

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра електроніки та наносистем

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему Вимірювач потужності оптичного випромінювання на основі каскаду

Дарлінгтона

08-05.МКР.153.09.000

Виконав: студент 2-го курсу, групи МНТ-18м,
спеціальності

153 – «Мікро – та наносистемна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

Римар В.В

(Прізвище та ініціали)

Керівник, к.т.н., доц.

Селецька О.О.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент, к.т.н., доц. каф. ІРЕН

Звягін О.С.

(Прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 р.

Додаток А
Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра електроніки та наносистем

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕНС
д.т.н., проф. Білинський
Й.Й

«__» _____ 2019р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до магістерської кваліфікаційної роботи

Вимірювач оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона
зі спеціальності 153 - «Мікро- та наносистемна техніка»

Керівник,
к.т.н., доц.
_____ Селецька О.О.

Дипломник,
Студент гр. МНТ-18мі
_____ Римар В.В.

Вінниця, 2019р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Найменування і область застосування

Найменування – вимірювач потужності оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона

Область застосування – оптичні вимірювачі потужності знайшли широке застосування в різноманітних областях: починаючи від автомобілебудування, машинобудування, автоматизації складального процесу, включаючи системи складування, транспортування і упаковки, і закінчуючи поліграфічною і паперовою промисловістю.

2. Основою для (дослідження) розробки

Основою для виконання цієї магістерської кваліфікаційної роботи є завдання на МКР та наказ ректора ВНТУ №254 від «03» вересня 2019 р.

3. Мета та призначення дослідження (розробки)

Мета розробки – є підвищення чутливості вимірювача потужності оптичного випромінювання за рахунок перетворення електричного сигналу в частотний.

Призначення розробки – розробка простого, некоштовного вимірювача оптичного випромінювання який має високу чутливість в діапазоні низьких значень потужності оптичного випромінювання.

4. Джерела розробки

У процесі розробки вимірювача оптичного випромінювання рекомендовано залучати патентний пошук та використовувати спеціальну літературу, а саме:

- 4.1. Муромцев Д. Ю. Основы проектирования электронных средств. Часть 1: Учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин. 2011. – 368 с.
- 4.2. Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных ИС: Пер. с англ. Посіб. / Фолкенберри Л. – М.: Мир, 1985. – 572 с.
- 4.3. Пахолюк А. П. Основы матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А. П. Пахолюк, О. А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2005. – 172 с.,

5. Технічні вимоги

5.1 Вимоги до електричних параметрів та режимів:

- напруга живлення, В.....6,5;
- вихідна потужність, В.....5;
- діапазон вимірювальної потужності, мкВт/см².....0 -130;
- Струм споживання, мА4.5;

- Діапазон робочих частот, Гц10⁶;
- Діапазон чутливості, кГц/мкВт/см².....0,5 – 3;
- Похибка вимірювання, %.....±5

5.2 Вимоги до конструкції:

- матеріал друкованої плати – двосторонній фольгований склотекстоліт;
- товщина, мм.....1.5;
- розміри, не більше, мм,70×85×1,5;

5.3 Вимоги до стійкості при механічній дії:

Плата зі встановленими елементами має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час та після дії механічних навантажень: вібраційних з частотою 1–1500 Гц і максимальним прискоренням 1–4 g, багатократних ударів тривалістю 12 мс з прискоренням 25–70 g, лінійних навантажень з максимальним прискоренням 25g.

5.4 Вимоги до стійкості при кліматичній дії:

Плата зі встановленими елементами має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час і після дії на неї кліматичних факторів: температури повітря від +100°C (верхнє значення) до –40°C (нижнє значення); відносної вологості навколишнього середовища 70 % при температурі +35°C.

5.5 Вимоги до надійності:

Мінімальне напрацювання плати зі встановленими елементами у вказаних режимах та умовах має бути не меншою за 10 000 год. Інтенсивність відмов у режимах й умовах роботи не має перевищувати $2,7 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹.

6 Економічні показники:

Орієнтовна ефективність і термін окупності витрат на розробку й освоєння виробництва продукції, лімітна ціна, економічна перевага розробленої продукції порівняно з кращими зразками.

7 Стадії і етапи розробки:

7.1 Розробка технічного завдання.

7.2 Огляд відомих вимірювачів оптичного випромінювання за літературними й патентними джерелами.

7.3 Вибір та аналіз варіантів рішення.

7.4 Вибір оптимального варіанта й детальна розробка його конструктивної схеми.

7.5 Розробка функціональної та електричної схеми вимірювача.

7.6 Моделювання роботи вимірювача

7.7 Розробка складального креслення.

7.8 Техніко-економічні розрахунки, розробка заходів безпеки життєдіяльності.

7.9 Оформлення текстової документації та ілюстративних матеріалів для захисту МКР.

8 Порядок контролю і приймання:

- рубіжний контроль виконання окремих розділів МКР;
- попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи;
- захист МКР перед ДЕК

РЕФЕРАТ

Римар Владислав Вікторович

«Вимірювач потужності оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона». – 26 використаних джерела, - 113 с, - 10 додатків.

У роботі досліджено модель вимірювача потужності оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона. Розроблено структурну схему вимірювача оптичного випромінювання. Розраховано параметри друкованої плати та обрано її тип – двостороння. Розроблена математична модель вимірювача оптичного випромінювання з фоторезистором в якості фоточутливого елемента, на основі автогенераторного пристрою, утвореного транзисторною структурою. Отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості пристрою. Теоретичні залежності показали, що чутливість розробленого оптичного перетворювача складає $0,5 - 3 \text{ кГц/мкВт/см}^2$, діапазон вимірювальної потужності $0 - 130 \text{ мкВт/см}^2$. При моделюванні використовувалися пакети прикладних програм ISIS Proteus та ARES PCB Layout, була створена електрична принципова схема, друкована плата та складальне креслення.

ABSTRACT

Vladyslav Rymar

"Optical radiation meter based on the Darlington cascade." - 26 sources used, - 98 s, - 6 applications.

The paper investigates the model of optical radiation power meter based on the Darlington cascade. The structural scheme of the optical radiation meter is developed. Circuit board parameters are calculated and its type is double-sided. A mathematical model of an optical radiation meter with a photoresistor as a photosensitive element is developed, based on an autogenerator device formed by a transistor structure. Analytical expressions were obtained for the conversion function and the sensitivity equation of the device. Theoretical dependencies have shown that the sensitivity of the developed optical converter is $0.5 - 3 \text{ kHz} / \mu\text{W} / \text{cm}^2$, the measuring power range is $0 - 130 \mu\text{W} / \text{cm}^2$. and assembly drawing. The ISIS Proteus and ARES PCB Layout designs were used in the simulation, an electrical schematic, circuit board, and assembly drawing were created.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 8 |
| 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ОПТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ | 11 |
| 1.1 Фізичні основи роботи вимірювачів оптичного випромінювання..... | 11 |
| 1.2 Фотоелектричні прилади на основі внутрішнього фотоефекту..... | 17 |
| 1.2.1 Фоторезистори..... | 17 |
| 1.2.2 Лавинні фотодіоди..... | 21 |
| 1.3 Фототранзистори..... | 28 |
| 1.4 Фототеристори..... | 30 |
| 1.5 Загальні відомості про з'єднані транзистори (пара Дарлінгтона)..... | 31 |
| 2 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ ВИМІРЮВАЧА ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ КАСКАДУ ДАРЛІНГТОНА | 36 |
| 2.1 Розроблення схеми вимірювача оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона | 36 |
| 2.2 Обґрунтування вибору та аналіз мікроконтролера | 38 |
| 2.4 Розробка математичної моделі | 41 |
| 2.4 Моделювання вимірювача оптичного випромінювання в ISIS Proteus..... | 48 |
| 3 РОЗРОБКА ПЛАТИ ВИМІРЮВАЧА ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ КАСКАДУ ДАРЛІНГТОНА..... | 56 |
| 3.1 Вибір методу виготовлення..... | 56 |
| 3.2 Вибір типу друкованої плати | 60 |
| 3.3 Вибір класу точності друкованої плати..... | 62 |
| 3.4 Розрахунок ширини провідників..... | 63 |
| 3.5 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT..... | 64 |
| 4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ..... | 75 |
| 4.1. Прогнозування витрат на виконання НДДКР..... | 75 |
| 4.2. Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки..... | 81 |
| 4.3. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності | 84 |
| 4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи..... | 86 |
| 4.4.1 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР..... | 89 |

| | |
|--|-----|
| 5 БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЮЕХПЕКИ РОБОТИ ВИМІРЮВАЧА ПОТУЖНОСТІ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В УМОВАХ ДІЇ ЗАГРОЗЛИВИХ ЧИННИКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ..... | 90 |
| 5.1 Загальні положення щодо охорони праці | 90 |
| 5.2 Дослідження безпеки роботи вимірювача оптичного випромінювання в умовах дії іонізуючих випромінювань | 91 |
| 5.3 Дослідження безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання в умовах дії електромагнітного імпульсу. | 93 |
| ВИСНОВКИ..... | 95 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 97 |
| ДОДАТОК А Технічне завдання..... | 99 |
| ДОДАТОК Б Схема електрична принципова | 102 |
| ДОДАТОК Б.1 Перелік елементів..... | 103 |
| ДОДАТОК В Друкована плата..... | 106 |
| ДОДАТОК Г Складальне креслення..... | 107 |
| ДОДАТОК Г.1 Специфікація..... | 108 |
| ДОДАТОК Д Структурна схема..... | 109 |
| ДОДАТОК Е Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT..... | 109 |
| ДОДАТОК Є Плата..... | 112 |
| ДОДАТОК Ж Лістинг програми..... | 114 |

ВСТУП

Актуальність теми

Вимірювальне обладнання дозволяє виявити так звані “вузькі місця” на лініях і усунути їх для максимальної продуктивності мережі.

Вимірювач оптичної потужності, ціна якого залежить, перш за все, від списку доступних функцій, являє собою прилад, який використовується для виміру потужності сигналу. За його допомогою також можна вимірювати загасання в кабелі – для цього необхідно також задіяти оптичний випромінювач. Для оптичного вимірювача потужності існує кілька важливих характеристик, що впливають на його функціональність. Наприклад, динамічний діапазон – тобто, межі потужностей, доступних для вимірювання за допомогою конкретного приладу. Цей параметр, який залежить від ситуацій, в яких використовується прилад, тому до вибору в даному випадку необхідно підходити індивідуально. Також важливо звернути увагу на точність вимірювань [1].

Це обумовлює необхідність розробки та удосконалення вимірювачів потужності оптичного випромінювання, тому що сучасні вимірювачі є занадто дорогими, або мають максимальну чутливість тільки у вузьких діапазонах.

Мета дослідження

Метою роботи є підвищення чутливості вимірювача потужності оптичного випромінювання за рахунок перетворення електричного сигналу в частотний.

Задачі дослідження

- проаналізувати існуючі вимірювачі потужності оптичного випромінювання, їх переваги та недоліки та обрати найбільш оптимальний принцип побудови пристрою;
- розробити математичну модель вимірювача потужності оптичного випромінювання.
- розробити вимірювач потужності оптичного випромінювання.

- розробка схеми електричної принципової, її моделювання та розробка плати і складального креслення у відповідних програмних продуктах, що входять до пакету PROTEUS

Об'єктом дослідження є процес перетворення оптичного випромінювання на електричний сигнал

Предмет дослідження є параметри та характеристики вимірювача оптичного випромінювання»

Методи дослідження: проводився огляд літератури по принципу роботи вимірювача оптичного випромінювання. На основі оглянутих джерел проведено аналіз і виявлено більш вдалий варіант налагодження та роботи вимірювача оптичного випромінювання, що дозволить вирішити задачу поставлену в технічному завданні [1].

Наукова новизна магістерської дипломної роботи полягає в досягненні високої чутливості в діапазоні низьких значень потужності оптичного випромінювання, що дає можливість вимірювати слабкі оптичні сигнали.

Практична значимість роботи полягає в наступному:

Запропоновано покращення вимірювача оптичного випромінювання за допомогою нових елементів. Отримані результати дозволяють значно підвищити ефективність роботи вимірювача.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на Міжнародній науково – практичній конференції "PRIORITY DIRECTIONS OF SCIENCE DEVELOPMENT " [1].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ОПТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ

1.1 Фізичні основи роботи вимірювачів оптичного випромінювання

Зовнішній фотоэффект - це явище вибивання електронів з поверхні металу під дією світлового випромінювання. Це явище ще називають фотоелектронною емісією. Промениста енергія випромінюється у вигляді квантів світла (фотонів) з енергією:

$$E = h\nu \quad (1.1)$$

де h – постійна Планка ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Джс);

ν – частота електромагнітного коливання

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (1.2)$$

де $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – швидкість світла;

λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання.

Квант променевої енергії, будучи поглинутим атомом металу, може повідомити йому свою енергію, і якщо її буде достатньо для здійснення роботи виходу електрона з металу, то електрон покине поверхню металу і стане вільним носієм електричного заряду. Приладами, які використовують явище зовнішнього фотоэффекту, є фотоелементи і фотоелектронні помножувачі [2].

Фотоелемент (рис. 1.1) являє собою скляну колбу, в якій створено вакуум і в якій розміщені два електроди: *фотокатод* і *анод*.

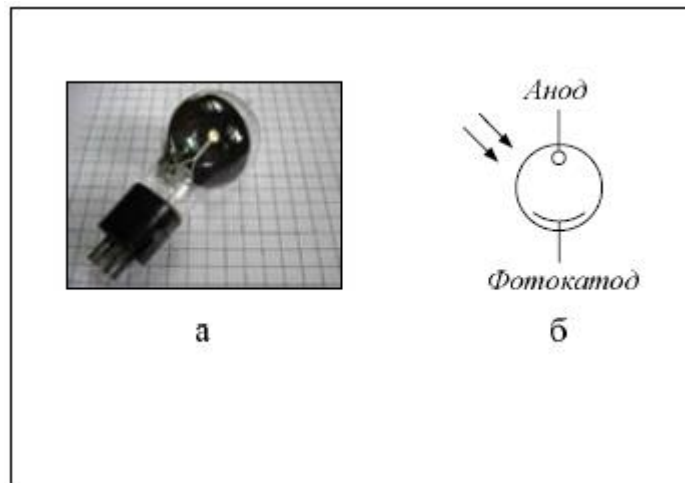


Рисунок 1.1 – а - цезієвий фотоелемент ; б – умовне графічне позначення фотоелемента.

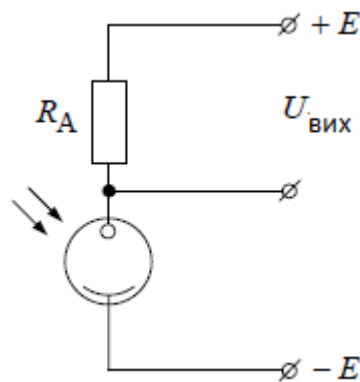


Рисунок 1.2 – Схема включення фотоелемента.

Фотокатод - це чутливий до світлового випромінювання шар, що складається із з'єднань сурми, телуру, лужних металів з домішками різних елементів. Цей шар покриває більше половини внутрішньої поверхні колби. Анод має вигляд дрютяного кільця, сітки або рамки [2].

Схема включення фотоелемента показана на рис. 6.3. Зовнішнє джерело E створює між анодом і катодом електричне поле, під дією якого електрони, вибиті з поверхні катода, спрямовуються до анода, створюючи анодний струм (фотострум) в ланцюзі джерела. Цей струм створює на резисторі R_A падіння напруги, яке при незмінній величині E залежить від світлового потоку, що падає на фотокатод. Фотоелементи поділяються на *вакуумні* та *газонаповнені*. У вакуумних фотоелементах всередині

колби створений вакуум, а в газонаповнених - під невеликим тиском введено невелику кількість інертного газу. Принцип дії у них однаковий, але у газонаповнених фотоелементів набагато вище чутливість до випромінювання, що пояснюється ефектом іонізації молекул газу і появою додаткових носіїв електричного заряду.

Основними характеристиками фотоелементів є:

1. Вольт-амперна характеристика :

$$I_{\Phi} = f(U_A)|_{\varphi=const} \quad (1.3)$$

Це залежність фотоструму від напруги між анодом і катодом при постійному світловому потоці. Вид типових вольтамперних характеристик представлений на рис. 1.3 [3].

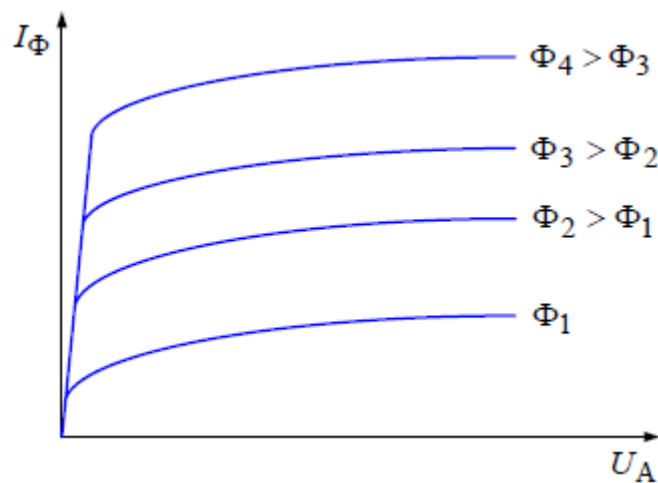


Рисунок 1.3 – Вольт – амперна характеристика фотоелементу.

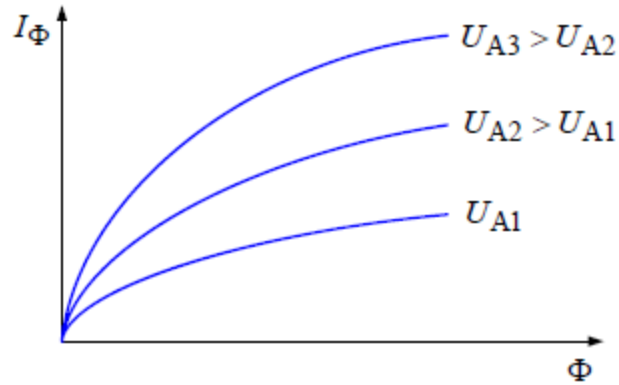


Рисунок 1.4 – світлова характеристика фотоелементу.

Видно, що в режимі насичення фототок не залежить від анодної напруги. Цей режим і є робочим.

2. Світлова характеристика.

$$I_{\phi} = f(\phi)|_{U_a = \text{const}} \quad (1.4)$$

Це залежність фотоструму світлового потоку при постійній напрузі на аноді фотоелемента. Вид сімейства цих характеристик представлений на рис. 1.4.

3. Спектральна характеристика:

$$S_{\phi}^* = f(\lambda) \quad (1.5)$$

Це залежність відносної потужності фотоелемента від довжини хвилі падаючого на катод випромінювання. Вид типовий спектральної характеристики показаний на рис. 1.6 [3].

Спектральні характеристики фотоелементів використовують для їх правильної експлуатації.

Основними параметрами фотоелементів є:

1. *Чутливість* - це відношення фотоструму I_{ϕ} до струм потоку

випромінювання Φ : $K = \frac{I_\phi}{\Phi} |_{\phi=const}$.

2. *Гранична чутливість* - мінімальний світловий потік, при якому корисний електричний сигнал фотоелемента стає, помітний на рівні перешкод.

3. *Внутрішній опір* R_i : $R_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_\phi} |_{\phi=const}$.

Це відношення приросту анодної напруги до приросту фотоструму при незмінній величині світлового потоку [3].

Фотоелементи застосовуються в різних областях науки і техніки. Зокрема їх застосовують в фотореле, які забезпечують контроль різних величин на виробництві: освітленості, прозорості середовищ, якості обробки поверхні деталей і т.п. Але їх недоліками є неможливість мікромініаріютизації і досить високі анодні напруги (десятки - сотні вольт). Тому в даний час в багатьох видах апаратури вони замінюються напівпровідниковими приймачами випромінювання.

Фотоелектронний помножувач - електровакуумний прилад, в якому фотоелемент доповнений пристроєм посилення фотоструму за рахунок вторинної електронної емісії.

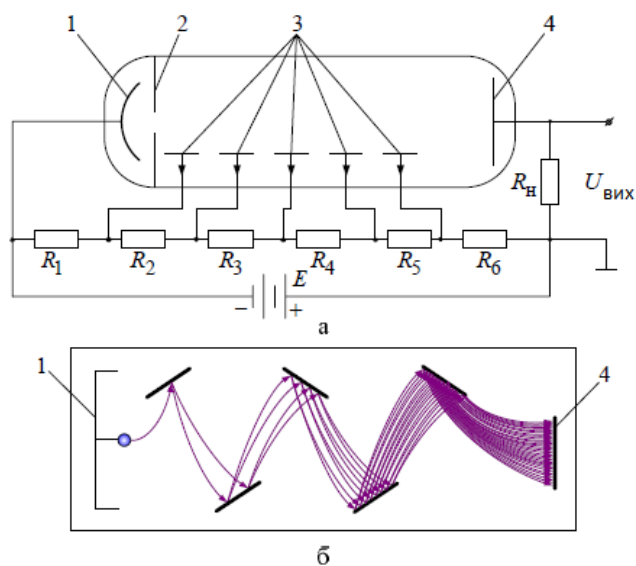


Рисунок 1.5 – а- Включення фотопомножувача з п'ятьма анодами вторинної емісії; б – розміщення електродів в фотопомножувачі.

Схематичне пристрій цього приладу показано на рис. 1.5. Зазвичай це скляна колба, в торці якої встановлюється напівпрозорий фотокатод 1, за яким встановлюється фокусуюча діафрагма 2 і кілька вторинних катодів 3, які іноді називаються ще *дінодами*, за якими розташовується анод 4. Кожен з цих електродів підключається до різних точок подільника напруги, що подає на ці електроди різні потенціали. Слабкий світловий потік потрапляє на фотокатод і вибиває з нього деяку кількість електронів. Під дією створюваного джерелом електричного поля ці електрони прискорюються і, потрапляючи на вторинний катод, вибивають з нього вже значно більшу кількість електронів, які, в свою чергу, прискорюються і потрапляють на наступний вторинний катод і т.д. Потік електронів весь час зростає від одного вторинного катода до іншого і на анод потрапляє вже потужний електронний потік, який створює на навантаженні R_H велике падіння напруги, пропорційне вхідному світловому потоку [4].

Коефіцієнт посилення фотоелектронного помножувача:

$$K_y = \frac{I_A}{I_0} = \sigma^n \quad (1.6)$$

де I_A - струм анода;

I_0 - струм фотокатода;

σ - коефіцієнт вторинної емісії;

n - число вторинних фотокатодів;

Для фотоелектронного помножувача, як і для звичайних фотоелементів, характерний темновий струм, який обумовлений термоелектронної емісією фотокатода і дінодов. Його величина становить малі частки мікроампера, і він може бути зменшений охолодженням. Значним темнового струму обмежується мінімальний світловий потік, який може зареєструвати за допомогою помножувача.

Фотоелектронні помножувачі застосовуються в багатьох областях

науки і техніки: в астрономії, для вимірювання світлових потоків, для спектрального аналізу і т.п.

1.2 ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПРИЛАДИ НА ОСНОВІ ВНУТРІШНЬОГО ФОТОЕФЕКТУ

Внутрішній фотоефект спостерігається в напівпровідникових матеріалах при опроміненні їх поверхні променями світла. Він полягає в тому, що при поглинанні енергії фотона атомом напівпровідника може виникнути пара «електрон - дірка», якщо цієї енергії досить для перекладу електрона з валентної зони в зону провідності, тобто якщо поглинена енергія перевищує ширину забороненої зони. Інтенсивність фотоіонізації визначається енергією випромінювання, її потоком і спектром поглинання напівпровідника.

Освіта пар «електрон - дірка» обумовлює власну електропровідність напівпровідника, яка в даному випадку є фотопровідністю, причому власна електропровідність може виявитися значно більше провідності примесної.

Внутрішній фотоефект широко застосовується в різних фотоелектричних приладах: *фоторезисторах, фотодиодах, фототранзисторах і Фототиристорах* [4].

1.2.1 ФОТОРЕЗИСТОРИ

Фоторезистори використовують в своїй роботі ефект фотопровідності. Фоторезистори виконуються в самих різних конструктивних варіантах, різного призначення, за різними технологіями і з різними параметрами, але в загальному вигляді це - чутливий до випромінювання шар напівпровідника, прикріплений до ізоляційної підкладці, по краях якого змонтовані струмопровідні

електроди. Принципово можливо дві конструкції фоторезисторів: *поперечна* і *поздовжня*.

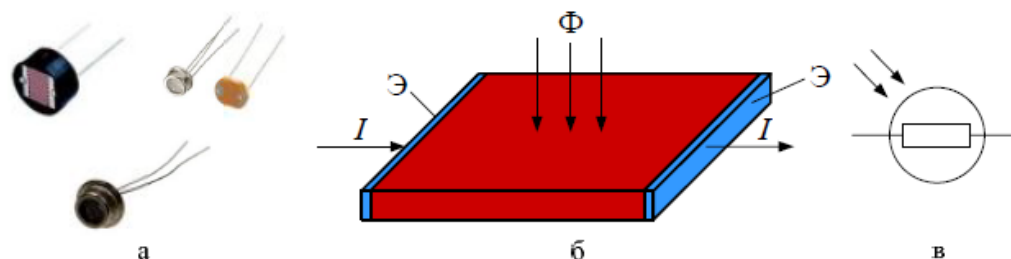


Рисунок 1.6 – фоторезистори (а); поперечна конструкція фоторезистора (б); умовне графічне позначення (г);

В першому випадку електричне поле, що прикладається до фоторезистору, і збуджуюче світло діють у взаємно перпендикулярних площинах (рис. 1.6, б), в другому - в одній площині. У поздовжньому збудженні фоторезистора здійснюється через електрод прозорий для світлового випромінювання. Поперечний фоторезистор являє собою майже омичний опір до частот порядку десятків - сотень мегагерц. Поздовжній фоторезистор через конструктивні особливості має значну електричну ємність, яка не дозволяє вважати фоторезистор чисто омичним опором на частотах сотні - тисячі герц [4].

В якості вихідного матеріалу фоторезистора найчастіше використовується теллуристий кадмій (CdTe), селенистий телур (TeSe), сірчистий вісмут (BiS), сірчистий кадмій (CdS) і ін.

Для захисту від атмосферних впливів верхня поверхня фотошару покрита прозорим лаком. Вся збірка може бути поміщена в захисний корпус, в якому зроблено вікно для проходження випромінювання. Він може включатися як в ланцюг постійного струму, так і змінного.

При опроміненні фоторезистора зростає його провідність, і відповідно зростає струм. Вихідна напруга, пропорційне потоку випромінювання,

знімається з опору навантаження R_H .

Основними характеристиками фоторезистора є:

1. *Вольт-амперні характеристики* $I_\Phi = f(U)|_{\Phi=\text{const}}$.

Це залежності струму в фоторезисторі від напруги джерела живлення E при постійному потоці випромінювання Φ . Ці характеристики практично лінійні (рис. 1.7). При $\Phi = 0$ через фоторезистор протікає маленький темновий струм; при освітленні струм зростає за рахунок збільшення фотопровідності.

2. *Світлова характеристика* $I_\Phi = f(\Phi)|_{u=\text{const}}$.

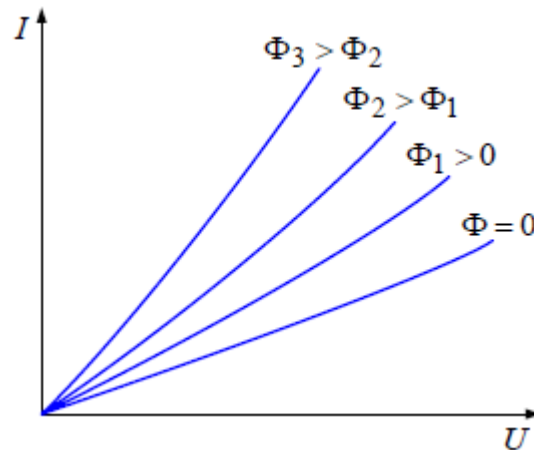


Рисунок 1.8 – Вольт – амперна характеристика фоторезистора.

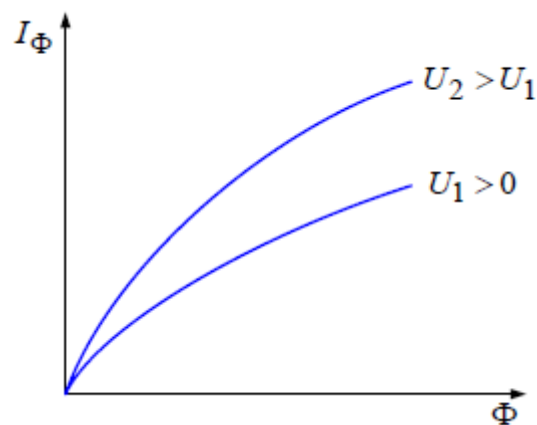


Рисунок 1.9 – світлова характеристика фоторезистора.

Це залежність фотоструму від потоку випромінювання при постійній напрузі джерела. Істотна нелінійність цих характеристик (рис. 1.9) пояснюється не тільки збільшенням кількості носіїв зі збільшенням потоку випромінювання Φ , але і процесу їх рекомбінації [4].

3. *Спектральна характеристика* $S^* = f(\lambda)$, де λ - довжина хвилі електромагнітного випромінювання. Ця характеристика обумовлена матеріалом і технологією виготовлення фотошару. Типовий вид цієї характеристики представлений на рис. 1.10.

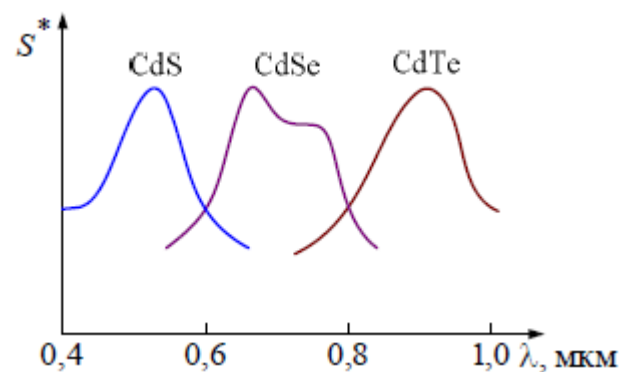


Рисунок 1.10 – відносна спектральна характеристика фоторезистора.

Основними параметрами фоторезисторів є:

1. Чутливість : $K = \frac{I_{\phi}}{\Phi} |_{U_a = const}$.
2. Номінальне значення фотоструму $I_{\phi_{ном}}$.
3. Темнове опір $R_{темн}$.
4. Відношення $\frac{R_{темн}}{R_{\phi_{ном}}}$.
5. Робоча напруга $U_{роб}$.

Значна залежність опору фоторезистора від температури, характерна для напівпровідників, є їх недоліком. Істотним недоліком фоторезисторів також є їх інерційність, що пояснюється великим часом рекомбінації електронів і дірок після припинення впливу випромінювання. На практиці фоторезистори застосовуються на частотах сотень герц - одиниць кілогерц. Власні шуми їх досить значні. Незважаючи на ці недоліки, фоторезистори широко застосовуються в різних схемах автоматики і в багатьох інших пристроях.

1.2.2 ЛАВИННІ ФОТОДІОДИ

Фотодіод є напівпровідниковий фотоелектричний прилад, що містить pn -перехід, і використовує явище внутрішнього фотоелектричного ефекту. Фотодіоди мають різну конструкцію, різне призначення і різні параметри, але в більшості випадків структура фотодіода буває така, як показано на рис. 1.11(б). На принципових схемах фотодіод зображується символом, показаним на рис. 1.11(в).

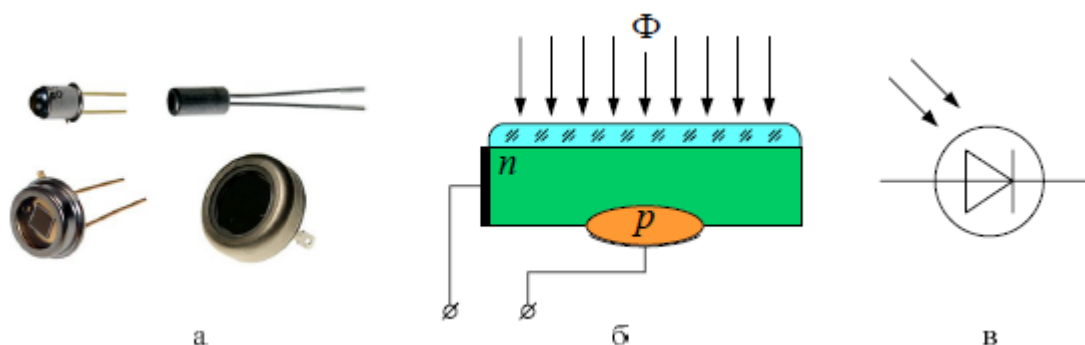


Рисунок 1.11 – конструкція фотодіода (а); Структура фотодіода (б); умовне графічне позначення (в).

Фотодіод можна використовувати в двох різних включеннях: *фотодіодному* і *фотогальванічної*. Фотогальванічне включення (рис. 1.12) передбачає використання фотодіода як джерела фото ЕРС, тому в даний час його називають напівпровідниковий фотоелемент [5].

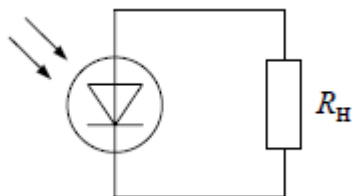


Рисунок 1.12 – фотогальванічне включення фотодіода.

Розглянемо процес виникнення фото ЕРС в фотодіоді (рис. 1.13). За відсутності освітлення фотодіода концентрація носіїв в його обох областях буде рівноважною, а отже ніякої різниці потенціалів між областями не буде. Якщо ж висвітлити напівпровідник променями світла, то в результаті поглинання енергії фотонів будуть утворюватися пари «електрон - дірка». Дірки в області p є основними носіями, тому поле E_p p - n переходу буде їх відштовхувати від кордону розділу, а ось новоутворені вільні електрони, будучи в області p неосновними носіями, будуть перекинуті полем через кордон розділу в область n , де вони є основними. Аналогічно, в області n з утворених носіїв «електрон - дірка» тільки дірки, будучи неосновними носіями, будуть перекинуті через кордон розділу в область p , а тільки, що утворені вільні електрони тільки поповнять кількість основних носіїв в області n , збільшивши їх концентрацію.

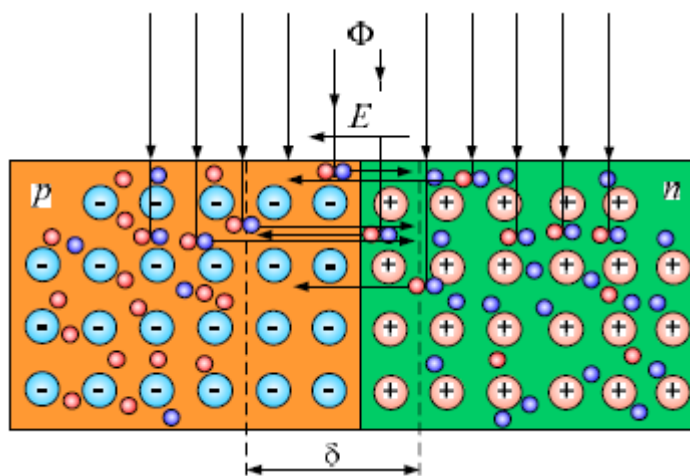


Рисунок 1.13 – процес генерації вільних носіїв заряду.

Таким чином, за рахунок поглиненої світлової енергії в напівпровіднику утворюються пари носіїв; неосновні носії перекидаються в сусідню область електричним полем $p-n$ -переходу, а основні носії залишаються в своїй області; концентрація носіїв зростає і стає надрівноважною, тобто сумарний електричний заряд основних носіїв в обох областях напівпровідника вже не врівноважується протилежним зарядом іонів домішки, і отже в області p з'являється сумарний позитивний заряд, а в області $K = lgN$ - сумарний негативний заряд, які зумовлять виникнення різниці потенціалів між областю p і областю n . Цю різницю потенціалів називають фото ЕРС. Якщо тепер створити зовнішню електричний ланцюг між областями p і n , то по ній потече електричний струм - фотострум під дією виниклої фото ЕРС [5].

Слід зазначити, що з усіх утворених в результаті поглинання променевої енергії носіїв не всі будуть брати участь в утворенні світового струму, а тільки ті, які потрапляють в зону дії електричного поля потенційного бар'єру, обмежену областю δ . Решта неосновні носії, що утворилися поза цією зоною, швидше за все, рекомбінують, знижуючи ефективність використання світлової енергії. Звідси стає зрозумілою доцільність конструктивного виконання фотодіода, коли освітлювали не обидві області напівпровідника, а тільки одну, зате дуже тонку, коли практично всі утворилися під дією освітлення неосновні носії будуть розділені $p-n$ -переходу.

1. *Вольт-амперна характеристика*. Це залежність фотоструму I_ϕ від напруги на фотодіоді при незмінному світловому потоці. Вольт-амперна характеристика описується наступним рівнянням:

$$U_H = L_n \left(\frac{I_{CB} - I_H}{I_{\text{темн}}} + 1 \right) \frac{kT}{q} \quad (1.7)$$

де U_H - напруга між анодом і катодом фотодіода. У разі фотогальванічного включення це - напруга на навантаженні;

I_{CB} - світловий струм - сумарний потік носіїв електричного заряду, що утворилися внаслідок внутрішнього фотоефекту і розділених полем p - n -переходу;

I_H - струм навантаження (в разі фотогальванічного включення);

$I_{\text{темн}}$ - темновий струм - сумарний потік носіїв електричних зарядів, які перетинають кордон розділу при відсутності освітлення;

k - постійна Больцмана, $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{град}}$

$q = 1.6 \cdot 10^{-19}$;

T - абсолютна температура.

Вид вольт-амперної характеристики показаний на рис. 1.14. При $\Phi = 0$ вольт-амперная характеристика фотодіода перетворюється в вольт-амперну характеристику звичайного p - n -переходу. При наявності освітлення струм навантаження, як видно з малюнка, потече по зовнішньому ланцюзі від області p до області n , а всередині кристала - від області n до області p , тобто в напрямку, який для звичайного діода є зворотним і відкладається вниз від нуля по осі ординат; напруга на фотодіоді - (+) на області p , (-) на області n є прямим для звичайного діода і тому відкладається вправо від нуля на осі абсцис. Фактично вольт-амперна характеристика фотодіода являє собою вольт-амперну характеристику звичайного p - n -переходу, зміщеного вниз і вправо в залежності від світлового потоку Φ [5].

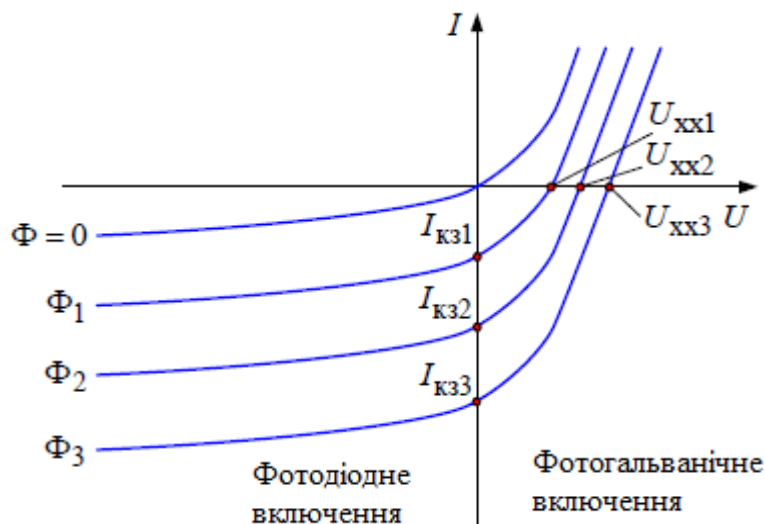


Рисунок 1.14 – Вольт-амперна характеристика фотодіода.

Точки перетину характеристики з осями координат є напруга холостого ходу U_{xx} (або фото ЕРС) на осі абсцис і струм короткого замикання $I_{кз}$ на осі ординат. Ділянка характеристики за точкою U_{xx} є режим, коли фотодіод працює із зовнішнім джерелом ЕРС, включеним зустрічно по відношенню до фотодіоду. Ділянка за точкою $I_{кз}$ характеризує роботу фотодіода з зовнішнім джерелом ЕРС, включеним згідно стосовно фотодіоду. Це і є фотодіодних включення, яке буде розглядатися нижче.

2. Світлова характеристика фотодіода $I_{св} = f(\Phi)$ або $E = f(\Phi)$ представлена на рис. 1.15.

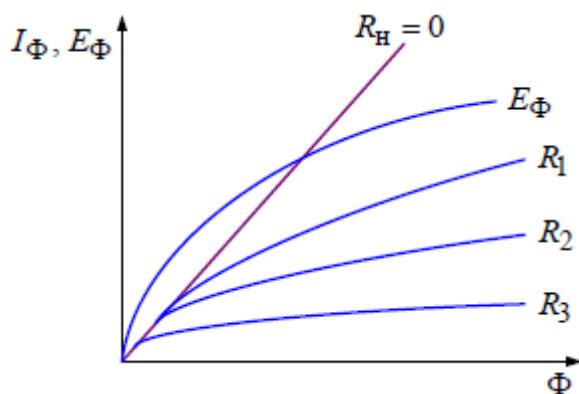


Рисунок 1.15 – Світлова характеристика фотодіода.

Як впливає з виразу (1.7), напруга на фотодіоді або, в режимі холостого ходу, фотоЕРС E змінюється по логарифмічному закону при зростанні світлового потоку Φ , а світловий струм I_{CB} прямопропорційно залежить від світлового потоку Φ . Тому при збільшенні світлового потоку Φ характеристики зміщуються неоднаково по осі абсцис і по осі ординат. Так по осі ординат, де відкладається світловий струм, характеристики, зміщуються рівномірно при зміні світлового потоку. По осі абсцис, де відкладається $U_{xx} = E$, ці характеристики зміщуються нелінійно, а відповідно до кривої $E = f(\Phi)$.

3. *Спектральна характеристика*. Це - залежність $S^* = f(\lambda)$, де S^* - відносна потужність фотодіода; λ - довжина хвилі електромагнітного випромінювання. Вид цієї характеристики представлений на рис. 1.16.

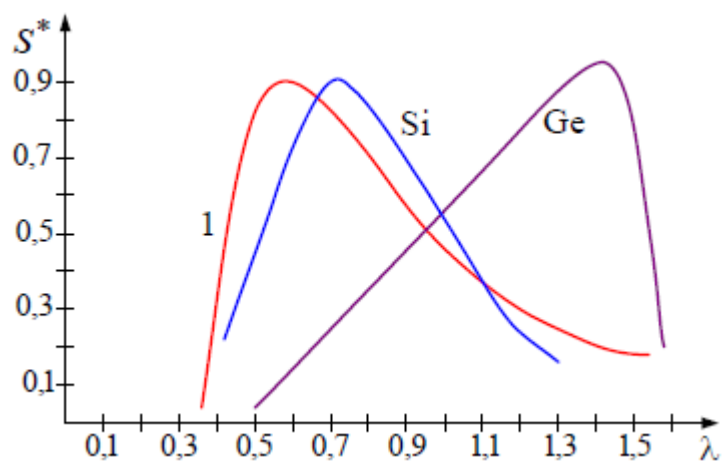


Рисунок 1.16 – Спектральна характеристика.

Залежність 1 являє собою відносну потужність сонячного випромінювання. Інші дві залежності показують відносну потужність фотодіодів, виконаних на основі кремнію і германію. Очевидно, що в області видимої частини спектра сонячного випромінювання найбільшу відносну потужність має фотодіод на основі кремнію. Саме з кремнію

роблять найчастіше фотодіоди, що працюють в цій галузі довжин хвиль.

Фотодіодних включення представлено на рис. 1.17 [6].

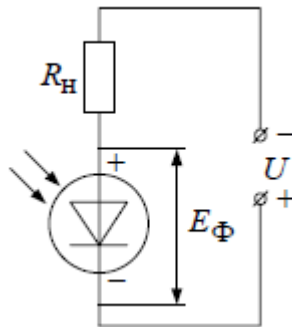


Рисунок 1.17 – схема фотодіодного включення.

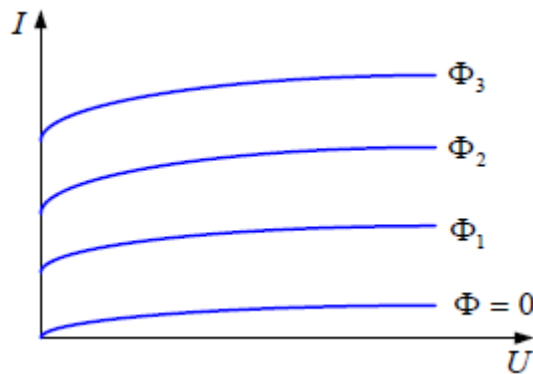


Рисунок 1.18 – Вольт – амперна характеристика фотодіодного включення.

В даному випадку фотодіод працює із зовнішнім джерелом U , який по відношенню до затінених фотодіодів включений в зворотному, замикаючому напрямку, і отже, за відсутності освітлення струм в ланцюзі практично відсутня. При висвітленні фотодіода з'являється фотоЕРС, яка по відношенню до джерела E включена послідовно і відповідно до і в ланцюзі навантаження з'являється струм, пропорційний світловому потоку Φ . Цей режим ілюструється відрізками вольт-амперної характеристики фотодіода в третьому квадранті (рис. 1.14). Однак в довідковій літературі ці характеристики наводяться частіше в першому квадранті (рис. 1.18) для

зручності використання.

Основними параметрами фотодіодів є:

1. Чутливість : $K = \frac{I_{\phi}}{\phi}$

2. Робоча напруга $U_{\text{роб}}$.

3. Динамічний опір $R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I_{\phi=\text{const}}}$.

В даний час важливе значення мають напівпровідникові фотоелементи, використовувані в якості перетворювачів сонячної енергії в електричну. З таких елементів створюють сонячні батареї, які мають порівняно високим ККД (до 20%) і можуть розвивати потужність до декількох кіловат. Сонячні батареї є основними джерелами живлення штучних супутників Землі, космічних кораблях, автоматичних метеостанціях і ін. Практичне застосування сонячних батарей безперервно розширюється.

1.3 ФОТОТРАНЗИСТОРИ

Фототранзистор - це напівпровідниковий фотоелектричний прилад з двома *p-n* -переходу. Пристрій і принцип дії фототранзистор такі ж, як і біполярного транзистора. Відмінність же полягає в тому, що зовнішня частина бази є фоточутливою поверхнею, а в корпусі є вікно для пропускання світла (рис. 1.19).

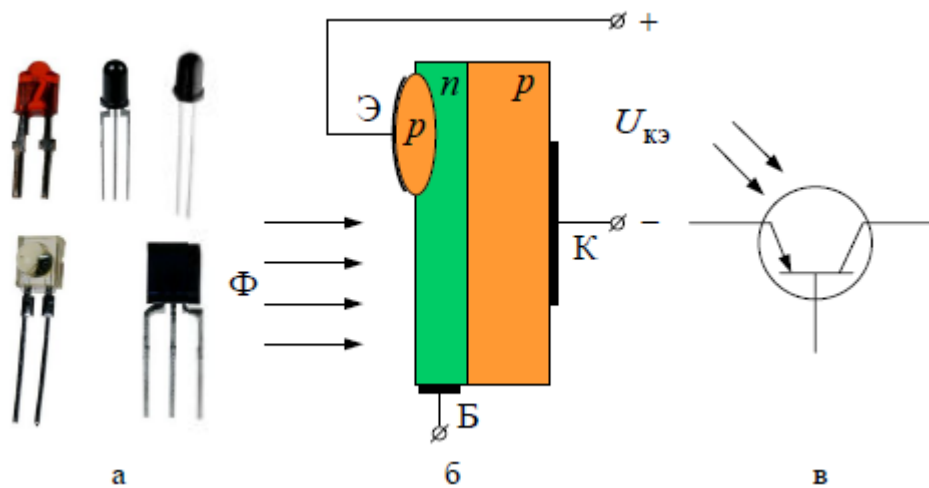


Рисунок 1.19 – Конструкції фототранзистора (а); структура фототранзистора; умовне графічне позначення фототранзистора (в).

Іноді фототранзистор має тільки два висновки: емітерний і колекторний. Принцип дії фототранзистор полягає в наступному. У затемненому стані і відсутності входного сигналу на базі транзистор закритий і в його колекторної частині ланцюга протікає невеличкий зворотній струм колекторного переходу. При висвітленні базової області променями світла там відбувається виникнення пар «електрон - дірка». Неосновні носії (в нашому випадку дірки) підхоплюються полем колекторного переходу і перекидаються в область колектора, а в базі залишається некомпенсований заряд електронів - основних носіїв - який призводить до зниження потенційного бар'єру емітерного переходу і до інжекції дірок з емітера в базу. Це призведе до збільшення колекторного струму, як якщо б на вхід транзистора був би поданий входний сигнал, що викликав таку ж інжекцію носіїв. Але тут замість входного електричного сигналу був використаний світловий сигнал $I_K = \beta I_\phi$, де β - коефіцієнт передачі транзистора за струмом; I_ϕ - фотострум, що виник в базовій області під дією світлового входного сигналу [6]. Таким чином, чутливість фототранзистора в β раз більше чутливості фотодіода. Схеми включення його, так само, як і біполярного транзистора, можуть бути із загальною базою, загальним емітером, із загальним колектором. Як

приклад на рис. 1.20 приведена схема включення з загальним емітером.

Вольт-амперна характеристика фототранзистора дуже нагадує вихідні характеристики біполярного транзистора (рис. 1.21), з тією лише різницею, що знімаються вони при постійному світловому потоці. Інші характеристики фототранзистора ідентичні характеристикам фотодіода.

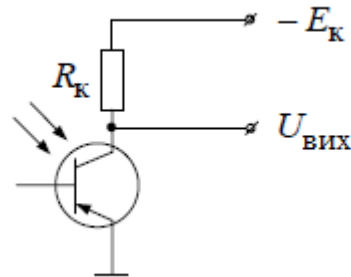


Рисунок 1.20 – Включення фототранзистора по схемі з спільним емітером.

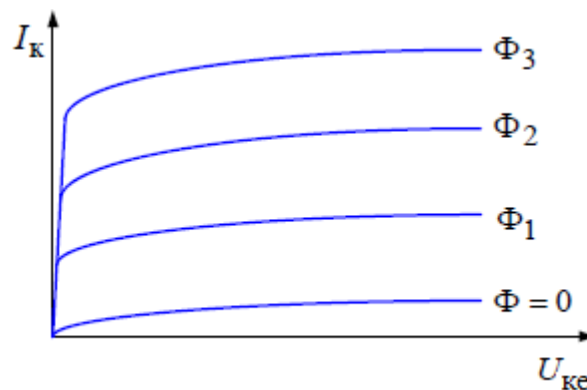


Рисунок 1.21 – Вольт – амперна характеристика фототранзистора.

Основними недоліками фототранзистор є його велика температурна залежність і погані частотні властивості [6].

1.4 ФОТОТЕРИСТОРИ.

За таким же принципом, як і управління фототранзистором, можна управляти і тиристором. Такий прилад називається *Фототиристором*. Замість керуючого електрода сигнал управління в вигляді потоку

променевої енергії (рис. 1.22) подається в спеціальне вікно в корпусі приладу, що призводить до тих же явищ, як якби був поданий електричний сигнал управління на керуючий електрод. Всі інші характеристики такого тиристора аналогічні характеристикам звичайного тиристора з електричним керуванням.

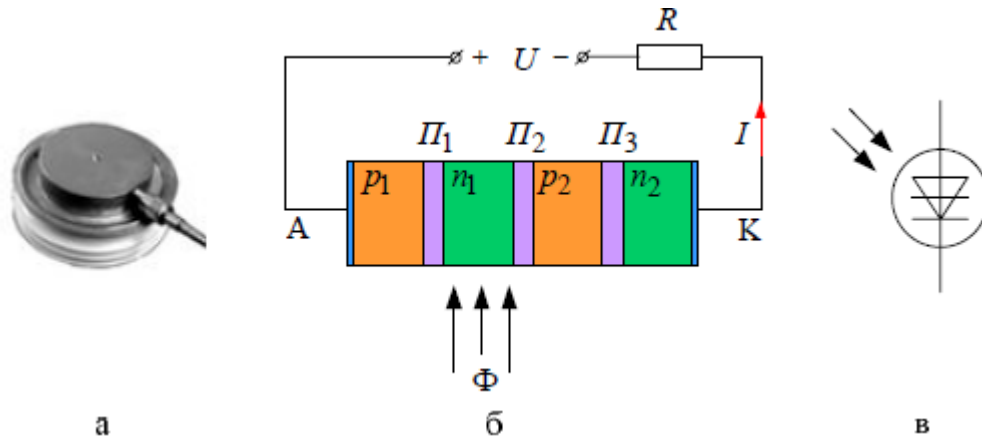


Рисунок 1.22 – Конструкція фототристора (а); структура фототристора (б); умовне графічне позначення (в).

На рис. 1.23 представлена вольт-амперна характеристика Фототристора.

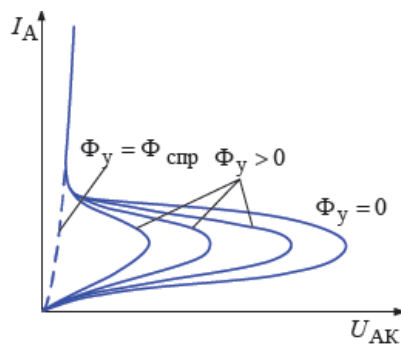


Рисунок 1.23 – Вольт – амперна характеристика фототристора.

1.5 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗІСТАВНІ ТРАНЗИСТОРИ (ПАРА ДАРЛІНГТОНА)

Зіставний транзистор - електричне з'єднання двох (або більше) біполярних транзисторів, польових транзисторів або IGBT -

транзисторів, з метою поліпшення їх електричних характеристик. До цих схем відносять так звану пару Дарлінгтона, пару Шіклаї, каскодну схему включення транзисторів, схему так званого струмового дзеркала та ін [7].

Зіставний транзистор (або схема) Дарлінгтона (часто - пара Дарлінгтона) була запропонована в 1953 році інженером Bell Laboratories Сідні Дарлінгтон (*Sidney Darlington*). Схема є каскадним з'єднанням двох (рідко - трьох або більше) біполярних транзисторів, включених таким чином, що навантаженням в емітерній ланцюга попереднього каскаду є перехід база-емітер транзистора наступного каскаду (тобто емітер попереднього транзистора з'єднується з базою подальшого), при цьому колектори транзисторів з'єднані. У цій схемі струм емітера попереднього транзистора є базовим струмом подальшого транзистора. Коефіцієнт посилення по струму пари Дарлінгтона дуже високий і приблизно дорівнює добутку коефіцієнтів посилення по струму транзисторів складових такої пари. У потужних транзисторів включених по схемі пари Дарлінгтона, конструктивно випускається в одному корпусі (наприклад, транзистор КТ825) гарантований коефіцієнт посилення по току при нормальних умовах експлуатації) не менше 750 .

У пар Дарлінгтона, зібраних на малопотужних транзисторах цей коефіцієнт може досягати значення 50000.

Високий коефіцієнт посилення по струму забезпечує управління малим струмом, поданим на керуючий вхід складеного транзистора, вихідними струмами перевищують вхідний на кілька порядків [7].

Досягти підвищення коефіцієнта посилення по току можна також зменшивши товщину бази при виготовленні транзистора, такі транзистори випускаються промисловістю і називаються «супербета транзистор», але процес їх виготовлення представляє певні технологічні труднощі і такі транзистори мають дуже низькі колекторні робочі напруги, що не перевищують декількох вольт. Прикладами супербета транзисторів можуть служити серії одиночних транзисторів КТ3102, КТ3107. Однак і такі транзистори іноді об'єднують в схемі Дарлінгтона. Тому у відносно сільнострумових і високовольтних схемах, де

потрібно знизити керуючий струм, використовуються пари Дарлінгтона або пари Шіклаї.

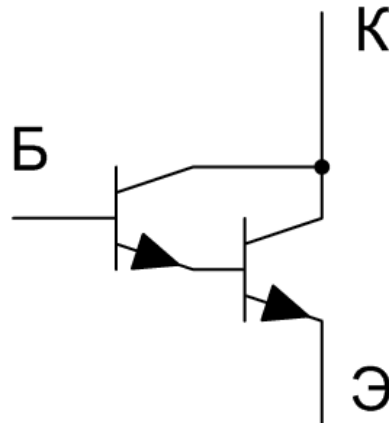


Рисунок 1.24 - Пара Дарлінгтона складена з транзисторів n- рп типу

Складовою транзистор має три електричних виведення, які еквівалентні висновкам бази, емітера і колектора звичайного одиночного транзистора. Іноді в схемі для прискорення закривання вихідного транзистора і зниження впливу початкового струму вхідного транзистора використовується резистивна навантаження емітера вхідного транзистора, як показано на малюнку.

Пару Дарлінгтона електрично в цілому розглядають як один транзистор, коефіцієнт посилення по току якого, при роботі транзисторів в лінійному режимі, приблизно дорівнює добутку коефіцієнтів посилення всіх транзисторів, наприклад, двох:

$$\beta_D \approx \beta_1 \cdot \beta_2 \quad (1.8)$$

Де β_D – коефіцієнт посилення по струму пари Дарлінгтона;

β_1, β_2 - коефіцієнти посилення по струму транзисторів пари.

Покажемо, що складовою транзистор дійсно має коефіцієнт β , Значно більший, ніж у його обох транзисторів. Аналіз проведено для схеми без емітерного резистора R_1 (Рисунок 1.25).

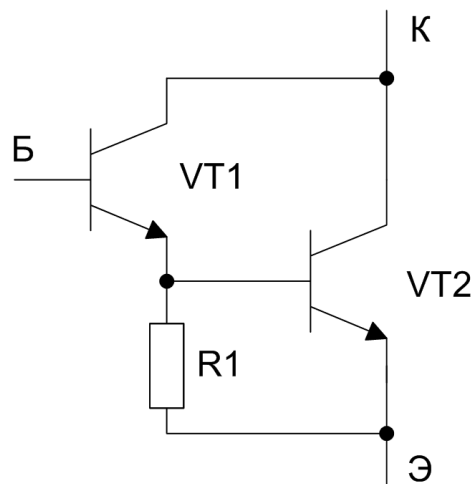


Рисунок 1.25 - Пара Дарлінгтона з резистором , який використовується в якості навантаження транзистора VT1

Струм емітера I_E будь-якого транзистора через базовий струм I_B статичний коефіцієнт передачі струму бази β_1 з 1-го правила Кірхгофа виражається формулою:

$$I_E = I_B + I_C = I_B + I_B \cdot \beta = I_B \cdot (1 + \beta) \quad (1.9)$$

де I_C – струм колектора;

Так як струм емітера другого транзистора I_{E_2} , Знову ж таки з 1-го правила Кірхгофа дорівнює:

$$I_{E_2} = I_{B_1} + I_{C_1} + I_{C_2} \quad (1.10)$$

Де I_{B_1} - базовий струм 1- го транзистора;

I_{C_1}, I_{C_2} - колекторні струми транзисторів;

Маємо:

$$\beta_D = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \cdot \beta_2 \quad (1.11)$$

Так як у транзисторів $\beta \gg 1$, то $\beta_D \approx \beta_1 \cdot \beta_2$.

Коефіцієнти β_1, β_2 розрізняються навіть в разі застосування пари абсолютно однакових за всіма параметрами транзисторів, оскільки струм емітера I_{E_2} в $1 + \beta_2$ раз більше струму емітера I_E , (Це впливає з очевидної рівності $I_{B2} = I_{E1}$ а статичний коефіцієнт передачі струму транзистора помітно залежить від струму колектора і може відрізнятися в багато разів при різних струмах [7]).

При використанні пари Дарлінгтона можна суттєво підвищити чутливість приладу зарахунок того, що пара Дарлінгтона має великий коефіцієнт підсилення, що дає змогу підсилювати слабкі сигнали тим самим в цілому підвищити чутливість.

1.6. Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Оцінювання комерційного потенціалу здійснювалось на основі опитування трьох фахівців-викладачів кафедри в т.ч. наукового керівника. На основі опитування і будується оцінка і проводиться технологічний аудит.

Комерційний потенціал розробки оцінюється за 12 критеріями та оцінюється за 5 бальною шкалою. До даних критеріїв входять 4 групи критеріїв, а саме: технічна здійсненність концепції, ринкові переваги та недоліки, ринкові перспективи, практична здійсненність [7].

Таблиця 1.3 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

| Критерії | Прізвище, ініціали, посада експерта | | |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | К.т.н., доц. Селецька О.О. | Мартинюк В.В. к.т.н., доц. | К.т.н., доц. Жагловська О.М. |
| 1. | 4 | 3 | 4 |
| 2. | 1 | 3 | 3 |
| 3. | 3 | 4 | 3 |
| 4. | 4 | 2 | 4 |
| 5. | 4 | 4 | 4 |
| 6. | 2 | 3 | 3 |
| 7. | 2 | 3 | 0 |
| 8. | 2 | 4 | 3 |

| | | | |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 9. | 4 | 3 | 2 |
| 10. | 3 | 2 | 3 |
| 11. | 3 | 2 | 2 |
| 12. | 1 | 2 | 2 |
| Сума балів | СБ ₁ | СБ ₂ | СБ ₃ |
| | 29 | 30 | 29 |

$$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3}$$

$$\overline{СБ} = \frac{88}{3} = 29,3$$

Отже, на основі проведеного експертного опитування середньо арифметична сума балів становила 29,3, що становить середнє. Може зробити висновок, що розробка є дуже актуальною. Має широкий спектр застосування.

Отже, розроблений пристрій може бути впроваджена на абсолютно будь-яких підприємствах і організаціях, зацікавлених у підвищенні безпеки будь-якого приміщення. Потенційними споживачами даного дослідження можуть бути як фізичні, юридичні особи, так і комерційні організації різних розмірів, які потребують безпеки своїх об'єктів [7].

1.7. Оцінювання рівня конкурентоспроможності розробки

Конкурентоспроможність товару — це здатність продукції бути привабливішою для покупця в порівнянні з іншими виробами аналогічного виду й призначення, завдяки кращій відповідності її якісних і вартісних характеристик вимогам ринку й споживчим оцінкам. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Детальний аналіз конкуруючих розробок, існуючих на ринку,

необхідно проводити систематично, оскільки ринки перебувають в постійному русі.

З цією метою може бути використана вся наявна інформація про конкурентних розробках:

- технічні характеристики розробки;
- конкурентоспроможність розробки;
- рівень завершеності наукового дослідження (наявність макета, прототипу і т.п.);
- бюджет розробки;
- рівень проникнення на ринок;
- фінансове становище конкурентів, тенденції його зміни і т.д.

Аналіз конкурентних технічних рішень з позиції ресурсоефективності та ресурсозбереження дозволяє провести оцінку порівняльної ефективності наукової розробки і визначити напрямки для її майбутнього підвищення.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (Кінт) з урахуванням вищезазначених груп показників визначається за формулою (1.2):

$$K_{\text{інт}} = I_{\text{нп}} \frac{I_{\text{тп}}}{I_{\text{еп}}} \quad (1.12)$$

де ІНП – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

ІТП – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);

ІЕП – індекс економічних параметрів.

В таблиці представлені нормативні та технічні параметри. До групи технічних параметрів, що їх використовують для оцінювання конкурентоспроможності, зазвичай вносять показники призначення та надійності, а також ергономічні та естетичні показники.

Нормативні параметри характеризують властивості товару, регламентовані обов'язковими нормами, стандартами і законодавством ринків майбутнього продажу.

Крім того, задовольняючи потреби, покупець витрачає свої гроші як на придбання товару, так і на його використання. Розмір цих витрат формує ціну придбання та вартість споживання товару.

До наведених в таблиці показники конкурентоспроможність визначають також наступні показники: спрощена схема виконання та виробництва; нижча собівартість за рахунок використання дешевших комплектуючих; краща якість; нижчі витрати на транспортування пристрою чи деталей; спрощена установка та ремонт; експлуатація та технічне обслуговування, навчання персоналу; довший термін експлуатації; ергономічні та органолептичні показники [7].

Таблиця 1.4 – Нормативні, технічні та економічні параметри інноваційного рішення та товару-аналогу

| № | Показник | Базовий товар (товар-конкурент) | Новий товар (інноваційне рішення) |
|----------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Технічні параметри | | | |
| 1. | Струм споживання | 4,5 | 4.5 мА |
| 2. | Напруга живлення | 5 | 6.5 В |
| 3. | Вихідна напруга | 5 | 5 В |
| 4. | Діапазон темп. | 90 | 100 |
| 5. | Робоча частота | 105 | 106 Гц. |
| Економічні показники | | | |
| 6. | Ціна,грн | 1550 | 1604 |

Розрахунок одиничних параметричних показників конкурентоспроможності для окремого показника визначається за наступною формулою:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{\text{базі}}} \quad (1.13)$$

- за технічними показниками:

$$q_1 = \frac{4,5}{4,5} = 1$$

$$q_2 = \frac{6,5}{5} = 1,3$$

$$q_3 = \frac{5}{5} = 1$$

$$q_4 = \frac{106}{105} = 1$$

- за економічними показниками:

$$I_{\text{еп}} = 1604/1550 = 1,03$$

Далі розрахуємо групові параметри індексів конкурентоспроможності:

за технічними характеристиками:

$$I_{\text{ТП}} = \sum_{i=1}^n q_i * \alpha_1 \quad (1.14)$$

де $I_{\text{ТП}}$ – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом аналогом);

q_i – одиничний параметричний індекс i – го параметра;

α_1 – вагомість i – го параметричного індексу, $\sum_{i=1}^k \alpha_1 = 1$;

n – кількість технічних параметрів, за яким оцінюється конкурентоспроможність.

$$I_{\text{ТП}} = (1+1,3+1+1)*1 = 4,3$$

$$K_{int} = 4,3/1,03 = 4,1$$

Загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами приймаємо рівним 1, якщо інноваційне рішення відповідає встановленим нормам, стандартам і вимогам; якщо не відповідає, приймаємо значення параметра як 0.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{EP} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (1.15)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Якщо $K_{int} > 1$, то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент, обраний за базу для порівняння; якщо $K_{int} < 1$, то рівень конкурентоспроможності інноваційного рішення є нижчим, ніж у товару-конкурента; якщо $K_{int} = 1$, то ця ситуація інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів. Безумовно, мета виробника – отримати $K_{int} > 1$, цілеспрямовано, збільшуючи I_{tp} та зменшуючи I_{EP} .

В нашому випадку $K_{int} = 1$, то ця ситуація інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів.

Вимірювач потужності оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона. Особливістю та істотною конкурентною перевагою є те що розроблений прилад має високу чутливість в діапазоні низьких значень потужності оптичного випромінювання, що дає можливість вимірювати слабкі оптичні сигнали і є дешевший за рахунок відсутності АЦП.

Близьким за функціями та характеристиками є оптичний перетворювач PSL-257 на основі фототранзистора ТАУ. Особливістю цього транзистору є те, що він вимірює слабкі оптичні сигнали.

Висновки до розділу:

Проведено аналіз основних принципів технології оптичних випромінювачів, розглянуто типи оптичних випромінювачів, їхні переваги та недоліки.

Розглянуто можливі загрози використання пристроїв з оптичним випромінненням, а також надано рекомендації щодо боротьби з ними.

Аналіз існуючих пристроїв показав, що їх сьогодні існує велике різноманіття, причому більшість з них не достатньо коштовними та побудовані за великою кількістю стандартів, які не всі є загальноприйнятими і несуть у собі приховану загрозу при використанні.

Особливістю та істотною конкурентною перевагою є те що розроблений прилад має високу чутливість в діапазоні низьких значень потужності оптичного випромінювання саме за рахунок використання каскаду Дарлінгтона, що дає можливість вимірювати слабкі оптичні сигнали і є дешевший за рахунок відсутності АЦП.

2 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ ВИМІРЮВАЧА ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ КАСКАДУ ДАРЛІНГТОНА

Запропонований вимірювач оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона за рахунок якого відбувається перетворення електричного сигналу в частотний, що дасть можливість вимірювати слабкі оптичні сигнали.

2.1 Розроблення схеми вимірювача оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона

На основі попередніх досліджень були виявлені недоліки існуючих аналогів, тому даний пристрій повинен мати можливість покращення функціональних можливостей і підвищення точності вимірювань, мати високу швидкодію, простоту і чутливість [8].

Розроблено структурну схему вимірювача оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона, яка зображена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурна схема вимірювача оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона

Схема працює таким чином, на початку на фоточутливий елемент подається інфрачервоний сигнал (в даному моделюванні за відсутності у програмному середовищі ISIS Proteus фоторезистора, було використано змінний резистор), чутливий елемент сприймає сигнал певної частоти та передає

інформацію на частотний перетворювач потужності оптичного випромінювання, після чого інформація надходить до мікроконтролера і в результаті виводиться на екранчик LCD дисплея.

Дана вимірювальна система, а також принципова електрична схема яка зображена на рис. 2.2, містить в собі блок який здійснює вимірювання оптичного випромінювання, який складається з 8 - бітного КМОН мікроконтролера з AVR RISC архітектурою. Виконуючи команди за один цикл, ATtiny2313 досягає продуктивності 1 MIPS при частоті генератора, що задає 1 МГц, що дозволяє розробнику оптимізувати ставлення споживання до продуктивності [8].

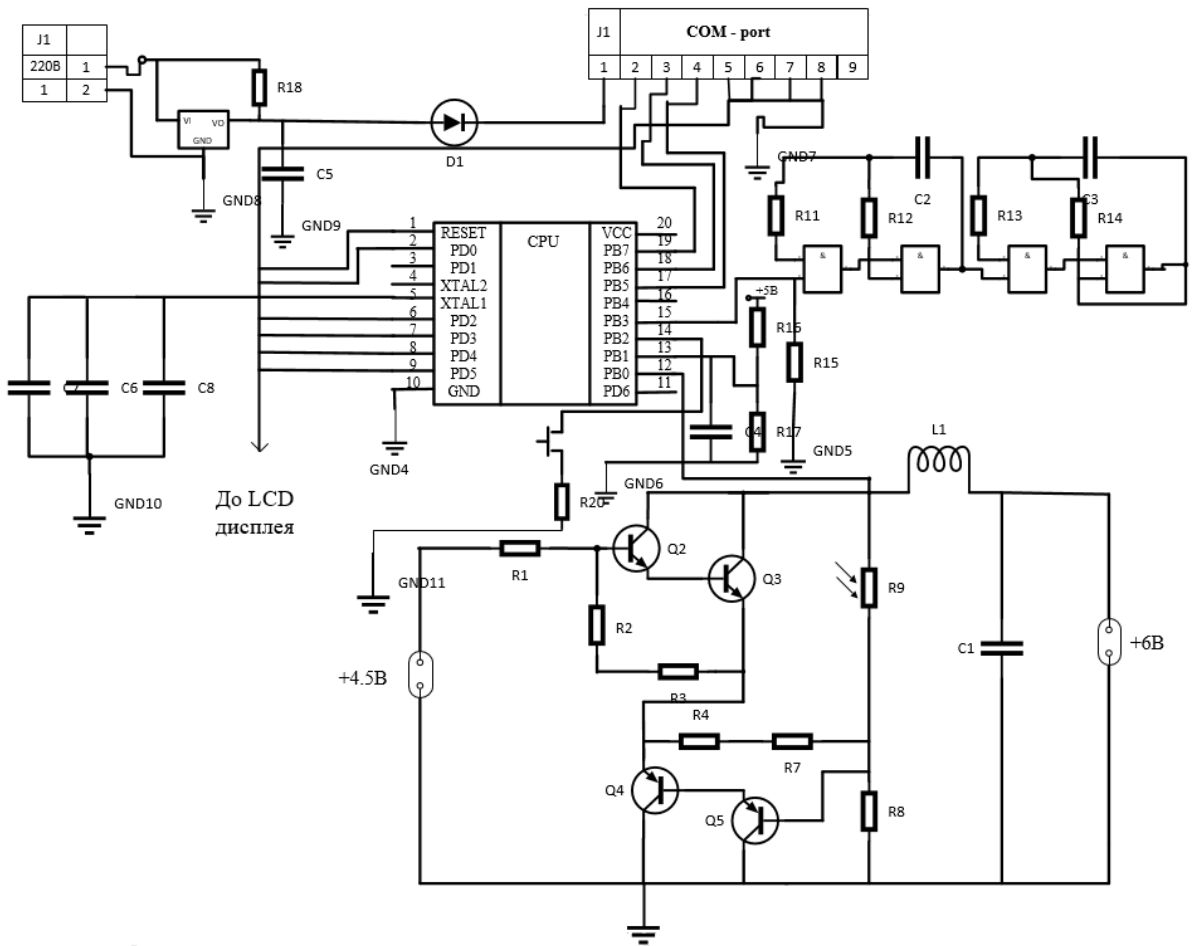


Рисунок 2.2 – Електрично – принципова схема вимірювача оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона

Індикація результатів моделювання можлива як за допомогою рідиннокристалічного індикатора або ж через монітор ЕОМ.

2.2 Обґрунтування вибору та аналіз мікроконтролера

Одним з найголовніших елементів схеми є мікроконтролер, тому до його вибору потрібно відноситись дуже помірковано. На основі цього було обрано мікроконтролер Attiny2313 з AVR RISC архітектурою ATtiny2313 (рис.2.2).

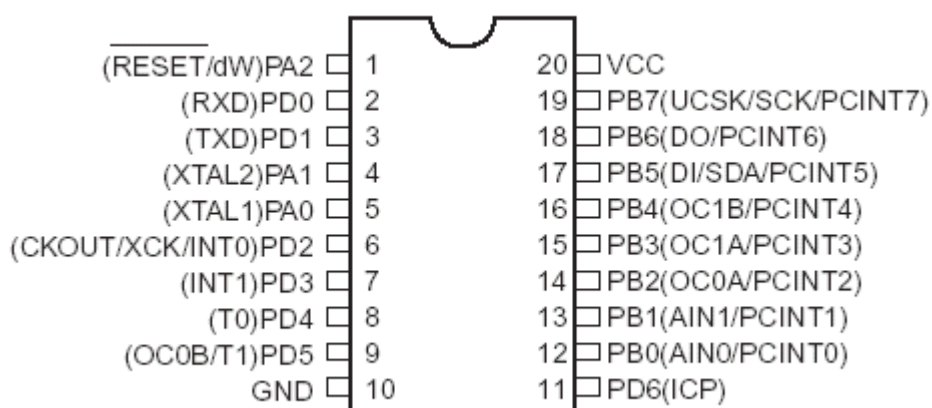


Рисунок 2.2 – Вигляд мікроконтролера Attiny2313 з позначенням виводів.

ATtiny2313 - низькоспоживаючий 8 бітний КМОП мікроконтролер з AVR RISC архітектурою. Виконуючи команди за один цикл, ATtiny2313 досягає продуктивності 1 MIPS при частоті генератора, що задає 1 МГц, що дозволяє розробнику оптимізувати ставлення споживання до продуктивності. AVR ядро об'єднує багату систему команд і 32 робочих регістра загального призначення. Всі 32 регістра безпосередньо пов'язані з арифметико-логічним пристроєм (АЛП), що дозволяє отримати доступ до двох незалежних регістрів при виконанні однієї команди. В результаті ця архітектура дозволяє забезпечити в десятки разів більшу продуктивність, ніж стандартна CISC архітектура [8].

ATtiny2313 має наступні характеристики: 2 КБ програмованої в системі Flash пам'ять програми, 128 байтну EEPROM пам'ять даних, 128 байтне SRAM (статична ОЗУ), 18 ліній введення - виведення загального застосування, 32 робочих регістра загального призначення, Однопровідний інтерфейс для

вбудованого відладчика, два гнучкого таймера / лічильника зі схемами порівняння, внутрішні і зовнішні джерела переривання, послідовний програмований USART, універсальний послідовний інтерфейс з детектором стартового умови, програмований сторожовий таймер з вбудованим генератором і три програмно ініціалізованих режими зберігання. У режимі Idle зупиняється ядро, але ОЗУ, таймери / лічильники і система переривань продовжують функціонувати. У режимі Power-down регістри зберігають своє значення, але генератор зупиняється, блокуючи всі функції приладу до наступного переривання або апаратного скидання. В Standby режимі задає генератор працює, в той час як інша частина приладу не діє. Це дозволяє дуже швидко запуснути мікропроцесор, зберігаючи при цьому в режимі бездіяльності потужність.

Прилад виготовлений по високощільній незалежній технології виготовлення пам'яті компанії Atmel. Вбудована ISP Flash дозволяє перепрограмувати пам'ять програми в системі через послідовний SPI інтерфейс або звичайним програматором енергонезалежній пам'яті. Об'єднавши в одному кристалі 8- бітове RISC ядро з самопрограмуємим в системі Flash пам'яттю, ATtiny2313 став потужним мікроконтролером, який дає велику гнучкість розробника мікропроцесорних систем. ATtiny2313 підтримується різними програмними засобами та інтегрованими засобами розробки, такими як компілятори C, макроасемблера, програмні відкладчики / симулятори, внутрісхемні емулятори та ознайомчі набори [9].

Даний мікроконтролер має такі характеристики:

- 120 команд, більшість яких виконується за один тактовий цикл
- 32 8 бітних робочих регістра загального застосування
- Повністю статична архітектура ОЗУ і незалежна пам'ять програм і даних
- 2 КБ самопрограмуючої в системі Flash пам'яті програми, здатної витримати 10 000 циклів запису / стирання

- 128 Байт програмованої в системі EEPROM пам'яті даних, здатної витримати 100 000 циклів запису / стирання

- 128 Байт вбудованої SRAM пам'яті (статичне ОЗУ)

- Програмована захист від зчитування Flash пам'яті програми і EEPROM пам'яті даних

характеристики периферії

- Один 8- розрядний таймер / лічильник з окремим переддільником

- Один 16-розрядний таймер / лічильник з окремим переддільником, схемою порівняння, схемою захоплення і двома каналами ШІМ

- Вбудований аналоговий компаратор

- Програмований сторожовий таймер з вбудованим генератором

- USI - універсальний послідовний інтерфейс

- повнодуплексний UART

Спеціальні характеристики мікроконтролера

- Вбудований відладчик debugWIRE

- Внутрішньосистемне програмування через SPI порт

- Зовнішні та внутрішні джерела переривання

- Режими зниженого споживання Idle, Power-down і Standby

- Удосконалена схема формування скидання при включенні

- Програмована схема виявлення короткочасних зникнень харчування

- Вбудований відкалібрований генератор

-Порти введення - виведення і корпусне виконання

- 18 програмованих ліній введення - виведення

- 20 вивідний PDIP, 20 вивідний SOIC і 32 контактний MLF корпусу

Діапазон напруги живлення:

- від 1.8 до 5.5 В

Робоча частота:

- 0 - 16 МГц

Споживання:

Активний режим:

300 мкА при частоті 1 МГц і напрузі живлення 1.8 В

20 мкА при частоті 32 кГц і напрузі живлення 1.8 В

Режим зниженого споживання:

- 0.5 мкА при напрузі живлення 1.8 В

2.3 Розробка математичної моделі

На рисунку 2.3 Зображена електрично принципова схема вимірювача оптичного випромінювання.

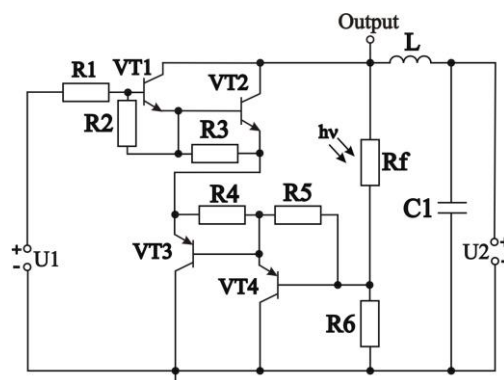


Рисунок 2.3 - Електрична принципова схема вимірювача оптичного випромінювання.

Коливальний контур автогенератора в схемі утворюється ємнісною складовою повного опору на електродах колектор-колектор біполярних

транзисторів VT2 і VT4 та індуктивністю L . Каскадне увімкнення транзисторів VT1, VT2 та VT3, VT4 забезпечує високий коефіцієнт підсилення по струму. Живлення схеми забезпечується напругою U_2 . Напруга U_1 використовується для встановлення робочого режиму схеми [9].

Для визначення основних характеристик автогенераторного перетворювача складено еквівалентну схему по змінному струму (рис. 2.4).

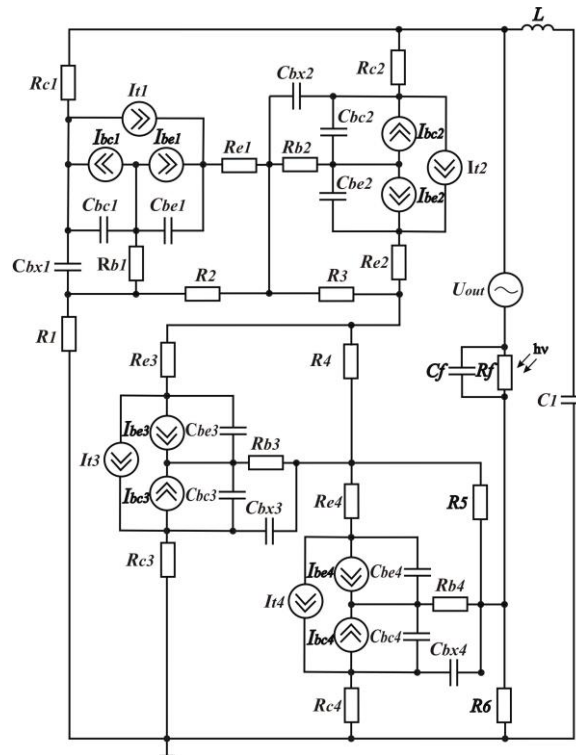


Рис. 2.4 - Еквівалентна схема перетворювача оптичного випромінювання на основі біполярних транзисторів по змінному струму

Для еквівалентної схеми (рис. 2.4) використано наступні позначення: R_f – опір фоторезистора R_f ; C_f – ємність фоторезистора R_f ; C_1 – ємність конденсатора C_1 ; L – індуктивність котушки індуктивності L ; $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ – опори резисторів $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ відповідно; R_{c1}, R_{c2}, R_{c3} та R_{c4} – опори колектора транзисторів VT1, VT2, VT3 та VT4 відповідно; R_{e1}, R_{e2}, R_{e3} та R_{e4} – опори емітера транзисторів VT1, VT2, VT3 та VT4 відповідно; R_{b1}, R_{b2}, R_{b3} та R_{b4} – опори бази транзисторів VT1, VT2, VT3 та VT4 відповідно; $C_{be1}, C_{be2},$

C_{be3} та C_{be4} – ємності переходу база-емітер транзисторів VT1, VT2 , VT3 та VT4 відповідно; C_{bc1} , C_{bc2} , C_{bc3} та C_{bc4} – ємності переходу база-колектор транзисторів VT1, VT2 , VT3 та VT4 відповідно; C_{bx1} , C_{bx2} , C_{bx3} та C_{bx4} – ємності між зовнішнім виводом бази і колектора транзисторів VT1, VT2 , VT3 та VT4 відповідно; I_{be1} , I_{be2} , I_{be3} , I_{be4} , I_{bc1} , I_{bc2} , I_{bc3} , I_{bc4} , I_{t1} , I_{t2} , I_{t3} , I_{t4} – струми транзисторів VT1, VT2 , VT3 та VT4 відповідно, які визначаються за формулами [15]:

$$I_{be} = I_s \exp\left(\frac{U_{be}}{NE \cdot V_t} - 1\right), \quad I_{bc} = I_s \exp\left(\frac{U_{bc}}{NC \cdot V_t} - 1\right), \quad I_t = \frac{I_{be} - I_{bc}}{Q},$$

де $I_s = I_{ss} \exp\left(\frac{U_{js}}{NS \cdot V_t} - 1\right)$ – струм насичення;

$V_t = \frac{kT}{q}$ – зворотний струм р-п переходу підкладки,

U_{be} – напруга база-емітер,

U_{bc} – напруга база-колектор,

U_{js} – контактна різниця потенціалів колектор-підкладка,

NE – коефіцієнт неідеальності емітерного переходу,

NC – коефіцієнт неідеальності колекторного переходу;

NS – коефіцієнт неідеальності переходу підкладки;

Q – заряд в базі.

Перетворимо схему (рис. 2.4) у зручнішу для проведення розрахунків (рис.2.5)

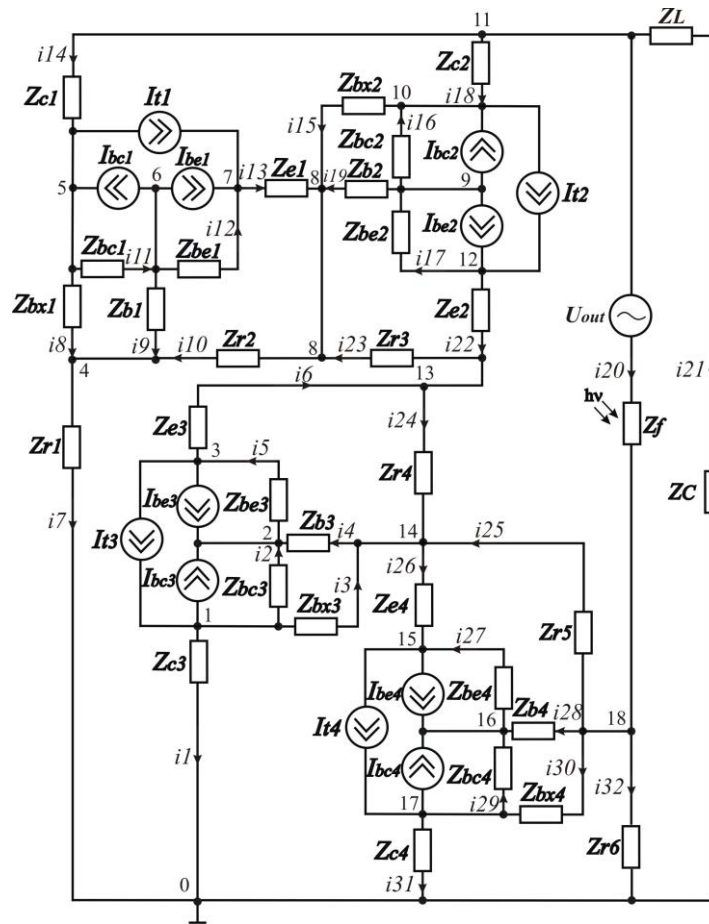


Рис 2.5 - Перетворена еквівалентна схема перетворювача оптичного випромінювання на основі біполярних транзисторів по змінному струму

Для еквівалентної схеми на рис. 2.5 складено систему рівнянь Кірхгофа по змінному струму:

$$\left\{ \begin{array}{l}
I_{bc3} - I_{t3} = -\varphi_1(Y_1 + Y_2 + Y_3) + \varphi_2 Y_2 + \varphi_{14} Y_3, \\
-(I_{be3} + I_{bc3}) = \varphi_1 Y_2 - \varphi_2(Y_2 + Y_4 + Y_5) + \varphi_3 Y_5 + \varphi_{14} Y_4, \\
I_{be3} - I_{t3} = \varphi_2 Y_5 - \varphi_3(Y_5 + Y_6) + \varphi_{13} Y_6, \\
0 = -\varphi_4(Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10}) + \varphi_5 Y_8 + \varphi_6 Y_9 + \varphi_8 Y_{10}, \\
I_{t1} - I_{bc1} - U_{out} = \varphi_4 Y_8 - \varphi_5(Y_8 + Y_{11} + Y_{14}) + \varphi_6 Y_{11}, \\
I_{bc1} + I_{be1} = \varphi_4 Y_9 + \varphi_5 Y_{11} - \varphi_6(Y_9 + Y_{11} + Y_{12}), \\
-(I_{t1} + I_{be1}) = \varphi_6 Y_{12} - \varphi_7(Y_{12} + Y_{13}) + \varphi_8 Y_{13}, \\
0 = \varphi_4 Y_{10} + \varphi_7 Y_{13} - \varphi_8(Y_{10} + Y_{13} + Y_{15} + Y_{19} + Y_{23}) + \varphi_9 Y_{19} + \varphi_{10} Y_{15} + \varphi_{13} Y_{23}, \\
I_{be2} + I_{bc2} = \varphi_8 Y_{19} - \varphi_9(Y_{16} + Y_{17} + Y_{19}) + \varphi_{10} Y_{16} + \varphi_{12} Y_{17}, \\
I_{t2} - I_{bc2} - U_{out} Y_{18} = \varphi_8 Y_{15} + \varphi_9 Y_{16} - \varphi_{10}(Y_{15} + Y_{16} + Y_{18}), \\
U_{out}(Y_{14} + Y_{18} + Y_{20} + Y_{21}) = \varphi_5 Y_{14} + \varphi_{10} Y_{18} + \varphi_{18} Y_{20}, \\
-(I_{t2} + I_{be2}) = -\varphi_{12}(Y_{17} + Y_{22}) + \varphi_9 Y_{17} + \varphi_{13} Y_{22}, \\
0 = \varphi_3 Y_6 + \varphi_8 Y_{23} + \varphi_{12} Y_{22} - \varphi_{13}(Y_6 + Y_{22} + Y_{23} + Y_{24}), \\
0 = \varphi_1 Y_3 + \varphi_2 Y_4 + \varphi_{13} Y_{24} - \varphi_{14}(Y_4 + Y_{24} + Y_{24} + Y_{25} + Y_{26}), \\
I_{t4} + I_{be2} = \varphi_{14} Y_{26} - \varphi_{15}(Y_{26} + Y_{27}) + \varphi_{16} Y_{27}, \\
-(I_{be4} + I_{bc4}) = \varphi_{15} Y_{27} - \varphi_{16}(Y_{26} + Y_{27} + Y_{28}) + \varphi_{17} Y_{29} + \varphi_{18} Y_{28}, \\
I_{bc4} - I_{t4} = \varphi_{16} Y_{29} - \varphi_{17}(Y_{29} + Y_{30} + Y_{31}) + \varphi_{18} Y_{30}, \\
-U_{out} Y_{20} = \varphi_{14} Y_{25} + \varphi_{16} Y_{28} + \varphi_{17} Y_{30} - \varphi_{18}(Y_{20} + Y_{25} + Y_{28} + Y_{30}),
\end{array} \right. \quad (2.1)$$

Для перетвореної еквівалентної схеми (рис. 2.5) використано умовні позначення:

$$\begin{aligned}
Z_{r1} &= R_1 ; Z_{r2} = R_2 ; Z_{r3} = R_3 ; Z_{r4} = R_4 ; Z_{r5} = R_5 ; Z_{r6} = R_6 ; Z_{b1} = R_{b1} ; Z_{b2} = R_{b2} ; Z_{b3} = R_{b3} ; \\
Z_{b4} &= R_{b4} ; Z_{c1} = R_{c1} ; Z_{c2} = R_{c2} ; Z_{c3} = R_{c3} ; Z_{c4} = R_{c4} ; Z_{e1} = R_{e1} ; Z_{e2} = R_{e2} ; Z_{e3} = R_{e3} ; Z_{e4} = R_{e4} ; \\
Z_{bc1} &= -j/(\omega \cdot C_{bc1}) ; Z_{bc2} = -j/(\omega \cdot C_{bc2}) ; Z_{bc3} = -j/(\omega \cdot C_{bc3}) ; Z_{bc4} = -j/(\omega \cdot C_{bc4}) ; \\
Z_{be1} &= -j/(\omega \cdot C_{be1}) ; Z_{be2} = -j/(\omega \cdot C_{be2}) ; Z_{be3} = -j/(\omega \cdot C_{be3}) ; Z_{be4} = -j/(\omega \cdot C_{be4}) ; \\
Z_{bx1} &= -j/(\omega \cdot C_{bx1}) ; Z_{bx2} = -j/(\omega \cdot C_{bx2}) ; Z_{bx3} = -j/(\omega \cdot C_{bx3}) ; Z_{bx4} = -j/(\omega \cdot C_{bx4}) ; \\
Z_C &= -j/(\omega \cdot C_1) ; Z_L = j\omega L ; Z_f = R_f / (1 + \omega^2 \cdot R_f^2 \cdot C_f^2) - j\omega R_f^2 C_f / (1 + \omega^2 R_f^2 C_f^2).
\end{aligned}$$

Провідності гілок схеми (рис. 2.5) визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}
Y_1 &= 1/Z_{c3} ; Y_2 = 1/Z_{bc3} ; Y_3 = 1/Z_{bx3} ; Y_4 = 1/Z_{b3} ; Y_5 = 1/Z_{be3} ; Y_6 = 1/Z_{e3} ; Y_7 = 1/Z_{r1} ; Y_8 = 1/Z_{bx1} ; \\
Y_9 &= 1/Z_{b1} ; Y_{10} = 1/Z_{r2} ; Y_{11} = 1/Z_{bc1} ; Y_{12} = 1/Z_{be1} ; Y_{13} = 1/Z_{e1} ; Y_{14} = 1/Z_{c1} ; Y_{15} = 1/Z_{bx2} ; \\
Y_{16} &= 1/Z_{bc2} ; Y_{17} = 1/Z_{be2} ; Y_{18} = 1/Z_{c2} ; Y_{19} = 1/Z_{b2} ; Y_{20} = 1/Z_f ; Y_{21} = 1/(Z_L + Z_C) ; Y_{22} = 1/Z_{e2} ;
\end{aligned}$$

$$Y_{23} = 1/Z_{r3}; Y_{24} = 1/Z_{r4}; Y_{25} = 1/Z_{r5}; Y_{26} = 1/Z_{e4}; Y_{27} = 1/Z_{be4}; Y_{28} = 1/Z_{b4}; Y_{29} = 1/Z_{bc4};$$

$$Y_{30} = 1/Z_{bx4}; Y_{31} = 1/Z_{c4}; Y_{32} = 1/Z_{r6}.$$

Систему рівнянь (2.1) розв'язано за методом Гауса за допомогою програмного пакету Matlab 8.1 [9].

На рис. 2.6 та 2.7 показані розрахункові та експериментальні залежності активної та реактивної складової повного опору від потужності оптичного випромінювання відповідно, на основі яких розраховується функція перетворення та рівняння чутливості оптичного перетворювача.

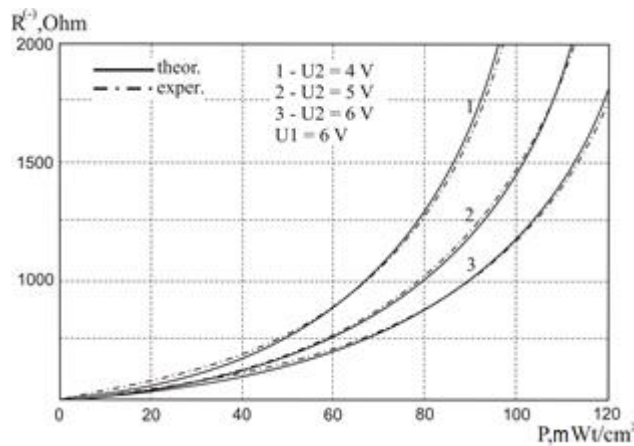


Рис. 2.6 - Теоретичні та експериментальні залежності активної складової опору від потужності оптичного випромінювання

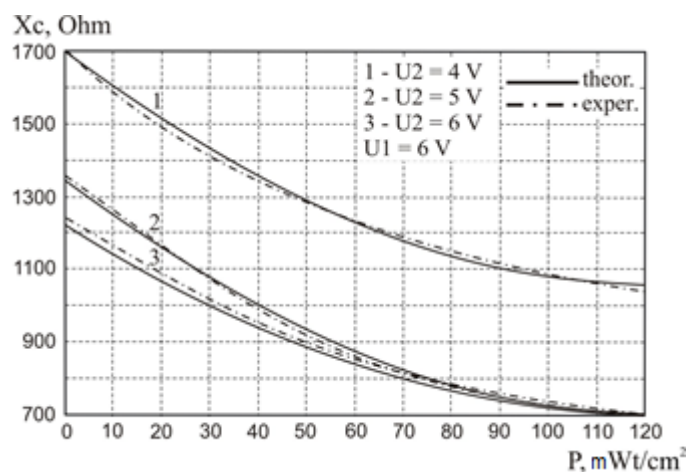


Рис. 2.7 - Теоретичні та експериментальні залежності реактивної складової повного опору від від потужності оптичного випромінювання

Реактивна складова повного опору при напрузі 4 В має максимальне значення і зменшується із зменшенням потужності оптичного випромінювання.

Функція перетворення, тобто залежність частоти генерації від потужності оптичного випромінювання, визначається на основі розв'язку системи рівнянь Кірхгофа (2.2) [10]. Її аналітична формула має вигляд [10].:

$$F = \frac{1}{4\pi} \frac{\sqrt{2} \sqrt{R_f^2(P)C_f^2 + C_{bx1}R_f^2(P)C_f - LC_{bx1}} - A_1}{LC_{bx1}R_f^2(P)C_f^2}, \quad (2.2)$$

$$\text{де } A_1 = \sqrt{(R_f^2(P)C_f^2 + C_{bx1}R_f^2(P)C_f - LC_{bx1})^2 + 4C_{bx1}R_f^2(P)C_f}.$$

Залежність частоти генерації від потужності оптичного випромінювання представлені на рис. 2.8 Її було розраховано за формулою (2.2) та визначено експериментально.

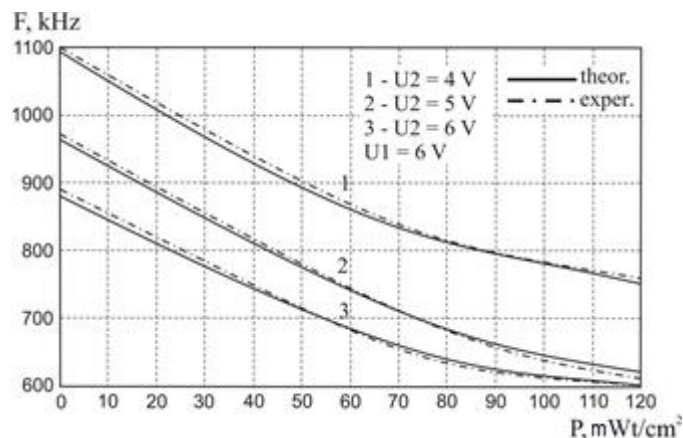


Рис. 2.8 - Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації від потужності оптичного випромінювання

З графіка видно, що із збільшенням потужності випромінювання спостерігається зменшення частоти генерації. Розбіжність теоретичної та експериментальної складової не перевищує $\pm 5\%$.

Чутливість перетворювача визначається на основі виразу (2.3) та описується рівнянням:

$$S_P^F = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{\partial R_f(P)}{\partial P} \right) \left(R_f^2(P) C_f^2 - C_{bx1} R_f^2(P) C_f + \sqrt{A_2} + LC_{bx1} \right)}{\pi R_f^2(P) C_f \sqrt{A_2} \sqrt{-\frac{R_f^2(P) C_f^2 - C_{bx1} R_f^2(P) C_f + \sqrt{A_2} + LC_{bx1}}{LC_{bx1} R_f^2(P) C_f^2}}}, \quad (2.3)$$

де

$$A_2 = R_f^4(P) C_f^4 + 2R_f^4(P) C_f^4 C_{bx1} + 2LC_{bx1} R_f^2(P) C_f^2 + C_{bx1}^2 R_f^4(P) C_f^4 - 2C_{bx1}^2 R_f^2(P) R_f^2(P) C_f L + L^2 C_{bx1}^2.$$

На рис. 2.9 показана залежність чутливості оптичного перетворювача від потужності випромінювання.

Рис. 2.9 - Залежність чутливості мікроелектронного частотного перетворювача від потужності оптичного випромінювання

2.4 Моделювання вимірювача оптичного випромінювання в ISIS Proteus

Для моделювання роботи електричної схеми вимірювача оптичного випромінювання обрано програмне середовище Proteus, оскільки воно дає змогу в подальшому автоматично розробити топологію друкованої плати для даного пристрою також володіє широкою базою елементів, що дає змогу точно промодельовати роботу схеми. Але незважаючи на велику елементну базу, в даному програмному середовищі відсутній фоторезистор, який має бути приступним у моделювання, тому ми замінимо його звичайним настроєчним резистором RV1, тим самим імітуючи роботу фоторезистора. На основі цього зібрано схему для моделювання (рис. 2.10) [11].

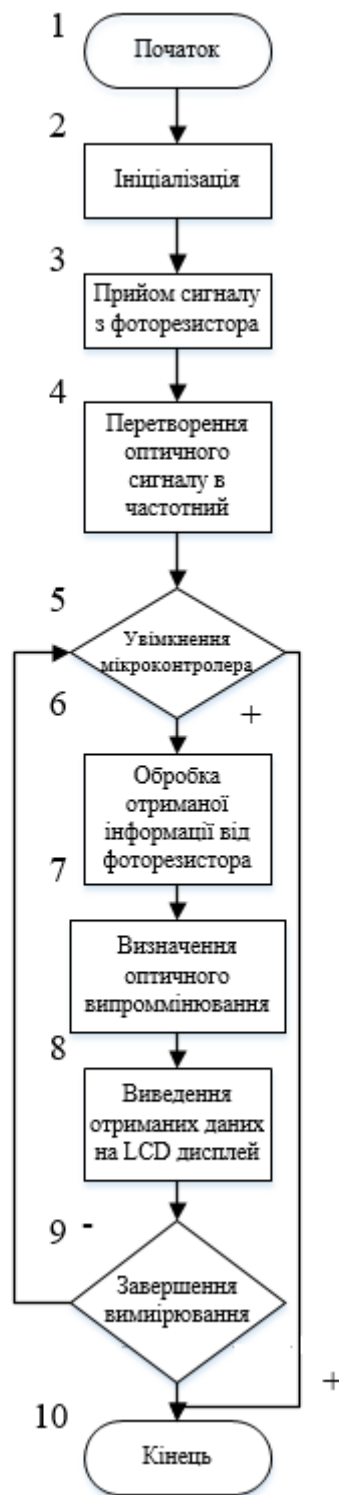


Рисунок 2.11 - Блок схема алгоритму виконання програми

При увімкненні джерела живлення проходить ініціалізація мікроконтролера. Після чого, у пам'яті мікроконтролера в якій записаний код, відбувається його негайне виконання, у разі відсутності коду, його потрібно

встановити для виконання операції [12].

Проведемо моделювання схеми при різних керуючих напругах та при різних значеннях опору резистора RV1. При запуску схеми на дисплей відображається відповідне повідомлення про потужність випромінювання в одиницях mW/cm^3

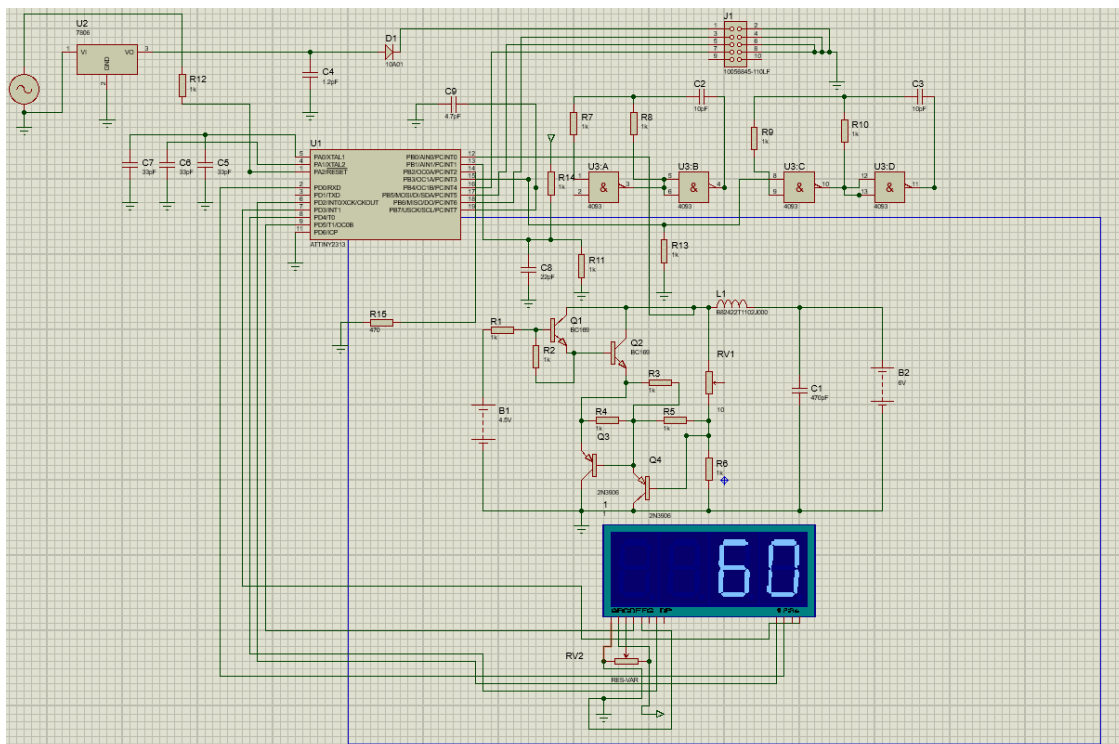


Рисунок 2.12 – схема моделювання вимірювача оптичного випромінювання при ($RV1 = 4 \text{ кОм}$) в програмному середовищі ISIS Proteus

На рисунку 2.12 можна побачити, що значення на екранчику це є потужність оптичного випромінювання при значенні настроєчного резистора RV1 – 5 кОм та напрузі керування 2 В і становить 60 mW/cm^3 .

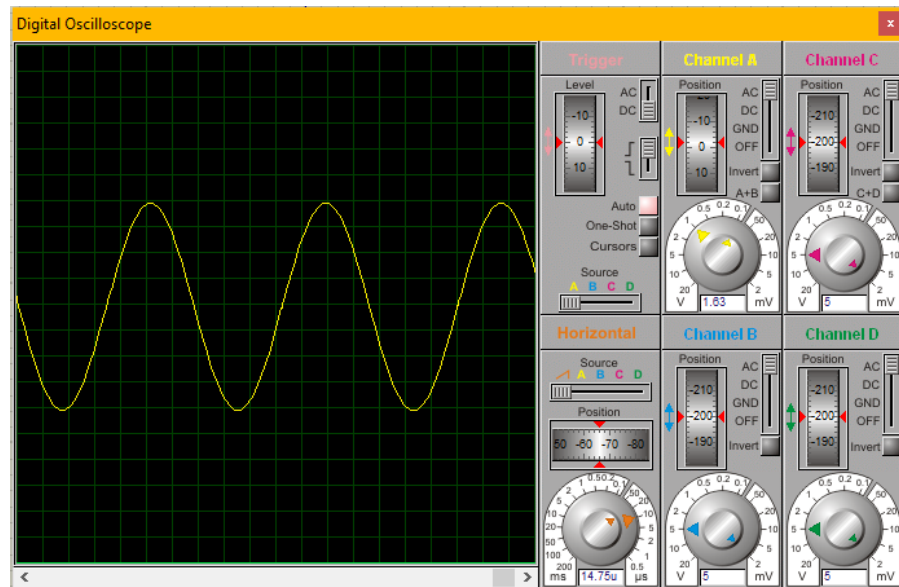


Рисунок 2.13 - Сигнал на виході схеми вимірювача потужності оптичного сигналу, що надходить до мікроконтролера при $R_{V1} = 4 \text{ кОм}$

На рисунку 2.14 вимірювана потужність збільшилась і становить $85 \text{ мВ}/\text{см}^2$ при напрузі керування 3 В.

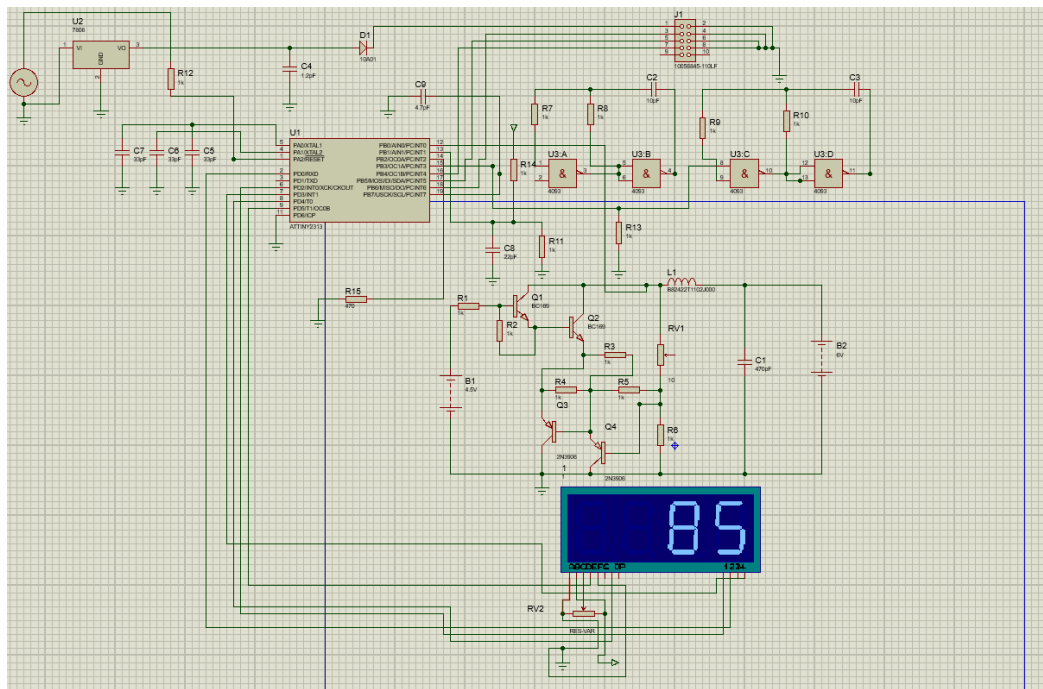


Рисунок 2.14 - схема моделювання вимірювача оптичного випромінювання при ($R_{V1} = 2 \text{ кОм}$) в програмному середовищі ISIS Proteus

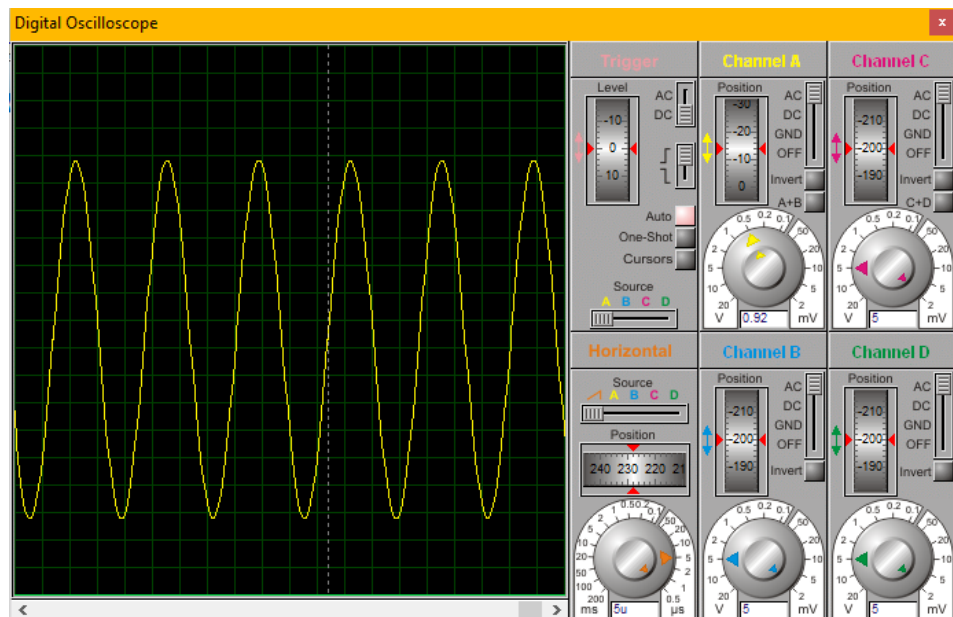


Рисунок 2.15 - Сигнал на виході схеми вимірювача потужності оптичного сигналу, що надходить до мікроконтролера при $R_{V1} = 2 \text{ кОм}$

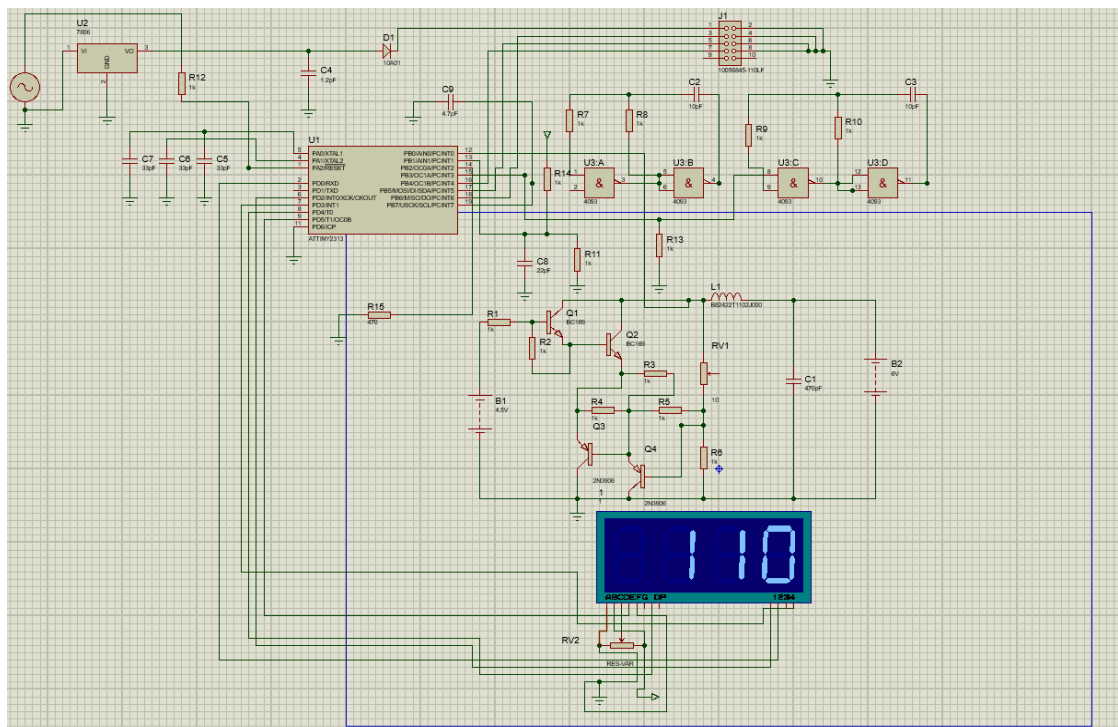


Рисунок 2.16 - схема моделювання вимірювача оптичного випромінювання при ($R_{V1} = 1 \text{ кОм}$) в програмному середовищі ISIS Proteus

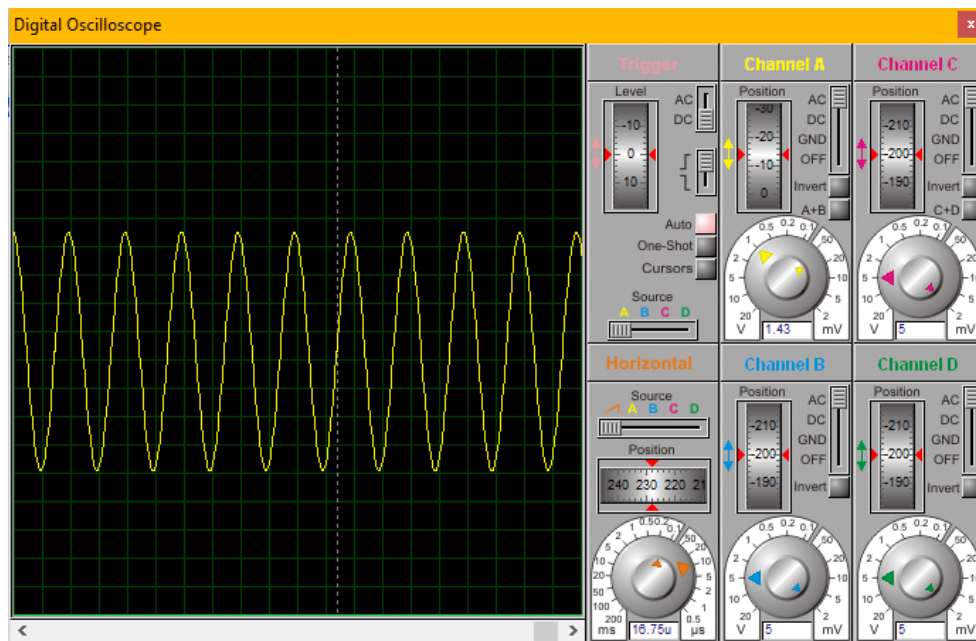


Рисунок 2.17 - Сигнал на виході схеми вимірювача потужності оптичного сигналу, що надходить до мікроконтролера при $R_{V1} = 2 \text{ кОм}$

Із результатів моделювання видно, що при зміні опору настроєчного резистора змінюється синусоїдальний сигнал на виході схеми який поступає на мікроконтролер, який перетворює сигнал і виводить його на LCD [13].

При значенні змінного резистора $R_{V1} = 4 \text{ кОм}$, потужність на виході схеми складає 60 mW/cm^2 , при $R_{V1} = 3 \text{ кОм}$ 85 mW/cm^2 , при $R_{V1} = 2 \text{ кОм}$ 110 mW/cm^2 .

Висновки до розділу

Розроблено структурну та електричну схеми вимірювача потужності оптичного випромінювання, наведено принцип його роботи, та наведено його алгоритм. Розроблено блок схему алгоритму роботи програми та написано програму для мікроконтролера ATtiny2313. Проведено моделювання розробленої схеми вимірювача потужності оптичного випромінювання, в якому було наведено осцилограму та показано результат вимірювача оптичного випромінювання, який виводиться на LCD дисплей, які дозволяють перевірити роботу схеми при подачі сигналу на фоторезистор (канал А) та результат на виході з мікроконтролера у вигляді синусоїдального сигналу відповідної

частоти, значення якої в мікроконтролері перетворюється в значення потужності оптичного випромінювання за допомогою апроксимуючої функції, що свідчить про правильність роботи схеми та правильності написання керуючої програми мікроконтролера. Також було визначено, що при значенні змінного резистора $RV1 = 4 \text{ кОм}$, потужність на виході схеми складає 60 мВ/см^3 , при $RV1 = 3 \text{ кОм}$ 85 мВ/см^3 , при $RV1 = 2 \text{ кОм}$ 110 мВ/см^3 .

3 РОЗРОБКА ПЛАТИ ВИМІРЮВАЧА ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ КАСКАДУ ДАРЛІНГТОНА

3.1 Вибір методу виготовлення

У загальному випадку друковані плати (ПП) представляють собою діелектричний рисунок у вигляді металевих плівкових провідників. До матеріалу діелектрика ДП пред'являються певні вимоги, зокрема - поверхневий і об'ємний опір має бути не менше 10^{-9} Ом·см, відносна діелектрична проникність $4 \div 5$. Зменшення діелектричної проникності необхідно для зменшення паразитних ємнісних зв'язків на платі. Крім електричних характеристик, плати повинні відповідати досить широкому набору конструктивно-технологічних характеристик: забезпечувати достатню міцність і жорсткість складальному вузлу на їх основі, не піддаватися розшарування і викривлення під час технологічної обробки і експлуатації, забезпечуючи в той же час легкість при механічній обробці під час виготовлення плати.

У субтрактивних методах в якості основи для друкованого монтажу використовують фольговані діелектрики, на яких формується провідниковий малюнок шляхом видалення фольги з непровідних ділянок. Додаткова хіміко-гальванічна металізація монтажних отворів призвела до створення комбінованих методів виготовлення ДП [14].

Адитивні методи засновані на виборчому осадженні струмопровідного покриття на діелектричне підкладку, на яке попередньо може наноситися шар клейової композиції. В порівнянні з субтрактивними вони мають такі переваги [13]:

- 1) однорідністю структури, так як провідники і металізація отворів виходять в єдиному хіміко-гальванічному процесі;
- 2) усувають підтравлення елементів друкованого монтажу;
- 3) покращують рівномірність товщини металізованого шару в отворах;

- 4) підвищують щільність друкованого монтажу;
- 5) спрощують ТП через усунення ряду операцій (нанесення захисного покриття, травлення);
- 6) економлять мідь, хімікати для травлення і витрати на нейтралізацію стічних вод;
- 7) зменшують тривалість виробничого циклу.

Незважаючи на описані переваги, застосування адитивного метода в масовому виробництві ДП обмежено низькою продуктивністю процесу хімічної металізації, інтенсивним впливом електролітів на діелектрик, труднощами одержання металевих покриттів з хорошою адгезією. Домінуючою в цих умовах є субтрактивна технологія, особливо з переходом на фольговані діелектрики з тонкомірною фольгою (5 і 18 мкм) [15].

Субтрактивний метод. За субтрактивною технологією малюнок провідників проходить травленням мідної фольги по захисному зображенню в фоторезисті або металлорезисті. Застосовуються три різновиди субтрактивної технології.

Перший варіант — негативний процес з використанням сухого плівкового фоторезиста (СПФ). Процес досить простий, застосовується при виготовленні односторонніх і двосторонніх ДП. Металізація внутрішніх стінок отворів не виконується. Заготовка — фольгований діелектрик. Методами фотолітографії за допомогою сухого плівкового фоторезиста на поверхні фольги формується захисна маска, яка являє собою зображення (малюнок) провідників. Потім відкриті ділянки мідної фольги піддаються травленню, після чого фоторезист видаляється.

Другий варіант — позитивний процес. Створюється провідний малюнок двосторонніх шарів з міжшаровими металізованими переходами (отворами). Сухий плівковий фоторезист (СПФ) нашаровується на заготовки фольгованого діелектрика, що пройшли операції сверлення отворів і попередньої (5-7 мкм) металізації міддю стінок отворів і всієї поверхні фольги. В процесі

фотолітографії СПФ захисний рельєф отримують на місцях поверхні металізованої фольги, що підлягає подальшого видалення травленням. На ділянці, не захищені СПФ, послідовно осідають мідь і металорезиста (сплав SnPb), в тому числі і на поверхню стінок отворів. Після видалення маски СПФ незахищені (більш тонкі) шари міді витравлюються. Процес більш складний, однак, з його допомогою вдається отримати металізовані стінки отворів [13].

Третій варіант — так званий тентінг-процес. Як і в позитивному процесі, береться заготовка у вигляді фольгованого діелектрику, формуються отвори, проводиться попередня металізація всієї плати, включаючи внутрішні стінки отворів. Потім наноситься СФП, по якому формують маску під час фотолітографії в вигляді малюнка друкованих провідників і утворює завіски - тенти над металізованими отворами, захищаючи їх під час наступної операції травлення вільних ділянок мідної фольги. У цьому процесі використовуються властивості плівкового фоторезиста нашаровуватись на сверлення підкладки без попадання в отвори і утворювати захисні шари над металізованими отворами. Застосування тентінг-методу спрощує технологічний процес виготовлення двосторонніх ДП з металізованими отворами. Однак необхідно забезпечити гарантоване запечатування отворів фоторезистом. Крім того, якість поверхні металу навколо отворів має бути дуже хорошим, без задирок. Субтрактивний метод отримання рисунка провідників ДП заснований травленні мідної фольги по захисній масці. Через процеси бічного підтравлення міді по краяхи маски поперечний переріз провідників має форму трапеції, розташованої більшою частиною на поверхні діелектрика. Величина бічного підтравлення і, відповідно, розкид ширини створюваних провідних доріжок залежить від товщини шару металу: при травленні фольги товщиною 5 мкм інтервал розкиду ширини провідників близько 7 мкм, при травленні фольги товщиною 20 мкм розкид складає 30 мкм, а при травленні фольги товщиною 35 мкм розкид = близько 50 мкм. Спотворення ширини мідних провідників по відношенню до розмірів ширини їх зображень в фоторезисті і на фотошаблону змищуються в бік звуження. Отже, при субтрактивній технології розміри провідників на

фотошаблонах необхідно збільшувати на величину звуження. З цього випливає, що субтрактивна технологія має обмеження подозволу, які визначаються товщиною фольги і процесами травлення. Мінімально відтворена ширина провідників і зазорів становить близько [16]:

- 50 мкм при товщині фольги 5-9 мкм;
- 100 - 125 мкм при товщині провідників 20 - 35 мкм;
- 150 - 200 мкм при товщині провідників 50 мкм.

Адитивні методи. Для виготовлення друкованих плат з шириною провідників $50 \div 100$ мкм з товщиною провідників $30 \div 50$ мкм рекомендують використовувати адитивний метод формування малюнка (метод ПАФОС). Це повністю адитивний електрохімічний метод, по якому провідники і ізоляція між ними (діелектрик) формуються селективним гальванічним осадженням провідників і формуванням ізоляції тільки в необхідних місцях пресуванням. Метод ПАФОС, як адитивний метод, принципово відрізняється від субтрактивного тим, що метал провідників наноситься, а не витравлюється. Провідний малюнок формується послідовним нарощуванням шарів: 1 — отримання на тимчасових "носіях" - листах з нержавіючої сталі - мідної шини товщиною $2 \div 20$ мкм; 2 — формування малюнка в СПФ; 3 — гальванічне осадження тонкого шару нікелю ($2 \div 3$ мкм) і міді ($30 \div 50$ мкм) по малюнку звільненого в рельєфі плівкового фоторезиста. У захисному рельєфі плівкового фоторезиста на верхню поверхню сформованих провідників проводиться також нанесення адгезійних шарів. Після цього плівковий фоторезист видаляється, і провідний малюнок на всю товщину впресовують в діелектрик. Отриманий пресований шар разом з мідною шиною механічно відділяється від поверхні носіїв. Якщо не потрібні міжшарові переходи, то мідна шина зтравлюється.

За способом створення струмопровідного покриття адитивні методи поділяються на хімічні та хіміко-гальванічні. При хімічному процесі на каталітично активних ділянках поверхні відбувається хімічне відновлення іонів металу. У розроблених розчинах швидкість осадження міді становить $2 \div 4$ мкм /

год і для отримання необхідної товщини процес триває тривалий час. **Метод хімічного травлення.** Метод хімічного травлення застосовується при використанні фольгованих підкладок. На основу наноситься малюнок схеми. Ділянки схеми, не захищені фарбою, витравлюються у ванні з використанням розчину хлористого заліза при щільності розчину 1300 кг/м³ і 25°C. Після травлення основи промивається в холодній проточній воді, а захисну фарбу з малюнка видаляють з використанням лужного розчину з наступним ретельним промиванням і просушуванням в термостаті.

Отвори схеми піддаються металізації шляхом занурення плати спочатку в Двохлористе олово, а потім в ванну з Паладієм. За цим слідують хімічне і гальванічне міднення і покриття отворів сплавом Розе [16].

3.2 Вибір типу друкованої плати

При виборі типу друкованої плати потрібно враховувати техніко-економічні аспекти. Акустичний датчик складається з доступних радіоелементів. Тому вибираємо двосторонню друковану плату, яка має високі комутаційні якості за рахунок металізації в отворах, характеризується підвищеною міцністю з'єднань виводів елементів з рисунком плати, та має низьку вартість [15].

Для виготовлення плати використовують фольговані та нефольговані діелектрики. Базовими матеріалами для їх виготовлення зазвичай є папір або склотканина, які просякнуті синтетичними смолами, або полімерні плівки з фторопласту та ін. На поверхню фольгованих матеріалів приклеюють мідну фольгу з однієї чи двох сторін в процесі виготовлення. Її товщина становить 20 – 50 мкм.

До матеріалу висуваються такі вимоги:

- висока технологічність;
- високі електрофізичні параметри;
- забезпечення високої адгезії;

- мінімальні механічні зміни в структурі.

В табл. 3.2 подано основні властивості матеріалів друкованих плат .

Найчастіше для виготовлення друкованих плат використовують склотекстоліт і гетинакс наступних марок [16]:

- ГФ – фольгований гетинакс;
- СФ – фольгований склотекстоліт;
- ФГС – склотекстоліт фольгований травильний;
- СФПН – склотекстоліт фольгований нагрівостійкий;
- СТФ – склотекстоліт теплостійкий.

Таблиця 3.2 – Властивості матеріалів друкованих плат

| Параметри | Гетинакс | Текстоліт | Склотекстоліт |
|---|-------------|-------------|---------------|
| Щільність без фольги, г/см ³ | 1,3...1,4 | 1,3...1,45 | 1,6...1,8 |
| Відносна діелектрична проникність | 4,5...6 | 4,5...6 | 5...6 |
| Питомий об'ємний опір, Ом·м | 1012...1014 | 1012...1014 | 1014...1015 |
| Діапазон робочих температур, °С | -60...+80 | -60...+105 | -60...+120 |
| Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К) | 0,25...0,3 | 0,23...0,34 | 0,34...0,74 |
| Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹ | 22 | 22 | 8...9 |

Товщина друкованої плати визначається товщиною матеріалу і вибирається в залежності від елементної бази та навантажень.

Оптимальні параметри для схеми акустичного датчика згідно табл. 3.2, має склотекстоліт. Тому обираємо склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-50-1,5 ТУ16-503.271-86, який має товщину фольги 35 мкм, товщину матеріалу з фольгою 1,5 мм. та діапазон робочих температур від –60 до +120 °С [14].

3.3 Вибір класу точності друкованої плати

Для даного акустичного датчика оптимальним буде вибір друкованої плати 2-го класу точності, що не вимагає використання дорогих високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання.

До друкованих плат висуваються такі вимоги:

1. Висока точність розташування струмопровідного рисунка;
2. Велика величина опору діелектрика;
3. Висока механічна міцність;
4. Добра здатність до паяння, особлива після тривалого зберігання яка досягається шляхом вибору типу покриття та технологією його нанесення.

Точність розташування рисунка регламентується вимогами держстандартів. З цією метою введено поняття класу точності друкованих плат, (таблиця 3.3) [17].

Таблиця 3.3 – Класи точності друкованих плат

| Параметри конструкції плат, мм | Клас точності | | | |
|--|---------------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Ширина друкованих провідників | 0,6 | 0,45 | 0,25 | 0,15 |
| 2. Відстань між суміжними провідниками | 0,6 | 0,45 | 0,25 | 0,15 |
| 3. Співвідношення діаметра отвору до товщини плати | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,33 |

Для даного виробу (згідно таблиці 3.3), з огляду на не складний малюнок оптимальним варіантом буде вибір 2-го класу точності друкованої плати (не вимагає використання високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання).

Даний клас характеризується наступними параметрами конструкції [17]:

- а) ширина провідника – 0,45 мм;
- б) ширина провідника у вузьких місцях – 0,25 мм;
- в) відстань між елементами – 0,25 мм;

г) гарантійний поясок – 0,2 мм.

Установка навісних елементів на платі здійснюється згідно з ГОСТ 4ГО.010.030-81 та ОСТ4.ГО.010.009. При розташуванні елементів необхідно враховувати такі фактори: отримання від приладу високої надійності, маленьких розмірів, забезпечення тепловідводу та ремонтпридатності.

Елементи будуть розташовуватись з однієї сторони паралельно сторонам плати для зменшення довжини контактних доріжок.

Вибираємо крок координатної сітки 1,25 мм. Координатну сітку розташовуємо згідно з ГОСТ 2.417-78. Отвори та елементи друкованого рисунку розташовуємо відносно початку координат.

Всі контактні площадки розміщуємо у вузлах сітки. Так само і виводи елементної бази.

3.4 Розрахунок ширини провідників

Ширину провідників визначають у розрахунку на струм, який проходить через них, і максимально можливе падіння напруги.

Для допустимого струму :

$$b_{min} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t}, \quad (3.1)$$

де $j_{доп}$ – допустима густина струму для мідного провідника, $j_{доп} = 17 \text{ А/мм}^2$;

t – товщина фольги, $t = 35 \text{ мкм}$;

I_{max} – максимальний постійний струм, який проходить через провідник;

$I_{max} = 0,05 \text{ А}$, згідно індивідуального завдання.

$$b_{min} = \frac{0,045}{17 \cdot 0,035} = 0,075(\text{мм}) = 75 (\text{мкм}) < 250 (\text{мкм}).$$

Визначимо мінімальну ширину провідника за умови, що допустиме падіння напруги:

$$b_{min} = \frac{I_{max} \cdot \rho \cdot l_{max}}{\Delta U_{доп} \cdot t}, \quad (3.2)$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

I_{max} – струм, який проходить по провіднику, $I_{max} = 0,05 \text{ А}$;

l_{max} – максимальна довжина провідника, $l_{max} = 0,1 \text{ м}$;

$U_{доп}$ – допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення

$U_{доп} = 6 \times 0,045 = 0,27 \text{ В}$);

t – товщина фольги;

$$b_{min} = \frac{0,045 \cdot 0,0175 \cdot 0,1}{0,3 \cdot 0,035} = 75 \text{ (мкм)} < 250 \text{ (мкм)}.$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують обраних для другого класу точності.

3.5 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT

Розробка друкованої плати в після того як робота над проектом схеми електричної принципової в робочій області ISIS завершена, схему можна експортувати в ARES - редактор розробки друкованих плат. ARES є PCB додатком програми Proteus і використовується для розробки друкованих плат, виконання певних функцій CAD систем і підготовки результатів проектування до виробництва. Дана програма має можливість автоматизованого розміщення компонентів на платі і автоматичного трасування. Відкрити редактор ARES можна за допомогою натискання на кнопку PCB Layout на верхній панелі інструментів Proteus, в результаті чого в робочу область програми буде додана

нова вкладка PCB Layout. Після того як схема створена в редакторі ISIS, все наявні в схемі компоненти будуть відображені на панелі COMPONENTS редактора друкованих плат. Список ланцюгів і компонентів створюється в ISIS автоматично або ж за допомогою команди Tool / Netlist Compiler основного меню ISIS.

Перед тим як розмістити компоненти, в робочому полі редактора ARES необхідно створити контур друкованої плати. Якщо проект був створений за допомогою майстра New Project Wizard, то в залежності від обраних налаштувань, після запуску редактора ARES, в проект PCB Layout контур плати може бути вже доданий. В іншому випадку розробнику необхідно буде його намалювати вручну.

Після того як компонент буде розміщений на платі, його назва віддалиться зі списку. Для того, щоб список COMPONENTS був доступний для перегляду, необхідно, щоб на лівій панелі PCB Layout була натиснута кнопка Component Mode. Посадочне місце в компонент може бути додано в процесі ручного розміщення компонента на платі. Для цього за допомогою лівої кнопки миші в редакторі ARES на панелі COMPONENTS можна вибрати зі списку назву потрібного компонента і клацнути лівою кнопкою миші в області друкованої плати. В результаті чого буде відкрито діалогове вікно PCB Layout, яке інформує розробника про те, що компонент, який розміщується на платі, повністю не укомплектований, а також пропонує самостійно його укомплектувати .

Розмістити компоненти в області контуру плати можна і автоматично. Для цього необхідно в основному меню редактора ARES вибрати пункт Tools / Auto-placer (слід зазначити, що при автоматичному розміщенні компонентів на платі всі компоненти повинні бути повністю укомплектовані, тобто містити інформацію, як про умовне графічному позначенні, так і про посадковому місці). В результаті чого буде відкрито вікно Auto Placer, в лівій частині якого відображений список компонентів для розміщення. В даному списку за допомогою установки / зняття прапорців в чекбоксах можна задати необхідність розміщення всіх або деяких компонентів схеми на платі.

Після того як обрані компоненти для авторозміщення і задані налаштування, натисніть на кнопку ОК. В результаті чого компоненти схеми з'єднувачами, імпортовані з схемотехнічного редактора ISIS будуть розміщені на платі. При передачі схеми в ARES, наявні в ній конструктивні компоненти вибираються системою з бібліотек і розміщуються в робочій області редактора друкованих плат довільним чином. Як правило, вони групуються відповідно до типу, при цьому також відображаються електричні зв'язки між їхніми виводами. На нижній панелі редактора ARES буде виведено повідомлення про кількість помилок отриманих в результаті трансляції схеми.

Результати автоматично трасування плати універсального акустичного датчика-вимикача із затримкою вимикання зображено на рисунку 3.1.

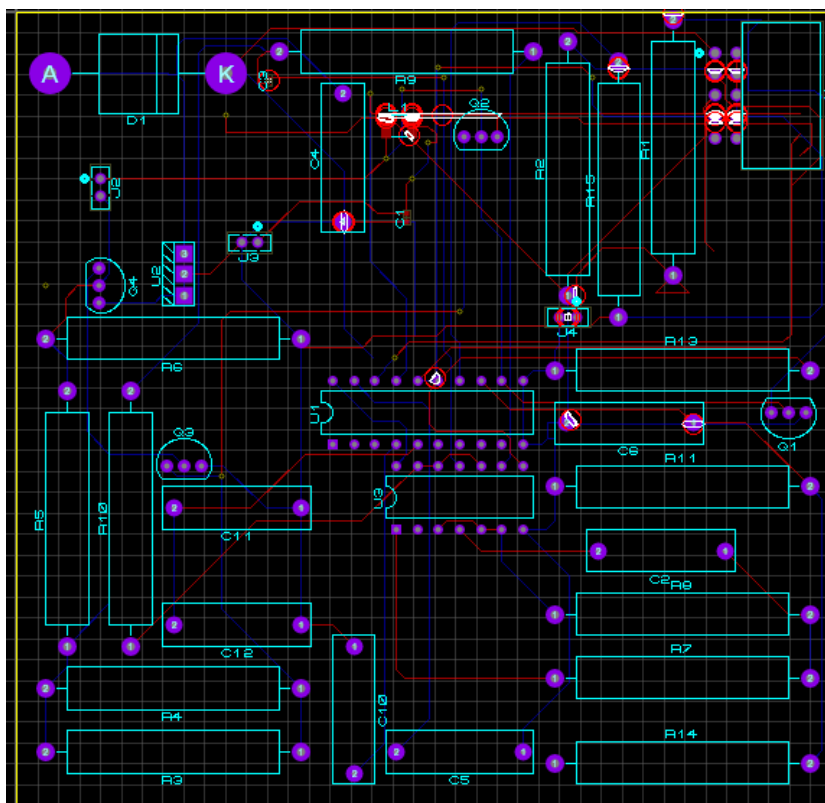


Рисунок 3.1 – Розведена плата в ARES Proteus Layout

Скориставшись функціоналом програмного середовища ARES, побудуємо тривимірну модель друкованої плати з встановленими компонентами. Для цього необхідно виконати команду Output> 3DVisualization (рисунок 3.2 – 3.3).

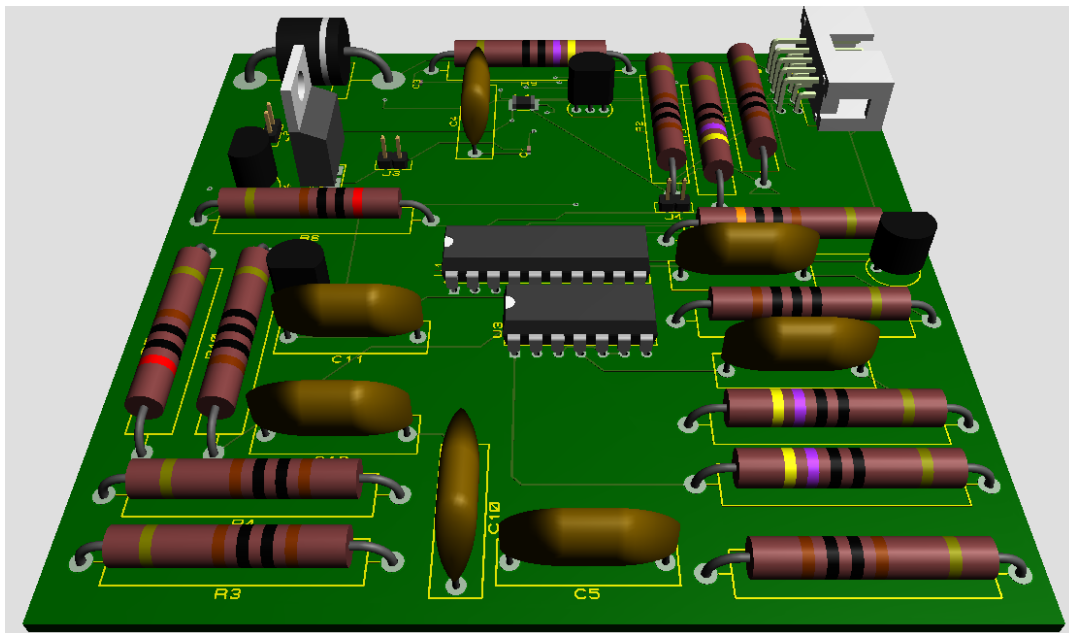


Рисунок 3.2 – 3D зображення моделі плати вимірювача оптичного випромінювання

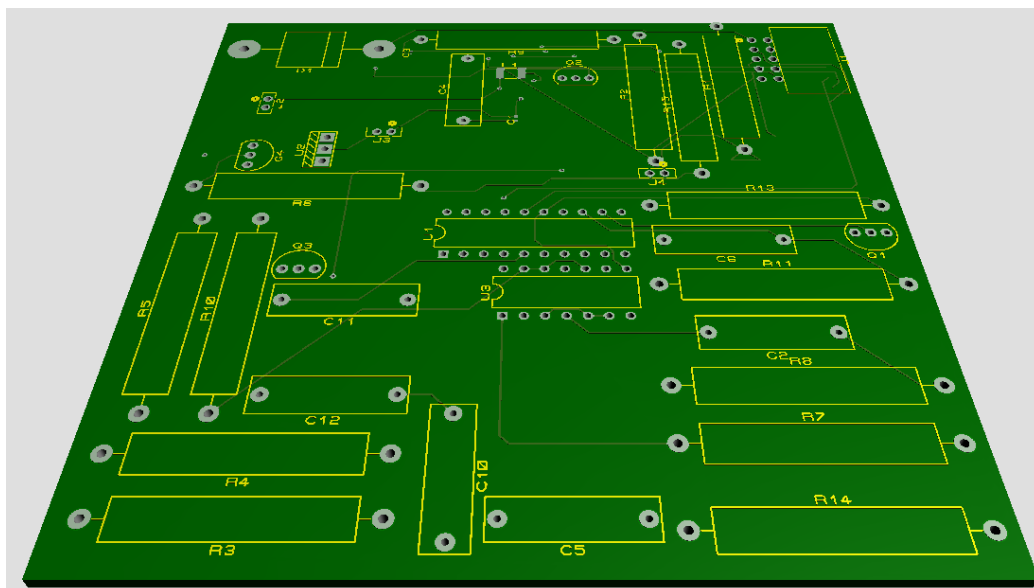


Рисунок 3.3 – Модель плати вимірювача оптичного випромінювання без елементів

Висновок до розділу

1. Для розробки плати вимірювача оптичного випромінювання обрано друкований монтаж, який найбільше підходить у виробництві пристрою, тому що має переваги над іншими методами, а саме простоту застосування, дешевизну при виробництві, та простоту самого процесу.

2. Використовуючи ARES PCB LAYOUT створено новий проект та проведено автоматичне трасування друкованих провідників. Тим самим розміри друкованої плати становлять 100x90 мм; ширина провідників 0.075 мм; товщина плати – 1.5 мм. Матеріалом плати обрано склотекстоліт фольгований двосторонній. Діапазон робочих температур – $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\div 100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Прогнозування витрат на виконання НДДКР

Капітальні вкладення на розробку нового конструкторського технічного рішення, в загальному випадку, складаються з відповідних витрат і розраховуються за формулою (4.1):

$$K = Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}} + A_{\text{обл}} + M + K_v + V_{\text{ел}} + I_v, \quad (4.1)$$

Де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн;

Z_p – основна заробітна плата робітників, які виконують відповідні роботи, грн.;

$Z_{\text{дод}}$ – додаткова заробітна плата розробників та робітників, грн.;

$A_{\text{обл}}$ – амортизація обладнання та приміщень для розробки нового рішення, грн.;

M – витрати на матеріали, які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

K_v – витрати які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

$V_{\text{ел}}$ – витрати на електроенергію для розробки нового технічного рішення, грн.;

I_v – інші витрати, грн.;

Витрати на основну заробітну плату розробників розраховуються за формулою (4.2):

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} * t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k - кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} - місячний посадовий оклад конкретного розробника;

t_i - число днів роботи конкретного розробника;

T_p - середнє число робочих днів в місяці.

Проведені розрахунки зведемо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Витрати на заробітну плату розробників

| Найменування посади | Місячний посадовий оклад, грн. | Оплата робочий день, грн. | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------------|
| Керівник проекту | 10000 | 476 | 30 | 14285,71 |
| Технік | 4200 | 200 | 30 | 6000 |
| Всього | | | Σ_o | 20285 |

Розрахунок основної заробітної плати проводиться за наступною формулою (4.3):

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i * t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год;

t_i – час роботи робітника на визначеній і й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна розрахувати за формулою (4.4) [18]:

$$C_i = \frac{M_m * K_i * K_c}{T_p * T_{3M}}, \quad (4.4)$$

де M_m – розмір мінімальної місячної заробітної плати, грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормативними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати;

T_p – середнє число робочих днів в місяці;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Розмір мінімальної заробітної плати станом на 1.01.2019 р. становить 4173 грн.

Детальні розрахунки представимо в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

| Найменування робіт | Тривалість операції, год. | Розряд роботи | Тарифний коефіцієнт | Погодинна тарифна ставка, грн. | Величина оплати на робітника грн. |
|--------------------------|---------------------------|---------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Скрутка | 1,5 | 4 | 1,5 | 55,28 | 89,92 |
| Виконання паяльних робіт | 1 | 1 | 1 | 37 | 37 |
| Всього | | | | | 126 |

Нарахування на заробітну плату в 2019 році. Кожний роботодавець зобов'язаний нараховувати і сплачувати до бюджету єдиний соціальний внесок (ЄСВ). Це консолідований страховий внесок, який включає соціальний пакет, законодавчо передбачений державою, а саме: пенсійне страхування (виплата пенсій), страхування на випадок тимчасової втрати працездатності (оплата лікарняних), страхування, пов'язане з виникненням нещасних випадків на виробництві. Також нагадаємо, що ЄСВ в 2019 році сплачується за рахунок коштів роботодавця [18].

У загальному випадку ставка ЄСВ складає 22% (ч. 5 ст. 8 ЗУ "Про ЄСВ"). Нарахування на заробітну плату відповідно до діючого законодавства

розробників та робітників становить 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників і робітників за формулою (4.5):

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) * H_{\text{зп}}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{зп}}$ – норма нарахування на заробітну плату робітників.

Розрахунок приведений в формулі 4.6.

$$Z_n = (20285 + 126) * 22 = 4490 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

Таблиця 4.2 –Матеріали

| № | Найменування матеріалу | Одиниця виміру | Витрачено | Ціна за одиницю, грн. | Вартість витраченого матеріалу, грн. |
|--------|------------------------|----------------|-----------|-----------------------|--------------------------------------|
| 1. | Плата багаторівнева | шт. | 1 | | 40 |
| 2. | Провід монтажний | м | 0,6 | 18,3 | 11 |
| 3. | Припій | г | 30 | 1 | 30 |
| 4. | флюс | г | 20 | 1 | 20 |
| 5. | Мережевий кабель | шт | 1 | 55 | 55 |
| 6. | Папір офсетний | шт | 1 | 105 | 105 |
| 7. | Картридж для принтера | уп | 1 | 165 | 165 |
| Всього | | | | | 426 |

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе:

$$M = 426 * 1,1 = 468,6$$

Наступним етапом є розрахунок амортизаційних відрахувань. В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання та приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою 4.7 [19]:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}}}{T_{\text{в}}} * \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (4.7)$$

де C_e – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувалися для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

| Найменування обладнання | Балансова вартість, грн. | Строк корисного використання, років | Термін використання обладнання, місяців | Амортизаційні відрахування, грн. |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| Верстат | 80 000 | 15 | 1 | 444,4 |
| Програмне забезпечення | 100 000 | 2 | 1 | 4166 |
| Комп'ютер | 25 000 | 7 | 1 | 297,6 |
| Паяльна станція | 2500 | 3 | 1 | 69,4 |
| Паяльник для мікросхем | 1000 | 3 | 1 | 27,7 |
| Дрібні устаткування | 50000 | 3 | 1 | 1388,8 |
| Всього | | | | 6394 |

Витрати на комплектуючі вироби, які використовуються при розробці одиниці нового технічного рішення, розраховуються згідно з їхньою номенклатурою за формулою 4.8:

$$K_B = \sum_{j=1}^n H_j * C_j * K_j, \quad (4.8)$$

де N_j – кількість комплектуючих j - го виду;

C_j - ціна комплектуючих го виду;

K_j - коефіцієнт транспортних затрат.

Коефіцієнт транспортних витрат може коливатися від 1,1 до 1,15. В нашому випадку становить 1,15.

Розрахунки зведемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.4 – Витрати на комплектуючі

| № | Комплетуючі | Кількість | Вартість | Сума |
|--------|---|-----------|----------|------|
| | Катушки індуктивності | 1 | 100 | 100 |
| | Транзистори | 4 | 30 | 120 |
| | Конденсатори | 1 | 4 | 4 |
| | Резистори | 6 | 3 | 18 |
| | Тиристор | 2 | 20 | 40 |
| | Роз'єми – 2 (SIL- 100-2, CONN- H2); | 2 | 100 | 200 |
| Всього | | | | 482 |

Наступним етапом є розрахунок витрат на силову електроенергію:

Витрати на силову електроенергію B_e розраховується за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} * t_i * C_e * K_{впi}}{\eta_i}$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на визначеній i – й технологічній операції при виготовленні одного виробу або на етапі розробки, год;

C_e – вартість 1 кВт – години електроенергії, грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$.

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці

Таблиця 4. 5 – Витрати на електроенергію

| Найменування обладнання | Встановлена потужність, кВт | Тривалість роботи, год | Сума, грн |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------|
| Паяльник для мікросхем | 0,040 | 1,5 | 0,144 |
| Всього | | | 0,144 |

Витрати на електроенергію становлять 2,4 грн./кВт·год для промислових підприємств першого класу напруги, постачальник Вінницяобленерго.

4.2. Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Метою будь якого підприємства є отримання прибутку. На рівень цін підприємства впливають наступні фактори: собівартість продукції; наявність унікальних властивостей продукції; ціни-продуктів конкурентів і цін товарів-замінників; можливість отримання достатнього прибутку. Нижня межа ціни – це собівартість, верхня межа платоспроможність покупців. Скористаємось методом лімітних цін, за якого визначається верхня та нижня межа ціни [19].

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Результати розрахунків всіх видів витрат, на виготовлення одиниці продукції, необхідно звести до таблиці [19].

Таблиця 4. 6 – Собівартість виготовлення виробу

| Стаття витрат | Умовне позначення | Сума, грн. |
|---|-------------------|------------|
| Матеріали | <i>М</i> | 426 |
| 1. Витрати на комплектуючі на одиницю продукції, грн | <i>Кв</i> | 482 |
| 2. Витрати на силову електроенергію, грн. | <i>Ве</i> | 0,144 |
| 3. Витрати на основну заробітну плату робітників, грн. | <i>Зр</i> | 126 |
| 4. Витрати на нарахування на заробітну плату робітників, грн. | <i>Зн</i> | 27,7 |
| 5. Загальновиробничі витрати, грн. | <i>Взаг</i> | 252 |
| | <i>Св</i> | 1313 |

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет та інтернет послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200 – 300% від суми основної зарплати дослідників та робітників [20].

Величина інших витрат складе:

$$I = (20285 + 126) * 200 = 40822$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B = 20285 + 126 + 4490 + 426 + 482 + 0,144 + 468,6 + 6394 + 40822 = 73493,744$$

Нижня межа ціни передбачає, що виробник має покривати усі понесені витрати в процесі виробництва та забезпечити відповідний рівень рентабельності для підприємства.

Ціна реалізації розраховується за формулою 4.10:

$$C_{\text{нмр}} = S_{\text{в}} * \left(1 + \frac{P}{100}\right) * \left(1 + \frac{w}{100}\right), \quad (4.10)$$

де $C_{\text{нмр}}$ - нижня межа ціни реалізації виробу;

$S_{\text{в}}$ - виробнича собівартість виробу, грн;

P - нормативний рівень рентабельності, %;

w - ставка податку на додану вартість.

За нормативний рівень рентабельності приймаємо 40% для першого року виробництва, в подальшому підприємство планує нарощувати. Ставка податку на додану вартість станом становить 20%.

За ціну реалізації приймається ринкова ціна на відповідні вироби з врахування значень показників якості нової розробки відносно до показників базового виробу і в цьому випадку розрахуємо верхню межу ціни:

$$C_{\text{нмр}} = 955 * (1 + 0,5) * (1 + 0,2) = 1604 \quad (4.11)$$

В даний час перспективність наукового дослідження визначається не стільки масштабом відкриття, оцінити на перших етапах життєвого циклу

високотехнологічного продукту буває важко, скільки комерційною цінністю розробки. Оцінка комерційної цінності розробки є необхідною умовою при пошуку джерел фінансування для проведення наукового дослідження і комерціалізації його результатів. Це важливо для розробників, які повинні представляти стан і перспективи проведених наукових досліджень.

Необхідно розуміти, що комерційна привабливість наукового дослідження визначається не тільки перевищенням технічних параметрів над попередніми розробками, а й тим, наскільки швидко розробник зможе знайти відповіді на такі питання - чи буде продукт затребуваний ринком, яка буде його ціна, який бюджет наукового проекту, який термін буде потрібно для виходу на ринок і т.д.

4.3. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Експлуатаційні витрати є такі витрати, які забезпечують функціонування будь якої розробки в період її експлуатації.

Спочатку розраховується заробітна плата обслуговуючого персоналу $Z_{обс}$:

$$Z_{обс} = N * T_1 * K_{сер} * \Phi_e * K_c * \beta, \quad (4.12.)$$

де N – число робітників, що обслуговують один виріб;

T_1 – погодинна тарифна ставка оплати праці 1 – го розряду;

Погодинна тарифна ставка T_1 визначається за формулою:

$$T_1 = \frac{M_m}{T_p * T_{зм}}, \quad (4.13.)$$

де M_m – мінімальна місячна заробітна плата встановлено КМ;

T_p – число робочих днів у місяці;

$T_{зм}$ – тривалість зміни;

$K_{сер}$ – середній тарифний коефіцієнт, що обслуговують виріб;

Φ_e – ефективний фонд часу робітників за рік;

K_c – коефіцієнт співвідношень;

β - частка часу, який витрачає на обслуговування виробу в загальному часі своєї роботи;

Мінімальна заробітна плата становить 4173. Середнє число робочих місяців 21. Тривалість зміни 8 год.

$$T_1 = \frac{4173}{8 * 21} = 24,8$$

$$\text{Отже, } Z_{\text{обс}} = 1 * 24,8 * 1 * 1,37 * 1800 * 0,008 = 489, 55 \text{ грн.}$$

Наступним кроком є розрахунок витрат на силову енергію:

$$V_e = V * \Pi * \Phi * K_n \quad (4.14.)$$

де V – вартість 1 кВт – години електроенергії.

Π – установлена потужність виробу, к ВТ;

Φ – фактична кількість годин роботи виробу за рік, годин;

K_n – коефіцієнт використання потужності.

Витрати на електроенергію становлять 2,4 грн./кВт·год для промислових підприємств першого класу напруги, постачальник Вінницяобленерго.

$$V_e = 180,897 * 15 * 0,02 * (8 * 21 * 12) = 108, 86$$

Амортизаційні відрахування для розробки визначаються за формулою:

$$A = \frac{Ц * H_a}{100} \quad (4.15)$$

де $Ц$ балансова вартість виробу, грн;

На – річна сума амортизації, %.

$$A = \frac{1604 * 25}{100} = 401$$

Витрати на поточний ремонт розробки розраховується за формулою:

$$P = \frac{B_1 * N_1}{T_1} + \frac{B_n * N_n}{T_n} * \Phi + Z_p \quad (4.16)$$

де B_1, \dots, B_n – вартість однотипних елементів, що замінюються протягом року, грн;

$N_1, N_2 \dots, N_n$ – кількість однотипних елементів, що замінюються протягом року, шт;

$T_1, T_2 \dots, T_n$ – середній строк дії однотипних елементів, що замінюються годин

Оскільки, в пристрої не планується заміна деталей прогнозуємо річний ремонт на 150 грн.

Інші витрати 5 – 10% від суми загальних витрат.

$$P = (60 * 1/2000 + 30 * 1/2000 + 30 * 1/2000) * 2000 + 300 = 420$$

$$420 * 10\% = 42$$

Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки $E_{2:1460}$

$$E_2 = 42 + 420 + 401 + 108 + 489 = 1460$$

4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи

Коефіцієнт наукової значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи підраховується за формулою:

$$K_{\text{зн}} = \frac{\sum_1^3 b_i d_i}{\sum_1^3 b_{\text{max}} d_i}$$

де b_i – значимість отриманих результатів;

b_1 – ступінь наукової новизни;

b_2 – рівень теоретичної обґрунтованості;

b_3 – ступінь експериментальної перевірки результатів.

Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7 – 10 балів.

d_i – питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в таблиці.

3 – кількість характеристик за якими зроблена оцінка результатів науково – дослідної роботи.

Таблиця 4. 7 - Показники для оцінювання наукової значимості НДР

| Характеристики | Питома вага характеристики | Ступінь новизни b_1 | Рівень теоретичної обґрунтованості b_2 | Ступінь експериментальної перевірки b_3 |
|----------------|----------------------------|--|--|---|
| | | 1 | 3 -5 | 7- 10 |
| b_1 | 0,5 | Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів | Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів | Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів. Створення принципово нової технології |
| b_2 | 0,33 | Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень | Установлення залежностей, які використовувались в інших випадках | Відкриття нових шляхів рішення задачі |

| | | | | |
|----|-------|--|--|--|
| ВЗ | 0,167 | Експериментальна перевірка не робилась | Результати перевірялись на невеликій кількості даних | Результати перевірялись на великій кількості даних |
|----|-------|--|--|--|

Визначимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{3H} = \frac{4 * 0,5 + 4 * 0,333 + 4 * 0,167}{10 * 0,5 + 10 * 0,333 + 10 * 0,167} = 0,4$$

4.4.1 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР

Внесок дослідника в досягнення результатів НДР розраховується за формулою:

$$V = \frac{k_{ТВі} * Z_i}{\sum_1^n k_{ТВі} Z_i}$$

де $k_{ТВі}$ – коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР;

Z_i – заробітна плата НДР;

n – кількість виконавців.

$$V = \frac{3 * 4200}{3 * 10000} = 0,42$$

Висновки

Економічні розрахунки підтвердили виробництво виробу. Підприємство планує на наступному році випуску збільшувати обсяги і та ринку збуту, таким чином плануємо, що його рентабельність зросте. Розробка є актуальною, оскільки даний пристрій має широку сферу застосування. Одними з найбільших статей витрат становить комплектуючі матеріали, електроенергія та заміна деталей, тобто ремонт. Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки E_2 : 1460

5 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

5.1 Загальні положення щодо охорони праці.

Забезпечення безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання у НС базується на комплексі організаційних, інженерно-технічних заходів і засобів, спрямованих на збереження його працездатності в умовах дії загрозливих чинників. Для цього необхідно: прогнозувати та оцінити можливі наслідки; заздалегідь спланувати заходи із запобігання та зменшення вірогідності виникнення НС і скорочення масштабів прояву результатів НС; розробка превентивних заходів та швидка ліквідація НС.

Вплив іонізуючих випромінювань (α , β , γ) на матеріал і деталі обладнання вимірювача потужності оптичного випромінювання залежить від виду випромінювання, дози та умов навколишнього середовища. В обладнанні застосовуються елементи, до складу яких входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали (в основному діелектрики), провідники і різноманітні органічні сполуки (діелектрики, смоли і т.д.). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв [21].

Відомо, що іонізуючі випромінювання викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Так, проходячи через елементи, потік гамма-випромінювань створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування пристрою.

В результаті опромінення у транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробною та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується

електрична ізоляція дротів з полімерних матеріалів. У органічних ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри, як: електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат. Неорганічні матеріали менш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань. [22]

Для інженерної практики найбільший інтерес представляє оцінка безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання при впливі на її компоненти іонізуючих випромінювань протягом певного часу.

Найбільш піддаються впливу електромагнітних випромінювань (ЕМІ) системи електропостачання, зв'язку, сигналізації і керування. ЕМІ ушкоджують напівпровідниковим приладам, резисторам, конденсаторам.

ЕМІ представляє велику небезпеку для обладнання вимірювача потужності оптичного випромінювання, добре захищеної від впливу інших вражаючих факторів. Тому слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних ушкоджень не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може втратити працездатність, знаходячись у надійних захисних спорудженнях [23].

5.2 Дослідження безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Максимально допустимі значення потужності дози γ -випромінювань для вище перерахованих елементів наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 - Максимально допустимі потужності дози γ - випромінювання.

| № | Блок | Елементи приладу | $P_{гр,i}$ (Р/год) | $P_{гр}$ (Р/год) |
|---|------|----------------------------------|--------------------|------------------|
| 1 | БЖ | Транзистори КТ3102В | 10^5 | 10^4 |
| | | Діоди загального призначення S1M | 10^5 | |
| 2 | БУ | Конденсатори SMD1206 1nf, 16V | 10^6 | |
| | | Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм | 10^6 | |
| 3 | МПК | Мікросхеми PIC16F877 | 10^4 | 10^4 |
| | | Діелектрики GTP15 | 10^4 | |

1. За мінімальним значенням $p_{гр}$ (див. табл. 5.1) межа безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання складає $p_{гр} = 10^4$ (Р/год).

2. Для оцінки безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($p_{гр}$) за наступною формулою:

$$P_{зр} = K \times p_{зр} \times K_{пос} , \quad (5.1)$$

де: K – коефіцієнт надійності, $K = 0,9..0,95$;

$p_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{пос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{пос} = 7$),

$$P_{гр} = 0,9 \times 10^4 \times 7 = 6,3 \times 10^4 \text{ (Р/год)},$$

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 6,3 \times 10^4$ (Р/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час перебування приладу на території в умовах дії іонізуючих випромінювань:

$$D_m = \frac{2P_{зр}(\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1} , \quad (5.2)$$

де: $\sqrt{t_{II}^2}$, дорівнює 1;

D_m – дорівнює 10^3 ;

Оскільки всі значення відомі, то допустимий час роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання буде таким:

$$t_o = \left(\frac{10^3 \cdot 7 + 2 \cdot 6,3 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,3} \right)^2 = 16141286 \text{ (год)}.$$

З розрахунків можна зробити висновок, що робота вимірювача потужності оптичного випромінювання в умовах впливу іонізуючих випромінювань буде працювати безпечно 5,03 роки, а це більше часу морального старіння обладнання

мережі. Отже, проводити заходи щодо підвищення безпеки її роботи непотрібно [24].

5.3 Дослідження безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Початкові дані: $U_{ж} = 3В$ - напруга живлення;

$l_{г} = 1,68$ м – максимальна довжина горизонтальних струмоведучих провідників.

Плати пристроїв як правило розташовані горизонтально. Так як вертикальна складова напруженості електричного поля приблизно на три порядки більша за горизонтальну, подальші розрахунки здійснюємо з врахуванням вертикальної складової.

В якості показника безпеки виступає коефіцієнт безпеки, який визначається за формулою:

$$K_{\sigma} = \frac{20 \lg U_{д}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 \text{дБ}, \quad (5.3)$$

де: $U_{B(\Gamma)}$ – напруга наведення у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах.

$$U_{д} = \frac{U_{ж} + U_{ж}n}{100}, \quad (5.4)$$

де: n – відхилення напруги живлення від її номінального значення, $n = (5...10)\%$;

$$U_{д} = \frac{3 + 3 \times 5}{100} = 3,15(B),$$

Допустима напруга наведення $U_{г}$:

$$U_{B} = \frac{U_{д}}{\frac{40}{10^{20}}} = \frac{3,15}{100} = 0,0315(B),$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається:

$$E_{г} = \frac{U_{B}}{l_{B}}, \quad (5.5)$$

$$E_r = \frac{0,0515}{1,68} = 0,031(\text{В / м})$$

Оціночно:

$$E_B = E_r \times 10^3 = 0,031 \times 10^3 (\text{В/м}),$$

Отже, оцінюючи безпеку роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання потрібно відмітити, що вертикальна складова напруженості електричного поля повинна не перевищувати $0,031 \times 10^3$ В/м, граничне значення потужності дози гамма- випромінювання $P_{гр} = 6,3 \times 10^5$ (Р/год), а також допустимий максимальний час перебування мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань більше 5 років, що визначено розрахунками [25].

Також визначено, що основними засобами для забезпечення безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу є:

- використання спеціальних екранів;
- використання активного захисту від дії потоку заряджених частинок.

При імпульсній дії ЕМП, крім перерахованих способів використовуються пристрої, що вимикають апаратуру і обладнання вимірювача потужності оптичного випромінювання на період його дії, а також збільшення відстані між елементами, що знаходяться під напругою.

Висновки

Проведено аналіз основних принципів технології оптичних випромінювачів, розглянуто типи оптичних випромінювачів, їхні переваги та недоліки.

Розглянуто можливі загрози використання пристроїв з оптичним випроміннюванням, а також надано рекомендації щодо боротьби з ними.

Аналіз існуючих пристроїв показав, що їх сьогодні існує велике різноманіття, причому більшість з них не достатньо коштовними та побудовані за великою кількістю стандартів, які не всі є загальноприйнятими і несуть у собі приховану загрозу при використанні.

Розроблено структурну та електричну схеми вимірювача потужності оптичного випромінювання, наведено принцип його роботи, та наведено його алгоритм. Розроблено блок схему алгоритму роботи програми та написано програму для мікроконтролера ATtiny2313. Проведено моделювання розробленої схеми вимірювача потужності оптичного випромінювання, в якому було наведено осцилограму та показано результат вимірювача оптичного випромінювання, який виводиться на LCD дисплей, які дозволяють перевірити роботу схеми при подачі сигналу на фоторезистор (канал А) та результат на виході з мікроконтролера у вигляді синусоїдального сигналу відповідної частоти, значення якої в мікроконтролері перетворюється в значення потужності оптичного випромінювання за допомогою апроксимуючої функції, що свідчить про правильність роботи схеми та правильності написання керуючої програми мікроконтролера. Також було визначено, що при значенні змінного резистора $R_{V1} = 4 \text{ кОм}$, потужність на виході схеми складає 60 mW/cm^3 , при $R_{V1} = 3 \text{ кОм}$ 85 mW/cm^3 , при $R_{V1} = 2 \text{ кОм}$ 110 mW/cm^3 .

Для розробки плати вимірювача оптичного випромінювання обрано друкований монтаж, який найбільше підходить у виробництві пристрою, тому що має переваги над іншими методами, а саме простоту застосування, дешевизну при виробництві, та простоту самого процесу. Використовуючи ARES PCB LAYOUT створено новий проект та проведено автоматичне трасування

друкованих провідників. Тим самим розміри друкованої плати становлять 70x85 мм; ширина провідників 0.075 мм; товщина плати – 1.5 мм. Матеріалом плати обрано склотекстоліт фольгований двосторонній. Діапазон робочих температур – $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\div 100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Економічні розрахунки підтвердили виробництво виробу. Підприємство планує на наступному році випуску збільшувати обсяги і та ринку збуту, таким чином плануємо, що його рентабельність зросте. Розробка є актуальною, оскільки даний пристрій має широку сферу застосування. Одними з найбільших статей витрат становить комплектуючі матеріали, електроенергія та заміна деталей, тобто ремонт. Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки E_2 : 1460.

Також оцінюючи безпеку роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання потрібно відмітити, що вертикальна складова напруженості електричного поля повинна не перевищувати $0,031 \times 10^3$ В/м, граничне значення потужності дози гамма- випромінювання $P_{гр} = 6,3 \times 10^5$ (Р/год), а також допустимий максимальний час перебування мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань більше 5 років, що визначено розрахунками.

Також визначено, що основними засобами для забезпечення безпеки роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу є:

- використання спеціальних екранів;
- використання активного захисту від дії потоку заряджених частинок.

При імпульсній дії ЕМІ, крім перерахованих способів використовуються пристрої, що вимикають апаратуру і обладнання вимірювача потужності оптичного випромінювання на період його дії, а також збільшення відстані між елементами, що знаходяться під напругою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Селецька О. О. Пристрій вимірювача потужності оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона / Римар В.В. Abstracts of II International Scientific and Practical Conference Lviv, Ukraine 25-26 November 2019
2. Оптичні випромінювачі: [сайт]. Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/2081565/page:9/> (дата звернення 20.04.2018). – Назва з екрана.
3. Оптика: [сайт]. Режим доступу: <http://edufuture.biz/index.php?title=%> (дата звернення 22.04.2018). – Назва з екрана.
4. Куафье Ф. А. Взаимодействие работа с внешней средой / Куафье Ф. А. – М. : Мир, 1985. – 286 с.
5. Ткачев А. Л. Классификация оптических датчиков / Ткачев А. Л – М. : Санкт – Петербург, національний дослідницький університет інформаційних технологій, механіки та оптики, 2011. – 331 с.
6. Кашкаров А. П. Электронные самоделки / Кашкаров А. П. – М. : Санкт – Петербург, 2001. – 214 с.
7. Оптичні випромінювачі [сайт]. Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2009/kita/tereschenko/library/article10.htm>(дата звернення 24.04.2018). – Назва з екрана.
8. Медведев А. В. Печатные платы. Конструкции и материалы: монографія / Медведев А. В. – М. : Техносфера, 2005. – 304 с.
9. Муромцев Д. Ю. Основы проектирования электронных средств. Часть 1: Учебное пособие, Д.Ю Муромцев, Тюрин И. В. – М. : Санкт – Петербург 2011. – 368 с.

10. Proteus. Редактор ISIS: [сайт]. Режим доступ: <http://radio-hobby.org/modules/instruction/instr.php?id=15>.

11. Операційний підсилювач: [сайт]. Режим доступу: http://catalog.gaw.ru/index.php?page=component_detail&id=28083 (дата звернення 29.04.2018). Назва з екрана.

12. Розробка друкованої плати і складального креслення: [сайт]. Режим доступу: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/3A546A8A-54D0-4C96-885A-47E1B618B021.pdf> (дата звернення 2.05.2018). – Назва з екрана.

13. Прості технології виготовлення друкованих плат :[сайт]. Режим доступу: <http://ua.nauchebe.net/2012/09/prosti-texnologii%D1%97-vigotovlennya-drukovanix-plat/> (дата звернення 5.04.2018). – Назва з екрана.

14. Ивченко В. Г. Конструирование и технология ЭВМ. Конспект лекций / Ивченко В. Г. – М. : Таганрог: ТГРУ, Кафедра конструирования электронных средств, 2001. – 250 с.

15. Тупик В. А. Технология и организация производства радиоэлектронной аппаратуры / Тупик В. А. – М. : : Санкт – Петербург ГЭТУ "ЛЭТИ" 2004. – 156 с.

16. Курносов А. И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем : учебн. пособие для вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики», «Полупроводниковые приборы»/ А. И. Курносов, Юдин В. В. – М. : Высшая школа, 1986. – 368 с.

17. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни і визначення.

18. ПДК 4617-88. Общесоюзные санитарно-гигиенические и санитарно-противоэпидемические правила и нормы "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".

19. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

20. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

21. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

22. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

23. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

24. О.В. Березюк Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Атестація робочих місць за умовами праці" з дисципліни "Охорона праці в галузі" для студентів усіх спеціальностей/ О.В. Березюк М. С. Лемешев. – М. : Вінниця: ВНТУ, 2010. – 21 с.

25. ДБН В.1.1.7 – 2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

26. СНиП 2. 09. 02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра електроніки та наносистем
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр
Спеціальність 153 – «Мікро- та наносистемна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕНС
д.т.н., проф. Білінський Й.Й

«03» вересня 2019р.

ЗАВДАННЯ ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Римар Владиславу Вікторовичу

1. Тема МКР: Вимірювач потужності оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона

науковий керівник роботи Селецька Олена Олександрівна к.т.н., доцент.

затверджено наказом ВНТУ від «03» вересня 2019 року № 254.

2. Строк подання студентом роботи: 12.12.2019р.

3. Вихідні дані для виконання роботи:

Розробити електричну схему та друковану плату вимірювача оптичного випромінювання з наступними параметрами: напруга живлення - $U_{ж} = +6,5$ В; струм споживання – 4,5 мА; вихідна напруга – 5 В; Діапазон робочих частот – 10^6 Гц. розміри плати – не більше $70 \times 85 \times 1,5$ мм; діапазон вимірювальної потужності 0 -130 мкВт/см², чутливість 0,5 - 3 кГц/мкВт/см², робоча температура приладу від - 40 – 100°C, похибка становить $\pm 5\%$.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз сучасного стану розвитку вимірювачів потужності оптичного випромінювання; структурна та електрична схеми вимірювача потужності оптичного випромінювання на основі каскаду Дарлінгтона;

алгоритм роботи вимірювача потужності оптичного випромінювання, моделювання роботи схеми; заходи з охорони праці та навколишнього середовища.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
схема електрична принципова, плата друкована, складальне креслення.

6. Консультанти розділів МК роботи

1. Науковий керівник _____ Селецька О.О. к.т.н., доцент.
(підпис)

2. Економічна частина _____
(підпис) _____
наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

3. Охорона праці _____
(підпис) _____
наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

«__» _____ 20__ р.

Дата попереднього захисту «12» грудня 2019 р.

Рецензент _____ Звягін О.С. к.т.н., доц. каф. ТКСТБ
(підпис)

«__» _____ 20__ р.

Завдання видав
науковий керівник _____ Селецька О.О. к.т.н., доцент.
(підпис)

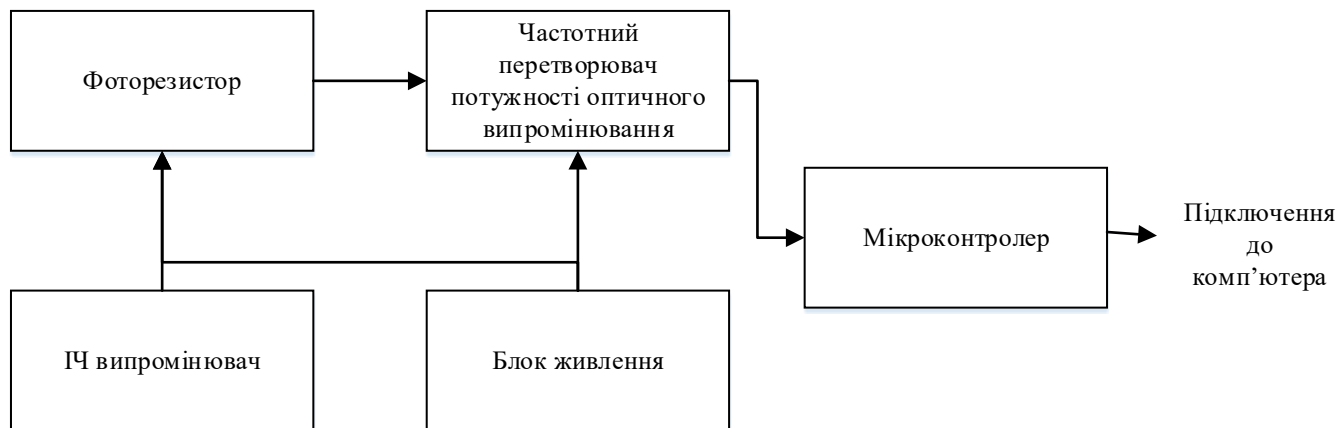
«02» вересня 2019 р.

Завдання отримав магістрант _____ В. В. Римар
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

08-05.БДР.801.09.001

Додаток Д



Перш. викорис.

Довід. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № орие.

08-05.МКР.153.09.000

| | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|--|-------|------|------------------|
| | | | | | 08-05.МКР.153.09.000 | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | <i>Вимірювач оптичний</i> | | Літ | Маса | Масштаб |
| Розроб. | Римар В.В | | | | | | У | Д | П |
| Перевір. | Селецька О.О. | | | | <i>Схема структурна</i> | | Аркуш | | Аркушів 1 |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| Реценз. | Звягін О.С. | | | | <i>ВНТУ зр.МНТ – 18мі</i> | | | | |
| Н. контр. | Кравченко Ю.С. | | | | | | | | |
| Затверд. | Білинський Й.Й. | | | | | | | | |

| Позначення | Найменування | Кільк | Примітки |
|---------------------|---------------------|-------|----------|
| | <u>Конденсатори</u> | | |
| C1,C10 | 470 пкФ ± 20% | 2 | |
| C2 | 10 нФ ± 20% | 1 | |
| C3,C4,C5, C6 | 10 пкФ ± 20% | 4 | |
| C4 | 50 мкФ ± 20% | 1 | |
| C11,C12 | 100 пкФ ± 20% | 2 | |
| | <u>Резистори</u> | | |
| R1,R2,R3, R4,R14 | 1 кОм ± 10% | 5 | |
| R5,R6 | 2 кОм ± 5% | 1 | |
| R7,R8,R9, R15 | 470 Ом ± 5% | 4 | |
| R10,R11 | 100 Ом ± 5% | 2 | |
| R13 | 3 кОм ± 5% | 1 | |
| RV1 | PRE-MT0.75 | 1 | |
| | <u>Транзистори</u> | | |
| VT1,VT2 | 2N3906 | 2 | |
| VT3,VT4 | BC169 | 2 | |
| | <u>Діоди</u> | 1 | |
| VD1 | 10A01 | | |
| | <u>Мікросхеми</u> | 4 | |
| U1 | ATTINY2313 | 1 | |
| U2 | 7806 | 4 | |
| U3 | 4093 | 4 | |

| | | | | | |
|---------------------------|--------|-----------------|-------------------|---------|------|
| 08-05.МКР.153.09.000. ПЕЗ | | | | | |
| Зм | Кільк. | Арк. | № док. | Підп | Дата |
| Розроб | | Гарбар Л.О. | | | |
| Перевірів | | Селецька О.О | | | |
| Реценз. | | Барась С. Т. | | | |
| Н.конт. | | Кравченко Ю.С. | | | |
| Затв. | | Білинський Й.Й. | | | |
| Вимірювач оптичний | | | Перелік елементів | | |
| Літ | | Аркуш | | Аркушів | |
| | | | | 1 | |
| МНТ-18мі | | | | | |

ДОДАТОК Ж

```
include <avr/io.h>
#define F_CPU 16000000
#include <util/delay.h>
#define N 32
#include "lookup.h"
#define RS PD6
#define EN PD5
#define LCD_NIBBLE PORTC

void adc_init();
uint16_t adc_read();
void TRANSFORM();
void timer1_init();
void LCD_STROBE(void);
void lcd_data(unsigned char c);
void lcd_cmd(unsigned char c);
void lcd_clear(void);
void lcd_init();
void lcd_print(char *p, char l);
void lcd_fill_custom();

uint8_t lcd_buf1[16];
uint8_t lcd_buf2[16];
int32_t fx[N];
int32_t Fu[N/2][2];

void main()
{
    uint8_t mag;
    int i,j, temp_value;
    uint8_t temp_index;
    adc_init();
    lcd_init();
    lcd_fill_custom();
    lcd_print("DFT SPECTROMETER",1);
    lcd_print("0Hz - 10KHz(16)",2);
    _delay_ms(5000);
    lcd_clear();
    timer1_init();
    while(1) {
        TCNT1 = 0;
        TIFR |= 1<<OCF1A;
        for(i=0;i<N;i++) {
            while((TIFR & (1<<OCF1A)) == 0);
            fx[i] = ((int16_t)adc_read());
            TIFR |= 1<<OCF1A;
        }
        TRANSFORM();
        lcd_cmd(0xc0);
        for(i =1; i<N/2; i++) {
            if(Fu[i][0]<0)Fu[i][0]*=-1;
            if(Fu[i][1]<0)Fu[i][1]*=-1;
            mag = (uint8_t)(Fu[i][0] + Fu[i][1])/4;
            if((mag)>7) {
                lcd_buf1[i] = (mag) - 7 - 1;
                if(lcd_buf1[i] > 7)
                    lcd_buf1[i] = 7;
                lcd_buf2[i] = 7;
            }
        }
    }
}
```

```

        else {
            lcd_buf1[i] = ' ';
            lcd_buf2[i] = mag;
        }
    }
}

void TRANSFORM()
{
    int16_t count,degree;
    uint8_t u,k;
    count = 0;
    for (u=0; u<N/2; u++) {
        for (k=0; k<N; k++) {
            degree = (uint16_t)pgm_read_byte_near(degree_lookup + count)*2;
            count++;
            Fu[u][0] += fx[k] * (int16_t)pgm_read_word_near(cos_lookup + degree);
            Fu[u][1] += -fx[k] * (int16_t)pgm_read_word_near(sin_lookup + degree);
        }
        Fu[u][0] /= N;
        Fu[u][0] /= 10000;
        Fu[u][1] /= N;
        Fu[u][1] /= 10000;
    }
}

void timer1_init()
{
    TCCR1B = (1<<WGM12)|(1<<CS10);
    OCR1A = 800;
}

void adc_init()
{
    ADMUX = 0b11000000;
    ADCSRA = 0b10000010;
}

uint16_t adc_read()
{
    volatile uint16_t retl,reth;
    ADCSRA |= 1<<ADSC;
    while(!ADIF);
    ADCSRA |= 1<<ADIF;
    retl = ADCL;
    reth = ADCH;
    reth<<=8;
    reth|=retl;
    return reth;
}

void LCD_STROBE(void)
{
    PORTD |= (1 << EN);
    _delay_us(1);
    PORTD &= ~(1 << EN);
}

void lcd_data(unsigned char c)
{
    PORTD |= (1 << RS);
    _delay_us(50);
    LCD_NIBBLE = (c >> 4)|(LCD_NIBBLE&0xf0);
    LCD_STROBE();
    LCD_NIBBLE = (c)|(LCD_NIBBLE&0xf0);
    LCD_STROBE();
}

```

```

}

void lcd_cmd(unsigned char c)
{
    PORTD &= ~(1 << RS);
    _delay_us(50);
    LCD_NIBBLE = (c >> 4)|(LCD_NIBBLE&0xf0);
    LCD_STROBE();
    LCD_NIBBLE = (c)|(LCD_NIBBLE&0xf0);
    LCD_STROBE();
}

void lcd_clear(void)
{
    lcd_cmd(0x01);
    _delay_ms(5);
}

void lcd_init()
{
    DDRC = 0b00001111;
    DDRD |= (1 << RS)|(1 << EN);
    PORTC |= (1<<PC4);
    _delay_ms(15);
    lcd_cmd(0x30);
    _delay_ms(1);
    lcd_cmd(0x30);
    _delay_us(100);
    lcd_cmd(0x30);
    lcd_cmd(0x28);
    lcd_cmd(0x28);
    lcd_cmd(0x0c);
    lcd_clear();
    lcd_cmd(0x6);
}

void lcd_print(char *p, char l)
{
    if(l==1)lcd_cmd(0x80);
    else lcd_cmd(0xc0);
    while(*p)
        lcd_data(*p++);
}

void lcd_fill_custom()
{
    uint8_t i,j;
    i=0;j=0;
    lcd_cmd(64);
    for(i=1;i<=8;i++) {
        for(j=8;j>i;j--)
            lcd_data(0);
        for(j=i;j>0;j--)
            lcd_data(0xff);
    }
}

```

Додаток Е. Моделювання

Проведемо моделювання схеми при різних керуючих напругах та при різних значення опору резистора RV1. При запуску схеми на дисплей відображається відповідне повідомлення про потужність випромінювання в одиницях $\mu W/cm^3$

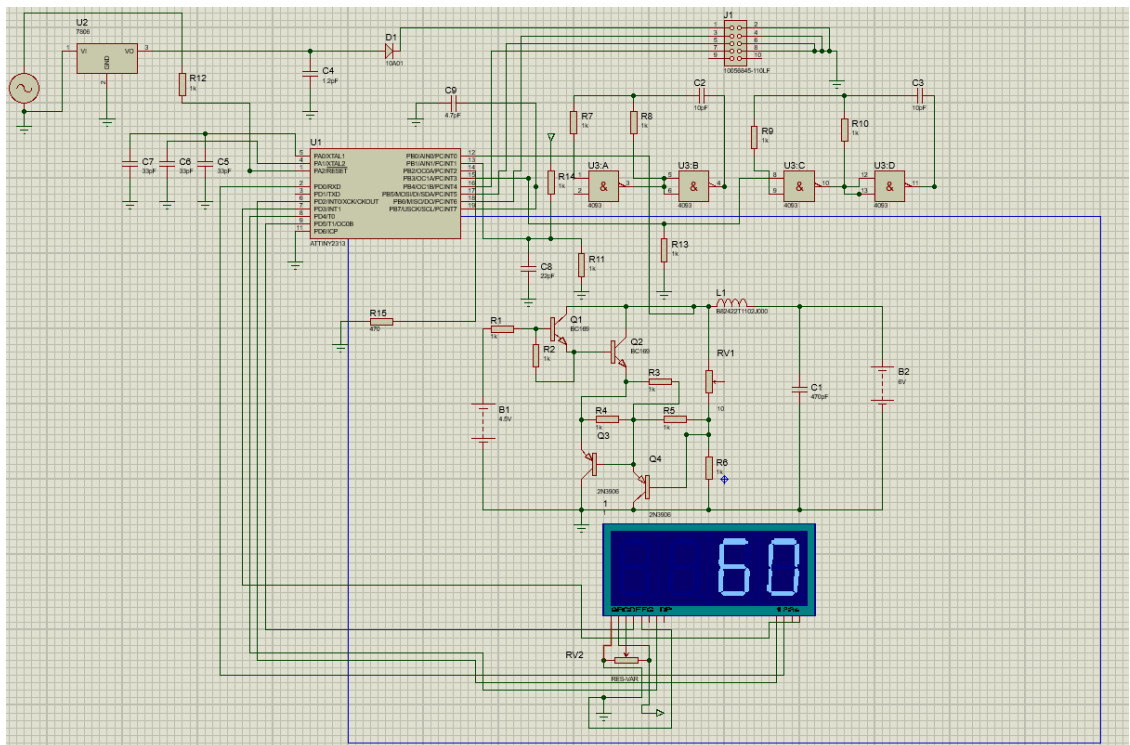


Рисунок Е.1 – схема моделювання вимірювача оптичного випромінювання при ($RV1 = 4 \text{ кОм}$) в програмному середовищі ISIS Proteus

На рисунку Е.1 можна побачити, що значення на екранчику це є потужність оптичного випромінювання при значенні настроєчного резистора RV1 – 5 кОм та напрузі керування 2 В і становить $60 \mu W/cm^3$.

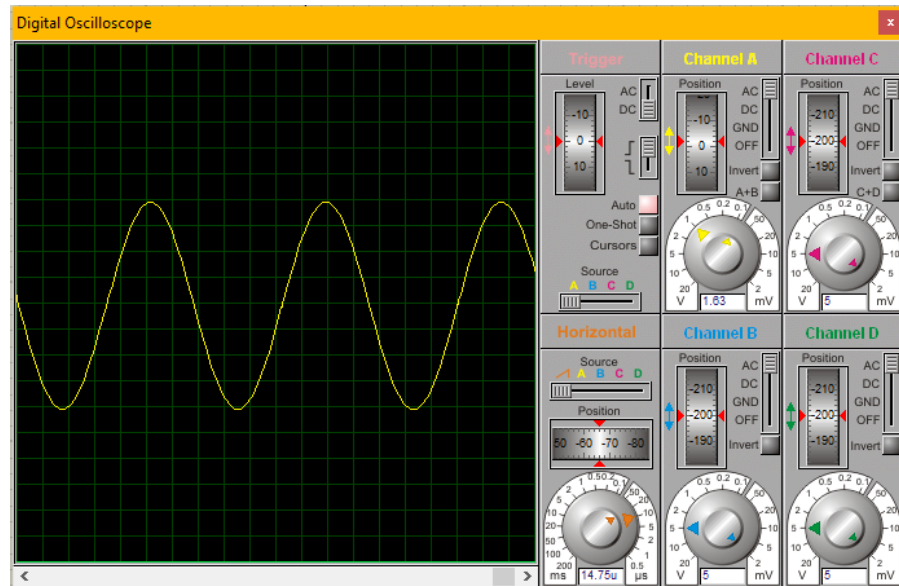


Рисунок Е.2 - Сигнал на виході схеми вимірювача потужності оптичного сигналу, що надходить до мікроконтролера при $R_{V1} = 4 \text{ кОм}$

На рисунку Е.3 вимірювана потужність збільшилась і становить $85 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ при напрузі керування 3 В.

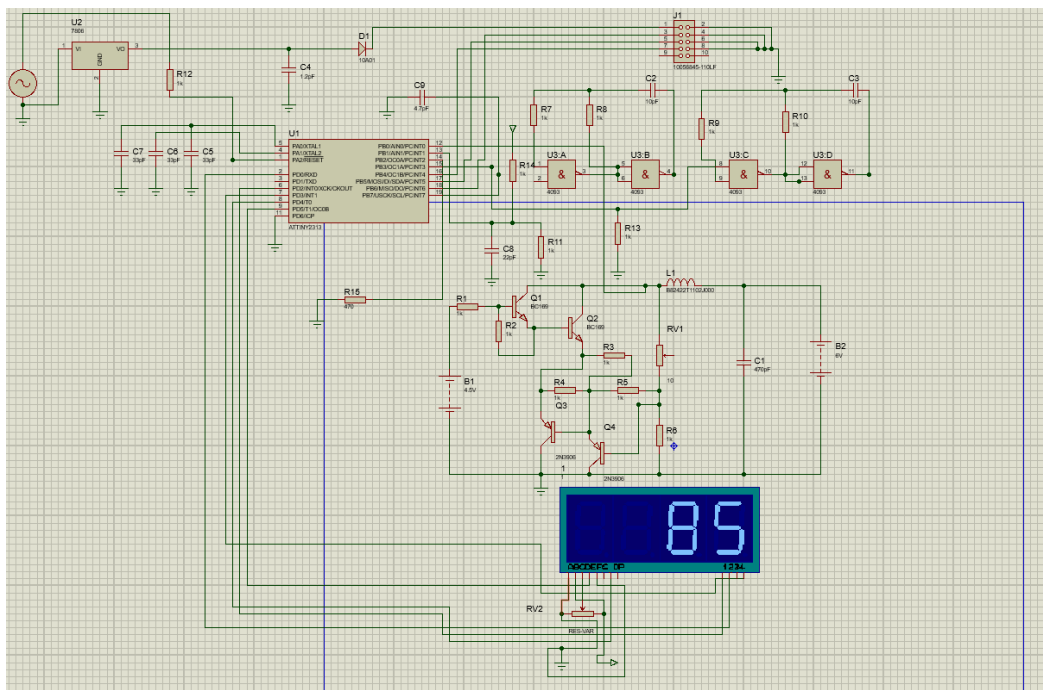


Рисунок Е.3 - схема моделювання вимірювача оптичного випромінювання при ($R_{V1} = 2 \text{ кОм}$) в програмному середовищі ISIS Proteus

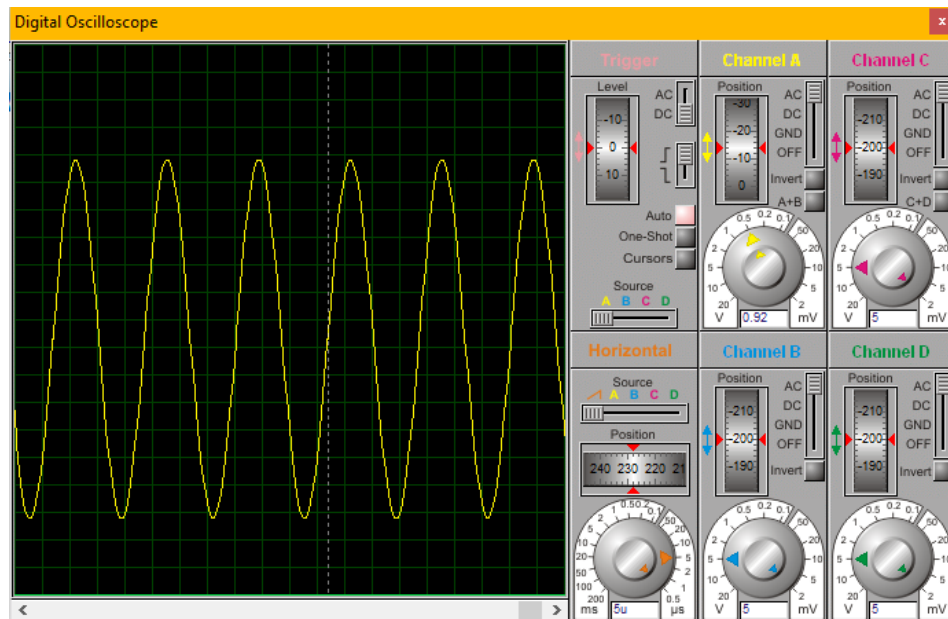


Рисунок Е.4 - Сигнал на виході схеми вимірювача потужності оптичного сигналу, що надходить до мікроконтролера при $R_{V1} = 2 \text{ кОм}$

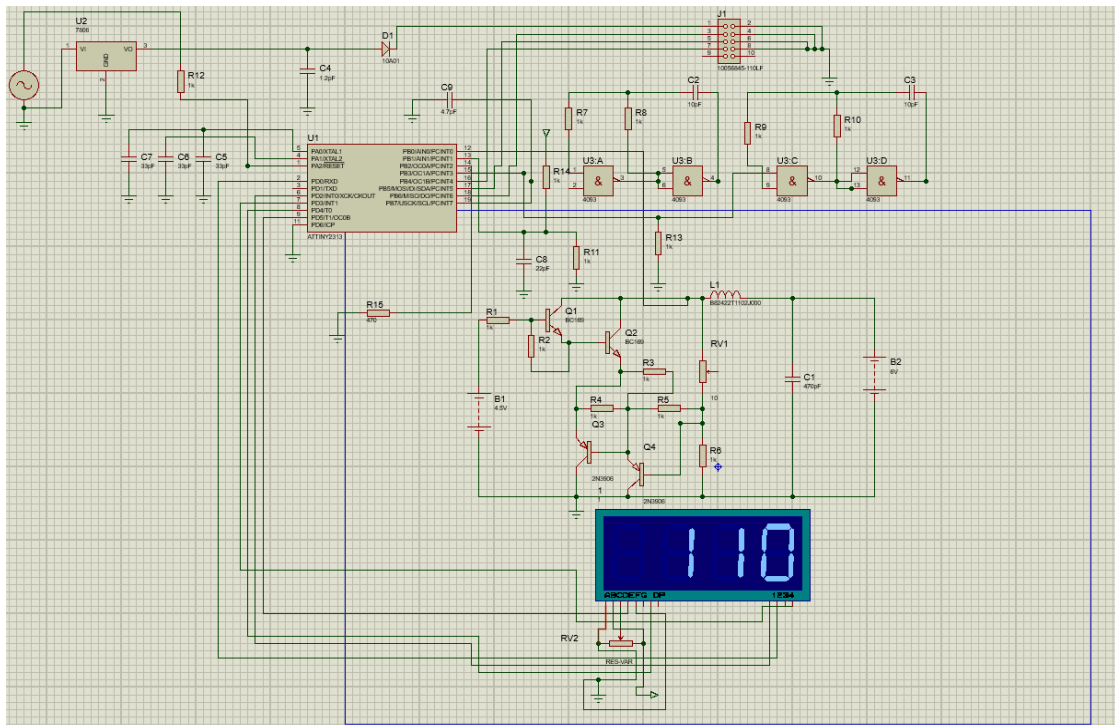


Рисунок Е.5 - схема моделювання вимірювача оптичного випромінювання при ($R_{V1} = 1 \text{ кОм}$) в програмному середовищі ISIS Proteus

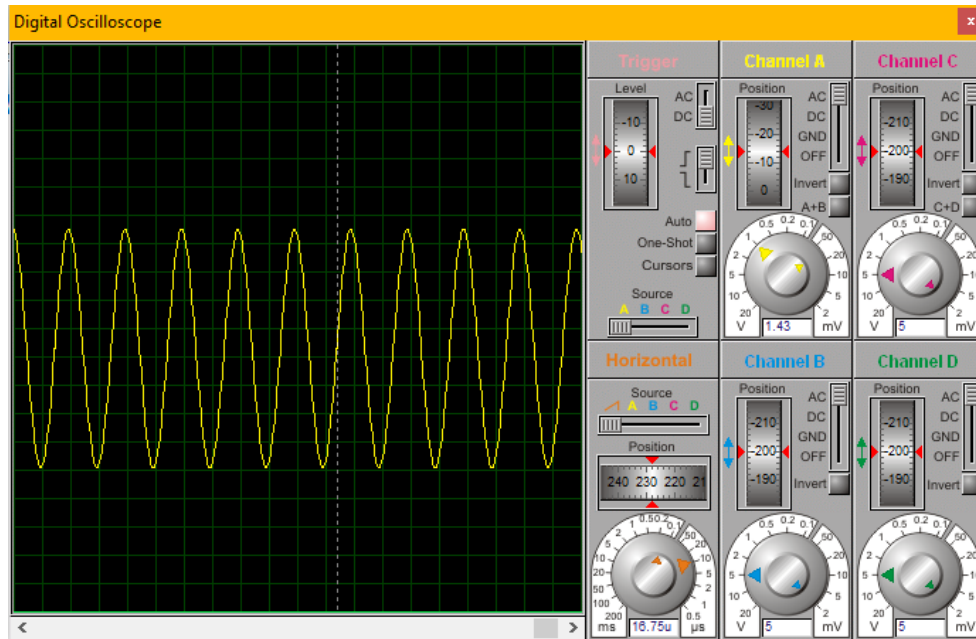


Рисунок Е.6 - Сигнал на виході схеми вимірювача потужності оптичного сигналу, що надходить до мікроконтролера при $R_{V1} = 2 \text{ кОм}$

Із результатів моделювання видно, що при зміні опору настроєчного резистора змінюється синусоїдальний сигнал на виході схеми який поступає на мікроконтролер, який перетворює сигнал і виводить його на LCD.

При значенні змінного резистора $R_{V1} = 4 \text{ кОм}$, потужність на виході схеми складає $60 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, при $R_{V1} = 3 \text{ кОм}$ $85 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, при $R_{V1} = 2 \text{ кОм}$ $110 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Додаток Є. Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT

Результати автоматично трасування плати універсального акустичного датчика-вимикача із затримкою вимикання зображено на рисунку Є.1.

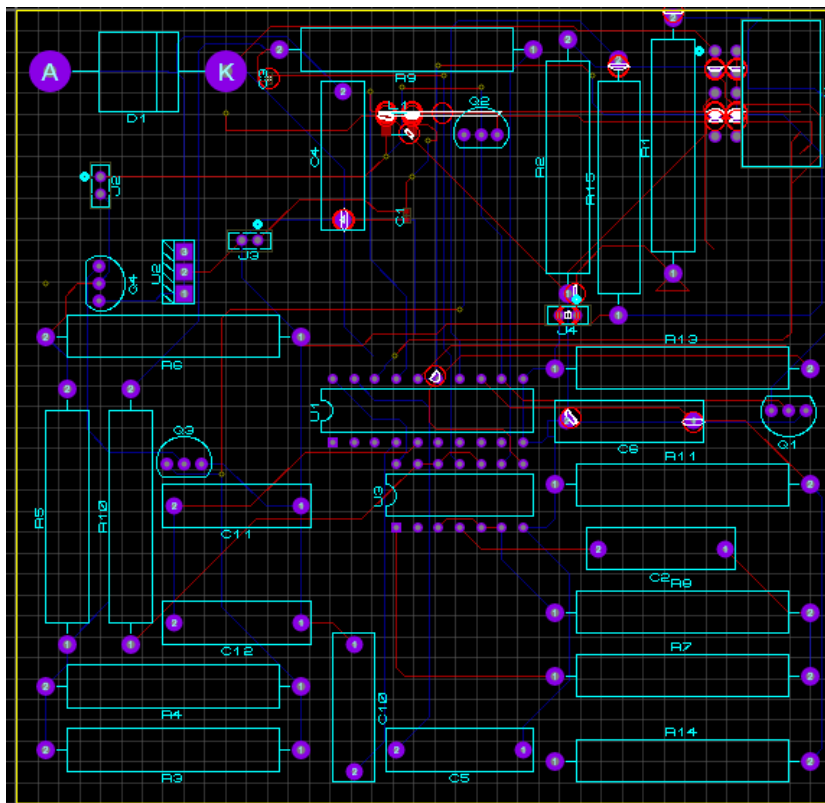


Рисунок Є.1 – Розведена плата в ARES Proteus Layout

Скориставшись функціоналом програмного середовища ARES, побудуємо тривимірну модель друкованої плати з встановленими компонентами. Для цього необхідно виконати команду `Output> 3DVisualization` (рисунок Є.2 – Є.3).

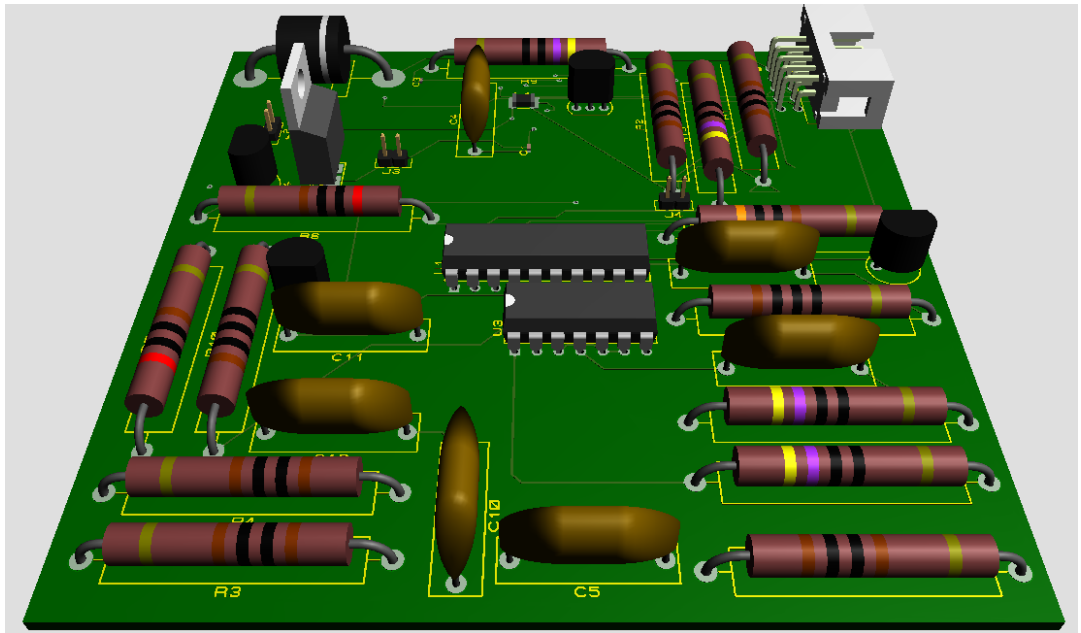


Рисунок Є.2 – 3D зображення моделі плати вимірювача оптичного випромінювання

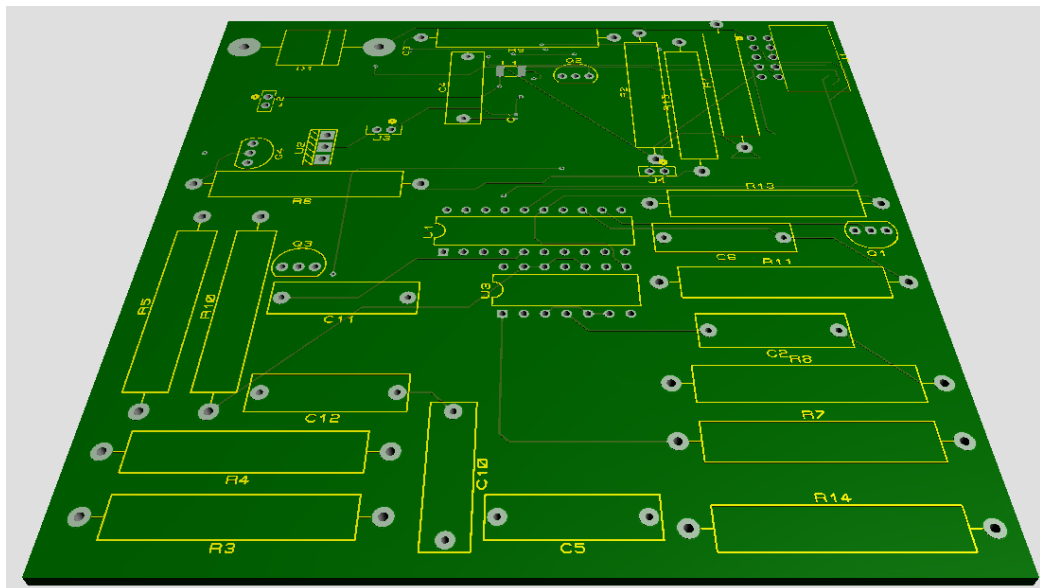
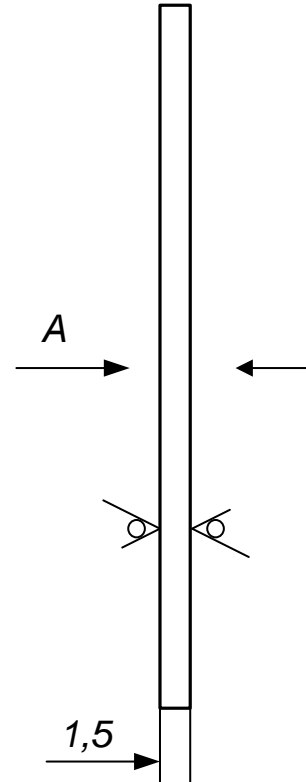
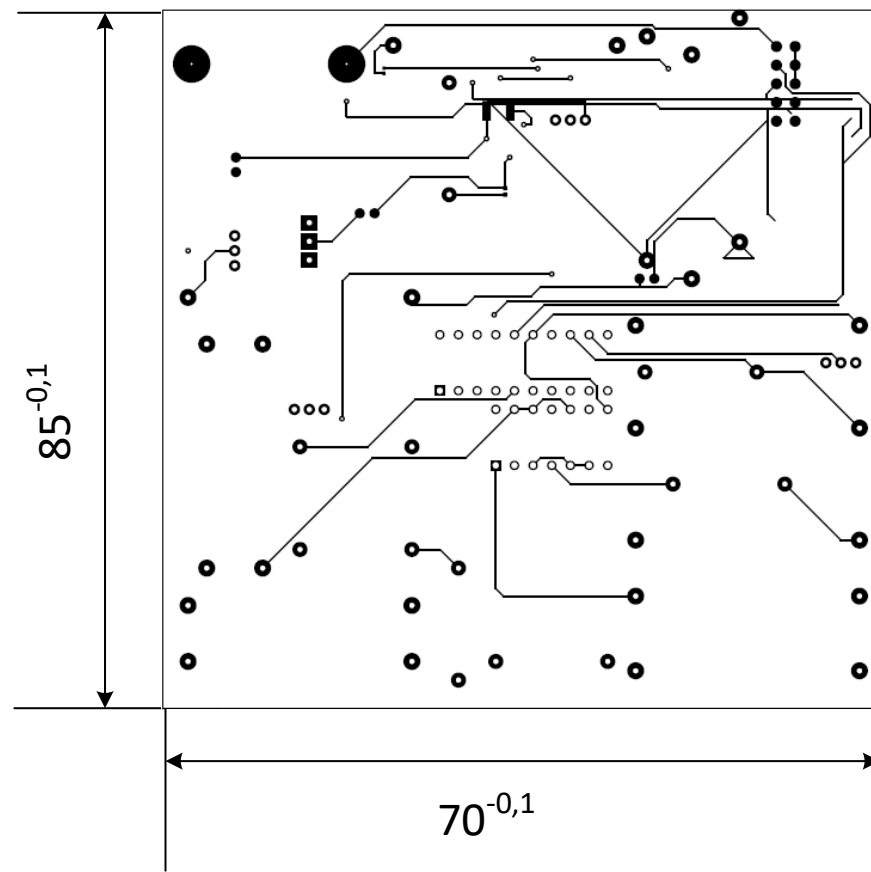


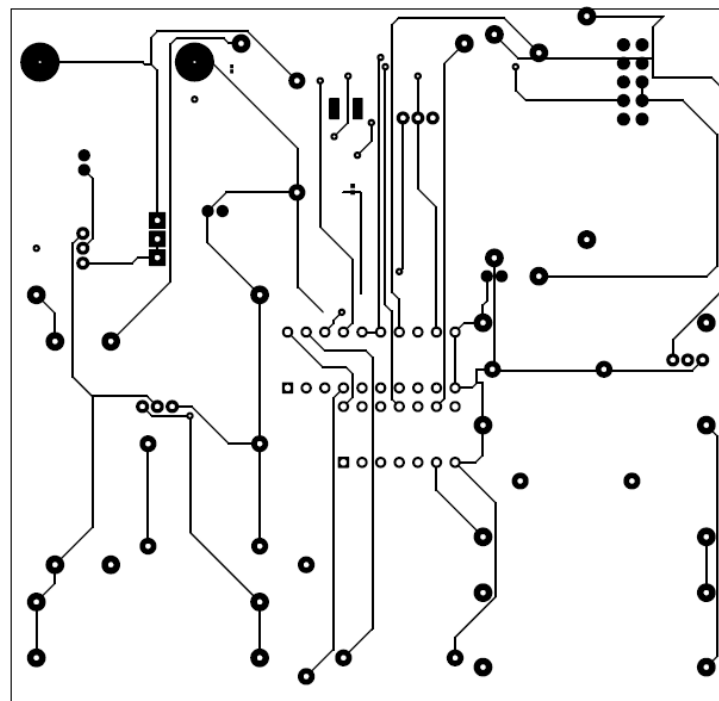
Рисунок Є.3 – Модель плати вимірювача оптичного випромінювання без елементів.



- 1.* Розмір для довідок.
2. Крок координатної сітки 1 мм
3. Провідники, умовно позначені суцільними лініями, виконати шириною 0,45 мм.
4. Відстань між провідниками не менше 0,25 мм.
5. Плата повинна відповідати ГОСТ-2.417-91.

| Умове позначення отвору | Діаметр отвору, мм | Наявність металізації в отворі | Діаметр/ширина контактної площадки, мм | Кількість отворів |
|-------------------------|--------------------|--------------------------------|--|-------------------|
| ● | 0,8 | є | 2 | 46 |
| ○ | 1,5 | є | 1 | 34 |
| ● | 0,8 | є | 2,6 | 46 |
| ■ | 1 | є | 2,2 | 3 |
| ⊕ | 3 | немає | | 2 |
| ● | 1 | є | 5 | 2 |
| ⦿ | 1 | є | 0,6 | 13 |

Вид: А



| | | | | | | | | | |
|------|-----------|-----------------|--------|------|------------------------------|--|-------------------|------|-----------|
| | | | | | 08-05.МКР.801.09.003 | | | | |
| | | | | | Плата друкована | | Літ | Маса | Масштаб |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | У | Д | П |
| | Розроб. | Римар В.В. | | | Склотекстоліт СФ-2-35-1,5 | | Аркуш | | Аркушів 1 |
| | Перевір. | Селецька О.О. | | | | | ВНТУ зр. МНТ-18мі | | |
| | Т. контр. | | | | | | | | |
| | Реценз. | Звягін О.С | | | | | | | |
| | Н. контр. | Кравченко Ю. С. | | | | | | | |
| | Затверд. | Білинський Й.Й. | | | | | | | |

Перш. викорис.

Довід. №

Підпис і дата

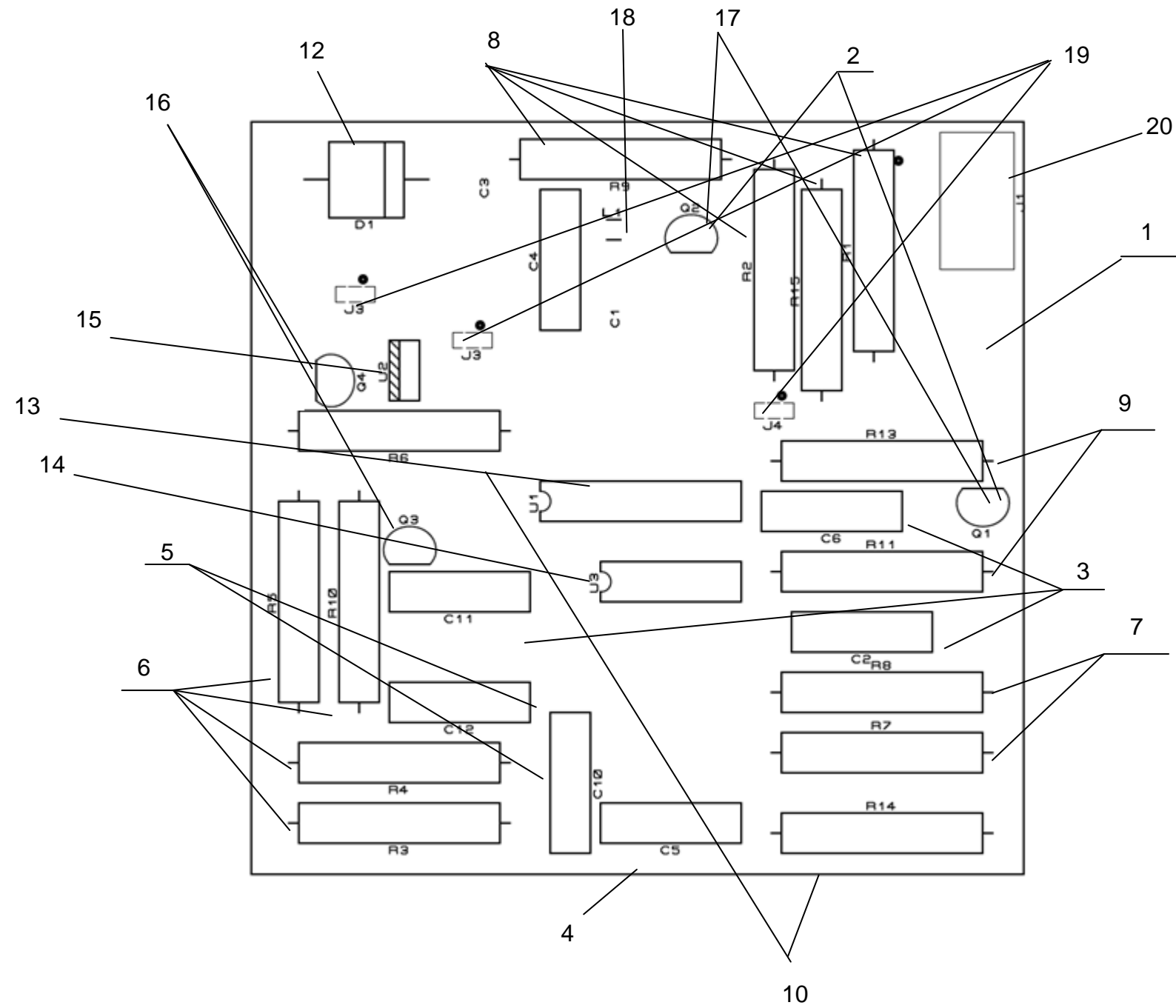
Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориє.

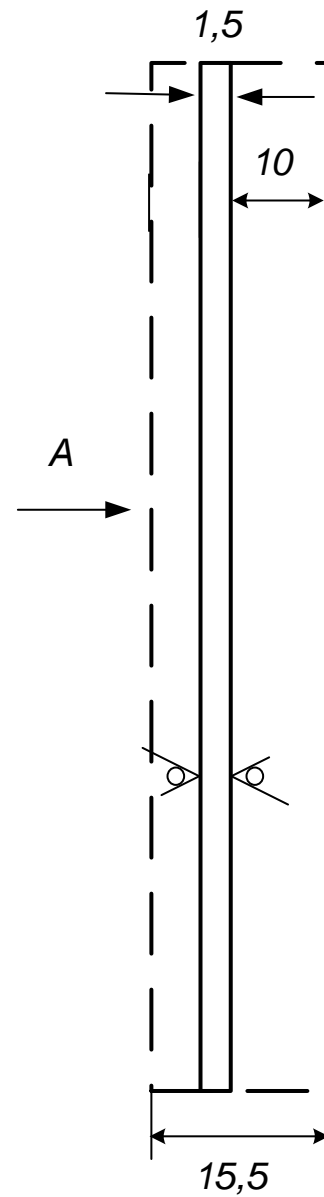
Додаток Г



1. Монтаж радіоелементів здійснювати за допомогою припою ГОСТ 23592-96

2. Покриття УР-231.

3. Таврувати фарбою БМ, білою, шрифт ЗПР-3



Перш. викорис.

Довід. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.

| | | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|-------------------------------|-------|------|-----------|-----|
| | | | | | 08-05.МКР.153.09.004. СК | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Плата Складальне креслення | Літ | Маса | Масштаб | |
| | | | | | | У | Д | П | 1:1 |
| Розроб. | | Римар В.В. | | | | Аркуш | | Аркушів 1 | |
| Перевір. | | Селецька О.О. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| Реценз. | | Звягін О.С. | | | ВНТУ зр. МНТ-18мі | | | | |
| Н. контр. | | Кравченко Ю. С. | | | | | | | |
| Затверд. | | Білинський Й.Й. | | | | | | | |

| Формат | Зона | Поз | Позначення | Найменування | Кільк. | Примітки |
|--------|------|-----|-------------------------|----------------------------------|--------|----------|
| | | | | <u>Документація</u> | | |
| A3 | | | 08-05.МКР.801.09.004 СК | Плата | 1 | |
| | | | | Складальне креслення | | |
| | | | | <u>Деталі</u> | | |
| A3 | | 1 | 08-05.МКР.801.09.003 | Плата друкована | 1 | |
| | | | | <u>Стандартні вироби</u> | | |
| | | 2 | | Конденсатор CAPC100 470pF | 4 | |
| | | 3 | | Конденсатор CAP60 10pF | 3 | |
| | | 4 | | Конденсатор CAP60 100pF | 2 | |
| | | 5 | | Конденсатор CAP60 10F | 1 | |
| | | | | <u>Резистори</u> | 1 | |
| | | 6 | | Резистор 3WATT RES120 1 kOhm | 4 | |
| | | 7 | | Резистор 3WATT RES120 2 kOhm | 2 | |
| | | 8 | | Резистор 3WATT RES120 470 Ohm | 4 | |
| | | 9 | | Резистор 3WATT RES120 100 Ohm | 2 | |
| | | 10 | | Резистор 3WATT RES120 3 kOhm | 2 | |
| | | 11 | | Резистор PRE-MT0.75 | 1 | |
| | | 12 | | Діод 110A01 | 2 | |
| | | | | <u>Мікросхеми</u> | 1 | |
| | | 13 | | Мікропроцесор ATTINY2313 | 1 | |
| | | 14 | | Мікросхема 7806 P1 | 1 | |
| | | 15 | | Мікросхема 4093 | 4 | |

| | | | | | | | | | |
|-----------|--------|------------------|--------|-------|------|----------------------|--------------------|-------|---------|
| | | | | | | 08-05.МКР.153.09.000 | | | |
| Зм. | Кільк. | Арк. | № док. | Підп. | Дата | | | | |
| Розробив | | Римар В.В | | | | Плата | Літ | Аркуш | Аркушів |
| Перевірів | | Селецька О.С | | | | | | 1 | 2 |
| Реценз. | | Звягін О.С. | | | | | ВНТУ, гр. МНТ-18мі | | |
| Н.конт. | | Кравченко Ю. | | | | | | | |
| Затв. | | Білинський Й. Й. | | | | | | | |

