

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Приладів і контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту (роботи)
магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Розробка інформаційно-вимірювальної системи для пристрою
заряджання акумуляторних батарей

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи РНм

спеціальності (напряму підготовки) 176

Мікро- та наносистемна техніка

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Кривко Д.Ю.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Чайковський А.В

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра приладів і контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

« » (підпис) « » (прізвище та ініціали)
20 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 176 «Мікро-та наносистемна техніка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Кривку Денису Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інформаційно-вимірювальної системи для пристрою заряджання акумуляторних батарей

Керівник роботи к.т.н.доц. Чайковський Андрій Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « » 2025 року №

2. Термін подання студентом завершеної роботи

3. Вихідні дані до роботи Технологічне креслення. Технологічна документація

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітична частина. Основна частина. Науково-дослідна частина. Спеціальна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Пояснювальна записка		
1	Аналітична частина		
2	Основна частина		
3	Науково-дослідна частина		
4	Спеціальна частина		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
	Загальні висновки до кваліфікаційної роботи		
	Графічний матеріал		

Студент

(підпис)

Кривко Денис Юрійович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Чайковський Андрій Вікторович

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Розробка технічного завдання.....	8
1.2 Опис принципу роботи електричної принципової схеми та її аналіз	8
1.3 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів	12
1.4 Обґрунтування вибору конструкції	13
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	17
2.1 Опис і обґрунтування вибору елементної бази	17
2.2 Розрахунок електричних параметрів окремих каскадів	31
2.3 Конструктивний розрахунок друкованого монтажу.....	34
3 НАУКОВО ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	41
3.1 Розрахунок надійності проектного виробу	41
3.2 Дослідження впливу варіації параметрів компонентів на якість роботи вхідного каскаду за допомогою системи моделювання PЕC MicroCap-8.....	49
4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	57
4.1 Аналіз конструкції виробу. Розрахунок споживаної потужності	57
4.2 Розробка і оформлення маршрутної технології складання і монтажу виробу	67
4.3 Розробка маршрутної технології складання проектного виробу	68
4.4 Технологія ремонту та регулювання радіопристрою	69
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..	71
5.1 Охорона праці	71
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80

АНОТАЦІЯ

Темою кваліфікаційної роботи магістра є розроблення конструкції «Автоматичного пристрою для акумуляторних батарей». Запроєктований пристрій призначений для побутового використання з метою заряджання акумуляторів за допомогою циклічного струму. Живлення пристрою здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В та частотою 50 Гц.

У спеціальній частині дипломного проєкту наведено призначення пристрою, сферу його застосування та сформульовано технічні вимоги до радіоелектронного виробу. Розроблено та описано принципову електричну схему, проведено її аналіз, обґрунтовано вибір конструктивного виконання пристрою, наведено опис конструкції. Також виконано розрахунок надійності та підібрано елементну базу, що забезпечує необхідні параметри функціонування приладу.

У розділі «Охорона праці» викладено вимоги безпеки під час монтажу, складання та регулювання пристрою, вимоги щодо безпечної експлуатації та технічного обслуговування, а також заходи із захисту довкілля під час виготовлення виробу.

ВСТУП

У сучасній радіoeлектроніці автоматизовані пристрої для обслуговування та заряджання акумуляторних батарей займають важливе місце, оскільки вони забезпечують підвищення ефективності експлуатації джерел живлення та зниження витрат на їх заміну. Актуальність розроблення таких пристроїв зумовлена широким використанням акумуляторів у побутовій електроніці, переносних пристроях і автономних системах живлення.

Розроблений у межах даного проєкту пристрій орієнтований переважно на побутове застосування та призначений для забезпечення надійного й ефективного заряджання акумуляторних батарей різних типів. Функціональні можливості пристрою дозволяють підтримувати оптимальні режими заряджання, що позитивно впливає на експлуатаційні характеристики акумуляторів.

Однією з ключових переваг запропонованого рішення є використання режиму заряджання циклічним струмом. Застосування такого принципу сприяє зменшенню деградації активних елементів акумуляторів, подовженню їх терміну служби та зниженню ймовірності передчасного виходу з ладу. Крім того, циклічний режим заряджання підвищує стабільність роботи акумуляторів упродовж тривалого часу та забезпечує більш раціональне використання їх ресурсу.

Основним призначенням зарядного пристрою є часткове або повне відновлення номінальної ємності акумуляторних батарей, а також зменшення впливу так званого «ефекту пам'яті», що характерний для окремих типів акумуляторів. Реалізація коректних режимів заряджання дозволяє підтримувати стабільні електричні параметри акумуляторів упродовж тривалого періоду їх експлуатації.

З метою збереження оптимальних експлуатаційних характеристик акумуляторів доцільним є проведення кількох послідовних циклів розрядження та заряджання. Такий підхід сприяє вирівнюванню ємності окремих елементів батареї та підвищує ефективність її подальшого використання.

Запропонований у проєкті зарядний пристрій забезпечує повну автоматизацію зазначеного процесу, що виключає необхідність постійного контролю з боку користувача та зменшує ймовірність помилок під час експлуатації. Пристрій розрахований на роботу з акумуляторами типу Ni-Cd та Ni-MH, які широко застосовуються у побутовій і професійній електроніці. Разом із тим, завдяки універсальності конструктивних і схемотехнічних рішень, пристрій може бути адаптований для використання з іншими типами акумуляторних елементів за умови дотримання відповідних режимів заряджання.

Після під'єднання акумуляторної батареї зарядний пристрій у автоматичному режимі реалізує задану послідовність операцій. На першому етапі здійснюється контрольований розряд акумулятора, після чого відбувається його заряджання відповідно до встановленого алгоритму. Після завершення циклу заряджання пристрій автоматично переходить у режим очікування, що виключає перезаряд акумулятора та забезпечує безпечну експлуатацію.

Важливою складовою ефективної та безпечної роботи зарядного пристрою є дотримання встановлених правил експлуатації. Виконання рекомендованих вимог щодо під'єднання акумуляторів, умов роботи та режимів використання сприяє підвищенню надійності пристрою, зменшенню ризику виникнення несправностей і подовженню терміну служби як самого зарядного пристрою, так і акумуляторних батарей.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Розробка технічного завдання

Технічні характеристики проектного пристрою:

- 1) Електроживлення пристрою здійснюється від мережі змінного струму з номінальною напругою 220 В з допустимим відхиленням $\pm 10\%$.
- 2) Частота мережі живлення становить 50 Гц з допустимими відхиленнями, що не перевищують $\pm 10\%$.
- 3) Діапазон вихідної напруги пристрою складає від 1 до 12 В.
- 4) Діапазон вихідного струму становить від 0 до 5 А.
- 5) Максимальні габаритні розміри пристрою не перевищують 143x140x60.
- 6) Маса пристрою не перевищує 4 кг.
- 7) Нестабільність струму заряджання не перевищує 0,5%.

1.2 Опис принципу роботи електричної принципової схеми та її аналіз

Блок живлення пристрою виконано на базі понижувального трансформатора TV1, випрямного моста VD1 та ємнісного згладжувального фільтра, реалізованого на конденсаторі C1. Після випрямлення та згладжування напруги у схемі використовується інтегральний стабілізатор напруги DA2, який забезпечує формування стабільного рівня напруги живлення для електронних вузлів пристрою.

Стабілізована вихідна напруга використовується не лише для живлення мікросхем керування та допоміжних функціональних елементів, а й виконує роль опорної напруги під час контролю стану акумуляторної батареї. Це дозволяє підвищити точність вимірювань та забезпечити коректну роботу схем контролю й керування процесом заряджання.

Струм навантаження інтегрального стабілізатора не перевищує 150 мА, що дає змогу зменшити вплив змін навантаження на рівень вихідної напруги та забезпечити її стабільність упродовж усього режиму роботи пристрою. Такий підхід сприяє підвищенню надійності функціонування електронної схеми та покращує загальні експлуатаційні характеристики зарядного пристрою.

Вузол керування та індикації побудований на основі двох операційних підсилювачів DA1.1 і DA1.2, які функціонують у режимі компараторів, а також двох тригерних елементів DD1.1 і DD1.2, що забезпечують формування та фіксацію логічних станів у процесі роботи пристрою. Така структура дозволяє реалізувати надійний алгоритм керування режимами заряджання й розряджання акумуляторної батареї.

До складу вузла також входять електронні комутаційні елементи, виконані на транзисторах VT1, VT2, VT4 і VT5, які забезпечують перемикання відповідних режимів роботи пристрою. Крім того, у схемі передбачено джерело стабілізованого струму, реалізоване на транзисторі VT3, що забезпечує необхідну стабільність струмових параметрів під час функціонування вузла.

Компаратор DA1.2 призначений для контролю рівня напруги акумуляторної батареї в режимі розряджання. За допомогою резистора R1 встановлюється порогове значення напруги, до якого здійснюється розряд акумулятора. У випадку, коли фактична напруга батареї перевищує заданий поріг, на виході компаратора DA1.2 формується низький логічний рівень, що відповідає нормальному перебігу процесу розряджання та забезпечує подальшу роботу пристрою згідно з заданим алгоритмом.

Компаратор DA1.1 призначений для контролю рівня напруги акумуляторної батареї в процесі її заряджання. Порогове значення напруги, що відповідає повному заряду акумулятора, встановлюється за допомогою резистора R3. У разі, якщо фактична напруга акумуляторної батареї є меншою за заданий рівень, на виході компаратора DA1.1 формується низький логічний рівень, що забезпечує подальше протікання процесу заряджання відповідно до заданого алгоритму.

Стабілізатор струму розрядження виконує функцію керованого джерела струму та реалізований на базі операційного підсилювача DA3.1, транзистора VT6 і резистора R23, який використовується як елемент вимірювання струму (датчик струму). Така схема забезпечує підтримання заданого значення струму розрядження незалежно від змін напруги на акумуляторній батареї. Для підвищення стійкості роботи вузла та запобігання виникненню самозбудження в схемі застосовано конденсатори C7 і C9. Регулювання величини струму розрядження здійснюється за допомогою змінного резистора R17, що дозволяє адаптувати режим роботи пристрою до різних типів акумуляторів.

Стабілізація струму заряджання реалізується з використанням транзистора VT7, який працює у режимі регулювання струму. Формування опорної напруги для цього вузла здійснюється стабілітроном VD2, тоді як підтримання стабільного значення струму забезпечується транзистором VT3. Резистор R26 використовується як датчик струму, за сигналом з якого здійснюється контроль величини зарядного струму, а за допомогою резистора R25 задається його номінальне значення.

Для запобігання небажаних розрядці акумуляторної батареї через транзистор VT7 у разі відключення пристрою від мережі живлення в схемі передбачено діод VD3. У таких умовах резистори R7 та R8 виконують функцію обмеження вхідних струмів операційних підсилювачів DA1.1 і DA1.2, що сприяє захисту елементів схеми та підвищенню загальної надійності роботи пристрою.

Принцип роботи пристрою

Після під'єднання акумуляторної батареї за допомогою резисторів R1 і R3 встановлюються граничні значення напруг, що відповідають режимам розрядження та заряджання акумулятора. Після задання необхідних порогових рівнів пристрій підключається до мережі живлення та переходить у початковий стан готовності до роботи.

Короткочасне натискання кнопки SB1 «Пуск» ініціює запуск робочого алгоритму та переводить тригерні елементи DD1.1 і DD1.2 у нульовий стан. У результаті цього на прямих виходах тригерів (виводи 1 та 13 мікросхеми DD1) формується низький логічний рівень, тоді як на інверсних виходах (виводи 2 та 12) встановлюється високий логічний рівень. Зазначені логічні стани визначають початковий режим роботи пристрою та забезпечують коректний перехід до подальших етапів процесу керування заряджанням і розряджанням акумуляторної батареї.

Після ініціалізації пристрою напруга живлення подається на резистор R15, унаслідок чого на повзунку змінного резистора R17 формується керуюча напруга стабілізатора струму розряджання. Це призводить до переходу пристрою в режим розряджання акумуляторної батареї. Активний режим розрядки індикується світінням світлодіода HL2 «Розрядка», на який напруга подається через відкритий транзистор VT2.

У процесі розряджання напруга на акумуляторній батареї поступово зменшується. Коли її значення досягає рівня, нижчого за порогову напругу, встановлену резистором R1, відбувається перемикання компаратора DA1.2. При цьому на його виході формується високий логічний рівень, який переводить тригер DD1.2 в одиничний стан.

У результаті на інверсному виході тригера встановлюється низький логічний рівень, що призводить до припинення процесу розряджання акумулятора. Струм розрядки зменшується до нульового значення, світлодіод HL2 гасне, а транзистор VT5 переходить у відкритий стан. Таким чином забезпечується автоматичне завершення режиму розряджання та підготовка пристрою до подальшого етапу роботи відповідно до заданого алгоритму.

Оскільки транзистор VT4 у цей момент також перебуває у відкритому стані, що зумовлено наявністю високого логічного рівня на інверсному виході тригера DD1.1, через стабілітрон VD2 починає протікати струм. Унаслідок цього активується стабілізатор струму заряджання, і пристрій переходить у режим заряджання акумуляторної батареї. Про початок даного режиму

сигналізує світіння світлодіода HL3 «Зарядка», який виконує функцію візуальної індикації процесу заряджання.

У процесі заряджання напруга на виводах акумуляторної батареї поступово зростає. Після досягнення порогового значення напруги, заданого резистором R3, відбувається перемикання компаратора DA1.1, що супроводжується зміною логічного рівня на його виході. Сформований сигнал переводить тригер DD1.1 в одиничний стан.

У результаті зазначених змін транзистор VT1 переходить у відкритий стан, тоді як транзистор VT4 закривається, що призводить до припинення процесу заряджання акумулятора. При цьому світлодіод HL3 «Зарядка» вимикається, а індикатор HL1 «Кінець зарядки» вмикається, сигналізуючи про завершення циклу заряджання та перехід пристрою в режим очікування.

1.3 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покрить

Конструктивно розроблений пристрій виконано у пластмасовому корпусі, що забезпечує поєднання достатньої механічної міцності, малої маси та електробезпеки. Основні функціональні елементи, зокрема понижувальний трансформатор, друкована плата та елементи електричної схеми, змонтовані на шасі, яке встановлюється всередині корпусу виробу. Таке компонування спрощує процес складання, технічного обслуговування та можливого ремонту пристрою.

Розміщення елементів керування та індикації виконано з урахуванням зручності користування, ергономічних вимог та забезпечення наочного контролю режимів роботи. На передній панелі пристрою розташовано перемикач вибору напруги, регулятори струму, світлодіодні індикатори режимів роботи, а також перемикач увімкнення живлення. Регулятори напруги та струму згруповані з одного боку передньої панелі та розміщені на

протилежній стороні від роз'єму підключення акумулятора, що виключає можливість перешкоджання роботі оператора під час налаштування параметрів.

Світлодіодні індикатори розміщені над регульовальними елементами, що забезпечує їхню добру видимість та дозволяє оператору оперативно контролювати поточний режим роботи пристрою. Така компоновка підвищує зручність експлуатації та зменшує ймовірність помилкових дій під час налаштування.

На задній панелі корпусу встановлено тримач запобіжника, призначений для захисту пристрою від перевантажень за струмом та можливих аварійних режимів. Оскільки задня панель не містить органів керування або елементів індикації, розміщення запобіжника може бути виконане у будь-якому зручному місці, визначеному особливостями конструкції друкованої плати та внутрішнього компонування виробу.

Пластмасовий корпус обладнаний ручкою для перенесення, що підвищує зручність транспортування пристрою. У робочому положенні ручка також може виконувати функцію підставки, забезпечуючи стійке розташування пристрою на робочій поверхні та додаткову зручність під час експлуатації.

1.4 Обґрунтування вибору конструкції

У разі використання елементів зі штировими виводами їх монтаж здійснюється шляхом встановлення у відповідні монтажні отвори друкованої плати. Після встановлення виводи елементів загинаються під кутом близько 60° та обрізаються в межах контактних площадок, що забезпечує надійну фіксацію компонентів перед виконанням операції пайки.

Паяння елементів виконується методом «хвилі припою», який є одним з найбільш ефективних і технологічно доцільних способів масового монтажу компонентів зі штировими виводами. Застосування цього методу дозволяє досягти високої якості паяних з'єднань, забезпечити їхню механічну міцність і

електричну надійність, а також значно підвищити продуктивність процесу складання.

Використання методу хвильового паяння сприяє підвищенню щільності монтажу, що дає можливість розмістити більшу кількість елементів на одній друкованій платі без погіршення експлуатаційних характеристик виробу. Це, у свою чергу, позитивно впливає на габаритні показники пристрою та загальну технологічність його конструкції.

Під час розміщення електрорадіоелементів необхідно дотримуватися таких вимог:

Напівпровідникові прилади та мікросхеми не допускається розташовувати біля елементів, що виділяють значну кількість тепла, а також поруч із джерелами сильних магнітних полів (трансформаторами, магнітами тощо).

У зоні тепловиділяючих елементів необхідно забезпечити можливість природної конвекції повітря.

Під час регулювання пристрою має бути забезпечений вільний доступ до елементів, які потребують підстроювання.

У випадках, коли елемент має електропровідний корпус і під ним проходить струмопровідна доріжка, необхідно передбачити заходи електричної ізоляції з метою запобігання коротким замиканням і порушенню працездатності виробу. Для цього можуть застосовуватися ізоляційні трубки, встановлені на корпус елемента, нанесення шару епоксидної смоли на поверхню друкованої плати (епоксидна маска), а також використання тонких ізоляційних прокладок. Застосування зазначених рішень підвищує електробезпеку та надійність роботи пристрою.

Рациональне розміщення інтегральних мікросхем на друкованій платі має суттєвий вплив на габаритні розміри, масу, рівень надійності та завадостійкість виробу. Невдале компонування може призвести до погіршення теплових режимів, зростання взаємних завад між елементами та ускладнення процесу монтажу й обслуговування.

Крок встановлення інтегральних мікросхем визначається рядом факторів, зокрема необхідною щільністю компонування, умовами тепловідведення, способом розроблення топології друкованої плати (ручним або автоматизованим), типом корпусу мікросхем і загальною складністю електричної схеми. Як оптимальний у даній конструкції рекомендовано крок монтажу 2,5 мм, при цьому мінімальна відстань між корпусами елементів повинна становити не менше 1,5 мм, що забезпечує достатні технологічні зазори та сприяє підвищенню надійності монтажу.

Інтегральні мікросхеми зі штировими виводами доцільно розміщувати з одного боку друкованої плати, оскільки їх установа здійснюється у наскрізні монтажні отвори. Запаяні штирові виводи забезпечують надійне механічне кріплення мікросхем, що дозволяє конструкції витримувати механічні навантаження, які можуть виникати під час експлуатації, транспортування або монтажу виробу.

Конструктивно розроблений пристрій складається з корпусу, друкованого вузла, понижувального трансформатора, органів керування у вигляді перемикачів напруги та струму, а також світлодіодних індикаторів, призначених для відображення режимів роботи.

Верхня та нижня кришки корпусу виконані у формі типу «корито», що забезпечує достатню жорсткість конструкції та зручність компонування внутрішніх елементів. У кутах кришок передбачені спеціальні стійки, за допомогою яких вони з'єднуються між собою саморізами. Виготовлення зазначених елементів корпусу здійснюється методом лиття під тиском, що дозволяє отримати вироби з високою точністю геометричних розмірів і стабільною якістю поверхні.

Передня та задня панелі мають простішу геометричну форму, що дає змогу виготовляти їх методом литтєвого пресування. Такий підхід є технологічно доцільним і сприяє зниженню трудомісткості та собівартості виготовлення корпусних деталей.

На передній панелі розміщено перемикачі вибору напруги та струму, отвори для встановлення світлодіодних індикаторів, а також перемикач увімкнення та вимкнення пристрою. Подібне компонування органів керування забезпечує зручність користування та наочність індикації режимів роботи.

На задній панелі розташовано роз'єм для підключення пристрою до мережі живлення та тримач запобіжника, призначений для захисту від перевантажень за струмом і аварійних режимів роботи.

Друкована плата закріплюється до нижньої кришки корпусу за допомогою чотирьох гвинтів, що забезпечує її надійну фіксацію та стійкість до механічних впливів. До цієї ж частини корпусу гвинтами встановлюється понижувальний трансформатор, що дозволяє оптимально розподілити масу всередині виробу та підвищити його механічну стійкість.

Матеріалом корпусу обрано пластмасу, використання якої забезпечує низку переваг, зокрема зменшення маси виробу, спрощення технологічного процесу виготовлення, зниження собівартості та покращення зовнішнього вигляду пристрою.

Раціональне взаємне розміщення всіх конструктивних елементів сприяє підвищенню технологічності складання, полегшує процеси регулювання та технічного обслуговування пристрою. Для електричного з'єднання елементів, розташованих на корпусі, з друкованим вузлом застосовуються електричні перемички, що забезпечують надійність контактів і зручність монтажу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Під час проєктування та компонування друкованої плати необхідно досягти збалансованої щільності розміщення елементів, одночасно забезпечивши зменшення впливу небажаних паразитних електричних зв'язків, які можуть призводити до погіршення електричних та експлуатаційних характеристик виробу.

Вибір елементної бази для проєктованого пристрою в межах дипломного проєктування здійснюється відповідно до таких обов'язкових технічних вимог:

Елементна база повинна відповідати таким умовам: наявність необхідних компонентів у виробництві;

Номінальні параметри радіоелементів мають відповідати значенням, заданим у принциповій електричній схемі.

Обрані компоненти повинні бути доступними для серійного або малосерійного виробництва.

Елементи мають відповідати технічним вимогам, установленим до конструкції виробу.

Застосування радіоелементів повинно бути економічно доцільним з урахуванням собівартості виробу.

Використовувані компоненти мають характеризуватися універсальністю застосування.

Радіоелементи повинні забезпечувати стабільність електричних параметрів у процесі експлуатації.

Кількість типорозмірів корпусів елементів має бути мінімальною з метою підвищення технологічності монтажу.

У проєктованому виробі використано сучасну та широко доступну елементну базу, вибір якої здійснювався з урахуванням техніко-економічних показників. Під час відбору конкретних радіоелементів основна увага приділялася співвідношенню їх вартості та експлуатаційних характеристик, а також здатності забезпечувати задані електричні параметри й надійну роботу в умовах зміни температури, вологості та дії механічних факторів.

З урахуванням наведених вимог для реалізації пристрою було обрано відповідні електрорадіоелементи, що забезпечують необхідний рівень функціональності та надійності.

Трансформатор, застосований у схемі, належить до силових трансформаторів і виконаний на стрижневому магнітопроводі типу ПЛ 21×45. Він призначений для живлення побутових напівпровідникових пристроїв та забезпечує необхідні параметри напруги й струму. Магнітопровід трансформатора виготовлений з електротехнічної сталі марки 3311, при цьому товщина сталевий стрічки становить 0,35 мм, що забезпечує зниження втрат та підвищення енергоефективності. Зовнішній вигляд трансформатора наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 Зовнішній вигляд трансформатора ТС-180-2

Електричні параметри і намоточні дані трансформатора ТС-180-2 представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Електричні параметри і намоточні дані трансформатора ТС-180

Тип трансформатора	Сердечник	№ виводів обмоток	Число витків	Марка і діаметр провoda, мм	Ном. напруга, В	Ном. струм, А	Опір, Ом
ТС-180-2	ПЛР21×45	1-2 (I)	750	ПЭЛ 1,0	220	1,75	2,3
		3-4 (II)	60	ПЭЛ 2,5	18	7,5	0,8
		5-6 (III)	44	ПЭЛ 0,8	10	1,75	0,4
Споживана потужність Вт, 180							

Отже, обраний трансформатор повністю відповідає вимогам проектного пристрою та є оптимальним для його застосування.

Плавкі вставки (запобіжники) призначені для автоматичного переривання електричного кола у випадку перевищення струму понад допустимий рівень. Для проектного пристрою обрано саме цей тип запобіжників, оскільки вони вирізняються високою надійністю, доступною вартістю, поширеністю у продажу та збереженням своїх параметрів упродовж тривалого періоду експлуатації.

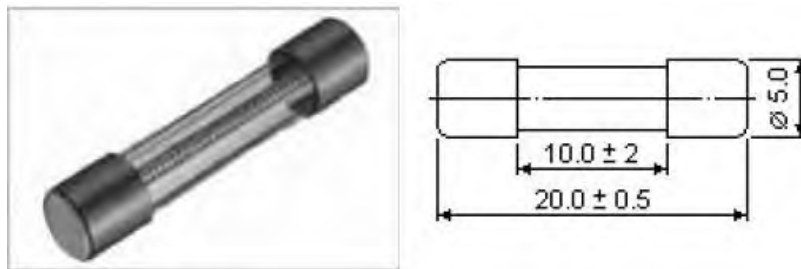


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд і габаритні розміри запобіжника ВП1-А
"Siba"

Технічні параметри запобіжників:

- номінальна напруга 250 В;
- номінальний робочий струм 0,5 А;
- контакти циліндричні;
- довжина корпусу 20 мм;
- діаметр корпусу 4 мм;
- робоча температура -60...+100 °С.

У даному виробі використовуються запобіжники з номінальним струмом 0,5 А та допустимою робочою напругою 250 В.

Вибрані запобіжні елементи розміщуються у спеціалізованих тримачах (рис. 2.3), які монтуються на задній панелі пристрою та фіксуються за допомогою гайки.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд тримача під запобіжники ВП1-А

У конструкції даного пристрою використовуються резистори типу С1-4-0,125. Вказані резистори є постійними металоплівковими елементами, покритими захисним лаком і характеризуються підвищеною теплостійкістю. Вони належать до металодіелектричних елементів з металевим провідним шаром, не мають ізоляційного покриття та призначені для навісного монтажу. Такі резистори можуть ефективно функціонувати в колах постійного, змінного та імпульсного струму.

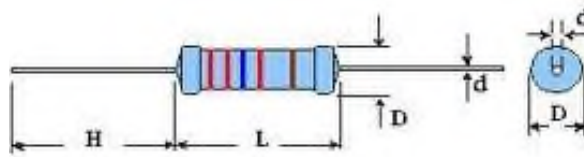
Їх широке поширення забезпечує легку доступність на ринку, невисоку вартість і, відповідно, сприяє підвищенню загальної економічної ефективності виробу.

Резистори даного типу оснащені системою кольорового маркування, що забезпечує зручну ідентифікацію номінальних параметрів та спрощує процес монтажу. За своїми експлуатаційними характеристиками вони відповідають вимогам, що висуваються до елементів побутової та промислової радіоелектронної апаратури.

Основні електричні параметри резисторів:

1. Діапазон номінальних опорів: $1 \dots 3 \times 10^6$ Ом;
2. Номінальна потужність: 0,125 Вт;
3. Гранична робоча напруга: до 350 В;
4. Робочий температурний діапазон: $-60 \dots +70$ °С;
5. Допустиме відхилення опору: $\pm 10\%$, що забезпечує зменшення розкиду параметрів у схемі.

Перелічені характеристики повністю відповідають вимогам розробленої схеми та дозволяють зменшити габаритні розміри пристрою.



$$L = 6 \text{ мм}; \quad H = 20 \text{ мм}; \quad D = 2,2 \text{ мм}; \quad d = 0,5 \text{ мм}$$

Рисунок 2.4 Зовнішній вигляд та габаритні розміри резистора С1-4-0,125

Для регулювання струму в пристрої застосовано змінний резистор типу СПЗ-4АМ, групи В, номінальним опором 100 Ом. Цей резистор характеризується стабільними електричними параметрами, достатньою надійністю, високою якістю виконання та доступною вартістю, що робить його доцільним для використання у розробленій конструкції.



Рисунок 2.5 – зовнішній вигляд резистора типу СПЗ-4АМ

Основні параметри:

- номінальна потужність, Вт.....0,5;
- діапазон номінальних опорів, кОм..... $1-4,7 \cdot 10^3$;
- максимальна робоча напруга, В.....250;
- допустиме відхилення опору, %..... ± 20 .

У конструкції пристрою використовуються полярні алюмінієві електролітичні конденсатори з радіальним типом виводів виробництва Jamicon серії ЕСАР. Зазначені конденсатори призначені для застосування в побутовій електронній апаратурі та характеризуються стабільністю електричних параметрів у процесі експлуатації.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд конденсаторів "Jamicon"

Основні технічні характеристики:

- номінальна ємність, мкФ.....0,1-15000;
- номінальна напруга, В.....6,3-450;
- тангенс кута діелектричних втрат:
0,14 – при номінальній напрузі 25 В;
0,10 – при номінальній напрузі 50 В;
- діапазон робочих температур, °С.....-40...+85;
- допустиме відхилення ємності від номіналу, %.±20.

У пристрої використано електролітичні конденсатори зазначеного типу з такими номіналами ємності: 1 мкФ та 1000 мкФ, з робочими напругами 25 В і 35 В відповідно.

Застосування цього типу конденсаторів обумовлене їх доступністю, низькою вартістю та достатньо високою якістю, що робить їх оптимальними для даної конструкції.

У виробі також використовуються діоди типу 1N4001. Це епітаксialно-планарні кремнієві імпульсні діоди, призначені для роботи в імпульсних та випрямних пристроях. Конструктивно вони виконані у скляному корпусі з

гнучкими виводами. Маркування здійснюється кольоровим кодом: одна широка та дві вузькі смуги зі сторони анода (позитивного виводу).



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри діода 1N4001

Основні параметри:

- постійна зворотня напруга, В.....200;
- максимальний постійний прямий струм, мА.....15;
- максимальний постійний зворотній струм, мА.....1,7.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри діода KC156A

Основні параметри:

- постійна зворотня напруга, В.....30;
- максимальний постійний прямий струм, мА.....0.2;
- максимальний постійний зворотній струм, мА.....0,001



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри діода КД209А

Основні параметри:

- постійна зворотня напруга, В.....400;
- максимальний постійний прямий струм, мА.....0.7;
- максимальний постійний зворотній струм, мА.....1.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд світлодіода АЛ307Б

Електричні параметри:

- Колір свічення.....червоний;
- Довжина хвилі, нм.....0,665;
- Сила світла I_v , мккд.....900;
- Колір лінзи.....червоний;
- Форма лінзи.....кругла;
- Пряма напруга, В.....2;
- Прямий струм, мА.....10;
- Максимальний прямий струм, мА.....22;
- Максимальний прямий імпульсний струм, мА.....100;
- Максимальна зворотня напруга, В.....2;
- Робоча температура, °C.....-60...+70.

Параметри приведені при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В схемі використовується для індикації.



Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд мікросхеми LM124N

Технічні характеристики:

Кількість каналів	1
Напруга живлення, В	3 ... 32
Частота, МГц	1.2
Напруга зсуву, мВ.....	3
Температурний діапазон,	С -55 ... 125
Тип корпусу	DIP14



Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд мікросхеми типу LM7812CV "Fairchild"

Основні параметри:

Тип.....	нерегулюючий;
Вихідна напруга, В.....	12;
Струм навантаження, А.....	1,5;
Тип корпусу.....	TO-92;
Максимальна вхідна напруга, В.....	30;
Нестабільність по напрузі, %.....	0,05;
Нестабільність по струму, %.....	0,01;
Інтервал робочих температур, °С.....	-10...+70

В даному пристрої мікросхема використовується в якості операційного підсилювача.



Рисунок 2.13 Зовнішній вигляд мікросхеми LM358N

Технічні параметри мікросхеми:

Число каналів.....	2;
Час наростання du/dt	0,3 В/мкс;
Смуга пропускання.....	0,7 МГц;
Напруга зсуву $U_{см}$	7 мВ;
Температурний діапазон C	0...+70;
Корпус.....	Dip8-300.



Рисунок 2.14 – Зовнішній вигляд мікросхеми K561TM2

Технічні характеристики:

Діапазон живлячої напруги	4.5...18, В;
Вихідний струм	250, мА;
Дрейф розрахованого значення.....	0,1% , В;
Дрейф температурного значення.....	0,005%/°C;
Корпус.....	DIP8.

Застосування даної мікросхеми у пристрої зумовлене її повною відповідністю необхідним технічним параметрам, а також широкою доступністю та невисокою вартістю.

Обраний тип мікросхеми є економічно доцільним, поширеним у продажу та забезпечує потрібну напругу стабілізації, що робить її оптимальним компонентом для проектованої схеми.

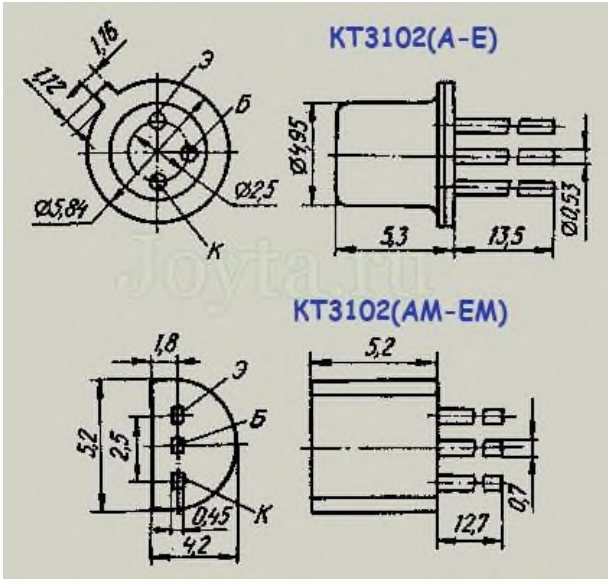
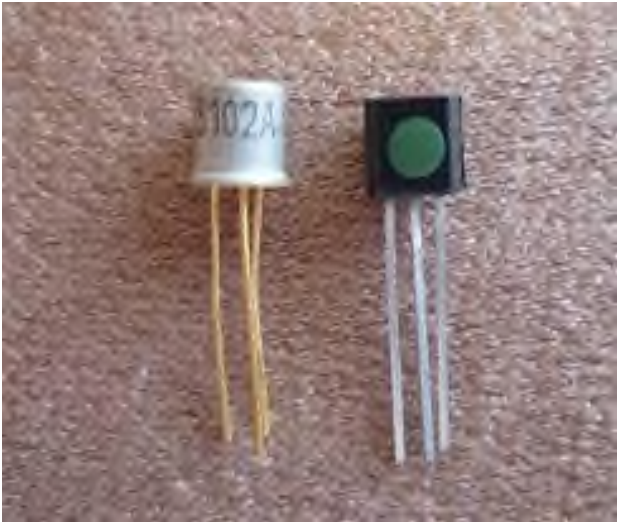


Рисунок 2.15 – Зовнішній вигляд транзистора KT3102A

Технічні параметри транзистора:

Структура	NPN
Макс. напр. до-б при заданому зворотному струмі до і розімкнутого ланцюга е.. (Укбо макс), В	50
Максимально допустимий струм до (Ik макс.).....	0.1
Статичний коефіцієнт передачі струму h21е хв.....	100
Гранична частота коефіцієнта передачі струму fгр.МГц.....	150
Максимальна розсіює потужність, Вт.....	0,25
Корпус тис.	т-26

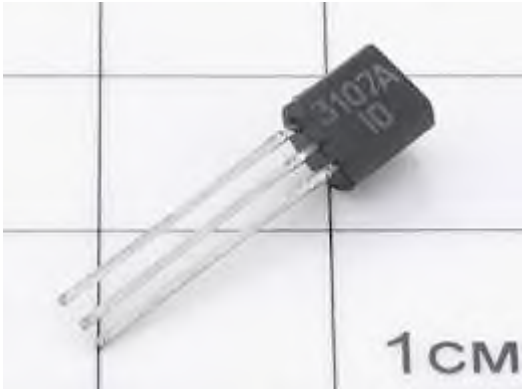


Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд транзистора KT3107A

Технічні параметри транзистора:

Структура	NPN
Макс. напр. до-б при заданому зворотному струмі до і розімкнутого ланцюга е.. (Укбо макс), В	50
Максимально допустимий струм до (Ік макс.).....	0.1
Статичний коефіцієнт передачі струму h_{21e} хв.....	100
Гранична частота коефіцієнта передачі струму f_{gr} .МГц.....	150
Максимальна розсіює потужність, Вт.....	0,25
Корпус тис.	Т-26



Рисунок 2.7 Зовнішній вигляд транзистора IRFP260

Основні параметри транзистора IRFP260:

Максимальна потужність розсіювання Р	280;
Гранична допустима напруга стік-витік В	200;
Гранична допустима напруга затвор-витік В	10;
Максимально допустимий постійний струм стоку А	46;
Максимальна температура каналу С	150;
Тип корпусу	ТОЗР;

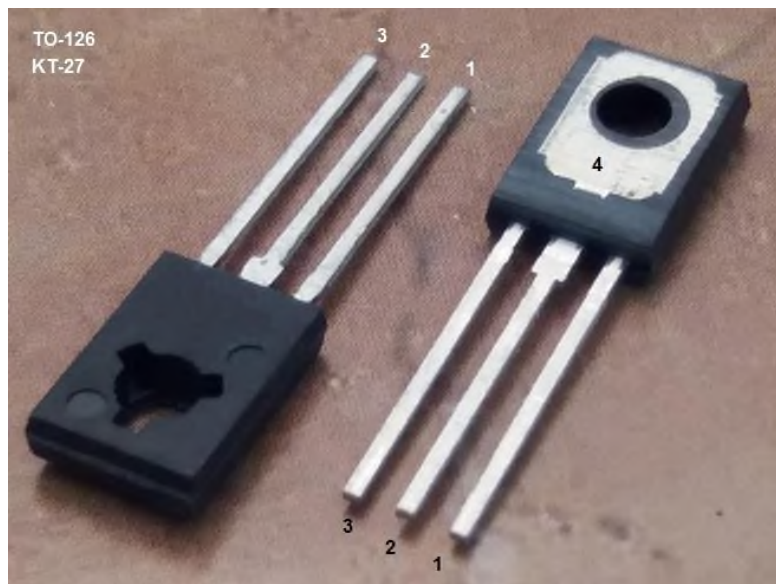


Рисунок 2.18 – Зовнішній вигляд транзистора КТ973А

Технічні параметри транзистора:

Сруктура.....	N-канал;
Максимальна напруга стік-витік $U_{си}/$, В.....	60;
Максимальний струм стік-витік при 25 С $I_{си}$ макс., А.....	0,2;
Максимальна напруга затвор-витік $U_{зі}$ макс., В.....	± 20 ;
Опір каналу у відкритому стані $R_{си}$ вкл, мОм.....	5000;
Максимальна розсіювана потужність $P_{си}$ макс, Вт.....	0,4;
Корпус.....	ТО92;

Перемикач HF-606 (див. рис. 2.19) виробництва компанії Meder Electronic використовується в схемі як елемент увімкнення та вимкнення мережевої напруги 220 В. Він розрахований на максимальний струм 6 А та робочу напругу 250 В, а також має два фіксовані положення, що забезпечує надійність і зручність його використання в пристрої.

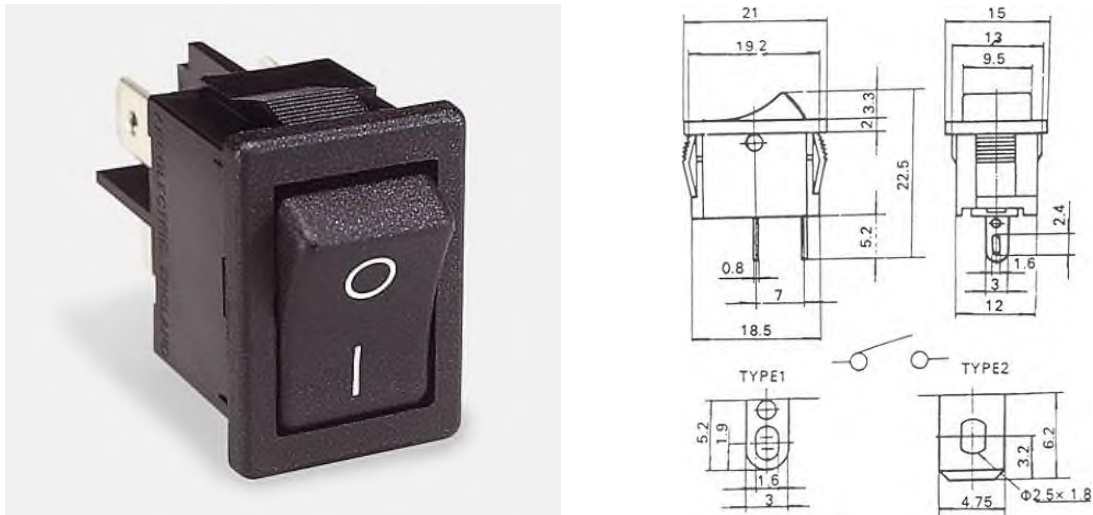


Рисунок 2.19 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри перемикача HF-606 фірми «Meder electronic»

Під'єднання пристрою до електричної мережі напругою 220 В здійснюється за допомогою мережевого шнура типу ШВП-2-В 2×0,75 з вилкою, який забезпечує подачу електроживлення на прилад. Зазначена вилка розрахована на номінальну напругу до 250 В, струм навантаження до 6 А та частоту 50 Гц, що повністю відповідає експлуатаційним вимогам даного пристрою.



Рисунок 2.20 – Зовнішній вигляд мережевої вилки У-4 з шнуром ШВП-2-В2×0,75

Отже, усі електрорадіоелементи, застосовані у даному пристрої, були підібрані з урахуванням їхніх допустимих електричних параметрів, що забезпечують коректну роботу схеми. Під час вибору також враховувалися доступність компонентів на ринку, їхня вартість та експлуатаційна надійність.

2.2 Розрахунок електричних параметрів окремих каскадів

У даному розділі виконано електричний розрахунок випрямного моста, реалізованого на діодах VD1–VD4, а також ємнісного згладжувального фільтра на конденсаторі C3 відповідно до вимог, наведених у джерелі [1].

Далі представлено принципову електричну схему випрямляча з ємнісним фільтром, зображену на рисунку 2.2:

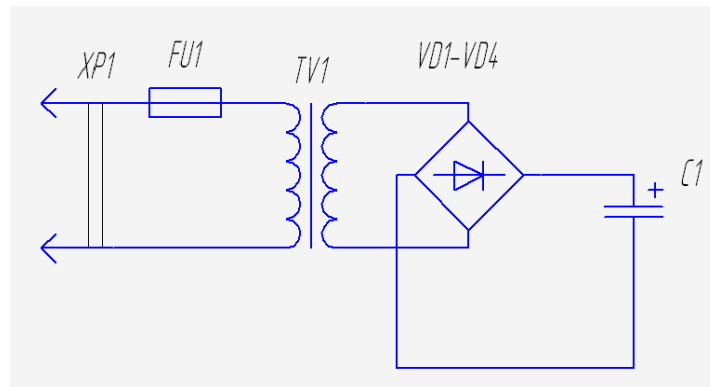


Рисунок 2.22 – Схема електрична принципова випрямляча та ємнісного фільтра

- Номінальна випрямлена напруга $U_0=1.2 \text{ В}$;
- Номінальний струм навантаження $I_0=0.5 \text{ А}$;
- Коефіцієнт пульсацій $K_{\text{п0}}=0,03 \text{ \%}$;
- Номінальна напруга мережі $U_1=220 \text{ В}$;
- Номінальна частота мережі $f_{\text{М}}=50 \text{ Гц}$.

Визначення основних параметрів і вибір діодів.

- $U_{\text{зв}}$ – зворотна напруга;
- $I_{\text{пр.сер}}$ – середнє значення прямого струму;
- $I_{\text{м}}$ – амплітуда імпульсного струму.

В подальшому процесі розрахунку випрямлячів ці значення параметрів діодів уточнюються.

Таблиця 2.2 Формули для розрахунку мостового випрямляча

A	$U_{зв.}$	$I_{пр.сер.}$	I_m	U_{2x}	I_2
$1,6 \frac{r}{R_f}$	$1,4U_{2x} \approx 1,5U_0$	$\frac{I_0}{2}$	$0,5FI_0 \approx 3,5I_0$	BU_0	$\frac{DI_0}{\sqrt{2}}$

$$U_{зв.} = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8(B), \quad (2.1)$$

$$I_{пр.сер.} = \frac{0,5}{2} = 0,25(A), \quad (2.2)$$

$$I_m = 3,5 \cdot 0,5 = 1,75(A), \quad (2.3)$$

.Згідно з довідковими даними щодо напівпровідникових діодів підбираємо тип діода таким чином, щоб його параметри задовольняли вимоги схеми: максимальна допустима зворотна напруга $U_{зв.мах}$ повинна перевищувати розраховане значення зворотної напруги $U_{зв.}$, а максимально допустимий середній прямий струм $I_{пр.сер.мах}$ має бути більшим за розрахунковий струм I_m .

Відповідно до отриманих розрахункових параметрів для схеми обираємо з довідника чотири діоди типу КД522В.

Розрахунок опору навантаження.

$$R_f = \frac{U_0}{I_0} \quad (2.4)$$

$$R_n = \frac{1,2}{0,5} = 2,5(Ом).$$

Визначення активного опору обмоток трансформатора.

Попередньо визначаємо потужність навантаження:

$$P_0 = U_0 \cdot I_0, \quad (2.5)$$

$$P_0 = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6(Bm).$$

Тоді активний опір обмоток трансформатора $r_{од}$ вибираємо в межах:

$$r_{TP} = (0,05...0,08)R_{\pi} \quad (2.6)$$

$$r_{TP} = 0,07 \cdot 2,5 = 0,17(Ом) \quad (2.7)$$

Розрахунок прямого опору випрямляючого діода за наближеною формулою:

$$r_{np} \approx \frac{U_{np.сep}}{3 \cdot I_{np.сep}} \quad (2.8)$$

де $U_{np.сep}$ – середня пряма напруга діода, В (з довідника).

$$r_{np} \approx \frac{1}{3 \cdot 0,25} = 1,3(Ом) \quad (2.9)$$

Визначення активного опору фази випрямляча r за формулою:

$$r = 1,4 + 2 \cdot 0,22 = 1,84(Ом) \quad (2.10)$$

Розрахунок параметрів вторинної обмотки трансформатора.

Використовуючи залежності, наведені в таблиці 2.2, обчислюють напругу вторинної обмотки трансформатора в режимі холостого ходу U_{2x} , а також діюче значення струму вторинної обмотки I_2 :

$$U_{2x} = \frac{1,5U_0}{1,4}, \quad (2.11)$$

$$U_{2x} = \frac{1,5 \cdot 1,2}{1,4} = 1,28(В),$$

$$I_2 = \frac{DI_0}{\sqrt{2}}, \quad (2.12)$$

$$I_2 = \frac{1 \cdot 1}{\sqrt{2}} = 0,7(А).$$

Визначення ємності конденсатора фільтра за формулою:

$$C_0 = \frac{H}{rK_{i0}}, \quad (2.13)$$

де C_0 – ємність, мкФ;

r – опір, Ом.

$$C_0 = \frac{300}{1,84 \cdot 0,03} = 3300,5(\text{мкФ}) \quad (2.14)$$

Розраховуємо робочу напругу:

$$U_{\text{роб}} = \sqrt{2}U_{2x} \quad (2.15)$$

$$U_{\text{роб}} = 1,4 \cdot 53,7 = 75(\text{В}) \quad (2.16)$$

Вибираємо тип конденсатора з довідника за параметрами $C_{0 \text{ ном}}$ і $U_{\text{роб}}$.

У складі згладжувального фільтра використовуються електролітичні конденсатори типу ЕСАР з номінальною ємністю 3300 мкФ та допустимою робочою напругою 75 В, що забезпечує необхідний запас за напругою та стабільність функціонування пристрою.

2.3 Конструктивний розрахунок друкованого монтажу

Розрахунок друкованого монтажу виконується у три етапи:

Аналіз параметрів у режимі змінного струму;

Розрахунок характеристик за постійним струмом;

Конструктивно-технологічний розрахунок.

З урахуванням технологічних можливостей виробництва визначаються спосіб виготовлення друкованої плати та її клас точності. Для даного виробу обрано хімічний метод виготовлення друкованої плати та 3-й клас точності.

Односторонні друковані плати (ОДП) мають низку характерних особливостей. До їх переваг належать:

Забезпечення підвищеної точності виконання провідникового рисунка;

Можливість монтажу навісних компонентів на поверхню, протилежну стороні пайки, без потреби у додатковій ізоляції;

Використання неізольованих перемичок;

Низька собівартість конструкції.

До недоліків ОДП відносяться:

Обмежена щільність компоновання (зазвичай не більше 1,5 ел/см³);

Недостатня теплостійкість і механічна міцність контактних майданчиків.

Далі визначається мінімальна ширина друкованого провідника, мм, для кіл живлення та заземлення за умов роботи на постійному струмі.

$$b_{\min 1} = \frac{I_{\max}}{i_{\text{доп}} \cdot t} = \frac{6A}{20 \frac{A}{\text{мм}^2} \cdot 35 \text{мм}} = 8.57 \text{мм} \quad (2.17)$$

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

Визначається із аналізу принципової схеми; $I_{\max} = 6A$;

$i_{\text{доп}} = 20A/\text{мм}^2$ – допустима густина струму, вибирається в залежності від методу виготовлення плати з табл.1

$t = 35 \text{мм}$ - товщина провідника, мм.

Таблиця 2.1- Допустима густина в залежності від методу виготовлення

Метод виготовлення	товщина фольги t , мм	Допустима густина струму, $j_{\text{доп}}$ А / мм ²	Питомий опір, ρ , Ом мм ² / м
Хімічний: внутрішні шари БДП, зовнішні шари ОДП, ДПП	20, 35, 50 20, 35, 50	15 20	0,050
Комбінований позитивний	20 35 50	75 48 38	0,0175
Електрохімічний	--	25	0,050

Оскільки друкована плата належить до 3-го класу точності, для якого мінімальна допустима ширина провідників становить 0,65 мм, приймаємо саме це значення як мінімальну ширину провідникових доріжок.

Далі визначається мінімальна ширина провідника, мм, з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

$$b_{\min 2} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot l}{U_{\text{доп}} \cdot t} = \frac{0,05 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 6A \cdot 0,13 \text{м}}{10V \cdot 35 \text{мм}} = 1,11 \text{мм} \quad (2.18)$$

де ρ - питомий об'ємний опір згідно табл.1.

l – довжина провідника, 0.13 м

Допустиме значення падіння напруги $U_{\text{доп}}$ визначається за результатами аналізу принципової електричної схеми та не повинно перевищувати 5 % від напруги живлення транзисторів. При цьому його

величина має бути меншою за граничне значення, встановлене вимогами щодо завадостійкості мікросхем.

З огляду на те, що друкована плата належить до 3-го класу точності, мінімально допустима ширина струмопровідних доріжок має становити 0,25 мм.

Визначаємо номінальне значення діаметрів монтажних отворів d :

$$d = d_E + |\Delta d_{н.в.}| + r \quad (2.19)$$

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

$\Delta d_{н.в.}$ – 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.

Отримані в результаті розрахунку значення діаметрів d приводяться у відповідність до нормалізованого ряду типорозмірів отворів: 1,1; 1,3; 1,5 мм.

$d_{E(1)} = 0,6$ для малопотужних резисторів С1-4 -0,125, конденсаторів електролітичних ЕСАР, конденсаторів керамічних СС4;, діодів

$d_{E(2)} = 1,0$, для мікросхем, для транзисторів і для підпаювання провідників

$$d_{(1)} = d_E + |\Delta d_{н.в.}| + r = 0,6 + |\pm 0,1| + 0,2 = 0,9 \text{ мм}, \quad (2.20)$$

$$d_{(2)} = d_E + |\Delta d_{н.в.}| + r = 1,0 + |\pm 0,1| + 0,2 = 1,5 \text{ мм},$$

де d_E – максимальний діаметр виводу встановленого ЕРЕ

$\Delta d_{н.в.}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру

монтажного отвору (табл.2.2)

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: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм.

Здійснюється розрахунок діаметра контактних площадок. Для односторонніх друкованих плат (ОДП), а також зовнішніх шарів багат шарових

друкованих плат (БДП), виготовлених фотохімічним способом, мінімально допустиме значення діаметра контактних площадок становить:

$$D_{min} = D_{1min} + 1,5h\phi, \quad (2.21)$$

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:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (2.22)$$

де Δd - допуск на отвір.

$$d_{max(1)} = 0,9 + 0,1 + 0,1 = 1,1 \text{ мм,}$$

$$d_{max(2)} = 1,3 + 0,1 + 0,1 = 1,5 \text{ мм,}$$

$$D_{1min(1)} = 2 \left(0,06 + \frac{1,1}{2} + 0,2 + 0,4 \right) = 2,42 \text{ мм,} \quad (2.23)$$

$$D_{1min(2)} = 2 \left(0,06 + \frac{1,5}{2} + 0,2 + 0,4 \right) = 2,82 \text{ мм,}$$

$$D_{min(1)} = 2,42 + 1,5 \cdot 0,035 = 2,4 \text{ мм,} \quad (2.24)$$

$$D_{min(2)} = 2,82 + 1,5 \cdot 0,035 = 2,8 \text{ мм,}$$

Максимальний діаметр контактної площадки:

$$D_{max} = D_{min} + (0,02 \dots 0,06), \quad (2.25)$$

$$D_{max(1)} = 2,4 + 0,02 = 2,42 \text{ мм,}$$

$$D_{max(2)} = 2,8 + 0,02 = 2,82 \text{ мм,}$$

На етапі проєктування друкованої плати здійснюється обґрунтування геометричних параметрів провідникових доріжок. Для односторонніх друкованих плат, а також для зовнішніх шарів багат шарових друкованих плат, виготовлених із застосуванням хімічної технології, встановлюється гранично допустиме мінімальне значення ширини провідників:

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1.5h\phi, \quad (2.26)$$

де $b_{1\min}$ - мінімальна ефективна ширина провідника, мм. $b_{1\min} = 4,28$ мм для плат 1-, 2-, 3- го класу точності.

$$b_{\min} = 4,28 + 1.5 \cdot 0,035 + 0,03 = 4,36 \text{ мм}$$

Одночасно визначаються нормативні відстані між елементами провідного малюнка. Мініально допустимий зазор між провідниковою доріжкою та контактною площадкою регламентується вимогами технології виготовлення та повинен відповідати встановленим нормам:

$$S_{1\min} = L_0 - \left[\left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_p \right) + \left(\frac{d_{\max}}{2} + \delta_d \right) \right], \quad (2.27)$$

$$S_{1\min(1)} = 2,5 - \left[\left(\frac{2,42}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,1}{2} + 0,25 \right) \right] = 0,09 \text{ мм},$$

$$S_{1\min(2)} = 2,5 - \left[\left(\frac{2,82}{2} + 0,4 \right) + \left(\frac{1,5}{2} + 0,25 \right) \right] = -0,31 \text{ мм}.$$

де L_0 – відстань між центрами відповідних елементів; δ - допуск на розташування провідників

Таблиця 2.2 – Допуски на розташування отворів і контактних площадок

Параметри	Клас точності ДП			
Мінімальне значення номінальної ширини провідника b , мм	0,60	0,45	0,25	0,15
Номінальна відстань між провідниками s , мм	0,60	0,45	0,25	0,15
Відношення діаметра отвору до товщини плати γ	$\geq 0,50$	$\geq 0,50$	$\geq 0,33$	$\geq 0,33$
Допуск на отвір Δd , мм, без металізації, $\varnothing \leq 1$ мм	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
Теж саме, $\varnothing > 1$ мм.	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
Допуск на отвір Δd , мм, з металізацією, $\varnothing \leq 1$ мм	$+ 0,10$	$+ 0,10$	$+ 0,05$	$+ 0,05$
Теж саме, $\varnothing > 1$ мм.	$- 0,15$	$- 0,15$	$- 0,10$	$- 0,15$
Допуск на ширину провідника Δb , мм, без покриття	$+ 0,15$	$+ 0,15$	$+ 0,10$	$+ 0,10$
Теж саме, з покриттям	$- 0,20$	$- 0,20$	$- 0,15$	$- 0,15$
Допуск на розташування отворів δd , мм, при розмірі плати менше 180 мм	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$+0,03$	$\pm 0,03$
Теж саме, при розмірі плати від 180 до 360 мм	0,05	0,05	0,05	0,05
Теж саме, при розмірі плати більше 360 мм	$+ 0,25$	$+ 0,15$	$+ 0,10$	$\pm 0,05$
Допуск на розташування контактних площадок δp , мм, на ОДП і ДДП при розмірі плати менше 180 мм	$- 0,20$	$- 0,10$	$- 0,08$	
Теж саме, при розмірі плати від 180 до 360 мм	0,20	0,15	0,08	0,05
Теж саме, при розмірі плати більше 360 мм	0,25	0,20	0,10	0,08
Допуск на розташування контактних площадок δp , мм, на БДП при розмірі плати менше 180 мм	0,30	0,25	0,15	0,10
Теж саме, при розмірі плати від 180 до 360 мм	0,35	0,25	0,20	0,15
Теж саме, при розмірі плати більше 360 мм	0,40	0,30	0,25	0,20
Допуск на підтравлення діелектрика БДП Δd_{tr} , мм	0,45	0,35	0,30	0,25
Допуск на розташування контактних площадок δp , мм, на БДП при розмірі плати менше 180 мм	0,03	0,03	0,03	0,03
Теж саме, при розмірі плати від 180 до 360 мм	0,40	0,35	0,30	0,25
Теж саме, при розмірі плати більше 360 мм	0,50	0,45	0,40	0,35
Допуск на розташування провідників на ОДП і ДДП, δp , мм	0,55	0,50	0,45	0,40
Теж саме, на БДП	0,15	0,10	0,05	0,03
Відстань від краю просверленого отвору до краю контактної площадки b_M	0,20	0,12	0,07	0,05
	0,06	0,045	0,035	0,025

Мінімальна відстань між двома контактними площадками:

$$S_{2min} = L_0 - d_{max} + 2\delta, \quad (2.28)$$

$$S_{2min1} = 2,5 - (1,1 + 2 \cdot 0,4) = 0,6 \text{ мм},$$

$$S_{2min2} = 2,5 - (1,5 + 2 \cdot 0,4) = 0,2 \text{ мм}.$$

Мінімальна відстань між двома провідниками:

$$S_{3min} = L_0 - (d_{max} + 2\delta_d) \quad (2.29)$$

$$S_{3min1} = 2,5 - (1,1 + 2 \cdot 0,15) = 1,1 \text{ мм},$$

$$S_{3min2} = 2,5 - (1,5 + 2 \cdot 0,15) \text{ мм}.$$

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що необхідна ширина друкованого провідника становить 4,36 мм.

У результаті аналізу розрахункових зазорів між провідниковими доріжками та контактними площадками, а також між контактними площадками між собою, встановлено отримання від'ємних значень. Це означає, що для забезпечення технологічної реалізації плати необхідно застосувати контактні площадки зі зміненою (нестандартною) геометрією та передбачити локальне зменшення ширини провідників у відповідних зонах.

Розрахункова мінімальна відстань між провідником і контактною площадкою становить 0,09 мм. Однак згідно з вимогами 3-го класу точності допустиме значення має бути в межах 0,5–0,6 мм. У даному проєкті прийнято відстань 0,6 мм.

За результатами виконаного розрахунку мінімальна відстань між двома контактними площадками становить 0,2 мм. Проте для 3-го класу точності вона також повинна бути в межах 0,5–0,6 мм. Тому прийняте значення — 0,6 мм.

Мінімальна відстань між двома провідниками за розрахунками дорівнює 0,3 мм. Водночас стандарт для 3-го класу точності вимагає 0,5–0,6 мм. У цьому випадку вибирається значення 0,6 мм.

Таким чином, через обмеження, пов'язані з технологічними можливостями виробництва, геометричні параметри провідників та контактних площадок приведені у відповідність до норм 3-го класу точності.

3 НАУКОВО ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок надійності проектного виробу

З огляду на те, що моменти виникнення відмов і відновлення працездатності мають випадковий характер, точне прогнозування часу та місця їх появи є неможливим. Тому оцінювання надійності здійснюється з використанням імовірнісних показників.

Імовірність безвідмовної роботи елемента $p(t)$ або системи або системи протягом часу t визначається як імовірність того, що за встановлених умов експлуатації протягом цього інтервалу не виникне жодної відмови.

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ характеризує умовну густину ймовірності настання відмови в заданий момент часу за умови, що до цього часу система функціонувала безвідмовно.

Взаємозв'язок між інтенсивністю відмов та імовірністю безвідмовної роботи задається такою залежністю:

$$p(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (3.1)$$

Розрахунок надійності за раптовими експлуатаційними відмовами при сталому значенні інтенсивності відмов ($\lambda_o = const$) виконується для інтервалу нормальної роботи пристрою, коли початковий період експлуатації (етап входження в режим) уже завершено, а відмови, зумовлені зношуванням і старінням, ще не проявляються. Для складних різнорідних радіоелектронних систем інтенсивність відмов часто може розглядатися як сталий параметр навіть на початковій стадії процесу зношування.

Методика розрахунку базується на принципі визначення показників надійності всієї системи на основі характеристик надійності її окремих елементів. Такий підхід дозволяє виконувати розрахунок на стадії

проектування, коли застосовуються відомі за характеристиками вузли та компоненти.

Для виконання розрахунків необхідно уточнити наведені раніше вирази для показників надійності елементів — $p(t)$, $q(t)$, $\omega(T)$, T_{CP} , T_0 — з урахуванням того, що інтенсивність відмов приймається сталою.

За цієї умови формула для ймовірності безвідмовної роботи набуває такого вигляду:

$$p(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] = \exp(-\lambda_0 t) . \quad (3.2)$$

Зазначена залежність відповідає експоненціальному закону надійності. При цьому аргумент t трактується не як абсолютний календарний час, а як тривалість інтервалу, на якому виконується оцінювання надійності. За умови сталої інтенсивності відмов ($\lambda_0 = \text{const}$) імовірність безвідмовної роботи на рівних часових інтервалах t не залежить від вибору початкового моменту відліку.

За таких умов середнє напрацювання до відмови визначається за виразом:

$$T_{CP} = \int_0^{\infty} p(t) dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda_0 t) dt = \frac{1}{\lambda_0} . \quad (3.3)$$

Згрупувавши рівнонадійні елементи, отримаємо:

$$p_c(t) = \exp\left(-t \sum_{j=1}^m \lambda_{0j} N_j\right), \quad (3.4)$$

де λ_{0j} — інтенсивність відмов j -ої групи;

N_j — кількість елементів j -ої групи;

m — кількість груп рівнонадійних елементів.

Інтенсивність відмов пристрою в цілому:

$$\lambda_C = \sum_{j=1}^m \lambda_{0j} N_j . \quad (3.5)$$

Орієнтовний розрахунок показників надійності проводиться на етапі розроблення технічного проєкту із використанням наведеного вище математичного апарату. Значення інтенсивності відмов λ для окремих складових елементів пристрою приймаються відповідно до довідкових нормативних джерел.

Під час уточненого розрахунку надійності додатково враховуються умови експлуатації, температурний режим та електричні навантаження. При цьому використовують такі співвідношення:

$$p_c(t) = \exp\left(-k_\lambda \sum_{j=1}^m \lambda_j N_j\right), \quad (3.6)$$

$$\lambda_C = k_\lambda \sum_{j=1}^m \lambda_j N_j, \quad (3.7)$$

$$\lambda_j = \lambda_{0j} \alpha_j, \quad (3.8)$$

$$k_\lambda = k_{\lambda 1} k_{\lambda 2} k_{\lambda 3}, \quad (3.9)$$

λ_j – інтенсивність відмов j -ої рівнонадійної групи елементів за умов експлуатації в заданому режимі;

λ_{0j} – інтенсивність відмов тієї ж групи, але для номінальних умов роботи;

Для j -ої групи елементів вводиться поправочний коефіцієнт α_j , який відображає вплив температури навколишнього середовища та електричного режиму роботи на елемент.

Коефіцієнт РЕА; k_λ використовується для кількісної оцінки умов експлуатації радіоелектронної апаратури.

До його складових належать:

1. $k_{\lambda 1}$ – коефіцієнт, що враховує дію механічних факторів (вібрації, ударні навантаження);
2. $k_{\lambda 2}$ – коефіцієнт, що відображає вплив кліматичних умов (температура, вологість);
3. $k_{\lambda 3}$ – поправка на умови роботи при зниженому атмосферному тиску.

Величина поправочного коефіцієнта α визначається температурним режимом експлуатації та значенням коефіцієнта навантаження k_H . Вони, так само як і значення інтенсивностей відмов елементів, визначаються за довідниковими таблицями.

Коефіцієнт навантаження встановлюється як відношення фактичного навантаження елемента (за параметром потужності, струму чи напруги) до його номінального навантаження, визначеного нормативно-технічною документацією.

Коефіцієнт навантаження за потужністю визначається як:

$$K_P = \frac{P_P}{P_H}, \quad (3.10)$$

де P_P – робоче значення потужності розсіювання;

P_H – номінальне значення потужності розсіювання.

Коефіцієнт навантаження по напрузі:

$$K = \frac{U_P}{U_H}, \quad (3.11)$$

де U_P – робоче значення напруги;

U_H – номінальне значення напруги.

При проектуванні коефіцієнт електричного навантаження, зазвичай, вибирається в межах від 0,4 до 0,8. Значення температури та коефіцієнта навантаження можуть бути визначені експериментально в процесі випробувань дослідного зразка або отримані розрахунковим шляхом. Типові значення поправочних коефіцієнтів наведено у довідкових джерелах.

Для виконання розрахунку надійності радіоелектронного пристрою необхідно мати такі вихідні дані:

- перелік компонентів (елементів);
- кількість елементів кожного типу; 0
- умови експлуатації;
- довідникові значення інтенсивності відмов елементів.

Розрахунок надійності виконується у такій послідовності:

На початковому етапі складається таблиця вихідних даних, у якій задаються конструктивні характеристики елементів, зокрема: для транзисторів — кремнієві, германієві або польові; для конденсаторів — електролітичні, керамічні тощо. Далі встановлюється кількість елементів у кожній групі, за довідковими таблицями визначаються поправочні коефіцієнти α_i та інтенсивності відмов λ_0 . Після цього обчислюється інтенсивність відмов λ_i для кожної групи елементів.

З урахуванням умов експлуатації за довідковими таблицями визначаються відповідні поправочні коефіцієнти, після чого обчислюється сумарний коефіцієнт K_λ . У разі відповідності умов експлуатації лабораторним значення K_λ приймають рівним 1.

Інтенсивність відмов розраховується згідно з формул.

Середнє напрацювання до відмови визначається за формулою з урахуванням співвідношення (1.30).

Імовірність безвідмовної роботи радіопристрою обчислюється за формулою для низки значень часу t_p . Рекомендується використовувати від 6 до 10 різних значень t_p .

На основі отриманих результатів будується графік залежності імовірності безвідмовної роботи від часу експлуатації t_p .

Значно прискорити процес розрахунку надійності РЕА дозволяє використання комп'ютерної програми NAD_Release. Щоб забезпечити ефективність роботи з програмою, до неї висуваються такі вимоги:

Програма повинна забезпечувати обчислення ймовірності безвідмовної роботи та середнього напрацювання до відмови з урахуванням конкретних умов експлуатації.

Повинна бути реалізована можливість збереження отриманих результатів у файл із подальшою підтримкою друку та імпорту в інші програмні середовища для додаткової обробки.

Програмний засіб має містити інструменти графічної візуалізації, зокрема побудову графіка залежності ймовірності безвідмовної роботи від часу.

Необхідною є наявність вбудованої бази даних інтенсивностей відмов для різних електрорадіоелементів та електромеханічних вузлів радіоелектронної апаратури.

Користувач повинен мати можливість редагувати цю базу даних з урахуванням характеристик конкретного виробу. Програма має підтримувати доповнення бази новими елементами та їх експлуатаційними характеристиками. У процесі виконання розрахунків має бути забезпечена можливість коригування значень інтенсивності відмов та інших експлуатаційних параметрів. Інтерфейс програми має бути зручним, наочним та легко зрозумілим користувачу.

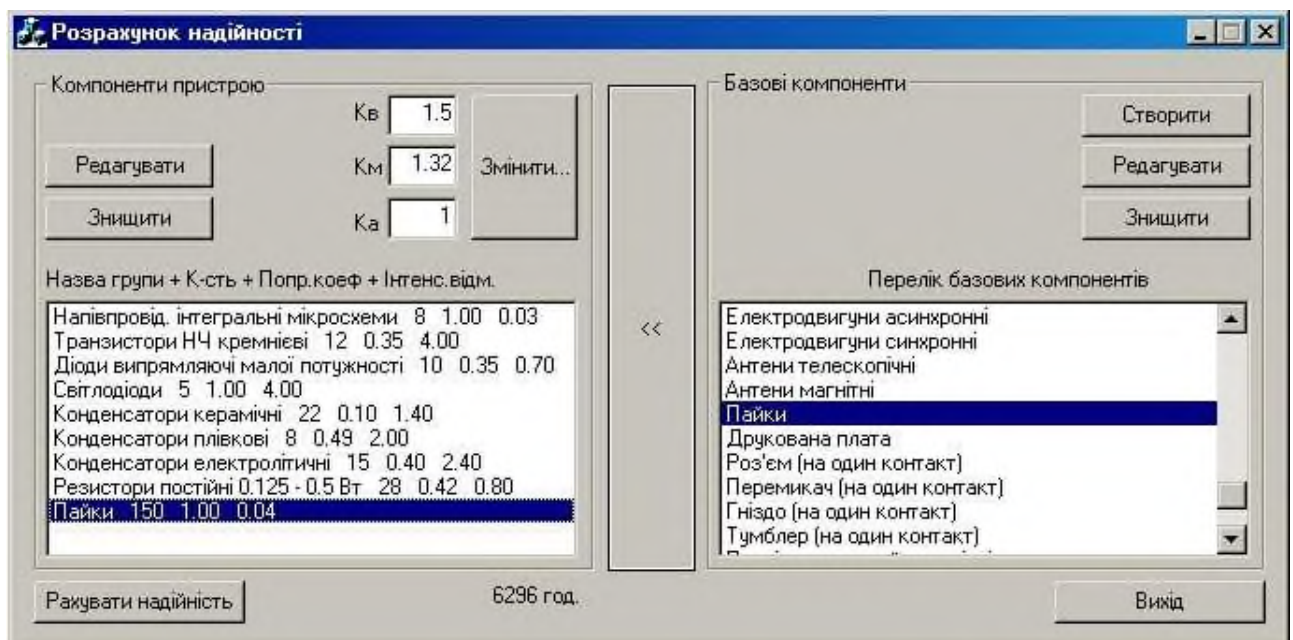


Рисунок 3.1 – Головне вікно програми розрахунку надійності

До файлу виводяться такі результати:

зведена таблиця, у якій наведено склад елементної бази пристрою, включно з найменуваннями груп компонентів, кількістю елементів у кожній групі, значеннями інтенсивностей відмов, відповідними поправочними коефіцієнтами та розрахованими сумарними інтенсивностями відмов для кожного виду компонентів;

значення коефіцієнтів впливу $k_{\lambda 1}$, $k_{\lambda 2}$, $k_{\lambda 3}$;

сумарна інтенсивність відмов пристрою;

середнє напрацювання до відмови;

набір даних, необхідних для побудови графічної залежності ймовірності безвідмовної роботи від часу експлуатації.

Коефіцієнти впливу:

Коефіцієнт механічних впливів: 1

Коефіцієнт впливу вологості і температури: 1

Коефіцієнт атомосферних впливів: 1

Результати розрахунку:

Інтенсивність відмов: 4.7447×10^{-5} 1/год

Середня наробка до відмови: 21076.2 год.

$t = 10$ год. $P(t) = 0.999526$;

$t = 100$ год. $P(t) = 0.995267$;

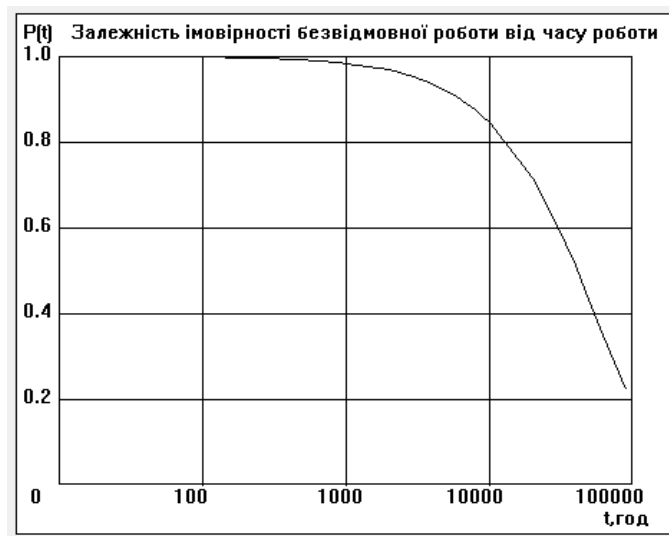
$t = 1000$ год. $P(t) = 0.953661$;

$t = 10000$ год. $P(t) = 0.622215$;

$t = 100000$ год. $P(t) = 0.008698$.

Таблиця 3.1 - Показники надійності проєктованого приладу

№ п/п	Назва групи елементів	К-сть шт.	$K_{\text{попр}}$	$I_{\text{відм}} * 1e-06$ 1/год	$K\text{-}стb * K_{\text{наз}} * I_{\text{від}} * 1e\text{-}$ 06
1	Гібридні інтегральні мікросхеми	4	1	0.1	0.4
2	Транзистори НЧ кремнієві	7	0.35	4	9.8
3	Діоди випрямляючі малої потужності	3	0.35	0.7	0.735
4	Світлодіоди	3	1	4	12
5	Конденсатори керамічні	4	0.1	1.4	0.56
6	Конденсатори електролітичні	5	0.4	2.4	4.8
7	Резистори постійні 0.125 - 0.5 Вт	22	0.42	0.8	7.392
8	Резистори недротяні змінні	4	0.42	5	8.4
9	Трансформатори живлення	1	0.1	3	0.3
10	Пайки	148	1	0.02	2.96
11	Друкована плата	1	1	0.1	0.1

Рисунок 3.2 – Графік залежності $P = f(t)$

Під час розрахунку надійності пристрою були враховані всі елементи схеми з урахуванням коефіцієнтів, що характеризують вплив механічних навантажень, вологості та температури. У результаті визначено, що середнє напрацювання до відмови становить 21076,2 год.

3.2 Дослідження впливу варіації параметрів компонентів на якість роботи вхідного каскаду за допомогою системи моделювання PЕC MicroCap-8

Електричний розрахунок випрямного моста та ємнісного згладжувального фільтра на конденсаторі відповідно до призначення розглянутого каскаду, залишається відкритим питання впливу на очікувані результати непередбачуваних відхилень від номінальних значень параметрів елементів схеми, спричинених такими факторами як:

- а) вплив температури середовища на параметри схеми;
- б) можливі відхилення значень параметрів компонентів схеми в межах заданих допусків;
- в) можливі впливи паразитних ємнісних чи індуктивних зв'язків, що виникають при розміщенні елементів на платі, тощо.

Для передбачення подібних моментів доцільно скористатися моделюванням роботи схеми за різних обставин за допомогою проблемноорієнтованих пакетів, наприклад, використаного в даному випадку MicroCap-8.

Оцінки зміни коефіцієнта пульсацій від зміни параметрів ємнісного фільтра

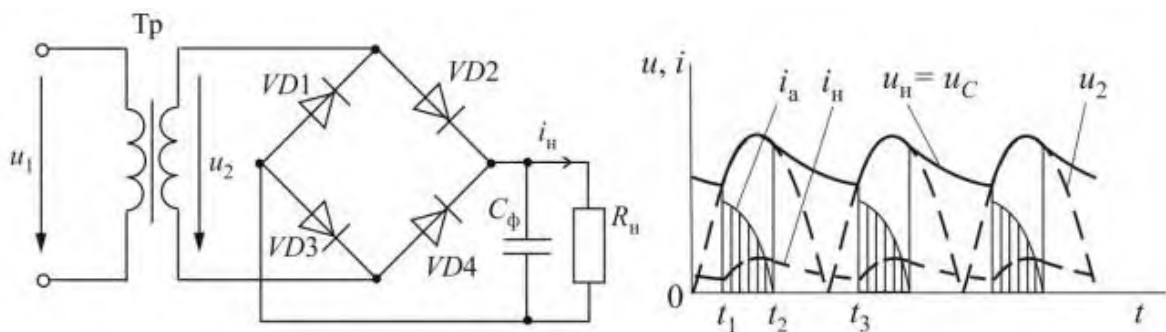


Рисунок. 3.3 Згладжування сигналу ємнісним фільтром

Залежно від величини опору навантаження для зменшення пульсацій випростуваного сигналу використовують ємнісні або індуктивні фільтри. Коефіцієнт пульсацій на виході ємнісного фільтра

$$P_{\text{вих}} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{осн}} \cdot C_{\text{ф}} \cdot R_{\text{н}}}, \quad (3.12)$$

(або коефіцієнт пульсацій на виході індуктивного фільтра

$$P_{\text{вих}} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{осн}} \cdot L_{\text{ф}} / R_{\text{н}}}.$$

Залежність (3.1) при зміні $R_{\text{н}}$ [2250—2550ом] і $C_{\text{ф}}$ [3000e-6 3600e-6ф] показано на рис. 2.

```
clear all
f=50;
% R=[2250:25:2550];
% C=[3000e-6:50e-6:3600e-6];
[X,Y]=meshgrid(2000e-6:100e-6:4600e-
6,1250:250:3550);
K=1./(2*pi.*X.*Y);
surf(X,Y,K)
%box
```

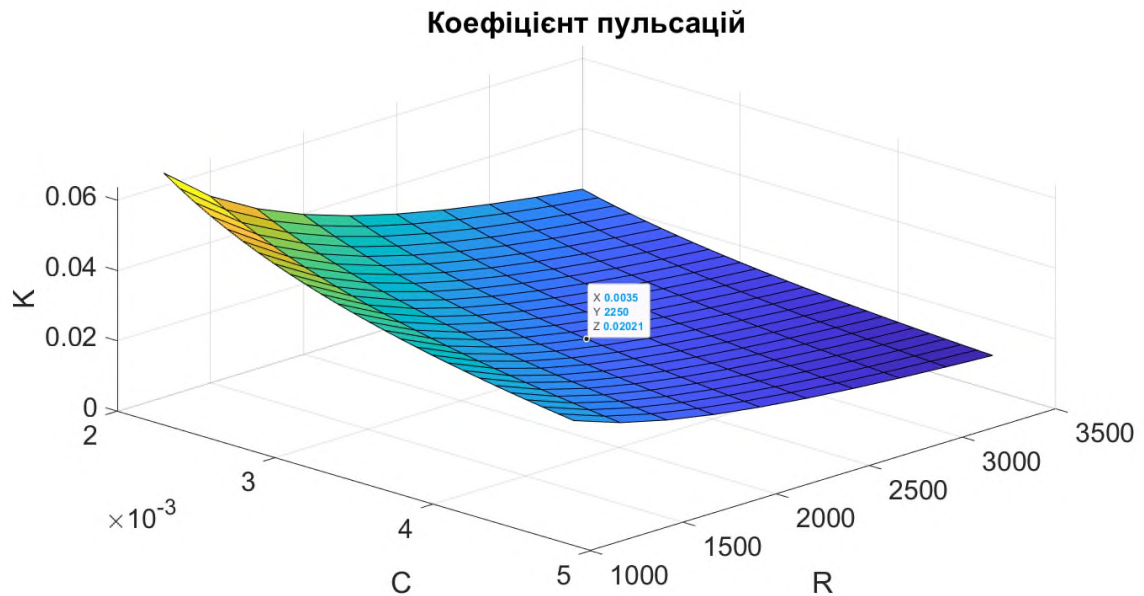


Рисунок 3.4 Залежність коефіцієнта пульсацій від параметрів згладжувального фільтра

Ввід в робочому вікні схеми випростувача супроводжується формуванням масивів даних про номінали компонентів і топологію схеми, на основі яких формується її математична модель. При цьому діоди представляються заступними схемами з врахуванням нелінійних дифузної і бар'єрної ємностей р-п переходів. Таким чином моделювання процесу полягає у формуванні і чисельному розв'язуванні системи нелінійних диференціальних рівнянь 9-го порядку з графічним виводом результату.

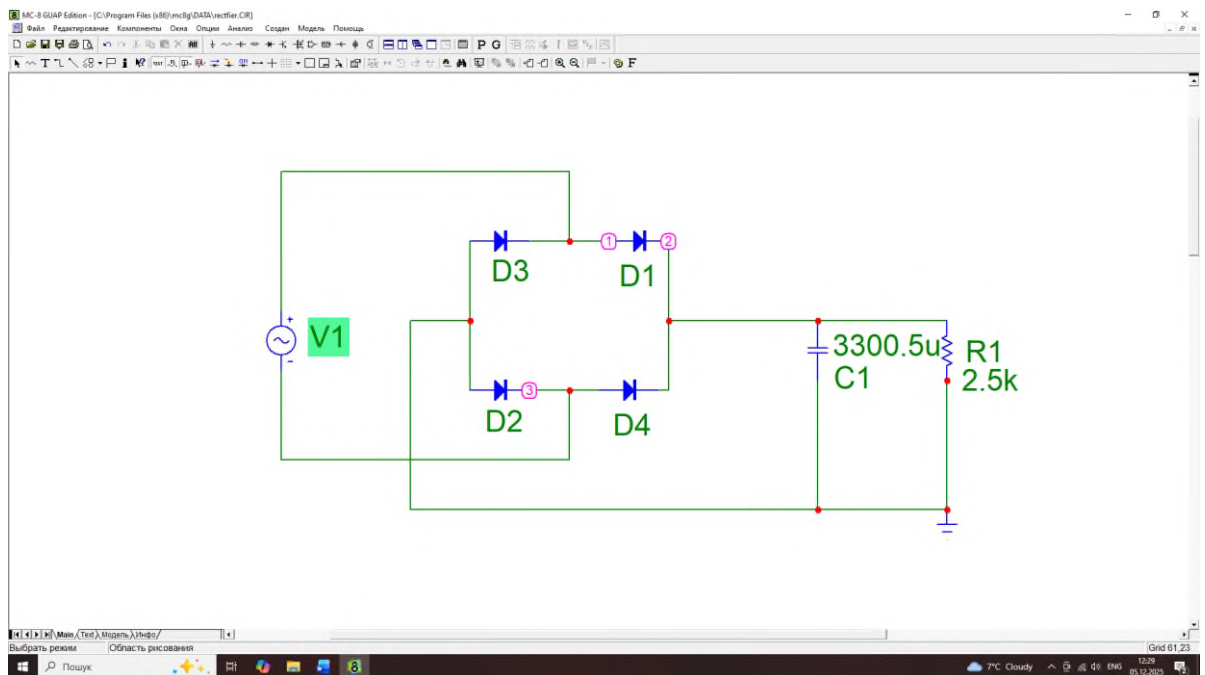


Рисунок 3.5 Схема випростувача

Результати моделювання.

На рисунку приведено Вхідний і вихідний сигнали випростувача. (діоди марки GENERIC) за значень параметрів фільтра.. Варіація C_{ϕ} , R_n або температури середовища спричиняє деякі відхилення вихідного сигналу,

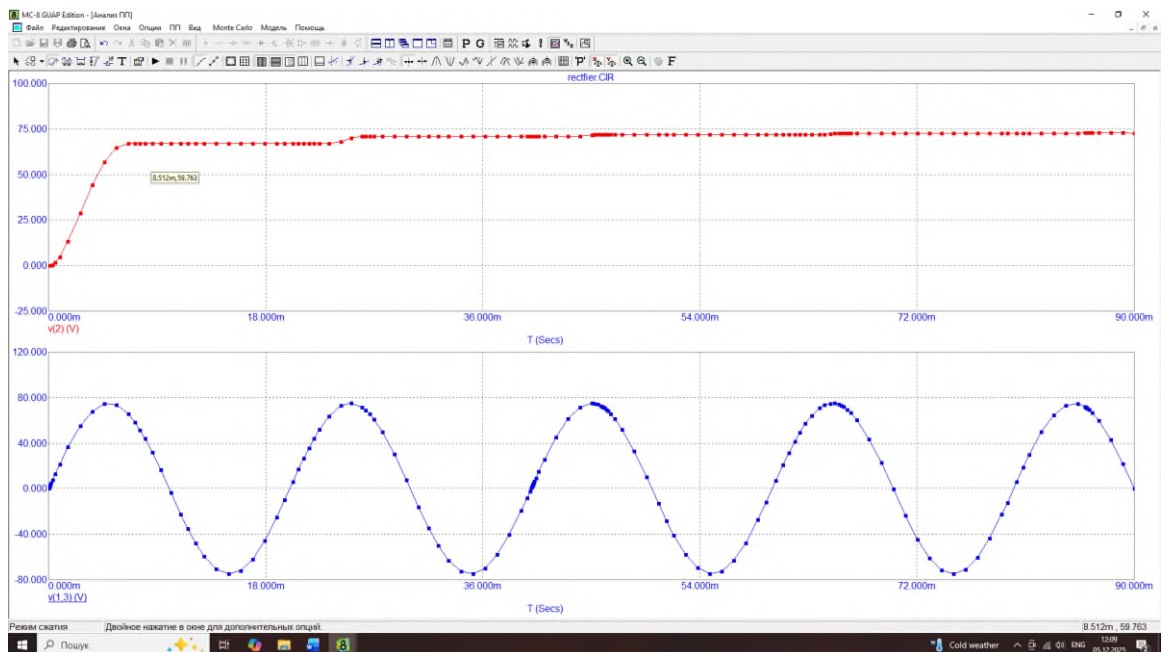


Рисунок 3.6 Вхідний і вихідний сигнали випростувача. (діоди марки GENERIC)

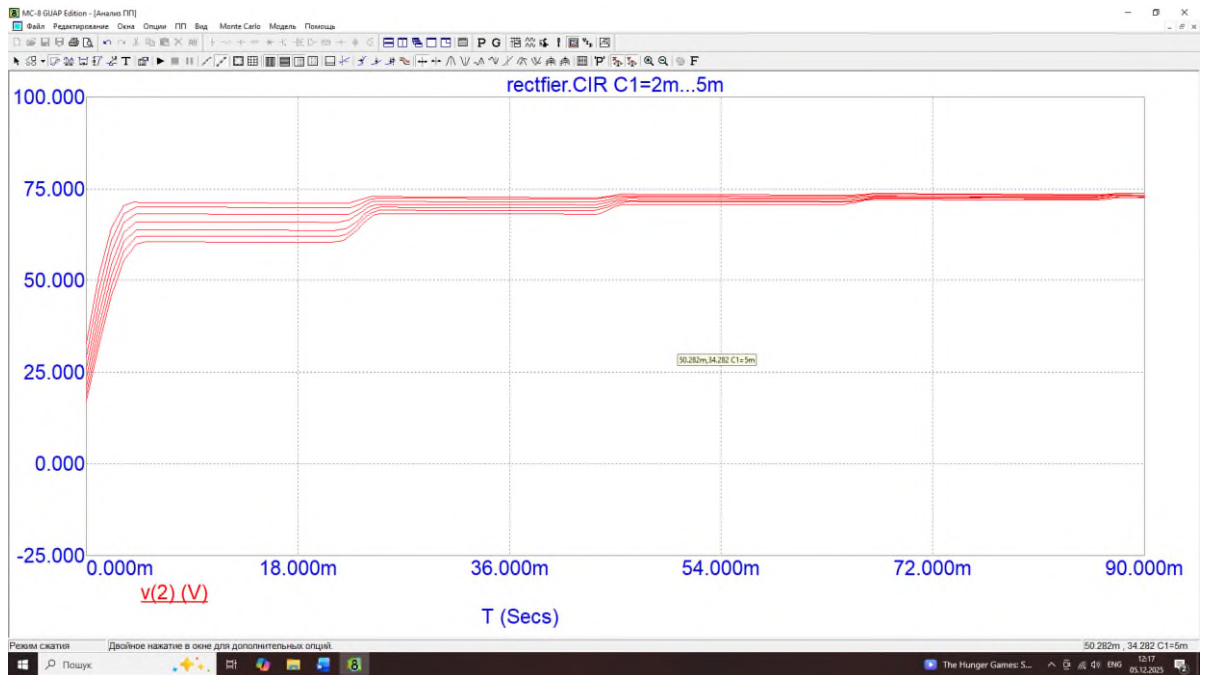


Рисунок 3.7 Вихідний сигнал при варіації ємності конденсатора згладжуючого фільтра (діоди марки GENERIC)



Рисунок 3.8 . Вихідний сигнал при варіації опору конденсатора згладжуючого фільтра (діоди марки GENERIC)



Рисунок 3.9 Вихідний сигнал при варіації температури середовища (діоди марки GENERIC)

Оскільки регулюванням параметрів згладжуючого фільтра задовільне зменшення пульсацій вихідного сигналу не досягається, підбираємо діоди з іншими характеристиками (рис.3.9, 3.10).

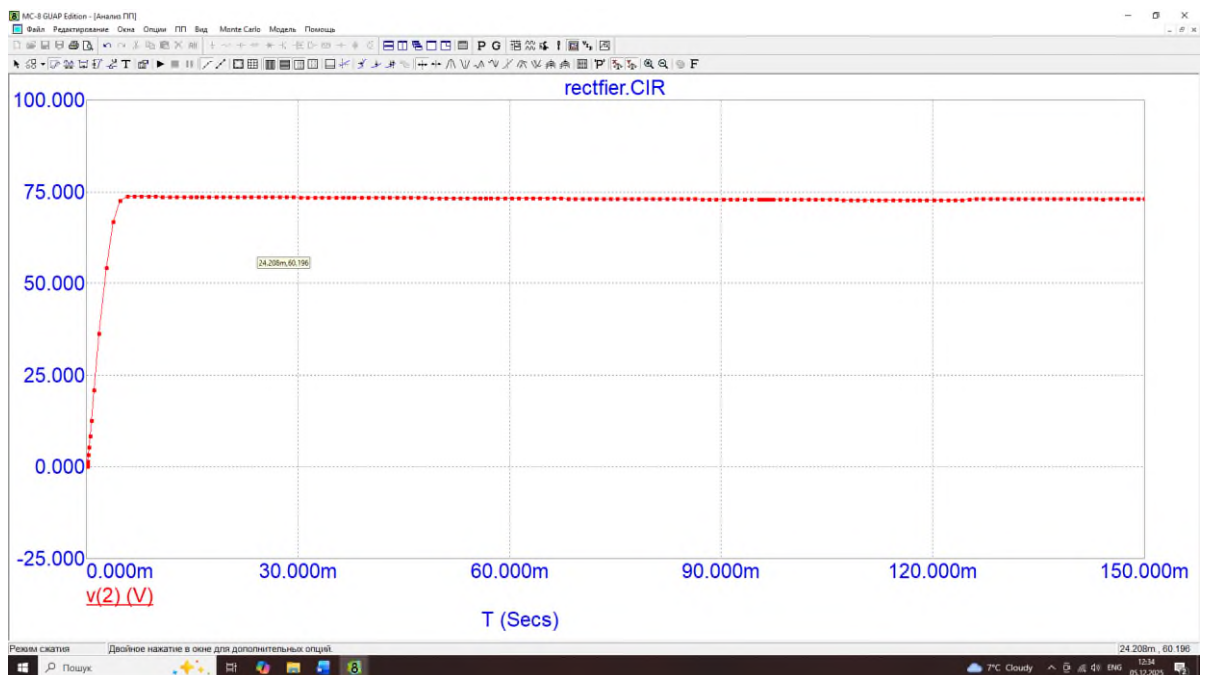


Рисунок 3.10 Вихідний сигнал (діоди марки 10BQ100)

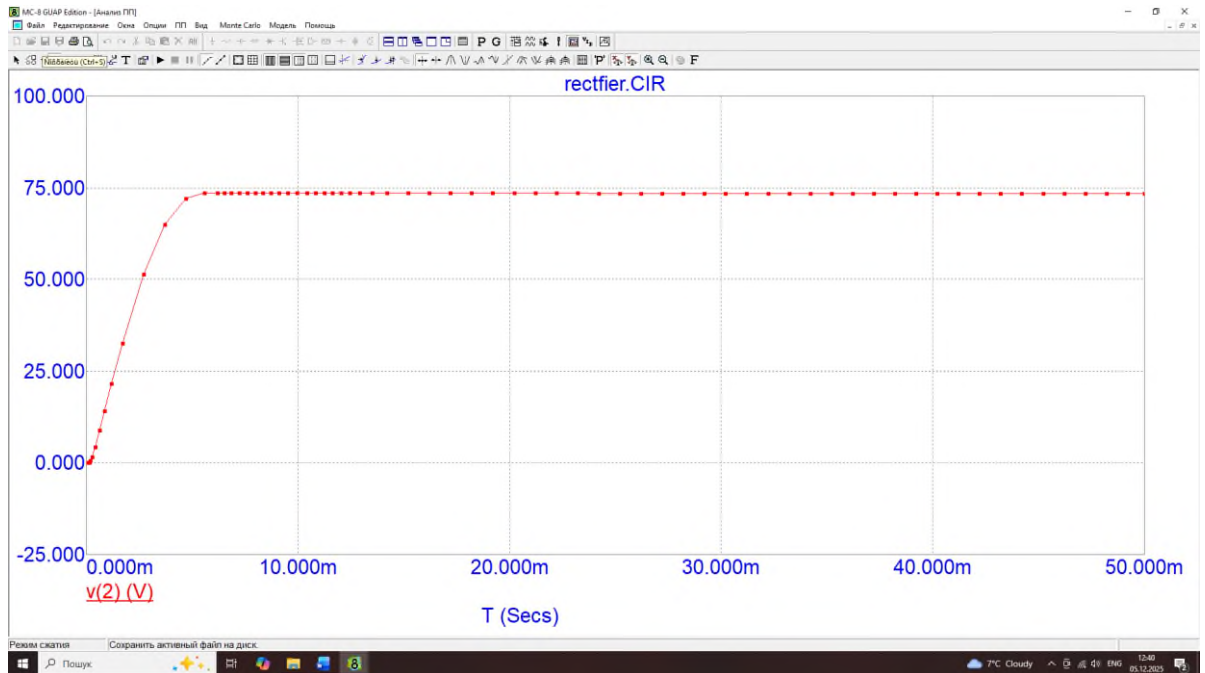


Рисунок 3.11 Вихідний сигнал (діоди марки 1N5399)

В останніх варіантах відхилення у параметрах фільтра не спостерігається (рис. 3.11, 3.12).

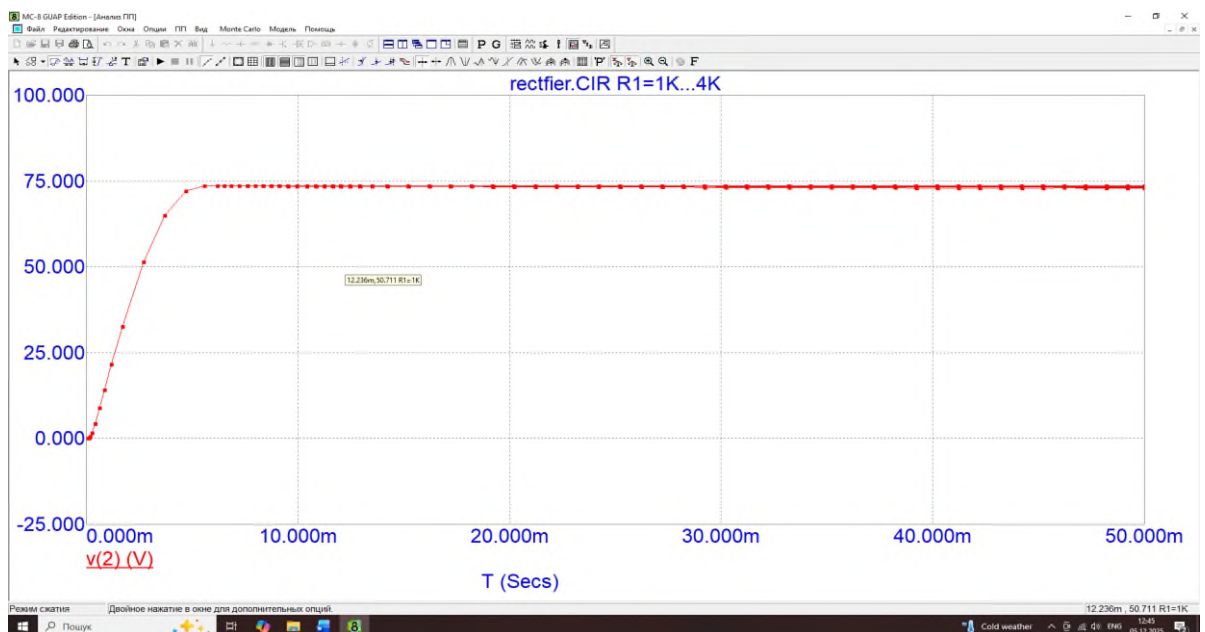


Рисунок 3.12 Вихідний сигнал при варіації опору конденсатора згладжуючого фільтра (діоди марки 1N5399)

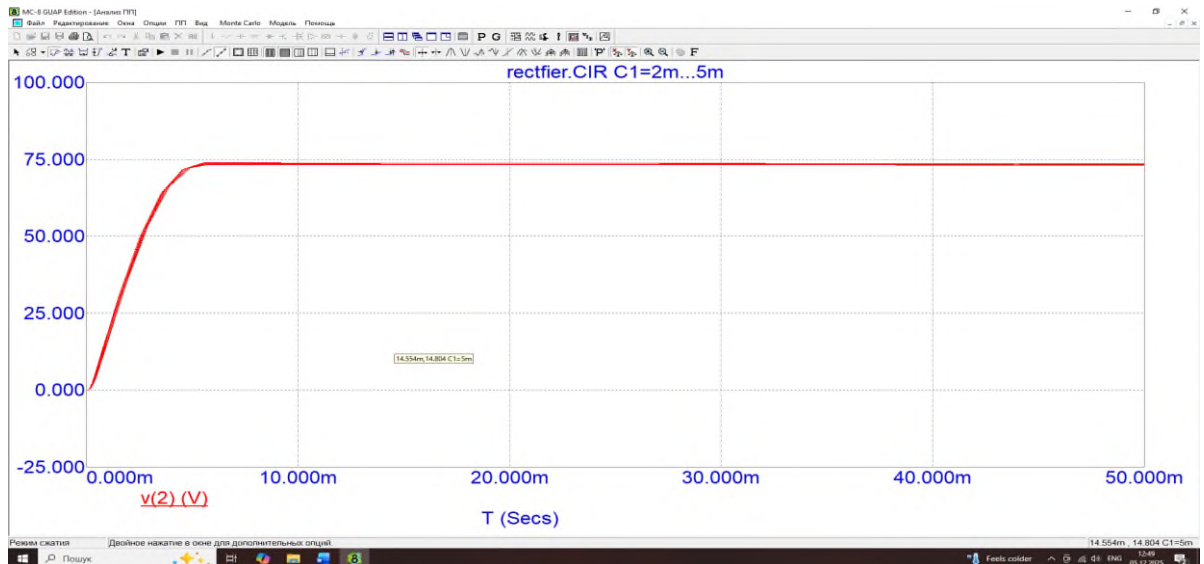


Рисунок 3.12 Вихідний сигнал при варіації ємності конденсатора згладжуючого фільтра (діоди марки 1N5399)

Застосування мостової схеми забезпечує двократне зростання випрямленого струму та напруги, проте коефіцієнт корисної дії випрямляча дещо зменшується через послідовне з'єднання діодів у робочому колі. Температурний режим середовища і варіації параметрів згладжуючого фільтра практично не впливають на функціональні показники блоку живлення за умови правильно підібраних діодів.

4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз конструкції виробу. Розрахунок споживаної потужності

Даний тип пристрою розробляється для широкого кола споживачів. Оскільки основними користувачами є люди із середнім рівнем доходу, пристрій повинен бути доступним як за вартістю, так і за експлуатаційними характеристиками.

Під час проєктування друкованої плати та вибору елементної бази було використано недорогі й поширені електрорадіоелементи. Хоча такі компоненти можуть мати значний розкид параметрів, вони забезпечують необхідні електричні характеристики за умови правильного режиму роботи. Пристрій призначений для експлуатації в нормальних кліматичних умовах; його робота при дуже низьких або високих температурах не передбачена. Забезпечити функціонування в екстремальних умовах можливо, проте це призведе до значного подорожчання елементної бази, що негативно вплине на конкурентоспроможність виробу.

Корпус пристрою виготовляється з пластмаси, що має як переваги, так і недоліки. До переваг належать низька собівартість матеріалу, привабливий зовнішній вигляд, можливість виготовлення деталей складної форми та невелика маса порівняно з металевими корпусами. Основними недоліками пластмаси є недостатня механічна міцність і низька теплопровідність, тому для пристроїв з інтенсивним тепловиділенням зазвичай застосовують металеві корпуси.

Таким чином, було створено пристрій, який має невисоку вартість, що забезпечує попит серед споживачів зі середнім рівнем забезпечення, а також здатний забезпечити стабільні електричні параметри за нормальних умов експлуатації.

Споживана пристроєм потужність має активний характер і розраховується за формулою:

$$P = U * I \quad (4.1)$$

U – напруга живлення пристрою, становить 220 В;

I – струм споживання пристрою, становить 0,25А;

$$P = 220V * 0,25A = 55 W$$

Проектований вимірювач артеріального тиску живиться від джерела постійної напруги з вихідною напругою 220 В. За умов максимального навантаження пристрій споживає потужність 55 Вт, що визначає необхідні параметри джерела живлення.

Для підвищення технологічності конструкції виробу, полегшення його складання на виробництві та забезпечення зручності розбирання під час налагодження доцільно виконувати корпус у вигляді окремих складових частин: передньої та задньої панелей, а також верхньої та нижньої кришок. Така конструкція забезпечує швидкий доступ до внутрішніх вузлів пристрою, полегшує регулювання та технічне обслуговування.

Корпус виготовляється з пластмаси. Пластикові корпуси мають низку переваг: невелика маса, привабливий зовнішній вигляд, можливість виготовлення деталей складної форми, що важко реалізувати з металевими корпусами. Основним недоліком пластмаси є низька теплопровідність і обмежена здатність до відведення тепла. У приладах, які значно нагріваються, додатково застосовують радіатори.

Виготовлення корпусу здійснюється методом лиття під тиском — одним із найпоширеніших методів у промисловості. Суть методу полягає у заповненні порожнини прес-форми розплавленим матеріалом, його ущільненні під дією тиску та подальшому охолодженні.

Для фіксації друкованого вузла в конструкції виробу передбачено чотири литі опорні стійки. Товщина стінок корпусу становить 2 мм, що забезпечує достатню механічну міцність при збереженні малої маси виробу.

Застосування друкованого монтажу істотно спрощує процес складання вузла, а також підвищує зручність виконання операцій налаштування й регулювання.

Базовим конструктивним елементом виробу є друкована плата, виготовлена хімічним способом з одностороннього фольгованого склотекстоліту СФ1-35-ІКП відповідно до вимог ГОСТ 10316-78 та товщиною 1,5 мм. У процесі виготовлення плати незахищені ділянки мідної фольги видаляються шляхом хімічного травлення, внаслідок чого формується провідниковий рисунок. Обраний метод є технологічно доцільним, простим у реалізації та належить до найбільш поширених способів виготовлення друкованих плат у сучасному виробництві.

Перед установленням радіоелементів друковану плату маркують фарбою ТНПФ-01 (ТУ 29-02-889-88).

Виводи більшості елементів формують зигзагоподібно, що зменшує трудомісткість роботи, скорочує час монтажу та усуває необхідність у додаткових робочих місцях. Виводи конденсаторів та мікросхем не формуються, оскільки вони вже мають необхідну форму.

Лудження виводів проводиться вручну з використанням флюсу АТІ-120.

Радіоелементи встановлюються на плату вручну, після чого процес пайки виконується автоматизовано методом «хвилі припою», що забезпечує одночасне та якісне запаювання всіх виводів.

Елементи, які не підлягають автоматичній пайці, запаюються вручну електричним паяльником на 36 В.

Для пайки використовують припій ПОС-61 (ГОСТ 21931-76) та флюс АТІ-120 (ОСТ 32142-82).

Після завершення операцій пайки друковану плату промивають і наносять на її поверхню захисне безбарвне лакове покриття АК-113 (ОСТ 23832-79), яке запобігає впливу вологи та інших зовнішніх чинників. Застосований лак забезпечує надійну роботу плати в температурному діапазоні від -60 до $+100$ °С.

Друкована плата закріплюється в корпусі за допомогою саморізів, встановлених електровикруткою, що значно пришвидшує процес складання.

Пояснювальні написи на корпусі наносяться швидковисихальною фарбою методом трафаретного (сіткографічного) друку.

Оцінка технологічності дозволяє порівняти виріб з аналогічними конструкціями, забезпечуючи при цьому дотримання встановлених показників якості.

Метою оцінювання технологічності є підвищення ефективності опрацювання конструкції, зменшення трудових і матеріальних витрат під час її розроблення, виготовлення та подальшої експлуатації. Якісна оцінка включає конструктивно-технологічний аналіз виробу з точки зору придатності до умов виробництва та експлуатації.

Якісне оцінювання технологічності полягає в аналізі та обґрунтуванні вибору конструкційних матеріалів корпусу й друкованої плати з урахуванням застосовуваних способів їх виготовлення, а також переліку необхідного технологічного обладнання та інструментального оснащення.

У межах якісної оцінки визначається обсяг робіт, інструменти та оснащення, необхідні для виготовлення виробу. Основні виробничі операції включають:

Заготівельні роботи. Підготовка всіх радіоелектронних компонентів, що здійснюється працівниками, відповідальними за комплектацію.

Установлення та кріплення деталей. Виконується вручну, хоча за певних умов можуть застосовуватися напіваавтоматизовані засоби.

Монтаж і закріплення проводів та гнучких перемичок, які з'єднують корпусні елементи з друкованою платою.

Пайка монтажних з'єднань. Основні з'єднання виконуються автоматично методом «хвилі припою». Перемички запаюються вручну електропаяльником. Використовуються припій ПОС-61 та флюс АТІ-120.

Контроль механічної міцності паяних з'єднань проводиться на спеціалізованих стендах, на яких відтворюються вібраційні та інші навантаження, що максимально наближені до умов реальної експлуатації

Контроль правильності монтажу. Проводиться візуально працівниками середньої кваліфікації.

Контроль електричної міцності здійснюється на спеціалізованих пультах за участю кваліфікованого персоналу.

Після завершення наведеного технологічного процесу отримують друкований вузол проєктованого пристрою.

Наступною стадією технологічного процесу є виготовлення корпусних деталей виробу. З урахуванням того, що конструкція корпусу складається з двох кришок і двох панелей, процес їх виготовлення включає виконання комплексу основних технологічних операцій:

Виготовлення прес-форми згідно з типовою технологічною інструкцією із застосуванням верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Виробництво кришок і панелей методом лиття пластмаси під тиском.

Механічна доробка деталей, яка включає обробку країв, формування посадкових місць та інші уточнювальні операції.

Контроль якості — проводиться методом 100% перевірки; операція виконується спеціалістами шляхом візуального огляду.

Завершальним етапом є складання елементів корпусу в єдину конструкцію, після чого процес виготовлення виробу вважається завершеним. Деталізований перелік та послідовність операцій складання наведено у відповідному технологічному регламенті.

Для виготовлення друкованого вузла потрібно підготувати друковану плату, на якій сформовано провідникові доріжки, виконано монтажні отвори та реалізовано контактні площадки.

Як діелектричний матеріал використовується склотекстоліт, що повинен відповідати таким вимогам:

Забезпечувати високу механічну міцність навіть за малої товщини матеріалу.

Забезпечувати достатню гнучкість та можливість обробки усіма видами різання.

Відзначатися високою хімічною стійкістю та вологостійкістю.

Мати низьку діелектричну проникність.

Забезпечувати надійну адгезію провідникового шару.

Характеризуватися мінімальними діелектричними втратами в робочому частотному діапазоні.

На цьому етапі застосовується фольгований склотекстоліт з товщиною мідної фольги 35 мкм. Провідниковий шар виконано з міді, що забезпечує необхідну електропровідність та добру адгезію до діелектричної основи.

Друкована плата виготовляється хімічним методом, який включає такі технологічні операції:

1. Розкрюювання заготовок.
2. Пробивання базових отворів.
3. Підготовка поверхні заготовок.
4. Нанесення сухого плівкового фоторезисту.
5. Нанесення захисного лаку.
6. Свердління монтажних та кріпильних отворів.
7. Хімічне міднення поверхні.
8. Видалення захисного лаку.
9. Гальванічне нанесення покриття.
10. Електролітичне міднення та нанесення захисного шару.
11. Зняття фоторезисту.
12. Хімічне травлення друкованої плати.
13. Промивання плати.
14. Механічна дообробка.

У результаті виконання повного комплексу передбачених технологічних операцій отримують готову двосторонню друковану плату зі сформованим

провідниковим рисунком, а також із виконаними монтажними й кріпильними отворами, придатну для подальшого складання виробу.

Кількісна оцінка технологічності друкованого вузла

Тривалість життєвого циклу виробу значною мірою визначається рівнем технологічності його конструкції як на стадії виготовлення, так і в процесі експлуатації. При цьому конструктивне виконання має бути узгоджене з конкретними умовами виробництва: застосовуваної технології, наявного обладнання, технічного оснащення та організації виробничого процесу.

Автоматизований процес складання висуває специфічні вимоги до конструктивного виконання виробу та його складових елементів. Порушення або неповне дотримання цих вимог може спричинити зниження якості зібраної продукції, підвищення трудомісткості, надлишкових витрат матеріальних, фінансових та часових ресурсів, а в окремих випадках — унеможливити автоматизацію складальних операцій.

Автоматизоване складання являє собою процес утворення з'єднань між деталями та вузлами виробу, що здійснюється із застосуванням автоматичного складального обладнання. Процес автоматичного складання включає такі основні етапи:

- завантаження та попередня орієнтація деталей;
- транспортування деталей до зони складання;
- базування та остаточна взаємна орієнтація;
- виконання операції з'єднання;
- видалення складальної одиниці або готового виробу зі складальної позиції.

Для кількісного оцінювання технологічності конструкції використовується комплексний показник технологічності K , який формується на основі усереднених значень окремих часткових показників з урахуванням поправочних коефіцієнтів, що відображають їх відносну вагомість.

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

$$K_{\text{вик.імс}} = \frac{H_{\text{імс}}}{H_{\text{імс}} + H_{\text{ЕРЕ}}} = \frac{3}{3 + 33} = 0,08 \quad (4.2)$$

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

$$K_{\text{А.М}} = \frac{H_{\text{А.М}}}{H_{\text{М}}} = \frac{64}{76} = 0,842 \quad (4.3)$$

де $H_{\text{А.М}}$ – загальна кількість монтажних з'єднань, які виконуються або можуть бути виконані автоматизованим способом, тобто для яких існують відповідні механізми автоматизованого монтажу.

$H_{\text{М}}$ – загальна кількість монтажних з'єднань.
Коефіцієнт амортизації і механізації підготовки ЕРЕ до монтажу $K_{\text{М.П.ЕРЕ}}$ визначається за формулою

$$K_{\text{М.П.ЕРЕ}} = \frac{H_{\text{М.П.ЕРЕ}}}{H_{\text{ЕРЕ}}} = \frac{12}{33} = 0.36 \quad (4.4)$$

де $H_{\text{М.П.ЕРЕ}}$ – кількість електрорадіоелементів, підготовка яких до монтажу здійснюється або може здійснюватися механізованим чи автоматизованим способом. Це означає, що для виконання відповідних операцій існують необхідні механізми, обладнання або спеціальна оснастка. До цієї групи також включаються елементи, що не потребують спеціальної підготовки перед монтажем.

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

$$K_{\text{ПОВТ.ЕРЕ}} = 1 - \frac{H_{\text{Т.ЕРЕ}}}{H_{\text{ЕРЕ}}} = 1 - \frac{29}{33} = 0,12 \quad (4.5)$$

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

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

$$K_{\text{ЗАСТ.ЕРЕ}} = 1 - \frac{H_{\text{Т.ОП.ЕРЕ}}}{H_{\text{Т.ЕРЕ}}} = 1 - \frac{13}{29} = 0,55 \quad (4.6)$$

де $H_{T.ор.ЕРЕ}$ кількість типорозмірів оригінальних ЕРЕ у виробів

$H_{T.ЕРЕ}$ – загальна кількість типорозмірів ЕРЕ у виробі

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

$$K_{BCT.P} = 1 - \frac{H_{BCT.P}}{H_{ЕРЕ}} = 1 - \frac{64}{33} = -0,93 \quad (4.7)$$

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

Коефіцієнт прогресивності формоутворення K_{Φ} деталей визначається за формулою

$$K_{\Phi} = \frac{D_{ПР}}{D} = \frac{14}{14} = 1 \quad (4.8)$$

Де $D_{ПР}$ – кількість деталей, заготовки або самі деталі отримані прогресивним методом формоутворення.

Визначаємо комплексний показник технологічності за формулою:

K_i – величина показника згідно таблиці 1 для класу «Електроні блоки»;

φ_i - функція, яка враховує вагову значимість показника в залежності від його порядкового номера.

$$K = \frac{\sum K_i \varphi_i}{\sum \varphi_i}, \quad (4.9)$$

$$K = \frac{0,08 + 0,84 + 0,33 + 0,06 + 0,18 - 0,13 + 0,11}{3,857} = \frac{1,41}{3,857} = 0.38$$

На цьому етапі формується підсумкова таблиця, у яку вносяться всі вихідні дані, необхідні для подальшого розрахунку технологічності виробу.

Оцінка рівня технологічності виробу

Рівень технологічності виробу визначається шляхом зіставлення розрахованого комплексного показника K з нормативним комплексним показником K_n (див. таблицю).

Спочатку за відповідними формулами обчислюються часткові показники технологічності. На основі отриманих часткових значень за узагальненою формулою визначається комплексний показник K .

Таблиця 4.1 Комплексний показник технологічності

№ п/п	Показник технологічності	Позначення	Величина	φ_i
1.	Коефіцієнт використання мікросхем і мікрозборок.	$K_{\text{вик.імс}}$	0,08	1,000
2.	Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу.	$K_{\text{а.м.}}$	0,84	1,000
3.	Коефіцієнт механізації підготовки ЕРЕ.	$K_{\text{м.п.ере}}$	0,36	0,750
4.	Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ.	$K_{\text{повт.ере}}$	0,12	0,500
5.	Коефіцієнт застосовуваності ЕРЕ.	$K_{\text{заст.ере}}$	0,55	0,310
6.	Коефіцієнт встановочних розмірів ЕРЕ.	$K_{\text{вст.р.}}$	-0,93	0,187
7.	Коефіцієнт прогресивності формоутворення.	$K_{\text{ф}}$	1	0,110

Таблиця 4.2 Стадії розробки робочої документації

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

Оцінювання технологічності проводиться шляхом зіставлення отриманого розрахункового значення K із нормативним показником $K_{\text{н}}$, встановленим для аналогічних виробів. Нормативне значення відображає типовий рівень технологічності на підприємствах, що виготовляють подібну радіоелектронну апаратуру.

Отримане відношення повинно відповідати такій умові:

$$\frac{K}{K_H} \geq 1 \qquad \frac{0,38}{0,5} = 0,76 \leq 1 \qquad (4.10)$$

Із отриманого співвідношення видно, що зазначена умова виконується, а отже, виріб слід вважати не технологічним.

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

Виготовлення друкованих вузлів здійснюється з використанням одностороннього фольгованого текстоліту марки СФ-2-34-151КП. Друкована плата формується методом хімічного травлення, після завершення якого проводиться монтаж і складання друкованих вузлів.

Нижче наведено опис маршрутно-операційного технологічного процесу складання (інші вузли монтуються аналогічно):

1. Розконсервація плати. Плату виймають із целофанової упаковки за допомогою ножиць РТ 543912.

2. Маркування заводського номера виконується шляхом нанесення його на плату типографською фарбою за стандартом ДСТУ 471917 із використанням штемпеля РТ 127474.

3. Захист плати. Контактні майданчики та елементи, які потребують ручного паяння, а також різьбові з'єднання покривають латексом. Операція виконується дозатором РД 457922.

4. Сушіння. Плату висушують у сушильній шафі РД 345218.

5. Формування виводів електрорадіоелементів передбачає надання необхідної геометрії выводам резисторів, кварцових резонаторів, транзисторів і стабілізаторів. Операція виконується в автоматизованому режимі на установках типів РД 012457, РД 010126 та РД 010127.

6. Встановлення ЕРЕ (перша група). На друкований вузол встановлюють такі елементи, що підлягають автоматизованому паянню: постійні резистори;

кварцові резонатори; електролітичні конденсатори; штирьові виводи; стабілізатори; транзистори; підстроювальний резистор.

7. Встановлення ЕРЕ (друга група). Установлюються елементи, що також запаюються автоматично: постійні резистори; мікросхема; конденсатори; електролітичні конденсатори; клемні роз'єми.

8. Автоматизована пайка (хвиля припою). Пайка виконується за допомогою установки РД 309104, використовується припій ПОС-61.

9. Автоматизована пайка (паяльна піч). Пайка здійснюється методом оплавлення припійної пасти SH-6209 у печі. Використовується установка РД 387695.

10. Електромонтажна операція. Проводиться рихтування елементів, ручне встановлення та запаювання індуктивних котушок.

Використовуються: паяльна станція РТ 107878; пінцет РТ 234231; припій ПОС-61 (ОСТ 549376); флюс ФКС (ОСТ 32142-82).

11. Оживлення. Вузол запускають і проводять його первинне налагодження у технологічному режимі згідно з інструкцією І1.

12. Технічний контроль. Перевірка здійснюється на технологічній установці, після чого проводиться візуальний огляд якості монтажу, паяння та розташування компонентів. Електричні параметри контролюються згідно з інструкцією І2.

13. Лакування. Плату покривають лаком АК-113 за допомогою установки для лакування РД 759815.

4.3 Розробка маршрутно-операційної технології складання проектного виробу

Маршрутно-операційна технологія складання та монтажу встановлює порядок виконання всіх необхідних операцій: спочатку на стадії виготовлення друкованого вузла, а згодом — під час складання корпусу та формування готового виробу. Усі операції здійснюються відповідно до технологічних карт із дотриманням установлених нормативних вимог.

У технологічних картах також проводяться розрахунки витрати матеріалів, необхідних для виготовлення виробу, та часу, який витрачається на виконання окремих операцій складання.

Детальна маршрутно-операційна технологія складання та монтажу друкованого вузла подана в додатках до цього курсового проекту.

4.4 Технологія ремонту та регулювання радіопристрою

У процесі експлуатації даного пристрою можуть виникати різноманітні несправності. Причини їх появи можуть бути різними, однак для ефективного визначення місця та характеру відмови застосовується алгоритм пошуку несправностей.

Одним із можливих проявів несправності є відсутність сигналу заряду на виході пристрою. Пошук такої несправності доцільно розпочинати з перевірки наявності вихідної напруги. Насамперед контролюється стан запобіжника FU1 за допомогою вольтметра. Якщо на запобіжнику напруга відсутня, його слід замінити. У разі наявності напруги проводять подальшу перевірку трансформатора TV1. За умови, що на його виході напруга не з'являється, трансформатор також підлягає заміні.

Далі перевіряється діодний міст VD1. Якщо на його виході немає випрямленої напруги, діодний міст несправний і потребує заміни. Якщо напруга є, здійснюється контроль стабілізатора напруги DA2. Відсутність напруги на його виході свідчить про несправність стабілізатора.

У разі справної роботи стабілізатора перевіряються транзистори VT3 та VT7. Якщо на їхніх виходах відсутня напруга — транзистори несправні та підлягають заміні. Якщо ж вони функціонують нормально, необхідно перевірити мікросхему DD1. За наявності сигналу на її виході переходять до контролю транзистора VT6. Якщо VT6 справний, можливою причиною несправності є проблеми з вихідними роз'ємами XP2 або XP3.

Для діагностики використовували мультиметр та осцилограф. Ці прилади забезпечують необхідну точність і мають відповідний діапазон вимірювань для контролю зазначених параметрів.

Пристрій не потребує складних процедур налагодження, а можливі відхилення легко виявити під час первинної діагностики.

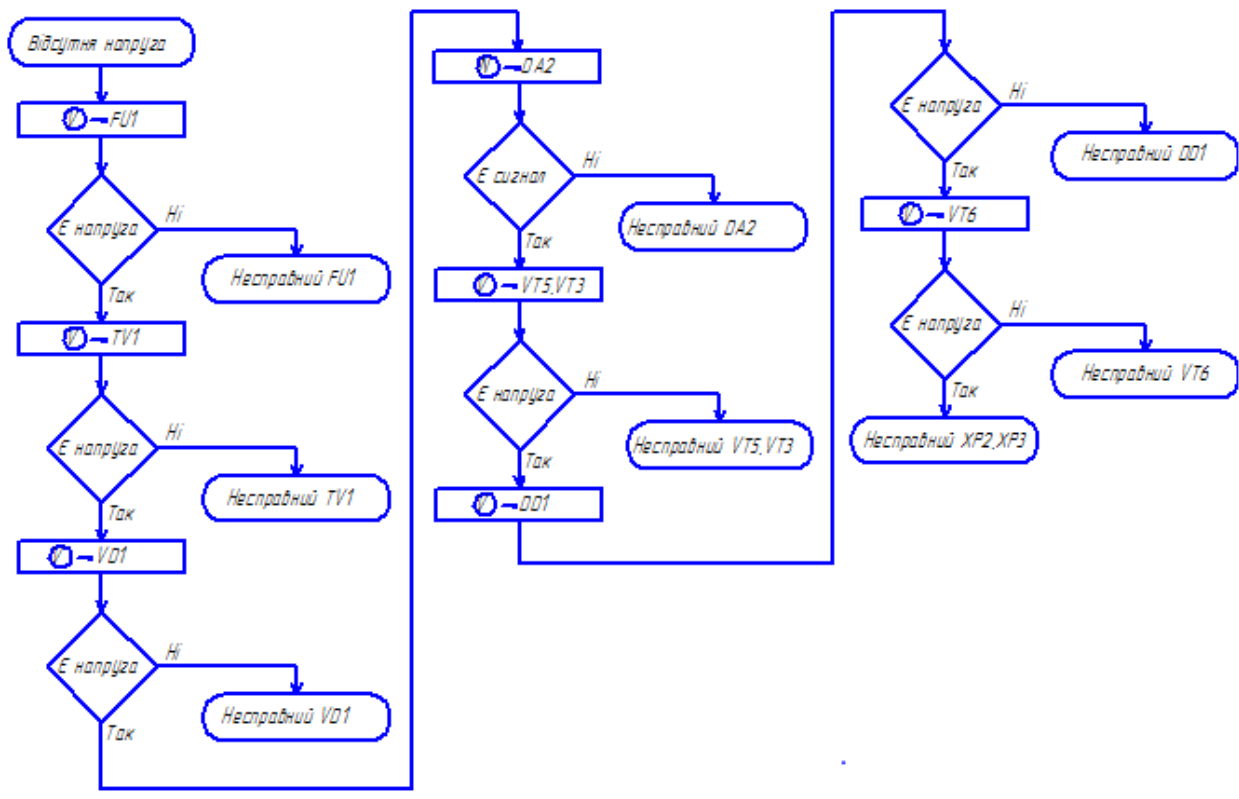


Рисунок 4.1 - Алгоритм пошуку несправності приладу

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

Сучасна технологія виробництва РЕА - це технологія поверхневого, а частіше змішаного монтажу електронних блоків на друкованих платах, одержуваних методом травлення фольгованого склотекстоліти. Сучасний блок вітчизняної РЕА все частіше містить імпортну елементну базу особливо у високо інтегрованої частини. Основна відмінність методу поверхневого монтажу від традиційної технології - відсутність монтажних отворів для установки виводів компонентів. Це надає розробникам широкі перспективи в області комплексної мікромініатюризації електронних виробів і автоматизації виробництва. Процес виробництва РЕА - це сукупність дій людей і знарядь виробництва, необхідних для виготовлення або ремонту радіоелектронних пристроїв.

Процеси, що використовуються в виробництві ЕА, класифікують на 5 груп.

1) Виробництво елементної бази, в тому числі ЕРЕ, функціональних елементів (ФЕ), мікрозборок (МСБ) і ІМС, для якого характерні: високий рівень технологічності і автоматизації, масовий тип виробництва, ретельність розробки конструкції, висока надійність і низька вартість.

Подальший розвиток елементної бази буде йти по шляху розробки нових матеріалів, жорсткості вимог до їх параметрами, зменшення дефектів підкладок, підвищення точності і автоматизації контролю параметрів, використання ЕОМ на стадії проектування та управління всіма процесами.

2) Виготовлення елементів несучих конструкцій (штампування, лиття, пресування, точіння, фрезерування, електрофізичні методи обробки та ін), які запозичені з інших галузей і пристосовані для виробництва ЕА. Удосконалення здійснюється по шляху уніфікації як конструкторських, так і технологічних

рішень, широкого використання безвідходних та програмно-керованих технологій і гнучких модулів програмно-керованого устаткування.

3) Виготовлення функціональних елементів - ЗУ, ліній затримки і фільтрів на поверхнево-акустичних хвилях (ПАХ...), яке характеризується широким застосуванням інтегральної технології, високої ідентичністю параметрів, підвищеними вимогами до устаткування. Перспективними напрямками розвитку ФЕ та їх технології є: використання нових матеріалів, підвищення точності виготовлення, зниження масогабаритних показників.

4) Збірка, монтаж та герметизація ЕА, трудомісткість яких складає до 50 ... 80 % загальних витрат виробництва. Ці процеси мають невисокий рівень автоматизації і механізації, широку номенклатуру технологічного оснащення, велику частку ручної праці. Для зниження тривалості виробничого циклу здійснюється паралельна збірка модулів різних рівнів, поєднання на одній лінії складання та герметизації, комплексна автоматизація. Основними напрямками їх вдосконалення є: підвищення щільності компонування навісних елементів на ПП, щільності друкованого монтажу за рахунок застосування МПП на керамічних та поліїмидні підставах; широке використання біс-корпусних ЕРЕ, перспективної технології поверхневого монтажу, застосування автоматизованого устаткування; розробка нових методів збірки і монтажу модулів другого і подальших рівнів; оптимізація кількості операцій проміжного контролю за економічним критерієм; розробка заходів по технологічному забезпеченню надійності електричних з'єднань.

5) Контроль, регулювання і випробування ЕА, що характеризуються застосуванням висококваліфікованої робочої сили, спеціальної вимірювальної апаратури. Від якості виконання цих процесів багато в чому залежить надійність випускається апаратури. Попередній контроль і регулювання функціональних параметрів окремих модулів дозволяють скоротити час налаштування апаратури в цілому. Перспективним є широке використання контролюючої та діагностуючої апаратури із застосуванням

мікропроцесорних комплектів, підвищення гнучкості їх роботи і зниження трудовитрат.

Електричний струм. Протікання електричного струму через живу тканину організму людини викликає різні ефекти. Так, проходячи через організм людини, електричний струм справджує термічну, електролітичну, механічну і біологічну дії.

Термічна дія струму є наслідком перетворення електричної енергії в теплову при проходженні через ділянки тіла людини. Вона виявляється у виді опіків окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури органів, що лежать на шляху протікання електричного струму. При тривалому нагріванні в органах можуть спостерігатися функціональні розлади.

Електролітична дія струму виражається в розкладанні внутрішньоклітинної рідини і крові на позитивні і негативні іони, що викликає зміну їхнього фізико-хімічного складу.

Механічна дія струму виражається у виникненні електродинамічного ефекту, що може спричинити розшарування, розриви тканин організму.

Біологічна дія виявляється в роздратуванні і порушенні живих тканин організму електричним струмом, величина якого значно перевищує рівень біострумів, що може виявлятися в порушенні внутрішніх біоелектричних процесів.

Перераховані дії електричного струму на організм людини нерідко приводять до різних електричних травм, які розділяються на дві основні групи: 1 – місцеві електричні травми; 2 – електричні удари.

Місцеві електричні травми викликають ураження окремих ділянок живих тканин організму людини.

Електричні удари призводять до ураження життєво важливих органів.

При електричних ударах струм впливає на групи м'язів тіла людини, що може привести до судорог, до зупинки подиху чи серця.

До основних місцевих електричних травм відносяться: електричний опік, металізація шкіри, електричні знаки, механічні ушкодження і електроофтальмія.

Електричні опіки виникають у наслідок термічного ефекту при проходженні струму через тіло людини, а також при зовнішньому впливі на нього електричної дуги. Зовнішній вигляд опіків може бути різний – від почервоніння шкіри й утворення міхурів з рідиною до обвуглювання біологічних тканин.

Металізація шкіри зв'язана з дифузією в неї дрібних часток металу у разі ділянки тіла людини до струмоведучої частини чи при частковому розплавлюванні такої частини під дією електричної дуги.

Механічні ушкодження обумовлені судорожним скороченням м'язів тіла, що може викликати їхній розрив чи ушкодження шкірних покривів, нервових волокон, сухожилів, вивих суглобів і навіть перелом кісток.

Електроофтальмія – запалення зовнішніх слизоватих оболонок ока – роговиці і кон'юктиви під дією потужного УФ-випромінювання електричної дуги.

Фактори, що впливають на ступінь ураження людини електричним струмом, є різноманітними. Це насамперед сила струму і час проходження його через організм людини, рід струму (перемінний чи постійний), шлях струму в тілі людини, а при дії перемінного струму – його частота.

Основним фактором, який визначає ступінь ураження людини, є величина електричного струму, що протікає через тіло людини. Цей параметр визначається, в основному, опором рогового шару шкіри, який при сухому її стані і відсутності ушкоджень може складати сотні тисяч Ом. При вологому чи ушкодженному шкірному покриві опір тіла людини падає до сотень Ом. При великих напругах, а також при значному часі протікання струму опір тіла людини знижується ще більше, що веде до росту струму і, як наслідок – до більш важкого ступеню ураження електричним струмом.

Відповідно до характеру впливу струму на людину, у залежності від його величини він підрозділяється на 4 групи: 1 – невідчутний; 2 – відчутний; 3 – невідпускаючий; 4 – смертельний.

Якщо аналізувати дію перемінного електричного струму частотою 50 Гц на організм людини, то можна вказати наступні порогові значення цих його категорій.

Відчутний струм. Такими вважаються його величини, при яких людина відчуває його дію, але може самостійно звільнитися від проводу чи тієї частини електричної установки які виявилися під напругою. Величина порогу відчутного струму лежить у межах 0,6...1,5 мА.

Струм, при якому потерпілий не може самостійно відірватися від струмоведучих частин, називається невідпускаючим. Порогова величина такого струму знаходиться у діапазоні 8...10 мА.

Смертельним струмом для людини виявляються його величини більшої, ніж 100 мА.

Перемінний струм у порівнянні з постійним більш небезпечний. Відповідні дослідження показують, що найбільш небезпечним є перемінний струм частотою 20...100 Гц. Саме цьому діапазону відповідає і струм промислової частоти (50 Гц).

Протікання струму через організм людини може здійснюватися самими різними шляхами. З усіх можливих шляхів протікання струму через тіло людини найбільш небезпечними є ті, при яких уражається головний чи спинний мозок, а також серце чи легені. У першому випадку особливо небезпечними шляхами протікання струму є «голова – права чи ліва рука», «голова – ноги», а у другому – «права чи ліва рука – ноги», «права – ліва рука».

На безпеку ураження електричним струмом значний вплив роблять і параметри мікроклімату у виробничому приміщенні. Так, збільшення температури, відносної вологості, зниження рухливості повітря приводять до росту виділення вологи на поверхні шкірного покриву, що обумовлює

зниження опору шкірних покривів і, як наслідок, – підвищує небезпеку ураження людини електричним струмом.

Захист від дії електричного струму на організм людини реалізується наступними напрямками:

- відповідною конструкцією електричних установок. (До електричних установок відносяться пристрої, що генерують, переробляють, передають і споживають електричну енергію);
- організаційними заходами;
- застосуванням технічних методів і засобів захисту.

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

На проектованій ділянці виготовлення консольно-опорних деталей мають місце наступні відходи виробництва:

металева стружка;
чавунний пил;
масло інструментальне відпрацьоване;
ганчірки промаслені;
абразивний пил;
відпрацьовані МОР;
відпрацьований летючий розчин;
промислова вода для технологічних процесів.

Для очистки промислових стоків на виробництві функціонують локальні очисні споруди:

маслозбирачі;
фарбозбирачі;
станції нейтралізації хімічно забруднених вод;
очисні споруди для очистки дощових стоків продуктивністю 254 л/сек.

Навколишнє середовище може забруднюватися робочими рідинами, які використовуються в коробках швидкостей та подач металообробного обладнання, що застосовується для виконання операцій механічної обробки деталі згідно з розробленим технологічним процесом, а також змащувально-

охолоджувальними рідинами, які використовуються в процесі обробки для охолодження зони різання. Для запобігання цьому використані рідини не допускається зливати в загальну каналізацію. Їх потрібно доставляти з метою очищення на спеціальні очисні споруди. Після проведення очищення приймається рішення щодо подальшого використання для виробничих потреб.

При цьому для очищення стоків передбачаємо використання механічних (відстоювання, фільтрація) та хімічних (нейтралізація, коагуляція) методів очищення. Щоб запобігти забрудненню ґрунтових вод використаними у металорізальних верстатах робочими рідинами внаслідок низької герметичності систем передбачаємо проведення профілактичних оглядів з періодичністю один раз на пів року. При механічній обробці деталі відбувається пилове забруднення повітряного басейну не тільки виробничого басейну, але і зовнішнього повітря. Тому для запобігання цього передбачаємо застосування загально обмінної вентиляції, а на кожному робочому місці – технічних засобів місцевої вентиляції. За рахунок багатоступеневого очищення забезпечуємо високу ефективність очищення відпрацьованого повітря, а також можливість його часткового подальшого використання в системах рециркуляції. Контроль за станом повітряного середовища у виробничому приміщенні проводиться санітарною лабораторією.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було розроблено стабілізатор напруги з діапазоном регулювання 0...15 В, оснащений системою регульованого струмового захисту, що забезпечує безпечну та надійну роботу пристрою в різних режимах експлуатації. У процесі проєктування виконано розрахунок основних електричних і технічних параметрів, здійснено якісну та кількісну оцінку технологічності конструкції, а також визначено умови експлуатації та основні показники собівартості виробу.

Розроблення конструктивного виконання пристрою проводилося з урахуванням сучасних вимог до конструктивно-технологічних рішень, економічної ефективності, естетичних характеристик, а також з дотриманням норм ергономіки та принципів промислового дизайну. Такий підхід дозволив отримати виріб, який поєднує функціональність, надійність і зручність у використанні.

Запропонований стабілізатор напруги відрізняється простотою виготовлення, зручністю експлуатації та обслуговування, що є важливими факторами для практичного застосування пристрою. Конструктивні та схемотехнічні рішення забезпечують можливість впровадження виробу у виробництво з перспективою подальшого серійного випуску.

Результати розрахунків кількісних показників технологічності свідчать про те, що конструкція виробу відповідає чинним нормативним вимогам і сучасному рівню технологічності, характерному для підприємств, які спеціалізуються на виготовленні радіоелектронної апаратури аналогічного призначення. Це підтверджує доцільність обраних конструктивних і технологічних рішень.

Застосування сучасної елементної бази дозволило зменшити масо-габаритні характеристики пристрою, а також забезпечити підвищений рівень надійності, вібростійкості та стабільності роботи в умовах тривалої

експлуатації. Обрані компоненти відзначаються високою доступністю та взаємозамінністю, що позитивно впливає на ремонтпридатність і технічне обслуговування виробу.

Розроблений технологічний процес виготовлення є відносно простим і не потребує значних трудових витрат. При цьому більшість технологічних операцій може бути виконана із застосуванням механізації або автоматизації, що сприяє зниженню трудомісткості виробництва, підвищенню продуктивності праці та зменшенню собівартості готової продукції.

Конструктивне виконання стабілізатора напруги орієнтоване на умови малосерійного виробництва з можливістю подальшого переходу до серійного випуску без суттєвих змін технологічного процесу. Така універсальність робить розроблений пристрій привабливим з точки зору впровадження у виробництво.

Аналіз собівартості показав, що запропонований стабілізатор напруги є економічно доцільним та доступним за ціною, що дозволяє рекомендувати його для придбання споживачами із середнім рівнем матеріального забезпечення, а також для використання у побутових і навчальних цілях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Wieclaw L.; Pasichnyk V.; Kunanets N.; Duda O.; Matsiuk O.; Falat P. Cloud computing technologies in “smart city” projects. In Proceedings of the 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Bucharest: Romania, 21–23 September 2017. pp. 339–342.
- 2 Яворський Б. І. Математичні основи радіоелектроніки. Частина І. Тернопіль: ТПІ імені Івана Пулюя. 1996. 184 с.
3. Методичні вказівки по виконанню електричних розрахунків каскадів радіоелектронної апаратури - ТК ТДТУ, 2002р.
4. Методичні вказівки по виконанню графічної частини дипломного проекту - ТК ТДТУ, 2002р.
5. Жидецький В. Ц. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник/ за ред. В. Ц. Жидецького - Львів: Афіша, 2000.- 352 с.
6. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: Підручник.- Львів: Афіша, 2005.- 318 с.
7. Розрахунок підсилювачів звукових частот - ТК ТДТУ, 2008р.
8. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.