

ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ ЮРІЙ

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

<https://orcid.org/0000-0002-1248-3615>e-mail: y.dobrovolsky@chnu.edu.ua**ЛІПКА ВОЛОДИМИР**

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

Акціонерне товариство «Центральне конструкторське бюро «Ритм»

<https://orcid.org/0000-0002-5899-6213>e-mail: lipka.volodymyr@chnu.edu.ua**АЛГОРИТМ ПРОТИДІЇ ФОНОВОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ ПІДВИЩЕНОЇ НАДІЙНОСТІ
ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ, СТВОРЮВАНОВОГО
БАКТЕРИЦИДНИМ ОПРОМІНЮВАЧЕМ**

У роботі представлено результати розробки цифрової схеми обробки фотосигналу на основі автоматичного регулювання підсилення та надійного алгоритму вимірювання слабого оптичного сигналу з енергетичною освітленістю на рівні $0,1 \text{ мкВт/см}^2$ на довжині хвилі 254 нм , в умовах фонового освітлення фотодіоду сонячним випромінюванням за допомогою відбору лише тієї частки фотоструму, яка генерована за проміжок часу, встановлений відповідним програмним забезпеченням. Показано, що схема забезпечує вимірювання енергетичної освітленості від $0,1 \text{ мкВт/см}^2$ при освітленості до 20000 лк , що дозволяє вважати, що запропонована схема є сонячно сліпою, як того вимагають норми вимірювання згаданого випромінювання у медичних закладах. Проведено дослідження надійності роботи схеми та програмного забезпечення, що її підтримує, випробуваннями на безвідмовність. Загальні коливання каліброваного значення енергетичної освітленості протягом 500 годин напрацювання, змінюються від 295 до 310 мкВт/см^2 , що не перевищує $5,1 \%$. Ймовірність безвідмовної роботи програмного забезпечення за вісім годин напрацювання склав 94% .

Ключові слова. Алгоритм, фонове випромінювання, надійність ПЗ, телекомунікації, час зростання, 254 нм , безвідмовність.

DOBROVOLSKY YURY

Chernivtsi National University name Yuriy Fedkovych

LIPKA VOLODYMYR

Chernivtsi National University name Yuriy Fedkovych,

Joint-stock company "Central design bureau "Rythm"

**HIGH RELIABILITY ANTI-BACKGROUND ILLUMINATION ALGORITHM FOR MEASURING ENERGY
ILLUMINATION PRODUCED BY A BACTERICIDAL IRRADIATOR**

A significant problem when measuring a useful information signal transmitted by means of optical radiation by telecommunication systems in natural conditions is background lighting. It creates optical interference that distorts the useful optical informative signal transmitted and significantly reduces the reliability of such a telecommunication system. Therefore, counteracting background interference caused, in particular, by solar radiation, is an urgent task both for telecommunication systems and for software engineering, with the help of which it is also possible to counteract optical interference. At the same time, both the hardware part of the device and the software must have a certain level of reliability. In particular, this problem is relevant when measuring the intensity of ultraviolet radiation with a wavelength of 254 nm , which is created by bactericidal lamps in medical institutions.

To solve the above-mentioned problem, an analysis of existing methods of countering background radiation when measuring the intensity of UV radiation was carried out. It is shown that the best of the existing methods is the use of a photo signal processing scheme based on automatic gain adjustment and the use of appropriate light filters. A reliable algorithm for measuring a weak optical signal at the level of 0.1 μW/cm^2 at a wavelength of 254 nm , in the conditions of background illumination of the photodiode by solar radiation, is proposed by selecting only that fraction of the photocurrent that is generated during the time interval set by the appropriate software.

The operation of the proposed algorithm, implemented with the help of an appropriate electrical circuit and specialized reliable software, was studied. It is shown that the scheme provides measurement of energy illuminance from $0,1 \text{ μW/cm}^2$ at illuminance up to $20,000 \text{ lux}$, which allows us to consider that the proposed scheme is sun-blind.

The reliability of the circuit and the software that supports it was investigated by fail-safe tests. The general fluctuations of the calibrated value of energy illumination during 500 hours of operation vary from 295 to 310 μW/cm^2 , which does not exceed 5.1% . The probability of error-free operation of the software for eight hours of operation was 94% .

Keywords: Algorithm, background radiation, software reliability, telecommunications, rise time, 254 nm , fail-safe.

Постановка проблеми

Фонове освітлення є суттєвою проблемою при вимірюванні корисного інформаційного сигналу, що передається за допомогою оптичного випромінювання системами телекомунікації у природних умовах. А саме – в умовах сонячного опромінювання фотоприймача. Таке освітлення створює оптичні завади, що спотворюють корисний оптичний сигнал і, як результат, до спотворення інформації, що передається. Наприклад, вимірювання випромінювання бактерицидної лампи, що генерує до 90% енергії на довжині хвилі 254 нм у медичному закладі, здійснюється в присутності сонячних променів, які потрапляють на фотоприймальну поверхню фотоприймача разом із випромінюванням із довжиною хвилі 254 нм . При цьому відбувається вимірювання не тільки інтенсивності випромінювання бактерицидної лампи, а і сонячного випромінювання. При чому, чим менше інтенсивності бактерицидного випромінювання, тим більше вплив

на результуючий сигнал сонячного випромінювання. Отже, маємо недостовірні вимірювання. Таким чином, протидія фоновим завадам, спричиненим, зокрема сонячним випромінюванням, є актуальним завданням для поліпшення систем телекомунікації, що працюють в таких умовах.

Згідно існуючим вимогам [1], засіб вимірювання повинен забезпечити вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання на рівні $0,4 \text{ мкВт/см}^2$ на довжині хвилі 245 нм . Для вимірювання такої величини з заданою похибкою, засіб вимірювання має фіксувати ще меншу величину, а саме $0,1 \text{ мкВт/см}^2$. Тому однієї з основних вимог до засобу вимірювання є його «сонячна сліпота» - т.т. стійкість до оптичних завад, спричинених сонячним випромінюванням.

Аналіз останніх джерел

Загальна практика застосування фотоприймачів в умовах фонові освітленості показує, що існує загалом три основні способи протидії фоновому випромінюванню. Перше, це створення завадостійких фотоприймачів [2]. Друге - за допомогою оптичних систем [3] і за допомогою схемо-технічних рішень, до складу яких входять методи програмної інженерії [4].

Розглянемо кожен спосіб окремо.

Створення завадо стійких фотоприймачів є, з одного боку, не складним завданням. Достатньо обрати напівпровідниковий матеріал потрібної ширини забороненої зони. Чим вона більше, тим більше довгохвильова границя фотоприймача зсувається у бік коротких довжин хвиль [5]. Наприклад, у фосфіду галію край поглинання довгохвильового випромінювання знаходиться на довжині хвилі близько 450 нм [6]. Але, за рахунок домішкової провідності [5] фосфід галію має незначну чутливість на довжині хвилі близько 600 та 900 нм . У відносних одиницях ця чутливість менше $0,1 \%$ максимальної чутливості фотоприймача у максимумі спектральної чутливості ($\approx 400 \text{ нм}$). Але, при освітленні його сонячним світлом з освітленістю біля 10000 лк ці вікна чутливості згенерують фотострум набагато більший, ніж робоча довжина хвилі 254 нм . Таку особливість - домішкову провідність, мають усі напівпровідникових матеріалів. Тому, навіть обираючи матеріал із відповідною забороненою зоною, для протидії фоновому освітленню необхідно застосовувати додатково оптичний світлофільтр, який би пропускав лише робочу довжину хвилі. Власне, потрібно застосовувати другий спосіб з вище перелічених трьох.

Схемно-технічні рішення можуть сприяти фільтрації корисного сигналу від фонових оптичних завад. Для цього є схеми, що забезпечують зменшення шуму фотоприймача, маючи на увазі, що шум зумовлений фоновим випромінюванням. Так у [7] для мінімізації шуму використовується схема керування вихідним струмом фотоприймача, яка має зворотній зв'язок із вхідним сигналом. Ще одне рішення [8] за допомогою вбудованих компараторів та логічної схеми поза приймачем отримують сигнал із частотою, пропорційною рівню фонового світла.

Описані вище схемні рішення, називають загалом схемами автоматичного регулювання підсилення (АРП) [9]. Такі схемні рішення використовуються у медичній техніці [10, 11], системах зв'язку [12, 13]. Особливість АРП полягає у регулюванні коефіцієнту підсилення вихідного фотосигналу, що дозволяє регулювати як динамічний діапазон фотоприймача, так і фіксувати корисний сигнал із певною частотою, яка пропорційна рівню оптичного сигналу [14]. Зокрема у [15] показало, що для застосування фотодіоду у схемі АРП потрібно враховувати як його динамічний діапазон та і частотні характеристики попереднього підсилювача. Ці характеристики потрібно звести до значень, при яких фонове випромінювання можна вивести за межі робочої частоти.

Також слід зазначити, що для збільшення точності вимірювання та підвищення надійності роботи такої схеми, ватро автоматизувати процес вимірювання за допомогою мікроконтролера з відповідним програмним забезпеченням, як це реалізовано у [16–19].

Раніше нами було запропоновано протидіяти фоновому освітленню від джерела типу А (еквівалент Сонця), яке створювало освітленість у 20000 лк , за допомогою АРП [20]. Це дозволило забезпечити вимірювання енергетичної освітленості починаючи від $0,4 \text{ мкВт/см}^2$. Але досягти вимірювання величини інтенсивності у $0,1 \text{ мкВт/см}^2$ не вдалося.

Метою роботи є забезпечення вимірювання слабого оптичного сигналу на рівні $0,1 \text{ мкВт/см}^2$ на довжині хвилі 254 нм , що створюється бактерицидною лампою для знезараження приміщення, в умовах фонового освітлення фотоприймача сонячним випромінюванням.

Для досягнення мети роботи потрібно виконати наступні завдання.

1. Провести аналіз існуючих способів протидії фоновому випромінюванню.
2. Розробити електричну схему для фільтрації фотоструму, генерованого фоновим випромінюванням.
3. Розробити програмне забезпечення для автоматизації процесу вимірювання.
4. Дослідити роботу запропонованої схеми.
5. Дослідити надійність роботи схеми та програмного забезпечення за допомогою випробувань на безвідмовність.

Виклад основного матеріалу

Розробка електричної схеми для фільтрації фотоструму, генерованого фоновим випромінюванням.

Відомо [5], що опричне випромінювання поглинається у напівпровідникових матеріалах на різній глибини. При цьому, більш короткохвильове випромінювання поглинається на меншій глибині, у при поверхневому шарі напівпровідника, а більш довгохвильове – на більшій глибині. Відповідно,

короткохвильове випромінювання генерує неосновні носії заряду, що дають свій внесок у фотострум, з при поверхневого шару, а більш довгохвильове – з більш глибокого шару.

Також відомо, що фотострум має певний час зростання, т.т. час, за який усі згенеровані опромінюванням носії заряду потраплять до р-п переходу і дадуть фотострум у зовнішньому колі. І цей час визначається тим, як глибоко проникає промінь світла у об'єм напівпровідника. Це можна проілюструвати на рисунку 1, де I_{ϕ} – фотострум, генерований оптичним випромінюванням, h – глибина у мкм, на поглинається це оптичне випромінювання (в залежності від певної довжини хвилі). τ – час зростання у мс, за який носії заряду, генеровані оптичним випромінюванням певної довжини хвилі, добігають до р-п переходу і створюють фотострум I_{ϕ} .

Згідно запропонованої моделі, як видно на рисунку 1, більш довгохвильове випромінювання поглинається на більшій глибині у об'ємі фотодіода. Тому фотострум, зумовлений ультрафіолетовим випромінюванням (УФ) створюється швидше за фотострум, зумовлений видимим випромінюванням (ВД) та інфрачервоним (ІЧ).

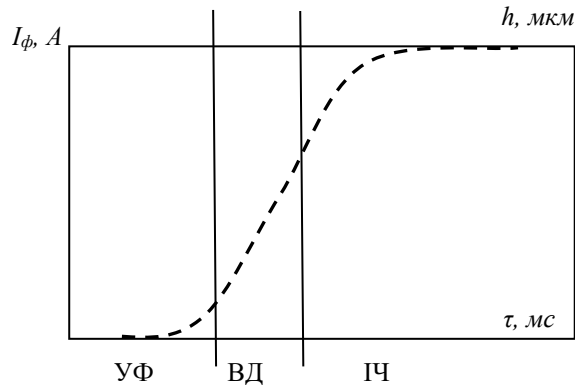


Рис. 1. Залежність фотоструму від глибини поглинання оптичного випромінювання та часу зростання

Для підтвердження вище сформульованого припущення, що базується на моделі, проілюстрованої на рисунку 1, було здійснено дослідження фотострумів, які генеруються саме УФ складовою опромінювання, що визначається за час зростання, за який промінь саме УФ світла поглинається у об'єм напівпровідника.

В якості тестового фотодіода обраний фотодіод на основі кремнію типу ФД-288 В, який є чутливим до оптичного випромінювання у діапазоні 200 - 1000 нм. Вимірювання здійснювалися згідно стандартної методики за ГОСТ 17772 [21].

Дослідження показало, що час зростання фотодіода при його опромінюванні УФ світлодіодом з довжиною хвилі 254 нм складає 622 нс. Як що цей самий фотодіод опромінювати світлодіодом з довжиною хвилі 365 нм, то його час зростання складає 625 нс. При збільшенні довжини опромінювання до 550 нм, його час зростання складає 630 нс. З цих вимірювань видно, що час зростання фотодіода, виміряний в однакових умовах, але на різних довжинах хвиль не однаковий. А саме, на довжині хвилі 254 нм він на 3 нс менший, ніж на довжині хвилі 365 нм, а на довжині хвилі 550 нм, а відрізняється ще на 5 нс. Загалом, різниця між часом зростання на 254 нм та на 550 нм складає 7 нс. Це означає, що більш довгохвильовому випромінюванню потрібно більше часу для проникнення на більшу глибину у напівпровідник, і, відповідно, більше часу на генерацію неосновних носіїв заряду, для генерації фотоструму. Ця різниця не є великою, лише 7 нс, що відповідає частоті приблизно 5 ГГц.

Похибка вимірювань складала не більше 5 %. На фоні похибки отримані значення різниці у часі зростання є незначними і ймовірнісними. Саме тому варто було перевірити вище отримані результати за допомогою експерименту у складі вимірювального приладу.

Сучасна цифрова техніка спроможна працювати з таким значеннями часу за допомогою відповідного програмного забезпечення, яке дозволяє фіксувати фотострум лише у період перших 625 нс, який зумовлений оптичним випромінюванням з довжиною хвилі 365 нм. Після цього часу схема обробки фотосигналу має ігнорувати фотострум, який далі генерується.

Також було проведено дослідження впливу оптичного фільтра на фотосигнал, генерований фотодіодом на основі AlGaIn, описаний у [20]. В якості джерела випромінювання використовувалась бактерицидна лампа типу UV-BLAZE - 15 W STANDARD OS [22] з робочою довжиною хвилі 254 нм. Датчик розташований на відстані від джерела 1 метр, як рекомендовано у Наказі МОЗ № 882 [1]. Вимірювання здійснювались за допомогою перетворювача струм-напруга ППТН-2. Отже, вимірювання фотосигналу фотодіода від бактерицидної лампи на відстані 1 м без світлофільтра і без фонового освітлення сонячним світлом, показало значення фотоструму у $7 \cdot 10^{-7} A$. Вимірювання фотосигналу, згенерованого фотодіодом від бактерицидної лампи на відстані 1 м, без фонового освітлення сонячним світлом, зі світлофільтром показало $10^{-7} A$. Видно, що оптичний фільтр поглинає до 70 % випромінювання. Також проведено вимірювання фотосигналу фотодіода від фонового освітлення, генерованого сонячним світлом (освітленість датчика 1300 лк) без світлофільтра, яке показало, що фонові складові фотоструму не

перевищує $0,5 \cdot 10^{-9}$ А. А при освітлення датчика сонячним світлом з освітленістю 3000 лк фотодіод згенерував фотострум у $7 \cdot 10^{-8}$ А. Очевидно, що при подальшому збільшенні освітленості, зумовленої сонячним світлом, фоновий струм буде збільшуватись і суттєво впливати на результуючий фотосигнал.

Проведені дослідження показали, що впливу фонового оптичного випромінювання з довжиною хвилі більше ніж обрана довжина хвилі можна позбутися використовуючи попередньо виміряний час зростання фотодіоду на робочій довжині хвилі.

Для підвищення точності вимірювань варто врахувати спектральні характеристики Сонця, бактерицидної лампи та фотодіоду і визначити більш точно величину фотоструму, згенерованого на потрібній довжині хвилі. Це можна реалізувати за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, так само, як це реалізовано у [23].

Для перевірки висунутого припущення було розроблено схему обробки вхідного сигналу, генерованого фотодіодом ФД-288, що опромінюється, блок-схема якої наведена на рисунку 2.

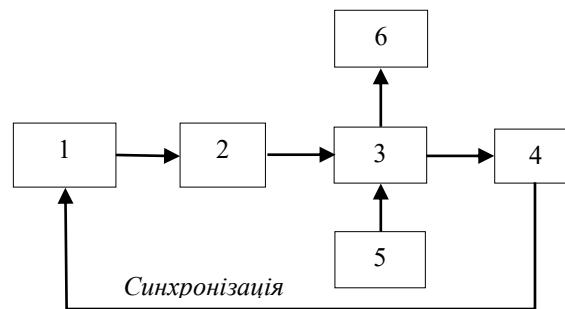


Рис. 2. Блок-схема обробки вхідного сигналу, генерованого фотодіодом ФД-288 згідно запропонованого метода

Фотострум, генерований оптичним випромінюванням, яке складається з робочої довжини хвилі 254 нм та фонові сонячної освітленості, потрапляє на фотодіод (1), який починає генерувати фотострум, який підсилюється перетворювачем струм-напруга (2). Мікроконтролер (3), відбирає лише ту частку фотоструму, яка згенерована за проміжок часу, встановлений програмно. В нашому випадку - 622 нс. Мікроконтролер (3), фотодіод (1) синхронізовані між собою за допомогою блока синхронізації (4). Керування процесом вимірювання здійснюється за допомогою блоку керування (5) з якого можна як керувати процесом вимірювання, так і вводити певні поправки у процес вимірювання. Виміряні дані виводяться на індикатор (6).

Оскільки, з одного боку, процес генерації фотоструму є неперервним під час вимірювання - т.т. різні довжини хвиль постійно генерують фотострум, а з другого боку, генерація фотоструму з певної глибини об'єму фотодіода завжди, за однакових умов, відбувається за однаковий час, процес вимірювань з відсіком часу може починатись улюбий момент вимірювань. Це означає, що при відкритому для випромінювання датчику процес вимірювання йде не постійно, як у звичайного приладу, а лише за певний проміжок часу. В нашому випадку - 622 нс.

Проведено дослідження макетного зразка вимірювальної схеми у складі УФ радіометра для перевірки по перше – сумісності схеми у складі загальної електричної схеми приладу, по друге – забезпечення вимірювання енергетичної освітленості у заданому діапазоні інтенсивностей на довжині хвилі 254 нм. За результатами дослідження встановлено наступне.

Створена схема обробки вхідного сигналу від фотодіоду адаптована до роботи з мікроконтролером STM32F373VCT6 (LQFP-100) [24], який і керує процесом відбору фотосигналу по часу. Саме на такому мікроконтролері збудований вимірювальний блок УФ-радіометра, в якому передбачається застосування розробленої схеми. Тому проблем із сумісністю нової схеми у складі загальної електричної схеми приладу не виявлено. Слід зауважити, що створена схема була інтегрована у фотопримальний пристрій, розроблений нами раніше [20].

Для дослідження питання забезпечення вимірювання енергетичної освітленості у заданому діапазоні інтенсивностей на довжині хвилі 254 нм були проведені відповідні вимірювання, які проводились без фонового освітлення у темній кімнаті (рівень освітленості не перевищував 10 лк). Вимірювання показали, що робочий діапазон вимірювань приладу складає від 0,01 до 2000 мкВт/см². При цьому надійні вимірювання, які забезпечують похибку $\pm 10\%$ з ймовірністю безвідмовної роботи 95 %, забезпечуються у діапазоні від 0,1 до 1700 мкВт/см². Роздільна здатність вимірів складала відповідно 0,01 мВт/см².

Як і у попередньому випадку [20], запропонована схема перевірялась на стійкість до фонового опромінювання. А саме, на ефективність її роботи при вимірюванні малих значень бактерицидного випромінювання на довжині хвилі 254 нм, при освітленні датчика (фотодіода) лампою розжарювання, яка створює оптичне випромінювання, аналогічне сонячному за кольоровою температурою. Джерелом бактерицидного УФ випромінювання слугував опромінювач типу UV-BLAZE 30W OS виробництва компанії UV-BLAZE [22].

На рисунку 3 наведено результати порівняльного дослідження стійкості фотопримального пристрою, описаного у [20] та його удосконаленої версії, описаної вище до фонового освітлення. Дані

наведено з урахуванням поступового збільшення освітленості, створюваної лампою розжарювання. На рисунку 3 E_E - енергетична освітленість, створена бактерицидною лампою. Вона вимірювалась в умовах фонові освітленості (E , лк), створюваної лампою розжарювання. 1 – стійкість до фонові освітленості ФПУ, описаного у [20], 2 - стійкість до фонові освітленості ФПУ, описаного вище. Освітленість вимірювалась за допомогою люксметра LX1010B (діапазон вимірювань 1-50000 Lx) [25]. Похибка вимірювання освітленості – 5 % згідно паспорту на люксметр.

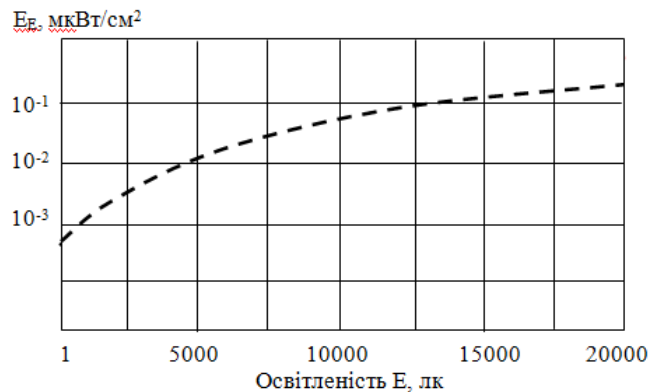


Рис. 3. Залежність чутливості приладу до фонові випромінювання (денного сонячного світла)

Зміст дослідження, результати якого представлено на рисунку 3, полягають у тому, щоби показати, чи здатна нова електрична схема приладу вимірювати фотострум від фотодіоду, генерований енергетичною освітленістю у $0,1 \text{ мВт/см}^2$ в умовах фонові освітлення фотодіоду джерелом типу А, до якого відносять сонячне світло, або його аналог – лампа розжарювання. Рівень освітленості при вимірюванні E_E змінювався від 1 до 20000 лк. Як видно з рисунку 3, схема забезпечує вимірювання енергетичної освітленості, створеної бактерицидною лампою на рівні 10^{-1} мВт/см^2 при освітленості до 20000 лк.

З рисунку 3 видно, що нова конструкція схеми обробки фотосигналу при вимірюванні критеріальної величини E_E не чутлива до оптичного випромінювання, створюваного джерелом типу А аж до освітленості 20000 лк.

У порівнянні із попередньою конструкцією ФПУ [20], яка забезпечувала вимірювання лише $3\text{-}4 \cdot 10^{-2} \text{ мВт/см}^2$ при освітленості до 20000 лк, новостворена схема обробки вхідного фотосигналу повністю забезпечує критерій, сформульований у [1]. А саме, що в умовах фонові освітлення прилад має вимірювати величину у $0,4 \text{ мВт/см}^2$ з роздільною здатністю $0,1 \text{ мВт/см}^2$.

Отриманий результат показує, що запропонована електрична схема, основана на відборі фотоструму, генерованого за певний час, що відповідає часу генерації носіїв заряду у фотодіоді, зумовлених УФ випромінюванням з довжиною хвилі 256 нм і менше, відповідає вимогам наказу МОЗ № 882. А саме - є стійким до фонові сонячного опромінювання, т.т. – сонячно сліпим.

Проведено випробування на надійність розробленої схеми. А саме – випробування на безвідмовність.

Випробування тривали протягом 500 годин напрацювання. Критерієм придатності була величина відхилення у часі величини каліброваного значення енергетичної освітленості, встановленої при калібруванні схеми. Це значення (E_c) при калібруванні складало 295 мВт/см^2 . Під час випробування схема була заживлена протягом усіх 500 годин напрацювання. Опромінення фотодіода УФ випромінюванням з довжиною хвилі 254 нм здійснювалося через кожні 125 годин напрацювання для вимірювання енергетичної освітленості. Постійне опромінення фотодіода жорстким УФ випромінюванням не рекомендується поставачальником фотодіодів, через високу ймовірність деградації структури матеріалу, з якого виготовлено фотодіод.

На рисунку 4 наведено динаміка каліброваного значення енергетичної освітленості E_c протягом 500 годин напрацювання.

Загальні коливання каліброваного значення енергетичної освітленості, як видно з рисунку 4, змінюються від 295 до 310 мВт/см^2 , що не перевищує 5,1 %. З вивчення аналогів – приладів для вимірювання енергетичної освітленості, що створюється бактерицидним УФ випромінюванням з довжиною хвилі 254 нм [26-30] відомо, що величина основної відносної похибки вимірювання таких приладів знаходиться у межах 5 - 10 %. Отже в нашому випадку маємо достатній рівень надійності схеми.

Перевірка надійності розробленого програмного забезпечення відбувалася згідно моделі Шумана. Оцінювалося значення початкової кількості помилок E_T при загальній кількості операторів не більше 10000. Оцінка показала, що початкова кількість помилок у програмі, що має керувати процесом відбору фотосигналу за часом, дорівнювала семи. Після усунення виявлених помилок, визначено функцію надійності, або ймовірність безвідмовної роботи програми $R(t)$ на інтервалі часу напрацювання від 0 до 8

годин, яка виявилася на рівні 0,9415. Інтервал у вісім годин обрано тому, що за звичай автономні вимірювальні системи загального застосування повинні працювати неперервно до 8 годин.

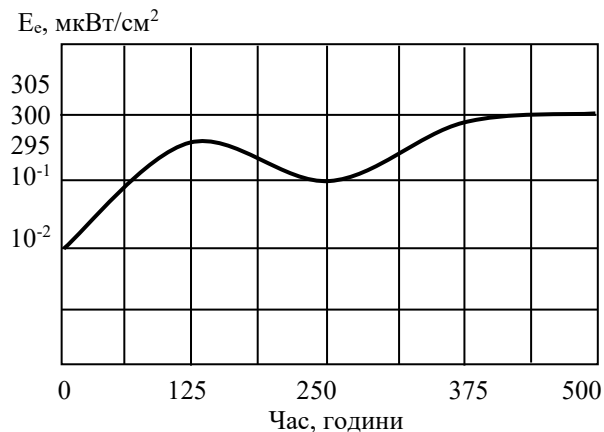


Рис. 4. Динаміка каліброваного значення енергетичної освітленості E_e протягом 500 годин напрацювання

Таким чином, видно, що після усунення виявлених помилок програмного забезпечення рівень його надійності, а саме – ймовірність безвідмовної роботи, за вісім годин напрацювання складає 94 %.

Подальші дослідження передбачають створення макетного зразка приладу для вимірювання випромінювання бактерицидних ламп, що випромінюють УФ випромінювання з довжиною хвилі 254 нм без додаткових вартісних оптичних фільтрів, та дослідження його характеристик.

Висновки

1. Проведено аналіз існуючих способів протидії фоновому випромінюванню при вимірюванні енергетичної освітленості УФ випромінювання. Показано, що найліпшим з існуючих способів є застосування схеми обробки фотосигналу на основі автоматичного регулювання підсилення та застосування відповідних світлофільтрів.

2. Запропонований надійний алгоритм вимірювання слабкого оптичного сигналу з енергетичною освітленістю на рівні 0,1 мкВт/см² на довжині хвилі 254 нм, в умовах фонового освітлення фотодіоду сонячним випромінюванням за допомогою відбору лише тієї частки фотоструму, яка згенерована за проміжок часу, встановлений відповідним програмним забезпеченням.

2. Визначений часовий термін, за який слід проводити вимірювання. А саме, для фотодіоду типу ФД-288 це 622 нс.

3. Досліджено роботу запропонованого алгоритму, реалізованого за допомогою відповідної електричної схеми та спеціалізованого програмного забезпечення. Показано, що схема забезпечує вимірювання енергетичної освітленості від 10⁻¹ мкВт/см² при освітленості до 20000 лк, що дозволяє вважати, що запропонована схема є сонячно сліпою.

4. Дослідити надійність роботи схеми та програмного забезпечення, що її підтримує, випробуваннями на безвідмовність. Загальні коливання каліброваного значення енергетичної освітленості протягом 500 годин напрацювання, змінюються від 295 до 310 мкВт/см², що не перевищує 5,1 %.

5. Досліджено надійність програмного забезпечення, що підтримує роботу запропонованої схеми. А саме ймовірність безвідмовної роботи, який за вісім годин напрацювання склав 94 %.

Література

1. Про затвердження санітарно-протиепідемічних правил і норм використання ультрафіолетового бактерицидного випромінювання для знезараження повітря та дезінфекції поверхонь в приміщеннях закладів охорони здоров'я та установ/закладів надання соціальних послуг / соціального захисту населення. Наказ МОЗ від 06.05.2021р. № 882 URL: [HTTP://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0978-21#Text](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0978-21#Text)

2. Antoni Rogalski. Infrared and Terahertz Detectors, Third Edition Published June 13, 2022 by CRC Press, 1066 Pages. <https://www.routledge.com/Infrared-and-Terahertz-Detectors-Third-Edition/Rogalski/p/book/9781032338668#top>

3. Мачехін Ю.П., Гнатенко О.С., Курський Ю.С., Семенець В.В., Неофітний М.В. Лазерні, оптико-електронні прилади та системи. Ч. 1. Лазерна інформаційно-вимірювальна техніка для задач військового призначення. Харків: ФОП Панов А.М., 2019. 156 с.

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

5. Sze S. M., NgK. K.: Physics of Semiconductor Devices. 3rd Edition. John Wiley & Sons Inc., New Jersey 2006.

6. Dobrovolsky, Y., Lipka, V. M., Strebezhev, V. V., Sorokaty, Y. O., Sorokaty, M. O., & Andreeva, O. P. (2020). PHOTODIODE BASED ON THE EPITAXIAL PHOSPHIDE GALLIUM WITH INCREASED SENSITIVITY AT A WAVELENGTH OF 254 nm. *Informatyka, Automatyka, Pomiar W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 10(1), 36–39. <https://doi.org/10.35784/iapgos.910>.
7. Xiaojun Bi; Jian Li; Zhen Gu; Bo Tang; Chaodi Sheng; Yan Yang; Qinfen Xu High Sensitivity and Dynamic-Range 25 Gbaud Silicon Receiver Chipset With Current-Controlled DC Adjustment Path and Cube-Shape Ge-on-Si PD. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* (Volume: 67, Issue: 11, Nov. 2020) DOI: 10.1109/TCSI.2020.3011292.
8. J.M.Raynor, P.Seitz. A linear array of photodetectors with wide dynamic range and near photon quantum-noise limit. *Sensors and Actuators A: Physical* Volume 61, Issues 1–3, June 1997, Pages 327-330. [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(97\)01481-7](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(97)01481-7).
9. Alegre Pérez, Juan Pablo, Celma Santiago López, Belén Calvo. *Automatic Gain Control. Techniques and Architectures for RF Receivers*. 2011 <https://www.springer.com/gp/book/9781461401667>.
10. F. A. Thomas, V. Dietz, M. Schrafl-Altermatt. Automatic gain control of neural coupling during cooperative hand movements. *Scientific Reports* volume 8, Article number: 5959 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24498-6>.
11. Lidwien C E Veugen, Josef Chalupper, Ad F M Snik, A John van Opstal, Lucas H M Mens. Matching Automatic Gain Control Across Devices in Bimodal Cochlear Implant Users. *Ear Hear*. May-Jun 2016;37(3):260-70. doi: 10.1097/AUD.00000000000026015.
12. Holly Borowski, Oscar Isoz, Fredrik Marsten Eklöf, Sherman Lo, and Dennis Akos Detecting False Signals with Automatic Gain Control. *GPS World Staff*. April 1, 2012 <https://www.gpsworld.com/detecting-false-signals-automatic-gain-control-12804/>
13. Jun Hee Jang, Hyung Jin Choi. A Fast Automatic Gain Control Scheme for 3GPP LTE TDD System. 2010 IEEE 72nd Vehicular Technology Conference - Fall. 6-9 Sept. 2010. DOI: 10.1109/VETECF.2010.5594461
14. J.M.Raynor, P.Seitz. A linear array of photodetectors with wide dynamic range and near photon quantum-noise limit. *Sensors and Actuators A: Physical* Volume 61, Issues 1–3, June 1997, Pages 327-330. [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(97\)01481-7](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(97)01481-7)
15. Hodovaniouk V.M., I.V. Doktorovych, V.K. Butenko, V.H. Yuryev, Yu.G. Dobrovolsky Silicon photodiode & preamplifier operation characteristic properties under background radiation conditions. *Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics*. T.1. v.1. 2005. P. 83-86.
16. Ерік Фрімен, Елізабет Робсон, Берт Бейтс, Кері Сієрра. Книга Head First. Патерни проектування. Фабула, 2020. 672 с.
17. Проектування спеціалізованих мікропроцесорних систем. Навчальний посібник / Укладачі Г. І. Воробець, С. В. Мельничук. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2022. – 105 с.
18. Internet of Things for Industry and Human Application. In Volumes 1-3. Volume 1. Fundamentals and Technologies / V. S. Kharchenko (ed.). Ministry of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University KhAI, 2019. 605 p.
19. Dobrovolsky Y., Sorokaty Y. Model and algorithm of creation of silicon photodiode with high sensitivity in the middle infrared area of the spectrum. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2022,- no.4 (104), p. 98-107. ISSN 1814-4225 (print). ISSN 2663-2012. doi: 10.32620/reks.2021.4.07 <https://doi.org/10.32620/reks.2022.4.07>
20. Добровольський Ю.Г., Ліпка В.М. (2024). Прилад для вимірювання випромінювання бактерицидних опромінювачів в умовах фонового освітлення. *MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES*, (1), 194–202. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-24>
21. ГОСТ 1772-88. Приймачі випромінювання. Напівпровідникові фотоелектричні пристрої та фотодетекторні модулі попереднього підсилення. Методи вимірювання фотоелектричних параметрів і визначення характеристик: Чинний з 1988-01-07. М., Видавництво стандартів, 1988. 158 с. (Держстандарт СРСР).
22. Ультрафіолетовий екранований бактерицидний опромінювач типу UV-BLAZE - 15 W STANDARD OS URL: https://www.uv-blaze.com/good_view/15-w-standard-os/.
23. Л.В. Димиденко, О.К. Еремеева, Л.Г. Карпова, В.А. Калиниченко, А.Д. Купко Спектральные поправки при измерении параметров УФ-излучения источников медицинского назначения приборами отечественного производства. *Український метрлогічний журнал*. 2007. № 1. С. 20-25.
24. Мікроконтролеро STM32F373VCT6 (LQFP-100). URL: <https://www.tme.eu/Document/43b5469864bfff2cf0380d51ab996145/STM32F373C8T6.pdf>
25. Люксметр цифровим з висувним датчиком LX1010B (діапазон вимірювань 1-50000 Lx). URL: <https://mpr-kip.com/ua/p506371627-lyuksmetr-tsifrovoy-vynosnym.html>
26. PCE-UV 34 вимірювач УФ випромінювань URL: https://pragmatic.com.ua/pce_uv34?gclid=EAIaIqobChMIiZznvf2o_QIVKgd7Ch3sEAb5EAYyABEgLq6_D_BwE,
27. Linshang LS126C ультрафіолетовий світлометр URL: <https://uk.manuals.plus/linshang/ls126c-uv-light-meter-manual#axzz7u2q6XW3V>
28. Повна система ILT2400 UVGI-NB для вимірювання 254 нм UVC бактерицидних/дезінфікуючих джерел світла. URL: <https://internationallight.com/products/ilt2400-uvgi-nb-hand-held-radiometer-disinfection-light-sources-254-nm>,

29. Larson Electronics UV Light Meter - UVC 254nm. URL: <https://www.prolampsales.com/products/larson-electronics-uv-light-meter-uvc-254nm>,
30. УФ радіометр Тензор-71Б. URL: <https://tenzor.ua/products/priladi-dlya-borotbi-z-covid-19/uf-radiometr-tenzor-71b>

References

1. Pro zatverdzhennia sanitarno-protyepidemiichnykh pravyl i norm vykorystannia ultrafioletovoho bakterytsydnoho vyprominiuvannia dlia znezarazhennia povitria ta dezinfektsii poverkhon v prymishchenniakh zakladiv okhorony zdorovia ta ustanov/zakladiv nadannia sotsialnykh posluh / sotsialnogo zakhystu naselennia. Nakaz MOZ vid 06.05.2021r. № 882 URL: [HTTP://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0978-21#Text](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0978-21#Text)
2. Antoni Rogalski. Infrared and Terahertz Detectors, Third Edition Published June 13, 2022 by CRC Press, 1066 Pages. <https://www.routledge.com/Infrared-and-Terahertz-Detectors-Third-Edition/Rogalski/p/book/9781032338668#top>
3. Machekhin Yu.P., Hnatenko O.S., Kurskyi Yu.S., Semenets V.V., Neofitnyi M.V. Lazerni, optyko-elektronni pryklady ta systemy. Ch. 1. Lazerna informatsiino-vymiriuvalna tekhnika dlia zadach viiskovoho pryznachennia. Kharkiv: FOP Panov A.M., 2019. 156 s.
4. Chadiuk V. O. Optoelektronika: vid makro do nano. Peredavannia, peretvorennia ta prymannia optychnoho vyprominiuvannia : navch. posib. U 2-kh kn. / V. O. Chadiuk. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo «Politekhnik», 2018. Kn. 1. 376 s.
5. Sze S. M., NgK. K.: Physics of Semiconductor Devices. 3rd Edition. John Wiley & Sons Inc., New Jersey 2006.
6. Dobrovolsky, Y., Lipka, V. M., Strebezhev, V. V., Sorokaty, Y. O., Sorokaty, M. O., & Andreeva, O. P. (2020). PHOTODIODE BASED ON THE EPITAXIAL PHOSPHIDE GALLIUM WITH INCREASED SENSITIVITY AT A WAVELENGTH OF 254 nm. Informatyka, Automatyka, Pomiar W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 10(1), 36–39. <https://doi.org/10.35784/iapgos.910>.
7. Xiaojun Bi; Jian Li; Zhen Gu; Bo Tang; Chaodi Sheng; Yan Yang; Qinfen Xu High Sensitivity and Dynamic-Range 25 Gbaud Silicon Receiver Chipset With Current-Controlled DC Adjustment Path and Cube-Shape Ge-on-Si PD. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers (Volume: 67, Issue: 11, Nov. 2020) DOI: 10.1109/TCSI.2020.3011292.
8. J.M.Raynor, P.Seitz. A linear array of photodetectors with wide dynamic range and near photon quantum-noise limit. Sensors and Actuators A: Physical Volume 61, Issues 1–3, June 1997, Pages 327-330. [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(97\)01481-7](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(97)01481-7).
9. Alegre Pérez, Juan Pablo, Celma Santiago López, Belén Calvo. Automatic Gain Control. Techniques and Architectures for RF Receivers. 2011 <https://www.springer.com/gp/book/9781461401667>.
10. F. A. Thomas, V. Dietz, M. Schrafl-Altermatt. Automatic gain control of neural coupling during cooperative hand movements. Scientific Reports volume 8, Article number: 5959 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24498-6>.
11. Lidwien C E Veugen, Josef Chalupper, Ad F M Snik, A John van Opstal, Lucas H M Mens. Matching Automatic Gain Control Across Devices in Bimodal Cochlear Implant Users. Ear Hear. May-Jun 2016;37(3):260-70. doi: 10.1097/AUD.00000000000026015.
12. Holly Borowski, Oscar Isoz, Fredrik Marsten Eklöf, Sherman Lo, and Dennis Akos Detecting False Signals with Automatic Gain Control. GPS World Staff. April 1, 2012 <https://www.gpsworld.com/detecting-false-signals-automatic-gain-control-12804/>
13. Jun Hee Jang, Hyung Jin Choi. A Fast Automatic Gain Control Scheme for 3GPP LTE TDD System. 2010 IEEE 72nd Vehicular Technology Conference - Fall. 6-9 Sept. 2010. DOI: 10.1109/VETECF.2010.5594461
14. J.M.Raynor, P.Seitz. A linear array of photodetectors with wide dynamic range and near photon quantum-noise limit. Sensors and Actuators A: Physical Volume 61, Issues 1–3, June 1997, Pages 327-330. [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(97\)01481-7](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(97)01481-7)
15. Hodovaniouk V.M., I.V. Doktorovych, V.K. Butenko, V.H. Yuryev, Yu.G. Dobrovolsky Silicon photodiode & preamplifier operation characteristic properties under background radiation conditions. Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics. T.1. v.1. 2005. R. 83-86.
16. Erik Frimen, Elizabet Robson, Bert Beits, Keti Siierra. Knyha Head First. Paterny proiektuvannia. Fabula, 2020. 672 s.
17. Proiektuvannia spetsializovanykh mikroprotseksyonykh system. Navchalnyi posibnyk / Ukladachi H. I. Vorobets, S. V. Melnychuk. – Chernivtsi: Chernivetskyi natsionalnyi universytet, 2022. – 105 s.
18. Internet of Things for Industry and Human Application. In Volumes 1-3. Volume 1. Fundamentals and Technologies / V. S. Kharchenko (ed.). Ministry of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University KhAI, 2019. 605 p.
19. Dobrovolsky Y., Sorokaty Y. Model and algorithm of creation of silicon photodiode with high sensitivity in the middle infrared area of the spectrum. Radioelectronic and Computer Systems. 2022, - no.4 (104), r. 98-107. ISSN 1814-4225 (print). ISSN 2663-2012. doi: 10.32620/reks.2021.4.07 <https://doi.org/10.32620/reks.2022.4.07>
20. Dobrovolsky Yu.H., Lipka V.M. (2024). Prylady dlia vymiriuvannia vyrominiuvannia bakterytsydnykh oprominiuvachiv v umovakh fonovoho osvittlennia. MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES, (1), 194–202. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-24>
21. HOST 1772-88. Prymachy vyrominiuvannia. Napivprovodnykovi fotoelektrychni prystroi ta fotodetektorni moduli poperednoho pidsylennia. Metody vymiriuvannia fotoelektrychnykh parametriv i vyznachennia kharakterystyk: Chynnyi z 1988-01-07. M., Vydavnytstvo standartiv, 1988. 158 s. (Derzhstandart SRSR).
22. Ultrafioletovyi ekranovanyi bakterytsydnyi oprominiuvach typu UV-BLAZE - 15 W STANDARD OS URL: https://www.uv-blaze.com/good_view/15-w-standard-os/.
23. L.V. Dymydenko, O.K. Eremeeva, L.H. Karpova, V.A. Kalynychenko, A.D. Kupko Spektralnye popravky pry yzmereniy parametrov UF-yzlucheniya ystochnykov medytsynskoho naznacheniya pryboramy otechestvennogo proyzvodstva. Ukrainskyi metrolichnyi zhurnal. 2007. № 1. S. 20-25.
24. Mikrokontrolero STM32F373VCT6 (LQFP-100). URL: <https://www.tme.eu/Document/43b5469864bfff2cf0380d51ab996145/STM32F373C8T6.pdf>
25. Liuksmetr tsyfrovym z vysuvnym datchykom LX1010B (diapazon vymiriuvan 1-50000 Lx). URL: <https://mkip.com.ua/p506371627-lyuksmetr-tsifrovoy-vynosnym.html>
26. PCE-UV 34 vymiriuvach UF vyrominiuvan URL: https://pragmatic.com.ua/pce_uv34?gclid=EAIAIQobChMiiZznvf2o_QIVKgd7Ch3sEAB5EAYYAyABEGlq6_D_BwE,
27. Linshang LS126C ultrafioletovyi svitlometr URL: <https://uk.manuals.plus/linshang/ls126c-uv-light-meter-manual#axzz7u2q6XW3V>
28. Povna systema ILT2400 UVGI-NB dlia vymiriuvannia 254 nm UVC bakterytsydnykh/dezinfikiuichnykh dzherel svitla. URL: <https://internationalight.com/products/ilt2400-uvgi-nb-hand-held-radiometer-disinfection-light-sources-254-nm>,
29. Larson Electronics UV Light Meter - UVC 254nm. URL: <https://www.prolampsales.com/products/larson-electronics-uv-light-meter-uvc-254nm>,
30. UF radiometr Tenzor-71B. URL: <https://tenzor.ua/products/priladi-dlya-borotbi-z-covid-19/uf-radiometr-tenzor-71b>