) FC: 20, 200: ±(4% ИВ + 5 ЕМР) 2000, 20000: ±(5% ИВ + 4 ЕМР)
Робоча температури, вологість	0...50 °C / нижче 80% (без конденсації)
Температура, вологість (при зберіганні)	- 10...60 °C / нижче 70% (без конденсації)
Джерело живлення	Елементи живлення 9 В, NEDA 1604, IEC 6F22, JIS 006P
Габаритні розміри	Прилад: 148(Д) x 71(Ш) x 36(В) мм Приймач світла: 85(Д) x 67(Ш) x 32(В) мм
Маса	Прилад разом з приймачем світла ~ 270 г. (разом з елементами живлення)



Рисунок 2.17 Люксметр DE-3350 [3]

					КМР.АКТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		46

3. Люксметр LX1330B з виносним датчиком

Особливості:

Можливість вибору діапазону вимірювання

4 діапазони вимірювання

Відображення результатів в люксах або footcandle

Індикація низького заряду батареї

Функція утримання результатів

Індикація перевантаження

Виносний датчик

Довжина кабелю 1 м.

Характеристики:

Діапазон: от 0.1 до 200,000 лк.

Похибка: $\pm(3\% \pm 10 \text{ ед.})$ в діапазоні до 20,000 лк., $\pm(5\% \pm 10 \text{ ед.})$ в діапазоні більше 20,000 лк.

Ціна поділки: 0.1 лк.

Частота вимірювання: 2 рази в секунду

Споживаний струм: 2 мА

Живлення: батарея 9V (тип 6F22 "Крона")

Навколишнє середовище: от 0°C до 50°C, вологість > 80% (без конденсації)

Розміри: 160×79×43 мм

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.18 Люксметр LX1330В з виносним датчиком [4]

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		48

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка первинного вимірювального перетворювача проектowanego пристрою

3.1.1 Вибір фотоприймача

Фотодіод. Являє собою вентильний елемент, до якого прикладена зворотню напругу $U_{ж}$ від зовнішнього джерела. При цьому умови проникнення неосновних носіїв з освітленої зони через р-n-перехід істотно полегшуються, його зворотний опір різко зростає, і струм, що протікає через навантаження, створює на ньому спад напруги, близький до напруги живлення. Це підвищує чутливість і лінійність перетворення. На практиці застосовують германієві та кремнієві фотодіоди.

На основі підсилювальних властивостей комбінованих р-п-р і п-р-п-переходів створені фототранзистори. Вони мають світлове вікно для освітлення бази.

Нижче приведено декілька варіантів фотодіодів різних виробників:

1. Широкосмуговий фотодіод Silicon PIN Photodiode BPW34.

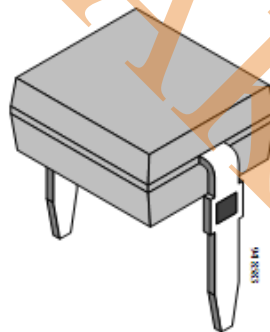


Рисунок 3.1 Зовнішній вигляд [9]

Опис:

Тип приймача випромінювання

PIN

Максимальна спектральна чутливість, нм

950

Спектральний діапазон чутливості, нм

430 - 1010

Макс. зворотна напруга, В

60

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Зворотний темновий струм, нА	2
Кут напівчутливості	65°
Тип корпусу	TO-5
Виробник	Vishay Intertechnology, Inc.

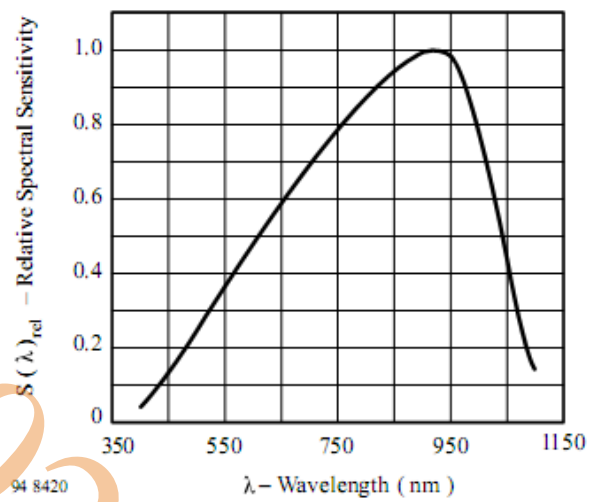


Рисунок3.2 Графік залежності відносної спектральної чутливості [9]

2 Вузькосмуговий фотодіод BPW21R

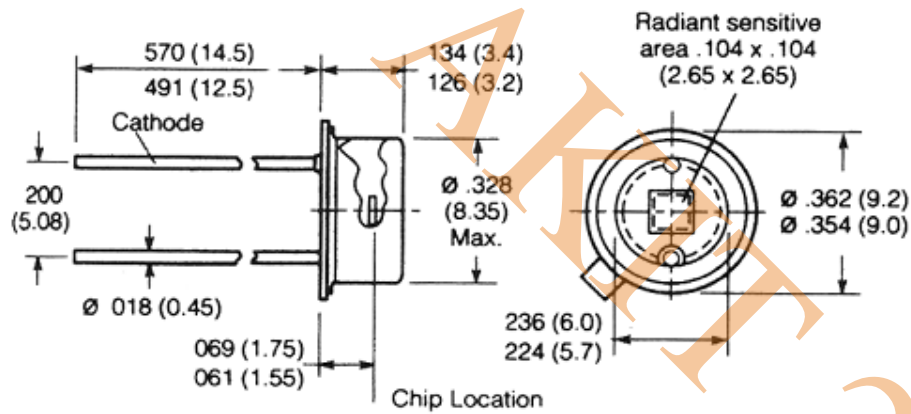


Рисунок 3.3 Зовнішній вигляд та габаритні розміри [6]

Опис:	
Тип фотодіода	PN
Макс спектральна чутливість, нм,	660
Спектральний діапазон чутливості, нм	420 - 675
Макс. зворотна напруга, В	10

Зворотний темновий струм, нА	2
Кут напівчутливості	50°
Тип корпусу	TO-5
Виробник	Vishay Intertechnology, Inc

3. В якості робочого фотодіода обрано виріб марки «Hamamatsu» назва S7686 по причині максимальної спектральної чутливості в тому ж діапазоні, що й людське око.

Характеристики:

- інтегрований UV-A фільтр
- спектральний діапазон 480...660 нм;
- оптичне вікно 6,52 мм²;
- чутливість 0,38 А/Вт;
- одно полярне живлення;
- герметична метало пластикова конструкція TO5;

Гранично допустимі параметри:

- Темновий струм 20 пА;
- Тривалість наростання сигналу 0,5 мкс;
- Діапазон робочих температур -10°C...+60°C;
- Діапазон температури (при зберіганні) -20°C...+70°C;
- Короткочасний перегрів (5с) 200°C;

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

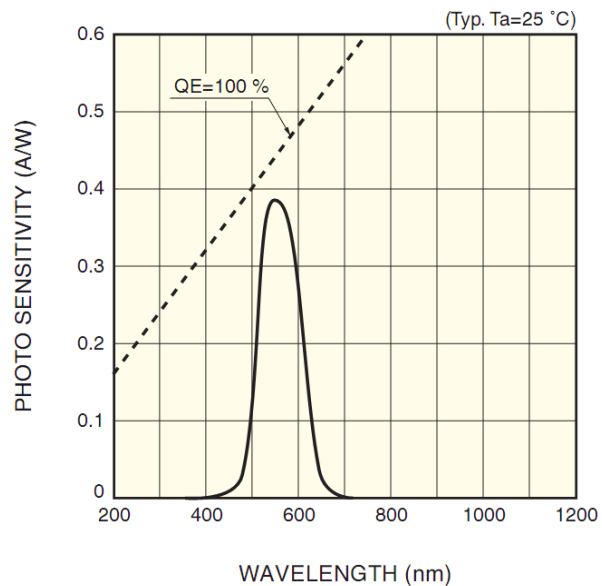


Рисунок 3.4 Графік залежності спектральної чутливості фотодіода [10]

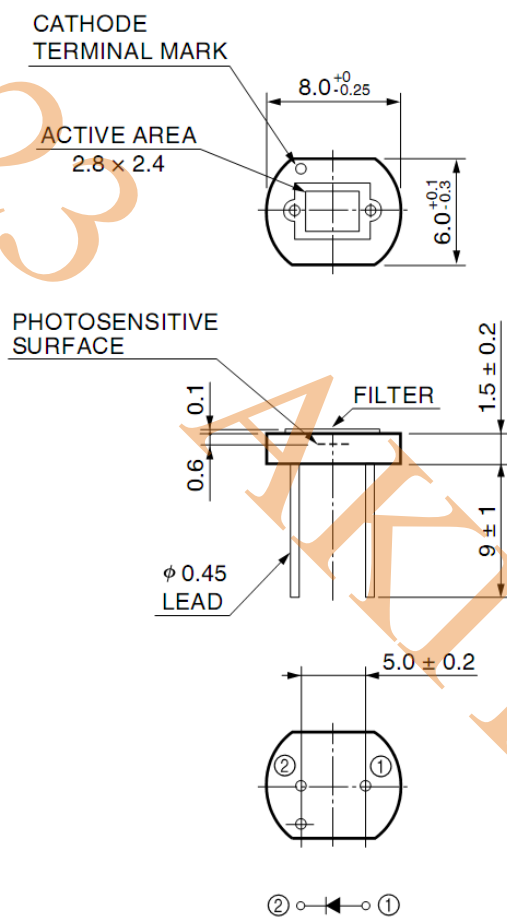


Рисунок 3.5 Габаритні розміри та маркування [10]

Фотодіод виготовлений у герметичному металевому корпусі прямокутної форми із заокругленими краями, трьома виводами та прозорим вікном діаметром 6,72 мм.

Із наведених фотодіодів було обрано виріб фірми Hamamatsu» модель S7686 за його компактні розміри, металевий герметичний корпус, високу надійність та чутливість мінімальний час реакції на зміну сигналу та високу стабільність у широкому діапазоні температури від -10 до +60 °С.

3.1.2 Розрахунок передавальної характеристики

Застосовуючи нестандартну схему підстроювання, в описаному вище первинному вимірювальному перетворювачі ми зупинилися на використанні фотодіод серії S7686 (виробництва компанії «Hamamatsu»). Також дана схема дозволяє застосувати у якості чутливого елементу сонячну батарею SOLEMS. Останній варіант є кращим при вимірах освітленості, результат яких, виражені в люксах, але у зв'язку із значними розмірами сонячної батареї більш доцільним є використання компактного фотодіода S7686. Не зважаючи на більш точні результати, що можна отримати від сонячної батареї при оцінці рівня світла ми можемо скористатися як першим так і другим варіантом. Усі подальші розрахунки проводилися саме для використання світло діода. Проте трохи скорегувавши дані розрахунку можливо легко оцінити усі параметри проєктованого первинного вимірювального перетворювача у сценарії його використання з мініатюрною сонячною панеллю.

Розроблюваний пристрій при використанні фотодіода S7686 дозволяє не тільки вимірювати рівень освітлення а й величину оптичної щільності випромінювання. За умови роботи з монохроматичним випромінюванням (червоний світлодіод, напівпровідниковий або інший лазер) пристрій дозволяє визначати світлопередачу будь-якого напівпрозорого об'єкту (фільтр, пластмасова плівка, певна область на фотонегативів і т.п.). Для цього необхідно відрегулювати вимірювальну ланку так, щоб забезпечити індикацію

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

світлопередачі рівну 1,00 при прямій видимості, і тоді розмістивши об'єкт між джерелом світла і фотодіодом з індикатора можна зчитувати безпосередньо свідчення рівня світло передачі у заданій ситуації

Використовуючи отриманий результат, легко розрахувати оптичну щільність світлового потоку: вона з точністю до знака дорівнює десятковому логарифму величини світлопередачі.

Принципова схема пристрою, наведена у розділі 3.2.3, повторює класичне схемне рішення, описане в різних інструкціях по застосуванню операційних підсилювачів.

Різниця напруг на вході диференціального підсилювача завжди наближається до нуля, тож, фотодіод працює в режимі короткого замикання. При цьому вхідний струм підсилювача також є дуже малим, що визначається високим вхідним опором, а струм через резистор зворотного зв'язку рівний за величиною струму фотодіода, але протилежний за напрямком.

Вихідна напруга каскаду U в такому випадку буде визначатися як $U = R \cdot I$, де R - опір резистора в ланцюзі зворотного зв'язку, а I - фотострум, створюваний фотодіодом.

З урахуванням коефіцієнта посилення другого каскаду, регульованого від 1 до 11, чотири резистори в ланцюгу зворотного зв'язку першого каскаду дозволять успішно перекрити межі 50, 500, 5000 і 50000 люкс при вихідній напрузі 5 В. Природно, ці значення можуть бути перевизначені або номіналів резисторів, або коефіцієнта посилення другого каскаду.

Також відзначимо, що виробник не гарантує лінійність характеристик фотодіода S7686 за рівня освітленості вище 10 000 люкс. Ймовірно, це рівень, який відповідає початку насичення. Тому при рівні освітленості вище 50 000 люкс рекомендується використовувати сірий фільтр відомої густини і відповідним чином коригувати результат вимірювання.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо передавальну характеристику пристрою використовуючи параметри фотодіода S7686 мікросхеми LM358 та номінали опорів, що використовуються у схемі ПВП пристрою (розділ 3.2.2).

Розрахуємо чутливість використовуваного фотодіода за його відповідними вхідними параметрами.

Напругу на фотодіоді визначимо за формулою:

$$U_{\text{фд}} = S(\lambda) \cdot P(\lambda) \quad (3.1)$$

Де $S(\lambda)$ – спектральний розподіл чутливості фотодіода в абсолютних одиницях [А/Вт];

$P(\lambda)$ – спектральна залежність випромінювальної здатності джерела випромінювання а.о. [Вт];

При нормальному освітленні в робочому приміщенні на рівні 500 люкс, світловий поті, що попадає на один м² складатиме 500 люмен. Враховуючи розміри площадки чутливого елементу ~ 6,5 мм² світловий потік складатиме $32,5 \cdot 10^{-4}$ люмен. З урахуванням коефіцієнта К (для перерахунку світлового потоку, що рівний 0,683). Світлова потужність складатиме ~ 2,2 мВт. Враховуючи, що одержане значення включає весь потік по заданому спектру а чутливість приймача знаходиться у видимому спектрі на який припадає 48 % випромінювання, світлова потужність складатиме ~ 1,1 мВт

Для обраного рівня освітленості за формулою (3.1) визначимо спад напруги на фотоелементі який рівний $I_{\text{фд}} = 0,38 \cdot 1,1 = 0,42$ мА. Розрахований графік залежності струму фотодіода від рівня освітленості, що потрапляє на його площадку приведено на рис Для коректної роботи приладу рекомендовано узгодити параметри фотодіода та схеми підсилення ПВП.

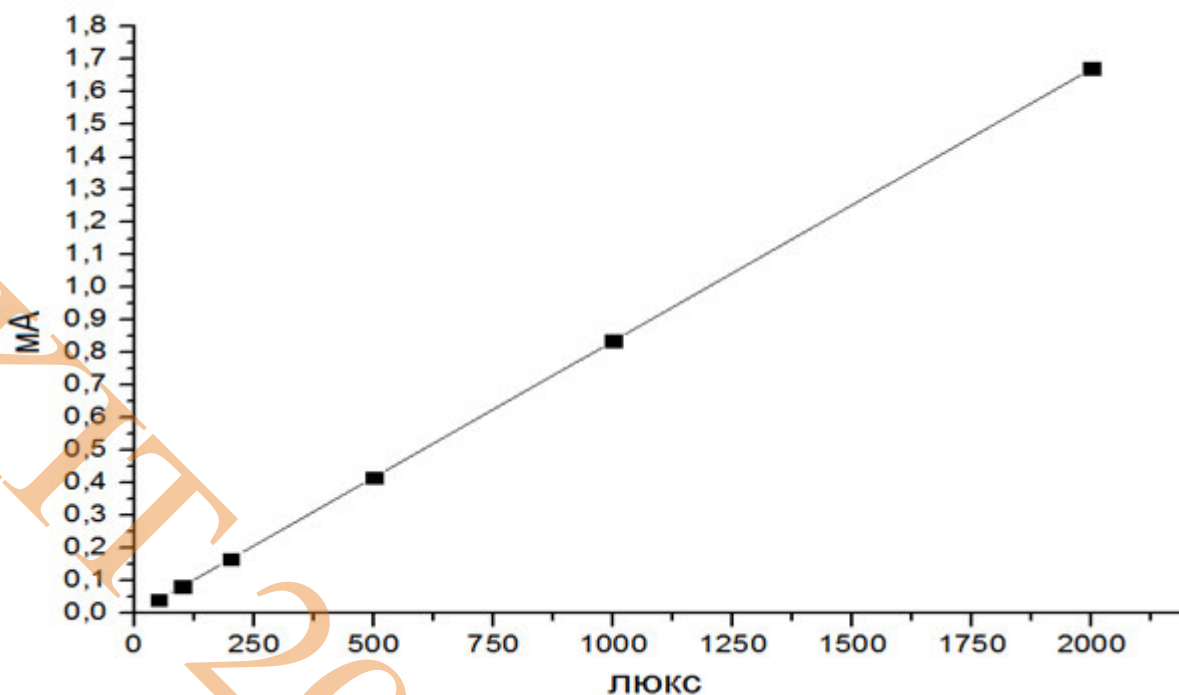


Рис 3.6 Люкс-амперна характеристика ПВП пристрою

3.2 Розробка підсилювача приймача пристрою

3.2.1 Розробка структурної схеми пристрою

Провівши детальний аналіз різних схемо-технічних рішень та елементної бази, що може бути застосована в сучасних схемах підсилення та бути добре узгодженою з різними типами світлочутливих елементів було вирішено зупинитися на одній з найбільш традиційних схем підсилювальних каскадів на операційному підсилювачі для приймачів світла.

На Рисунку 3.7 приведено запропонована структурну схему ПВП пристрою виконана на основі фотодіода «Hamamatsu» S7686

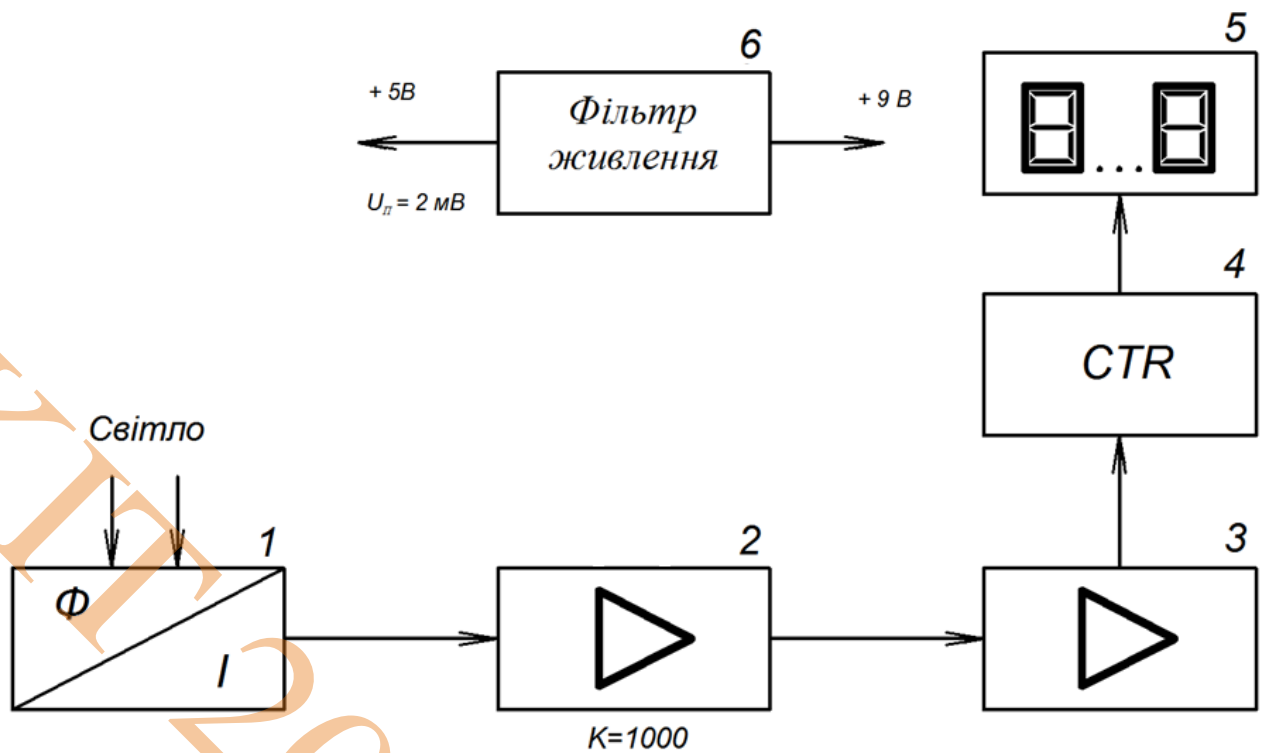


Рисунок 3.7 Структурна схема пристрою.

Схема складається з наступних елементів:

1 - Фотодіод; 2 – Чотирьохпозиційний перемикач; 3 – Перший каскад підсилення зі змінними фіксованими коефіцієнтами підсилення; 4 – Другий каскад підсилення з регульованим коефіцієнтом підсилення для калібровки приладу; 5 – Мікроконтролер; 6 – дисплей; 7 – Батарея живлення.

Перевагами запропонованої схеми є: використання фотодіоду з високим коефіцієнтом чутливості, що дозволяє використовувати відносно довгу лінію електричного зв'язку з електричною схемою пристрою. Застосування мікроконтролера у схемі значно розширює функціональні можливості пристрою та дозволяє використовувати його як складову частину складної та розгалуженої системи збору інформації про сонячну активність.

3.2.2 Розробка принципової електричної схеми пристрою

На основі запропонованої структурної схеми Рисунок3.7, розроблено електричну принципову схему Рисунок3.8 для проектного пристрою.

Різниця напруги на входах диференціального підсилювача завжди близька до нуля, тому фотодіод працює в режимі короткого замикання. При цьому вхідний струм підсилювача має дуже малу величину, що визначається великим вхідним опором, а струм через резистор зворотного зв'язку дорівнює значенню струму фотодіода, але протилежного у напрямку.

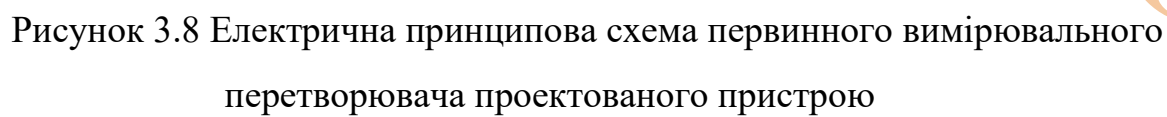
Вихідна напруга каскаду $U_{\text{вих}}$ в такому випадку буде визначатися як $U_{\text{вих}} = R \cdot I_{\text{ф}}$, де R - опір резистора в ланцюзі зворотного зв'язку, а $I_{\text{ф}}$ - фотострум, створюваний фотодіодом.

З урахуванням коефіцієнта посилення другого ступеня, регульованого від 1 до 11, чотири резистори з можливістю перемикання в ланцюзі зворотного зв'язку першого ступеня дозволяють успішно перекрити межі 50, 500, 5000 та 20000 люкс. при вихідній напрузі 5 В. Очевидно, що ці значення можуть бути перевизначені користувачем шляхом зміни або номіналів резисторів, або коефіцієнта посилення другого каскаду.

Також зауважимо, що при рівні освітлення вище 20 000 люкс лінійність люкс-амперної характеристики обраного фотодіода S7686 не гарантується виробником. Очевидно, що з даного рівня освітленості починається стан насиченості фотодіода. Тому для вимірювання освітленості вище 20 000 люкс рекомендується використовувати сірий світлофільтр заданої густини та відповідним чином коректувати вихідні значення освітленості.

Обрана схема може живитися від звичайної гальванічної батареї з напругою 9 В.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58



Обраний мікроконтролер добре узгоджується з обраним дисплеєм та обраним операційним підсилювачем та створю просту та надійну, дешеву схему первинного вимірювального перетворювача з широкими функціональними можливостями.

3.2.3 Базові розрахунки по принциповій електричній схемі

Опис мікросхеми LM358 на основі якої побудовано підсилювач для пристрою:

Цей пристрій представляє собою здвоєний операційний підсилювач з двома незалежними каналами, високим коефіцієнтом посилення та широким робочим частотним діапазоном. Живлення може здійснюватися однополярним джерелом від 3 до 32 В. Струм стоку не залежить від величини напруги живлення.

Характеристики:

- Широкий діапазон живлення:

однополярне живлення ... 3 В до 32 В

(26 В для LM2904);

або двополярне. . . 1,5 В до 16 В

(13 В для LM2904);

- низьке споживання струму, незалежно від напруги живлення,. . . 0,7 мА;

- малий зсув вхідного зміщення:

- Вхідна напруга зсуву ... 3 мВ

- Вхідний струм зсуву ... 2 нА

- Вхідний струм зсуву. . . 20 нА

Версії. . . НС 15 нА

- Диференціальний діапазон одно полярної вхідної напруги

Максимальна номінальна напруга живлення 32 В ...

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(26 В для LM2904)

- Посилення. . . 100 В / мВ
- Внутрішня компенсація частоти

Позначення виводів:

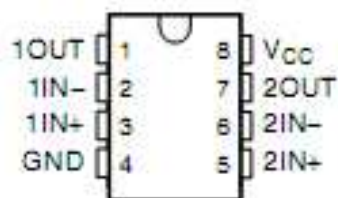


Рисунок3.9 Схема позначення виводів мікросхеми [11]

Внутрішня будова:

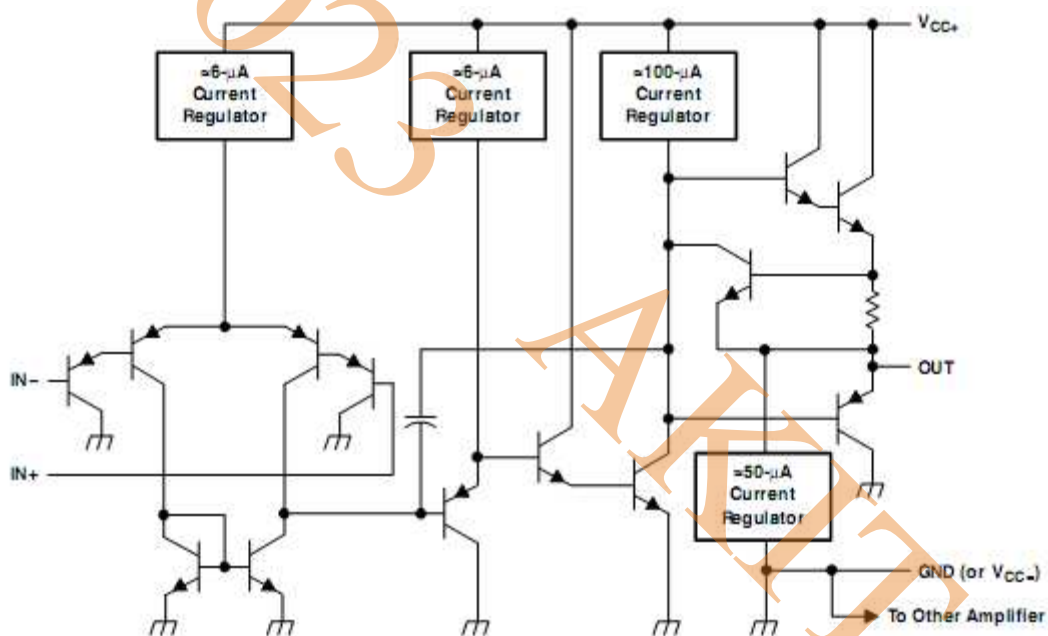


Рисунок3.10 Схема внутрішньої будови мікросхеми

Розрахунок коефіцієнта підсилення ПВП пристрою:

У даній схемі ПВП реалізовано два каскади підсилення на мікросхемі LM358 (див Рисунок3.8). Розрахуємо коефіцієнти підсилення даних каскадів:

1) Перший каскад підсилення представляє собою класичний інвертуючий підсилювач:

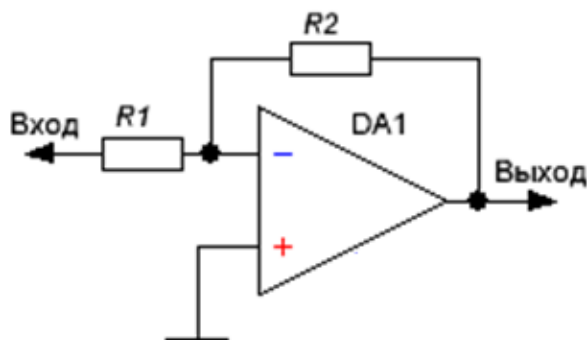


Рисунок 3.11 Схема інвертуючого підсилювача

Коефіцієнт підсилення якого визначається за формулою $K = R_2 / R_1$. Де у нашому випадку R_1 – це внутрішній опір фотодіода S7686, що рівний 1кОм. Враховуючи зміну опорів R_2 по фіксованим значенням у межах 820 Ом – 820 кОм. Коефіцієнт підсилення першого каскаду підсилення K змінюватиметься у межах $0,82 \div 820$.

2) Другий каскад підсилення представляє собою класичний неінвертуючий підсилювач:

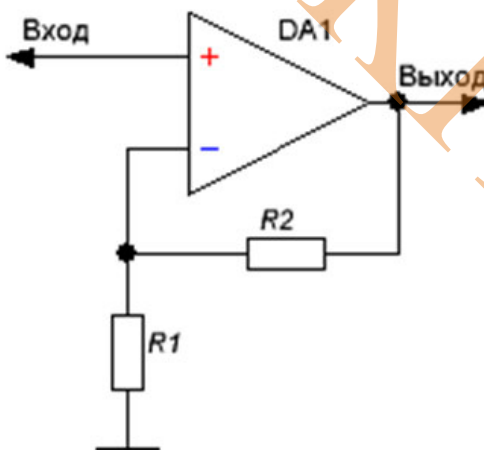


Рисунок 3.12 Схема не інвертуючого підсилювача

Коефіцієнт підсилення якого визначається за формулою $K = 1 + (R_2 / R_1)$. Де у нашому випадку R_1 – це постійний резистор з опором, що рівний 10 кОм. Враховуючи, що опір змінного резистора R_2 може змінюватися у межах 10 Ом – 100 кОм. Коефіцієнт підсилення першого каскаду підсилення K змінюватиметься у межах $1 \div 11$.

3.3 Розрахунок по проектуванню друкованої плати

Вихідними документами є ТЗ, принципова електрична схема вузла проектування та перелік документів до неї.

Доцільно використати для плати друкованої фольгований матеріал на основі склотекстоліту – Сф-1-35Г-1,5 (ГОСТ 10316-78).

Розміщення елементів конструкції ДП регламентується умовною координатною сіткою з двох взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній, розміщених на однаковій відстані одна від одної. Ця відстань називається кроком координатної сітки [12].

Крок координатної сітки вибираємо рівним 0,625 мм.

Розрахунок площі монтажно́ї зони S_m для високої густини монтажу виконуємо за формулою (3.2):

$$S_m = 4S_{mg} + 3S_{cg} + 1,5S_{kg} \quad (3.2)$$

де S_{mg} , S_{cg} , S_{kg} - відповідно сумарні установчі площі малогабаритних (всі мініатюрні елементи), середньо габаритних (МС у прямокутних корпусах, постійні опори вище 0,5 Вт, конденсатори у круглих корпусах і т. д.) та крупно габаритних (трансформатор, напівпровідникові прилади на радіаторах і т.д.).

Під установчою площею EPE розуміють площу прямокутника (квадрата), у яку вписується EPE разом з виводом та контактними площинками при його установці на плати друкованої.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно вимог, наведених в технічному завданні на проектування, відповідно до ГОСТ 23751-86, розрахунок отворів та розмірів контактних площинок виконаємо для плати друкованої третього класу точності. Це доцільно, оскільки плати даного класу є найбільш простими у виготовленні, надійними та мають невисоку вартість.

Результати розрахунків установчих площ ЕРЕ наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Розрахункова таблиця установчих площ під РЕА

Категорія установчих площ	Елементи та їх тип	Варіант установки за ГОСТ 4.010.030-81	Установча площа одного елемента, мм ²	Кількість, шт.	Установча площа однотипних елементів, мм ²
S _{мг}	Резистори R-2512	IV	0,5	5	102,5
	Резистор PVF-2	IV	4,4	2	8,8
Всього					111,3
S _{сг}	Мікросхема LM358	VI6	15,7	1	15,7
	Мікросхема LM7805	VI6	44,5	1	44,5
	Конденсатор B41121	Ia	27,5	1	27,5
	Конденсатор	IV	0,5	1	20,5
	Перемикач LJY	VI6	181,9	1	181,9
	Вимикач MC.12511.00	VI6	49	1	49
	Мікроконтролер ATMEGA8L	VI6	81	1	81
	Індикатор MT-10S1	Ia	64	1	65
	Індикатор FYQ-4042AX	Ia	25	1	25
Всього					510,1

Площа монтажно́ї зони згідно (3.2):

$$S_M = 4 S_{\text{мг}} + 3 S_{\text{сг}} = 4 \cdot 111,3 + 3 \cdot 510,1 = 1975,5 \text{ мм}^2$$

Лінійні розміри друкованої плати (ДП) складають 40x50 мм², що відповідає вимогам, наведеним у технічному завданні на проектування.

Для визначення розмірів отворів плати друкованої під виводи елементів необхідно знайти еквівалентні діаметри $d_{\text{екв}}$ виводів з прямокутним перерізом.

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3.3)$$

де a і b – сторони прямокутника.

Враховуючи допуски на розміри ЕРЕ, необхідність вільного проходження виводів у монтажних отворах, діаметри отворів повинні бути на 0,2÷0,3 мм більшими від розрахованих. Згідно ОСТ 4.010.010–78 рекомендується також обмеження номенклатури діаметрів отворів – 0,8; 1,2; 1,5 мм, що підвищує технологічність монтажних процесів.

Кріплення плати друкованої передбачається під гвинт 1М3, а діаметр отвору до них – $d=3,2h14$.

Для покращення пайки передбачається поверхню провідного рисунку, контактних площадок покрити сплавом Розе ТУ 6-09-4065-88.

Розрахунок мінімального діаметра контактної площадки D навколо монтажного отвору проведемо за формулою (ГОСТ 23751–75) [13]:

$$D = (d + \Delta d_{\text{в.в}}) + 2b + \Delta t_{\text{в.в}} + 2\Delta d_{\text{тр}} + (T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{н.в}}^2), \quad (3.4)$$

де d – номінальне значення діаметру монтажного отвору;

$\Delta d_{\text{в.в}}$ – верхнє граничне відхилення діаметра отвору;

b – гарантійний поясок на зовнішньому шарі;

$\Delta t_{\text{в.в}}$ – верхнє граничне відхилення діаметра контактної площадки;

$\Delta d_{\text{тр}}$ – значення підтравлювання діелектрика в отворі, яке в даному випадку рівне нулю (так як плата одношарова);

T_d – значення позиційних допусків розташування осей отворів;

T_D – значення позиційних допусків розташування центрів контактних площадок;

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Delta t_{н.в}$ – нижнє граничне відхилення діаметра контактної площинки.

Для плати друкованої третього класу точності з покриттям [ГОСТ 23751-86]:

$\Delta d_{в.в} = 0,05$ мм (для отворів діаметром до 1 мм);

$\Delta d_{в.в} = 0,10$ мм (для отворів, діаметром більше 1 мм);

$\Delta t_{н.в} = 0,10$ мм; $b = 0,10$ мм; $\Delta t_{в.в} = 0,10$ мм; $T_d = 0,03$ мм;

$T_D = 0,15$ мм;

Для отворів $d = 1,2$ мм мінімальний діаметр контактної площинки рівний:

$$D_{1,2} = (1,2 + 0,10) + 2 \cdot 0,2 + 0,15 + (0,15^2 + 0,25^2 + 0,10^2) = 1,75 \text{ мм.}$$

Для отвору $d = 1,5$ мм:

$$D_{1,5} = (1,5 + 0,10) + 2 \cdot 0,2 + 0,10 + (0,15^2 + 0,25^2 + 0,10^2) = 2,4 \text{ мм.}$$

Мінімальне значення номінальної ширини провідників для плати друкованої 3 класу точності $t = 0,25$ мм, а допуск на ширину провідників Δt з покриттям $\Delta t = \begin{smallmatrix} +0,15 \\ -0,10 \end{smallmatrix}$ мм.

Порівняно з традиційними платами, плати для поверхневого монтажу мають підвищену щільність розміщення електронних елементів, менші відстані між струмопровідними елементами та площинами контактів. При проектуванні прагнуть як мінімізувати топологію, розміри посадочних місць та його розміщення, а й зменшити кількість рівнів металізації друкованої плати і кількість перехідних отворів, які відіграють роль міжрівневих переходів. Крок між контактними площинами повинен бути мінімальним, але достатнім для запобігання їх замиканню при дозованій пайці. Надмірне зменшення контактних поверхонь може призвести до зниження надійності. Також важливо забезпечити однакову форму та розмір контактних поверхонь для кріплення кожного з елементів. Недотримання цієї умови може призвести до зміщення або навіть підйому компонентів.

Контактні площинки під чіп-компоненти, сполучені між собою, слід проектувати окремо, з'єднуючи їх вузькою комутаційною доріжкою. Це

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

дозволяє запобігти появі ефекту стягання елементів при оплавленні паяльної пасти.

Розміри контактних площинок для монтажу пасивних елементів з прямокутною формою корпусу визначимо за формулами:

$$x = W_{\max} - k \quad (3.5)$$

$$y = H_{\max} + T_{\max} + k \quad (3.6)$$

$$A = L_{\max} - 2T_{\max} - k, \quad (3.7)$$

де x, y – ширина і довжина площинки відповідно;

A – відстань між площинками

W – ширина компонента;

H – висота компонента;

L – довжина компонента;

T – ширина зони паяння (контактної області);

k – константа (0,25 мм).

Для товсто плівкових резисторів з типорозміром 2512 знаходимо:

$$x = 3,20 + 0,25 = 1,45 \text{ (мм)};$$

$$y = 0,5 + 0,25 = 0,75 \text{ (мм)};$$

$$A = 6,35 - 2 \cdot 0,5 - 0,25 = 5,1 \text{ (мм)}.$$

Для електролітичних конденсаторів типу В41121 розміри контактних площинок будуть наступними:

$$x = 3,0 + 0,25 = 3,25 \text{ (мм)};$$

$$y = 1,6 + 0,25 = 1,85 \text{ (мм)};$$

$$A = 8,15 - 2 \cdot 3,25 - 0,25 = 1,4 \text{ (мм)}.$$

Для підстроювального резистора типу PVF-2 розміри контактних площинок будуть наступними:

$$x = 0,7 + 0,25 = 0,95 \text{ (мм)};$$

$$y = 0,5 + 0,25 = 0,75 \text{ (мм)};$$

$$A = 2,15 - 2 \cdot 0,7 - 0,25 = 0,5 \text{ (мм)}.$$

Для мікросхеми типу LM358 розміри контактних площінок будуть наступними:

$$x = 0,7 + 0,25 = 0,95 \text{ (мм)};$$

$$y = 0,38 + 0,25 = 0,63 \text{ (мм)};$$

$$A = 1,03 - 2 \cdot 0,25 - 0,25 = 0,28 \text{ (мм)}.$$

Для перемикача типу SWD 4-4 розміри контактних площінок будуть наступними:

$$x = 2,88 + 0,25 = 3,13 \text{ (мм)};$$

$$y = 0,5 + 0,25 = 0,75 \text{ (мм)};$$

$$A = 3,29 - 2 \cdot 0,5 - 0,25 = 2,04 \text{ (мм)}.$$

Для мікроконтролера розміри контактних площінок будуть наступними:

$$x = 0,45 + 0,25 = 0,70 \text{ (мм)};$$

$$y = 0,45 + 0,25 = 0,70 \text{ (мм)};$$

$$A = 2,0 - 2 \cdot 0,7 - 0,25 = 0,35 \text{ (мм)}.$$

Враховуючи особливості розміщення виводів на обраному мікроконтролері було вибрано крок координатної сітки 0,8 мм.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСУ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИБОРУ

4.1 Корпус сенсора пристрою

Проаналізувавши аналоги проектного пристрою та особливості конструювання їх корпусів, було прийнято рішення виконати конструювання сенсора первинного вимірювального перетворювача проектного пристрою в окремому корпусі з додатковим захистом від вологи та спеціальним світлофільтром.

Для збереження цілісності вимірювального сенсора та забезпечення зручності його використання та відповідно полегшення користування приладом було розроблено захисний кожух для використовуваного сенсора, що зображено на рис. 4.1. Дана конструкція дозволяє розмістити сенсор пристрою на певній відстані від основного модулю без потреби додаткового вологозахисту для основного модуля пристрою.

Це також дозволяє легко та швидко замінити сенсор пристрою без необхідності демонтувати увесь прилад та проводити додаткові роботи. Цим самим було забезпечено зменшення впливу на електронні вузли пристрою та підвищено їх захист. Все навантаження від погодних умов та можливого механічного пошкодження несе на собі корпус сенсора пристрою та чутливий елемент, які є незначною частиною вартості усього пристрою.

А мініатюрний корпус сенсора доволі легко розмістити у зручному та відносно безпечному місці із забезпеченням його достатнього освітлення.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

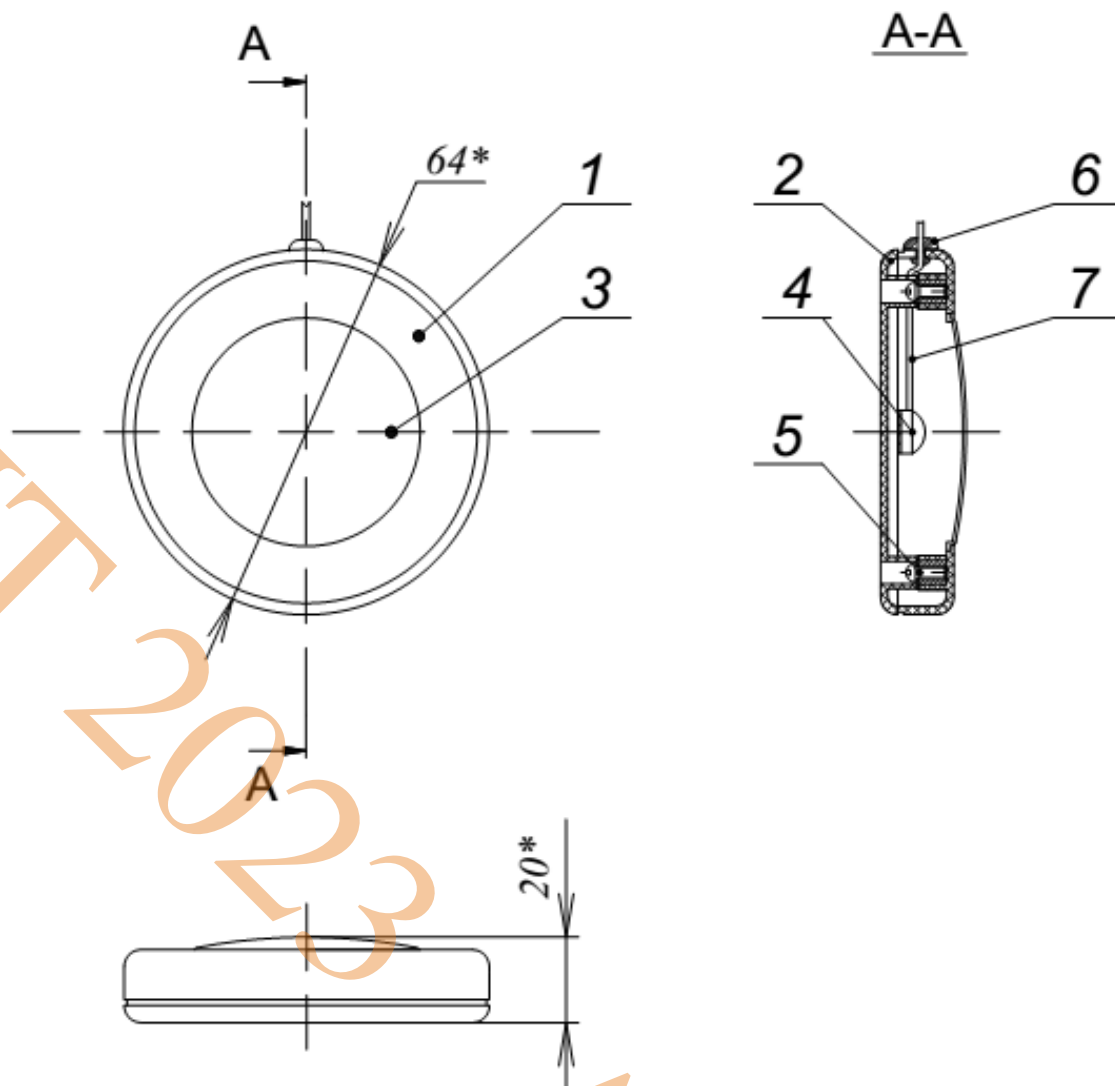


Рис. 4.1 Схема конструкції корпусу для сенсора проектного приладу

На рис.4.1: 1 - кришка; 2 - основа; 3 - напівпрозоре вікно; 4 - сенсор І.Ч. випромінювання; 5 - гвинти для кріплення корпусу; 6 - гумовий ущільнювач; 7 - електричний провід.

Даний корпус виготовлено у формі таблетки з міцного пластику та додатковою ізоляційною гумовою прокладкою для герметичності. Він складається з наступних частин: основи 2 на якій закріплено сенсор; верхньої кришки 1 з захисним прозорим вікном 3, що пропускає видиме та і.ч. випромінювання; електричного двожильного з'єднувального кабелю 7, що проходить через гумовий ущільнювач 6 для захисту корпусу від проникнення у нього бруду пилу та вологи; та двох гвинтів 5.

Застосовування чутливого електронного підсилювача сигналу фотоприймача, первинного вимірювального перетворювача дозволяє розмістити сенсор для збору даних на відстані від основного пристрою. Провідна лінія зв'язку може створювати певні труднощі при розміщенні. Проте так як пристрій заплановано використовувати тривалий час для збору статистичних даних та накопичення усередненої інформації, це стає виправданим. Присутність автономного живлення передбачає регулярну заміну або підзарядку елементів живлення, що при тривалій роботі пристрою для збору статистичних даних може створювати додаткові труднощі.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі запропоновано та розроблено портативний пристрій для моніторингу сонячної активності на основі світлочутливого фотодіода, який може бути використано для збору інформації про сонячну активність у заданій локації для оцінки перспективи встановлення сонячної електростанції та теплового колектора. Пристрій призначений для вимірювання рівня інтенсивності сонячного випромінювання.

У ході виконання роботи було проведено детальний аналіз сучасних пристроїв для моніторингу сонячної активності в різних умовах та ситуаціях. Проаналізовано основні параметри та особливості конструкції таких пристроїв.

Здійснено вибір оптимального джерела випромінювання для проектного пристрою та розроблено модуль первинного вимірювального перетворювача для проектного пристрою.

Також у роботі запропоновано конструкцію корпусу для проектного пристрою, що є найбільш зручним для розміщення та використання в польових умовах. У проектуванні пристрою особлива увага зверталася на: простоту конструкції, надійність, дешевизну компонентів та можливості застосування пристрою у різних сценаріях та різних умовах роботи.

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу «Проектування промислового освітлення» для студентів спеціальності 8.05070105 «Світлотехніка і джерела світла» / укл. : Л. М. Костик. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. - 30 с.

2. www.electrovymir.com

3. www.ecount.com.ua

4. Vishay Datasheet for BPW34

5. Datasheet "LASER COMPONENTS" UV - Photodetector

6. «Hamamatsu» Datasheet for S7686

7. Tobey G., Graeme J., Huelsman L. Operational Amplifiers — Design and Applications, McGrawHill, 1971.

8. www.linear.com

9. LM358 datasheet Texas Instruments

10. ATmega8(L) datasheet

11. Конструювання друкованих плат. Методичні вказівки до виконання конструкторських розрахунків курсового проекту „Проектування радіоелектронної апаратури”. – Ужгород, УжНУ, 2003, 40с.

12. www.hammondmfg.com/1455B1202

13. www.tekoenclosures.com/en/products

14. www.tekoenclosures.com/en/products/product-group/PO/serie/66

15. www.camdenboss.com/enclosures/handheld-enclosures/ir-pocket-cases

16. www.okw.com/OPD-WebSite/ST3720/Datec-Mobil-Box

					КМР.АКІТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АКТ 2023

ДОДАТКИ

					КМР.АКТ.10550275.01.000 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		