

Міністерство освіти і науки України
Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана
Пулюя»

(повне найменування вищого навчального закладу)
відділення телекомунікацій та електронних систем
(назва відділення)
циклова комісія телекомунікацій та радіотехніки
(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

	фаховий молодший бакалавр
	(освітньо-професійний ступінь)
на тему:	Розробка конструкцій вимірника напруги пробою напівпровідників

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи ТР-403

Спеціальність: 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Освітня програма: «Конструювання, виробництво та технічне обслуговування радіотехнічних пристроїв».

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

	<u>Максим ДУТКА</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Віктор ПРИЙМАК</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Ірина ДЕДІВ</u> (прізвище та ініціали)

**Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»
Відділення телекомунікацій та електронних систем
Циклова комісія телекомунікацій та радіотехніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень молодший спеціаліст
Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
Спеціалізація «Конструювання, виробництво та технічне обслуговування
радіотехнічних пристроїв».**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії
телекомунікацій та радіотехніки
_____ Ольга ВАСИЛИШИН
“12” _____ травня 2025 року

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

_____ Дутка Максим Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: **Розробка конструкцій вимірника напруги пробою напівпровідників**

керівник кваліфікаційної роботи Віктор ПРИЙМАК,

ДП затверджені наказом закладу фахової передвищої освіти від 20.01.2025 року №4/9-21.

2. Строк подання студентом проекту: 16.06.2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: напруга живлення 11...15В; потужність струму холостого ходу при живленні 12В; контакти 5, 6 не замкнуті 30 м А; струм при живленні 12В, контакти 5,6 замкнуті 230м А; споживаний струм при живленні 12В, контакти 5,6 замкнуті, вихід закорочений 330м А; максимальна напруга на виході 130В; вихідний струм

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити

Анотація

Вступ. Призначення і область застосування радіопристрою

Розділ 1 Загальна частина

1.1 Розробка технічного завдання

1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз

Розділ 2 Спеціальна частина

2.1 Розрахунково-конструкторська частина

2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покрить

2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції.

2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

2.1.4 Розрахунок електричних параметрів окремих каскадів

- 2.1.5 Опис конструкції друкованої плати. Розрахунок параметрів друкованого монтажу
- 2.1.6 Оцінка теплових режимів роботи виробу (розрахунок площі радіатора при необхідності)
- 2.1.7 Розрахунок надійності проектного виробу
- 2.1.8 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу. Розрахунок споживаної потужності.
- 2.2 Технологічна частина
 - 2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектного виробу. Вибір типу технології
 - 2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції. Вибір інструментів, пристосувань, оснастки
 - 2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів
 - 2.2.4 Кількісна оцінка технологічності друкованого вузла
 - 2.2.5 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу
- Розділ 3 Економічна частина
 - 3.1 Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень.
 - 3.2 Визначення собівартості спроектованого виробу.
 - 3.3 Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень.
- Розділ 4 Охорона праці
 - 4.1 Основні причини виникнення пожежі на виробництві
 - 4.2 Заходи та засоби нормалізації параметрів мікроклімату виробничих приміщень
- Висновки
- Перелік посилань
- Додатки

Додаткові вказівки:

Виконання кваліфікаційної роботи (з виготовленням макета, стенда, приладу і т.д.)

без виготовлення макета

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
- Аркуш №1 Схема електрична принципова
 - Аркуш №2 Схема електрична структурна або функціональна (при необхідності)
 - Аркуш №3 Креслення плати друкованої
 - Аркуш №4 Складальне креслення друкованого вузла
 - Аркуш №5 Складальне креслення виробу
 - Аркуш №6 Креслення деталі (елемент корпусу, радіатор, тримач, планка і т.д.) при необхідності
 - Аркуш №7 Таблиця ТЕП

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Оксана КУЩАК		
Охорона праці	Лілія СЕМКІВ		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	05.05	
2	Збір і узагальнення інформації для кваліфікаційної роботи	13.05	
3	Написання першого розділу	25.05	
4	Розробка технічного та робочого проекту	30.05	
5	Написання спеціального розділу	29.05	
6	Розрахунок економічної частини	24.05	
7	Написання розділу охорони праці	26.05	
8	Виконання графічної частини	19.05	
9	Оформлення кваліфікаційної роботи	06.06	
10	Погодження нормоконтролю	12.06	
11	Попередній захист кваліфікаційної роботи	16.06	
12	Захист кваліфікаційної роботи		

7. Дата видачі завдання 12 травня 2025р.

Студент

_____ Максим ДУТКА _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Віктор ПРИЙМАК _____
(підпис)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	
ВСТУП. Призначення і область застосування радіопристрою.....	
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	
1.1 Розробка технічного завдання	
1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу	
1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз.....	
РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	
2.1 Розрахунково-конструкторська частина.....	
2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів	
2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції.	
2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази	
2.1.4 Розрахунок електричних параметрів окремих каскадів	
2.1.5 Опис конструкції друкованої плати. Розрахунок параметрів друкованого монтажу	
2.1.6 Розрахунок надійності проектного пристрою.....	
2.1.7 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу. Розрахунок споживаної потужності.....	
2.2 Технологічна частина.....	
2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектного виробу. Вибір типу технології.....	
2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції.	
2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів	

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Дутка			Розробка конструкції вимірника напруги пробюю напівпровідників Пояснювальна записка	Лім.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Приймак							
Рецензент						ВСП ТФК ТНТУ ТР-403 м. Тернопіль			
Н. Контр.		Задорожний							
Затверд.									

2.2.4	Кількісна оцінка технологічності друкованого вузла.....
2.2.5	Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу.....

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....

3.1	Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень
3.2	Розрахунок собівартості продукції.....
3.3	Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень.....

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....

4.1	Основні причини виникнення пожежі на виробництві.....
4.2	Заходи та засоби нормалізації параметрів мікроклімату виробничих приміщень.....

ВИСНОВКИ.....

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....

ДОДАТКИ.....

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АНОТАЦІЯ

Дутка М.В. Розробка конструкції вимірник напруги пробною напівпровідників: кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-професійного ступеня фаховий молодший бакалавр, за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка. Тернопіль: ВСП «ТФК ТНТУ», 2025.

Елементи на платі розташовані дуже компактно, і тому розміри плати мінімальні 140*185мм. Всі основні елементи розміщені на одній стороні плати. У приладі VT5, VT6, DA2 елементи, котрі виділяють велику кількість тепла, тому вони кріпляться до радіатора одного, також VT7 кріпиться на невеликий радіатор. Трансформатор також знаходиться на краю плати.

Корпус виготовлений з чорної пластмаси, яка має хороші характеристики, гарний зовнішній вигляд, та хорошу конструкцію, розміри 213×168×45 мм. Верхня та нижні кришки мають форму типу «корито. Кришки по кутах мають розміщені стійки для закріплення одна до одної за допомогою саморізів. Також нижня кришка має 4 ніжки для кріплення плати за допомогою чотирьох гвинтів та чотирьох шайб. У спеціальний паз встановлюються роз'єми XS1-XS3. Корпус вилитий методом лиття під тиском. Для даного виробу важливим фактором є зручність керування пристроєм.

Підібрана елементна база дозволяє реалізувати закладені в пристрій функції, є недорогою та доступною. Запропонована маршрутно-операційна технологія складання виробу може бути використана для серійного виробництва, є уніфікованою та розробленою з врахуванням типових технологічних процесів в галузі виробництва електронних пристроїв, що забезпечує швидку окупність вкладених інвестицій.

Ключові слова: вимірювання, напруга, напівпровідники, пробій, значення.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Dutka M.V. Design development of a semiconductor breakdown voltage meter: qualification work for obtaining the educational and professional degree of a junior bachelor, in specialty 172 Telecommunications and radio engineering. Ternopil: VSP "TFK TNTU", 2025.

The elements on the board are located very compactly, and therefore the dimensions of the board are minimal 140*185mm. All the main elements are located on one side of the board. In the device VT5, VT6, DA2 elements that emit a large amount of heat, so they are attached to one radiator, also VT7 is attached to a small radiator. The transformer is also located on the edge of the board.

The case is made of black plastic, which has good characteristics, a beautiful appearance, and a good design, dimensions 213×168×45 mm. The upper and lower covers have a "trough" shape. The covers have racks placed at the corners for fastening to each other using self-tapping screws. The bottom cover also has 4 legs for fastening the board using four screws and four washers. XS1-XS3 connectors are installed in a special groove. The housing is die-cast. For this product, the convenience of controlling the device is an important factor.

The selected element base allows you to implement the functions built into the device, is inexpensive and affordable. The proposed route-operational technology for assembling the product can be used for serial production, is unified and developed taking into account typical technological processes in the field of electronic device production, which ensures a quick return on investment.

Keywords: measurement, voltage, semiconductors, breakdown, value.

					<i>25KBP172.403.003.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Тема розробки конструкції вимірника напруги пробою напівпровідників є надзвичайно актуальною в сучасних умовах, враховуючи стрімкий розвиток електроніки, зростання попиту на якісні компоненти та необхідність їхньої достовірної перевірки. Напівпровідникові елементи, такі як транзистори, діоди чи тиристори, є основою більшості електронних пристроїв – від побутової техніки до промислових систем і високотехнологічних розробок у сфері штучного інтелекту, космічних технологій та відновлюваної енергетики. Їхня надійність і відповідність заявленим параметрам безпосередньо впливають на працездатність і безпеку кінцевих виробів.

Однією з ключових проблем є наявність на ринку радіодеталей із невідповідними характеристиками, що може бути спричинено як низькою якістю виробництва, так і свідомим введенням в оману споживачів. Зокрема, параметр напруги пробою – максимальна напруга, яку напівпровідник може витримати без руйнування – є критично важливим, але його перевірка за допомогою стандартних інструментів, таких як мультиметри, часто неможлива або недостатньо точна. Це створює потребу в спеціалізованих пристроях, які дозволяють проводити неруйнівне тестування з високою точністю.

Актуальність теми також підкріплюється зростанням інтересу до самостійного ремонту та створення електронних пристроїв у рамках DIY-культури (Do It Yourself), а також потребами невеликих майстерень і лабораторій, які не мають доступу до дорогого професійного обладнання. Розробка доступного, ефективного та простого у виготовленні вимірника напруги пробою може значно полегшити роботу інженерів, радіоаматорів і техніків, підвищивши якість їхніх проєктів і знизивши ризик використання ненадійних компонентів.

Крім того, у контексті глобальних тенденцій до мініатюризації електроніки та підвищення енергоефективності, точне визначення характеристик напівпровідників набуває стратегічного значення. Помилки в оцінці параметрів

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можуть призводити до аварій, фінансових втрат і навіть загрози життю, наприклад, у медичному обладнанні чи транспортних системах. Таким чином, створення конструкції вимірника напруги пробою напівпровідників відповідає сучасним викликам, сприяє розвитку технологій і має практичну цінність як для професіоналів, так і для ентузіастів у сфері електроніки [1].

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Розробка технічного завдання

Технічні характеристики приладу:

Основні характеристики пристрою:

Напруга живлення, не стабілізована 11...15В;

Потужність струму холостого ходу при живленні 12В, контакти 5, 6 не замкнуті30мА;

Струм при живленні 12В, контакти 5, 6 замкнуті 230 мА;

Споживаний струм при живленні 12В, контакти 5, 6 замкнуті, вихід закорочений 330 мА;

Максимальна напруга на виході 130В;

Вихідний струм..... 1 мА.

1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу

Опис структурної схеми вимірювача напруги пробною напівпровідників:

Блок живлення (+12 В).

Забезпечує основне енергоживлення для всієї системи. До вимірювального пристрою подається постійна напруга 12 В, яка є вихідною точкою для подальших етапів перетворення та стабілізації.

Підвищувальний контролер (ШІМ-контролер).

Це модуль керування імпульсною широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), який підвищує вхідну напругу до рівня, необхідного для проведення вимірювання. Він регулює частоту та тривалість імпульсів, щоб забезпечити стабільне підвищення напруги до заданого рівня.

Зовнішній перетворювач.

Призначений для подальшого підвищення та фільтрації напруги, що генерується ШІМ-контролером. Може включати в себе трансформатор, діодний випрямляч і фільтри, що згладжують вихідну напругу до постійного значення, необхідного для вимірювання напруги пробною.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стабілізатор вихідного струму.

Забезпечує постійне значення струму, що подається на тестований елемент, незалежно від змін навантаження. Це важливо для точності вимірювання напруги пробою, оскільки характеристики напівпровідників залежать від стабільності струму.

Вихід навантаження.

Це точка підключення напівпровідникових елементів, які проходять тестування. Через цей вихід до зразка подається стабілізований струм та напруга, що поступово зростає до моменту пробою. У цей момент фіксується відповідна напруга пробою.

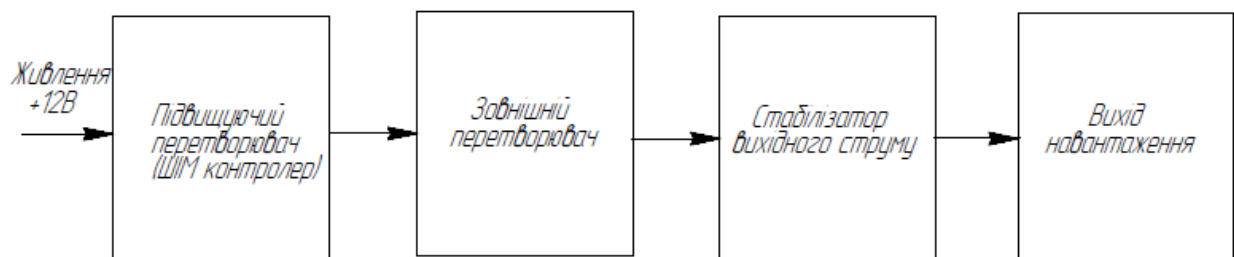


Рисунок 1.1-Схема електрична структурна

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз

Для фахівців, які займаються ремонтом або складанням електронних пристроїв — як власних, так і сторонніх — важливо мати точну інформацію про характеристики напівпровідникових компонентів. Це особливо актуально через наявність на ринку радіодеталей, параметри яких часто не відповідають заявленим виробником. Стандартні мультиметри не здатні вимірювати критично важливі показники, зокрема максимальну допустиму напругу колектор-емітер (або стік-витік у польових транзисторах) та зворотну напругу діодів. У таких випадках корисним буде спеціалізований пристрій, принципова схема якого подана нижче [1].

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип дії пристрою базується на безпечному зворотному пробі напівпровідника без його пошкодження. Це досягається завдяки обмеженню струму, що проходить через тестований елемент, запобігаючи тепловому пробію.

Основою підвищувального перетворювача є популярний ШІМ-контролер DA1 (TL494). Хоча трансформатор Т1 можна виготовити самостійно, для спрощення конструкції застосовано готовий трансформатор від підсвічування з CCFL-ламп (холодного катода). Через високий коефіцієнт трансформації, необхідний для роботи такої лампи, регулювання вихідної напруги здійснюється не через сам TL494, а за допомогою зовнішнього перетворювача DA2 (LM2576-ADJ).

Зворотний зв'язок для стабілізації напруги формується за допомогою дільника R27–R30. DA2 порівнює сигнал з дільника з внутрішньою опорною напругою 1,23 В і відповідно коригує живлення первинної обмотки трансформатора Т1. Така схема, на відміну від прямого керування ШІМ, дозволяє зменшити амплітуду імпульсів у вторинній обмотці трансформатора, що знижує втрати, підвищує ККД та загальну надійність пристрою.

Плавний запуск та обмеження струму заряду конденсаторів C15–C17 (на рівні приблизно 5 мА) реалізовано за допомогою струмовимірювального резистора R23 і вбудованого операційного підсилювача контролера DA1. Для захисту елементів у перехідних процесах використано супресор VD18, який обмежує напругу на вході 1 DA1 і захищає R23.

Частота перетворення задається елементами R3 і C3 та становить близько 68 кГц. Висока частота вибрана для зменшення струму намагнічування трансформатора при роботі без навантаження, що важливо через низьку індуктивність його первинної обмотки.

Формування крутих фронтів імпульсів для комутації транзисторів VT5 і VT6 забезпечують елементи R4, R5, R7, R8, VD1, VD2, VT1–VT4, що дозволяє зменшити комутаційні втрати. Для захисту ключів VT5 і VT6 від паразитних

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

імпульсів у первинній обмотці використано снабберні ланцюги R9, R10, C11, C12, VD4, VD5.

Стабілізацію вихідного струму реалізовано за допомогою вузла R31, R32, R33, VD19, VD20, VT7. Резистори R31 і R32 формують початкове зміщення на VT7. Стабілітрон VD19 обмежує напругу затвор-витік до 15 В, а падіння напруги на R33 регулює ступінь відкриття VT7. Така конфігурація створює баланс між струмом через R33 та напругою стабілізації, забезпечуючи стабільний струм. Додатковий стабілітрон VD20 захищає VT7 у разі короткого замикання.

Струм на тестований елемент подається через замикання виводу 5 DA2 на корпус, що відбувається через відповідні контакти плати (5 і 6).

Щоб компенсувати різницю у зворотних струмах послідовно з'єднаних діодів VD6–VD17, застосовано балансувальні резистори R11–R22. Аналогічно, резистори R24–R26 вирівнюють зворотні струми в інших послідовних ланцюгах. Резистор R35 відіграє важливу роль у надійному відключенні DA2, знімаючи живлення з трансформатора T1 та вихідного каскаду. Без нього деякі екземпляри LM2576 можуть працювати нестабільно.

Центральним вузлом пристрою є трансформатор T1, який забезпечує необхідний рівень напруги для проведення випробувань напівпровідників на пробі [1].

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунково-конструкторська частина

2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору кон- струкційних матеріалів і покриттів.

Компонування радіотехнічного виробу охоплює кілька ключових етапів: розміщення електронних елементів на друкованій платі, вибір матеріалів для виготовлення корпусу та елементної бази, а також обґрунтування застосування захисних покриттів з метою забезпечення надійної та довготривалої експлуатації пристрою [18].

Розміщення компонентів на друкованій платі.

Планування компонування починається з оптимального розташування основних мікросхем, зокрема мікроконтролера, у центральній частині плати. Це дозволяє забезпечити зручне з'єднання з іншими вузлами схеми та зменшити довжину сигнальних доріжок, що сприяє зниженню перешкод.

Пасивні елементи, такі як резистори та конденсатори, розміщуються навколо мікросхем із урахуванням логіки їх підключення та мінімізації паразитних індуктивностей і ємностей. Джерела живлення та стабілізатори розташовуються ближче до країв плати, що забезпечує легкий доступ до зовнішніх підключень і знижує тепловий вплив на чутливі компоненти.

Корпус пристрою виготовляється з пластмаси, яка має низку переваг: невелику вагу, високу міцність, добрі діелектричні властивості та технологічність у виробництві, зокрема за рахунок лиття під тиском.

Крім того, пластмаса забезпечує сучасний зовнішній вигляд і дає змогу реалізовувати складні геометричні форми.

Вибір матеріалів і захисних покриттів.

При виборі конструкційних матеріалів та покриттів враховуються такі фактори:

Корпус: обрані пластмаси характеризуються високою електроізоляцією, механічною стійкістю та стійкістю до впливу навколишнього середовища.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Металеві елементи: для електричних контактів застосовуються мідні або латунні сплави, які мають високу провідність і добру корозійну стійкість. Кріплення виконуються зі сталі, що забезпечує необхідну міцність і надійність з'єднань.

Антикорозійний захист: для металевих деталей використовуються захисні покриття — цинкове, нікелеве або хромоване, які значно підвищують стійкість до корозії та продовжують термін служби пристрою.

Ізоляційні шари: друковані плати покриваються захисними лаками, пластмасовими або епоксидними смолами для запобігання впливу вологи та механічних пошкоджень.

Теплопровідні матеріали: застосовуються теплопровідні пасти або термопрокладки для ефективного відведення тепла від потужних елементів, таких як транзистори чи стабілізатори напруги.

Грамотне компонування пристрою та обґрунтований вибір матеріалів і захисних засобів — це критично важливі аспекти при розробці надійної електронної апаратури. Застосування сучасних технологій дає змогу досягти високих показників експлуатаційної надійності, ергономіки та задовольнити вимоги кінцевого користувача [18].

2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції

Друкована плата, виготовлена комбінованим способом із двостороннього фольгованого склотекстоліту СФ2-35-ІКП (ГОСТ10316-78) товщиною 1,5 мм. У цьому процесі незахищені ділянки плівки видаляються для формування друкованої плати, а отвори ЕРЕ металізуються. Цей метод трохи складніший і дорожчий, ніж мінералізація, і вимагає більш складних процесів [19].

Елементи на платі розташовані дуже компактно, і тому розміри плати мінімальні 140*185мм. Всі основні елементи розміщені на одній стороні плати. У приладі VT5, VT6, DA2 елементи, котрі виділяють велику кількість тепла, тому вони кріпляться до радіатора одного, також VT7 кріпиться на невеликий радіатор. Трансформатор також знаходиться на краю плати.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Корпус виготовлений з чорної пластмаси, яка має хороші характеристики, гарний зовнішній вигляд, та хорошу конструкцію, розміри 213×168×45 мм. Верхня та нижні кришки мають форму типу «корито. Кришки по кутах мають розміщені стійки для закріплення одна до одної за допомогою саморізів. Також нижня кришка має 4 ніжки для кріплення плати за допомогою чотирьох гвинтів та чотирьох шайб. У спеціальний паз встановлюються роз'єми XS1-XS3. Корпус вилитий методом лиття під тиском. Для даного виробу важливим фактором є зручність керування пристроєм. Також гарний естетичний вигляд щоб з таким пристроєм було приємно і зручно працювати. Даний виріб може використовуватись у будь-де через свої невеликі розміри [18].

У процесі виготовлення апаратури важливим завданням є мінімізація впливу зовнішніх магнітних полів і зменшення паразитних ємностей між друкованими провідниками. Це сприяє підвищенню якості та стабільності роботи пристрою.

Якщо електронні компоненти мають виводи штифтового типу, їх встановлюють у монтажні отвори друкованої плати, після чого виводи згинають під кутом приблизно 60°, обрізають в межах контактних майданчиків і фіксують методом пайки з використанням "хвилі припою". Такий спосіб монтажу дозволяє досягти високої щільності розміщення елементів, що дає змогу розташувати більше компонентів на обмеженій площі плати [21].

Правильне розташування мікросхем на платі суттєво впливає на загальні характеристики радіoeлектронного пристрою, зокрема його габарити, масу, надійність і стійкість до електромагнітних завад.

Відстань між мікросхемами (крок монтажу) визначається декількома факторами: бажаною щільністю компонування, тепловими умовами експлуатації, методом розробки топології (ручний чи автоматизований), типом корпусів мікросхем та складністю електричної схеми. Рекомендованим є крок встановлення інтегральних мікросхем, що дорівнює 2,5 мм[18].

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Таблиця 2.1- Конденсатор b41828 [2]

Позиційне позначення	C6, C10, C13,C15-C8
Назва компонента	Ерcos
Виробник	"Jamicon"
Критерії вибору	Напруга робоча, струм, розміри, тангенс кута втрат
Параметри та характеристики	
Параметри конструкції	Див.рис.2.1
Номинальна напруга	25В
Номинальна ємність	0,1...1000 мкФ
Допуск ємності	± 20%
Робоча температура	-55 ... 105 ° С
Тангенс кута втрат,%	0,14

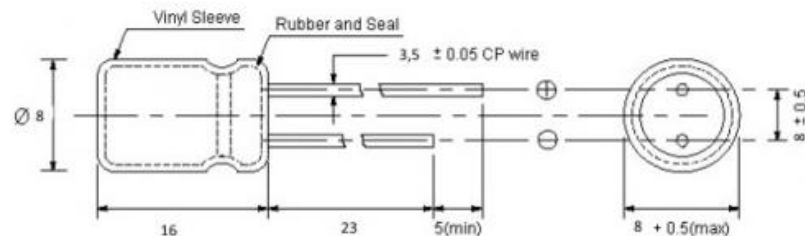


Рисунок 2.1- Габаритні розміри конденсатора типу ЕСАР

Таблиця 2.2- Резистор MFP [3]

Позиційне позначення	R2-R29, R31-R34
Назва компонента	MFP
Виробник	Yageo
Критерії вибору	Потужність розсіювання, максимальна робоча напруга, діапазон опорів,
Параметри конструкції	Див.рис.2.2
Параметри та характеристики	
номинальна потужність	0,25 Вт
діапазон номінальних опорів	1...10·10 ⁶ Ом
допустиме відхилення опору	±10%
максимальна робоча напруга	200В
діапазон робочих температур	-60.....+70°C

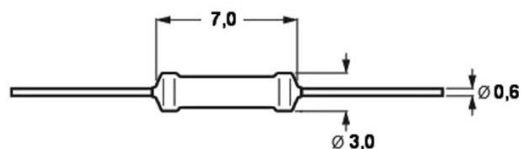


Рисунок 2.2- Габаритні розміри резисторів MFP " Yageo "

Таблиця 2.3- Конденсатор b37979 [4]

Позиційне позначення	C1-C5, C7-C9,C11,C12,C14
Назва компонента	Конденсатор b37979
Виробник	Еrcos
Критерії вибору	Номінал ємності, напруга пробою, робоча напруга
Параметри конструкції	Див.рис.2.3
Параметри та характеристики	
робоча напруга	50В
відхилення ємності від номінального значення	$\pm 10\%$
інтервал робочих температур	$-40^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$
температурний коефіцієнт ємності	$+3,3\%$;
відносна вологість	до 98%
діапазон тиску	6,6-2942гПа
діапазони ємностей	5нФ – 0,1мкФ
група ТКЄ	H20

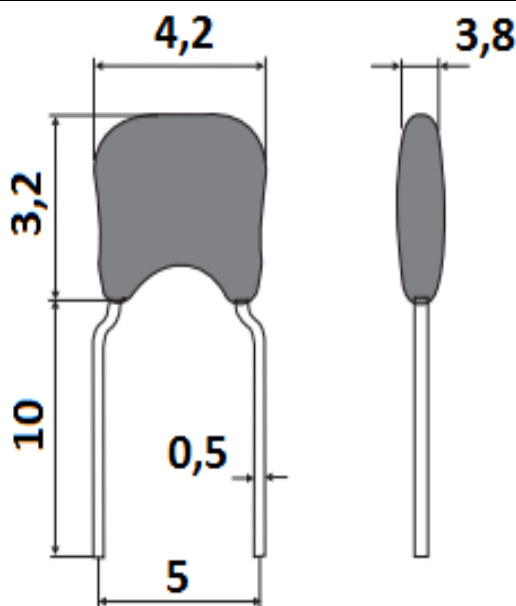


Рисунок 2.3- Габаритні розміри конденсатора b37979

Таблиця 2.4- Діод 1N4148 "Diotec" [5]

Позиційне позначення	VD2, VD2
Назва компонента	1N4448
Виробник	"Diotec"
Критерії вибору	напруга випрямлення, максимальний струм, робоча частота
Параметри конструкції	Див.рис.2.4
Параметри та характеристики	
Потужність розсіювання	1.3Вт
Номінальна напруга стабілізації	15В
Статичний опір R _{ст}	150м
Робоча температура	-55 ... 175С
Спосіб монтажу	в отвір
Корпус	do41
Ваг	0.4г

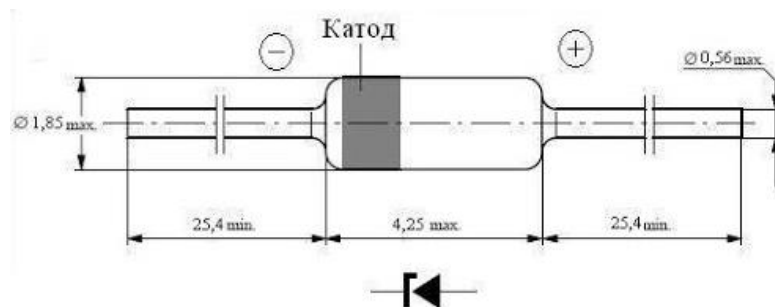


Рисунок 2.4 – Габаритні розміри діода 1N4148 "Diotec"

Таблиця 2.5- Трансформатор В78386-Р1116-А [6]

Позиційне позначення	TV1
Назва компонента	Трансформатор В78386-Р1116-А
Виробник	Ерсос
Критерії вибору	Вхідна, вихідна напруга, вихідний струм, робоча частота, максимальний струм
Параметри конструкції	див. рисунок 2.5
Параметри та характеристики	
вихідна напруга	40В
вихідний струм	2А
електрична міцність первинної-вторинної ізоляції	4000В
електрична міцність вторинної-вторинної ізоляції	600В
напруга живлення	220В
допустимі відхилення вторинних напруг	±5%

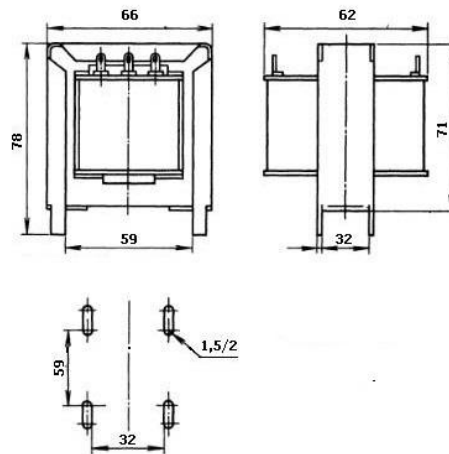


Рисунок 2.5– Габаритні розміри трансформатора В78386-Р1116-А

Таблиця 2.6- Мікросхема TL494 "Sungine" [7]

Позиційне позначення	DA1
Назва компонента	Мікросхема TL494
Виробник	"Sungine"
Критерії вибору	принцип роботи, вхідна напруга, струм
Параметри конструкції	див. рисунок 2.6
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	7 В – 40 В
Вихідний струм	До 200 мА
Частота ШІМ	До 300 кГц (зовнішнім конденсатором)
ККД	Високий (до 90%) при правильній схемотехніці
Тип виходу	Відкритий колектор або емітерний повторювач
Захист	Захист від перегріву та перевантаження

16-pin plastic DIP
(DIP-16P-M03)

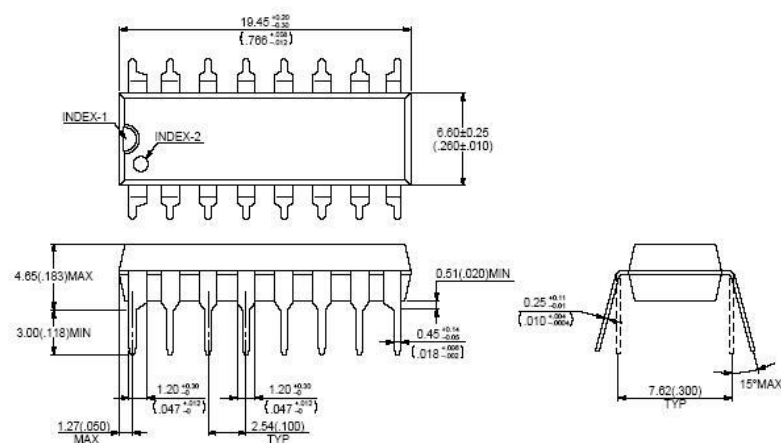
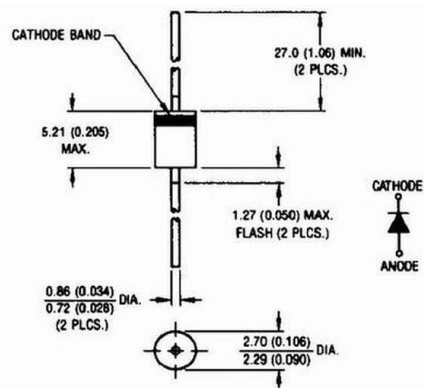


Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд і габаритні розміри мікросхеми TL494

Таблиця 2.7- Діод 1HER203 "SEMTECH" [8]

Позиційне позначення	VD4-VD4
Назва компонента	Діод 1HER203
Виробник	"SEMTECH"
Критерії вибору	Прямий струм, тип, зворотня напруга, падіння напруги
Параметри конструкції	Див.рис.2.7
Параметри та характеристики	
Тип	Високоєфективний випрямний діод.
Максимальна зворотна напруга	200 В
Прямий струм	1 А
Час зворотного відновлення	50 нс
Падіння напруги в прямому напрямку	0,9–1,2 В
Корпус	DO-41



Conform to JEDEC Outline DO-204AL (DO-41)

Dimensions in millimeters and inches

Рисунок 2.7 – Габаритні розміри діода 1HER203

Таблиця 2.8- Мікросхема LM2576-ADJ "Motorola" [9]

Позиційне позначення	DA2
Назва компонента	Мікросхема LM2576-ADJ "Motorola"
Виробник	"Motorola"
Критерії вибору	принцип роботи, вхідна напруга, струм
Параметри конструкції	див. рисунок 2.8
Параметри та характеристики	
Тип	Імпульсний понижуючий стабілізатор
Вхідна напруга	від 4 В до 40 В
Вихідна напруга	Фіксовані версії: 3.3 В, 5 В, 12 В, 15 В.
Максимальний вихідний струм	До 3 А
Частота перемикання	Фіксована, приблизно 52 кГц
ККД	До 90%
Корпус	TO-220

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

25KBP172.403.003.000.000 ПЗ

Арк.

Таблиця 2.10 Стабілітрон BZX55 [11]

Позиційне позначення	VD19
Назва компонента	Стабілітрон BZX55
Виробник	Vishay
Критерії вибору	Розмір, принцип роботи, струм, напруга
Параметри та характеристики	
Потужність розсіювання, Вт	1
Мінімальна напруга стабілізації, В	12.35
Номінальна напруга стабілізації, В	13
Максимальна напруга стабілізації, В	13.65
Робоча температура, С	-55 ... 150
Спосіб монтажу	в отвір
корпус	do41

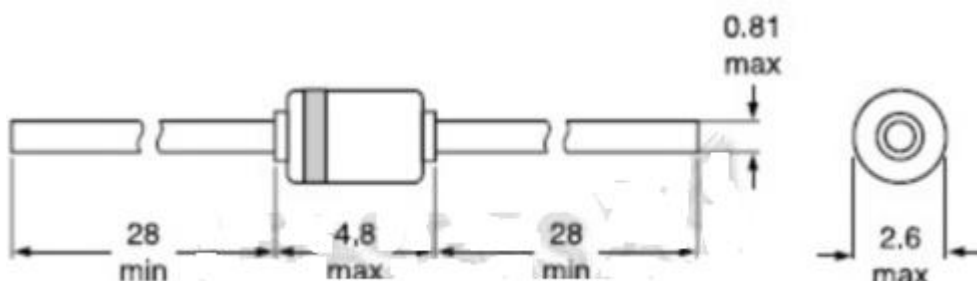


Рисунок 2.10– Габаритні розміри стабілітрона BZX55

Таблиця 2.11 Діод 1.5KE12CA "ON Semiconductor" [12]

Позиційне позначення	VD18
Назва компонента	Діод 1.5KE12CA
Виробник	"ON Semiconductor"
Критерії вибору	Постійна напруга, ємність, падіння напруги
Параметри та характеристики	
Максимальна постійна зворотна напруга, В	40
Максимальний прямий струм, А	1
Максимальна пряма напруга, В	0.6
Загальна ємність Сд, пФ	110
Робоча температура, С	-65 ... 125
Спосіб монтажу	в отв.
корпус	do41

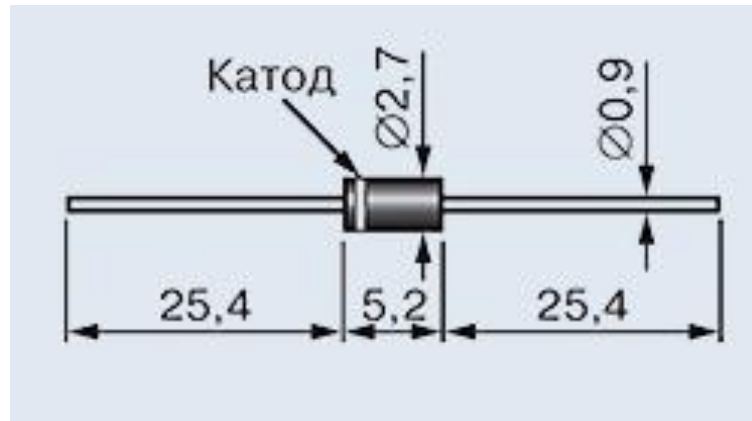


Рисунок 2.11 – Габаритні розміри діода 1.5KE12CA

Таблиця 2.12- Підстроювальний резистор 3329Н-1 "Bourns" [13]

Позиційне позначення	R1,R13
Назва компонента	Підстроювальний резистор 3329Н-1
Виробник	"Bourns"
Критерії виробу	Діапазон опорів, максимальний струм та напруга, підстроювальний діапазон опорів
Параметри конструкції	Див.рис.2.12
Параметри та характеристики	
Опір	1кОм, 2,2кОм
Допуск	±10%
Максимальна потужність	0.5 Вт (500 мВт)
Максимальна робоча напруга	250 В
Робоча температура	-55°C до +125°C
Корпус	Герметичний, квадратний, розмір 6.35×6.35 мм
Кількість оборотів	1 оборот

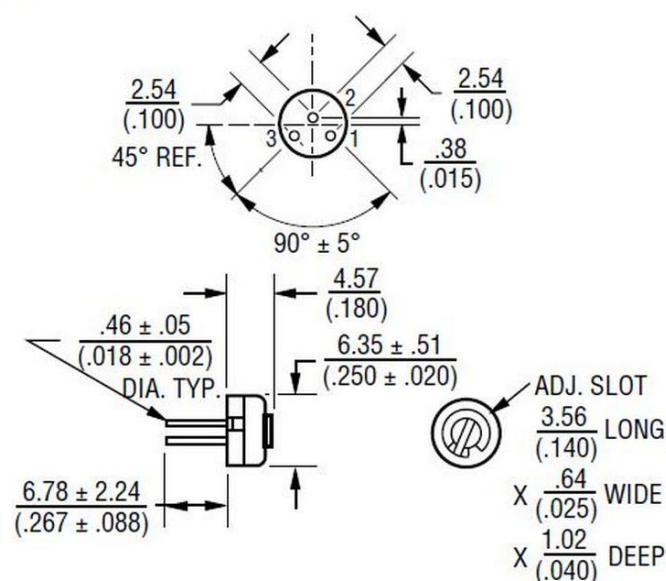


Рисунок 2.12– Габаритні розміри підстроювального резистора 3329Н-1

Таблиця 2.13- Транзистор 2SC3205 "КЕС" [14]

Позиційне позначення	VT1, VT3
Назва компонента	Транзистор 2SC3205
Виробник	"КЕС"
Критерії вибору	Полярність, вихідна напруга, максимальний струм навантаження, максимальна вхідна напруга
Параметри та характеристики	
Тип	NPN
Максимальна напруга колектор-база	30 В
Максимальний струм колектора	2А
Розсіювана потужність колектора	1Вт
Коефіцієнт підсилення по струму	Від 100 до 320
Частота переход	120мГц
Корпус	ТО-92

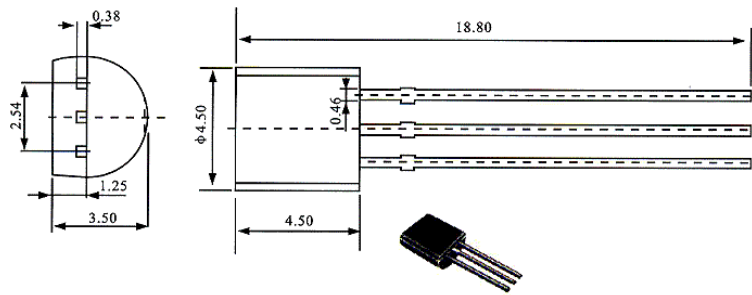


Рисунок 2.13 – Габаритні розміри транзистора 2SC3205

Таблиця 2.14- Транзистор IRF3205 "Kersemi" [15]

Позиційне позначення	VT5, VT6
Назва компонента	Транзистор IRF3205
Виробник	"Kersemi"
Критерії вибору	Струм, напруга, коефіцієнт підсилення,
Параметри та характеристики	
Тип	N-канальний MOSFET
Максимальна напруга стік-виті	55 В
Максимальний струм стоку	110 А
Максимальна напруга затвор-витік	±20 В
Розсіювана потужність	До 200 Вт
Максимальна температура переходу	175°C
Корпус	ТО-220АВ

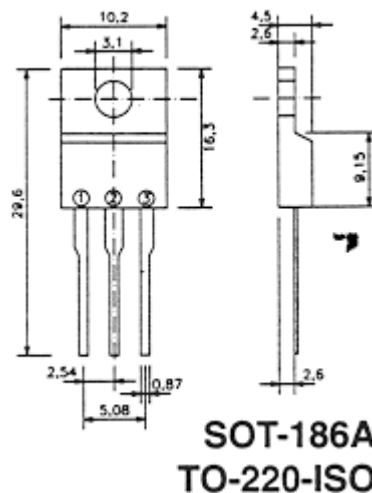


Рисунок 2.14– Габаритні розміри транзистора IRF3205

Таблиця 2.15- Транзистор 2SA1273 "КЕС" [16]

Позиційне позначення	VT2, VT4
Назва компонента	Транзистор
Виробник	"КЕС"
Критерії вибору	Вхідна та вихідна напруга, тип, струм
Параметри та характеристики	
Тип	PNP
Максимальна напруга колектор-база	30В
Максимальний струм колектора	2А
Розсіювана потужність колектора	1Вт
Коефіцієнт підсилення по струму	Від 100 до 320
Частота переходу	120мГц
Максимальна температура переходу	150°С.

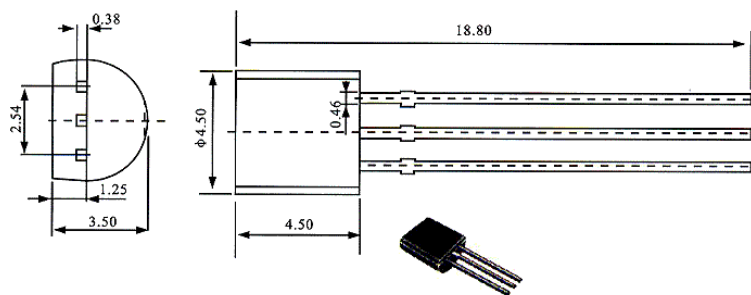


Рисунок 2.15 – Габаритні розміри транзистора 2SA1273

2.1.4 Розрахунок електричних параметрів окремих каскадів

Схема електрична принципова RC-фільтра зображена на рисунку 2.16. [28]

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

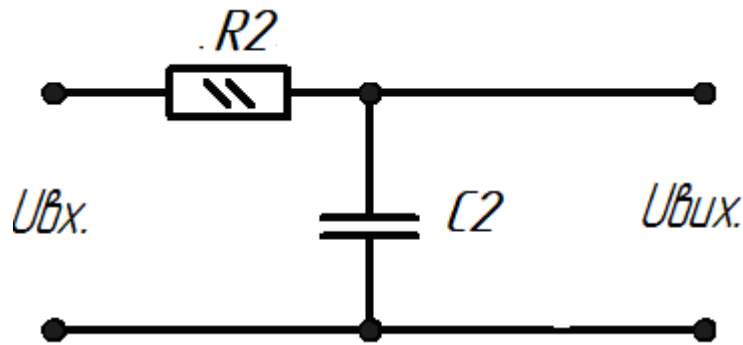


Рисунок 2.16- Схема електрична принципова RC-фільтра

1. Вихідні дані для проведення розрахунку:

$$C = 10 \text{ нФ}$$

$$F_c = 10 \text{ кГц}$$

2. Розрахунок частоти зрізу проводиться за формулою:

$$f_c = \frac{1}{2\pi CR} , \quad (2.1)$$

де C – ємність конденсатора;

R – опір резистора;

Оскільки частота зрізу нам відомо, вона становить 10кГц, то розрахуємо тільки опір резистора.

3. Розрахунок опору резистора:

$$R = \frac{1}{2\pi C f_c} , \quad (2.2)$$

де f_c – частота зрізу, становить 10кГц.

$$R = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10000 \cdot 10} = 9,1 \text{ кОм}$$

Вибираємо резистор з опором 10 Ом та потужністю розсіювання 0,125Вт.

$$R2 = 10 \text{ кОм}$$

Обрано резистор MFP-0,125-10 кОм $\pm 10\%$ "Yageo".

Схема електрична принципова транзисторного ключа зображена на рисунку 2.17 [34].

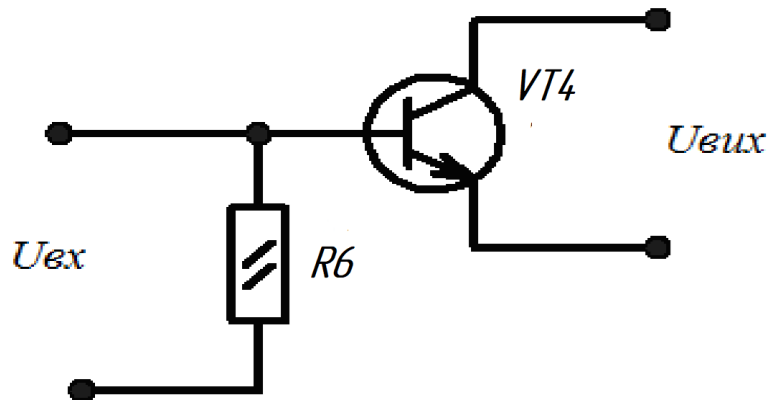


Рисунок 2.17 - Схема електрична принципова транзисторного ключа

Розрахуємо параметри транзисторного ключа при наступних умовах:

$$U_{ж}=25В;$$

$$R_H=1,5\text{ кОм};$$

$$U_y=\pm 12В;$$

Транзистор 2SA1273 виробник фірми "КЕС".

$$h_{21e}=60;$$

$$U_{60}=0,6В;$$

$$R_{нас}=0,1\text{ Ом};$$

$$r_6=1,5\text{ кОм};$$

$$I_{к0}=0,1\text{ А};$$

$$I_{к0зв}=25\text{ мА};$$

$$R_{6c}=10\text{ Ом}.$$

1. Знайдемо параметри вхідного кола транзистора, яке забезпечує ввімкнений стан транзистора:

$$I_{к.нас.} = \frac{U_{ж}}{R_H}, \quad (2.3)$$

де: R_H – опір навантаження;

$U_{ж}$ – напруга живлення;

$$I_{к.нас.} = \frac{25В}{10000\text{ Ом}} = 0,025(А)$$

					25КВР172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір управляючого резистора, який забезпечує включення транзистора:

$$R_y = \frac{U_y - (U_{\theta 0} + 0,2 \cdot r_{\theta})}{I_{\text{к.нас.}}}, \quad (2.4)$$

де: U_y – напруга управління транзистором;

$I_{\text{к.нас}}$ – струм, який споживає транзистор;

$$R_y = \frac{12 - (0,6 + 0,2 \cdot 1,5)}{0,025 A} = 430(\text{Ом})$$

2. Знайдемо параметри вхідного кола, яке забезпечує режим закривання:

$$R_y = \frac{U_y}{I_{\text{ко}}} \quad (2.5)$$

$$R_y = \frac{12}{0,1 \cdot 10^{-4}} = 440(\text{Ом})$$

Вибираємо за стандартизованим рядом E24 резистор типу MFP-0,25-470 Ом виробник фірми «Yageo» – 0,25Вт з опором 470Ом.

2.1.5 Опис конструкції друкованої плати. Розрахунок параметрів друкованого монтажу

Вибрано комбінований метод виготовлення, 4 клас точності друкованої плати ОСТ 4.010.022-85 [20].

Визначаємо мінімальну ширину друкованого провідника, мм., по постійному струму для кіл живлення і заземлення:

$$b_{\min 1} = \frac{I_{\max}}{i_{\text{доп}} * t} = \frac{0,2 A}{48 \frac{A}{\text{мм}^2} * 0,035 \text{ м}} = 0,2 \text{ мм} \quad (2.6)$$

де $I_{\max}$ - допустима густина струму, який протікає в провідниках.

Визначається із аналізу принципової схеми, $I_{\max} = 0,2 \text{ А}$;

$I_{\text{доп}}$ – допустима густина струму, вибирається в залежності від методу виготовлення плати з табл., $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$, t – товщина провідника, $35 \text{ мкм} = 0,035 \text{ м}$

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо мінімальну ширину провідника, мм., виходячи з допустимого падіння напруги на ньому:

$$b_{\min 2} = \frac{\rho * I_{\max} * l}{U_{\text{д}} * t} = \frac{0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} * 0,2 \text{А} * 0,6 \text{м}}{1 \text{В} * 0,035 \text{м}} = 0,1 \text{мм} \quad (2.7)$$

де: $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ – питомий об’ємний опір,

$L = 0,6 \text{ м}$ – довжина провідника,

$U_{\text{дон}} = 1 \text{ В}$ – допустиме падіння напруги.

Визначаємо номінальні значення діаметрів монтажних отворів d :

$$d = d_E + |\Delta d_{\text{н.в.}}| + r \quad (2.8)$$

де: d_E – максимальний діаметр виводу встановленого ЕРЕ (діаметр вивода ЕРЕ.)

$\Delta d_{\text{н.в.}}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажного отвору (0,1 для всіх)

r – різниця між мінімальним діаметром отвору і максимальним діаметром вивода ЕРЕ, її вибирають в межах 0,1...0,4мм. Розрахункові значення d зводяться до нормалізованого ряду отворів: 1,1; 1,3; 1,5 мм.

$d_{E1} = 0,7$ -для мікросхем, діодів, резисторів малої потужності, конденсаторів електролітичних та керамічних;

$d_{E2} = 0,9$ - для конденсаторів електролітичних, резисторів більшої потужності, діодів, трансформатора.

$d_{E3} = 1,1$ -для мікросхеми DA2, транзистора VT6, VT5 та транзистора VT7.

$$d = d_{E1} + |\Delta d_{\text{н.в.}}| + r = 0,7 + |\pm 0,1| + 0,3 = 1,1 \text{ мм}$$

$$d = d_{E2} + |\Delta d_{\text{н.в.}}| + r = 0,9 + |\pm 0,1| + 0,3 = 1,3 \text{ мм}$$

$$d = d_{E3} + |\Delta d_{\text{н.в.}}| + r = 1,1 + |\pm 0,1| + 0,3 = 1,5 \text{ мм}$$

Приймаємо такі стандартні діаметри отворів; 1,1; 1,3; 1,5.

Розраховуємо діаметр контактних площадок.

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5h\phi + 0,03 \quad (2.9)$$

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: $h\phi$ – товщина фольги; D_{1min} – мінімальний ефективний діаметр площадки;

$$D_{1min} = 2 \left(b_m + \frac{d_{max}}{2} + \delta d + \delta p \right)$$

де: b_m – відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки;

$$b_m = 0,06 \text{ мм.}$$

δ_d і δ_p – допуски на розташування отворів і контактних площадок;

$$\delta_d = 0,25 \text{ мм, } \delta_p = 0,4 \text{ мм.}$$

d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору, мм:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) \quad (2.10)$$

де: Δd – допуск на отвір.

$$d_{max1} = 1,1 + 0,1 + 0,1 = 1,3 \text{ мм}$$

$$d_{max2} = 1,3 + 0,1 + 0,1 = 1,5 \text{ мм}$$

$$d_{max3} = 1,5 + 0,1 + 0,1 = 1,7 \text{ мм}$$

$$D_{1min1} = 2 \left(0,06 + \frac{1,3}{2} + 0,25 + 0,4 \right) = 2,72 \text{ мм}$$

$$D_{1min2} = 2 \left(0,06 + \frac{1,5}{2} + 0,25 + 0,4 \right) = 2,92 \text{ мм}$$

$$D_{1min3} = 2 \left(0,06 + \frac{1,7}{2} + 0,25 + 0,4 \right) = 3,12 \text{ мм}$$

$$D_{min1} = 2,72 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,8 \text{ мм}$$

$$D_{min2} = 2,92 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 3 \text{ мм}$$

$$D_{min3} = 3,12 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 3,2 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр контактної площадки:

$$D_{max} = D_{min} + (0,02 \dots 0,06) \quad (2.11)$$

$$D_{max1} = 2,82 + 0,02 = 2,82 \text{ мм}$$

$$D_{max2} = 3 + 0,02 = 3,02 \text{ мм}$$

$$D_{max3} = 3,2 + 0,02 = 3,22 \text{ мм}$$

Визначаємо ширину провідників. Мінімальна ширина провідників для ДДП і зовнішніх шарів БДП, які виготовлені комбінованим методом:

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1.5h\phi + 0,03 \quad (2.12)$$

де $b_{1\min}$ - мінімальна ефективна ширина провідника, мм. $b_{1\min} = 0,15$ мм для плат 4- го класу точності.

$$b_{\min} = 0,15 + 1.5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Визначаємо мінімальну відстань між елементами провідного матеріалу.
Мінімальна відстань між провідником і контактною площадкою:

$$S_{1\min} = L_0 - \left[\left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_p \right) + \left(\frac{d_{\max}}{2} + \delta_1 \right) \right] \quad (2.13)$$

$$S_{1\min 1} = 2,5 - \left[\left(\frac{2,82}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,3}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,01 \text{ мм}$$

$$S_{1\min 2} = 2,5 - \left[\left(\frac{3,02}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,5}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,21 \text{ мм}$$

$$S_{1\min 3} = 2,5 - \left[\left(\frac{3,22}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,7}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,41 \text{ мм}$$

де: L_0 – відстань між центрами відповідних елементів;

Мінімальна відстань між двома контактними площадками:

$$S_{2\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta_p) \quad (2.14)$$

$$S_{1\min 1} = 2,5 - \left[\left(\frac{2,82}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,3}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,01 \text{ мм}$$

$$S_{1\min 2} = 2,5 - \left[\left(\frac{3,02}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,5}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,21 \text{ мм}$$

$$S_{1\min 3} = 2,5 - \left[\left(\frac{3,22}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,7}{2} + 0,05 \right) \right] = -0,41 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань між двома провідниками:

$$S_{3\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta_1) \quad (2.15)$$

$$S_{3\min 1} = 2,5 - (2,82 + 2 \cdot 0,05) = -0,42 \text{ мм}$$

$$S_{3\min 2} = 2,5 - (3,02 + 2 \cdot 0,05) = -0,62 \text{ мм}$$

$$S_{3\min 3} = 2,5 - (3,22 + 2 \cdot 0,05) = -0,82 \text{ мм}$$

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У зв'язку із тим, що в розрахунку виходять від'ємні значення, то необхідно контактні площадки робити овальними для резисторів, конденсаторів електролітичних і керамічних, мікросхем, діодів, транзисторів та трансформатора.

2.1.6 Розрахунок надійності проектного пристрою

Розрахунок надійності проектного виробу проводимо за допомогою спеціальної програми NAD_Release [17]:

Таблиця 2.16 - Вихідні дані для розрахунку надійності

п/п	Назва групи елементів	К-сть шт.	$K_{\text{нопр}}$	$I_{\text{відм}} * 1e-06$	$K\text{-сть} * K_{\text{нав}} \text{ від} * 1e-06$
1	Мікросхеми	2	1	0,03	0,06
2	Діоди	20	0,35	0,7	4,9
3	Конденсатори електролітичні	7	0,4	2,4	6,72
4	Конденсатори керамічні	11	0,1	1,4	1,54
5	Резистори постійні	32	0,42	0,8	10,752
6	Друкована плата	1	1	0,1	0,1
7	Пайки	206	1	0,02	4,12
8	Дроселі	3	0,1	1	0,3
9	Резистори змінні	2	0,1	3,2	0,64
10	Трансформатор	1	0,1	2,1	0,2
11	Роз'єм	3	1	0,05	0,15
12	Транзистори	7	0,35	4	9,8

Коефіцієнти впливу:

Коефіцієнт механічних впливів: 1;

Коефіцієнт впливу вологості і температури: 1;

Коефіцієнт атомосферних впливів: 1;

Результати розрахунку:

Інтенсивність відмов: $3.9292e-005$ 1/год

Середня наробка до відмови: 25450.5 год.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$:

$t = 10$ год. $P(t) = 0.999607$

$t = 100$ год. $P(t) = 0.996079$

$t = 1000$ год. $P(t) = 0.961470$

$t = 10000$ год. $P(t) = 0.675083$

$t = 100000$ год. $P(t) = 0.019659$

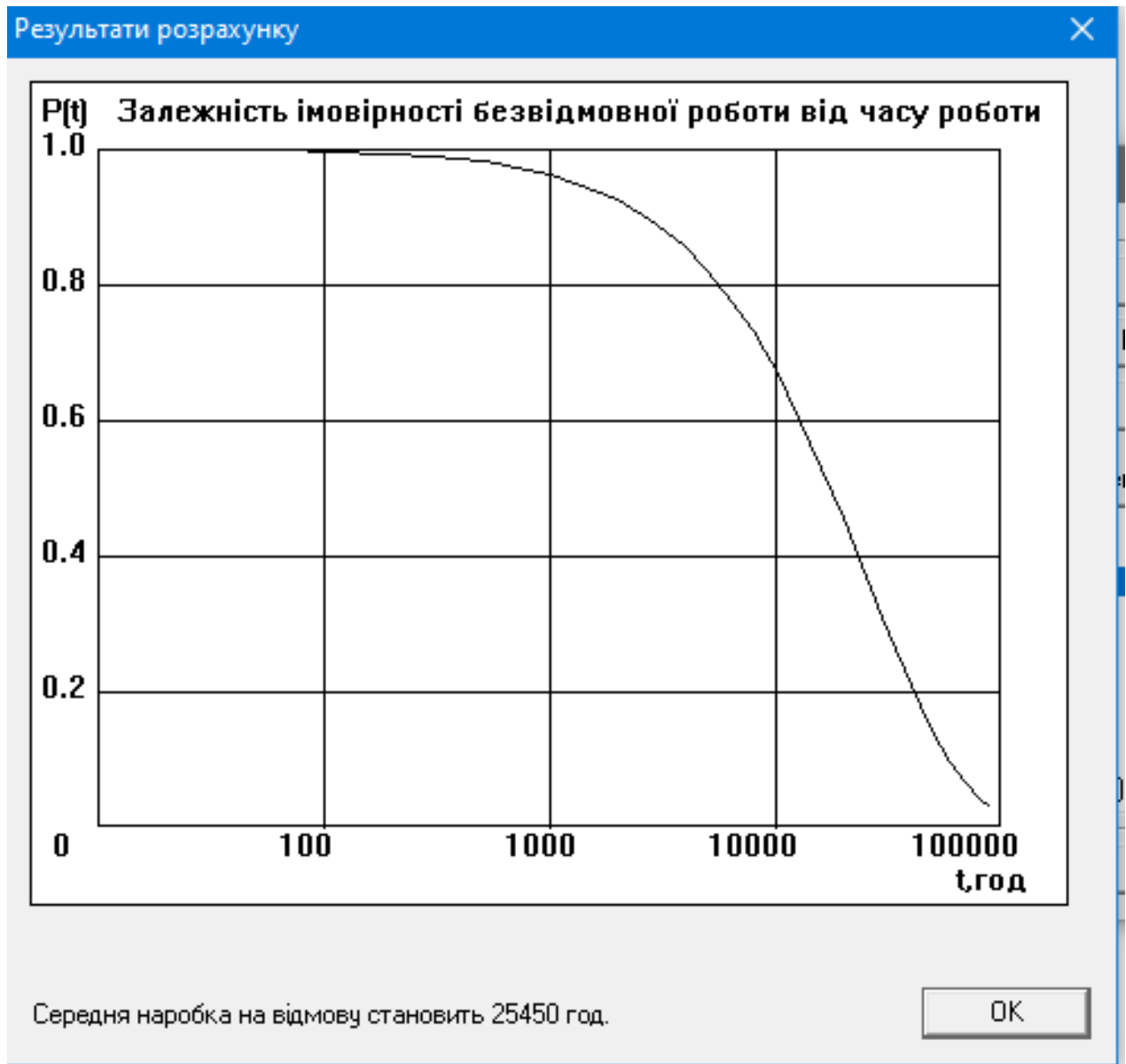


Рисунок 2.18 - Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи від часу

Напрацювання на відмову становить 25450 год. Надійність виробу є досить високою, що супроводжується якісною роботою приладу довго та надійно.

2.1.7 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу. Розрахунок споживаної потужності:

Розрахуємо споживану потужність пристрою [29]:

Для розрахунку споживаної потужності, яка носить активний характер використовується формула:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (2.19)$$

де U – напруга живлення пристрою, становить +12В постійної напруги;

I – струм споживання пристрою, становить 330мА;

$$P = 12\text{В} \cdot 0,3\text{А} \cdot 1 = 3,6\text{Вт}$$

2.2 Технологічна частина

2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектованого виробу

Для забезпечення технологічності конструкції пристрою, а також зручності його складання під час виробництва і розбирання при налагодженні, корпус доцільно виконати з двох частин — верхньої та нижньої кришок коритоподібної форми. Така конструкція забезпечує легкий доступ до внутрішніх вузлів виробу, полегшуючи процес регулювання та сервісного обслуговування.

Корпус виготовляється з чорної термопластичної пластмаси. Пластмасові корпуси мають низку переваг порівняно з металевими: вони прості у виготовленні, легко піддаються обробці та збиранню, мають привабливий зовнішній вигляд. Проте їхнім недоліком є гігроскопічність — з часом пластмаса може втрачати захисні властивості під впливом вологи [19].

Важливим етапом є виготовлення самого корпусу, який повинен відповідати вимогам належного зовнішнього вигляду та враховувати розміщення внутрішніх елементів. Корпус створюється методом лиття під тиском. Суть процесу полягає в тому, що розплавлена пластмаса під високим тиском подається у холодну прес-форму. Це дозволяє швидко й ефективно заповнити всі порожни-

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ни форми, забезпечити точність деталей і зменшити час охолодження, оскільки форма не підігрівається, а виріб застигає безпосередньо в ній [16].

Технологічний процес виготовлення кришок включає кілька основних операцій:

Виготовлення прес-форми — виконується на верстатах із ЧПК (числовим програмним керуванням) працівниками середньої кваліфікації згідно з типовими технологічними інструкціями.

Вибір матеріалу — здійснюється спеціалістами високої кваліфікації з урахуванням вимог до механічних і ізоляційних властивостей пластмаси.

Процес лиття під тиском — відбувається у спеціалізованому обладнанні, де формується корпус пристрою.

Охолодження — готовий виріб залишається у формі до повного застигання, що забезпечує стабільні геометричні параметри.

Механічна обробка — включає видалення литникових каналів, свердління та фрезерування отворів, нарізання різьби та інші операції з доробки, які також виконуються на верстатах з ЧПК.

Електромонтажна операція — у цьому етапі проводиться підпаювання провідників від індикатора, перемикача та роз'ємів до друкованої плати [24].

2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції. Вибір інструментів, пристосувань, оснастки

Якісна оцінка технологічності конструкції проектного радіопристрою передбачає аналіз основних факторів, що впливають на зручність виготовлення, експлуатації та технічного обслуговування. До ключових критеріїв належать: вибір матеріалів і компонентів, особливості конструкції та монтажу, відповідність технологічним процесам, ергономічність, ремонтпридатність, надійність, економічність виробництва, а також можливість контролю якості та проведення випробувань.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із головних аспектів є правильний вибір матеріалів і електронних компонентів з огляду на їхню доступність, вартість та надійність. Перевага надається серійним, стандартизованим компонентам, які полегшують виробництво, знижують витрати та спрощують закупівлю. Технологічність конструкції зростає за рахунок її простоти: чим менше елементів і з'єднань, тим легше виготовлення. Модульний підхід до побудови пристрою дозволяє оперативно замінювати окремі блоки без демонтажу всієї системи [18].

Важливим критерієм є придатність конструкції до автоматизованого монтажу, зокрема із застосуванням технології поверхневого монтажу (SMT), яка забезпечує високу точність і швидкість складання виробу.

Оцінка також охоплює аналіз виробничих процесів, необхідних для виготовлення пристрою. Використання уніфікованих технологій, які не потребують складного обладнання чи специфічних умов, значно підвищує технологічність. Наприклад, друковані плати повинні бути адаптовані до масового виробництва із застосуванням методів типу пайки хвилею припою або інфрачервоної оплавної пайки (рефлову).

Конструкція радіопристрою має забезпечувати зручний доступ до основних вузлів для обслуговування, ремонту та заміни. Розташування елементів повинно бути логічним, а інтерфейс користувача — зрозумілим та інтуїтивним. Пристрій має бути стійким до впливу навколишнього середовища — температурних коливань, вологості, механічних навантажень і електромагнітних завад. Застосування якісних матеріалів і надійних елементів сприяє збільшенню строку служби пристрою.

До того ж, оцінка включає економічні аспекти: зменшення витрат на матеріали, виробництво та збірку, а також можливість масштабування до серійного випуску. Раціональне проєктування має передбачати можливість проведення стандартних процедур контролю якості — від тестування окремих компонентів і друкованих плат до перевірки роботи готового виробу.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У підсумку, всебічна оцінка технологічності конструкції радіопристрою спрямована на досягнення високої ефективності виробництва, надійної роботи у процесі експлуатації та оптимального співвідношення вартості й функціональності [19].

2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів

Комбінований метод виготовлення друкованих плат (ДП) передбачає інтеграцію кількох технологічних підходів і матеріалів для створення високофункціональних електронних пристроїв. Цей підхід об'єднує традиційні методи виробництва друкованих плат із сучасними інноваціями, такими як мікроелектроніка, 3D-друк, поверхневий монтаж (SMT) та інші [21].

Процес виготовлення розпочинається з етапу проєктування плати за допомогою CAD-систем. Далі розробляються трафарети (маски) для формування шарів. Як основний матеріал базової основи найчастіше використовується склотекстоліт FR-4 завдяки його хорошим електроізоляційним властивостям і механічній міцності. Для створення провідних доріжок застосовують мідну фольгу.

Наступним етапом є нанесення фоторезисту, який використовується для формування малюнка провідників. За допомогою ультрафіолетового випромінювання через трафарет експонується фоторезист, після чого проводиться процес проявлення, у результаті якого видаляються неекспоновані ділянки. Далі виконують хімічне травлення в розчинах, таких як хлорид заліза або персульфат амонію, що дозволяє видалити надлишок міді та залишити тільки необхідні провідники.

На подальшому етапі застосовується SMT-технологія для монтажу електронних компонентів безпосередньо на поверхню плати. Компоненти закріплюються за допомогою паяльної пасти, після чого відбувається пайка в процесі оплавлення (рефлову) або за допомогою хвилі припою. У конструкцію

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також інтегрують мікросхеми та чипи, які можуть бути змонтовані як на поверхні плати, так і безпосередньо в її тіло.

Для реалізації специфічних елементів, таких як вбудовані антени, опорні конструкції чи елементи мікроелектромеханічних систем (MEMS), використовується технологія 3D-друку. Крім того, сучасні методи дозволяють безпосередньо на платі формувати пасивні та активні елементи (наприклад, резистори, конденсатори, транзистори) із застосуванням тонкоплівкового друку та нанесення провідникових шарів.

Завершальний етап включає комплексний контроль якості, що охоплює перевірку на наявність дефектів, тестування електричних ланцюгів, а також використання рентгенографічного аналізу для виявлення прихованих внутрішніх пошкоджень.

Основні матеріали, що застосовуються в комбінованому методі, — це FR-4 як основа плати, мідь для формування провідних шарів, а також допоміжні матеріали: фоторезисти, хімікати для травлення, паяльна паста та захисне конформне покриття, яке забезпечує стійкість плати до вологи, пилу та агресивних середовищ.

Завдяки поєднанню різних технологій і матеріалів цей метод дозволяє виготовляти складні, багатофункціональні електронні пристрої з високим рівнем продуктивності та надійності [18].

2.2.4 Кількісна оцінка технологічності друкованого вузла

При кількісній оцінці технологічності розраховується комплексний показник технологічності K , який враховує усереднене значення часткових показників з урахуванням коефіцієнтів, які характеризують їх значимість при розрахунку [20].

Коефіцієнт використання мікросхеми $K_{\text{вик.імс}}$ визначається за формулою:

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{вик.імс}} = \frac{H_{\text{імс}}}{H_{\text{імс}} + H_{\text{ЕРЕ}}} = \frac{2}{2 + 86} = 0,02 \quad (2.20)$$

Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу $K_{\text{А.М}}$ виробу визначається за формулою:

$$K_{\text{А.М}} = \frac{H_{\text{А.М}}}{H_{\text{М}}} = \frac{202}{206} = 0,98 \quad (2.21)$$

де $H_{\text{А.М}}$ – загальна кількість монтажних з’єднань, які здійснюються або можуть здійснюватись автоматизованим способом, тобто наявні механізми для виконання монтажних з’єднань.

$H_{\text{М}}$ – загальна кількість монтажних з’єднань.

Коефіцієнт амортизації і механізації підготовки ЕРЕ до монтажу $K_{\text{М.П.ЕРЕ}}$ визначається за формулою:

$$K_{\text{М.П.ЕРЕ}} = \frac{H_{\text{М.П.ЕРЕ}}}{H_{\text{ЕРЕ}}} = \frac{86}{86} = 1 \quad (2.22)$$

де $H_{\text{М.П.ЕРЕ}}$ кількість ЕРЕ, підготовка до яких до монтажу здійснюється або може здійснюватися механізованим або автоматизованим методом, тобто наявні механізми, обладнання чи оснастки для виконання цих операцій. До числа вказаних ЕРЕ входять і такі, що не потребують спеціальної підготовки до монтажу.

Коефіцієнт повторюваності електрорадіоелементів $K_{\text{ПОВТ.ЕРЕ}}$ визначається за формулою:

$$K_{\text{ПОВТ.ЕРЕ}} = 1 - \frac{H_{\text{Т.ЕРЕ}}}{H_{\text{ЕРЕ}}} = 1 - \frac{46}{86} = 0,47 \quad (2.23)$$

де $H_{\text{ЕРЕ}}$ – загальна кількість ЕРЕ у виробі.

Коефіцієнт застосовності електрорадіоелементів $K_{\text{ЗАСТ.ЕРЕ}}$ визначається за формулою:

$$K_{\text{ЗАСТ.ЕРЕ}} = 1 - \frac{H_{\text{Т.ОР.ЕРЕ}}}{H_{\text{Т.ЕРЕ}}} = 1 - \frac{1}{86} = 0,98 \quad (2.24)$$

де $H_{\text{Т.ОР.ЕРЕ}}$ кількість типорозмірів оригінальних ЕРЕ у виробів

$H_{\text{Т.ЕРЕ}}$ – загальна кількість типорозмірів ЕРЕ у виробі

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт установочних розмірів електрорадіоелементів $K_{BCT.P}$ визначається за формулою:

$$K_{BCT.P} = 1 - \frac{H_{BCT.P}}{H_{EPE}} = 1 - \frac{7}{86} = 0,92 \quad (2.25)$$

де $H_{BCT.P}$ кількість видів встановлених розмірів ЕРЕ у виробі

Коефіцієнт прогресивності Формоутворення K_ϕ деталей визначається за формулою:

$$K_\phi = \frac{D_{np}}{D} = \frac{1}{1} = 1 \quad (2.26)$$

де D_{np} – кількість деталей, заготовки або самі деталі отримані прогресивним методом формоутворення.

Комплексний показник технологічності K визначається за формулою

$$K = \frac{K_1\phi_1 + K_2\phi_2 + \dots + K_i\phi_i}{\phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_i} = \frac{0,02*1 + 0,98*1 + 1*0,75 + 0,47*0,5 + 0,98*0,310 + 0,92*0,187 + 1*0,110}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,310 + 0,187 + 0,110} = 0,67 \quad (2.27)$$

Оцінка рівня технологічності виробу визначається з відношення розрахованого комплексного показника K до комплексного нормативного показника K_n , який відображає реальний існуючий рівень технологічності на

підприємствах по випуску РЕА. Для нашого виробу $K_n = 0,5$.

Відношення K/K_n повинно задовольняти умову:

$$\frac{K}{K_n} \geq 1 \quad (2.28)$$

Перевіряємо умову: $\frac{0,67}{0,5} = 1,34 \geq 1$.

З відношення бачимо що дана умова виконується, отже виріб вважається технологічним

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.17 -Вихідні дані для розрахунку комплексного показника технологічності

Порядковий номер в ранговій послідовності	Показники технологічності	Позначення	ϕ_i
1.	Коефіцієнт виконання мікросхеми	Квик.імс	1
2.	Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу	Ка.м.	1
3.	Коефіцієнт механізації підготовки ЕРЕ	Км.п.ере	0,750
4.	Коефіцієнт застосування ЕРЕ	Кповт.ере	0,500
5.	Коефіцієнт застосування ЕРЕ	Кзаст.ере	0,310
6.	Коефіцієнт встановочних розмірів ЕРЕ	Квст.р	0,187
7.	Коефіцієнт прогресивності формування	Кф	0,110

Оцінка рівня технологічності виробу визначається в порівнянні розрахованого комплексного показника К з комплексним нормативним показником K_n (таблиця 2.18).

Таблиця 2.18 Комплексні показники рівня технологічності виробу

Найменування класу блоків	Стадії розробки робочої документації		
	Дослідний взірець	Установочна серія	Серійне виробництво
Електроні	0,40-0,70	0,45-0,75	0,50-0,80
Радіотехнічні	0,40-0,60	0,75-0,8	0,80-0,85
Електромеханічні	0,30-0,50	0,40-0,55	0,45-0,60

2.2.5 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу

Маршрутно-операційна технологія складання включає в себе наступні кроки:

- установка друкованого вузла до нижньої кришки;
- кріплення друкованого вузла до нижньої частини корпусу за допомогою чотирьох гвинтів та шайб;
- кріплення роз'ємів XS1-XS3 у спеціальний паз між двома кришками;
- фіксація кришок за допомогою гвинтів;
- кріплення ніжок до нижньої кришки.

Маршрутно-операційна технологія складання друкованого вузла включає в себе наступні кроки:

- розконсервація друкованої плати;
- маркування заводського номера;
- захист контактних площадок, які не підлягають автоматизованій пайці, латексом;
- сушка;
- формування виводів EPE;
- лудження виводів EPE;
- встановлення EPE;
- автоматизована пайка хвилею припою;
- рихтування;
- регулювання;
- лакування;
- технічний контроль [21].

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень

Для реалізації проектних рішень необхідно визначити обсяг інвестицій для їх здійснення. Обсяг інвестицій складається з вартості основних фондів за групами та витрат, пов'язаних з їх придбанням і вводом в експлуатацію.

1) Вартість будівель визначається, виходячи із орендної плати за них (приймається середня величина оренди виробничих приміщень в даному регіоні на час написання дипломного проекту; приймається –1000грн/м² за місяць). При цьому вартість передавальних пристроїв включається в орендну плату будівель.

Вартість будівель розраховується за формулою:

$$V_{\text{буд}} = C_{\text{буд}} \times S_{\text{буд}}, \quad (3.1)$$

$$V_{\text{буд}} = 1000 \times 100 = 100000 \text{ (грн.)}$$

де $V_{\text{буд}}$ - вартість будівлі, грн.;

$C_{\text{буд}}$ – орендна плата за 1м² будівлі, грн./м²;

$S_{\text{буд}}$ – площа будівлі, м² (приймається 110м²).

Будівлі орендуються разом із обладнанням, тому їх вартість слід збільшити на 40-60%, тобто :

$$V_{\text{буд}\Sigma} = V_{\text{буд}} + V_{\text{обл}}, \quad (3.2)$$

$$V_{\text{буд}\Sigma} = 100000 + 50000 = 150000 \text{ (грн.)}$$

де $V_{\text{буд}\Sigma}$ - вартість оренди будівель включно з вартістю обладнання;

$V_{\text{обл}}$ – вартість обладнання.

При цьому вартість обладнання складає:

$$V_{\text{обл}} = V_{\text{буд}} \cdot K_o, \quad (3.3)$$

$$V_{\text{обл}} = 100000 \cdot 0,5 = 50000 \text{ (грн.)}$$

де K_o – коефіцієнт, що враховує вартість обладнання ($K_o=0,5$).

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Вартість інструментів та приладів ($V_{\text{інстр}}$) складає 2% від вартості обладнання. При цьому витрати на їх доставку приймають в розмірі 10% від їх вартості. Таким чином, вартість інструментів та приладів розраховується за формулою:

$$V_{\text{інстр}} = V_{\text{обл}} \times 0,02 \times 1,1, \quad (3.4)$$

$$V_{\text{інстр}} = 50000 \times 0,02 \times 1,1 = 1100 \text{ (грн.)}$$

3) Вартість виробничого та господарського інвентарю ($V_{\text{інв}}$) складає 3% від вартості обладнання. При цьому витрати на його доставку приймають в розмірі 10% від його вартості. Таким чином, вартість інвентарю розраховується за формулою:

$$V_{\text{інв}} = V_{\text{обл}} \times 0,03 \times 1,1, \quad (3.5)$$

$$V_{\text{інв}} = 50000 \times 0,03 \times 1,1 = 1650 \text{ (грн.)}$$

4) Загальний обсяг виробничих інвестицій розраховується за формулою:

$$\Pi = V_{\text{буд}\Sigma} + V_{\text{інстр}} + V_{\text{інв}} \quad (3.6)$$

$$\Pi = 150000 + 1100 + 1650 = 152750 \text{ (грн.)}$$

5) Величина амортизаційних відрахувань розраховується за формулою:

$$A = \frac{S_{\text{бал}} \times H_a}{100}, \quad (3.7)$$

$$A = \frac{2750 \times 25}{100} = 687,5 \text{ (грн.)}$$

де $S_{\text{бал}}$ - балансова вартість основних фондів, грн. (для розрахунку приймають величину вартості основних фондів, що розрахована за формулами 3.4– 3.5 в тому випадку, коли будівлі орендують разом з обладнанням);

H_a - норма амортизації, % (величина норми амортизації встановлюється у відсотках до вартості кожної з груп основних фондів і становить: для будівель – 5%, обладнання – 20%, інструментів та приладів – 25%, інвентарю – 25%).

Результати розрахунку річної суми амортизаційних відрахувань слід звести в табл. 3.1

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

№з/ п	Найменування основних фондів	Балансова вартість основних фондів, тис. грн.	Річна сума амортизаційних відрахувань, тис. грн.
	Інструменти та прилади	1100	275,00
	Виробничий та господарський інвентар	1650	412,5
	Всього:	2750	687,5

3.2 Розрахунок собівартості продукції

Собівартість продукції як економічна категорія є грошовим виразом витрат на її виробництво та реалізацію. При розрахунку собівартості всі витрати групуються за калькуляційними статтями. При цьому перелік статей калькуляції повинен відповідати переліку, прийнятому на конкретному підприємстві. В загальному вигляді калькуляція собівартості продукції включає такі статті витрат:

1. Сировина і матеріали.
2. Енергія технологічна.
3. Заробітна плата виробничих робітників (основна і додаткова).
4. Відрахування на соціальні заходи.
5. Утримання та експлуатація машин і механізмів.
6. Загальновиробничі витрати.

Виробнича собівартість

7. Адміністративні витрати.
8. Витрати на збут.
9. Інші операційні витрати.

Повна собівартість

Рекомендації щодо розрахунку статей калькуляції собівартості продукції.

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) Витрати матеріалів (покупних виробів) на одиницю продукції визначають за формулою:

$$B_M = \sum_{i=1}^m (H_{Mi} \times C_{Mi}) \times K_{Tr} \quad (3.8)$$

$$B_M = 518,5 \times 1,04 = 539,24 \text{ (грн.)}$$

де m — кількість видів матеріалів, які використовують для виробництва одиниці продукції;

H_{Mi} — норма витрат i -го виду матеріалу (покупних виробів) на виробництво одиниці продукції, натур. од.;

C_{Mi} — ціна придбання i -го виду матеріалу (покупних виробів), грн. од.;

K_{Tr} — коефіцієнт, що враховує транспортні витрати на доставку матеріалів до підприємства (для розрахунку приймається в розмірі 4 % від вартості матеріалів: $K_{Tr}=1.04$). Розрахунки слід звести в табл.3.2

Таблиця 3.2- Розрахунки

№ з/п	Назва матеріалу (покупного виробу)	Кількість	Ціна за одиницю	Загальна вартість
1	Плата друкована	1	50	50
2	Кришка нижня	1	60	60
3	Кришка верхня	1	60	60
4	Мікросхема	2	50	100
5	Конденсатори електролітичні	6	5	30
6	Конденсатори керамічні	12	1	12
7	Резистори постійні	33	0,5	16,5
8	Трансформатор	1	100	100
9	Транзистори	7	10	70
10	Діоди	20	1	20
				518,5

2) Вартість технологічної енергії враховується при розрахунку витрат на утримання та експлуатацію машин і механізмів згідно статистичних даних базового підприємства (див. п.6).

3) Витрати на основну заробітну плату виробничих працівників ($B_{0.з.пл.}$): для розрахунку заробітної плати працівників визначають відрядну розцінку за кожну операцію (одиницю роботи чи продукції), виконану працівником, за формулою:

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{від}} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{\text{шт.}i}}{60} \times C_{\text{г}}, \quad (3.9)$$

$$P_{\text{від}} = \frac{33}{60} \times 170 = 93,5 (\text{грн})$$

де $t_{\text{шт.}i}$ – час виконання однієї операції (одиниці роботи чи продукції);

$C_{\text{г}}$ – годинна тарифна ставка відповідно до розряду виконуваних робіт (див. додаток А).

Розрахунок витрат на основну заробітну плату основних робітників слід звести в табл.3.3

Таблиця 3.3- Розрахунок основної заробітної плати

№ з/п	Назва операції	$T_{\text{шт.}}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, ($C_{\text{г}}$), грн/год
1	Пайка	15	V	170
2	Регулювання	10	V	170
3	Складання	8	V	170
	Всього	33		

4) Витрати на додаткову заробітну плату працівників ($B_{\text{дод.з.пл.}}$):
приймаються в розмірі 11% від основної заробітної плати виробничих працівників і розраховують за формулою:

$$B_{\text{дод.з.пл.}} = P_{\text{від}} \times 0.11 \quad (3.10)$$

$$B_{\text{дод.з.пл.}} = 93,5 \times 0,11 = 10,29 (\text{грн})$$

5) Сума відрахувань на соціальні заходи ($C_{\text{в.с.з.}}$) визначається за встановленими законодавством нормами у відсотках від витрат на основну й додаткову заробітну плату:

$$C_{\text{в.с.з.}} = \frac{\alpha}{100} \times (P_{\text{від}} + B_{\text{дод.з.пл.}}) \quad (3.11)$$

$$C_{\text{в.с.з.}} = \frac{22}{100} \times (93,5 + 10,29) = 22,83 (\text{грн})$$

де α – відсоток відрахувань на соціальні заходи (приймають 22%);

6) Витрати на утримання та експлуатацію машин і механізмів є комплексними, оскільки охоплюють витрати, що безпосередньо необхідні для

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатації обладнання; амортизаційні відрахування на відтворення машин і механізмів, тощо. Оскільки такі витрати неможливо обчислити безпосередньо на одиницю продукції, їх розподіляють за вибраною базою розподілу. Найчастіше за таку базу беруть заробітну плату виробничих працівників.

Витрати на утримання та експлуатацію машин і механізмів розраховуються за формулою:

$$V_{\text{уео}} = \frac{\alpha_{\text{уео}}}{100} \times (P_{\text{від}} + V_{\text{дод.з.пл.}}) \quad (3.12)$$

$$V_{\text{уео}} = \frac{75}{100} \times (93,5 + 10,29) = 77,84 \text{ (грн.)}$$

де $\alpha_{\text{уео}}$ - відсоток витрат на утримання та експлуатацію обладнання (приймається 75%);

7) Витрати за статтею “ Загальновиробничі витрати ” також комплексні. Загальновиробничі витрати охоплюють витрати на управління, виробниче та господарське обслуговування в межах виробництва, а також витрати на заробітну плату з відрахуванням на соціальні заходи управлінських працівників, спеціалістів, обслуговуючого персоналу, охорону праці, тощо. Вказані витрати розраховують за формулою:

$$V_{\text{зв}} = \frac{\alpha_{\text{зв}}}{100} \times (P_{\text{від}} + V_{\text{дод.з.пл.}}) \quad (3.13)$$

$$V_{\text{зв}} = \frac{124}{100} \times (93,5 + 10,29) = 128,70 \text{ (грн.)}$$

де $\alpha_{\text{зв}}$ - відсоток загальновиробничих витрат (приймають 124%).

7. Разом виробнича собівартість ($S_{\text{вир}}$) визначається як сума витрат за пунктами 1-6.

$$S_{\text{вир}} = V_{\text{м}} + (P_{\text{від}} + V_{\text{дод.з.пл.}} + C_{\text{в.с.з.}}) + V_{\text{уео}} + V_{\text{зв}} \quad (3.14)$$

$$S_{\text{вир}} = 539,24 + (93,5 + 10,29 + 22,83) + 77,84 + 128,70 = 872,4 \text{ (грн.)}$$

На підставі розрахованих вище даних складають калькуляцію собівартості одиниці продукції (однієї деталі) та запланованого випуску. Калькуляція собівартості представлена в табл. 3.4

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4- Калькуляція собівартості

№ з/п	Найменування статей витрат	Величина витрат, грн.
1	2	3
1	Витрати матеріалів	539,24
2	Основна заробітна плата виробничих робітників	93,50
3	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	10,29
4	Відрахування на соціальні заходи	22,83
5	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	77,84
6	Загальновиробничі витрати	128,70
Разом виробнича собівартість (сума 1-6), в тому числі:		872,4
7	-змінні (сума 1-4) $V_{зм.од}$	665,86
8	-умовно-постійні (сума 5-6) $V_{уп.од}$	206,54

8. Ціна одиниці продукції(одного виробу) розраховується за формулою:

$$Ц_{одпр} = S_{пов} \times \frac{100 + \alpha_{пр}}{100} \quad (3.15)$$

$$Ц_{одпр} = 872,4 \times \frac{100 + 23}{100} = 1073,05 \text{ (грн.)}$$

де $\alpha_{пр}$ —відсоток запланованого прибутку (приймається 23%);

3.3 Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень

Розрахунок економічної ефективності інвестиційного проекту проводиться за наступними критеріями:

1) Річний прибуток від реалізації проекту розраховується за формулою:

$$П_r = (Ц_{одпр} - S_{пов.}) \times N_r, \quad (3.16)$$

$$П_r = (1073,05 - 872,4) \times 1050 = 210682,5 \text{ (грн),}$$

де $П_r$ - річний прибуток від реалізації проекту, грн.;

$Ц_{одпр}$ - ціна одиниці продукції, грн.;

$S_{пов}$ - собівартість одиниці продукції, грн.;

N_r - річна виробнича програма (план виробництва), од.

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Чистий прибуток від реалізації проекту розраховується за формулою:

$$\text{ЧП} = \text{П}_p - \text{П}_p \times \frac{\text{П}_n}{100}, \quad (3.17)$$

$$\text{ЧП} = 210682,5 - 210682,5 \times \frac{18}{100} = 172759,65 \text{ (грн.)}$$

де ЧП - чистий прибуток від реалізації проекту, грн.;

П_n - ставка податку на прибуток, % (приймається відповідно до чинного законодавства – 18%).

3) Собівартість всього виробництва розраховується за формулою:

$$S_{\text{повв}} = S_{\text{пов}} \times N_p \quad (3.18)$$

$$S_{\text{повв}} = 872,4 \times 1050 = 916020 \text{ (грн.)}$$

4) Рентабельність продукції визначається за формулою:

$$P_n = \frac{\text{ЧП}}{S_{\text{повв}}} \times 100\% \quad (3.19)$$

$$P_n = \frac{172759,65}{916020} \times 100\% = 18,86 \%$$

де P_n - рентабельність продукції, %;

$S_{\text{повв}}$ - собівартість всього виробництва, грн.

Повернення інвестованого капіталу оцінюється на основі показника грошового потоку від інвестицій.

5) Сума чистих грошових надходжень від інвестицій розраховується за формулою:

$$\text{ГП} = \text{ЧП}_t + A_t, \quad (3.20)$$

$$\text{ГП} = 172759,65 + 687,5 = 173447,15 \text{ (грн.)},$$

де ГП_t - сума чистих грошових надходжень у t-му році, грн.;

A_t - величина амортизаційних відрахувань у t-му році, грн.

6) Загальний абсолютний ефект від реалізації інвестицій характеризує чиста теперішня (дисконтована) вартість проекту, яка розраховується за формулою:

$$\text{ЧТВ} = \text{ТВ} - \text{ПІ} \quad (3.21)$$

$$\text{ЧТВ} = 157679,23 - 152750 = 4929,23 \text{ (грн.)}$$

де ЧТВ - чиста теперішня вартість проекту, грн.;

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТВ - теперішня вартість майбутніх грошових потоків від інвестиційного проекту, грн.

Теперішню вартість майбутніх грошових потоків від інвестиційного проекту обчислюють за формулою:

$$ТВ = \sum_{i=1}^n \frac{ГП_t}{(1+r)^t} \quad (3.22)$$
$$ТВ = \frac{173447,15}{(1 + 0,1)^1} = 157679,23 \text{ (грн.)}$$

де ГП_t- грошовий потік, який очікується у t-му році від реалізації проекту, грн.;

$\frac{1}{(1+r)^t}$ - коефіцієнт коригування майбутніх сум грошових потоків (дисконтний множник);

r - норматив приведення різночасових витрат (ставка дисконту) у вигляді десяткового дробу (r = 0,1-0,2);

n - кількість років інвестування, t = 1,2, ... ,n (приймається з розрахунку виконання умови ТВ>ПІ).

Якщо чиста теперішня вартість перевищує нуль, проект має бути схвалений як прибутковий, якщо ж вона має від'ємну величину або дорівнює нулю, то проект слід відхилити, оскільки його реалізація призведе до збитків або не принесе підприємству додаткового доходу на вкладений капітал.

Іншою характеристикою інвестиційного проекту є індекс прибутковості інвестицій, який порівнює теперішню вартість майбутніх грошових потоків з початковими інвестиціями:

$$ІП = \frac{ТВ}{ПІ} \quad (3.23)$$
$$ІП = \frac{157679,23}{152750} = 1,03$$

де ІП- індекс прибутковості інвестицій.

Проект, який має індекс прибутковості більший за одиницю, схвалюється як прибутковий, а якщо цей індекс менший за одиницю - відхиляється.

					25KBP172.403.003.000.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисконтований термін окупності інвестицій($T_{\text{диск}}$) характеризує кількість років, за які будуть відшкодовані початкові інвестиції та розраховується за формулою:

$$T_{\text{диск}} = \frac{\Pi}{\text{ГП}_{\text{диск}}} \quad (3.24)$$

$$T_{\text{диск}} = \frac{152750}{157679,23} = 0,97\text{р}$$

де $\text{ГП}_{\text{диск}}$ - середньорічна величина дисконтованих грошових потоків:

$$\text{ГП}_{\text{диск}} = \frac{\text{ТВ}}{t}, \quad (3.25)$$

$$\text{ГП}_{\text{диск}} = \frac{157679,23}{1} = 157679,23 \quad (\text{грн.})$$

де t - кількість років інвестування.

Підсумки вищенаведених розрахунків доцільно звести в табл. 3.5

Таблиця 3.5 - Показники оцінки економічної ефективності використання елементів виробничо-ресурсного потенціалу

№ з/п	Найменування показника	Одиниця виміру	Величина показника
1	Річний обсяг виробництва виробу:	од.	1050
2	Собівартість виробу	грн./од.	872,4
3	Ціна одиниці виробу	грн./од.	1073,05
4	Початкові інвестиції для реалізації інвестиційного проекту	грн.	152750
5	Чистий прибуток	грн.	172759,65
6	Рентабельність виробу	%	18,86
8	Чиста теперішня вартість проекту	грн.	4929,23
9	Індекс прибутковості	-	1,03
10	Дисконтований термін окупності інвестицій	років	0,97

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Основні причини виникнення пожежі на виробництві

Для успішного проведення протипожежної профілактики на підприємствах важливо знати основні причини пожеж. На основі статистичних даних можна зробити висновок, що основними причинами пожеж на виробництві є:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв та порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- порушення режимів технологічних процесів;
- несправність опалювальних приладів та порушення правил їх експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Дуже часто пожежі на виробництві спричинені необережним поводженням з вогнем. Під цим, як правило, розуміють паління в недозволених місцях та виконання так званих вогневих робіт. Вогневими роботами вважають виробничі операції, пов'язані з використанням відкритого вогню, іскроутворенням та нагрівом деталей, устаткування, конструкцій до температур, що здатні викликати займання горючих речовин і матеріалів, парів легкозаймистих рідин. До вогневих робіт належать: газо- та електрозварювання, бензино- та газорізання, паяльні роботи, варки бітуму та смоли, механічна обробка металу з утворенням іскор.

Відповідальність за заходи пожежної безпеки при проведенні зварювальних та інших вогневих робіт покладається на керівників дільниць, цехів, підприємств.

Місця для проведення вогневих робіт можуть бути постійними і тимчасовими. Постійні місця визначаються наказом керівника підприємства, а тимчасові — письмовим дозволом керівника підрозділу.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконавці робіт (електрозварювальники, газозварювальники, газорізальники, паяльники, бензорізальники та ін.) повинні бути проінструктовані про заходи пожежної безпеки відповідальними особами.

Місця проведення вогневих робіт повинні бути вільними від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м. Для газового зварювання застосовують такі речовини, як ацетилен, метан, пари бензину та гасу, що збільшує небезпеку пожежі та вибуху. Карбід кальцію слід зберігати на стелажах у закритих барабанах у сухому добре провітрюваному наземному приміщенні. Нижня полиця стелажа повинна розташовуватися на висоті 20 см від підлоги, щоб запобігти затопленню карбіду кальцію водою.

Перед проведенням тимчасових вогневих робіт розробляються заходи пожежної безпеки, сповіщається пожежна охорона, призначаються особи, відповідальні за забезпечення пожежної безпеки і після цього видається підписаний наряд — допуск на проведення робіт. Такий дозвіл дається на одну зміну. Після закінчення вогневих робіт зварювальник зобов'язаний оглянути місце роботи, полити водою горючі конструкції. Місце проведення робіт необхідно неодноразово перевірити протягом 2 годин після їх закінчення. Перед зварюванням ємкості, в котрих зберігалось рідке пальне, горючі гази, слід очистити, промити гарячою водою з каустичною содою, пропарити, просушити, провентилувати, зробити аналіз повітря. При зварюванні люки та пробки повинні бути відкритими.

Пожежі через виникнення коротких замикань, перевантаження електродвигунів, освітлювальних та силових мереж внаслідок великих місцевих опорів, роботу несправних або залишених без нагляду електронагрівальних приладів складають більше 25% всіх випадків. Короткі замикання виникають внаслідок неправильного монтажу або експлуатації електроустановок, старіння або пошкодження ізоляції. Струм короткого замикання залежить від потужності джерела струму, відстані від джерела струму до місця замикання та виду замикання. Великі струми замикання викликають іскріння та нагрівання

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струмопровідних частин до високої температури, що супроводжується займанням ізоляції провідників та горючих будівельних конструкцій, котрі знаходяться поряд. Струмові перевантаження виникають при ввімкненні до мережі додаткових споживачів струму або при зниженні напруги в мережі. Тривале перевантаження призводить до нагрівання провідників, що може викликати к займання.

Збільшення місцевих перехідних опорів виникає внаслідок окислення або недостатньо щільного з'єднання контактів електричних машин. Іскріння, що виникає при цьому, може ініціювати пожежу. Для запобігання пожежі від великих перехідних опорів мідні проводи та кабелі з'єднують скручуванням жил, а потім спаюють їх оловом без застосування кислоти. Алюмінієві кабелі з'єднують гільзами. Вибір конструкції електроустановок, а також матеріалів, з котрих вони виготовлені, вибір площі перерізу та ізоляції провідників і кабелів залежить від ступеня пожежонебезпеки навколишнього середовища, режиму роботи електроустановок та можливих перевантажень. Площа перерізу вибирається згідно з нормами допустимого струмового навантаження та падіння напруги в мережі. Граничні струмові навантаження наводяться в спеціальних таблицях, розрахованих з врахуванням нагрівання жил до температури не більше 55 °С.

4.2 Заходи та засоби нормалізації параметрів мікроклімату виробничих приміщень

Створення оптимальних метеорологічних умов у виробничих приміщеннях є складною задачею, вирішити яку можна наступними заходами та засобами:

Удосконалення технологічних процесів та устаткування. Впровадження нових технологій та обладнання, які не пов'язані з необхідністю проведення робіт в умовах інтенсивного нагріву дасть можливість зменшити виділення тепла у виробничі приміщення.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наприклад, заміна гарячого способу обробки металу — холодним, нагрів полум'ям — індуктивним, горнових печей — тунельними.

Рациональне розміщення технологічного устаткування. Основні джерела теплоти бажано розміщувати безпосередньо під аераційним ліхтарем, біля зовнішніх стін будівлі і в один ряд на такій відстані один від одного, щоб теплові потоки від них не перехрещувались на робочих місцях. Для охолодження гарячих виробів необхідно передбачити окремі приміщення. Найкращим рішенням є розміщення тепловипромінюючого обладнання в ізольованих приміщеннях або на відкритих ділянках.

Автоматизація та дистанційне управління технологічними процесами. Цей захід дозволяє в багатьох випадках вивести людину із виробничих зон, де діють несприятливі фактори (наприклад автоматизоване завантаження печей в металургії, управління розливом сталі).

Рациональна вентиляція, опалення та кондиціонування повітря. Вони є найбільш розповсюдженими способами нормалізації мікроклімату у виробничих приміщеннях. Так зване повітряне та водоповітряне душення широко використовується у боротьбі з перегріванням робітників в гарячих цехах.

Забезпечити нормальні теплові умови в холодний період року в надтогарбатних та полегшених промислових будівлях дуже важко і економічно нецільно. Найбільш раціональним варіантом в цьому випадку є застосування променистого нагрівання постійних робочих місць та окремих ділянок. Захист від протягів досягається шляхом щільного закривання вікон, дверей та інших отворів, а також влаштуванням повітряних і повітряно-теплових завіс на дверях і воротах.

Рационалізація режимів праці та відпочинку досягається скороченням тривалості робочої зміни, введенням додаткових перерв, створенням умов для ефективного відпочинку в приміщеннях з нормальними метеорологічними умовами. Якщо організувати окреме приміщення важко, то в гарячих цехах

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створюють зони відпочинку — охолоджувальні альтанки, де засобами вентиляції забезпечують нормальні температурні умови.

Для робітників, що працюють на відкритому повітрі зимою, обладнують приміщення для зігрівання, в яких температуру підтримують дещо вищою за комфортну.

Застосування теплоізоляції устаткування та захисних екранів В якості теплоізоляційних матеріалів широко використовуються: азбест, азбоцемент, мінеральна вата, склотканина, керамзит, пінопласт.

На виробництві застосовують також захисні екрани для відгородження джерел теплового випромінювання від робочих місць. За принципом захисту щодо дії тепла екрани бувають відбиваючі, поглинаючі, відвідні та комбіновані. Хороший захист від теплового випромінювання здійснюють водяні завіси, що широко використовуються в металургії.

Використання засобів індивідуального захисту. Важливе значення для профілактики перегрівання мають індивідуальні засоби захисту. Спецодяг повинен бути повітро- та вологопроникним (бавовняним, з льону, грубововняного сукна), мати зручний покрій. Для роботи в екстремальних умовах застосовуються спеціальні костюми з підвищеною теплосвітловіддачею. Для захисту голови від випромінювання застосовують дюралеві, фіброві каски, повстяні капелюхи; для захисту очей — окуляри — темні або з прозорим шаром металу, маски з відкидним екраном. Захист від дії зниженої температури досягається використанням теплового спецодягу, а під час опадів — плащів та гумових чобіт.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У рамках реалізації даного проєкту була розроблена конструкція пристрою «Вимірювач напруги пробою напівпровідників». Здійснено обґрунтований вибір елементної бази на основі сучасних, доступних і широко вживаних радіоелементів.

Проведено розрахунок параметрів друкованого монтажу, в результаті якого визначено оптимальні значення ширини провідників, відстаней між ними, між провідниками і контактними площадками, а також діаметри монтажних отворів.

Виконано кількісну та якісну оцінку технологічності конструкції. Розроблений пристрій має достатній рівень технологічності, що дозволяє з незначними доопрацюваннями впровадити його у серійне виробництво. Також було створено маршрутно-операційну технологію складання як друкованого вузла, так і повного виробу.

Проектування друкованої плати виконувалося за допомогою системи автоматизованого проектування Altium Designer, що дозволило точно розмістити компоненти та здійснити трасування провідників. У результаті отримано компактну двосторонню друковану плату з розмірами 140×185 мм, спроектовану з використанням координатної сітки 2,5 мм. Плата характеризується мінімальним рівнем паразитних зв'язків.

Найбільш доцільним способом виготовлення плати виявився комбінований метод, який забезпечує високу якість і точність виробу. Компоненти на друкованому вузлі розміщені щільно, що дозволяє зменшити загальні габарити пристрою. Хоча конструкція плати ускладнюється наявністю радіаторів і транзистора, загальна конструкція корпусу виробу залишається простою через обмежену кількість органів керування.

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вимірник напруги пробою напівпровідників [електронний ресурс] – Режим доступу <https://radiolub./page/zhurnal-radio-2014-7> (дата звернення 4.01.2025).
2. Конденсатор b41828 [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.chipdip./product/b41828a6225m007> (дата звернення 15.01.2025).
3. Резистор MFP-"Yageo" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.tme.eu//details/b37979-g5102/kondensatory-keramicheskie-tht-50v/> (дата звернення 15.01.2025).
4. Конденсатор b37979 [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.tme.eu//details/mfp-25brd52-47k/rezistory-metallizirovannye-tht-0-4vt/yageo/> (дата звернення 15.01.2025).
5. Діод 1N4148 "Diotec" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/kx-26-32-768-khz-kvarcevyj-rezonator_2404.html (дата звернення 15.01.2025).
6. Трансформатор B78386-P1116-A [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://car-led.org/ua/p31490203-chervonij-semisegmentnij-led.html> (дата звернення 15.01.2025).
7. Мікросхема TL494 "Sungine" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.chipdip./product/cls7-ts6601-13.0-180> (дата звернення 15.01.2025).
8. Діод 1HER203 "SEMTECH" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://hardelectronics./diod-1n4148.html> (дата звернення 15.01.2025).
9. Мікросхема LM2576-ADJ "Motorola" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://electronoff.ua/good/tranzistor-bc556b-pnp-65v-0-1a-korpus-to-92.php> (дата звернення 15.01.2025).
10. Дросель B82141A1102K000 "Epcos" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.chipdip./product/irl640> (дата звернення 15.01.2025).

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Стабілітрон BZX55 [електронний ресурс]– Режим доступу:URL :https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/leg12_62137.html (дата звернення 1.01.2025).
12. Діод 1.5KE12CA "ON Semiconductor" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL:<https://www.tme.eu/details/b37979-g5102/kondensatory-keramicheskie-tht-50v/>(дата звернення 15.01.2025).
13. Підстроювальний резистор 3329H-1 "Bourns" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL:<https://www.tme.eu/details/mfp-25brd52-47k/rezistory-metallizirovannye-tht-0-4vt/yageo/>(дата звернення 15.01.2025).
14. Транзистор 2SC3205 "KEC" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL:https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/kx-26-32-768-khz-kvarczevyj-rezonator_2404.html(дата звернення 15.01.2025).
15. Транзистор IRF3205 "Kersemi" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL:<https://car-led.org/ua/p31490203-chervonij-semisegmentnij-led.html>(дата звернення 15.01.2025).
16. Транзистор 2SA1273 "KEC" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL:<https://www.chipdip./product/cls7-ts6601-13.0-180>(дата звернення 15.01.2025).
17. Програма для розрахунку надійності РЕА [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://eguru.tk.te.ua/mod/resource/view.php?id=60057>(дата звернення 4.02.2025).
18. Васишин О.З. Конспект лекцій з дисципліни "Основи конструювання та технології виробництва РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2016
19. Васишин О.З. Конспект лекцій з дисципліни "Технологія виробництва РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2017

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Васишин О.З. Методичні вказівки до виконання практичної роботи "Конструктивний розрахунок друкованого монтажу" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2018

21. Васишин О.З. Конспект лекцій з дисципліни "Конструювання РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2018

22. Васишин О.З., Штогрин П.І. Методичні вказівки "Розробка 3D-моделей типових корпусів РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2017

23. Васишин О.З. Методичні вказівки до виконання комплексного курсового проекту для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2020

24. Васишин О.З. Методичні вказівки до виконання графічної частини комплексного курсового проекту для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2020

25. Програма для розробки схем "Altium Designer" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://eguru.tk.te.ua/course/view.php?id=819>

26. Штогрин П.І. Навчальний посібник "Altium Designer 10 для початківців" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2017

27. Штогрин П.І. Методичні вказівки "Розробка 3D-моделей радіоелементів" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2017

28. Гуржій А. М. Основи автоматики та робототехніки: Навчальний посібник / А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін:–Дніпро: «Гарант СВ», 2021.- 243с.

29. Ємельянов В.В. Конспект лекцій з дисципліни "Системи мобільного зв'язку", частина 2 – "Радіопередавальні та радіоприймальні пристрої" для сту-

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дентів усіх форм навчання спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. – Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки, 2018. – 74 с.

30. Денисюк В.О., Цирульник С.М. Мікропроцесорні системи управління: навч. посіб. Вінн. нац. аграр. ун-т. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 204 с.

31. Сайт спільноти розробників проектів на ARDUINO .URL: https://projecthub.arduino.cc/?_gl=1*4147w4*_ga*OTkyMzgzOTAwLjE3MTYwNTM3MjY.*_ga_NEXN8H46L5*MTcxNjkyMjQ4OS4yLjEuMTcxNjkyMjUzOS4wLjAuMTUxNjM0NjA3MQ..*_fplc*OUZZTmxzbGU4MkNZbiUyRkNCTHJmazAwbjdrNWNDZTc5QUV6OFRlb3A2ck5RNzhvOVY3JTJGYXhRcDNIWHAzWWxZWlJTVXkySndINXl4bUpnZCUyQkNiN29jajJqckF2c0tRMGlhdVU3SVhYRTY4ZDdRb016bCUyRjBhZlQwY0ZlM3hubEElM0QlM0Q(дата звернення 28.05.2024).

32. Магпо В. І., Рябчий В. Д., Гусев О. Ю. Вимірювання сигналів у радіотехніці: навч. посіб. Міністерство освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2018. 191 с.

33. Пістун Є. П., Стасюк І. Д. Основи автоматики та автоматизації : навчальний посібник. Друге видання, змінене і доповнене. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 332 с.

34. Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. Виконавчі пристрої систем автоматизації: навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 220 с.

35. Дипломне проектування URL: <https://eguru1.tk.te.ua/course/view.php?id=390>

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б 3D модель пристрою

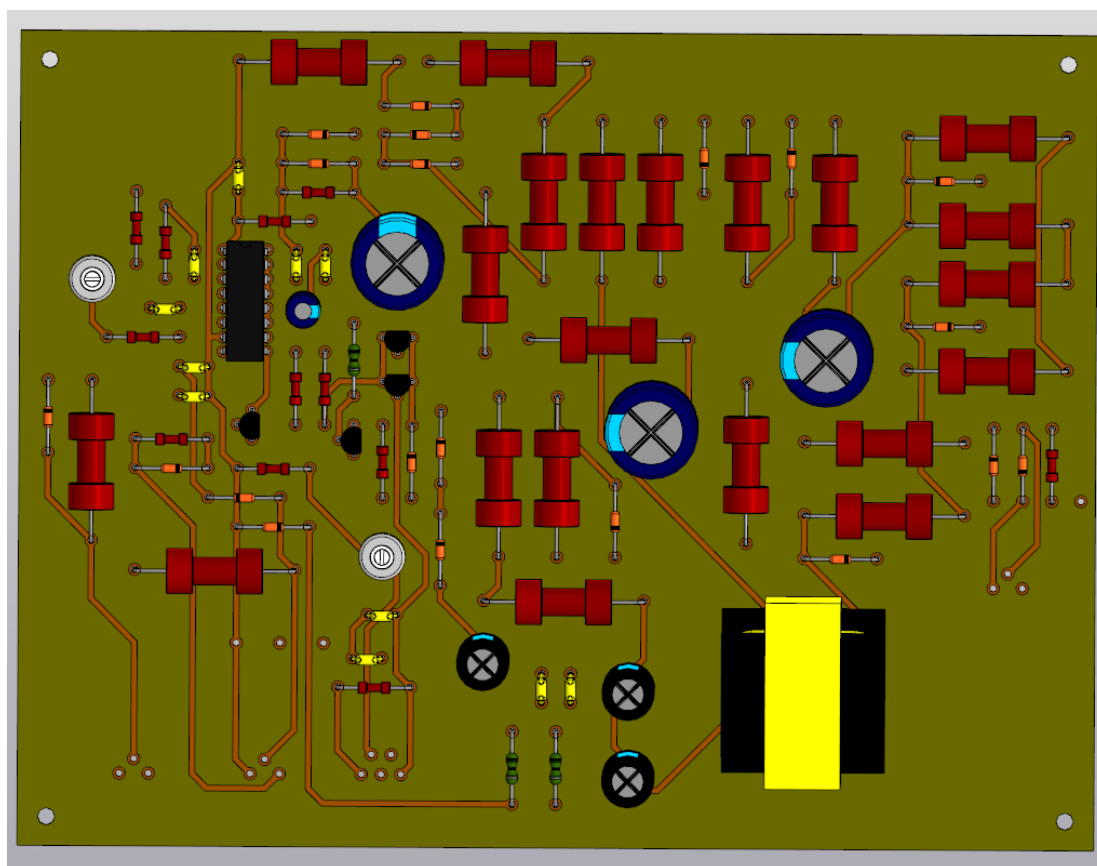


Рисунок Б.1 – 3D модель пристрою, вузол друкований

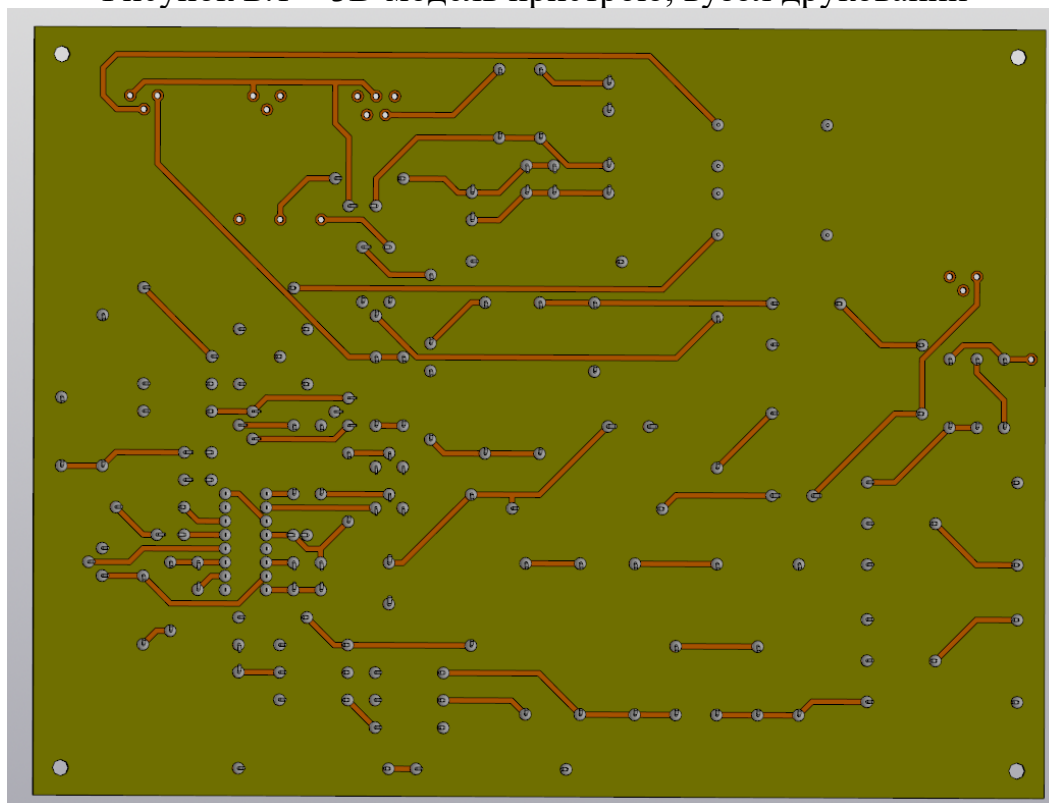


Рисунок Б.2 – 3D модель пристрою, вузол друкований знизу

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

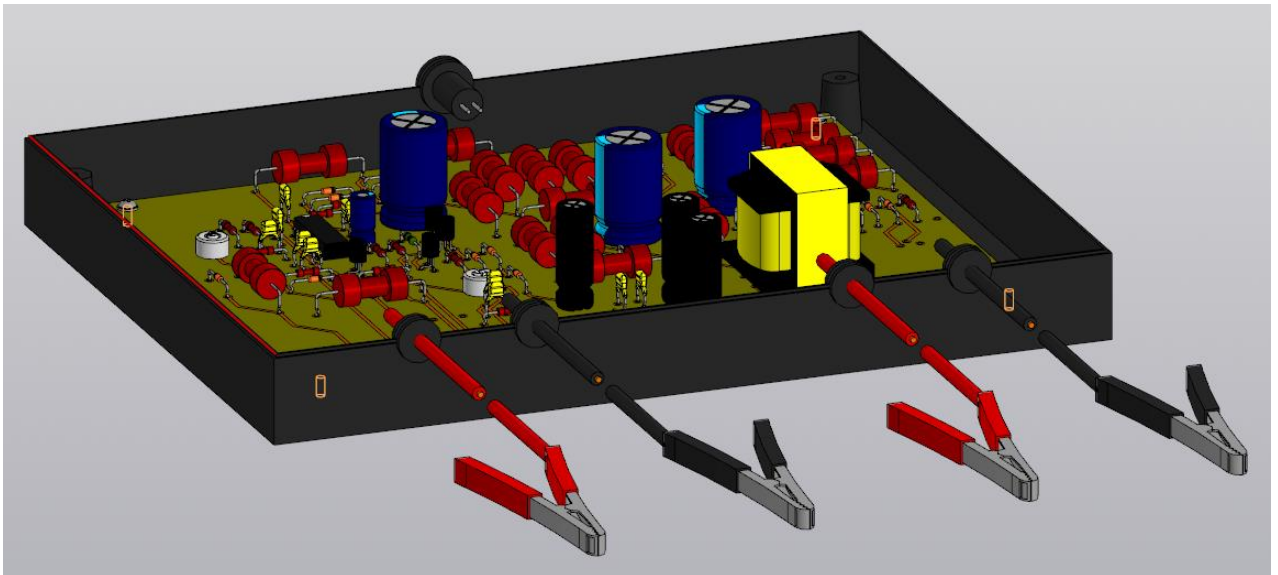


Рисунок Б.3– 3D модель пристрою, нижня кришка

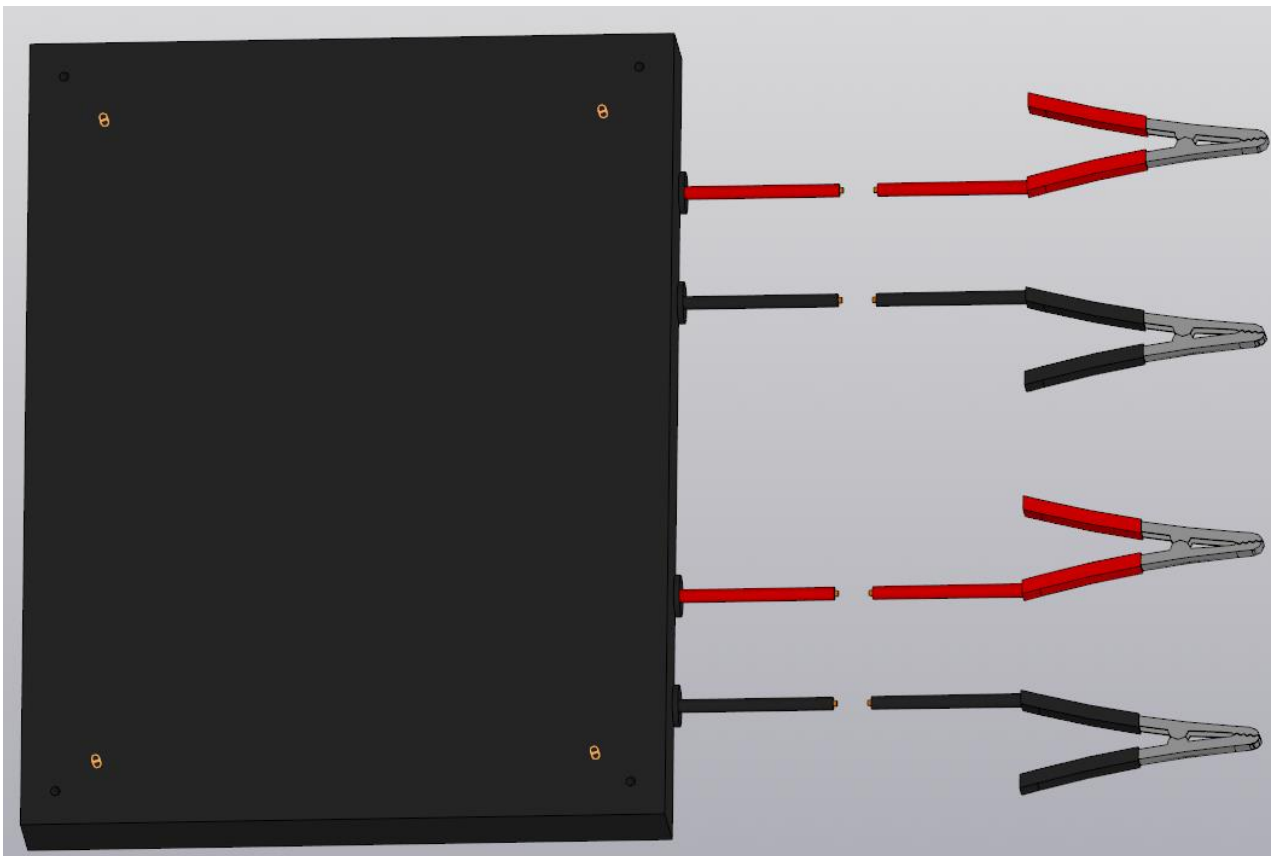


Рисунок Б.4 – 3D модель пристрою, нижня кришка знизу

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

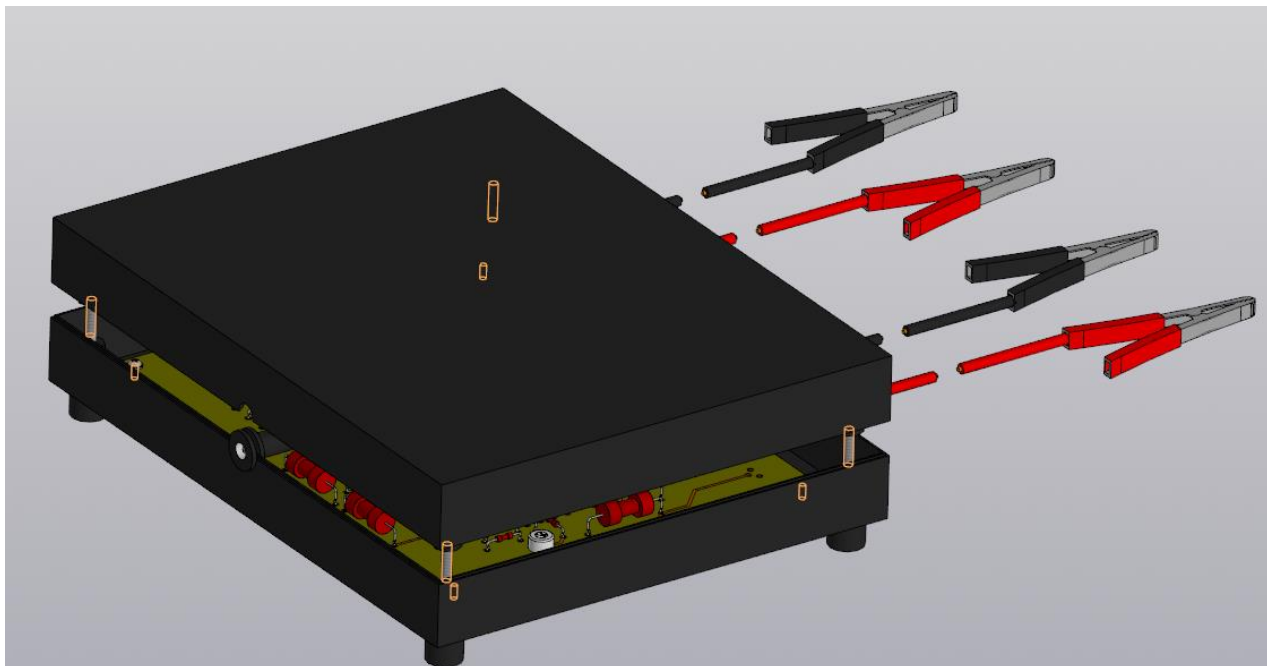


Рисунок Б.5 – 3D модель пристрою, загальний вигляд збоку

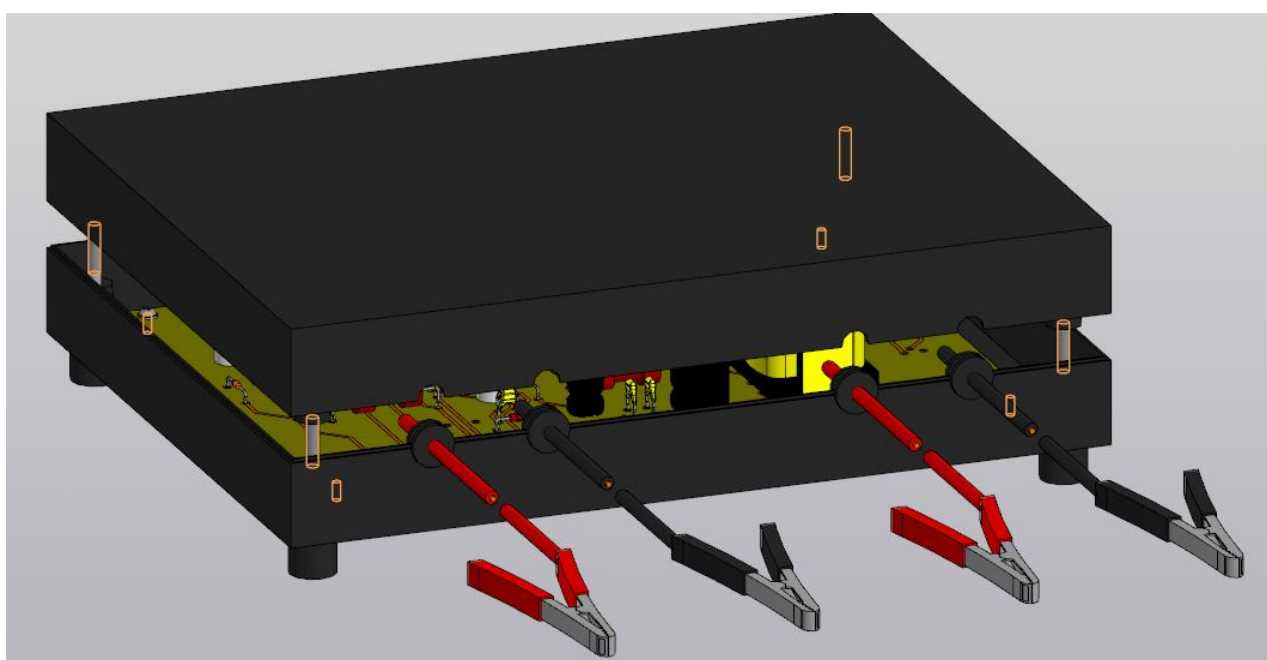


Рисунок Б.6 – 3D модель пристрою, загальний вигляд

					25KBP172.403.003.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		