

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: Інформаційно вимірювальна система еквівалента навантаження
для перевірки блоків живлення

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи РВм

спеціальності (напряму підготовки) 152

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Попович М.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Дубиняк Т.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2024

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 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Попович Михайло Святославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційно вимірювальна система еквівалента
навантаження для перевірки блоків живлення

Керівник роботи к.т.н.доц. Дубиняк Тарас Степанович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «__» _____ 2024 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. Охорона праці та безпека в надзвичайних
ситуаціях

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпе-			
ка в надз. ситуаціях			
Науково-дослідна			
частина			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Студент	(підпис)	Попович Михайло Святославович	(прізвище та ініціали)
Керівник роботи	(підпис)	Дубиняк Тарас Степанович	(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 Аналітична частина	6
1.1. Актуальність проекту	6
1.2. Мета розробки	6
1.3. Функціональність та технічні характеристики	6
1.4. Новітні транзистори та технології охолодження	7
1.5. Адаптація та масштабованість.....	7
1.6. Інтелектуальні системи керування.....	8
1.7. Опис принципу роботи схеми та її аналіз	8
1.8. Технічні вдосконалення та інновації	11
1.9. Опис аналогів та приклади пристроїв по темі КРМ.	12
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	24
2.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів	24
2.2 Обґрунтування вибору конструкції	25
2.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази	26
2.4 Аналіз конструкції виробу та розрахунок споживаної потужності	38
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	40
3.1 Інтеграція та модульність.....	40
3.2 Основи наукових досліджень та математичне моделювання	49
3.3 Електроніка, мікропроцесорна техніка та САПР	52
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	73
4.1 Вимоги техніки безпеки при виконанні монтажу виробу.	73
4.2 Вимоги техніки безпеки при обслуговуванні виробу	75
4.3 Захист навколишнього середовища при виготовленні виробу	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	82

ВСТУП

Розробка конструкції "Інформаційно вимірювальна система еквівалента навантаження для перевірки блоків живлення" є складною, але важливою темою. Еквівалент навантаження дозволяє проводити надійні та точні випробування блоків живлення, забезпечуючи тести та сертифікацію їхньої продуктивності.

Багато радіоаматорів, конструюючи джерела живлення для різних пристроїв, часто зустрічаються з потребою їх перевірки перед використанням. Запропонований пристрій забезпечує автоматичне визначення максимального навантажувального струму джерела за п'ятивідсотковим зниженням його вихідної напруги або дозволяє вручну знімати навантажувальну характеристику.

Еквівалент навантаження повинен бути спроектований таким чином, щоб витримувати різні умови експлуатації, включаючи підвищену вологість, різкі перепади температур та механічні вібрації.

Постійний моніторинг новітніх технологій і можливість швидкого впровадження їх у наявні конструкції дозволяють забезпечити лідерство на ринку та відповідність змінним потребам споживачів.

Стратегічний підхід до всіх етапів розробки, впровадження, маркетингу та експлуатації еквівалента навантаження, підкреслюючи важливість інновацій, надійності та ринкової адаптивності для успішної реалізації проекту.

Досить поширеним в радіотехніці є розробки різних приладів для перевірки блоків живлення.

Еквівалент навантаження для перевірки блоків живлення є одним з пристроїв які найчастіше розробляються.

Даний пристрій використовується переважно в побутових цілях, але також може використовуватися на підприємстві для перевірки блоків живлення.

Основне призначення даного пристрою полягає в перевірці блоків живлення, що значно швидше дає змогу розібратися на скільки блок живлення є робочий.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Актуальність проекту

Еквівалент навантаження є невід'ємною частиною процесу тестування блоків живлення. Це дозволяє інженерам симулювати реальні умови роботи, перевіряти стабільність, реакцію на динамічні навантаження і працездатність у різних сценаріях, таким чином забезпечуючи їхню надійність та безпеку.

1.2. Мета розробки

Основна мета проекту полягає у створенні високоточних та гнучких еквівалентів навантаження, які можуть адаптуватися до різних специфікацій блоків живлення та типів вихідних параметрів.

1.3. Функціональність та технічні характеристики

Система повинна мати можливість налаштування опору, що дозволяє моделювати різні навантаження та характеристики пристроїв, від малопотужних до високо потужних.

Еквівалент навантаження повинен забезпечувати точне вимірювання ключових характеристик роботи блоку живлення, таких як струм, напруга, пульсація виходу та ефективність.

Розробка еквівалента навантаження з врахуванням економічної доцільності, включаючи початкові витрати на розробку і виробництво та довгострокові витрати на обслуговування.

Дослідження ринкового потенціалу дозволяє оцінити попит на еквіваленти навантаження, в тому числі серед виробників електроніки, лабораторій та центрів сертифікації.

Розробка еквівалента навантаження для блоків живлення, підкреслює важливість точності, безпеки та гнучкості у створенні надійної системи тестування.

Вибір передових матеріалів, таких як високотемпературні композити та спеціалізовані метали для конструкційних елементів, може підвищити міцність

та надійність пристрою, що важливо для проведення більш стабільних і тривалих тестів.

1.4. Новітні транзистори та технології охолодження

Використання сучасних MOSFET або IGBT транзисторів з низьким опором у відкритому стані може значно покращити електричні характеристики пристрою. Вдосконалені системи охолодження, такі як теплові трубки або рідинне охолодження, дозволяють ефективніше розсіювати тепло від елементів, які нагріваються під час роботи.

1.5. Адаптація та масштабованість

Розробка модульних елементів дозволяє створювати масштабовані системи, придатні для застосування різних потужностей та типів блоків живлення. Це доцільно для компаній, які тестують широкий спектр продуктів, або прагнуть змінювати робочі параметри без значних перебудов.

Можливість швидкого налаштування параметрів, таких як опір навантаження, полегшує адаптацію пристрою до специфічних метрик тестування. Це дозволяє використовувати один еквівалент навантаження для різносторонніх випробувань, збільшуючи його корисність.

Еквівалент навантаження повинен мати можливість інтегруватися з існуючими автоматизованими системами тестування. Це забезпечує можливість безперервного моніторингу та автоматичного запису даних.

Розробка стратегії технічної підтримки та планових перевірок допоможе забезпечити довготривалу роботи еквівалента навантаження без значних збоїв. Це може включати регулярне оновлення ПЗ та перевірку фізичних компонентів.

Співпраця з університетами та дослідницькими центрами може прискорити впровадження інноваційних рішень, таких як нові матеріали або методи обробки сигналів. Це також стимулює розробку більш ефективних та екологічно чистих технологій.

Інвестиції у внутрішні дослідження та розвиток (R&D) дозволяють постійно вдосконалювати продукт, адаптуючи його до змін ринкових вимог та технологічних інновацій. Фінансування пілотних проектів і експериментальних моделей може виявитися критично важливим для довготривалого успіху.

1.6. Інтелектуальні системи керування

Використання інтелектуальних систем керування дозволяє автоматизувати процеси тестування, зменшити людський фактор і підвищити точність збору даних. Впровадження алгоритмів штучного інтелекту сприяє оптимізації витрат енергії, часового розподілу тестів та їх аналізу. Інтеграція роботизованих платформ у процеси тестування може покращити здатність до швидкого оброблення великої кількості блоків живлення, таким чином підвищуючи продуктивність випробувальних лабораторій. Це особливо актуально для великих виробничих обсягів, де час є критичним фактором.

1.7. Опис принципу роботи схеми та її аналіз

Технічні дані проєктованого пристрою:

1) Максимальна напруга перевіряючого джерела, В	30
2) Поріг спрацьовування струмового захисту, А	9
3) Напруга живлення еквівалента, В	15 ... 30
4) Споживаний струм, мА	250

Важливою складовою для пристрою є інформація про його експлуатацію. Вимоги до використання лабораторних блоків живлення зводяться до наступного: спочатку еквівалент налагоджують у такому порядку. По-перше, до його входу під'єднують джерело постійної напруги 10...12 В, значення якого вимірюють якомога точніше за допомогою цифрового вольтметра. Після переведення еквівалента в ручний режим, перевіряють, щоб

напруга на його ЖК-дисплеї збігалася з показаннями цифрового вольтметра. У разі розбіжності виконують підбір резистора R1 для усунення різниці.

Для калібрування вимірювача струму з'єднуємо амперметр послідовно між джерелом напруги та еквівалентом навантаження. Налаштовуємо струм у ланцюгу на рівні приблизно 2 А і порівнюємо показання амперметра з даними, що відображаються на дисплеї еквівалента. Використовуючи підлаштовувальний резистор R10, добиваємося точного збігу показань. Далі, змінюючи струм за допомогою натискання кнопок SB1 і SB2, перевіряємо узгодженість показників у всьому діапазоні зміни струму. Після цього фіксуємо положення повзунка резистора R10 за допомогою швидкосихнучого лаку.

Вмикаючи еквівалент, мікроконтролер протягом трьох секунд відображає на дисплеї номер версії, після чого вмикає зелений світлодіод HL2, сигналізуючи про готовність до роботи. Тепер можна під'єднати вхід еквівалента до виходу досліджуваного джерела. Якщо коротко натиснути кнопку SB1 "+", прилад перейде в ручний режим роботи, а при тривалому натисканні не менше 0,5 секунди активується автоматичний режим.

Коли еквівалент увімкнений, програма мікроконтролера протягом трьох секунд виводить на дисплей номер своєї версії, після чого активується зелений світлодіод HL2, що сигналізує про готовність до роботи. Після цього можна під'єднати вхід еквівалента до виходу досліджуваного джерела. Коротке натискання на кнопку SB1 "+" переводить прилад у ручний режим роботи, а якщо утримувати її не менше ніж 0,5 секунди, він увімкне автоматичний режим.

У автоматичному режимі спочатку вимірюється напруга досліджуваного джерела при холостому ході, після чого струм навантаження поступово збільшується, поки напруга не знизиться на 5% або поки струм не досягне 9 А. Для вимірювання допустимого для вбудованого в мікроконтролер DD1 АЦП значення, напруга від досліджуваного джерела знижується резистивним ділянником R1R2. Напруговий повторювач на операційному підсилювачі DA2.1 забезпечує низький вихідний опір, що є необхідним для коректної роботи АЦП.

Регульоване навантаження для перевірки джерела забезпечує транзистор VT3. Постійна складова імпульсів, що формуються мікроконтролером на виході RC2, подається на його базу через повторювач на операційному підсилювачі DA1.1, дільний напруги R5R3 та емітерний повторювач на транзисторі VT1. Збільшення коефіцієнта заповнення імпульсів (відношення тривалості імпульсу до періоду повторення) призводить до збільшення постійної складової, що збільшує відкриття транзистора VT3 і підвищує струм навантаження досліджуваного джерела. Напруга, пропорційна цьому струму, знімається з резистора R7 і підсилюється операційним підсилювачем DA2.2 до значення, прийнятного для АЦП мікроконтролера.

В автоматичному режимі програма поступово збільшує тривалість імпульсів, що призводить до зростання струму, поки напруга досліджуваного джерела не знизиться на 5% від початкового значення. Після досягнення цієї межі збільшення струму припиняється, і на дисплеї відображаються встановлені значення напруги і струму. У ручному режимі струм навантаження регулюється натисканням кнопок SB1 "+" і SB2 "-", а значення напруги та струму відображаються на індикаторі HG1.

У відсутність перевантаження вихід RC7 має високий рівень напруги, що тримає польовий транзистор VT2 відкритим і не впливає на роботу пристрою. Однак, коли струм перевищує граничне значення 9 А, мікроконтролер знижує напругу на виході RC7, через що транзистор VT2 закривається, перериваючи ланцюг навантаження досліджуваного джерела. У такому разі на дисплеї з'являється повідомлення про перевантаження.

Після усунення причини перевантаження для повернення еквівалента в робочий режим необхідно натиснути кнопку SB1. Це дозволить мікроконтролеру знову встановити високий рівень на виході RC7, відкриваючи транзистор VT2.

1.8. Технічні вдосконалення та інновації

З огляду на зростаючі вимоги до екологічності та енергоефективності, еквіваленти навантаження мають потенціал стати не лише інструментами для тестування, а й комплексним рішенням для підвищення стандартів якості та стійкості виробництва.

Ключові аспекти необхідні для успішної розробки, випробування та комерціалізації еквіваленту навантаження для блоків живлення, враховуючи як технологічні інновації, так і потреби ринку.

Чітке визначення вимог і специфікацій є першим кроком у розробці еквіваленту навантаження. Це включає визначення діапазону потужностей, робочих напруг і струмів, які повинні бути підтримані під час тестування, а також визначення необхідної точності вимірювань.

Інтеграція комплексних систем збору та аналізу даних в реальному часі дозволяє більш точно оцінювати роботу блоків живлення під різними умовами. Це забезпечує більш точний контроль за якістю і допомагає виявляти потенційні загрози на ранніх стадіях.

Створення рішень, які дозволяють задавати або змінювати конфігурації еквівалентів навантаження на льоту, підвищують ефективність і знижують витрати на проведення тестів. Це особливо корисно в умовах, коли потрібно швидко реагувати на нові вимоги або стандарти.

Еквіваленти навантаження можуть сприяти розвитку суміжних галузей, таких як виробництво електроніки або відновлюваних джерел енергії. Високоякісні випробувальні системи стимулюють введення більш інноваційних рішень на ринок, підвищуючи його конкурентоспроможність.

Еквіваленти навантаження можуть бути інтегровані або розвинуті у взаємодії з іншими передовими технологіями, такими як новітні акумулятори або енергоефективні генератори, сприяючи технологічному прогресу в аналогічних сферах.

Еквіваленти навантаження можуть бути спроектовані з урахуванням принципів циркулярної економіки, включаючи легкість повторного

використання і переробки компонентів. Це знижує загальний вплив виробництва на навколишнє середовище.

1.9. Опис аналогів та приклади пристроїв по темі КРМ.

Переваги програмованих навантажень

- Точність та контрольованість: Забезпечують високоточний контроль тестового процесу, що дозволяє отримувати достовірні дані про продуктивність.
- Гнучкість: Легко адаптуються до широкого спектру тестових середовищ і умов, що робить їх незамінними в дослідженнях і розробках.
- Безпека: Вбудовані захисні механізми забезпечують безпеку як для навантаження, так і для досліджуваних пристроїв.

Цей розширений огляд має стати основою для дипломної роботи і допоможе створити цілісну картину про застосування електронних навантажень у тестуванні блоків живлення.

Постійний Струм (Constant Current, CC)

Опис:

Режим постійного струму (CC) є одним із найпоширеніших режимів роботи програмованих електронних навантажень. В цьому режимі навантаження налаштовується так, щоб підтримувати сталий струм незалежно від змін напруги на виході джерела живлення. Це досягається завдяки автоматичному регулюванню внутрішнього опору навантаження, щоб забезпечити постійне споживання струму.

- Стабільність: Режим CC забезпечує високу стабільність струму, що є критично важливим для точної оцінки вихідних характеристик джерела живлення.
- Регульованість: Багато програмованих навантажень дозволяють точно налаштовувати величину струму, що робить їх універсальними для тестування різних компонентів та пристроїв.
- Динамічні можливості: Певні моделі навантажень можуть забезпечувати динамічні зміни струму за розкладом або за зовнішніми

сигналами, що корисно для перевірки реакції джерела живлення на зміни навантаження.

Застосування:

Режим постійного струму широко використовується в багатьох галузях і для різних типів тестування завдяки його гнучкості та точності. Ось кілька ключових варіантів його застосування:

1 Тестування Блоків Живлення:

- **Мета:** Оцінка стабільності вихідної напруги під заданим струмом і здатності блоку живлення витримувати постійне навантаження протягом тривалого періоду.

- **Процес:** Блок живлення підключається до програмованого навантаження, встановлюється необхідний струм, і проводяться заміри для оцінки характеристик стабільності та реагування на зміни вхідних умов.

2 Перевірка Акумуляторів і Батарей:

- **Мета:** Визначення ємності акумулятора, перевірка його ефективності та надійності у тривалих циклах розрядження.

- **Процес:** Акумулятор розряджається під контролем програмованого навантаження, яке підтримує постійний струм. Це дозволяє оцінити, скільки енергії забезпечує акумулятор за конкретного струмового навантаження.

3 Дослідження в Електротехніці:

- **Мета:** Оцінка стабільності компонентів, таких як транзистори, стабілізатори напруги, під фіксованим струмом.

- **Процес:** Випробовуваний компонент підключається до навантаження, яке генерує стабільний струм. У цьому випадку вимірюються параметри, такі як вихідна напруга або посилення струму, для оцінки їх стабільності та відповідності заявленим характеристикам.

4 Калібрування та Сертифікація:

- **Мета:** Програмовані навантаження у режимі СС використовуються для калібрування і сертифікації вимірювального обладнання, зокрема амперметрів.

- Процес: Навантаження встановлюється на точний струм, а вимірювальні прилади перевіряються на точність їх показань. Це забезпечує високу точність калібрування та належність приладів до стандартів.

Режим постійного струму в програмованих навантаженнях дозволяє електроінженерам і дослідникам виконувати важливі тести і випробування, забезпечуючи критичну інформацію для вдосконалення і оптимізації електронних систем. Постійна Потужність (Constant Power, CP)

Режим постійної потужності

Опис:

У режимі постійної потужності програмоване навантаження автоматично регулює струм або напругу, щоб підтримувати постійну вихідну потужність. Це означає, що при зміні напруги на пристрої або навантаженні струм автоматично налаштовується так, щоб потужність залишалася незмінною.

- Динамічне налаштування: Режим CP активно реагує на зміни робочих умов напруги або струму, зберігаючи постійний рівень споживання потужності.

- Точність: Залежно від моделі, пристрої можуть регулювати потужність з високою точністю, що є критичним для тестування делікатних або високоточних компонентів.

- Захист: Часто в навантаженнях реалізовані захисні функції для уникнення перевантаження, що забезпечує безпеку як для самого навантаження, так і для тестованого пристрою.

Застосування:

Режим постійної потужності використовується для декількох специфічних тестових сценаріїв та інженерних задач:

1 Тестування Джерел Живлення:

- Мета: Оцінка стабільності та ефективності блоків живлення в умовах постійної потужності, що часто є необхідним для електричних мереж та промислових додатків.

- Процес: Джерела живлення підлягають навантаженню, яке регулюється так, щоб споживати постійну потужність, незалежно від змін напруги чи струму. Такий тест дозволяє виявити можливі слабкі місця та оптимізувати робочі параметри.

2 Перевірка Батарей і Акумуляторів:

- Мета: Оцінювання поведінки акумуляторних систем при постійному споживанні потужності, що важливо для передбачення строку служби та ефективності.

- Процес: Програмоване навантаження встановлюється на підтримання постійної потужності, що дозволяє аналізувати, як ефективно батарея чи акумулятор можуть підтримувати цю потужність протягом циклів розрядки.

3 Тестування Електричних компонентів та систем:

- Мета: Визначення характеристик різних електричних компонентів, таких як перетворювачі або стабілізатори, в умовах постійного споживання потужності.

- Процес: Компоненти підключаються до навантаження в режимі постійної потужності, що допомагає зрозуміти, як вони поведуться при стабільній потужності, незважаючи на коливання параметрів навколишнього середовища.

4 Реальні умови застосування:

- Мета: Емуляція умов роботи електронних пристроїв, які споживають постійну потужність, наприклад, в автомобільній електроніці чи телекомунікаціях.

- Процес: Навантаження дозволяє зрозуміти, як пристрій впорається з реальними робочими умовами, що може бути критично важливим для забезпечення надійності та продуктивності кінцевого продукту.

Електронні навантаження у режимі постійної потужності пропонують гнучкі, точні методики тестування, які дозволяють інженерам більш чітко вимірювати та оптимізувати продуктивність електронних компонентів та систем в умовах

стабільної потужності. Це забезпечує кращу надійність та ефективність електронних продуктів, які ми використовуємо в повсякденному житті.

Постійна Напруга (Constant Voltage, CV)

Опис:

У режимі постійної напруги (CV) програмоване електронне навантаження підтримує стабільну напругу на вході, незалежно від змін струму, який через нього проходить. Це досягається шляхом динамічної зміни опору, що дозволяє компенсувати коливання струму та забезпечити постійність напруги.

- **Стабільність:** Режим CV забезпечує стабільну вихідну напругу, що є критично важливим для оцінки пристроїв, які повинні працювати в умовах стабільної напруги.

- **Контроль:** Багато моделей електронних навантажень дозволяють точно контролювати рівень напруги для симуляції різних сценаріїв роботи.

- **Захисні функції:** Часто такі навантаження оснащені захистом від перевантаження по струму, що важливо для збереження якості тестування.

Застосування:

Режим постійної напруги широко застосовується в різних областях, особливо у тестуванні компонентів, які чутливі до змін напруги. Ось кілька типових застосувань:

1 Тестування Акумуляторів та Батарей:

- **Мета:** Перевірка поведінки та ефективності акумуляторів під стабільною напругою, що важливо для безпеки та оптимальної роботи.

- **Процес:** Заряджаються або розряджаються акумулятори з підтриманням сталого рівня напруги. Це дозволяє визначити параметри, такі як залишковий заряд, час зарядки/розрядки та теплові властивості під фіксованою напругою.

2 Тестування Напівпровідникових Пристроїв:

- **Мета:** Оцінка характеристик стабілізаторів напруги і інших напівпровідникових елементів, які повинні забезпечувати стабільну напругу виходу.

- Процес: Напівпровідниковий компонент підключається до тестової схеми з навантаженням у режимі CV, що дозволяє визначити його здатність підтримувати стабільну напругу на виході навіть при зміні умов навантаження.

3 Тестування Лабораторних і Промислових Джерел Живлення:

- Мета: Перевірка стабільності й ефективності джерел живлення в умовах, коли потрібно постійно підтримувати певний рівень напруги.

- Процес: Джерело живлення підключається до програмованого навантаження, яке утримує постійну напругу, а інженери оцінюють параметри, такі як стабільність, вихідна потужність і ефективність.

4 Калібрування та Перевірка Вимірювальних Приладів:

- Мета: Використання функціоналу зазначеного режиму для калібрування вольтметрів та інших вимірювальних пристроїв, що критично для забезпечення точності у вимірюваннях.

- Процес: Програмоване навантаження налаштовується на точний рівень напруги, а потім вимірювальні прилади перевіряються на відповідність точності та стандартів.

Режим постійної напруги в програмованих електронних навантаженнях забезпечує гнучкість і контроль, які є необхідними для широкого спектру тестових задач, що потребують стабільності напруги. Це дає змогу інженерам і дослідникам точно оцінювати ефективність і надійність різних електронних пристроїв та систем.

Режим постійного опору (Constant Resistance, CR) у програмованих електронних навантаженнях є важливим інструментом для симуляції реальних резистивних навантажень в електронних тестових середовищах. Цей режим використовується для відтворення умов, в яких навантаження веде себе як резистор з фіксованим значенням опору, що є критично важливим для різних інженерних задач.

Постійний Опір (Constant Resistance, CR)

Опис:

У режимі постійного опору програмоване навантаження імітує фіксований резистивний елемент у схемі. Це означає, що воно регулює струм через себе так, що співвідношення напруги до струму завжди залишається постійним, відповідно до закону Ома.

- **Стабільність:** Підтримується стабільний опір, що дозволяє точно повторювати умови навантаження в різних тестах.
- **Ефективність:** Дозволяє побудувати прості і зрозумілі тестові схеми, де необхідна лінійна характеристика навантаження.
- **Універсальність:** Режим CR може використовуватися як базовий режим для перевірки характеристик інших частин електронної системи.

Застосування:

Режим постійного опору знаходить широке застосування в різних тестових сценаріях:

1 Тестування Джерел Живлення:

- **Мета:** Оцінка продуктивності та стабільності блоків живлення при резистивному навантаженні. Така умова допомагає перевірити, як джерело живлення витримує типову резистивну навантажувальну характеристику.
- **Процес:** Вимірювання проводяться шляхом під'єднання джерела до навантаження, яке підтримує постійний опір, дозволяючи визначити параметри вихідної напруги та струму за умов фіксованого навантаження.

2 Електричні Характеристики Компонентів:

- **Мета:** Тестування компонентів, таких як резистори, транзистори, або діоди, в умовах, що імітують реальний опір. Це дозволяє перевірити їхні електричні характеристичні криві.
- **Процес:** Елемент підключається до навантаження, що зберігає постійний опір. Аналітичні дані, такі як зміна напруги або струму на елементі, можуть бути зібрані для вивчення його поведінки.

3 Калібрування та Налаштування Пристроїв:

- **Мета:** Відтворення стандартних умов навантаження для калібрування контрольних приладів і вимірювальних пристроїв, що використовуються у різних галузях.
- **Процес:** Програмоване навантаження налаштовується на певний рівень опору, що дозволяє проводити точні вимірювання й забезпечувати якість калібрування.

4 Освітні та Навчальні Цілі:

- **Мета:** Використання в освітніх програмах для демонстрації основних принципів електрики, таких як закон Ома, в навчальних і лабораторних умовах.
- **Процес:** Демонструються змінні електричні характеристики, такі як струм і напруга, при постійному опорі, це допомагає студентам зрозуміти фундаментальні електричні принципи.

Електронні навантаження в режимі постійного опору є універсальними інструментами, які дозволяють інженерам і дослідникам точно симулювати реальні сценарії резистивних навантажень в електронних системах. Вони забезпечують ефективність і точність у різних тестових і наукових завданнях, допомагаючи вищій оптимізації та налаштуванні електронних пристроїв і систем.

Тестування блоків живлення

Тестування блоків живлення є критично важливим процесом, який дозволяє забезпечити їх відповідність специфікаціям, стабільність у роботі та надійність під навантаженням. Програмовані електронні навантаження є ключовими інструментами у цьому процесі, оскільки вони дозволяють симулювати умови реального навантаження та здійснювати оцінку різних параметрів блоків живлення.

Опис:

Блоки живлення є важливими компонентами будь-якої електронної системи, оскільки вони забезпечують необхідну конверсію й стабілізацію

напруги та струму для живлення різних електронних пристроїв. Тестування таких блоків під навантаженням дозволяє оцінити їхню здатність підтримувати стабільні вихідні параметри при змінних умовах споживання.

- Параметри тестування: Це включає перевірку вихідної напруги, струму, пікової потужності, ефективності тощо.
- Обов'язкове тестування: Особливо важливо для продуктів з високими вимогами до надійності — медичної техніки, промислового обладнання, військових і авіаційних систем.
- Життєвий цикл: Тестування проводиться на різних етапах — від розробки прототипу до перевірки кінцевого виробу.

Деталі:

1 Підготовка до Тестування:

- Вибір режиму навантаження: Визначається на основі специфікації блоку живлення (режим постійного струму, напруги, потужності або опору).
- Налаштування параметрів: Попереднє налаштування програмованого навантаження на необхідні значення для симуляції реальних умов роботи.
- Калібрування: Перевірка точності та калібрування вимірювальних приладів, щоб забезпечити достовірність результатів тестування.

2 Процес Тестування:

- Імітація реальних умов: Програмоване навантаження підключається до блоку живлення для симуляції реальних умов експлуатації.
- Тестування на різних рівнях навантаження: Перевіряється продуктивність при низькому, середньому та максимальному навантаженні, включаючи імпульсні зміни навантаження для перевірки швидкості реакції.
- Моніторинг параметрів: Здійснюється запис і аналіз вихідних параметрів, таких як стабільність напруги, форма сигналу, наявність шумів, пульсації та інші.

3 Аналіз та Оцінка:

- Інтерпретація результатів: Порівняння отриманих даних з нормативними вимогами та специфікацією продукту для визначення відповідності стандартам.
- Виявлення аномалій: Визначення та аналіз будь-яких відхилень від очікуваних параметрів, які можуть вказувати на проблеми з компонентами чи конструкцією.
- Документація результатів: Складання звітів з результатами тестів, які стають важливою частиною процесу оцінки якості та фіксації відповідності стандартам.

4 Коригувальні Дії:

- Аналіз помилок: В разі виявлення будь-яких проблем, необхідний детальний аналіз для визначення їх причин — це можуть бути конструктивні недоліки, неякісні матеріали або програмні збої.
- Модифікація продукту: Здійснюється виправлення помилок, доопрацювання компонентів або розробки для забезпечення відповідності специфікаціям.

Тестування блоків живлення з використанням програмованих електронних навантажень дозволяє забезпечити високу якість і надійність кінцевого продукту, потрібну для його безаварійної експлуатації в різних забезпечуючих системах. Це критично важливо для підтримання конкурентоспроможності та довіри до продуктів на ринку.

Тестування батарей і акумуляторів є ключовим етапом для забезпечення їхньої ефективності, надійності та безпеки. Програмовані електронні навантаження відіграють важливу роль у цьому процесі, дозволяючи відтворювати реалістичні умови розрядки та вимірювати критичні параметри, такі як ємність, струмовий вихід і час роботи.

Тестування Батарей і Акумуляторів

Опис:

Акумулятори та батареї є основними джерелами енергії для багатьох сучасних електронних пристроїв, включаючи мобільні телефони, ноутбуки, електромобілі та інші портативні прилади. Їхнє тестування є важливим для визначення характеристик ефективності, визначення скільки енергії вони можуть зберігати і виділяти, а також для перевірки їхньої довговічності.

- **Характеристики:** Оцінка таких параметрів, як ємність, внутрішній опір, стабільність струму, ефективність при різних умовах експлуатації.
- **Життєвий цикл:** Проведення циклічних тестів, щоб оцінити, як параметри батарей змінюються з часом та в процесі багаторазових циклів зарядки/розрядки.
- **Безпека:** Виявлення проблем на ранніх стадіях, які можуть призвести до ризиків безпеки, таких як перегрів або вибух.

Деталі:

1 Підготовка до Тестування:

- **Попередній огляд:** Перевірка технічних характеристик батареї або акумулятора, у тому числі максимальної напруги, струму і ємності.
- **Налаштування навантаження:** Програмоване навантаження налаштовується для симуляції умов розряду, які можуть включати постійний струм, постійну напругу чи постійну потужність.
- **Калібрування:** Важливо переконатися, що використовуване обладнання відкаліброване, щоб забезпечити точність вимірювань.

2 Процес Тестування:

- **Режими розрядки:** Використання різних режимів розрядки для перевірки поведінки батареї, включаючи режим постійного струму (CC), режим постійної потужності (CP) тощо.
- **Циклічні тести:** Батарея підлягає повторному зарядженню і розрядженню, щоб перевірити її ефективність і продуктивність у довготривалих експлуатаційних умовах.

- Контроль температури: Постійний моніторинг температури для перевірки теплових характеристик і запобігання можливим перегріванням.

3 Аналіз та Оцінка:

- Збирання даних: Збір інформації про зміну напруги, струму, ємності та внутрішнього опору під час тестування.

- Оцінка продуктивності: Відповідність фактичних характеристик батареї заявленим виробником, виявлення можливих відхилень.

- Виявлення деградації: Аналіз, як продуктивність батареї змінюється в кількості циклів розрядки, що дозволяє спрогнозувати термін її служби і мінімізувати ризики відмови.

4 Документація та Звітність:

- Складання звітів: Результати включають інформацію про всі основні параметри, а також рекомендації щодо покращення чи необхідних коригувань.

- Напрацювання по вдосконаленню: Знаходження можливих місць для поліпшення у виробничих процесах або в конструктивних особливостях батареї на основі зібраних даних.

Тестування батарей та акумуляторів з використанням програмованих електронних навантажень є критично важливим для розуміння їхніх робочих характеристик, безпеки та довговічності. Це допомагає забезпечити надійність та ефективність енергетичних рішень, що постачаються на ринок.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покрить

Конструктивно пристрій виконаний у пластмасовому корпусі. Друкована плата з компонентами схеми закріплена на шасі, яке вставляється в корпус пристрою. Відповідно до вимог зручності користування, елементи на корпусі будуть розташовані наступним чином:

На верхній кришці пристрою розташовано інформаційний дисплей для перегляду даних, а також роз'єм для підключення блоків живлення.

Для друкованої плати виконаємо такі вимоги до компонування: забезпечимо оптимальну щільність розташування компонентів та усунемо помітні паразитні електричні взаємозв'язки, які можуть вплинути на технічні характеристики виробу. Автоматичне компонування виконаємо за допомогою програм Altium Designer та графічного редактора КОМПАС.

Вимоги до габаритних розмірів плати будуть визначені технологією виготовлення. Розміри плати будуть економічно обґрунтованими, враховуючи доцільність стандартизації інструментів та пристосувань. Розміри плат повинні відповідати ГОСТ 10317-72, який рекомендує співвідношення сторін від 1:1 до 2:1. Максимальна ширина не повинна перевищувати 500 мм. Рекомендована товщина плати – 0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм.

Якщо електрорадіоелементи мають штирові виводи, їх встановлюють у отвори друкованої плати, після чого виводи загинають під кутом 60°, обрізають до меж контактних майданчиків і запаюють за допомогою методу пайки «хвилею припою». Таке розташування дозволяє збільшити щільність монтажу, оскільки на тій самій платі можна розмістити більше елементів.

При розміщенні електрорадіоелементів на друкованій платі необхідно враховувати кілька важливих аспектів: напівпровідникові прилади та мікросхеми повинні розміщуватися на відстані від елементів, що виділяють велику кількість тепла, а також від джерел сильних магнітних полів, таких як постійні магніти і трансформатори; необхідно забезпечити можливість

природної вентиляції в зоні розташування елементів, що генерують значну кількість тепла; повинен бути передбачений легкий доступ до елементів, які потребують налаштування під час регулювання схеми.

Якщо елемент має електропровідний корпус і під ним проходить провідник, слід забезпечити ізоляцію корпусу або провідника. Це можна зробити шляхом надягання ізоляційних трубок на корпус елемента, нанесенням тонкого шару епоксидної смоли (епоксидної маски) на поверхню плати в зоні розташування корпусу чи наклеюванням тонких ізоляційних прокладок.

Правильне розміщення корпусів мікросхем на платі впливає на такі параметри як габарити, вага, надійність та завадостійкість РЕА. Крок установки інтегральних мікросхем залежить від необхідної щільності компонування, теплових режимів роботи компонентів, вибору методу розробки топології плати (ручного чи автоматизованого), типу корпусу та складності електричної схеми.

Рекомендований крок для встановлення ІМС становить 2,5 мм, а зазори між корпусами не повинні бути менше 1,5 мм. ІМС з виводами встановлюються з одного боку друкованої плати, оскільки монтаж штировими виводами передбачає використання наскрізних отворів. Корпуси ІМС надійно тримаються на платі завдяки запаяним виводам, що забезпечує стійкість до механічних впливів.

2.2 Обґрунтування вибору конструкції

Для конструювання навантаження обираються компоненти високої якості які повинні витримувати великі струми і потужності, та забезпечувати надійність у тривалій перспективі. Це можуть бути потужні резистори, транзистори, радіатори для охолодження та інші важливі елементи схеми.

Важлива частина конструкції, яка забезпечує розсіювання тепла, генерованого під великим навантаженням. Охолодження може бути реалізоване через активні (вентилятори) чи пасивні (радіатори) системи витяжки тепла.

Конструкція повинна відповідати усім вимогам національних та міжнародних стандартів безпеки для електронного обладнання, таких як ІЕС, UL, щоб забезпечувати безпечну і стабільну роботу.

Цей виріб складається з корпусу, друкованої плати, роз'єму та інформаційного дисплея. Верхня та нижня кришки мають форму «корито» і з'єднуються між собою за допомогою стійок, розміщених по кутах, які скріплюються саморізами. У кришках є спеціальні отвори для підключення джерела живлення та температурних датчиків. Виготовлення кришок здійснюється методом лиття під тиском.

Друкована плата закріплюється до нижньої кришки за допомогою чотирьох гвинтів. Також вентилятор фіксується до нижньої кришки за допомогою гвинтів. Матеріал корпусу — пластмаса, яка забезпечує зниження маси виробу, спрощення технологічного процесу, здешевлення кінцевого продукту та надання йому естетичного вигляду.

Елементи виробу взаємно розміщені таким чином, щоб забезпечити технологічність зборки і зручність регулювання конструкції. Для підключення елементів, що розташовані на корпусі, до друкованої плати використовуються перемички.

2.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Під час вибору елементної бази для проєктованого виробу основними критеріями слід вважати, наступні вимоги це:

- відповідність номіналів елементів вказаних в схемі електричній принциповій;
- наявність даних елементів на виробництві;
- технічні вимоги поставлені до конструкції;
- економічна вигода;
- універсальність радіоелементів;
- стабільність параметрів;
- мінімальна кількість розмірів корпусів;

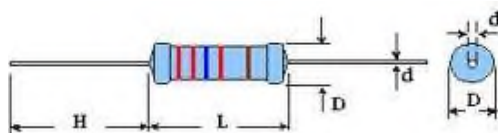
В проєктованому виробі була використана сучасна елементна база.

При виборі елементів враховувалося співвідношення між ціною радіоелемента та його технічними характеристиками, а також забезпечення

необхідних електричних параметрів та надійності в діапазоні температур, вологості та механічних впливів.

В даному пристрої використовуються резистори типу С1-4-0,125.. Резистори С1-4-0,125 – постійні, металоплівкові, лаковані, теплостійкі, металодіелектричні з метало електричним провідним шаром, неізольовані, для навісного монтажу, призначені для роботи в електричних постійного, змінного та імпульсного струмів. Ці резистори часто використовуються, тому їх знайти дуже легко, також, даний тип резисторів є не дорогим, що зменшує вартість виробу.

У цих резисторах використовують кольорове маркування, що дає змогу полегшити їх монтаж. Такі резистори мають хороші електричні параметри: діапазон номінальних опорів $= 1...3 \times 10^6$ Ом, номінальна потужність $= 0,125$ Вт, гранична напруга становить становить 350 В, діапазон робочих температур $-60...+70^\circ\text{C}$, допустимі відхилення опору становлять $\pm 10\%$, що зменшує розкид параметрів в схемі. Всі ці параметри добре підходять до моєї схеми і дають змогу зменшити габарити виробу.



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

Рисунок 2.1 Зовнішній вигляд та габаритні розміри резистора С1-4-0,125

Конденсатори електролітичні алюмінієві полярні з радіальними виводами "Jamicon" із серії ЕСАР – призначені для використання в побутовій техніці.



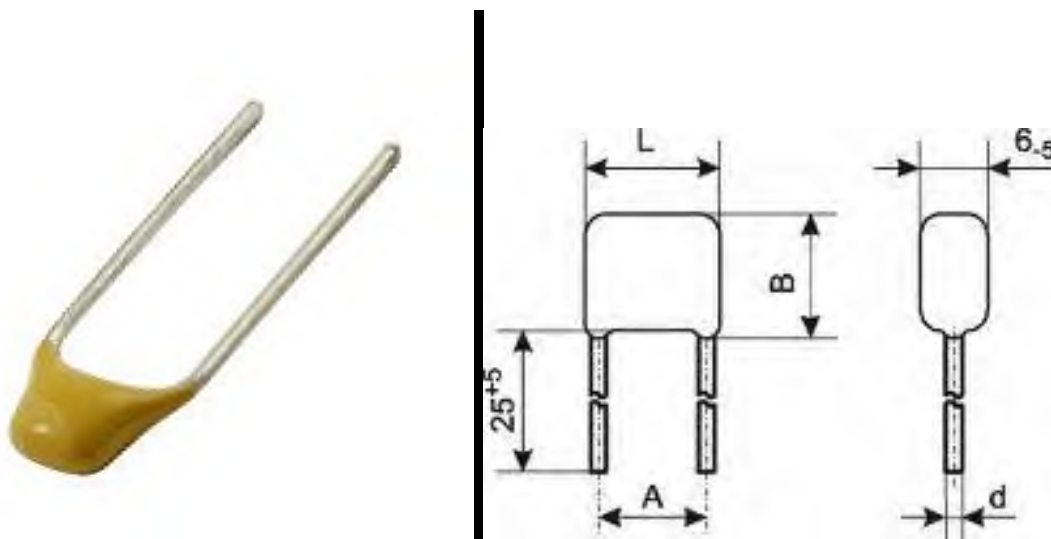
Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд конденсаторів "Jamicon"

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 .

Було використано конденсатори з такими номіналами ємності: 1 мкФ та 1000 мкФ, з номінальними напругами 25 В та 35 В відповідно.

Вибрано даний тип електролітичного конденсатора у зв'язку з доступністю, дешевизною та відносно хорошою якістю.



$L = 7,5 \text{ мм}$ $B = 7,5 \text{ мм}$ $A = 5 \text{ мм}$ $d = 0,6 \pm 0,1 \text{ мм}$

Рисунок 2.3 Зовнішній вигляд та габаритні розміри конденсатора СС4

Експлуатаційні дані:

- робоча напруга 50 В;
- температурний коефіцієнт ємності (ТКЄ) Н20;
- тангенс кута втрат, не більше 0,035;
- постійна часу для номінальної ємності вище 0,025 мкФ, не менше 100 МОм×мкФ;
- проміжне значення номінальних ємностей відповідає ряду Е24;
- допуск: $\pm 10\%$ (Н20);
- робоча температура -60...+125 °С.

У проектуваному пристрої використовуємо один конденсатор з номінальною ємністю 0,01 мкФ. Вибір цього конденсатора обумовлений його малими габаритами, низькою вартістю та доступністю. Його електричні параметри є достатньо добрими для наших потреб. Використання конденсаторів такого типу також дозволяє нам автоматизувати процес виробництва виробу.

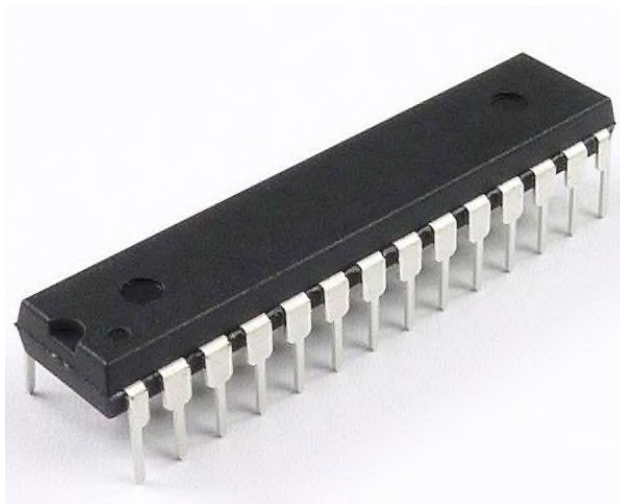


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд мікросхеми PIC16F873A-I/SP

Технічні характеристики:

Сімейство контролерів	Серія PIC16F
Розмір ядра	8bit
Кількість входів / виходів	16
Напруга живлення хв	3В
Напруга живлення Макс	5.5V
Цифровий ІК Тип корпусу.....	DIP-
Кількість висновків	18
Розмір пам'яті програм	2K words

Серія L78 стабілізаторів фіксованої напруги розроблена з тепловим захистом від перевантаження, який вимикає ланцюга, коли воно піддається умовам надмірного перевантаження, внутрішній захист від короткого замикання, який обмежує максимальний струм, який пропускати схема, і компенсація безпечної зони вихідного транзистора, яка зменшує вихідний струм

короткого замикання, оскільки напруга на транзисторі пропускання збільшується.

У багатьох додатках із слабким струмом компенсаційні конденсатори не потрібні.

Однак рекомендується обійти вхід регулятора за допомогою конденсатор, якщо регулятор підключено до фільтра джерела живлення великої довжини, або якщо вихідна ємність навантаження великий.

Вхідний обхідний конденсатор повинен бути обраний для забезпечення хороших високочастотних характеристик стабільна робота при будь-яких навантаженнях.

Танталовий, майларовий чи інший конденсатор 0,33 мкФ або більше з низьким рівнем слід вибрати внутрішній опір на високих частотах. Байпасний конденсатор слід монтувати разом з найкоротший кабель безпосередньо через вхідні клеми регулятора.

Зазвичай хороша техніка будівництва слід використовувати для мінімізації контурів заземлення та падіння опору проводу, оскільки регулятор не має зовнішнього сигналу привести.

Додавання операційного підсилювача дозволяє регулювати більш високі або проміжні значення при збереженні характеристики регулювання.

Мінімальна напруга, отримана при розташуванні, на 2 В перевищує регулятор напруга.

Регулятор напруги сильного струму може бути модифікований для забезпечення захисту живлення від короткого замикання шляхом додавання резистора визначення короткого замикання RSC і додаткового транзистора PNP.

Поточний датчик PNP має бути в змозі впоратися зі струмом короткого замикання триконтактного регулятора. Тому чотириамперний пластик вказано силовий транзистор.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд мікросхеми типу L7805ABV "Fairchild"

Основні параметри:

- Тип.....нерегулюючий;
- вихідна напруга, В.....5;
- струм навантаження, А.....1,5;
- тип корпуса.....TO-92;
- максимальна вхідна напруга, В.....30;
- нестабільність по напрузі, %.....0,05;
- нестабільність по струму, %.....0,01;
- інтервал робочих температур, °C.....-10...+70



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд мікросхеми типу L7812ABV "Fairchild"

Основні параметри:

- Тип.....	нерегулюючий;
- вихідна напруга, В.....	12;
- струм навантаження, А.....	1,5;
- тип корпуса.....	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. Сфери застосування включають підсилювачі перетворювачів,

Блоки посилення постійного струму та всі звичайні операційні підсилювачі схеми, які тепер можуть бути легшими реалізовані в єдиних системах електропостачання.

Схеми можна жити безпосередньо зі стандартними 5 В, які використовуються в логіці систем і легко забезпечить необхідну інтерфейсна електроніка без додаткового живлення постачання.

У лінійному режимі вхідна синфазна напруга діапазон включає заземлення та вихідну напругу також коливається на землю, навіть якщо керується з лише одна напруга живлення



Рисунок 2.7 Зовнішній вигляд мікросхеми LM358N

Технічні параметри мікросхеми:

- Число каналів.....2;
- Час наростання du/dt0,3 В/мкс;
- Смуга пропускання.....0,7 МГц;
- Напруга зсуву $U_{см}$7 мВ;
- Температурний діапазон C0...+70;
- Корпус.....Dip8-300.

КТ315 — кремнієвий високочастотний біполярний транзистор малої потужності n -р- n -провідності в корпусі КТ-13, що набув найширшого поширення в радянській радіоелектронній апаратурі.

Таблиця 2.1 Електричні параметри

$I_{к, макс}$ мА	$U_{кобр}$ В	$U_{обр, макс}$ В	$I_{к, макс}$ мВт	$I_{к}$ /C	$I_{р, макс}$ /C	h_{21e}	$U_{кб}$ В	$I_{е}$ мА	$U_{кб, макс}$ В	$I_{кобр}$ мкА	$J_{ф}$ МГц	$I_{кб, макс}$ С/Вт
100	20	6	150	25	120	20...90	20	1	0,4	1	250	670



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд транзистора КТ819А

Технічні параметри транзистора:

Структура.....	Pnp;
Макс. напр. до-б при заданому зворотному струмі В.....	60 ;
Максимально допустимий струм до (Ік макс.)	4 ;
Статичний коефіцієнт передачі струму h_{21e} хв	750;
Гранична частота коефіцієнта передачі струму f_{gr} МГц	200;
Максимальна розсіює потужність, Вт	8 ;
Корпус	kt-27-24



Рисунок 2.9 Зовнішній вигляд транзистора IRFZ44NPBF

Основні параметри транзистора

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	ТО3Р;



Рисунок 2.10 Зовнішній вигляд кварцового резонатора HC-49U

Світлодіод АЛ 307 Б:



Рисунок 2.11 Зовнішній вигляд світло діода АЛ 307Б

Колір свічення.....	синій;
Довжина хвилі, мкм.....	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, °С.....	-60...+70;
Параметри приведені при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.	



Рисунок 2.12-Зовнішній вигляд термодатчика типу DS18B20

Основні технічні характеристики:

- напруга живлення.....3В;
- відчувачи точності визначення дальності..... $\pm 0,5$ °C;
- відчувачи температура макс..... +100 °C;
- струм живлення1 А;
- діапазон напруги живлення..... 3В до 5,5;
- робоча температура, С-40 ... +55;

Однообмотковий, чотирьополісний, безщітковий двигун постійного струму з електронним захистом - при механічному блокуванні і захистом при зворотній полярності підключення.

За останні роки компанія SUNON значно модернізувала свої вентилятори.

Була досягнута краща продуктивність при тому ж споживанні електроенергії та знижений рівень шуму. Також змінилася маркування вентиляторів.

При виконанні замовлень ми намагаємося підібрати максимально наближену до старої моделі заміну.

Відповідними критеріями є ефективність вентилятора, рівень шуму та тип підшипника вентилятора. Треба звернути увагу що вибрані таким чином вентилятори можуть мати набагато нижчий струм (потужність).

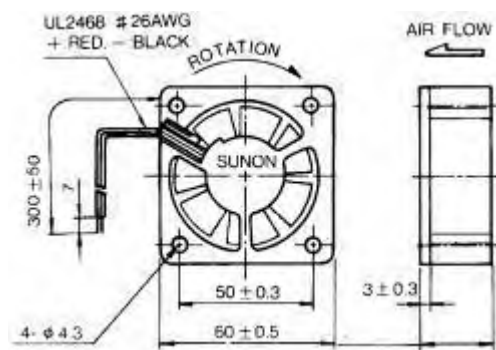


Рисунок 2.13 Зовнішній вигляд вентилятора KDE2406PTVX "Sunon"

Основні параметри:

Тип підшипника.....	ковзання
Робоча напруга, В	12
Струм, А	0,17
Частота обертання, об. / Мін.....	4500
Продуктивність, м.куб. / Мін.....	0.44
Шум, дБА	34
Розміри рами, мм.....	60x60
Товщина, мм	15



Рисунок 2.14 Зовнішній вигляд кнопок PBS10C-2

-Номинальна напруга.....	12 В;
-Опір контактів.....	0,1 Ом;
-Опір ізоляції.....	100 МОм;
-Максимально допустимий струм.....	50 мА;
-Максимальна ємність між контактами.....	5 пФ.



Рисунок 2.15 – Зовнішній вигляд гнізда типу PSCM3N "Velleman»

Таким чином, всі електрорадіоелементи, застосовані в цьому пристрої, були обрані з урахуванням їх допустимих електричних параметрів, які

відповідають вимогам електричної схеми, а також зважаючи на їхню доступність, вартість і якість.

2.4 Аналіз конструкції виробу та розрахунок споживаної потужності

При розробці друкованої плати для цього пристрою була вибрана елементна база з доступних і широко поширених електрорадіоелементів, які характеризуються великим розкидом параметрів. Проте, навіть з таким розкидом, ці елементи здатні забезпечити нормальну роботу при відповідних режимах експлуатації.

Пристрій призначений для роботи в нормальних кліматичних умовах і не передбачає функціонування при екстремально низьких чи високих температурах. Хоча можна адаптувати його для роботи в екстремальних умовах, це значно підвищить вартість елементної бази, що може негативно вплинути на комерційну привабливість пристрою.

Корпус пристрою виготовляється з пластмаси, яка надає йому як переваги, так і недоліки. Переваги включають легкість, зручність у виробництві та естетичний зовнішній вигляд, тоді як недоліки можуть включати менш високу міцність у порівнянні з іншими матеріалами.

Використання пластмаси в конструкції пристрою приносить низку вагомих переваг. По-перше, це знижує вартість матеріалів, що дозволяє зберегти конкурентоспроможну ціну. Пластмаса надає можливість реалізувати привабливий дизайн і виготовляти деталі будь-якої складності, що важко втілити в металевих корпусах. Крім того, пластмасові компоненти значно легші за металеві.

Однак існують також деякі недоліки використання пластмаси, зокрема її низька механічна міцність та погана теплопровідність. Тому для пристроїв, що значно нагріваються під час роботи, часто надають перевагу металевим корпусам.

Завдяки оптимальному підходу до вибору матеріалів і конструкції, ми створили пристрій з низькою собівартістю, що може мати значний попит серед споживачів із середнім рівнем доходу. При цьому він зберігає високі електричні характеристики в межах нормальних режимів роботи.

Виконаємо розрахунок споживаної потужності пристрою: Для визначення активної споживаної потужності застосовується така формула:

$$P=U \times I \quad (2.1)$$

де:

U — напруга живлення пристрою, яка становить 4.5 В;

I — струм споживання пристрою, який становить 0.2 А;

$$P=4.5\text{В} \times 0.25\text{А} = 1.125\text{Вт}$$

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Інтеграція та модульність

Модульний дизайн забезпечує гнучкість і зручність в налаштуванні системи під різні типи блоків живлення. Можна під'єднувати різні модулі для тестування специфічних характеристик залежно від поточних завдань.

Різноманітні підключення інтерфейсів для легкої інтеграції з різними типами блоків живлення, включно з стандартними роз'ємами і програмними інтерфейсами для моніторингу та налаштування.

Процес тестування включає розробку комплексних тестових сценаріїв для верифікації функціональності блоку живлення під різними умовами навантаження, зокрема на пікові струми та в умовах зміни напруги.

Калібрування системи це є забезпечення точності вимірювань шляхом регулярних калібрувань, використовуючи еталонне обладнання для перевірки точності вимірювальних приладів перед кожним використанням.

Розробка зручного графічного інтерфейсу користувача (GUI), який дозволяє налаштовувати параметри навантаження і стежити за показниками в режимі реального часу.

Інтеграція можливостей дистанційного управління через мережу для випадків, коли обладнання знаходиться у важкодоступних місцях або працює в автоматичних системах тестування.

Зручність користувацького інтерфейсу

Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс спрощує взаємодію з пристроєм, знижуючи потенційні помилки при налаштуванні та експлуатації. Це може включати графічні дисплеї, на яких відображається поточний режим роботи, а також можливість швидкого доступу до даних та звітів.

Розробка користувацьких налаштувань, які дозволяють адаптувати еквівалент навантаження під специфічні потреби або умови тестування, підвищує гнучкість системи та її корисність для різноманітних завдань.

Розробка архітектури системи, що охоплює всі необхідні компоненти, від керуючого модуля до інтерфейсів вводу-виводу, дозволяє побудувати надійну та стабільну систему. Це включає визначення способу комутації сигналів, інтеграцію сенсорних технологій і управління енергоспоживанням.

Для ефективної інтеграції еквівалента навантаження в існуючу інфраструктуру важливо забезпечити сумісність з already оновленими системами випробувань та обладнанням. Це включає підтримку різноманітних інтерфейсів і протоколів, таких як USB, GPIB, RS-232, що дозволяє підключати пристрій до різних типів вимірювальної апаратури.

Наявність відкритих API дозволяє легко інтегрувати еквівалент навантаження в спеціалізовані програмні системи управління випробуваннями, які використовують компанії для автоматизації та збирання випробувальних даних. Це забезпечує гнучкість і масштабованість системи.

Розвиток технологій динамічного вимірювання, що забезпечують аналіз параметрів живлення в реальному часі, дозволяє точніше і швидше ідентифікувати аномалії чи дефекти в блоках живлення. Інтеграція алгоритмів обробки даних може підвищити можливості системи і поліпшити якість випробувань.

Використання IoT та хмарних технологій.

Включення компонентів інтернету речей (IoT) та хмарних обчислень може забезпечити віддалений моніторинг та управління еквівалентами навантаження. Це відкриває можливості для збору та аналізу великих обсягів даних, що використовуються для поліпшення процесів та виявлення трендів у ефективності блоків живлення.

Оскільки відмови та відновлення працездатності є випадковими подіями, час і місце їх виникнення не можна точно передбачити. Через це надійність оцінюється за допомогою імовірнісних характеристик. Імовірність безвідмовної роботи (ІБР) елемента $p(t)$ або системи $p_s(t)$ визначається як імовірність того, що протягом заданого часу напрацювання t і за певних умов експлуатації не відбудеться жодної відмови.

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ є умовною щільністю ймовірності виникнення відмов пристрою і визначається для конкретного моменту часу за умови, що до цього моменту відмови не траплялися.

Взаємозв'язок між інтенсивністю відмов і ймовірністю безвідмовної роботи може бути виражений наступним чином:

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

Надійність за раптовими експлуатаційними відмовами (при $\lambda_0 = \text{const}$) оцінюється для періоду нормальної експлуатації, коли первинний період роботи (входження в режими) вже завершено, а відмови через зношення та старіння ще не відбулися. Для складної апаратури різного типу інтенсивність відмов системи може вважатися постійною навіть на етапі зношування.

Основою розрахунку є принцип визначення показників надійності системи на основі характеристик надійності її компонентів. Це дозволяє виконувати розрахунки в процесі проектування апаратури, що складається з відомих елементів і вузлів. Для цього необхідно конкретизувати раніше отримані вирази для показників надійності елементів $p(t)$, $q(t)$, $\omega(T)$, T_{CP} , T_0 , беручи до уваги постійність інтенсивності відмов.

Формула для визначення ймовірності безвідмовної роботи набуває наступного вигляду:

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

Ця залежність відома як експоненційний закон надійності. Під параметром t розуміють не календарний час, а конкретний інтервал, протягом якого оцінюється надійність. За умови, що λ_0 є сталою, ймовірність безвідмовної роботи для однакових інтервалів часу t не залежить від вибору початкової точки відліку для цього інтервалу.

Середній час до відмови можна визначити таким чином:

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

Об'єднавши елементи з однаковою надійністю, отримаємо:

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

де:

- λ_{0j} — інтенсивність відмов для (j)-ої групи;
- N_j — кількість елементів у (j)-ій групі;
- m — загальна кількість груп рівнонадійних елементів.

Інтенсивність відмов пристрою в цілому:

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

Приблизний розрахунок надійності здійснюється на стадії технічного проектування, використовуючи наведені вище формули. Значення λ -характеристик (інтенсивності відмов) елементів пристрою визначаються за довідниковими даними.

При уточненому розрахунку надійності враховуються впливи умов експлуатації, температури та електричного режиму, використовуючи наступні співвідношення:

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

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

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

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

де:

λ_j — інтенсивність відмов для (j)-ої рівнонадійної групи елементів за експлуатації в заданих умовах;

λ_{0j} — інтенсивність відмов для тих самих елементів за експлуатації в номінальному режимі;

α_j — поправочний коефіцієнт, який враховує вплив температури навколишнього середовища та електричне навантаження на елементи в (j)-ій групі.

Поправочний коефіцієнт k_λ враховує умови експлуатації радіоелектронної апаратури (РЕА). Зокрема:

$k\lambda 1$ враховує вплив механічних факторів, таких як вібрація та ударні навантаження.

$k\lambda 2$ враховує вплив кліматичних факторів, таких як температура та вологість.

$k\lambda 3$ визначає умови роботи при зниженому атмосферному тиску.

Значення поправочного коефіцієнта α залежно від температури та коефіцієнта навантаження kH , так само як і інтенсивності відмов елементів пристрою, беруться з довідникових таблиць. Коефіцієнт навантаження визначається як відношення фактичного навантаження по певному параметру (потужність, струм, напруга), яке діє на елемент, до його номінального навантаження, встановленого нормативно-технічною документацією.

Коефіцієнт навантаження по потужності:

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

де:

P_P — робоче значення потужності розсіювання;

P_H — номінальне значення потужності розсіювання.

Коефіцієнт навантаження за напругою:

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

де:

U_P — робоче значення напруги;

U_H — номінальне значення напруги.

Під час проектування коефіцієнт електричного навантаження зазвичай встановлюється в межах 0,4...0,8. Температуру і коефіцієнт навантаження можна визначити експериментально, під час випробувань дослідного зразка, або за допомогою розрахунків. Типові значення поправочних коефіцієнтів беруться з довідкової літератури.

Для розрахунку надійності радіопристрою потрібні такі дані:

- перелік компонентів (елементів);
- кількість елементів кожного типу;

- умови експлуатації;
- довідкові дані інтенсивності відмов електронних радіоелементів (ЕРЕ).

Розрахунок надійності виконується за наступною послідовністю:

1. Складіть таблицю вхідних даних для розрахунку. Визначте конструктивні характеристики компонентів (наприклад, кремнієві або германієві транзистори, електролітичні або керамічні конденсатори і т.д.), кількість елементів у кожній групі. З таблиць визначте значення поправочних коефіцієнтів α_i і інтенсивності відмов λ_0 . Розрахуйте інтенсивність відмов λ_i для кожної групи компонентів.

2. Для врахування умов експлуатації визначте поправочні коефіцієнти відповідно до умов експлуатації проектного радіопристрою і розрахуйте сумарний коефіцієнт K_λ . Якщо умови експлуатації відповідають лабораторним, K_λ приймається рівним 1.

3. Проведіть розрахунок інтенсивності відмов за формулою (3.4).

4. Розрахуйте середній час до відмови з урахуванням відповідних характеристик.

5. Проведіть розрахунок ймовірності безвідмовної роботи радіопристрою для заданих значень часу t_R . Рекомендується вибрати 6-10 значень t_R .

6. За результатами розрахунків побудуйте графік залежності ймовірності безвідмовної роботи радіопристрою від часу t_R .

Розрахунок надійності радіоелектронної апаратури (РЕА) значно спрощується при використанні комп'ютерної програми NAD_Release. Щоб цей розрахунок був ефективним, програма повинна відповідати таким вимогам:

1. Виконання розрахунку ймовірності безвідмовної роботи та середнього часу до відмови з урахуванням умов експлуатації.

2. Збереження результатів розрахунку у вигляді файлу з можливістю друку та подальшої обробки іншими програмами (наприклад, у MathCAD).

3. Візуалізація результатів у вигляді графіка, що показує залежність ймовірності безвідмовної роботи від часу роботи пристрою.

4. Наявність комп'ютерної бази даних для інтенсивності відмов різних електрорадіоелементів та електромеханічних блоків.

5. Можливість редагування бази даних з метою врахування особливостей різних пристроїв.

6. Здатність доповнювати базу даних характеристиками нових елементів.

7. Можливість корегування даних щодо інтенсивності відмов та інших експлуатаційних характеристик у процесі розрахунку.

8. Зручний та інтуїтивно зрозумілий для користувача інтерфейс програми.

На рисунку 3.1 показане вікно програми

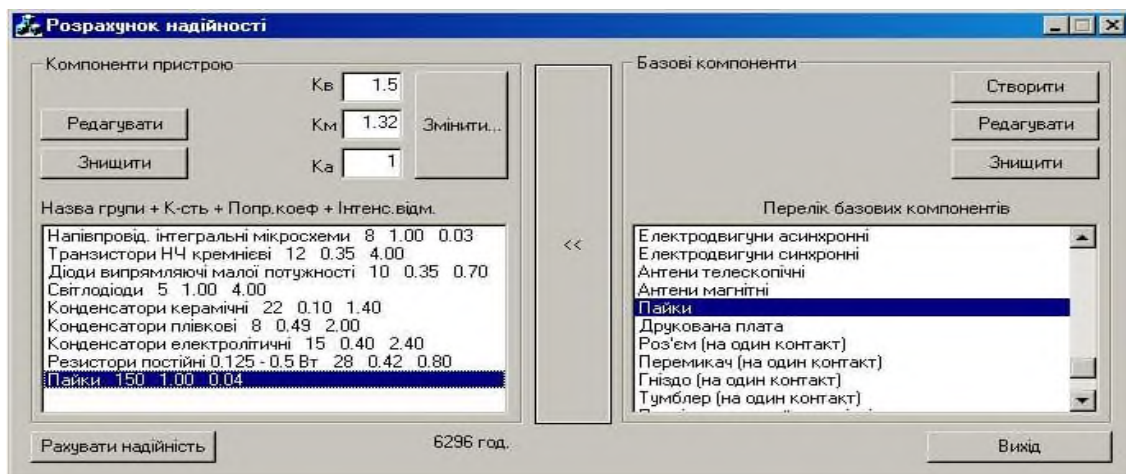


Рисунок 3.1 — Головне вікно програми для розрахунку надійності

Результати, які виводяться у файл, містять:

- таблицю вхідних даних, яка включає список компонентів пристрою: назва групи компонентів, кількість елементів у групі, інтенсивність відмов, поправочний коефіцієнт, а також сумарну інтенсивність відмов для кожного типу елементів;

- значення коефіцієнтів впливу $k\lambda_1$, $k\lambda_2$, ($k\lambda_3$;
- сумарну інтенсивність відмов пристрою;
- середній час напрацювання до відмови;

• дані для побудови графіка залежності ймовірності безвідмовної роботи від терміну роботи.

В результаті розрахунку були отримані наступні результати, які стосуються надійності проектного приладу:

Вхідні дані:

№	Назва групи елементів	К-сть, шт.	Кпопр	Івідм * 1e-06, 1/год.	К-сть * Кнав * Івід * 1e-06
1	Напівпровідникові інтегральні мікросхеми	2	1	0.03	0.06
2	Діоди випрямляючі малої потужності	5	0.35	0.7	1.225
3	Конденсатори керамічні	6	0.1	1.4	0.84
4	Конденсатори електролітичні	3	0.4	2.4	2.88
5	Резистори постійні 0.125 - 0.5 Вт	15	0.42	0.8	5.04
6	Друкована плата	1	1	0.1	0.1
7	Пайки	94	1	0.02	1.88

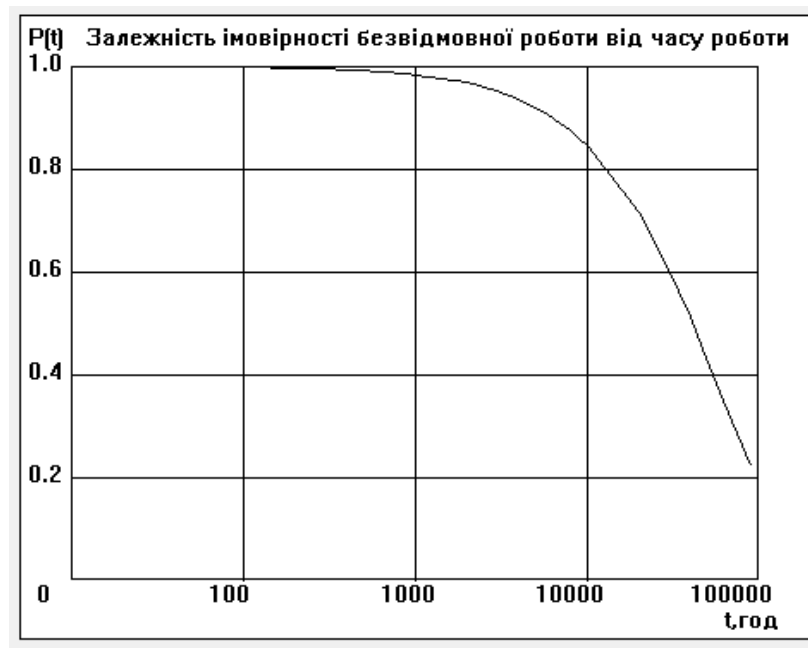


Рисунок 3.2 — Графік залежності $P=f(t)$

Під час розрахунку надійності пристрою були враховані всі елементи, з урахуванням коефіцієнтів механічних впливів, вологості та температури, що дозволило визначити середній час до відмови, який склав 83,160.1 годин.

У цьому пристрої може виникнути несправність. Існує чимало можливих причин таких відмов, але для їх визначення використовуватимемо алгоритм пошуку, представлений на рисунку 3.3.

Однією з можливих несправностей пристрою є відсутність сигналу заряду на виході.

Пошук несправності почнемо з перевірки напруги на виході. Спочатку перевіряємо роз'єм XS1 за допомогою вольтметра: якщо сигнал на роз'ємі відсутній, необхідно замінити його на справний. Якщо сигнал присутній, перевіряємо мікросхему DA2. У разі відсутності сигналу на мікросхемі слід замінити її, оскільки вона є несправною. Якщо сигнал є, переходимо до перевірки вимірювача звуку ВК1. За відсутності напруги на ньому він потребує заміни. Якщо напруга є, перевіряємо мікросхему DD1. Якщо на виході цієї мікросхеми немає напруги, її слід також замінити. Якщо на виході мікросхеми є напруга, але індикатор не світиться, це означає, що індикатор поламаний.

Для перевірки використовувалися мультиметр та осцилограф, які добре підходять для вимірювання вказаних параметрів та мають відповідний діапазон вимірювань. У цьому пристрої немає складних налаштувань, і ті, що є, можна легко виявити.

процесі (у загальному випадку вузли виступають як сховища даних заданого об'єму, а переходи — як потоки даних).

Послідовність подій відображається почерговістю спрацювання переходів. Для спрацювання переходу, необхідне виконання певних умов. Ці умови визначаються кількістю міток, наявних у вузлах мережі, з'єднаних з даним переходом. Якщо умови спрацювання виконано, то перехід вважається збудженим.

На рис. 3.4 показано переміщення міток через збуджений перехід. Перехід спрацює, якщо для кожної з його вхідних позицій виконується умова щоб кількість міток на позиції була не меншою від кількості вихідних дуг.

При спрацюванні переходу число маркерів у вхідній позиції зменшується на число вихідних дуг у даній позиції, а у вихідній позиції, пов'язаній із даним переходом збільшується на число її вхідних дуг.

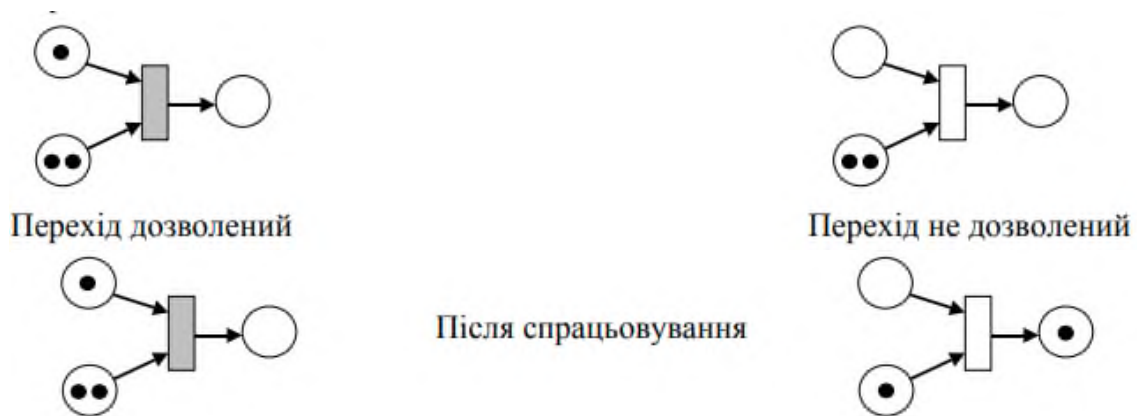


Рисунок 3.4-До правил спрацювання переходів: випадки дозволеного і недозволеного переходів

Вибір конкретного маркера, що підлягає переміщенню залежить від режиму формування черги при вилученні із неї маркерів (тобто в якій послідовності в модельованій системі опрацьовуються об'єкти, що представлені маркерами на позиціях).

У простих мережах Петрі автоматично використовується режим довільного доступу (порядок поставлення маркерів у чергу та порядок їх вилучення для них не має значення). Уточнення прав міток у вузлах та

властивостей переходів є додатковим зручним засобом для моделювання матеріальних та інформаційних потоків у виробничих системах.

Так, наприклад, алгоритм тестування, пошуку неполадок і заміна несправних блоків, приведений на рис. 3.3, відобразиться мережею Петрі, показаною на рис. 3.5. При початковому маркуванні в позиції P2 знаходиться 5 міток, що відповідає кількості вузлів приладу, які підлягають перевірці при пошуку неполадок. В позиціях P4 і P6 початково знаходиться по одній мітці, функція яких забезпечувати відкритість переходів T2 і T3 відповідно, якщо на них приходять мітки від P1 або P3. Коли приведені вище правила спрацювання виконуються, мітки переміщуються між позиціями, відтворюючи в такий спосіб хід подій за алгоритмом, блок схема якого приведена на рис.3.3. Тобто біжучий стан маркування мережі відповідає конкретному етапу перевірки: блок тестують, блок замінюють або залишають без заміни. Час на виконання конкретної процедури беремо із статистичних оцінок часу потрібного для виконання цих процедур. Його значення приписуються відповідним переходам T1, T2, T3, T4.

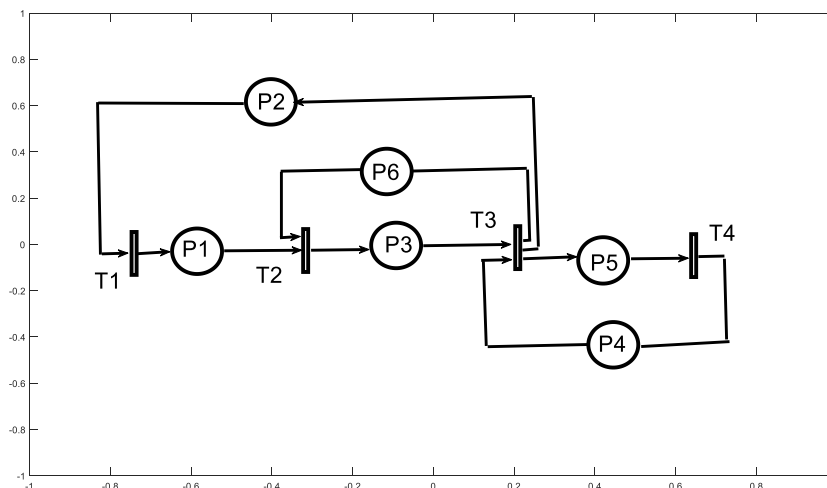


Рисунок 3.5- Мережа Петрі для моделювання процедури тестуванні і усунення неполадок виробу

Отже, якщо позиція P2 непорожня (тестування незавершене), мітка через T1 з відповідною затримкою проходить до P1 і, якщо при цьому і в P6

знаходиться також мітка (оператор вільний), мітка опиняється в Р3. По закінченні перевірки блоку через час Т3 мітка повертається в Р6, що свідчить про готовність оператора до наступного тестування, і, паралельно, мітка переходить до Р5, якщо на даний момент позиція Р5 відкрита, про що свідчить наявність мітки також в Р4. Таким чином у кожен момент тактового часу на мережі Петрі відображено біжучий стан перевірки за алгоритмом з рис. 3.3.

Побудова мережі Петрі для конкретного випадку здійснюється в наступні етапи:

- визначаються з переліком подій, що відбуваються в модельованій динамічній системі;
- аналізують причини їх виникнення та зміни стану системи, при функціонуванні будь-якої з описаних в системі подій;
- відтворюють маршрутну карту між подіями та умовами переходу.

Так за допомогою математичних моделей, представлених у вигляді мереж Петрі можна досліджувати такі характеристики виробничих систем, як асинхронність, конфліктність, паралелізм у виконанні операцій проектування і обслуговування апаратури.

3.3 Електроніка, мікропроцесорна техніка та САПР

Розрахунок електричних параметрів окремих каскадів.

Для розрахунку стабілізаторів напруги на інтегральних мікросхемах (ІМС) зазвичай потрібні такі початкові дані: номінальне значення вихідної напруги $U_{\text{ст вих ном}}$; граничні значення вихідної напруги $U_{\text{ст вих min}}$, $U_{\text{ст вих max}}$; мінімальний і максимальний струми навантаження $I_{\text{H min}}$, $I_{\text{H max}}$; температурна нестабільність вхідної напруги αU ; нестабільність вихідної напруги $K_{\text{нстU}}$ або коефіцієнт пульсацій вихідної напруги $K_{\text{п}}$; коефіцієнт стабілізації напруги $K_{\text{стU}}$; внутрішній опір стабілізатора $R_{\text{ст вих}}$; температурний коефіцієнт γ .

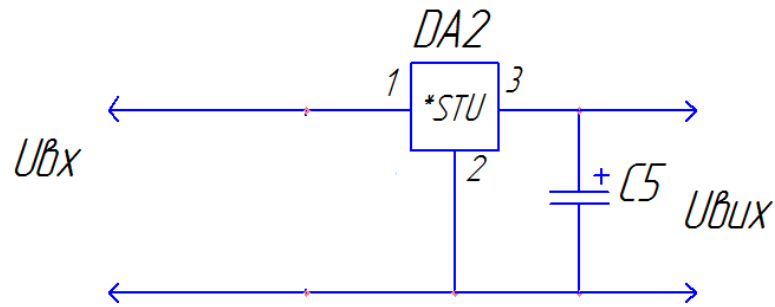


Рисунок 3.6 — Електрична принципова схема стабілізатора та конденсатора.

Вибір інтегральної мікросхеми (ІМС) здійснюється на основі таких заданих параметрів: вихідна напруга стабілізації ($U_{\text{ст вих}}$), максимальний вихідний струм ($I_{\text{ст вих max}}$), коефіцієнт стабілізації ($K_{\text{стU}}$), температурний коефіцієнт (γ), та внутрішній опір стабілізатора ($R_{\text{ст вих}}$), з використанням таблиці 3.1. Бажано віддавати перевагу тим ІМС, які працюють з меншою кількістю зовнішніх елементів. При цьому повинні дотримуватися наступні умови:

$$U_{\text{ІМС\B\И\X}} \geq U_{\text{ст\B\И\X}}$$

$$I_{\text{ІМС\B\И\Xmax}} \geq I_{\text{Hmax}}$$

Таблиця 3.1 — Параметри стабілізаторів

Тип ІМС	U_{CTBX} , В (min... max)	U_{CTBHX} , В (min... max)	K_{HCTU} , % $\frac{B}{A}$ не більше за	K_{HCTU} , % $\frac{B}{A}$ не більше за	K_{CTCT} , дБ на 1 кГц не більше за	α_U , % не більше за	I_{CTBHX} , А (max)	P_{CTPO3} , Вт без радіатора/з радіатором	I_{CTCII} , мА	U_{CTBIX} , В не більше за
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K142EHА	9...20	3...12	0,5	0,5	-	0,01	0,15	0,7/0,8	4	4
K142EH1Б	9...20	3...12	0,2	0,2	-	0,01	0,15	0,7/0,8	4	4
K142EH1В	9...20	3...12	0,8	2,0	-	0,05	0,15	0,7/0,8	4	4
K142EH1Г	9...20	3...12	0,8	1,0	-	0,05	0,15	0,7/0,8	4	4
K142EH2А	20...40	12...30	0,5	0,5	-	0,01	0,15	0,7/0,8	4	4
K142EH2Б	20...40	12...30	0,2	0,2	-	0,01	0,15	0,7/0,8	4	4
K142EH2В	20...40	12...30	0,8	2,0	-	0,05	0,15	0,7/0,8	4	4
K142EH2Г	20...40	12...30	0,8	1,0	-	0,05	0,15	0,7/0,8	4	4
KT42EH3	9...45	3...30	0,05	0,25	-	0,01	1	1,4/4	10	3
K142EH4	9...45	3...30	0,05	0,25	-	0,01	1	1,4/4	10	4
K142EH5А	7,5...15	4,9...5,1	0,05	1	70	0,02	3	1,2/10	10	2,5
K142EH5Б	8,5...15	5,88...6,12	0,05	1	70	0,02	3	1,2/10	10	2,5
K142EH5В	7,5...15	4,9...5,1	0,05	1	70	0,02	2	1,2/10	10	2,5
K142EH5Г	8,5...15	5,88...6,12	0,05	1	70	0,02	2	1,2/10	10	2,5
KP142EH5А	7,5...15	4,9...5,1	0,05	2	60	0,03	-	1,2/10	10	2,5
KP142EH5Б	8,5...15	5,88...6,12	0,05	2	60	0,03	3	1,2/10	10	2,5
KP142EH5В	7,5...15	4,82...5,18	0,05	2	60	0,03	2	1,2/10	10	2,5
KP142EH5Г	8,5...15	5,8...6,2	0,05	2	60	0,03	2	1,2/10	10	2,5
KP142EH6А	-...40	14,7...15,3	0,0015	0,3	30	0,02	0,2	1,4/5	7,5	2,5
KP142EH6Б	-...40	14,7...15,3	0,005	0,3	30	0,02	0,2	1,4/5	7,5	2,5
K142EH6В	-...40	14,7...15,3	0,0025	0,3	30	0,02	0,2	1,4/5	7,5	2,5
K142EH6Г	-...40	14,7...15,3	0,0075	0,3	30	0,02	0,2	1,4/5	7,5	2,5
142EH8А	11,5...35	8,73...9,27	0,05	0,67	40	0,02	1,5	-/9	10	2,5
142EH8Б	11,5...35	11,64...12,36	-	-	-	-	-	-	-	-

Було обрано стабілізатор KP142EH5A. Незалежно від типу обраної інтегральної мікросхеми (ІМС), необхідно визначити наступні параметри:

$$U_{CTBXmin} \equiv U_{CTBHXmax} + U_{CTPD} \quad (3.12)$$

$$U_{CT\backslash B\backslash Xmin} \equiv 5,1 + 2,5 = 7,6В$$

$$U_{CT\backslash B\backslash Xmax} \equiv U_{CT\backslash B\backslash X}$$

$$U_{CT\backslash B\backslash Xmax} \equiv 7,62(1 + 0,03) = 7,62 + 0,23 = 7,85В$$

де:

$\alpha(+)$ — найбільше позитивне відносне змінювання вхідної напруги;

$\alpha(-)$ — найбільше негативне відносне змінювання вхідної напруги.

Можливі граничні значення коефіцієнта корисної дії (ККД)

$$\eta_{\max} = \frac{U_{CT\backslash B\backslash X_{\max}}}{U_{CT\backslash B\backslash X_{\min}}}$$

$$\eta_{\max} = \frac{8,6}{7,6} = 1,14$$

$$\eta_{\min} = \frac{U_{CT\backslash B\backslash X_{\min}}}{U_{CT\backslash B\backslash X_{\max}}}$$

$$\eta_{\min} = \frac{7,6}{8,65} = 0,89 \quad (3.13)$$

Передбачається, що струм, споживаний стабілізатором, є незначним

Обчислення ємності фільтрувального конденсатора за допомогою формули:

$$C_0 = \frac{H}{rK_{\text{по}}} \quad (3.14)$$

де:

C_0 — ємність, мкФ;

r — опір, Ом.

$$C_0 = \frac{2}{1,5 \cdot 0,03} = 44,4 (\text{мкФ}) \quad (3.15)$$

Обчислюємо робочу напругу:

$$U_{\text{роб}} = \sqrt{2} U_{2x} \quad (3.16)$$

Вибираємо тип конденсатора з довідника за параметрами номінальної ємності C_0 і робочої напруги $U_{\text{роб}}$. Обираємо електролітичний конденсатор типу ЕСАР 25V з номінальною ємністю 47 мкФ і робочою напругою 25 В.

Розрахунок друкованого монтажу складається з трьох етапів: оцінка за змінним і постійним струмом, а також конструктивно-технологічний розрахунок. Розрахунки виконуються в наступній послідовності:

Виходячи з технологічних можливостей виробництва, обираємо метод виготовлення і клас точності друкованої плати згідно з ОСТ 4.010.022 – 85.

Двосторонні друковані плати (ДДП) мають такі характеристики: вони можуть забезпечити підвищені вимоги до точності виконання провідникового малюнка; на них можна встановлювати навісні елементи на поверхню плати з боку, протилежного паянню, без необхідності додаткової ізоляції; вони

дозволяють використовувати перемички без ізоляції і мають низьку вартість конструкції.

Для визначення мінімальної ширини друкованого провідника, що використовується для кіл живлення і заземлення при постійному струмі, необхідно брати до уваги такі фактори, як щільність струму, допустиме нагрівання провідника, матеріал плати та конструктивні обмеження.

$$b_{min1} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t} = \frac{0.25 A}{20 \frac{A}{mm^2} \cdot 35 \text{ мкм}} = 0.35 \text{ мм} \quad (3.17)$$

де: I_{max} — максимальна густина струму, що протікає в провідниках, визначається з аналізу принципової схеми; у нашому випадку $I_{max} = 0.25 \text{ А}$;

$j_{доп} = 20 \text{ А/мм}^2$ — допустима густина струму, вибирається залежно від методу виготовлення плати згідно з таблицею 1;

$t = 35 \text{ мкм}$ — товщина провідника в мікрометрах, що еквівалентно 0.035 мм .

Оскільки плата відноситься до 3 класу точності, в якому мінімальна ширина провідників складає 0.65 мм , вирішено прийняти мінімальну ширину провідників рівною 0.65 мм .

Таблиця 3.2 — Допустима густина струму в залежності від методу виготовлення.

Метод виготовлення	товщина фольги t , мкм	Допустима густина струму, $j_{доп}$ 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

Обчислюємо мінімальну ширину провідника в міліметрах на основі допустимого падіння напруги на ньому:

$$b_{min2} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot l}{U_{доп} \cdot t} = \frac{0.05 \frac{\text{Ом мм}^2}{\text{м}} \cdot 0.25 \text{ А} \cdot 0.16 \text{ м}}{9 \text{ В} \cdot 35 \text{ мкм}} = 0.06 \text{ мм} \quad (3.18)$$

де ρ - питомий об'ємний опір, відповідно до таблиці 1; l – довжина провідника, яка становить 0,16 м; $U_{доп}$ – максимально допустиме падіння напруги. Визначається на основі аналізу схеми і не повинно перевищувати 5% від живлення транзисторів, а також повинно враховувати вимоги щодо завадостійкості мікросхем. Клас точності плати, що нас цікавить, - третій, що передбачає мінімальну ширину провідників на рівні 0,06 мм.

Визначаємо номінальний діаметр монтажних отворів d за формулою:

$$d = d_E + |\Delta d_{н.в.}| + r \quad (3.19)$$

де d_E – максимальний діаметр виводу встановленого елемента радіоелектронного обладнання (ЕРЕ); $\Delta d_{н.в.}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра монтажного отвору (стандартно 0,1 для всіх); r – різниця між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром виводу ЕРЕ, яка вибирається в межах 0,1...0,4 мм. Отримані значення для діаметрів d нормалізуються до ряду: 1,1; 1,3; 1,5 мм.

Для малопотужних резисторів С1-4 -0,125, електролітичних конденсаторів ЕСАР, керамічних конденсаторів СС4 та діодів $d_E(1)=0,6$. Для мікросхем, транзисторів і підпаювання провідників $d_E(2)=1,0$.

Формула розрахунку діаметра отвору для малопотужних компонентів та мікросхем виглядає так:

$$d(1) = d_E + |\Delta d_{н.в.}| + r = 0,6 + |0,1| + 0,2 = 0,9 \text{ мм}, \quad (3.20)$$

$$d(2) = d_E + |\Delta d_{н.в.}| + r = 1,0 + |0,1| + 0,2 = 1,3 \text{ мм},$$

де d_E – максимальний діаметр виводу встановленого ЕРЕ, $\Delta d_{н.в.}$ – нижнє граничне відхилення монтажного отвору, r – різниця між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром виводу ЕРЕ.

З метою стандартизації, розраховані значення d коригуються до ряду: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм.

Розрахунок мінімального діаметра контактних площадок для друкованих плат і зовнішніх шарів багат шарових друкованих плат, виготовлених фотохімічним методом, можна виконати за наступною формулою:

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5h_{\phi}, \quad (3.21)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги;

$D_{1\min}$ – мінімальний ефективний діаметр контактної площадки.

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

де b_m – відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки, що дорівнює 0,06 мм.

δd і δp – допуски на розташування отворів і контактних площадок відповідно; для них прийнято значення $\delta d=0,25$ мм і $\delta p=0,4$ мм.

$d_{\max}$ – максимальний діаметр просвердленого отвору (в мм), який розраховується за формулою:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (3.22)$$

де Δd – допуск на діаметр отвору.

Розраховані значення для максимальних діаметрів отворів:

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

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

$$D_{1\min(1)} = 2 \left(0,06 + \frac{1,1}{2} + 0,2 + 0,4 \right) = 2,42 \text{ мм}, \quad (3.23)$$

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

$$D_{\min(1)} = 2,42 + 1,5 \cdot 0,035 = 2,4 \text{ мм}, \quad (3.24)$$

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

$$D_{\min(1)} = 2,42 + 1,5 \times 0,035 = 2,4 \text{ мм} \quad (3.24)$$

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

Максимальний діаметр контактної площадки розраховується наступним чином:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06) \quad (3.25)$$

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

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

Тепер визначимо ширину провідників. Мінімальна ширина провідників для друкованих плат (ДДП) і зовнішніх шарів багат шарових друкованих плат (БДП), виготовлених хімічним методом, становить:

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1.5h\phi, \quad (3.26)$$

де $b_{1\min}$ – мінімальна ефективна ширина провідника, виражена в міліметрах. Для плат 1-го, 2-го і 3-го класу точності ця величина становить $b_{1\min}=4,28$ мм.

$$b_{\min} = 4,28 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 4,36 \text{ мм}$$

Таблиця 3.3 — 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 y	$\geq 0,50$	$\geq 0,50$	$\geq 0,33$	$\geq 0,33$
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	$+ 0,10$ $- 0,15$	$+ 0,10$ $- 0,15$	$+ 0,05$ $- 0,10$	$+ 0,05$ $- 0,15$
Теж саме, $\varnothing > 1$ мм.	$+ 0,15$ $- 0,20$	$+ 0,15$ $- 0,20$	$+ 0,10$ $- 0,15$	$+ 0,10$ $- 0,15$
Допуск на ширину провідника Δb , мм, без покриття	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$+0,03$ $0,05$	$\pm 0,03$
Теж саме, з покриттям	$+ 0,25$ $- 0,20$	$+ 0,15$ $- 0,10$	$+ 0,10$ $- 0,08$	$\pm 0,05$
Допуск на розташування отворів δd , мм, при розмірі плати менше 180 мм	0,20	0,15	0,08	0,05
Теж саме, при розмірі плати від 180 до 360 мм	0,25	0,20	0,10	0,08
Теж саме, при розмірі плати більше 360 мм	0,30	0,25	0,15	0,10
Допуск на розташування контактних площадок δp , мм, на ОДП і ДДП при розмірі плати менше 180 мм	0,35	0,25	0,20	0,15
Теж саме, при розмірі плати від 180 до 360 мм	0,40	0,30	0,25	0,20
Теж саме, при розмірі плати більше 360 мм	0,45	0,35	0,30	0,25
Допуск на підтравлення діелектрика БДП $\Delta d_{\text{тр}}$, мм	0,03	0,03	0,03	0,03
Допуск на розташування контактних площадок δp , мм, на БДП при розмірі плати менше 180 мм	0,40	0,35	0,30	0,25
Теж саме, при розмірі плати від 180 до 360 мм	0,50	0,45	0,40	0,35
Теж саме, при розмірі плати більше 360 мм	0,55	0,50	0,45	0,40
Допуск на розташування провідників на ОДП і ДДП, δp , мм	0,15	0,10	0,05	0,03
Теж саме, на БДП	0,20	0,12	0,07	0,05
Відстань від краю просверленого отвору до краю контактної площадки b_m	0,06	0,045	0,035	0,025

Визначаємо мінімальну відстань між елементами провідного малюнка. Зокрема, це стосується мінімальної відстані між провідником і контактною площадкою:

Мінімальна відстань між провідником і контактною площадкою дорівнює:

$$S_{1min} = L_0 - \left[\left(\frac{D_{max}}{2} + \delta p \right) + \left(\frac{d_{max}}{2} + \delta d \right) \right], \quad (3.27)$$

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

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

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

Мінімальна відстань між двома контактними площадками:

$$S_{2min} = L_0 - d_{max} + 2\delta, \quad (3.28)$$

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

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

Мінімальна відстань між двома провідниками:

$$S_{3min} = L_0 - (d_{max} + 2\delta_d), \quad (3.29)$$

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

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

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

Мінімальна відстань між двома контактними площадками визначається за формулою:

$$S_{2min} = L_0 - d_{max} + 2\delta \quad (3.28)$$

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

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

Мінімальна відстань між двома провідниками розраховується наступним чином:

$$S_{3min}=L_0-(d_{max}+2\delta d) \quad (3.29)$$

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

$$S_{3min2}=2,5-(1,5+2\times 0,15)$$

Висновок з розрахунків полягає в наступному: ширина друкованого провідника склала 4,36 мм. Однак при обчисленні мінімальної відстані між провідником і контактною площадкою, а також між самими контактними площадками, отримані значення виявилися від’ємними. Це свідчить про те, що всі контактні площадки потребують нестандартного формату, а провідники доведеться реалізувати із звуженням.

1. Мінімальна відстань між провідником і контактною площадкою становить -0,09 мм. Однак, з огляду на обраний нами 3-й клас точності, ця відстань повинна бути в межах 0,5-0,6 мм. Тому в даному випадку вона буде дорівнювати 0,6 мм.

2. Мінімальна відстань між двома контактними площадками дорівнює - 0,2 мм.

3. З урахуванням того, що для нашого 3-го класу точності ця відстань повинна бути в межах 0,5-0,6 мм, фактична відстань між контактними площадками буде 0,6 мм.

4. Мінімальна відстань між двома провідниками становить -0,3 мм. В умовах вибраного 3-го класу точності, ця відстань повинна бути в діапазоні 0,5-0,6 мм, отже, вона буде 0,6 мм.

Для забезпечення технологічності конструкції виробу та зручності його складання під час виробництва, а також розбирання під час налаштування, корпус можна виготовити у вигляді верхньої та нижньої кришок. Така конструкція повинна забезпечити легкий доступ до компонентів виробу для його регулювання та налаштування. Корпус виготовляється з пластмаси, що має переваги у порівнянні з іншими матеріалами: вони мають меншу масу, привабливіший естетичний вигляд, а також дозволяють створювати складніші

дизайни. Однак, недоліком таких корпусів є недостатня здатність до відведення тепла, що особливо важливо для пристроїв, які виділяють багато тепла, тому для поліпшення охолодження використовують радіатори.

Корпуси цього типу виготовляються методом лиття під тиском, одним із основних способів у сучасному виробництві. Такий метод базується на заповненні формувальної порожнини прес-форми розплавленим матеріалом, який ущільнюється під тиском і охолоджується. Для кріплення друкованого вузла корпус має чотири відлиті стійки, а товщина його стінок становить 2 мм. Застосування друкованого монтажу значно спростило процес збирання вузла, а також налаштування і регулювання.

Головним елементом виробу є друкована плата, виготовлена комбінованим методом з двостороннього фольгованого склотекстоліту СФ2-35-ІКП (відповідно до ГОСТ 10316-78) товщиною 3 мм. Цей процес включає витравлювання незахищених ділянок фольги для створення друкованих доріжок та додаткову металізацію отворів. Це найпоширеніший і найзручніший метод для виготовлення двосторонніх плат.

Перед встановленням радіоелементів плата маркується фарбою ТНПФ-01 (за ТУ 29-02-889-88). Підготовка радіоелементів включає формування виводів у зигзагоподібну форму, що зменшує час монтажу та складність роботи, а також знімає потребу в збільшенні робочих місць. Виводи конденсаторів і мікросхем не потребують додаткового формування, оскільки вони вже мають відповідну форму.

Лудження виводів радіоелементів виконується вручну з використанням флюсу ЛТІ-120. Радіоелементи встановлюються вручну, а паяння здійснюється автоматизованим методом за допомогою хвилі припою, що дозволяє одночасно запаювати всі виводи.

Для компонентів, які не можуть бути запаяні автоматизовано, використовується ручне паяння електричним паяльником з напругою 36 В. Припій типу ПОС-61 (відповідно до ГОСТ 21931-76) і флюс АТІ-120 (згідно ГОСТ 32142-82) застосовуються для цієї мети.

Після завершення паяння плата промивається і покривається захисним безбарвним лаком АК-113 (згідно ГОСТ 23832-79), що захищає від вологи і впливу навколишнього середовища, витримуючи температурний діапазон від -60 до +100 °С.

Друкована плата кріпиться за допомогою саморізів за допомогою електроверта, що підвищує швидкість складання. Написи на корпусі виконуються швидкосохнучою фарбою за методом сіткографії.

Технологічність конструкції виробу визначається сукупністю властивостей, які проявляються у можливості досягнення оптимальних витрат праці, засобів виробництва, матеріалів і часу під час технологічної підготовки виробництва, виготовлення, використання та ремонту, у порівнянні з аналогічними параметрами інших конструкцій, при забезпеченні встановлених стандартів якості виробу.

Оцінювання технологічності виробу здійснюється для ефективного аналізу та доопрацювання конструкції, з метою зменшення витрат часу і ресурсів на її розробку, технологічну підготовку, виготовлення, експлуатацію та ремонт. У процесі якісного оцінювання проводиться конструктивно-технологічний аналіз з точки зору пристосованості виробу до умов виробництва та витрат на виготовлення та експлуатацію.

Якісна оцінка технологічності охоплює опис і обґрунтування вибору конструктивних матеріалів для елементів корпусу та плати, з уточненням використовуваних методів і умов виготовлення, а також застосовуваних інструментів і обладнання.

Під час якісної оцінки враховуються обсяги робіт, використані інструменти та обладнання. Нижче наведено перелік необхідних операцій:

Заготівельні роботи : Це процес підготовки всіх необхідних радіоелектронних компонентів для подальшого використання, що здійснюється працівниками, відповідальними за комплектацію.

Установка та кріплення деталей : Здійснюється вручну, хоча в даному типі виробництва можуть бути задіяні напіваавтоматизовані машини.

Вкладання та механічне кріплення монтажних проводів : Це стосується гнучких перемичок, які згодом підключатимуться до радіoeлектронних компонентів, що не розміщені на друкованому вузлі.

Пайка монтажних з'єднань : Основна пайка здійснюється автоматизовано за допомогою хвилі припою, тоді як для гнучких перемичок використовується ручне паяння електропаяльником. Використовуються матеріали: припій ПОС-61 і флюс АТІ-120.

Контроль механічної міцності паяних з'єднань : Проводиться на спеціальних стендах, де штучно створюються вібрації, тиск та інші умови, що імітують експлуатаційні навантаження. Це виконують працівники, здатні керувати спеціалізованим обладнанням.

Контроль правильності монтажних з'єднань : Оцінюється візуально персоналом середньої кваліфікації.

Контроль електричної міцності з'єднань : Здійснюється за допомогою спеціальних пультів та також виконується працівниками середньої кваліфікації.

По закінченню цього технологічного процесу отримуємо готовий друкований вузол проєктованого пристрою.

Наступним етапом у процесі виробництва є виготовлення корпусу, яке включає дві кришки та дві панелі. Технологічний процес цього етапу складається з наступних операцій:

Виготовлення форми: Відповідно до типової інструкції, форма виготовляється з використанням верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Виробництво кришок: Кришки виготовляються з пластмаси методом лиття під тиском.

Механічні доробки: Проведення додаткової обробки виробництвом.

Контроль якості: Проводиться стовідсотковий контроль якості, що здійснюється спеціалістами візуально.

Складання складових корпусу завершує процес виготовлення виробу. Детальний опис операцій складання надається у технологічному процесі.

Особлива увага при виготовленні даного виробу була приділена розробці друкованої плати. Виробництво двосторонньої друкованої плати здійснювалося комбінованим методом з використанням двостороннього фольгованого склотекстоліту СФ1-35-1,5ІКП, з розміром плати 90х85 мм, що відповідає стандартам. Провідний шар зі склотекстоліту виконаний з міді з товщиною мідної фольги 35 мкм. Мідь має такі властивості:

Мінімальний опір

Стійкість до корозії

Добра взаємодія з травниками

Легкість паяння

Коефіцієнт лінійного розширення близький до ізоляційної основи

Відмінна адгезія до ізолятора

Процес виготовлення друкованої плати комбінованим методом включає наступні етапи:

Різання заготовок

Пробивання базових отворів

Підготовка поверхні заготовок

Нанесення сухого плівкового фоторезисту

Нанесення захисного лаку

Свердління отворів

Хімічне міднення

Зняття захисного лаку

Гальванічне напилення

Електролітичне міднення та нанесення захисного покриття

Зняття фоторезисту

Травлення друкованої плати

Промивання друкованої плати

Механічна обробка

Вимоги до габаритних розмірів друкованої плати залежать від технології її виготовлення. Максимальна довжина сторони плати, як для одношарових, так

і багатошарових, не повинна перевищувати 500 мм, що зумовлено вимогами до міцності та щільності монтажу. Залежно від щільності розміщення провідників, плати поділяють на два класи: клас А - з нормальною щільністю монтажу, і клас Б - з підвищеною щільністю. Мінімальна ширина провідників та відстань між ними визначають щільність монтажу, ці параметри однакові і залежать від методу виготовлення: для плат класу А - 0,5-0,8 мм, для плат класу Б - 0,2-0,4 мм.

Габаритні розміри для плат класу А зазвичай становлять 240x360 мм, а для класу Б - 100x150 мм. Для спрощення компоновки блоків і стандартизації розмірів друкованих плат рекомендуються співвідношення сторін 1:1; 2:1; 3:1; 4:1; 3:2; 5:2. Розміри на кресленнях друкованої плати зазначаються одним із таких способів:

Відповідно до ГОСТ 2.307-68

Використанням координатної сітки

Для максимального використання фізичного об'єму конструкції ЕОМ і спрощення її виготовлення бажано розробляти плати прямокутної форми. Інші форми друкованих плат допускаються лише при розробці ЕОМ спеціальної форми.

Для точного креслення взаємного розташування друкованих провідників, елементів, контактних площадок, а також монтажних і контактних отворів, слід використовувати координатну сітку в прямокутній або полярній системі координат. У прямокутній системі крок сітки повинен складати 1,25 або 2,5 мм в якості основного кроку і 0,5 мм як додатковий. Використання більше одного кроку координатної сітки на кресленні однієї плати недопустиме.

Розміри плати мають бути економічно доцільними, щоб сприяти стандартизації інструментів і обладнання. Відхилення від прямокутної форми і створення пазів в зовнішньому контурі можуть викликати підвищені виробничі витрати і неоптимальне використання матеріалів. Конкретні розміри повинні відповідати ГОСТ 23752-79.

Життєвий цикл виробу сильно залежить від технологічності його конструкції як при виготовленні, так і в експлуатації. Конструкція повинна бути адаптована до конкретних умов, таких як технології, обладнання, оснащення і організація процесу.

Автоматична збірка висуває особливі вимоги до конструкції виробу та його компонентів. Недостатня увага до цих вимог може призвести до зниження якості, нераціональних витрат часу, матеріалів, ресурсів, а також ускладнити або зробити неможливою автоматизацію складальних операцій.

Процес автоматичної збірки включає наступні етапи:

Завантаження і попередня орієнтація деталей

Транспортування деталей в зону збірки

Базування і остаточна, взаємна орієнтація

Виконання з'єднання

Видалення виробу або складальної одиниці з позиції складання

При кількісному оцінюванні технологічності розраховують комплексний показник технологічності K , який враховує усереднене значення часткових показників з урахуванням коефіцієнтів їх важливості у розрахунках.

Коефіцієнт використання мікросхеми $K_{\text{вик.імс}}$ обчислюється за допомогою формули:

$$K_{\text{вик.імс}} = \frac{H_{\text{імс}}}{H_{\text{імс}} + H_{\text{ере}}} = \frac{1}{1+32} = 0,03 \quad (3.30)$$

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

$$K_{\text{А.М}} = \frac{N_{\text{А.М}}}{N_{\text{М}}} = \frac{81}{94} = 0,86, \quad (3.31)$$

де $N_{\text{А.М}}$ – загальна кількість монтажних з'єднань, які виконуються або можуть бути виконані автоматизованим способом, тобто за допомогою наявних механізмів для створення монтажних з'єднань.

$N_{\text{М}}$ – загальне число монтажних з'єднань.

Коефіцієнт амортизації та механізації підготовки ЕРЕ до монтажу КМ.П.ЕРЕ обчислюється за допомогою формули:

$$K_{\text{М.П.ЕРЕ}} = \frac{N_{\text{МПЕРЕ}}}{N_{\text{ЕРЕ}}} = \frac{16}{35} = 0.45 \quad (3.32)$$

де $N_{\text{МПЕРЕ}}$ – кількість ЕРЕ, підготовка яких до монтажу здійснюється або може бути здійснена механізованим чи автоматизованим способом, тобто з використанням наявних механізмів, обладнання або оснащення для цих операцій. До цієї кількості входять також ті ЕРЕ, які не потребують спеціальної підготовки до монтажу.

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

$$K_{\text{ПОВТ.ЕРЕ}} = 1 - \frac{N_{\text{ТЕЕРЕ}}}{N_{\text{ЕРЕ}}} = 1 - \frac{34}{45} = 0.24, \quad (3.33)$$

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

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

$$K_{\text{ЗАСТ.ЕРЕ}} = 1 - \frac{N_{\text{ТОРЕЕРЕ}}}{N_{\text{ТЕЕРЕ}}} = 1 - \frac{3}{34} = 0.91, \quad (3.34)$$

де $N_{\text{ТОРЕЕРЕ}}$ – кількість типорозмірів оригінальних електрорадіоелементів у виробі,

$N_{\text{ТЕЕРЕ}}$ – загальна кількість типорозмірів електрорадіоелементів у виробі.

Коефіцієнт установочних розмірів електрорадіоелементів $K_{\text{УСТ.Р}}$ обчислюється за формулою:

$$K_{\text{УСТ.Р}} = 1 - \frac{N_{\text{ВСТР}}}{N_{\text{ЕРЕ}}} = 1 - \frac{78}{45} = -0.73, \quad (3.35)$$

де $N_{\text{ВСТ.Р}}$ – кількість видів встановлених розмірів електрорадіоелементів у виробі.

Коефіцієнт прогресивності формоутворення КФ деталей розраховується за формулою:

$$K_{\text{Ф}} = \frac{D_{\text{ПР}}}{D} = \frac{3}{3} = 1, \quad (3.36)$$

де $D_{пр}$ – кількість деталей, заготовки або самі деталі, виготовлені за допомогою прогресивного методу формоутворення.

Комплексний показник технологічності визначаємо за формулою:

K_i – значення показника згідно з таблицею 1 для класу «Електронні блоки»;

ϕ_i – функція, що враховує вагову значимість показника відповідно до його порядкового номера в таблиці 3.1.

$$K = \frac{\sum K_i \phi_i}{\sum \phi_i}, \quad (3.37)$$

$$K = \frac{0,03 + 0,86 + 0,33 + 0,17 + 0,28 - 0,13 + 0,11}{3,857} = \frac{1,67}{3,857} = 0,43$$

Таблиця 3.4 Загальний показник технологічності

№ п/п	Технологічний показник	Символ	Значення	ϕ_i
1.	Коефіцієнт застосування мікросхем і мікрозборок.	Квик.імс	0,03	1,000
2.	Коефіцієнт автоматизації та механізації монтажного процесу.	Ка.м.	0,86	1,000
3.	Коефіцієнт механізації процесу підготовки ЕРЕ.	Км.п.ере	0,45	0,750
4.	Коефіцієнт повторюваності електрорадіоелементів.	Кповт.ере	0,34	0,500
5.	Коефіцієнт придатності для застосування електрорадіоелементів.	Кзаст.ере	0,92	0,310
6.	Коефіцієнт габаритних розмірів електрорадіоелементів.	Квст.р.	-0,73	0,187
7.	Коефіцієнт сучасності методів формоутворення.	Кф	1	0,110

Таблиця 3.5 Етапи розробки робочої документації

Назва класу блоків	Етапи розробки робочої документації		
	Прототип	Пілотна серія	Масове виробництво
Електронні	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

Порівняння розрахованого комплексного показника K з комплексним нормативним показником K_n дозволяє оцінити рівень технологічності виробу. Часткові показники технологічності обчислюються за допомогою формул, на основі яких визначається і комплексний показник технологічності.

Для виробів-аналогів комплексний нормативний показник K_n відображає дійсний рівень технологічності, присутній на підприємствах, що виготовляють аналогічні радіоелектронні пристрої. Цей показник повинен відповідати наступному співвідношенню:

$$\frac{K}{K_n} \geq 1 \qquad \frac{0,43}{0,5} = 0,88 \leq 1 \qquad (3.38)$$

З аналізу відношення видно, що дана умова виконується, таким чином, виріб вважається недостатньо технологічним.

Маршрутно-операційна технологія складання і монтажу виробу

Ці друковані вузли виготовлено на основі одностороннього фольгованого текстоліту СФ-2-34-151КП. Друковану плату виготовляють комбінованим методом. Після виготовлення друкованої плати, здійснюється складання друкованих вузлів. Ось опис маршрутно-операційної технології складання, оскільки інша аналогічна.

1. Розконсервація плати: Плата звільняється з целофанової упаковки за допомогою ножиць РТ 543912.

2. Маркування заводського номера: Нанесення заводського номера типографською фарбою згідно з ДСТУ 471917 за допомогою штемпеля РТ 127474.

3. Захист плати: Контактні площадки, елементи для ручного запаювання та різьбові з'єднання захищаються латексом за допомогою дозатора РД 457922.

4. Сушка: Проводиться сушіння плати в сушильних шафах РД 345218.

5. Формування виводів ЕРЕ: Автоматизоване формування виводів резисторів, кварцових резонаторів, транзисторів та стабілізаторів здійснюється за допомогою установок РД 012457, РД 010126, РД 010127.

6. Встановлення ЕРЕ: Монтаж електрорадіоелементів, які будуть автоматично запаюватися, зокрема постійні резистори, кварцеві резонатори, електролітичні конденсатори, штирьові виводи, стабілізатори, транзистори, підстроювальний резистор.

7. Встановлення ЕРЕ: Монтаж електрорадіоелементів, таких як постійні резистори, мікросхеми, електролітичні конденсатори, та клемні роз'єми.

8. Автоматизована пайка: Виконується автоматизоване запаювання ЕРЕ за допомогою хвилі припою з використанням припою марки ПОС-61, здійснюється установкою РД 309104.

9. Автоматизована пайка: Відбувається автоматизоване запаювання ЕРЕ за допомогою пайки в печі з використанням припоєвої пасти марки SN-6209, здійснюється установкою РД 387695.

Електромонтажна операція: Проводиться рихтування елементів, ручне встановлення та запаювання котушок індуктивності. Використовується паяльна станція РТ 107878, пінцет РТ 234231, припій ПОС-61 (відповідно до ГОСТ 549376) та флюс ФКС (згідно з ГОСТ 3214282).

Оживлення: Виконується в спеціально підготовлених умовах відповідно до інструкції.

Технічний контроль: Здійснюється в технологічній установці, після чого проводиться візуальний контроль зовнішнього вигляду вузла, якість пайки та

встановлення ЕРЕ, а також перевірка електричних параметрів відповідно до інструкції І2.

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

Маршрутно-операційна технологія складання й монтажу описує послідовність виконання операцій, починаючи з виготовлення друкованого вузла і завершуючи складанням корпусу всього пристрою. Процес виконується згідно з технологічними картами з дотриманням встановлених вимог.

Технологічні карти також включають розрахунок матеріалів, витрачених на виробництво, та визначають час, необхідний для складання виробу. Детальна маршрутно-операційна технологія складання і монтажу друкованого вузла представлена в додатках до даного курсового проекту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги техніки безпеки при виконанні монтажу виробу.

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 імпорتنу 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.

4.2 Вимоги техніки безпеки при обслуговуванні виробу

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 судом, 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, сухожиль, 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 більші, 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.

4.3 Захист навколишнього середовища при виготовленні виробу

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 використанні 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.

Захисні механізми

Імплементація різних захисних механізмів, таких як захист від перегріву, перевантаження, короткого замикання та небажаного включення, які можуть зашкодити обладнанню або становити загрозу персоналу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Інтеграція комплексних систем збору та аналізу даних в реальному часі дозволяє більш точно оцінювати роботу блоків живлення під різними умовами. Це забезпечує більш точний контроль за якістю і допомагає виявляти потенційні загрози на ранніх стадіях.

Розвиток та впровадження систем діагностики, що підтримуються прогнозними моделями, може збільшити термін експлуатації компонентів та зменшити ризик аварій.

Це надає можливість покращувати якість перевірок і зменшувати загальну вартість володіння.

Створення рішень, які дозволяють задавати або змінювати конфігурації еквівалентів навантаження на льоту, підвищують ефективність і знижують витрати на проведення тестів. Це особливо корисно в умовах, коли потрібно швидко реагувати на нові вимоги або стандарти.

Впровадження енергоефективних рішень для розробки та використання еквівалентів навантаження допомагає знизити оперативні витрати і зменшити їх екологічну складову. Це може включати в себе використання передових компонентів, які забезпечують мінімальні втрати тепла та електроенергії.

Еквіваленти навантаження можуть сприяти розвитку суміжних галузей, таких як виробництво електроніки або відновлюваних джерел енергії. Високоякісні випробувальні системи стимулюють введення більш інноваційних рішень на ринок, підвищуючи його конкурентоспроможність.

Еквіваленти навантаження мають бути готові до адаптації під нові технологічні тренди і зміни, які можуть включати впровадження нових методів тестування чи оновлення стандартів безпеки

У магістерській роботі було розроблено еквівалент навантаження для тестування блоків живлення і розраховано його основні технічні характеристики. Проведено якісну та кількісну оцінку технологічності, а також визначено умови експлуатації та показники собівартості.

Проектування виробу відбувалося з урахуванням сучасних вимог конструктивно-технологічного, економічного й естетичного характеру, а також норм ергономіки і дизайну. Основні особливості пристрою включають простоту виготовлення, зручність в експлуатації та обслуговуванні, а також перспективність реалізації на ринку.

З результатів кількісної оцінки технологічності зрозуміло, що конструкція є повністю технологічною і відповідає сучасному рівню на підприємствах, які випускають аналогічні радіоелектронні вироби. Використання сучасної елементної бази дозволило зменшити розміри і вагу пристрою, забезпечити високий рівень стійкості до вібрацій та надійності.

Побудовано математичну модель процесу виявлення несправностей у розробленому приладі у вигляді мережі Петрі, яка дозволяє моделювати роботу персоналу, що займається обслуговуванням обладнання на основі статистичних оцінок часових витрат.

Технологічний процес виготовлення проектного виробу досить простий і не трудомісткий, більшість операцій піддається автоматизації та механізації. Це суттєво знижує витрати праці, підвищує продуктивність і позитивно позначається на собівартості готової продукції.

Пристрій повністю адаптований до малосерійного виробництва з потенційною можливістю переходу на серійний випуск. Поширеність і широке практичне застосування вибраних елементів значно полегшує процес ремонту виробу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Härtel, P., & Müller, R. (2019). Design and application of load emulators for power supply testing. *European Journal of Electrical Engineering*.
2. Schmidt, T., & Keller, F. (2020). Advanced testing techniques for power supplies with dynamic load emulators. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*.
3. Rossi, G., & Bianchi, L. (2018). Innovations in load testing systems for power electronics. *Journal of Electronics Testing*.
4. Dupont, J.-L., & Martin, C. (2021). Thermal analysis in load emulators for power supply validation. *Journal of Thermal Engineering and Applications*.
5. Fischer, M., & Lang, R. (2019). Smart load emulation techniques for improved power supply testing. *Electronics and Circuitry Journal*.
6. Gruber, K. (2018). Modular load emulators for flexible testing applications. In *Proceedings of the European Conference on Power Electronics and Applications*.
- 7 Методичні вказівки по виконанню дипломного проекту для студентів спеціальності: 172 «Телекомунікації та радіотехніка» - ТК ТНТУ, 2021р.
- 8 Методичні вказівки по виконанню графічної частини дипломного проекту - ТК ТНТУ, 2021р.
- 9<https://uk.wikipedia.org/wiki/Mathcad>
- 10 <http://pts-russia.com/products/mathcad/mathcad-info.html>
- 11.https://pidruchniki.com/18210712/bzhd/pravila_bezpeki_pri_roboti_kompyuterom
12. <https://studfiles.net/preview/5226642/page:3/>
- 13.<https://ukrreferat.com/chapters/tehnichni-nauki/rozrahunok-dzermalnoi-anteni-suputnikovoi-anteni-kursova-robota.html>