

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки
(повне найменування факультету)

Кафедра Електронних апаратів
(повна назва кафедри)

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва напрямку підготовки)

на тему

РОЗРОБКА ПЛАТИ СТРУМОВОГО ВИХОДУ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА
ТЕМПЕРАТУРИ

Виконав: студент групи
РЕА-17бд

О.О. Сівер

Керівник

О. І. Шаповалов

Завідувач кафедри

Ю. Е. Паеранд

Рецензент

Ю. Е. Паеранд

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Інформаційних технологій та електроніки
Кафедра електронних апаратів
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність - 172 „Телекомунікації та радіотехніка”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕА

_____ Ю. Е. Паеранд

“ ____ ” _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Сівер Олексій Олександрович

1. Тема проекту (роботи) «Розробка плати струмового виходу цифрового вимірювача температури.»
2. Керівник проекту (роботи) Шаповалов О. І., к.т.н.,
затверджені наказом вищого навчального закладу від
“12” лютого 2021 року № 36/15.14
3. Строк подання студентом проекту (роботи) 21 січня 2021
4. Вхідні дані до проекту (роботи)
 - 4.1 Виріб ЕА, який підлягає розробці – плата струмового виходу цифрового вимірювача температури.
 - 4.2 Схема електрична принципова струмового виходу цифрового вимірювача температури.
 - 4.3. Технічні вимоги до струмового виходу цифрового вимірювача температури:
 - повинен виконувати перетворення ШІМ сигналу у струмовий вихід від 0 мА до 20 мА;
 - повинен забезпечувати максимальну величину опору навантаження не менш 1 кОм;
 - ШІМ сигнал представлено імпульсами напруги в діапазоні від 0 В до 5 В з частотою 500 Гц;
 - вхід і вихід плати мають бути гальванорозв’язаними;
 - повинен здійснювати живлення напругою постійного струму 27 В;
 - повинен експлуатуватися в наступних кліматичних умовах: температура навколишнього повітря від плюс 5 до плюс 60°C; відносна вологість повітря 80 % при температурі 35 °С і більш низьких температурах без конденсації вологи; атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа;

- повинен випускатися дрібними серіями;
- повинен виконана на печатній платі, що буде розташована в корпусі CNS70AK

Ворла, який має кріплення на DIN-рейку;

- повинен мати точність перетворювання $\pm 0,25$ %;
- повинен мати наробіток на відмову - не менш 20000 годин.

4.4 Інструкція з охорони праці.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

5.1. Вступ.

5.2. Аналіз технічного завдання.

5.3. Створення конструкції пристрою.

5.4. Розробка технології виготовлення пристрою.

5.5. Розробка заходів з охорони праці.

5.6. Висновок

5.7. Перелік посилань

6. Перелік графічного матеріалу

6.1. Схема електрична принципова.

6.2. Креслення друкованої плати.

6.3. Складальне креслення.

6.4. Схема технологічного процесу виготовлення блоку елементів.

7. Консультанти розділів проекту

Розподіл	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Шаповалов О. І.		

8. Дата видачі завдання _____ 25 січня 2021 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Аналіз технічного завдання	26.02.21	
2.	Створення конструкції пристрою. Розробка завдань дипломного проекту.	19.03.21	
3.	Розробка технології виготовлення пристрою	16.04.21	
4.	Розробка заходів з охорони праці	14.05.21	
5.	Оформлення пояснювальної записки дипломного проекту та презентації	28.05.21	

Студент _____ О. О. Сівер

Керівник проекту (роботи) _____ О. І. Шаповалов

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

97 листів, 17 рисунків, 18 таблиць, 14 джерел.

Об'єкт розробки - плата струмового виходу цифрового вимірювача температури..

Мета роботи - розробити конструкцію плати на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання, розробити технологію виготовлення плати, розробити заходи до охорони праці при виготовленні плати.

Проведено розрахунки: конструктивні; по постійному, змінному струму; теплового режиму і надійності проектованого блоку. Розроблені заходи до охорони праці і навколишнього середовища. При проектуванні друкованої плати і випуску конструкторської документації широко використовувалися можливості САПР P-CAD, AutoCAD, MS Office.

ТЕМПЕРАТУРА, ШІМ, СТРУМ, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, РЕЗИСТОР, КОНДЕНСАТОР, ТРАНЗИСТОР, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ДРУКОВАННИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР, ПЕРЕХІДНИЙ ОТВІР.

					РМ 172.17.01 ПЗ			
Зм	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Сівер				Розробка плати струмового виходу цифрового вимірювача температури. Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Шаповалов					о	6	97
						СНУ гр. РЕА-176д		
Затв.	Паєранд							

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1.1 Аналіз призначення плати	13
1.2 Аналіз схеми електричної принципової.....	14
1.3 Аналіз умов експлуатації	16
1.4 Аналіз елементної бази	17
1.5 Аналіз технології виготовлення	29
1.6 Розробка додаткових технічних вимог к конструкції	30
2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇБЛОКА	31
2.1 Вибір конструкції друкованої плати	31
2.2 Конструктивно-технологічний розрахунок друкованого монтажу	35
2.4 Розрахунок по змінному струму.....	42
2.5 Моделювання роботи схеми	46
2.6 Розміщення начіпних елементів на друкованій платі	49
2.7 Трасування друкованого монтажу.....	51
2.8 Перевірочний розрахунок теплового режиму.....	54
2.9 Розрахунок надійності пристрою	56
3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	59
3.2 Вибір і обґрунтування методів виготовлення плати, зборки і монтажу блоку	59
3.2.1 Вибір і обґрунтування методу виготовлення друкованої плати	59
3.2.2 Нанесення паяльної пасти.....	61
3.2.3 Установка КПМ	64
3.2.4 Пайка КПМ	66
3.2.5 Підготовка начіпних елементів до монтажу	68
3.2.6 Установка ЕРЕ	69
3.2.7 Пайка ЕРЕ	70
3.2.8 Функціональний контроль	72
3.3 Розробка технології автоматичної установки КПМ на ДП.....	73
4. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ	79

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при виробництві радіоелектронної апаратури	79
4.2 Заходи з охорони праці	82
4.3 Розрахунок змішаного освітлення.....	87
4.4 Нормування і розрахунок повітрообміну.....	89
ВИСНОВКИ	92
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	93
ДОДАТОК А	95
ДОДАТОКБ.....	96

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

ЕРС –електрорушійна сила;

ЦАП – цифро-аналогове перетворення;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

ОП – операційній підсилювач;

РЕА – радіоелектронна апаратура;

ЕРЕ – електрорадіо елемент;

ІМС – інтегральна мікросхема;

ДП – друкована плата;

КПМ – компонент поверхневого монтажу;

ІЧ – інфрачервоне;

СМС – світло монтажний стіл.

ВСТУП

У сучасній промисловості є велика потреба в вимірюванні температури з можливістю автоматичного використання результатів вимірювання.

Для вимірювання температури використовують первинні датчики, що працюють на різноманітних фізичних принципах: термоопору, термопари, напівпровідникові датчики на основі Р-Н переходів, біметалічні термометри, інфрачервоні сенсори - при цьому результат перетворення за частина має вигляд, що не є зручним як для відображення для людини, так і для подальшої роботи в АСК ТП.

Термоопір - це електричний елемент, опір якого має залежність від температури з певним законом, який вказано у відповідних ДСТУ або технічних умовах. Їх виготовляють з спеціальних сплавів міді, платини або нікелю. Для багатьох областей застосування лінійності та точності термоопору є достатньою, але величину опору складно використовувати в АСК ТП і передавати на відстань значення температури за допомогою значення опору.

Термопара - це електричний елемент, принцип дії якого заснований на термоелектричному ефекті. Це ефект появи термоЕРС між двома контактами провідників з різних матеріалів, контакти яких знаходяться при різній температурі. Термопара складається з двох провідників з різних матеріалів, що з'єднані з одного боку - це називають гарячим спаєм. Вільні кінці провідників називають холодним спаєм. При нагріванні гарячого спая на контактах холодного спаю виникає термоЕРС. Залежність змінення термоЕРС від температури описана в відповідних ДСТУ або технічних умовах. Навіть у пар матеріалів, що мають велику величину термоЕРС, значення термоЕРС. має величину порядку десятків мільйонів вольт, що складно використовувати в АСК ТП і передавати на відстань.

Датчики на основі Р-Н переходів теж мають величину порядку десятків мільйонів вольт, але з невеликим класом точності. Часто використовуються всередині мікроконтролерів і мікропроцесорів для контролю їх температури. Також вони випускаються у вигляді готових мікросхем з цифровим інтерфейсом. В останньому

случає їх застосовують в АСК ТП, але лише якщо відстань не дуже велика, так як реалізовані цифрові інтерфейси, що зручно використовувати в АСК ТП, не призначені для використання на велику відстань.

Біметалічні термометри становлять собою металеві пластини з двох металів з різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення, що міцно з'єднуються між собою і утворюють біметалічну пружину. Ця пружина при нагріванні розширюється і таким чином замикає контакт або обертає стрілку термометра. Зміну лінійного розміру дуже складно передати в АСК ТП і на відстань, тому біметалічні термометри використовуються лише як автономні не перенастроювані регулятори.

Інфрачервоний сенсор визначає температуру на основі інфрачервоної радіації об'єкт. Інфрачервоне випромінювання попадає на пластину кремнію, що виконує роль абсорбера – поглинача інфрачервоного випромінювання. З іншої сторони пластина притиснута к гарячим спаям термопар, що і перетворюють нагрів випромінюванням абсорбера в електричний сигнал. Таким чином інфрачервоний сенсор має такі ж недоліки з точки зору використання в АСК ТП і для передавання значення температури, що і термопари.

Таким чином для занесення значення температури любого промислового процесу в АСК ТП і при використанні любого первинного сенсору потрібно сигнал перетворити в іншу форму. Для цього зазвичай використовують аналогові і цифрові сигнали: струм 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, частотні, напруга 0-10 В, RS485, Ethernet, HART.

Аналогові сигнали струму 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА використовуються широко, так як вони мають гарну завадостійкість, можуть передавати інформації на декілька пристроїв на одній лінії на відстань до двох кілометрів. До появи операційних посилювачів перетворення в ці сигнали було зв'язано з труднощами. Особо треба виділити сигнал 4-20 мА – він дозволяє питати електронну частину пристрою від сигнальної лінії в межах 4 мА. Це дозволяє будувати значно дешеві мережі АСК ТП.

Аналогові сигнали напругою 0-10 В використовувались раніш дуже широко, так як сигнал з більшості первинних датчиків можна було перетворити в цей аналоговий сигнал звичайним підсилюванням. Але сигнали цього виду мали невелику завадостійкість і їх було важко використовувати на великі відстані.

Цифрові сигнали RS485 і Ethernet є сучасними і завадостійкими інтерфейсами, що заміщають поступово інтерфейси на основі аналогових сигналів. Вони дозволяють передавати з великою швидкістю на великі відстані інформацію. Але потребують більш значимих апаратних затрат – мікроконтролери, інтерфейси мікросхеми і інше.

Цифровий інтерфейс HART заснований на методі передачі даних за допомогою частотної модуляції і дозволяє використовувати його разом з струмовим сигналом 4-20мА. Цифрова інформація передається частотами 1200 Гц (логічна 1) і 2200 Гц (логічний 0), що можуть накладатись на аналоговий струмовий сигнал. Частотно-модульований сигнал є двох полярним і не впливає на основний аналоговий сигнал 4-20мА. Використовується в інтелектуальних датчиках і здавачах температури і тиску.

Таким чином розробка плати струмового виходу цифрового вимірювача температури є актуальною задачею.

Об'єкт розробки – плата струмового виходу цифрового вимірювача температури.

Мета роботи – розробити конструкцію плати на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання, розробити технологію виготовлення плати, розробити заходи до охорони праці при виготовленні плати.

1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз призначення плати

У сучасній промисловості є велика потреба в вимірюванні температури з можливістю передачі результатів вимірювання від пристроїв вимірювання в систему АСК ТП і сигналів керування від системи АСК ТП на виконавчі механізми. Для занесення значення температури любого промислового процесу в АСК ТП і при використанні любого первинного сенсору потрібно сигнал перетворити в іншу форму. Для цього зазвичай використовують аналогові і цифрові сигнали: струм 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, частотні, напруга 0-10 В, RS485, Ethernet, HART. Серед цих сигналів особливо широко використовується сигнали струму 4-20 мА, так як вони мають гарну завадостійкість, можуть передавати інформації на декілька пристроїв на одній лінії на відстань до двох кілометрів, дозволяє питати електронну частину пристрою від сигнальної лінії в межах 4 мА. Це дозволяє будувати значно дешеві мережі АСК ТП. З цих же причин цей сигнал використовується і для передачі сигналів керування на виконавчі механізми.

Так як нижня границя сигналу дорівнює 4 мА, то поверх цього сигналу за потреби можливо передавати данні цифровим сигналом по інтерфейсу HART. Він заснований на методі передачі даних за допомогою частотної модуляції, є двох полярним - тому при постійному струму в 0 мА працювати надійно не може.

Велике значення для пристрою, що формує сигнал 4-20 мА має величина напруги токової петлі. Вона має бути достатньою для формування сигналу в 20 мА на заявленої максимальній опорі навантаження.

Для формування токового сигналу використовують один з наступних методів:

Формування токовим ЦАПем сигналу в меншому діапазоні (наприклад 0-0,5 мА) з подальшим підсилюванням;

Формування ЦАПем напруги з подальшим перетворенням в струм;

Формування ШІМої напруги з подальшим перетворенням в струм.

Перші два методи рідко використовуються тому що для отримання гарної точності потребує додаткової мікросхеми. Для формування ШІМ сигналу використовують мікроконтролер, який зазвичай вже використовується в пристрої. Крім цього дуже часто потрібно створити гальванорозв'язаний токовий вихід. В випадку з ШІМ сигналом для цього достатньо лише однієї оптопари.

1.2 Аналіз схеми електричної принципової

Схема плати, що наведена на рисунку 1.1, побудована на перетворенні ШІМ сигналу у пропорційне значення напруги з подальшим перетворенням в струм. Сигнал ШІМ має частоту 500 Гц, роздільну здатність в 12 біт, напруга - від 0 до 5 В.

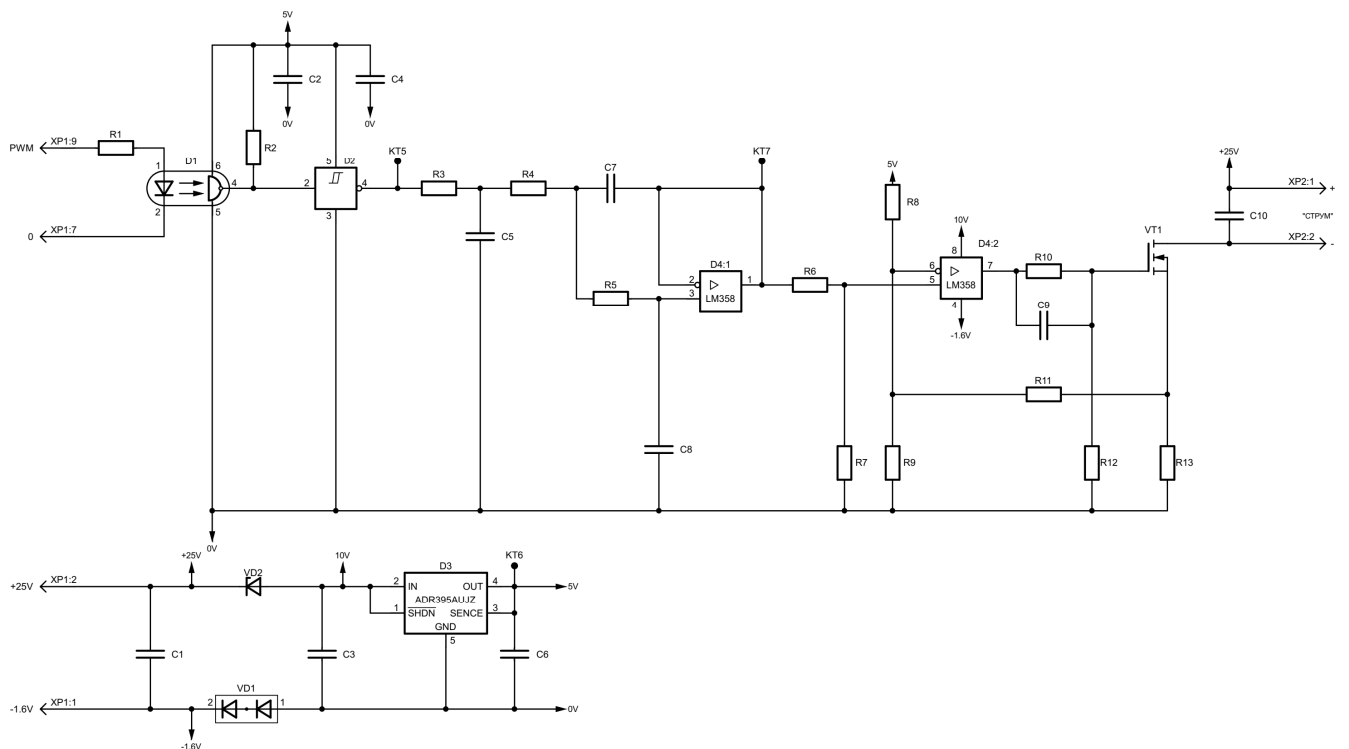


Рисунок 1.1 – Схема плати токового виходу

Сигнал ШІМ поступає на плату з контактів XP1:7 і XP1:9 через резистор R1 на вхід оптопари D1 H11L1SM фірми Fairchild. Таким чином реалізується

гальваноразв'язка між токовим виходом і рештою пристрою. Резистор R1 задає величину вхідного струму оптопарі і разом з резистором R2 задає режим роботи оптопарі D1 такий, що фронти сигналу на виході оптопарі не є пологими. Так як напруга на виході оптопарі має значення, величина якої має велику залежність від температури, тривалості імпульсу і сильно змінюється от екземпляра до екземпляру, то сигнал з оптопарі поступає на вхід компаратора 74HC1G14GV фірми NXP. Після компаратора сигнал поступає на вхід фільтру.

Фільтр побудовано на основі структури Сален-Кея і реалізовано на елементах C5, C7, C8, R3...R5 і D4:1 - половині ОП LM358DT фірми ST.

Його характеристики наступні:

1. Тип фільтру – фільтр нижніх частот;
2. Частота зрізу за рівнем 3 Дб – 7,2 Гц
3. Рівень придушення – 72 Дб;
4. Частота придушення – 360 Гц.

Такі характеристики фільтру дозволяють убрати з ШІМ сигналу перемінну частину, залишив постійну складову.

Перетворення постійної напруги в струм виконано на елементах D4:2, VT1 і R13. Напруга поступає на прямий вхід ОП викликає появу напруги на виході ОП, яка змушує відкритись транзистору VT1, що викликає протіканню через нього (при наявності підключеної к ХР2 навантаження на виході пристрою) струму. Струм викликає на резисторі R13 появу напруги, яка поступає на інверсний вхід ОП, що змушує зменшитись напрузі на виході ОП і, відповідно, прикритись транзистору VT1. Таким чином працює зворотний зв'язок ОП. Резистори R6, R7, R9, R11 задають параметри зворотного зв'язку. Резистор R8 додає зміщення, що потрібно для компенсації можливого сумарного зміщення розкиду параметрів всіх елементів схеми в негативну напругу. Елементи R10, C9 виконують демпфірування сигналу для запобігання виникнення паразитної генерації на виході пристрою. Резистор R12 виконує захист затвору транзистора VT1 від пробоя, усуваючи накопичення статички на затворі при вимкненому пристрої. Конденсатор C10 – це фільтруючий

конденсатор на виході пристрою.

Конденсатори C2 і C4 – це фільтруючі конденсатори для мікросхем D1 і D2 відповідно.

Питання плати відбувається напругою в 27 В, що подається через контакти XP1:1, XP1:2. Відносно нульового кола плати це будуть напруги “-1,6V” і “25V”. Напруга “-1,6V” використовується для питання ОП D4 і подається на його 4 вивід. Напруга “25V” використовується для забезпечення протікання струму в колі навантаження пристрою. Конденсатор C1 виконує фільтрацію вхідної напруги.

Збірка діодна BAV99 фірми Vishay забезпечує зміщення на 1,6 В напруги нульового кола відносно напруги кола “-1,6V”. Стабілітрон VD2 BZV55C15 фірми Nexperia зменшує напругу, що поступає на вхід стабілізатора живлення D3 ADR395AUJZ фірми AnalogDevice до 10 В. Ця ж напруга використовується для питання ОП D4 і подається на його 8 вивід. Конденсатори C3 і C6 - фільтруючі і потрібні для нормальної роботи стабілізатора живлення D3. Стабілізатора живлення D3 видає стабілізовану напругу для живлення мікросхем D1, D2.

1.3 Аналіз умов експлуатації

Плата повинна експлуатуватися в наступних кліматичних умовах:

- температура навколишнього повітря від плюс 5 до плюс 60°C;
- відносна вологість повітря 80 % при температурі 35 °C і більш низьких температурах без конденсації вологи;
- атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа.

Плата повинна бути виконана на печатній платі, що буде розташована в корпусі CNS70AK.

1.4 Аналіз елементної бази

Даний аналіз полягає в встановленні відповідності застосовуваної елементної бази певним характеристикам розроблювальної плати, тобто експлуатаційні характеристики ЕРЕ повинні задовольняти умовам експлуатації.

Використання інтегральних мікросхем дозволяє вдосконалити методи проектування, конструювання й проектування РЕА різного призначення, поліпшити технічні й експлуатаційні характеристики. Застосування ІМС дозволяє поліпшити технічний рівень, економічність, надійність й якість продукції. [1]

Мікросхема LM358DT являє собою 2 операційні підсилювачі малої потужності, виконана у корпусі SO8, характеристики наведені в таблиці 1.1. Розташування виводів і корпус мікросхеми представлено на рисунку 1.2.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики LM358DT

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	±16 або 32
Споживаний струм, мА	2
Діапазон робочих температур, °С	0...+70
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.3×10^{-7}
Маса, г	≤ 1

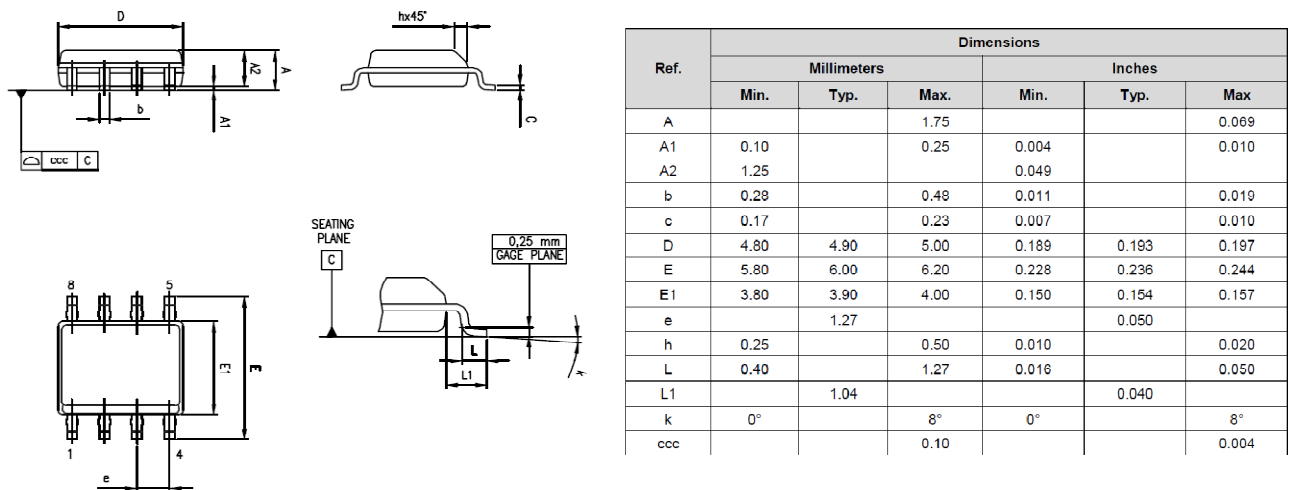


Рисунок 1.2 – Корпус ІМС LM358DT

Мікросхема Н11L1SM являє собою оптопару на виході якої застосовано тригер Шмітта, який забезпечує гістерезис для захисту від шуму та формування імпульсів, виконана у корпусі PDIP6 case646BY, характеристики наведені в таблиці 1.2. Розташування виводів і корпус мікросхеми представлено на рисунку 1.3.

Таблиця 1.2 – Основні характеристики Н11L1SM

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	3...15
Споживаний струм, мА	10
Діапазон робочих температур, °С	-40...+85
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.3×10^{-7}
Маса, г	≤ 1

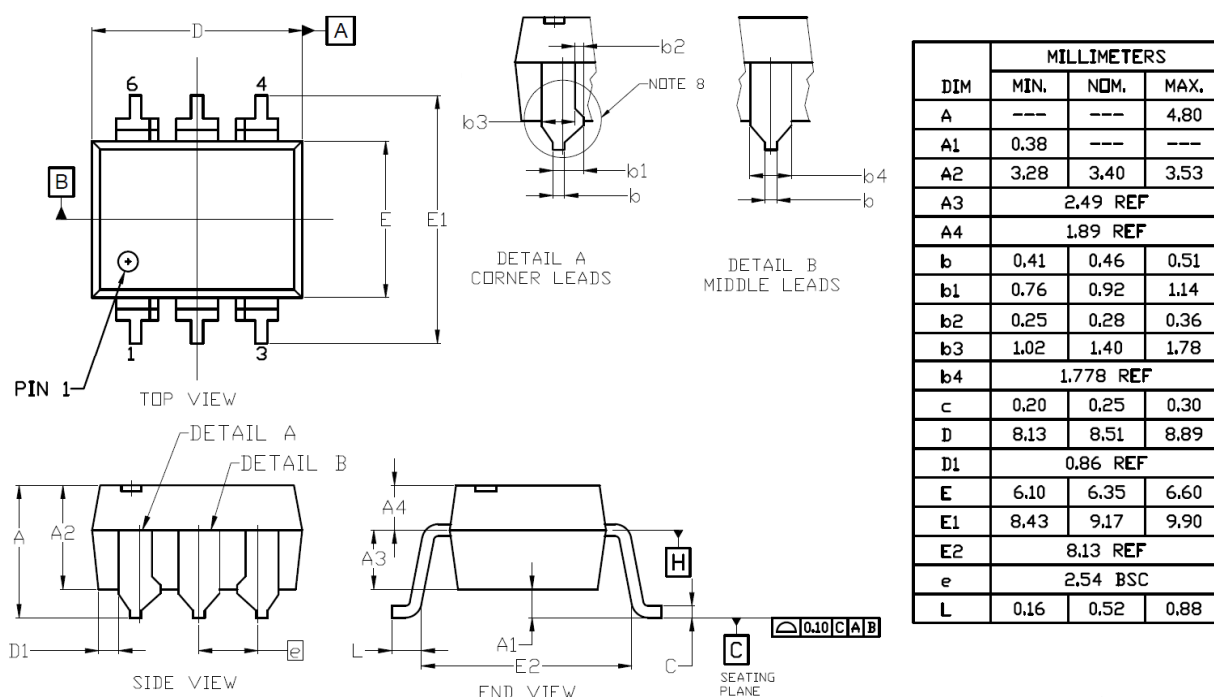


Рисунок 1.3 – Корпус H11L1SM

Мікросхема 74HC1G14GV являє собою інвертуючий тригер Шмітта, виконана у корпусі SOT353, характеристики наведені в таблиці 1.3. Розташування виводів і корпус мікросхеми представлено на рисунку 1.4.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики 74HC1G14GV

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	2...6
Споживаний струм, мА	0,5
Діапазон робочих температур, °C	-40...+125
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.3×10^{-7}
Маса, г	≤ 1

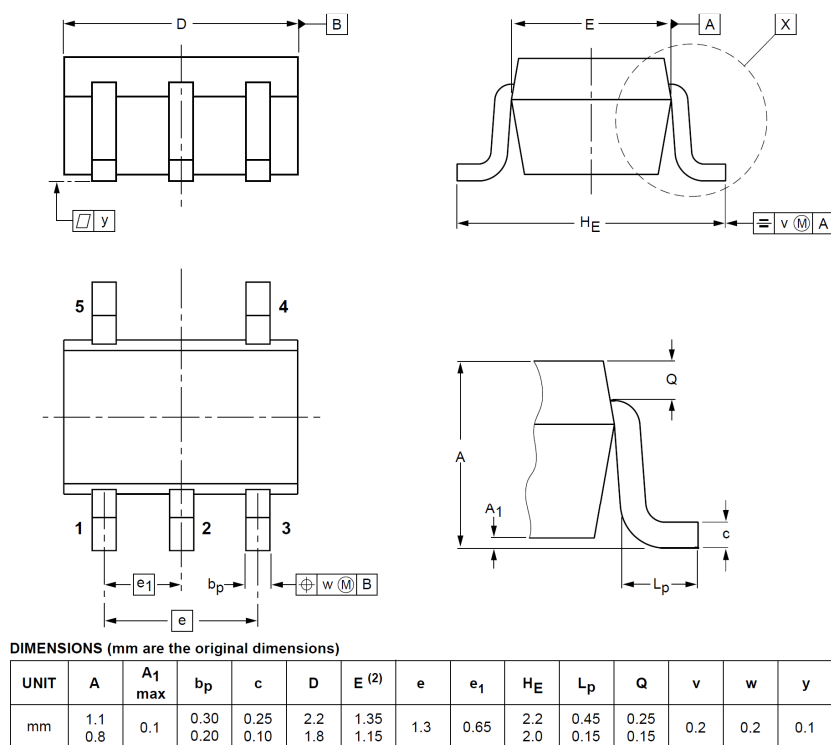


Рисунок 1.4 – Корпус 74HC1G14GV

Транзистор IRL014 – польовий транзистор з n-каналом, виконаний у корпусі SOT-223. Основні характеристики наведені в таблиці 1.4, корпус і розташування виводів на рисунку 1.5.

Таблиця 1.4 – Основні характеристики транзисторів IRL014

Параметр	Значення
Тип	MOSFET n-канал
Струм стоку, А	1.7
Напруга стік – витік максимальна, В	60
Максимальна потужність стоку, Вт	2
Діапазон робочих температур, °С	-60...+150
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.027×10^{-7}
Маса, г	0.5

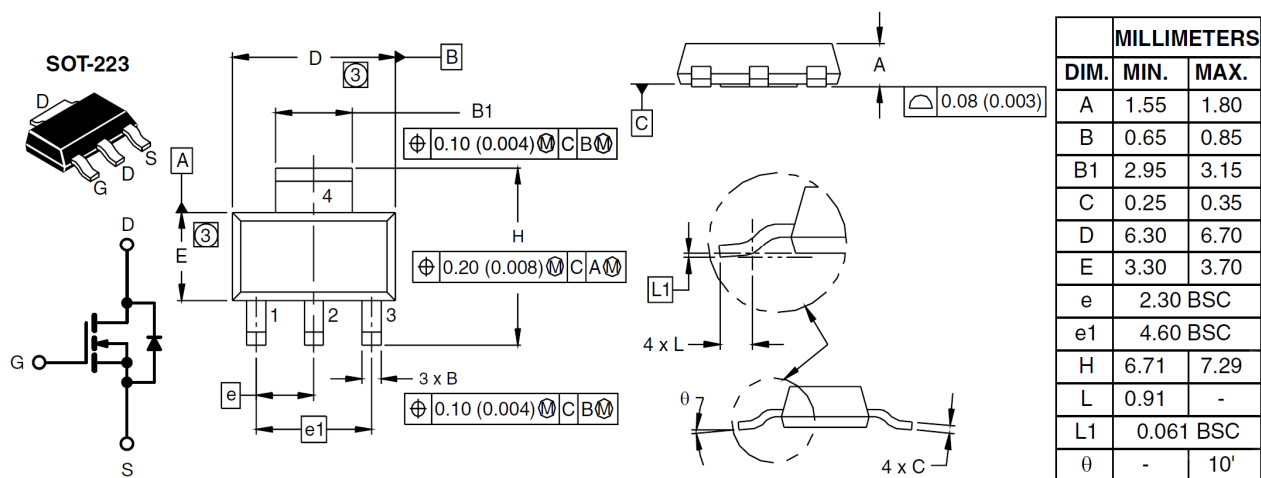


Рисунок 1.5 – Корпус і розташування виводів IRL014

Збірка діодів BAV99, виконана у корпусі SOT-23. Основні характеристики наведені в таблиці 1.5, корпус і розташування виводів на рисунку 1.6.

Таблиця 1.5 – Основні характеристики збірки діодів BAV99

Параметр	Значення
Максимальна постійна зворотна напруга, В	70
Максимальний прямий струм, мА	150
Діапазон робочих температур, °С	-55...+150
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.05×10^{-7}
Маса, г	0.01

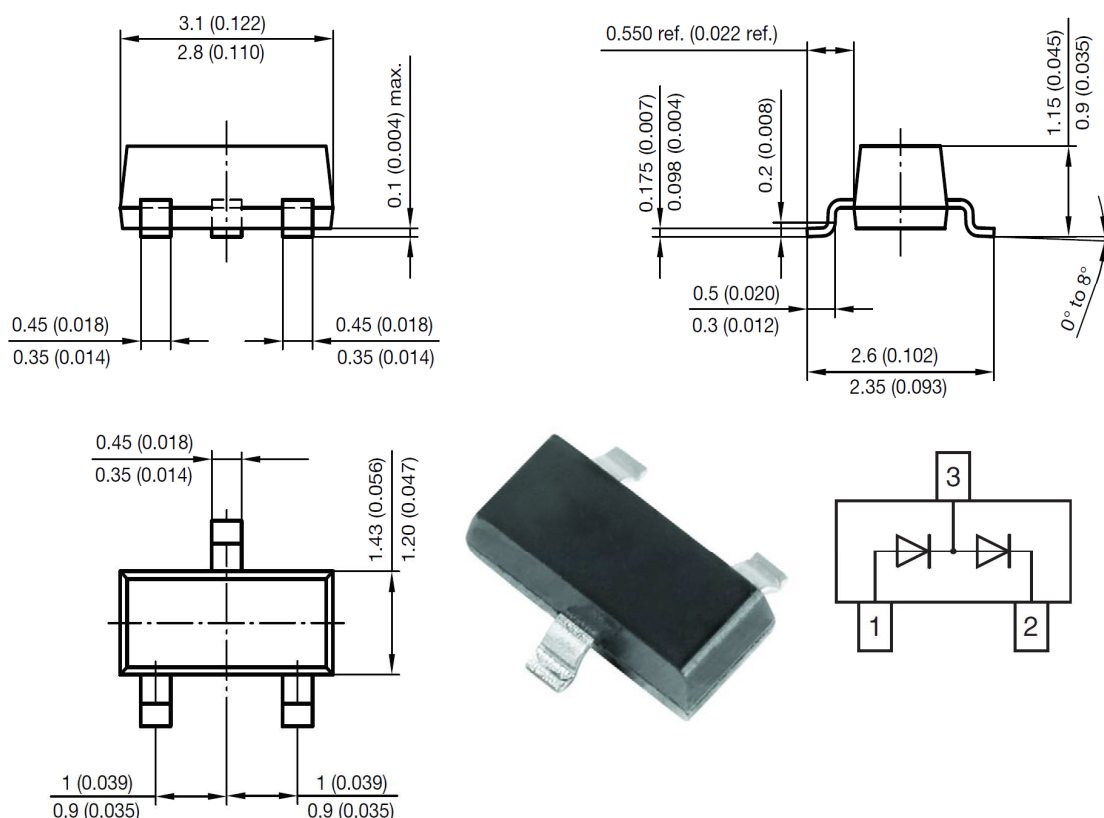


Рисунок 1.6 – Корпус і розташування виводів BAV99

Стабілітрон BZV55C15, виконаний у корпусі SOD80C. Основні характеристики наведені в таблиці 1.6, корпус і розташування виводів на рисунку 1.7.

Таблиця 1.6 – Основні характеристики збірки діодів BZV55C15

Параметр	Значення
Робоча напруга, В	13.8...15.6
Максимальний прямий струм, мА	250
Загальна потужність розсіювання, мВт	400
Діапазон робочих температур, °С	-65...+200
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.05×10^{-7}
Маса, г	0.01

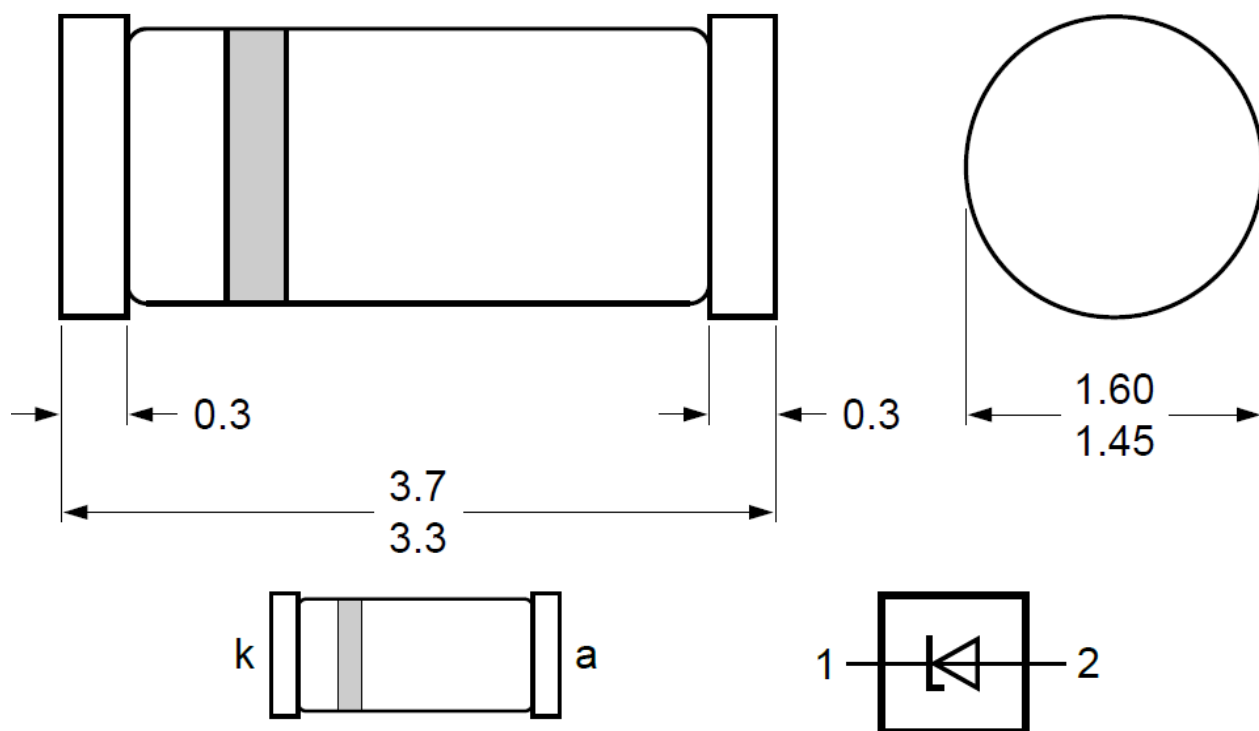
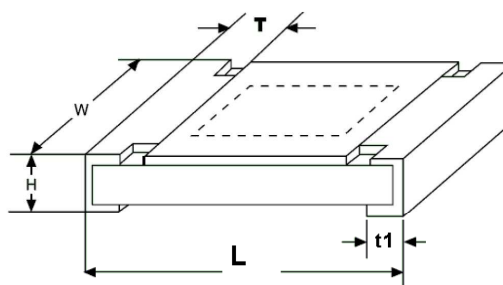


Рисунок 1.7 – Корпус і розташування виводів BZV55C15

Резистори типу RC0805JR – це товстоплівковий резистор у чип виконанні. Основні електричні й експлуатаційні дані наведені в таблиці 1.7, корпус показаний на рисунку 1.8.

Таблиця 1.7 – Основні характеристики резисторів типа RC0805JR

Параметр	Значення
Номінальний опір, Ом	0...20000000
Потужність розсіювання, Вт	0.125
Робоча напруга, В	150
Точність, %	5
Діапазон робочих температур, °С	-55...+155
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.003×10^{-7}
Маса, г	≤ 0.1



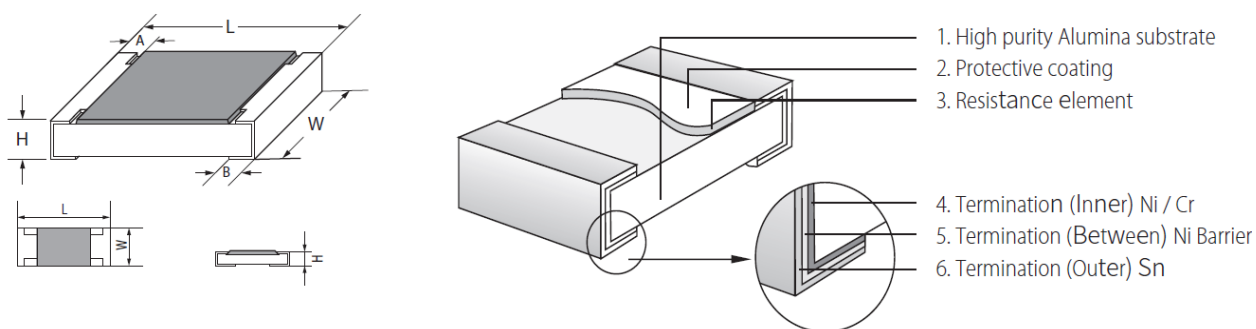
EIA Size	Power Rating (at 70°C)	L	W	H	T	t ₁
0805	1/8W	2.0±0.10	1.20±0.10	0.55±0.10	0.35±0.20	0.35±0.20

Рисунок 1.8 – Корпус резисторів типа RC0805JR

Резистори типу TC0610C – це тонкоплівковий резистор у чип виконанні, з високим допуском номіналу і низьким температурним коефіцієнтом опору. Основні електричні й експлуатаційні дані наведені в таблиці 1.8, корпус показаний на рисунку 1.9.

Таблиця 1.8 – Основні характеристики резисторів типа TC0610C

Параметр	Значення
Номінальний опір, Ом	10...20000
Потужність розсіювання, Вт	0.125
Робоча напруга, В	200
Точність, %	0.25
Температурний коефіцієнт опору, PPM	±10
Діапазон робочих температур, °C	-55...+155
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.003×10^{-7}
Маса, г	≤ 0.1



Type	Size	L (mm)	W (mm)	H (mm)	A (mm)	B (mm)
TC06	1206 (3216)	3.10±0.15	1.55 ^{+0.15} _{-0.10}	0.55±0.10	0.4±0.2	0.45±0.20

Рисунок 1.9 – Корпус резисторів типа TC0610C

Конденсатори серії 0805B/N являють собою керамічні чип конденсатори загального застосування. Основні електричні й експлуатаційні дані наведені в таблиці 1.9, корпус показаний на рисунку 1.10.

Таблиця 1.9 – Основні характеристики конденсаторів типа 0805B/N

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	25...50
Номінальна ємність, пФ	0.7...10000000
Діапазон робочих температур, °С	-55...+125
Інтенсивність відмов, 1/ч	0.01×10 ⁻⁷
Маса, г	≤ 0.1

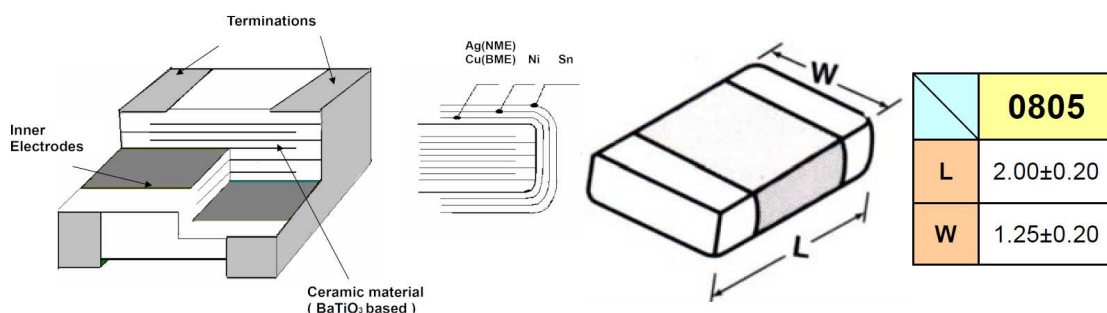


Рисунок 1.10 – Корпус конденсаторів типа 0805В/Н

Роз'єм типу KLS1-202 – вилка на плату, закрита. Основні електричні й експлуатаційні дані наведені в таблиці 1.10, корпус показаний на рисунку 1.11.

Таблиця 1.10 – Основні характеристики роз'єма KLS1-202

Параметр	Значення
Робоча напруга, В	250
Граничний струм, А	1
Опір ізолятора, МОм	не менше 5000
Опір контактів, Ом	не більше 0.02
Діапазон робочих температур, °С	-45...+105
Інтенсивність відмов, 1/ч	3×10^{-7}
Маса, г	1...7

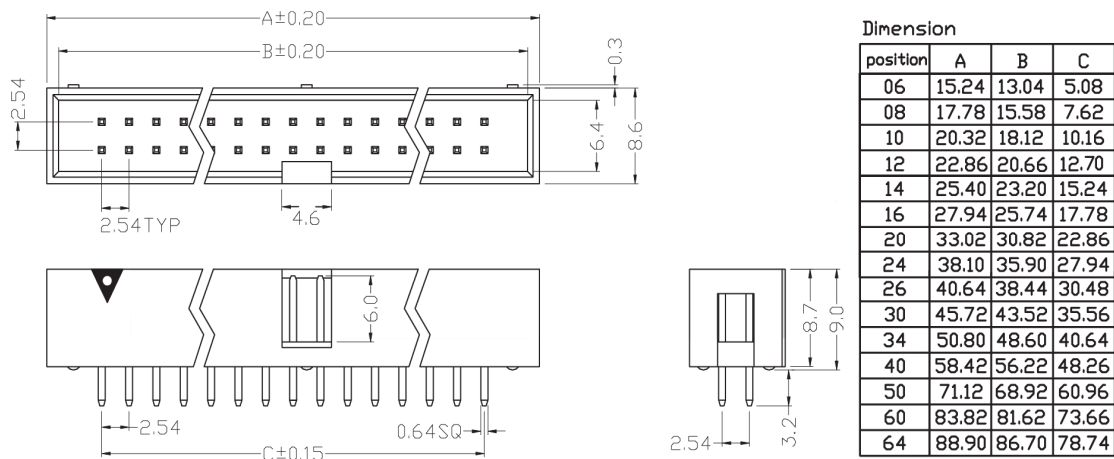


Рисунок 1.11 – Корпус и розташування виводів роз'єма KLS1-202

Роз'єм МС 1.5/2-G-3.81 основні електричні й експлуатаційні дані наведені в таблиці 1.11, корпус показаний на рисунку 1.12.

Таблиця 1.11 – Основні характеристики роз'єма МС 1.5/2-G-3.81

Параметр	Значення
Робоча напруга, В	160
Граничний струм, А	8
Номінальна імпульсна напруга ізоляції, кВ	2.5
Опір контактів, Ом	не більше 0.013
Діапазон робочих температур, °С	-5...+100
Інтенсивність відмов, 1/ч	3×10^{-7}
Маса, г	0,574

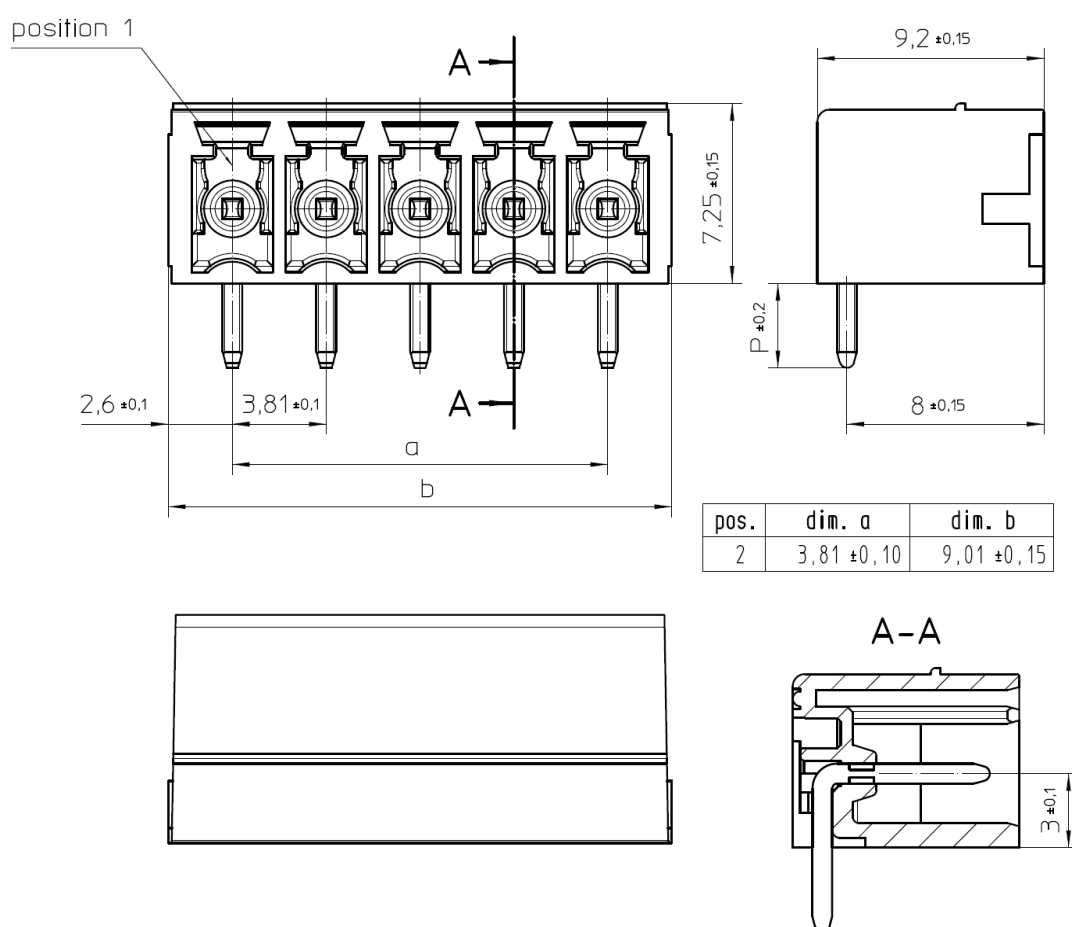


Рисунок 1.12 – Корпус и розташування виводів роз'єма МС 1.5/2-G-3.81

Проаналізувавши технічні та експлуатаційні характеристики можна зробити висновки, що елементна база відповідає умовам експлуатації даної плати струмового виходу. Застосування обраної елементної бази дозволяє спроектувати плату, що працює при заданих умовах експлуатації без погіршення параметрів роботи пристрою. Оскільки дана плата не буде експлуатуватися при сильних механічних впливах і у разі відсутності великогабаритних елементів, спеціальних заходів щодо закріплення елементів не передбачається.

Виходячи з аналізу елементної бази можна визначити, що схема не містить не стандартних елементів і не вимагає застосування спеціальних технологій виготовлення і прийняття особливих конструкторських рішень. Елементи з високою потужністю розсіювання і працюючих на граничних теплових режимах, відсутні, що дозволяє зробити вибір природного повітряного охолодження.

Завдяки застосуванню досить сучасної елементної бази, плата струмового виходу містить невелику кількість електрорадіо елементів, має більшу надійність, кращі параметри, що спрощує його виготовлення, налагодження, експлуатацію та ремонт.

Конструкція більшості ЕРЕ дозволяє здійснювати їхню установку автоматизованим і напівавтоматизованим способом, тому елементи друкованої монтажу повинні поставлятися виробником у відповідній їм технологічній тарі. [2].

Оригінальні ЕРЕ встановлювати ручним способом.

Малі розміри ЕРЕ і невелика їхня кількість дозволяють здійснити односторонню установку елементів, але особливості розташування плати у корпусі вимагають вихідний роз'єм встановити на іншому боці плати, для зменшення щільності друкованих провідників і поліпшення надійності трасування буде здійснюватися на двосторонній друкованій платі з фольгованого склотекстоліту.

Вхідні живильні цепи будуть також будуть підключатися рознімним з'єднанням на відповідні контакти, розпаюванням провідників на відповідні контакти.

Мінімальна відстань між выводами мікросхеми становить 0.65 мм. Виходячи з

цього, друкована плата буде виготовлена по четвертому класу точності з кроком координатної сітки рівним 0.625 мм.

1.5 Аналіз технології виготовлення

При аналізі технології виготовлення плати необхідно з'ясувати до якого типу виробництва відноситься виготовлення проекрованої плати.

Виходячи з особливостей розвитку ринку й прогнозів його становища на майбутнє, можна зробити висновок, що економічно вигідно установити обсяг виробництва плат 1000 штук у рік.

При виникненні попиту на дану плату, підприємство виготовлювач може випустити додаткову партію проекрованої плати.

Розроблювальна плата буде виготовлятися на дрібносерійному, багатомономенклатурному виробництві, що дозволяє застосувати типові технологічні процеси: виготовлення друкованої плати, пайка хвилею припою, нанесення паяльної пасти груповим методом, оплавлення паяльної пасти в печі й т.д. Обсяг виробництва нашої плати становить близько 1000 штук у рік, тому необхідно встановлювати навісні й оригінальні елементи вручну. Збільшити продуктивність ручного збирання можна за рахунок автоматизації робочого місця: застосування світломонтажних столів і пристроїв, що подають поверхневі елементи.

На підприємстві, де буде виготовлятися дана плата, освоєний комбінований метод виготовлення друкованих плат. Цей метод нас влаштовує, тому що він забезпечує необхідну точність виготовлення друкованої плати й дозволяє ощадливо витратити мідь.

Для нанесення паяльної пасти необхідно застосовувати трафаретний друк.

Застосування типових технологій дозволяє значно скоротити витрати й час на технологічну підготовку виробництва нової апаратури.

1.6 Розробка додаткових технічних вимог к конструкції

У ході результатів аналізу технічного завдання можна сформулювати ряд попередніх конструкторських рішень, яких необхідно дотримуватися при розробці плати:

- плата повинна бути виконана двосторонньою;
- матеріал друкованої плати - склотекстоліт фольгований;
- розміщення навісних елементів - двобічне;
- клас точності плати - 4;
- крок координатної сітки - 0.625 мм;
- плата розташовується у корпусі і фіксується за рахунок пазів виконаних у корпусі;
- у корпусі повинні бути перфораційні отвори, для забезпечення нормального теплового режиму роботи плати.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ БЛОКА

2.1 Вибір конструкції друкованої плати

Друкована плата – це діелектрична основа з системою нанесених тим або іншим способом, друкованих провідників з необхідними отворами. Друковані плати одержали широке поширення у виробництві електронних апаратів, завдяки наступним перевагам у порівнянні з монтажем провідниками і кабелями:

- зменшення габаритів і маси виробу;
- збільшення щільності монтажу;
- відсутність монтажних помилок і висока ідентичність електричних і конструктивних параметрів;
- можливість автоматизації виробництва, включаючи травлення, свердлення отворів, зборку, пайку і контроль;
- високу продуктивність і низьку собівартість;
- збільшення надійності.

До недоліків варто віднести складність внесення змін у конструкцію і обмежену ремонтпридатність.

Елементами друкованої плати є діелектрична основа, металеве покриття у вигляді малюнка друкованих провідників і контактних площадок, монтажні, перехідні і фіксуючі отвори. Вони повинні відповідати вимогам ДСТУ 23752-86 і галузевих стандартів.

Основу друкованих плат виготовляють з ізоляційного матеріалу, який повинен добре зчіплюватись з металом провідників, також мати велику діелектричну проникність (для того, щоб уникнути виникнення значних паразитних ємностей між друкованими провідниками), і малий тангенс кута діелектричних втрат, мати досить високу механічну і електричну міцність, допускати обробку різанням і штампуванням, зберігати свої властивості при впливі кліматичних факторів, а також у процесі створення малюнка схеми і пайки. Таким вимогам задовольняє склотекстоліт, гетинакс.

Металеve покриття друкованої плати виконують з мідної фольги товщиною від 25 до 50 мкм.

Залежно від числа шарів друкованого монтажу розрізняють однобічні, двосторонні і багатошарові друковані плати.

Однобічні друковані плати мають низьку вартість, високу надійність. До недоліків однобічної друкованої плати варто віднести низьку щільність монтажу. Небажані перетинання провідників можна уникнути застосуванням об'ємних проводів або використанням двосторонніх друкованих плат.

У двосторонніх друкованих платах друковані провідники розташовуються на обох сторонах, що підвищує щільність монтажу і спрощує процес трасування плати. Як недолік слід зазначити необхідність введення металізованих перехідних отворів, що збільшує вартість плати і зменшує надійність.

Багатошарові друковані плати – плати, що складаються з діелектричних шарів, що чергуються, з нанесеними на них провідними малюнками, причому між малюнками виконані необхідні між шарові з'єднання. Багатошаровий монтаж дозволяє в ще більшому ступені зменшити габарити плати, збільшити щільність монтажу. Недоліком багатошарових друкованих плат є їхня висока вартість, обмежені габаритні розміри і низька надійність.

Виходячи з аналізу технічного завдання, даний блок буде виконано на двосторонньої ДП, з двостороннім розташуванням начіпних елементів і виготовлений по 4 класу точності, що вимагає використання високоякісних матеріалів, високоточного устаткування.

Як несуча конструкція і для створення електричних зв'язків, вибираємо друковану плату з двостороннього фольгованого склотекстоліту СФ–2–35–1.5 ДСТУ 10.316-78 товщиною 1.5 мм. Склотекстоліти відрізняються широким діапазоном робочих температур ($-60...+180^{\circ}\text{C}$), низьким водопоглиненням (0,2...0,8%), високими значеннями об'ємного й поверхневого опорів, стійкістю до короблення.

Для обґрунтування вибору типорозміру плати попередньо визначають площу

друкованої плати по формулі:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{K_y}, \quad (2.1)$$

де S_i – установочна площа i -го начіпного елемента;

K_y – коефіцієнт втрат площі ($K_y = 1...3$);

n – число начіпних елементів.

Геометричні розміри і установочні площі начіпних елементів наведені в таблиці 2.1.

Площа всіх елементів

$$S_i = 531.602 \text{ мм}^2.$$

З урахуванням коефіцієнта заповнення:

$$S_{II} = S_0 \cdot k, \quad (2.2)$$

де k – коефіцієнт заповнення друкованої плати ($k = 3...7$)

Для підвищення надійності і полегшення трасування приймаємо k рівним 3, тоді одержуємо.

$$S_{II} = 531.602 \cdot 3 = 1594.806 \text{ мм}^2.$$

Щоб плату можливо було встановити у корпусі CNS70AK розмір плати повинен бути 90×66 мм, але на цій платі може бути розташовано ще інший вузол, тому розміщення і трасування буде займати частину розміром 90×37 мм, що більше розрахункової площі.

Таким чином, друкована плата розмірами 90×66 мм забезпечить можливість розміщення елементів і трасування провідників.

Таблиця 2.1– Геометричні розміри і установочні площі начіпних елементів

Найменування і тип елемента	Геометричні розміри установочної площадки, мм			Площа установочної площадки, мм ²	Кількість елементів, шт	Сумарна установочна площа, мм ²
	довжина	ширина	радіус			
1 Мікросхема LM358DT	5	6.2	–	31	1	31
2 Мікросхема H11L1SM	8.89	9.9	-	88.011	1	88.011
3 Мікросхема 74HC1G14GV	2.2	2.2	-	4.84	1	4.84
4 Транзистор IRL014	6.7	7.29	-	48.843	1	48.843
5 Діод BAV99	3.1	2.6	-	8.06	1	8.06
6 Стабілітрон BZV55C15	3.7	1.7	-	6.29	1	6.29
7 Резистори RC0805JR	2.1	1.3	-	2.73	7	19.11
8 Резистори TC0610C	3.25	1.7	-	5.525	6	33.15
9 Конденсаторі 0805	2.2	1.45	-	3.19	10	31.9
10 Роз'єм KLS1-202	20.32	8.6	-	174.752	1	174.752
11 Роз'єм MC 1.5/2-G-3.81	9.16	9.35	-	85.646	1	85.646

Розміщення ЕРЕ на ДП здійснюємо відповідно до ОСТ.4ГО.010.030 та ОСТ.4ГО.010.009. При компонованні ДП необхідно забезпечити відповідно до ДСТУ 23751–79, раціональне розміщення начіпних елементів з урахуванням електричних зв'язків і теплового режиму з забезпеченням мінімальних значень довжин зв'язків, кількості переходів друкованих провідників із шару в шар, паразитних зв'язків між елементами, по можливості рівномірний розподіл мас начіпних елементів по поверхні. [3]

2.2 Конструктивно-технологічний розрахунок друкованого монтажу

Вихідними даними для розрахунку є:

- електричні та конструктивні параметри ЕРЕ, розташовуваних на платі;
- параметри матеріалу друкованої плати;
- двостороння друкована плата, виконана по 4 класу точності, розміром 90×66 мм.

Основні умовні позначення наведені на рисунку 2.1.

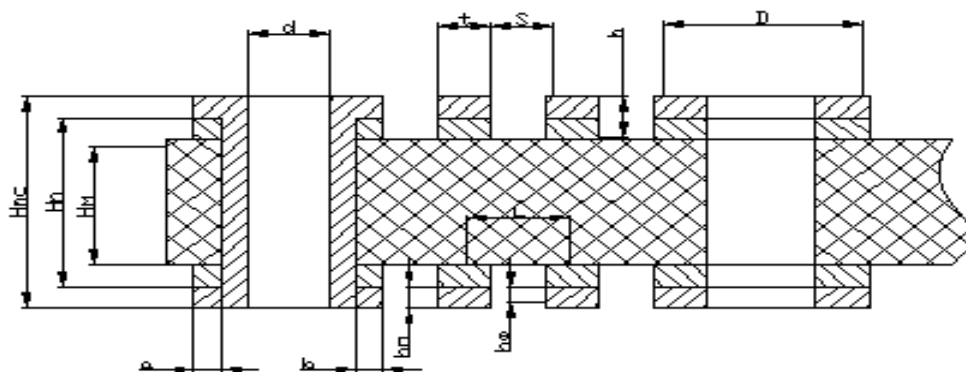


Рисунок 2.1 – Двостороння друкована плата

H_{nc} – сумарна товщина ДП; H_n – товщина плати; H_m – товщина діелектрика плати; a – відстань до краю плати; d – діаметр отвору; b – гарантійний поясок; t – ширина друкованого провідника; S – відстань між краями сусідніх елементів

провідного малюнка; L – відстань між осями (центрами) друкованих елементів; h – товщина провідного малюнка; D – діаметр кп; h_p – товщина хіміко-гальванічного покриття; h_f – товщина фольги.[2]

По точності виконання елементів друкованого монтажу плати діляться на 5 класів точності. Номінальні значення основних параметрів елементів конструкції плат для вузьких місць наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні параметри елементів друкованого монтажу для вузьких місць, мм

Умовне позначення	Клас точності				
	1	2	3	4	5
t	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
S	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
b	0.30	0.20	0.10	0.05	0.025
I	0.50	0.50	0.33	0.33	0.25

Мінімальний діаметр перехідного отвору:

$$d_n \geq I \cdot H_n, \quad (2.3)$$

де I – відношення діаметра металізованого отвору до товщини плати;

H_n – товщина друкованої плати.

$$d_n \geq 0.33 \cdot 1.5 = 0.495 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_n = 0.6 \text{ мм}$.

Мінімальний діаметр монтажного отвору:

$$d_m \geq d_B + \Delta + |\Delta d_n|, \quad (2.4)$$

де d_B – діаметр виводу начіпного ЕРЕ;

Δ – щілина між виводом і монтажним отвором для пайки ($\Delta = 0.1 \dots 0.4 \text{ мм}$);

Δd_n – нижнє граничне відхилення номінального значення діаметра отвору (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Граничні відхилення $\Delta d_{\text{мм}}$

Розмір отвору, мм	Клас точності				
	1	2	3	4	5
≤ 1.0	± 0.10	± 0.10	± 0.05	± 0.05	± 0.03
> 1.0	± 0.15	± 0.15	± 0.10	± 0.10	± 0.05

Діаметри монтажних отворів вибираються з ряду: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 2,9; 3,0 мм.

Переважними є 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,4 мм.

$$d_{m1} = 0.91 + 0.2 + 0.05 = 1.16 \text{ мм};$$

$$d_{m2} = 1.1 + 0.2 + 0.1 = 1.4 \text{ мм}$$

Вибираємо діаметри монтажних отворів: $d_{m1} = 1.2 \text{ мм}$; $d_{m2} = 1.4 \text{ мм}$.

Визначення значення ширини провідника для сигнальних ланцюгів

$$t = t_M + |\Delta t_n|, \quad (2.5)$$

де t_M – мінімально припустима ширина провідника (таблиця 2.2);

Δt_n – нижнє граничне відхилення ширини провідника (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Граничне відхилення Δt , мм

Наявність гальванічного покриття	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Є	+0,15	+0,10	+0,03	+0,03	+0,01
	-0,15	-0,10	-0,03	-0,03	-0,01
Немає	+0,25	+0,15	+0,10	+0,05	+0,03
	-0,25	-0,10	-0,08	-0,05	-0,03

Одержуємо ширину провідника для сигнальних ланцюгів:

$$t = 0.15 + 0.03 = 0.18 \text{ мм} .$$

Вибираємо стандартне значення ширини провідників для сигнальних ланцюгів $t = 0.25 \text{ мм} .$

Номінальне значення відстані між сусідніми елементами друкованого монтажу:

$$S = S + \Delta t_B , \quad (2.6)$$

де S – мінімально припустима відстань між сусідніми елементами провідного малюнка (таблиця 2.2);

Δt_B – верхнє граничне відхилення ширини провідника.

$$S = 0.15 + 0.03 = 0.18 \text{ мм} .$$

Діаметр контактної площадки (для перехідних і монтажних отворів):

$$D = (d + \Delta d_B) + 2 \cdot b + \Delta t_B + 2 \cdot \Delta d_T + \sqrt{\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_n^2} , \quad (2.7)$$

де d – діаметр отвору;

Δd_T – підтравлювання діелектрика (для багатошарових плат), $\Delta d_T = 0,03$ мм;

δd – діаметральне значення позиційного допуску розміщення центрів отворів щодо номінального положення (таблиця 2.5);

δp – діаметральне значення позиційного допуску розміщення контактних площадок щодо номінального положення (таблиця 2.6).

Таблиця 2.5 – Значення $\delta d_{мм}$

Розмір більшої сторони плати, мм	Клас точності				
	1	2	3	4	5
$L \leq 180$	0.20	0.15	0.08	0.06	0.04
$180 < L \leq 360$	0.25	0.20	0.10	0.08	–
$L > 360$	0.30	0.25	0.15	–	–

Таблиця 2.6 – Значення $\delta p_{мм}$

Вид плати	Розмір більшої сторони плати, мм	Клас точності				
		1	2	3	4	5
Одно – і двосторонні	$L \leq 180$	0.35	0.25	0.20	0.15	0.10
	$180 < L \leq 360$	0.40	0.30	0.25	0.20	–
	$L > 360$	0.45	0.35	0.30	–	–
Багатошарові	$L \leq 180$	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
	$180 < L \leq 360$	0.50	0.45	0.40	–	–
	$L > 360$	0.55	0.50	–	–	–

Для $d = 0.6$ мм :

$$D = (0.6 + 0.05) + 2 \cdot 0.05 + 0.03 + \sqrt{0.06^2 + 0.15^2 + 0.03^2} = 0.95 \text{ мм.}$$

Для $d = 1.2$ мм :

$$D = (1.2 + 0.05) + 2 \cdot 0.05 + 0.03 + \sqrt{0.06^2 + 0.15^2 + 0.03^2} = 1.55 \text{ мм.}$$

Для $d = 1.4$ мм :

$$D = (1.4 + 0.05) + 2 \cdot 0.05 + 0.03 + \sqrt{0.06^2 + 0.15^2 + 0.03^2} = 1.75 \text{ мм.}$$

На рисунку 2.2 представлені необхідні параметри для розрахунку контактних площадок КПМ.

Розрахунок контактних площадок елементів поверхневого монтажу проводиться за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) LP Calculator. Дане ПЗ, робить розрахунок контактних площадок відповідно до стандарту IPC-7351A, розробленого асоціацією IPC у співробітництві з компанією PCB MatrixCorp.

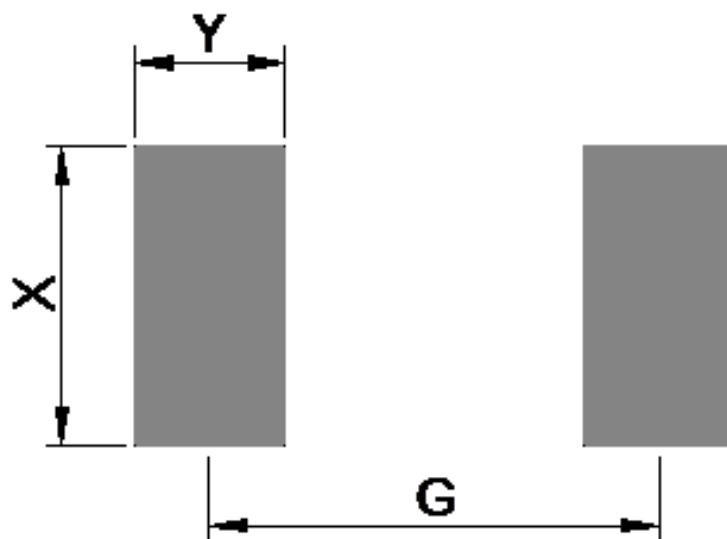


Рисунок 2.2 – Контактні площадки для КПМ

Результати розрахунку компонентів поверхневого монтажу зведені до таблиці 2.7.

Крок між контактними площадками для елементів з планарними виводами дорівнює кроку виводів відповідних елементів.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку компонентів поверхневого монтажу

Найменування елемента	X, мм.	Y, мм.	G, мм.
LM358DT	0.6	2.0	4.9
H11L1SM	0.65	2.05	8.6
74HC1G14GV	0.37	0.7	1.94
IRLL014	0.95/3,25	2.1	5.9
BAV99	0.6	1.05	2.3
BZV55C15	1.75	1	3.5
RC0805JR	1.35	0.95	1.9
TC0610C	1.75	1.05	2.9
0805B/N	1.45	1.1	1.8

2.3 Розрахунок по постійному струму

Найбільш важливими електричними властивостями друкованих плат по постійному струму є перевантажувальна здатність провідників по струму, опір провідників і діелектрична міцність основи друкованої плати. Необхідний перетин провідника шин живлення та землі:

$$S_{nz} \geq \rho \cdot l \cdot I / (0.01 \cdot U_n), \quad (2.11)$$

де ρ – питомий опір провідника ($\rho = 0.0172 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$);

l – максимальна довжина провідника ($l = 0.2 \text{ м}$);

I – максимальний струм, що протікає по провіднику ($I = 0.1 \text{ А}$);

U_n – напруга живлення схеми ($U_n = 27 \text{ В}$).

$$S_{nz} = 0.0172 \cdot 0.2 \cdot 0.1 / (0.01 \cdot 27) = 0.013 \text{ мм}^2$$

Визначимо мінімальну ширину шини живлення та землі:

$$b_{nz} = S_{nz} / h_{\phi} , \quad (2.12)$$

де h_{ϕ} – 0.035мм

$$b_{nz} = 0.013 / 0.035 = 0.37 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $b_{nz} = 0.5 \text{ мм}$.

Визначаємо мінімальну ширину сигнальних провідників:

$$S_c \geq \rho \cdot l \cdot I / (0.02 \cdot U_n) , \quad (2.13)$$

де I – максимальний струм, видаваний мікросхемою в навантаження ($I = 0.04 \text{ А}$).

$$S_c = 0.0172 \cdot 0.2 \cdot 0.04 / (0.02 \cdot 5) = 0.0025 \text{ мм}^2$$

$$b_c = 0.0025 / 0.035 = 0.071 \text{ мм}$$

Отримане значення підтверджує вибір ширини сигнального провідника, отриманого при конструктивно-технологічному розрахунку, рівного 0.25 мм.

У результаті аналізу розрахунку по постійному струму можна зробити висновок, що з погляду навантажувальної здатності провідників по струму забезпечується нормальне функціонування розроблювального виробу.

2.4 Розрахунок по змінному струму

При передачі по друкованих елементах плати високочастотних імпульсних сигналів через наявність індуктивного опору провідників, взаємної індуктивності і ємності, опору витoku між провідниками, сигнали спотворюються, з'являються перехресні перешкоди. Розрахунок по змінному струму дозволяє уточнити

максимальну довжину одиночного провідника, максимальну довжину спільного проходження рядом розташованих провідників, зазори між провідниками.

Припустимо довжину трьох паралельно розміщених сигнальних провідників розраховують по формулі:

$$l_{\partial} = \frac{0.5 \cdot l_{cd} \cdot l_{m\partial}}{l_{cd} + l_{m\partial}}, \quad (2.14)$$

де $l_{cd}, l_{m\partial}$ – гранична довжина паралельно розміщених провідників при дії тільки ємнісного паразитного зв'язку і тільки індуктивного паразитного зв'язку відповідно.

Припустима довжина трьох паралельно розташованих провідників при впливі тільки ємнісного паразитного зв'язку:

$$l_{cd} = \frac{C_{\partial}}{C_n}, \quad (2.15)$$

де C_{∂} – припустима ємність паразитного зв'язку, що залежить від завадостійкості мікросхем;

$$C_{\partial} = 50n\Phi;$$

C_n – погонна ємність (Пф/см).

$$C_n = K_{II} \cdot \zeta', \quad (2.16)$$

де K_{II} – коефіцієнт пропорційності;

ζ' – діелектрична проникність середовища.

$$K_{II} = 0.15$$

Для провідників, розташованих на поверхні плати:

$$\xi' = \frac{(\xi_0 + \xi)}{2}, \quad (2.17)$$

де ξ_0 – діелектрична проникність повітря або лаку, якщо плата покрита лаком ($\xi_0 = 4$);

ξ – діелектрична проникність матеріалу плати ($\xi = 6$).

$$\xi' = \frac{(4 + 6)}{2} = 5$$

$$C_n = 0.15 \cdot 5 = 0.75 \frac{n\Phi}{см}$$

$$l_{co} = \frac{50}{0.75} = 66 см$$

Гранична довжина паралельно розташованих сусідніх провідників при дії тільки індуктивного паразитного зв'язку для плати без екранованої площини:

$$l_{m0} \{ \ln[2 \cdot l_{m0} / [S + 0.5 \cdot (t_1 + t_2)]] - 1 \} = \frac{t_{zc} \cdot (U_{ny} + U_o)}{K_3 \cdot \Delta I}, \quad (2.18)$$

де U_{ny} – значення завадостійкості мікросхем, В;

U_o – напруга логічного 0, наведеного в ТУ, В ($U_o = 0.4В$);

ΔI – перепад струму в ланцюзі живлення при перемиканні ІМС ($\Delta I = 0.01А$);

t_{zc} – середній час затримки ($t_{zc} = 20нс$);

K_3 – коефіцієнт запасу ($K_3 = 0.5...0.7$);

Для рішення даного рівняння скористаємося ітераційним методом Ньютона.

Уведемо позначення:

$$Z = l_{m0};$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C = \frac{t_{3c} \cdot (U_{ny} + U_0)}{K_3 \cdot \Delta I} \\ B = -1, \\ A = S + 0.5 \cdot (t_1 + t_2) / 2, \end{array} \right. , \quad (2.19)$$

Тоді вихідне рівняння перетвориться до виду:

$$Z \left[\ln \left(\frac{Z}{A} \right) + B \right] - C = 0 , \quad (2.20)$$

Ітераційна формула буде мати такий вигляд:

$$Z_{i+1} = \frac{Z_i + C}{\ln \left(\frac{Z_i}{A} \right) + B + 1} , \quad (2.21)$$

Обчислення по ітераційній формулі виконують доти, поки не виконається умова:

$$|Z_{i+1} - Z_i| \leq \Delta , \quad (2.22)$$

де Δ – точність обчислень.

$$C = \frac{20 \cdot (0.4 + 0.5)}{0.7 \cdot 0.01} = 2571$$

$$B = -1$$

$$A = 0.018 + 0.5 \cdot (0.025 + 0.025) / 2 = 0.0215$$

Приймаємо: $Z_0 = 100; \Delta = 1$.

$$Z_1 = \frac{100 + 2571}{\ln\left(\frac{100}{0.0215}\right)} = 316.46$$

$$|Z_1 - Z_0| = |316.46 - 100| = 216.46 > 1 - \text{необхідна умова не виконується.}$$

$$Z_2 = \frac{316.46 + 2571}{\ln\left(\frac{316.46}{0.0215}\right)} = 301.09$$

$$|Z_1 - Z_0| = |301.09 - 316.46| = 15.36 > 1 - \text{необхідна умова не виконується.}$$

$$Z_2 = \frac{301.09 + 2571}{\ln\left(\frac{301.09}{0.0215}\right)} = 301.05$$

$$|Z_1 - Z_0| = |301.05 - 301.09| = 0.03 < 1 - \text{необхідна умова виконується.}$$

Таким чином, гранично припустима довжина паралельно розташованих сусідніх провідників при дії тільки індуктивного паразитного зв'язку дорівнює $l_{m\delta} = 30.1 \text{ см}$.

Тоді припустима довжина трьох паралельно розміщених провідників буде дорівнює:

$$l_{\delta} = \frac{0.5 \cdot 66 \cdot 30.1}{66 + 30.1} = 10.33 \text{ см}$$

У ході виконання розрахунку по змінному струмі були визначені:

– гранично припустима довжина паралельно розташованих сусідніх провідників при дії тільки індуктивного паразитного зв'язку $l_{m\delta} = 30.1 \text{ см}$;

– припустима довжина трьох паралельно розміщених провідників дорівнює $l_{\delta} = 10.33 \text{ см}$.

2.5 Моделювання роботи схеми

Виконаємо моделювання роботи плати струмового виходу цифрового вимірювача температури в програмі ElectronicsWorkbench 5.12.

Схема в програмі моделювання наведена на рисунку 2.3.

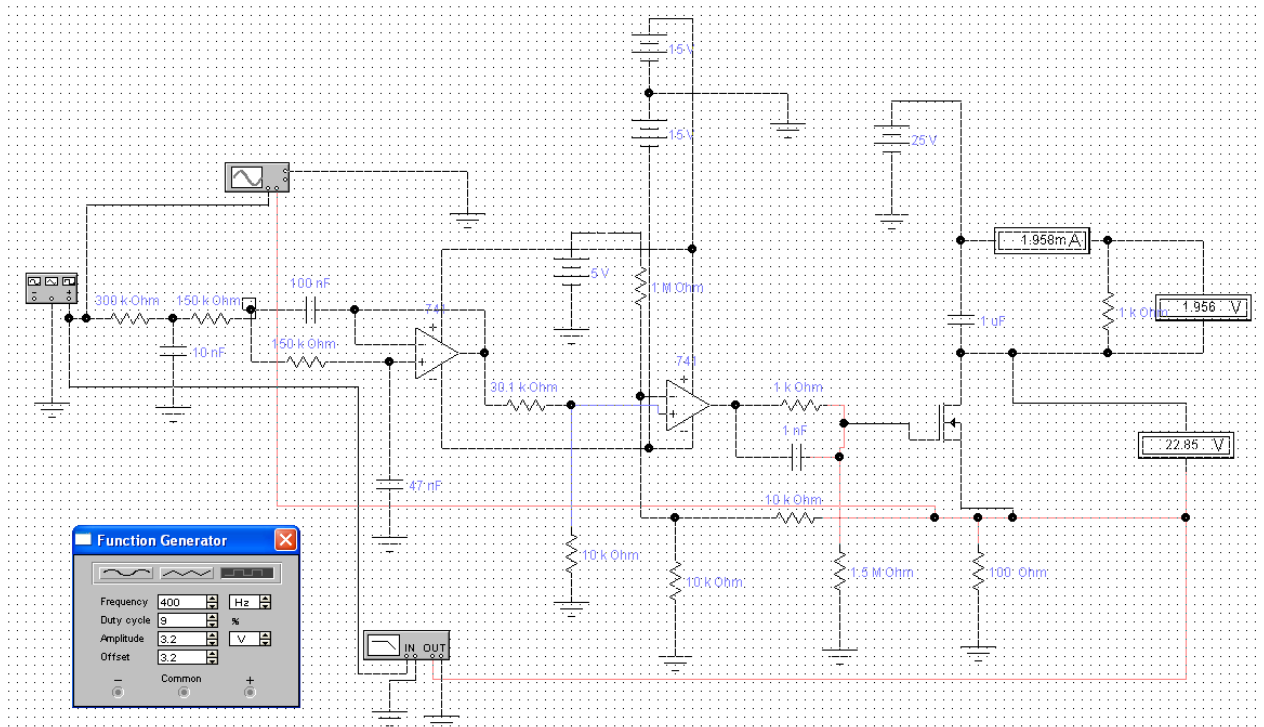


Рисунок 2.3. – Схема моделювання

Сигнал ШІМий видається за допомогою функціонального генератора, що видає прямокутні імпульси сигналу з частотою повторювання 400 Гц і амплітудою 3,2 В. Зміщення (Offset) в 3,2 В потребує схема моделювання внаслідок особливостей реалізації роботи функціонального генератора.

Сигнал ШІМий очищається від змінної складової за допомогою активного фільтру на лівому операційному підсилювачі, а правий підсилювач разом з транзистором перетворює напругу в струм.

Частотна характеристика фільтру наведена на рисунку 2.4.

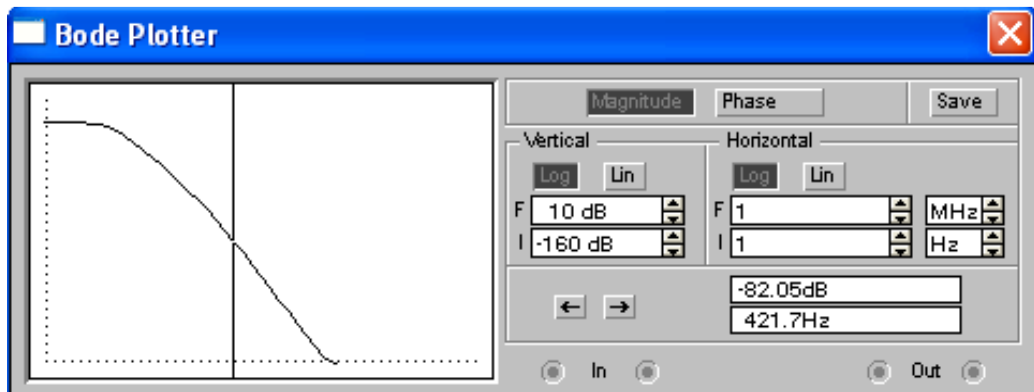


Рисунок 2.4 – Ампліудна-частотна характеристика

Як видно на частоті 400 Гц маємо придушення 80 Дб, що є більше 72 Дб і є достатньо для реалізації еквівалента 12 бітного АЦП. На рисунку 2.5 показані осцилограми вхідного (чорний) і вихідного (червоний) сигналу.

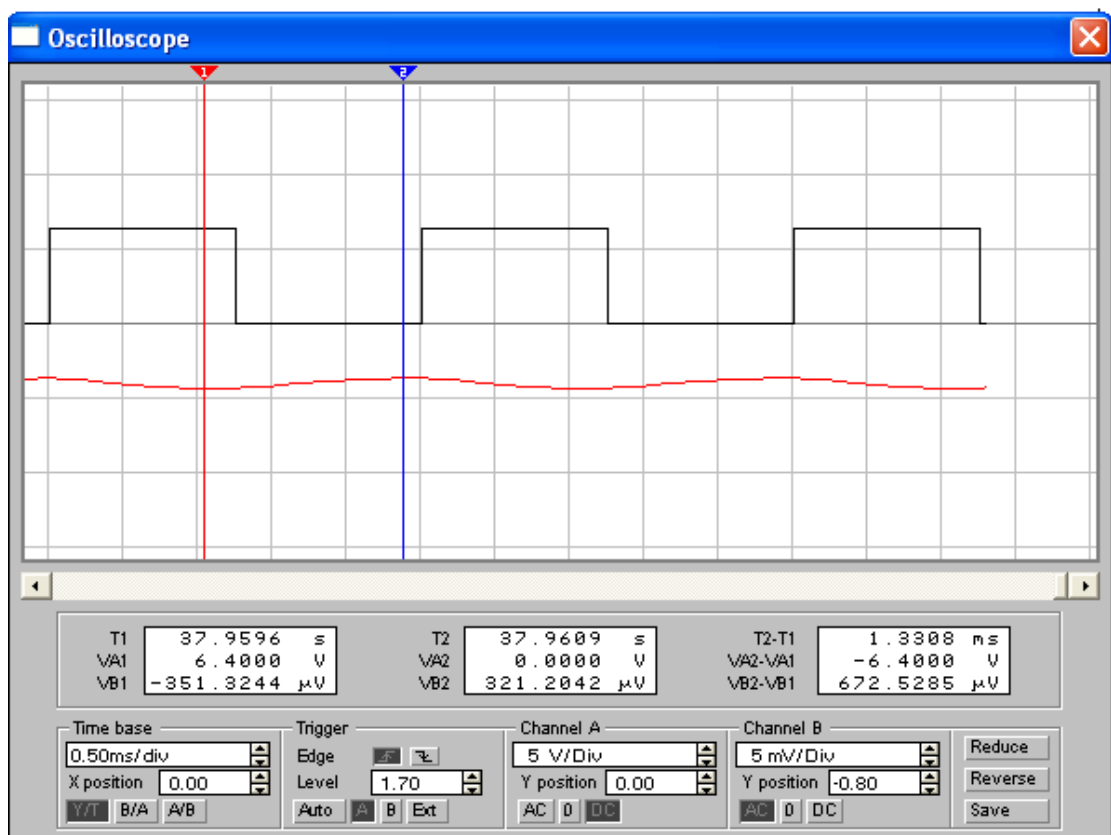


Рисунок 2.5 – Вхідний і вихідний сигнали.

Як видно пульсація вихідного сигналу дорівнює 673 мкВ. Вона знята з резистору з опором 100 Ом. Таким чином пульсація струму є 6,73 мкА. Таким чином відносна пульсація рівна $6,73 \text{ мкА} / 16 \text{ мА} * 100 = 0,042 \%$. Що менше 0,1 % що потрібно за ТЗ.

Моделювання схеми дало характеристики плати, що наведені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Характеристики плати.

Процент заповнення сигналу ШІМ, %	Вихідний струм, мА
0,1	0,025
3	0,277
14,9	4,043
85	20,1
99	22,5

Трасування плати виконано короткими провідниками і не має великих паразитних ємностей, додавання відповідних невеликих паразитних опорів і ємностей до схеми показала, що характеристики схеми не змінились і відповідають показникам таблиці 2.8.

2.6 Розміщення начіпних елементів на друкованій платі

Розміщення начіпних елементів на друкованій платі виконують згідно з ОСТ 4.ГО.010.030 і ОСТ 4.ГО.010.009. Розміщення елементів необхідно погоджувати з конструкторськими вимогами до друкованої плати і пристрою в цілому. При розміщенні начіпних елементів необхідно забезпечити: основні технічні характеристики, що пред'являється до апаратури (автоматизована зборка, пайка, контроль); високу надійність, малі габаритні розміри, масу, високу швидкодію, тепловідвід, ремонтпридатність.

На цій стадії конструкторові необхідно найбільш раціонально розмістити в просторі начіпні елементи, з метою їхнього об'єднання в завершену конструкцію.

Даний процес здійснюється на стадії ескізного проектування і являє собою найважливіше завдання конструювання. Основні завдання, розв'язувані при цьому, є розробка безлічі варіантів реалізації, вибір форм, основних геометричних розмірів і маси майбутнього виробу. Природно, що перераховані характеристики електронного апарата оцінюються при цьому досить приблизно, але загальне подання про проєктований виріб виходить досить повним.

При компоюванні друкованої плати необхідно забезпечити раціональне розміщення начіпних елементів з урахуванням теплового режиму, з забезпеченням мінімальних значень довжин зв'язків, по можливості рівномірний розподіл мас начіпних елементів по поверхні плати та ін.

При компоюванні враховуються характери електричних, магнітних, механічних, теплових та інших зв'язків, що мають місце між складовими елементами виробу. Для цього проводять необхідні дослідження і розрахунки, які уточнюють прийняті раніше компоновочні рішення. При розміщенні елементів електрична схема розбивається на функціонально зв'язані групи, проводиться розміщення елементів у кожній групі; група елементів, що має найбільшу кількість зовнішніх зв'язків, розміщується поблизу роз'єднувача, група елементів, що має найбільшу кількість зв'язків з раніше розміщеною групою, розміщується поруч.

При розміщенні начіпних елементів критеріями оптимізації можуть бути мінімум сумарної довжини зв'язків, рівномірне заповнення монтажного простору і так далі. Основним критерієм компоювання начіпних елементів буде мінімальна сумарна довжина всіх ліній зв'язку.

При розміщенні начіпних елементів будемо використовувати координатну сітку з кроком 0.625 мм. Всі елементи необхідно розташовувати паралельно лініям координатної сітки.

Вибір кроку установки начіпних елементів визначається їхніми розмірами, складністю схеми, необхідною щільністю компоювання начіпних елементів, температурним режимом блоку.

У загальному вигляді завдання розміщення начіпних елементів полягає у

відшуканні для кожного з них оптимальної позиції на поверхні друкованої плати. Критеріями оптимальності при розміщенні приймемо наступні:

- мінімізація сумарної довжини зв'язків;
- мінімізація найбільш довгих зв'язків;
- мінімізація числа перетинань ліній зв'язку;
- максимально близьке розміщення елементів, що мають між собою найбільше число зв'язків.

Операційний підсилювач D4 необхідно розмістити в центрі друкованої плати, щоб пов'язанні елементи зручно було розмістити поблизу тим самим скоротити зв'язки, які можуть вплинути на появу перешкод.

Роз'єм XP2 треба розмістити на краю плати, для того щоб можливо було підключати вихідні ланцюги.

Мікросхему D1 необхідно розмістити по рядом з роз'ємом XP1 для скорочення зв'язків і щоб витримати проміжок між гальванорозв'язаними частинами схеми.

Розв'язуючі по живленню, конденсатори, необхідно розташувати поблизу мікросхем.

Заключне розміщення начіпних елементів на друкованій платі наведено на складальному кресленні і є вихідними даними для трасування друкованого монтажу. Розміщення елементів виконане в САПР ACCEL P – CAD PCB.

2.7 Трасування друкованого монтажу

Визначення конкретної геометрії друкованого монтажу, що реалізує з'єднання між елементами схеми, називається трасуванням. Вихідними даними для трасування є схема електрична принципова, результати компонування елементів на ДП і конструкторсько-технологічний розрахунок зроблений раніше.

У першу чергу необхідно трасувати ланцюга живлення і землі. Інформаційні ланцюги потрібно трасувати так, щоб вони не проходили поблизу елементів, що

створюють наведення. Друковані провідники повинні мати мінімальну кількість вигинів. Так само повинно бути зведене до мінімуму кількість перехідних отворів.

Трасування полягає у визначенні конкретної геометрії друкованого монтажу, що реалізує з'єднання між елементами схеми. При трасуванні необхідно виконувати основні вимоги ДСТУ 10317-79, ДСТУ 2.417-78, ОСТ 4.010.019-81.

На поверхню друкованої плати паралельно її сторонам наноситься координатна сітка. У лівому нижньому куті плати приймаємо початок координат. Цей кут називається базою. Основний крок координатної сітки – 0.625 мм. Центри отворів і контактних площадок варто розташовувати у вузлах координатної сітки. Для збільшення надійності контактних площадок при експлуатації виробу приймається округла форма.

Провідники розташовуємо рівномірно на площі ДП паралельно лініям координатної сітки або під кутом 45° або 90° .

Найпоширенішим способам розведення є прямий і координатний спосіб розведення.

Пряме розведення є найпростішим способом трасування. У цьому випадку траси прокладаються по найкоротшому шляху, що зв'язує ці крапки. Траси проходять поруч із уже прокладеними трасами, обгинаючи їх.

Метод має наступні недоліки: надмірна заплутаність отриманого малюнка друкованого монтажу; низька ефективність у складних схемах; значне збільшення сумарних довжин зв'язків; наявність великої кількості перехідних отворів. Тому цей метод розведення рекомендується застосовувати для нескладних схем.

Координатний спосіб розведення передбачає ортогональні напрямки провідників на різних сторонах плати. Для виконання діагональних з'єднань і запобігання небажаного перетинання провідника з раніше проведеними провідниками й контактними площадками в конструкцію плат вводяться перехідні отвори. Перехідний отвір переводить провідник на протилежну сторону плати, на якій траса триває. Для подолання перешкоди на протилежній стороні можливе введення другого перехідного отвору з переходом знову на першу сторону. Переходи

трас з однієї сторони на іншу дозволяють також здійснювати монтажні отвори під виводи дискретних ЕРЕ й штирові виводи мікросхем. При відсутності твердих вимог на розміри друкованої плати і число перехідних отворів координатний спосіб дозволяє реалізувати на двосторонній платі будь-яку завгодно складну схему.

Недоліками координатного способу розведення слід зазначити деяке збільшення довжин трас провідників, у найгіршому разі на 40%, і наявність перехідних отворів.

Алгоритми трасування засновані на методах динамічного програмування. Монтажний простір друкованої плати розбивається на рівні дискрети, і процес трасування здійснюється шляхом поступового заповнення дискретів трасами.

Відомі алгоритми проведення трас між двома контактами можна умовно розбити на хвильові та евристичні.

Хвильовий алгоритм, або алгоритм «Лі», заснований на поступовому поширенні числової хвилі від джерела до приймача по вільним дискретам монтажного простору. Алгоритм трасування, заснований на ідеях хвильового алгоритму, характеризуються універсальністю і дозволяє знайти найкоротшу трасу, якщо така траса існує. Ідея алгоритму полягає в тім, що на полі моделюється поширення хвилі від джерела доти, поки фронт, розширюючоїся хвилі не досягне приймача або на якому-небудь кроці фронт не зможе включити ні одного нового не зайнятий осередку.

Основний недолік хвильового алгоритму – необхідність великого обсягу пам'яті та висока трудомісткість.

У відмінності від хвильового алгоритму евристичні алгоритми прагнуть прокласти трасу відразу по найкоротшому шляху. Якщо в найкоротшого шляху зустрічається перешкода у вигляді зайнятих або заборонних елементів, то в дію вступає правило визначення шляхів обходу. Евристичні алгоритми є найбільш швидкодіючими і порівняно прості в реалізації, однак те, що кращий порядок обходу перешкод заданий заздалегідь, свідчить про можливість одержання неоптимального результату.

Автоматичне трасування друкованих з'єднань ДП виконується програмою P – CAD Shape – BasedRouter (що працює по хвильовому алгоритму), що забезпечує послідовне автоматичне трасування з'єднань та автоматичне ітераційне трасування розпорюванням, тобто видалення невдало прокладених раніше друкованих провідників.

2.8 Перевірочний розрахунок теплового режиму

Компоненти РЕА функціонують у строго певному температурному діапазоні. Зміна температури за зазначені межі може привести до необоротних структурних змін компонентів. Температура впливає на електронні схеми, змінюючи параметри сигналів. При підвищеній температурі знижуються діелектричні властивості матеріалів, прискорюється корозія конструкційних матеріалів, контактів. При підвищеній температурі твердіють і розтріскуються гумові деталі, підвищується крихкість матеріалів. Розходження в коефіцієнтах лінійного розширення матеріалів може привести до руйнування залитих смолами конструкцій і, як наслідок, порушенню електричних з'єднань, зміни характеру посадок, ослабленню кріплення і т.д.

Реальний РЕА, у теплофізичному відношенні являє собою складну систему з великою кількістю джерел тепла складної форми. Через практичну неможливість не тільки рішення, але й складання повної системи рівнянь теплообміну доводиться процеси, що відбуваються в РЕА, схематизувати, приймаючи ряд передумов, що спрощують. У результаті одержуємо теплову модель апарата, для якої і проводять розрахунок теплового режиму.

Найбільше поширення одержала модель апарата, що представляє собою розташовану в герметичному або перфорованому корпусі нагріту зону – тіло з ізотермічною поверхнею простої форми (паралелепіпед), що включає в себе шасі апарата. Залежно від конструкції РЕА в ній можуть бути виділені не одна, а кілька нагрітих зон.

Виходячи з такої моделі розрахунок теплового режиму РЕА полягає у визначенні по електричним, конструктивним даним і параметрам навколишнього середовища температур нагрітої зони, поверхні елементів, повітря, корпусу і т.д.

Нормальним температурним режимом РЕА називають такий режим, що при зміні в певних межах зовнішніх температурних впливів забезпечує зміну параметрів і характеристик конструкції, схем, компонентів, матеріалів у межах, зазначених в ТУ. Висока надійність і тривалий термін служби РЕА будуть гарантовані, якщо температура середовища усередині РЕА нормальна (35–50 °С) і змінюється не більше ніж на 2 °С/ч. Забезпечення нормального теплового режиму приводить до ускладнення конструкції, збільшенню габаритів і маси, введенню додаткового встаткування, витратам електричної енергії. Для підтримки нормального теплового режиму використовують природне охолодження, примусове повітряне і водно-повітряне охолодження, примусове охолодження за допомогою рідкого холодоагенту.

При природному охолодженні теплонавантажені елементи охолоджуються за рахунок природної конвекції повітря, теплопровідності і випромінювання. Метод охолодження, будучи найпростішим, вимагає підвищеної уваги конструктора до питань раціонального компонування. При компонуванні необхідно прагнути до рівномірного розподілу виділюваної потужності по всьому обсязі РЕА. Компоненти з більшим тепловиділенням необхідно розташовувати у верхній частині РЕА або біля стінок, критичні до перегріву компоненти – у нижній частині, захищати тепловими екранами.

Примусове повітряне охолодження автономними вентиляторами і безпосередньою подачею повітря від центрального кондиціонера широко практикується в РЕА з тепловиділенням більше 0.5 Вт/см². Недоліками повітряного охолодження є: ускладнення конструкції, підвищена запиленість, поява вібрацій у результаті роботи вентиляторів, нерівномірність розподілу холодного повітря й т.д.

Для проектованої плати вибираємо природну систему охолодження з перфораційними отворами в корпусі, оскільки тепловиділення не перевищує 0.5 Вт/см².

Тепловими розрахунками підтверджується правильність обраного способу охолодження, у протилежному випадку вибирається більше ефективний спосіб охолодження. Існуючі методики теплових розрахунків електронних апаратів різноманітні, але в більшості з них теплонавантажені компоненти разом з конструктивними елементами, на які вони встановлені, моделюються умовно нагрітою зоною. Методика, по якій проводився розрахунок, має погрішність не гірше $\pm 10\%$. Розрахунок проводився на ЕОМ за допомогою програми «ТЕПЛО».

Вихідними даними до розрахунку є:

- тип використовуваного корпусу;
- розміри плати;
- температура навколишнього середовища;
- потужність, що розсіює наплаті;
- дані про елементи, критичних до перегріву і т.д.

Вихідні дані й результати теплового розрахунку наведені в додатку А.

Температура нагрітої зони блоку становить $55.95\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура повітря в середині пристрою $55.57\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура поверхні найбільш тепловиділяючого елемента становить $64.81\text{ }^{\circ}\text{C}$, що є менше, ніж гранично припустиме значення $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. За результатами можна зробити висновок про можливість застосування в проектуваному виробі природного охолодження з використанням корпусу з перфораційними отворами.

2.9 Розрахунок надійності пристрою

Надійність РЕА – це властивість виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в припустимих межах протягом необхідного проміжку часу, і можливість поновлення функціонування, втраченого по тим або іншим причинам.

У будь-який момент часу РЕА може перебувати в справному або несправному стані. Якщо РЕА в цей момент часу задовольняє всім вимогам, встановленим, як

відносно основних параметрів, так і відносно другорядних параметрів, що характеризують зовнішній вигляд і зручність в експлуатації, то такий стан називають справним станом. Відповідно до цього визначення несправний стан – це стан РЕА, при якому в цей момент часу не задовольняє хоча б одному з цих вимог.

Працездатність – стан РЕА, при якому в цей момент часу відповідає всім вимогам відносно основних параметрів, що характеризують нормальне протікання процесів.

Відмова – подія, що складається в повній або частковій втраті працездатності системи.

По характеру зміни параметрів до моменту виникнення, відмови діляться на раптові і поступові. Раптові виникають у результаті миттєвої зміни одного або декількох параметрів елементів, а поступові – у результаті поступової зміни параметрів елементів доти, поки значення одного з параметрів не вийде за деякі межі, що визначають нормальну роботу елементів.

По характеру усунення відмови ділять на стійкі і, що самоусуваються. Для усунення стійких відмов необхідні його регулювання або заміна, а відмови, що самоусуваються, усуваються без втручання оператора.

По зовнішніх проявах відмови ділять на явні – виявляються при зовнішньому огляді і неявні – виявляються спеціальними методами контролю.

Поняття «відмова» дозволяє розглянути основні експлуатаційні властивості РЕА: безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність, зберігаємість.

Безвідмовність – властивість РЕА безперервно зберігати працездатність у заданих режимах і умовах експлуатації в період заданого інтервалу часу.

Під ремонтпридатністю розуміють властивість пристрою, що полягає в пристосуванні до попередження відмов, виявленню причин їхнього виникнення і усуненню їхніх наслідків шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування.

Довговічність характеризує властивість виробу зберігати працездатність до настання граничного стану.

Зберігаємість – властивість виробу зберігати значення параметрів при

зберіганні і транспортуванні.

В даному проекті оцінюється структурна надійність проектової плати. Структурна надійність РЕА – це його результуюча надійність при відомій структурній схемі і відомих значеннях надійності всіх елементів, що становлять структурну схему. При цьому приймається послідовна структурна схема, відповідно до якої відмова пристрою виникає при відмові хоча б одного елемента.

Розрахунок виконується на ПК з використанням спеціалізованої програми «NAD32». Вихідними даними до розрахунку є дані про типи використовуваних елементів, їхній кількості і надійності, а також кількість виводів у даному типі елемента і спосіб з'єднання між елементами.

Результати розрахунку наведені в додатку Б. За результатами розрахунку, середня ймовірність безвідмовної роботи після 10000 годин функціонування склала 0.994, середній час наробітку на відмову склав 1611910 годин, що задовольняє вимогам технічного завдання на розробку та не вимагає впровадження додаткових заходів по підвищенню надійності.

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ

3.1 Вибір структурної схеми виробництва

Технологія виготовлення розроблювального блоку повинна бути спрямована на максимальне використання типових технологічних процесів виготовлення та зборки, скорочення строків виробництва, мінімізацію витрат матеріалів, забезпечення мінімальної вартості і високої якості виробу.

При визначенні структурної схеми технологічного процесу виготовлення блоку та виборі встаткування важливе значення мають обсяг випуску і розподіл використовуваної елементної бази по типорозмірах. Відповідно до виконаного раніше аналізом вимог до виробництва встановлено, що велика питома вага в складі елементної бази становлять компонент поверхневого монтажу (КПМ) (94%), що робить доцільним використання автоматичного встаткування при монтажі цих ЕРЕ. Через малу кількість оригінальних ЕРЕ їхню установку раціональніше виконувати вручну на СМС.

3.2 Вибір і обґрунтування методів виготовлення плати, зборки і монтажу блоку

3.2.1 Вибір і обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Першим етапом є виготовлення друкованої плати. Виготовлення друкованої плати – одержання необхідного малюнка друкованих провідників можливо одним із трьох методів: адитивний, субтрактивний і комбінований.

Субтрактивний хімічний метод найбільш простий, у якому в якості для друкованого монтажу використовують фольговані діелектрики, на яких формується провідний малюнок шляхом видалення фольги з непровідних ділянок. Має низьку вартість, добре автоматизується, але має істотні недоліки: неможливість металізації отворів, ненадійність з'єднання виводу з контактною площадкою, нераціональне використання міді.

Адитивний хімічний метод, у якому провідний малюнок одержують нанесенням провідного шару заданої конфігурації на непровідну основу, дозволяє металізувати отвору, що у свою чергу підвищує надійність монтажу. Також у порівнянні з субтрактивним методом має більшу щільність монтажу і раціональне використання міді з розчину.

Недоліки адитивного методу:

- тривалий вплив хімічної обробки викликає погіршення ізолюючих властивостей діелектрика;
- низьке зчеплення провідників з основою;
- питомий опір осадженого шару вище, ніж у фольги.

Комбіновані методи домінують у виробництві друкованих плат. Ціль розробки цих методів – усунути основні недоліки субтрактивного методу (відсутність металізованих отворів) і адитивного (погана адгезія, тривалий хімічний вплив), але технологічний процес значно ускладнюється.

Сутність негативного методу: металізація отворів хіміко-гальванічним способом, вибірне травлення незахищених ділянок провідного шару.

Недоліком комбінованого негативного методу є:

- бічне підтравлювання елементів друкованого монтажу;
- діелектрична основа піддається тривалому впливу розчинів травників і електроліту;
- нераціональна витрата травників і міді.

Сутність позитивного методу: хімічне осадження міді в отвори, нанесення захисного шару (негативна маска), електрохімічне осадження міді, захист провідного малюнка сплавом Sn–Pb, з травлення захисної маски.

Позитивний метод усуває основні недоліки негативного методу і має наступні переваги:

- діелектрична основа захищена від впливів хімічних реактивів;
- провідники мають високу адгезію до основи;
- достатня розв'язна здатність малюнка при правильному підборі матеріалів;

– раціональна витрата реактивів і міді.

Найбільше доцільно застосувати комбінований позитивний метод виготовлення друкованої плати, оскільки цей метод дає високу точність й якість друкованої плати. До того ж комбінований позитивний метод є переважним на більшості підприємств.

Технологічний процес виготовлення двосторонньої ДП комбінованим позитивним методом складається з наступних етапів:

- нарізка заготовок;
- утворення технологічних отворів;
- підготовка поверхні ДП;
- формування монтажних і перехідних отворів;
- хімічна металізація плати;
- гальванічна металізації плати;
- нанесення негативної маски фоторезисту;
- гальванічна металізація;
- нанесення металлорезиста;
- видалення маски;
- травлення міді;
- оплавлення металлорезиста;
- обробка плати по контуру;
- маркування плати;
- нанесення захисного покриття;
- остаточний контроль плати.

Як матеріал для друкованої плати використовується фольгований склотекстоліт СФ–2–35–1.5, матеріал металлорезиста–SnPb (олово-свинець). Для травлення міді використати розчин на основі хлорної міді.

3.2.2 Нанесення паяльної пасти

Обрана паяльна паста SN62RM-92 A6 S90 Multicore. Дана паяльна паста має реологічні властивості подібні до гуми і забезпечує оптимальне покриття поверхні.

Зміст флюсу забезпечує випаровуваність при температурі пайки, флюс не липкий, має прозорий залишок на поверхні, який немає необхідності очищати. Паяльна паста гідрофобна, має прекрасний клейкий ефект, без запаху, не дає усадки і не утворює кульок припою після пайки. Паяльна паста SN62RM-92 A6 S90 Multicore дає прекрасні результати на мідних, нікелево-золотих і полуджених поверхнях. Основні параметри пасти:

- состав сплаву – Sn62Pb36Ag2;
- точка плавлення 179°C.

Існує два основних методи нанесення паяльної пасти:

- нанесення пасти за допомогою дозатора;
- трафаретний друк.

Використання дозатора для нанесення паяльної пасти відрізняється високою універсальністю, але при цьому має низьку продуктивність, у той час як продуктивність трафаретного друку значно вище.

Всі пристрої трафаретного друку можна поділити на три групи:

- ручні;
- напівавтоматичні;
- автоматичні.

Ручні пристрої використовуються в умовах дослідного і дрібносерійного виробництва. Вони в основному відрізняються способом кріплення друкованих плат і трафарету. Деякі моделі можуть оснащуватися пристроями, що забезпечують постійний тиск на ракель і кут нахилу ракеля при його переміщенні.

Напівавтоматичні пристрої трафаретного друку використовуються в умовах дрібносерійного і серійного виробництва. Всі операції, крім завантаження і розвантаження плат, здійснюються автоматично.

Завдяки постійному тиску на ракель і дотримання постійного кута його нахилу повторюваність нанесення паяльної пасти на контактні площадки значно вище, ніж у ручних пристроїв трафаретного друку.

Автоматичні трафаретні пристрої використовуються в конвеєрних

складальних лініях в умовах серійного і крупносерійного виробництва. Всі операції виконуються автоматично.

З огляду на вищесказане, для нанесення паяльної пасти будемо використовувати трафаретний друк. Як пристрій для нанесення паяльної пасти на друковану плату обраний напівавтомат фірми SIMATEC SIM60. Напівавтомат SIM60 призначений для нанесення паяльної пасти в напівавтоматичному режимі, з контролем тиску подвійного ракеля на плату. Стійка, жорстка конструкція і автоматична магнітна фіксація висоти рамки протягом процесу друку дозволяють досягати високої точності і відтворюваності.

Технічні характеристики напівавтомата для нанесення паяльної пасти SIMATEC SIM60 наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики SIMATEC SIM60

Параметри	Значення
Габаритні розміри пристрою, мм	1500×1400×1400
Розмір робочого столу, мм	500×500
Розмір трафарету, мм	300×300...590×800
Розмір друкованої плати, мм	75×75...350×450
Товщина плати, мм	1...25
Швидкість друку, мм/с	5...200
Тиск на ракель, бар	0.5...4
Точність позиціонування робочого столу, мкм	10
Питома напруга/частота мережі/споживана потужність	220В/50Гц/550Вт
Маса приладу, кг	17

Вибір даного пристрою обумовлений простотою і ергономічністю конструкції, зручністю в експлуатації. Високою якістю і точністю нанесення форми відбитків паяльної пасти, високою продуктивністю, та порівняно невисокою вартістю. Також дана модель має вбудований комп'ютер, що дозволяє робити запис таких параметрів, як тиск і швидкість проходження ракеля, задавати

багатошвидкісний режим друку.

3.2.3 Установка КПМ

Технологічність виготовлення блоку залежить від автоматизації виробничих процесів. Чим більше автоматизації, тим відповідно вище технологічність. У розроблювальному блоці вміщується КПМ 94%. Тому технологічніше буде встановлювати їх автоматично на автоматі.

Основні переваги автоматизованої зборки:

- одержання схем, що не мають дефектних з'єднань, що забезпечується точною зборкою;
- виконання щільного монтажу елементів з мінімальними контактними площадками навколо отворів на платі з боку схеми і мінімальних відстаней між контактними площадками і суміжними провідниками.

Переваги технології КПМ полягають у наступному:

- зниження витрат на виготовлення друкованої плати, через усунення операцій свердління монтажних отворів, їхнього очищення, металізації і контролю;
- виключення таких підготовчих операцій при зборці, як випрямлення, обрізка і формування виводів;
- підвищення щільності компонування, тому що багато компонентів, призначені для монтажу, мають крок розташування контактних площадок, рівний 1,27 мм і менше, їх можна монтувати на двох сторонах плати;
- підвищення надійності з'єднань.

КПМ у цьому випадку встановлюються в першу чергу, оскільки вони становлять більшість елементів.

Установка КПМ виконується за допомогою автоматів. Існує велика кількість автоматів для установки КПМ. Такі автомати містять автоматичний завантажувальний пристрій (касети, стрічки), пристрій поштучної видачі, що забезпечує вибір потрібного елемента і його подачу на позицію захвата, і робочу головку, що представляє захват з електричним або пневматичним приводом. Для КПМ робоча головка являє собою вакуумний захват. Додаткове закріплення

компонента в цьому випадку на ДП робити не потрібно, оскільки паяльна паста має клейкий ефект.

Вибір устаткування для установки КПМ зроблений з урахуванням продуктивності, точності установки компонентів, типів установлюваних компонентів, обраний автомат CP20CV фірми Samsung. Основні характеристики автомата-установника фірми Samsung приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики автомата-установника фірми Samsung CP20CV

Параметри	Значення	
Число головок	2	
Пристрій суміщення	Камера/дисплей/оптична центруюча система	
Розмір друкованої плати, мм	460×400×4.0...50×50×0.5	
Час установки одного корпусу, с	Chip	0.37
	QFP	0.85
		1.80
Число живильників	104 живильника стрічкового типу	
Типи живильників	Під стрічку 8, 12, 16, 24, 32, 44, 56 мм, віброживитель (multi)	
Точність установки, мм	Chip	±0.1
	QFP	±0.08
		±0.05
Номенклатура корпусів компонентів	Chip 1005 (0402)...23x23мм IC Type	
Максимальна продуктивність, компонент/г	8000	
Габаритні розміри, мм	1660×1540×1408	
Напруга живлення/частота мережі/споживана потужність	220 В/50 Гц/2,6 кВт	
Маса, кг	1100	

3.2.4 Пайка КПМ

У сучасному технологічному устаткуванні для паяння КПМ використовують конвекційні та інфрачервоні методи нагрівання. Найважливішим завданням цього процесу є забезпечення оптимального температурного режиму оплавлення припайної пасти у всіх паяних з'єднаннях блоку.

Сучасні джерела інфрачервоне (ІЧ) випромінювання забезпечують досить рівномірний потік теплової енергії. Низька інерційність дозволяє швидко змінювати потужність нагрівання. Нерівномірність ІЧ нагрівання зв'язана з різною ефективністю поглинання випромінювання матеріалами плат, корпусів КПМ, виводів.

Недоліки ІЧ печей:

- тіньові ефекти;
- нерівномірне нагрівання корпусів, залежно від кольорів;
- неможливість паяння нових BGA, FlipChip та CSP корпусів;
- можливість не пропаювання корпусів з J-подібними виводами;
- можливість розтріскування великих керамічних корпусів.

Конвекційні печі виключають всі недоліки ІЧ печей вони забезпечують рівномірність температури в зоні паяння, та мають суттєвий недолік – інерційність, що може призвести до перегріву компонентів.

Останнім часом з метою поліпшення рівномірності нагрівання друкованої плати й електронних компонентів у процесі паяння використовуються комбіновані установки. При їхній роботі комбінація конвекційного методу і кварцових випромінювачів забезпечує як рівномірність нагрівання друкованих вузлів протягом усього процесу паяння, так і швидкість нагрівання на пікових ділянках.

Виходячи з викладеного вище, для оплавлення паяльної пасти обрана піч ІЧ-конвекційного паяння SMD – TRASSA – 5610, що виконана з урахуванням жорстких вимог до технологічного встаткування і дозволяє значно підвищити якість пайки. Основні технічні характеристики печі наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні технічні характеристики печі SMD – TRASSA – 5610

Параметр	Значення
Ширина конвеєра, мм	250
Кількість зон нагріву	5
Температура в зоні оплавлення, °С	100...220
Швидкість руху конвеєра, мм/хв	50...300
Споживана потужність, кВт	1

Установка SMD – TRASSA – 5610 призначена для паяння друкованих вузлів паяльними пастами ІЧ-конвекційним нагріванням.

Установка складається з транспортуючого конвеєра, блоку нагрівачів і пульта керування. Конвеєр виконаний з 12 пружинних тросиків виготовлених з нержавіючої сталі. Привід транспортуючого конвеєра складається з крокового двигуна, редуктора та двох валиків.

Конструкція блоку нагрівачів забезпечує чотири зони нагріву й зону паяння. Як нагрівачі використовуються кварцові галогенні лампи типу КГ 220–1000–4. Кожна з зон попереднього нагрівання містить три лампи, розташовані над конвеєром, і дві лампи розташовані під кришкою, над якою переміщається конвеєр. Система керування дозволяє, якщо буде потреба, відключити нижні нагрівачі кожної з зон попереднього нагрівання.

У зоні оплавлення розміщені дві лампи в циліндричному відбивачі. В установці застосована мікропроцесорна система підтримки заданої температури. Є можливість підключення персонального комп'ютера для контролю температури на поверхні виробу, що паяється. У конструкції установки передбачена можливість установки витяжної вентиляції.

Контроль температури здійснюється за допомогою термопар, розміщених у точках контролю температури з лівої сторони по ходу конвеєра. Паяння відбувається по ходу переміщення вузла, що паяється, через зони попереднього нагрівання й зону паяння.

3.2.5 Підготовка начіпних елементів до монтажу

Підготовка начіпних елементів до монтажу, загалом, включає наступні операції:

- вивантаження з заводської тари;
- завантаження в технологічну тару;
- вхідний контроль параметрів і відбраковування;
- підготовка виводів НЕ.

Підготовка елементів до монтажу містить у собі:

- рихтування;
- формування;
- обрізки в заданий розмір;
- лудіння для зниження браку при пайці;
- завантаження в технологічну тару для установки начіпних елементів на ДП.

Контроль елементів що поступають на зборку, відповідно до положення про вхідний контроль, роблять по параметрах, що визначають їх працездатність. Необхідність вхідного контролю викликана впливом різних факторів при транспортуванні і зберіганні, які приводять до погіршення якісних показників готових виробів. У процесі контролю перевіряють зовнішній вигляд, геометричні розміри і форму, механічну міцність і електричні параметри елементів. Витрати на проведення вхідного контролю значно менші витрат, пов'язаних з випробуванням і ремонтом зібраних плат.

Перевіряють зовнішній вигляд елементів, а потім їхні електричні параметри. Для дрібносерійного виробництва застосовують універсальні прилади і стандартну вимірювальну апаратуру. Контроль здійснюється за допомогою технологічних карт і виробничих інструкцій, що визначають послідовність операцій. Виробничі інструкції містять найменування елементів, контрольований параметри, вказівку про додаткове маркування елементів, що пройшли контроль, строк використання після контролю, обсяг вибірки, ДСТУ.

У даному виробництві проектової плати підготовка нав'язних елементів не

здійснюється тому що елементи що потребують підготовку відсутні.

3.2.6 Установка ЕРЕ

У дрібносерійному виробництві широке застосування знайшла ручна установка на світло монтажних столах (СМС). СМС подає монтажникові ЕРЕ тільки одного типономинала або вказує комірку нерухомого накопичувача, де зберігаються ЕРЕ цього типономинала і одночасно вказує світловими засобами ділянку ДП, куди і як потрібно встановлювати ЕРЕ.

Установка на СМС має ряд переваг:

- при зборці не потрібно звертатися до креслення;
- виключаються помилки розміщення елементів на ДП;
- роботу може виконувати монтажник низької кваліфікації;
- значно підвищується продуктивність процесу зборки.

Для установки ЕРЕ обраний СМС 410 Royonic, основні технічні характеристики якого зведені в таблицю 3.4. Даний СМС володіє рядом особливостей, що розширюють його технічні можливості. ЕРЕ зберігаються в 12 групових і 9-ячеечних піналах розміром 600×90×50 мм кожний, що переміщаються в стільниці транспортером. Час зняття пінала 2 хв. Для зберігання великогабаритних ЕРЕ передбачені комірки подвоєної довжини. Підведення сусідньої комірки накопичувача виконується за 0,7 с. У світловій головці застосована особливо надійна галогенна лампа потужністю 10 Вт з терміном служби 10 років. Максимальна швидкість руху світлової плями діаметром 0,8 мм становить 450мм/с. Роздільна здатність і відтворюваність променя 0,125-0,25 мм залежно від розміру робочого поля. Є додаткові можливості відображення інформації під час зборки.

На даному СМС встановлюються, як ЕРЕ з осьовими виводами, так і ЕРЕ з аксіальними виводами та оригінальні ЕРЕ. Завдяки тому, що даний СМС може проектувати на ДП різні символи, імовірність неправильної установки ЕРЕ різко знижується, у порівнянні з іншими методами вказівки місця положення і орієнтації ЕРЕ.

Таблиця 3.4 – Основні технічні характеристики СМС 410 Royonic

Параметр	Значення
Тип НЕ	ЕРЕ, ІС
Число комірок	9
Продуктивність, шт/г	1600
Габаритні розміри, мм	1412×900
Максимальні розміри ДП, мм	680×680
Напруга живлення/ споживана потужність	220В/60Вт

Установка ЕРЕ за допомогою СМС 410 Royonic дає наступні переваги:

- простота підготовки і редагування програми;
- мала споживана потужність;
- розширені можливості повідомлення монтажникові додаткової інформації;
- висока продуктивність установки.

3.2.7 Пайка ЕРЕ

Після встановлення ЕРЕ з штировими виводами на друковану плату необхідно провести їх закріплення методом пайки. Цей метод кріплення є найбільш універсальним й якісно надійним на сучасному технологічному рівні. Крім того, це дає можливість при експлуатації й ремонті здійснювати часткові заміни комплектуючих, без заміни всього блоку.

Пайкою називається процес одержання з'єднання, яке неможливо роз'єднати (без розплавлення припою), металевих або металізованих матеріалів з нагріванням нижче температури їхнього автономного розплавлення шляхом змочування, розтікання і заповнення зазору між ними розплавленим припоєм і зчеплення при кристалізації шва. Пайку застосовують також для одержання електричного контакту з малим перехідним опором.

З'єднання, що утвориться при пайці, по своєму складу неоднорідно й включає зону сплавки (шов) і дифузійні зони. Пайка можлива тільки в тому випадку, якщо припій змочує деталі, що з'єднуються; володіє розтіканням та можливістю затікати у

вузькі зазори під дією капілярних сил.

Пайка полягає в прогріві елементів, що з'єднують, після нанесення припою і збереженні їх у стислому стані до повного затвердіння припою. Пайка складається з двох фаз: змочування припоєм металевих поверхонь і заповнення припоєм зазору між змоченими поверхнями.

Для монтажної пайки застосовують низькотемпературні припої на основі сплаву олово-свинець. З'єднання друкованих провідників з начіпними деталями здійснюють пайкою припоєм ПОС – 61. Він широкого застосовується для монтажної пайки через низьку температуру плавлення, невеликого тимчасового інтервалу кристалізації й високий корозійній стійкості. Ці сплави, у тому числі ПОС – 61, по своїй будові характеризуються дрібнозернистою основою із включеними в неї окремими зернами твердого розчину.

Підготовка поверхонь деталей, що підлягають пайці, полягає у видаленні забруднень, окисних і жирових плівок.

Для цієї мети використовують флюси, котрі призначені для видалення окисних плівок з поверхні металів та припою, захисту поверхонь металів та припою від окислення під час пайки та зменшення сил поверхневого натягу розплавленого припою. Правильний вибір флюсу забезпечить надійне з'єднання та швидкість процесу пайки.

Вибираємо флюс марки X32 – 10 фірми MulticoreSolders. Даний флюс має низький вміст твердих речовин, не вимагає відмивання, не містить галогенів і практично не залишає залишків після пайки.

У цьому випадку, через малу кількість паяємих ЕРЕ, застосовувати групові методи пайки не доцільно, тому обрано їхню індивідуальну пайку за допомогою паяльно-ремонтної станції ERSA IR 500 A. Станція ERSA IR 500 A призначена для ефективного виконання монтажу-демонтажу КІМ та ЕРЕ монтуємих в отвори, а також для підготовки поверхні ДП, забезпечуючи схоронність, як самих виробів, так і ДП. Основна причина вибору даної станції полягає в її застосуванні, як при монтажі, так і при демонтажі НЕ на етапі ремонту. Блок контролю температури

станції забезпечує ефективне керування термоінструментом. Вбудована вакуумно-компресорна система дає практично миттєве розрядження в каналі, що представляє найбільш оптимальні умови для відсосу припою при демонтажі ЕРЕ з отворів. Достоїнства системи:

- мікропроцесорне керування;
- точна підтримка температури термоінструмента;
- антистатичне виконання;
- убудований компресор для вакуумного паяльника і відсоса;
- адаптована до безсвинцевої технології;
- широкий вибір наконечників;
- можливість установки мікросхем з малим кроком виводів.

Після пайки на поверхні плати залишається деяка кількість флюсу і продуктів його розкладання, які в процесі експлуатації пристрою можуть негативно вплинути. У зв'язку з цим передбачається очищення змонтованої ДП відмиванням у різних мийних засобах. Для відмивання блоку обрана компактна система ультразвукового відмивання S–Power. Установка дозволяє реалізувати економічний варіант відмивання з застосуванням трьох можливих технологій: водної (як мийочна рідина використовується деіонізована вода), мікрофаз по MPC технології і з застосуванням промивних рідин типу Zestron. Система S–Power являє собою ванну з вбудованим нагрівачем, що забезпечує підігрів промивної рідини в діапазоні температур від 20 до 80 °С і ультразвуковим генератором, потужність, якого регулюється в межах від 50 до 100%. Виріб поміщають у ванну в спеціальному кошику, що входить у комплект поставки системи. Щоб уникнути випару промивної рідини при тривалих перервах у роботі, установка має кришку. Вибір даної системи відмивання блоку викликаний високою якістю відмивання без використання горючих і хімічно активних матеріалів.

3.2.8 Функціональний контроль

Після проведення пайки необхідно зробити функціональний контроль. В якості устаткування, для функціонального контролю, використовується тестер функціонального і внутрісхемного контролю MTS180. Тестер призначений для

внутрішнього і функціонального контролю з максимальною кількістю каналів 2048. Система може мати будь-яку комбінацію аналогових/гібридних каналів і може бути оснащена модулями функціонального контролю:

- 8 каналний 100 МГц блок виміру частоти і часових інтервалів з програмувальним вхідним порогом спрацьовування від -25В до $+25\text{В}$;
- цифровий мультиметр;
- програмувальний функціональний генератор від 3 до 30 МГц;
- аналізатор форми сигналу;
- програмувальне чотириканальне джерело живлення.

Якщо пристрій не пройшов функціональний контроль, то він направляється на ремонт, який буде проводитись з застосуванням паяльно-ремонтної станції Ersa IR 500 A.

Остання стадія технологічного процесу це контроль ОТК. У ході даної стадії відбувається перевірка виробу на відповідність вимог пред'явлених у повному комплекті конструкторської документації.

3.3 Розробка технології автоматичної установки КІМ на ДП

Останнім часом широке поширення одержали КІМ. Застосування даних елементів при виробництві електронних блоків дозволяє значно зменшити габарити і масу розроблювальних пристроїв, збільшити щільність монтажу, значно спростити процес виробництва електронних блоків за рахунок відсутності операцій по підготовці елементів до монтажу і відсутності операцій свердління отворів під виводи.

Також, як і для ЕРЕ що монтуються в отвори, для КІМ застосовується ручна, напівавтоматична або автоматична їхня установка на ДП. Ручна і напівавтоматична установка КІМ виправдана в умовах виробництва електронних блоків з невеликою кількістю даних елементів і малої номенклатури. В умовах виробництва електронних блоків, у яких переважне число від загальної кількості елементів становлять саме

КПМ, з більшим числом типорозмірів і необхідною високою точністю установки застосування ручного і напівавтоматичного методу установки КПМ на ДП неприйнятно. У цьому випадку застосовується автоматична установка КПМ на ДП.

Існують різні типи автоматів по установці КПМ на ДП, які відрізняються продуктивністю, ємністю накопичувача елементів, точністю захвата і позиціонування, вартістю і т.д. Ємність накопичувача елементів визначає тривалість автономної роботи автомата. Такі автомати містять автоматичний завантажувальний пристрій (касети, стрічки), пристрій поштучної видачі, що забезпечує вибір потрібного елемента і його подачу на позицію захвата, і робочу головку, що представляє захват з електричним або пневматичним приводом. Для КПМ робоча головка являє собою вакуумний захват.

Виходячи з перерахованих вище вимог, як автомат по установці КПМ на друковану плату розроблювальній платі був обраний автомат CP20CV.

Перед поміщенням КПМ у технологічну тару виконують ряд операцій:

- розпакування заводської тари;
- завантаження в технологічну тару для проведення комплексної підготовки КПМ;
- комплексна підготовка виводів (якщо потрібно);
- контроль параметрів і відбраковування;
- комплектація;
- завантаження в технологічну тару для складальних автоматів.

При автоматичному монтажі КПМ, виконуються наступні технологічні операції:

- добування КПМ з накопичувача або носія;
- поворот КПМ по ключу або осі координат;
- перенос КПМ;
- центрування КПМ;
- установка КПМ на ДП.

Установка начіпних елементів виробляється в такий спосіб. По команді

системи керування з відповідної тари з КПМ, виділяється потрібний номінал і по направляючій під власною вагою направляється в зону захвата, де захоплюється робочою голівкою і переноситься в зону установки; після сполучення виводів з контактними площадками КПМ установлюється. Далі цикл повторюється. Всі ці операції виконує автомат, що підвищує точність, надійність і швидкість установки елементів.

3.4 Аналіз технологічності виробу

Під технологічністю конструкції розуміють таке сполучення конструктивно-технологічних вимог, що забезпечує найбільш просте й економічне виробництво виробів при дотриманні всіх технічних і експлуатаційних умов.

Технологічність конструкції складальних одиниць визначають трудомісткістю операцій зборки, можливістю ефективного використання високопродуктивного автоматизованого встаткування для зборки.

Оцінка технологічності конструкції полягає в розрахунку комплексного показника технологічності даного виробу і порівнянні його з нормованим показником, установленим для даного виду виробу. Комплексний показник визначається на основі відносних часних показників і ступенів їхнього впливу на технологічність виробу φ_i .

Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу:

$$K_{ам} = \frac{H_a}{H_m}, \quad (3.1)$$

де H_a – число електричних монтажних з'єднань, здійснюваних груповим автоматизованим або механізованим способами;

H_m – загальне число електричних монтажних з'єднань.

$$K_{ам} = \frac{74}{86} = 0.86$$

Коефіцієнт застосовності ЕРЕ:

$$K_{II} = 1 - \frac{H_{T0}}{H_T}, \quad (3.2)$$

де H_{T0} – число типорозмірів оригінальних ЕРЕ, ІМС і деталей;

H_T – число всіх типорозмірів ЕРЕ, деталей і ІМС.

$$K_{II} = 1 - \frac{2}{11} = 0.82$$

Коефіцієнт автоматизації і механізації підготовки елементів до монтажу:

$$K_{IIM} = \frac{H_{IIM}}{(H_{\text{э}} + H_C)}, \quad (3.3)$$

де H_{IIM} – число ЕРЕ і ІМС, підготовка і установка яких здійснюється механізованим (приладдя, оснастка) або автоматизованим способом;

$H_{\text{э}}$ – загальне число елементів;

H_C – загальне число мікросхем і мікрозборок.

$$K_{IIM} = \frac{0}{(32 + 4)} = 0$$

Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ:

$$K_{IOB} = 1 - \frac{H_T}{(H_{\text{э}} + H_C)}, \quad (3.4)$$

$$K_{IOB} = 1 - \frac{11}{(32 + 4)} = 0.69$$

Коефіцієнт використання мікросхем і мікроборки:

$$K_{II} = \frac{H_C}{(H_{\text{э}} + H_C)}, \quad (3.5)$$

$$K_{II} = \frac{4}{(32+4)} = 0.11$$

Коефіцієнт установочних розмірів:

$$K_{\text{У}} = 1 - \frac{H_{TP}}{H_P}, \quad (3.6)$$

де H_{TP} – число типів установочних розмірів;

H_P – число всіх настановних розмірів.

$$K_{\text{У}} = 1 - \frac{11}{32} = 0.66$$

Коефіцієнтом впливу:

$$\varphi_i = \frac{i}{2^{i-1}}, \quad (3.7)$$

де i – порядковий номер базового показника K_i в ранжируванні послідовності.

$$\varphi_1 = 1; \varphi_2 = 1; \varphi_3 = 0.75; \varphi_4 = 0.5; \varphi_5 = 0.313; \varphi_6 = 0.187.$$

$$K_1 = K_{\text{ПОВ}}; K_2 = K_{\text{ПМ}}; K_3 = K_{\text{У}}; K_4 = K_{\text{ам}}; K_5 = K_{\text{П}}; K_6 = K_{\text{И}}.$$

Комплексний показник:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i}, \quad (3.8)$$

де K_i – розрахований базовий показник;

n – число базових показників.

$$K = 0.6$$

Виходячи з розрахунку можна зробити висновок про те, що проєктований виріб має досить високу технологічність, тому що нормативний показник технологічності для даного типу виробу становить 0.6...0.8 і розрахункове значення входить в нормативний показник технологічності.

4. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при виробництві радіоелектронної апаратури

У даному розділі розгляду підлягають умови виготовлення та експлуатації РЕА з точки зору організації безпеки його виробництва і використання. Завданням розділу є розробка технічних, санітарно-гігієнічних і організаційних заходів, спрямованих на усунення причин виробничого травматизму, професійної захворюваності, підвищення продуктивності праці.

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 потенційно небезпечні виробничі фактори поділяються на чотири групи:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

Кожна з цих груп поділяється на підгрупи.

До фізичних факторів належать рухомі машини і механізми; невідповідність нормам мікроклімату в робочій зоні, неприпустимі рівні шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних та іонізуючих випромінювань; електричний струм, недостатня кількість освітлення та ін.

До хімічних чинників належать шкідливі для організму людини речовини: загально токсичні, подразнюючі, канцерогенні (викликають розвиток пухлин), сенсibiliзуючі (викликають алергічні захворювання), мутагенні (що впливають на статеві клітини організму). До біологічних факторів відносяться мікроорганізми (бактерії, віруси, спірохети) і мікроорганізми (рослини, тварини).

До психофізичних факторів належать фізичні та нервово-психічні перевантаження: розумова перенапруга, монотонність праці.

Найбільш небезпечними виробничими чинниками є шкідливі речовини.

За ступенем впливу на організм шкідливі речовини підрозділяються на чотири класи: I - надзвичайно небезпечні, II - високо небезпечні, III - помірно небезпечні, IV - мало небезпечні. Всі перераховані вище фактори можуть призвести до травматизму, нещасних випадків, професійних захворювань, гострих отруєнь, помилок при роботі. Відповідно до ГОСТ 12.0.002-75 безпека забезпечується вибором технологічного процесу. Розглянемо небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що виникають при деяких основних операціях.

При механічній обробці матеріалів:

- рухомі частини виробничого обладнання;
- ріжучі інструменти;
- висока температура обробки деталей;
- стружка, пил, шум.

Технологія виготовлення ДП складається з великої кількості операцій. При виготовленні ДП можуть виникнути такі небезпеки:

- термоопіки та хімічні опіки;
- ураження шкіри;
- отруєння;
- світловий вплив газорозрядних ламп.

Електричні з'єднання виготовляються паянням. При виконанні пайки на робітника можуть впливати такі шкідливі і небезпечні фактори:

- запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- попадання розплавленого припою на шкірний покрив;
- наявність нагріваються елементів, що нагріваються, дотик до яких викликає

опіки.

При складально-монтажних операціях:

- механічна дія рухомих і частин, що обертаються;
- небезпечна напруга в електричному ланцюзі;
- нестача природного світла;
- підвищена пульсація світлового потоку;

- монотонність праці;
- прямий і відбитий блискіт.

При виконанні робіт з нанесення захисних покриттів і пояснюючих написів:

- токсичні компоненти лакофарбових матеріалів;
- підвищена запиленість і загазованість;
- небезпека вибуху, пожежі;
- підвищена або знижена вологість повітря;
- підвищена напруженість електричного поля і заряди статичної електрики;
- підвищена температура елементів обладнання та виробів.

Важкість робіт, що виконуються, при виготовленні й експлуатації виробу, встановлена відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 - легка І-б. Відповідно до цього ж ГОСТом встановлюються параметри температури навколишнього повітря, відносної вологості, щільності і швидкості руху повітряного потоку на робочому місці.

При виготовленні пристрою вибирається IV-б розряд зорових робіт (середня точка) при цьому нормована освітленість на робочому місці при загальному освітленні (Ен) дорівнює 200 лк.

Відповідно до ГОСТ 12.1.013-78 приміщення, в яких виконуються описані вище операції, відносяться до приміщень з підвищеною небезпекою поразки персоналу електричним струмом, тому що присутні наступні умови:

- наявність вологості (пари або волога, що конденсується, виділяються у вигляді дрібних крапель і відносна вологість повітря може перевищувати 60%);
 - наявність провідного пилу (технологічний або інший пил погіршує умови охолодження та ізоляції);
 - наявність струмопровідних основ;
 - наявність підвищеної температури;
- наявність можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів, що мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання - з іншого.

4.2 Заходи з охорони праці

Наведений у підрозділі 4.1 перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів передбачає проведення низки заходів, спрямованих на забезпечення безпеки праці.

Безпека виконання операцій лиття під тиском повинна передбачати максимальну їх автоматизацію. При цьому рекомендується чітко виконувати параметри техпроцесу, використовувати автоматичну сигналізацію (звукову і світлову) для попередження обслуговуючого персоналу у разі виникнення аварійних ситуацій.

При виготовленні ДП щоб уникнути травм і профзахворювань робота зі шкідливими речовинами проводиться з використанням фільтруючих засобів індивідуального захисту органів дихання, до яких відносяться універсальні респіратори і протигази. Для захисту рук в якості засобів індивідуального захисту застосовуються рукавиці та рукавички з різних матеріалів, а також захисні мазі, пасти і т.д. Для захисту очей застосовуються окуляри, для видалення пилу - промислові пилососи, пилостружкоприймачі, місцеву витяжну і загально обмінну вентиляцію.

Особлива увага повинна бути приділена заміні токсичних речовин менш токсичними або нетоксичними. Так, використання присадок і інгібіторів дозволяє знизити витрати на вентиляцію, а також значно зменшити виділення парів кислоти з поверхні гальванічних і травильних ванн (дзеркало ванни покривається шаром піни).

З метою поліпшення умов праці при нанесенні лакофарбових матеріалів процес фарбування рекомендується автоматизувати. При цьому людина виводиться з небезпечної зони.

У зв'язку з тим, що лакофарбові матеріали характеризуються високою швидкістю займання, для захисту фарбувальних цехів від пожеж набула поширення пожежна автоматика. У фарбувальних цехах категорично забороняється курити, приймати їжу з не призначеною для цього посуду.

Ділянки, на яких зосереджені операції пайки, виділяють в окремі приміщення. При ручній пайці з метою захисту від ураження електричним струмом електропаяльник рекомендується живити від електромережі напругою не вище 42 В. Використані серветки і ганчір'я після зміни повинні спалюватися, повторне використання їх не допускається. Шафи для зберігання робочого одягу та особистих речей кожного тижня всередині і зовні обмивають гарячою водою з милом. Приміщення, в яких розміщуються ділянки пайки, обладнуються відокремленою припливно-витяжною вентиляцією. Рекомендований приплив повітря становить 95% об'єму витяжки. Ще 5% припливного повітря надходять із суміжних, більш чистих приміщень.

Для забезпечення електробезпеки застосовуються окремо або в поєднанні один з одним такі технічні способи та засоби:

- повне зняття напруги з електроустановок при монтажі та ремонті;
- ізоляція струмоведучих частин електроустановок;
- огороження електроустановок.

Відповідно до ГОСТ 12.1.030-81 для захисту людей від ураження електричним струмом при дотику до металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, передбачається захисне заземлення або «занулення» металевих частин електроустановок, які доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку.

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із заземлюючим пристроєм металевих не струмоведучих частин електроустановки, які можуть опинитися під напругою внаслідок переходу на них напруги зі струмопровідних частин з метою забезпечення електробезпеки.

Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювача (металевого провідника або групи провідників, з'єднаних між собою металеві і знаходяться в безпосередньому з'єднанні з ґрунтом) та заземлюючих провідників, що з'єднують частини електроустановки, що заземляються, з заземлювачем.

Виробнича санітарія – це система організаційних заходів і технічних засобів,

що запобігають або зменшують вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів (ГОСТ12.0.002-80). У виробничому приміщенні на організм людини і його працездатність впливають мікрокліматичні фактори.

Мікроклімат виробничих приміщень визначається поєднанням температури, вологості і швидкості руху повітря, а також температури навколишніх поверхонь.

Відповідно доГОСТ12.1.005-88виконуєтьсявид робіт при виробництві розроблювального пристрою можна віднести до категорії робіт - легка Іб.

Для робіт цієї категорії забезпечуються такі метеорологічні умови:

– для виробничих приміщень:

1) у холодний період року температура повітря - 21 23 ° С, відносна вологість повітря - 40 60%, швидкість руху повітря не більше 0,2 м / сек;

2) в теплий період року температура повітря - 22 24 ° С, відносна вологість повітря - 40 60%, швидкість руху повітря не більше 0,3 м /сек.

Зниження шуму можна домогтися, раціонально розпланувавши приміщення, установкою обладнання на спеціальні амортизуючі прокладки. Відповідно до вимог"Санітарних норм допустимих рівнів шуму на робочих місцях» №3223-85 рівні звуку не повинні перевищувати 50дБ.

Для зниження стомлюваності обслуговуючого персоналу в приміщеннях, де розташовані пристрої, що розробляються, передбачаються використовувати спокійні колірні поєднання і покриття, що не дають відблисків.

Підлога на робочих місцях повинна бути теплою, щільною, чинити опір удару; мати неслизьку і зручну для чищення поверхню; бути стійкою до впливу хімічних речовин і їх поглинання.

Стіни виробничих та побутових приміщень повинні відповідати вимогам шумозахисту, теплозахисту, запобігання сорбції; піддаватися легкої прибирання, миття; мати обробку, що виключає можливість поглинання та осадження отруйних речовин (керамічна плитка, масляна фарба).

Для підвищення працездатності та збереження здоров'я важливо створити для організму людини стабільні метеорологічні умови. Значне коливання параметрів

мікроклімату призводить до порушення терморегуляції організму.

Для підтримки в зимовий час нормальної температури в виробничих приміщеннях, у відповідності з санітарними умовами та нормами, передбачається центральне опалення.

У виробничих приміщеннях передбачаються три види освітлення: природне, штучне і сполучене. Штучне освітлення у свою чергу підрозділяється на робоче, аварійне, евакуаційне. Робоче освітлення призначене для нормального виконання виробничого процесу, аварійне - для продовження роботи при аварійному відключенні робочого освітлення, евакуаційне для евакуації людей з приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення.

Для штучного освітлення приміщень слід застосовувати газорозрядні люмінесцентні ртутні лампи низького тиску з різним спектральним складом світла: лампи денного світла і денного світла з покращеною передачею кольору, лампи білого світла, тепло-білого світла, холодно-білого світла, лампи природного світла та інші.

Для загального освітлення необхідно застосовуються світильники із розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або відбивачами.

Пожежі в робочому приміщенні становлять небезпеку, оскільки пов'язані як з матеріальними втратами, так і з відмовою виробничого обладнання, що, у свою чергу, тягне за собою порушення ходу технологічного процесу, простою обладнання і втрати часу і коштів.

На ділянці складання присутні наступні горючі речовини і матеріали:

- дерево (столи, двері);
- склотекстоліт (плати);
- рідини (спирт, бензин, лаки, фарби);
- полімери (ізоляція, деталі).

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 приміщення дільниці монтажу відноситься до категорії «В» (пожежонебезпечна).

Згідно класифікації за ПУЕ є наступні джерела запалювання:

- іскри і дуги коротких замикань;
- іскри при розмиканні і замиканні ланцюгів;
- перегріву при тривалому навантаженні;
- нагрівання індукційними струмами;
- нагрів від діелектричних втрат;
- розряди статичної електрики.

Основні причини запалювання технічного характеру:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електроустановок;
- незадовільна підготовка установок до ремонту;
- самозаймання матеріалів.

Для захисту органів дихання від шкідливих газових парів (крім токсичних) у концентраціях, що не перевищують ПДК більш ніж у 15 разів, рекомендується протигазовий респіратор РУ-60М.

Для короткочасної роботи (один-два дні) допускається застосування протипилових респіраторів ШБ-1, «Лепесток», «Сніжок КУ-М».

Пожежна безпека при виготовленні приладу у відповідності з ГОСТ 12.1.004-85 «Пожежна безпека» забезпечується:

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Так як видалення горючих матеріалів неможливо, потрібно виключити джерела запалювання. Для запобігання утворення в займистою середовищі джерел запалювання передбачають:

- виключення можливості появи іскрового розряду в горючому середовищі з енергією, рівною і вище мінімальної енергії запалювання;
- застосування обладнання, що задовольняє вимогам електростатичної безпеки;
- застосування в конструкції швидкодіючих засобів захисного відключення

можливих джерел запалювання;

– виконання чинних будівельних норм, правил і стандартів.

Для зменшення небезпеки виникнення пожежі забороняється використання електричних кабелів з пошкодженою ізоляцією і поганими контактами в місцях з'єднання, з'єднання електричних проводів між собою і з металоконструкціями, застосування саморобних запобіжників.

Для зниження пожежної небезпеки для приміщень категорії «В» рекомендується установка первинних засобів пожежогасіння, а також системи автоматичної пожежної сигналізації на основі комбінованого сповіщувача ДІП-1, який призначений для виявлення вогнища пожежі в закритих приміщеннях по прояву диму або локальному підвищенню температури.

Приміщення обладнується відповідно до "Типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств" автоматичною пожежною сигналізацією з димовими сповіщувачами фотоелектричного типу ІДФ-М, призначених для виявлення початкової стадії пожежі по появі диму в місці його розташування та видачі тривожного сигналу на станцію пожежної сигналізації. Причому відповідно до розрахункових даних і параметрами сповіщувача ІДФ-М, на площу 9 м² необхідний один сповіщувач.

В якості первинних засобів пожежогасіння пропонується використовувати:

- вуглекислотні вогнегасники в ручному виконанні ОП-5;
- повітряно-пінний вогнегасник ОВП-5;
- азбестове полотно 1.5 x 2 м.

В якості організаційно-технічних заходів рекомендується проводити навчання робочого персоналу правилам пожежної безпеки.

4.3 Розрахунок змішаного освітлення

Важливу роль у виробничій санітарії грає правильно спланована система освітлення: знижується виробничі травматизм, створюються нормальні мови для

роботи органів зору, підвищується працездатність організму.

У даному проекті пропонується використати змішане освітлення. У світлий час доби приміщення буде освітлюватися через віконні прорізи, в інший час доби буде використовуватися штучне освітлення.

Штучне освітлення створюється лампами накаливання або використанням газорозрядних ламп.

Штучне освітлення в робочому приміщенні пропонується здійснити з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, оскільки ці лампи мають високу світлову віддачу (до 75лм/Вт і більше), тривалий термін служби (до 10000 годин), спектральний склад випромінюваного світла близький до сонячного.

Зробимо розрахунок кількості світильників у робочому приміщенні довжиною $a = 12.5$ м, шириною $b = 5.5$ м, висотою $c = 4$ м.

Формула розрахунку штучного освітлення при горизонтальній робочій поверхні методом світлового потоку (4.1)

$$\Phi_{\text{л}} = (E_{\text{н}} \cdot S \cdot Z \cdot K) / (N \cdot U \cdot M), \quad (4.1)$$

де $\Phi_{\text{л}}$ — світловий потік, Лм;

$E_{\text{н}}$ — нормована освітленість;

S — площа підлоги, кв.м;

Z — 1.1 — 1.3 — поправочний коефіцієнт світильника (для стандартних світильників);

K — коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації світильників;

N — число світильників;

U — 0.55 — 0.6 — коефіцієнт використання, що залежить від типу світильника, показника індексу приміщення та інше;

M — число ламп у світильнику.

З формули (4.1) виразимо N і по формулі (4.2) визначимо кількість світильників для даного приміщення

$$N = (E_n \cdot S \cdot Z \cdot K) / (\Phi_d \cdot U \cdot M), \quad (4.2)$$

$$N = (200 \cdot 68.75 \cdot 1.2 \cdot 1.5) / (3120 \cdot 0.6 \cdot 2) = 6.1$$

Виходячи з цього, рекомендується використати 6 світильників, які варто розмістити рядами, бажано паралельно стіні, з вікнами.

4.4 Нормування і розрахунок повітрообміну

Роботи, що розглядаються в даному проекті відповідно до ДСТ 12.1.005-76 відносяться до категорії робіт - фізична робота середньої ваги Пб. Оптимальні норми температури, відносної вологості, і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 - Оптимальні норми температури, відносної вологості, і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с,
Холодний та перехідний	Середньої важкості	17-19	40-60	0,2
Теплий	Пб	20-22	40-60	0,3

Висота приміщення 4м. У приміщенні встановлена система приточно-втяжної вентиляції. Робочі місця, на яких виробляються особливо шкідливо операції (травлення ДП, знежирення, пайка) обладнаються місцевими відсмоктувачами.

Кількість необхідного повітря, що подається, в залежності від кількості

шкідливих речовин, що виділяються, визначається за формулою (4.3)

$$L = L_{\text{мт}} + (Z - L_{\text{мт}}(C_{\text{м}} - C_{\text{п}})) / (C_{\text{yx}} - C_{\text{п}}) \quad (4.3)$$

де L — кількість повітря, що видаляється з робочої або обслуговуючої зони приміщення місцевими відсмоктувачами, загальною обмінною вентиляцією і на технологічні або інші нестатки, м³/год.;

Z — кількість шкідливих речовин, що надходять у повітря приміщення мг/год.;

$C_{\text{м}}$ — концентрація шкідливих речовин у повітрі що видаляється з приміщення м³/год.;

$C_{\text{п}}$ - концентрація шкідливих речовин у повітрі що подається у приміщення м³/год.

У якості місцевих відсмоктувачів при пайці застосовуються шарнірно-телескопічні відсмоктувачі прямокутної форми, що встановлюються у вертикальній площині столу. Для ручної пайки використовуються два монтажних столи.

Кількість повітря, що відсмоктується, для прямокутних отворів з гострими крайками (м³/с) визначаються за формулою (4.4):

$$L_{\text{мт}} = (S + 7,7 \cdot E^{0,63} \cdot X^{1,4}) \cdot V_x \quad (4.4)$$

де S — площа усмоктувального отвору, м²;

E — велика сторона прямокутного усмоктувального отвору, м ($E = 0.14-0.28$ м);

X — відстані від площини усмоктувального отвору до розглянутої зони пайки, м, ($X = 0.1-0.3$ м);

V_x - швидкість руху повітря в зоні пайки, м/с.

Менша сторона прямокутного усмоктувального отвору визначається з оптимального співвідношення:

$$b/E = 0,24 \cdot (X/E)^{0,36} ; \quad (4.5)$$

$$b = E \cdot (0,24(X/E)^{0,36}) = 0,3 \cdot (0,24 \cdot (0,2/0,3)^{0,36}) = 0,1 \text{ м}$$

Площа отвору дорівнює:

$$S = b \cdot E, S = 0,1 \cdot 0,3 = 0,03 \text{ м}^2$$

$$L_{MT} = (0,03 + 7,7 \cdot 0,3^{0,36} \cdot 0,2^{1,4}) \cdot 0,7 \cdot 2 = 0,57 \text{ м}^3/\text{с} = 205,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахунок показав, що кількість повітря, що відсмоктується із зон пайки повинне бути рівне $0,57 \text{ м}^3/\text{с}$ при розмірах усмоктувального отвору $0,1 \times 0,3 \text{ м}$.

Кількість повітря, що подається розраховується у залежності від кількості шкідливих речовин, що виділяються. Розрахунок виконується для половини максимально допустимої концентрації олова та свинцю. Нехай $Z = 500 \text{ мг/год}$, $C_{ух} = 20,02 \text{ мг/м}^3$, $C_{п} = 0$, тоді

$$L = 205,2 + ((500 - 205,2/20,02)) = 220 \text{ м}^3/\text{год.}$$

У такий спосіб дана система вентиляції забезпечить подачу та відсмоктування повітря в приміщенні ручної пайки зі змістом шкідливих речовин в обсязі, що не перевищує гранично припустимий.

Для забезпечення вентиляції будемо використовувати відцентровий пиловий вентилятор В-ЦП-7-40№6 із клиноремінним приводом, що буде встановлений на даху будника.

У розділі виконаний аналіз потенційних небезпек при виготовленні та експлуатації пристроїв на основі ІМС, зроблені розрахунки системи змішаного освітлення та вентиляції, розроблені заходи щодо техніки безпеки, розглянуті міри, що забезпечують виробничу санітарію й гігієну праці.

ВИСНОВКИ

У результаті дипломного проекту бакалавра була розроблена плата струмового виходу цифрового вимірювача температури. У процесі роботи були описані основні характеристики плати, розглянуті аналогічні вузли, з'ясовано принцип її функціонування.

Відповідно до призначення плати було виконано аналіз умов експлуатації. На підставі описаних кліматичних і механічних факторів, що впливають на виріб, була підібрана елементна база.

При розробці конструкції струмового виходу було обрана двостороння друкована плата четвертого класу точності, на якій можливо реалізувати запропоновану електричну схему, розраховані її габарити. Був зроблений розрахунок друкованого монтажу і перевірочний розрахунок по постійному і змінному струму.

Використовуючи програмне забезпечення «ТЕРЛО» і «Nad32», був виконаний розрахунок теплового режиму, за яким температура нагрітої зони блоку становить 55.95 °С, та надійності функціонування плати, імовірність безвідмовної роботи після 10000 годин функціонування склала 0.994, отримані результати повністю задовольняють технічному завданню і умовам експлуатації.

Таким чином, у процесі проектування була розроблена друкована плата, проведені всі необхідні розрахунки, на основі яких можна зробити висновок про доцільність введення виробу у виробництво.

У процесі проектування використані САПР Р – CAD2006 та AutoCAD2009.

За результатами проектування виготовлені креслення.

У розділі «Заходи з охорони праці» виконаний аналіз потенційних небезпек при виготовленні та експлуатації РЕА, розроблені заходи з техніки безпеки, заходи, що забезпечують виробничу санітарію та гігієну праці, та охорони навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Москатов Е. А. Справочник по полупроводниковым приборам. – М.: Журнал “Радио”, 2005. – 208 с.
2. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Производство ЭА» Северодонецк СТИ. 2000.
3. Ганжа С.Н. Конструирование печатных плат: Учебное пособие. – Луганск, 2006. – 136 с.
4. Под ред. Варламов. Р. Г. Справочник конструирования РЭА: Общие принципы конструирования – М.: Сов. радио, 1980. – 480 с.
5. Hitano. Multilayer Chip Ceramic Capacitor - C Series. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: https://www.hitano.com.tw/wp-content/uploads/doc/MLCC-Approval_20200916.pdf
6. Hitano. Thick Film Chip Resistor. General Purpose RC Series. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: https://www.hitano.com.tw/wp-content/uploads/doc/RC_20210408.pdf
7. ST. LM158, LM258, LM358, LM158A, LM258A, LM358A. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm158.pdf>
8. ON Semiconductor. 6-Pin DIP Schmitt Trigger Output Optocoupler. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/h1113m-d.pdf>
9. Nexperia. 74HC1G14; 74HCT1G14 Inverting Schmitt trigger. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT1G14.pdf
10. Nexperia. Voltage regulator diodes. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/BZV55_SER.pdf

11. Analog Devices. Micropower, Low Noise Precision Voltage References with Shutdown. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADR391_392_395.pdf

12. Royal Ohm. High-Precision Thin Film Chip Resistors - TC. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <http://www.royalohm.com/pdf/product2017/ThinFilmTC.pdf>

13. Vishay. Small Signal Switching Diode, Dual in Series. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.vishay.com/docs/85718/bav99.pdf>

14. Vishay. Power MOSFET. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.vishay.com/docs/91319/sihll014.pdf>

15. KLS. Connector. Box Header Series. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://img80002547.weyesimg.com/uploads/www.klselectronic.com/addon/15613612011830.pdf>

16. PHOENIX CONTACT. PCB header - MC 1,5/ 2-G-3,81. Data Sheet. [Электронный ресурс] – режим доступа до ресурсу: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1813305&library=usen&tab=1#drawings>

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Вихідні дані

Параметри	Значення
Тип корпусу	Перфорований
Тип отворів	Прямокутні
Перший горизонтальний розмір блоку, мм	105
Другий горизонтальний розмір блоку, мм	70
Вертикальний розмір блоку, мм	75
Потужність розсіювана в блоці, Вт	2
Коефіцієнт заповнення	0.3
Кількість елементів, шт	1
Температура навколишнього середовища, °С	55
Атмосферний тиск зовні, кПа	100.0
Атмосферний тиск усередині, кПа	100.0
Кількість перфораційних отворів, шт	20
Перший розмір отворів, мм	60
Другий розмір отворів, мм	3
Потужність елемента, Вт	0.75
Площа розсіювання елемента, мм ²	31.62

Таблиця А2 – Отримані дані

Параметри	Значення
Температура нагрітої зони, °С	55.95
Температура повітря, °С	55.57
Температура поверхні елемента, °С	64.81

ДОДАТОКБ

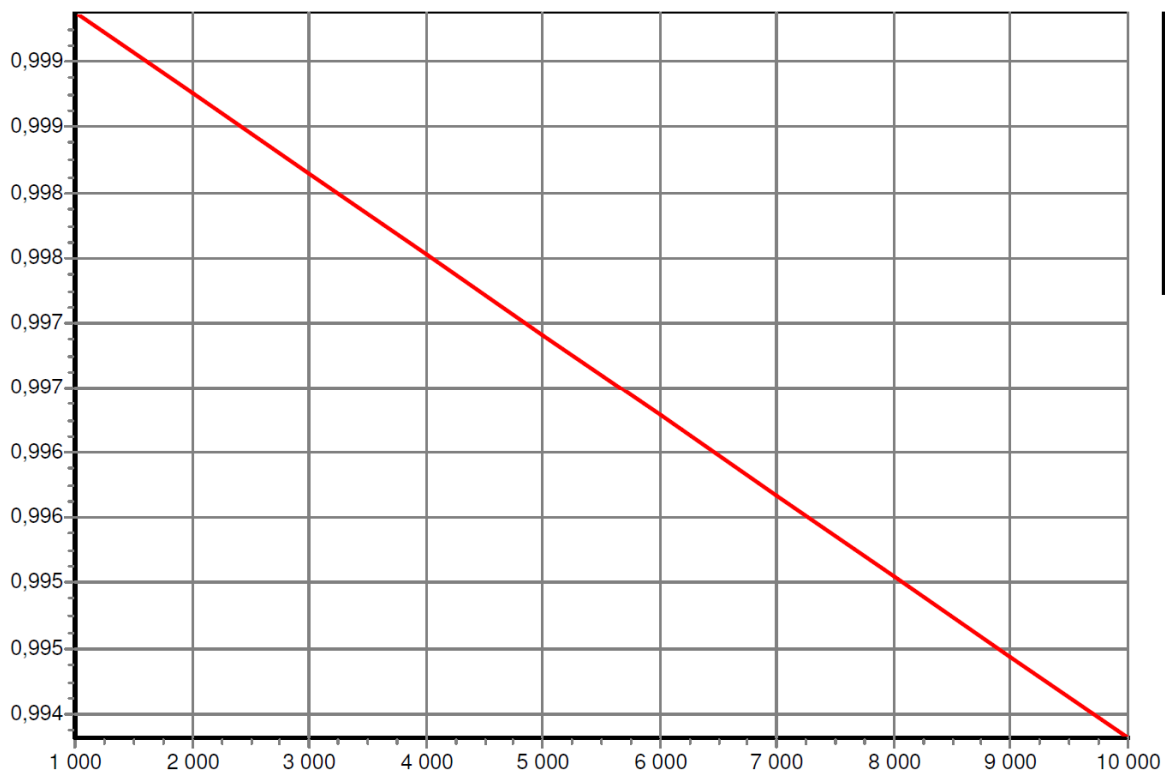
Таблиця Б1 – Вихідні дані

Найменування	Вид монтажу	Число контактів	Кількість елементів	Іnten. відмов	Коеф. навантаження
LM358DT	Поверхневий	8	1	0.3	1
H11L1SM	Поверхневий	6	1	0.3	1
74HC1G14GV	Поверхневий	5	1	0.3	1
IRLL014	Поверхневий	4	1	0.003	1
BAV99	Поверхневий	3	1	0.005	1
BZV55C15	Поверхневий	2	1	0.002	1
RC0805JR	Поверхневий	2	7	0.003	1
TC0610C	Поверхневий	2	6	0.002	1
0805B/N	Поверхневий	2	10	0.001	1
KLS1-202	Навісний	10	1	3	1
MC 1.5/2-G-3.81	Навісний	2	1	2	1

Таблиця Б2 – Отримані дані

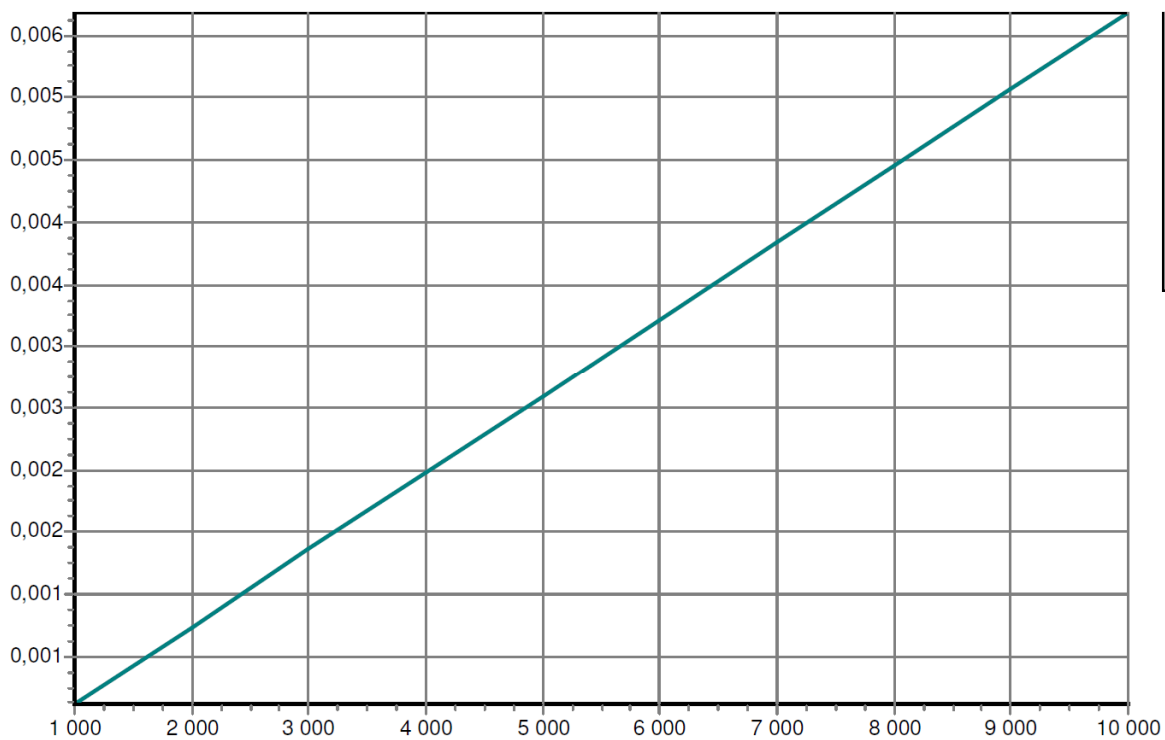
Параметри	Значення
Загальний параметр потоку відмов, 1/године	$6.203820249 \times 10^{-7}$
Середній час наробітку на відмову, годин	1611910
Імовірності безвідмовної роботи	0.994

Графік імовірності безвідмовної роботи



0,999
0,999
0,998
0,998
0,997
0,996
0,996
0,995
0,994
0,994

Графік імовірності відмови



0,001
0,001
0,002
0,002
0,003
0,004
0,004
0,005
0,006
0,006